

Automatischer Reinigungsroboter

Vincent Weiß, Elektrotechnik und Informationstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Im Rahmen dieser Arbeit wurde auf Basis der LEGO®-Mindstorms®-EV3-Plattform ein autonomer Kehrroboter mit dem Namen „Kehrbert“ entwickelt. Ziel war es, einen funktionsfähigen Prototyp zu erschaffen, der frei im Raum liegende LEGO-Steine selbstständig aufnehmen und Hindernissen erkennen kann.

Die Arbeit beschreibt zunächst bestehende studentische Umsetzungen ähnlicher Systeme und grenzt das eigene Konzept davon ab. Anschließend werden die mechanische Konstruktion, der Aufbau des Aufnahme- und Fördermechanismus sowie die verwendete Sensorik erläutert. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Programmierung in MATLAB und der strukturierten Umsetzung der Navigationslogik. Abschließend werden die praktischen Ergebnisse bewertet und bestehende Einschränkungen sowie mögliche Verbesserungen diskutiert.

Schlagwörter—Schlagwörter—Aufsammelmechanismus, Kehrroboter, EV3, Förderband, Navigation, Ultraschallsensor

I. EINLEITUNG

AUTONOME Reinigungsroboter sind in Haushalten, Industrie und Logistik verbreitet und übernehmen Aufgaben wie systematisches Abfahren von Flächen, Hinderniserkennung und gezieltes Aufnehmen von Objekten. Die Entwicklung eines funktionierenden autonomen Roboters ist technisch anspruchsvoll, da Mechanik, Sensorik und Software eng zusammenarbeiten müssen.

Ziel des Projektseminars an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg war es, mit der LEGO®-Mindstorms®-EV3-Plattform einen autonomen Kehrroboter zu entwickeln, der lose LEGO-Steine selbstständig aufnimmt und sie dann in einen Behälter befördert.

Um das Projekt innerhalb des Zeitrahmens realisieren zu können, wurden folgende Vereinfachungen festgelegt:

- 1) Keine Raumkartierung: der Roboter arbeitet ohne interne Karte
- 2) Aufnahme beschränkt auf Steine bestimmter Größe
- 3) Programmierung mit MATLAB und der RWTH-Mindstorms-EV3-Toolbox

Die Arbeit dokumentiert die mechanische Konstruktion, das Aufnahmesystem und die Softwareentwicklung und zeigt exemplarisch, wie ein funktionaler autonomer Kehrroboter im Kleinmaßstab umgesetzt werden kann.

II. VORBETRACHTUNGEN

Die Idee, autonome Reinigungsroboter zu entwickeln, ist seit Jahren Gegenstand technischer Weiterentwicklungen. Besonders im Haushaltsbereich existieren zahlreiche kommerzielle Lösungen, die selbstständig Räume abfahren und Verschmutzungen aufnehmen. Ziel dieses Projekts war es, ein vereinfachtes,

funktionales System auf Basis der LEGO®-Mindstorms®-EV3-Plattform zu realisieren.

Dabei wurde bewusst darauf verzichtet, ein bestehendes System lediglich nachzubauen. Stattdessen lag der Fokus darauf, mit den gegebenen Mitteln eine eigenständige mechanische Lösung zum Aufnehmen von LEGO-Steinen [1] zu entwickeln (siehe Abbildung 1) und diese mit einer einfachen, aber funktionalen Navigation zu kombinieren.



Abbildung 1. LEGO®-Bausteine – Ausgangsmaterial für „Kehrbert“ [1]

A. Bereits existierende Umsetzungen

Im Rahmen des Projektseminars Elektrotechnik/Informationstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wurden in den vergangenen Jahren mehrere autonome Reinigungsroboter auf Basis von LEGO® Mindstorms entwickelt.

2018 entstand der sogenannte „Cleaning Bot“ [2], ein Kettenfahrzeug mit drei Motoren: zwei für den Fahrantrieb und einer für einen rotierenden Staubwedel, der die LEGO-Teile auf ein angebrachtes Kehrblech beförderte. Die Navigation erfolgte über einen Ultraschallsensor; bei Unterschreiten eines Abstandswertes drehte der Roboter und setzte seine Fahrt in neuer Richtung fort.

2021 wurde ein ähnlicher Ansatz verfolgt [3]. Auch hier kam ein Kettenantrieb mit Ultraschallsensor zum Einsatz, die Reinigung erfolgte jedoch über ein Wischsystem mit Staubtüchern. Das Bewegungsmuster basierte auf Abstandsmessung und anschließenden 90°-Drehungen, um eine bahnähnliche Fahrt zu erzeugen.

Beide Projekte zeigen, dass mit LEGO® Mindstorms grundlegende autonome Reinigungssysteme realisierbar sind. „Kehrbert“ knüpft daran an, setzt jedoch auf einen richtigen Aufnahme- und Fördermechanismus mit Auffangbehälter.

B. Zusätzliche Herausforderungen

Im Vergleich zu kommerziellen Reinigungssystemen sind die technischen Möglichkeiten der LEGO®-Mindstorms®-EV3-Plattform deutlich eingeschränkt. Es stehen nur wenige Sensoren zur Verfügung, und auch die Rechenleistung des EV3-Steins ist begrenzt. Funktionen wie eine präzise Raumkartierung, eine kontinuierliche Positionsbestimmung oder komplexe Navigationsalgorithmen ließen sich daher im zeitlichen Rahmen dieses Projekts nicht umsetzen. Die Navigation musste bewusst einfach gehalten werden und ausschließlich auf direkten Sensorwerten basieren.

Eine weitere Herausforderung ergab sich aus der mechanischen Umsetzung des Kehrmechanismus. Die selbst konstruierte Bürste sollte LEGO-Steine zuverlässig erfassen und gezielt auf das Förderband weiterleiten, das die Teile anschließend in den Auffangbehälter transportiert. In der Praxis zeigte sich jedoch, dass kleine Ungenauigkeiten im Aufbau schnell Auswirkungen auf die Funktion hatten. Bereits geringes Spiel in den Achsen oder Verbindungen konnte dazu führen, dass Steine verklemmten oder nicht sauber weitertransportiert wurden. Auch die Abstimmung zwischen Bürstendrehzahl und Förderbandgeschwindigkeit erforderte mehrere Anpassungen, um einen möglichst gleichmäßigen Ablauf zu erreichen.

Zusätzlich stellte der kettenbasierte Fahrtrieb besondere Anforderungen. Obwohl Ketten eine gute Traktion bieten, ist ein exakter Geradeauslauf schwer zu realisieren. Das musste bei der Programmierung berücksichtigt werden. Darüber hinaus war eine saubere Koordination mehrerer Motoren notwendig, damit Fahrbewegung, Bürstenrotation und Förderbandbetrieb zuverlässig und synchron zusammenarbeiten. Erst durch wiederholtes Testen und Anpassen konnte ein stabiler und reproduzierbarer Betriebszustand erreicht werden

III. UMSETZUNG

A. Mechanische Basis

Der Kehrroboter fährt auf einem kettengetriebenen Fahrwerk, das von zwei Motoren unabhängig gesteuert wird. So kann er geradeaus fahren und sich auf der Stelle drehen. Die Ketten sorgen für gute Traktion, erschweren aber exaktes Geradeausfahren, da schnell kleine Richtungsabweichungen entstehen.

Das Fahrwerk liegt hinten, Bürste und Förderband vorne. Der EV3-Stein sitzt hinten, wodurch das Gewicht gleichmäßig verteilt und die Stabilität verbessert wird. Der Ultraschallsensor ist vorne für frühzeitige Hinderniserkennung angebracht, der Taster weiter oben für einfachen Zugriff.

Das Grundgerüst ist stabil und modular, sodass Bürste, Förderband, Auffangbehälter, Sensoren und Brick zuverlässig getragen werden und bei Bedarf leicht angepasst oder ausgetauscht werden können.

B. Aufsammelmechanismus

Der vordere Teil des Roboters besteht aus einer rotierenden Bürste (siehe Abbildung 2), die von einem eigenen Motor angetrieben wird. Sie erfasst die LEGO-Steine zuverlässig und bewegt sie zum Förderband, das ebenfalls von einem eigenen

Motor betrieben wird und die Steine in den Auffangbehälter transportiert. Bürste und Förderband arbeiten parallel, sodass eine zuverlässige Aufnahme und Weiterleitung gewährleistet sind.

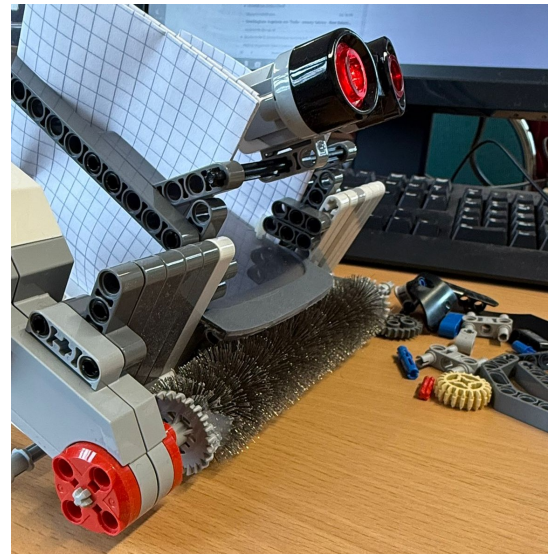


Abbildung 2. Detailsicht der Bürstenkonstruktion von „Kehrbert“

Das Förderband besitzt seitliche Wände und einen Deckel, um ein Herausfallen der Steine zu verhindern. Größe von Bürste und Förderband ist auf einen bestimmten LEGO-Bereich abgestimmt; sehr kleine oder große Teile werden ggf. nicht aufgenommen.

Der Auffangbehälter am Ende des Förderbands ist herausnehmbar, sodass die LEGO-Steine nach dem Einsammeln einfach entleert werden können. Die gesamte Einheit ist modular gestaltet, sodass Wartung, Austausch oder Anpassung von Bürste, Förderband oder Behälter unkompliziert möglich ist.

C. Sensorik

Zur Hinderniserkennung ist der Roboter mit einem Ultraschallsensor (siehe Abbildung 3) ausgestattet, der kontinuierlich den Abstand zu Wänden oder anderen Objekten vor dem Roboter misst. Die gemessenen Werte werden in regelmäßigen Intervallen innerhalb der Hauptprogrammenschleife abgefragt. Liegt der Abstand unter einem definierten Grenzwert, wird ein Hindernis erkannt, wodurch die Navigationsroutine ausgelöst wird, um eine Kollision zu vermeiden.



Abbildung 3. Ultraschallsensor des Roboters [4]

Zusätzlich ist ein Tastsensor (siehe Abbildung 4) als Ein- und Ausschalter des Systems integriert. Durch Betätigung

des Sensors wird der Betriebszustand des Roboters softwareseitig umgeschaltet: Wird der Taster gedrückt, wechselt der Roboter zwischen aktiviertem und deaktiviertem Zustand. Eine Zustandsvariable speichert dabei den aktuellen Modus. Die Software erkennt nur Tasterflanken, d. h. die Umschaltung erfolgt nur beim Übergang von nicht gedrückt auf gedrückt, um Mehrfachauslösungen durch längeres Drücken zu vermeiden.



Abbildung 4. LEGO@EV3-Tastsensor – zur Bedienung von „Kehrbert“ [5]

Durch diese Kombination von Ultraschallsensor und Tastsensor kann der Roboter autonom auf seine Umgebung reagieren und gleichzeitig vom Benutzer einfach gestartet oder gestoppt werden. Die regelmäßige Abfrage der Sensoren erfolgt in einem kurzen Intervall von 20 ms, um eine schnelle Reaktion auf Hindernisse zu gewährleisten. Gleichzeitig verhindert die Software, dass wiederholte Auslösungen während eines Drehvorgangs auftreten, indem eine Sperrvariable implementiert wurde, die erst zurückgesetzt wird, wenn der Abstand wieder über einem definierten Schwellenwert liegt.

D. Navigationsstrategie

Der Kehroboter fährt grundsätzlich geradeaus, solange der Ultraschallsensor keinen Abstand unter einem definierten Grenzwert misst. Sobald ein Hindernis erkannt wird, startet die Hindernisvermeidung:

- 1) Die Fahrmotoren stoppen kurz, um Kollisionen zu vermeiden
- 2) Abhängig von einer internen Variablen (`turnLeftNext`) dreht der Roboter 90° nach links oder rechts. Nach jeder Drehung wechselt die Richtung, sodass die Fläche systematisch abgefahren wird
- 3) Danach fährt der Roboter ein kurzes Stück geradeaus und dreht ein zweites Mal in die gleiche Richtung. So entsteht ein einfaches, bahnähnliches Muster, (siehe Abbildung 5)
- 4) Anschließend setzen die Fahrmotoren die Geradeausfahrt fort

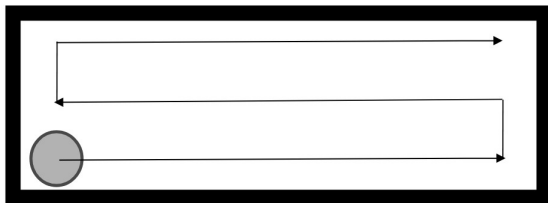


Abbildung 5. Schematische Darstellung der Navigationsstrategie von „Kehrbert“

Eine Sperrvariable (`avoidLock`) sorgt dafür, dass die Hindernisroutine während der Drehungen nicht mehrfach ausgelöst wird. Erst wenn der Abstand wieder über dem Schwellenwert liegt, wird die Sperre aufgehoben.

Das System ist simpel, funktioniert aber zuverlässig: der Roboter umgeht Hindernisse ohne komplexe Kartierung. Parameter wie Drehgeschwindigkeit, Drehzeit oder Abstandsschwelle lassen sich anpassen, um verschiedene Bodenflächen oder LEGO-Steine optimal zu bearbeiten.

E. Softwarestruktur in MATLAB

Der Kehroboter wurde in MATLAB mit der RWTH-Mindstorms-EV3-Toolbox programmiert. Zunächst wird über USB eine Verbindung zum EV3-Stein aufgebaut, und alle Motoren (A–D) sowie Sensoren (Ultraschall- und Tastsensor) werden initialisiert.

Die Steuerung läuft in einer Endlosschleife, die alle 20 ms die Sensorwerte abfragt. Der Tastsensor dient als Ein-/Ausschalter und wird nur beim Übergang von nicht gedrückt auf gedrückt ausgewertet, sodass ein versehentliches wiederholtes Umschalten verhindert wird.

Die Fahrmotoren (A und D) und die Motoren für Bürste (B) und Förderband (C) werden koordiniert:

- Im aktivierten Zustand fahren die Motoren synchron, sodass der Roboter geradeaus fährt und gleichzeitig LEGO-Steine aufnimmt und transportiert.
- Wenn der Ultraschallsensor ein Hindernis näher als den Grenzwert erkennt, stoppen die Fahrmotoren kurz und der Roboter dreht sich 90° nach links oder rechts, abhängig von der Variablen `turnLeftNext`, die nach jeder Drehung umgeschaltet wird.
- Nach der Drehung fahren die Motoren wieder vorwärts. Die Sperrvariable `avoidLock` sorgt dafür, dass während der Drehbewegung keine erneute Hindernisreaktion ausgelöst wird.

Bürste und Förderband werden jeweils von einem eigenen Motor angetrieben und arbeiten parallel zur Fahrt, sodass LEGO-Steine kontinuierlich in den Auffangbehälter befördert werden. Beim Ausschalten stoppen alle Motoren sofort, was die Handhabung sicher macht.

Die klare Trennung von Sensorabfrage, Motorsteuerung und Drehlogik macht den Code übersichtlich und erlaubt einfache Anpassungen von Parametern wie Geschwindigkeit, Abstandsschwelle oder Drehzeit, ohne die gesamte Software ändern zu müssen.

F. Programmlogik

Die Steuerung von „Kehrbert“ läuft in einer fortlaufenden Hauptschleife (siehe Abbildung 6). Zunächst wird die Verbindung zum EV3-Stein aufgebaut und zentrale Parameter wie Geschwindigkeit, Drehzeit und Abstand zum Hindernis festgelegt. Der Tastsensor dient als Ein-/Ausschalter, wobei ein Zustandswechsel nur beim Übergang von „nicht gedrückt“ auf „gedrückt“ erfolgt. Im aktiven Zustand fahren die Antriebsmotoren synchron geradeaus, während Bürste und Förderband LEGO-Steine aufnehmen. Erkennt der Ultraschallsensor ein

Hindernis, wird ein Ausweichmanöver durchgeführt; andernfalls fährt der Roboter geradeaus weiter. Nach Abschluss des Manövers setzt er die Geradeausfahrt fort, wobei die Sperrvariable `avoidLock` Mehrfachreaktionen während Drehungen verhindert. Durch diese klare Trennung von Sensorabfrage, Motorsteuerung und Ausweichlogik lassen sich Parameter wie Geschwindigkeit oder Abstandsschwelle einfach anpassen.

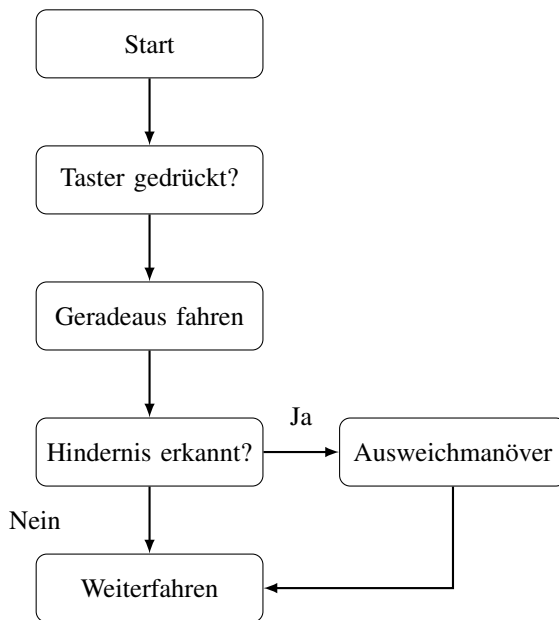


Abbildung 6. Ablaufdiagramm der Programmlogik von „Kehrbert“

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Der entwickelte Kehroboter „Kehrbert“ (siehe Abbildung 7) erfüllt die zentralen Zielsetzungen des Projekts. Er sammelt lose LEGO-Steine zuverlässig auf, transportiert sie über das Förderband in den Auffangbehälter und reagiert wenn er sich einer Wand nähert mit einer Drehung. Durch den parallelen Betrieb von Bürste und Förderband wird ein kontinuierlicher Aufnahmeprozess gewährleistet, sodass der Roboter auch bei längeren Fahrtstrecken effizient arbeitet. Die einfache Navigationsstrategie erlaubt ein systematisches Abfahren der Fläche, selbst ohne interne Kartierung.

Im praktischen Einsatz zeigten sich jedoch einige Einschränkungen. Das kettengetriebene Fahrwerk verursacht auf glatten Böden leichte Richtungsabweichungen, was gelegentlich zu Korrekturfahrten führt. Die Aufnahme funktioniert zuverlässig nur innerhalb eines bestimmten LEGO-Steinegrößenbereichs. Sehr kleine oder ungewöhnlich geformte Teile werden teilweise nicht erfasst. Der Ultraschallsensor erkennt größere Hindernisse zuverlässig, stößt jedoch bei schmalen Objekten oder komplexen Ecken an seine Grenzen. Zudem führt das Fehlen einer Raumkartierung dazu, dass bereits gereinigte Bereiche mehrfach befahren werden, was die Effizienz etwas mindert.

Trotz dieser Einschränkungen zeigt das Projekt, dass die LEGO®-Mindstorms®-EV3-Plattform eine geeignete Basis für die prototypische Umsetzung autonomer Reinigungsroboter bietet. Das Zusammenspiel von mechanischer Konstruktion, Sensorik und einfacher Softwarelogik funktioniert insgesamt

zuverlässig. Die gewonnenen Erfahrungen geben zudem wertvolle Einblicke in die Herausforderungen kleiner autonomer Systeme und bieten eine solide Grundlage für Optimierungen in zukünftigen Projekten.

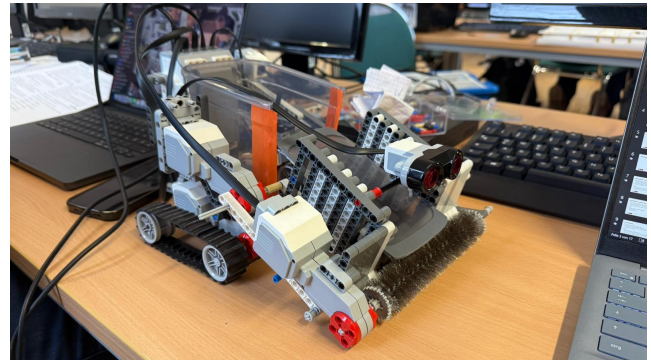


Abbildung 7. Kehrbert – Finaler Aufbau

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines autonomen Kehroboters auf Basis der LEGO®-Mindstorms®-EV3-Plattform, der frei liegende LEGO-Steine selbstständig aufnehmen kann. Dabei stand nicht die Nachbildung eines bestehenden Systems im Vordergrund, sondern die eigenständige Konstruktion eines funktionalen Prototyps unter realistischen technischen Einschränkungen.

Im Verlauf des Projekts wurden sowohl mechanische als auch softwareseitige Lösungen erarbeitet. Dazu zählten der Aufbau eines stabilen Fahrwerks, die Entwicklung eines kombinierten Bürsten- und Fördermechanismus sowie die Umsetzung einer einfachen, sensorbasierten Navigationsstrategie in MATLAB. Die praktische Umsetzung machte deutlich, wie eng mechanische Konstruktion, Sensorik und Programmierung miteinander verknüpft sind und wie stark sich kleine konstruktive Änderungen auf das Gesamtverhalten des Systems auswirken.

Das Projekt zeigt, dass auch mit begrenzten Mitteln ein funktionsfähiges autonomes System realisiert werden kann. Gleichzeitig wurde deutlich, wo technische Grenzen der gewählten Plattform liegen. Die Arbeit bietet damit eine solide Grundlage für weiterführende Verbesserungen, etwa im Bereich der Bewegungsgenauigkeit oder der Erweiterung der Sensorik, und liefert wertvolle praktische Erfahrungen im Umgang mit autonomen Robotersystemen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] LEGO®-Bausteine. https://www.ebay.de/itm/352612246803?srsltid=AfmBOopByW_0FMhSsmYfmLKGGRpO5ljuqZT85BryHFG3MqT4C10DWzd, 2026. – Abgerufen am 26.02.2026
- [2] SCHWANK, Malte: *Bau eines Cleaning Bot – Bericht zum LEGO Mindstorms Seminar*. 2018. – Projektseminar Elektrotechnik/Informationstechnik <https://doi.org/10.24352/UB.OVGU-2018-045>
- [3] BURSIA, Kevin: *Reinigungsroboter im Modellversuch*. 2021. – Projektseminar Elektrotechnik/Informationstechnik <https://doi.org/10.24352/UB.OVGU-2021-042>
- [4] LEGO EDUCATION: *LEGO MINDSTORMS Education Ultraschallsensor 45504*. <https://www.amazon.de/LEGO-MINDSTORMS-Education-Ultraschallsensor-45504/dp/B00E1PTRA>. Version: o.J.. – Produktseite auf Amazon
- [5] LEGO®EV3Tastsensor(45507). <https://www.brickwatch.net/de-DE/set/45507/EV3-Touch-Sensor.html>, – Zugriff 2026