

# Zeichenroboter

Vincent Gratz, Elektro- und Informationstechnik  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Zusammenfassung**—Im Rahmen des LEGO-Mindstorms-Projektseminars 2026 wurde ein Zeichenroboter entwickelt, der selbstständig vorgegebene Formen oder Muster auf Papier zeichnen kann. In diesem Paper liegt der Fokus auf der Konstruktion des Roboters aus LEGO-Technic-Bauteilen sowie der Funktionsweise der Programmierung in MATLAB. Anschließend werden die erzielten Ergebnisse ausgewertet und Verbesserungsansätze ausformuliert.

**Schlagwörter**—Automatisierung, Klemmbausteine, LEGO-Roboter, Zeichenroboter, Zeichnen.

## I. EINLEITUNG

IN unserer heutigen Welt gehört es zur Normalität, dass täglich neue Robotersysteme, zur Erfüllung von Aufgaben sowie zur Lösung von Problemen, gebaut werden.

Im Rahmen des zweiwöchigen LEGO-Seminars bestand die Möglichkeit, selbstständig einen solchen Roboter zu konzipieren, zu konstruieren und zu programmieren. Dabei wurde das Ziel verfolgt einen Roboter zu entwickeln, welcher schreiben beziehungsweise zeichnen kann. Der entwickelte Zeichenroboter soll insbesondere der Unterstützung von motorisch eingeschränkten Personen dienen.

## II. VORBETRACHTUNGEN

In diesem Abschnitt werden die ursprüngliche Konzeptidee sowie die essenziellen Bauteile für die Realisierung des Zeichenroboters dargestellt.

### A. Ursprungsidee

Die erste Konzeption sah die Entwicklung eines Roboters vor, welcher in der Lage ist Druckschrift zu schreiben. Zu diesem Zweck wurde eine erste Entwurfsskizze angefertigt, siehe Abbildung 1. Vorgesehen war dabei ein frei beweglicher Roboterarm, der sich im dreidimensionalen Raum bewegen kann, um so entsprechende Schreibbewegungen auszuführen.

Im Verlauf der Planungsphase zeigten sich jedoch zwei Probleme. Erstens erwies sich die Konstruktion eines frei beweglichen Roboterarms unter Verwendung von Klemmbausteinen als deutlich komplexer als ursprünglich angenommen. Zweitens stellte die inverse Kinematik im dreidimensionalen Raum eine erhebliche Schwierigkeit dar, die den vorgesehenen zeitlichen Rahmen des Projekts überschritten hätte. Aus diesen Gründen wurde das ursprüngliche Konzept eines frei beweglichen Roboterarms vereinfacht und an die gegebenen Rahmenbedingungen angepasst.

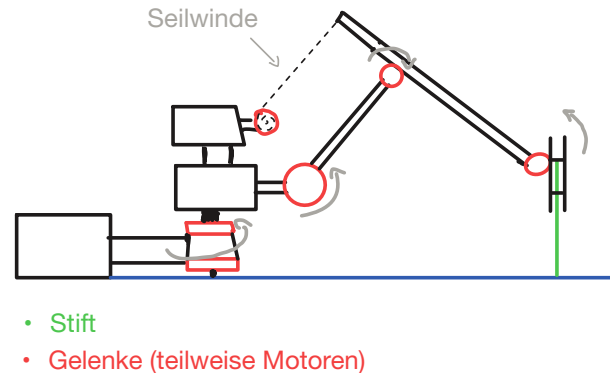


Abbildung 1. Erste Skizze des Zeichenroboters

### B. Inspiration

Der zweite Konzeptionsansatz des Zeichenroboters basiert auf dem Konferenzpapier von Bryan Vásquez-Pineda und Manuel Cardona [1]. Dieser Lösungsansatz verwendet einen 5R-Parallellink-Mechanismus. Dieses Prinzip diente als Inspiration für die Weiterentwicklung des Zeichenroboters. Eine detaillierte Beschreibung des Aufbaus des Zeichenroboters erfolgt in Abschnitt III-A1 des Papers.

### C. Bausteine

Für dieses Projekt wurden drei EV3-Motoren und ein Tastsensor verwendet, welche über den EV3-Stein miteinander verbunden sind. Außerdem wurden zahlreiche LEGO-Bauteile wie beispielsweise Liftarme, Zahnräder und Pins sowie zwei Gummibänder verwendet.

## III. REALISIERUNG

In diesem Abschnitt liegt der Fokus auf der detailreichen Beschreibung des Aufbaus sowie auf der Programmierung der einzelnen Funktionen des Zeichenroboters.

### A. Konstruktion

1) *Zeichenmechanismus*: Der Zeichenmechanismus des Roboters besteht im Wesentlichen aus fünf Teilarmen: jeweils zwei Ober- und Unterarme pro Seite sowie einem Verbindungsstück zwischen den beiden Motoren, siehe Abbildung 2. Die zwei Zeichenarme, bestehend aus Ober- und Unterarm, sind aus Liftarmen und Pins aufgebaut. Dabei ist jeweils der Oberarm über ein Gelenk mit dem Unterarm verbunden. Da hier zusätzliche Stabilität erforderlich ist, wird parallel zu dem Gelenk ein Gummiband gespannt.

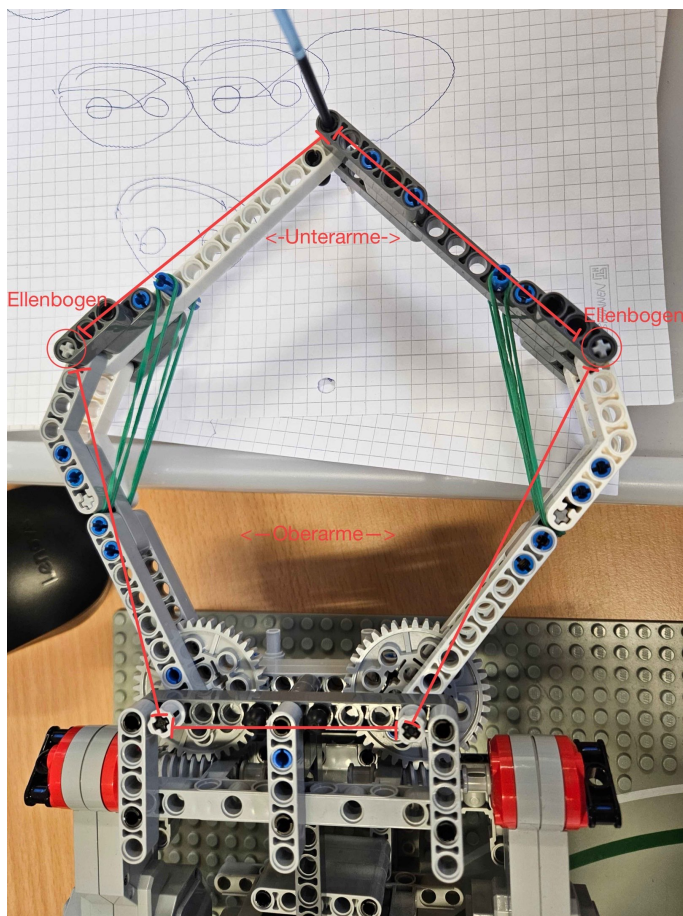


Abbildung 2. Konstruktion des Zeichenmechanismus

An der vordersten Stelle, wo beide Zeichenarme zusammenlaufen, ist eine Kugelschreibermine befestigt, welche als Stift des Zeichenroboters agiert. Die beiden Zeichenarme sind jeweils an einem großen Zahnrad befestigt, mit dem sich der Winkel der Zeichenarme einstellen lässt.

Der Antrieb dieser Zahnräder erfolgt mithilfe der EV3-Motoren. Da für präzise Zeichnungen eine Vielzahl an sehr kleinen Bewegungen erforderlich ist und sich die EV3-Motoren nicht um beliebig kleine Gradzahlen drehen können, wurde ein Schneckengetriebe zwischen den Motoren und den großen Zahnrädern integriert. Dies bewirkt eine Untersetzung von 40:1, wodurch sowohl präzisere Bewegungen der Zahnräder als auch ein höheres Drehmoment der Motoren ermöglicht wird.

2) *Hebemechanismus*: Zur Darstellung von Wörtern oder komplexeren Zeichnungen ist es erforderlich, dass der Zeichenroboter den Stift vom Untergrund kontrolliert anheben und wieder absetzen kann. Um dies zu ermöglichen, wurde ein Hebemechanismus eingebaut, siehe Abbildung 3. Der im Roboter implementierte Hebemechanismus arbeitet mit einem Gegendruck am hinteren Ende der Konstruktion. Dadurch werden die Zeichenarme sowie der an der Front befestigte Stift angehoben. Dieses Prinzip ist möglich, da der gesamte Zeichenroboter lediglich über ein zentrales Gelenk mit dem Untergrund verbunden ist und sich folglich um diesen Drehpunkt kippen kann.

Die Erzeugung des Gegendrucks erfolgt durch einen dritten



Abbildung 3. Hebemechanismus

Motor, der hinter dem Roboter fest an der Bodenplatte angebracht ist. Dieser steuert über Zahnräder einen Liftarm an und verändert dessen Winkel, wodurch der Liftarm auf den Zeichenroboter Druck ausübt. Auf diese Weise ist es dem Zeichenroboter möglich, mehrere voneinander unabhängige Linien zu zeichnen.

### B. Programmierung

Ziel ist es, kartesische Zielpunkte, an denen der Stift sein soll, vorzugeben und daraufhin die Winkel der Zeichenarme zu bestimmen. Für die Realisierung wurde inverse Kinematik in MATLAB implementiert. Die Bestimmung der Position des jeweiligen Ellenbogengelenks erfolgt über die Berechnung der Schnittpunkte zweier Kreise. Einer der beiden Kreise hat seinen Mittelpunkt bei der aktuellen Position des Stiftes, wobei der Radius die Länge des Unterarms  $r_2$  hat. Der andere Kreis hat seinen Mittelpunkt beim Drehpunkt des Zahnrads, wobei hier der Radius der Länge des Oberarms  $r_1$  entspricht. Für jeden Zeichenarm ergeben sich somit zwei mögliche Schnittpunkte, welche in Abbildung 4 für den linken Zeichenarm exemplarisch veranschaulicht werden. Die Berechnung dieser Schnittpunkte erfolgt mithilfe der MATLAB-Funktion `circirc`.

Aufgrund der mechanischen Gegebenheiten des Zeichenroboters ist jedoch nur einer der beiden Punkte tatsächlich vom Ellenbogen erreichbar. Um zu vermeiden, dass unerreichbare Positionen angesteuert werden, wurde für Motor 1 mittels einer `min`-Funktion der kleinere Winkel und für Motor 2 mittels einer `max`-Funktion der größere Winkel festgelegt. Sobald der Punkt des Ellenbogens bestimmt ist, kann die erforderliche Winkeländerung des Zahnrads, um an diese Position zu gelangen, berechnet werden.

Die vom Stift zu zeichnende Spur besteht aus einer Menge gleichmäßig verteilter Punkte. Die Dichte der Punkte ist in MATLAB manuell einstellbar und beeinflusst die Auflösung der Zeichnung. Die Abarbeitung dieser Punkte durch den Roboter ist in Abbildung 5 dargestellt.

## IV. ERGEBNISDISKUSSION

Im Rahmen der praktischen Umsetzung traten verschiedene Differenzen zwischen dem theoretischen Ansatz und dem realen System auf. Ursachen hierfür sind unter anderem mechanisches Spiel, die elastischen Nachgiebigkeiten der Bauteile sowie

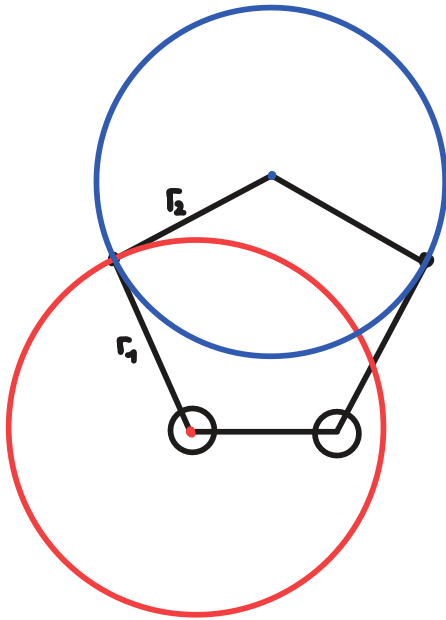


Abbildung 4. geometrische Berechnung der Ellenbogenposition

die begrenzte Winkelauflösung der eingesetzten EV3-Motoren. Diese Effekte führten zu sichtbaren Abweichungen in der Zeichnung.

Darüber hinaus konnten die beiden Motoren nicht synchron angesteuert werden. Dies hatte zur Folge, dass gerade Fahrbewegungen nicht exakt linear, sondern wellenförmig ausgeführt wurden.

Des Weiteren zeigte sich, je nach Position des Stiftes, eine Stauchung oder Streckung der Spur in y-Richtung. Dieses Phänomen ist auf die nichtlineare Änderung der y-Koordinate in Abhängigkeit des Winkels zurückzuführen.

Der Einbau eines Schneckengetriebes zur Verbesserung des Drehmoments stellte eine erforderliche Anpassung dar. Erst durch diese Maßnahme ließ sich die notwendige Spannung der Gummielemente zuverlässig einstellen und aufrechterhalten.

### V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Im Zuge des zweiwöchigen LEGO-Mindstorm-Seminars wurde ein Zeichenroboter konzipiert, konstruiert und programmiert. Ziel war die Entwicklung eines Systems auf der Basis eines 5R-Parallelkinematik-Mechanismus, das schreiben beziehungsweise zeichnen kann.

Der ursprüngliche Konzeptionsansatz mit einem frei beweglichen Roboterarm wurde aufgrund der hohen konstruktiven und kinematischen Komplexität verworfen und durch einen 5R-Parallelkinematik-Mechanismus ersetzt.

Die mechanische Umsetzung erfolgte mit Bauteilen des Systems LEGO Mindstorms. Zur Verbesserung von Drehmoment und Winkelauflösung wurde ein Schneckengetriebe integriert, während zeitgleich ein zusätzlicher motorisierter Hebemechanismus das kontrollierte Anheben des Stiftes ermöglicht. Die Berechnung der erforderlichen Zahnradwinkel erfolgte mittels

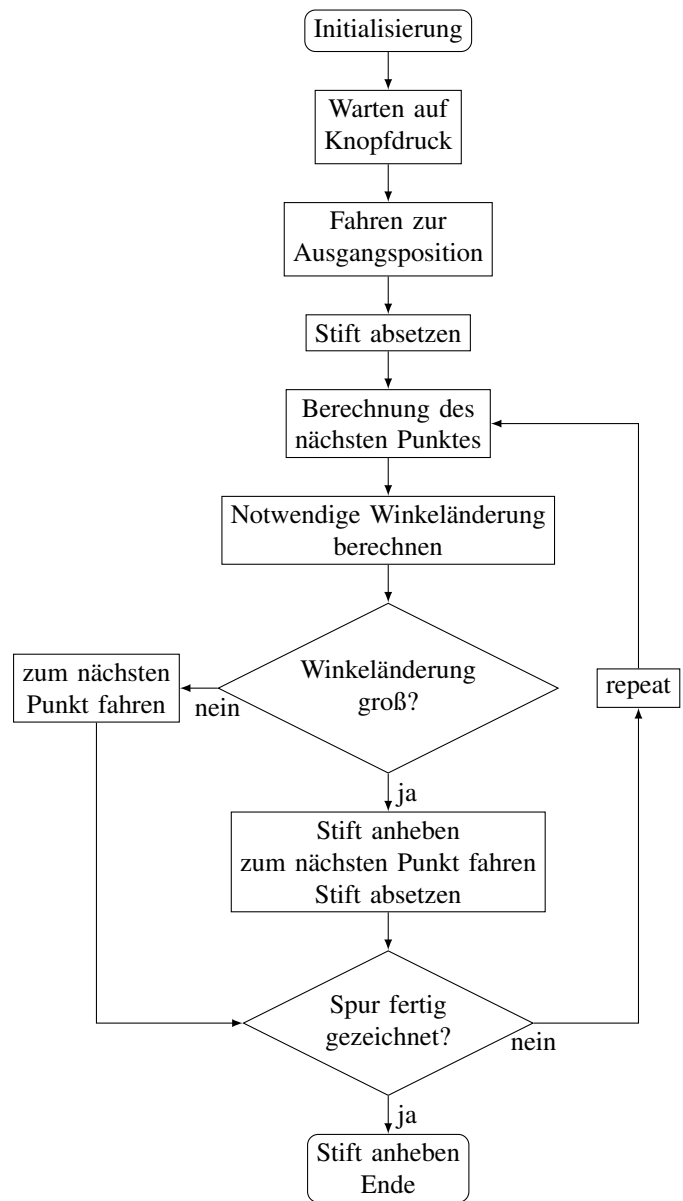


Abbildung 5. Programmablaufplan des Zeichenroboters

inverser Kinematik in MATLAB, wobei die Ellenbogenpositionen über Kreisschnittpunkte bestimmt wurden.

Bei der praktischen Umsetzung zeigten sich Differenzen zwischen dem theoretischen Ansatz und dem realen System, insbesondere durch mechanisches Spiel, elastische Nachgiebigkeit und begrenzte Winkelauflösung. Dennoch konnten einfachere Formen erfolgreich realisiert werden.

### LITERATURVERZEICHNIS

[1] VÁSQUEZ-PINEDA BRYAN, Cardona M.: *Forward and Inverse Kinematics of a 5R Parallel Planar Robot*. In : Technology and Engineering Management Society Conference (TEMSCON LATAM), (2025), <http://dx.doi.org/10.1109/TEMSCONLATAM65810.2025.11238935>, DOI: 10.1109/TEMSCONLATAM65810.2025.11238935