

Einen Abdruck hinterlassen – LEGO Drucker

Marvin Adam, Elektro- und Informationstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Im Rahmen des LEGO-Praktikums 2025 der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wurde ein 3-Farben-Drucker aus LEGO-Komponenten entwickelt. Ziel war es, einen funktionsfähigen, Drucker zu entwerfen und zu bauen. Dieser kann mit einem speziellen Farbauswahlmechanismus in drei Farben drucken. Die Steuerung erfolgte über MATLAB mithilfe der LEGO Mindstorms Toolbox. Damit war es möglich die verschiedenen Motoren und Sensoren der LEGO Mindstorms Sets anzusteuern und zu benutzen. Herausforderungen im Bau und der Software wurden analysiert und gelöst. Der Drucker ermöglicht mit seinen stabilen und aneinander angepassten Komponenten das solide Drucken mit Filzstiften. Die Aufgabe verbindet wichtige ingenieurswissenschaftliche Disziplinen, wie die praktische Arbeit und den theoretischen Grundlagen.

anspruchsvoll, Leistung, LEGO-Mindstorms, praktisch, zeitaufwendig

I. EINLEITUNG

LEGO Mindstorms ist eine Produktreihe von LEGO. Im Mittelpunkt steht immer noch das klassische, kreative Bauen mit Klemmbausteinen, allerdings erweitert mit den Möglichkeiten eines programmierbaren Steins, dem EV3 und einigen Sensoren und Motoren. Dieser EV3 ist in der Lage bis zu je vier Motoren und Sensoren anzusteuern. So werden die kreativen Möglichkeiten denkbar vervielfacht und Programmieren kann näher und greifbarer beigebracht werden [1].

Innerhalb des Projektseminars Elektrotechnik/Informationstechnik (LEGO Mindstorms) wurde die Aufgabe gestellt ein Gerät, mit mehr oder weniger praktischer Anwendung, zu bauen und anschließend in MATLAB zu programmieren. Genutzt wurden dafür LEGO Mindstorms Basis- und Bonus-Sets. Programmiert wurde mithilfe der LEGO Mindstorms Toolbox in MATLAB. So war es möglich die verschiedenen Motoren und Sensoren zu benutzen. Angefangen hat das Seminar mit einem Einstiegskurs in MATLAB. Anschließend gab es einige Aufgaben, um mit der Toolbox umgehen zu lernen. Einfaches benutzen der Sensoren und Motoren in Kombination mit LEGO-Steinen gehörte dazu. Hier steht das Projekt „Drucker“ im Mittelpunkt. Dieser hatte, innerhalb der Begrenzungen von LEGO, einen praktischen Nutzen. Er war sowohl nicht einfach zu bauen als auch schwer zu programmieren. Die große Herausforderung bestand darin alles in dem gegebenen Zeitrahmen zu bewältigen. Zusätzlich sollte auch ein Social Media Account erstellt werden. Ob Instagram,

LinkedIn oder ähnliches war dabei freigestellt. Auf dem Instagram Kanal „legoovgu256“ [2] kann man verschiedene Tagesaufgaben, lustige Memes und den Entwicklungsvorgang sehen und nachvollziehen.

II. BESTANDTEILE DES DRUCKERS

Der Drucker besteht aus vielen einzelnen Komponenten. Damit sind nicht die einzelnen LEGO-Steine gemeint, sondern viele verschiedene Einheiten von Teilen, die zusammen dieses Gerät ergeben. Im größten kann man diese in Basis und Kopf aufteilen.

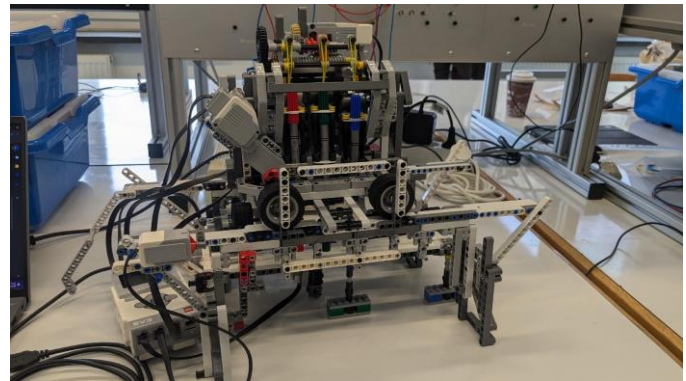


Abbildung 1: fertiger Drucker

A. Basis

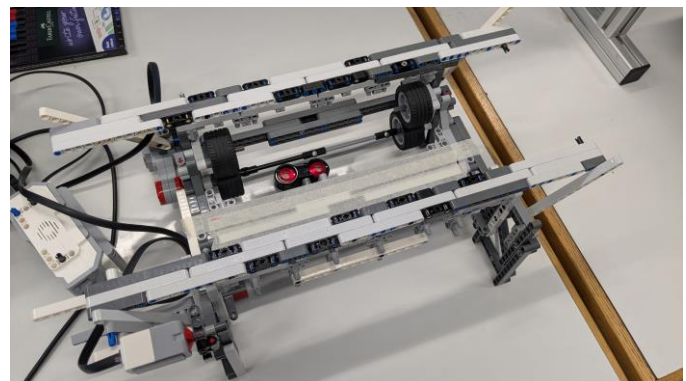


Abbildung 2: Die Basis

Die Basis ist das stabile Fundament. Auf ihr sitzt der spätere Druckkopf. Sie besteht aus zwei Rahmenkomponenten, die über zwei „Querstreben“ miteinander verbunden sind und stabil

zusammengehalten werden. Die beiden Streben wurden einmal hinten und einmal vorne/mittig angebracht. Die mittige Strebe hat dabei gleich mehrere Funktionen. Einmal dient sie der Stabilität, andererseits auch ist sie auch etwas breiter, da sie als Ablage und Gegenkraft für das Papier dient, welches an dieser Stelle bedruckt wird. Dieses Gerüst ist so hoch, dass in entsprechender Höhe zwei Schienen quer sitzen, auf denen der Druckkopf liegt. Diese bieten zusätzliche Stabilität. Da sie zu von einem Rahmen zum anderen gespannt werden, gab es das Problem, dass sie in der Mitte durchgingen. Dieses wurde mit ausreichend Verstärkung und Verbindungen minimiert. Die größte Herausforderung in Bezug auf die Basis bestand ohnehin darin für ausreichend Stabilität zu sorgen. Aufgrund der Eigenschaften von LEGO und dem sehr massiven Druckkopf, war es sehr schwer den Zusammenhalt der Steine zu gewährleisten und mögliches wackeln und spiel zu minimieren.

Zur Basis gehören nicht nur klassische LEGO-Bausteine, sondern auch die speziellen LEGO-Mindstorms-Motoren und Sensoren. Einige finden sich auch in der Basis. Unter der hinteren Strebe ist eine Achse eingebaut, die ebenfalls quer liegt und an beiden Enden mit je einen Reifen verbunden ist. Diese Achse ist an einen Motor angeschlossen. Über diesen Rädern sind, mit minimalsten Abstand, aber noch ausreichender Berührungsfläche, weitere bewegliche Räder angebracht. Wenn der Motor die Achse bewegt, bewegen sich jetzt die beiden unteren Räder. Diese bewegen, aufgrund der Reibung, die oberen beiden Räder. So funktioniert der Papiereinzug. Aufgrund des speziellen Abstandes der Räder mussten die beiden Rahmenkomponenten mehrmals angepasst werden und in sehr spezieller Form gebracht werden. Dieser Mechanismus hat einerseits die Aufgabe das Papier zu fixieren und andererseits hat es in Kombination mit den anderen Sensor der Basis und dem Kopf die Position der zu bedruckenden Stelle zu erreichen, halten und anzupassen. Der Sensor, der in der Basis verbaut ist, ist ein Ultraschallsensor. Dieser ist kurz vor der mittleren Strebe eingebaut und an ihr befestigt. Er zeigt nach oben und misst die Entfernung des nächstgelegenen Objektes. Die meiste Zeit ist das die Decke vom Raum. Schiebt der Motor das Blatt in Richtung Druckfläche erkennt der Sensor wenn das Blatt vor ihm liegt, da jetzt der gemessene Abstand kleiner ist. Nach kurzer wird der Motor angehalten. Ursprünglich war dafür ein Farbsensor vorgesehen, dieser hat allerdings nicht die gewünschte Wirkung gezeigt und somit wurde sich für den Ultraschallsensor entschieden.

Mit dieser Basis ist es möglich, dass alles überhaupt erst funktionieren kann.

B. Druckkopf

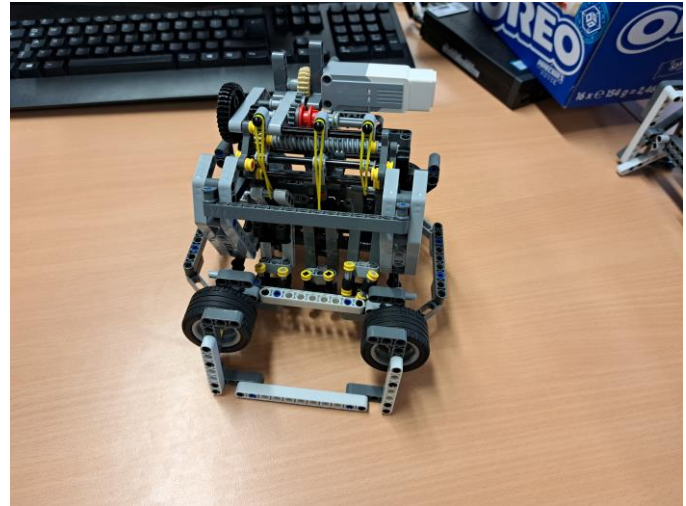


Abbildung 3: Druckkopf ohne Stifte

Der Druckkopf ist, wenn auch optisch kleiner, deutlich kompakter und etwas schwerer als die Basis. Hier ist der größte Teil der Motoren eingebaut. Auch wenn er nicht so aussieht ist auch er eine Zusammenfuhr vieler einzelner Komponenten, die zusammen und perfekt abgestimmt, in der Lage sind drei verschiedene Farben auf das Papier zu bringen.

Der Teil, welcher auf den Schienen sitzt ist der Schlitten. Er ist ein Gerüst mit vier Rädern und zwei Motoren. Er wird mit den Rädern auf die beiden parallelen Schienen gestellt. Ähnlich wie schon bei der Basis sind zwei der Räder über eine Achse mit einem Motor verbunden. Dieser Motor ist der Antrieb. Er bewegt den ganzen Druckkopf, um die richtige Position der Stifte einzustellen. Der zweite Motor hebt den beweglich befestigten Rest des Kopfes hoch und runter. Das hat einmal den Sinn den Kopf und damit auch die Stifte hochzuhalten, wenn sie nicht gebraucht werden oder sich der Kopf zur nächsten Position bewegt, sodass sie nicht versehentlich einen Abdruck auf dem Papier hinterlassen. Der Motor hat auch die umgekehrte Funktion den Kopf in der richtigen Situation herunterzulassen, damit die Stifte an der richtigen Stelle den Pixel drucken können.

Der restliche Druck Kopf hat die Stifte und den Stiftauswahlmechanismus. Die Stifte, in diesem Fall Filzstifte, liegen an ihrer entsprechenden Stelle an einer LEGO Stange. Mithilfe von Gummibändern und einen weiteren Gummiteil von LEGO werden sie festgemacht und auf eine passende Höhe eingestellt. Diese drei Vorrichtungen sind ebenfalls beweglich, mit etwas weniger elastischen Gummi an eine Achse angebracht. Im Normalfall würde bei dieser Bauweise kein Stift einen Abdruck auf dem Papier hinterlassen, da sie so auch mit dem Motor zum Herunterlassen zu hoch wären. Hier kommt der letzte Motor, den wir noch nutzen können, ins Spiel. Über der Achse mit den Stifthalterungen ist eine weitere Achse eingebaut. Diese Achse ist über ihre volle Länge mit aneinander anschließenden Spiralen bestückt. Diese Achse ist an den vierten, und aus Platzgründen kleineren, Motor angebracht.

Zusätzlich wird in das Konstrukt ein dickeres Zahnrad im 90 Grad Winkel, mit verlängerten und nach unten zeigenden Kolben, gedrückt. Dreht sich jetzt der Motor dreht sich die ganze Achse mit den Spiralen und schiebt das Zahnrad in die entsprechende Richtung. Der sich bewegende Kolben drückt die gewünschte Halterung nach unten. Der heruntergedrückte Stift ist so tief genug, um einen Abdruck zu hinterlassen, während die anderen beiden Stifte dafür zu hoch liegen. All diese Komponenten zusammen haben dafür gesorgt, dass der Kopf in der Lage ist seine Aufgabe zu erfüllen.

III. PROGRAMMIERUNG

Ein weiterer wichtiger Teil war natürlich die Programmierung. Diese war nicht einfach und ist sicherlich nicht perfekt, was in der relativ kurzen Zeit, auch nicht machbar ist. Der Code ist objektorientiert und gut strukturiert.

Ohne zu spezifisch zu werden funktioniert das Programm wie zu sehen ist in Abbildung 4.

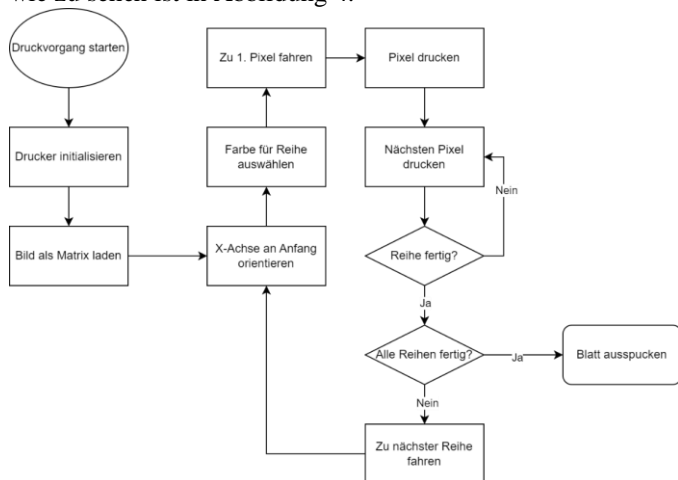


Abbildung 4: Programmablaufplan

Man muss zuerst ein Bild auswählen oder erstellen. Dieses muss eine 32×32-Pixel-Rastergrafik sein. Der Drucker wird initialisiert. Dafür gibt es eine festgelegte Reihenfolge von Aktionen, die ausgeführt werden, um sicherzugehen, dass alles auf der Ausgangsposition ist und funktioniert. Dazu gehört das Fahren des Kopfes in Richtung EV3 bis er gegen einen Knopf drückt, wodurch er einmal in die andere Richtung und wieder zurück fährt. Dann ist er an der richtigen Stelle. Der Stiftauswahlmechanismus wird auf ähnliche Art in Position gebracht. Hier handelt es sich nicht um einen physischen Knopf, der gedrückt wird, sondern um einen Farbsensor. Beim Initialisieren fährt der Kolben in Richtung Sensor. Sobald der Sensor die Farbänderung sieht fährt der Kolben in die entgegengesetzte Richtung und wieder zurück. Damit steht der Kolben an der Ausgangsposition und es wurde getestet, ob die Stifthalterungen halten oder sich der Kolben irgendwie verklemmt.

Nun wird das Bild mithilfe eines passenden MATLAB-Befehls als Matrix geladen. An der Stelle musste aufgrund eines zu hohen Zeitaufwandes festgelegt werden, dass es nur eine Farbe pro Reihe geben soll und kann. Ständiges wechseln der Stifte

würde zu viel Zeit in Anspruch nehmen. Theoretisch wäre es möglich das zu machen, es ist aber im Code nicht implementiert.

Nun wird ausgehend vom beschriebenen Ausgangspunkt die Farbe für die Reihe ausgewählt. Der Kopf fährt jetzt von zu jeden einzelnen Pixel und entscheidet, ob ein Punkt gesetzt werden muss. Wenn ja wird dieser gesetzt, ansonsten hält er trotzdem kurz an, bewegt sich aber nicht nach unten. Ist der Punkt gesetzt oder nicht wird zur nächsten Position gefahren und erneut entschieden. Wenn alle Pixel gesetzt sind ist die Reihe fertig. Sollte das nicht die letzte Reihe sein, beginnt der ganze Prozess von vorne. Der Kopf nimmt die Ausgangsposition ein, das Blatt wird eine Zeile hochgeschoben und so weiter. Sollten alle Reihen fertig sein wird der Vorgang beendet und der Rest vom Papier wird durchgezogen.

IV. PROBLEME DER KONSTRUKTION

Keine Konstruktion ist von Fehlern befreit, so auch diese. Hier liegen viele in den Limitierungen von LEGO.

Einmal ist da die grundsätzlich fehlende absolute Stabilität von LEGO-Steinen. Größtenteils hat die Basis mit diesem Problem zu kämpfen. Trotz vielen Verbindungen ist es fast unmöglich „LEGO vom Wackeln zu befreien“. Wenn sich der massive Kopf bewegt ist dieses Problem zu sehen. Auch wenn dies aufgrund der Konstruktionsart ein sehr kleines Problem ist, ist es doch erwähnenswert. Ähnlich ist es bei den Schienen. Diese müssen über große Distanzen aufgespannt liegen. Das führt dazu, dass sie in der Mitte dazu neigen durchzuhängen. Durch verschiedene Verstärkungen und die erhöhte Dicke konnte auch dieses Problem minimiert werden, bleibt aber bestehen.

Die kompakte Bauart des Kopfes sorgt dafür, dass mögliche oder nötige Veränderungen nur schwer zu beheben sind, da fast alles einmal auseinander gebaut werden müsste. Auch er ist nicht von LEGOs Limitationen befreit. Das größte Problem ist die Kabellänge. Aufgrund der vorgegebenen Kabel von LEGO ist es nicht möglich, dass der Kopf einmal die komplette Schienenlänge fahren kann. Der EV3 konnte an keiner passenden Stelle angebracht werden und stand deshalb seitlich nah an einem Ende der Schiene. Es ist daher nicht möglich die für den Kopf die andere Schienenseite zu erreichen, ohne dass das Kabel abbricht.

Es ist auch nicht möglich in mehr als drei Farben zu drucken, da es keine LEGO Achse gibt, die lang genug ist, um noch mehr Spiralen aneinander zu setzen

Ein weiteres Problem ist der hohe Zeitaufwand des Druckvorgangs. Um den einfachen Text „RIP Fax“ und dazu noch eine kleine Zeichnung zu drucken brauchte das Gerät ungefähr 16 Minuten. Zur praktischen Anwendung ist der Drucker nicht geeignet.

Die Konstruktionsweise des Kolbens im Stiftauswahlmechanismus ist nicht sehr stabil. Es kann passieren, dass dieser rausspringt und der Mechanismus nicht mehr funktioniert.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Die gestellte Aufgabe wurde erfolgreich umgesetzt. Der entwickelte Drucker erfüllt seine Funktion und bietet trotz allem eine praktikable Anwendung innerhalb der Möglichkeiten von LEGO Mindstorms. Die Konstruktion ist ausreichend stabil. Die Basis trägt das Gewicht des Druckkopfs zuverlässig und gewährleistet dessen präzise Bewegung. Der kompakte Druckkopf verfügt über einen effizienten Mechanismus zum Wechseln der Stifte, der in den meisten Fällen reibungslos funktioniert. Die größte Herausforderung stellte die Programmierung dar, die jedoch elegant gelöst wurde. Der entwickelte Algorithmus sorgt für einen strukturierten Ablauf und gewährleistet eine weitgehend fehlerfreie Funktionsweise.

ANHANG

Hier, in Abbildung 6 ist ein kleiner Ausschnitt des Codes. Er soll einmal die Ordnung verdeutlichen. Er zeigt die Struktur des Programmes und den Anfang des Initialisierungsablaufes.

```
classdef Printer

properties
    % Store reference to the EV3 toolbox API here
    brick = EV3()

    % Stores the currently selected color 1..3 or 0 if not initialized
    selectedColor = 0

    % Is 1 if one pen is currently down at the paper
    penDown = 1

    % Matrix to convert a tacho vector into a mm vector
    matTMM = [1,0,0,1]; %TODO Calculate & fill values
end

methods (Access = public)
    % Initialize internal stuff (e.g. USB setup) to be able to later
    % send commands to the printer
    function initialize(obj)
        % Cleanup old connections
        obj.brick.killAllConnections();

        % Old connections should be closed, but check just to make
sure
        % and reconnect
        if ~obj.brick.isConnected
            obj.brick.connect('usb');
        end
    end

    % Printer will turn motors until sensor detects sheet of paper
    % TODO: Handle paper already there (-> sensor) when func-
tion was
    % called
    function insertPaper(obj)
        obj.brick.motorA.setProperties('power', 50, 'brakeMode',
'Brake');
        obj.brick.motorA.start();
        obj.brick.sensor1.mode = DeviceMode.UltraSonic.DistCM;
        while obj.brick.sensor1.value > 8
            end
        obj.brick.motorA.stop();

        %TODO Insert paper a little more to move it to start position
    end
end
end
```

Abbildung 6: Ausschnitt des Codes

[1] siehe Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms,
abgerufen am 26.02.2025

[2] siehe Instagram, <https://www.instagram.com/legoovgu256>