

# Bau eines 3D-Stanzers

## Bericht zum Projektseminar Elektrotechnik/Informationstechnik

Jonas Ratajczak, Mechatronik  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Abstract**— Die folgende Arbeit dokumentiert die wesentlichen Bestandteile eines subtraktiven 3D-Druckers. Hierfür wird die prinzipielle Konstruktion der mechanischen Komponenten als LEGO Gerüst mit dem Mindstorms NXT Baukasten vorgestellt. Darauf aufbauend werden die physischen und informatischen Grundlagen des Druckprozesses erläutert. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf den MATLAB basierten Druckalgorithmus sowie die Vorteile der genutzten Werkstoffe gelegt. Abschließend werden die erreichbaren Bildqualitäten dieser Maschine besprochen und mögliche Verbesserungen am System aufgezeigt.

**Schlagwörter**— 3D-Druck, Bildverarbeitung, LEGO, MATLAB, MINDSTORMS, Stanzen.

### I. EINLEITUNG

In den letzten Jahren hat der Einsatz von 3D – Druckern immer mehr an Bedeutung gewonnen. Ob in der Medizin- und Zahntechnik, dem Automobilbau oder in der Verpackungsindustrie, überall finden sich Anwendungen [1]. Das Problem vieler dieser Anwendungen ist aber ihr hoher Preis. Das hier vorgestellte System zeigt durch Gebrauch eines günstigen Werkstoffes eine mögliche Alternative zu dieser Technik. An Stelle eines Druckprozesses tritt dabei ein Stanzprozess, der dreidimensionale Reliefs in den leicht verformbaren Werkstoff stantzt.

### II. VORBETRACHTUNGEN

Das System soll die Ergebnisse eines 3D – Druckers erzielen, dabei aber ähnlich wie eine Stanze arbeiten. Im Folgenden werden beide Verfahren vorgestellt und es wird auf ähnliche, bereits existierende Ansätze verwiesen.

#### A. 3D – Druck (additive Fertigung)

Für das dreidimensionale Drucken werden drei Verfahren verwendet. Bei der Stereolithographie (SLA) wird flüssiges Epoxidharz durch einen Laser schichtweise gehärtet. Beim Laser-Sintern (SLS) schmilzt ein Laser immer neue Schichten von Kunststoff-, Keramik- oder Metallpulver und schafft somit stabile und harte Strukturen. Bei dem weitverbreiteten Schmelzschichtungsverfahren (FDM) werden thermoplastische Kunststoffe erhitzt und schichtweise übereinandergeschichtet, härten aber nicht vollständig aus.[2]

#### B. Stanzen (subtraktive Fertigung)

Ziel des Stanzens ist es, Flachteile mit bestimmten Formen herzustellen. Dabei kommt eine Presse zum Einsatz, die einen Stempel in den Werkstoff drückt, der mittels Scherschneiden das Flachteil mit einer einzigen Bewegung fertigt. Als Werkstoff werden vor allem Metalle, aber auch Karton und Wellpappe bearbeitet. [3]

#### C. Bisherige Modelle

Das hier vorgestellte Projekt nahm sich ein im Jahr 2014 an der RWTH Aachen entwickeltes System [4] zum Vorbild, das zwar nach dem gleichen Arbeitsprinzip arbeitete, aber für seine Ergebnisse von 22x20 Pixel 40 Minuten brauchte [5]. Ähnliche Ergebnisse können auch von Fräsen erzielt werden. Eine hierfür beispielhafte LEGO CNC Fräse wurde von Arthur Sacek entwickelt [6]. Der Einsatz eines Bohrkopfes als Fräse ermöglichte dort genauere Ergebnisse. Bei den soeben genannten Modellen kam der auch in diesem Projekt verwendete Werkstoff zum Einsatz, welcher im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

### III. UMSETZUNG

Die Funktionsweise der Maschine lässt sich in eine mechanische und eine informatische Komponente aufteilen. In den nachfolgenden, aufeinander aufbauenden Unterabschnitten wird auf beide Komponenten eingegangen.

#### A. Grundkonzept

Das grundsätzliche Arbeitsprinzip des Stanzers ist das Einlesen von Bilddateien und die Verarbeitung dieser zu einem dreidimensionalen Relief. Die hierfür ausschließlich aus Grautönen bestehenden JPEG Dateien geben über die Helligkeit ihrer Pixel dem Stanzer Auskunft über die Tiefe des Reliefs an dieser Position.



Abbildung 1: links: beispielhafte JPEG Datei, rechts: Gestanztes Relief.

Eine gute Veranschaulichung dieses Konzeptes liefert Abbildung 1. Für das zu stanzende Material fiel die Wahl auf Blumenschaum-Steckmasse, da diese einfach formbar und

vergleichsweise günstig ist. Die Bearbeitung dieser geschieht über eine LEGO Mindstorms NXT – Vorrichtung, die durch ein MATLAB basiertes Programm gesteuert wird. Als Schnittstelle zwischen MATLAB und LEGO wurde die Mindstorms NXT Toolbox für MATLAB der RWTH Aachen verwendet [7].

**B. Programm**

Für das Programm des Stanzers wurde ein MATLAB Skript verwendet, welches eine wie in Abb. 2 dargestellte GUI aufruft.

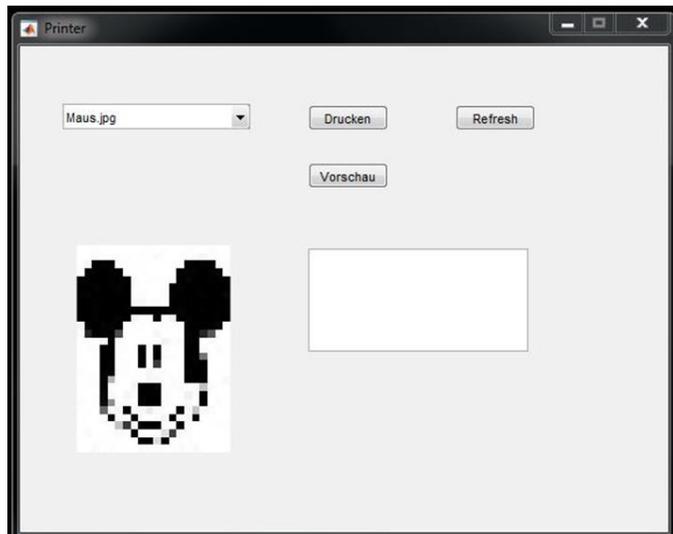


Abbildung 2: GUI des Programms

Die Auswahl der Bilddateien erfolgt über ein Popup Menü, welches bei jedem Betätigen des „Refresh“ Buttons sowie bei Erstaufruf der GUI alle JPEG Dateien des Ordners auflistet, in dem das Programm liegt. Die ausgewählte Bilddatei wird bei Betätigen des „Vorschau“ oder „Drucken“ Buttons in eine Matrix konvertiert, die im in Abb. 2 unten links zu sehenden Vorschaufenster ausgegeben wird. Bei zu kleinen Bildmaßen wird der zu stanzende Bereich verkleinert. Sind die gewählten Pixelmaße zu groß, wird die Datei zwar im Vorschaufenster gezeigt, aber im rechts danebenstehenden Feld wird eine Fehlermeldung ausgegeben und es ist nicht möglich, den Druckvorgang zu starten. Dieser besteht im spalten- und zeilenweisen Abarbeiten der gegebenen Grautonmatrix, wobei der Zeilenindex der Matrix die  $y$  – Koordinate und der Spaltenindex die  $x$  – Koordinate des Bildes darstellt. Der Wert der Matrix an der betrachteten Stelle gibt dem System Auskunft über die Tiefe des Reliefs. Die Eindringtiefe des Stanzkopfes ergibt sich dabei aus der Summe eines festen Abstands zum Werkstoff und dem invertierten und um den Faktor  $1/6$  skalierten Helligkeitswert des betreffenden Pixels. Das Abarbeiten vieler Pixel geschieht dabei in Form von zwei ineinander geschachtelten Schleifen und der Stanzkopfroutine in ihnen, was in Abb. 3 dargestellt wird. Anzumerken ist dabei, dass der Wechsel von einem zeitbasierten, sequenziellen Start – Stopp – System der Motoren zu diesem drehwinkelbasierten Schleifensystem eine Beschleunigung des Prozesses von mehr als 100 Prozent erbrachte. Auf eine weitere Prozessbeschleunigung durch Nutzung des Rückfahrprozesses in  $x$  – Richtung zum Stanzen wurde jedoch verzichtet, da das (durch unvermeidbares teilweises Überlagern der Bewegungen) zu unterschiedlich ausgerichteten Schrägen in

den Pixeln führen würde, was das Relief unsauberer erscheinen ließe. Um mechanisch, zeitlich und qualitativ optimale Ergebnisse zu erreichen werden außerdem die Motoren der  $x$ - und  $y$ - Richtung mit 100 Prozent ihrer Leistung, der Motor für den Stanzprozess allerdings nur mit 70 Prozent seiner möglichen Leistung betrieben.

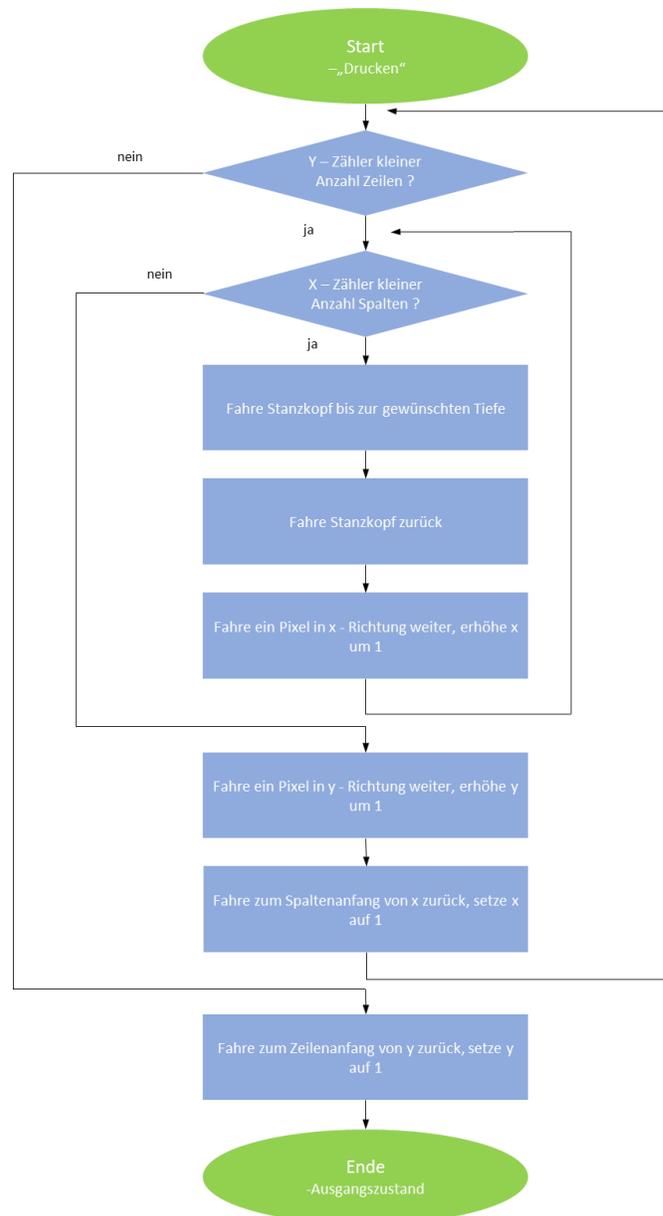


Abbildung 3: Programmablaufplan des Druck-Prozesses

**C. Antriebssysteme**

Die genaue Ansteuerung einzelner Pixel des Reliefs erfordert die Beweglichkeit des LEGO Systems in  $x$  – und  $y$  – Richtung des Bildes. Bei beiden Bewegungsrichtungen ist eine möglichst langsame Übersetzung der Motordrehzahlen durch Getriebe förderlich, da dies präzise Bewegungen und somit hohe Bildqualität ermöglicht. Die gesamte Vorrichtung fährt, wie in Abb. 4 zu sehen, auf vier mit Gummireifen bezogenen Rädern, die die Bewegung in  $y$  – Richtung ermöglichen. Die Räder werden von Schienen geführt, damit die Fahrspur gerade ist. Um eine zuverlässigere Bewegung zu gewährleisten, fahren die

Räder auf einer ebenen Papierunterlage (rechts im Bild zu sehen), und die durch die Schienen ausgeübten mechanischen Spannungen werden durch Erhöhung der Führung reduziert, wodurch sich der Druck auf die Räder vermindert (links im Bild zu sehen).

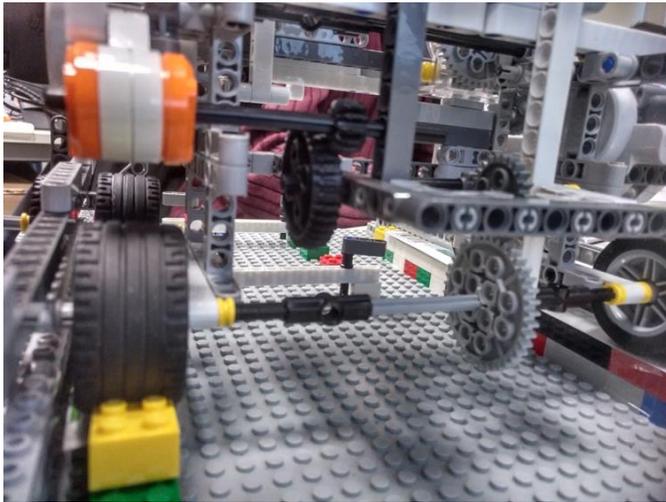


Abbildung 4: Antrieb für die y - Achse

Auf diesem Grundgerüst liegt die Vorrichtung für die Steuerung des Stanzkopfes in x – Richtung, wobei der Motor hierfür statisch an dem Gerüst fixiert ist. Über das in Abb.5 dargestellte Getriebe bewegt er eine Zahnradschiene, an welche der Stanzkopf fest installiert ist. Dessen Gewicht wird dabei durch einen Schlitten getragen, was in Abschnitt „D. Schreibkopfsysteme“ genauer erläutert wird.

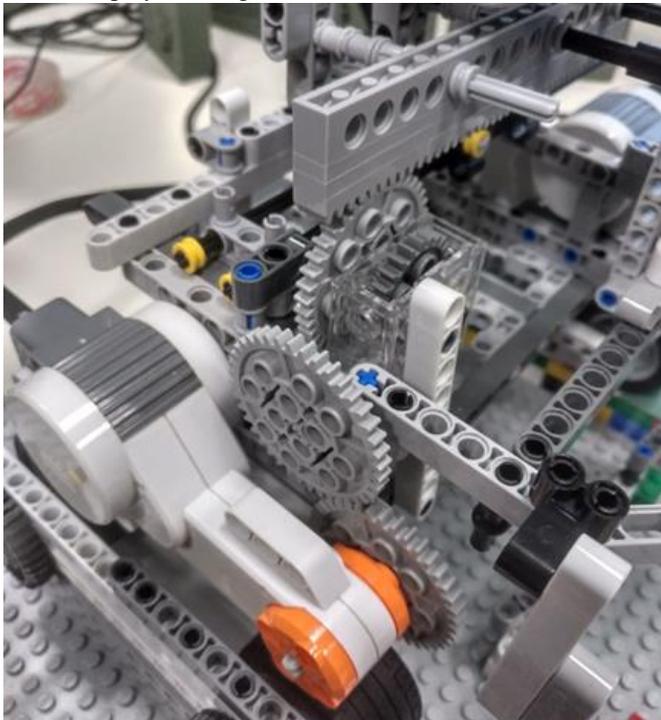


Abbildung 5: Antrieb für die x - Achse

Bei mehrfacher Bewegung des Schlittens summierte sich allerdings ein kleiner Messfehler in den Motoren auf, der zu einer scheinbaren Scherung des Reliefs, wie sie in Abb. 1 zu sehen ist, führte. Dieser Fehler wurde jedoch durch das

Anbringen eines Tastsensors behoben, der den Winkelzähler des x - Motors regelmäßig bei Erreichen des rechten Bildrandes auf null zurücksetzt. Ein weiteres Problem war die teilweise Überlagerung von Bewegungen, wie sie bereits in Abschnitt „B. Programm“ angesprochen wurde. Diese führte sowohl dazu, dass die erste Spalte jeder Zeile schief war, als auch dazu, dass die Pixel jeder Zeile entgegengesetzt zu denen der ihr benachbarten Zeilen orientiert waren. Beide Probleme wurden dadurch behoben, dass der Zurückfahrprozess nach rechts keine Stanzungen ausführt, sondern nur der Justierung des Systems dient.

#### D. Schreibkopfsysteme

Der Schreib- oder genauer Stanzkopf basiert auf einem bereits im vorherigen Unterabschnitt erwähnten Schlitten. Dieser gleitet, wie in Abb. 6 zu sehen ist, durch die horizontale Zahnradschiene angetrieben auf der dafür vorhergesehenen Vorrichtung und trägt die Hauptlast des Stanzkopfes.

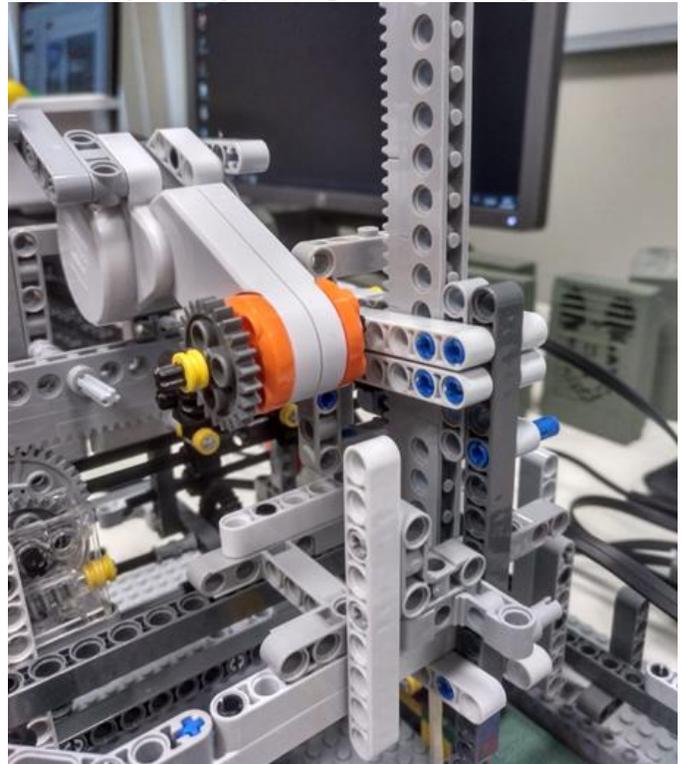


Abbildung 6: Stanzkopf mit Schlitten unter dem Motor

Auf diesem Schlitten ist eine vertikale Zahnradschiene so montiert, dass die Rotation des dritten Motors über ein schnell übersetzendes Getriebe zu einer Auf- oder Abwärtsbewegung der Schiene führt, womit der Stanzprozess ausgeführt wird (siehe Abb. 6). Nachteil der hohen Geschwindigkeit des Stanzprozesses war eine Aufsummierung der Messfehler im Motordrehwinkel, was zu einer allmählichen Fehlplatzierung der Schiene führte. Behoben wurde dieser Fehler durch statistische Messungen, die zeigten, dass eine Verkürzung des Hochfahrprozesses um 20 Grad die Schiene wieder zurück zur Ausgangsposition bringt. Am unteren Ende der Zahnradschiene ist der Stanzkopf montiert. Hierbei kamen zwei Systeme zum Einsatz, die in Abb. 7 zu sehen sind. Die erste Variante bestand aus einem quadratisch geschliffenen Metallstück, das an eine

LEGO – Stange geklebt wurde. Das erlaubte saubere und stets konstante Pixelerscheinungen. Die finale Variante, bestehend aus einem Holzstab, ermöglichte jedoch eine Verdopplung der Bildgröße und Bildqualität, was den höheren Verschleiß des Holzstabes kompensierte. Um gute Bildqualität zu gewährleisten, war auch das Fixieren der Steckmasse am Boden sowie die zusätzliche Verankerung des Gestells mit den in Abschnitt „C. Antriebssysteme“ beschriebenen Führungsschienen erforderlich. Diese sieht man in Abb. 6 im unteren rechten Bildteil.

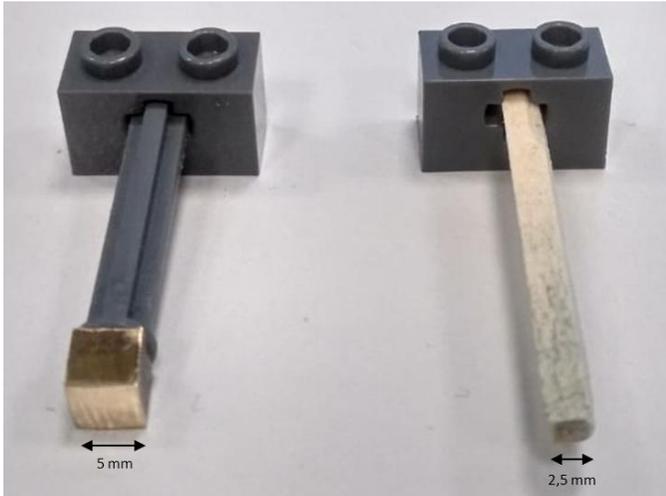


Abbildung 7: links: Metallstanzkopf rechts: Holzstanzkopf

#### IV. ERGEBNISDISKUSSION

Mit der finalen Version des 3D - Stanzers ist es möglich, schwarz – weiß Bilder im 20 x 30 Pixel Format zu drucken. Die unterschiedlichen Pixeltiefen erzeugen dabei eine gute Schattierung und ermöglichen auch einen dreidimensionalen Bildtiefeffekt. Wie in Abb. 8 zu sehen ist, haben die Pixel in x – Richtung des Bildes einen optimalen Abstand zueinander. Bei den Pixeln in y – Richtung kommt es bei 50 Prozent der Reihen zu vergrößerten Abständen, was sich in für das Gesamtbild geringfügig störenden Wänden äußert. Dieser Fehler wurde zwar bereits durch langsamere Übersetzungen, glattere Oberflächen und geringere mechanische Spannungen reduziert, konnte jedoch nicht vollständig beseitigt werden.

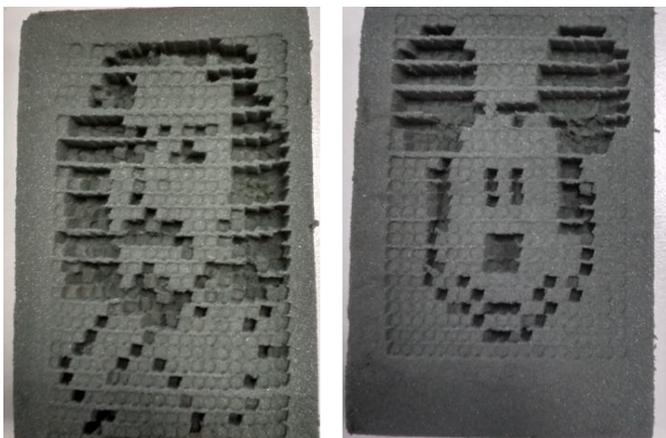


Abbildung 8: Stanzergebnisse, links Otto von Guericke, rechts Cartoon Figur

Für das Stanzen eines Bildes der maximalen Bildgröße benötigt der 3D-Stanzer etwa 12 Minuten, wobei der Prozess bei kleineren und helleren Bildern weniger Zeit beansprucht. Der Verschleiß des Stanzkopfes ist so gering, dass die Auswirkung auf die Bildqualität nach einer Anzahl von mehr als zehn Bildern als Minimal einzustufen ist. Damit produziert die Maschine auch nach längerer Zeit in Betrieb korrekte Bilder. Dies wurde von uns für den veranschlagten Untersuchungszweck hinsichtlich Kosten/Nutzen Verhältnis als ausreichend bewertet. Eine Verbesserung der Standzeit des Werkzeugs wäre durch einen Stanzkopf aus Metall mit den Abmessungen des verwendeten Holzstanzkopfes möglich.

#### V. ZUSAMMENFASSUNG

Durch den Einsatz von drei Motoren, einem NXT- Modul von LEGO sowie einem Streichholz als Stanzwerkzeug ist es möglich, einen 3D – Stanzer zu konstruieren. Die von der Maschine erzeugten Bilder sind, wenn auch durch dünne horizontale Streifen gestört, stets originalgetreu. Deshalb eignet sich der Stanzer eher zum Darstellen von Schwarzweißbildern als zum Darstellen dreidimensionaler Strukturen, wobei der Bildtiefeffekt dennoch genutzt werden kann. Das Projekt dient zwar vorrangig dem Simulieren von dreidimensionalen Fertigungsprozessen, weißt aber besonders durch das Einlesen der Stanzdaten über Computerdateien großen Praxisbezug auf. Mögliche Verbesserungen des Systems wären die Verwendung genauerer Motoren sowie der Einsatz von Zahnradschienen an Stelle der Reifen, was aber viel mehr Zahnradschienen und breitere Zahnräder erforderte. Eine weitere deutliche Steigerung der Produktqualität würde der Einsatz einer Fräse als Schreibkopf bringen. Ein solches System könnte vermutlich sogar Anwendungsgebiete außerhalb der Forschung finden.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] *Universität Trier: Neue Geschäftsmodelle mit 3D-Druck* [https://www.uni-trier.de/fileadmin/fb4/prof/BWL/MIT/Download/08-SS\\_16/2016\\_09\\_30\\_Block\\_3D\\_Druck\\_CityCampus.pdf](https://www.uni-trier.de/fileadmin/fb4/prof/BWL/MIT/Download/08-SS_16/2016_09_30_Block_3D_Druck_CityCampus.pdf). Version: Juni 2019
- [2] *3DRUCK.COM: Übersicht der aktuellen 3D-Druckverfahren* <https://3druck.com/3d-druck-grundkurs/uebersicht-3d-druckverfahren/>. Version: Juni 2019
- [3] *Schober Technologies: Was ist Stanzen?* <https://www.schobertechnologies.de/unternehmen/wissen-kompakt/stanzen/>. Version: Juni 2019
- [4] *Die J.A.M.M.E.R.: J.A.M.M.* <https://mindstorms.lfb.rwth-aachen.de/index.php/roboter/56-roboterwinter2013/roboter-des-jahres-2013/454-jammm128>. Version: März 2019
- [5] *Shurrikane: 3D Milling Machine.* <https://www.youtube.com/watch?v=gYN3RIQwWF0&feature=youtu.be>. Version: März 2019
- [6] *NETZ Konstrukteur: LEGO CNC Fräse erstellt dreidimensionale Objekte.* <https://netzkonstrukteur.de/lego-cnc-fraese-erstellt-dreidimensionale-objekte/>. Version: März 2019
- [7] *RWTH Aachen: Mindstorms NXT Toolbox.* <https://www.mindstorms.rwth-aachen.de/>. Version: März 2019