Jugend forscht Arbeit

3D-Druck mit PET-Flaschen

Eine Arbeit von

Yannik Dumon

und

Timo Keller

Inhalt

1. Motivation 2
2. Zielsetzung & Pläne 2
3. Worin unser Projekt besteht, durchgeführte Tätigkeiten 3
4. Was ist PET 4
5. Bisher durchgeführte Tätigkeiten 4
6. Prozessanforderungen und Lösungen 6
6.1 Schneideeinheit zum Herstellen des PET Filaments 7
6.2 Rundung 9
6.3 Aufschmelzen und Drucken 9
7. Ausblick 10

1. Motivation

Seit klein auf interessieren wir uns für Technik und Elektronik. Als wir das erste Mal vom 3D-Druck und den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten dieser Technik erfuhren, waren wir sofort begeistert. Leider sind solche Geräte und das dafür benötigte Filament sehr teuer. Nun sind einige Jahre vergangen, unser Interesse am 3D-Druck jedoch nicht. Deshalb beschlossen wir einen eigenen 3D-Drucker zu bauen. Dabei stellten wir uns die Frage, ob es möglich ist, direkt das Filament aus einer PET Flasche zu gewinnen ohne den teuren und Energieaufwändigen weg über das konventionelle Kunststoffrecycling zu gehen.

Der Vorteil bei der Verwendung von PET sind im Gegensatz zu herkömmlichen Filamenten, die hohe Bruchfestigkeit, Formbeständigkeit, Lebensmittelfreundlichkeit, sowie die einfache, kostengünstige Möglichkeit an das Material zu kommen und die Möglichkeit, durch Recycling die Umwelt zu schützen. Außerdem entstehen im Vergleich zu manch normalen Filament keine giftigen Dämpfe.

Bei herkömmlichen Recyclingmethoden müssen die PET-Flaschen zuerst gepresst, dann mittels des Einsatzes von Maschinen und Personal von Fremdkörpern selektiert werden. Anschließend wird das PET zerkleinert, gewaschen und durch Schöpfen von Papierfasern, sowie mittels Luft schließlich von Folien und Polyesterstücken getrennt und anschließend getrocknet.
Hierfür wird im Vergleich zu unserer Methode des Recyclings relativ viel Wasser und Strom verbraucht.

2. Zielsetzung & Pläne

Ziel der Arbeit ist es, mit möglichst einfachen Mitteln ein System zu bauen, dass es ermöglicht, aus PET-Flaschen einen dünnen Plastikstreifen zu schneiden, diesen zu runden, schmelzen.

Schließlich möchten wir Untersuchungen durchführen, wie sich das selbst hergestellt Filament im Gegensatz zu kommerziellem Filament in

physikalischen Eigenschaften, wie z.B. Formbeständigkeit, Bruchfestigkeit, Hitze- und Kältebeständigkeit und chemischen Eigenschaften, wie z.B. Säure- und Basenbeständigkeit verhält.

Im nächsten Projektschritt möchten wir dann eine 3- Achsen-Positioniervorrichtung bauen und mittels X-Y-Z Koordinaten Ansteuerung automatisiert Teile drucken.

3. Worin unser Projekt besteht, durchgeführte Tätigkeiten

Der 3D-Druck ist ein Verfahren zur Werkstückfertigung, bei dem das dreidimensionale Werkstück schichtweise aufgebaut („gedruckt“) wird. Als Filament (Draht aus Druckmaterial) werden entweder Metalle oder Kunststoffe, typischerweise ABS oder PLA, verwendet. Die Auswahl erfolgt je nach Anwendungsbereich, entsprechend der Materialeigenschaften. Wir haben uns überlegt, aufgrund der guten Verfügbarkeit, sowie der chemischen Eigenschaften, PET als Filament zu verwenden.

4. Was ist PET

Polyethylenterephthalat (PET) ist ein Kunststoff, welcher zur Familie der Polyester gehört. Dieser wird aufgrund seiner Lebensmittelfreundlichkeit als Lebensmittelverpackung, vor allem als Getränkeflaschen Material verwendet. Der Kunststoff ist ein Thermoplast und lässt sich ab etwa 250°C gut verformen. Dies ist aber ein Nachteil, denn die üblichen Filamente haben einen deutlich (mindestens 100°C niedrigeren) Schmelzpunkt. Zum Schmelzen von PET muss also eine höhere Temperatur erzeugt werden um das Material verarbeiten. Hingegen ist es von Vorteil, dass dieser dadurch hitzebeständiger, sowie bruchfest und formbeständig ist.

Eigenschaft	PET (Polyethylenterephthalat)	ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol)	PLA (Polylactide)
Aggregatzustand	Fest	fest	fest
Dichte	1,38 g·cm−3 (20 °C)	1,04 bis 1,12 g · cm−3	1210–1430 kg/m3
Schmelzpunkt	250–260 °C	ca. 105 °C	150–160 °C
Glastemperatur	70 °C		45–65 °C
Kristallinität	Teilkristallin		
Elastizitätsmodul	4500 N·mm−2 längs und quer	1900–2700 MPa (DIN 53457)	
Wasseraufnahme	0,5 %		0.5–50 %
Löslichkeit	praktisch unlöslich in Wasser	unlöslich in Wasser, Ethanol, Mineralölen löslich in Aceton, Methylethylketon, Dichlormethan	•
Thermischer Ausdehnungskoeffizient	7·10−5K−1		
Zugfestigkeit		32 bis 56 N · mm−2	10–60 MPa
Wärmeleitfähigkeit		0,18 W · m−1 · K−1	
Schlagzähigkeit			0.16–1.35 J/cm
Bruchdehnung			1.5–380 %

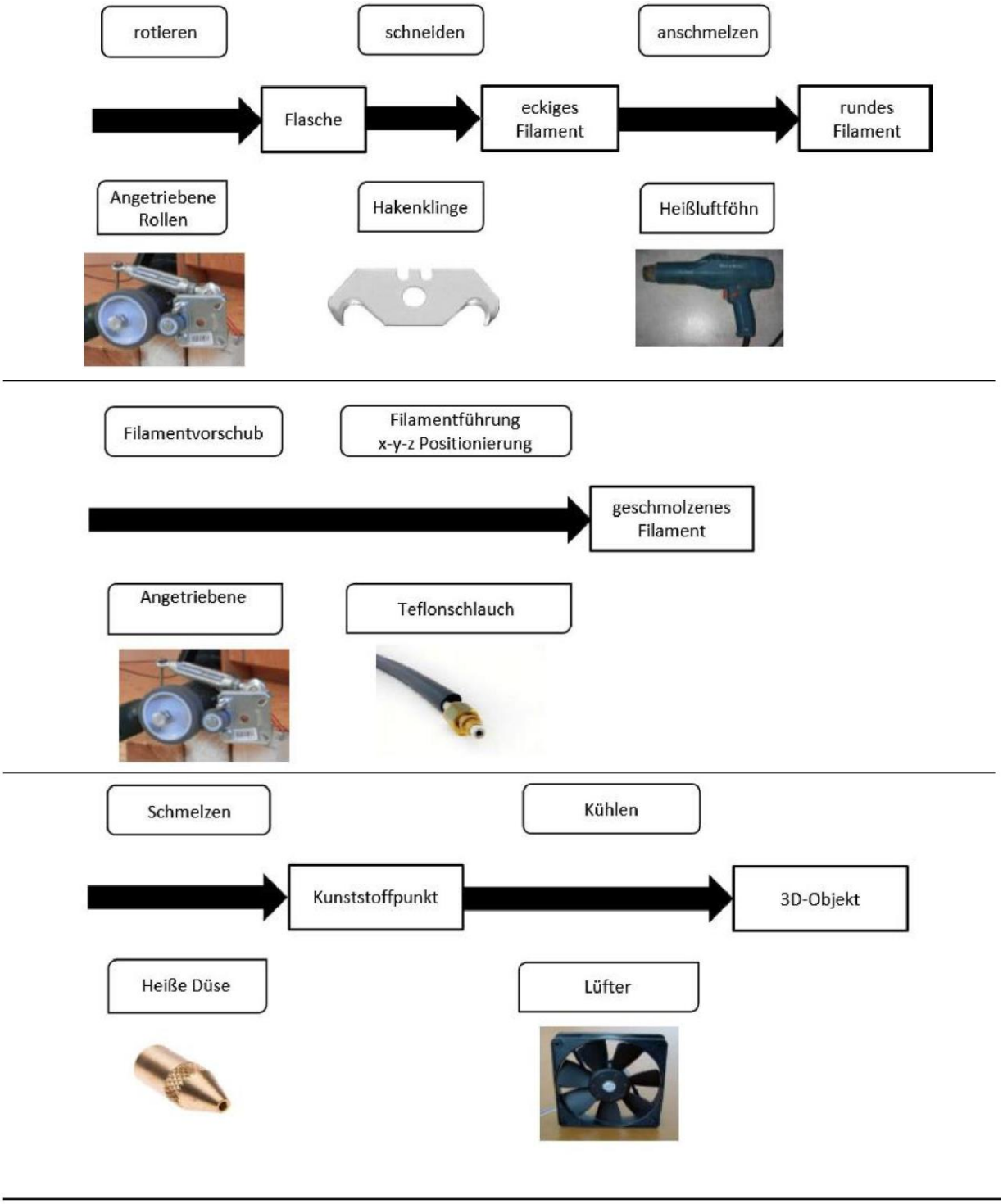
4.| Eigenschaften von PET im Vergleich zu herkömmlichen Filamenten

5. Bisher durchgeführte Tätigkeiten

Bisher haben wir Überlegungen durchgeführt, wie wir die grundlegenden, mit dem Projekt verbundene Anforderungen, lösen können.
Dazu haben wir eine Reihe von Experimenten durchgeführt, unter Anderem bezüglich der Anforderung an das Aufschmelzen des PET Materials. Als Resultat haben wir in einem umgebauten Lötkolben eine geeignete Heizeinrichtung für das Schmelzen des PETs gefunden.
Ein weiterer Schwerpunkt unserer bisherigen Tätigkeiten waren Versuche zum Schneiden der dünnen PET Streifen aus Getränkeflaschen.

Da wir für die einzelnen Prozessschritte durch Vorversuche die grundsätzliche Funktion nachgewiesen haben, sind wir zuversichtlich, die einzelnen Schritte auch automatisiert als Anlage aufbauen zu können

6. Prozessanforderungen und Lösungen



6.1 Schneideeinheit zum Herstellen des PET Filaments

Bei Versuchen mit einer beheizten Klinge zum Schneiden des PETs erwies diese Lösung sich als problematisch, da dieses beim Weiterrollen Fäden zog und sich zusammenzog.
Eine weitere Idee war, das Filament mit einer Mini-Trennscheibe zu schneiden, aber auch hier entsteht zu viel Reibungswärme, so dass das Material Fäden zieht.

Am Aussichtsreichsten erwies sich das Schneiden mit einer scharfen Klinge (Cutter) Dabei wurde mit einer Hakenklinge die besten Ergebnisse erzielt.

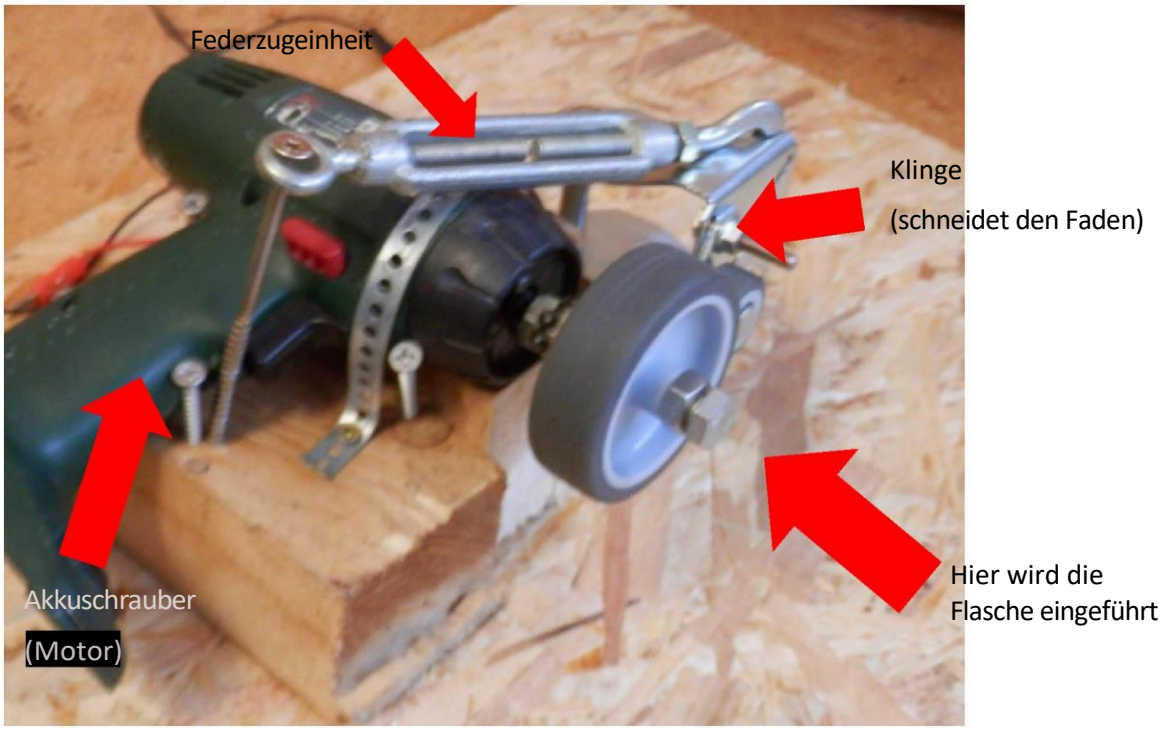
Um das Filament automatisch schneiden zu können, bauen wir eine Schneideeinheit:

Um aus einer PET Flasche ein Filament mit definierter Stärke schneiden zu können, muss die PET- Flasche rotieren, damit das feststehende Messer einen Streifen abschneiden kann. Weiterhin muss die Flasche nachgeschoben werden, damit ein gleichmäßiger Faden entsteht.
Grundsätzlich haben wir hierfür zwei Lösungen: Eine Möglichkeit ist, die Flasche gegen einen Anschlag zu schieben, z.B. mittels Federkraft. Die Messerklinge steht in dem gewünschten Abstand zum Anschlag. Wenn die Flasche gedreht wird, wird spiralförmig das Filament geschnitten. Eine andere Möglichkeit ist, die Flasche über einen Linearantrieb nachzuschieben. Dieses ermöglicht es, die Schnittweite und somit die Filamentbreite über die Ansteuerung zu variieren.

Um das Filament schneiden zu können, muss die Flasche rotieren. Da das Schneiden mit einer Klinge hohe Kräfte erfordert, benötigen wir einen leistungsstarken Antrieb, der langsame Rotation erzeugen kann. Diese Funktionalität haben wir in einem Akkuschrauber gefunden.
Zunächst haben wir die Flasche an dem Schraubdeckel an dem Akkuschrauber befestigt und Schneideversuche durchgeführt. Die auftretenden Kräfte sind jedoch recht hoch, so dass die Flasche diese teilweise nicht aufnehmen kann und zerknittert.

Um dieses Problem zu umgehen müssen wir die Kräfte möglichst nah an der Klinge aufnehmen. Dies haben wir erreicht in dem wir die Wandung der PET Flasche unmittelbar an der Klinge fassen.
Kernstück der Schneideeinheit ist der Akkuschrauber, auf welchem ein großes, gummiertes Rad befestigt ist. Die Flasche, deren Boden vorher abgeschnitten wurde, wird nun über das Rad gestülpt. Eine kleine, durch eine

Federzugeinheit gegen das große Rad drückende Rolle, erzeugt die Gegenkraft auf die Flaschenwandung. Die Zugeinheit hat den Nutzen, die Flasche einerseits gegen die Klinge zu drücken und durch die dynamische Konstruktion, sich an Unebenheiten der Flasche anzupassen und so auszugleichen. Je schmäler das Rad ist, desto besser kann sich dieses auf kleinste Unebenheiten anpassen. Deshalb wählten wir hier das kleinere Rad. Um ausreichend Reibungskräfte zu übertragen muss die kleine Rolle mit hoher Kraft gegen die Große Rolle drücken. Diese Kräfte werden durch eine Zugeinheit erzeugt, welche mit einer Rechts-Linksgewinde Spanneinheit gespannt werden kann. Die Geschwindigkeit des Akkuschraubers kann durch eine. Eingangsspannung (0 - 12V) geregelt werden. Eine Spannung von etwa 3,5 Volt erwies sich als am besten.



6.1| Die Schneideeinheit

Schneidevorgang:

Die Flasche wird gegen eine Hakenklinge geschoben, welche an der Zugeinheit mit der kleinen Rolle befestigt ist. Die Flasche wird über eine umgebaute Lineareinheit, die ursprünglich aus einem Drucker stammt, schrittweise in die durch den Akkuschrauber angetriebene Schneideeinheit geführt. Da diese Lineareinheit von einem Schrittmotor, gesteuert durch einen Arduino Microcontroller, angetrieben wird, lässt sich die Schnittbreite, je nach Geschwindigkeit dieses Schrittmotors, relativ zur Drehgeschwindigkeit des Akkuschraubers, anpassen.

6.2 Rundung

Es ist zu erwarten, dass das nach dem Schneidevorgang eckige Filament beim Aufschmelzen in der Düse Schwierigkeiten bereitet und eventuell auch Lufteinschlüsse erzeugt.
Um dem vorzubeugen möchten wir das Filament runden.
Hierzu gibt es zwei Lösungsansätze:
Zum einen erwarten wir, dass das die Kanten des eckigen Filaments rund schmelzen, wenn wir das Filament durch den Luftstrom eines Heißluftföns (bis 1000°C Lufttemperatur) führen.
Eine andere Lösung ist, das Filament durch eine erhitzte, runde Vordüse gepresst wird und somit in eine runde Form gebracht wird. Dies hat den Vorteil, dass das Filament gleichmäßig geformt wird und damit zum gezielten Drucken von Punkten besser geeignet ist.
Außerdem ist ein rundes Filament auch mit anderen 3D-Druckern kompatibel.

6.3 Aufschmelzen und Drucken

Das zuvor hergestellte Filament wird in einer, durch eine Lötkolbenheizeinrichtung, auf 250°C geheizten Düse einer Heißklebepistole gepresst und aufgeschmolzen.
Der Vortrieb soll dadurch erzeugt werden, dass das Filament zwischen zwei aufeinandergepressten Rollen geführt wird, von denen eine angetrieben wird. Diese Konstruktion entspricht im Prinzip der des Antriebs der Flasche in der Schneideeinrichtung.
Nach den Antriebsrollen muss dann das Filament in einem Schlauch geführt werden, um die Krafteinleitung durch die Rollen bis in der Düse in der Schubrichtung des Filaments zu halten, da das Filament ohne diese Stützeinrichtung seitlich wegknicken würde.
Das Filament wird schließlich in der Düse geschmolzen, so dass auf der Austrittsseite Flüssiges PET austritt.
Das Flüssige PET kann nun durch Materialauftrag eine Figur erzeugen.

Das automatische Erstellen einer vorher programmierten Figur kann schließlich über eine 3-Achsen Positionierung erreicht werden. Hier sind zwei Lösungen möglich:
Entweder ist die Düse starr montiert, und die Druckfläche mit dem Druckobjekt wird entsprechend der Anforderung bewegt, oder die Druckfläche ist starr und die Düse wird mittels X-Y-Z-Koordinatenansteuerung bewegt.
Nach dem Auftragen wird das Material durch einen Lüfter gekühlt, um es in seiner Position zu fixieren.

7. Ausblick

Wenn wir den eigentlichen Prozess der Filamentherstellung sicher im Griff haben, möchten wir wie oben beschrieben eine X-Y-Z Positioniereinheit bauen, mit der es möglich sein wird, Automatisch ein dreidimensionales Objekt zu drucken. Diese soll mittels eines Arduino-Microcontrollers, in dessen Programcode die Grundform und Höhe, angesteuert werden.
Die Ansteuerung des 3- Achsen Antriebs soll entsprechend einer vorher gefüllten EXCEL Tabelle erfolgen. Hiermit möchten wir dann einfache geometrische Körper drucken.

Quellen: Unsere Recherchearbeit basiert auf diversen Texten aus dem Internet.