



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

ALTENSTEIG

Festigkeitsuntersuchung an 3D-Druckteilen

Simon Helber
Jonas Rauser

Schule:
OHG Nagold

Jugend forscht 2016

Schüler experimentieren

Festigkeitsuntersuchungen an 3D-Druckteilen

vorgelegt von

Simon Helber und Jonas Rauser

In Zusammenarbeit mit dem Jugendforschungszentrum Nagold-Schönbuch

Jugend forscht 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Projektbeschreibung	1
2	3D-Drucker	1
2.1	Arten	1
2.1.1	Selektives Lasersintern (SLS).....	2
2.1.2	Stereolithografie (SLA).....	3
2.1.3	Fused Deposition Modeling (FDM)	4
2.1.4	Funktionsprinzip eines FDM-Druckers im Detail.....	4
2.2	Herstellung der Kunststoffprobe	5
3	Biegeversuch	6
3.1	Messprinzip.....	7
3.2	Versuchsaufbau	8
3.2.1	Referenzmessung	9
3.3	Messungen	13
4	Fazit	14
5	Danksagung	15
	Quellenverzeichnis	15
	Literaturverzeichnis.....	16
	Verzeichnis der Internetquellen	16
	Verzeichnis der Gerichtsentscheidungen.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
	Verzeichnis der Verwaltungsanweisungen.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1 Projektbeschreibung

Rapid Prototyping Verfahren versuchen mit der Qualität der Ergebnisse immer näher an die Realität heranzukommen, damit man Kundenwünsche sofort auf ein Produkt abbilden kann. Besonders hervorzuheben hat sich bei den Verfahren hierbei das sogenannte Fused Deposition Modeling (FDM), welches wir üblicherweise als den 3D-Druck bezeichnen.

Wir wollen mit der Hilfe eines selbst aufgebauten Biegeversuches herausfinden, inwieweit sich die Festigkeit eines Serienteiles von der eines FDM- Teiles unterscheidet.

Dabei messen wir einerseits die Durchbiegung und andererseits die Kraft, welche wir mit dem Hookeschen Gesetzes (Federgesetz) bestimmen. Mit diesen beiden Kennwerten leiten wir dann Festigkeitswerte ab und vergleichen diese miteinander.

2 3D-Drucker

Unter einem 3D-Drucker versteht man ein Gerät welches ein zuvor konstruiertes dreidimensionales Objekt herstellt. Man vergleicht dies gerne mit einem Drucker da man einen Herstellungsauftrag gibt und das Gerät dieses Objekt dann „druckt“

2.1 Arten

Es gibt verschiedene 3D-Drucker. Wir beschreiben die verschiedenen Arten um zu zeigen, wie sie funktionieren. Um darauf hinzuweisen welche Art was für Vor- und Nachteile hat und um Vergleiche zwischen den verschiedenen Druckern herzustellen.

2.1.1 Selektives Lasersintern (SLS)

Beschreibung: Beim SLS gibt es zwei nebeneinander stehende Behälter mit auf- und abfahrendem Boden, welches man auf dem Bild sehr gut sieht. Der linke Behälter enthält den Pulvervorrat. Der rechte Behälter ist leer und hat nur eine auf- und abfahrende Platte.

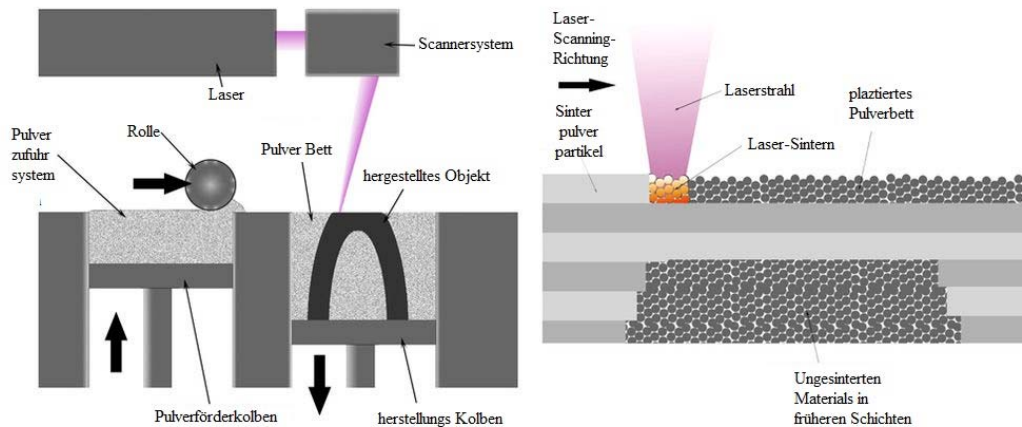


Abbildung 2-1: Prinzip eines SLS-Druckers

Quelle: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/fdm.png>

Mit einer Rolle, die auf der linken langsam hochfahrenden Platte im Behälter liegt, wird immer wieder eine dünne Schicht Pulver aufgetragen, die später mit einem Laser in die gewollte Form geschmolzen wird. Danach wird das Material in der gewünschten Form wieder fest.

Serienfähigkeit: Das SLS ist ein sehr schnelles Rapid Prototyping Verfahren und hat deshalb eine gute Serienfähigkeit

Vor- und Nachteile: Das SLS hat eine hohe Genauigkeit, ist temperaturbeständig, robust und das bei vergleichsweise niedrigen Kosten. Dabei ist die Oberflächenqualität eher schlecht.

2.1.2 Stereolithografie (SLA)

Beschreibung: Bei dem Verfahren SLA befindet sich das Werkstück in einem Bad aus Flüssigkeit. Diese Flüssigkeit heißt Photopolymer. Das Werkstück wird nach und nach tiefer abgesenkt. Bei jedem Schritt fährt ein Laser über den Ausgangsstoff um die gewünschte Form zu erhalten.

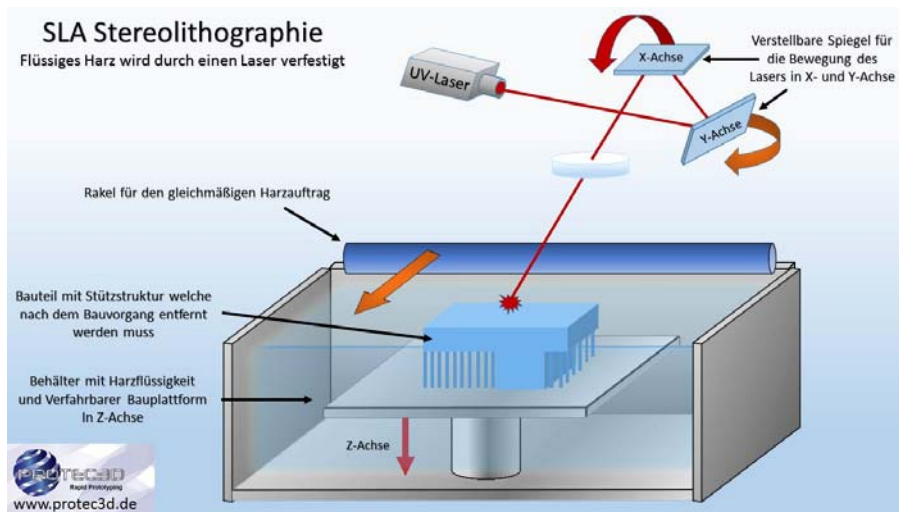


Abbildung 2–2: Prinzip eines SLA-Druckers

Quelle: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/fdm.png>

Beide Verfahren, SLS und SLA sind beinahe identisch. Sie unterscheiden sich im verwendeten Material. Bei einem SLS ist es ein Pulver und bei SLA ein Harz. Ein Laser fährt über das Material und schmilzt es. Dann wird es in der gewünschten Form wieder hart.

Serienfähigkeit: Die Einsatzgebiete von SLA sind zum Beispiel ein Prototyp, Bauteile mit hoher Präzision, Funktionsbauteile, etc.

Vor- und Nachteile: Es ist sehr genau und oberflächenglatt. Aber es ist sehr teuer, nicht sehr robust und sehr anfällig bei Temperatur.

2.1.3 Fused Deposition Modeling (FDM)

Beschreibung: Das FDM kennt man auch unter dem Begriff Schmelzschichtungsverfahren. Aus einer Düse wird ein durch Hitze verflüssigtes Material auf eine Platte aufgetragen. So entsteht Schicht für Schicht ein Bauteil. Dabei wird häufig ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) verwendet welches sich gut für Objekte mit hoher Beanspruchung eignet.

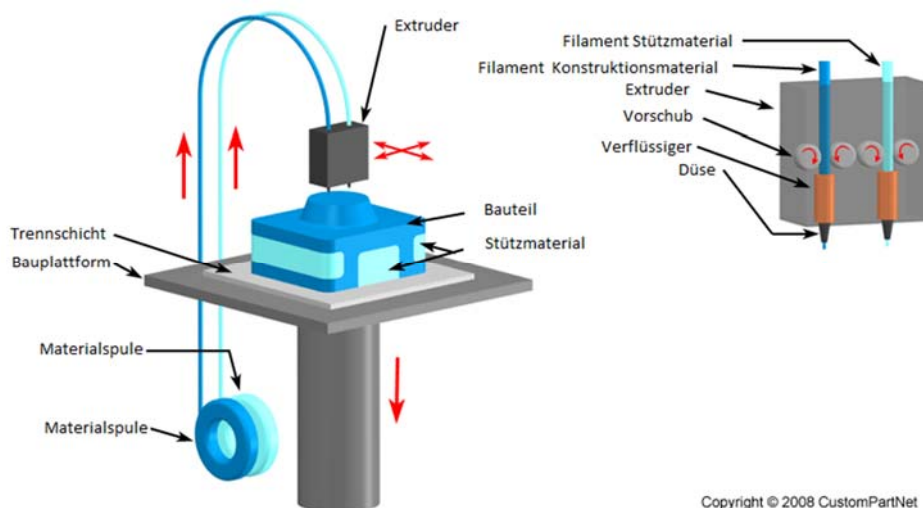
Serienfähigkeit: Es kann Präzise Bauteile für anspruchsvolle Tests und raue Umgebungen machen. Man kann gut Befestigungsteile, Werkzeuge und Prototypen herstellen. Es ist gut für Luft- und Raumfahrt, für Automobilbranchen, Medizintechnik und andere Branchen

Vor- und Nachteile: Es hat ein ungenaues Verfahren, das eine schlechte Oberflächenglätte besitzt und eine schlechte Temperaturbeständigkeit hat, aber vergleichsweise günstig ist.

Wir haben uns für einen FDM-Drucker entschieden, da es das am weitesten verbreitete Verfahren, vergleichsweise billig und im Jugendforschungszentrum Nagold verfügbar ist.

2.1.4 Funktionsprinzip eines FDM-Druckers im Detail

Auf der linken Seite in Abbildung 2–3 sieht man das Prinzip des FDM-3D-Druckers. Dieses Prinzip ähnelt dem einer Fräsmaschine. Es gibt 3 Achsen. Die Extrudereinheit bewegt sich in die Länge und Breite als x- und y-Achse. Die Bauplattform fährt in die Höhe als z-Achse. Auf der Bauplattform liegt eine Trennschicht, damit man die Grundplatte nicht immer auswechseln muss. Das macht das ganze billiger. Auf der Schutzschicht wird dann der Gegenstand aufgedruckt.



Copyright © 2008 CustomPartNet

Abbildung 2–3: Prinzip eines FDM-Druckers

Quelle: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/fdm.png>

Das Drucken übernehmen die Extruder, welche ihr Material von den Materialspulen bekommen. Ein Extruder benutzt hierbei das Konstruktionsmaterial, der andere ein Stützmaterial, welches in

der Regel löslich ist, um später die Stützstruktur zu entfernen. Das Material wird in dem Extruder mit dem Vorschub in den Verflüssiger geführt, dort wird es durch Erhitzen verflüssigt. Dann läuft es in die Düse, durch welche es dann aufgetragen wird. Für den Versuch verwenden wir einen FDM-Drucker „Makerbot Replicator 2X“.

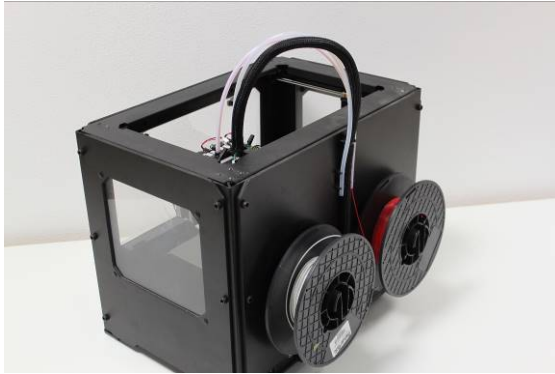


Abbildung 2-4: Materialzuführung

Quelle: eigenes Foto

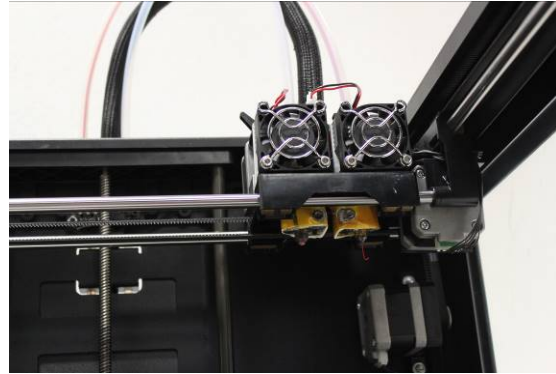


Abbildung 2-5: Extrudereinheit

Quelle: eigenes Foto

Die Abbildung 2-4 und Abbildung 2-5 zeigen die Materialzuführung und die Extrudereinheit an dem verwendeten FDM-Drucker.

2.2 Herstellung der Kunststoffprobe

Zuerst beginnen wir mit der virtuellen Konstruktion an einem CAD-Programm (in unserem Fall Solid Works). Diese Konstruktion exportiert man in dem von Chuck Hall entwickelten Format STL und liest dies mit der Makerbot Desktop-Anwendung ein. Dieses Programm wandelt diese Datei für den Makerbot um. Anschließend haben wir einen Stab aus ABS mit FDM-3D-Drucker gedruckt.



Abbildung 2-6: Probenstab

Quelle: eigenes Foto



Abbildung 2-7: Probenstab

Quelle: eigenes Foto

Wie man auf dem Bild der Abbildung 2-6 sieht, ist an der unteren Seite ein Fehler, der durch das reflektierende Licht zu sehen ist. Diese Fehler entstehen dadurch, dass in der ersten Schicht

Material aufgetragen und fest wird. Dann wird in der zweiten Schicht flüssiges Material auf das feste Material aufgetragen. Beim Erstarren schwindet das Material. Das Volumen wird demnach kleiner und zieht die untere, bereits feste Schicht, nach oben. Dies geschieht an den Rändern, da hier das feste Material kein angrenzendes Material hat welches es halten könnte.

Was wir vermuten:

Wir drucken einen Prüfstab flachliegend und einen weiteren hochkant, denn wir wollen herausfinden ob die Festigkeit von waagrecht gedruckten Linien und senkrecht gedruckten Linien sich unterscheiden. Bei den horizontalgedruckten Linien ist aus unserer Sicht die Stabilität besser, als bei den vertikal gedruckten Linien, denn der 3D-Drucker druckt Schicht für Schicht. Dadurch werden beim Senkrechtdrucken die Streifen so aufeinander gedruckt, dass sie leichter in der Mitte brechen können.

Die senkrecht gedruckte Probe

Der FDM-Drucker hat eine maximale Baugröße, welche wir nicht überschreiten dürfen. Diese liegt bei 150mm. Drucken wir aber unsere Kunststoffprobe mit der Profilgröße von 40mmx3mm auf den Boden und 150mm in die Höhe, dann könnte diese aufgrund des Längen-Profilverhältnisses schon nach kurzer Zeit instabil werden und umfallen. Damit dies nicht passiert, drucken wir mehrere Prüfstäbe mit einer kleinen Verbindung, die man später leicht herausbrechen kann.

3 Biegeversuch

Es gibt zerstörende Prüfverfahren und nicht zerstörende Prüfverfahren. Der Biegeversuch und der Zugversuch gehören zu den zerstörenden Prüfverfahren. Wir haben uns für ein zerstörendes Prüfverfahren entschieden, da man dort die Materialwerte wie beispielweise die Zugfestigkeit erhält. Mit dem Zugversuch erhält man die genannten Materialkennwerte direkt und ohne weitere Umrechnung. Bei dem Biegeversuch tritt aber noch zusätzlich ein Moment auf, welches die benötigte Kraft zur Zerstörung reduziert. Bei einem Zugversuch sind sehr viel höhere Kräfte notwendig. Man schafft es beispielsweise nicht, ein Lineal auseinander zu ziehen, aber man schafft es das Lineal in der Mitte zu biegen. Daher haben wir uns letztlich für den Biegeversuch entschieden.

3.1 Messprinzip

Wir wollen mit unserm Versuch verschiedene Kennwerte ausmessen. Also beispielsweise, welche Kraft (F) man benötigt, um ein Material um eine bestimmte Länge (f) zu biegen um danach dann Festigkeitskennwerte abzuleiten. In Abbildung ist das Schema unseres Biegeversuchs zu sehen.

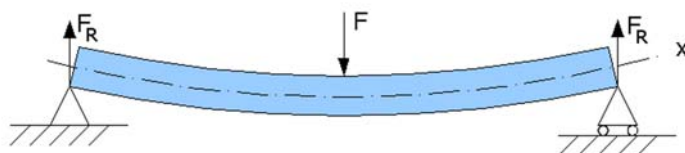


Abbildung 3–1: Schema eines Biegeversuchs

Quelle: Wikipedia (<https://de.wikipedia.org/wiki/Biegemoment>)

Durch „Freimachen“, also dem Aufzeigen aller wirkenden und resultierenden Kräfte, ergibt sich für die Kraft:

$$F = F_R \cdot 2 \tag{Formel 3-1}$$

Die wirkende Kraft wollen wir mittels Federn und dem Hookeschen Gesetz bestimmen:

$$F = D \cdot \Delta l \tag{Formel 3-2}$$

Δl entspricht in unserem Versuch der Durchbiegung f, welche wir direkt im Versuch messen. Die Federkonstante D entspricht hierbei der Federrate R. Diese kennen wir aus dem Datenblatt der eingesetzten Federn (Abbildung 3–2).

Tabellenkopf	Typ A	Typ B
Federkonstante D [N/mm ²]	5.888	1.908
L0 [mm]	81,5 ₋ +1,65	91
D außen [mm]	2,5 ₋ +0,02	27
D innen [mm]	20	23

Tabelle 3-1: Federtypen

Quelle: Datenblätter der Federn

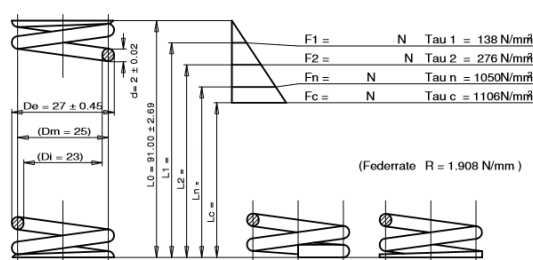


Abbildung 3–2: eingesetzte Feder Typ B

Quelle: Datenblatt D281 – Firma SpringtecNuesken

Wir setzen zwei verschiedene Federtypen mit unterschiedlichen Federkonstanten ein um eine höhere Auflösung bei unterschiedlich harten Materialien zu biegen.

3.2 Versuchsaufbau

Die Biegevorrichtung hat eine Grundplatte mit einer ausgefrästen Vertiefung in der wir zwei Auflageflächen, die mit einer Skala nummeriert sind, um die beiden Auflageflächen gleichmäßig zu verschieben, liegen haben. Das haben wir gemacht, damit die Kraft in der Mitte der Probe wirkt. Die Auflagefläche hat eine drehbare Auflagerolle auf der die Probe liegt, damit der Gegenstand beim Biegen nicht rutscht. Die Probe wird von einem Keil, der an der unteren Federplatte befestigt ist, verbogen.

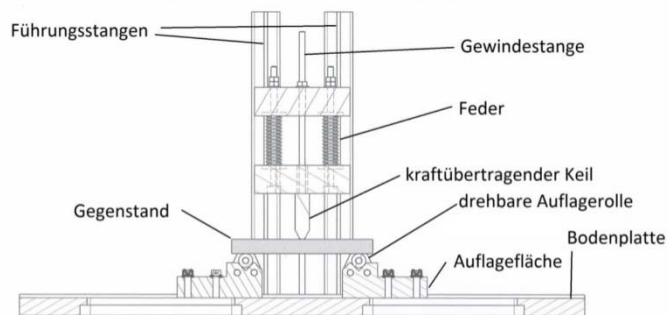


Abbildung 3–3: Konstruktionsentwurf

Quelle: eigene Konstruktion

Die Kraft wird von den Muttern, die wir an der Gewindestange von oben nach unten schrauben, erzeugt. Durch die Federn wird die Kraft verstärkt und daran können wir die Kraft auch abmessen. Die Federplatten kann man mit Hilfe von vier Führungsstangen zwischen ihnen verschieben.

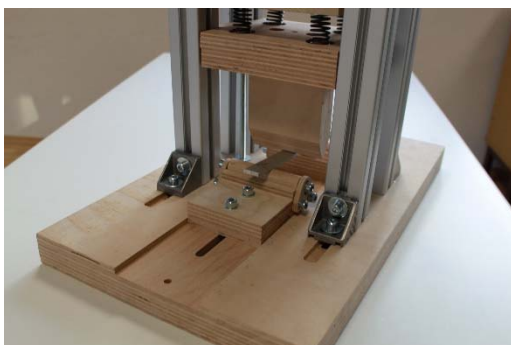


Abbildung 3–4: Biegevorrichtung

Quelle: Foto

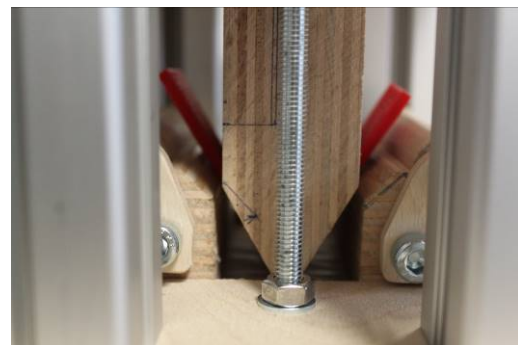


Abbildung 3–5: Biegeversuch nach Bruch

Quelle: Foto

Zur Hilfe benutzt man eine integrierte Wasserwaage, damit die Federplatten gerade sind. Liegt durch das Anziehen der Schrauben eine höhere Kraft an der Probe an können diese mit der Hilfe des Hookeschen Gesetzes bestimmen indem wir den Abstand zwischen den beiden

Führungsplatten messen. Die Durchbiegung bestimmen wir indem wir den Abstand der unteren Führungsplatte zu der Grundplatte messen und diesen von dem Anfangswert abziehen.

3.2.1 Referenzmessung

Die Probe mit dem Aluminiumprüfstab haben wir als Referenzprobe gemacht, um zu schauen ob unsere Biegevorrichtung auch den Messdaten einer normalen Vorrichtung ähnelt.

In den folgenden Versuchen verwenden wir Prüfstäbe mit einer 4x30mm Rechteckfläche, welche wir in der Länge variieren. Wir versuchen natürlich diese nicht stark zu verändern, um vergleichbare Werte zu erhalten.

Durchführung

Zuerst legen wir den Aluminium-Stab in die Biegevorrichtung in die Auflagen ein. Dabei müssen die Auflagen eine konstante Länge l , auseinander sein und mittig auf der Auflage liegen. Anschließend fahren wir unseren Keil nach unten und messen die Ausgangshöhen der Ober- und Unterplatte zu der Grundplatte. Nun beginnen wir die Muttern immer wieder ein paar Millimeter herunter zu drehen. Mit der aufgeschraubten Wasserwaage stellen wir sicher, dass die Führungsplatte gerade bleibt. Nach jedem Herunterschrauben der Muttern misst man die neuen Höhenwerte der Ober- und Unterplatte. Diesen Vorgang wiederholt man bis zum Ende des Versuchs. Wir haben festgestellt, dass die Probe entweder bricht oder sich so lange verformt bis sie nicht mehr nur auf den Röllchen liegt, sondern auch noch auf der Schräge der Auflagefläche.

Auswertung

In Abbildung 3–6 ist das Diagramm der Referenzmessung des Biegeversuches mit einer Aluminiumprobe zu sehen. Die Durchbiegung ist auf der X-Achse in mm angegeben und auf der Y-Achse ist die Kraft in Newton angegeben.

Abbildung 3–7 zeigt einen vergleichbaren Zugversuch mit einem Metall. Aufgetragen sind hier nicht die Durchbiegung, sondern die Dehnung auf der x-Achse und auf der y-Achse die Spannung und nicht die Kraft. Die Dehnung ist linear zu der Durchbiegung, bei der Spannung ist der Profilquerschnitt nicht berücksichtigt, aber trotzdem vergleichbar. Dazu später mehr.

Im Diagramm des Zugversuches ist eine Parallele zur Anfang Steigung durch 0.2% der Dehnung aufgetragen. Der Schnittpunkt stellt den Wert $R_{p0.2}$ dar. Dies ist die maximal zulässige Streckgrenze für dieses Material und stellt quasi den elastischen Bereich dar. Es hat sich noch nicht plastisch verformt und kaum gedehnt. Diese plastische Verformung beginnt bei Metallen erst bei der Einschnürung. Damit ist das Material dann irreversibel zerstört.

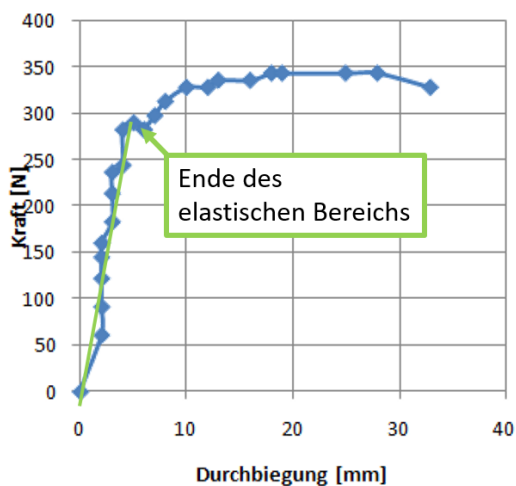


Abbildung 3–6: Diagramm Versuch 1

Quelle: Prüfprotokoll Versuch 1

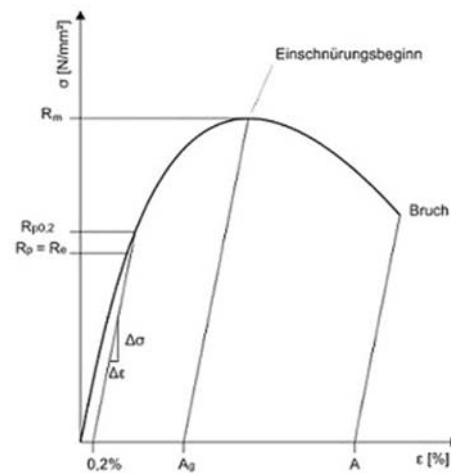


Abbildung 3–7: Spannungs- Dehnungs-Diagramm eines Zugversuches

Quelle:

<http://ft.carstenkloehn.de/Joomla/index.php/aktuelle-projekte/projekte-2010-2/81-projekte-2010.html>

Wir wissen dass am Anfang der elastische Bereich annähernd einer Geraden entspricht. Diese haben wir in dem Diagramm in grün eingezeichnet und das Ende des elastischen Bereiches markiert. Die Messfehler kommen von unserer Biegevorrichtung durch schiefe Führungsplatten.

Der plastische Bereich ist dann eingetreten, wenn sich der Gegenstand nach einer Verformung nicht mehr zurück verformt, also so bleibt wie er ist. Dieser tritt nach dem elastischen Bereich ein. Dabei drehen wir an den Schrauben und das Material dehnt sich weiter und weiter ohne dass wir mehr Kraft benötigen.



Abbildung 3–8: Aluminiumprobe nach der Biegung

Quelle: eigene Konstruktion

Der Versuch endet nachdem unsere Vorrichtung die Probe nicht mehr weiterbiegen kann. Die Probe ist leicht weißlich an der Stelle an welcher der Keil aufgelegt hat. Hier ist die Stelle unten

wegen der Zugbelastung schmaler geworden und die obere Seite wegen der Druckbelastung breiter geworden (Abbildung 3–8).

Berechnung der Biegespannung

Wir erhalten nur eine Kraft für diesen speziellen Fall (Rechteckprofil mit einer bestimmten Länge l). Wir könnten das aber nicht auf ein anderes Profil übertragen. Daher versuchen wir nun die Festigkeitswerte der Proben zu berechnen, in dem wir die wirkende Kraft F auf das Profil verteilen. Dies ist die Spannung σ_b , welche sich auch durch das Moment M_b geteilt, durch das Widerstandsmoment W_b berechnen lässt:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \quad \text{Formel 3-3}$$

Das Widerstandsmoment gibt an, wie sich ein Balken bei einer Belastung der Entstehung innerer Spannungen entgegensetzt (<https://de.wikipedia.org/wiki/Widerstandsmoment>).

Aus dem Tabellenbuch für Metall ist dies für einen Rechteckquerschnitt

$$W_b = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \text{Formel 3-4}$$

Dabei ist b die Breite und h die Höhe. Das maximale Moment ist das Produkt der Auflagekraft F_R mit dem Abstand zur einwirkenden Kraft. Dabei wirkt die Kraft in der Mitte, also ist der Abstand die Hälfte von l . Aus Formel 3-1 wissen wir dass F_R die Hälfte von F ist.

$$M_b = F_R \cdot \frac{l}{2} = \frac{F}{2} \cdot \frac{l}{2} \rightarrow M_b = \frac{F \cdot l}{4} \quad \text{Formel 3-5}$$

Wenn wir nun Formel 3-5 und Formel 3-4 in Formel 3-3 einsetzen erhalten wir

$$\sigma_b = \frac{3 F \cdot l}{2 b \cdot h^2} \quad \text{Formel 3-6}$$

Mit dieser Spannung können wir nun in unseren Diagrammen die Durchbiegung einer beliebigen Probe eines Materials bei einer bestimmten Spannung bestimmen. Die Streckgrenze ist die maximale Spannung im elastischen Bereich (auch Dehngrenze). Diese ist dann bei unserem Stab

$$\sigma_{b,max} = \frac{2}{3} \frac{290N \cdot 97mm}{30mm \cdot (4mm)^2} = 39 \frac{N}{mm^2}$$

Zum Vergleich: Bei handelsüblichem Aluminium liegt die Streckgrenze bei ca. $45 \frac{N}{mm^2}$. Dies hängt jedoch von der Legierung ab.

Bestimmung des E-Moduls

Nun möchten wir aber auch wissen wie stark sich eine beliebige Probe eines Materials im elastischen Bereich bei einer Kraft maximal biegt. Dafür haben wir aus dem Tabellenbuch herausgefunden, dass für unseren 3-Punkt-Biegeversuch, mit einer Probe der Länge l zwischen den Lagern, bei einer mittigen Kraft sich die maximale Durchbiegung mit

$$f_{max} = \frac{F \cdot l^3}{l \cdot 48 \cdot E} \quad \text{Formel 3-7}$$

errechnen lässt. Dabei ist I das Flächenträgheitsmoment und E der E-Modul. Dazu später mehr.

Das Flächenträgheitsmoment I ist dabei das Widerstandsmoment, das aber noch den Abstand a_{max} zur neutralen Faser berücksichtigt, also ob die kurze oder die lange Seite eines rechteckigen Stabes auf dem Boden aufliegt. Bei einem Rechteckprofil ist dies

$$a_{max} = \frac{h}{2} \quad \text{Formel 3-8}$$

Damit ergibt sich für das Flächenträgheitsmoment die folgende Formel:

$$I = W_b \cdot a_{max} = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot \frac{h}{2} = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{Formel 3-9}$$

Eingesetzt in Formel 3-7 ergibt sich

$$E = \frac{F \cdot l^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot f_{max}} \quad \text{Formel 3-10}$$

Der E-Modul ist für den Aluminiumstab dann

$$E = \frac{290\text{N} \cdot (97\text{mm})^3}{4 \cdot 30\text{mm} \cdot (4\text{mm})^3 \cdot 3.5\text{mm}} = 26880 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

3.3 Messungen

Nun fangen wir an mit den Kunststoffproben. Der Versuchsaufbau und die Durchführung sind identisch mit dem vorigen Versuch am Aluminiumstab. Die Kunststoffstäbe sind alle aus ABS.

Wir vergleichen nun drei Kunststoffproben miteinander: Darunter ist ein Stab welcher maschinell extrudiert wurde (Versuch 3) und zwei Stäbe welche mit dem 3D-Drucker gedruckt wurden. Hierbei unterscheiden wir einen vertikal gedruckten Stab (Versuch 5) und einen horizontal gedruckten Stab (Versuch 2). Die zugehörigen Diagramme sind in Abbildung 3-6 dargestellt.

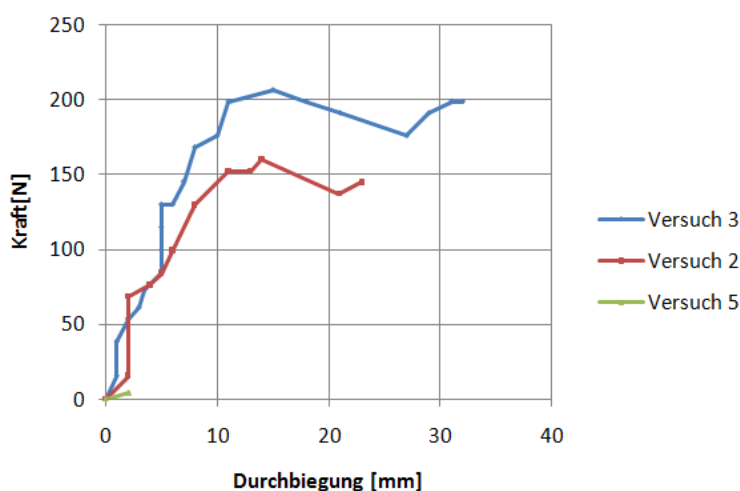


Abbildung 3–9: Biegeversuche mit Kunststoffproben

Quelle: eigene Konstruktion

In Versuch 2 haben wir einen Prüfstab horizontal am 3D-Drucker gedruckt. Dabei wirkt eine Maximalkraft von circa 160 Newton. Es hat eine maximale Durchbiegung von ungefähr 22mm gegeben.



Abbildung 3–10: Risse an der Zugseite

Quelle: Foto

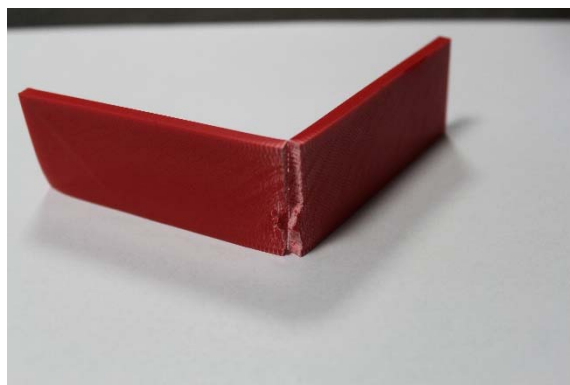


Abbildung 3–11: Probe aus Versuch 2

Quelle: Foto

Der Stab bei diesem Versuch ist gebrochen, hat aber zuvor weiße Risse an der unteren Zugseite gezeigt (Abbildung 3–10). Dies lässt auf eine plastische Verformung schließen (hervortreten der Butadien-Phase des Kunststoffes). Der Bruch ist weißlich und verläuft nicht sauber (Abbildung 3–11). Der plastische Bereich beginnt ab einer Kraft von 150 N und einer Durchbiegung von 11 mm. Der Versuch 3 (extrudierter Stab) ging in den plastischen Bereich, aber ist nicht gebrochen. Dessen maximal aufgewendete Kraft liegt bei circa 210 Newton und einer Durchbiegung von 15 mm und die plastische Verformung begann ebenfalls bei 200 N und einer Durchbiegung von 15 mm statt. Der Prüfstab Nummer 5 wurde vertikal im ABS-Drucker gedruckt. Bei diesem Versuch gab es einen sehr schnellen Bruch nach der zweiten Messung. Wir vermuten, dass der Gegenstand schon nach der zweiten Messung im plastischen Bereich war, aber dem Druck nachgegeben hat und dann sehr schnell gebrochen ist.

4 Fazit

Unsere Beobachtungen bei den Versuchen haben gezeigt dass durch FDM gedruckte Proben sehr spröde sind und auch brechen, während der extrudierte Stab nur verformt wurde.

Zudem haben wir durch unsere Versuche deutliche Festigkeitsunterschiede in der Druckrichtung festgestellt. Dies liegt an der Art, wie es gedruckt wurde. Der senkrecht gedruckte Stab ist so schnell gebrochen, da das Material durch das vertikale Drucken in Schichten nicht komplett ineinander verschmolzen ist und es eigentlich dann mehrere kleine Bahnen waren, die aneinander geschmolzen waren. Bei dem Bruch sieht man einen geraden säuberlichen Bruch, der dies beweist.

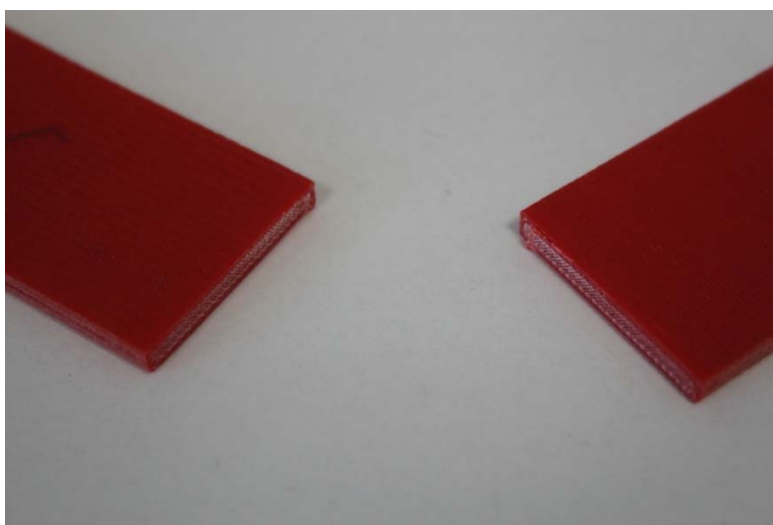


Abbildung 4–1: glatter Riss an Schichtgrenze

Quelle: eigene Konstruktion

Trotz der vielen Vorteile unserer Biegevorrichtung gibt es doch auch ein paar Nachteile und Probleme. Die Führungssäulen haben zu viel Spiel, wodurch die Führungsplatten ungerade sind und es dadurch zu Messfehlern kommt wie man an den Diagrammen erkennen kann. Außerdem zeigte sich der Biegeversuch als ungeschickt, da man nur indirekte Messwerte erhält, welches beim Zugversuch nicht der Fall ist. Hier kann man die Zugspannung direkt messen.

5 Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei all denjenigen bedanken, die unser Projekt ermöglicht und unterstützt haben.

Besonderen Dank gilt hierbei dem Jugendforschungszentrum Schwarzwald-Schönbuch das uns Materialien, Räumlichkeiten, Geräte zur Verfügung gestellt hat.

Zudem wollen wir uns ganz herzlich bei unserem Betreuer Marcel Quintus für die Motivation und die Mithilfe an unserem Projekt bedanken.

Wir danken außerdem unseren Eltern für die unermüdliche Unterstützung wie beispielsweise der Kontrolle unserer Arbeit oder den vielen Fahrten zum Jugendforschungszentrum bedanken.

Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

W. Beitz u. K.-H.Grote (1997): *Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau*, 19. Auflage, Augsburg, Springer Verlag

Gomeringer, Heinzler / Kilgus, Roland / Max Roland (2014): *Tabellenbuch Metall*, 46. Auflage. Erscheinungsort: Europa-Lehrmittel-Verlag

Christoph Jaroschek (2012): *Das Ende des Biegemoduls* . Erscheinungsort: Carl-Hanser-Verlag

Billmaier (2011): *Datenblatt Feder D281*. Erscheinungsort: Walk Federntechnik Lüdenscheid

Autor: unbekannt (2013): *Datenblatt Feder D306*. Erscheinungsort: Walk Federntechnik Lüdenscheid

Verzeichnis der Internetquellen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Biegeversuch>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Streckgrenze>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Aluminium>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Biegemoment>

