

Instandsetzung eines Extruders bei einem 3D-Drucker

Dennis Engel

Klasse MI33, BBZ Diepholz

ZF Friedrichshafen AG, Lemförde



Instandsetzung eines Extruders bei einem 3D-Drucker

Inhaltsverzeichnis

1. Übersicht 3D-Drucker.....	3
1.1 3D-Druck-Technik.....	3
1.2 Material:Filament.....	4
1.2.1 Bekannte Marken vs. NoName-Hersteller.....	4
1.2.2 Filemant-Materialien mit spezifischen Eigenschaften.....	5
1.2.3 Umweltaspekte.....	5
2. Extruder.....	5
2.1 Extruder-Typen.....	7
2.1.1 Direct- vs. Bowden-Extruder.....	8
2.1.2 Klassiker: Greg's Wade reloaded, MK8.....	8
2.2 Hotend.....	9
2.2.1 Historie.....	9
2.2.2 Aufbau und Funktion.....	10
3. Problemstellung: Verstopfung der Hotend-Düse.....	11
3.1 Mögliche Ursachen.....	11
3.1.1 Mechanische Verstopfung durch Fremdkörper.....	11
3.1.2 Filament wird bei hohen Temperaturen zu schnell hart.....	11
3.1.3 Zu frühe Zuführung bevor Endtemperatur erreicht wird.....	12
3.1.4 Zu hohe Extruder-Geschwindigkeit.....	12
3.1.5 Heizpatrone defekt.....	12
3.1.6 Thermistor liefert falsche Temperaturdaten.....	13
3.1.7 Falsche bzw. zu niedrige Druckhöhe beim Start.....	13
4. Instandsetzung.....	13
4.1 Problembehebung.....	13
4.1.1 Temperaturdaten überprüfen.....	13
4.1.2 Heizpatrone überprüfen.....	14
4.1.3 Steuerparameter kontrollieren.....	14
4.2 Maßnahmen-Abfolge zur Reinigung der Düse.....	15
4.2.1 Filament wird nicht mehr vom Zahnrad weitertransportiert.....	15
4.2.2 Völlige Verstopfung der Düse und des Hotend-Kanals.....	15
5. Anhang.....	17
5.1 Text Quellen Angaben.....	17
5.2 Bild Quellen nachweise.....	17

1. Übersicht 3D-Drucker

Früher: Große Industrie-Drucker, teuer > 30.000 EUR

Heute: Kleine Tischmodelle, sehr preisgünstig < 1000 EUR

==> Besonders nützlich in der Entwicklung und Gestaltung beim Prototypen-Bau und Herstellung von Modell-Kleinserien vorab.

1.1 3D-Druck-Technik

Zitat Wikipedia: „**Fused Deposition Modeling (FDM)**; deutsch: **Schmelzschichtung**) oder **Fused Filament Fabrication (FFF)** bezeichnet ein Fertigungsverfahren aus dem Bereich des Rapid Prototyping, mit dem ein Werkstück schichtweise aus einem schmelzfähigen Kunststoff oder auch - in neueren Technologien - aus geschmolzenem Metall aufgebaut wird. Maschinen für das FDM gehören zur Maschinenklasse der 3D-Drucker.“ [1]

- Materialauftrag in dünnen Schichten statt Span-Abtragung ==> andere Formen möglich, zb. verdeckte Hohlräume (aber nur 45°)

- Zerspanen geht meistens deutlich schneller (z.B. beim Bohren) obwohl sich der Bohr- oder Fräskopf langsamer bewegt (wegen Gewindeantrieb) als ein Extruder-Kopf (mit Zahnriemenantrieb), wegen der vielen dünnen Schichten und des positiven Aufbaus bzw. Materialauftrags pro Schicht. (Beispiel: Dünne Platte mit 3 Löchern)

1.2 Material:Filament

Dünner Plastik- bzw.Kunststoffdraht, der geschmolzen und durch eine Düse gepresst wird
==> Schichtauftrag

Gängige Größen: 2,85 mm und 1,75 mm Durchmesser

1.2.1 Bekannte Marken vs. NoName-Hersteller

Man kann Filament von NoName-Herstellern kaufen mit dem Vorteil eines niedrigen Preises.

Andererseits empfiehlt sich der Kauf bei bekannten Markenherstellern wie Faberdashery, Taulmann , 3Ddimensionals, Innofil3D, Colorfabb, Formfutura, nicht nur um eine höhere sondern vor allem auch eine halbwegs gleichbleibende Qualität zu erhalten. Dieses ist wichtig in Bezug auf die Einstellungen der Drucker-Parameter, zu denen auch spezifischen Filament-bezogene Parameter gehören. Diese haben großen Einfluss auf die Druck-Qualität und können als komplette Sets für spezifische Anwendungsfälle abgespeichert werden, z.B. ein eher universelles Standard-Set oder ein Set für besonders problematische oder spezifische Geometrien (z.B. Objekt mit Überhängen).

Die Einstellung des 3D-Druckers und die Festlegung seiner individuellen Maschinenparameter erfordert meistens eine langwierige und aufwendige Kalibrierung. Diese erfolgt üblicherweise bei Erstinbetriebnahme des Druckers, aber kann auch bei neuen oder anderen Filamenten erforderlich sein.

Um nicht ständig neue Filament-Parameter zu testen und ausprobieren zu müssen empfiehlt sich der Kauf von bekannten oder bereits erfassten Filament-Sorten. von möglichst gleichbleibender Qualität.

Qualitäts-Merkmale beziehen sich u.a. auf:

- Fremdstoffe (können harte Fremd-Partikel enthalten was zu Verstopfung führen kann)
- Feuchtigkeits-Gehalt, ist besonders wichtig bei PLA (das wird durch Feuchtigkeit brüchig), bei einem guten Hersteller sind deswegen die Rollen luftdicht eingeschweisst.
- möglichst regelmässiger Durchmesser mit geringen Toleranzen (z.B. +/- 0.05 mm max. Abweichung).

1.2.2 Filemant-Materialien mit spezifischen Eigenschaften

ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere) :

- hohe Schlagzähigkeit und -Festigkeit
- gleiches Material wie LEGO-Steine
- schmilzt in einem Temperaturbereich von 220–250 °C

PLA (PolyLactide):

- angenehmer Geruch
- einfacher zu drucken (kein Warping, kein Hitzebett („Heatbed“) benötigt), Anfängerfreundlich
- lebensmittelecht
- formbeständig bis ca. 65°C

Weitere Beispiele:

Nylon, PETG (Polyethylenterephthalat) , NinjaFlex, IGUS Tribo-Filament, magnetisches od. Elektrisch leitendes Filament, Carbonfaser-Filament , usw. ==> unterschiedliche Temperaturen

1.2.3 Umweltaspekte

PLA wird aus Maisstärke gemacht. Es ist besonders umweltfreundlich da biologisch abbaubar

2. Extruder

Prinzipielle Aufgaben (bei allen Extrudern):

- Filament-Transport bzw. -Vorschub („Cold-End“, bestehend aus Stepper-Motor, kleinem Zahnrad und Andruckrolle)
- Schmelzvorgang („Hot-End“, siehe Kap. 2.2)

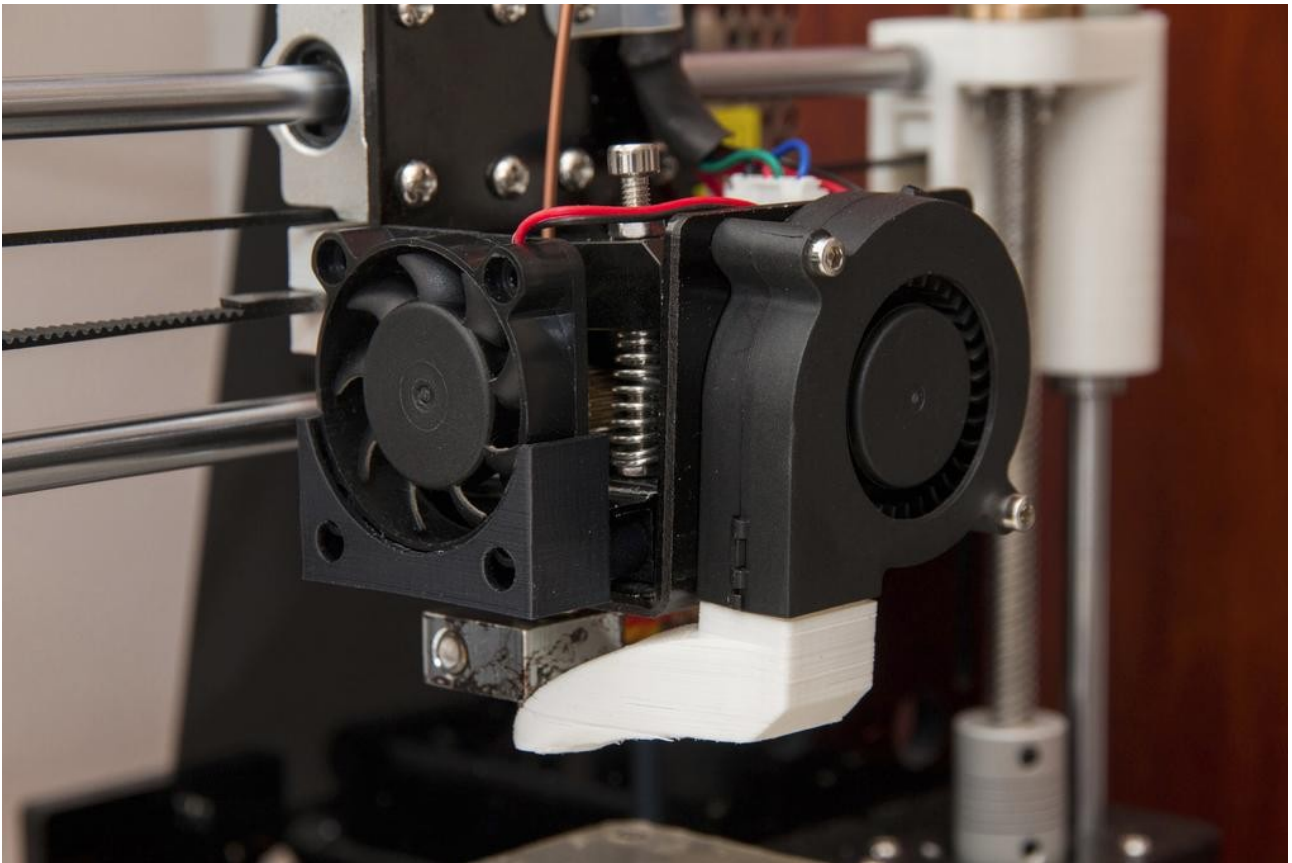
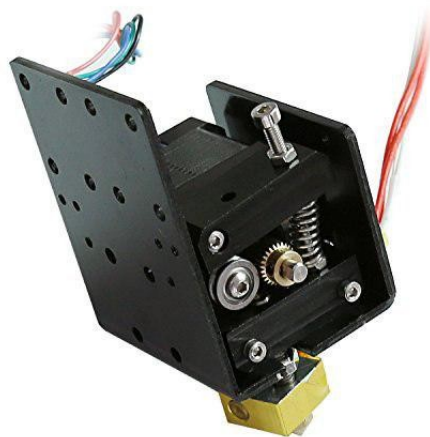


Abbildung 1: Extruder geschlossen



*Abbildung 2: Extruder geöffnet, oben
Transportmechanismus mit Zahnrad und
Andruckrolle; unten Hotend mit
Hitzeblock und Düse*

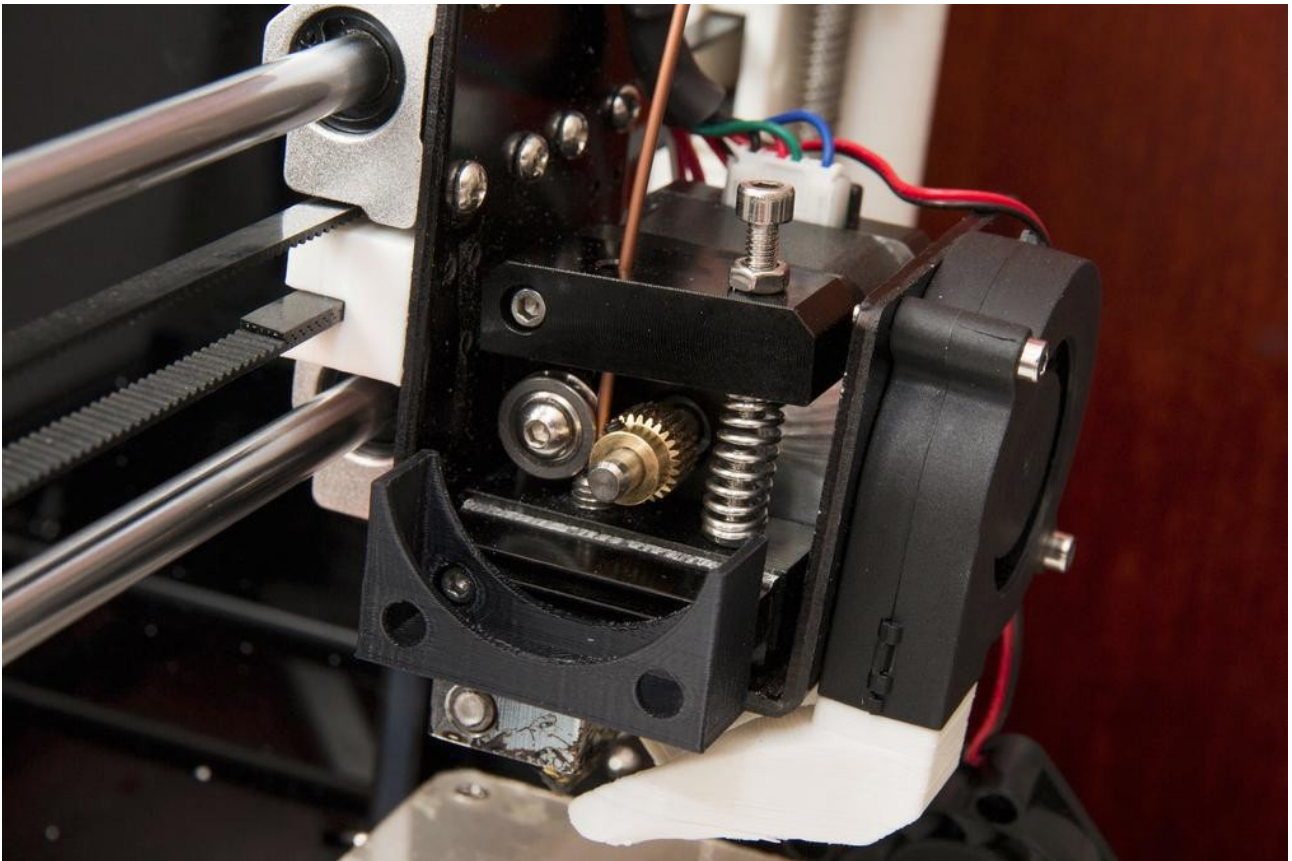


Abbildung 3: Das Filament wird durch das Zahnrad weitertransportiert und unten in die Öffnung vom Hotend-Kanal eingeführt

2.1 Extruder-Typen

Es gibt sehr viele verschiedene Ausführungen von Extrudern, die zwar auch alle die o.g. prinzipiellen Aufgaben erfüllen müssen, aber sich im Detail und in der Ausführung voneinander unterscheiden.

So gibt es z.B. Doppel- oder Mehrfach-Extruder, welche zwei oder mehr Filamente gleichzeitig drucken können und damit unterschiedliche Farben oder auch verschiedene Materialien. Bei letzteren kann z.B. wasserlösliches PVA als Unterstützung („Support“) verwendet werden für Geometrien bzw. Objekte mit Überhängen. Das Werkstück kann anschliessend in Wasser gelegt werden, so dass sich das PVA auflöst.

Weitere Unterschiede können sich auf die Art des Filamenttransportes beziehen, z.B. durch einen direkten oder indirekten Antrieb (Bowden-Extruder).

2.1.1 Direct- vs. Bowden-Extruder

Bowden-Extruder: Externer Schrittmotor ist am Drucker-Gehäuse befestigt und durch einen Teflon-Schlauch (vgl. „Bowden-Zug“, aber hier nicht Zug sondern Schub) mit einem separaten Hotend verbunden ==> Druckkopf ist leichter und schneller beweglich

Direct-Extruder: Schrittmotor ist Bestandteil vom Extruderkopf und direkt mit dem Hotend verbunden..

2.1.2 Klassiker: Greg's Wade reloaded, MK8

Hier ein Beispiel für zwei klassische Extruder-Typen, die weitverbreitet sind:

Greg's Wade Reloaded : Einer der ersten Extruder-Typen (Wade mit einfachem Zahnrad, dann Greg mit spielarmen Fischgrat-Profil)

MK8-Typ : kleiner, kompakter, einfacher zu demontieren

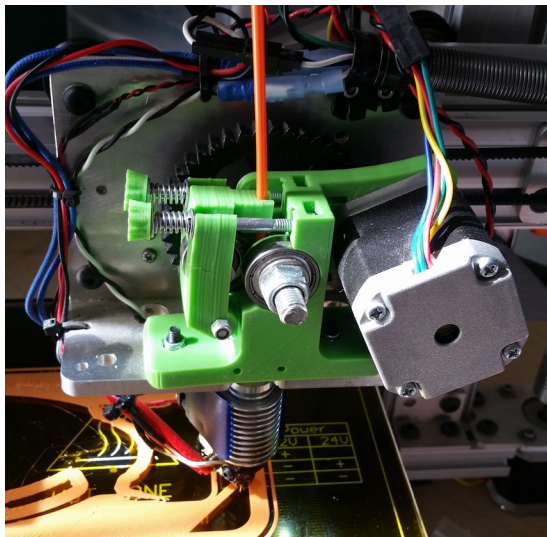


Abbildung 4: Greg's Wade reloaded



Abbildung 5: MK8-Typ

2.2 Hotend

2.2.1 Historie

Alte Hotends mit PEEK (z.B. J-Head):

- nur Temperaturen bis max. 260°C
- Gefahr von Durchbrennen (PEEK kann schmelzen)

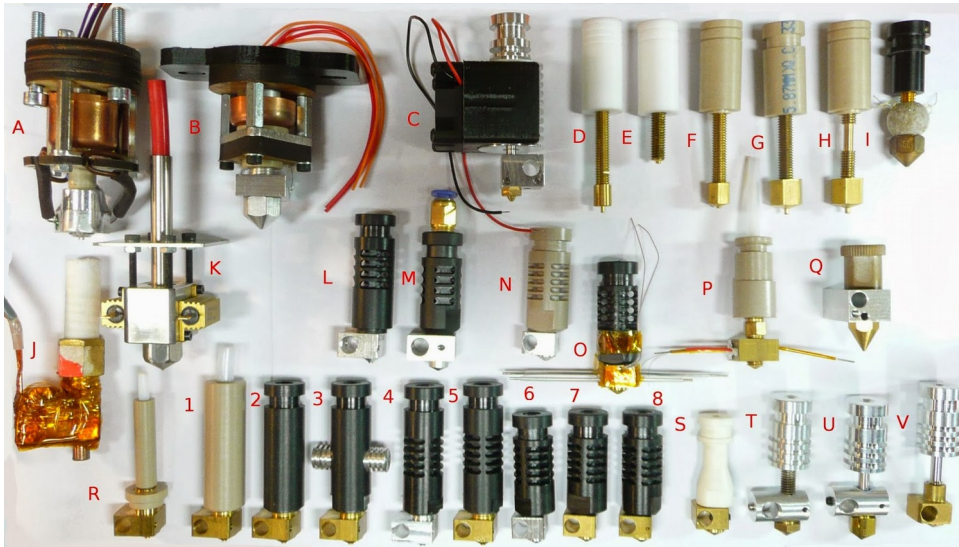


Abbildung 4: Ältere Hotend-Typen mit PEEK

All-Metall Hotends (z.B. „E3D V6“):

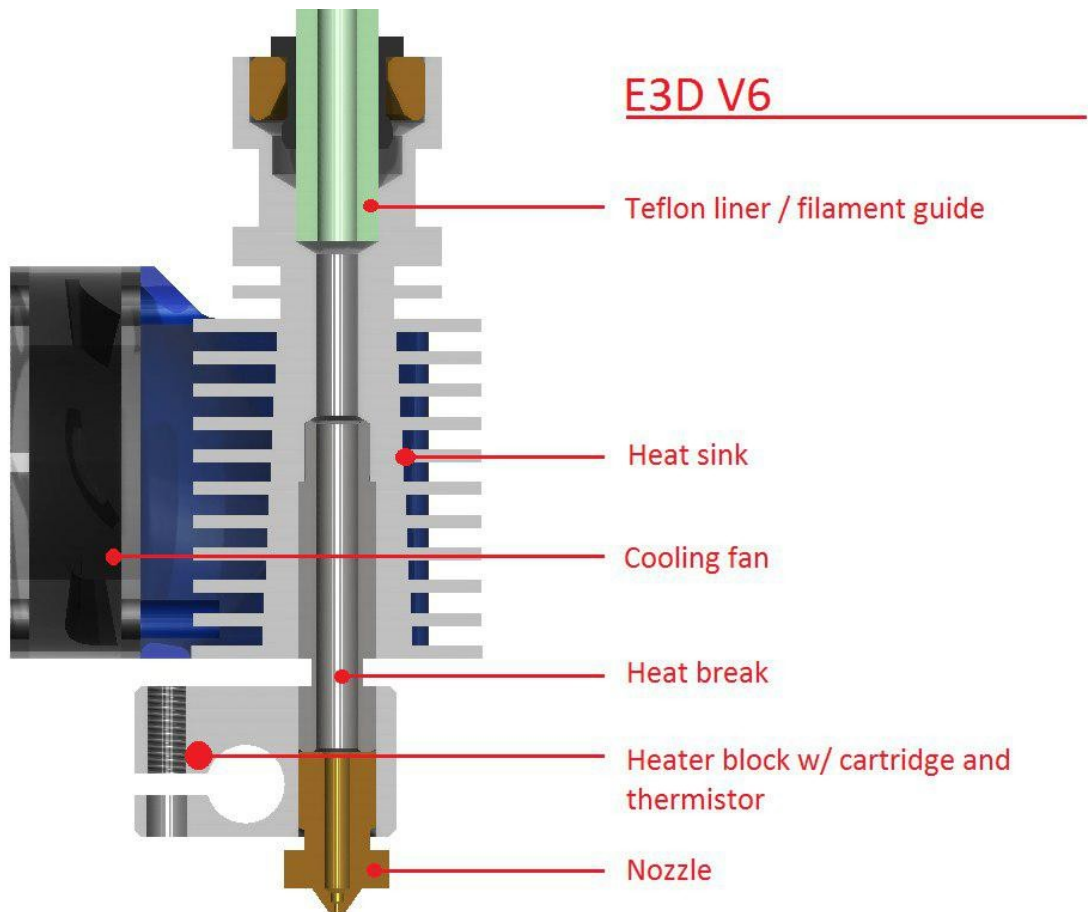
- höhere Temperaturen bis über 300°C
- erweitertes Spektrum an möglichen Materialien, z.B. Nylon



Abbildung 5: Moderne All-Metall-Hotends

2.2.2 Aufbau und Funktion

Beispiel E3D V6



Das Wort „Hotend“ bezeichnet umgangssprachlich den Teil vom Extruder, in welchem das Filament aufgeschmolzen wird. Es besteht (von unten nach oben) aus einer Düse („Nozzle“) die oft eine 0.4mm Öffnung aufweist, einem Hitzeblock („Heater-Block“) mit Temperatursensor („Thermistor“) und Heizpatrone („Heat-Cartridge“), einem verjüngten Übergangsstück welches als Hitzebremse („Heat-Break“) fungiert und einem Kühlkörper („Heatsink“) mit Ventilator („Fan“).

Die Funktion dieses Aufbaus besteht darin, dass die Hitze möglichst nur am unteren Ende, also an der Düse, entsteht und das Filament nur dort zum schmelzen bringt. Der obere Bereich sollte möglichst kühl bleiben, weil ansonsten das Filament auch oben schon klebrig wird und an der Kanalwand festklebt, so dass kein Transport mehr möglich wäre.

3. Problemstellung: Verstopfung der Hotend-Düse

Das wohl mit Abstand größte Problem beim 3D-drucken, mit dem nicht nur Anfänger manchmal zu kämpfen haben, das ist das Verstopfen der Hotend-Düse, auch „clogging“ oder „jamming“ genannt. Dabei stoppt der Filament-Transport und es kommt kein geschmolzenes Material mehr aus der Düse. Das bedeutet bei den meisten Druckern, das man den bisherigen Druck wegschmeissen und noch mal von vorn anfangen kann. Vor allem muss man aber vorher das Hotend wieder instandsetzen.

3.1 Mögliche Ursachen

Eine Verstopfung kann viele verschiedene mögliche Ursachen haben, die hier einmal in ungeordneter Reihenfolge aufgelistet und erläutert werden sollen, da es für die Instandsetzung aber auch für eine zukünftige Vermeidung des Problems hilfreich ist, diese zu kennen.

3.1.1 Mechanische Verstopfung durch Fremdkörper

Fremdstoffe oder Partikel von Verunreinigungen im Filament, welche die Düse einfach mechanisch zusetzen. Gleichzeitig kann es passieren, dass am Grunde der Düse bereits geschmolzenes Filament dem noch andauernden Vorschub nur noch dadurch ausweichen kann, indem es im Kanal durch den dünnen Spalt zwischen Filament und Kanal-Aussenwand nach oben steigt bis in die Heatbreak- oder Kühlkörper-Zone und dort umso schneller aushärtet und somit das Filament im oberen Bereich mit den Kanalwänden gründlich verklebt, so dass ein Transport auf ganzer Länge des Kanals nicht mehr möglich ist.

3.1.2 Filament wird bei hohen Temperaturen zu schnell hart

Bei sehr billigem Filament aus Russland oder China kann es sein das der „Thermoplastische Temperaturpunkt“ sehr niedrig liegt. Wenn es nun nach dem

Einschalten der Hitzezufuhr zu einer Pause kommt, z.B. beim Start, ehe der Extruder anfängt Material zu fördern, dann kann es sein dass das Filament aufgrund der hohen Temperaturen eher spröde wird und aushärtet, so dass sich ein harter Pfropf bildet welcher die Düse (gründlich) verstopft.

3.1.3 Zu frühe Zuführung bevor Endtemperatur erreicht wird

Das Material ist noch nicht flüssig genug und kann daher nicht schnell genug durch die Düsenöffnung gepresst werden so dass diese verstopft. Bei sowohl dieser wie auch den anderen Verstopfungsursachen ergibt sich meist noch als sekundärer Effekt, dass sich das Zahnrad (Metall), welches im ColdEnd das Filament transportieren soll, sich in den Filamentstrang (Kunststoff) reingräbt wie ein Fräser. Das ist wie Autoreifen, der im Matsch festgefahren ist und durchdreht. Solange dieses zweite Problem nicht ebenfalls beseitigt wird ist schon allein deswegen kein Transport mehr möglich (aber natürlich muss die Hauptursache, die Verstopfung, ebenfalls beseitigt werden, sonst würde das Zahnrad beim nächsten Anlauf gleich wieder ins Filamentmaterial reinfräsen). Es kann auch passieren, dass die abgefrästen Kunststoffspäne nun nach unten fallen und in das Einführloch des Filaments geraten (dieses ist manchmal zumindest oben bis zu 1mm weiter als der Filament-Durchmesser zwecks besserer Einführung) und den Kanal nun auch noch von oben zusetzen.

3.1.4 Zu hohe Extruder-Geschwindigkeit

Auch hier ist das Material noch nicht flüssig genug und kann nicht schnell genug durch die Düsenöffnung gepresst werden, so dass diese verstopft. Gleicher Wirkungsmechanismus wie 3.1.3.

3.1.5 Heizpatrone defekt

Der Hitzeblock und damit die Düse bleiben kalt. Sollte der Extruder dennoch starten, wird sich das Zahnrad sofort ins Filament fräsen. Es kann aber auch passieren, dass die Heizpatrone mitten im Druck durchbrennt. Sie ist im Grunde ein Verschleissstück und insbesondere bei hoher Auslastung des Druckers („Rund-um-die-Uhr-Betrieb“) wird es eher früher als später passieren, dass sie irgendwann durchbrennt. Das Filament kühlt dann sehr schnell ab und verstopft die Düse.

3.1.6 Thermistor liefert falsche Temperaturdaten

Der Thermistor befindet sich normalerweise in einer kleinen Öffnung am Hitzeblock in der Nähe der Heizpatrone. Je nachdem wie gut oder schlecht der Thermistor und insbesondere auch seine Kabel am Hitzeblock befestigt sind, also etwa verschraubt oder nur mit hitzebeständigem Kapton-Klebeband befestigt, kann es passieren dass er aus der Öffnung heraus rutscht und dann falsche Daten liefert, d.h., er gibt niedrigere Temperaturen an was schnell zu einer Überhitzung führen kann. All-Metall-Hotends sind dagegen weniger empfindlich als z.B. die älteren „J-Head“ Hotends mit PEEK Hülse. Aber in beiden Fällen kann es passieren dass das Filament versprödet, wie unter 3.1.2 beschrieben.

3.1.7 Falsche bzw. zu niedrige Druckhöhe beim Start

Falls der Druckkopf beim Start zu niedrig justiert ist und direkt auf dem Druckbett aufsitzt, kann dies ebenfalls den Materialaustritt aus der Düsenöffnung blockieren. Normalerweise sollte der Drucker so justiert sein, dass nach einem Homing der Z-Achse noch gerade eben ein Blatt Papier zwischen der Düsen Spitze und dem Druckbett passt, also rund 0.1mm. Bei zu hoher oder zu niedriger Position muss der Z-Endschalter nachjustiert werden (was normalerweise Bestandteil der Erstkalibrierung ist).

4. Instandsetzung

Bei der Instandsetzung ist es hilfreich, zumindest eine Vorstellung der möglichen Problemursachen zu haben um diese gezielt zu überprüfen und wie bei einer Checkliste geeignete Massnahmen zur Instandsetzung auszuführen.

4.1 Problembehebung

4.1.1 Temperaturdaten überprüfen

Am besten kann man die Temperaturdaten mit einer zweiten Messvorrichtung prüfen, aber auch ohne diesen Aufwand kann man zumindest schonmal gegenchecken, ob die Temperaturdaten in einem halbwegs plausiblen Bereich liegen. Ansonsten könnte z.B. der Thermistor verrutscht oder defekt sein. Die Host-Programme, welche den 3D-Druck steuern, beinhalten oft auch die Aufzeichnung und Darstellung einer Temperaturkurve, so dass man nachschauen kann, ob die Temperatur zuletzt, also kurz vor der Verstopfung noch in dem für das jeweilige Filament passenden Schmelztemperatur-Bereich gelegen

haben. Sollte sich hier ein deutlicher Temperaturabfall zeigen, dann arbeitet der Sensor wahrscheinlich korrekt und das Problem ist eher bei der Hitzezufuhr zu vermuten.

4.1.2 Heizpatrone überprüfen

Man kann sehr leicht schon manuell überprüfen, ob der Hitzeblock und damit die Düse überhaupt heiss wird. Dazu muss man den Block nicht direkt berühren, aber man merkt schon in seiner Nähe ob er heiss oder kalt ist. Eine normale Drucktemperatur liegt für ABS bei bis zu 250°C und bei PLA bei 100°C. Falls der Block kalt ist, dann sollte man als erstes testen, ob die Heizpatrone durchgebrannt ist, oder ob sie noch „Durchgang“ hat. Dazu muss man nur mit einem Multimeter eine Widerstandsmessung an beiden Enden des Thermistorkabels durchführen. Ist der Widerstand unendlich gross, dann ist der Heizdraht unterbrochen und damit defekt. Ist ein sehr kleiner Widerstand im niedrigsten Ohm-Bereich messbar, dann ist er noch intakt und man sollte vielleicht mal die Parameter-Einstellungen des Steuerprogramms überprüfen.

Eine defekte Heizpatrone lässt sich relativ einfach austauschen, man muss dazu nur eine kleine Madenschraube im Hitzeblock lösen und kann die Heizpatrone dann rausziehen oder schieben. Leider ist es oft so, dass das Kabel innerhalb des Kabelbaums verlegt ist und somit nicht ohne größeren Aufwand ausgetauscht werden kann, d.h., man muss den Kabelbaum zerpfücken und anschliessend neu verlegen. Ein schneller Workaround besteht darin, einfach am Extruder die Heizpatrone abzuschneiden, das alte Kabel im Kabelbaum zu belassen, eine neue Heizpatrone in den Hitzeblock schieben und die Madenschraube wieder anzuziehen und das neue Kabel dann aussen am Kabelbaum zu verlegen und z.B.mit Kabelbindern zu befestigen. Da die Heizpatrone ein Verschleiss-Teil ist, wird der Kabelstrang mit der Zeit dann immer dicker. Es gibt aber auch Kabelhüllen, die per Klettverschluss geöffnet und verschlossen werden können und damit einen etwaigen Austausch eines einzelnen Kabels ermöglichen bzw. vereinfachen.

4.1.3 Steuerparameter kontrollieren

Probleme wie eine zu hohe Extrudergeschwindigkeit (3.1.4) können durch die ungünstige Steuerparameter verursacht werden, z.B. im Rahmen der Kalibrierung der Erstinbetriebnahme, während derer man sich erst mal an optimale Parameter herantasten muss. Genaugenommen wird der Extruder-Vorschub (auch „Feed“ oder Feedrate“ genannt) nicht durch die Steuerung im Host-Programm vorgegeben, sondern individuell

innerhalb der G-Codes immer wieder neu gesetzt und den Erfordernissen des Druckes angepasst, also könnte der Vorschub z.B. während einer Kurve schneller oder langsamer sein als wenn eine gerade Strecke gedruckt wird. Oder er muss während Leerfahrten komplett gestoppt werden und anschliessend wieder aktiviert werden. Dieses geschieht in dem Programm mit welchem die GCode-Datei erzeugt wird, dem sogenannten „Slicer“ und hier können entsprechende Grundparameter verändert und angepasst werden. Die jeweilige GCode-Datei muss dann anschliessend noch mal neu erzeugt werden.

4.2 Maßnahmen-Abfolge zur Reinigung der Düse

Je nach Ursache und Schweregrad der Verstopfung können unterschiedlich aufwendige Massnahmen erforderlich sein.

4.2.1 Filament wird nicht mehr vom Zahnrad weitertransportiert

Falls es sich nur um ein Problem des Filament-Transports handeln, etwa weil der Vorschub in einer kalten Düse gestartet wurde und sich das Zahnrad ins Filament gefressen hat, dann genügt es, das Filament herauszuziehen, das Stück mit der „Ausfräsung“ abzuschneiden, den Extruder zu öffnen und z.B. mit einem Pinsel zu reinigen um die Kunststoffspäne zu entfernen und es wieder einzuführen. Die Düse und der Hotendkanal sind hierbei nicht verklebt oder verstopft. Vor erneuter Inbetriebnahme muss aber sichergestellt werden, dass die Hitzezufuhr bzw. die Heizpatrone ordnungsgemäss funktionieren.

4.2.2 Völlige Verstopfung der Düse und des Hotend-Kanals

Die Instandsetzung kann hierbei, je nach Schweregrad der Verstopfung sehr aufwendig sein und im ungünstigsten Fall sogar einen Austausch der Düse und des Hotends erforderlich machen.

Der Aufwand beginnt schon alleine damit, dass das Hotend demontiert werden muss. Das verstopfte Kunststoffmaterial muss nun irgendwie entfernt werden, das kann durch mechanisches Ausbohren, Ausbrennen oder durch Einlagerung der einzelnen Teile (sofern sie denn überhaupt noch voneinander getrennt werden können bzw. die Verschraubung gelöst werden kann) in ein geeignetes Lösungsmittel, wie z.B. Aceton für ABS, oder eine Kombination solcher Massnahmen erfolgen.

Die besten Chancen hat man dabei wohl noch, wenn nur die Düsenspitze verstopft ist. Nach einer mehrtägigen oder sogar mehrwöchigen Einlagerung in Aceton kann es sein,



Abbildung 6: Verstopfte Hotend-Bauteile eingelegt in Aceton

dass der Kunststoff aufgelöst wurde und die Düse wieder frei ist, oder das Material wurde zumindest soweit angelöst und aufgeweicht, dass die Düsenöffnung (meist 0.4mm) mit einer feinen Nadelspitze freigemacht werden kann.

Falls die Verstopfung aber zu dick ist, oder auch schlecht lösbar, etwa weil das Filament durch zu hohe Temperaturen quasi verbrannt wurde und nun ausgehärtet ist (d.h., seine thermoplastischen eigenschaften verloren hat), oder wenn der Hotendkanal auf ganzer Länge verstopft ist und das Filament vielleicht auch noch mit der Kanalinnenwand verklebt ist, dann bleibt nur noch die Möglichkeit die Düse und den Hotendkanal freizubohren.

Das gestaltet sich aber als nicht so einfach. Für die Düsenöffnung braucht man einen feinen 0.4mm Bohrer, der sehr leicht abbrechen kann. Für den Hotendkanal und den hinteren Kanalteil der Düse braucht man mehrere Bohrer in verschiedenen Größen, da die Kanalöffnung an verschiedenen Stellen unterschiedlich dick sein kann, also eine Art Profil aufweist (vgl. 2.2.2).

Als letztes bleibt noch die Möglichkeit die Teile mit großer Hitze (Brennofen, sehr heisse Flamme) auszubrennen. Aber auch hierbei müssen wahrscheinlich noch die Reste (Schlacken) mechanisch entfernt werden.

Da es sich bei den Hotend-Komponenten um Standard-Bauteile handelt, die von verschiedenen Herstellern mittlerweile als Massenprodukte sehr billig angeboten werden, steht der Aufwand der Reinigungsmassnahmen oftmals in keinem Verhältnis zum Neubeschaffungspreis, so dass sich in den meisten Fällen wohl allein aus ökonomischen Gründen ein Austausch empfiehlt. Allerdings kann es sein, dass die jeweilige Produktionssituation einen sofortigen Austausch erforderlich macht, was voraussetzt, dass man die Ersatz-Teile auch tatsächlich vorrätig auf Lager hat, was hiermit abschliessend als sinnvolle und vorbeugende Massnahme empfohlen sein soll. Die genannten Reinigungsmethoden, also speziell die Kombination von mechanischer und chemischer Reinigung können aber im Notfall als schnelle Sofortmassnahme angewendet werden und bieten zumindest eine gewisse prozentuale Chance, dass man anschliessend wieder weiterdrucken kann.

5. Anhang

5.1 Text Quellen Angaben

[1] https://de.wikipedia.org/wiki/Fused_Deposition_Modeling

5.2 Bild Quellen nachweise

[Titelbild] (c) Heise-Verlag, https://heise.cloudimg.io/width/700/q75.png-lossy-75.webp-lossy-75.foil1/_www-heise-de_/make/imgs/76/2/3/8/3/4/6/8/Cover_Make_1-18-Aufmacher-fe6d7bc571b7e0f3.jpeg

[Abb. 1] (c) Dennis Engel 2018, eigenes Foto, Anet A8 3D-Drucker

[Abb. 2] (c) Amazon Inc. <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41umzA67ypL.jpg>

[Abb. 3] (c) Dennis Engel 2018, eigenes Foto, Anet A8 3D-Drucker

[Abb. 4] (c) Criznach 2017, <https://www.thingiverse.com/make:351788>

[Abb. 5] (c) Prozoruk, <https://i.ebayimg.com/images/g/d3oAAOSwIzNXOZFc/s-l1600.jpg>

[Abb. 6] (c) Reifsnyderb, http://reprap.org/mediawiki/images/8/8e/Hotend_collection.jpg

[Abbildung 7] (c) Srek, <http://reprap.org/mediawiki/images/9/95/Hotendssrek.png>

[Abbildung 8] (c) Dennis Engel 2018, eigenes Foto, Glas mit Aceton