

D3 - Delta Drucker kalibrieren

Benötigte Software

Beschreibung	Link
Drucker kalibrieren	-

Step by Step

Wie kalibriert man einen Delta-Drucker?

Einen Delta 3D Drucker aufzubauen ist das eine, diesen korrekt zum Laufen zu bringen das andere. Gerade das Kalibrieren ist entscheidend für die Qualität des endgültigen Ausdrucks, denn je besser die einzelnen Schichten des Ausdrucks übereinander liegen, desto schöner die Optik und desto höher die Maßhaltigkeit.

Nun ist das aufeinander Abstimmen der vielen Komponenten eines Druckers nicht unbedingt einfach und teilweise sind sie auch voneinander abhängig, sodass die einzelnen Schritte des Kalibrieren am besten in einer ganz bestimmten Reihenfolge abgearbeitet werden.

Wir verwenden in dieser Beschreibung die Marlin und die Repetier-Firmware, die Arduino-Software sowie das Programm RepetierHost, um die Kalibrierung durchzuführen. Das Prinzip lässt sich aber auch leicht auf andere Tools anpassen.

Schritt 1: Sorgfalt beim Aufbau

Die erste Regel für den Aufbau eines guten Delta-Druckers ist es, ihn so genau wie nur irgend möglich aufzubauen. Ganz besonders wichtig ist dabei, die drei vertikalen Stützen, an denen die Linearschienen befestigt sind (Delta-Achsen), so auszurichten, dass sie alle gleich weit voneinander entfernt sind und dass sie so parallelen wie nur irgend möglich ausgerichtet werden. Dabei ist es weniger wichtig, wie weit die Achsen auseinanderliegen, solange der Abstand zwischen ihnen immer gleich ist. Auch die sechs Streben (Rods), die die Druckplattform festhalten, sollten in ihrer Länge möglichst identisch sein.

Auch wenn es theoretisch möglich wäre, ungleichmäßige Abstände zwischen den Achsen und unterschiedlich lange Rods zu verwenden, so würde sich doch die Mathematik, die von der Elektronik zur Bewegung der Druckköpfe zu bewältigen ist, um ein Vielfaches verkomplizieren und auch das Kalibrieren selbst wäre noch um einige Faktoren schwieriger.

Natürlich ist auch das Druckbett eines Delta-Druckers sehr wichtig. Hierbei sollte vor allem darauf geachtet werden, dass es möglichst eben ist, sich nicht in der Mitte oder an anderen Stellen durchbiegt. Wenn Glas als Druckbett verwendet wird, hat das den Vorteil, dass es schon ab Werk sehr eben ist und kaum durchhängt – zumindest bei den üblichen Druckbett-Größen von 20-30 cm. Auch Metall-Platten können sehr eben sein, aber während Glas bei stärkeren Verformungen springt und man sofort sieht, dass das Druckbett nicht mehr zu gebrauchen ist, kann Metall sich verformen, ohne dass man es selbst sofort bemerkt.

Ein möglichst ebenes Druckbett sollte natürlich auch so am Drucker befestigt sein, dass man es gut justieren, seine Ausrichtung zu den drei Linearschienen sehr fein einstellen kann. Da oft Spiegelfliesen und andere rechteckige Elemente als Druckbetten verwendet werden, sind diese oftmals mit vier Schrauben am Drucker befestigt. Das ist leider nicht so ganz optimal, denn mit vier Schrauben ist es auch möglich, das Druckbett in seiner Form zu verbiegen. Ist das Druckbett hingegen mit drei Schrauben am Gehäuse befestigt, ist ein solches Verbiegen schon aus mathematischen Gründen gar nicht möglich. Am einfachsten ist das anhand eines Tisches zu erklären: ein Tisch mit vier Beinen wackelt nur dann nicht, wenn er auf absolut geradem Untergrund steht, ein Tisch mit drei Beinen hingegen steht immer sicher.

Weiterhin sollte ihr Drucker korrekt funktionierende und angeschlossene Endstop-Schalter besitzen.

Schritt 2: Startwerte in die Firmware eintragen

Ihre Endstopp-Schalter werden bei mechanischer oder optischer Schaltung üblicherweise über eine Schraube justiert. Bringen Sie die Schraube in Mittelstellung, sodass sie die Position, an der der Endstop auslöst in beide Richtungen gut variieren können. Sollten Sie einen magnetischen und damit elektrisch einstellbaren Endstop haben, bringen Sie das Potentiometer in die Mittelstellung.

Messen Sie nun den Abstand zwischen Druckbett und der Spitze ihres Hotends mit einem Zollstock oder ähnlich geeignetem Messinstrument aus und korrigieren sie die Werte in Ihrer Firmware. In der Repetier- RepetierHost Firmware sind dies die folgenden Variablen in der Datei „Configuration.h“:

- DELTA_DIAGONAL_ROD
- END_EFFECTOR_HORIZONTAL_OFFSET
- CARRIAGE_HORIZONTAL_OFFSET
- PRINTER_RADIUS
- Z_MAX_LENGTH

In Marlin müssen sie die folgenden Parameter ändern:

- DELTA_DIAGONAL_ROD in Marlin.pde/Marlin.ino
- DELTA_EFFECTOR_OFFSET in Marlin.pde/Marlin.ino
- DELTA_CARRIAGE_OFFSET in Marlin.pde/Marlin.ino
- DELTA_SMOOTH_ROD_OFFSET in Marlin.pde/Marlin.ino
- Z_HOME_POS in Configuration.h

Wenn Sie Ihren Drucker so gebaut haben, wie er geplant ist, sollten die theoretisch berechneten Werte hierfür recht gut passen, allerdings sollten Sie die Höhe der Z-Achse doppelt und dreifach überprüfen, damit ihr Druckkopf nicht in das Druckbett gerammt wird. Zur Sicherheit können Sie ja auch erst einmal die Höhe um 1 mm verkürzen.

Schritt 3: Abstand des Druckkopfes zum Druckbett korrekt einstellen

Jetzt müssen wir den Abstand des Druckkopfes zum Bett korrekt einstellen, und das an drei Positionen, die ganz in der Nähe der Delta-Achsen sind. Hier zur wird dem Drucker über einen G-Code der Befehl erteilt, den Punkt anzufahren, der einer der Achsen am nächsten ist. Dann nimmt man ein Blatt Papier, platziert es zwischen Druckkopf und Druckbett und stellt die Endstopp-Schraube der Linearschienen so ein, dass das Blatt Papier so gerade eben noch unter dem Druckkopf bewegt werden kann. Dieser Vorgang muss mehrfach und zudem noch für jede einzelne Linearschiene durchgeführt werden, sodass dieser Schritt recht aufwendig ist. Um ihn zu erleichtern lohnt es sich, die hier benötigten vier G-Code-Skripte auf die benutzerdefinierten Tasten des RepetierHost-Programms zu legen, sodass diese Befehle besonders einfach ausgeführt werden können. Hierzu

müssen Sie das Fenster „Druckereinstellungen“ aufrufen und dort im Tabulator „Skripte“ das Skript „Skript 1“ aufrufen und dann im darunter stehenden Fenster den Code eintragen.

Belegen Sie also in den Druckereinstellungen die Skripte 1-4 mit den folgenden Zeilen:

Script 1:

```
G28  
G0 F8000 X0 Y0 Z0
```

Script 2:

```
G28  
G0 F8000 X-70 Y-50 Z0
```

Script 3:

```
G28  
G0 F8000 X70 Y-50 Z0
```

Script 4:

```
G28  
G0 F8000 X0 Y95 Z0
```

Erste Script fährt den Kopf in der Mitte herunter, die anderen 3 Scripte jeweils an den Achsen x,y und z.

Beginnen wir also nun mit dem praktischen Teil und führen das Skript 1 in der Repetier-Host-Software aus.

Der Druckkopf sollte jetzt zuerst in die Homing-Position fahren und dann auf eine Position, die an eine der Linearschienen liegt. Ein Blatt Papier, das zwischen Druckkopf und Druckbett liegt zeigt Ihnen an, wie groß der Abstand zwischen Druckkopf und Druckbett ist: lässt sich das Papier ohne Widerstand bewegen, ist der Abstand noch zu groß, lässt es sich gar nicht bewegen, ist er zu klein. Drehen Sie nun die Schraube oder das Potentiometer des Endstops der entsprechenden Linearschiene in die jeweils passende Richtung, um näher an das Druckbett zu kommen und starten Sie das Skript erneut. Wieder fährt der Druckkopf in die Homing Position (und übernimmt dabei den neu eingestellten Punkt) und anschließend wieder in Richtung des Druckbetts. Diesen Vorgang wiederholen Sie jetzt so oft, bis Sie das Blatt Papier mit ein bisschen Widerstand unter dem Druckkopf bewegen können.

Wenn Sie das geschafft haben, können Sie sich an die zweite Achse machen und dort ebenso durch Skript starten und nachjustieren der Endstop-Schraube den Abstand zwischen Druckkopf und Bett so einstellen, dass sich das Papier mit einem ähnlichen Widerstand bewegen lässt. Natürlich müssen Sie dies auch für die dritte Achse tun.

Wenn Sie den Druckkopf an allen drei Achsen eingestellt haben, sollten Sie noch einmal von vorne beginnen um zu überprüfen, ob die Einstellungen sich nicht verändert haben. Gegebenenfalls müssen sie so lange korrigieren, bis sie das Blatt Papier an allen drei Positionen mit einem ähnlichen Widerstand zwischen Druckkopf und Druckbett bewegen können.

Schritt 4: Drucker so einstellen, dass er flach druckt

Wenn nur eine Achse eines Delta-Druckers bewegt wird, verschiebt sich der Druckkopf nicht linear in einer Richtung, sondern er bewegt sich so, als wenn er auf der Oberfläche einer Kugel liegen würde. Nun sind kugelförmige Druckbetten schwer zu besen und unpraktische Anwendung, weshalb wir unseren Delta-Drucker dazu bringen müssen, flach zu drucken. Wollen wir den Druckkopf parallel zur Oberfläche eines Planen Druckbetts zu bewegen, müssen alle drei Achsen zusammenarbeiten. Die Mathematik zur Bewegung des Druckkopfes wird dadurch notwendigerweise etwas komplizierter, aber glücklicherweise nicht so sehr, dass unsere Drucker-Elektronik damit nicht fertig würde.

Zur Justage müssen Sie jetzt das Skript vier starten, das den Druckkopf in die Mitten-Position bringt. Wenn Sie das getan haben, wird einer der folgenden drei Fälle eintreten:

Der Druckkopf landet exakt auf der Oberfläche des Druckbetts, das darunter befestigte Papier lässt sich mit dem gleichen Widerstand bewegen wie an den anderen zuvor eingestellten Position. Dies ist die Einstellung, die wir erreichen möchten, sobald das eintritt, ist dieser Schritt der Justage abgeschlossen.

Viel wahrscheinlicher ist aber, dass der Druckkopf oberhalb des Druckbetts zum Stehen kommt (das Papier lässt sich ohne Widerstand bewegen) oder aber das Druckbett berührt (das Papier lässt sich nicht bewegen).

In diesen Fällen ist der in der Firmware angegebene Delta-Radius (der Radius der Kugel, auf die der Delta-Drucker eigentlich drucken möchte) nicht korrekt berechnet, und die Ausgleichsbewegungen der Firmware nicht ausreichend.

Leider wird es jetzt etwas kompliziert: es ist nicht so, dass man einfach direkt den Radius der Kugel in der Firmware ändern könnte, denn dieser wird leider anhand anderer Parameter berechnet. In der Repetier Firmware wird hier für die Formel $\text{DELTA_RADIUS} = \text{PRINTER_RADIUS} - \text{END_EFFECTOR_HORIZONTAL_OFFSET} - \text{CARRIAGE_HORIZONTAL_OFFSET}$ verwendet, in Marlin $\text{DELTA_RADIUS} = \text{DELTA_SMOOTH_ROD_OFFSET} - \text{DELTA_EFFECTOR_OFFSET} - \text{DELTA_CARRIAGE_OFFSET}$

Wenn wir also den Abstand verändern möchten, müssen wir einen der Parameter ändern, der für die Berechnung des Radius verwendet wird. Wenn Sie das Hotend weiter nach oben schieben möchten, müssen Sie beide Repetier-Firmware den Wert `PRINTER_RADIUS` erhöhen, bei Marlin `DELTA_SMOOTH_ROD_OFFSET`. Wollen Sie das Hotend mehr absenken, müssen diese Werte verkleinert werden.

Starten Sie also das vierte Skript und lassen Sie den Druckkopf in Richtung Druckbett fahren. Je nachdem, ob der Abstand zu groß oder zu klein ist ändern Sie die entsprechenden Parameter in der Firmware und laden sie neu auf den Drucker hoch. Testen Sie dann erneut, ob der Abstand jetzt korrekt ist. Nach einigen Durchgängen müssten sie ein brauchbares Ergebnis erhalten.

Schritt 5: Alles noch mal von vorn

Vielleicht glauben Sie jetzt, die Kalibrierung abgeschlossen zu haben – leider müssen wir Sie enttäuschen: durch die Veränderung des Delta-Radius sind jetzt auch nicht mehr die Einstellungen für die Positionen an den Delta-Achsen korrekt. Sie müssen also Schritt 3 wiederholen bis die drei Positionen mit dem richtigen Abstand angefahren werden. Dann müssen Sie Schritt 4 wiederholen, denn durch Schritt drei haben wir den Delta-Radius erneut verändert. Wenn Sie sich jetzt an Sisifuß erinnert fühlen, der immer wieder seinen Stein auf den Berg hoch rollen muss, so können wir Ihnen das nicht verübeln, seien sie aber getröstet, dass sie mit jedem Durchlauf näher an das optimale

Ergebnis herankommen. Irgendwann werden sie den Punkt erreicht haben, an dem an allen vier Positionen das Papier sich mit gleicher Reibung zwischen Druckkopf und Druckbett bewegen lässt - und dann haben sie den anstrengenden Teil des Kalibrieren hinter sich gebracht.

Schritt 6: Maßhaltiges Drucken

Wenn Sie Ihren Drucker jetzt benutzen wollen, dann steht Ihnen nichts mehr im Wege. Lernen Sie jetzt, wie man mit einem Slicer-Programm umgeht und machen Sie Ihre ersten Testdrucke.

Bei kleinen Objekten, Statuen, Schriftzügen, Autos, wo es nicht allzu sehr auf größeren Genauigkeit ankommt, können Sie jetzt schon ganz brauchbare Ergebnisse bekommen. Wenn sie allerdings einmal ein Lineal zur Hand nehmen und ihre Objekte genau ausmessen, werden Sie wahrscheinlich merken, dass ihre Objekte einige Zehntel Millimeter oder sogar ganze Millimeter zu groß oder zu klein sind. Wenn sie ihren Drucker im Maschinenbau einsetzen möchten, ist das natürlich nicht optimal.

Nun geht es darum, den Drucker dazu zu bringen, Maße einzuhalten. Hierzu benötigen wir ein Testobjekt, das sich leicht abmessen lässt, beispielsweise einen 10 cm langen Stab. Generieren können Sie ein solches Objekt sehr einfach in der Open Source-Software SCAD mit dem Befehl `cube([100,1,1])`.

Drucken Sie anschließend aus und nehmen Sie eine Schieblehre zur Hand, um die Länge des Stabes exakt auszumessen (ein Lineal dürfte hierfür zu ungenau sein).

Wenn Ihr Objekt nicht exakt 100 mm lang ist, müssen Sie den Wert `DELTA_DIAGONAL_ROD` in der Firmware abändern, und zwar durch folgende Formel:

*neuer DELTA_DIAGONAL_ROD Wert = <tatsächlich gemessene Länge des Stabes> / 100 * alter DELTA_DIAGONAL_ROD-Wert*

Mit anderen Worten: wenn der Stab nur 98 % der gewünschten Länge hat, müssen sie den Wert `DELTA_DIAGONAL_ROD` um 2 % erhöhen, um zu einem besseren Ergebnis zu kommen.

Auch diesen Schritt müssen Sie voraussichtlich mehrfach durchführen, bis sie zu einem Ergebnis kommen, dass sie zufrieden stellt. Optimalerweise wird ihr Stab irgendwann einmal exakt 100 mm erreichen, realistischer ist aber, dass er um einige Zehntel Millimeter variiert. Das ist relativ normal und hängt stark von der mechanischen Festigkeit Ihres Druckers ab. Bei einem guten Drucker können Sie aber auf 100 Millimetern durchaus eine Abweichung von nur 1-2 Zehntel Millimeter erreichen. Wenn Sie diesen Wert aber nicht sofort erreichen, machen Sie sich nichts daraus, im Laufe der Zeit werden sie mehr und mehr Erfahrungen sammeln und diesen Wert immer weiter verbessern können.

Damit sind wir am Ende des Kalibrieren angelangt. Doch als stolzer Besitzer eines Delta-Druckers werden sie immer mal wieder in die Situation kommen, ihren Drucker neu justieren zu müssen, beispielsweise wenn sich Endstops gelöst haben, ein neuer Druckkopf eingebaut wird oder eventuell nach einem Transport des Druckers. Im Laufe der Zeit werden Sie die Justage immer routinierter hinbekommen und immer genauere Ergebnisse erhalten. Wir drücken Ihnen die Daumen dafür.
