

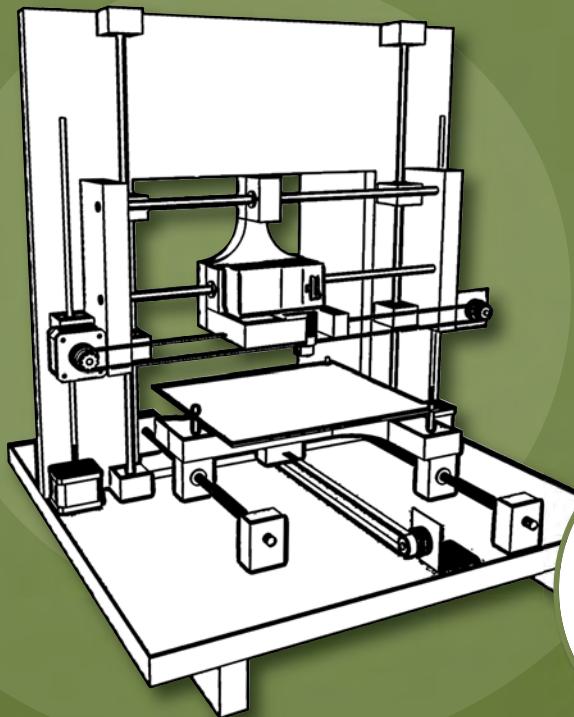
DANIEL WALTER

3-D-DRUCKER SELBER BAUEN

MACH'S EINFACH

ALLES FÜR DEN EIGENEN 3-D-DRUCKER:
SÄGEN - SCHRAUBEN - DRUCKEN
SCHRITT FÜR SCHRITT

WENIGER ALS
250 EURO
MATERIAL-
KOSTEN



MIT
BAUMARKT-
MATERIAL ZUM
EIGENEN
3-D-DRUCKER

Daniel Walter

**3-D-Drucker selber bauen
Mach's einfach**

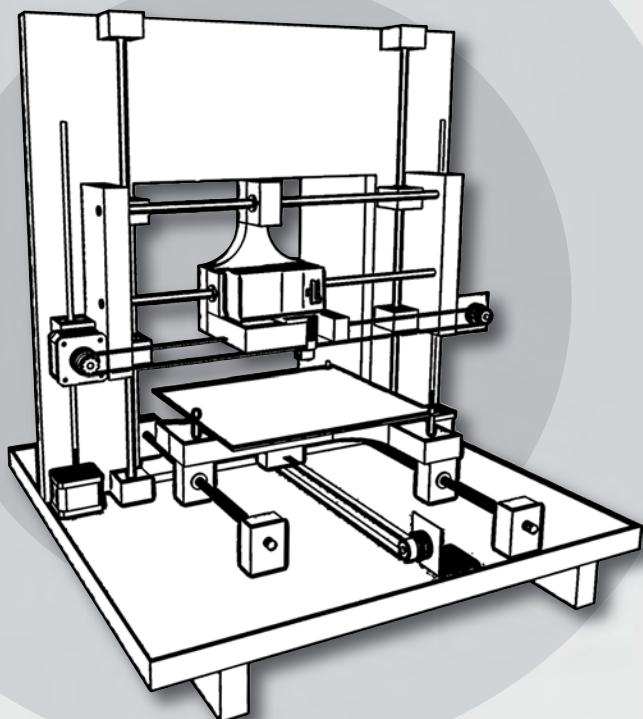
WALTER DANIEL

3-D-DRUCKER SELBER BAUEN

MACH'S EINFACH

ALLES FÜR DEN EIGENEN 3-D-DRUCKER:
SÄGEN - SCHRAUBEN - DRUCKEN

SCHRITT FÜR SCHRITT



Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Hinweis: Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar. Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigelegte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2015 Franzis Verlag GmbH, 85540 Haar bei München

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Arduino ist ein eingetragenes Markenzeichen der Arduino S.r.l.

Satz & Layout: Nelli Ferderer, nelli@ferderer.de

Programmleitung: Dr. Markus Stäuble

Lektorat: Ulrich Dorn

art & design: www.ideehoch2.de

Druck: M.P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Printed in Germany

ISBN 978-3-645-60389-8

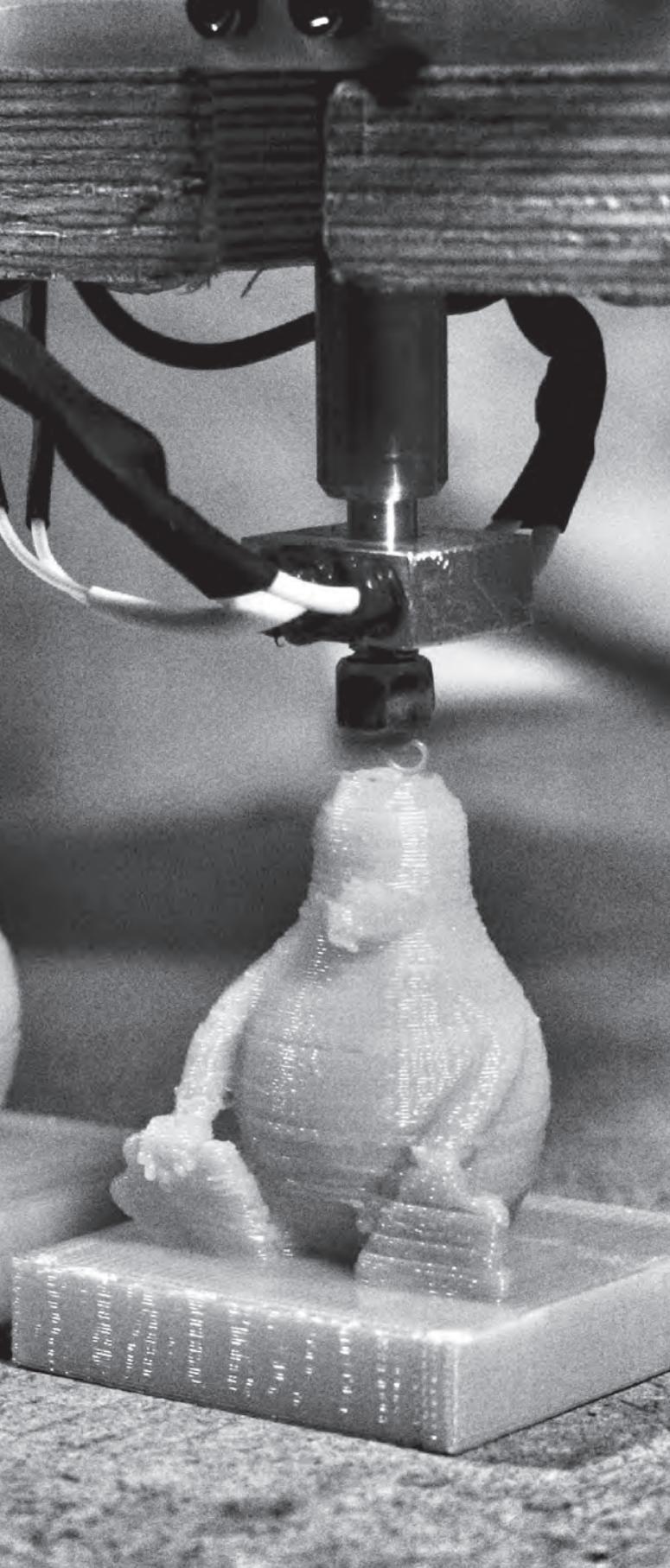
INHALT

1. 3-D-Drucker bauen: Mach es einfach selbst!	8
1.1 Kriterien zur Anschaffung eines Druckers	10
1.2 Das erwartet Sie in diesem Buch	12
1.3 Open-Source-Soft- und -Hardware dank RepRap	14
1.4 RepRap: der quelloffene 3-D-Drucker	15
1.5 FranzisMendel: die Idee, das Konzept	18
2. Einkaufsliste: alle Bauteile für unter 250 Euro	22
2.1 Günstige Bauteile: Open Source macht's möglich	24
2.2 Wahl des Extruders: eine wichtige Entscheidung	26
2.3 Tipps für einen kostengünstigen Einkauf	29
2.4 Wichtige Anbieter und Bezugsquellen	32
2.5 Einkaufsliste und Beschreibung der Bauteile	34
3. Bohren, ein wenig sägen und zusammenschrauben	38
3.1 Handwerkliches Geschick? – Sie können das!	40
3.2 Empfehlungen für die Werkstattausrüstung	41
3.3 Holz für den Rahmenbau	48
4. Wellen- und Kugellagerhalter herstellen	64
4.1 Alternativen zum Selbstbau der Halter	66
4.2 Wellenhalter zusägen	68
4.3 Zehn Linearkugellagerhalter herstellen	72
5. Druckbett und Linearführung für die y-Achse	76
5.1 Druckbetthalterung zusägen und für die Montage vorbereiten	78
5.2 Linearkugellager am Druckbetthalter befestigen	82

5.3	Halter für die Kabelführung bauen und befestigen	86
5.4	Zahnriemenspannvorrichtung für die y-Achse	87
5.5	Linke Linearführungswelle für die y-Achse montieren	92
5.6	Rechte Linearführungswelle für die y-Achse montieren	97
5.7	Kabelführung für die Heizbettverkabelung befestigen	98
5.8	Heizbett auf dem Druckbetthalter montieren	100
6.	Antriebsmotor für die y-Achse einbauen	114
6.1	Steppermotor und Umlenkrollenhalter montieren	116
7.	Extruderhalter und Linearführung für die x-Achse	124
7.1	Halter zusägen und mit Bohrungen versehen	126
7.2	Kugellager für die x-Achse montieren	130
7.3	Druckkopfhalter an den Extruder anpassen	133
7.4	Rampa-Muffen einschrauben und Wellenhalter zusammenbauen	137
7.5	Wellen für die x-Achse montieren	140
7.6	Linearführung für die z-Achse einbauen	142
7.7	Antrieb für die z-Achse einbauen	147
8.	Kabelführung für Druckkopfhalter und x-Achsen-Antrieb	150
8.1	Die Kabelführung für den Druckkopf bauen	152
8.2	Den Extruder richtig verkabeln	157
8.3	Wellenhalter für die x-Achse justieren und mit dem Antrieb komplettieren	159
9.	Filamentrollenhalter am Rahmen montieren	164
9.1	Bauteile vorbereiten und am Rahmen anbringen	166

10. Einbau der Druckersteuerung	170
10.1 Montage der Endstopps	172
10.2 Arduino™-Board am Druckerrahmen befestigen	176
10.3 Ramps1.4-Board auf dem Arduino™ montieren	177
10.4 Steuerungskabel verlegen und verbinden	180
11. Netzteil für den FranzisMendel zum Nulltarif	186
11.1 AT-Netzteil ohne Modifikation	188
11.2 ATX-Netzteil, noch weit verbreitet	188
11.3 ATX2-Netzteil RepRap-fit machen	190
11.4 Erster Test für das neue Netzteil	191
12. Firmware auf den FranzisMendel aufspielen	192
12.1 Arduino™-IDE installieren	194
12.2 IDE einrichten und Ansprechbarkeit des Arduino™ testen	196
12.3 Firmware und Hostsoftware aufspielen und konfigurieren	198
13. Probedruck, Steppertreiber-Feintuning und Repetier-Host-Optimierung	214
13.1 Cura konfigurieren und einen G-Code berechnen	216
13.2 Maschine für den ersten Probedruck klarmachen	220
14. Erste Hilfe, Tipps und Tricks sowie Quellen für 3-D-Druck-Vorlagen	226
14.1 Schlechtes Druckbild und Druckerfehlfunktionen	228
14.2 Werkzeuge für die Reparatur von 3-D-Druck-Vorlagen	234
14.3 FranzisMendel aufrüsten: Ergänzungen und Erweiterungen	236
Index	238





1

3-D-DRUCKER BAUEN: MACH ES EINFACH SELBST!

- | | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Kriterien zur Anschaffung
eines Druckers | 10 |
| 1.2 | Das erwartet Sie
in diesem Buch | 12 |
| 1.3 | Open-Source-Soft- und
-Hardware dank RepRap | 14 |
| 1.4 | RepRap:
der quelloffene 3-D-Drucker | 15 |
| 1.5 | FranzisMendel:
die Idee, das Konzept | 18 |



■ Angeblich ist der 3-D-Drucker für den heimischen Schreibtisch der große Hype. Manche sprechen sogar von einer neuen industriellen Revolution, die es Ihnen ermöglichen soll, zukünftig für ein paar Cent Ersatzteile für defekte Haushaltsgeräte per Mausklick zu produzieren. Oder Spielzeug für Ihre Kinder oder, falls Sie eine kreative Ader besitzen, komplexeste Kunstwerke oder, falls Sie Produktentwickler sind, Prototypen oder, oder. Grundsätzlich stimmt das ja auch. Der 3-D-Druck ermöglicht Ihnen theoretisch die einfache Herstellung von Gegenständen, wie sie Ihnen unter Zuhilfenahme anderer Techniken nur mit großem Aufwand gelingen würden. Allerdings gibt es in der Praxis einige Einschränkungen. Da Sie dieses Buch in der Hand halten, besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass Sie mit der Anschaffung eines 3-D-Druckers liebäugeln.

3-D-DRUCK ALS AUFTAGSSERVICE



Die erste Frage vor einem Druckerkauf sollte lauten: Wie oft werden Sie den 3-D-Drucker im Alltag einsetzen? Sollte die Antwort »nur gelegentlich« bis »äußerst selten« lauten, ist die deutlich schlauere Alternative zum Druckerkauf das Druckenlassen bei einem 3-D-Druck-Service. Dies ist zwar, im Vergleich zu den reinen Materialkosten beim Druck mit einem eigenen Gerät, deutlich teurer, auf der anderen Seite haben Sie beim Auftragsdruck die Wahl zwischen vielen Materialien (sogar z. B. Keramik oder Metall) und können auch mehrfarbige Drucke realisieren. Mit einem marktüblichen 3-D-Drucker unter 10.000 Euro können Sie dagegen nur einfarbig mit diversen thermoplastischen Kunststoffen wie z. B. ABS und PLA drucken.

TIPP!

1.1 KRITERIEN ZUR ANSCHAFFUNG EINES DRUCKERS

Bevor Sie in den nächsten Laden gehen und sich mit dem aktuellen Sonderangebot eindecken, sollten Sie sich einige grundlegende Gedanken machen, um nicht, nachdem Sie viel Geld ausgegeben haben, schwer enttäuscht zu werden. Fragen Sie sich, für welche Zwecke Sie den 3-D-Drucker einsetzen wollen, was der neue Drucker können soll und nicht zuletzt, wie viel Geld Sie dafür ausgeben wollen. Und schließlich, ob Sie nicht Spaß daran finden könnten, ihn selbst zu bauen und damit viel Geld zu sparen. Denn wie das geht, verrät Ihnen dieses Buch.

1.1.1 Günstige Fertigeräte von der Stange

In letzter Zeit häufen sich Sonderangebote – vor allem von Onlineanbietern –, bei denen Ihnen 3-D-Drucker ab ca. 600 Euro angeboten werden. Für einen Spontankauf, um die neue Technik mal auszuprobieren, ist das immer noch zu teuer. Falls Sie jedoch z. B. Mitglied eines Modellbauvereins sind, könnte sich die Anschaffung durchaus lohnen. Der Drucker wäre nicht nur gelegentlich im Einsatz, sondern bekäme einiges zu drucken, und die Kosten würden geteilt.

Leider zeigen Praxistests immer wieder und immer noch, dass solche Billigeräte das Geld, das dafür verlangt wird, nicht wert sind. Weder sind sie im Betrieb so zuverlässig, dass von Alltagstauglichkeit die Rede sein könnte, noch ist ihre Druckqualität so hoch, dass damit beispielsweise kleine technische Bauteile, wie sie im Flugzeugmodellbau oft zum Einsatz kommen, problemlos realisierbar sind. Um aber Staubfänger wie z. B. Star-Wars-Figuren in B-Qualität zu Hause ausdrucken zu können, sind die Anschaffungskosten definitiv zu hoch.

1.1.2 Alltagstaugliche und zuverlässige 3-D-Drucker

Wirklich alltagstaugliche, zuverlässige 3-D-Drucker sind hingegen noch nicht so preisgünstig, dass eine Anschaffung einfach weil es nett wäre, ab und zu lustigen Plastiknippes als Geschenk für Freunde oder Verwandte auszudrucken, eine realistische Option wäre. Einen Drucker, der tatsächlich ohne dauernde Störungen mit akzeptabler Druckqualität auf Knopfdruck seinen Dienst verrichtet, ist in der Preisklasse ab 2.000 Euro zu haben. Allerdings rät selbst der Marktführer von Druckern dieser Klasse, MakerBot, zum Abschließen eines Supportvertrags, um die gewünschte Zuverlässigkeit im Alltag auch über längere Zeiträume gewährleisten zu können.

So weit wie z.B. bei Laserdruckern, die über Jahre klaglos laufen, solange Sie sie mit Verbrauchsmaterial versorgen, ist die Technik beim 3-D-Druck leider noch nicht. Zum Anschaffungspreis kommen also hohe Kosten von jährlich einigen Hundert Euro für den Support auf Sie zu. Ein solcher 3-D-Drucker lohnt sich nur, wenn er regelmäßig im Einsatz ist und im Idealfall seine Kosten durch Arbeits- und Zeitersparnis amortisiert. Falls Sie z.B. als Architekt oder Designer oft Modelle bauen oder im Bereich Prototyping tätig sind, kann die Anschaffung eines hochwertigen Fertiggeräts für Sie tatsächlich sinnvoll sein.

1.1.3 Bausätze für Technik- und Bastelaffine

Falls Sie technik- und bastelbegeistert sind, können Sie mit einem 3-D-Drucker-Bausatz etwas Geld sparen. Allerdings sind Geräte, die in puncto Zuverlässigkeit und Alltagstauglichkeit in der MakerBot-Liga mithalten können, auch als Bausatz nicht unter 600 Euro zu haben. Das Zusammenschrauben hat neben der Kostensparnis einen weiteren Vorteil: Sie lernen Ihren neuen Drucker intensiv kennen und wissen später, wo Sie bei Reparaturen hingreifen müssen und wie Sie das Malheur beseitigen, wenn im Druckbetrieb irgendetwas schiefgeht, sich verklemmt oder verstopft.

Das ist deshalb von Vorteil, weil es für Bausatzgeräte keine Supportverträge gibt. Allerdings sollten Sie über einige handwerkliche Erfahrung und sehr viel Zeit verfügen sowie Spaß an komplexen Basteleien haben, wenn Sie sich auf einen 3-D-Drucker-Bausatz einlassen. Geräte wie z.B. der beliebte RepRap-Prusa bestehen aus einer Unzahl von Bauteilen. Dutzende Gewindestangen, Hunderte Schräubchen und Muttern wollen verschraubt werden, und Ihre Geduld wird arg beansprucht werden.



1.1.4 3-D-Drucker für unter 250 Euro selbst bauen

Wenn Sie sich handwerklich fit genug einschätzen, um mit einem Druckerbausatz fertigzuwerden, schaffen Sie locker auch einen Selbstbau mit Bauteilen aus dem Baumarkt und wenigen Spezialteilen aus dem Fachhandel. Im Vergleich zu einem Bausatz können Sie so die Anschaffungskosten noch einmal deutlich senken. Beim totalen Selbstbau wäre sogar ein funktionierender 3-D-Drucker für unter 200 Euro realisierbar. Wenn Sie einen professionellen Druckkopf und ein paar andere Komponenten als Fertigteile einkaufen, wird Ihr Selbstbauprojekt später im Betrieb ähnlich zuverlässig und alltagstauglich sein wie ein hochwertiger Bausatz oder ein Fertigerät.

Was zunächst als noch eine Stufe komplexer und zeitaufwendiger als das Zusammensetzen eines Bausatzes erscheint, kann tatsächlich sogar mit weniger Aufwand verbunden sein. Vorausgesetzt natürlich, Sie verfügen über eine Bauanleitung für eine selbstbaufreundliche Konstruktion mit einem schlüssigen Baukonzept. Und genau das haben Sie mit dem Buch, das Sie gerade in Händen halten, gefunden.

1.2 DAS ERWARTET SIE IN DIESEM BUCH

Dies ist keine allgemein gehaltene Schrift darüber, welche mannigfaltigen Alternativen (die es tatsächlich gibt) der 3-D-Druck-Enthusiast hat, um aus einer riesengroßen Auswahl an technischen Konzepten und Detaillösungen irgendwann und irgendwie im Versuch-Irrtum-Verfahren seine individuelle Maschine zurechtzufriemeln.

Dieses Buch ist vielmehr eine Anleitung, wie Sie mit Multiplexsperrholz, Schrauben und Beschlägen aus dem Baumarkt sowie günstiger Elektronik und ein paar Spezialteilen einen funktionstüchtigen, zuverlässigen 3-D-Drucker selbst bauen. Dabei wird jeder Bauschritt genau erklärt, sodass Sie nicht in die Verlegenheit kommen werden, an einer besonders kniffligen Stelle zu scheitern. Es werden auch nicht Dutzende Alternativen aufgezeigt, genau ein Weg wird beschrieben, Ihren 3-D-Drucker zu bauen. Dieser Weg wurde mehrfach erprobt, sodass es sich bei diesem Buch nicht um eine Sammlung theoretischer Lösungsansätze, sondern um eine in der Praxis nachvollzieh- und nachbaubare, funktionierende Anleitung handelt.

Bei der Wahl der technischen Konzepte wurde zudem nicht darauf geachtet, das Neueste vom Neuen zum Einsatz zu bringen. Im Gegenteil, es wurden nur Lösungen verwendet, die sich schon tausendfach bewährt haben. Dies hat, neben der erwiesenen Funktionalität, den weiteren Vorteil, Ihnen konkret Kosten zu sparen. So ist z. B. die zum Einsatz kommende Steuerungselektronik »Ramps1.4« schon seit einigen Jahren auf dem Markt, obwohl inzwischen einige modernere, aber auch teurere Steuerungen erhältlich sind. Das Ramps1.4-Board hat neben seiner erwiesenen Zuverlässigkeit und einer guten Softwareunterstützung (inklusive Dokumentation) den Vorteil, inzwischen einem massiven Preisverfall unterlegen zu sein. Kostete noch vor zwei Jahren eine Ramps1.4-Einheit über 100 Euro, so ist heute eine komplette Druckersteuerung auf Ramps1.4-Basis für unter 30 Euro erhältlich.

Für jedes technische Problem und jeden Bauschritt wird im Buch genau eine Lösung aufgezeigt. Diese wird ausführlich Schritt für Schritt erklärt. Falls Sie über etwas handwerkliches Geschick verfügen, können Sie sicher sein, am Ende Ihrer Säge-, Bohr- und Schraubbemühungen einen funktionierenden 3-D-Drucker vor sich stehen zu haben.

Natürlich ist Ihr neuer 3-D-Drucker so konstruiert, dass er jederzeit aufrüstbar ist. Ob Sie die einfach gehaltene, aber leicht zu konfigurernde Druckerfirmware »Marvin« später durch eine ersetzen wollen, die mehr Feintuning ermöglicht, einen zweiten Druckkopf für den Zweifarben-druck einbauen oder ein SD-Kartenlesemodul mit einem Display für den autonomen Druck ohne Computeranbindung verbauen möchten, hängt nur von Ihren Wünschen und Ihrer Selbstbaufreude ab.

Auch die Bauraumgröße, die maximal mögliche Größe eines Ausdrucks, lässt sich einfach von 19 cm x 19 cm x 12 cm in der Höhe auf 19 cm vergrößern. Dazu müssten nur die Filament- und Kabelführungen anders an den Rahmen montiert werden. Im Buch ist der Bau der kleinen Bauraumvariante beschrieben, weil der Drucker für Sie kompakter gebaut werden kann, ein Umbau auf den größeren Bauraum ist aber in ein bis zwei Stunden erledigt.

Alle Erweiterungs- und Modifizierungsmöglichkeiten werden nur stichwortartig behandelt, damit mehr Platz für die ausführliche Bauanleitung des Druckers in seiner Basisausführung bleibt. Allerdings steht zu vermuten, dass für Sie nach dem erfolgreichen Bau Ihres 3-D-Druckers dank Ihres gewonnenen Erfahrungsschatzes eine eventuelle Aufrüstung ein Kinderspiel sein wird.

DER FRANZISMENDEL IM ÜBERBLICK



Druckformat: 19 cm x 19 cm x 12 cm

**Größtmögliches Druckformat
mit modifizierter Filament- und
Kabelführung: 19 cm x 19 cm x 19 cm**

**Geeignete Druckmaterialien:
PLA und ABS**

Beheiztes Druckbett

**Extruder: Wade-Extruder,
MK8-Klon (mit MK8-Hot-End)
oder BulldogXL**

Hot-End: J-Head oder Merlin

**Linearführungen:
LM8UU-Kugellager
auf Stahlstangen**

**Steuerung: Arduino Mega
mit Ramps1.4**



HACKERSPACES UND FABLABS

Diese von Vereinen und Klubs betriebenen Treffpunkte für Digitalkultur, die es heute in fast jeder größeren Stadt gibt, sind eine interessante Alternative zum Kauf bzw. eine gute Hilfe beim Bau eines eigenen 3-D-Druckers. Dort können Sie, kostenlos oder gegen eine kleine Gebühr, 3-D-Ausdrucke anfertigen. Um in das Thema 3-D-Druck hineinzuschnuppern, lohnt der Besuch allemal. Hackerspaces und FabLabs wollen Raum und Möglichkeiten für Menschen zur Verfügung stellen, die sich für Kunst, Wissenschaft und Technik interessieren und die in diesem Bereich selbstbestimmt lernen, entwickeln und produzieren wollen.

Die Idee dabei ist, Wissen und Infrastruktur miteinander zu teilen. Meist haben Sie deshalb an diesen Orten gleich mehrere unterschiedliche Geräte zur Verfügung, mit denen Sie erste Erfahrungen im 3-D-Druck sammeln können. Freundliche Mitmenschen, die Ihnen mit Rat und Tat beim Druckereigenbau zur Seite stehen, finden Sie dort ebenfalls.

Unter hackerspaces.org und [www.fablabs.io](http://fablabs.io) finden Sie Listen aktuell existierender Einrichtungen.

TIPP!

1.3 OPEN-SOURCE-SOFT- UND -HARDWARE DANK REPRAP

Drucker der Preisklasse bis ca. 3.000 Euro funktionieren nach dem sogenannten Fused-Deposition-Verfahren. Dies bedeutet, vereinfacht ausgedrückt, nichts anderes, als dass mit einer Art Heißklebeleitung ein durch Erwärmen verflüssigter Kunststoff Schicht um Schicht übereinander aufgetragen wird. Durch Abkühlen härtet der Kunststoff wieder aus, und so entsteht im additiven Verfahren eine Form. Die Düse, aus der der Kunststoff austritt, muss nur hinreichend exakt geführt und ihre Bewegungen über eine elektronische Motorsteuerung kontrolliert werden, um einen 3-D-Druck zu ermöglichen. Dies ist technisch gesehen ein trivialer, leicht beherrschbarer Vorgang.

Mit den nötigen Informationen, Bauplänen und Bauteilen muss es also möglich sein, sich einen funktionierenden 3-D-Drucker zu Hause in der Hobbywerkstatt selbst zu bauen. Und in der Tat: Dank der Open-Source-Bewegung ist es heute durchaus möglich, für wenig Geld an einen alltags-tauglichen 3-D-Drucker zu kommen. Wie, zeigt Ihnen dieses Buch.

1.3.1 Das steckt hinter der Open-Source-Idee

»Quelloffen« bedeutet, dass der Quellcode eines Programms frei zugänglich sein soll. So können Sie als Nutzer die Anwendung Ihren Bedürfnissen anpassen, Fehler eliminieren und sie um neue Funktionen erweitern – oder aber, um Sicherheitslücken zu schließen, jederzeit überprüfen, was das Programm genau tut. Die Lizenzbedingungen von freier Software sehen vor, dass diese Verbesserungen wiederum frei zugänglich sein und an die Gemeinschaft zurückgegeben werden sollen. Das Betriebssystem GNU/Linux (oft auch nur Linux genannt) ist ein herausragendes Beispiel dafür.

Die Open-Source-Idee soll aber nicht nur für zuverlässigere, sicherere und leistungsfähigere Software sorgen, sondern hat auch eine gesellschaftspolitische Dimension. Das Entwickeln neuer Ideen und Techniken in einer großen Gemeinschaft sowie die freie Verbreitung von Informationen sind dabei die wichtigsten Ideale.

Die Ursprünge der Open-Source-Idee liegen vermutlich in den 50ern, als die Do-it-yourself-Bewegung mit ihren Idealen der Selbstorganisation und Eigeninitiative in Produktion und Kunst entstand. Die später überall entstandenen Baumärkte verdanken einen Teil ihrer heutigen guten

Umsätze ebenso der Do-it-yourself-Bewegung wie einige Punkmusik-labels. Später, ab den 60ern und 70ern, waren es Hacker, die versucht haben, sich Wissen um Technik anzueignen, um damit kreativ Neues zu erschaffen.

Vom Journalisten und bekannten Chaos-Computer-Club-Mitglied Wau Holland stammt das Zitat: »Ein Hacker ist jemand, der versucht, einen Weg zu finden, wie man mit einer Kaffeemaschine Toast zubereiten kann.« Es war also schon damals auch die »harte« Technik, die Hardware, und nicht nur Software, die von Idealisten nach Open-Source-Grundsätzen kreativ weiterentwickelt, umgebaut oder zweckentfremdet wurde. Erst später bekam das Wort Hacker zusätzlich die Negativbedeutung »Mensch, der Computersysteme manipuliert«.

1.4 REPRAP: DER QUELLOFFENE 3-D-DRUCKER

Früher oder später werden Sie bei Ihrer Recherche zum Thema 3-D-Druck über den Begriff RepRap stolpern, der für »Replicating Rapid-Prototyper« steht. Ein RepRap ist eine Maschine, mit der Sie aus CAD-Daten schnell und ohne großen Aufwand Musterbauteile (Prototypen) herstellen können. Als der britische Ingenieur Adrian Boywer 2004 die Idee eines Open-Source-Druckers entwickelte, war ihm wichtig, die Konstruktion so zu gestalten, dass es möglich ist, mit der Maschine Bauteile für weitere Geräte zu drucken.

Die Philosophie der Replizierbarkeit (Replicating) sollte, die Kosten für einen 3-D-Drucker so weit drücken, dass sich jeder einen leisten kann. Indem 3-D-Drucker-Besitzer selbst zu 3-D-Drucker-Herstellern werden, sollen sich die Geräte im Schneeballsystem verbreiten. Zu einem Zeitpunkt, da 3-D-Drucker wegen der hohen Anschaffungspreise im fünfstelligen Bereich nur in großen Firmen und Bildungseinrichtungen zu finden waren, stellte dies ein ambitioniertes Ziel dar. Tatsächlich konnte Boywer den ersten funktionierenden RepRap zu einem Materialpreis von ca. 500 Euro realisieren.

Er taufte ihn auf den Namen »Darwink«, was dem anderen wichtigen Aspekt der Idee der Selbstreproduzierbarkeit geschuldet war: Weiterentwicklungen des Druckers können schnell und mit geringem Aufwand von der RepRap-Fangemeinde realisiert und getestet werden, sodass im Idealfall eine stetige Geräteevolution, analog zu Charles Darwins Evolutionslehre, in Gang gesetzt wird.

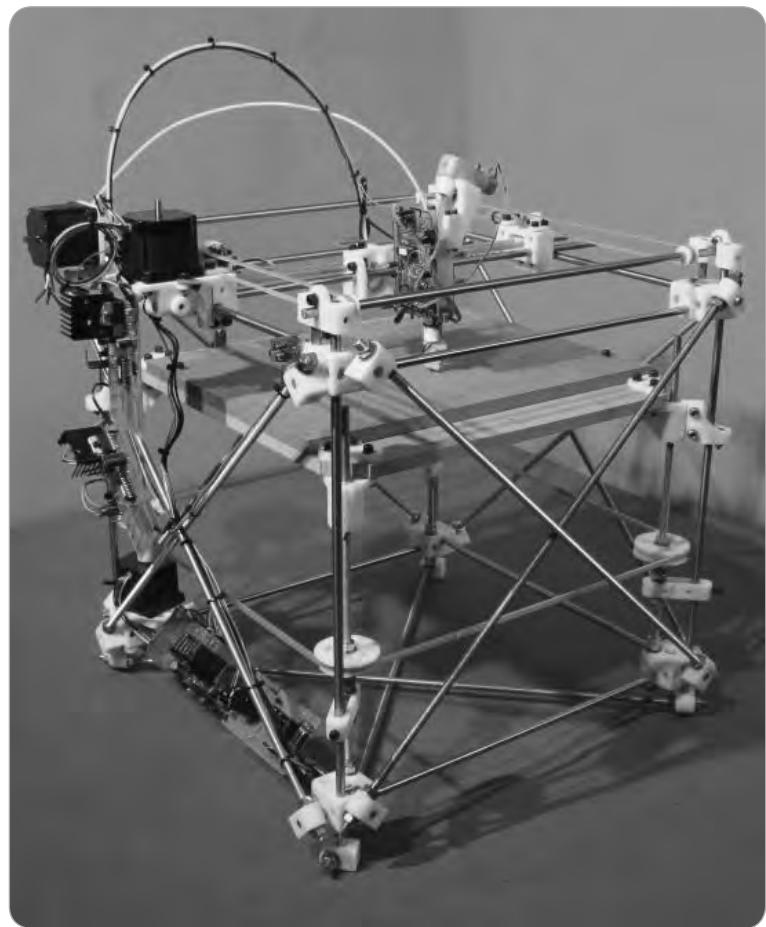
GESELLSCHAFTSPOLITISCHER ASPEKT DER REPRAP-IDEE

Boywer betonte immer auch den gesellschaftspolitischen Aspekt der RepRap-Idee. Ihm war wichtig, dass sich Menschen in die Lage versetzen können, von bloßen Konsumenten zu unabhängigen Herstellern zu werden. Sei es der Nachdruck eines nicht mehr erhältlichen Ersatzteils, die Umsetzung eigener Ideen, das klassische Prototyping oder das preiswerte Herstellen von Kleinserien – all dies sollten Besitzer eines RepRaps realisieren können.





Darwin, der erste funktionierende RepRap-Drucker von 2004, ist wie alle seine Nachfahren Open Source. Alle Baupläne sind quelloffen lizenziert und frei verfügbar. (Quelle: CharlesC at en.wikipedia CC-BY-SA-3)



1.4.1 Bootstrapping - die Münchhausen-Methode

Bootstraps nennen die Engländer die kleinen Laschen, die hinten an Reitstiefeln angenäht sind. Diese sind hilfreich, um einen knapp geschnittenen Stiefel mit Kraft über den Fuß zu ziehen. Es gibt nun Briten, die behaupten, sich in verzweifelter Lage, im Hochmoor versinkend, an den eigenen Stiefeltaschen aus selbigem gezogen zu haben. Sich am eigenen Schopf aus dem Sumpf zu ziehen ist auch hierzulande bekannt – als die Münchhausen-Methode.

1.4.2 Logikfehler hinter der RepRap-Philosophie

Die RepRap-Philosophie der sich selbst replizierenden Maschine hat einen kleinen Logikfehler: Der allererste 3-D-Drucker, der RepRap-Teile druckt, kann kein RepRap sein, da seine Teile ja nicht mit einem RepRap

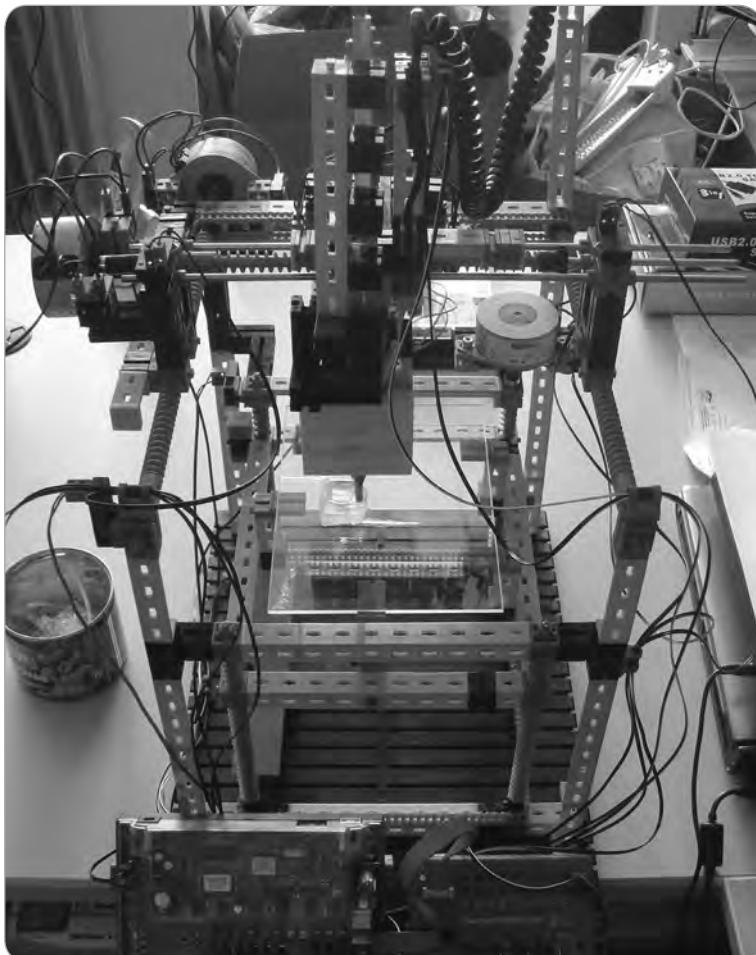
gedruckt worden sein können. Vom Zahnersatz über wohlgeformte Pizzas bis zum Reihenhäuschen reichen die Beispiele dessen, was heutzutage gedruckt werden kann. Aber ein »Mutterdrucker«, der einen vollständigen »Kinddrucker« inklusive Motoren, Linearführungen, Elektronik usw. drucken kann, wird wohl, schon aufgrund der verschiedenen zu verarbeitenden Materialien, noch einige Zeit auf sich warten lassen.

Die Praktiker der RepRap-Entwicklergemeinde überließen die Lösung des Logikdilemmas den Geisteswissenschaftlern und allzu ambitionierte Erwartungen an die 3-D-Druck-Technik den Science-Fiction-Autoren. Sie konzentrierten sich auf das Machbare und bauten kurzerhand aus diversen Materialien, die günstig zu besorgen waren, mit viel Kreativität Muttermaschinen. Diese Vorgehensweise nannten sie sinnigerweise Bootstrapping oder auch RepStraping.

Beispiele für den fantasievollen Umgang mit der Technik sind z. B. der sogenannte FTI-Strap aus Fischer-technik-Teilen oder der WolfStrap, eine nach seinem Entwickler Wolfgang Vogel benannte Maschine, die aus Dachlatten, Sperrholz und Möbelbeschlägen im wahrsten Sinne des Wortes zusammengezimmert wurde.



Der FTI-Strap ist eine Muttermaschine, bei der Fischer-technik-Teile für die Konstruktion zum Einsatz kommen.
(Quelle: reprap.org)



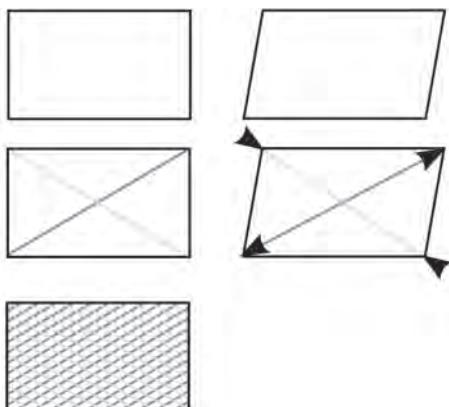


1.5 FRANZISMENDEL: DIE IDEE, DAS KONZEPT

Der Drucker, der für dieses Buch entwickelt wurde, ist kein Experiment, sondern in all seinen Komponenten ausgereift und funktionstüchtig. Ideen aus verschiedenen RepRap-Konzepten wurden kombiniert, um eine Maschine zu kreieren, die für sehr wenig Geld einen guten Einstieg in den 3-D-Druck ermöglicht. Was Sie vom Selbstbau eines FranzisMendel nicht erwarten sollten, ist eine Maschine, die glänzend und schick wie aus einem Hochglanzprospekt auf Ihrem Schreibtisch thront und mit CE-Zeichen, TÜV-Zertifikat plus Dreijahresgarantie mit Support daherkommt.

Das bieten andererseits auch nur wenige Anbieter von Fertiggeräten, wie z.B. der Marktführer MakerBot, allerdings zum sechs- bis zehnfachen Preis eines FranzisMendel. Bei den im Handel erhältlichen Bausätzen ist die Lage meist die gleiche wie beim Komplettselfbstbau; Geräte mit Garantien und Sicherheitszertifikaten werden Sie kaum finden, und wenn doch, lässt sich der Anbieter das gut bezahlen.

1.5.1 Bootstrapping dort, wo es sinnvoll ist



Scheibenwirkung: oben ein Rahmen ohne Aussteifung, der sich leicht zu einem Parallelogramm verziehen kann, in der Mitte ein Fachwerkrahmen, in dem Querstäbe Zug- und Druckkräfte aufnehmen und dadurch aussteifend wirken, unten eine Scheibe als Optimum einer Aussteifung.

Das Prinzip des Bootstrapping hat den Vorteil, dass Sie für viele der benötigten Komponenten auf preisgünstige Teile aus dem Baumarkt zurückgreifen können, was Ihnen viel Geld sparen kann. Eine große Konstruktionsschwäche vieler RepStraps ist das oft eingesetzte Stangenmaterial für den Rahmen des Druckers. Gewindestangen oder Aluprofile, wie sie z.B. beim RepRap Prusa Mendel ([reprap.org/wiki/Prusa_Mendel_\(iteration_2\)](http://reprap.org/wiki/Prusa_Mendel_(iteration_2))) eingesetzt werden, haben die Nachteile, verhältnismäßig teuer und aufwendig in der Montage zu sein und dem Drucker nicht die Steifigkeit und Stabilität zu verleihen, die nötig ist, um später im Betrieb ein sauberes Druckergebnis bei hoher Zuverlässigkeit zu gewährleisten.

Das Konzept des Mendel90 (reprap.org/wiki/Mendel90) mit seinen Platten aus Kunststoff oder Aluminium, die jeweils im namensgebenden 90-Grad-Winkel miteinander verbunden sind, sorgt dank der sogenannten Scheibenwirkung für eine hohe Steifigkeit des Druckers.

Allerdings ist das beim Mendel90 verwendete Plattenmaterial relativ teuer. Beim FranzisMendel kommt stattdessen relativ preisgünstiges Multiplexsperrholz aus dem Baumarkt zum Einsatz. Das spart nicht nur Geld, sondern auch Bearbeitungsaufwand. Sie können die benötigten Teile im Baumarkt zusägen lassen oder sie z.B. mit einer Stich- bzw. Handkreissäge leicht selbst bearbeiten. Der Zusammenbau erfolgt ganz einfach mit Spanplattenschrauben. Auch einige Kleinteile, wie z.B. die Halter für die Linearführungswellen, werden aus Multiplexmaterial gefertigt, was aus einem Wellenhalter, der im Fachhandel nicht unter 2 Euro zu bekommen ist, einen Cent-Artikel macht.

1.5.2 Einsatz hochwertiger Komponenten

Trotz des schmalen Budgets ist im FranzisMendel z.B. ein Druckkopf, meist Extruder genannt, als Fertigteil aus dem Fachhandel vorgesehen. Selbstbau wäre zwar auch hier denkbar und erst einmal deutlich billiger, auf Dauer jedoch sicher nicht preiswerter. Der Extruder ist das Herzstück Ihres zukünftigen Druckers. Von ihm hängen direkt Druckqualität und Zuverlässigkeit im Alltagsbetrieb ab. Hier zu sparen würde bedeuten, sich erheblichen Frust und Zeitaufwand für ständige Reparaturen einzuhandeln. Auch beim Druckbett wird nicht an der falschen Stelle gespart: Der FranzisMendel verfügt über ein Heizbett, das Sie in die Lage versetzt, auch den beliebten Werkstoff ABS als Druckmaterial einzusetzen.

1.5.3 Grundlegender Aufbau des Druckers

Wie das Skelett eines Lebewesens soll der Rahmen aus Multiplexplatten zum einen stabile Aufhängepunkte für alle nötigen Komponenten, wie z. B. Linearführungen und Motoren, zum anderen genügend Steifigkeit und Standfestigkeit für einen zuverlässigen Betrieb bieten.

Der Druckerrahmen

Der FranzisMendel-Rahmen besteht aus einer Grundplatte, die unten zusätzlich verstiftet wird, einem Portal, das so heißt, weil das Druckobjekt während seines Entstehens immer wieder durch eine große Öffnung in diesem senkrecht zur Grundplatte stehenden Rahmenteil bewegt wird, zwei Seitenteilen, die der Aussteifung dienen, sowie diversen Kleinteilen.

Die Linearführungen

Bei den Linearführungen kommen handelsübliche Linearkugellager und passende Stahlwellen zum Einsatz.

Das Druckbett

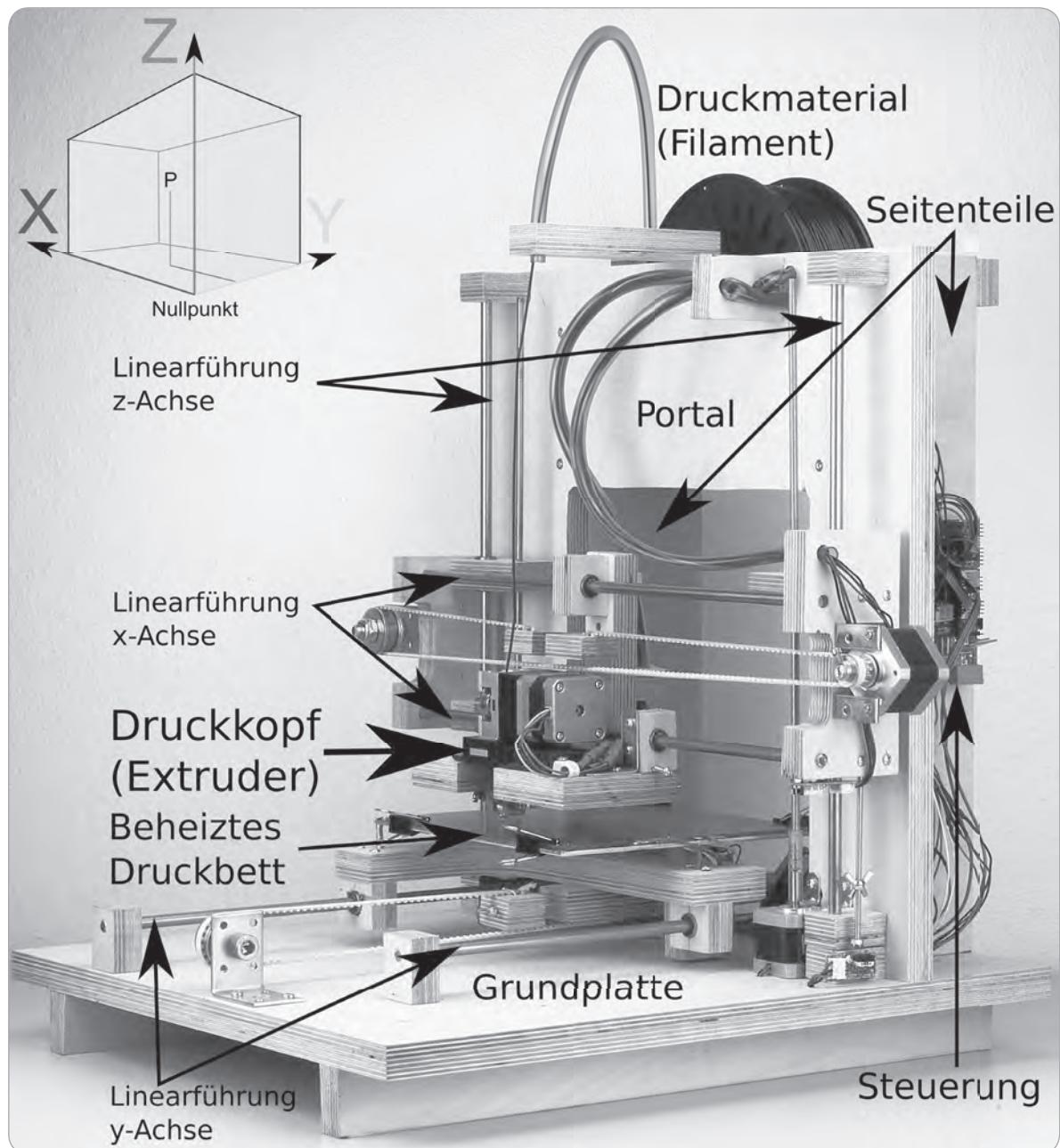
Ein RepRap-MK3-Heizbett sorgt dafür, dass ein Ausdruck nicht zu schnell auskühlt und sich dadurch unkontrolliert vom Bett löst oder ungewollt verformt. Auf dem Heizbett befindet sich eine Glasplatte. Dieses Material hat sich als Heizbetauflage in der Praxis hervorragend bewährt.

Der Druckkopf

Der Extruder ist das Herzstück eines jeden 3-D-Druckers, der mit dem Fused-Deposition-Verfahren arbeitet. Er besteht aus einem »Cold-End«, das für den Nachschub an Druckmaterial sorgen soll, und dem sogenannten »Hot-End«. Dabei handelt es sich um eine beheizte Düse, in der thermoplastisches Druckmaterial geschmolzen und durch den Druck des vom Cold-End nachgeschobenen Materials auf das Druckbett gepresst wird. Dieser Vorgang wird fachsprachlich Extrusion genannt.

Der Umbau des FranzisMendel auf Bowdenzug-Technik wird mangels Platz im Buch nicht thematisiert, ist aber problemlos realisierbar.





Der FranzisMendel (hier mit einem BulldogXL-Extruder bestückt) hat in der Basisversion einen Bauraum von ca. 19 cm (x-Achse) x 19 cm (y-Achse) x 12 cm (z-Achse).

Beim FranzisMendel können Sie mit dieser Bauanleitung, je nach Ihrem Anspruch und Geldbeutel, wahlweise einen von der RepRap-Gemeinde entwickelten Wade-Extruder, einen MakerBot-Extruder-Nachbau aus Fernost oder einen professionellen Extruder mit dem Markennamen BulldogXL verbauen. Selbstverständlich sind mit kleinen Modifikationen auch andere Extruder einsetzbar, wie z.B. sogenannte Bowden-Extruder, bei denen nur das leichte Hot-End auf dem beweglichen Druckkopf befestigt ist, während das schwere Cold-End fest auf den Druckerrahmen montiert wird. Dies soll die bewegten Massen am Druckkopf minimieren, um die erreichbare Druckgeschwindigkeit zu erhöhen.

Der Antrieb

Als Motoren sind Nema17-Motoren vorgesehen. Die x-Achse und die y-Achse werden mittels Zahnrämen angetrieben, die z-Achse wird über einen Spindelantrieb bewegt.

Die Steuerung

Altbewährte Technik kommt hier zum Einsatz. Auf einem Arduino-Mega-Board steckt ein von der RepRap-Gemeinde entwickeltes Erweiterungsboard mit dem Namen Ramps1.4. Ramps steht für RepRap Arduino Mega Pololu Shield.

Die Firmware und der Druckertreiber

Marlin heißt die leicht zu konfigurierende Firmware, die Ihrem Drucker Leben einhauchen soll. Zum Berechnen der für den Druck nötigen Maschinenaktionen und Druckkopfbewegungen, dem sogenannten G-Code, kommt die einstiegsfreundliche Software Cura (reprap.org/wiki/Cura) zum Einsatz, wobei Sie später problemlos auf andere G-Code-Generatoren wie z.B. das semiprofessionelle Skeinforce umsteigen können. Als Druckertreiber, der den G-Code an den Drucker vermittelt, dient die Software Repetier-Host (www.repetier.com).

DER FRANZISMENDEL IST
FÜR WIN, MAC UND LINUX
GEEIGNET



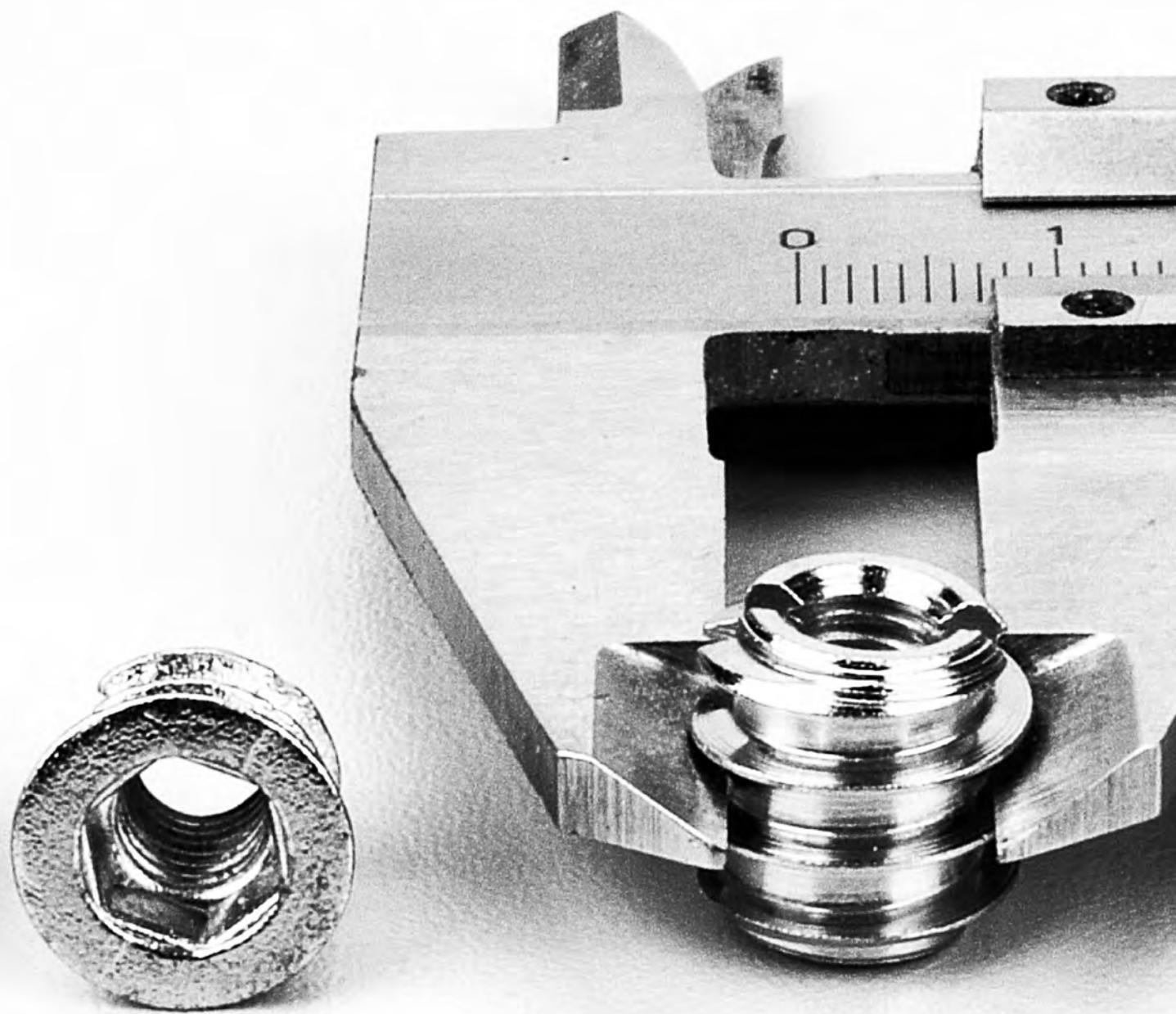
Alle eingesetzten Programme zur Konfiguration der Druckerfirmware sowie der Druckeransteuerung sind für Windows, Mac und Linux verfügbar.

Der Drucker kann Druckdateien im gängigen Format STL ausdrucken. Druckvorlagen in diesem Format finden Sie in großer Zahl im Netz, z. B. auf der Seite:

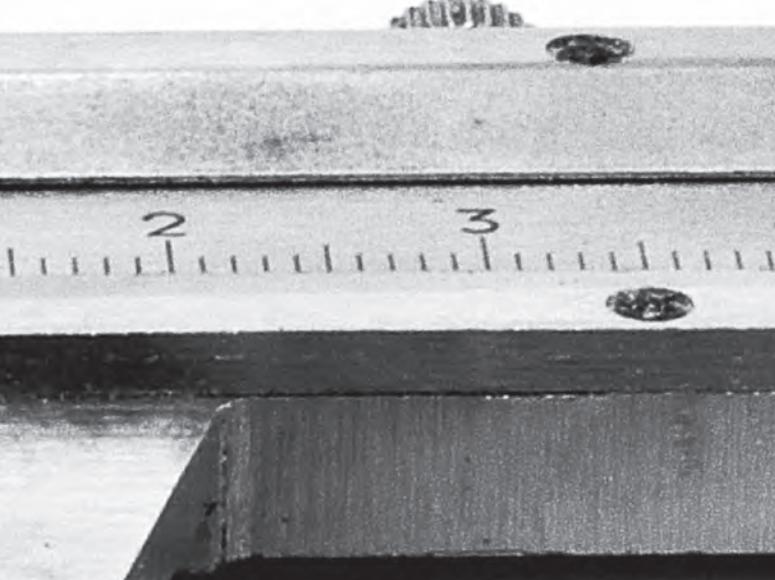
www.thingiverse.com.

Wollen Sie kreativ werden und STL-Dateien selbst erzeugen, gibt es auch dafür geeignete Open-Source-Programme, wie z. B. FreeCAD (www.freecadweb.org) oder Blender (<http://www.blender.org>), die für Win, Mac und Linux verfügbar sind.

HINWEIS



2



EINKAUFSLISTE: ALLE BAUTEILE FÜR UNTER 250 EURO

- | | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Günstige Bauteile: Open Source macht's möglich | 24 |
| 2.2 | Wahl des Extruders: eine wichtige Entscheidung | 26 |
| 2.3 | Tipps für einen kostengünstigen Einkauf | 29 |
| 2.4 | Wichtige Anbieter und Bezugsquellen | 32 |
| 2.5 | Einkaufsliste und Beschreibung der Bauteile | 34 |



ARDUINO™ – DER KÜNSTLER UNTER DEN MIKROPROZESSORSCHALTUNGEN

Als Massimo Banzi und David Cuartielles 2005 die Arduino™-Plattform entwickelten, wollten sie damit eigentlich nur ein paar Kunststudenten eine Möglichkeit eröffnen, mit einfachen und kostengünstigen Mitteln interaktive Kunstwerke zu schaffen. Die Hardware besteht aus einem Mikrocontroller, der mit diversen digitalen Ein- und Ausgängen verschaltet ist. Sowohl die Hardwarekomponenten als auch die Arduino-Software sind quell offen. Inzwischen sind über eine Million Arduinos bzw. deren Klone im Einsatz, um z. B. Roboter selbstständig agieren zu lassen, Hausautomationen zu steuern sowie kleine Basteleien, Kunstwerke und eben auch Maschinen wie einen 3-D-Drucker zum Laufen zu bringen.

Einen Überblick über verfügbare Modelle, deren Features, Möglichkeiten für ihren Einsatz, Tutorials und Bastelanregungen finden Sie unter www.arduino.cc.

HINWEIS

■ Um einen alltagstauglichen 3-D-Drucker, der auch eine zufriedenstellende Druckqualität aufweist, realisieren zu können, ist zum einen ein schlüssiges Baukonzept, bei dem auf den Einsatz teurerer Materialien und unnötigen Schnickschnack verzichtet wird, unabdingbar. Zum anderen gilt es, hochwertige Komponenten, die für einen guten Ausdruck und die Zuverlässigkeit des Druckers zwingend erforderlich sind, in einer möglichst guten Qualität möglichst günstig einzukaufen.

Beim FranzisMendel sparen Sie durch den Einsatz von Multiplexholz aus dem Baumarkt zum Bau des Druckergrundrahmens und der Wellen- und Kugellagerhalter für die Linearführungen einiges. Durch den Einsatz von einfachen Stuhlwinkeln, Einschraubmuffen und anderen sogenannten Möbelbeschlägen, die Sie ebenfalls günstig im Baumarkt bekommen, können Sie sich manch teures Spezialteil sparen. Einige Komponenten Ihres neuen Druckers sind jedoch zu komplex oder zu wichtig für die spätere Funktion, als dass es Sinn ergeben würde, sie aus zweckentfremdeten Baumarktmaterialien selbst zu konstruieren, so reizvoll das auch sein mag.

Es gibt z. B. Bootstrapping-Drucker, bei denen billige Schubladenführungen verwendet werden, um Geld zu sparen. Diese Schubladenauszüge mögen, im Vergleich zu den beim FranzisMendel vorgesehenen LM8UU-Kugellagern auf gehärteten Stahlstangen, zwar ein paar Euro billiger sein, dafür halten sie aber auch nur ein paar Dutzend Druckstunden und ermöglichen im Vergleich zur Druckqualität des FranzisMendel lediglich ein sehr bescheidenes Druckbild.

Um zu entscheiden, an welcher Stelle das Hacken – hier Zweckentfremden von verfügbarer Technik – von Baumarktartikeln sinnvoll und wo der Einsatz von Spezialhardware eher zielführend ist, bedarf es eigentlich einer zeitraubenden Recherche und, wenn die nicht hilft, einer ressourcenraubenden Trial-and-Error-Orgie. Dieses Buch hat den Anspruch, Ihnen all das zu ersparen.

2.1 GÜNSTIGE BAUTEILE: OPEN SOURCE MACHT'S MÖGLICH

Sie finden im weiteren Verlauf dieses Kapitels eine vollständige Einkaufsliste für Ihren neuen, funktionstüchtigen 3-D-Drucker sowie Hinweise und Tipps dazu, wo und wie Sie die diversen Bauteile möglichst günstig beziehen können. Die Funktionalität des Konzepts des FranzisMendel, die Verfügbarkeit der verwendeten Bauteile sowie der eigentliche Bau wurden mehrmals gestestet.



2.1.1 Das Gehirn der Maschine: Arduino Mega mit Ramps1.4

Viele Informationen sind es nicht, die verarbeitet werden müssen, um den Motoren eines 3-D-Druckers sinnvolle Impulse zu übermitteln, die zu kontrollierten und koordinierten Bewegungen und im Idealfall zum korrekten Ausdruck eines 3-D-Objekts führen. Daher genügen einfache Mikrocontroller zum Aufbau einer funktionierenden Steuerungsschaltung.

Die Steuerungselektronik, die beim FranzisMendel zum Einsatz kommt, hat sich schon tausendfach bewährt. Sie besteht aus einem Arduino Mega, einem darauf gesteckten Ramps1.4-Board sowie vier sogenannten Steppertreibern, die wiederum auf das Ramps1.4 gesteckt werden. Diese Treiber sind Bauteile, die die Motoren mit Stromimpulsen der nötigen Stromstärke versorgen, um die Druckermechanik kontrolliert zu bewegen.

Achten Sie beim Kauf darauf, Bauteile zu erhalten, die schon komplett verlötet sind. Selbstlötbausätze sind heute nicht mehr billiger als eine vollständig gelötete Steuerung, und beim Selbstlöten kann einiges danebengehen. Auf ein per Lötkolben verbrutzeltes Ramps1.4 gibt es keine Garantie.

Da das Arduino-Board-Design ebenso Open Source ist wie das des Ramps1.4-Boards und daher beide ohne Lizenzprobleme nachgebaut werden dürfen, werden diese Steuerungskomponenten von asiatischen, speziell chinesischen, Herstellern inzwischen zu Spottpreisen auf den Markt geworfen. Eine komplette Druckersteuerung auf Ramps1.4-Basis ist für unter 30 Euro erhältlich. So günstig finden Sie keines der diversen Alternativprodukte.

2.1.2 Das Herz der Maschine: der Extruder

Gleiches gilt für die Komponente, die für die Funktion Ihres Druckers von zentraler Bedeutung ist, den Druckkopf, meist Extruder genannt. Egal ob Sie den von der RepRap-Gemeinde entwickelten Wade-Extruder, einen sogenannten MK8-Extruder, der ein chinesischer Nachbau eines von der Firma MakerBot entwickelten Extruders ist, oder den sehr zuverlässigen BulldogXL verbauen wollen: Alle diese Extruder sind Open-Source-Produkte und daher preisgünstig erhältlich. Welchen der drei Extruder Sie zum Einsatz bringen wollen, hängt von Ihrem Geldbeutel und dem späteren Einsatzzweck Ihres Druckers ab.

IM KOMPLETPAKET IST
DIE RAMPS1.4-STEUERUNG
AM GÜNSTIGSTEN

Folgende Bauteile gehören zur Steuerung:

1 Arduino Mega 2560, 1 Ramps1.4-Aufsteckboard, 4 Steppertreiber (z. B. Pololu A4988), 4 Kühlkörper für die Steppertreiber.

Folgende Teile benötigen Sie, um die Steuerung zu verkabeln:

1 USB-2-Standard-B-Kabel (Druckeranschlusskabel), 9 Dupont-Buchsen (4 vierpolige, 3 dreipolige und 2 zweipolige Buchsen) sowie diverse Kabel aus der Bastelkiste oder dem Baumarkt.

Kaufen Sie die Steuerung als Gesamtpaket. Achten Sie dabei darauf, dass die Kühlkörper für die Steppertreiber im Bundle enthalten sind, da sie beim separaten Einkauf erstaunlich teuer sein können.

Die nötigen Dupont-Buchsen (oft fälschlich als Dupont-Stecker bezeichnet) sind selten in Steuerungsgesamtpaketen enthalten, für den Druckerbau jedoch zwingend erforderlich. Es werden von einigen Anbietern ab ca. 5 Euro spezielle Sets für RepRap-Drucker angeboten, in denen die Buchsen schon mit Kabeln (meist 1 m lang) versehen sind, sodass Sie sich das zeitaufwendige und fummelige Buchsen-Crimpen ersparen können.

Ein USB-Druckeranschlusskabel ist vermutlich in jedem Haushalt zu finden, und die restlichen benötigten Kabel gibt es im Baumarkt.



TIPP!

Solche Buchsen, die oft nach dem Namen eines Herstellers »Dupont-Stecker« genannt werden, passen genau auf die Pinleisten des Ramps1.4.



2.2 WAHL DES EXTRUDERS: EINE WICHTIGE ENTSCHEIDUNG

Bei diesem zentralen Bauteil lässt Ihnen das FranzisMendel-Konzept die Wahl zwischen drei Alternativen, die alle drei funktionstüchtig sind. Hier müssen Sie eine wichtige Kaufentscheidung treffen (wobei es jedoch später jederzeit möglich ist, den Drucker durch den Einbau eines höherwertigen Extruders aufzurüsten). Die Vor- und Nachteile sowie einen Kostenüberblick finden Sie nachfolgend.

Filamentdurchmesser

Für das verwendete Druckverfahren benötigen Sie als Druckmaterial, vergleichbar mit der Tinte oder dem Toner eines 2-D-Druckers, einen geeigneten Kunststoff, wie z.B. PLA oder ABS. Der Extruder eines FranzisMendel verarbeitet dieses Material in Form von Draht, was im Fachjargon Filament genannt wird. Im Handel sind Filamente, also Kunststoffdrahtrollen, aus diversen Materialien in verschiedenen Querschnittgrößen verfügbar. Zwei Querschnitte sind jederzeit leicht verfügbar und daher fast schon eine Art Norm:

Es gibt solche mit 1,75 mm Durchmesser und solche mit 3 mm Durchmesser. Beide Querschnitte sind technisch gleichwertig, und auch die Kilogrammpreise ab ca. 20 Euro für beide Größen von Filamenten schenken sich nichts. 3-mm-Filament ist etwas steifer und sollte daher im Druckbetrieb theoretisch etwas zuverlässiger als die dünnere Drahtvariante durch den Extruder laufen. In der Praxis haben sich aber beide Querschnitte bewährt. Sie müssen sich nur für eine Größe entscheiden und dann konsequent alle betreffenden Komponenten und das Filament selbst für den gewählten Durchmesser passend einkaufen.

Düsendurchmesser

Für den Einstieg sind Düsen mit 0,5 mm Durchmesser zu empfehlen. Zwar sind mit dünneren Düsen feinere Details im Ausdruck möglich, um das zu erreichen, ist jedoch einige Kalibrierungserfahrung nötig.

Erreichbare Höchsttemperatur

Ein J-Head-Hot-End sowie die Hot-Ends, die in chinesischen MK8-Extrudern verbaut sind, können Sie nur bis ca. 230 °C aufheizen. Dies genügt für den Druck von ABS und PLA. Mit höheren Temperaturen sollten Sie den FranzisMendel als Einsteiger nicht betreiben. Es werden einige Hot-Ends mit Groove Mount angeboten, die deutlich höhere Betriebstemperaturen und damit auch das Drucken anderer Materialien ermöglichen. Verwenden Sie diese nicht im FranzisMendel, wenn Sie noch keine Erfahrungen auf dem Gebiet des 3-D-Drucks sammeln könnten.

2.2.1 Cold-Ends

Cold-Ends sorgen bei 3-D-Druckern für den stetigen Nachschub an Druckmaterial.

Wade-Extruder

Als Fertigteil inklusive Motor, jedoch ohne Hot-End, bekommen Sie diesen Klassiker unter den RepRap-Cold-Ends je nach Bezugsquelle ab ca. 30 Euro. Die Einzelteile, um ihn selbst zusammenzubauen, sind mit etwas Glück ab ca. 15 Euro zu haben. Den erforderlichen Steppermotor können Sie mit den anderen vier notwendigen Motoren (siehe unten) für ca. 10 Euro einkaufen. Also hat ein Komplettselbstbau nicht viel Sparpotenzial. Vor allem die Version »Greg's Wade reloaded Extruder« hat oft bewiesen, auch im Alltag voll funktionstüchtig zu sein. Trotzdem kann sich dieser Extruder, vor allem was die Standfestigkeit über längere Zeit und die Störanfälligkeit beim Drucken angeht, nicht mit neueren Entwicklungen messen, da z.B. das Getriebe des Antriebs aus gedruckten Kunststoffzahnrädern besteht.

Ein Wade-Extruder ist für Sie die richtige Wahl, wenn Sie einen echten Bootstrapping-Drucker in klassischer RepRap-Tradition realisieren und/oder auch den Extruder selbst bauen wollen oder die bewährten J-Head-Hot-Ends einsetzen, aber nicht das Geld für ein BulldogXL-Cold-End ausgeben wollen, denn als Hot-Ends für Wade-Extruder passen J-Heads perfekt.

Achten Sie bei einem Kauf darauf, dass das Cold-End eine entsprechende 16-mm-Aufnahme für J-Heads besitzt, da es auch Wade-Extruder-Varianten für andere Hot-Ends gibt.

MK8 - MakerBot-Extruder-Klonen

MakerBot, der heutige Marktführer im Bereich Desktop-3-D-Drucker, war ursprünglich eine Firmengründung aus der Open-Source-Szene heraus. Konsequenterweise waren auch die ersten MakerBot-Produkte quelloffen lizenziert, sodass jedermann die Informationen und das Recht hatte, MakerBot-Drucker nachzubauen. Während MakerBot heute seine Produkte nicht mehr als Open Source lizenziert, haben diverse Hersteller, vor allem aus China, die Baupläne des MakerBot-MK7-Extruders aufgegriffen und weiterentwickelt.

Es gibt inzwischen diverse Nachbauten für wenig Geld. Eine Zeit lang hafte diesen Klonen in RepRap-Foren ein schlechter Ruf als Billig-China-Schrott an. Inzwischen gibt es jedoch einige Anbieter, bei denen Sie einen Komplettextruder mit Hot-End in hervorragender Verarbeitungsqualität für ca. 50 Euro erwerben können. Diese werden meist mit der Bezeichnung MK7- oder MK8-Extruder angeboten.



Ein MK8 ist für Sie die richtige Wahl, wenn Sie für wenig Geld einen alltagstauglichen Komplettdruckkopf erwerben wollen. Das Hot-End sowie ein Cold-End-Lüfter und der Steppermotor – alles ist im Preis schon enthalten, und die Lieferung besteht aus einem Fertigteil. Ein MakerBot-Extruder-Klon ist die preisgünstigste Möglichkeit, an einen Druckkopf für Ihre Maschine zu kommen. Allerdings passen keine J-Heads, sodass Sie bei einer eventuell nötigen Ersatzteilbesorgung auf Hot-Ends mit einem 6-mm-Außengewinde zurückgreifen müssen. Zur Montage am Franzis-Mendel benötigen Sie eine sogenannte J-Head-Montageplatte. Dieses Stück Aluminium gibt es ab ca. 3 Euro bei Anbietern von RepRap-Bedarf.

BulldogXL

Dieses Cold-End ist eine Open-Source-Entwicklung, die von der chinesischen Firma RepRap-Discount per Crowdfunding zur Produktionsreife gebracht wurde. Mit ca. 120 Euro ist der BulldogXL mehr als doppelt so teuer wie die beiden oben genannten Alternativen. Allerdings bekommen Sie dafür einen absolut robusten Extruder für hohe Druckqualitäten. Außerdem hat der Bulldog XL die Besonderheit, dass Sie mit ihm 1,75-mm-Filament genauso wie 3-mm-Filament drucken können. Sie müssen dazu nur das Hot-End tauschen, was dank eines Schnellmontageanschlusses (Groove Mount) für J-Head-Hot-Ends in Minuten schnelle erledigt ist.

Der BulldogXL hat zusätzlich zum Groove Mount ein 6-mm-Innengewinde, sodass Sie auch Hot-Ends, die eigentlich für MK8-Klone gebaut wurden, für den Druck verwenden können. Außerdem ist der Extruder auch als Bowden-Extruder einsetzbar. Sie könnten also Ihren FranzisMendel jederzeit auf die Bowdenzug-Technik umrüsten, so Sie sich für einen BulldogXL entscheiden.

2.2.2 Hot-Ends

Im Hot-End, einer beheizten Düse, findet die Extrusion statt. Dabei wird das thermoplastische Druckmaterial geschmolzen und durch den Druck des vom Cold-End nachgeschobenen Druckmaterials auf das Druckbett gepresst.

J-Head-Hot-End

Hot-Ends (reprap.org/wiki/J_Head_Nozzle) zeichnen sich durch ein Design (Groove Mount) aus, das den Ein- und Ausbau enorm erleichtert. Eine genormte Aufnahme-Nut sorgt dafür, dass J-Heads in Minuten schnelle mit allen Extruder-Cold-Ends, die dieser Norm entsprechen, verbunden werden können.

Ein großer Vorteil von J-Heads ist, dass sie beim Betrieb keinen Lüfter benötigen, was sie wegen der nicht nötigen Kühlungskalibrierung vor allem für Einsteiger geeignet macht. Andererseits sollten Sie mit einem J-Head

dauerhaft keine Temperaturen über 230 °C fahren, weil Sie es sonst zerstören könnten. Es gibt durchaus noch Anbieter, bei denen Sie die Einzelteile für den Eigenbau eines J-Heads erhalten können. Allerdings lohnt sich diese Bastelei nicht. Komplett-Hot-Ends dieser Bauart erhalten Sie ab 15 Euro. Der Kauf der Einzelteile wäre teurer. Als Erstausstattung Ihres FranzisMendel ist dieses Hot-End die Empfehlung, falls Sie sich beim Cold-End für einen Wade-Extruder oder einen BulldogXL entschieden haben.

Merlin-Hot-End

Dieses Open-Source-Hot-End wurde von Mitgliedern des Frankfurter FFM-Hackerspace entwickelt. Es besitzt einen Groove Mount und ist, wie das J-Head, ohne Kühlung verwendbar. Wegen der verbauten Airbrush-Düsen ist es gut für detailreiche Ausdrucke geeignet, jedoch weniger für großvolumige Teile. Dieses Hot-End ist für Einsteiger nicht so empfehlenswert wie ein J-Head, kann aber einige Materialien mehr verarbeiten und kann deshalb eine sinnvolle Aufrüstung darstellen. Für ca. 35 Euro ist es im Handel erhältlich. Auswechselbare Düsen sind meist im Lieferumfang enthalten.

2.3 TIPPS FÜR EINEN KOSTENGÜNSTIGEN EINKAUF

Manchmal hat Anbieter A ein Ramps1.4 im Angebot, während bei Anbieter B die Steppertreiber unschlagbar günstig erscheinen. Es ergibt aber oft wenig Sinn, durch den gesplitteten Einkauf bei verschiedenen Händlern zwei bis drei Euro sparen zu wollen, wenn jeder Händler für seine Lieferung eine Porto- und Versandkostenpauschale von fünf oder mehr Euro erhebt.

Porto sparen

Kalkulieren Sie bei Ihrer Suche nach den günstigsten Anbietern immer die Versandkosten mit ein und kaufen Sie dort, wo die tatsächlichen Gesamtkosten am niedrigsten sind. Meist sind Kompletpakete günstiger als der Kauf einzelner Teile. Es gibt einige Onlinenhändler, die sich auf das Gebiet RepRap-Drucker spezialisiert haben. So erhalten Sie häufig neben Ramps1.4-Steuerungen auch Schrittmotoren und Linearführungsbauteile beim selben Anbieter. Auch hier gilt: Recherchieren Sie, ob die Gesamtkosten inklusive Porto günstiger sind als der Kauf bei mehreren Anbietern.

Kleinzeug nicht vergessen

Ein kleiner Kühlkörper für einen Steppertreiber kann im örtlichen Elektrofachgeschäft schon mal 2 Euro kosten. Da Sie vier davon benötigen, wäre es ärgerlich, ein Steuerungsgesamtpaket zu bestellen, in dem die Kühlkörper nicht inklusive sind, da Pakete mit Kühlkörpern etwa zum gleichen Preis angeboten werden wie welche ohne.



Preise vergleichen

Eine komplette Steuerung finden Sie z. B. bei eBay schon ab ca. 22 Euro, während es tatsächlich noch Onlineanbieter gibt, die für das gleiche Paket Preise von über 100 Euro ansetzen. Argumente wie »kein billiger China-Schrott« zur Verteidigung dieser Preispolitik sind Augenwischelei, denn alle Arduino-Boards und Ramps1.4 wurden und werden in China produziert. Preisunterschiede von mehreren Hundert Prozent sind bei RepRap-Bauteilen häufig zu beobachten. Kaufen Sie dort, wo der Preis stimmt.

Onlineanbieter - deutsche Shops bevorzugen

Kaufen Sie dort, wo Sie im Garantiefall oder bei einem Umtausch problemlos Ihre Rechte als Käufer durchsetzen können. Dies ist bei deutschen Onlinehändlern und bei eBay über den Käuferschutz der Fall. Selbstverständlich gibt es auch bei ausländischen Verkäufern einige, denen Sie vertrauen können, wie z. B. dem niederländischen Anbieter RepRap-World (reprapworld.com) sowie dem chinesischen Händler Banggood (www.banggood.com).

Beachten Sie jedoch beim Kauf im Ausland die eventuell nachträglich zu entrichtende Mehrwertsteuer sowie die Zollbestimmungen.

Eine Alternative: China-Direktimport

Wenn Sie bei chinesischen Onlinehändlern bestellen, können Sie beim Kauf der Steuerung, des Antriebs sowie des Extruders sehr viel Geld sparen. Allerdings gibt es einige unseriöse Anbieter. Neben der Pflichtlektüre im RepRap-Forum zum Thema »Erfahrung mit Shop X« finden Sie unter www.import-shopping.de nützliche Informationen zur Liefermoral und Qualität diverser Shops, aber auch gute Tipps zu Bestellungen in China allgemein. Einen Direktlink zu einer Liste mit eventuell für Sie interessanten Shops finden Sie unter www.import-shopping.de/china-shops-technik-elektronik/.

Einen über Jahre hinweg stabilen seriösen Ruf hat sich z. B. die Firma Banggood erarbeitet. Ihr Angebot hat zudem den großen Vorteil, dass ohne Mindestbestellmenge versandkostenfrei geliefert wird. Sie erhalten auch Kleinteile für Cent-Beträge ohne Portoberechnung. Außerdem ist die Bezahlung über das PayPal-System problemlos in der Abwicklung.

Zwei Nachteile hat der Direktimport: Die Lieferzeiten sind mit bis zu vier Wochen sehr lang, und die Zollabwicklung kann stressig werden. Infos dazu finden Sie unter www.zoll.de.

Als Faustregel gilt: Bleibt der Gesamtbestellwert unter 22 Euro, bleibt die Ware zollfrei, und es fällt auch keine Einfuhrumsatzsteuer an. Der deutsche Zoll winkt Ihre Bestellung dann meist einfach durch, und sie landet

ohne Stress in Ihrem Briefkasten. Trotzdem sollten Sie sich genau über die zu beachtenden Regeln und Gesetze beim Import von Waren aus China informieren. Infos finden Sie unter:

www.zoll.de/DE/Fachthemen/Zoelle/Zollbefreiungen/Aussertarifliche-Zollbefreiung/Sendungen-mit-geringem-Wert/sendungen-mit-geringem-wert_node.html

eBay und Amazon - Lieferzeiten und Versandkosten beachten

Inzwischen finden Sie bei eBay und Amazon oft Teile zu einem ähnlich günstigen Preis wie beim Direktimport aus China. Da Sie über eBay bzw. Amazon eine gewisse Sicherheit beim Einkauf haben, kann der Kauf dort eine gute Alternative sein. Allerdings gibt es große Unterschiede bei den Angeboten: Es gibt Händler, die z. B. MK8-Extruder für ca. 50 Euro versandkostenfrei liefern, und genauso welche, die für den Extruder nur 25 Euro, für die Lieferung aber 40 Euro verlangen. Auch hier gilt: Beachten Sie die Gesamtkosten. Der andere große Unterschied bei den diversen Anbietern zeigt sich in der Lieferzeit. Es gibt Anbieter, die direkt aus China liefern. Dementsprechend ist die Lieferzeit genauso lang wie beim Direktimport. Es gibt jedoch auch Verkäufer, die ein Lager in Deutschland haben und innerhalb weniger Werktagen liefern können.

Qualitätsunterschiede beachten

Bei einigen Komponenten, wie z. B. den Schrittmotoren und den Linearführungswellen, erklären sich Preisunterschiede tatsächlich aus Qualitätsunterschieden, die Sie erst auf den zweiten Blick, etwa beim Blick in die Datenblätter des Produkts, erkennen können. Die Bezeichnung Nema17 z. B. beschreibt nur die Bauform und die Abmessungen eines Schrittmotors und sagt nichts über das Haltemoment (bzw. Drehmoment) aus, das der Motor erzeugen kann.

Die Originalquelle - das RepRap-Forum

Wenn Sie Ihren Drucker nach der reinen RepRap-Lehre mit Teilen, die mit RepRap-Druckern gedruckt wurden, bauen wollen, ist das RepRap-Forum die Anlaufstelle Nummer eins. Dort tummeln sich einige Privatanbieter, die auf ihren 3-D-Druckern Bauteile für neue RepRap-Enthusiasten anfertigen. Allerdings kann diese Quelle auch für Sie als FranzisMendel-Bauer interessant sein. Im Forum finden Sie z. B. äußerst günstige Teile für den Wade-Extruder, aber auch oft diverse voll funktionsfähige Gebrauchteile aller Art zu Preisen, die Ihr Budget deutlich entlasten können. Einen Überblick über das aktuelle Angebot finden Sie im Forum (forums.reprap.org) in der Unterabteilung *RepRap User Groups/Europe/deutschsprachiges Forum/Schwarzes Brett*.



2.4 WICHTIGE ANBIETER UND BEZUGSQUELLEN

Viele Teile des FranzisMendel bekommen Sie in jedem Baumarkt, einige nur im Fachhandel. Im Folgenden finden Sie einige Hinweise dazu, wo Sie welche Bauteile für Ihren Drucker zu günstigen Preisen finden können. Die Liste erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Es gibt bestimmt noch viele Anbieter, die RepRap-Teile ähnlich günstig und zuverlässig anbieten wie die aufgeführten. Die Liste soll Ihnen nur eine Recherchehilfe beim Einkauf sein.

BAUTEILE	ANBIETER UND BEZUGSQUELLEN
Grundrahmen	Baumärkte, Tischlereien oder Schreinereien
Steuerung	Arduino-Ramps1.4-Kit und Dupont-Stecker: <i>reprapworld.com, my-home-fab.de, ebay.de, amazon.de, banggood.com</i> und andere
Druckkopf und Druckbett	Wade-Extruder: Ausgedruckte Teile von Privatanbietern finden Sie im RepRap-Forum. <i>www.electronic-things.de, ebay.de, banggood.com</i> und andere
	MK8-Extruder: <i>banggood.com, ebay.de, amazon.de</i>
	BulldogXL-Extruder: <i>reprapdiscount.com, my-home-fab.de, fabber-parts.de, reprapsource.com, reprapteile.de</i>
	J-Head-Hot-End: <i>banggood.com, ebay.de, amazon.de, my-home-fab.de</i>
	Merlin-Hot-End: <i>fabber-parts.de, reprapdiscount.com, reprapteile.de</i>
	Reprap-MK3-Heizbett und Thermistor: <i>reprapworld.com, my-home-fab.de, ebay.de, amazon.de, banggood.com</i> und andere.
	Folder-Klammern: Schreibwarenhandel
	Glasplatte: als rahmenloser Bilderrahmen im Schreibwarenhandel, im Fotofachgeschäft oder in einer Glaserei



BAUTEILE	ANBIETER UND BEZUGSQUELLEN
Antrieb, Linearführung und Mechanik	Steppermotoren, Zahnrämen, Pulleys, Kugellager und Linearkugellager LM8UU, Stahlstangen: <i>germanreprap.com, print2beta.de, reprepworld.com, my-home-fab.de, ebay.de, amazon.de, banggood.com</i> und andere.
	Netzteil: <i>conrad.de, reichelt.de, reprepworld.com, my-home-fab.de, ebay.de, amazon.de, banggood.com</i> und andere
	Druckerrahmen, Wellenhalter, Kugellagerhalter, Schrauben, Kabel, Klebstoffe und Sonstiges: Baumärkte
	Filament: <i>germanreprap.com, print2beta.de, reprepworld.com, my-home-fab.de, ebay.de, amazon.de, banggood.com</i> und andere

EINEN ERSATZTHERMISTOR MIT AUF DIE EINKAUFSLISTE SETZEN



TIPP!

Ein Thermistor kostet nicht viel, kann aber, wenn er defekt ist, erheblichen Ärger verursachen. Wenn die Temperaturmessung nicht mehr stimmt, führt das nicht nur zu schweren Funktionsstörungen beim Druck, sondern kann auch die Fehlersuche verkomplizieren.

EIN ALTES COMPUTERNETZTEIL RECYCLELN SPART GELD

Falls Sie einen alten Computer eingemottet haben, den Sie definitiv nicht mehr benötigen, können Sie aus ihm eventuell das Netzteil ausbauen und so modifizieren, dass es Ihren 3-D-Drucker mit Kraft versorgt. Auf diese Weise können Sie ca. 30 Euro, die ein für RepRap-Maschinen geeignetes Netzteil im Handel kostet, sparen und z.B. in einen höherwertigen Extruder investieren.

TIPP!





DOWNLOAD DER EINKAUFLISTE



Diese Gesamtliste finden Sie als PDF zum Ausdrucken unter www.buch.cd.

Eine ausdruckbare Liste aller Schrauben, Muttern, Winkelverbinder und sonstiger Teile, die Sie im Baumarkt erhalten, finden Sie ebenfalls unter www.buch.cd.

2.5 EINKAUFLISTE UND BESCHREIBUNG DER BAUTEILE

Die Multiplexteile aller Baugruppen sind schon bei der Mengenangabe für der Baugruppe »Rahmen« berücksichtigt. Die nötigen Spanplattschrauben sowie einige andere Teile, die für mehrere Baugruppen benötigt werden, sind am Ende der Liste gesammelt für alle Baugruppen aufgeführt. Die als minimal und maximal angegebenen Kosten beziehen sich auf Alternativen, falls in der Spalte »Bauteil« welche angegeben sind. Kleinteile wie Gewindemuttern wurden jeweils mit 0,5 Euro angesetzt, auch wenn solche Kleinteile in der Praxis günstiger oder sogar in Ihrer Bastelkiste vorhanden sind.

BAUGRUPPE	BAUTEIL	KOSTEN MINIMAL IN €	KOSTEN MAXIMAL IN €
Rahmen	ca. 0,7 m ² Multiplexsperrholz mit 19 mm Stärke Alternative: ca. 0,7 m ² Multiplexsperrholz mit 21 mm Stärke	20	30
	Tube Leim	2	2
Linear-führungen	10 x Linearkugellager LM8UU Alternative: 10 x Gleitlager IGUS DRYLIN R RJMP 01-08	10	30
	1 x für Linearführungen geeignete Stahlstange 8 x 500 mm 4 x für Linearführungen geeignete Stahlstange 8 x 450 mm 1 x für Linearführungen geeignete Stahlstange 8 x 320 mm Alternative: die gleiche Menge gehärtete und geschliffene Stahlstangen nach ISO h6 oder besser (z. B. zusätzlich poliert) Alternative: 6 x 8-500-mm-Stangen einkaufen und selbst passend kürzen	15	45
Druckbett-bett	1 x RepRap-MK3-Heizbett Alternative: gleiches Heizbett mit angelöten Kabeln	12	25
	NTC-Thermistor, 100k, Beta = 3950 Alternative: gleicher Thermistor mit angelöten Kabeln	0,5	2,5



BAUGRUPPE	BAUTEIL	KOSTEN MINIMAL IN €	KOSTEN MAXIMAL IN €
Druckbett- bett	4 x Folder-Klammern	2	2
	3 x Kugelschreiberfedern	1	1
	3 x M3-x-30-mm-Gewindeschraube	0,5	0,5
	Glasplatte 20 x 20 x 2	2	2
	hitzebeständiges Silikon	5	5
Antrieb	4 x Nema17-Schrittmotoren	40	45
	Alternative: 4 x Nema17-Schrittmotoren mit mindestens 4-kg-Haltemoment		
	2 m Zahnräder T5 oder GT2 (6 mm bis 8 mm breit)	3	6
	2 Pulleys T5 mit 10 Zähnen oder GT2 mit mindestens 16, besser 20 Zähnen (passend zum Zahnrämen, inklusive Achs-Befestigungsschrauben)	3	6
	4 Stahlwinkel 20 x 20 x 16 mm	0,5	0,5
	8 x M3-x-5-Gewindeschraube	0,5	0,5
	2 x Winkelverbinder 50 x 50 x 35 mm mit 10-mm-Loch	1	1
	2 x M10-x-40-mm-Gewindeschraube	0,5	0,5
	4 x M10-Stoppmutter	0,5	0,5
	4 x Karosseriescheibe (Unterlegscheibe) mit 33 mm Außendurchmesser und 11 mm Innendurchmesser	0,5	0,5
	2 x Kugellager 30 x 10 x 9 mm (z.B. 6200zz)	2,5	2,5
	4 x M4-Flügelmutter	0,5	0,5
	2 x M6-Rampa-Muffen	0,5	0,5
	ca. 10 cm PVC-Benzin- oder Aquariumschlauch mit 4 bis 5 mm Innendurchmesser	0,5	0,5
Druckkopf	1x Wade-Extruder inklusive Motor mit 1 x J-Head	50	150
	Alternative: 1 x MK8-Extruder inklusive Hot-End und 1 x J-Head-Montageplatte		
	Alternative: 1 x BulldogXL mit 1 x J-Head- oder Merlin-Hot-End		→



BAUGRUPPE	BAUTEIL	KOSTEN MINIMAL IN €	KOSTEN MAXIMAL IN €
Steuerung	Gesamtpaket, bestehend aus: 1 x Arduino Mega 2560 1 x Ramps1.4-Aufsteckboard 4 x A4988-Steppertreiber 4 x Kühlkörper für Steppertreiber selbstklebend	25	25
	1 x USB-2-Standard-B-Druckerkabel (falls nicht im Gesamtpaket enthalten)	0	3
	RepRap-Kabelset mit weiblichen Dupont-Steckern (für Pinleisten mit 2,45 mm Pinabstand) mit 1 m langen Kabeln (falls nicht im Gesamtpaket enthalten) Alternative: 4 x weibliche Dupont-Stecker vieradrig, 3 x weibliche Dupont-Stecker dreiadrig, 2 x weibliche Dupont-Stecker zweiadrig mit je 1 m langen Kabeln versehen (z.B. aus alten Computern recyceln)	0	5
Netzteil	RepRap-Netzteil (Schaltnetzteil 12 Volt, 20 Ampere, 240 Watt) Alternative: Schaltnetzteil aus Altcomputer recyceln	0	30
Spanplatten-schrauben (SPS)	Aufstellung der benötigten Größen siehe nächste Zeilen Alternative: Spanplattensortiment 11 x 4-x-35-mm-SPS mit Senkkopf 29 x 3-x-35-mm-SPS mit flachem Kopf 4 x 3-x-30-mm-SPS mit flachem Kopf 8 x 3-x-20-mm-SPS mit flachem Kopf 38 x 3-x-16-mm-SPS mit flachem Kopf	2	5
Sonstiges	ca. 1,7 m Aquariumschlauch mit 10 mm Außendurchmesser ca. 0,5 m Teflonschlauch mit einem Innen-durchmesser, der etwas größer ist als der Außen-durchmesser des verwendeten Filaments 1 x Gewindestange 1000 x 6 mm	2 1 0,5	2 1 →

BAUGRUPPE	BAUTEIL	KOSTEN MINIMAL IN €	KOSTEN MAXIMAL IN €
Sonstiges	1 x Gewindestange 1000 x 4 mm	0,5	2
	6 x Stuhlwinkel 40 x 40 x 15 mm	1	1
	ca. 3 m H03VV-F-Elektrokabel	2	2
	einige Tackernadeln oder kleine Nägelchen	0,5	0,5
	einige Kabelschellen für Kabel mit 10 mm Durchmesser	0,5	0,5
	10 isolierte Crimpsteckerpaare Alternative: eine Leiste Lüsterklemmen Alternative: Lot und Schrumpfschläuche	1	3
	6 x M3-Flügelmuttern	0,5	0,5
	6xM3-x-35-mm-Gewindeschrauben	0,5	0,5
	1 x M4-x50-Gewindeschraube	0,5	0,5
	2 x M6-Mutter	0,5	0,5
	6 x M4-Mutter	0,5	0,5
Summe	mit recyceltem Schaltnetzteil aus einem Altcomputer	218	413
	Mit Reprap-Schaltnetzteil (+ ca. 30 Euro)	248	443



3

BOHREN, EIN WENIG SÄGEN UND ZUSAMMEN- SCHRAUBEN

- 3.1 Handwerkliches Geschick? – Sie können das! 40
- 3.2 Empfehlungen für die Werkstatt-ausrüstung 41
- 3.3 Holz für den Rahmenbau 48



DAS REPRAP-FORUM UND DAS REPRAP-WIKI



Sie sollten sich unbedingt schon vor Beginn Ihres Selbstbauprojekts beim offiziellen RepRap-Forum anmelden, denn ein Problem mit der Firmware, dem Extruder, dem Filament oder anderer unvorhersehbarer Ärger kann Ihnen immer passieren. Dieses Buch ist zwar sehr praxisorientiert, kann aber nicht alle in der Druckpraxis möglichen Probleme behandeln. Im Forum (forums.reprap.org), vor allem in seinem deutschsprachigen Bereich (zu finden über [Usergroups /Europe/Deutschsprachiges Forum](#)), bekommen Sie fachkundige Hilfe bei allen Fragen rund um den 3-D-Druck und in den meisten Fällen auch Lösungswege für Ihr spezielles Problem. Eine kurze Vorstellung und Höflichkeit helfen Ihnen, dort Menschen zu finden, die Ihnen mit Rat zur Seite stehen.

Viele Fragen finden Sie schon beantwortet im RepRap-Wiki (reprap.org/wiki/Main_Page). Machen Sie regen Gebrauch davon. Ein Teil der Artikel dort ist übrigens auch in deutscher Sprache erschienen (reprap.org/wiki/RepRap/de).

TIPP!

■ Bohren, ein wenig Sägen, etwas Schrauben und ein bisschen Löten sollten Sie können. Keine Sorge, die Arbeiten, die beim Bau eines FranziStrap anfallen, sind so einfach, dass jeder sie beherrschen kann. Falls Sie schon ein ambitionierter Heimwerker sind - umso besser. Sollten Sie noch kein großer Bastelexperte sein, dann werden Sie es ganz einfach während der Arbeiten.

3.1 HANDWERKLICHES GESCHICK? – SIE KÖNNEN DAS!

Zum Großteil wird die Maschine aus zurechtgesägten Holzstücken zusammengeschraubt. Wenn Sie also mit einer Stichsäge und einem Schraubendreher umgehen können, haben Sie schon die halbe Miete. Eine Bohrmaschine bzw. einen Akkuschrauber mit Bohrfunktion sollten Sie ebenfalls bedienen können, wobei anzumerken wäre, dass die meisten Löcher, die zu bohren sind, nicht sonderlich exakt sein müssen. An ein paar Stellen ist allerdings Genauigkeit wichtig, in diesem Buch erhalten Sie jedoch Tipps dazu, wie Sie auch als Einsteiger diese Hürde nehmen.

Falls Sie Berührungsängste vor dem Löten verspüren, gibt es immer auch Ausweichmöglichkeiten. Im Zweifelsfall ist das die gute alte Lüsterklemme. Und die Elektronik ist »fully soldered« – also komplett verlötet – heute nicht teurer als das Selbstlötpaket. An manchen Stellen ist das Löten aber die elegantere Lösung. Da einige Lötstellen durchaus anfängergeeignet sind, ist dies vielleicht, so Sie nicht schon Lötprofi sind, Ihr Einstieg ins Gewerk.

Der Holzzuschnitt muss sehr exakt erfolgen. Falls Sie mit einer Tischkreissäge oder Tauchsäge mit Führungsschiene so gar nicht zureckkommen, gibt es auch hier eine Alternative: der Zuschnitt im Baumarkt. Einige der kleineren Holzteile müssen nicht so exakt sein. Damit können Sie, falls nötig, das Zusägen von Holz üben, ohne großen Schaden anzurichten.

Falls Sie sich einen Arbeitsschritt partout nicht selbst zutrauen, gibt es immer noch die Möglichkeit, sich vertrauensvoll an hilfsbereite Mitmenschen zu wenden. Dies können der begabte Nachbar, ein Handwerker aus der Nähe oder ein Mitglied eines FabLab bzw. Hackerspace sein. Sie werden jedoch bald feststellen, dass Sie Ihr 3-D-Drucker-Projekt mühe-los beherrschen; Sie schaffen das.

3.2 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE WERKSTATT-AUSRÜSTUNG

Einige Werkzeuge, wie z.B. ein Hammer und ein einfacher Schraubendreher, sind vermutlich in jedem Haushalt zu finden. Für den RepStrap-Bau benötigen Sie eventuell Werkzeug, das in Ihrer Ausrüstung noch nicht vorhanden, jedoch für den Bau notwendig ist. Und dann gibt es Spezialwerkzeuge, die Ihnen einzelne Arbeitsschritte enorm erleichtern können, jedoch nicht unbedingt erforderlich sind, da es Alternativen für den Zusammenbau gibt.

3.2.1 Werkzeug, das Sie zum Druckerbau brauchen

Checken Sie, welche Geräte und Hilfsmittel Ihnen schon zur Verfügung stehen und was Ihnen in Ihrem Werkzeugschrank noch fehlt. Wägen Sie ab, ob die Anschaffung fehlender Ausrüstungsteile sich für Sie lohnt – was der Fall ist, wenn Sie Ihre Neuanschaffung auch für andere Arbeiten verwenden möchten – oder ob jemand aus Ihrem Umkreis Ihnen die entsprechenden Werkzeuge leihweise zur Verfügung stellt.

Bohrmaschine und/oder Akkuschrauber

Ein Akkuschrauber ist sicherlich in fast jedem auch nur ansatzweise technikaffinen Haushalt der Republik zu finden. Um mit dem Gerät vernünftig arbeiten zu können, sollte es über eine elektronische Drehzahlregelung sowie ein ausreichendes Drehmoment verfügen. Da für einige Arbeiten beim Druckerbau der Einsatz eines Bohrmaschinenständers (siehe unten) unumgänglich ist, benötigen Sie ein Gerät, das in die Aufnahme des Ständers passt. Bei den meisten Schraubern ist dies leider nicht der Fall, während klassische Bohrmaschinen fast alle geeignet sind.

Die Möglichkeit, mittels eines sogenannten Bit-Halters Schraubeinsätze (Bits) einzusetzen, macht aus einer klassischen Bohrmaschine andererseits einen veritablen Schrauber, solange das Modell klein und handlich genug ist. Optimal ist sicher, beides im Haushalt zu haben: einen handlichen Akkuschrauber und eine kräftige Bohrmaschine mit Schlagbohrfunktion. Diese Funktion benötigen Sie zwar nicht für den FranzisMendel-Bau, aber spätestens dann, wenn Sie z.B. ein Dübelloch in eine Wand applizieren wollen.

Bohrmaschinenständer

Für das Anbringen einer exakt rechtwinkligen Bohrung in Plattenmaterial, Bretter oder Stangenmaterial ist dieses Hilfsmittel unabdingbar. Es handelt sich dabei um eine Vorrichtung mit einer Grundplatte, an die senkrecht eine geführt in der Höhe verstellbare Aufnahme, in der Sie

WERKZEUGQUELLEN:
REPAIR-CAFÉS & CO.

Zugang zu Werkzeugen und, für Schrauberanfänger meist genauso wichtig, eine Einführung in den richtigen Gebrauch derselben können Sie erlangen, auch ohne sich in Unkosten zu stürzen. Neben den üblichen Verdächtigen aus der Verwandtschaft und dem Freundeskreis gibt es andere Quellen: Neben den weiter oben erwähnten FabLabs und Hackerspaces sind es die Repair-Cafés, Jugendhäuser, Modellbauklubs usw. in Ihrer Stadt, die Ansprechpartner sein und Ihnen beim Druckerbau mit ihrem Equipment weiterhelfen können. Schauen Sie sich an Ihrem Wohnort nach Aktiven um und nutzen Sie deren Angebote.

TIPP!





Eine Bohrmaschine samt Bohrmaschinenständer gehört zur Grundausrüstung beim RepStrap-Bau. Als Befestigung am Tisch kann eine Schraubzwinge dienen.

eine handelsübliche elektrische Bohrmaschine spannen können, montiert ist. Zwar wäre auch eine sogenannte Ständerbohrmaschine hilfreich und würde dank ihrer massiveren Bauweise noch präzisere Bohrungen ermöglichen, diese Maschinen sind jedoch sehr teuer. Und selbst wenn Sie eine Ihr Eigen nennen, lohnt sich die zusätzliche Anschaffung eines einfachen Bohrmaschinenständers, da es Ausführungen gibt, mit denen Sie auch bei großen Platten an einer beliebigen Stelle aufsetzen können, um dort senkrechte Löcher zu bohren. Mit einer Ständerbohrmaschine ist dies nicht oder nur unter großem Aufwand möglich. Ab ca. 20 Euro bekommen Sie in jedem Baumarkt einen Bohrmaschinenständer, der für den Hausgebrauch genügend Exaktheit und Standfestigkeit aufweist. Optimal wäre ein zusätzlicher spezieller Schraubstock für den Ständer. Mit Schraubzwingen können Sie die Werkstücke gegebenenfalls aber auch hinreichend sichern, um Verletzungen zu vermeiden.

Schraubendreher und Griff mit Bit-Aufnahme

Neben einem kleinen und einem mittelgroßen Klingenschraubendreher, den Sie auch zum Hebeln verwenden können, empfiehlt sich ein Griff mit Bit-Aufnahme als Universalwerkzeug, da er diverse Kreuzschlitz-, Posidrive-, Philips-, Torx- und Sechskant-Schraubendreher ersetzen kann. Sie können in dieses Werkzeug die Bits einsetzen, die auch beim Akkuschrauber Verwendung finden.

Schraubendreher und Bit-Komplettsatz für die Bohrmaschine

Am einfachsten und kostengünstigsten ist es, sich einen Komplettsatz zu besorgen, um im Zweifelsfall auch mit einer exotischen Schraube klarzukommen. Da für den Zusammenbau Spannplattenschrauben mit Torx-Antrieb vorgesehen sind, benötigen Sie folgende Bits auf jeden Fall: Torx T8, T9, T10, T15, T20, T25.

Achten Sie darauf, dass diese im gewählten Bit-Sortiment vorhanden sind. Zusätzlich können Bits der Art Philips Kreuzschlitz Ph0, Ph1 sowie Klingenschraubendreher in diversen Größen nützlich sein. Bei Hot-Ends, Extrudern und Pulleys werden die benötigten Inbusschlüssel meist passend mitgeliefert.

Holzbohrer

Mit billigen sogenannten Universalbohrern, die für jedwedes Material universell in der Regel ungeeignet sind, oder Metallbohrern können Sie keine exakten Bohrungen in Holzwerkstoffen erzeugen. Verwenden Sie nur hochwertige Holzbohrer mit Zentrierspitze.

Sie benötigen mehrere 2-mm- und 3-mm-Bohrer, da sie im Einsatz leicht brechen, je einen Bohrer mittlerer Güte mit 4, 5 und 6 mm Durchmesser, einen sehr maßhaltigen 8-mm-Bohrer sowie einen ebenso maßhaltigen

15-mm-Fostnerbohrer. Je nachdem, welche Rampa-Muffen Sie für die Aufnahme der Gewinde des z-Achsen-Antriebs verwenden, benötigen Sie außerdem einen Bohrer, mit dem Sie das für die Muffe passende Kernloch bohren können. Bei 6-mm-Muffen nach DIN 7965 ist dies z.B. ein 9,5-mm-Bohrer.

Elektrische Stichsäge

Für das Zusägen des Druckbetthalters und des Portals eignet sich nichts besser als eine Stichsäge. Zwar könnten Sie diese Teile, falls Sie über viel Zeit verfügen, auch mit einer Laubsäge fertigen, allerdings sind die Einsatzmöglichkeiten einer Stichsäge so vielfältig, dass sie es trotzdem in die Rubrik »notwendiges Werkzeug« schafft. Beispielsweise können Sie mit einem geeigneten Metallsägeblatt für Ihre Stichsäge auch zeitsparend Gewindestangen ablängen und vieles mehr.

Geometriedreieck, Meterstab und eine Schieblehre

An manchen Stellen müssen Sie beim Bauen sehr exakt arbeiten, sonst verklemmt sich im schlimmsten Fall die Mechanik, und Ihr Drucker funktioniert nicht. Ein Geometriedreieck, wie Sie es aus dem Mathematikunterricht kennen, sowie ein Meterstab sind Artikel, die für 1 bis 2 Euro verkauft werden. Hilfreich kann es sein, über zwei baugleiche Meterstäbe zu verfügen. Dies erleichtert z.B. die Kontrolle der Parallelität der Linearführungswellen. Achten Sie darauf, möglichst hochwertiges Messwerkzeug zur Hand zu haben. Eine Schieblehre, die in guter Qualität nicht unter 10 Euro zu haben ist, kann beim Abmessen kleiner Bauteile hilfreich sein, ist aber nicht unbedingt nötig.

Metallsäge

Sie benötigen eine Bügelsäge mit einem speziell für die Bearbeitung von Metall geeigneten Sägeblatt zum Ablängen der in Einsatz kommenden Gewindestangen.

Schraubzwingen

Zwar werden beim FranzisMendel alle Verleimungen durch Verschraubungen mit Spannplattenschrauben gepresst, doch es gibt immer wieder Situationen, in denen Ihnen eine Zwinge gute Dienste leisten kann. Spätestens für das temporäre Befestigen des Bohrständers am Tisch und eines Anschlags am Ständer, mit dessen Hilfe Sie Bohrlöcher exakt anbringen können, benötigen Sie Schraubzwingen, falls Sie nicht über eine professionelle Ständerbohrmaschine mit Maschinenschraubstock verfügen.

Feilen, Ringgabelschlüssel, Zangen, Hammer, Raspel

Das normale Vorkommen an Werkzeug, das in einem durchschnittlichen Haushalt vorhanden ist, sollte zur Verfügung stehen.



Prüflampe

Zum Testen, ob beispielsweise eine Motorwicklung, eine Düsenheizung oder ein Thermistor Durchgang besitzt, d. h. Strom leitet, oder ob ein Endstopp an der richtigen Stelle auslöst, benötigen Sie mindestens eine 12-Volt-Prüflampe aus dem Kfz-Bedarf, die ab 3 Euro zu haben ist. Wir empfehlen Ihnen aber dringend die Anschaffung eines Multimeters, weil Sie damit z.B. auch den Widerstandswert eines Thermistors ermitteln können, was nötig ist, um seine Funktion zu prüfen.

3.2.2 Werkzeug, das die Arbeit erleichtert

UMGANG MIT JAPANSÄGEN ÜBEN



Japansägen sind deutlich schärfer als europäische, wie etwa der Fuchsschwanz. Deshalb ist die Verletzungsgefahr auch wesentlich größer. Lassen Sie sich, falls Sie keine Erfahrung im Umgang mit dieser Art von Sägen haben, beim Kauf die geeignete Arbeitsweise erklären.

Grundsätzlich gilt: Setzen Sie die Säge in der Nähe des Griffes am Werkstück an, führen Sie die Säge mit dem Daumennagel (Verletzungsgefahr!) und ziehen Sie sie, ohne Druck auszuüben, langsam zu sich her. Umfangreiche Informationen und eine Anleitung finden Sie auch ab Seite 24 in diesem PDF-Dokument: www.festool.de/Aktionen/Mehr-Festool/Holzidee-Heimwerken/Documents/holzidee/Holzidee_09.pdf.

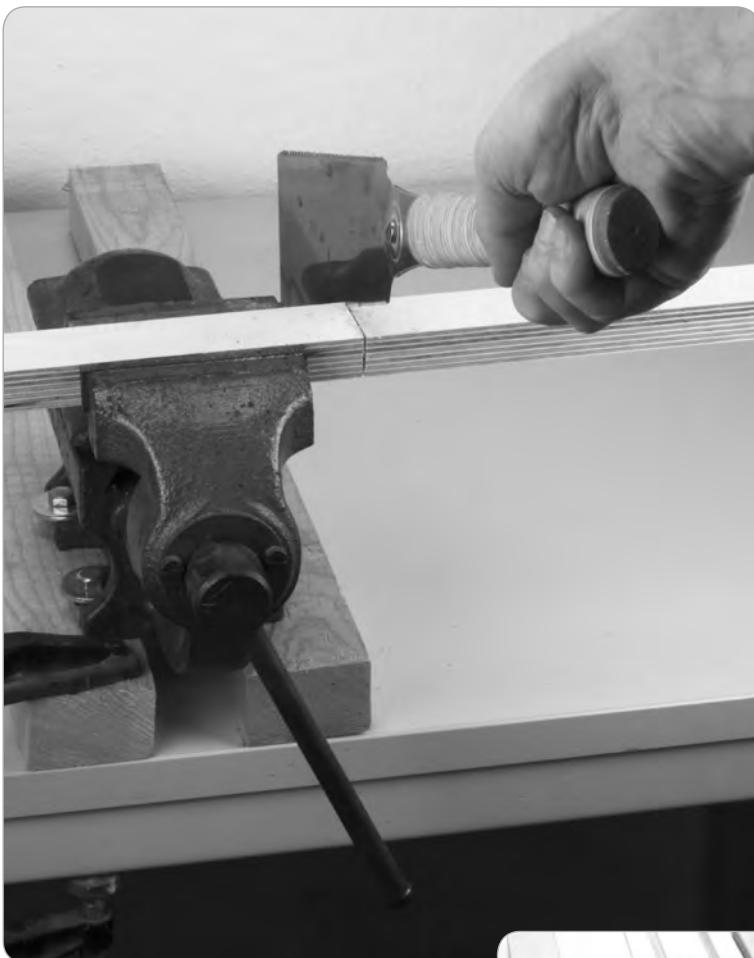
TIPP!

Japansäge

Zum Ablängen der diversen kleinen Konstruktionshölzer, die Sie beim FranzisMendel-Bau benötigen, eignet sich diese spezielle Säge hervorragend. Eine Japansäge zeichnet sich durch eine Besonderheit aus: Der Sägeschnitt wird während der Zugbewegungen erzeugt und nicht, wie bei europäischen Sägen wie z.B. dem klassischen Fuchsschwanz, beim Drücken der Säge in Sägeschnittrichtung. Dadurch ist es leichter, die Säge exakt zu führen. Außerdem kann das Sägeblatt, da nur auf Zug belastet, deutlich dünner sein als das Sägeblatt einer europäischen Säge. Die Arbeit mit einer Japansäge ist anfangs zwar etwas gewöhnungsbedürftig; da sich Japansägen zusätzlich durch sehr scharfe Sägeblätter auszeichnen, gelingen Ihnen damit jedoch mühelos sehr feine und genaue Schnitte, wie sie mit einem Fuchsschwanz nicht möglich wären.

Schraubstock

Ob Sie eine Gewindestange kürzen, einen Streifen Holz absägen oder ein Loch in einen Metallwinkel bohren wollen – immer wenn es darauf ankommt, dass ein Werkstück bombenfest gehalten wird, ist ein guter Schraubstock eine große Arbeitserleichterung. Für manche Arbeiten ist er sogar fast unabdingbar. Wenn Sie z.B. in Metall bohren wollen, kann das gefährlich werden! Das Drehmoment, das eine Bohrmaschine entwickelt, ist in der Lage, ein Werkstück mitzureißen, wenn sich der Bohrer verkantet. Vor allem beim Bearbeiten von Blechen, Montagewinkeln und anderen Teilen aus Stahl mit Dicken unter 1 mm kann das schnell passieren. Falls Sie in diesem Fall ein scharfkantiges Werkstück und die Bohrmaschine nur mit den Händen halten, sind Verletzungen vorprogrammiert. Gute Schraubstöcke sind teuer, gehören aber eigentlich zur Basiseinrichtung einer Werkstatt.



Eine Japansäge und ein Schraubstock in Aktion.

Zwei Bleistiftstriche genau anzeichnen, Führungsschiene anlegen, zusägen, fertig. Mit einer Handkreissäge gelingen maßgenaue Plattenzuschnitte auch zu Hause.

Handkreissäge mit Führungsschiene

Um Plattenmaterial winkelgetreu und maßgenau zuschneiden zu können, werden in Schreinereien sogenannte Formatkreissägen verwendet. Falls Sie den Zuschnitt zu Hause selbst erledigen wollen, eignet sich dafür aber auch hervorragend eine Handkreissäge mit Führungsschiene, die Sie ab ca. 130 Euro im Fachhandel erwerben können.





Feinmechanikerschraubendreher

Einige Schrauben an einem 3-D-Drucker sind sehr klein. Gewindegrößen von M2 bis M4 finden sich an Motorhaltern, Extrudern, Pulleys usw. Ein Satz Feinmechanikerwerkzeuge kann da sehr praktisch sein, ist allerdings nicht unbedingt erforderlich, wenn ein vorhandenes Bit-Sortiment alle benötigten Größen abdeckt.

Minibohrmaschine

Für feine Schleifarbeiten und Bohrungen mit kleinen Durchmessern unter 3 mm ist solch ein Gerät eine große Hilfe. Es gehört zwar nicht zum »notwendigen« Werkzeug, ist jedoch beim 3-D-Drucker-Bau- und auch später beim Betrieb Ihres Druckers - eine unbedingt empfehlenswerte Anschaffung.

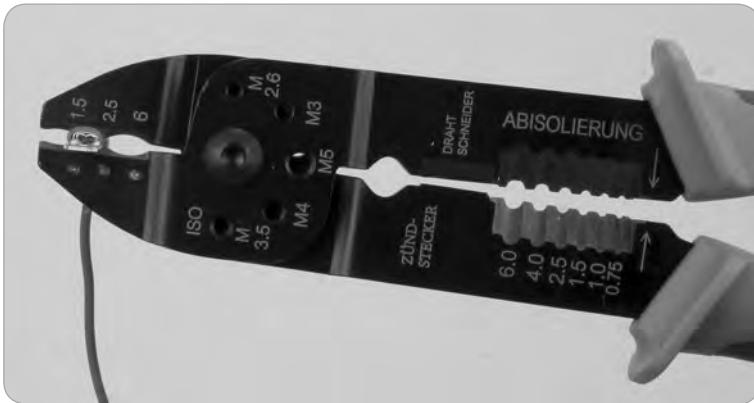
Lötapparat

Wenn Sie Ambitionen haben, die Steuerungselektronik Ihres 3-D-Druckers selbst zusammenzulöten, benötigen Sie dringend eine regelbare Lötstation. Für das Anbringen der Verdrahtung am elektrisch heizbaren Druckbett und am Hot-End genügt ein guter Stablötkolben, den Sie für ein paar Euro erwerben können. Denken Sie auch an das nötige Zubehör: Elektroniklot Sn60Pb40 mit verdampfendem Fließmittel (Handelsbezeichnung »no-clean2), Lötfett sowie Schrumpfschläuche zur elektrischen Isolation von verlötzten Kabeln. Falls Sie nicht löten wollen, gibt es andere Lösungen. Die Steuerungselektronik und das Heizbett werden fertig verlötet angeboten, und die elektrischen Verbindungen am Drucker können Sie auch mit Lüsterklemmen oder Crimpsteckern herstellen.

Crimpzange

Mit einer solchen Zange können Sie Crimpkabelschuhe schnell und zuverlässig mit Drähten bestücken, indem Sie jeweils einen Kabelschuh mit dem darin liegenden Draht verpressen. Diese speziellen Steckverbinder wiederum erleichtern das Verdrahten eines RepRaps enorm, weil sie schnell steckbare und wieder trennbare elektrische Verbindungen ermöglichen. Allerdings taugen nur Crimpzangen aus dem Profibereich wirklich etwas, z.B. solche für den Einsatz in Kfz-Werkstätten. Billigzangen aus dem Baumarkt sind Ihr Geld nicht wert.

Die Alternative ist eine gute Spitzzange, mit der Sie, so Sie über ein Mindestmaß an Geschicklichkeit verfügen, die Verpressung so ausführen können, dass sie auch ohne Spezialwerkzeug zuverlässig hält. Der Crimpvorgang ist einfach: Sie entfernen ca. 3 mm Isolation am Ende eines Kabels, stecken das Ende in den Kabelschuh und quetschen seine Kabelaufnahme flach. Detaillierte Informationen zu dieser Verbindungstechnik finden Sie unter de.wikipedia.org/wiki/Kabelschuh.



Fachgerecht ausgeführte Crimp- bzw. Kabelschuhverbindungen sind mindestens genauso zuverlässig wie Lötverbindungen und deutlich schneller zu realisieren.

Heißluftpistole

Dieses Gerät benötigen Sie nur, wenn Sie zusammengelötete Kabel mit einem Schrumpfschlauch elektrisch isolieren müssen. Allerdings schrumpft dieses spezielle Isolationsmaterial auch zuverlässig, wenn Sie es vorsichtig kurz mit einer Feuerzeugflamme erhitzen.

Multimeter

Wenn alle Bauteile Ihres 3-D-Druckers in einem einwandfreien Zustand sind und innerhalb ihrer normalen Parameter arbeiten, benötigen Sie kein Multimeter. Schwierig wird es erst, wenn etwas nicht funktioniert, wie es soll. Zwar gibt es immer auch andere Möglichkeiten, zu prüfen, ob ein Kabellbruch vorliegt oder ein Thermistor defekt ist, ein Messgerät wie das Multimeter, das für unter 20 Euro erhältlich ist, kann Ihnen die Fehlersuche jedoch erheblich erleichtern. Ohne Multimeter würde Ihnen bei einer Störung oft nichts anderes übrig bleiben, als Teil für Teil zu ersetzen, bis Sie zufällig den Übeltäter finden.

Glasschneider

Wenn Sie die Glasauflagen für das Heizbett selbst schneiden wollen, um z.B. durch die Verwendung von Fensterglasresten etwas Geld zu sparen, benötigen Sie dieses Werkzeug.

Cuttermesser

Ein solches Messer mit seinen auswechselbaren, sehr scharfen Klingen gehört eigentlich in jeden Haushalt, weil es immer wieder Schneide- und Trennarbeiten gibt, die Sie zwar auch mit einem anderen Messer oder Werkzeug bewältigen könnten, die aber mit einem Cutter deutlich exakter und müheloser gelingen.



3.2.3 Nützliche Dinge aus der kleinen Bastelkiste

In Ihrem 3-D-Drucker kommen sehr viele Holzteile zum Einsatz. Beim Bohren und Sägen von Holz sollten Sie immer die entstehenden Kanten versäubern, d. h. von über- oder abstehenden Holzfasern befreien. Dies dient nicht nur einer schöneren Optik, sondern auch einer störungsfreien Funktion und beugt der Verletzungsgefahr durch in die Haut eindringende Holzsplitter vor.

Ein paar Blatt Schleifpapier für den Trockenschliff mit 80er-Körnung zum Entfernen von Splittern und mit 120er-Körnung für eine glatte Optik sollten Sie im Vorrat haben.

CD-Marker und Bleistift, Geometriedreieck, Zirkel, Holzleim, Lüsterklemmen und isolierte Crimpkabelschuhe, Kabelreste, Kabelschellen, Malerkreppband usw. sind meist irgendwo in der Bastelkiste vorhanden und können ebenso hilfreich sein wie ein Tröpfchen Nähmaschinenöl.

Ein paar Gegenstände, wie z.B. sogenannte Folder-Klammern, sind für den Bau bzw. Betrieb des Druckers unbedingt nötig, aber nicht unbedingt in jedem Haushalt in der Bastelkiste zu finden. Wenn dem so ist, nehmen Sie diese Gegenstände explizit in Ihre Einkaufsliste auf.

**AN DAS TRAFOGEHÄUSE
DENKEN**



Egal ob Sie ein Computernetzteil umbauen oder einen Spezialtrafo für Ihren Drucker kaufen - es ist ratsam, die Kraftquelle mit einem Gehäuse zu schützen. Grundsätzlich können Sie später, wenn der Drucker läuft, ein geeignetes Gehäuse ausdrucken. Sie können aber auch ein Gehäuse aus Multiplexmaterial oder Sperrholz bauen. In diesem Fall sollten Sie beim Holzeinkauf das zusätzlich benötigte Material gleich mit einpacken.

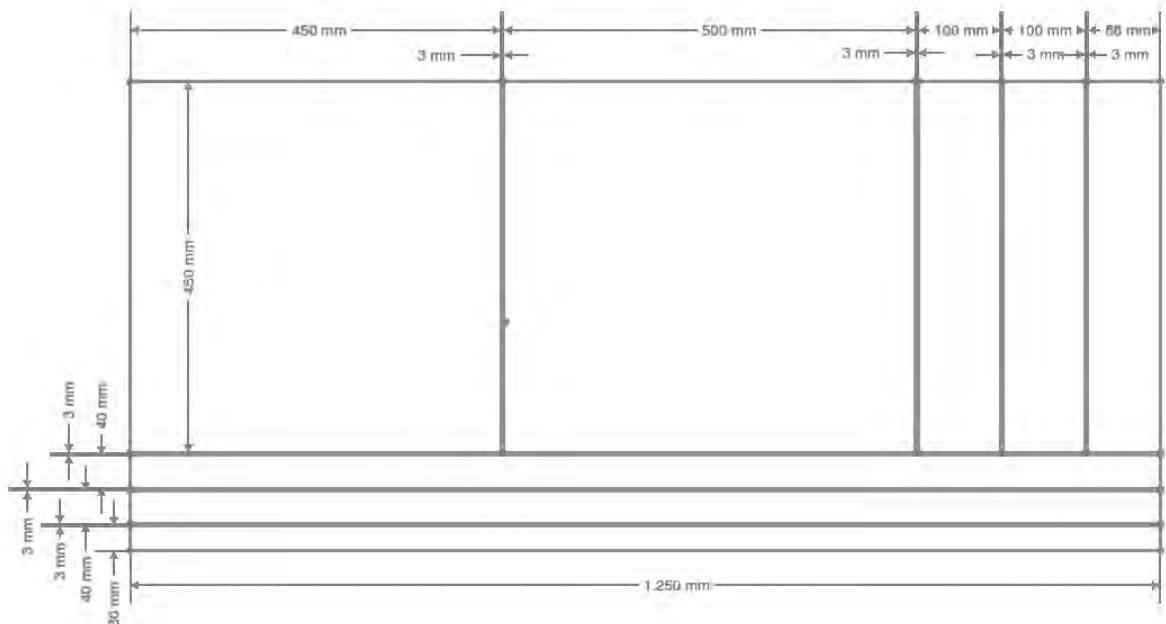
TIPP!

3.3 HOLZ FÜR DEN RAHMENBAU

Der erste Schritt beim Bau Ihres 3-D-Druckers führt Sie in den Baumarkt oder zum Tischler Ihrer Wahl. Es gilt, einige Multiplexstücke mit 21 mm Stärke oder, falls solche Platten nicht vorrätig sind, welche mit 18 oder 19 mm Stärke einzukaufen.

3.3.1 Multiplexplatten in der passenden Größe

Die Zuschnittliste ist für Multiplexplatten der Größe 125 x 250 cm optimiert, da das Plattenmaterial fast ausschließlich in dieser Größe produziert wird. Dies hat den Vorteil, dass Sie einen oder mehrere Sägeschnitte weniger einplanen müssen als bei anderen Zuschnittvarianten. Schneiden Sie die Bauteile für den Rahmen selbst zu, ersparen Sie sich Arbeit; falls Sie zuschneiden lassen, Geld. Bei den Maßen wurde eine Sägeblattstärke von 3 mm berechnet. Verfügt die eingesetzte Säge über ein dünneres oder dickeres Sägeblatt, ändert sich das Maß eines Reststücks mit 88 mm Breite geringfügig.



Die Zuschnittliste beinhaltet auch zwei 40 sowie einen 30 mm breiten Streifen Multiplex, aus dem Sie später zu Hause z.B. die Halterungen für Linearführungen und Motoren zusägen können. Insgesamt benötigen Sie ca. 0,7 m² Plattenmaterial.

Den Zuschnittplan für die Hölzer des Druckerrahmens finden Sie als PDF zum Ausdrucken und Mitnehmen in den Baumarkt unter www.buch.cd.

ANZAHL	MASSE (IN MM)	BAUTEIL(E)
1	450 x 500	Grundplatte
1	450 x 450	Portal (der Druckbett- und Druckkopfhalter werden aus dem Reststück, das beim Zusägen des Portals übrig bleibt, gebaut)
2	450 x 100	Seitenteile
2	40 x 1.250	Wellenhalter, Versteifung der Grundplatte usw.
1	30 x 1.250	Kugellagerhalter, Filamenthalter usw.

Die Zuschnittliste für den Baumarkt finden Sie zum Ausdrucken ebenfalls unter www.buch.cd.

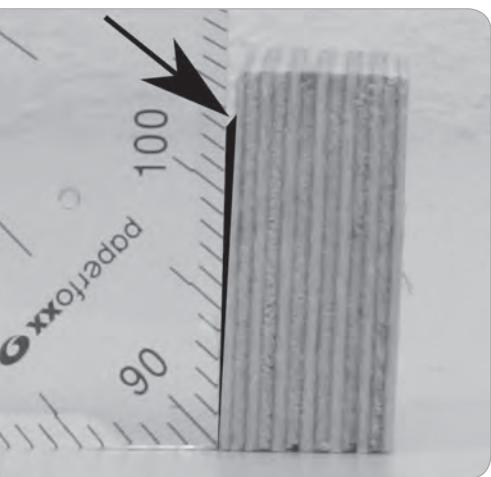


MISSTRAUEN SIE DEM SCHREINERWINKEL

Sogenannte Schreinerwinkel sind oft sehr unpräzise und daher für den Einsatz im 3-D-Drucker-Bau nicht geeignet. Ob ein Referenzwinkel tatsächlich 90 Grad hat, können Sie testen, indem Sie ihn anlegen und dann um 180 Grad gedreht erneut anlegen. Besteht eine Differenz der Messergebnisse, ist der Winkel als Messinstrument ungeeignet. Ein Geometriedreieck, wie Sie es aus der Schule kennen, ist preisgünstig und sehr genau. Im Notfall können Sie im Baumarkt auch eine Plastik-CD-Hülle oder einen anderen Gegenstand, von dem Sie sicher sein können, dass er rechtwinklig ist, verwenden.



TIPP!



Schon eine nur leicht schräge Sägeschnittkante kann beim Zusammenbau Ihres Druckers immense Probleme schaffen.

3.3.2 Exaktes Zusägen der Rahmenbauteile

Wenn Sie das Plattenmaterial direkt im Baumarkt oder beim Tischler zusägen lassen, können Sie diesen Schritt überspringen. Sind Sie jedoch in der Lage, Plattenmaterial selbst exakt zuzusägen, ist folgende Vorgehensweise empfehlenswert:

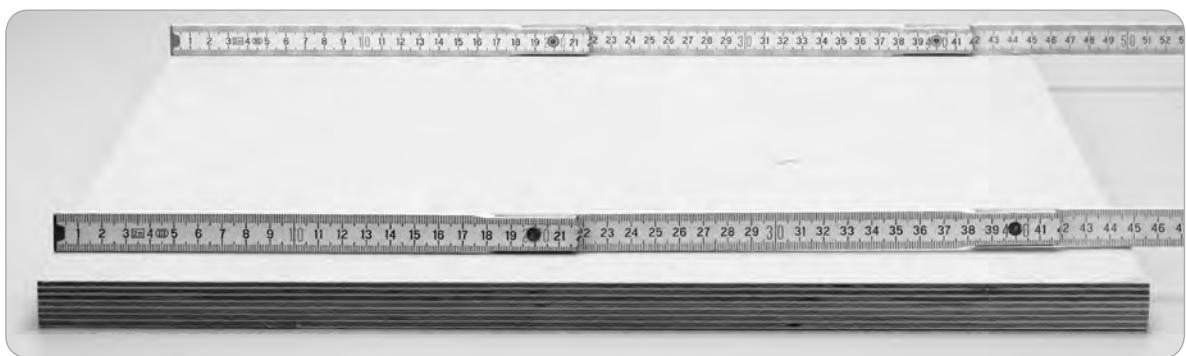
- 1** Sägen Sie von einer Komplettplatte (2.500 x 1.250 mm) ein Stück mit den Maßen 569* x 1.250 mm. In dieser Größe ist die Teilplatte übrigens gut transportierbar.
- 2** Sägen Sie von der Teilplatte einen Streifen mit dem Maß 450 x 1.250 mm sowie zwei Streifen mit dem Maß 40 x 1.250 mm zu. Der Rest ergibt einen Streifen von 30 x 1.250 mm.
- 3** Teilen Sie den 450 mm breiten Streifen in vier Teile, entsprechend den Maßen in der Tabelle oben, um die Grundplatte, das Portal und zwei Seitenteile zu erhalten. Das Reststück mit ca. 88 mm Breite stellt eine Reserve dar für den Fall, dass später beim Bau der Kleinteile mal ein Sägeschnitt danebengeht.

Zuschchnitt vor der Weiterverarbeitung prüfen

Egal ob Sie selbst Hand angelegt haben oder ein Baumarktmitarbeiter für die Genauigkeit des Zuschchnitts verantwortlich zeichnet – Sie sollten die Bauteile unbedingt auf Rechtwinkligkeit und Maßhaltigkeit überprüfen, bevor Sie sie weiterverarbeiten.

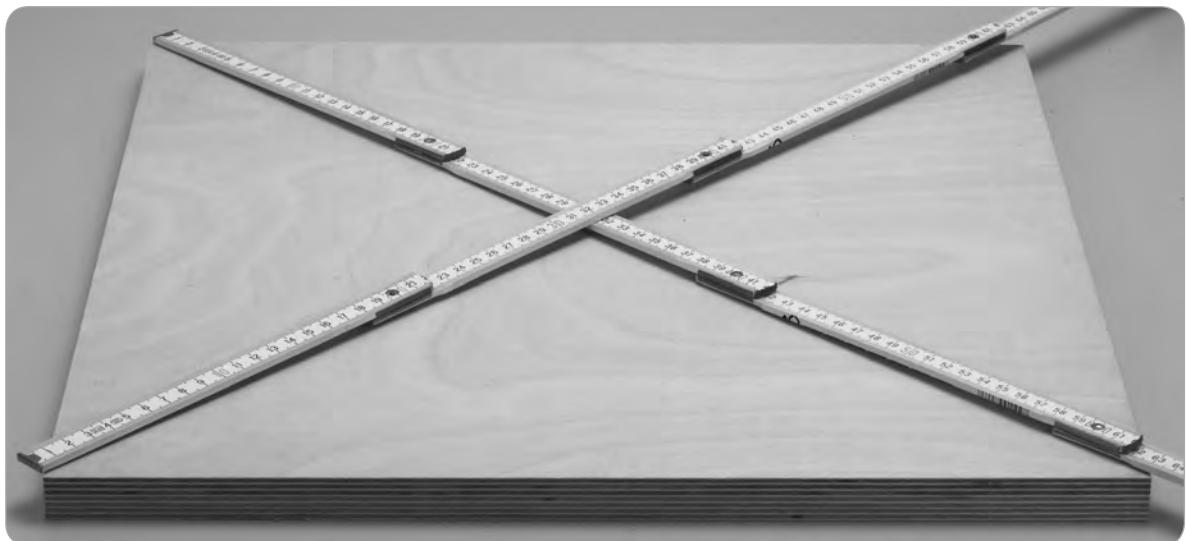
- 1** Überprüfen Sie, ob das Sägeblatt genau senkrecht zur Plattenebene eingestellt ist. Stellen Sie dazu die zugesägten Plattenstücke senkrecht auf eine ebene Fläche und kontrollieren Sie die Rechtwinkligkeit der Sägeschnittkante durch das Anlegen eines Geometriedreiecks oder eines anderen geeigneten Referenzwinkels.
- 2** Überprüfen Sie die Maße an den Kanten der zugesägten Teile. Jeweils gegenüberliegende Kanten sollten parallel sein und durchgehend exakt das gleiche Maß aufweisen. Abweichungen von mehr als einem Zehntelmillimeter (0,1 mm) sollten Sie nicht akzeptieren.

* Dieses Maß ergibt sich bei einer Sägeblattstärke von 3 mm. Bei einer anderen Blattstärke sollten Sie das Maß anpassen.



Überprüfen Sie die Parallelität der Kanten.

- 3** Überprüfen Sie die Rechtwinkligkeit der zugesägten Teile in der Plattenebene. Mit einem alten Tischlertrick erhalten Sie immer sehr genaue Ergebnisse: Messen Sie die beiden Strecken von einer Ecke zur jeweils gegenüberliegenden Ecke eines Plattenbaus. Vorausgesetzt, die Maße, die Sie in Schritt 2 geprüft haben, sind hinreichend genau, sind die Bauteile dann absolut rechtwinklig, wenn die beiden Strecken von Ecke zu Ecke gleich lang sind. Eine Abweichung von bis zu einem halben Millimeter (0,5 mm) können Sie akzeptieren. Für die beiden 4 cm und den 3 cm breiten Streifen ist dieser Schritt nicht notwendig.



Mit diesem alten Tischlertrick können Sie die Rechtwinkligkeit des Plattenmaterials prüfen.



3.3.3 Kleinteile für den Druckerbau zusägen

Dabei handelt es sich in erster Linie um Hölzer für die Linearführungshalter, die Grundplattenaussteifung und andere Kleinteile. Baumärkte weigern sich regelmäßig, Platten unter einem gewissen Mindestmaß, das bei den Kleinteilen, die Sie für Ihren Druckerbau benötigen, bestimmt unterschritten wird, zuzusägen. Sie können jedoch den Zuschnitt dieser Teile mit einer Stichsäge oder einer Japansäge problemlos zu Hause selbst durchführen. Eine Alternative, die allerdings sehr teuer werden kann, ist die Auftragsvergabe an eine Tischlerei. In diesem Fall überspringen Sie diesen Schritt.

Die 40 und 30 mm breiten Streifen, die Sie aus dem Baumarkt mitgebracht oder sich selbst zurechtgesägt haben, genügen, um daraus folgende Teile herzustellen:

ANZEICHNEN DER MASSE AM HOLZBAUTEIL

Am geeignetsten zum Anzeichnen von Sägeschnitten, Maßen und Bohrlochpositionen auf Holz ist ein mittelharter, gut gespitzter Bleistift. Zum Anzeichnen rechter Winkel und Messen kleinerer Längen ist ein Geometriedreieck aus Kunststoff das Mittel der Wahl.

TIPP!

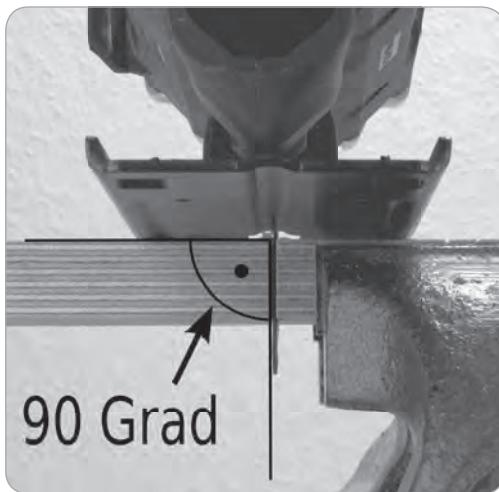
Diese Liste finden Sie zum Ausdrucken unter www.buch.cd.

ANZAHL	MASSE (IN MM)	BAUTEIL(E)
2	40 x 500	Füße bzw. Aussteifung für die Grundplatte
12	40 x 30	Wellenhalter
10	30 x 40	Kugellagerhalter
1	30 x 80	Zahnriemenspanner y-Achse
2	30 x 30	Zahnriemenspanner y-Achse und x-Achse, bewegliches Teil
1	40 x 40	Kabelhalter am Druckbett
1	30 x 40	Zahnriemenspanner x-Achse
1	aus Reststück	Druckbetthalter
1	aus Reststück	Druckkopfhalter horizontales Teil
1	30 x 157	Druckkopfhalter vertikales Teil
2	30 x 75	Kugellagerhalter mit Rampa-Muffe
1	aus Reststück	Spezialwellenhalter für die x-Achse klein
1	aus Reststück	Spezialwellenhalter für die x-Achse groß
1	40 x 60	Kabelhalter am Portal
1	30 x 305	Filamentrollenhalter
1	30 x 150	Filamentführungshalter
1	30 x 40	Filamentführungshalter

Zwei Grundplattenversteifungen zusägen

Beim Zusägen der Holzteile für die Linearführungen sollten Sie einige wichtige Details beachten. Informationen dazu finden im entsprechenden Unterkapitel. Der aktuelle Arbeitsschritt hingegen ist völlig unkompliziert.

- 1** Zeichnen Sie am 40 mm breiten Holzstreifen die Lage der Sägeschnitte an. Übernehmen Sie dabei das Längenmaß von der längeren Seite der Grundplatte (ca. 500 mm), damit die Aussteifungen bündig darunterpassen.
- 2** Die beiden Sägeschnitte müssen aus technischer Sicht nicht exakt sein. Daher sind sie geeignet, das Sägen mit einer Stichsäge oder einer Japansäge zu üben, falls Sie darin keine Erfahrung haben. Wenn Sie mit der Stichsäge arbeiten, machen Sie zuerst irgendwo einen kleinen Einschnitt (ca. 1 mm), anhand dessen Sie die Rechtwinkligkeit des Stichsägeblatts zur Plattenebene überprüfen können. Stellen Sie gegebenenfalls die Sägeblattstellung korrekt ein.



Achten Sie darauf, das Sägeblatt Ihrer Stichsäge möglichst exakt im rechten Winkel zur Plattenebene einzurichten.

- 3** Sägen Sie zwei Bauteile mit der Größe 40 x 500 mm zu. Abstehende Holzfasern können Sie nach dem Sägeschnitt mit Schleifpapier entfernen. Falls Ihre ersten Sägeschnitte Ihren Ansprüchen an Optik und Genauigkeit noch nicht genügen, kürzen Sie die beiden Bauteile einfach mit neuen Sägeschnitten etwas. Es ist nicht notwendig, dass die beiden Bauteile bündig mit der Grundplatte abschließen. Ein oder zwei Zentimeter weniger schaden der Stabilität der Maschine nicht.

LEIMPRESSUNGEN OHNE SCHRAUBZWINGEN

Leimverbindungen sind äußerst stabil. Eine verleimte Stelle ist sogar belastbarer als das reine Holz, allerdings nur, wenn die beiden Hölzer, die verleimt werden sollen, bei der Aushärtung des Leims mit möglichst viel Kraft zusammengepresst werden. Nun würden Sie einige Schraubzwingen in diversen Größen benötigen, um für jede Verpresssituation die richtige zur Hand zu haben. Beim 3-D-Drucker-Bau mit Multiplexmaterial verpressen Sie die zu verleimenden Bauteile ganz einfach, indem Sie sie mit Spannplattenschrauben aneinanderziehen. Nach dem Abbinden des Leims erhalten Sie so stabile Verbindungen. Die Spannplattenschrauben könnten Sie jetzt entfernen und wiederverwenden. Da die Schrauben aber zusätzliche Stabilität erzeugen, lassen Sie sie einfach, wo sie sind.

TIPP!





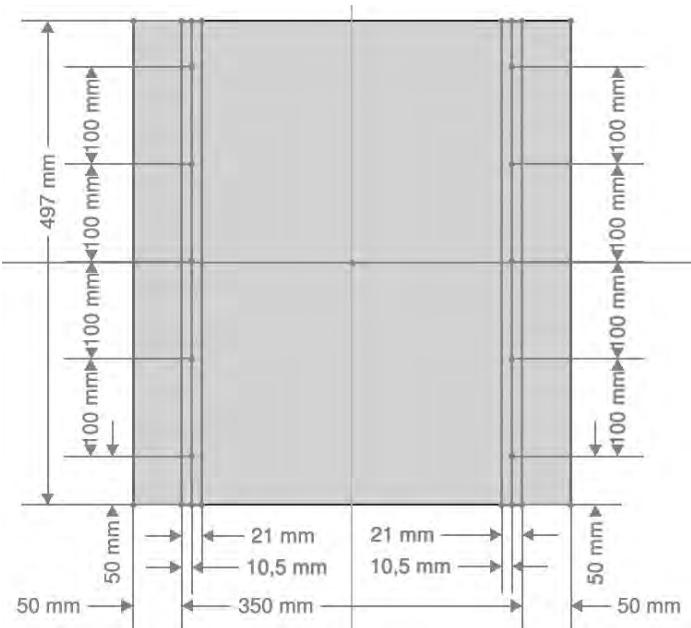
3.3.4 Grundplattenversteifungen anschrauben

- 1 Zeichnen Sie die Lage der Versteifungen und der Mittelpunkte der Bohrlöcher für die Spannplattenschrauben mit Bleistiftstrichen auf der Grundplatte ein. Orientieren Sie sich an der Skizze. In der Skizze sind Verstärkungen mit 21 mm Stärke eingezeichnet. Haben Sie Plattenmaterial in einer anderen Stärke eingekauft, sollten Sie die Bohrlöcher in der Mittellage der Versteifungen einzeichnen, wobei es nicht auf einen halben Millimeter ankommt.

FÜR ABSOLUT SENKRECHTE BOHRUNGEN

100 % senkrecht zur Plattenebene werden Bohrungen, wenn Sie einen Bohrmaschinenständer verwenden. Auch wenn Sie nur die am Rand einer großen Platte liegenden Bohrlöcher mit dem Ständer bohren können, weil bei den weiter innen liegenden die Stange des Ständers im Weg ist, lohnt es sich, dies zu tun.

TIPP!



Die Grundplattenversteifungen befinden sich, nach innen versetzt, 50 mm von der längeren Kante der Grundplatte entfernt.

- 2 Bohren Sie Löcher mit 3 mm Durchmesser an den markierten Stellen in die Grundplatte. Der Abstand zwischen den Bohrlöchern muss nicht 100 % exakt sein. Zwar sollten Sie darauf achten, dass Sie die Bohrlöcher einigermaßen senkrecht zur Plattenebene anbringen, aber auch dabei gilt: Es muss nicht zu 100 % exakt geschehen. Sie können also getrost mit dem Akkuschrauber freihändig bohren. Weichen die Bohrungen für die Spannplattenschrauben jedoch allzu sehr von der Senkrechten zur Plattenebene ab, kann es zu Problemen beim Zusammenbau kommen, da dann die Schrauben beim Festdrehen Bauteile aus ihrer korrekten Position ziehen können. Falls Ihnen ein Bohrloch allzu schräg geraten ist, weiten Sie es einfach etwas auf, indem Sie die Bohrmaschine oder den Akkuschrauber leicht hin- und herbewegen.



Das Vorbohren gelingt Ihnen mit einem Akkuschrauber mühelos.

- 3** Tragen Sie auf die schmale Seite einer Versteifung auf der ganzen Länge einen dünnen Streifen Leim auf.



*Ein dünner Faden
(ca. 2 bis 3 mm dick)
Leim genügt.*

- 4** Setzen Sie die Grundplatte entsprechend den Markierungen auf die mit Leim versehene Versteifung. Verwenden Sie die andere Versteifung als Unterstützung, damit Sie bequemer schrauben können. Eine Fixierung mit Schraubzwingen ist zwar nicht nötig, erleichtert aber die Arbeit.

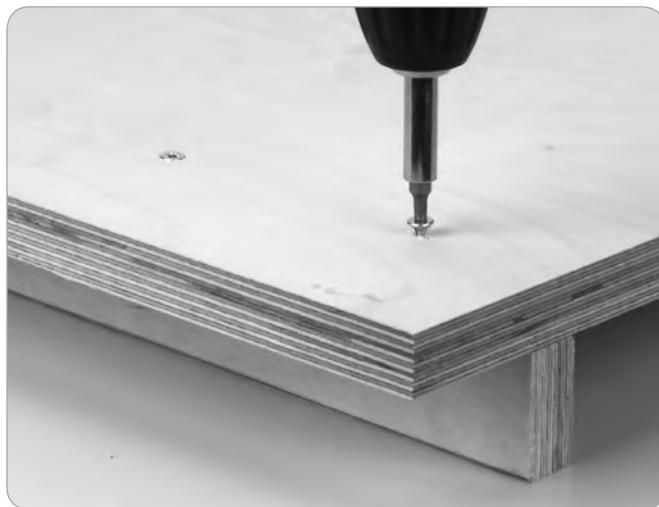


SCHRAUBEN MIT DREHMOMENTBEGRENZUNG

Optimal sitzen Spanplattenschrauben nur dann, wenn ihre Köpfe bündig mit der Holzoberfläche abschließen. Moderne Akkuschrauber besitzen eine Vorrichtung, mit der Sie die maximale Kraft, die das Gerät auf die Schraube ausübt, begrenzen können. Setzen Sie diese Drehmomentbegrenzung ein, um sicherzugehen, dass Sie die Schrauben nicht zu sehr ins Holz drehen. Alternativ können Sie auf den letzten Millimetern, bis die Schraube bündig sitzt, den Betätigungs schalter des Schraubers mit viel Fingerspitzengefühl bedienen oder die Schraube von Hand mit einem passenden Schraubendreher festziehen.

TIPP!

- 5** Verschrauben Sie die erste Versteifung mit fünf 4-x-35-mm-Spannplattenschrauben. Wenn Sie dazu einen Akkuschrauber mit Bit-Einsatz verwenden, achten Sie darauf, die Schrauben nicht zu weit ins Holz zu drehen. Drehen Sie die Schrauben nur ein, bis ihre Köpfe bündig mit der Grundplatte abschließen.



Auch und gerade zum Eindrehen von Schrauben eignet sich ein Akkuschrauber.

- 6** Entfernen Sie überschüssigen Leim, der beim Verschrauben aus der Leimfuge gedrückt wurde, mit einem feuchten Lappen.
- 7** Verschrauben Sie die zweite Versteifung, nachdem Sie sie mit Leim bestrichen haben, wie die erste mit der Grundplatte.

Spanplattenschrauben richtig anbringen

Setzen Sie die Bauteile in ihrer korrekten Lage aneinander und fixieren Sie das Bauteil, in das die Schraubenspitze eindringen soll, auf dem Teil mit den vorgebohrten Löchern. Dies gelingt Ihnen entweder mit einer Schraubzwinge oder indem Sie von Hand Druck ausüben. Drehen Sie die Schraube(n) langsam ein und versichern Sie sich dabei, dass die Schraube das Bauteil, in das sie eindringen soll, nicht aus seiner Position drückt. Checken Sie nach dem Verschrauben jeder Spanplattenschraube, ob die Lage des Bauteils noch exakt Ihren Markierungen entspricht.

Falls sich das Bauteil verschoben hat, korrigieren Sie das, indem Sie jene Schraube, bei deren Anbringen sich der Fehler eingeschlichen hat, wieder herausdrehen, um anschließend das zu montierende Teil wieder in seine korrekte Lage zu bringen. (Falls Sie leimen, denken Sie bitte daran,

dass Korrekturen nur möglich sind, solange der Leim noch nicht abgebunden hat.) Schrauben Sie nun eine Schraube in ein anderes als jenes Loch, bei dem Ihnen das Missgeschick passiert ist.

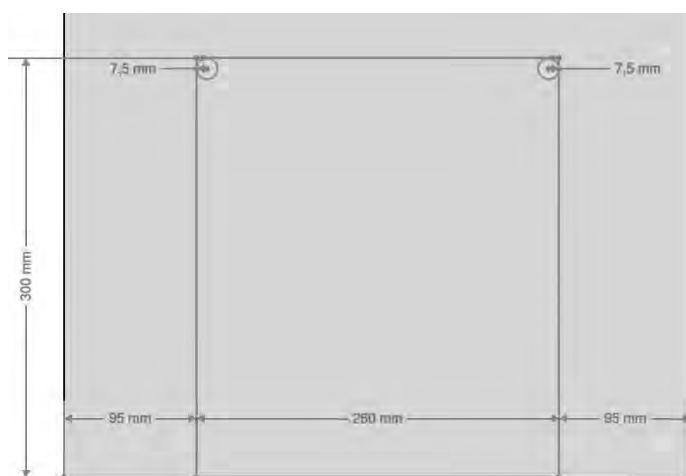
Hintergrund für diesen Tipp ist, dass Spanplattenschrauben dazu neigen, sich von vorhandenen Löchern führen zu lassen. Wenn z.B. die nötige Lagekorrektur des zu montierenden Bauteils ein paar Zehntelmillimeter beträgt, besteht die Gefahr, dass Sie die Schraube ungewollt wieder in das durch das erste Eindrehen der Schraube entstandene Loch drehen und die Schraube dabei das Bauteil erneut in die falsche Position zieht.

Falls Sie eine Spanplattenschraube nicht davon abhalten können, ein Bauteil bei seiner Montage aus der exakten Lage zu ziehen bzw. zu drücken, können Sie die betreffende Schraube als Ultima Ratio etwas versetzt anbringen. Halten Sie bei der neuen Position der Schraube möglichst einen Abstand von mindestens zwei Schraubendurchmessern zum alten Loch ein.

3.3.5 Ausschnitt für das Portal zusägen

Beim Zusägen des Ausschnitts in der 450 x 450 mm großen Platte für das Portal ist die Stichsäge das Mittel der Wahl. Auch hier müssen Sie nicht sonderlich exakt arbeiten, außer Sie legen Wert auf eine akkurate Optik. Der Teil, der ausgesägt wird, bildet später das Rohmaterial für die Druckbetthalterung, den Druckkopfhalter sowie ein paar Kleinteile der Linearführung in der x-Achse.

- 1 Zeichnen Sie die drei Sägeschnitte und die beiden Bohrlochmittelpunkte in den Innenecken mit einem Bleistift gut sichtbar an. Orientieren Sie sich an der Skizze.



DURCHBIEGUNGEN IM HOLZ KORRIGIEREN

Normalerweise ist ein Holzbauteil mit zwei bis drei Schrauben hinreichend fixiert, sodass Sie die weiteren Schrauben, die nur noch einer größeren Stabilität und/oder dem Verpressen beim Leimen dienen, einschrauben können, ohne dass die exakte Lage des Teils noch in Gefahr wäre.

Ausnahmen bilden in seltenen Fällen größere Bauteile, bei denen Sie eventuell leichte Durchbiegungen des Plattenmaterials ausgleichen müssen. Hier können Sie wie folgt vorgehen:

Drehen Sie zuerst zwei nebeneinanderliegende Schrauben ein und achten Sie dabei darauf, dass das Bauteil im Abschnitt, in dem die Schrauben greifen, exakt auf Ihren Markierungen liegt. Üben Sie dann an der Position der nächsten Schraube leichten Druck auf das zu montierende Teil aus, um die Durchbiegung zu kompensieren und das Teil auf die Markierung auszurichten. Schrauben Sie die betreffende Schraube ein, ohne den Gegendruck zur Durchbiegung zu verringern. Dies ist eine Arbeit, die zu zweit oder mit Schraubzwingeneinsatz besser gelingt.

TIPP!

Für die genaue Bestimmung der Position der beiden 15-mm-Bohrlöcher genügt es, wenn Sie die Bohrlochmittelpunkte mit einem Abstand von je 7,5 mm zu den Sägeschnittkanten einzeichnen.

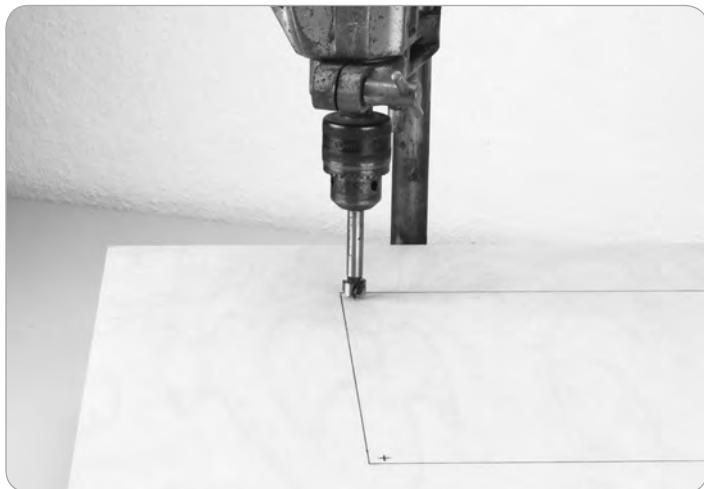


ARBEITEN MIT FORSTNERBOHRERN

Arbeiten Sie nie freihändig, denn ein Forstnerbohrer kann das Werkstück bei seiner Rotation mitreißen und Sie verletzen. Sichern Sie das Werkstück unbedingt. Setzen Sie die Bohrerspitze exakt auf die entsprechende Markierung und bohren Sie bei möglichst langsamer Drehzahl und langsamem Vorschub, ohne viel Druck auf die Bohrmaschine auszuüben. Achten Sie darauf, dass der Bohrer nicht heiß läuft. Sobald es auch nur leicht nach verbranntem Holz riecht, sollten Sie Ihrem Bohrer eine Pause gönnen! Verwenden Sie nur hochwertige Bohrer. Legen Sie ein Reststück Multiplex unter die Stelle, an der Sie bohren. So können Sie komplett durch das Werkstück bohren, ohne dass Holzfasern ausreißen.

TIPP!

- 2 Bohren Sie mit dem 15-mm-Forstnerbohrer die Innenecken. Nehmen Sie dazu den Bohrmaschinenständer zu Hilfe. Da es an dieser Stelle nicht sehr auf Exaktheit ankommt, eignet sie sich hervorragend, um den Umgang mit einem Forstnerbohrer zu üben, falls Sie damit zu ersten Mal arbeiten.



Optisch ansprechende Innenecken am Portal gelingen Ihnen mit dem Forstnerbohrer.

RICHTIGER UMGANG MIT DER STICHSÄGE

Beachten Sie unbedingt die Sicherheitshinweise in der Bedienungsanleitung Ihrer Stichsäge. Achten Sie vor allem darauf, dass Ihr Werkstück immer gut gesichert ist und dass Sie sich nicht verletzen. Falls Sie wenig Erfahrung im Umgang mit Stichsägen haben, sollten Sie an Hölzern aus Ihrer Restekiste einen möglichst geraden Sägeschnitt üben. Überprüfen Sie vor jedem Schnitt, ob das Sägeblatt korrekt arretiert ist und senkrechte Schnitte ermöglicht. Welchen Pendelhub Sie einstellen und welches Sägeblatt Sie verwenden müssen, um optimale Sägeergebnisse in Multiplexmaterial zu erzielen, erfahren Sie in der Bedienungsanleitung oder durch Ausprobieren.

TIPP!

- 3 Sägen Sie die Öffnung des Portals mit der Stichsäge aus. Ausgefranste Holzfasern können Sie nach dem Sägeschnitt mit Schleifpapier entfernen.

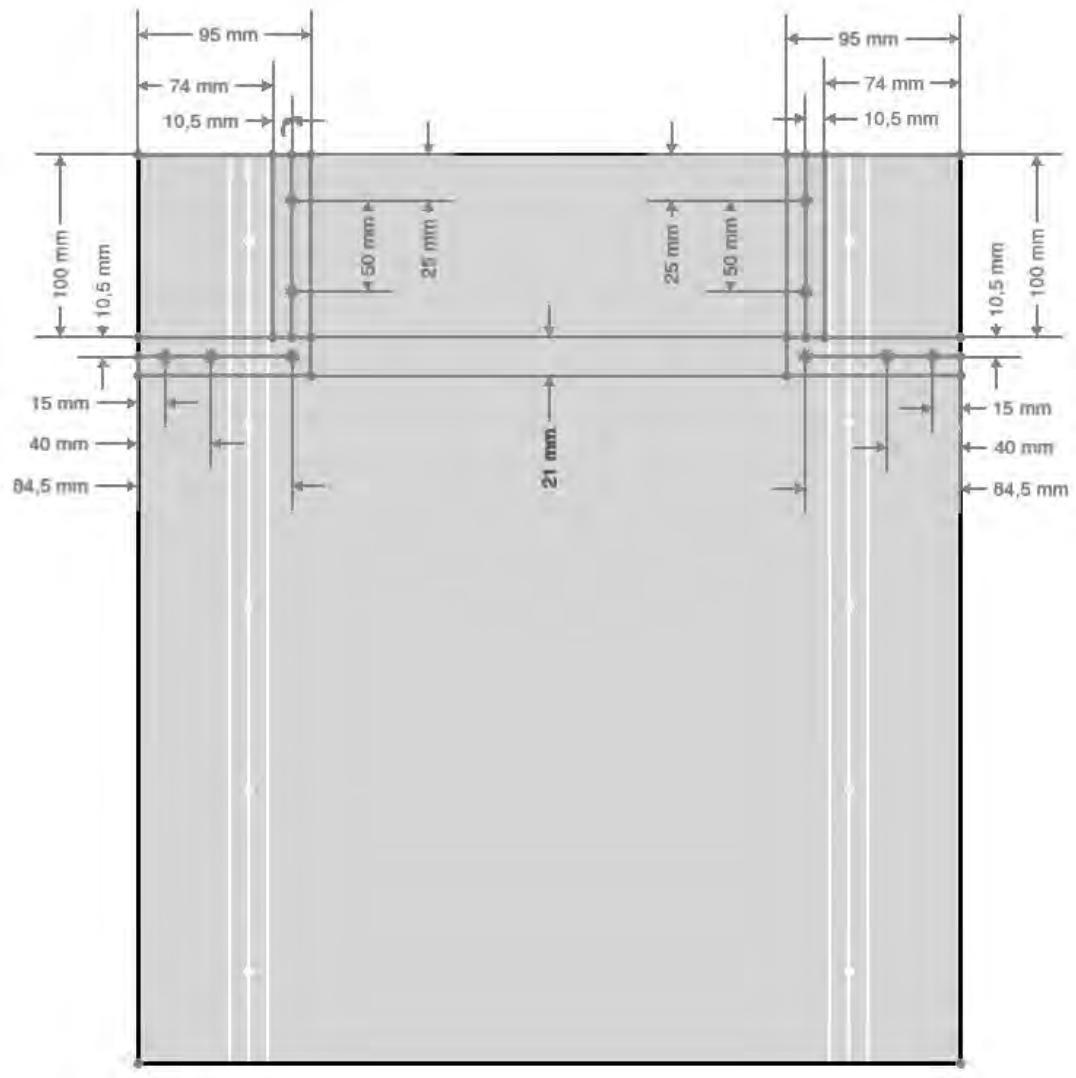


Mit der Stichsäge gelingt Ihnen der Zuschnitt des Portals in wenigen Minuten.

Denken Sie bitte daran, dass das ausgesägte Stück Multiplex später noch Verwendung findet. Entsorgen Sie es also nicht, sondern legen Sie es zur Seite.

3.3.6 Portal auf die Grundplatte schrauben

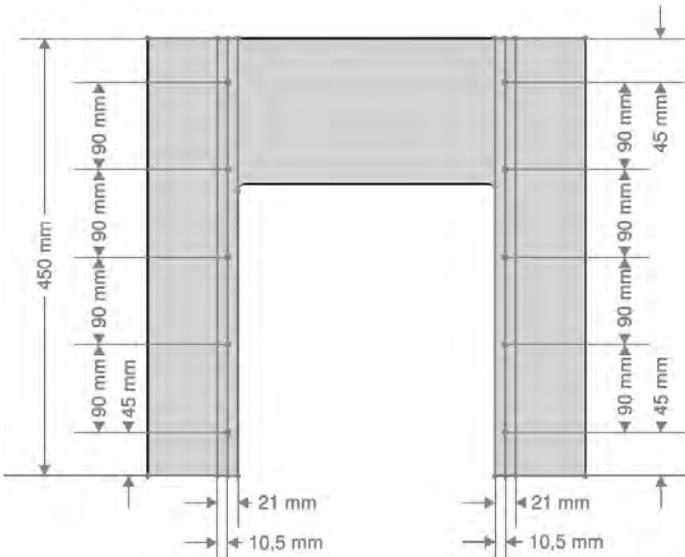
- 1 Zeichnen Sie die Lage des Portals und der beiden Aussteifungsbretter auf der Grundplatte ein. Zeichnen Sie auch gleich die Lage der 3-mm-Bohrlöcher für die Spanplattenschrauben ein. Achten Sie darauf, die Bohrlöcher so zu setzen, dass Ihnen später die Grundplattenaussteifungen beim Verschrauben des Portals nicht im Weg sind. Orientieren Sie sich an der Skizze.



Diese Maße für die Bohrlöcher sollten Sie auf die Grundplatte übertragen.
(Die Lage der Grundplattenaussteifungen, die sich auf der anderen Seite
der Platte befinden, erkennen Sie hier an den weißen Linien.)



- 2** Zeichnen Sie die Lage der Seitenaussteifungen und die Lage der 3-mm-Bohrlöcher für die Schrauben, mit denen diese am Portal befestigt werden, auf dem Portal ein. Orientieren Sie sich an der Skizze.



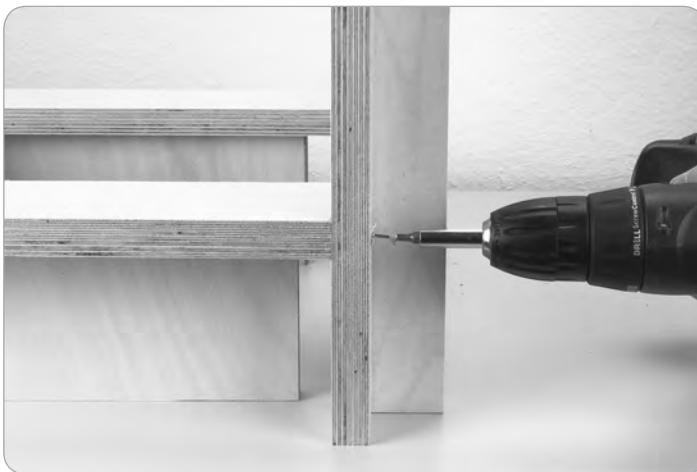
Auch auf dem Portal sind einige Bohrlöcher anzubringen.

- 3** Bringen Sie sämtliche Bohrungen, die Sie auf der Grundplatte und dem Portal eingezeichnet haben, mit dem Akkuschrauber oder einer Bohrmaschine an.



Das Bohren der Schraubenlöcher für die Montage des Portals und seiner Versteifungen ist schnell erledigt.

- 4 Tragen Sie auf die beiden Flächen, mit denen das Portal die Grundplatte berührt, Leim auf.
- 5 Setzen Sie das Portal den Markierungen entsprechend auf die Grundplatte und verschrauben Sie es mit der Grundplatte. Verwenden Sie dazu 4-x-35-mm-Spanplattenschrauben. Am einfachsten gelingt Ihnen dieser Bauschritt, wenn Sie die Grundplatte senkrecht stellen und die Portalaussteifungen als Stützen verwenden, auf die Sie das Portal aufliegen können. Zwar ist es durchaus möglich, das Verschrauben allein zu bewerkstelligen, eine zweite Person, die Ihre Werkstücke sichert und darauf achtet, dass das Portal beim Verschrauben seine korrekte Position nicht verlässt, erleichtert Ihnen die Sache jedoch ungemein. Arbeiten Sie möglichst exakt, da die Lage des Portals die Laufbahn des Druckkopfs in der x-Achse bestimmt. Abweichungen bis zu 0,1 mm sind akzeptabel.



Die beiden Seitenteile können Ihnen als Stützen beim Verschrauben des Portals dienen.

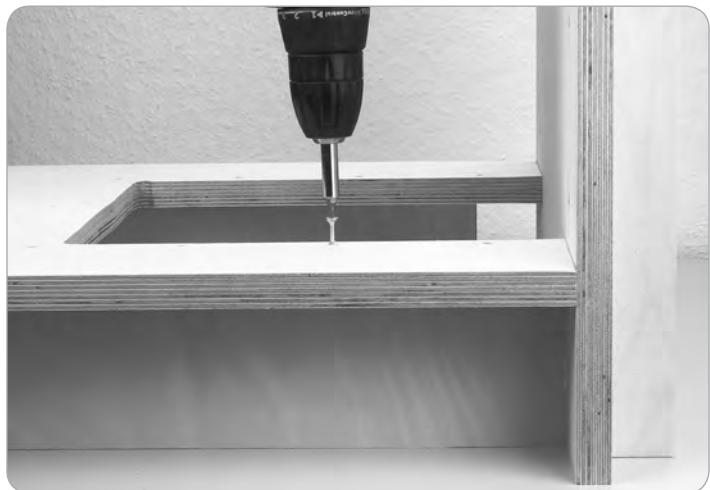
- 6 Vergessen Sie nicht, eventuell aus der Leimfuge gequollenen überflüssigen Leim mit einem feuchten Tuch abzuwischen.

3.3.7 Seitenteile mit Grundplatte und Portal verbinden

Da Sie alle relevanten Markierungen und Bohrungen schon angebracht haben, können Sie direkt die beiden Seitenteile jeweils mit Leim versehen und verschrauben. Beim Verschrauben der Seitenteile wird das Portal automatisch in die Senkrechte zur Grundplatte gezogen. Dies ist einer der Konstruktionsvorteile des Mendel90-Prinzips. Weil Sie dabei jedoch Teile in zwei senkrecht zueinanderstehenden Ebenen gleichzeitig fixieren, sollten Sie die Schrauben in der angegebenen Reihenfolge anbringen, um sich unnötige Lagekorrekturen der Seitenteile möglichst zu ersparen oder sie zumindest gering zu halten.



- 1** Bestreichen Sie das erste Seitenteil an den beiden Flächen, die mit der Grundplatte bzw. mit dem Portal in Verbindung kommen sollen, mit Leim.
- 2** Stellen Sie die Grundplatte, wie schon bei der Verschraubung des Portals mit der Grundplatte, senkrecht. Positionieren Sie das 450 x 100 mm große Seitenteil unter dem Portal in seine vorgesehene, auf der Grundplatte und dem Portal markierte Lage. Sie können Leimschmierer vermeiden, indem Sie das Portal beim Positionieren leicht angehoben halten und erst ablassen, wenn alles passt.
- 3** Verwenden Sie für die Verschraubung der Seitenversteifungen 3-x-35-mm-Spanplattenschrauben. Drehen Sie zuerst die beiden Schrauben, die das Seitenteil an der Grundplatte fixieren, fest. Dabei drückt das Portal per Schwerkraft das Seitenteil in der Portalebene in Position, während es durch das Schrauben zur Grundplatte hin in Position gezogen wird.
- 4** Drehen Sie die Schrauben, die das Portal am Seitenteil fixieren, nacheinander fest. Orientieren Sie sich am Bild.

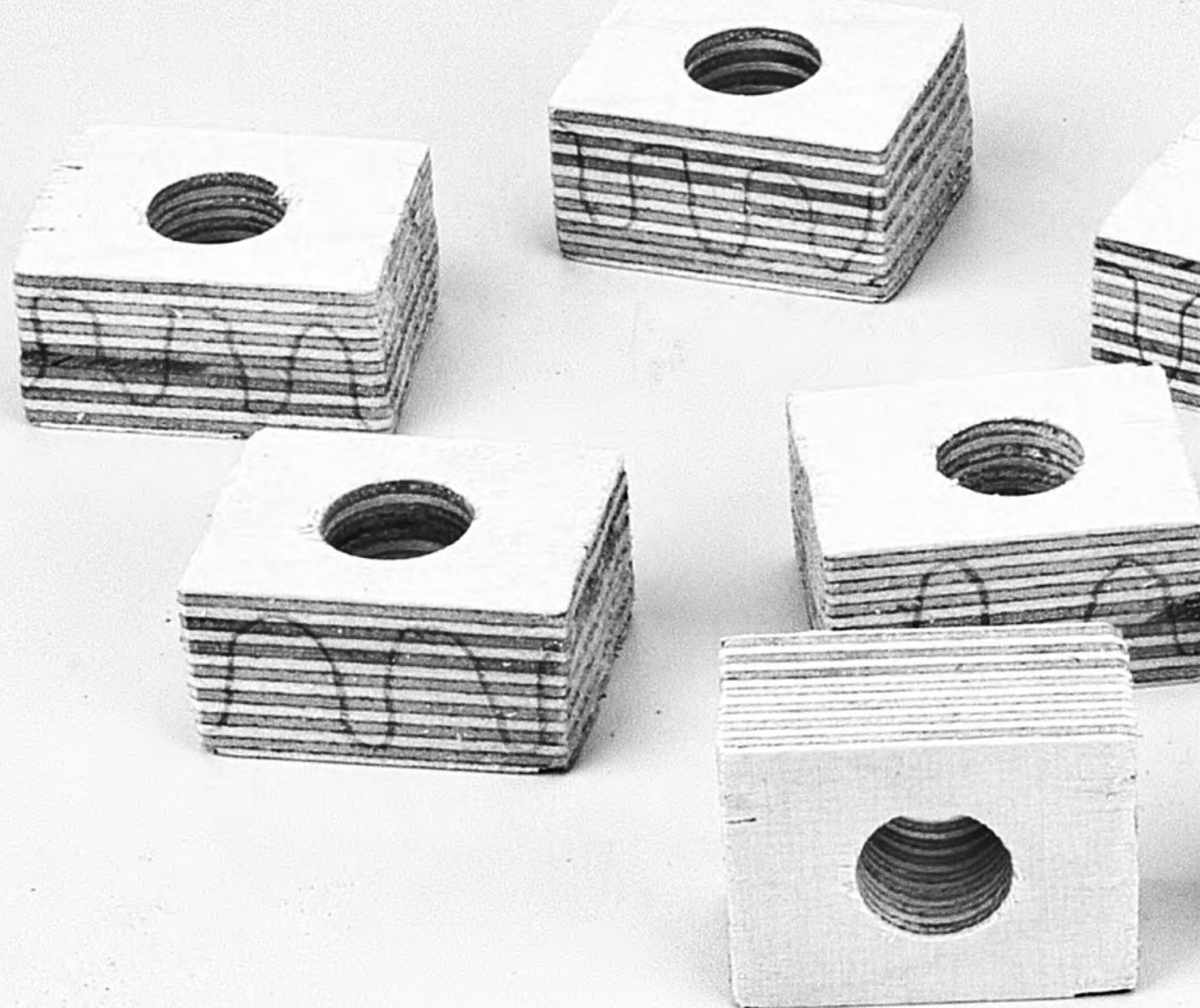


Nachdem Sie das Seitenteil an die Grundplatte geschraubt haben, können Sie es mit dem Portal verbinden.

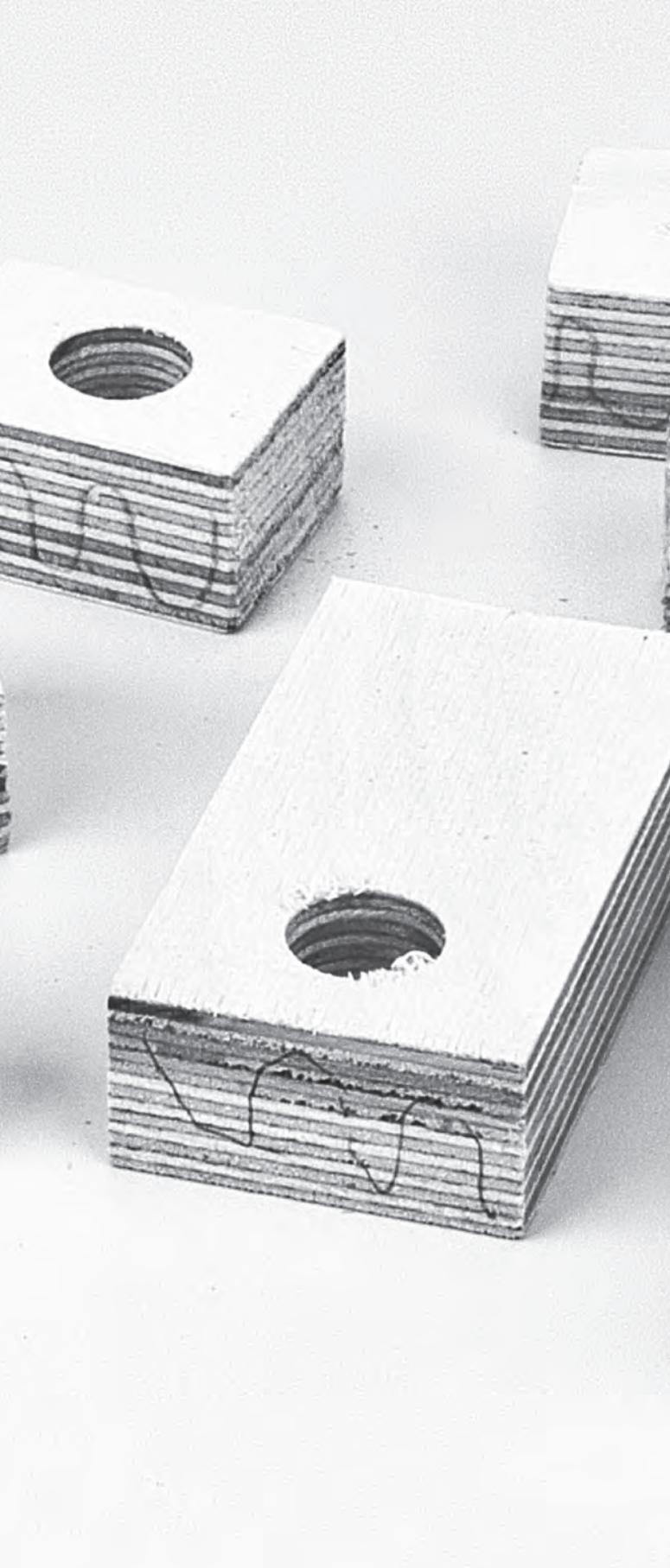
- 5** Falls bei der Montage des Seitenteils überschüssiger Leim aus den Fugen gedrückt wurde, können Sie diesen problemlos mit einem feuchten Tuch abwischen.
- 6** Gehen Sie beim Montieren des zweiten Seitenteils genau so vor wie beim ersten. Sie haben anschließend Ihren Druckerrohbau vor sich stehen.



Der Rohbau des Grundrahmens für Ihren 3-D-Drucker ist vollbracht.



4



WELLEN- UND KUGELLAGER- HALTER HERSTELLEN

- | | | |
|-----|---|----|
| 4.1 | Alternativen zum Selbstbau
der Halter | 66 |
| 4.2 | Wellenhalter zusägen | 68 |
| 4.3 | Zehn Linearkugellagerhalter
herstellen | 72 |



■ Beim Selbstbau der Wellen- und Kugellagerhalter für die Linearführungen können Sie richtig Geld sparen, da die handelsüblichen Teile aus Aluminium sehr teuer sind. Wie? Das erfahren Sie jetzt!

4.1 ALTERNATIVEN ZUM SELBSTBAU DER HALTER

Das Ausgangsmaterial für selbst gebaute Halter sind 30 mm und 40 mm breite Multiplexstreifen. Manche Baumärkte weigern sich jedoch, je nach Bauart der vorhandenen Plattsäge, Streifen von nur 30 und 40 mm Breite von einer Platte abzusägen. Es gibt aber Alternativen.

4.1.1 Wellenhalter und Kugellager mit Schraubflansch aus Aluminium

Die eleganteste, aber auch teuerste Lösung ist es, Wellenhalter und Kugellager mit Schraubflanschen aus Aluminium zu kaufen. Diese sind unter der Bezeichnung SK8 und SC8UU im Handel erhältlich. Sie können problemlos alle Halter und Lager, bis auf die für die x-Achse, durch solche aus Aluminium ersetzen, da die Maße und Einbausituationen ähnlich sind. Die Details für die x-Achse müssten Sie allerdings in Eigenregie umkonstruieren, wenn Sie auch dafür SC8UU-Kugellager statt der empfohlenen LM8UU-Lager und SK8-Wellenhalter verwenden wollen.

Ein Argument für den Einsatz von SC8UU-Lagern und SK8-Wellenhaltern könnte die optische Anmutung sein, die Ihrem Drucker ein professionelles Aussehen beschert. Allerdings ist die dann nötige Konstruktion eines alternativen z-Achsen-Antriebs nicht trivial. Sie sollten sich nur daran wagen, wenn Sie schon über einige Bastel- und Konstruktionserfahrungen verfügen. Die gewünschte Funktion erfüllen selbst gebaute Teile ebenso zuverlässig und für deutlich weniger Geld, weshalb die dringende Empfehlung lautet: Bauen Sie Ihre Halter selbst.



SK8-Wellenhalter aus Aluminium sind eine hochwertige, aber teure und nicht unbedingt empfehlenswerte Alternative zu selbst gebauten Wellenhaltern.

SC8UU ist die Bezeichnung von Linearkugellagern, die sich dank ihrer Gehäuseform mit Flansch zur Schraubmontage für den Repstrap-Bau eignen, jedoch deutlich teurer sind als LM8UU-Lager.



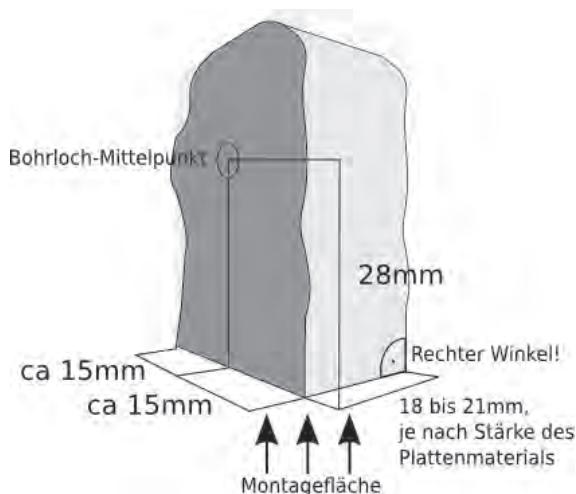
4.1.2 Druckdateien für den Druck von Wellenhaltern

Günstig zu besorgen sind Ausdrucke von Mendel90-Wellenhaltern, mit denen Sie z.B. die RepRap-Gemeinde versorgen kann. Da der Franzis-Mendel ein Mendel90-Klon ist, können Sie diese Wellenhalter problemlos einsetzen. Entsprechende STL-Druckdateien finden Sie unter reprap.org/wiki/Mendel90_Buyers_Guide.

Problematischer verhält es sich mit den zwei Spezialwellenhaltern für die x-Achse sowie den Linearkugellagerhaltern, da die Halter beim Mendel90 in andere Bauteile integriert sind, was so für den FranzisMendel nicht passt. Hier müssten Sie selbst eine alternative Konstruktion entwickeln, wovon wir abraten.

4.1.3 Selbstbau mit Material aus der Restekiste

Die billigste Alternative für den Fall, dass der Baumarktmitarbeiter sich weigert, Ihnen schmale Multiplexholzstreifen zuzusägen, ist, sich Material für die Halter aus der Restekiste des Baumarkts zu besorgen. Das Plattenmaterial für die Halter muss nur drei Kriterien genügen: Es muss von geeigneter Stärke sein (18 bis 21 mm), eine Kante muss gerade verlaufen, und die Seitenfläche an dieser Kante muss genau rechtwinklig zur Ebene der Platte sein. Ist das gegeben, kann diese Seitenfläche die Montagefläche bilden. Das Aussehen des übrigen Halters können Sie im Prinzip beliebig gestalten. Sie sehen also: Der FranzisMendel verzeiht Ihnen sogar den einen oder anderen Ausrutscher mit der Stichsäge.



Solange die Montagefläche senkrecht zur Plattenebene ist und der Abstand des Bohrlochs zur Montagefläche stimmt, kann Ihnen das restliche Aussehen eines Halters relativ egal sein.

KUNSTSTOFFGLEITLAGER ALS ALTERNATIVE

TIPP! Die Firma Igus (www.igus.de) bietet unter der Bezeichnung DryLin R - RJMP 01-08 Gleitlager an, die die gleichen Abmessungen wie LM8UU-Lager besitzen und diese daher beim FanzisMendel-Bau problemlos ersetzen können. Diese Gleitlager werden oft im RepRap-Forum als deutlich genauer und ruhiger im Lauf sowie als standfester beschrieben. Allerdings kosten sie rund das Dreifache wie die LM8UU-Standardkugellagern.





FÜR DEN BAU DER WELLENHALTER



Verwenden Sie für den Bau der Wellenhalter unbedingt den 40 mm breiten Multiplexstreifen. Dies stellt sicher, dass später die Montageflächen rechtwinklig zur Plattenebene sind.

Sägen Sie, bevor Sie mit dem Zuschnitt der Wellenhalter beginnen, zuerst an jedem Ende des 40-mm-Streifens ein 75 mm langes Stück ab. Diese Stücke benötigen Sie später für zwei 40 x 75 x 21 mm große Bauteile für die z-Achse, bei denen es sehr darauf ankommt, dass je eine der beiden Stirnflächen exakt senkrecht zur Plattenebene ist. Da die schmalen Multiplexstreifen auch an den Stirnseiten einen rechten Winkel aufweisen, weil sie Teile der ursprünglichen Kante der werkseitig zugesägten Komplettplatte waren, erfüllen die beiden Endstücke des Streifens diese Bedingung.

HINWEIS

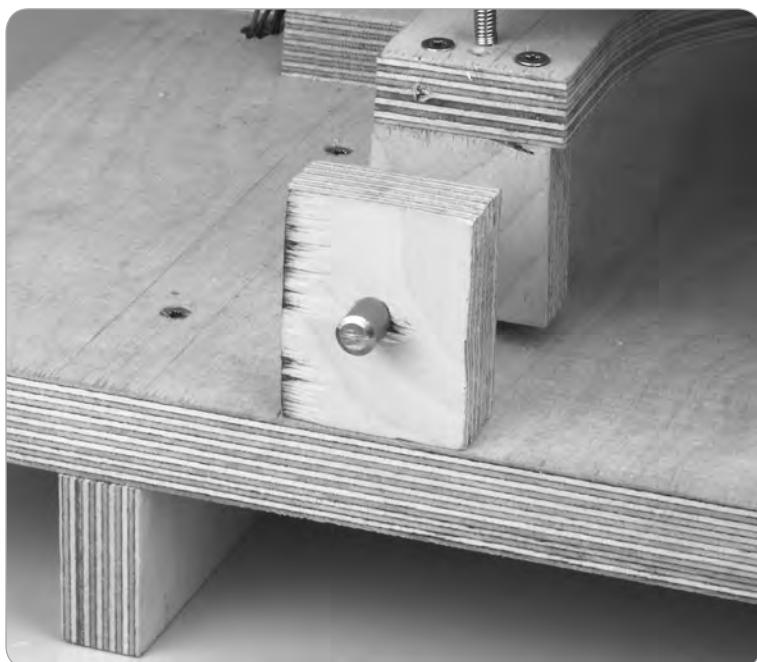
4.2 WELLENHALTER ZUSÄGEN

Für den weiteren Baufortschritt würden Sie zuerst nur die Wellenhalter für die y-Achse benötigen, auf denen später der Druckbetalthalter laufen wird. Es spricht jedoch nichts dagegen, gleich die Wellenhalter der z-Achse mit zuzusägen, da sie die gleichen Maße haben.

Bevor Sie loslegen, sollten Sie jedoch diesen Hinweis beachten:

Für die Wellenhalter müssen Ihre Sägeschnitte nicht exakt sein. Wichtig ist, dass jeweils die Seite eines Wellenhalters, die mit der Grundplatte oder anderen Bauteilen verschraubt wird, rechtwinklig zu der Ebene ist, in die das Bohrloch für die Welle kommt. Wenn Sie den Zuschnitt des 40 mm breiten Streifens sorgfältig geprüft haben, ist diese Bedingung automatisch erfüllt.

Das Wellenbohrloch muss zudem unbedingt senkrecht zur Fläche ausgeführt werden. Ohne Bohrmaschinenständer wäre es ein Glücksspiel mit geringen Gewinnaussichten, die Bohrungen exakt genug auszuführen. Die dritte Bedingung für brauchbare Wellenhalter ist, dass der Abstand der Bohrlöcher zur Kante der Montagefläche immer genau gleich ist.



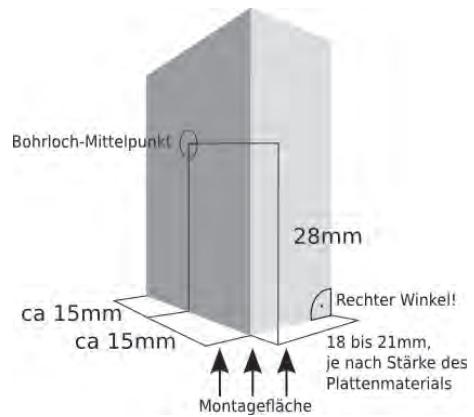
Drei Bedingungen muss ein Wellenhalter erfüllen: Rechtwinkligkeit der Montagefläche und des Bohrlochs zur Fläche des Halters sowie ein exakt eingehaltenes Abstandsmaß des Bohrlochs zur Montagefläche.

- 1** Zeichnen Sie an jedem Ende des 40 mm breiten Multiplexstreifens die Lage der Sägeschnitte für je ein 75 mm langes Stück an. Zeichnen Sie auch gleich die Lage der Sägeschnitte für acht Stücke von jeweils 30 mm Länge an. Eine Zugabe für die Sägeblattdicke brauchen Sie nicht zu geben, da die Wellenhalter auch dann funktionieren, wenn sie nicht exakt 30 bzw. 75 mm breit sind. Markieren Sie auch unbedingt die Schmalseiten sowie die beiden Stirnseiten des Holzstreifens (z.B. mit Wellenlinien), die später die Montageflächen ergeben sollen.



Die Seiten, die geprüft rechtwinklig sind und später die Montageflächen ergeben, sollten Sie eindeutig erkennbar (z. B. durch eine Wellenlinie) markieren. Vergessen Sie nicht die beiden 75 mm langen Stücke aus den beiden Enden des Multiplexstreifens.

- 2** Sägen Sie zuerst die 75 mm langen Bauteile für die z-Achse zu. Wenn Sie damit fertig sind, legen Sie sie für die spätere Weiterbearbeitung zur Seite.
- 3** Beginnen Sie mit dem Zusägen der acht jeweils 30 x 40 x 21 mm großen Rohlinge für die Wellenhalter. Zeichnen Sie bei einem Wellenhalter die Markierung für das 8-mm-Bohrloch von der Mitte der Vorderkante der Montagefläche ausgehend 28 mm nach oben ein. Dabei sollte der Abstand von der Kante der Montagefläche zur Bohrlochmitte exakt ausgemessen sein. Orientieren Sie sich an der Skizze.
- 4** Richten Sie den Bohrmaschinenständer für exakte Bohrungen ein. Überprüfen Sie dazu mit einer Probebohrung in ein Stück Holz aus der Restekiste, ob die Bohrerachse genau senkrecht zur Auflagefläche des Ständers liegt. Falls nicht, justieren Sie das Gerät nach. Am einfachsten können Sie prüfen, ob die Senkrechte eingehalten wird, indem Sie eine Welle in eine 8-mm-Probebohrung stecken und ihre senkrechte Lage zum Probestück mit dem Geometriedreieck rundum prüfen.



Der Abstand des Bohrlochs zur Montagefläche sollte bei allen Wellenhaltern exakt gleich (28 mm) sein.

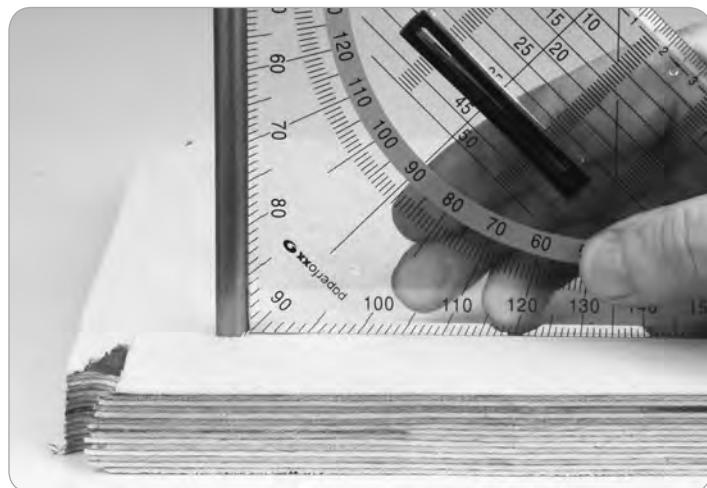


GEEIGNETE BOHRER UND UNTERLEGHÖLZER

Für die 8-mm-Bohrlöcher, in die später die Wellen montiert werden, ist ein 8-mm-Holzbohrer mit Bohrspitze deutlich besser geeignet als ein Universalbohrer, da Sie durch die Spitze den Bohrer sehr exakt auf die angezeichnete Markierung setzen können. Für die Kugellagerhalter benötigen Sie einen 15-mm-Forsterbohrer.

Damit die Bohrlöcher unten nicht ausfransen, ist es ratsam, ein Unterlegholz zu verwenden, in das der Bohrer laufen kann. Geeignet hierfür ist dünnes Plattenmaterial aus der Restekiste. Wenn Sie das Unterlegholz bei jeder Bohrung etwas versetzen, werden Ihre Bohrlöcher auch unten gut aussehen. Allerdings ist ein ausgefranstes Loch an dieser Stelle nur ein optisches, kein technisches Problem.

TIPP!



Prüfen Sie, ob Ihr Bohrmaschinenständer zuverlässig senkrecht zur Tisch- bzw. Plattenebene ausgerichtet ist.

- 5 Setzen Sie beim ersten Wellenhalter die Bohrspitze exakt auf die Markierung des Bohrlochmittelpunkts und bohren Sie das Wellenloch auf etwa 2/3 der Länge durch. Lassen Sie den Bohrer so stecken und befestigen Sie einen Anschlag bündig zur in Schritt 1 markierten Grund- bzw. Montagefläche des Halters am Bohrmaschinenständer. Dieser Anschlag gewährleistet, dass die Bohrungen in allen anderen Wellenhaltern exakt den gleichen Abstand zur Grundfläche des Halters haben, vorausgesetzt, Sie legen auch alle weiteren Halter mit der in Schritt 1 vorgenommenen Markierung für die Montagefläche an den Anschlag an.



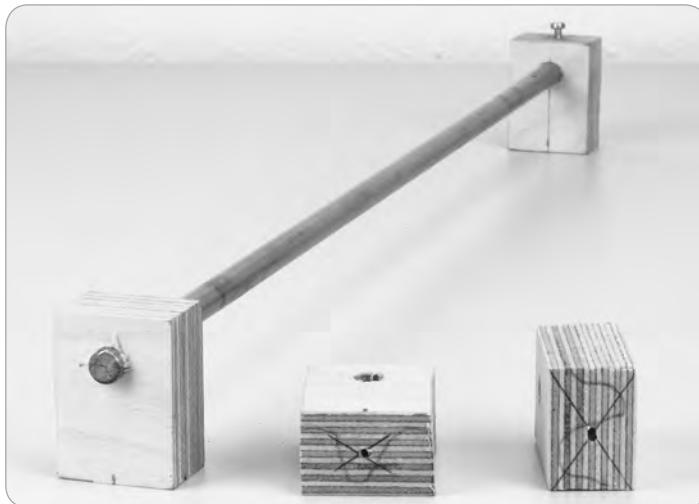
Mit Resthölzern können Sie einen Anschlag für genaue Abstände sowie Unterlagen gegen Ausfransen realisieren. Hilfreich für die Positionierung der Bohrung ist eine Markierung am Anschlag.

Übertragen Sie nun noch die Mittenmarkierung des Wellenhalters mit Bleistift auf den Anschlag, sodass Ihnen später auch die weiteren Bohrungen symmetrisch zur jeweiligen Längsachse der Halter gelingen. Orientieren Sie sich am Bild.

- 6 Zeichnen Sie bei den anderen sieben Halterrohlingen die Mitte von Kante und Montagefläche ein. Bohren Sie die Aufnahmen für die Wellen in alle Wellenhalter. Achten Sie darauf, dass die Markierung an der Kante zur Montagefläche beim Bohren jeweils mit der am Anschlag übereinstimmt. Achten Sie auch darauf, nach jeder Bohrung den Auflagetisch und den Anschlag von Holzspänen zu reinigen.

Ein Span, der sich zwischen Wellenhalter und Anschlag geschlichen hat, kann den Abstand vom Bohrloch zur Grundfläche des Halters um ein paar Zehntelmillimeter zu gering werden lassen. Dies würde später dazu führen, dass die Linearwellen nicht exakt parallel positioniert sind und dadurch die Mechanik schwergängig wird oder sogar ganz versagt.

- 7 Bringen Sie schließlich, möglichst mittig, in der Montagefläche des Halters und lotrecht zu dieser eine ca. 15 mm tiefe Bohrung mit 2 mm Durchmesser an. Verwenden Sie auch dazu den Bohrmaschinenständer und einen passenden Anschlag.



So können Ihre selbst gebauten Wellenhalter aussehen. Die 2-mm-Bohrungen für die Montageschrauben an den Stirnseiten sollten möglichst exakt lotrecht in der Mitte der Montagefläche angebracht sein.

ANSCHLAG FÜR DEN BOHRMASCHINENSTÄNDER

Falls bei Ihrem Ständer kein Anschlag oder Maschinenschraubstock vorhanden ist, können Sie ein Holzstück mit einer Schraubzwinge am Ständer befestigen. Das Holz sollte zumindest an der Anschlagfläche gerade und rechtwinklig zur Arbeitsebene sein.

TIPP!



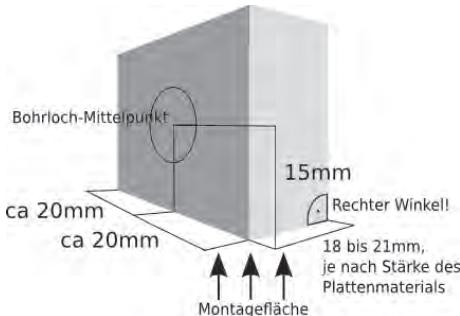


MONTAGEFLÄCHEN RECHTWINKLIG ZUR PLATTENEBENE

Verwenden Sie für die 30 x 40 mm großen Kugellagerhalter unbedingt den 30 mm breiten Multiplexstreifen statt des 40-mm-Streifens, aus dem die Wellenhalter gebaut wurden, um zu gewährleisten, dass die Montageflächen der Lagerhalter rechtwinklig zur Plattenebene sind.

Verwenden Sie für die beiden 75 x 40 mm langen Halter die beiden Endstücke des 40 mm breiten Multiplexstreifens, da diese auch an den Stirnseiten einen rechten Winkel aufweisen, weil sie Teil der ursprünglichen Kante der werkseitig zugesägten Komplettplatte waren.

HINWEIS



Die acht »normalen« Kugellagerhalter können Sie aus dem 30 mm breiten Multiplexstreifen herstellen. Der Mittelpunkt für die Bohrung mit 15 mm Durchmesser sollte exakt 15 mm über der Kante der 40 mm breiten Montagefläche sitzen.

4.3 ZEHN LINEARKUGELLAGERHALTER HERSTELLEN

Beim Zusägen der Rohlinge für die Lagerhalter und dem Anbringen der Bohrungen zur Aufnahme der LM8UU-Kugellager können Sie im Prinzip so vorgehen, wie bei den Wellenhaltern beschrieben. Ein paar kleine, aber wichtige Besonderheiten gibt es jedoch:

Acht der zehn für den FranzisMendel benötigten Kugellagerhalter haben zwar dasselbe Außenmaß (21 x 40 x 30 mm) wie die im vorhergehenden Bauabschnitt gefertigten Wellenhalter, beachten Sie aber, als Ausgangsmaterial für die Lagerhalter den 30 mm breiten Streifen Multiplexholz zu verwenden, da, bedingt durch andere Montagesituationen, die jeweils längeren Seitenflächen der Holzbrettchen zwingend einen rechten Winkel aufweisen müssen.

Außerdem haben zwei der Lagerhalter ein Maß (21 x 75 x 30 mm), das von dem der acht anderen abweicht, da diese Halter zusätzlich je eine Rampa-Muffe (siehe das Kapitel 7.4 »Rampa-Muffen einschrauben und Wellenhalter zusammenbauen«) aufnehmen müssen. Das Setzen der Bohrungen für die Kugellager in diese beiden besonderen Lagerhalter erledigen Sie praktischerweise direkt in diesem Bauabschnitt.

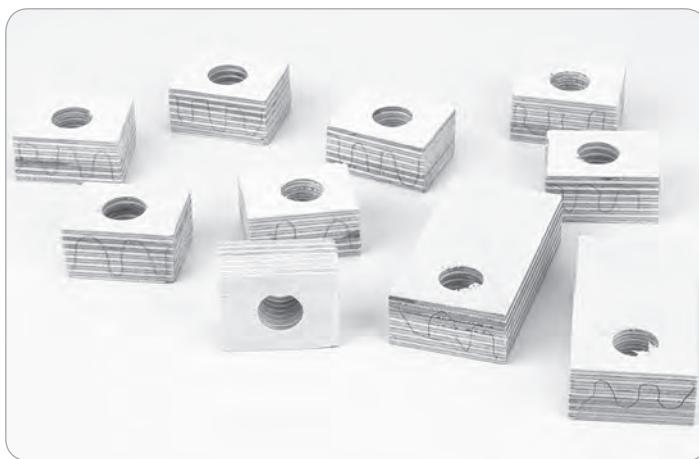
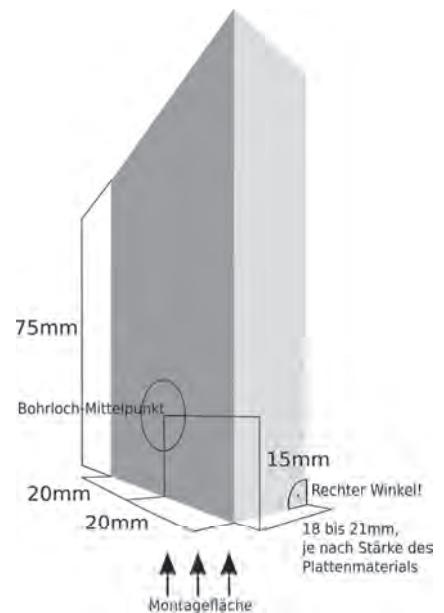
Das hat den Vorteil, dass Sie den Anschlag, den Sie für die Bohrungen in den »normalen« Haltern eingerichtet haben, ohne seine Position zu verändern, hier gleichfalls verwenden können, sodass ein identisches Abstandsmaß aller Bohrlöcher zu den jeweiligen Montageflächen aller Halter gewährleistet bleibt. Der Einbau der Rampa-Muffen wird später im entsprechenden Kapitel beschrieben.

- 1 Zeichnen Sie auf dem 30-mm-Multiplexstreifen die Lage der Sägeschnitte für acht Lager der Größe 40 x 30 x 21 mm ein. Beachten Sie dabei bitte den nebenstehenden Hinweis und orientieren Sie sich an der Skizze.
- 2 Sägen Sie die Halterrohlinge zu.
- 3 Übertragen Sie mit einem Bleistift, analog zur Vorgehensweise bei den Wellenhaltern, alle nötigen Markierungen für das Bohren der Aufnahmen für die Kugellager auf die Lagerrohlinge. Orientieren Sie sich wieder an der Skizze.
- 4 Bohren Sie zunächst die Aufnahmen für die Kugellager. Als Bohrer verwenden Sie einen 15-mm-Forstnerbohrer. Das Abstandsmaß (15 mm) des Bohrlochmittelpunkts, das bei allen Haltern identisch sein muss, ist jenes der längeren Kante der Montagefläche. Wieder helfen der Bohrmaschinenständer und ein Anschlag beim genauen Arbeiten.

- 5** Lassen Sie den Anschlag auf dem Bohrmaschinenständer unverändert, um damit auch gleich die beiden längeren Kugellagerhalter (75 x 40 x 21 mm) mit einer Bohrung zur Aufnahme eines Kugellagers zu versehen. Orientieren Sie sich an der Skizze. Achten Sie bitte sorgfältig darauf, dass die Maße für die Bohrlochmittelpunkte möglichst exakt eingehalten werden.

Vergewissern Sie sich außerdem, dass die Bohrung für das Lager näher zu der Stirnfläche (15 mm von deren Kante) liegt, die im rechten Winkel zu den angrenzenden Flächen liegt. Dies ist die spätere Montagefläche. Sollte diese Fläche aus irgendeinem Grund bei einem oder beiden Haltern nicht über rechte Winkel, wie in der Skizze eingezeichnet, verfügen, sollten Sie unbedingt aus einem Reststück Ersatz bauen, damit später die Montage nicht zur nervenaufreibenden Unmöglichkeit wird.

Aber keine Panik, hier gilt, wie auch bei den anderen Haltern: Wichtig ist nur, dass die in der Skizze vermerkten Maße und Winkel genau stimmen. Der Rest des Halters darf ruhig etwas außer Form sein.



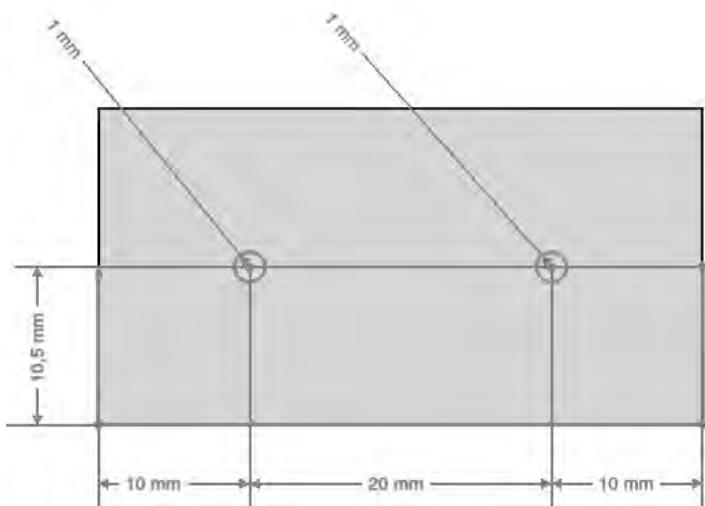
Zehn Kugellagerhalter sind bereit für die weitere Bearbeitung.

- 6** Erzeugen Sie, senkrecht zur Montagefläche bei sechs der kleinen Lagerhalter sowie den beiden 75 mm langen Spezialhaltern, zwei Bohrungen mit 2 mm Durchmesser und ca. 15 mm Tiefe. Wo Sie die Markierungen dafür genau auf der Montagefläche anbringen sollten, können Sie aus der Skizze ersehen. Arbeiten Sie auch hier mit dem Bohrmaschinenständer und einem Anschlag.

Die beiden Spezialhalter sind zwar größer als die normalen Halter, für das Setzen der Bohrungen für die Lager können Sie jedoch die gleiche Anschlagsposition am Bohrständer verwenden wie vorher bei den kleineren Lagerhaltern, weil der Sitz der Bohrung relativ zur Montagefläche gleich ist.



Zwei Bohrungen mit jeweils 2 mm Durchmesser sind in den Montageflächen der Kugellagerhalter (bis auf zwei) vorgesehen.

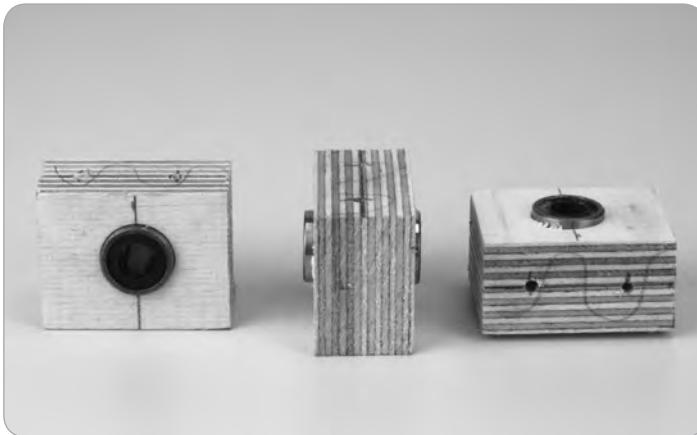


- 7** Zwei der Halter werden später jeweils mittels eines Stuhlwinkels montiert. Stellen Sie zwei Lagerhalter auf eine ebene Fläche und legen Sie je einen 40-x-40-x-16-mm-Winkel etwa mittig an die Montageflächen der Halter an. Übertragen Sie mit einem Bleistift Markierungen für die Bohrungen, die die Montageschrauben aufnehmen werden. Orientieren Sie sich am Bild. Bohren Sie im Anschluss je ca. 15 mm tiefe Bohrlöcher mit 2 mm Durchmesser lotrecht zur Montagefläche. Schrauben Sie die Winkel jeweils mit zwei 3,5-x-16-mm-Spanplattenschrauben mit flachem Kopf fest.

Zwei Kugellagerhalter werden später mit Stuhlwinkeln montiert. Sie können die Markierungen für die Bohrungen für die Montageschrauben mit einem Bleistift und Augenmaß anbringen.



- 8** Pressen Sie in jeden der acht kleinen Lagerhalter ein LM8UU-Kugellager so weit hinein, bis das Lager auf beiden Seiten gleich weit aus dem Halter herausragt. Die beiden Rohlinge für die 75 mm langen Spezialhalter legen Sie für die spätere Weiterbearbeitung zur Seite.

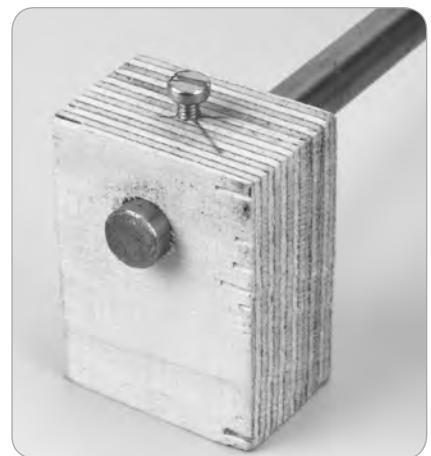


Die Kugellager für die y-Achse sind in ihre Halter gepresst und fertig zur Montage.

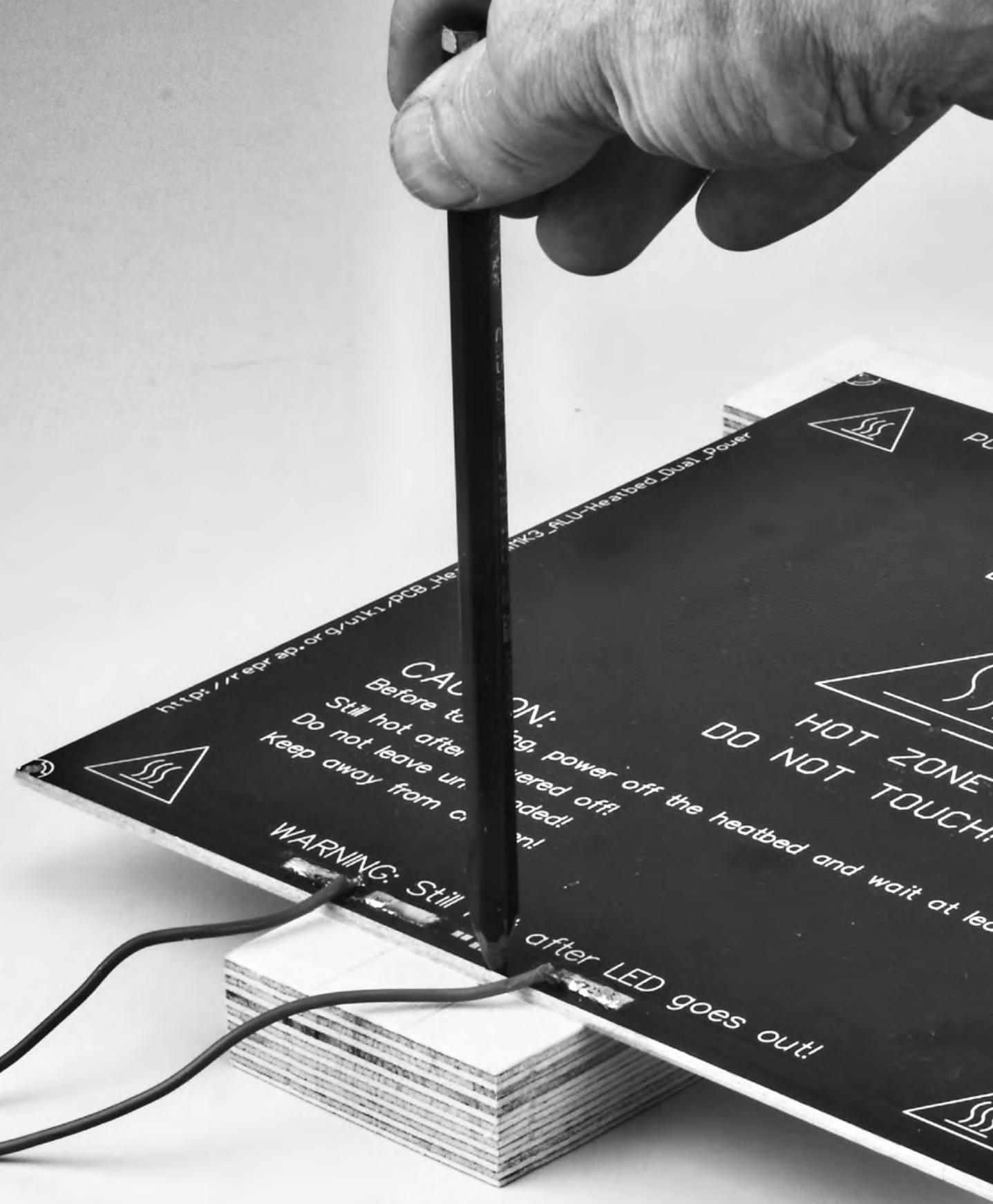
4.3.1 Wellen und Kugellager in den Haltern fixieren

Prinzipiell sollten die 8-mm-Wellen stramm in den Bohrlöchern sitzen, in die sie hineingepresst wurden. Mit den Kugellagern in den 15-mm-Bohrlöchern verhält es sich ebenso. Falls Sie es jedoch für notwendig erachten, die Wellen und Kugellager in den Haltern zusätzlich zu fixieren, weil z.B. Ihre Bohrer etwas zu große Bohrlöcher fabrizieren, ist auch das ohne großen Aufwand möglich. Ein Tropfen Klebstoff kann helfen. Oder bohren Sie in den entsprechenden Halter einfach ein Loch von 2 mm Durchmesser senkrecht zur Hauptachse der Welle oder des Kugellagers. Achten Sie darauf, die Bohrung möglichst mittig im Holz anzubringen.

Wenn Sie in den entsprechenden Halter ein Loch von 2 mm Durchmesser senkrecht zur Hauptachse der Welle oder des Kugellagers gebohrt haben, können Sie nun zur Fixierung des Kugellagers eine passende M3-Gewindeschraube eindrehen. Wie Sie eine Gewindeschraube in Holz eindrehen können, erfahren Sie im nächsten Kapitel.

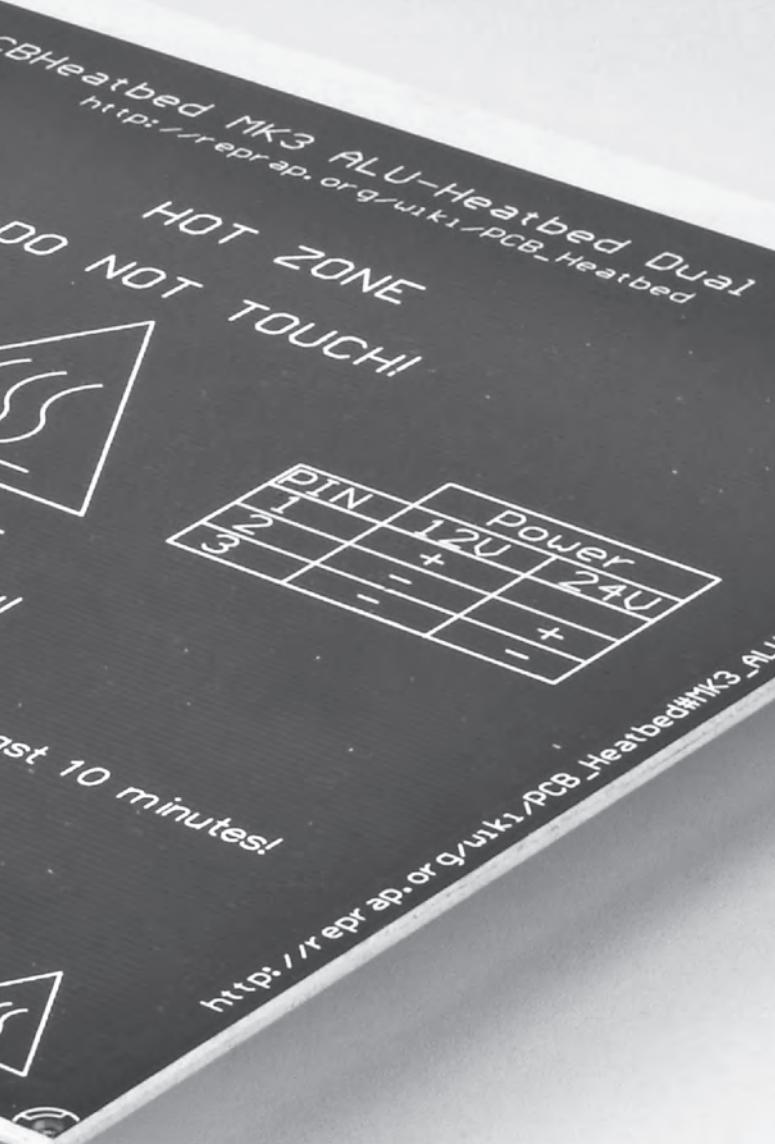


Selbst gebaute Wellenhalter können Sie, falls nötig, mit Fixierschrauben, die die Welle sichern, versehen. Gleicher gilt natürlich auch für die Kugellagerhalter.



5

DRUCKBETT UND LINEAR- FÜHRUNG FÜR DIE Y-ACHSE



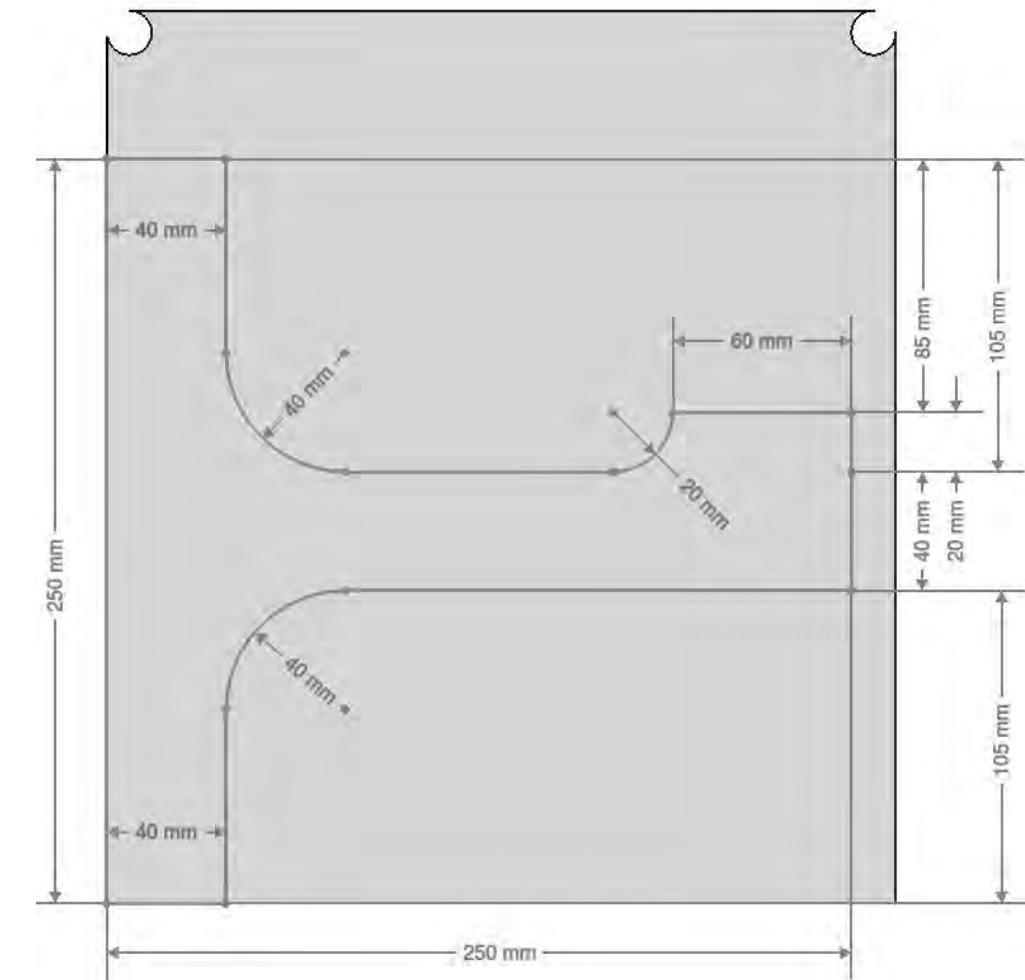
- 5.1 Druckbetthalterung zusägen und für die Montage vorbereiten 78
- 5.2 Linearkugellager am Druckbetthalter befestigen 82
- 5.3 Halter für die Kabelführung bauen und befestigen 86
- 5.4 Zahnriemenspannvorrichtung für die y-Achse 87
- 5.5 Linke Linearführungswelle für die y-Achse montieren 92
- 5.6 Rechte Linearführungswelle für die y-Achse montieren 97
- 5.7 Kabelführung für die Heizbettverkabelung befestigen 98
- 5.8 Heizbett auf dem Druckbetthalter montieren 100

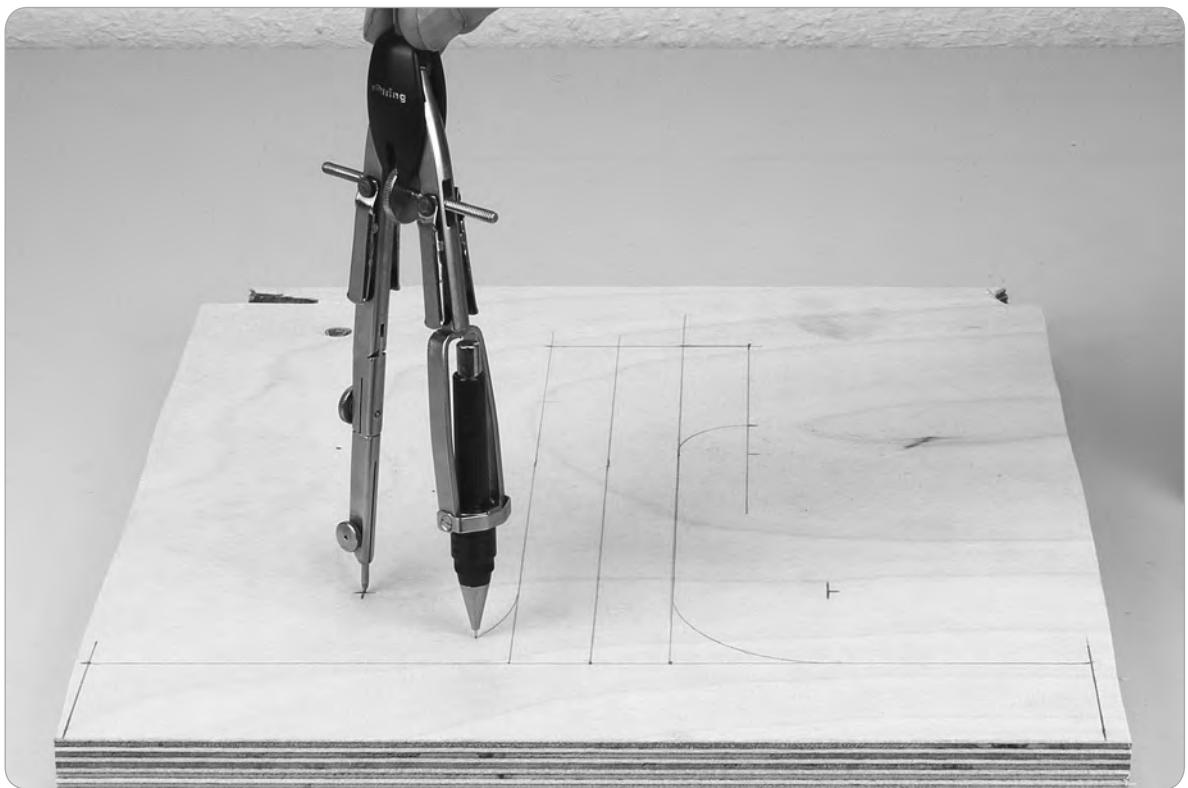


■ Nachdem Sie die zehn Liniearkugelhalter zugesägt und die Wellen und Kugellager in den Haltern fixiert haben, geht es in diesem Bauabschnitt um das passgenaue Zusägen der Druckbetthalterung und darum, wie Sie sie für die Montage vorbereiten.

5.1 DRUCKBETTHALTERUNG ZUSÄGEN UND FÜR DIE MONTAGE VORBEREITEN

- 1 Beim Zusägen des Portals blieb ein Plattenrest von ca. 300 x 260 mm Größe übrig. Zeichnen Sie darauf die Umrisse des Druckbetthalters an. Die Ausrundungen müssen nicht exakt sein. Falls Sie Wert auf eine schöne Optik legen, zeichnen Sie sie mit einem Zirkel ein. Orientieren Sie sich an der Skizze.





- 2 Sägen Sie die Druckbetthalterung mit der Stichsäge zu. Dabei müssen Sie nicht besonders genau arbeiten.

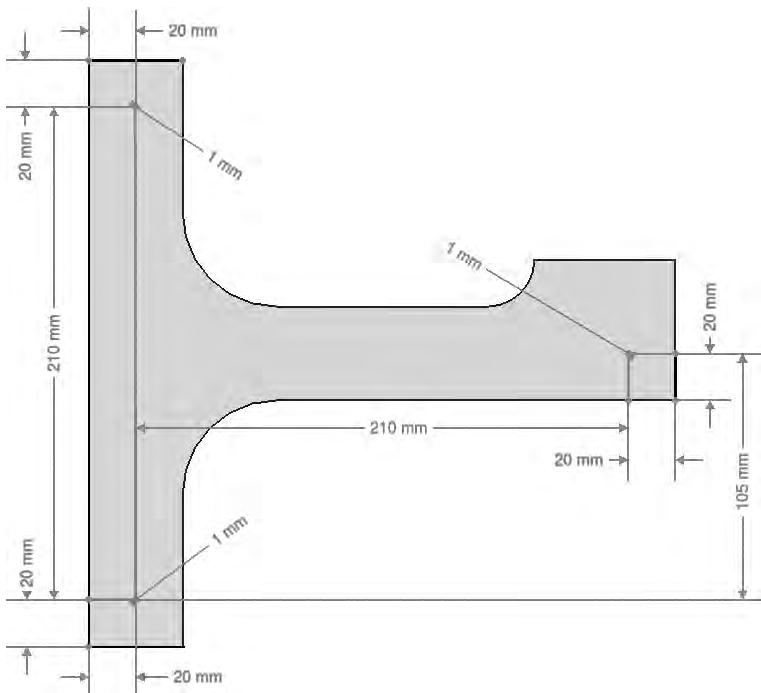
Die Rundungen des Druckbetthalters dienen dem leichteren Führen der Stichsäge. Falls Sie auf eine gute Optik Wert legen, verwenden Sie einen Zirkel zum Anzeichnen der Sägeschnitte.



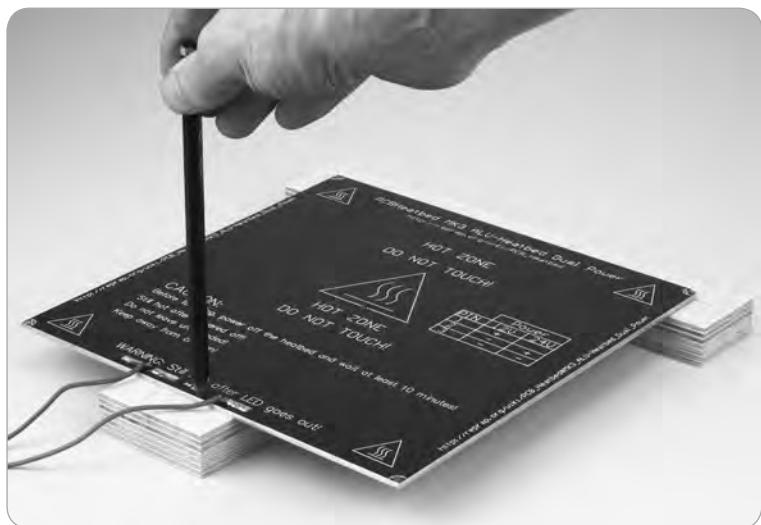
Das Zusägen des Druckbetthalters ist mit der Stichsäge schnell erledigt.



- 3** Zeichnen Sie Markierungen für die drei 2-mm-Bohrungen an, in die später die Schrauben mit metrischem Gewinde für die Druckbettfederung gedreht werden sollen. Sie können das beheizbare Druckbett auflegen, um zu prüfen, ob Ihre Markierungen exakt mit den Schraubenlöchern des Heizbetts übereinstimmen. Orientieren Sie sich an der Skizze.



Die drei Markierungen für die Bohrungen mit 2 mm Durchmesser sollten Sie auf eine genaue Übereinstimmung mit den im Heizbett vorhandenen Bohrungen prüfen.



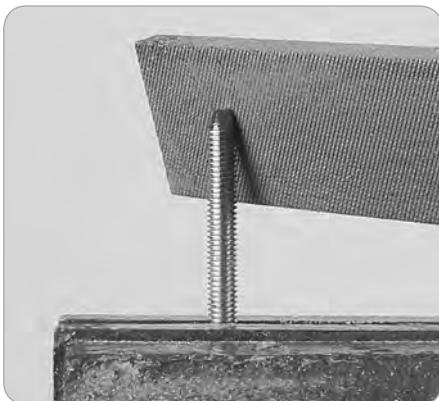
Legen Sie dazu einfach das Heizbett auf seinen Halter, um die Bohrmarkierungen exakt einzulezeichnen.

- 4 Die Schrauben für die Heizbettfederung sollten nach ihrer Montage exakt senkrecht im Druckbetthalter stehen. Bohren Sie deshalb die drei 2-mm-Bohrungen unter Verwendung des Bohrmaschinenständer. Zwar werden später die drei Schrauben nur ca. 15 mm tief sitzen, bohren Sie der Einfachheit halber trotzdem durch den kompletten Halter.
- 5 Nun gilt es, Gewinde in die soeben erzeugten Bohrungen zu schneiden. Falls Sie einen Gewindeschneider für metrische 3-mm-Gewinde Ihr Eigen nennen, erledigen Sie diesen Vorgang sicher im Handumdrehen. Gewindeschneideisen gehören aber nicht zur Grundausstattung eines durchschnittlichen Haushalts. Der folgende Tipp zeigt Ihnen jedoch, wie es auch ohne Spezialwerkzeug funktioniert.

5.1.1 Gewinde schneiden ohne Spezialwerkzeug

Es ist erstaunlich, wie gut Gewindeschrauben mit metrischem Gewinde (auch Maschinenschrauben genannt) in Holz halten, wenn Sie das Holz mit einem entsprechenden Gewinde versehen. Für kleinere Kräfte ist dies eine einfach zu realisierende, preiswerte Verbindungsart. Gehen Sie wie folgt vor:

- 1 Bohren Sie ein sogenanntes Kernloch, das um ein definiertes Maß kleiner ist als die Schraube, die Sie später eindrehen wollen. Leider können Sie dabei für Holz die Tabelle de.wikipedia.org/wiki/Metrisches_ISO-Gewinde nicht verwenden, grob lässt sich aber sagen, dass Sie ab dem M2-Gewinde die dort angegebenen Kernlochdurchmesser auf die nächstniedrigste ganzzahlige Millimeterzahl abrunden können. Im Zweifel müssen Sie an Reststücken Vorversuche durchführen.
- 2 Feilen Sie eine Schraube, die der später verwendeten im Durchmesser entspricht, vorne spitz zu.



Eine spitz zugefeilte Schraube ergibt den provisorischen Holzgewindeschneider.

RAMPA-MUFFEN FÜR METRISCHE GEWINDE

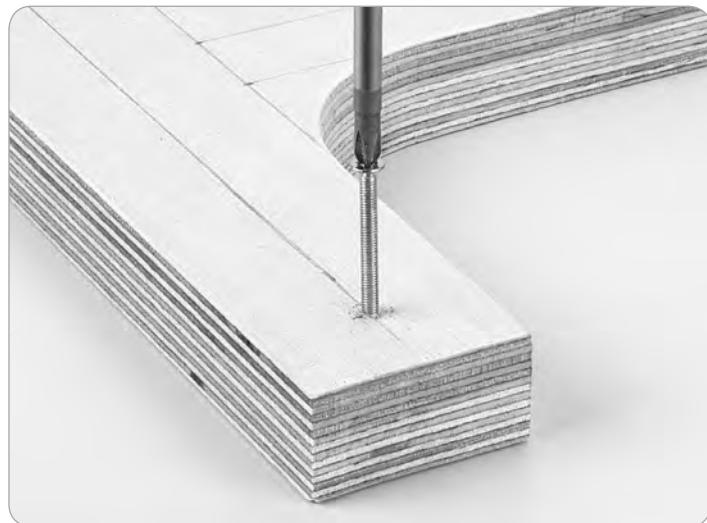
Bei großen vom Holz aufzunehmenden Kräften und/oder Schrauben, die oft hinein- und herausgedreht werden, gibt es sogenannte Rampa-Muffen, mit denen Sie Hölzer mit einem Metallgewinde versehen können. Ebensolche Muffen nehmen beim FranzisMendel Gewinde-stangen zum Antrieb der z-Achse auf.

TIPP!



Mit der zugefeilten Schraube können Sie problemlos ein Gewinde ins Multiplexmaterial schneiden.

- 3** Setzen Sie die zugespitzte Schraube am Kernloch an und drehen Sie sie sehr langsam ins Holz. Dabei sollten Sie zu Beginn so lange etwas Druck in Schraubrichtung ausüben, bis die Schraube greift.



- 4** Drehen Sie die Schraube abwechselnd ein paar Millimeter weiter ein und dann komplett wieder heraus, um Späne auszupusten zu können. Achten Sie dabei darauf, dass die Schraube immer senkrecht zur Oberfläche des Druckbetthalters bleibt. Wiederholen Sie dies, bis das Gewinde komplett ins Holz geschnitten ist.

5.2 LINEARKUGELLAGER AM DRUCKBETTHALTER BEFESTIGEN

Damit sich später das Druckbett problemlos auf der y-Achse bewegen lässt, müssen die Kugellager am Druckbetthalter und auch die Linearführungswellen auf der Druckergrundplatte genau in ihrer Position justiert werden. Deshalb muss die Endmontage des Druckbetts und seinem Halter mit den Wellen gemeinsam vonstatten gehen. Es genügt bis dahin, die Schrauben, mit denen die Kugellager bzw. deren Halter befestigt werden, nur leicht anzuziehen, da sie zum Justieren teilweise wieder gelöst werden müssen.

5.2.1 Position der Bohrlöcher einzeichnen und bohren

Sollen Sie gedruckte Lagerhalter oder SC8UU-Lager verwenden, müssen Sie zuerst ermitteln, wo genau Sie die Bohrungen zur Montage der Lager am Druckbetthalter ansetzen müssen. Da die drei Lager für einen klemm-

Für selbst gebaute Lagerhalter sind im Druckbetthalter Bohrungen vorgesehen, deren Durchmesser deutlich größer sind als die Durchmesser der zu ihrer Montage verwendeten Schrauben. Dies gewährleistet später, dass die Positionen der Kugellager ohne Aufwand fein justiert werden können, um einen klemmfreien Lauf zu erreichen. Bei der Verwendung von SC8UU-Lagern können Sie ebenso vorgehen oder alternativ Schrauben wählen, deren Durchmesser deutlich kleiner sind als die Flanschbohrungen. Dies gilt analog auch für gedruckte Lagerhalter.

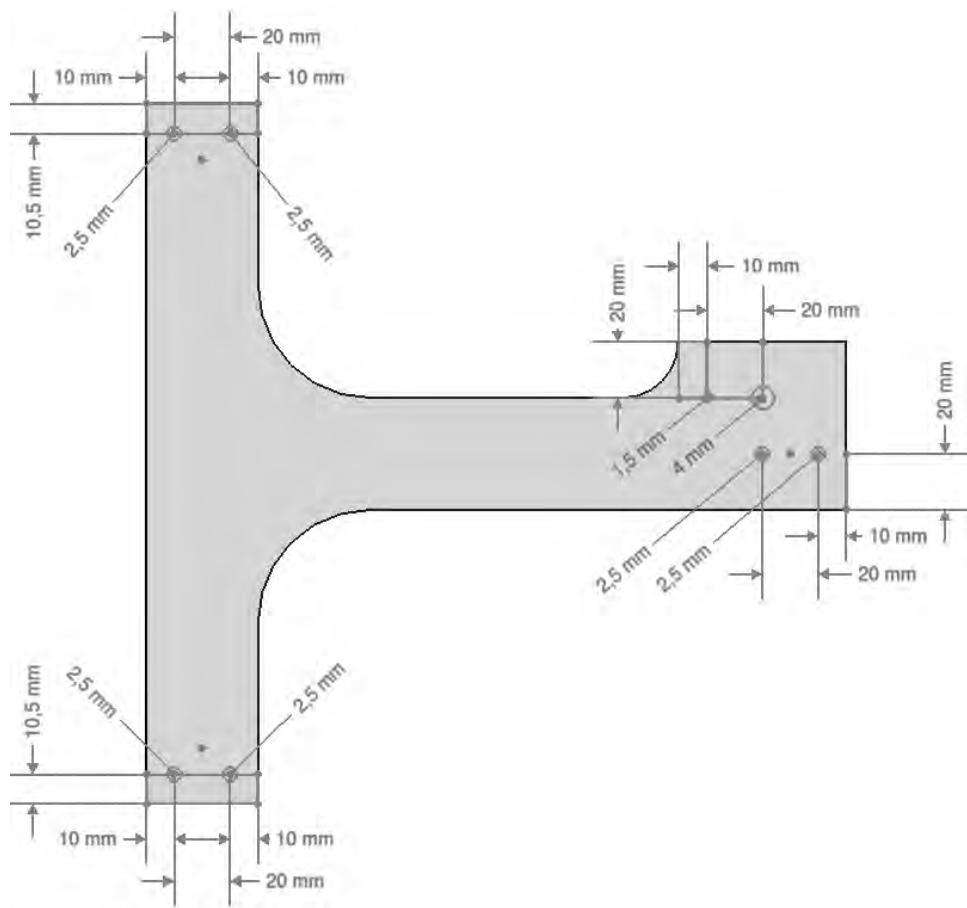
TIPP!

freien Lauf alle absolut gleich ausgerichtet sein müssen, sollten Sie sie auf die beiden Wellen auffädeln, in der Montagelage auf den Druckbetthalter auflegen und die beiden Wellen in eine parallele Lage zueinander bringen, bevor Sie die Position für die Bohrlöcher für die Montageschrauben markieren.

Für die Montage von selbst gebauten Kugellagerhaltern gilt die nachfolgende Anleitung. Für die mechanische Fixierung der elektrischen Verbindung vom Heizbett zur Druckersteuerung ist ein Kabelhalter vorgesehen, der neben dem Kugellager auf der rechten Seite sitzt. Für seine Montageschraube ist ein 3-mm-Bohrloch nötig, die anderen Bohrungen sollten Sie mit einem 5-mm-Bohrer vornehmen.

- 1** Markieren Sie die Position der Bohrungen mit 5 mm Durchmesser sowie die der Bohrung mit 3 mm und der mit 8 mm Durchmesser auf dem Druckbett. Orientieren Sie sich an der Skizze.
- 2** Setzen Sie alle markierten Bohrungen mithilfe des Bohrmaschinenständerns. Denken Sie daran: Die Bohrungen sind mit verschiedenen Durchmessern geplant.

Die drei Enden des Druckbetthalters und die Lage der dort anzubringenden Bohrungen sind hier im Detail dargestellt. Die Bohrlöcher mit 2 mm Durchmesser für die Schrauben der Heizbettfederung wurden schon in einem vorherigen Schritt gesetzt (und mit Gewinden versehen). Sie sind hier nur zu Ihrer besseren Orientierung noch einmal dargestellt.





5.2.2 Montage der Linearkugellager am Druckbetthalter

- 1** Fädeln Sie die drei für die Linearführung in der y-Achse vorgesehene Wellen in die Kugellager ein. Die 500 mm lange Welle gehört auf die linke Seite des Druckbetthalters und führt durch zwei Kugellager. Die 330 mm lange Welle kommt nach rechts, wo das Druckbett nur ein Kugellager besitzt. Drehen Sie die Kugellagerhalter so, dass ihre Montageflächen mit den 2-mm-Bohrlöchern nach oben zeigen.
- 2** Stecken Sie nun vier Wellenhalter auf die Enden der beiden Wellen für die y-Achse. Richten Sie die Wellenhalter so aus, dass alle mit ihren Montageflächen, also mit den 2-mm-Bohrungen, nach unten bündig auf der (möglichst vollständig ebenen) Arbeitsfläche aufliegen.

Die Linearführung für den Druckbett-
halter sollten Sie, wie im Bild ersicht-
lich, provisorisch zusammenstecken.

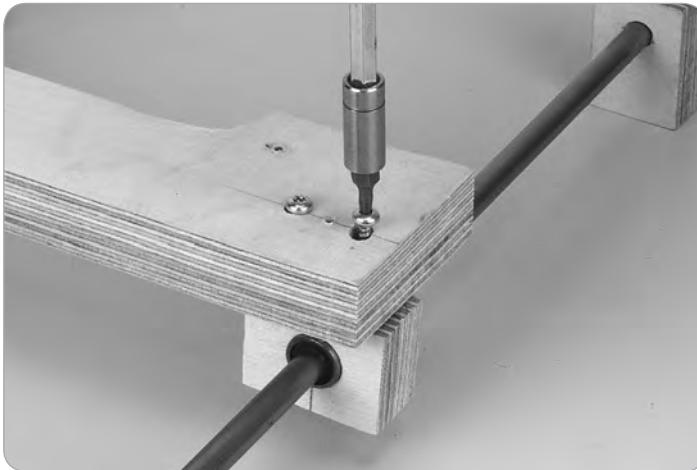


- 3** Legen Sie den Druckbetthalter so auf die Linearführung, dass die Bohrungen in den Kugellagerhaltern in etwa unter den entsprechenden Bohrlöchern im Druckbetthalter liegen bleiben.

Der Druckbetthalter ist bereit
für das Verschrauben mit seinen
Kugellagerhaltern.

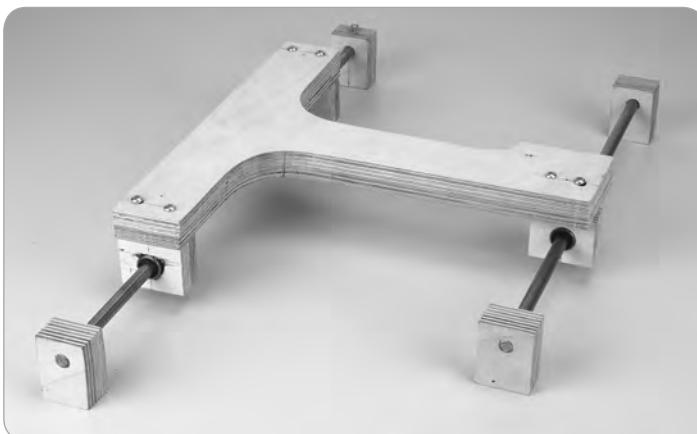


- 4** Schrauben Sie je Kugellagerhalter zwei 3-x-35-mm-Holzschrauben mit flachem Kopf mit jeweils ein paar Umdrehungen in die dafür vorgesehenen Bohrungen. Achten Sie dabei darauf, dass tatsächlich alle Montageschrauben ihren Weg in die Bohrungen der Lager finden. Da noch alle Teile relativ beweglich untereinander sind, können Sie den Druckbetthalter oder ein Kugellager leicht etwas verschieben, um mit den Schrauben die Bohrlöcher der Halter zu treffen.



Versichern Sie sich, dass alle Montageschrauben beim Eindrehen die Bohrungen in den Kugellagerhaltern treffen.

- 5** Drehen Sie schließlich alle Schrauben so weit fest, dass die Baugruppe stabil zusammenhält, sich die Lagerhalter jedoch noch ohne großen Kraftaufwand verdrehen lassen. So müssen Sie sie später zur Feinjustage nicht erst wieder lösen, können die Baugruppe aber trotzdem zur Seite legen, ohne dass die Gefahr besteht, dass sie dabei auseinanderfällt.



Der Rohbau des Druckbetts und seiner Linearführung entlang der y-Achse ist vollbracht.



Wichtig beim Schlauch ist sein Innen-durchmesser. Für das Heizbett müssen vier einadige Kabel hineinpassen, davon zwei mit einer Dicke von 1,5 mm und zwei, die dünner sein können. Für die Kabelführung an den Extruder sind erheblich mehr Kabel notwendig. Bei einem Innendurchmesser von 10 mm passt die komplette Extruderverkabelung inklusive Hot-End, Thermistor und eventuell Lüfter knapp in den Schlauch, wenn keine allzu dicken Kabel verwendet werden. Andererseits sollten die Heizungen von Hot-End und Heizbett möglichst große Querschnitte aufweisen, da hier relativ große Ströme fließen.

Eine Alternative zum Schlauchmaterial mit 10 mm ist solches mit 8 mm Innen-durchmesser. Fürs Heizbett genügt dieser, und beim Extruder werden dann einfach zwei Schläuche parallel verlegt. Der Bauaufwand ist etwas größer, aber dafür gibt es beim Bohren der Schlauchaufnahme weniger Probleme, da ein 10-mm-Bohrer oft in einer Standardbohrerkassette enthalten ist. Grundsätzlich sollte die Bohrung minimal kleiner als der Außendurchmesser des Schlauchs bis etwa gleich groß sein. Bei 10 mm Innendurchmesser wäre ein 12-mm-Bohrer vonnöten.

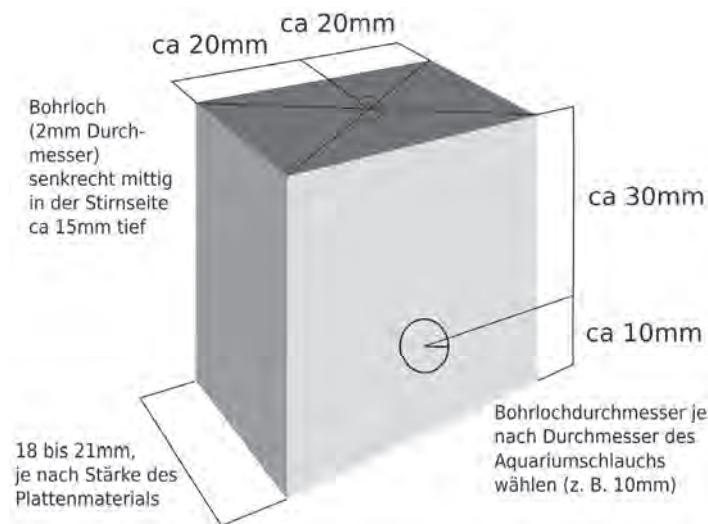
Falls die Bohrung etwas zu klein gerät, um den Schlauch problemlos hineinstecken zu können, ist dies kein Problem: Weiten Sie einfach die Bohrung, indem Sie den sich in der Maschine drehenden Bohrer als Raspel verwenden. Sollte die Bohrung etwas zu groß geraten sein, ist auch das kein Problem: Falls der Schlauch beim Drucken später nicht in seinem Halter bleiben will, können Sie ihn einfach mit einem geeigneten Klebstoff fixieren.

Es gibt Aquariumschläuche in zwei für den Druckerbau geeigneten Materi-alvarianten: PVC und Silikon. Falls Ihr Baumarkt beide Varianten anbietet, nehmen Sie den Schlauch aus PVC.

5.3 HALTER FÜR DIE KABELFÜHRUNG BAUEN UND BEFESTIGEN

Dieses Bauteil ist ein einfaches Holzklötzchen, das mit einer Bohrung versehen wird, deren Durchmesser dem eines flexiblen vieradrigen Kabels entspricht. Eine Alternative ist, vier einadige Kabel in einem Aquariumschlauch zu führen. Im Buch wird die Verkabelung mit der Schlauchvariante beschrieben, da in einem Aquariumschlauch auch mehr als vier Adern geführt werden können, wie es bei der Verkabelung des Extruders nötig sein kann. Außerdem verhält sich ein gefüllter Aquariumschlauch bei den unzähligen Bewegungen des Druckbetts mechanisch vorteilhafter als z.B. mehradriges flexibles Kabel für 230-Volt-Wohnraumlampen.

- 1 Sägen Sie ein Stück Multiplexmaterial auf ein Maß von etwa 40 x 40 x 21 mm zu. Sie können als Ausgangsmaterial den 30 mm breiten Multiplexstreifen verwenden.
- 2 Bohren Sie ein Loch entsprechend dem Außendurchmesser des verwendeten Aquariumschlauchs durch das Bauteil. Zusätzlich benötigt der Kabelführungshalter ein ca. 25 mm tiefes 2-mm-Bohrloch senkrecht in der Mitte der oberen Stirnseite zur Aufnahme der Montageschraube. Orientieren Sie sich an der Skizze.



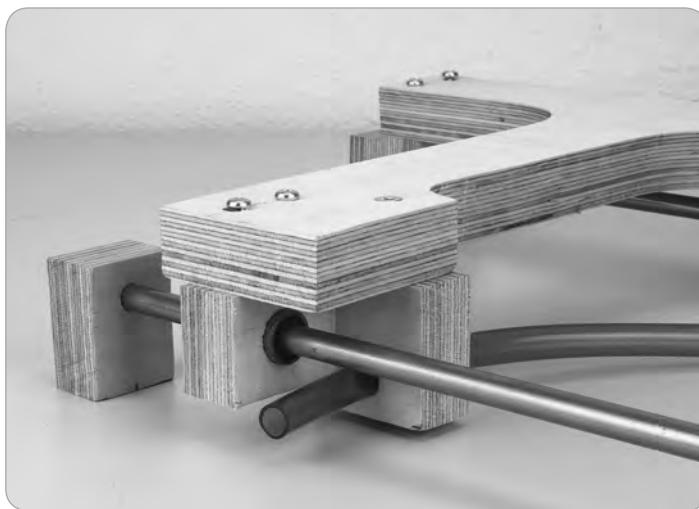
Ein Holzklötzchen wird zum Halter für die Kabelführung.

- 3 Schrauben Sie den Kabelhalter mit einer 4-x-35-mm-Spannplattenschraube unter das Druckbett. Beim Setzen der Bohrungen im Druckbetalthalter haben Sie dafür schon ein 3-mm-Loch gebohrt.



Fixieren Sie den Kabelhalter so, dass die Bohrung für die Aufnahme des Aquariumschlauchs etwa rechtwinklig zu den Linearführungs- wellen verläuft.

- 4 Schneiden Sie vom Aquariumschlauch ein ca. 45 cm langes Stück ab und stecken Sie es probehalber in seinen Halter. Optimal ist, wenn der Schlauch ohne weitere Maßnahmen hält. Falls die Bohrung zu eng ist, um den Schlauch einzuführen, bauen Sie den Halter noch einmal ab und weiten das Bohrloch, ist die Bohrung etwas zu weit, müssen Sie zu diesem Zeitpunkt nichts weiter tun. Den Schlauch können Sie später beim Verlegen der elektrischen Kabel mit seinem Halter verkleben.



Der Aquariumschlauch als Kabelführung wird einfach in seinen Halter gesteckt.

5.4 ZAHNRIEMENSPANNVORRICHTUNG FÜR DIE Y-ACHSE

Die Spannvorrichtung für den Zahnriemen, über den die Motordrehungen in Bewegungen des Druckbetts umgesetzt werden, besteht aus zwei Holzklötzchen, einem Stück Gewindestange und zwei Schraubenmuttern. Sie funktioniert nach dem Prinzip einer Stellschraube. Befestigt wird der Zahnriemen später an der Vorrichtung, indem er ganz primitiv festgetackert wird.

Für die x-Achse benötigen Sie später noch einen weiteren Zahnriemenspanner, den Sie auf die gleiche Weise, wie hier gezeigt, herstellen können.

PULLEY-GRÖSSE BEIM RIEMENSPANNERBAU

In der Anleitung zum Bau des Riemenspanners wird Multiplexmaterial mit 19 mm bzw. 21 mm Stärke verwendet. Die verwendeten Pulleys sollten mindestens den gleichen Riemscheibendurchmesser besitzen, weil sonst der unter dem Spanner zurücklaufende Riemen am Spanner hängen könnte. Falls Sie kostengünstigere, kleinere Pulleys eingekauft haben, sollten Sie für den Spanner dünneres Material verwenden bzw. das vorhandene entsprechend zusägen.

Ob das der Fall ist, erkennen Sie leicht: Prüfen Sie einfach, ob der unten verlaufende Teil des Zahnrückens am Riemenspanner streift. Wenn ja, sollten Sie seine Materialstärke so verringern, dass dies nicht mehr der Fall ist.

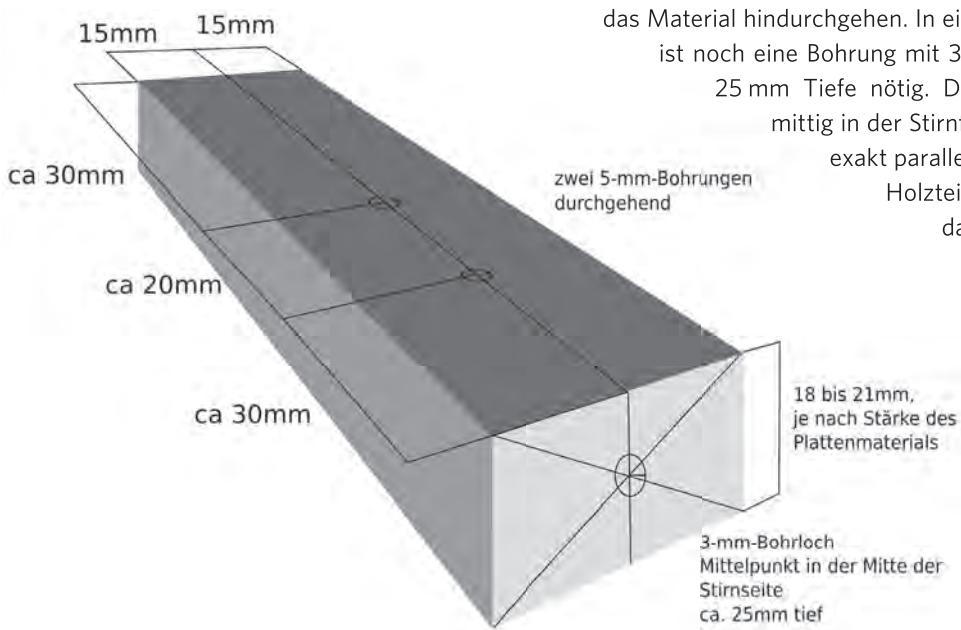
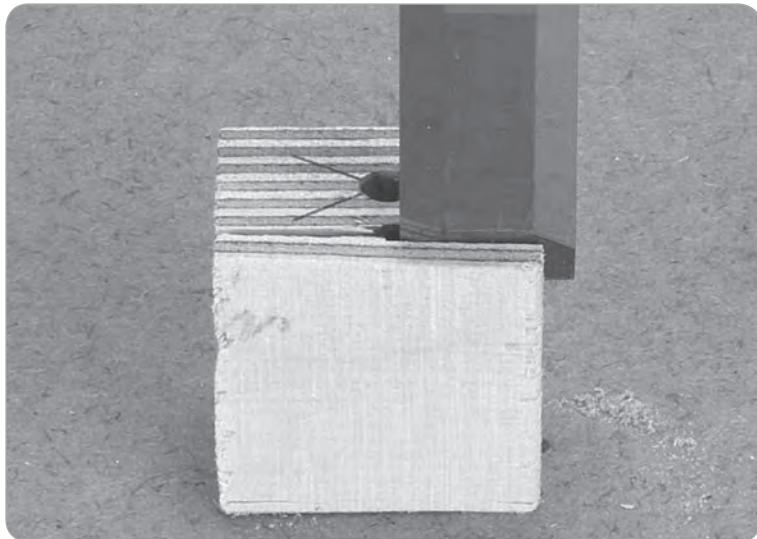
Eine schnelle Methode ist, eine oder mehrere Lagen Sperrholz mit einem Stechbeitel (zur Not tut es auch ein stabiler Klingenschraubendreher) von den Spannerteilen abzuschlagen. Dank der Struktur des Materials gelingt Ihnen dies mit ein paar gezielten Schlägen mühe-los, und nach ein wenig Bearbeitung mit Schleifpapier ist das Ergebnis auch optisch akzeptabel. (Ein so bearbeiteter Riemenspanner ist in Kapitel 8.3.2 »Zahnriemenspanner für die x-Achse bauen« abgebildet.)

HINWEIS



Nur in den Maßen und der Position der Bohrung für die Montageschraube unterscheidet sich der andere Spanner etwas von dem für die y-Achse. Wenn Sie Lust haben, können Sie auch gleich beide Riemenspannvorrichtungen bauen.

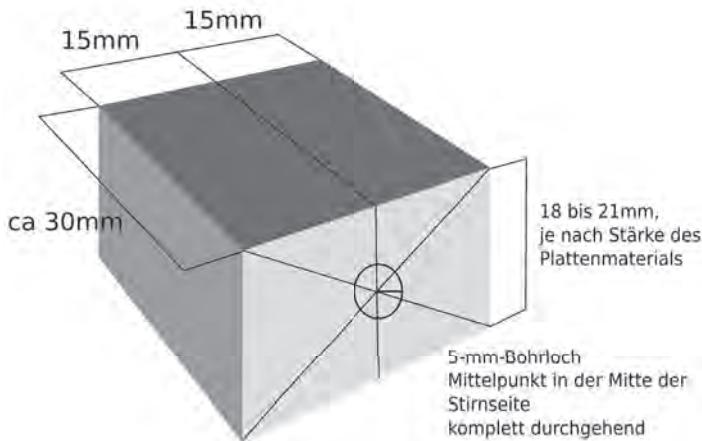
Mit einem Stechbeitel können Sie die Materialstärke kleiner Multiplexstücke schnell und einfach reduzieren.



- 1** Sägen Sie vom 30 mm breiten Multiplexstreifen ein 80 mm und ein 30 mm langes Stück mit möglichst rechtwinkligen Sägeschnitten ab.
- 2** Bringen Sie im 80 mm langen Stück senkrecht zur Plattenebene zwei Bohrungen mit 5 mm Durchmesser an, die komplett durch das Material hindurchgehen. In einer Stirnfläche des Bauteils ist noch eine Bohrung mit 3 mm Durchmesser und ca. 25 mm Tiefe nötig. Diese 3-mm-Bohrung sollte mittig in der Stirnfläche liegen und möglichst exakt parallel zu den langen Kanten des Holzteils verlaufen. Verwenden Sie daher den Bohrmaschinenständer. Orientieren Sie sich an der Skizze.

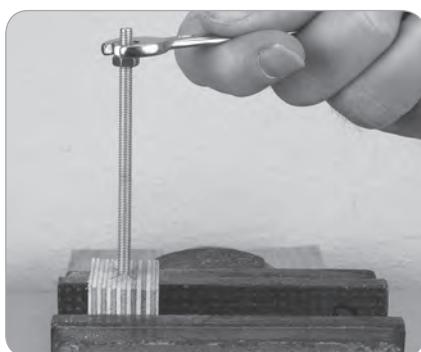
Dieses Stück Multiplexmaterial ergibt, versehen mit einem Stück Gewindestange auf der Stirnseite, einen einfachen Zahnriemenspanner für die y-Achse.

- 3** Bohren Sie auch in eine der Stirnseiten des 30 x 30 mm großen Multiplexteils mittig senkrecht eine Bohrung. Diese sollte 5 mm im Durchmesser betragen. Diese Bohrung muss komplett durch das ganze Bauteil hindurchgehen. Verwenden Sie auch dafür den Bohrmaschinenständer und spannen Sie das Bauteil zur Sicherheit ein, da es zu klein ist, um sicher freihändig gehalten zu werden.



Dieses Holzklötzchen ergibt den per Stellschraube beweglichen Teil des Zahnriemenspanners.

- 4** Sägen Sie ein Stück 4-mm-Gewindestange mit 8cm Länge vom Meterstück ab. Feilen Sie es an einem Ende spitz zu. Bearbeiten Sie das andere Ende so, dass Sie problemlos eine Mutter aufdrehen können.
- 5** Schrauben Sie das 8 cm lange Stück Gewindestange in die Bohrung auf der Stirnseite des Multiplexteils. Gehen Sie dabei analog zum Schneiden eines Gewindes in Holz vor, wie es in Kapitel 5.1 »Druckbetthalterung zusägen und für die Montage vorbereiten« beschrieben ist. Die eingedrehte Gewindestange sollte etwa 5,5cm aus dem Riemenspanner herausstehen.



Mit zwei gekonterten Muttern und einem Gabelschlüssel können Sie die Gewindestange in den Zahnriemenspanner drehen.

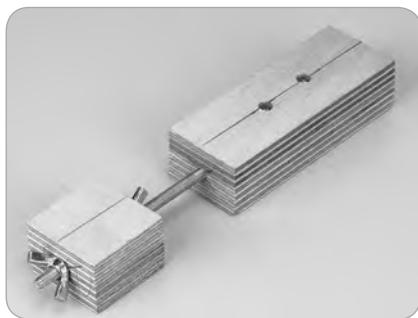
ENDEN DER GEWINDESTANGEN BEARBEITEN

Nachdem Sie mit einer Säge eine Gewindestange abgelängt haben, wird dort ein Grat entstanden sein, der es schwer bis unmöglich macht, eine Mutter aufzudrehen oder das Stück Stange in eine Gewindebohrung hineinzuschrauben. Das Gewinde sollte nachgeschnitten werden. Mit einem Trick gelingt Ihnen dies bei nicht gehärteten Gewindestangen aus dem Baumarkt auch ohne Gewindeschneideisen:

Drehen Sie einfach vor dem Zusägen eine Mutter auf die Gewindestange. Nach dem Sägeschnitt feilen Sie eine kleine 45-Grad-Phase an das Stangenende, um den Grat zu entfernen. Dann können Sie die Mutter an das Stangenende und darüber hinaus drehen, um auf diese Weise das Gewinde nachzuschneiden. Normale Gewindestangen sind so weich, dass dies problemlos klappt.

GEWINDESTANGEN IN GEWINDE DREHEN

Um ein Drehmoment auf die Gewindestange ausüben zu können, gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder sägen Sie mit der Metallsäge einen Schlitz für einen Schraubendreher in die Stirnfläche der Stange, oder Sie drehen zwei Muttern auf das Ende der Stange und »kontern« diese. Kontern bedeutet, die beiden Muttern mit Kraft so gegeneinander zu verdrehen, dass sie sich nicht mehr frei drehen lassen. Dann können Sie mit dem Gabelschlüssel an der jeweils der Einschraubrichtung entgegengesetzten Mutter genügend Drehmoment auf die Gewindestange ausüben, um sie eindrehen zu können.

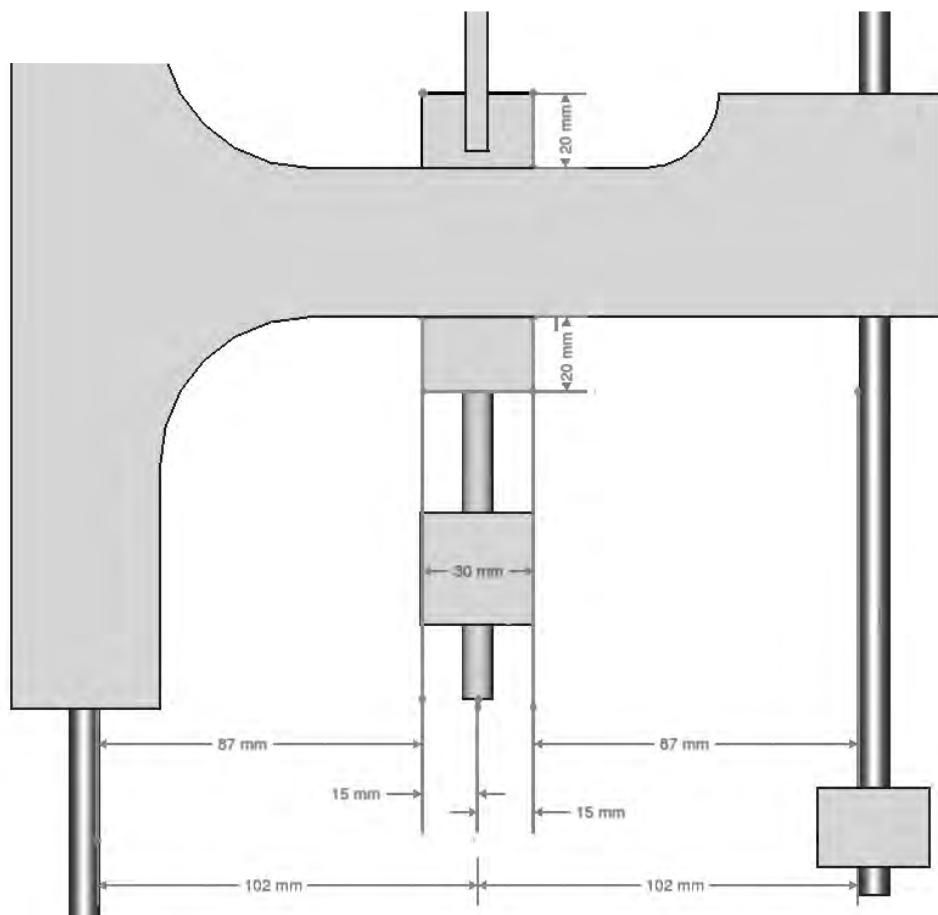


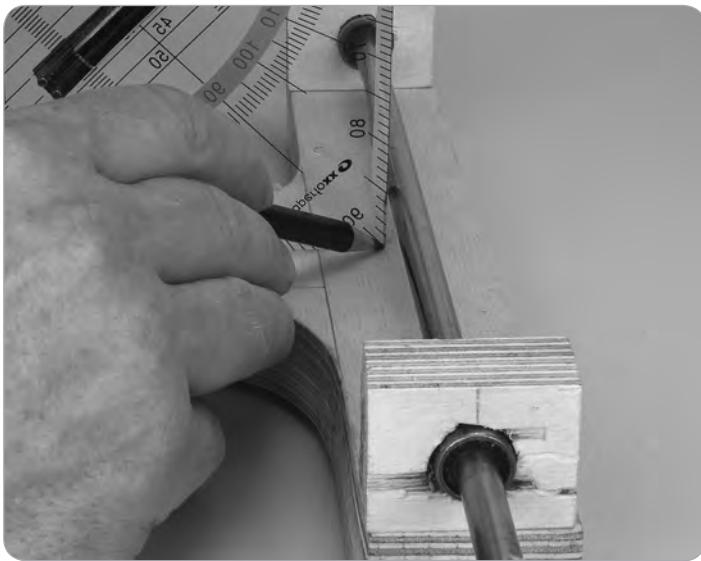
Der Zahnriemenspanner ist einbaufertig.

Etwa so sollte die Zahnriemenspannvorrichtung unter dem Druckbetthalter positioniert sein. Die Maße können leicht von der Zeichnung abweichen. Wichtig ist, dass sich die Gewindestange von oben gesehen genau mittig zwischen den beiden Stahlwellen befindet. In der Zeichnung ist oben die Einbauposition des Zahnriemens (Schritt 8) zu erkennen.

6 Kontrollieren Sie, ob die eingeschraubte Gewindestange parallel zu den langen Kanten des Holzstücks verläuft. Markieren Sie dazu die Mittelachse des Riemenspanners auf beiden Spannerteilen. Korrigieren Sie seine Lage gegebenenfalls, indem Sie das Stangenstück leicht biegen. Drehen Sie dann eine Mutter auf. Fädeln Sie anschließend das kleinere Stück Multiplexmaterial mit der Bohrung auf und komplettieren Sie die Zahnrämenspannvorrichtung mit einer zweiten Mutter. Ideal sind hier zwei Flügelmuttern. Sie haben den Vorteil, dass Sie später den Zahnrämen ohne Werkzeug spannen können.

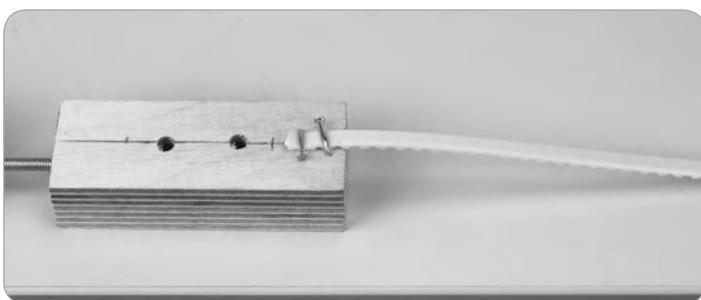
7 Markieren Sie die spätere Einbauposition des Riemenspanners auf der Unterseite des Druckbetthalters. Er sollte auf beiden Seiten 2 cm über die Traverse des Druckbetthalters hervorschauen. Die Mittelachse der Gewindestange sollte genau in der Mitte der beiden Mittelachsen der Linearführungswellen liegen. Die Abstandsmaße zu den Linearführungswellen links und rechts können variieren, da sich Fehlertoleranzen beim Montieren der Linearlager addiert haben können. Orientieren Sie sich an der Skizze.





Ein Geodreieck ist ein gutes Hilfsmittel für indirekte Messungen.

- 8 Schneiden Sie vom Zahnriemen ein 90 cm langes Stück ab. Bei verstärkten Riemens gelingt Ihnen dies mit einem Seitenschneider besser als mit einer Schere. Tackern Sie ein Riemenende an das größere der beiden Zahnriementeile. Alternativ können Sie zwei kleine Nägel zur Fixierung des Riemens verwenden. Orientieren Sie sich an der Skizze. Achten Sie darauf, dass der Zahnriemen nach dem Antackern von oben gesehen eine genaue Verlängerung der Mittelachse des Zahnriemenspanners bildet. Falls das nicht der Fall ist, entfernen Sie die Tackernadeln bzw. Nägel und wiederholen das Fixieren des Riemens. Eine Tischkante kann Ihnen als Referenzlinie dienen. Das andere Ende des Riemens wird erst später am anderen Teil des Riemenspanners fixiert.



Das Fixieren des Zahnriemens geschieht mit denkbar einfachen Mitteln: mit einer Tackernadel oder zwei kleinen Nägeln. Die Tischkante kann als Bezugslinie zur Kontrolle der Positionierung des Riemens dienen.

SENKRECHTES ABTRAGEN VON MASSEN

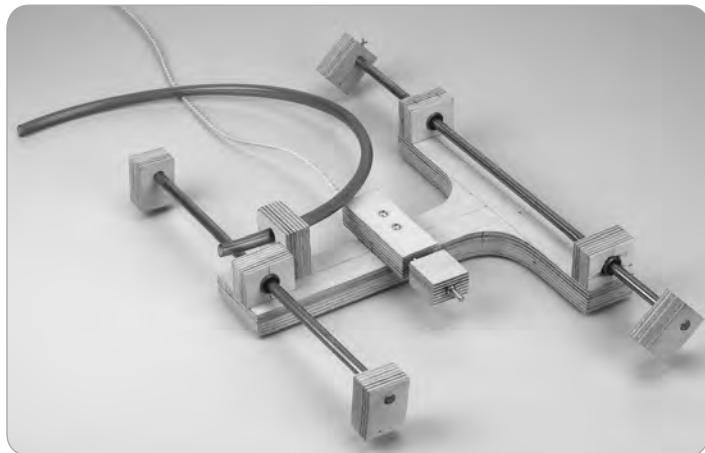
In manchen Situationen, wie dem Einbau des Riemenspanners, kann es nötig sein, Maße einzuhalten, die sich nicht direkt messen lassen. Messen Sie dann einfach indirekt, indem Sie z.B. Kanten oder Oberflächengrenzen senkrecht auf eine geeignete Fläche übertragen und dann messen. Für das Übertragen eignet sich wieder ein Geodreieck am besten. Bei beengten Platzverhältnissen müssen Sie improvisieren und einen kleinen Gegenstand mit einer lotrecht zur Grundfläche verlaufenden Kante verwenden.

TIPP:



- 9** Schrauben Sie die Spannvorrichtung mit zwei 3-x-35-mm-Spannplattenschrauben mit flachem Kopf unter den Druckbetthalter. Der bewegliche Teil des Spanners soll in Richtung Grundplattenvorderkante liegen, damit Sie ihn später leicht von vorne bedienen können. Orientieren Sie sich an der Skizze (Blick von oben) und am Bild (Blick auf die Unterseite des Druckbetthalters). Ziehen Sie die Schrauben noch nicht allzu fest, da der Riemenspanner noch justiert werden sollte.

Der Druckbetthalter, der hier auf dem Rücken liegt, und die Linearführung der y-Achse sind bereit für die Montage auf den Grundrahmen.



5.5 LINKE LINEARFÜHRUNGSWELLE FÜR DIE Y-ACHSE MONTIEREN

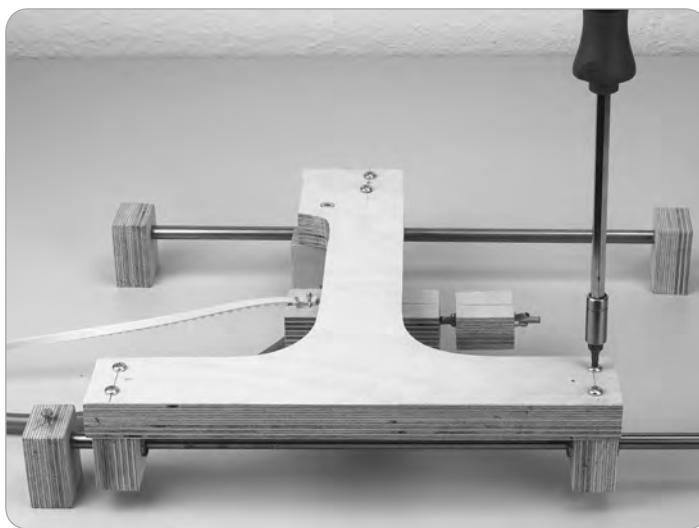
Der folgende Arbeitsschritt nötigt Ihnen etwas Fingerspitzengefühl und Geduld ab. Es gilt, die Wellenhalter so auf der Druckergrundplatte zu positionieren und festzuschrauben, dass sich der Druckbetthalter klemmfrei und ohne großen Rollwiderstand auf seiner Linearführung bewegen lässt. Sie werden festgestellt haben, dass in der Grundplatte noch keine Bohrungen für die Montageschrauben vorhanden sind. Der Grund, warum diese nicht schon beim Setzen der Bohrungen für die Versteifungen oder das Portal berücksichtigt wurden, liegt bei den selbst gebauten Wellen- und Kugellagerhaltern.

Beim Selbstbau ist immer mit kleinen Fehlern in der Maßhaltigkeit zu rechnen. Diese könnten sich so sehr addieren, dass eine nach Plan gesetzte Bohrung plötzlich nicht mehr zu den gegebenen Realitäten passt. Auch kann es sein, dass Sie sich geduckte Halter oder SK8-Wellenhalter aus Aluminium besorgt haben und einsetzen wollen. In diesem Fall sind

die Bohrungen an anderen Stellen zu setzen als beim Einsatz von Selbstbauhaltern. Darum werden die Positionen der in diesem Bauabschnitt zu setzenden Bohrlöcher im Abgleich mit dem zusammengebauten Druckbett festgelegt und gebohrt.

Außerdem erwartet Sie in diesem Abschnitt die Feinjustage des Zahnriemenspanners sowie der Kugellagerhalter am Druckbett. Wenn Sie die Reihenfolge der Arbeitsschritte einhalten, sollte Ihnen die Montage und Justierung aller Bauteile problemlos gelingen.

- Zuerst müssen Sie die beiden Kugellagerhalter, die auf der längeren Welle sitzen, am Druckbetthalter justieren und fixieren. Setzen Sie vor dem Festziehen der entsprechenden Schrauben den Druckbetthalter, mit den Montageflächen der Wellenhalter nach unten zeigend, auf eine ebene Fläche und kontrollieren Sie, ob die Lager klemmfrei laufen, indem Sie den Druckbetthalter hin- und herschieben. Falls das nicht der Fall ist, verdrehen Sie die Kugellagerhalter etwas und versuchen es erneut. Beginnen Sie erst mit dem nächsten Arbeitsschritt, wenn Sie nach dem Festdrehen aller vier Montageschrauben einen widerstandsarmen Lauf erreicht haben.



Wenn die Lagerhalter über exakt gebohrte Aufnahmen für die Kugellager verfügen, gelingt Ihnen deren Justage am Druckbetthalter mühelos.

- Dann können Sie den Zahnriemenspanner in seiner Lage justieren und fixieren. Dabei kommt es nicht auf den Zehntelmillimeter an. Schrauben Sie den Riemenspanner so fest, dass seine Mittelachse parallel zu der Welle läuft, die Sie gerade fixiert haben.

SCHWERGÄNGIGKEIT DER LAGERHALTER

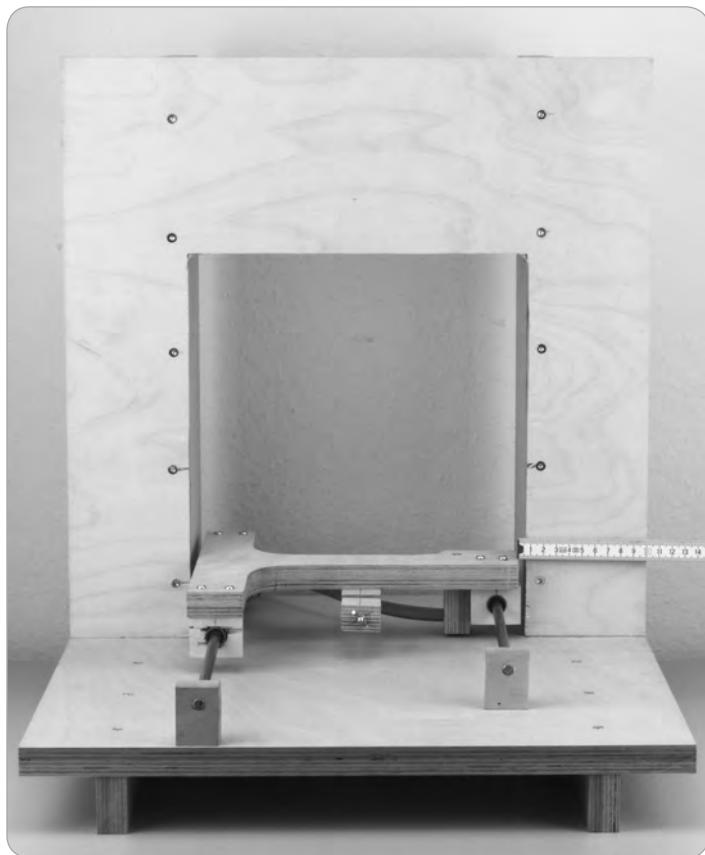
Falls Sie bei der Justage der Lagerhalter am Druckbett einen erhöhten Rollwiderstand feststellen, sobald Sie die Schrauben fest anziehen, während sich der Druckbetthalter bei nicht ganz angezogenen Schrauben noch einwandfrei bewegen lässt, kann das an einem der Lagerhalter liegen, und zwar dann, wenn die Bohrung für das Lager schräg zur Montagefläche des Halters gebohrt wurde. Dies bewirkt, dass die Mittelachse des Lagers nicht parallel zur y-Achse des Druckers verlaufen kann. Da die Lagerhalter bei der Montage nur in der x-Achse verdrehbar sind, kann eine Justage nicht gelingen. Sie sollten in diesem Fall den betreffenden Lagerhalter nacharbeiten oder einen neuen bauen. Weicht die Bohrung nur leicht ab, können Sie auch versuchen, einseitig eine dünne Zulage, wie z.B. ein Stück Karton, zwischen der Montagefläche des Halters und der Fläche, auf der er montiert wird, zu klemmen, um so die Schrägstellung auszugleichen.

TIPP!



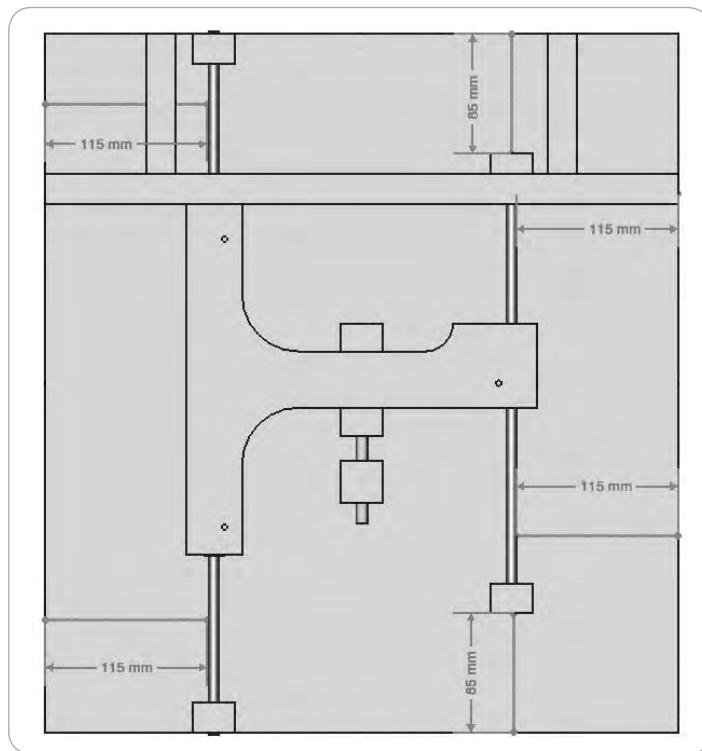


- 3** Setzen Sie dann die komplette Baugruppe in die Portalöffnung auf die Bodenplatte des Druckerrahmens. Die längere Welle hat ihren Platz auf der linken Seite des Druckers, die kürzere rechts. Richten Sie den Druckbetthalter so aus, dass er zu den Portalwänden links und rechts gleich viel Abstand hat.



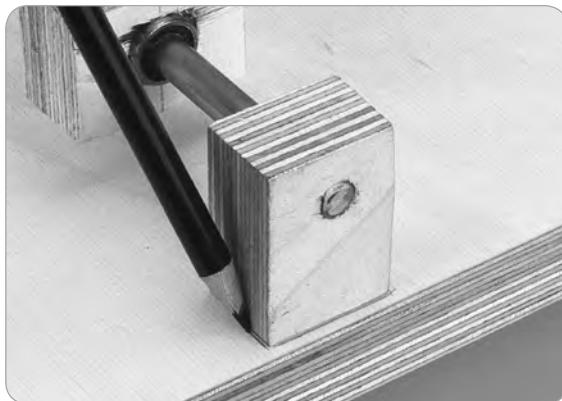
Die Baugruppe mit dem Druckbetthalter steht provisorisch an ihrem Platz.

- 4** Verschieben Sie die Wellenhalter der linken, längeren Welle so, dass sie bündig mit der Vorderkante bzw. der Hinterkante der Rahmengrundplatte abschließen. Jetzt gilt es, diese Welle parallel zur linken Kante der Grundplatte zu positionieren. Orientieren Sie sich an der Skizze. Die Maße für den Abstand der linken Welle zur Kante der Grundplatte können leicht zu den in der Zeichnung angegebenen variieren, sollten aber an jeder Stelle der Welle gleich sein. Markieren Sie zur Kontrolle die Position der Welle mit dem Geodreieck auf der Grundplatte und machen Sie indirekte Messungen.



So sollten die Wellen auf der Grundplatte positioniert sein. Die Maße können bei Ihrem Drucker leicht von den Angaben der Skizze abweichen.

- 5** Übertragen Sie die Umrisse der beiden linken Wellenhalter mit einem Bleistift auf die Grundplatte.



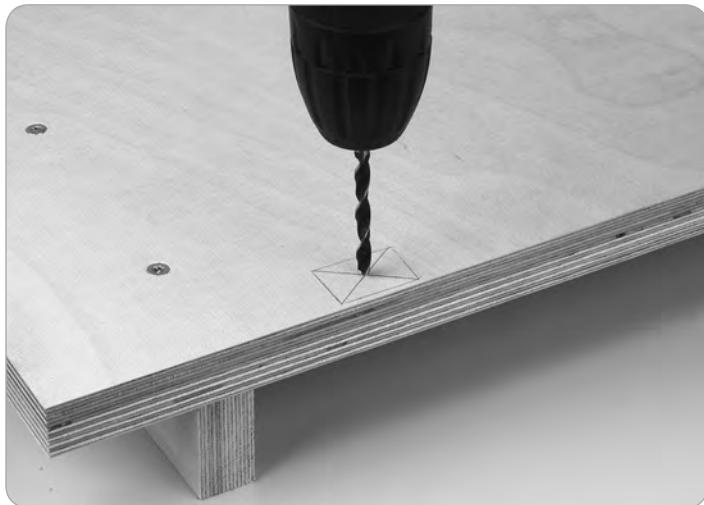
Sobald die 500-mm-Welle exakt parallel zur Außenkante des Druckerrahmens läuft, können Sie die Umrisse der Wellenhalter darauf einzeichnen.

- 6** Legen Sie die Baugruppe mit dem Druckbetthalter wieder zur Seite. Zeichnen Sie möglichst exakt jeweils die Mitte der Wellenhaltermontageflächen als Markierung für die folgenden Bohrungen ein. Mit dem Einzeichnen von zwei Diagonalen können Sie schnell den Bohrlochmittelpunkt festlegen.



- 7** Bringen Sie an den beiden Markierungen jeweils eine 5-mm-Bohrung an, die komplett durch die Grundplatte geht, möglichst lotrecht. Kleinere Ungenauigkeiten sind aber kein Problem. Falls sich später der Wellenhalter nicht in Position bringen lässt, arbeiten Sie die Bohrung einfach etwas nach.

Die Bohrungen für die Schrauben, die die Wellenhalter an der Grundplatte fixieren, sollten Sie möglichst lotrecht zu dieser setzen.



- 8** Nun können Sie die linken Wellenhalter mit 3 x 35-mm-Spannplattenschrauben mit flachem Kopf von unten anschrauben. Da die Bohrungen im Durchschnitt 2 mm größer sind als die verwendeten Schrauben, können Sie die Position der Halter justieren. Kontrollieren Sie, ob sich die Welle nach dem Festschrauben der Halter wieder in ihrer korrekten Position befindet. Justieren Sie sie gegebenenfalls nach, bevor Sie die beiden Schrauben endgültig festdrehen.

Die Wellenhalter der y-Achse werden von unten angeschraubt.



5.6 RECHTE LINEARFÜHRUNGSWELLE FÜR DIE Y-ACHSE MONTIEREN

Bei der Endmontage der rechten Linearführung für den Druckbetthalter können Sie im Prinzip vorgehen, wie Sie es schon auf der linken Seite geübt haben. Einen wichtigen Unterschied gibt es jedoch: Auf der rechten Welle sitzt nur ein Kugellager auf seinem Halter. Die großzügig dimensionierten Bohrungen für seine Montageschrauben gewährleisten, dass Sie die rechte Welle um ein paar Grad verdrehen können. So ist es möglich, diese so zu justieren, dass sie absolut parallel zur linken Welle läuft, was wiederum eine Grundvoraussetzung für einen klemmfreien, widerstandsarmen Lauf des Druckbetthalters ist. Lassen Sie sich bei der Montage der rechten Welle Zeit und nehmen Sie die Justage sorgfältig vor.

- 1** Verschieben Sie die rechte Welle so auf der Grundplatte, dass ihre Enden jeweils den gleichen Abstand zur Vorder- bzw. Hinterkante der Grundplatte haben.
- 2** Schieben Sie den Druckbetthalter vor und zurück. Sie werden dabei feststellen, dass sich die beiden Wellenhalter etwas in Richtung der x-Achse bewegen. Dies liegt daran, dass die rechte Welle noch nicht genau parallel zur linken liegt. Verdrehen Sie die Welle etwas und probieren Sie es erneut. Wiederholen Sie diesen Test so oft, bis sich die beiden rechten Wellenhalter nicht mehr bewegen, wenn Sie den Druckbetthalter in Richtung y-Achse bewegen.
- 3** Nun können Sie die Positionen der Bohrungen für die Montageschrauben festlegen. Tun Sie das auf die gleiche Weise, wie Sie es schon bei den Wellenhaltern der linken Welle praktiziert haben: Umfahren Sie die Umrisse beider Halter mit einem Bleistift, schieben Sie die Welle zur Seite und zeichnen Sie schließlich die Mittelpunkte der Montageflächen der Halter ein.
- 4** Erzeugen Sie an den beiden Markierungen Bohrungen mit 5 mm Durchmesser. Achten Sie bitte beim Bohren darauf, dass die entstehenden Holzspäne nicht in die Kugellager geraten.
- 5** Verschieben Sie die beiden rechten Wellenhalter wieder in ihre Einbauposition und befestigen Sie sie jeweils mit einer 3-x-35-mm-Spannplattenschraube mit flachem Kopf, die Sie von unten einschrauben. Drehen Sie die beiden Schrauben noch nicht fest.
- 6** Zum Abschluss dieses Bauabschnitts müssen Sie noch die beiden rechten Wellenhalter justieren. Gehen Sie dazu vor wie schon einmal in Schritt 2. Schrauben Sie die beiden Montageschrauben fest, sobald Sie sich sicher sind, dass Sie die Wellenhalter in eine Position

DER STAUB- UND SPANENTWICKLUNG ENTGEGENWIRKEN

Beim Bau Ihres FranzisMendel sind einige Bohrungen direkt am schon teilweise zusammengebauten Drucker vorzunehmen. Die entstehenden Holzspäne und Stäube können später die Funktion des Geräts beeinträchtigen, wenn sie sich z.B. auf Wellen legen oder in Kugellager eindringen. Sie können am besten gewährleisten, dass dies nicht passiert, indem Sie einen Helfer bitten, direkt an der Bohrstelle mit einem Staubsauger in Bereitschaft zu sein und Stäube bzw. Späne schon beim Entstehen abzusaugen.

TIPP!



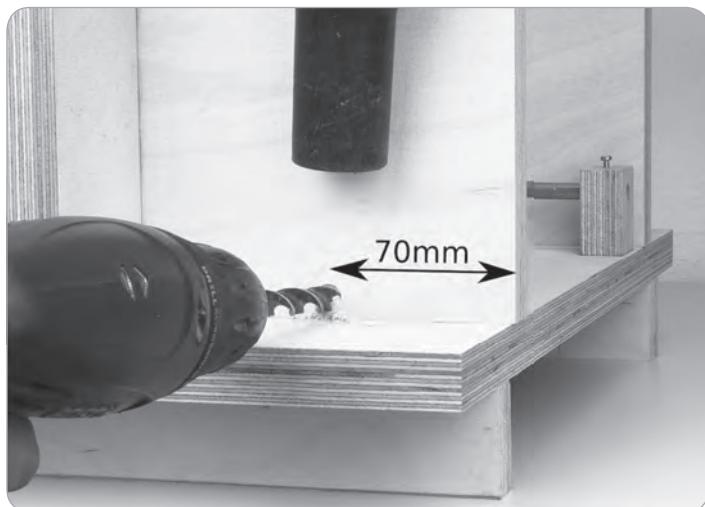


gebracht haben, in der ein klemmfreier, widerstandssarmer Lauf des Druckbetthalters gewährleistet ist. Kontrollieren Sie bitte den Lauf nach dem Festziehen der beiden Schrauben noch einmal. Falls die Linearführung schwergängig ist, wiederholen Sie die Justage.

5.7 KABELFÜHRUNG FÜR DIE HEIZBETT-VERKABELUNG BEFESTIGEN

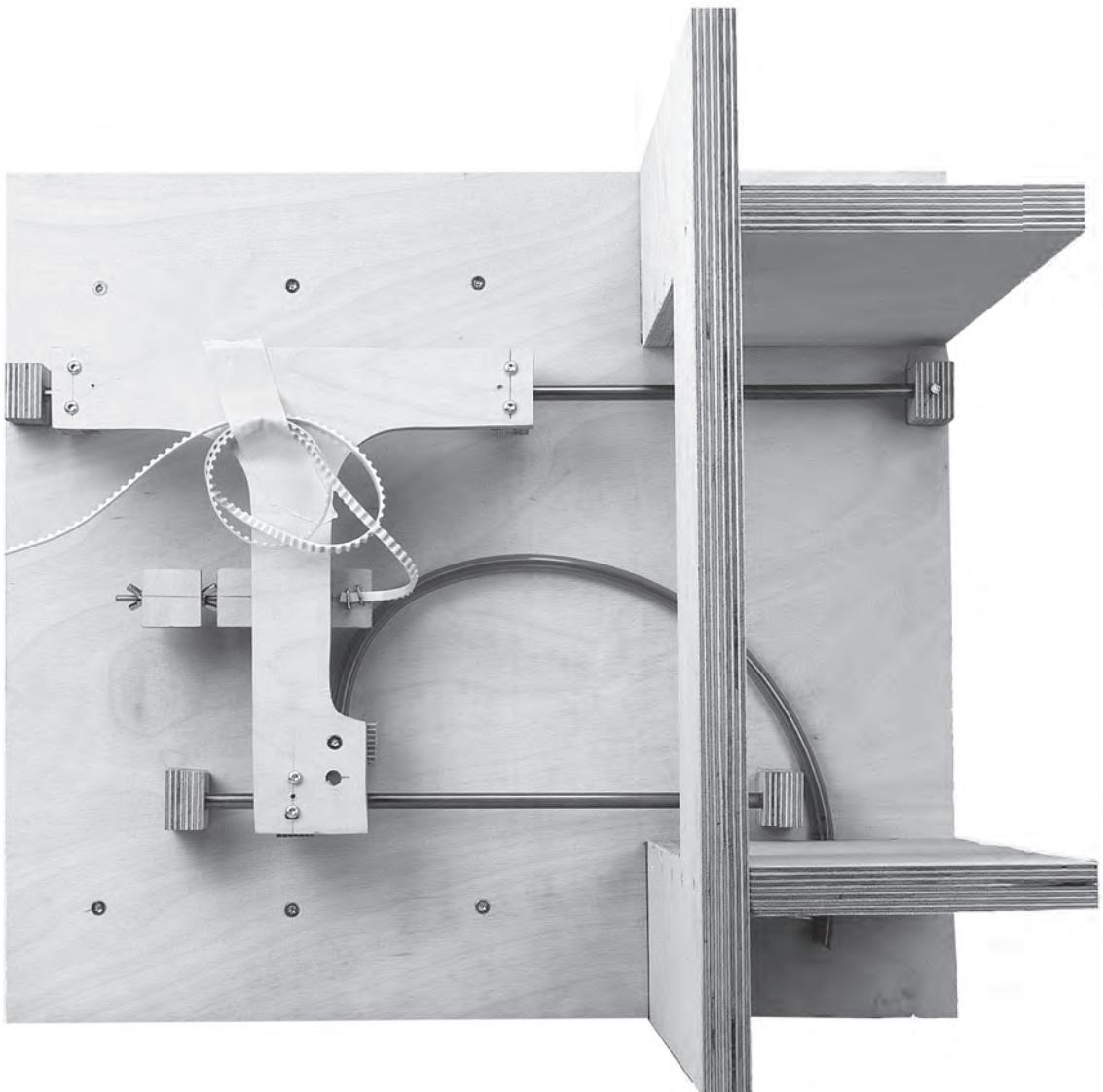
Wenn der Druckbetthalter einwandfrei läuft, muss nur noch das lose Ende der Kabelführung aus Aquariumschlauch versorgt werden.

- 1** Zeichnen Sie hierfür zunächst eine Markierung für eine 10-mm-Bohrung an der Unterkante des rechten Seitenteils an. Diese sollten Sie ca. 6 cm von der hinteren Kante der Grundplatte entfernt und ca. 7 bis 8 mm über der Plattenoberseite anbringen. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 2.
- 2** Halten Sie Ihren Akkuschrauber beim Bohren leicht schräg, sodass die Bohrung von der Außenseite des Druckers zur Mitte hin ca. 1 bis 3 Grad nach unten verläuft. Dies soll später dafür sorgen, dass die Kabelführung nach unten gedrückt wird und so dem Antriebsriemen nicht ins Gehege kommt. Arbeiten Sie, ohne Druck auf den Bohrer auszuüben, damit es auf der anderen Seite des rechten Seitenteils nicht zu Ausfransungen kommt.



Eine Bohrung für das Durchziehen der Kabelführung am rechten Seitenteil können Sie freihandig durchführen. Bekämpfen Sie Stäube und Holzspäne auch hier direkt beim Entstehen. Ein Staubsauger ist dafür ein probates Werkzeug.

- 3 Stecken Sie den Aquariumschlauch durch das soeben erzeugte Bohrloch. Stellen Sie sicher, dass er Bewegungen des Druckbetthalters problemlos folgt und sich dabei nirgendwo verklemmt. Damit ist dieser Bauabschnitt vollendet, und Sie können sich dem Heizbett zuwenden.



Die Kabelführung der y-Achse sitzt an ihrem Platz.



5.8 HEIZBETT AUF DEM DRUCKBETTHALTER MONTIEREN

230-VOLT-LAMPENKABEL ZWECKENTFREMDEN

Für den Extruder und das Heizbett benötigen Sie Kabel mit mindestens 1,5mm² Querschnittfläche. Hierfür können Sie flexible zwei- oder dreadrige Leitungen für Lampen und Geräte, die mit 230 Volt betrieben werden, zweckentfremden. Sie finden dieses Material günstig im Baumarkt unter der Bezeichnung HO3VV-F oder »Leichte Schlauchleitung«. Sie müssen diese Leitungen nur von der Außenhülle befreien und finden innen liegend einadrig, isolierte Kabel, die sich hervorragend für den Druckerbau eignen. Schneiden Sie einfach die Außenhülle an einem Leitungsende ein paar cm ein und reißen Sie die Hülle dann mit Kraft auseinander.



Leichte Schlauchleitungen für 230 Volt sind eine preisgünstige Quelle für die elektrischen Leitungen zum Heizbett und zum Extruder Ihres 3-D-Druckers.

TIPP:

Nachdem der Druckbetthalter mit seiner Linearführung auf dem Druckergrundrahmen montiert ist, können Sie das beheizte Druckbett an seinen Platz in der Maschine bringen – zumindest, wenn Sie ein Heizbett eingekauft haben, das schon voll verdrahtet ist. Wenn nicht, steht vor der Montage noch eine kleine Lötarbeit an. Außerdem sollte ein Temperatursensor ins Heizbett geklebt und mit Kabeln versehen sein, bevor es schließlich am Ende dieses Bauabschnitts an den Einbau des Heizbetts mit seiner Federung geht.

5.8.1 Anschlüsse ans beheizbare Druckbett löten

Diesen Abschnitt können Sie überspringen, wenn Sie ein vorkonfektioniertes Druckbett mit angelöteten Leitungen gekauft haben und auch sonst nicht vorhaben, elektrische Verbindungen an Ihrem Drucker zu löten. Konnten Sie noch keine Erfahrungen mit dem Herstellen von Lötverbindungen sammeln, ist der hier beschriebene Lötvorgang ideal als Einstieg. Da die Kabel zur Steuerelektronik einiges an elektrischer Leistung transportieren müssen, sollten Sie Kupferlitze mit mindestens 1,5 mm² Querschnitt verwenden.

Sorgen Sie für eine hitzebeständige, plane Fläche. Ein Stück Gipskartonplatte ist geeignet, da das im Gips gebundene Wasser brandhemmend wirkt. Auch einen Sperrholzrest können Sie verwenden, solange Sie darauf achten, dass eventuell entstehende Kokelstellen nicht zu einem Brand führen.

- 1 Schalten Sie den Lötapparat ein. Falls Sie über einen regelbaren Löt Kolben verfügen, stellen Sie eine Temperatur von 410 °C ein. Diese hohe Temperatur ist erforderlich, weil das Heizbett die Hitze des Löt Kolbens sehr schnell ableitet. Benetzen Sie die heiße Lötspitze Ihres Apparats, indem Sie den Lötdraht an die heiße Spitze halten. Sobald die Spitze rundum silbern glänzt, haben Sie genug Lot aufgebracht.
- 2 Halten Sie die erhitzte Lötspitze mit möglichst viel Auflagefläche an die Lötfläche für den Plusanschluss am Heizbett. Das ist die linke der drei großen Lötflächen. Üben Sie keinen Druck aus.
- 3 Nach einigen Sekunden müsste die Lötfläche heiß genug sein, um sie zu verzinnen. Halten Sie dazu das Lötdrahtende an die Lötfläche, ohne dass es die Lötspitze direkt berührt. Ziehen Sie den Löt Kolben und das Lot weg, sobald die Fläche vollständig verzinkt ist.



Vor dem eigentlichen Lötvorgang sollten Sie die Lötflächen des Heizbetts verzinnen.

- 4** Längen Sie ein geeignetes Kabel auf ca. 80 cm ab und entfernen Sie an einem Ende auf ca. 3 mm Länge die Isolation. Verzinnen Sie das blanke Kabelende, wie Sie die Lötfläche des Heizbetts verzinnt haben. Es erleichtert Ihnen die Arbeit, wenn Sie das Kabelende vor dem Löten mit Malerkreppband auf der Arbeitsfläche fixieren. Die Lötspitze sollten Sie möglichst kurz an das Kabelende halten, damit die Isolierung nicht anfängt zu qualmen.
- 5** Fixieren Sie das Heizbett mit Klebeband auf der Arbeitsfläche. Fixieren Sie dann ebenso das Kabelende in der Position, in der es angelötet werden soll.
- 6** Halten Sie nun wieder die erhitzte Lötspitze mit möglichst viel Auflagefläche auf die Lötfläche und das Kabelende, um beides aufzuheizen. Bringen Sie das Lötdrahtende hinzu und lassen Sie ein wenig Lot auf die Verbindung fließen. Ziehen Sie die Lötspitze und das Lot weg, sobald genug Lot geflossen ist.
- 7** Lassen Sie die Verbindung ein paar Sekunden abkühlen und ziehen Sie dann am Kabel, um zu überprüfen, ob die Lötstelle gelungen ist. Eine gelungene Lötstelle muss auch größere Zugkräfte aushalten. Lässt sich das Kabel hingegen mühelos wieder abziehen, haben Sie eine kalte Lötstelle produziert und sollten den Lötvorgang wiederholen.

LÖTSPITZE UND LÖTVERBINDUNGEN

Es ist nicht allgemein bekannt, dass eine Lötspitze tot sein kann und dann nicht mehr zum Löten zu gebrauchen ist. Falls Sie dem Uralt-Lötkolben aus der Werkzeugkiste Ihres Großvaters zu neuen Ehren verhelfen wollen, jedoch damit einfach keine Lötstelle gelingen will, obwohl die Lötspitze eigentlich heiß genug wird, kann dies an einer toten Lötspitze liegen. Eine funktionierende Spitze erkennen Sie daran, dass sie sich problemlos verzinnen lässt, wenn ihr in erhitztem Zustand Lötzinn zugeführt wird. Von einer toten Lötspitze perlt das Lot jedoch einfach ab. Verantwortlich dafür kann eine Oxidation oder eine Verzunderung der Lötspitze, oder beides, sein. Profis regenerieren eine tote Lötspitze mit einer Feile und Lötfeßt, Anfänger können auch einfach für ein paar Cent eine neue Spitze kaufen.

LÖTEN LERNEN

Eine ausführliche Anleitung mit Übungen zum Einstieg ins Löten finden Sie unter

wiki.raumzeitlabor.de/wiki/Löten_lernen

Vor allem gilt es, sogenannte »kalte« Lötstellen zu vermeiden. Diese sehen zwar aus, als sei der Lötvorgang gelungen, tatsächlich jedoch hat sich das Lötzinn nicht ordentlich mit den zu verlötzenden Teilen verbunden. Wackelkontakte und Funktionsstörungen sind die Folgen von kalten Lötstellen. Sie erkennen solche Stellen daran, dass die Verbindung schon bei leichtem Zug am betroffenen Kabel versagt.

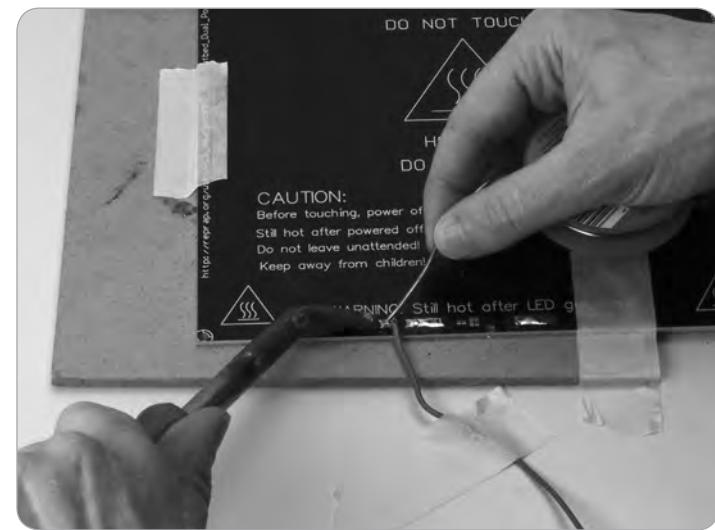


Lassen Sie sich Zeit. Geben Sie erst Lot hinzu, wenn die Lötfläche und das Kabel genügend erhitzt sind, um eine kalte Lötstelle zu vermeiden.

LEDS AM HEIZBETT?

Beim verwendeten Heizbett sind, zusätzlich zu den Kontakten für die Stromversorgung, Lötkontakte für zwei LEDs vorhanden. Diese beiden LEDs sind für die Funktion des Heizbetts nicht nötig. Die LEDs sind dazu gedacht, anzuzeigen, ob Strom durch die Heizung fließt. Falls Sie diese beiden LEDs verbauen wollen, finden Sie eine Anleitung unter reprap.org/wiki/PCB_Heatbed.

HINWEIS



- 8** Den Minusanschluss am Heizbett können Sie auf die gleiche Weise herstellen, indem Sie die rechte der drei großen Lötflächen mit einem Kabel bestücken. Hilfreich ist, für Plus- und Minuskabel verschiedene farbige Isolation zu verwenden, um später die Verdrahtung mit der Steuerelektronik einfacher zu gestalten.



Das Heizbett ist mit den beiden Kabeln für die Stromversorgung bestückt.

- 9** Nun fehlt nur noch eine sogenannte Brücke zwischen den als Pin 2 und Pin 3 bezeichneten Lötflächen auf dem Heizbett, die nötig ist, wenn es, wie in unserem Fall, mit 12 Volt betrieben wird. Die Brücke besteht einfach aus einem kleinen Stück Draht, das so angelötet

wird, dass eine elektrische Verbindung zwischen beiden Lötflächen gewährleistet ist. Isolieren Sie dazu ein ca. 5 bis 8 cm langes Stück Kabel auf ca. 25 mm ab, verzinnen Sie es und löten Sie es an beide Lötflächen. Der isolierte Teil des Kabels dient Ihnen zum Halten des Drahts. Zwicken Sie ihn nach dem Löten einfach ab.



Die Drahtbrücke zwischen den beiden Lötflächen ist zwar kaum sichtbar, jedoch wichtig für die Funktion des Heizbetts. Das isolierte Stück Kabel, das beim Löten als Griff gedient hat, können danach einfach entfernen.

Nach den Lötvorgängen sollten Sie die noch heiße Lötspitze mit einem nassen Schwamm reinigen und danach das Gerät sofort ausschalten.

5.8.2 Den Thermistor ins Heizbett kleben

Es gibt zwei Klebstoffe, die die nötige Temperaturfestigkeit besitzen, um für den 3-D-Drucker-Bau einsetzbar zu sein, und die den Geldbeutel nicht allzu sehr belasten. Zum einen ist dies hochtemperaturbeständiges Zwei-Komponenten-Epoxidharz, zum anderen Spezialsilikon für Abdichtarbeiten an Verbrennungsmotoren oder für den Heizungsbau. Das Spezialsilikon hat den Vorteil, deutlich weniger zu kosten als das Spezialharz und im Fall eines nötigen Austauschs des Thermistors sehr viel problemloser wieder entfernbare zu sein. Welche Temperatur der Klebstoff mindestens aushalten können muss, hängt davon ab, welche Druckmaterialien Sie später verarbeiten wollen.

Vorkonfektionierte Thermistoren

Thermistoren sind Cent-Artikel. Vorkonfektioniert, also schon mit angelötzten Anschlusskabeln versehen und hinreichend isoliert, kosten Sie hingegen ca. 1 bis 2 Euro, die Sie sparen können, indem Sie selbst zum

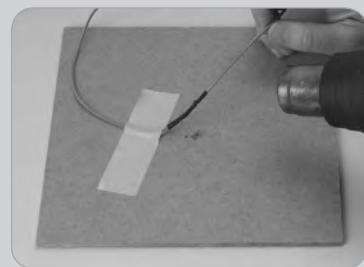
KABELVERLÄNGERUNGEN LÖTEN

Wenn Sie zwei Kabel miteinander verbinden wollen, können Sie beim Löten nach der oben stehenden Anleitung vorgehen. Als Temperatur an der Lötspitze sollten Sie bei regelbaren Lötstationen ca. 330 °C wählen. Bevor Sie loslegen, sollten Sie ein Stück Schrumpfschlauch über eines der beiden Kabel stülpen, damit Sie nach dem Löten die Verbindungsstelle aufwandlos elektrisch isolieren können. Fixieren Sie beide Kabelenden nach dem Verzinnen parallel zueinander auf der Arbeitsfläche und löten Sie wie oben beschrieben.

Wenn die Lötstelle hält, streifen Sie den Schrumpfschlauch darüber und erhitzten ihn mit einer Heißluftpistole oder (vorsichtig) mit einem Feuerzeug, bis er sich eng um die Kabel legt. Fertig.



Gute Lötstellen gelingen Ihnen, wenn Sie die zu verlötzenden Teile geduldig erhitzten, bis Lot, nicht direkt an die Lötspitze, sondern an eines der erhitzten Teile gehalten, zu fließen beginnt.



Ein Schrumpfschlauch über der Lötstelle sorgt für eine sichere Isolation, die Kurzschlüsse vorbeugt.

TIPP!



HITZEBESTÄNDIGKEIT BEI KLEBSTOFFEN

Grundsätzlich eignen sich mehrere Klebstoffarten und Klebebänder, um einen Wärmefühler in der dafür vorgesehenen kleinen Bohrung in der Mitte des Heizbetts (oder in einem Hot-End) zu fixieren. Empfohlen wird in Foren unter anderem Kapton-Klebeband, das auch unter seinem Werkstoffnamen Polyimide-Band bekannt ist. Andere empfehlen den Klebstoff UHU-Plus, oft auch gemischt mit Wärmeleitpaste. Beide Alternativen haben jedoch den Nachteil, dass die verwendeten Werkstoffe laut Herstellerangaben nicht für einen Einsatz bei Temperaturen über ca. 110 °C geeignet sind. In der Praxis mögen beide Lösungen eventuell sogar problemlos funktionieren, Sie sollten sich jedoch bewusst sein, dass Sie auf eigene Gefahr handeln, wenn Sie diese Klebstoffe verwenden. Wir empfehlen dringend, stattdessen für das Verkleben von Thermistoren für Temperaturen über 250 °C geeignete Produkte zu verwenden.



HINWEIS

Lötkolben greifen. Allerdings ist diese Arbeit aufgrund der Winzigkeit des Bauteils und des leider nicht trivialen anschließenden Isolierens der Lötstellen für Lötanfänger nicht geeignet.

Der Tipp lautet also: Geben Sie den einen Euro mehr aus und sparen Sie sich dafür fummelige Arbeit, Frust und Zeit.

Falls Sie Ihre Thermistoren doch selbst konfektionieren wollen, finden Sie unter folgendem Link im Abschnitt *Thermistor Vormontage* eine Anleitung: https://wiki.germanreprap.com/handbuch/module/protos_v2_heatedbed

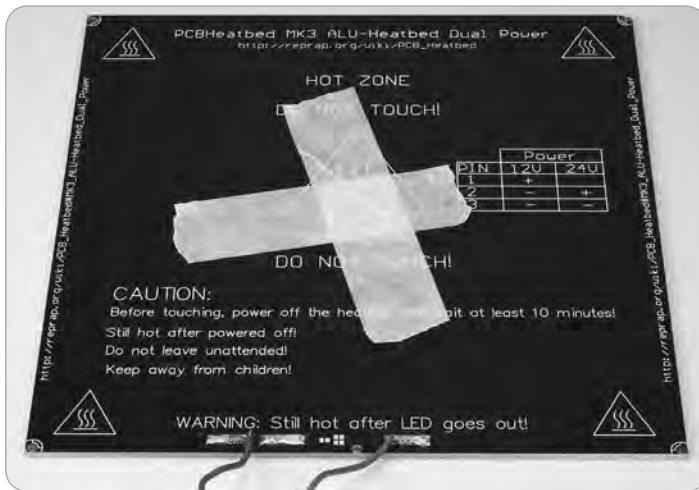


Ein Thermistor, der fertig verkabelt geliefert wird, spart Ihnen Zeit.

Hochtemperatursilikon zum Abdichten von Ofenrohren mit einer Beständigkeit bis +300 °C finden Sie in Baumärkten schon für unter 10 Euro. Damit sind Sie deutlich auf der sicheren Seite, wenn Sie z. B. ABS mit einer Heizbetttemperatur von 110 °C drucken wollen. Da aber an der Extruderheizung am Hot-End auch ein Thermistor verbaut ist, der im Düsenheizungsblock verklebt wird, kann es nötig sein, Silikon mit einer Beständigkeit von mehr als +300 °C zu verwenden, wenn Sie Spezial-Hot-Ends für Hochtemperaturdrucker einsetzen wollen. Für den Druck von PLA und ABS mit einem J-Head oder einem vergleichbaren Hot-End genügt das oben erwähnte günstige Silikon für Temperaturen von maximal +300 °C vollständig.

- 1 Wenn Sie direkt am Thermistor selbst die Anschlüsse löten, achten Sie darauf, dass die beiden Zuleitungen zum Thermistor mindestens 80 cm lang sind. Falls Sie einen vorkonfektionierten Thermistor verwenden, dessen Anschlusskabel zu kurz sind, verlängern Sie das vorhandene Kabel, indem Sie löten oder Kabelschuhe verwenden. Da die Anschlusskabel deutlich größer dimensioniert sind als die Kabel des Thermistors selbst, ist eine Verlängerung problemlos möglich.

- 2 Das PCB-Heizbett MK3 ist auf seiner Oberseite, wo sich die Lötfäden und der aufgedruckte Heizdraht befinden, mit einem schwarzen Schutzlack versehen, während Sie die Unterseite am blanken Aluminium erkennen. Sorgen Sie dafür, dass das Heizbett auf seiner Aluminiumseite fettfrei ist. Ein geeignetes Reinigungsmittel ist ein Schluck Spiritus auf einem fuselfreien Tuch.
- 3 Überkleben Sie das kleine Loch in der Mitte des Heizbetts auf der schwarzen Seite mit einem Streifen Malerkreppband. Dies soll verhindern, dass Silikon diese Seite verschmutzt oder eine Erhebung bildet, die später beim Anbringen der Glasplatte, auf der gedruckt wird, störend wirkt.



Ein oder zwei Streifen Kreppband, direkt am Loch für den Thermistor auf der Klebeseite mit einem Hauch Spülmittel versehen, verhindern, dass später Silikon auf der schwarzen Oberseite des Heizbetts eine störende Erhebung bilden kann.

- 4 Biegen Sie vorsichtig die dünnen Kabel direkt am Thermistor so, dass die Anschlusskabel flach auf der Heizbettunterseite aufliegen können, wenn Sie den Temperaturfühler in die für ihn vorgesehene Öffnung einführen.

TRENNMITTEL BEIM KLEBEN MIT SILIKONEN

Damit sich das Kreppband besser vom abgebundenen Silikon löst, kann ein kleiner Trick helfen: Benutzen Sie das Band auf der klebenden Seite an der Stelle, die das Loch für den Thermistor abdecken soll, mit einer Winzigkeit Spülmittel, bevor Sie es ankleben. Achten Sie dabei aber darauf, dass kein Spülmittel in das Bohrloch selbst gelangt, weil das Silikon sonst auch dort keinerlei Klebewirkung erzielen kann. Am einfachsten ist es, wenn Sie eine Spur dieses als Trennmittel für Silikonverklebungen hervorragend geeigneten Reinigungsmittels auf eine Fingerkuppe geben und auf das Kreppband tupfen.

Um bereits abgebundene Silikonreste und Flecken zu entfernen, benötigen Sie einen speziellen Silikonentferner, den Sie im Baumarkt erhalten. Allerdings genügt es in der Praxis oft, mit genügend Kraft und dem geeigneten Werkzeug, wie z. B. einem Cuttermesser, mechanisch auf eine Silikonverbindung einzuwirken, um sie zu trennen.

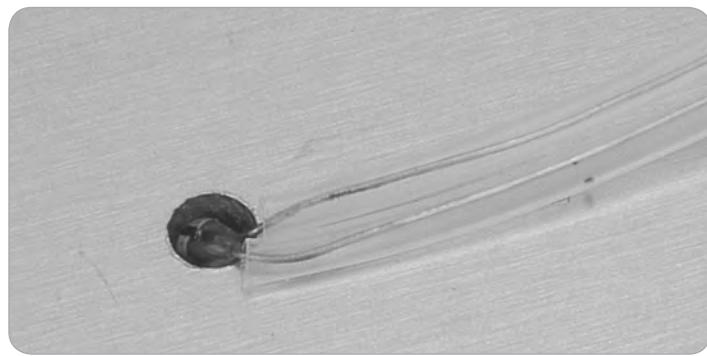
TIPP!



ERST MESSEN, DANN VERKLEBEN

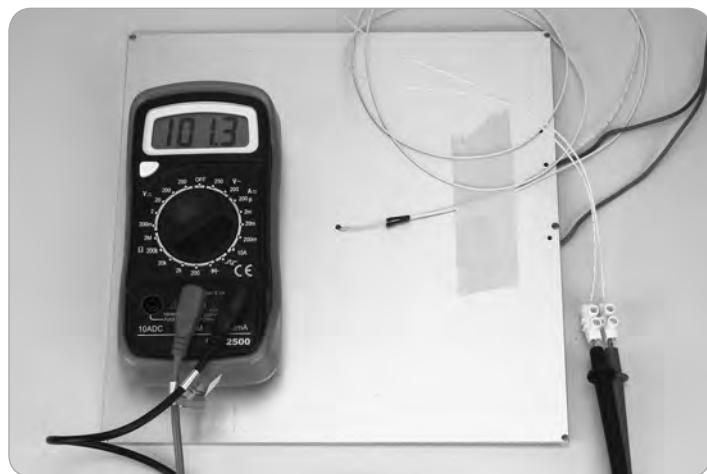
Es wäre sehr ärgerlich, wenn sich herausstellen würde, dass ein verklebter Wärmefühler nicht funktioniert, weil Sie dann die Verklebung entfernen, das Heizbett reinigen und die Verklebung erneut durchführen müssten. Vor allem Kurzschlüsse, die beim Zurechttbiegen der Kabel direkt am Kopf des Thermistors entstehen können, sind ärgerlich, wenn sie unentdeckt bleiben. Falls Sie ein Multimeter Ihr Eigen nennen, sollten Sie unbedingt den Widerstand des Wärmefühlers messen, um seine Funktion zu überprüfen. Der Widerstand sollte beim verwendeten NTC-100k-Thermistor bei Zimmertemperatur um die 100 Ohm liegen. Der genaue Wert hängt von der Temperatur ab. Ist der Wert deutlich höher oder ist der Widerstand gar unendlich, ist der Thermistor defekt. Sie können die Funktion des Fühlers noch sicherer prüfen, wenn Sie ihn erwärmen. Blasen Sie ihn z. B. mit einer Heißluftpistole oder einem Föhn an, muss sich der Wert des gemessenen Widerstands verringern.

TIPP!



So etwa sollten Sie den Thermistor in der für ihn vorgesehenen Bohrung im Heizbett platzieren. Der Kopf des Wärmefühlers sollte direkten Kontakt mit dem Aluminium haben.

- 5 Fixieren Sie den Thermistor in der Lage, in der Sie ihn in der Bohrung verkleben wollen, mit einem Streifen Kreppband – und zwar etwas entfernt von der Klebestelle an den Anschlusskabeln. Achten Sie dabei darauf, dass der Kopf des Thermistors an einer Stelle direkt an der Innenwand der Bohrung am Aluminium anliegt, weil das zum Verkleben verwendete Silikon keine ausreichende Wärmeleitfähigkeit besitzt.



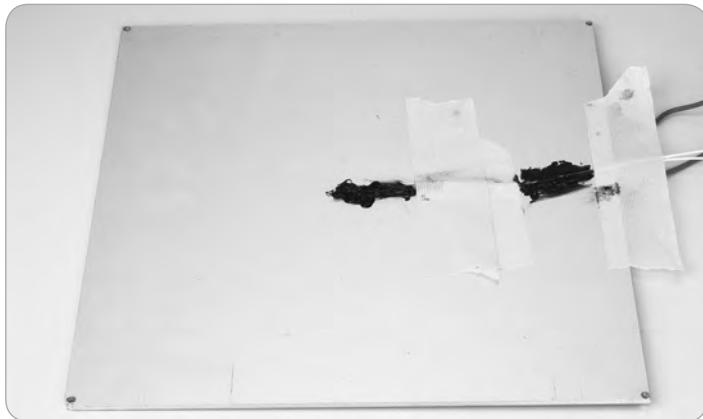
Wenn der Thermistor und die Anschlusskabel in Position gebracht und für die Verklebung fixiert sind, sollten Sie seine Funktion prüfen, indem Sie seinen Widerstand messen.

- 6 Verkleben Sie den Thermistor in der dafür vorgesehenen Bohrung in der Mitte des Heizbetts mit Hochtemperatursilikon. Verkleben Sie auch die Anschlusskabel direkt am Kopf des Wärmefühlers.



Der Thermistor sollte mit Klebeband gut fixiert sein, wenn Sie ihn mit Silikon in das Heizbett kleben.

- 7** Kleben Sie auch gleich die Anschlusskabel am Heizbett fest. Die Kabel sollten in direkter Nähe der beiden Lötstellen der Stromversorgung den Rand des Heizbetts erreichen. Dort, wo Sie Malerkreppband zum Fixieren der Kabel angebracht haben, können Sie getrost eine Lücke in der Verklebung lassen.



Bei der Verklebung des Thermistors und seiner Verkabelung müssen Sie keinen Schönheitswettbewerb gewinnen. Wichtig ist vielmehr die gute Haftung des Wärmefühlers am Heizbett.

- 8** Lassen Sie abschließend das Silikon lange genug abbinden. Je nach Fabrikat sollte nach ca. 24 bis 48 Stunden die volle Klebekraft erreicht sein. Orientieren Sie sich an der Gebrauchsanweisung des von Ihnen eingesetzten Produkts. Entfernen Sie die Klebestreifen, mit denen Sie das Bauteil fixiert haben, erst, wenn das Silikon vollständig abgebunden hat.

VERKLEBUNGEN MIT SILIKON

Silikon hat eine sehr geringe Haftfähigkeit, wenn es aus der Tube kommt. Sie können nicht, wie bei manch anderen Klebstoffen, die Lage des zu verklebenden Bauteils korrigieren, indem Sie es in den Klebstoff pressen. Beim Verkleben mit Silikon müssen Sie die Werkstücke unbedingt gut fixieren, damit sie in der für sie vorgesehnen Lage bleiben, bis das Silikon abgebunden hat.

Silikon bildet schon nach kurzer Zeit eine Haut und haftet dann z. B. nicht mehr am Finger. Dies ist jedoch kein Zeichen dafür, dass das Silikon abgebunden hat! Das kann, je nach Silikonart und Dicke der Silikonschicht von einigen Stunden bis zu Tagen dauern. Orientieren Sie sich an den Herstellerangaben.

Ein alter Trick von Fliesenlegern ist, eine Fingerkuppe mit einem Tropfen Spülmittel zu benetzen, um dann mit dem Finger Silikonfugen glatt zu streichen. Das funktioniert grundsätzlich bei jeder Arbeit mit Silikon. Allerdings sollten Sie dabei darauf achten, dass dieses Trennmittel aus der Küche nicht an Stellen gerät, die verklebt werden sollen. Verzichten Sie im Zweifelsfall lieber auf eine glatte Silikonoberfläche zugunsten einer guten Haftung.

TIPP!



5.8.3 Heizbett mit der Federung einbauen

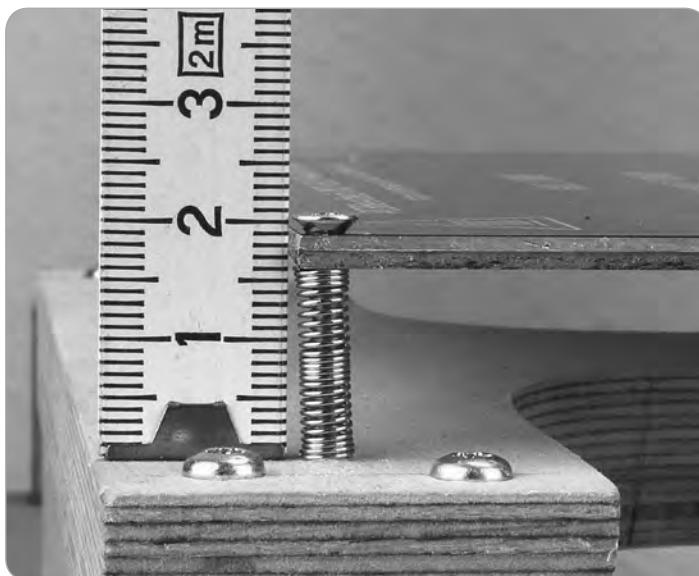
Eigentlich wäre eine Federung für die Funktion Ihres Druckers gar nicht erforderlich. Es geht lediglich darum, zu verhindern, dass das Heizbett beschädigt wird, falls beim Druckbetrieb die Druckdüse, z. B. wegen einer ungenauen Kalibrierung, zu weit abgesenkt wird. Die Federung muss also nicht sonderlich leichtgängig sein, sondern nur gewährleisten, dass das Heizbett im regelmäßigen Betrieb nicht nach unten absinkt, im Notfall jedoch dem Druck durch eine nach unten drückende Düse nachgeben kann. Ein paar Federn aus billigen Kugelschreibern, die es ab und an als Werbegeschenk gibt, und drei M3-x-30-Schrauben sind alles, was Sie benötigen, um das beheizbare Druckbett gefedert auf seinen Halter zu montieren.

- 1** Legen Sie das Heizbett so auf den Druckbetalthalter, dass die Bohrungen für die Federung über den entsprechenden Bohrlöchern mit Gewinde im Druckbett liegen. Die schwarze Seite des Heizbetts muss nach oben zeigen, die Anschlusskabel nach rechts. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 2.
- 2** Fädeln Sie eine M3-x-30-Schraube von oben durch eine der dafür vorgesehenen Öffnungen im Druckbett. Fädeln Sie anschließend eine Kugelschreiberfeder auf die Schraube und drehen Sie sie in das Gewinde im Druckbetalthalter. Wiederholen Sie das mit den anderen beiden Schrauben, sodass das Heizbett schließlich an drei Punkten federnd gelagert mit dem Halter verbunden ist.

Für die Montage der Federung des Heizbetts müssen Sie nur drei Schrauben eindrehen.



- 3** Später sollten Sie die Höhe des Heizbetts vor jedem Druck justieren. Jetzt genügt es, wenn Sie alle drei Schrauben so weit eindrehen, dass sie noch 20 mm aus dem Druckbetthalter herausschauen.



Mit den drei Schrauben der Federung können Sie später im Druckbetrieb die Höhe des Heizbetts kalibrieren.

- 4** Testen Sie nun, ob das Druckbett im Notfall nach unten ausweichen kann, indem Sie mit dem Finger an einigen Stellen, eine Druckdüse simulierend, von oben auf das Druckbett drücken. Sollte sich dabei das Heizbett am Gewinde einer der Schrauben verklemmen, sind vermutlich die Schrauben nicht genau lotrecht eingeschraubt. Sie können die Schrauben leicht von Hand in die richtige Position drücken. Falls dies nicht zum Erfolg führt, entfernen Sie mit einer Feile oder einem Streifen Schleifpapier das Gewinde an den Schraubenköpfen auf ca. 10 mm Länge und probieren es erneut.

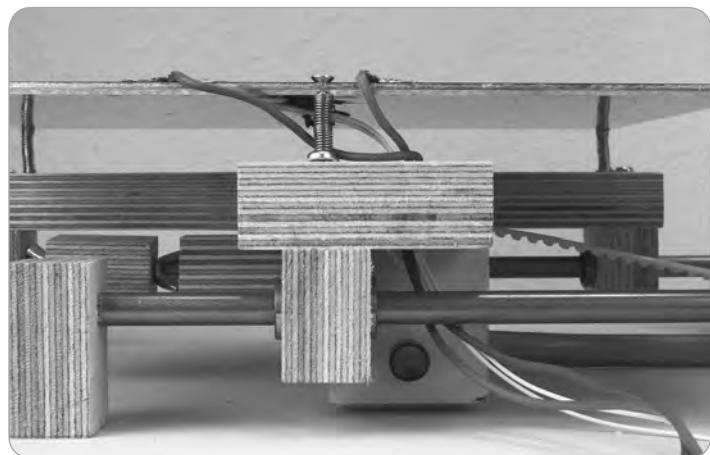
5.8.4 Elektrische Anschlüsse für das Heizbett einfädeln

Nachdem der mechanische Teil des Druckbetts funktioniert, sollten Sie die Kabel versorgen, um diesen Bauabschnitt abzuschließen, was Ihnen mühelos gelingen dürfte.

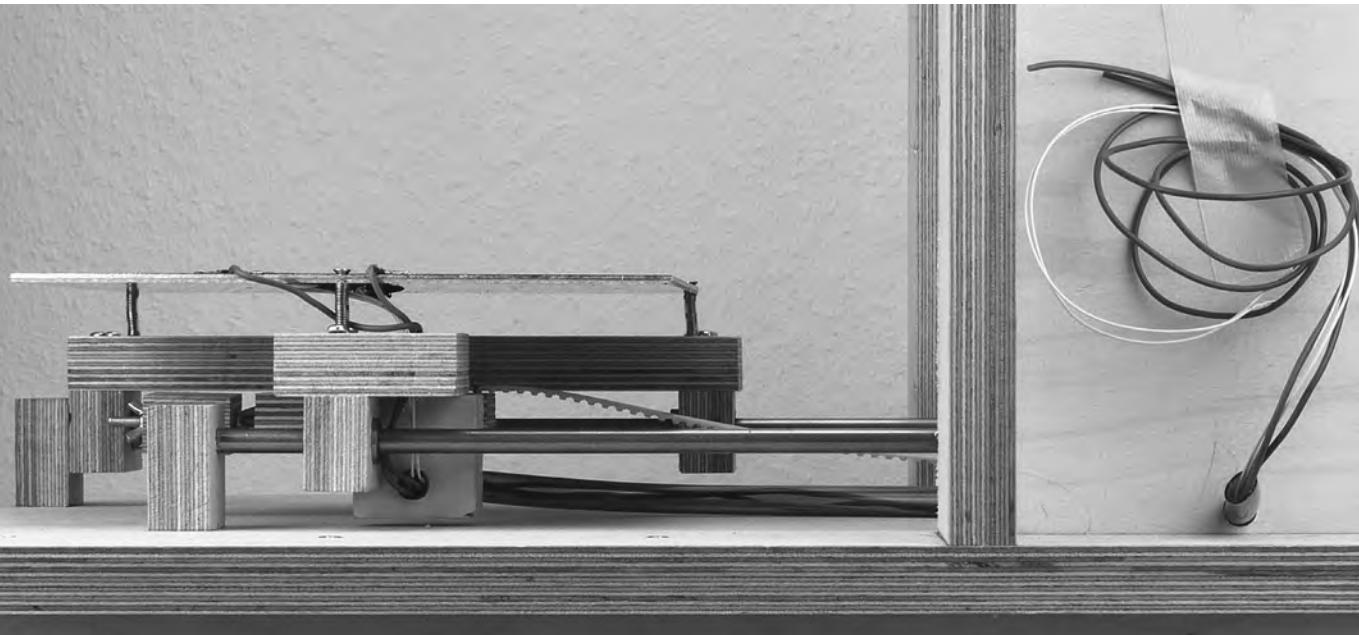
- 1** Fädeln Sie die vier Kabel so durch die Bohrung im Druckbetthalter, dass sie hinter der Schraube für die Federung und hinter der Welle liegen, wenn Sie den Druckerrohbau von der rechten Seite aus betrachten. Orientieren Sie sich am Bild.



Die Kabel des Heizbetts sollten Sie zwischen Welle und Kabelführungshalter hindurchführen.



- 2 Fädeln Sie nun die vier Kabel in den Aquariumschlauch ein und schieben Sie Kabel für Kabel durch, bis sie jeweils am anderen Ende des Schlauchs wieder erscheinen. Testen Sie kurz, ob sich das Druckbett noch problemlos auf seiner Linearführung bewegen lässt, und sichern Sie die Kabel am Seitenteil provisorisch mit einem Streifen Klebeband.

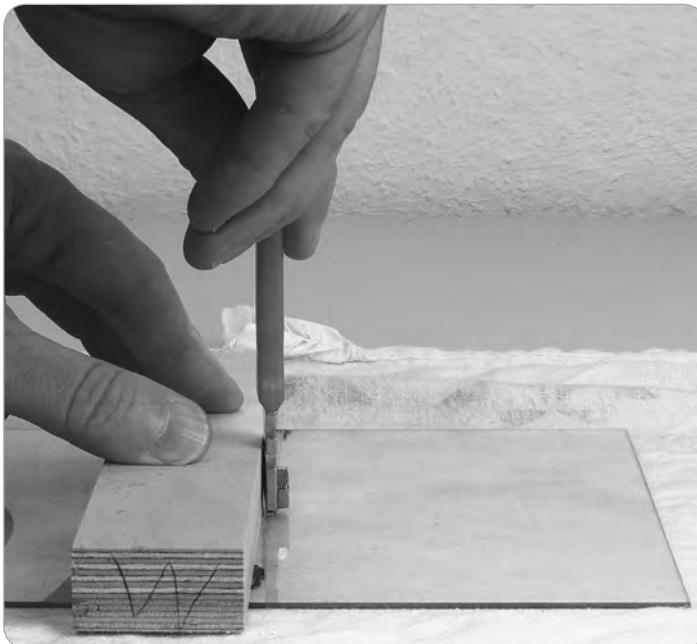


Die vier Kabel zum Heizbett sind verlegt und bereit für den späteren Anschluss an die Steuerung.

5.8.5 Glasplatte zuschneiden und testweise auflegen

Sie benötigen eine 1,25 mm bis 1,5 mm dicke Glasplatte mit den Abmessungen 200 x 200 mm und später im Druckbetrieb eventuell ab und zu eine Ersatzscheibe. Geeignet sind Spiegelfliesen oder das matte Glas eines rahmenlosen Bilderrahmers. Falls Sie keinen Glaser finden, der Ihnen den Zuschnitt umsonst erledigt, ist dies kein Problem. Die Handhabung eines Glasschneiders ist denkbar einfach.

- 1 Bringen Sie Markierungen für den ersten Schnitt am Glas an. Geeignet dafür ist z.B. ein CD-Marker. Zeichnen Sie den Schnitt parallel zu einer geraden Kante des Glases mit einem Abstand von 197 mm ein. Die 3 mm Abzug sind der Schneidehalterung geschuldet.
- 2 Legen Sie ein glattes Tuch auf eine ebene Fläche und die Glasplatte darauf. Legen Sie ein Lineal oder hilfsweise ein Stück Multiplexstreifen als Anschlag an die Markierung.
- 3 Setzen Sie den Glasschneider am Rand des Glases, am Anschlag anliegend, auf und fahren Sie unter leichter Druckanwendung am Anschlag entlang bis zur anderen Kante des Glases, um es dadurch einzuritzen. Orientieren Sie sich am Bild.



Ein Anschlag hilft, das Glas gradlinig anzuritzen.

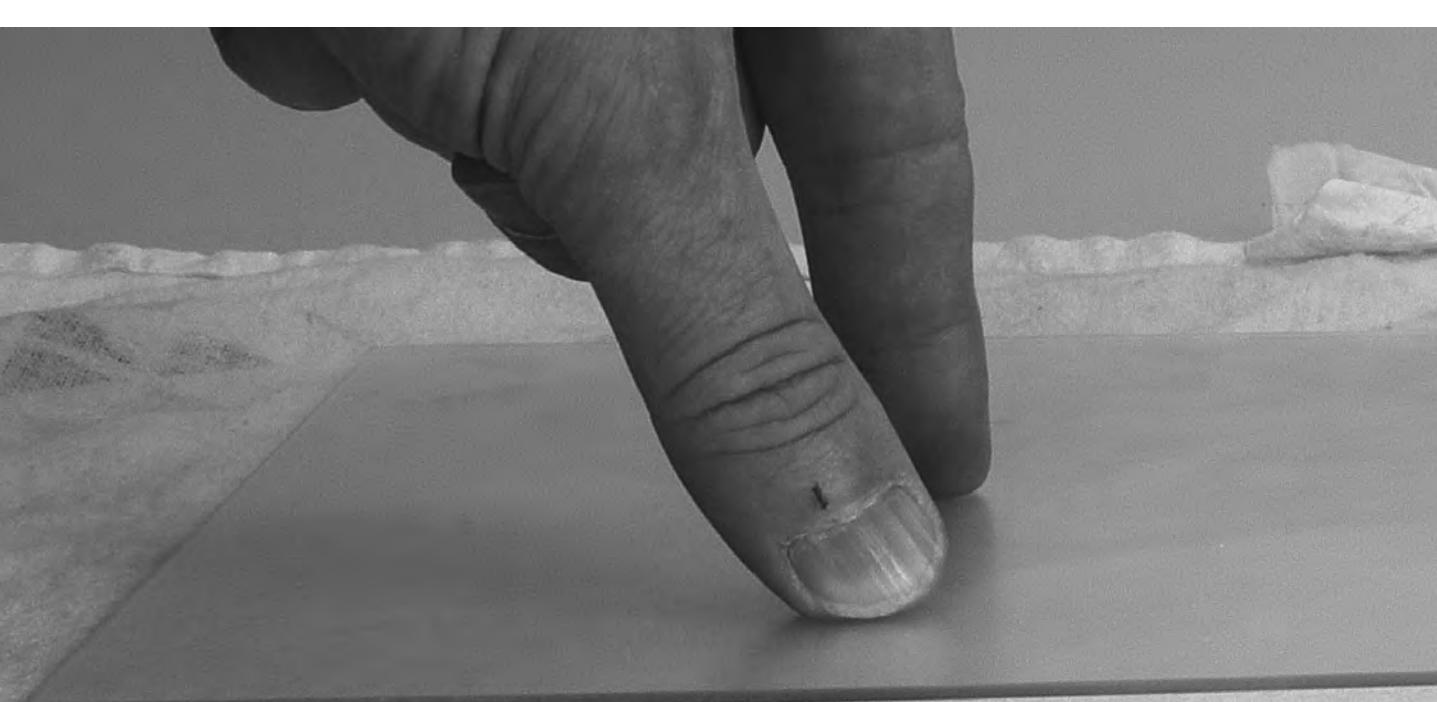


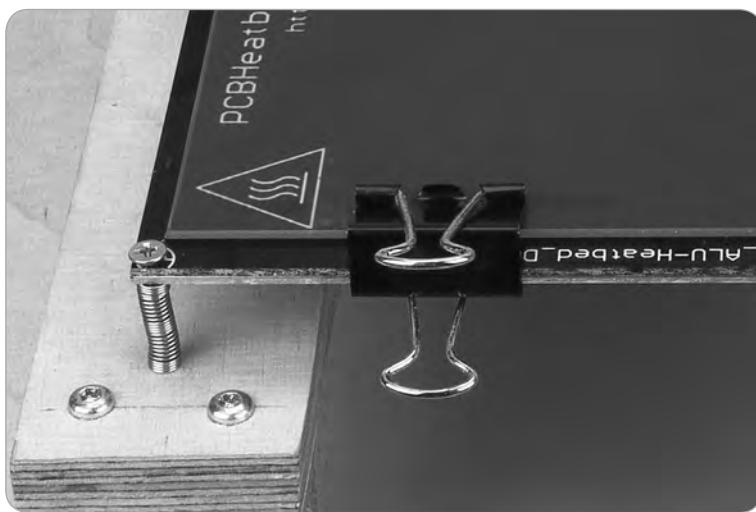
VERLETZUNGSGEFAHR DURCH SCHARFE GLASKANTEN

Beim Glasschneiden entstehen am Glas scharfe Kanten, die Verletzungsgefahr bedeuten. Sie können die Gefahr bannen, indem Sie die Kanten schleifen (im Fachjargon auch »brechen« genannt). Beachten Sie dabei jedoch, dass Sie sich auch beim Schleifen schon erheblich verletzen können. Arbeiten Sie achtsam und verwenden Sie geeignete Arbeitshandschuhe, um sich zu schützen.

HINWEIS

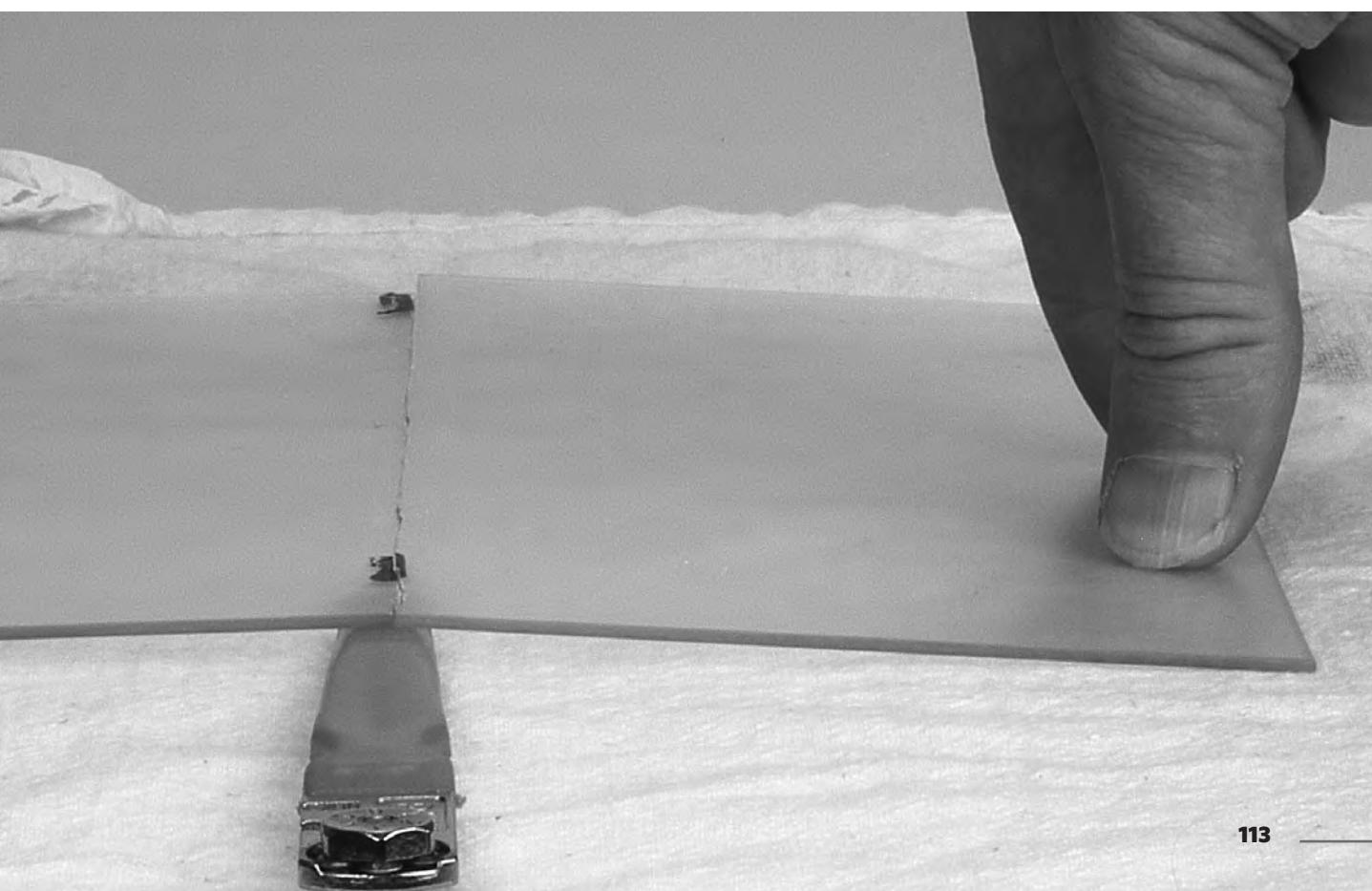
- 4 Legen Sie den flachen Griff des Glasschneiders an einer Glaskante direkt unter die erzeugte Einritzung. Drücken Sie dann links und rechts vom Glasschneider die Scheibe nach unten, um das Glas zu brechen. Orientieren Sie sich am Bild.
- 5 Schneiden Sie auf die gleiche Weise das Glas weiter zu, bis Sie eine rechtwinklig geschnittene, 200 x 200 mm große Scheibe erzeugt haben.
- 6 Brechen Sie die scharfen Schnittkanten mit Schleifpapier der Körnung 120.
- 7 Legen Sie das Glas testweise auf das Heizbett und befestigen Sie es mit vier Folder-Klemmern. Stellen Sie sicher, dass das Glas plan aufliegt. Ist das nicht der Fall, weil z. B. eine Justierschraube oder eine Lötstelle stört, beseitigen Sie die Störung. Mögliche Vorgehensweisen sind z. B. die Verwendung einer geringfügig kleineren Glasplatte oder eine leichte Korrektur der Position des störenden Elements. Orientieren Sie sich am Bild.

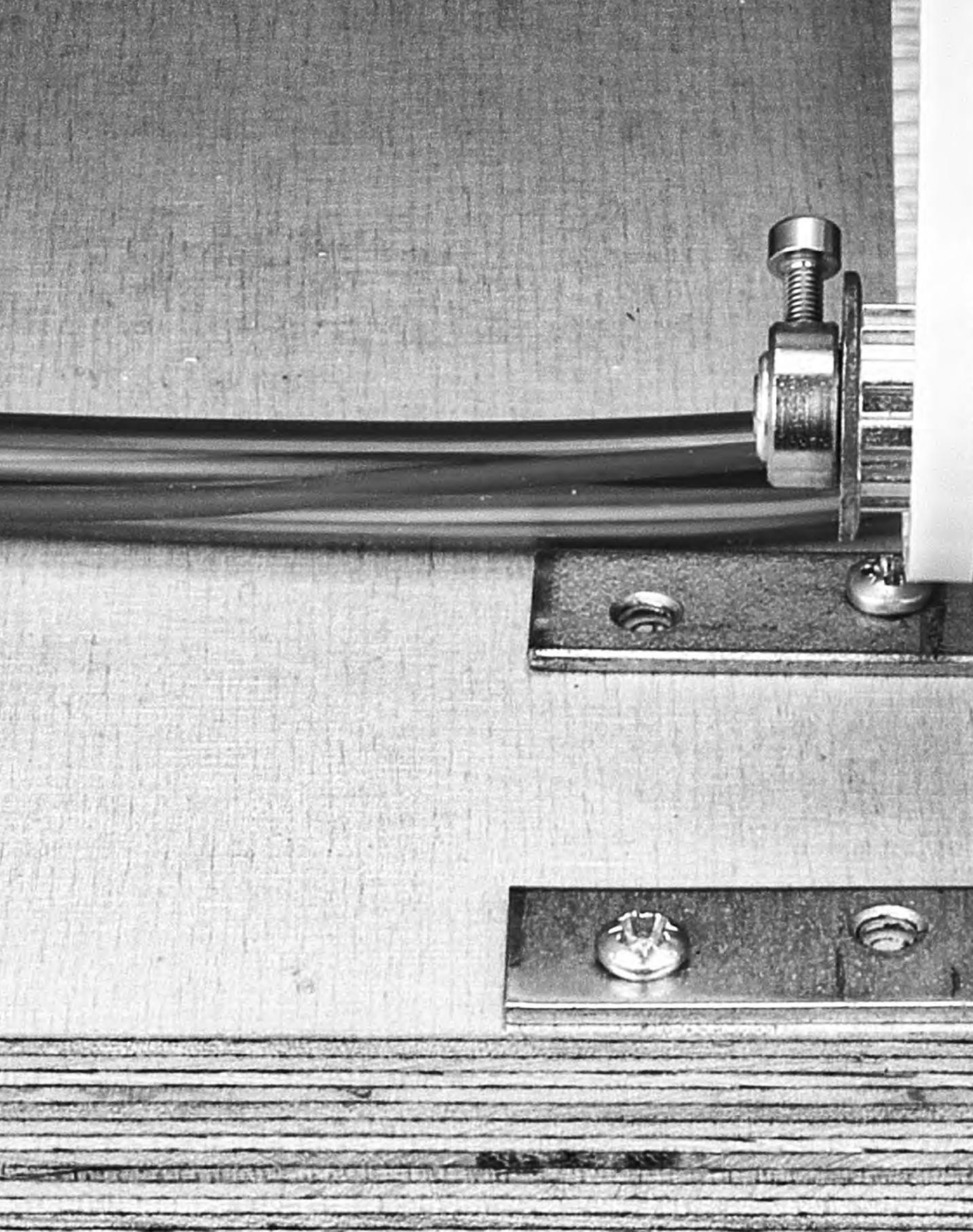




Folder-Klemmen halten die Glasplatte auf dem Heizbett.

Das geritzte Glas lässt sich durch leichten Druck über dem flachen Ende des Glasschneiders brechen.





6

ANTRIEBS- MOTOR FÜR DIE Y-ACHSE EINBAUEN

6.1 Steppermotor und Umlenkrollen-
halter montieren 116

Wantai Stepper Motor
Model: 42BYGHW811
2.5A(U) 1.8deg/step (€)
www.wantmotor.com



AUSSENDURCHMESSER DES PULLEYS MESSEN

Es gibt mehrere Zahnriemen-Pulley-Kombinationen, die Sie für den Druckerbau verwenden können. Wie weit das Druckbett pro Motorumdrehung bewegt wird, hängt nur vom Durchmesser des Pulleys ab. Für das spätere Konfigurieren der Firmware ist es sinnvoll, dieses Maß vor dem Einbau zu ermitteln, falls Sie einen anderen als den in der Einkaufsliste empfohlenen Pulley verwenden.

TIPP!



Zwischen Pulley und Motorgehäuse sollten Sie etwas Luft lassen.



Zwei Stuhlwinkel dienen als preisgünstige Motorhalter.

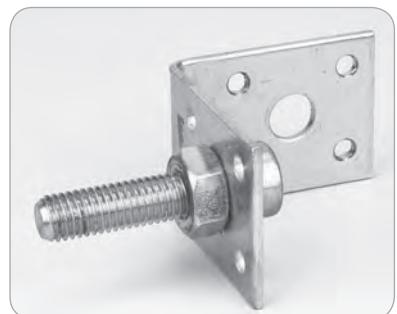
- Das Druckbett wird im Betrieb über den Zahnriemen angetrieben, dessen eines Ende Sie schon am Riemenspanner befestigt haben. Der Riemen läuft vom Riemenspanner nach hinten und um eine motorisch angetriebene Zahnriemenscheibe herum wieder nach vorne, dort wiederum über eine Rolle umgelenkt zurück zum Riemenspanner.

6.1 STEPPERMOTOR UND UMLENKROLLENHALTER MONTIEREN

Für diesen Bauabschnitt benötigen Sie einen Halter für den Steppermotor mit seinem Pulley, einen weiteren Halter für die Umlenkrolle sowie die Umlenkrolle selbst. Beide Halter können Sie mit günstigen Materialien aus dem Baumarkt realisieren. Sie können auch gleich ein zweites Paar Motor/Umlenkrollenhalter bauen, die Sie später für den Antrieb der x-Achse einsetzen können.

- 1 Setzen Sie einen Pulley auf die Achse eines Nema17-Motors. Achten Sie darauf, dass zwischen dem Pulley und dem Gehäuse des Motors ein Spalt von ca. 1mm bleibt, damit hier keine Reibung oder gar ein Blockieren des Motors entstehen kann. Schrauben Sie den Pulley mittels der mitgelieferten Schraube an der Motorwelle fest.
- 2 Schrauben Sie zwei sogenannte Stuhlwinkel am Motor fest. Orientieren Sie sich am Bild. Drehen Sie die Schrauben noch nicht fest. Die Winkel sollten das Maß 40 x 40 x 15 mm, die metrischen Schrauben einen flachen Kopf und das Maß 3 x 5 mm besitzen. Falls Sie beim Einkauf keine 5 mm langen Schrauben finden, müssen Sie längere selbst kürzen.
- 3 Der Halter der Umlenkrolle besteht aus einem Bauwinkel, im Handel oft auch Winkelverbinder genannt, mit den Maßen 50 x 50 x 35 mm. Kaufen Sie die Sorte Winkel, die in ihren Schenkeln mittig Bohrungen mit mindestens 10 mm Durchmesser besitzen. Dies erspart Ihnen die Arbeit, eine solche Bohrung selbst durchführen zu müssen. Stecken Sie eine M10 x 40-Schraube durch die Bohrung im Winkelschenkel und schrauben Sie dann eine M10-Mutter auf. Ziehen Sie die Mutter gut fest.

- 4** Fädeln Sie zuerst eine Unterlegscheibe (die in dieser Größe oft auch Karosseriescheiben genannt werden), ein Kugellager und eine weitere Karosseriescheibe auf die Schraube. Drehen Sie schließlich eine M10-Stopmutter so weit auf die Schraube, dass das Kugellager möglichst wenig seitliches Spiel hat, sich aber noch frei drehen lässt. Orientieren Sie sich am Bild. Das Kugellager sollte einen Außendurchmesser von 30 mm und einen Innendurchmesser von 10 mm bei 9 mm Dicke besitzen, die Maße der Karosseriescheiben sollten außen 33 mm und innen 11 mm betragen.



Eine M10-Schraube bildet die Achse für die Umlenkrolle.

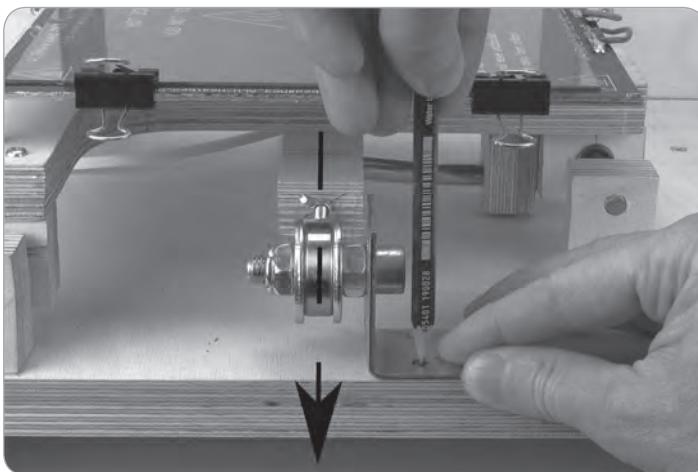
6.1.1 Die Umlenkrolle auf den Grundrahmen schrauben

Da sich beim Bau des Druckbetts und seiner Linearführung Maßfehler aufgeschaukelt haben können, kann es sein, dass der Zahnriemen nicht ganz genau auf der Symmetriearchse des Druckers läuft. Dies ist jedoch kein Problem. Sie können die Einbauposition des Umlenkrollenhalters (und später des Motorhalters) per Augenmaß ermitteln.

- 1** Ermitteln Sie die optimale Einbauposition für den Umlenkrollenhalter und markieren Sie mit einem Bleistift die für die Montageschrauben nötigen Bohrlöcher. Der Halter sollte direkt an der Vorderkante des Grundrahmens seinen Platz finden. Die Gewindestange des Zahnriemenspanners sollte dabei in ihrer gedachten Verlängerung genau auf das Kugellager der Umlenkrolle zeigen. Orientieren Sie sich am Bild.



So sieht eine zusammengebaute Umlenkrolle samt Halter aus dem Baumarkt aus.



Die richtige Position für die Umlenkrolle und ihren Halter finden Sie mit etwas Augenmaß, indem Sie über die Rolle auf die Stange des Spanners peilen.



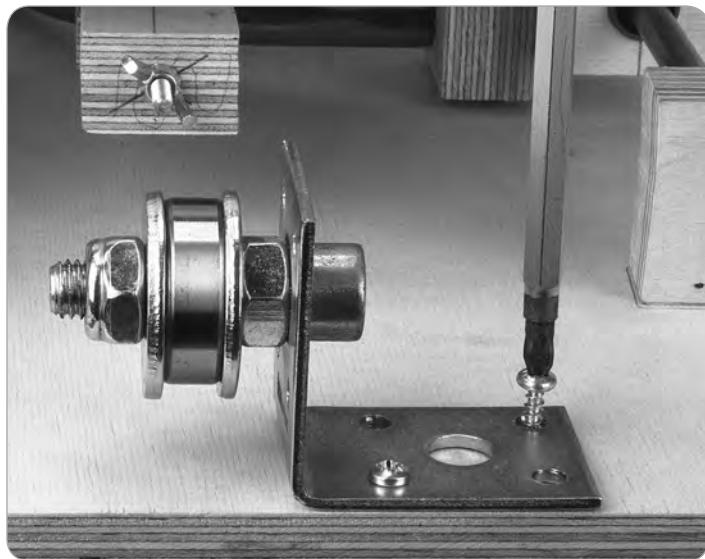
SKATEBOARDKUGELLAGER ALS ALTERNATIVE

Falls Sie keine 30-x-10-x-9-mm-Kugellager auftreiben können, tun es zur Not auch Lager für Skateboards, die Sie vermutlich in jedem Sportgeschäft finden. Diese haben jedoch nur die Maße 22 x 8 x 7 mm. Das bedeutet dreierlei: Der Zahnrämen wird beim Umlenken stärker gebogen, und Sie benötigen zur Montage Schrauben und Muttern für die Gewindegröße M8. Problematisch kann es aber wiederum werden, M8-Unterlegscheiben zu finden, die einen Außendurchmesser von wenigstens 25 mm haben. Dies ist wichtig, damit später der Zahnrämen nicht von der Rolle rutscht. Im Notfall nehmen Sie Scheiben, die für die Normgröße M10 gefertigt wurden.

Außerdem müssen Sie später die Materialstärke der Zahnrämenspanner vermindern, damit der Riemen nicht daran hängen bleibt.

TIPP!

- 2 Bohren Sie Löcher mit einem 2-mm-Bohrer ca. 15 mm tief vor, um die Montageschrauben leichter eindrehen zu können. Verwenden Sie zwei 3-x-16-mm-Spannplattenschrauben mit flachem Kopf, diagonal angebracht, um den Umlenkrollenhalter festzuschrauben. Drehen Sie die Schrauben noch nicht ganz fest, um in einem späteren Arbeitsschritt die genaue Position des Halters nachjustieren zu können. Die beiden noch fehlenden Schrauben können Sie einschrauben, sobald später die Justage der Umlenkrolle erfolgreich war.

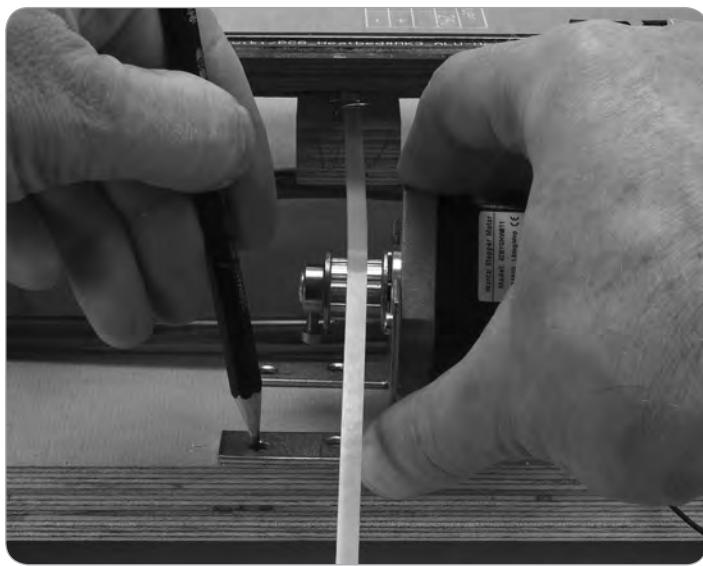


Bis zur endgültigen Justage der Umlenkrolle genügen zwei Schrauben, um ihren Halter zu befestigen.

6.1.2 Motor für die y-Achse auf den Grundrahmen schrauben

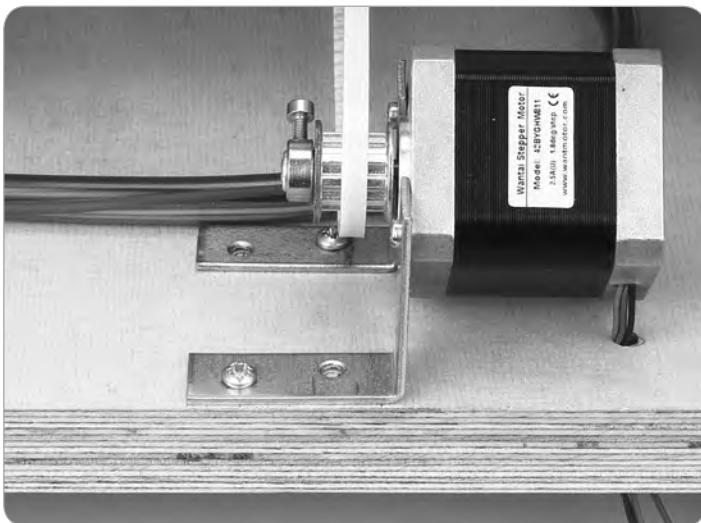
Dabei können Sie analog zur Montage der Umlenkrolle vorgehen. Zusätzlich benötigen Sie noch eine Bohrung zur Durchführung der elektrischen Anschlüsse des Motors.

- 1 Ermitteln Sie mit Augenmaß die optimale Einbauposition für den Steppermotor und markieren Sie mit einem Bleistift die für die Montageschrauben nötigen Bohrlöcher. Orientieren Sie sich am Bild. Markieren Sie auch gleich die Position für ein Bohrloch direkt unter der Stelle am Motor, an dem die Verkabelung aus diesem herausgeführt ist.



Auch die Position des Stepermotors können Sie mit etwas Augenmaß mühelos ermitteln.

- 2** Bringen Sie an den Markierungen für die Montageschrauben jeweils eine 2-mm-Bohrung mit ca. 15 mm Tiefe an und an der Stelle für die Kabeldurchführung ein 5-mm-Bohrloch.
- 3** Schrauben Sie den Motor zuerst nur mit zwei diagonal gesetzten 3-x-16-mm-Spanplattenschrauben mit flachem Kopf an. Die beiden noch fehlenden Schrauben können Sie eindrehen, sobald Sie später die Justage des Motors erledigt haben. Führen Sie auch gleich die Anschlusskabel des Motors durch die Grundplatte nach unten und kleben Sie sie dort provisorisch mit einem Streifen Klebeband fest.



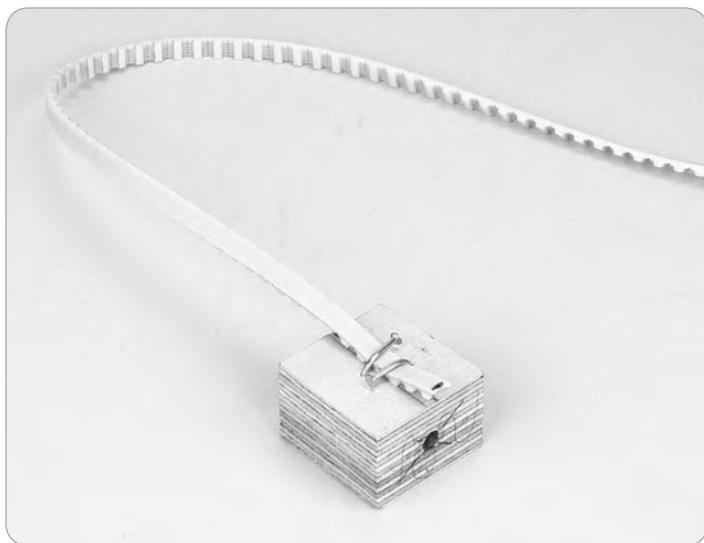
Der Stepermotor hat seinen Platz auf der Grundplatte gefunden.



6.1.3 Zahnriemen montieren und spannen

Zuletzt gilt es, den Zahnriemen einzubauen und danach die Positionen des Motors und die Umlenkrolle zu justieren, um die Mechanik der y-Achse zu komplettieren. Dabei kommt es jedoch nicht auf Hundertstelmillimeter an, sodass Ihnen das Riemenspannen und Justieren im Nu gelingen wird.

- 1 Schrauben Sie zunächst den 30 x 30 x 21 mm großen beweglichen Teil des Riemenspanners wieder ab. Tackern oder nageln Sie den Zahnriemen an das bewegliche Riemenspannteil. Orientieren Sie sich am Bild. Achten Sie darauf, dass die Zähne des Riems auf dem Holzklötzchen aufliegen und dass der Riemen in Richtung der gedachten Verlängerung der Symmetriearchse der Bohrung im Klötzchen verläuft.



Für die Befestigung des Zahnriemens am Riemenspanner genügen kleine Nägel oder Tackernadeln.

- 2 Bringen Sie nun den Zahnriemen in Position. Er muss vom unbeweglichen Teil des Riemenspanners, an den Sie ihn in einem vorangegangenen Bauabschnitt schon befestigt haben, um den Pulley des Steppermotors herum unter dem Druckbetthalter hindurch zurück in Richtung Umlenkrolle auf der anderen Seite, dann um diese herum und schließlich zurück zum Riemenspanner laufen. Dort können Sie den Riemen montieren, indem Sie ihn einfach wieder auf die Gewindestange stecken und mit einer Mutter spannen. Orientieren Sie sich am Bild.



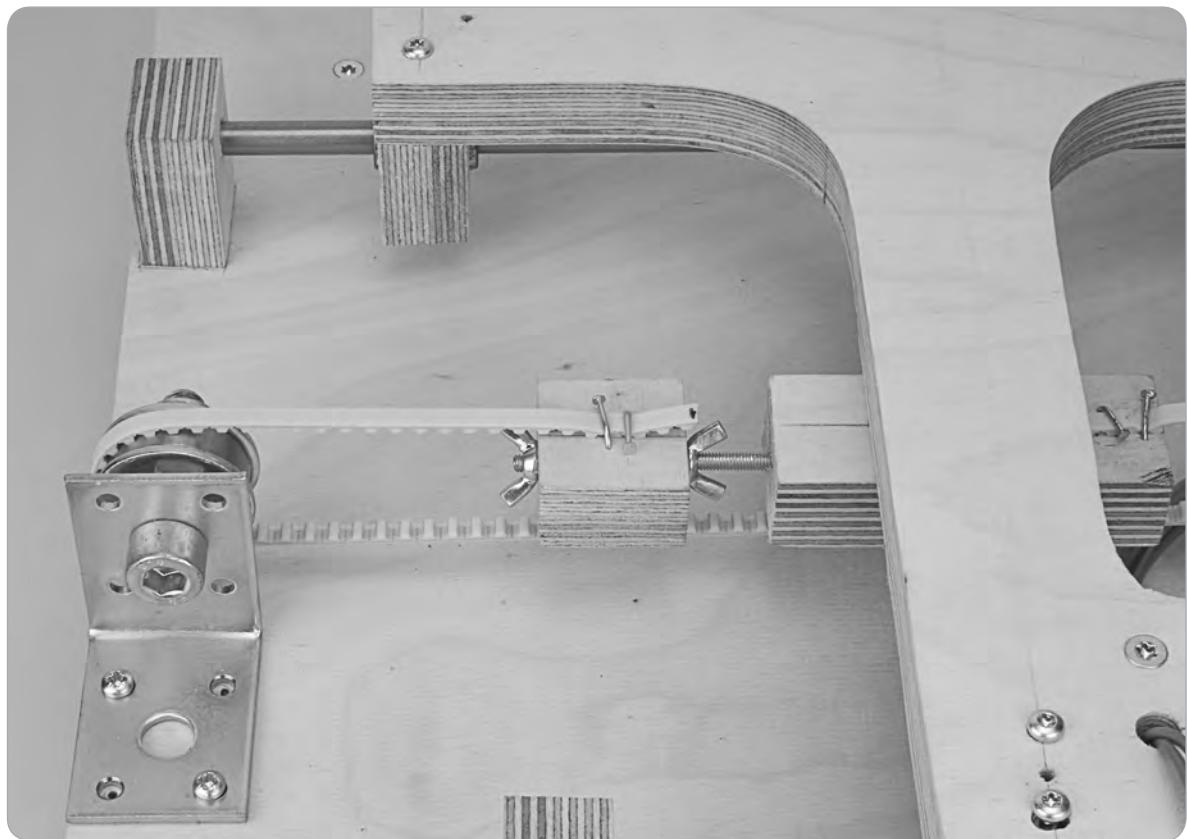
So sollte der obere Teil des Zahnrümens verlaufen. Der untere Teil läuft parallel dazu unter dem Druckbetthalter von Umlenkpunkt zu Umlenkpunkt.



- 3 Den Riemen spannen Sie ganz einfach, indem Sie die Muttern auf der Gewindestange des Riemenspanners so verdrehen, dass das Holzklötzchen, auf das der Riemen getackert ist, in Richtung Druckbetthalter gedrückt wird – und zwar so weit, dass der Riemen eine hinreichende, aber nicht zu große Spannung aufweist. Wenn der untere Teil des Zahnriemens einen tiefen Ton, wie er auch von einem Bass kommen könnte, abgibt, sobald Sie daran zupfen, ist die Spannung ausreichend.

Mit der im Bild links auf der Gewindestange des Riemenspanners sitzenden Flügelmutter können Sie die Spannung regulieren, die Mutter rechts dient der Sicherung.

Wird der Ton hoch wie bei einer Gitarre, ist die Spannung zu hoch. Sie können mit der näher zur Umlenkrolle sitzenden Mutter den Riemen wie ein Saiteninstrument stimmen. Die andere Mutter, die näher zum Druckbetthalter hin auf der Gewindestange sitzt, drehen Sie, sobald der Ton gut ist, in Richtung Umlenkrolle, bis das Holzklötzchen zwischen beiden Muttern gekontert, d. h. eingeklemmt ist. Das dient der Sicherung, weil dadurch gewährleistet ist, dass sich die Einstellmutter nicht mehr (z.B. durch Vibrationen) verdrehen kann.



6.1.4 Lage von Umlenkrolle und Antriebsmotor justieren

Mit der Justage der Einbaulage der Halter von Umlenkrolle und Motor verhindern Sie, dass der Zahnriemen im Druckbetrieb schräg läuft und schlimmstenfalls von der Umlenkrolle oder dem Pulley springt.

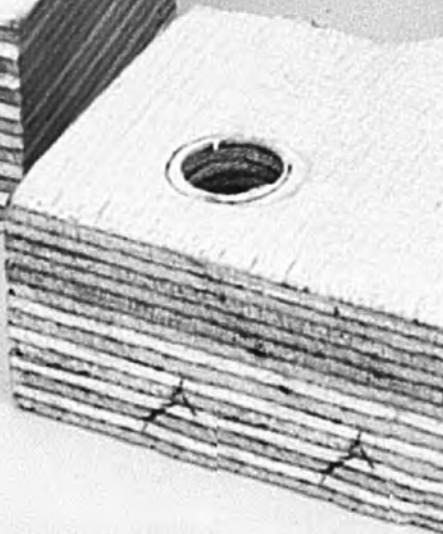
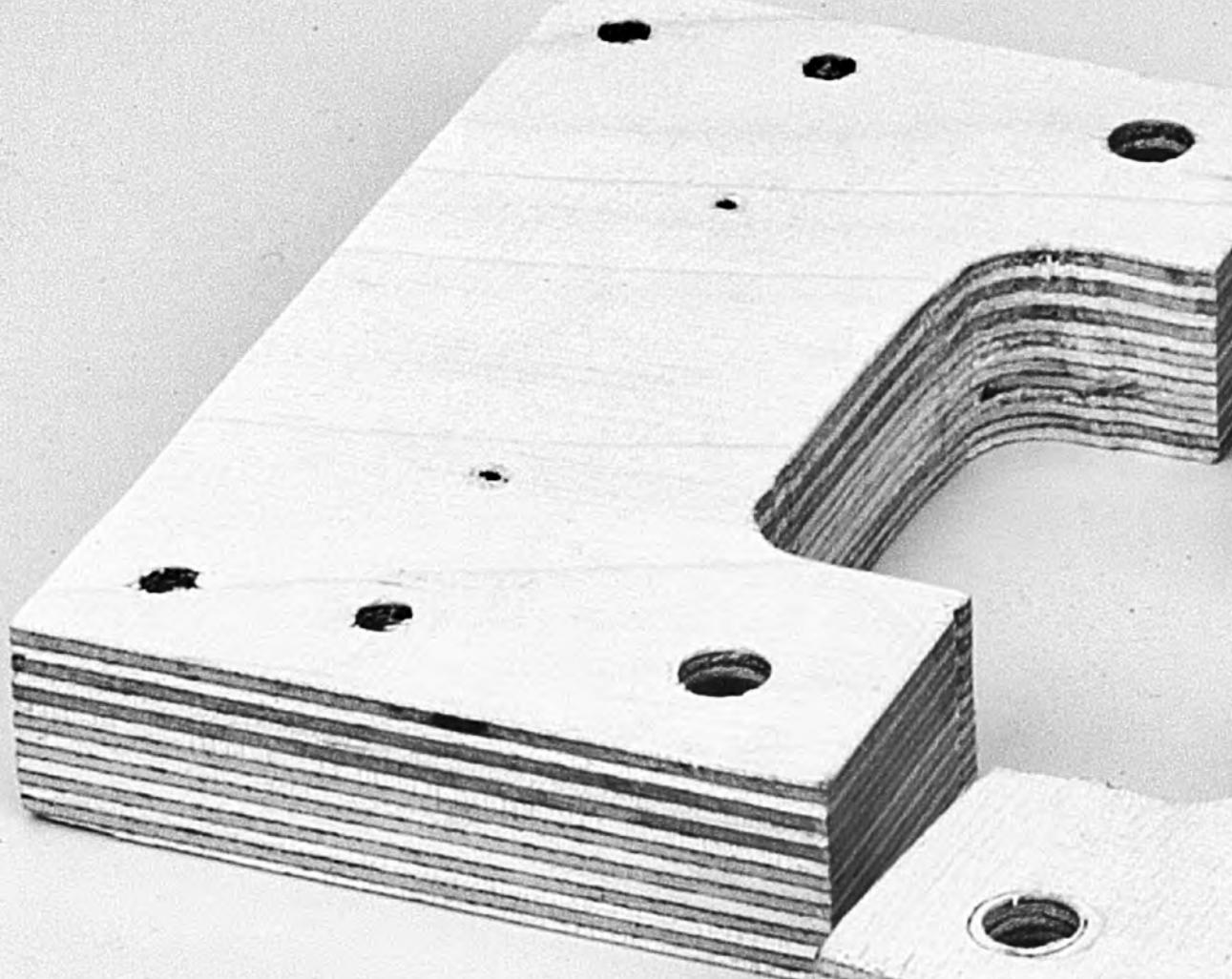
- 1 Bewegen Sie den Druckbetthalter einige Male nach vorne und hinten bis in seine jeweilige Endposition. Beobachten Sie dabei das Verhalten des Riemens zunächst auf der Umlenkrolle. Läuft der Riemen dabei permanent auf die linke Unterlegscheibe auf, sollten Sie den Rollenhalter parallel zur Grundplattenkante komplett nach links versetzen, läuft er auf die rechte Scheibe auf, entsprechend nach rechts. Läuft der Riemen hingegen auf der Rolle von links nach rechts oder von rechts nach links, sollten Sie den Halter etwas verdrehen.

Wie weit Sie den Halter verdrehen oder verschieben müssen, ermitteln Sie durch Versuch und Irrtum. Lösen Sie dazu die beiden Montageschrauben des Halters so weit, dass Sie ihn verschieben oder verdrehen können, und testen Sie die Veränderung, bis Sie die Stellung gefunden haben, in der der Riemen beim Bewegen des Druckbthalters immer etwa in der Mitte der Rolle bleibt. Es kommt hier nicht auf absolute Genauigkeit an. Der Riemen darf durchaus ein wenig auf der Rolle oder dem Pulley hin- und herlaufen, solange er nicht auf die Flanken aufläuft oder gar abspringt.

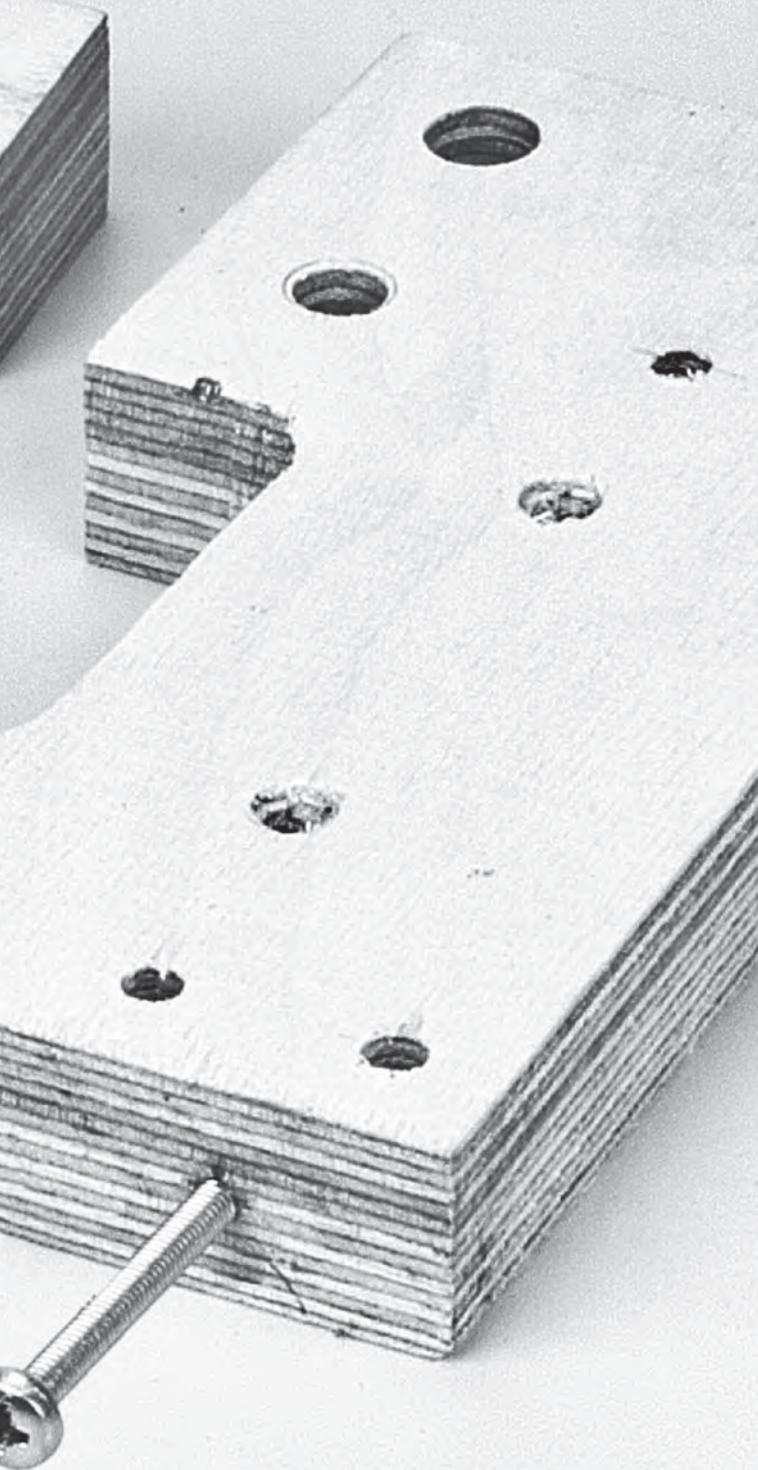
- 2 Haben Sie die richtige Position für den Rollenhalter gefunden, drehen Sie die beiden Montageschrauben fest und ergänzen noch die beiden fehlenden 3-x-16-mm-Spanplattenschrauben mit flachem Kopf. Es kann Ihnen allerdings passieren, dass die Justiermöglichkeiten durch die Übergröße der Bohrungen des Halters im Vergleich zu den Durchmessern der Montageschrauben nicht genügen. In diesem Fall müssten Sie die Schrauben entfernen und mit dem nötigen Versatz neu in die Grundplatte schrauben, was jedoch im Multiplexmaterial absolut kein Problem darstellt. Überprüfen Sie jedoch bitte, ob der Zahnriemenspanner noch korrekt unter den Druckbthalter geschraubt ist, bevor Sie Schrauben versetzen. Vielleicht hat er sich ja nur bei der Montage leicht verdreht.
- 3 Justieren Sie schließlich, analog zu Schritt 1 und 2, noch den Motorhalter so, dass der Zahnriemen etwa in der Mitte des Pulleys läuft, wenn Sie den Druckbetthalter nach vorne und hinten bewegen. Wenn Sie die richtige Position für den Halter gefunden haben, drehen Sie die beiden schon vorhandenen Montageschrauben gut fest und ergänzen die beiden noch fehlenden.

TIPP: Denken Sie daran: Der Riemen muss nicht hundertprozentig genau mittig laufen. Wichtig ist nur seine reibungslose Funktion.





7



EXTRUDER- HALTER UND LINEAR- FÜHRUNG FÜR DIE X-ACHSE

- | | | |
|-----|---|-----|
| 7.1 | Halter zusägen und mit Bohrungen versehen | 126 |
| 7.2 | Kugellager für die x-Achse montieren | 130 |
| 7.3 | Druckkopfhalter an den Extruder anpassen | 133 |
| 7.4 | Rampa-Muffen einschrauben und Wellenhalter zusammenbauen .. | 137 |
| 7.5 | Wellen für die x-Achse montieren | 140 |
| 7.6 | Linearführung für die z-Achse einbauen | 142 |
| 7.7 | Antrieb für die z-Achse einbauen | 147 |



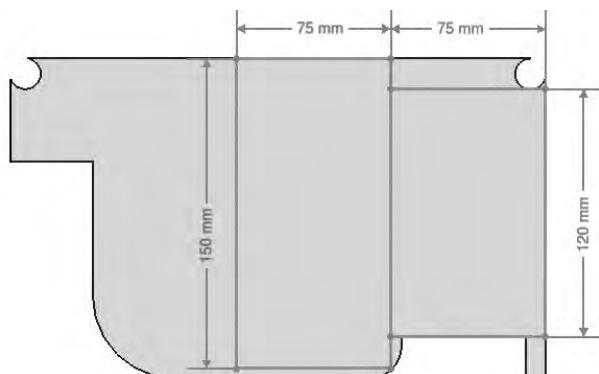
■ Der Extruder, im Buch oft auch Druckkopf genannt, ist das zentrale Bauteil Ihres Druckers, ohne den gar nichts geht. Genau aus diesem Grund ist der FranzisMendel so konstruiert, dass Sie ihn zu Reinigungszwecken leicht aus- und einbauen können. Aber auch an eine Um- oder Aufrüstung mit einem komplett anders konstruierten Druckkopf wurde bei der Konzeption des FranzisMendel gedacht. Wollen Sie z.B. einen billigen MakerBot-Extruder-Nachbau, den Sie sich als Erstausstattung angeschafft haben, durch einen professionellen BulldogXL ersetzen, sind nur ein paar Modifikationen am Extruderhalter nötig, die problemlos machbar sind. Meist müssen Sie lediglich ein paar neue Bohrungen setzen, wenn Montageschrauben anders positioniert sind.

7.1 HALTER ZUSÄGEN UND MIT BOHRUNGEN VERSEHEN

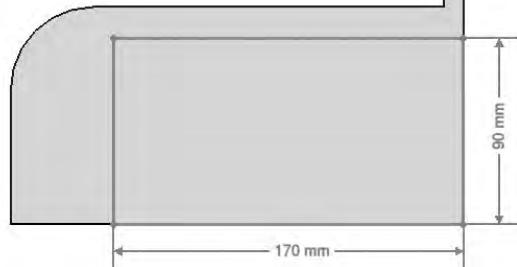
Viele Bautätigkeiten für die Konstruktion der x-Achsen-Linearführung kennen Sie schon vom Bau der y-Achsen-Linearführung. Hier fasst sich das Buch kurz. Noch nicht beschriebene Tätigkeiten und Besonderheiten werden selbstverständlich ausführlich dargelegt. Der Antrieb für die x-Achse wird nach dem Bau des z-Achsen-Antriebs samt zugehöriger Linearführung eingebaut und daher erst später im Buch behandelt.

Während für die y- und die z-Achse die kleinen Wellenhalter zum Einsatz kommen, die Sie schon gebaut haben, sind die Halter für die x-Achse anders konstruiert. Ein Halter nimmt hier gleich je zwei Wellenenden auf. Außerdem werden später Teile des z-Achsen-Antriebs wie z.B. der Motor und die Umlenkrolle an den linken bzw. rechten Halter geschraubt.

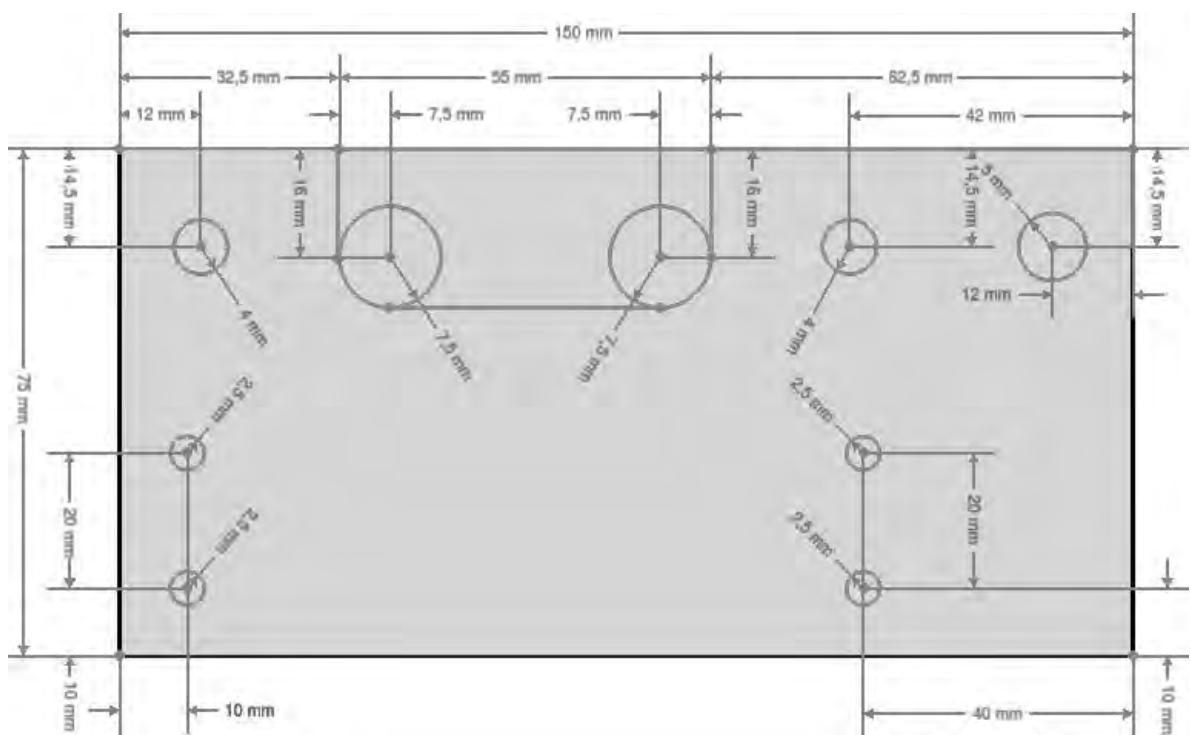
- 1** Zeichnen Sie auf dem Reststück Multiplex, das beim Bau des Druckbetthalters übrig blieb, die Sägeschnitte für jeweils ein Stück der Größe 120 x 75 x 21 mm, der Größe 150 x 75 x 21 mm sowie der Größe 170 x 90 x 21 mm ein und sägen Sie die Stücke zu. Orientieren Sie sich an der Skizze.
- 2** Zeichnen Sie die nötigen Sägeschnitte und Bohrlochmittelpunkte auf dem 150 x 75 mm großen Stück ein. Die beiden Bohrungen mit dem 15-mm-Forstnerbohrer erleichtern später das Zusägen der Ausschnitte. Orientieren Sie sich an der Skizze.
- 3** Es ist nicht wichtig, ob die beiden Wellenhalterrohlinge auf den Millimeter genau zugesägt sind. Sehr wichtig ist hingegen, dass die zwei Bohrungen mit 8 mm Durchmesser in beiden Wellenhaltern den exakt gleichen Abstand und Winkel zueinander besitzen. Um das zu gewährleisten, hilft ein kleiner Trick:

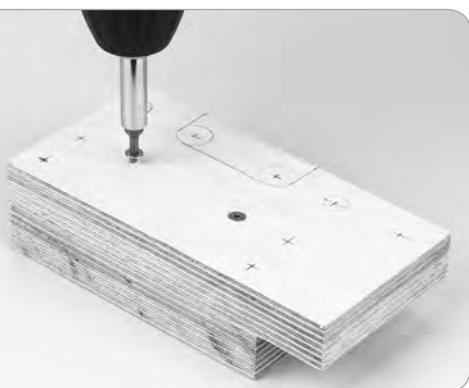


Das Reststück, das beim Druckbett-
halterbau übrig blieb, reicht, um die
beiden Wellenhalter für die x-Achse
und den Druckkopfhalter zu fertigen.



So liegen die Bohrungen und der zu
sägende Ausschnitt auf dem 150 mm
hohen x-Achsen-Wellenhalter.



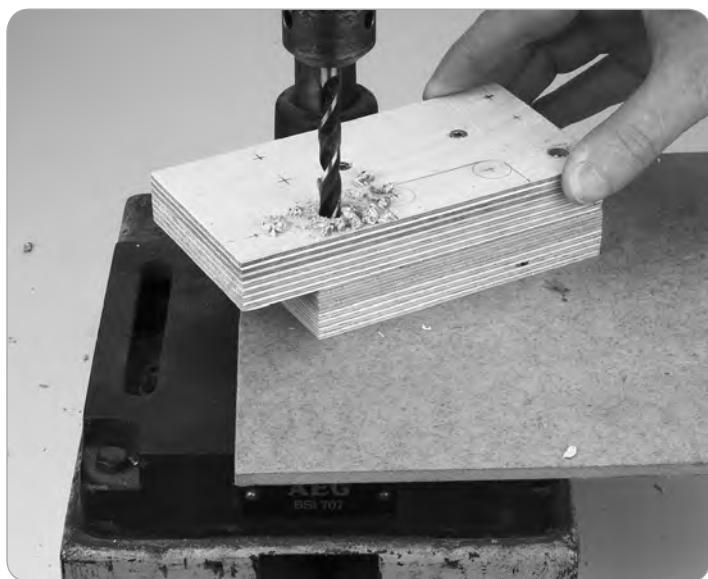


Zwei Schrauben sichern die Wellenhalterrohlinge dagegen, sich beim Bohren zueinander zu verschieben.

Die Bohrungen, die die Wellen aufnehmen, gelingen Ihnen dank des kleinen Zusammenschraubtricks bei beiden Wellenhaltern deckungsgleich. Das Arbeiten mit dem Bohrmaschinenständer sorgt dafür, dass die Bohrungen lotrecht sind.

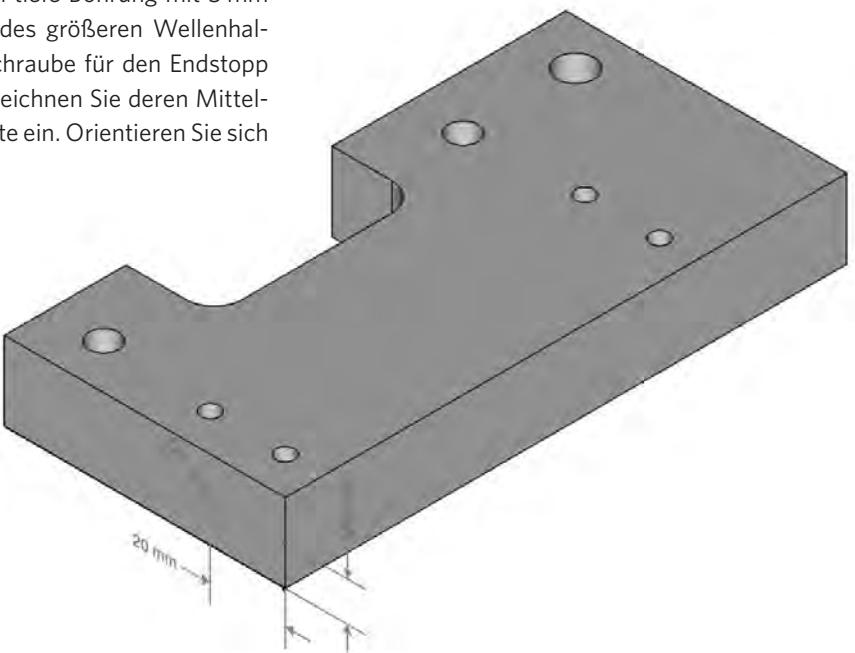
Legen Sie beide Rohlinge an drei Seiten deckend übereinander. Lassen Sie den größeren Halter dort über den kleineren hinausragen, wo später das 10-mm-Bohrloch sitzen soll. Sorgen Sie dafür, dass sich beide Bauteile nicht gegeneinander verschieben können, indem Sie sie mit zwei 3,5-x-35-mm-Spanplattenschrauben zusammenschrauben. Achten Sie dabei darauf, die beiden Schrauben dort anzubringen, wo sie später beim Bohren bzw. Sägen nicht im Weg sind. Orientieren Sie sich am Bild.

- 4** Nun können Sie die diversen Bohrlöcher jeweils durch beide Bauteile gleichzeitig setzen und stellen dabei sicher, dass alle Abstände und Maße, ähnlich wie beim klassischen Durchpausen, gleich sind. Die Bohrung mit 10 mm Durchmesser, die später die Kabelführung aufnimmt, bildet eine Ausnahme, weil sie nur im größeren Wellenhalter angebracht werden muss. Verwenden Sie unbedingt den Bohrmaschinenständer, um sicherzugehen, dass alle Bohrungen lotrecht zur Plattenebene verlaufen. Dies ist vor allem bei den beiden Bohrungen mit 8 mm Durchmesser für die Wellen sehr wichtig. Ein Unterlegholz kann gegen Ausfransen helfen.

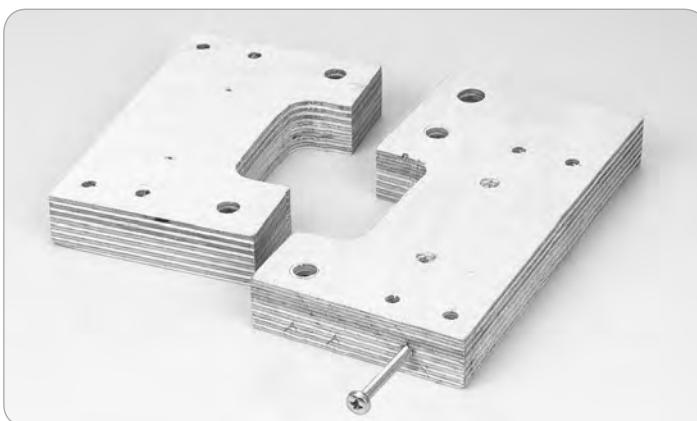


- 5** Sägen Sie den Ausschnitt mit der Stichsäge in beide Bauteile. Wenn Sie über ein Stichsägeblatt verfügen, das lang genug ist, können Sie die beiden Teile dabei zusammengeschraubt lassen. Wenn nicht, sägen Sie die Ausschnitte einzeln.
- 6** Bohren Sie nun mit dem 10-mm-Holzbohrer die Aufnahme für die Kabelführung in den größeren der beiden Halter.

- 7** Jetzt fehlt noch eine ca. 30 mm tiefe Bohrung mit 3 mm Durchmesser in der Stirnseite des größeren Wellenhalters, in der später die Einstellschraube für den Endstop in einem Gewinde laufen soll. Zeichnen Sie deren Mittelpunkt in die betreffende Stirnseite ein. Orientieren Sie sich an der Skizze.



- 8** Die 30 mm tiefe 3-mm-Bohrung in die Stirnseite sollte Ihnen möglichst lotrecht gelingen. Verwenden Sie den Bohrmaschinenständer.
- 9** Schneiden Sie ein 4-mm-Gewinde in das Bohrloch, das Sie gerade am Wellenhalter angebracht haben. Die Länge der Schraube oder Gewindestange, die dort später ihren Dienst als Justierschraube für den Endstop der z-Achse versehen wird, hängt von der jeweiligen Baulänge des Hot-Ends, das Sie verwenden wollen, ab. Sorgen Sie vorerst nur dafür, dass sich 4-mm-Schrauben problemlos ins und im Gewinde drehen lassen.



Die beiden Spezialwellenhalter sind einbaufertig. Die 4-mm-Schraube wird später durch eine in der Länge an das Hot-End angepasste ersetzt.



7.2 KUGELLAGER FÜR DIE X-ACHSE MONTIEREN

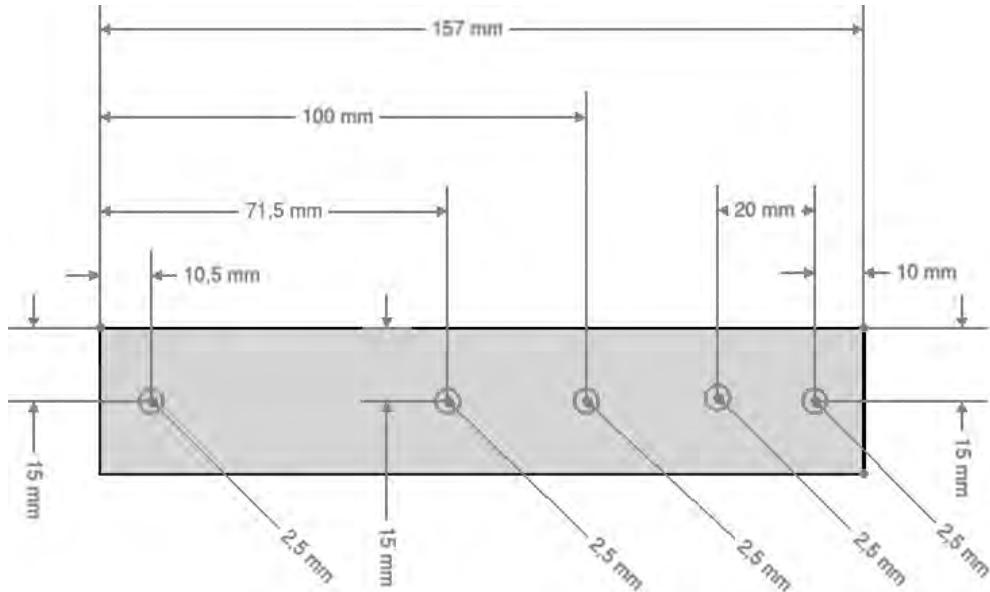
Der Druckkopfhalter, der später den Extruder trägt, besteht aus einem 157 mm langen Stück des 30-mm-Multiplexstreifens, drei Kugellagerhaltern, einem Kabelführungshalter und der 170 x 90 mm großen Multiplexplatte, die Sie schon vorher aus dem Reststück des Portals zugesägt haben. Der Druckkopfhalter ist so konstruiert, dass Sie diese Platte später leicht aus dem Drucker ausbauen können, um z.B. den Extruder zu reinigen oder zu wechseln.

Bei der Bauanleitung für den Druckkopfhalter gibt es eine kleine Besonderheit: Da es sehr viele unterschiedliche Extruder gibt, die noch dazu mit den unterschiedlichsten Hot-Ends kombiniert werden können, ist es nicht möglich, Ihnen für den Bau des Druckkopfhalters eine genaue, eins zu eins umsetzbare Planskizze zur Verfügung zu stellen. Es kann sein, dass Sie für einen speziellen Extruder individuelle Anpassungen vornehmen müssen. Dies ist aber kein wirkliches Problem. Meist müssen Sie nur die Lage der Montageschrauben auf der Trägerplatte variieren. Die konkreten Maße können Sie leicht am vorhandenen Extruder abmessen.

In selteneren Fällen kann es nötig sein, die Lage und/oder die Größe des Ausschnitts für das Hot-End anzupassen. Wie das geht, erfahren Sie weiter unten im Kapitel 7.3 »Druckkopfhalter an den Extruder anpassen«. Hier geht es zunächst darum, einen Teil der Linearführung des Druckkopfhalters zu bauen.

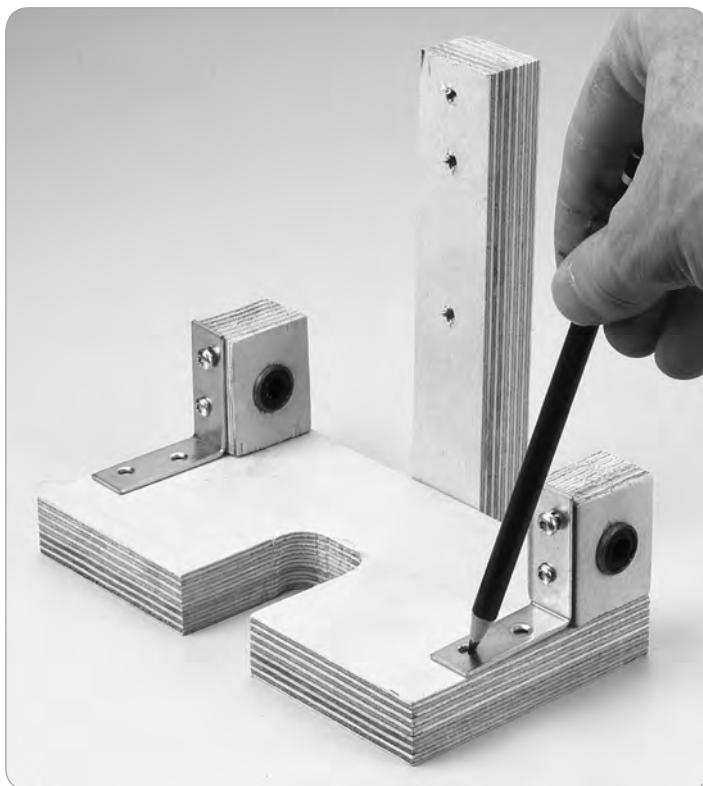
So sollten die Bohrungen mit 5 mm Durchmesser im 157x30 mm großen Multiplexstück sitzen.

- 1 Sägen Sie vom 30 mm breiten Multiplexstreifen ein 157 mm langes Stück rechtwinklig ab und versehen Sie es mit fünf Bohrungen mit je 5 mm Durchmesser. Orientieren Sie sich an der Skizze.



- 2** Stellen Sie die Teile des Druckkopfhalters auf einer ebenen Arbeitsfläche so zusammen, wie sie nach der Montage positioniert sein sollen. Das senkrecht stehende Teil des Druckkopfhalters (157 x 30 mm) sollte an einer der langen Kanten des horizontal liegenden, 170 x 90 mm großen Teils etwa mittig stehen. Eines der Bohrlöcher sollte einen Abstand von 71,5 mm zur Arbeitsfläche haben. Ist das nicht der Fall, steht das Bauteil auf dem Kopf. Drehen Sie es einfach um.

Zeichnen Sie mit einem Bleistift die nötigen Bohrlöcher für die Stuhlwinkel in das horizontal liegende Teil des Druckkopfhalters. Stecken Sie eine Kugelschreibermine – zur Not tut es auch ein kleiner Nagel – durch die Bohrung im senkrechten Teil des Druckkopfhalters, um eine Markierung für eine Bohrung, die die Montageschraube für dieses Teil aufnimmt, zu erzeugen. Orientieren Sie sich an der Skizze von Schritt 1 und am Bild.



Die Markierungen für die Bohrungen, die die Montageschrauben für die Stuhlwinkel aufnehmen, sind schnell angebracht. Vergessen Sie nicht die im Bild unsichtbare Markierung für die Schraube, die das senkrecht stehende Bauteil fixieren soll. (Der im Bild sichtbare Ausschnitt für das Hot-End wird erst in einem späteren Bauabschnitt angebracht.)

- 3** Erzeugen Sie alle fünf angezeichneten Bohrlöcher mit dem 2-mm-Bohrer. Verwenden Sie den Bohrmaschinenständer, um sicherzugehen, dass alle Bohrungen lotrecht gelingen.



Das senkrecht stehende Teil sollte möglichst rechtwinklig zur Grundplatte des Druckkopfhalters stehen.

DRUCKBETTHALTER FÜR DEN EXTRUDER

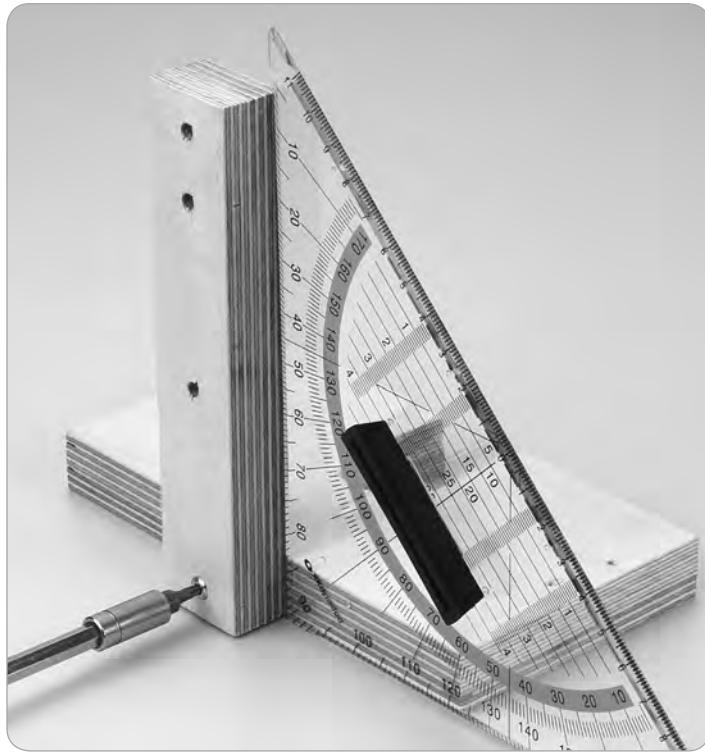
Ein 45 x 40 mm großer Ausschnitt im Druckbetthalter dürfte für die meisten Hot-End-Extruder-Kombinationen groß genug sein. Insbesondere das beliebte J-Head passt in den Ausschnitt.

Es gibt Extruder, bei denen die Positionen der Montageschrauben einen so großen Ausschnitt in der Holzplatte eigentlich nicht zulassen. Hier müssen Sie den Ausschnitt individuell anpassen. Achten Sie dabei grundsätzlich darauf, einen möglichst großen Abstand zwischen dem Multiplexmaterial und dem Hot-End zu erzeugen. Machen Sie also den Ausschnitt so groß wie möglich. Begrenzt wird die mögliche Größe des Ausschnitts durch die Lage nötiger Montageschrauben. Als Faustregel gilt: Um ein Schraubenloch herum sollte mindestens 5 mm Material vorhanden sein, damit die Schraube nicht ausbricht.

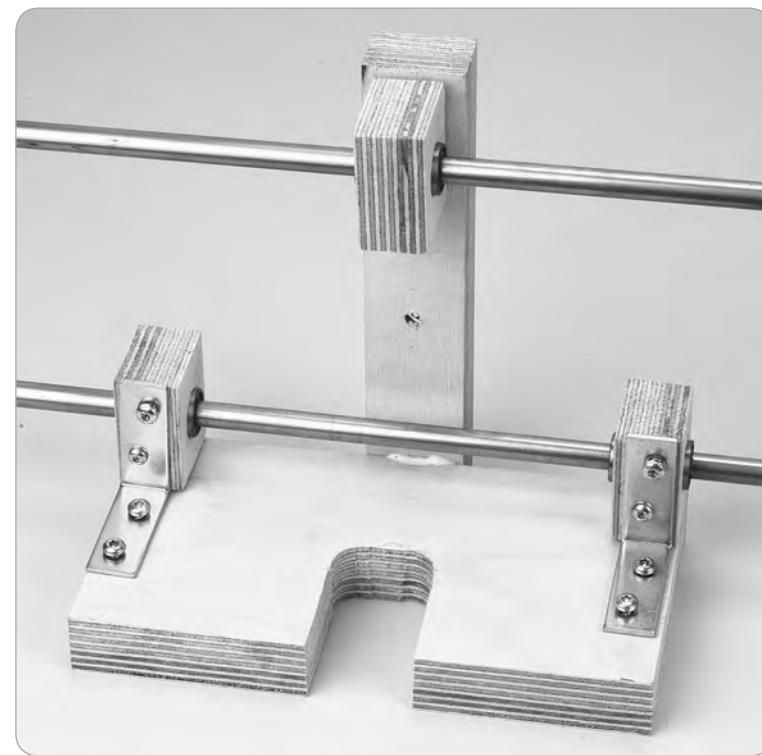


TIPP!

- 4** Schrauben Sie die beiden Bauteile zusammen. Kontrollieren Sie, ob beide Teile senkrecht zueinander stehen. Falls nicht, korrigieren Sie die Lage. Orientieren Sie sich am Bild.



- 5** Montieren Sie die beiden Kugellagerhalter mit den Stuhlwinkeln. Verwenden Sie dazu 3,5-x-20-mm-Spanplattenschrauben. Drehen Sie diese aber noch nicht fest. Stecken Sie eine 450 mm lange Linearführungswelle durch beide Lager, um zu überprüfen, ob beide Kugellagerhalter sich weit genug verdrehen lassen, damit dies möglich ist. Falls nicht, sollten Sie die Bohrungen für die Montageschrauben etwas vergrößern. Die Justierung der Lager erfolgt später. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 6.
- 6** Montieren Sie ein drittes Kugellager in seinem Halter oben am senkrechten Teil des Druckkopfhalters und stecken Sie eine 450 mm lange Welle hindurch, um auch hier zu prüfen, ob das Spiel der Schrauben in ihren Bohrungen genügt, um das Kugellager später gut justieren zu können. Das ist der Fall, wenn es gelingt, die obere Welle parallel zur unteren laufen zu lassen. Drehen Sie auch hier die Schrauben noch nicht fest. Die Justage dieses Lagers erfolgt erst in einem späteren Bauabschnitt.



Der Rohbau des Druckkopfhalters ist gelungen, wenn sich die Lagerhalter so einstellen lassen, dass beide Wellen parallel zueinander klemmfrei laufen.

7.3 DRUCKKOPFHALTER AN DEN EXTRUDER ANPASSEN

Die Montageschrauben, mit denen Ihr Extruder am Druckkopfhalter befestigt wird, sitzen – wie eventuell der Ausschnitt für das Hot-End – je nach Extruderbauart an anderer Stelle. Sie müssen also den Druckbetthalter an die Extruder-Hot-End-Kombination, die zum Einsatz kommen soll, individuell anpassen.

- 1 Demontieren Sie den Rohbau des Druckkopfhalters wieder. Zeichnen Sie einen Ausschnitt, in dem später das Hot-End seinen Platz finden kann, auf der 170 x 90 mm großen Multiplexplatte ein. Denken Sie daran, dass Sie mit der Stichsäge nur mühsam enge Kurven oder Innenecken zusägen können. Planen Sie deshalb für die Innenecken des Ausschnitts Bohrungen mit dem 10-mm-Bohrer ein. Orientieren Sie sich an den Tipps, Bildern und der Skizze.

DRUCKBETTHALTER FÜR DEN EXTRUDER (Forts.)

In den folgenden Bildern sind ein professioneller BulldogXL mit einem J-Head, ein chinesischer MK8-Extruder sowie der klassische Wade-Extruder mit J-Head in ihrer Montagelage zu sehen. Für die zwei letztgenannten Varianten passt der in der Skizze eingezeichnete Ausschnitt. Beim BulldogXL hingegen sollte der Ausschnitt um 1cm nach links versetzt angebracht werden, damit der Motor und das Getriebe genügend Platz auf dem Druckkopfhalter finden.

Falls Sie ein exotisches Hot-End oder gar einen zweiten Druckkopf verwenden möchten, passen Sie einfach die Multiplexplatte entsprechend an. Haben Sie vor, den Extruder öfter zu tauschen, ist es praktisch, eine weitere Platte zusägen, um die Extruder mitsamt ihrem Halter wechseln zu können. Dies spart beim Druckkopftausch Zeit.

Bei sehr kurzen Hot-Ends kann es hilfreich sein, für den Druckkopfhalter eine dünnere Multiplexplatte zu verwenden.

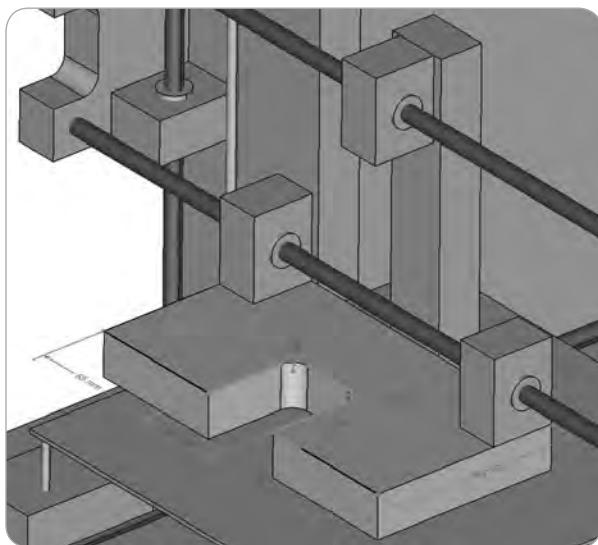
Selbstverständlich können Sie später auch einen Druckkopfhalter aus einem anderen Material, wie z. B. einer Aluminiumplatte, verwenden, um die Brandgefahr noch geringer zu halten.

TIPP!



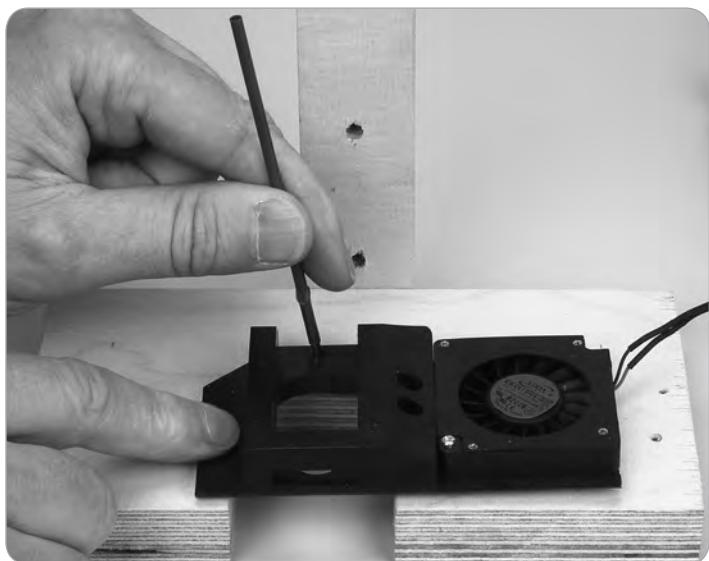


Diesen Ausschnitt sollten Sie in das 170 x 90 mm große Teil des Druckkopfhalters sägen, wenn Sie ein Wade-Cold-End oder einen preisgünstigen MK8-Komplettextruder einsetzen wollen. Für einen BulldogXL verringern Sie das linke Maß von der Kante zum Ausschnitt auf 55 mm und erhöhen das rechte auf 75 mm.



- 2** Erzeugen Sie die Bohrungen, die später die Innenecken des Ausschnitts ergeben.
- 3** Sägen Sie den Ausschnitt mit einer Stichsäge aus.
- 4** Stellen Sie den Extruder, oder dessen Halterplatte, so auf den Druckkopfhalter, dass das Hot-End später, wenn es unter den Extruder montiert ist, so im Ausschnitt sitzt, dass sein Abstand zum Holz überall möglichst groß ist. Zeichnen Sie die Position der Bohrungen für die nötigen Montageschrauben ein.

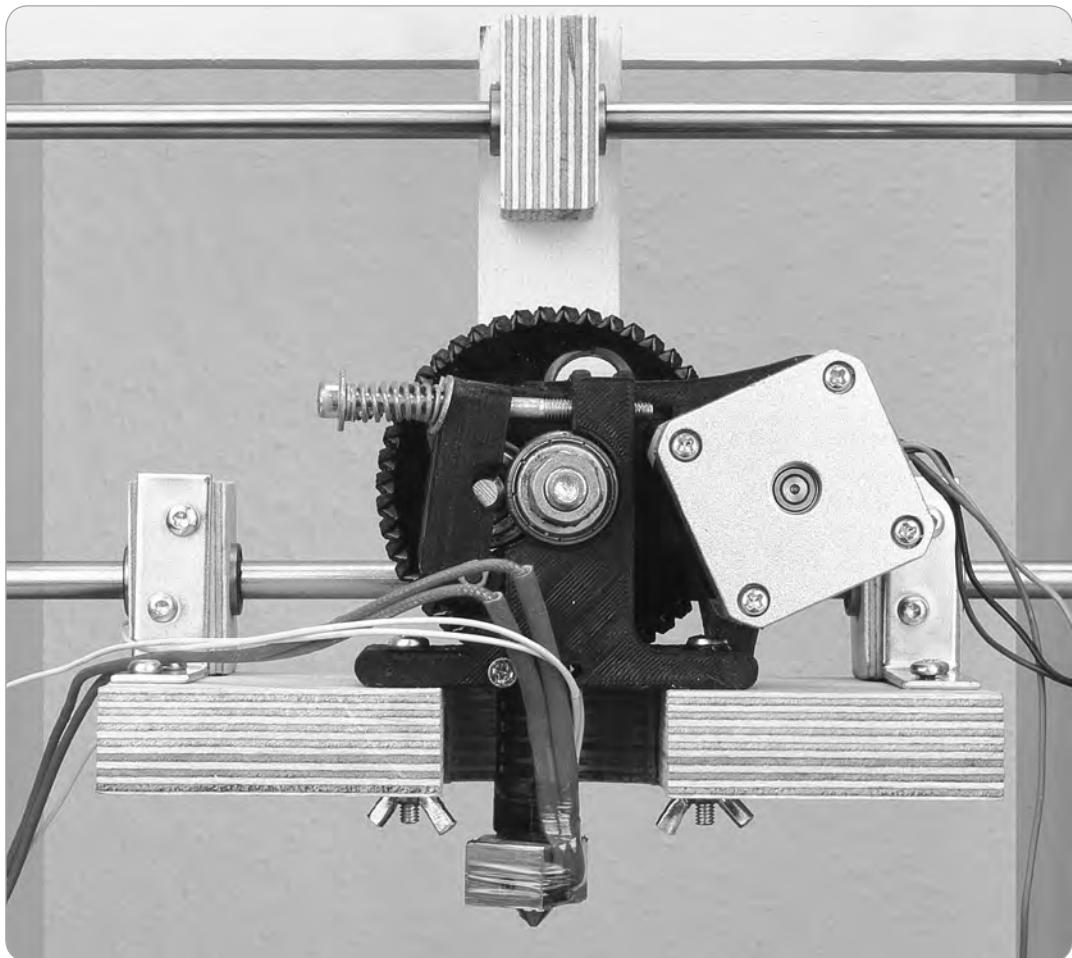
Die Markierungen für die nötigen Bohrungen können Sie mit einer Kugelschreibermine direkt vom Extruder oder wie hier im Beispiel von der Montageplatte des BulldogXL auf den Druckkopfhalter übertragen.



- 5 Erzeugen Sie alle nötigen Bohrungen. Bei den meisten Extrudern sind M3-Gewindeschrauben für ihre Montage vorgesehen. In diesem Fall sollten Sie Bohrungen mit 4-mm Durchmesser setzen, damit Sie genügend Spiel für eine leichte Montage haben. Falls bei der Extruderkonstruktion andere Schraubengrößen vorgesehen sind, passen Sie die Bohrlochgrößen entsprechend an.
- 6 Montieren Sie den Extruder probeweise mit passenden Schrauben und Flügelmuttern. Überprüfen Sie, ob das Hot-End genügend Abstand zum Holz hat. Mindestens 10-mm sollte das Hot-End überall vom Multiplexmaterial entfernt sein. Ist das nicht der Fall, vergrößern Sie den Ausschnitt im Druckkopfhalter. Orientieren Sie sich an den Bildern.

Wade-Extruder mit J-Head

So kann ein Wade-Extruder mit J-Head-Hot-End auf dem Druckkopfhalter sitzen. Sie können sich beim Zusägen des Ausschnitts genau an die Skizze bei Schritt 1 halten.

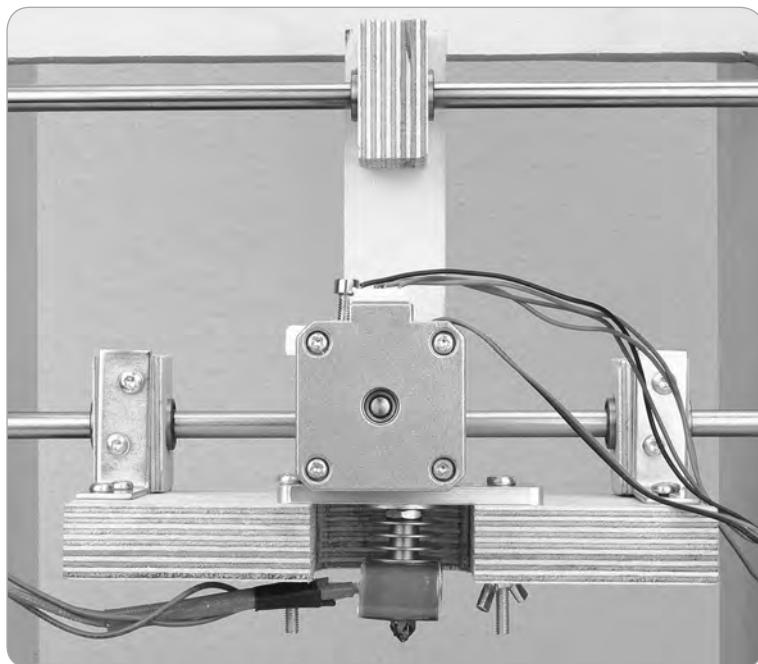


**MONTAGE EINES
MK8-EXTRUDERS**

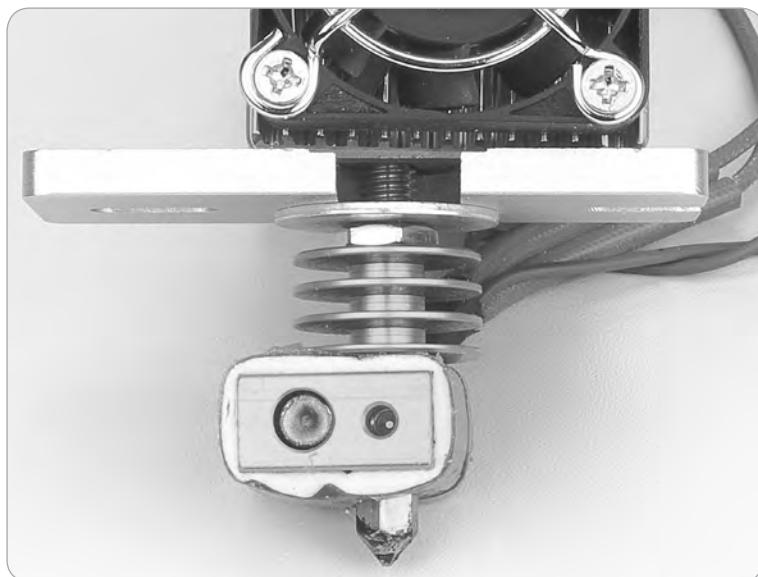
So preisgünstig die chinesischen MK8-Nachbauten mit ihren eingeschraubten M6-Hot-Ends auch sein mögen, ihre Montage am FranzisMendel gestaltet sich etwas schwierig. Sie benötigen eine Adapterplatte aus Metall, die Sie jedoch nicht in Handarbeit selbst herstellen müssen. Sie können ganz einfach eine sogenannte J-Head-Montageplatte zweckentfremden:

- ▶ Drehen Sie das Hot-End aus dem Extruder.
- ▶ Drehen Sie anschließend die auf dem Gewinde sitzende Mutter so weit wie möglich in Richtung Düse.
- ▶ Stecken Sie eine dünne Unterlegscheibe mit mindestens 15 mm Außendurchmesser auf das Gewinde des Hot-Ends.
- ▶ Verschrauben Sie das Hot-End wieder mit dem Extruder.
- ▶ Schieben Sie die J-Head-Adapterplatte an ihrem Ausschnitt zwischen den Extruder und die Unterlegscheibe.
- ▶ Richten Sie die Platte so aus, dass das Gewinde des Hot-Ends mittig im Ausschnitt liegt, und fixieren Sie sie, indem Sie die Mutter in Richtung Extruder drehen.

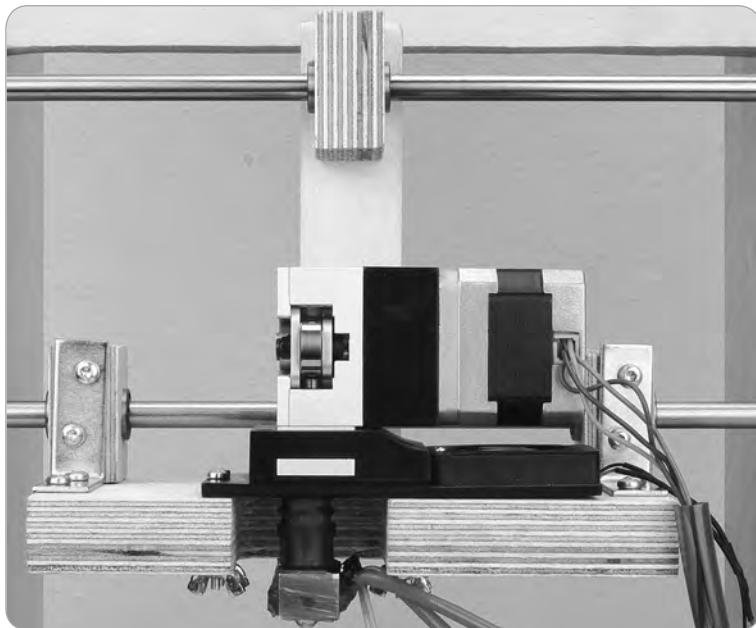
TIPP!



Auch beim billigen MK8-Extruder aus China passen die Maße der Skizze bei Schritt 1.



Eine J-Head-Adapterplatte und eine Unterlegscheibe sorgen dafür, dass auch ein China-Extruder problemlos im FranzisMendel verbaut werden kann.

BulldogXL-Extruder

Beim BulldogXL müssen Sie den Ausschnitt im Vergleich zur Skizze bei Schritt 1 etwa 10 mm nach links versetzt anbringen.

- 7** Wenn alles passt, können Sie den Extruder mit seinem Hot-End wieder abschrauben und für später zur Seite legen.

7.4 RAMPA-MUFFEN EINSCHRAUBEN UND WELLENHALTER ZUSAMMENBAUEN

An die Rohlinge der Spezialwellenhalter für die x-Achse müssen noch einige Teile montiert werden, bevor Sie sie mit den Wellen verbinden können. Zwei Kugellagerhalter der Größe 30 x 40 mm haben Sie in einem vorherigen Bauabschnitt gefertigt, zwei weitere Lagerhalter mit den Maßen 75 x 40 mm liegen bisher nur als Rohlinge vor. In diesen beiden fehlen noch die M6-Rampa-Muffen, in denen sich später Gewindestangen motorisch angetrieben drehen, um den Druckkopf in die Höhe zu fahren. Vor dem endgültigen Zusammenbau der Wellenhalter gilt es, die beiden Rampa-Muffen in die betreffenden Kugellagerhalter zu montieren.

AUSSENDURCHMESSER DER M6-RAMPA-MUFFE

Rampa-Muffen mit einem 6-mm-Innengewinde gibt es mit verschiedenen Außendurchmessern. Orientieren Sie sich bei der Wahl des Bohrers für die Muffenaufnahme im Holz an den Angaben auf der Verpackung oder messen Sie die Muffe nach. Für eine Einschraubmutter nach DIN7965 gibt das Datenblatt z. B. einen Durchmesser für die Kernbohrung von 9,5 mm an. Dabei bestimmt nicht die Außenkante des Außengewindes den Bohrerdurchmesser, sondern der Außendurchmesser des massiven Muffenkerns. Orientieren Sie sich am Bild.

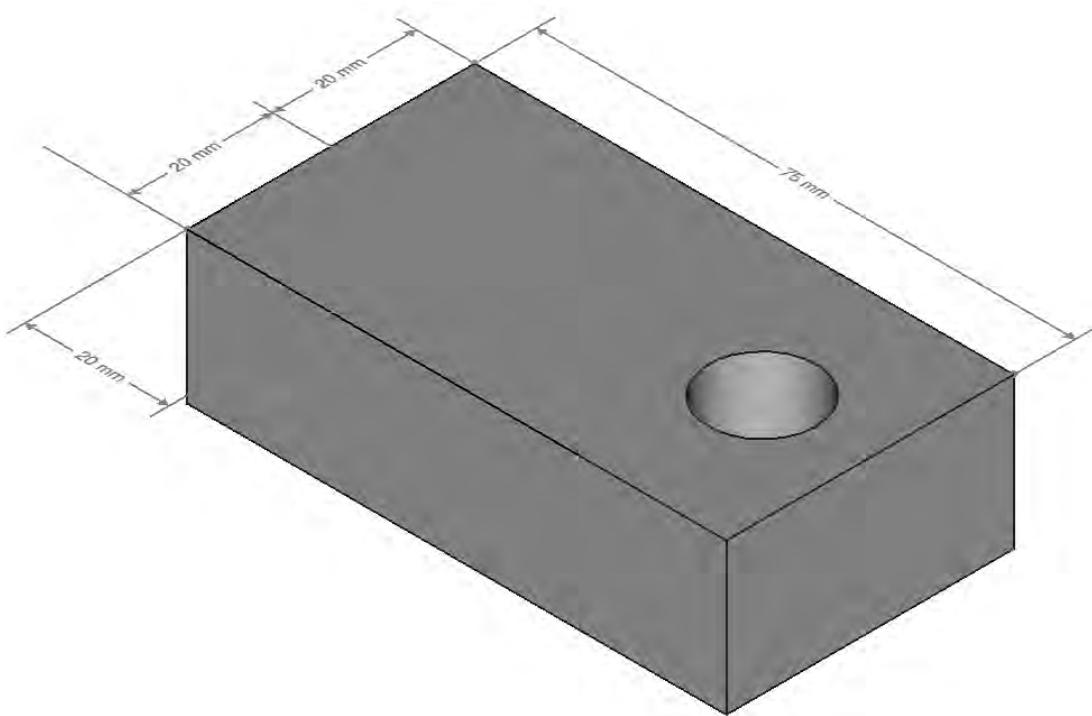
TIPP!



Mit einer Schieblehre können Sie den Durchmesser des Bohrers für die Bohrungen, in die die Rampa-Muffen eingedreht werden, ermitteln.



- 1 Zeichnen Sie auf den beiden schon vorbereiteten 75 x 40 mm großen Kugellagerhalterrohlingen jeweils den Bohrlochmittelpunkt für eine Bohrung, die eine der 6-mm-Rampa-Muffe aufnehmen kann, ein. Orientieren Sie sich an der Skizze.

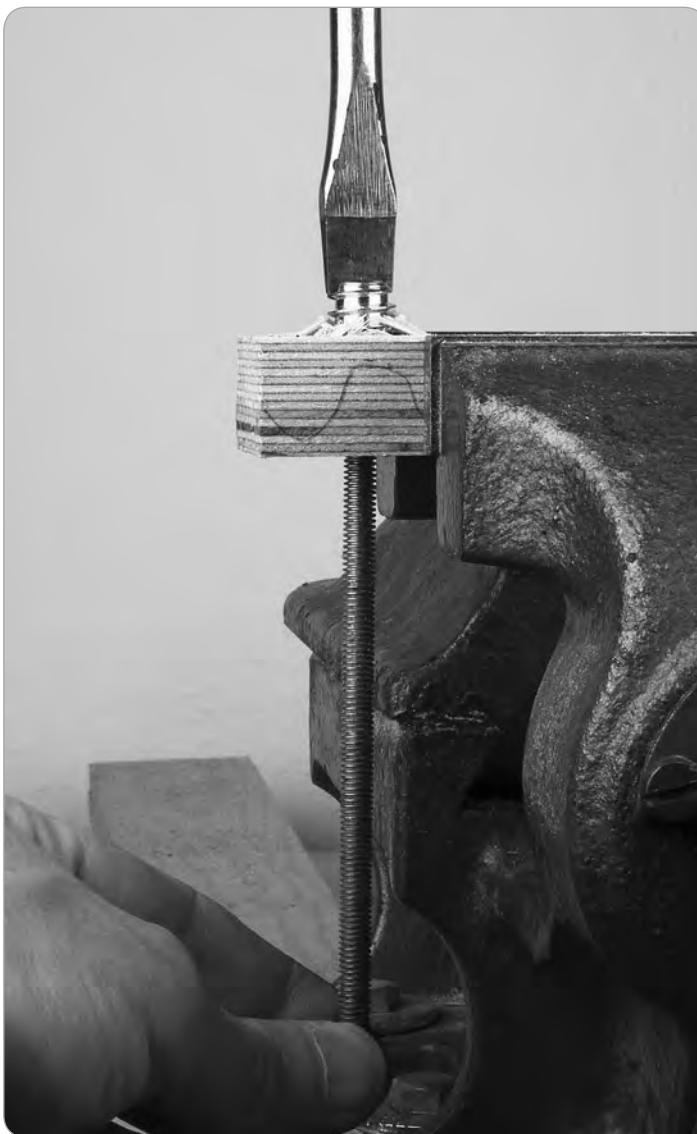


So sollte die Bohrung für die Rampa-Muffe positioniert sein. Ihr Durchmesser ergibt sich aus der Bauart der Muffe.

Die Bohrung für das Kugellager (im Bild rechts) haben Sie schon in einem vorherigen Bauabschnitt angebracht.

- 2 Bohren Sie mit einem im Durchmesser zu den Muffen passenden Bohrer die Aufnahmen für die Rampa-Muffen in beide Holzteile. Bei einer Muffe nach DIN7965 ist dies ein 9,5-mm-Bohrer. Verwenden Sie den Bohrmaschinenständer, um eine lotrechte Bohrung zu erreichen.

- 3** Schrauben Sie vorsichtig die Rampa-Muffen in die dafür vorgesehenen Bohrungen. Es gibt Muffen mit Schlitz und welche mit einer Aufnahme für einen Inbusschlüssel. Verwenden Sie das entsprechende Werkzeug. Versuchen Sie, die Muffen möglichst lotrecht zur Plattenebene der Rohlinge einzudrehen, bis sie bündig im Holz sitzen.



Ein Stück Gewindestange, von unten in die Muffe geschraubt, dient als Hebel, mit dem Sie dafür sorgen können, dass die Rampa-Muffe später lotrecht sitzt.

RAMPA-MUFFEN LOTRECHT EINSCHRAUBEN

Das Außengewinde einer Einschraubmuffe ist grob gehalten, um einen guten Halt in Holzwerkstoffen zu finden. Leider erleichtert dies das lotrechte Einschrauben der Muffen in Multiplexmaterial nicht. Für die reibungslose Funktion des Antriebs der z-Achse ist es aber unabdingbar, dass die Muffen möglichst genau sitzen. Folgender Trick hilft beim Ausrichten:

Nachdem Sie die Muffe zwei bis drei Umdrehungen ins Holz gedreht haben, schrauben Sie eine Gewindestange oder eine lange Schraube in das metrische Innengewinde der Muffe. Nun können Sie messen, ob die Muffe lotrecht sitzt. Wenn nicht, haben Sie mit der Gewindestange einen Hebel, mit dem Sie die Muffe in die richtige Richtung drücken können. Sitzt die Muffe gerade, drehen Sie sie erneut um ein bis zwei Umdrehungen ein, messen nach und korrigieren die Richtung gegebenenfalls noch einmal. Je weiter die Muffe ins Holz wandert, umso mehr wird sie der Bohrung folgen. Mit etwas Geduld und Fingerspitzengefühl sitzen die Muffen am Schluss perfekt.

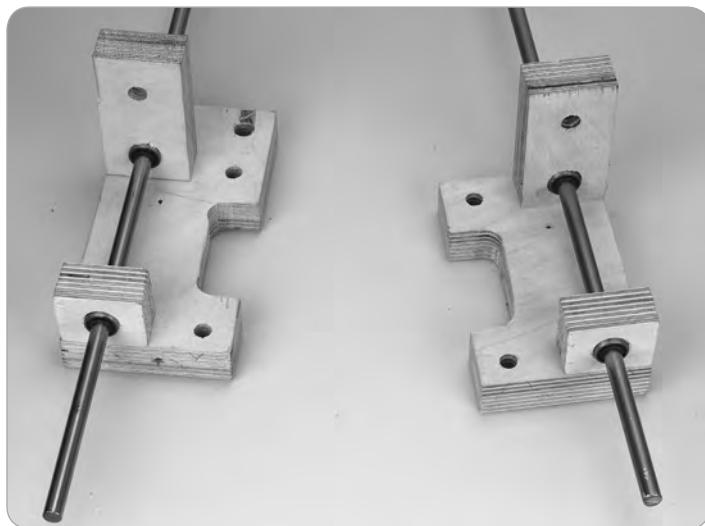
TIPP!





- 4** Pressen Sie je ein Linearkugellager in die beiden mit Rampa-Muffen versehenen Lagerhalter.
- 5** Montieren Sie je einen der beiden gerade gefertigten Lagerhalter und einen Lagerhalter der Größe 30 x 40 mm an die beiden Wellenhalter. Verwenden Sie dazu 3,5-x-35-mm-Spanplattenschrauben mit flachem Kopf. Drehen Sie die Montageschrauben noch nicht fest. Die Halter mit Muffe sind später am Drucker über den kleinen Lagerhaltern positioniert. Stecken Sie je eine 450 mm lange Welle durch die Kugellager. Orientieren Sie sich am Bild.

Die beiden Bauteile, die die Wellen zur Führung in der x-Achse aufnehmen, sind bereit für den nächsten Bauabschnitt.



- 6** Justieren Sie die Lagerhalter so, dass die Wellen widerstandslos in ihnen laufen, und drehen Sie die Montageschrauben fest. Arbeiten Sie hier, genauso wie schon bei der Montage der Kugellagerhalter unter dem Druckbett, sehr sorgfältig. Falls eine Welle klemmt, eruieren Sie, welcher Lagerhalter dafür verantwortlich ist, und arbeiten diesen nach. Ursachen für ein Klemmen können eine mangelnde Rechtwinkligkeit der Montagefläche, eine nicht lotrecht gesetzte Bohrung für ein Kugellager oder ein falscher Abstand von Montagefläche und Kugellager sein. Beginnen Sie erst mit dem nächsten Bauabschnitt, wenn beide Wellen einwandfrei laufen.

7.5 WELLEN FÜR DIE X-ACHSE MONTIEREN

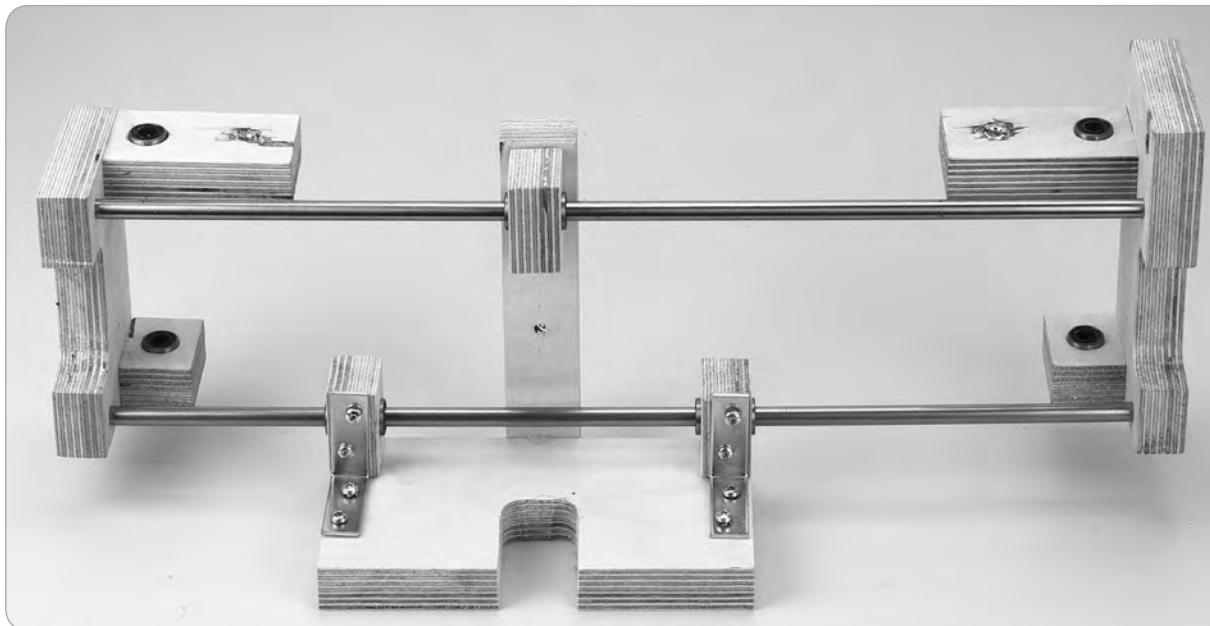
Dieser Bauabschnitt ist in ein paar Minuten erledigt. Das älteste Werkzeug der Menschheit, ein Hammer, vorzugsweise ein Gummihammer, und etwas Feingefühl sind nötig, um die beiden Wellen, die später den Druckkopfhalter führen, in ihren Haltern zu montieren. Falls Sie keinen

Gummihammer besitzen, nehmen Sie einen »normalen« und legen beim Schlagen ein Reststückchen des Plattenmaterials zwischen den Hammerkopf und das zu bearbeitende Bauteil, um Macken zu vermeiden.

- 1** Legen Sie den kleineren Wellenhalter (jenen ohne zusätzliches Loch für die Kabelführung) auf eine ebene Arbeitsfläche und stecken Sie die beiden 450 mm langen Wellen für die x-Achse in die dafür vorgesehenen Bohrungen, bis ihre Enden bündig mit dem Halter sind. Ein Hammer kann hilfreich sein.
- 2** Fädeln Sie den kompletten Druckkopfhalter, den Sie schon vormontiert haben, mit seinen Kugellagern in die beiden Wellen ein. Die Platte des Druckkopfhalters muss dabei auf der Seite des kleineren Kugellagerhalters (jener ohne Rampa-Muffe) am Wellenhalter liegen. Orientieren Sie sich am Bild.
- 3** Stecken Sie nun den anderen Wellenhalter auf die beiden freien Enden der Wellen. Ein Hammer kann helfen. Achten Sie darauf, dass der Kugellagerhalter mit der Rampa-Muffe näher zu der Welle liegt, die beim anderen Halter ebenfalls näher zu dem Halter mit Muffe liegt. Orientieren Sie sich am Bild.

Die Baugruppe der Linearführung
für die x-Achse samt Druckkopfhalter ist
bereit für den nächsten Bauabschnitt.

Der Druckkopfhalter ist
auf seiner Linearführung
aufgefädelt.





7.6 LINEARFÜHRUNG FÜR DIE Z-ACHSE EINBAUEN

Dieser Bauabschnitt ist schnell erledigt, allerdings erwarten Sie wieder einige Justierarbeiten, die Sie mit Ruhe und Geduld erledigen sollten, damit Ihr Drucker später im Betrieb reibungslos (oder zumindest mit wenig Reibung) funktioniert.

7.6.1 Wellen der z-Achse in die Kugellager einführen

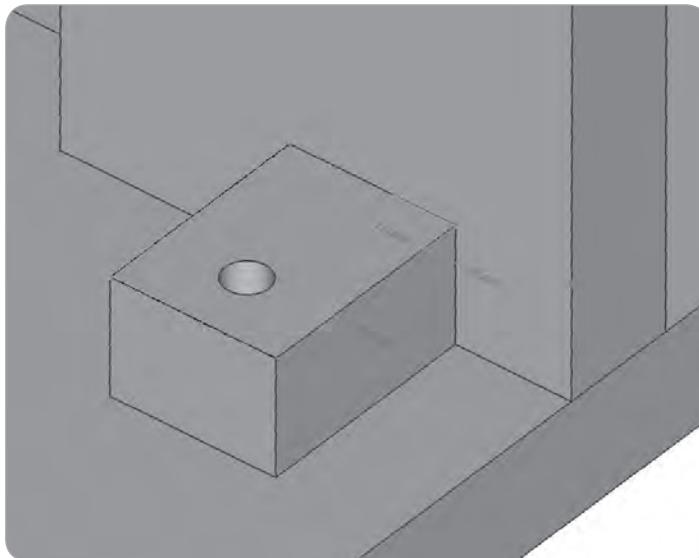
Fädeln Sie die Wellen für die Linearführung der z-Achse wieder in ihre Kugellager ein, falls Sie sie für den letzten Bauschritt entfernt haben. Legen Sie die ganze Baugruppe mit dem Druckkopfhalter nach oben auf eine ebene Arbeitsfläche und sorgen Sie dafür, dass beide Wellen der z-Achse überall in der gleichen Höhe zur Arbeitsfläche laufen. Wenn das der Fall ist, stellen Sie als Nächstes sicher, dass beide Wellen parallel in einem Abstand von 370 mm zueinander laufen. Orientieren Sie sich am Bild.



370 mm sollte überall der Abstand der beiden Wellen für die z-Achse betragen.

7.6.2 Untere Wellenhalter für die z-Achse einbauen

- Jetzt geht es darum, die beiden unteren Wellenhalter für die z-Achse am Druckerrahmen anzuschrauben. Beginnen Sie mit dem rechten Halter. Legen Sie ihn in seine Position und zeichnen Sie seine Umrissse am Portal ein.



So sollte der rechte untere Wellenhalter am Portal bzw. an der Kante der Grundplatte positioniert sein.

- Zeichnen Sie den Mittelpunkt der Bohrung für die Montageschraube ans Portal und setzen Sie mit einem 5-mm-Bohrer möglichst lotrecht zur Plattenebene des Portals eine durchgehende Bohrung.



Die Position der 5-mm-Bohrung für die Montageschraube ist an den real zu montierenden Wellenhalter angepasst.

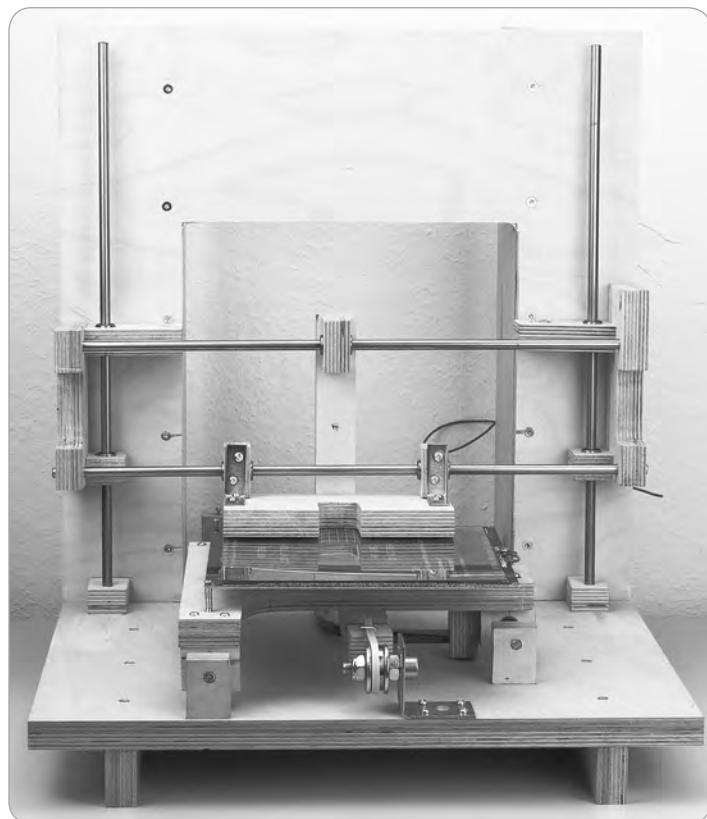


- 3** Schrauben Sie den Halter mit einer 3,5-x-35-mm-Spanplatten-schraube mit flachem Kopf an, aber noch nicht fest.
- 4** Schrauben Sie den unteren Halter auf der linken Seite auf die gleiche Weise an. Die Maße sind (gespiegelt) die gleichen wie auf der rechten Seite. Justieren Sie die beiden unteren Halter so, dass der Abstand zwischen den Aufnahmen für die Wellen der z-Achse 370 mm beträgt. Drehen Sie die Montageschrauben noch nicht fest.

7.6.3 Linearführung für die z-Achse in die Wellenhalter einführen

- 1** Nehmen Sie die Baugruppe, die Sie im vorhergehenden Bauabschnitt zusammengesetzt haben, an den unteren Enden der beiden Wellen für die z-Achse in die Hände und stecken Sie die Enden provisorisch in die dafür vorgesehenen Öffnungen in den Wellenhaltern. Der Ausschnitt für das Hot-End im Druckkopfhalter sollte dabei vom Portal weg nach vorne zeigen. Orientieren Sie sich am Bild.

Eine Stück Plastikfolie schützt das Heizbett vor Beschädigungen beim Einführen der Wellen für die z-Achse in ihre unteren Wellenhalter.



- 2** Klopfen Sie die beiden Wellen in ihre Halter, bis ihre unteren Enden bündig mit der Grundplatte des Druckers sind.
- 3** Stecken Sie die oberen Wellenhalter für die z-Achse auf ihre Wellen und klopfen Sie sie so weit nach unten, bis das obere Wellenende bündig mit der Oberseite des Wellenhalters ist.

7.6.4 Obere Wellenhalter montieren und die Wellen justieren

- 1** Messen Sie den genauen Abstand der rechten Welle zur Portalaußenkante am unteren Wellenhalter und richten Sie die Welle am oberen Halter so aus, dass sie dort den gleichen Abstand zur Portalaußenkante hat. Am einfachsten gelingt Ihnen das, indem Sie mit einem Geodreieck das untere Maß senkrecht aufs Portal abtragen, ausmessen, oben einzeichnen und dann wieder mit dem Geodreieck die Welle ausrichten. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 2.
- 2** Zeichnen Sie die Umrisse des oberen Halters in der ermittelten Position auf dem Portal ein und dann den Mittelpunkt der Montagefläche. Ziehen Sie den Halter wieder von der Welle ab, um mit einem 5-mm-Bohrer eine Bohrung für die Montageschraube erzeugen zu können. Alternativ können Sie das Maß für den Bohrlochmittelpunkt auch auf die Rückseite des Portals übertragen und von hinten bohren.

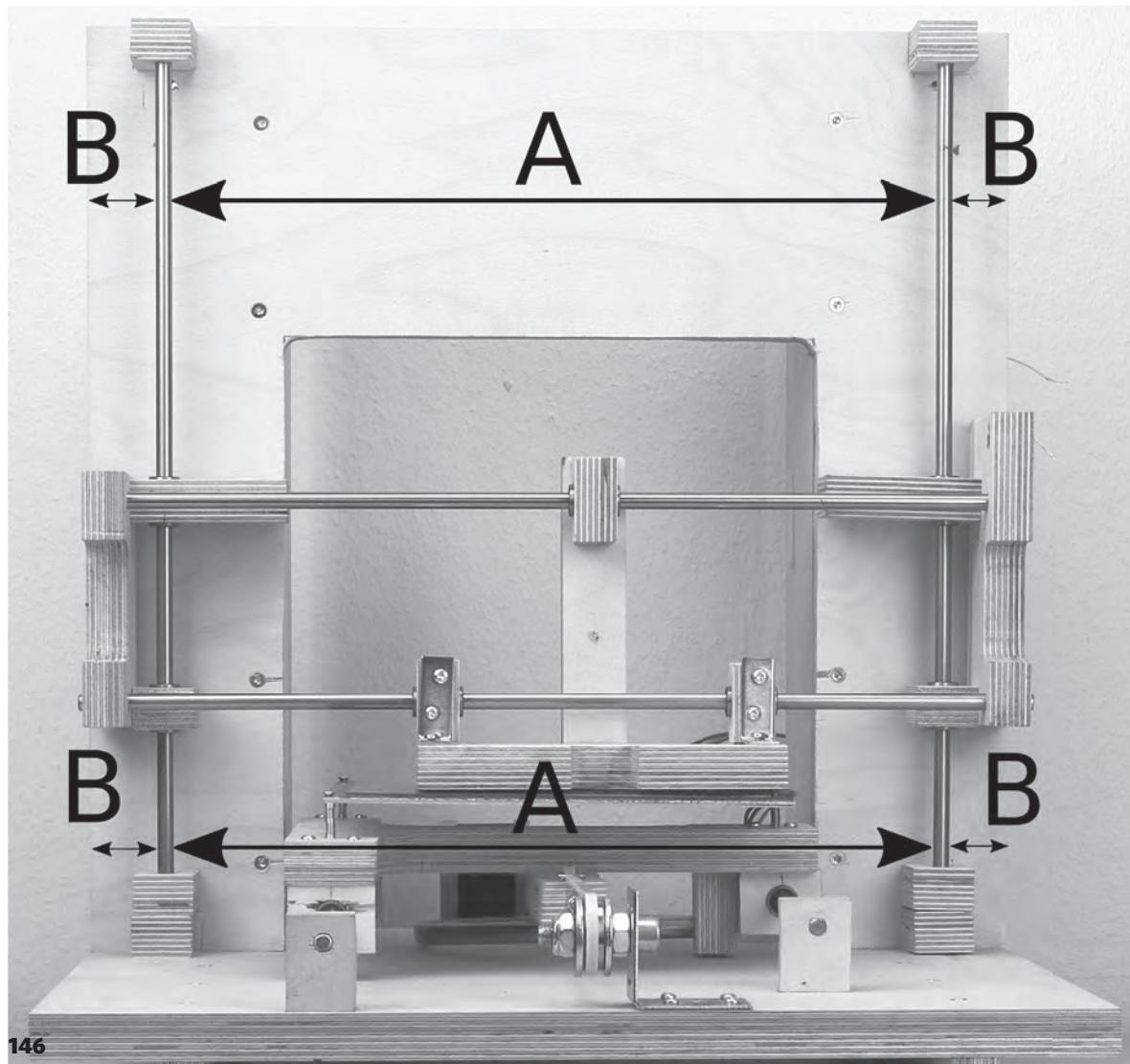


Mit einem Geodreieck können Sie die Position des oberen Wellenhalters exakt einmessen, indem Sie das Maß zur Portalaußenkante vom unteren Wellenende übertragen.



Justieren Sie die Wellenhalter so, dass jeweils die Maße A bzw. B oben und unten möglichst exakt gleich sind.

- 3 Bringen Sie den oberen rechten Wellenhalter wieder in seine Position und schrauben Sie ihn mit einer 3,5-x-53-mm-Spannplattenschraube mit flachem Kopf an. Kontrollieren Sie, ob der Abstand der Welle zur Portalaußenkante oben und unten exakt gleich ist, justieren Sie gegebenenfalls nach und drehen Sie dann die Montageschrauben beider Halter fest.
- 4 Verfahren Sie mit der linken Welle genauso. Zusätzlich sollten Sie bei der Justage und der anschließenden endgültigen Fixierung des linken oberen Wellenhalters überprüfen, ob sich der Druckkopfhalter mitsamt der Linearführung für die x-Achse mühelos und klemmfrei entlang der z-Achse auf und ab bewegen lässt. Seien Sie beim Justieren geduldig und sorgfältig.



7.7 ANTRIEB FÜR DIE Z-ACHSE EINBAUEN

Für den Kraftschluss zwischen den Steppermotoren und den Gewindestangen, bzw. den Trapezgewindestangen bei Profimaschinen, benötigen Sie zwei Motorwellenkupplungen. Diese bestehen vorerst aus zwei Stücken PVC-Benzin- oder Aquariumschlauch mit passendem Innendurchmesser – 4,5 mm sind optimal. Schläuche mit 4 mm Innendurchmesser haben einen besseren Kraftschluss, sind aber mühsamer zu montieren, solche mit 5 mm Innendurchmesser müssen Sie eventuell mit zwei kleinen Schlauchschellen auf der Motorwelle fixieren.

7.7.1 Einbau der Motorwellenkupplungen

- 1** Längen Sie von der 6-mm-Gewindestange zwei 370 mm lange Stücke ab und entgraten Sie die Schnittstellen.
- 2** Längen Sie vom Aquariumschlauch mit 5 mm Innendurchmesser zwei 50 mm lange Stücke ab.
- 3** Stecken Sie die Aquariumschläuche auf die Gewindestangen und drehen Sie die Schläuche wie eine Mutter auf, bis sie jeweils nur noch 20 mm über das Ende der Stange hinausragen.



Eine provisorische Motorkupplung entsteht.

- 4** Schieben Sie den Druckkopfhalter ganz nach oben, sodass darunter Platz ist, um die Gewindestangen in die Rampa-Muffen zu drehen. Drehen Sie beide Stangen so weit nach oben, dass jeweils ein Steppermotor inklusive seines Schafts darunterpasst. Platzieren Sie die Steppermotoren probeweise so unter die Gewindestangen, dass diese direkt lotrecht über den Wellen der Motoren stehen.

GEWINDE SCHÜTZEN



Falls Sie eine Gewindestange (oder Schraube) in den Schraubstock einspannen müssen, sei es, um sie mit der Metallsäge abzulängen oder um ein Stück Schlauch aufzustecken, sollten Sie das Gewinde vor Beschädigungen schützen, und zwar indem Sie z. B. einen Lappen um die Stange legen oder indem Sie sie zwischen zwei Holzbrettchen legen und dann dieses komplette Sandwich einspannen.

TIPP!



Markieren Sie nun die Position für eine 5-mm-Bohrung in der Nähe der Stelle, an der Sie die Anschlusskabel der Motoren jeweils nach unten durchführen wollen. Die Bohrungen sollten jeweils in der Nähe der Austrittstellen der Kabel an den Motorgehäusen positioniert sein. Bedenken Sie jedoch, dass unter der Grundplatte zwei Aussteifungen verlaufen. Achten Sie darauf, die Kabeldurchlässe neben diesen Aussteifungen anzubringen. Nehmen Sie beide Motoren wieder von der Grundplatte und bohren Sie die Kabeldurchführungen.



STUHLWINKEL OPTIMIEREN

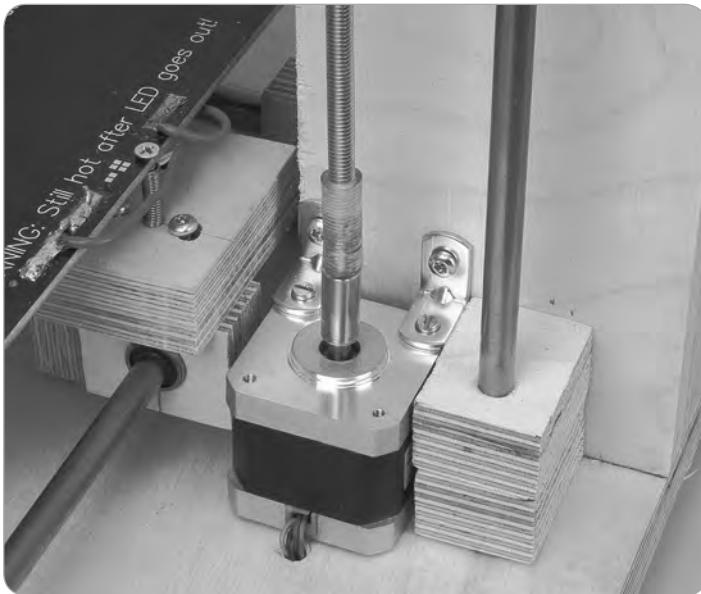
Je nach Hersteller der Stuhlwinke kann es Ihnen passieren, dass die Bohrungen für die 3-mm-Schrauben, mit denen die Motoren befestigt werden, nicht groß genug sind, um später genügend Spiel für eine genaue Justage zu bieten. Wenn dem so ist, bohren Sie die betreffenden Öffnungen einfach mit einem 5-mm-Metallbohrer auf.

Falls der Spielraum für eine genaue Justage immer noch nicht genügt, bohren Sie auf 6 mm Lochdurchmesser auf. Allerdings sollten Sie dann passende Unterlegscheibchen verwenden, damit sich die Schraubenhöpfe beim Festschrauben nicht in die Bohrung fressen können.

TIPP!

- 5 Schrauben Sie an die beiden Motoren für den z-Achsen-Motor jeweils zwei Stuhlwinkel der Größe 20 x 20 x 16 mm. Verwenden Sie dazu 12 mm lange M3-Gewindeschrauben mit flachem Kopf. Beide Winkel müssen jeweils an einer Kante des Motors angebracht werden. Drehen Sie die Schrauben noch nicht fest. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 7.

- 6** Stellen Sie beide Motoren wieder je unter eine der beiden Gewindestangen, sodass diese lotrecht über den Motorwellen stehen. Drehen Sie nun beide Gewindestangen in den Rampa-Muffen im Uhrzeigersinn (von oben gesehen), um die Aquariumschläuche dadurch auf die Motorwellen zu pressen. Verwenden Sie jeweils zwei M6-Muttern, die Sie auf das obere Ende der Stangen drehen und konttern, um mit einem Gabelschlüssel arbeiten zu können. Drehen Sie beide Gewindestangen abwechselnd, damit die x-Achse nicht allzu sehr aus der Horizontalen kippt, was dazu führen würde, dass die Kugellager der z-Achse verkanten. Drehen Sie beide Stangen so weit, bis sie jeweils auf der daruntersitzenden Motorwelle bündig aufsitzen. Sobald das der Fall ist, können Sie die gekonterten Muttern wieder entfernen. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 7.
- 7** Justieren Sie nun beide Motoren so, dass die darauf sitzenden Gewindestangen jeweils parallel zur benachbarten Linearführungswelle liegen. Auch sollten Sie an jeder Stelle den gleichen Abstand zur Portalwand haben. Schrauben Sie alle Stuhlwinkel mit 3,5-x-20-mm-Spanplattenschrauben mit flachem Kopf an das Portal. Hier müssen Sie nicht vorbohren. Die Schrauben sind so klein, dass sie das Holz nicht sprengen können. Überprüfen Sie noch einmal die korrekte Ausrichtung der Gewindestangen, bevor Sie alle Schrauben an den Stuhlwinkeln endgültig festdrehen.



Einer der beiden Antriebsmotoren der z-Achse befindet sich an seiner Position. Die Gewindestange sitzt bündig auf der Motorwelle.

MOTORKUPPLUNGEN SELBST DRUCKEN

TIPP!

Eines Ihrer ersten Druckobjekte mit Ihrem neuen Drucker könnte später zwei Motorkupplungen zum Verschrauben sein, da das Provisorium aus Schlauchstücken eventuell nur einige Dutzend Druckstunden aushalten wird und solche aus Aluminium für ca. 3 bis 12 Euro pro Stück zwar schick aussehen, aber auch nicht viel mehr kosten als selbst gedruckte für ein paar Cent.





8

KABELFÜHRUNG FÜR DRUCK- KOPFHALTER UND X-ACHSEN- ANTRIEB

- 8.1 Die Kabelführung für den Druckkopf bauen 152
- 8.2 Den Extruder richtig verkabeln ... 157
- 8.3 Wellenhalter für die x-Achse justieren und mit dem Antrieb komplettieren 159

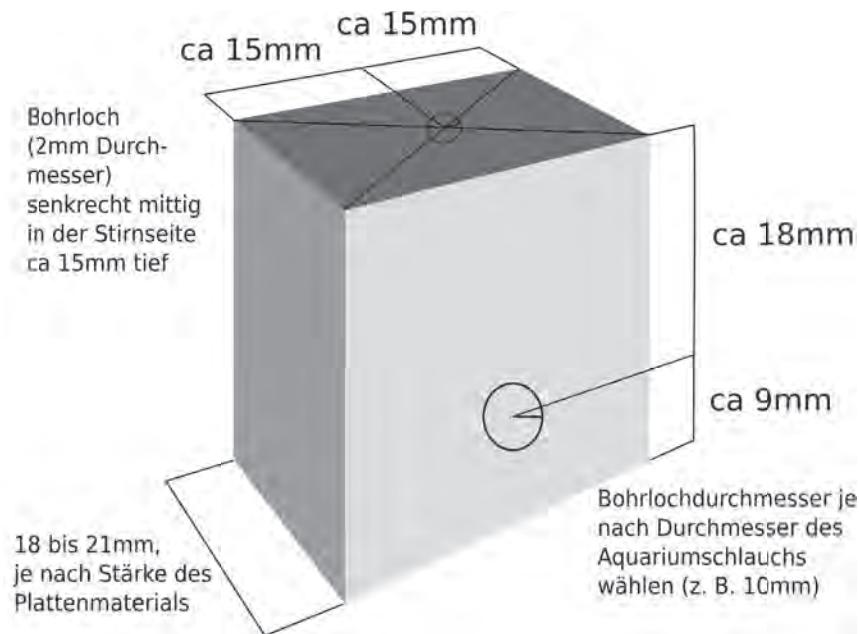


8.1 DIE KABELFÜHRUNG FÜR DEN DRUCKKOPF BAUEN

■ Dieser Bauabschnitt ist sehr einfach zu bewerkstelligen und bietet nach der Justage der Linearführungen etwas Entspannung. Sie benötigen zwei Kabelhalter und etwas Aquariumschlauch sowie Kabel.

- 1 Fertigen Sie aus dem 30 mm breiten Multiplexstreifen einen 27 x 30 x 21 mm großen Halter mit einer Bohrung zur Aufnahme eines Aquariumschlauchs. Orientieren Sie sich an der Skizze.

Diese Maße sollte der kleinere der zu bauenden Kabelhalter haben.

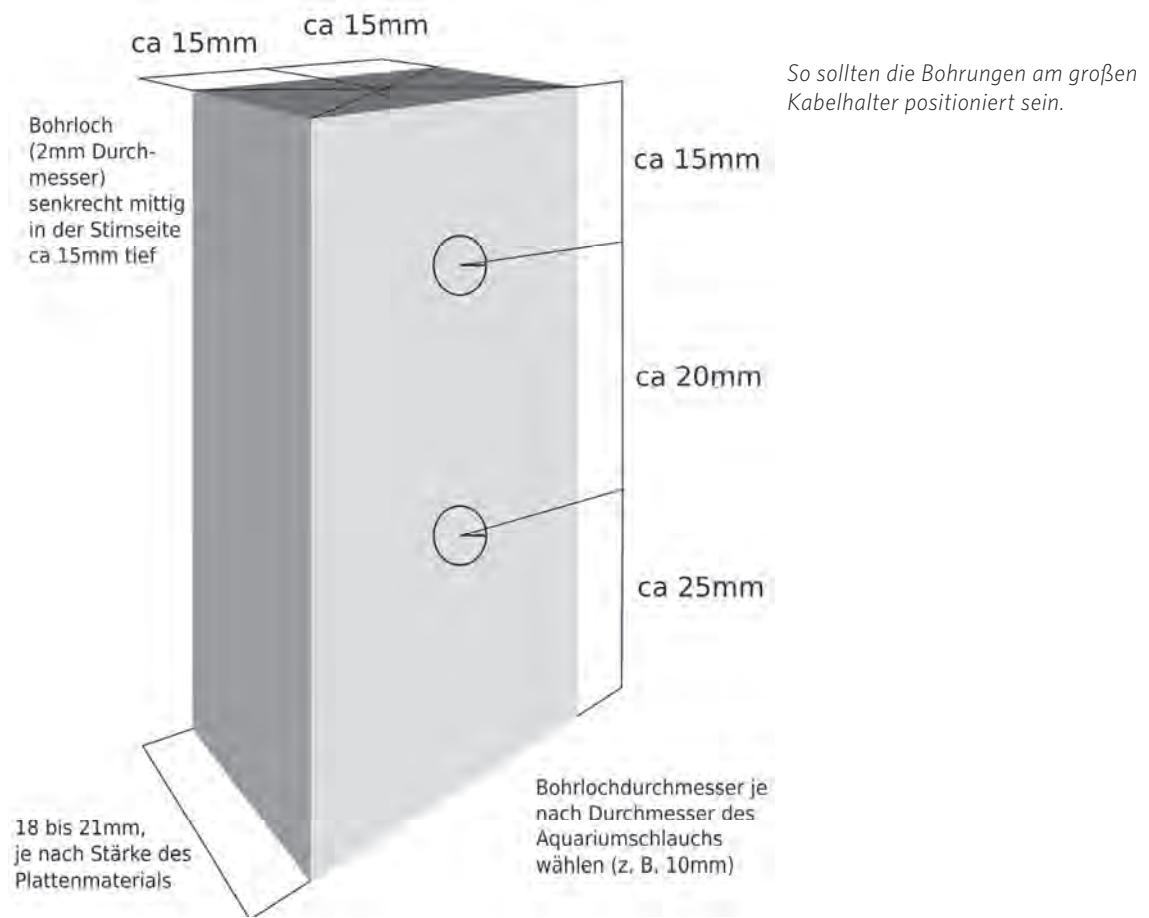


VORGEHEN BEI DRUCKRAUMERWEITERUNG

Die Basisversion des FranzisMendel hat eine Bauraumhöhe von 12 cm. Die Portalöffnung, die Linearführung sowie der Antrieb für die z-Achse sind jedoch so ausgelegt, dass auch eine Bauraumhöhe von 19 cm möglich ist. Dazu müssten die Kabel- und die Filamentführungen an ihren oberen Haltepunkten höher gelegt werden. Diese Aufrüstung ist einfach zu bewerkstelligen, indem Sie die betreffenden oberen Aquariumschlauchhalter ca. 15 cm höher anbringen. Da das Portal dazu an der Oberkante nicht hoch genug ist, benötigen Sie eine Hilfskonstruktion aus Multiplexresten oder Holzlatten, die oben über das Portal hinausragt, sowie längere Schläuche und Kabel als in der Basisversion.

TIPP!

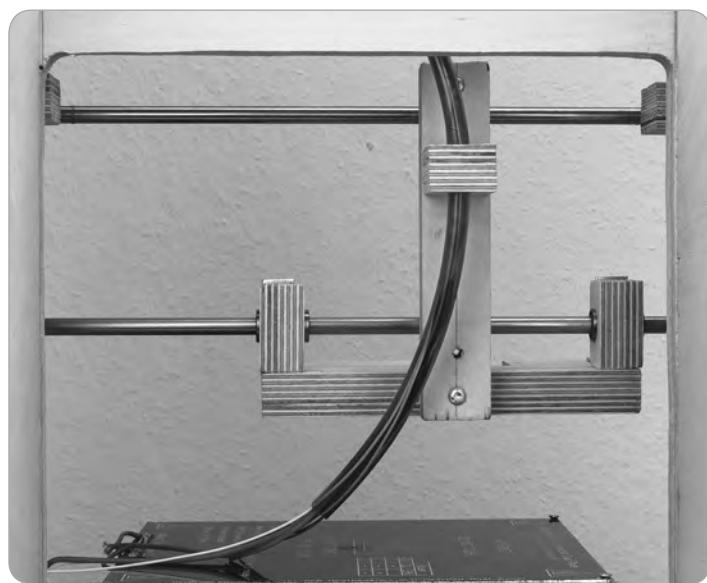
- 2** Fertigen Sie aus dem 40 mm breiten Multiplexstreifen einen 40 x 60 x 21 mm großen Halter mit zwei Bohrungen für den Aquariumschlauch. Orientieren Sie sich an der Skizze.



- 3** Montieren Sie den kleineren der beiden Halter mit einer 3,5-x-30-mm-Spanplattenschraube hinten am Druckkopfhalter. Die entsprechende Bohrung im Druckbetthalter haben Sie in einem vorhergehenden Bauabschnitt schon gesetzt. Kontrollieren Sie, ob die Schraube in die Schlauchdurchführung ragt. Ist das der Fall, legen Sie eine Unterlegscheibe unter den Kopf der Schraube. Stecken Sie ein 670 mm langes Stück Aquariumschlauch von oben durch den soeben angeschraubten Halter. Der Schlauch sollte unten ca. 15 cm aus dem Halter herausstehen. Orientieren Sie sich am Bild.



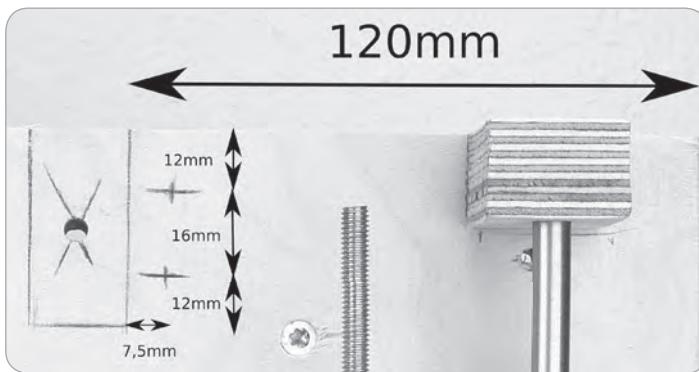
So sollte der kleine Kabelhalter am Druckkopfhalter sitzen.



- 4** Der große Halter für zwei Schläuche hat seinen Platz an der Portaloberkante. Seine rechte Kante sollte ca. 12 cm von der rechten Portalkante entfernt sein. Positionieren Sie den Halter dort händisch und überprüfen Sie per Augenmaß, ob der untere Kabelhalter problemlos nach oben fahren könnte, ohne an den oberen zu stoßen. Ist das der Fall, markieren Sie die Position des Halters. Falls nicht, positionieren Sie den Halter etwas weiter links, jedoch nur so weit links wie nötig.

Bis zu ca. 14 cm Abstand des oberen Halters von der rechten Portalkante sind problemlos. Zwar wird später der untere Halter im Betrieb bei einer Bauraumhöhe von 12 cm nie so weit nach oben gefahren, aber mit dieser groben Peilung finden Sie eine Position für den Halter, in der später die Schläuche genügend Auslauf haben, um ohne Schwierigkeiten den Bewegungen des Druckbetthalters folgen zu können. Erzeugen Sie an der Markierung eine 5-mm-Bohrung für eine Montageschraube. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 5.

- 5** Jetzt gilt es, zwei Bohrungen zu setzen, die ausnahmsweise nicht lotrecht zur Plattenebene liegen sollen. Dies ist nötig, um die Aquariumschläuche bei der Durchführung durch das Portal in eine Richtung zu zwingen, die gewährleistet, dass die Kabelführung im Druckbetrieb nicht dem Antrieb der z-Achse ins Gehege kommt. Sie kennen das schon von der Kabelführung für das Druckbett. Markieren Sie zuerst die Bohrlochmittelpunkte ca. 7,5 mm von der rechten Außenkante des Kabelhalters entfernt. Orientieren Sie sich am Bild.



An diesen Positionen sollten Sie die Markierungen für die Kabeldurchführungen anbringen.

- 6** Bohren Sie nun mit einem 10-mm-Holzbohrer die beiden Durchführungen für die Aquariumschläuche in einem Winkel von ca. 10 Grad im Uhrzeigersinn (von oben betrachtet) in der z-Achse verdreht. Achten Sie darauf, dass Sie die beiden Bohrungen nur in dieser Achse verdrehen, ansonsten aber horizontal bohren, d. h. parallel zur Ebene der Grundplatte. Orientieren Sie sich am Bild.



Von oben betrachtet, sollten Sie die Bohrungen für die Kabelführungen um ca. 10 Grad im Uhrzeigersinn gedreht anbringen.

- 7** Bringen Sie noch zwei Bohrungen mit 10 mm Durchmesser am Seitenteil an, damit Sie die Aquariumschläuche in den Bereich des Druckers durchführen können, in dem unten schon die Kabelführung für das Druckbett ankommt. Sie können die beiden Bohrungen freihändig setzen. Achten Sie bei der Positionierung der Bohrungen darauf, dass Sie später keine allzu große Mühe damit haben, die beiden Schläuche durch beide Durchführungen hindurchzufädeln.



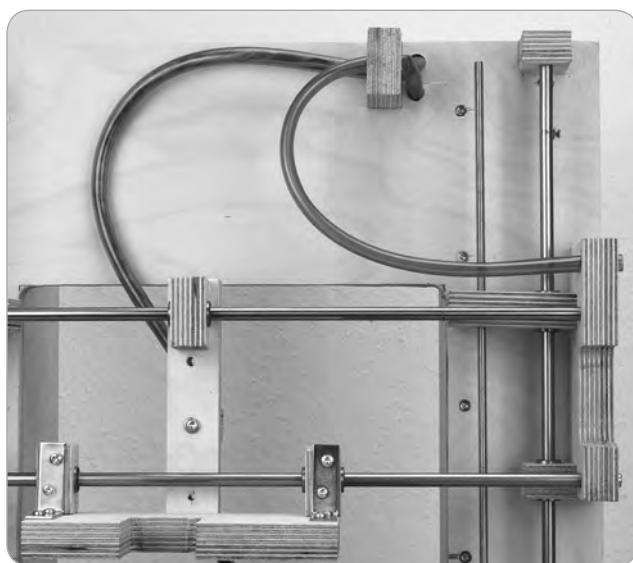
Ein Abstand von ca. 2 bis 3 cm zu den im vorhergehenden Schritt erzeugten Bohrlöchern sollte vorhanden sein. Setzen Sie beide Bohrungen so untereinander, dass die Schläuche später parallel zueinander laufen. Orientieren Sie sich am Bild.

1 bis 3 cm Abstand zwischen den Durchführungen sollten Sie einplanen, um die Aquariumschläuche problemlos um die Ecke führen zu können.



- 8 Schrauben Sie den oberen Kabelhalter mit einer 3,5x30-mm-Spanplattenschraube an das Portal. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 7.
- 9 Nun fehlt nur noch die Kabelführung für den Antrieb der z-Achse. Stecken Sie ein ca. 500 mm langes Stück Aquariumschlauch durch die entsprechenden Öffnungen in den Haltern, dem Portal und der Seitenwand. Orientieren Sie sich am Bild.

Mit dem Anbringen des Aquariumschlauchs, der die Kabel für den Antrieb der z-Achse aufnehmen soll, sind alle Kabelführungen komplett.



Später, wenn der Antrieb für die z-Achse, die Steuerung sowie der Extruder samt Hot-End endgültig montiert sind, müssen die Schläuche mit den entsprechenden Kabeln in der richtigen Länge gefüllt werden. Das ist problemlos möglich, wenn Sie zu diesem Zeitpunkt die Schläuche zum Einziehen der Kabel kurz wieder ausbauen.

8.2 DEN EXTRUDER RICHTIG VERKABELN

Die Details der Verkabelung am Druckkopf hängen davon ab, welchen Extruder Sie im Einsatz haben. Eventuell müssen Sie individuelle Lösungen finden. Theoretisch könnten Sie von der Steuerung bis zum Extruder durchgehende Kabel verbauen. Praktischer ist es, dort, wo die Kabel aus dem Aquariumschlauch austreten, Stecker oder alternativ Lüsterklemmen anzubringen. Das hat den Vorteil, dass Sie den Extruder und/oder das Hot-End jederzeit problemlos aus- und wieder einbauen können.

8.2.1 Identität der bis zu zehn Kabel verifizierbar machen

Bei bis zu zehn Kabeln, die im Schlauch geführt werden, ist es wichtig, die Funktion aller Kabel an beiden Enden der Kabelführung leicht identifizieren zu können. Wäre das nicht gegeben, müssten Sie beim Verbinden der Kabel mit der Steuerung bzw. den Funktionskomponenten zeitraubend jedes Kabel per Durchgangsprüfung mit einem Multimeter oder einer Prüflampe identifizieren. Die einfache Lösung ist, Kabel mit Isolationsmantel in verschiedenen Farben zu verwenden.

8.2.2 Extruderverkabelung Schritt für Schritt

- 1** Ziehen Sie zehn ca. 100 cm lange einadige Kabel in den 67 cm langen Aquariumschlauch ein. Verwenden Sie dazu zwei Litzenkabel mit 1,5 mm² Stärke für die Heizung des Hot-Ends sowie acht Kabel mit kleinem Querschnitt. Davon sind vier für den Motor, zwei für den Temperaturfühler und zwei für einen optionalen Lüfter vorgesehen. Sie können die am Hot-End angebrachten Kabel verwenden. Trennen Sie in diesem Fall die Kabel ca. 10 cm vom Hot-End entfernt. Für die Motor- und Lüfterverkabelung sind die farbig codierten Kabel mit für die Steuerung passenden Steckern ideal, die es im RepRap-Bedarf gibt. Orientieren Sie sich am Bild.
- 2** Montieren Sie die Kabelführung aus Aquariumschlauch samt den darin geführten Kabeln in der Endlage.



Mit zehn Kabeln wird der Aquariumschlauch, der zum Druckbetthalter führt, gefüllt.



- 3** Sorgen Sie für einen schnell zu trennenden und wieder verbindbaren Anschluss des Extruders. Möglich sind Lüsterklemmen, zuverlässiger sind Crimpstecker. Sie können die Kabel zum leichteren Anbringen von Steckern etwas aus dem Schlauch herausziehen und sie später am anderen Ende das Schlauchs wieder in die andere Richtung ziehen, um sie zu straffen. Fixieren Sie alle Kabel so am Druckkopfhalter, dass sie nicht baumeln oder in Berührung mit sich bewegenden Bauteilen kommen. Hilfreich für die Fixierung der Kabel sind Kabelschellen für die Aufputzverlegung von Haushaltsstromkabeln. Orientieren Sie sich am Bild.

So sollte ein Extruder verkabelt sein.

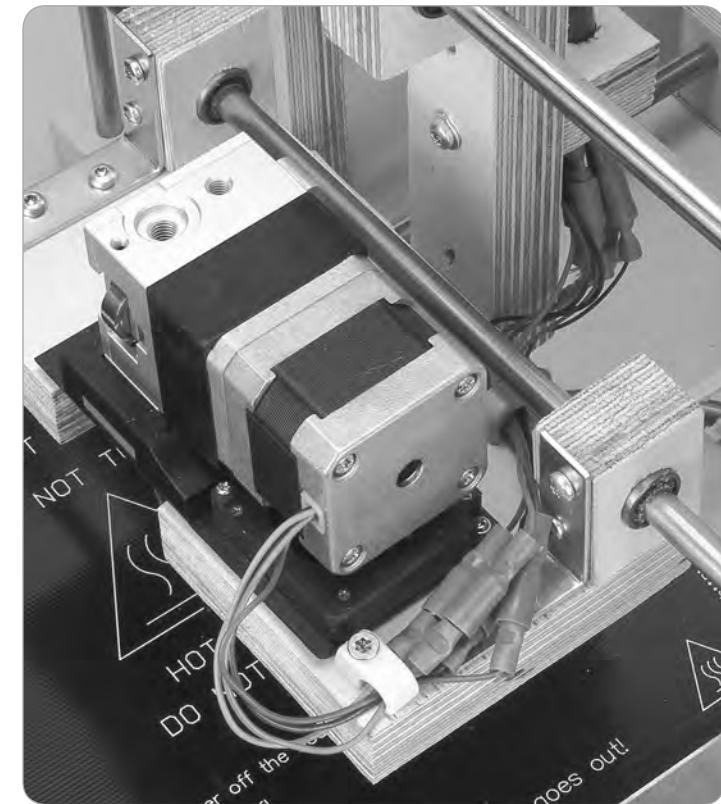
Die Steckerverbindungen sind gut erreichbar, damit ein Extruderausbau schnell machbar ist. Beim Einsatz eines anderen Extruders können Sie die Lage der Kabel und Stecker variieren und den Gegebenheiten anpassen.

KABEL VOR HOT-END-HITZE SCHÜTZEN

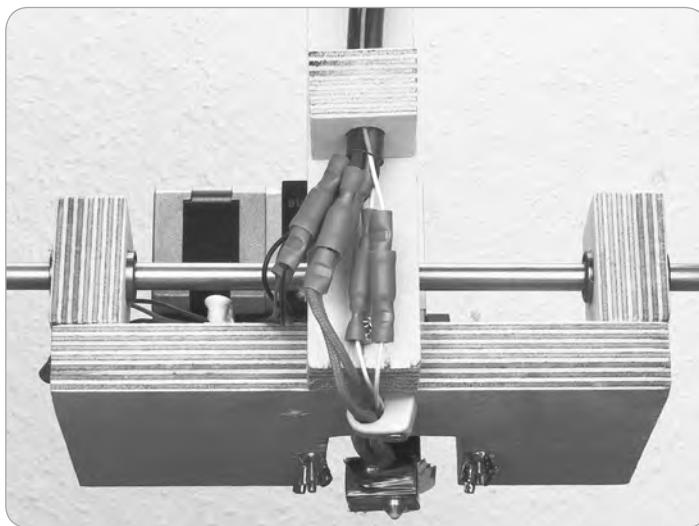


Die Hitze, die das Hot-End erzeugt, kann dazu führen, dass die Isolierung eines zu nah an der Hitzequelle verlaufenden Kabels schmilzt. Dies kann zum Kurzschuss führen. Achten Sie unbedingt darauf, dass die vier Kabel, die aus dem Hot-End austreten, sofort von dort weggeführt werden.

HINWEIS



- 4** Achten Sie darauf, die Kabel am Hot-End so abzulängen, dass sie möglichst wenig nach unten baumeln können, aber noch so locker sitzen, dass sie keinen Zug ausüben. Vor allem dürfen die Kabel auf keinen Fall nach unten hängen. Sie könnten sich sonst im Betrieb mit dem Ausdruck verheddern und dadurch den Druck oder den Drucker beschädigen. Kabelschellen können beim Fixieren der Kabel helfen. Orientieren Sie sich am Bild.



Beim Anschließen des Hot-Ends sollten Sie darauf achten, dass kein Kabel baumelt. Auf keinen Fall darf ein Kabel oder eine Kabelschelle tiefer liegen als die Spitze der Düse des Hot-Ends.

- 5 Kontrollieren Sie, ob alle Steckverbindungen Strom führen.

8.3 WELLENHALTER FÜR DIE X-ACHSE JUSTIEREN UND MIT DEM ANTRIEB KOMPLETTIEREN

Es fehlen für die x-Achse noch der Antriebsmotor samt Pulley, der Zahnrämen und sein Spanner, eine Umlenkrolle und ein Halter für die Kabelführung. Da Sie all diese Bauteile für die y-Achse schon einmal hergestellt und montiert haben, werden an diese Stelle keine unvermeidlichen Schwierigkeiten auf Sie warten. Die Justage der Linearführung sollten Sie wieder sorgfältig durchführen.

8.3.1 Kugellager der x-Achse justieren

Um diese Arbeit durchzuführen, muss der Druckkopfhalter frei über dem Druckbett schweben, damit Sie ihn von links nach rechts bewegen können, um zu testen, ob alle Lager klemmfrei laufen. Die Justage der Lager der x-Achse müssen Sie später jedes Mal wiederholen, wenn Sie den Druckkopfhalter ausgebaut oder durch einen anderen ersetzen hatten. Ihr Extruder und das Hot-End sowie der Zahnrämen können dabei auf dem Druckkopfhalter montiert bleiben.

- 1 Drehen Sie beide Gewindestangen abwechselnd im Uhrzeigersinn, bis zwischen Druckbetalthalter und Druckbett mindestens 5 cm Abstand sind. Messen Sie dann links und rechts die Abstände der unteren z-Achsen-Welle zur Grundplatte. Drehen Sie eine der beiden Gewindestangen, bis der Abstand auf beiden Seiten gleich ist.



- 2** Ziehen Sie zuerst alle Schrauben, die die beiden Stuhlwinkel mit den unteren beiden Kugellagerhaltern verbinden, an. Bewegen Sie dabei den Druckkopfhalter öfter hin und her, um zu kontrollieren, ob beide Kugellager klemmfrei laufen. Drehen Sie die betreffenden Schrauben erst endgültig fest, wenn das gewährleistet ist.
- 3** Ziehen Sie nun die Schrauben an, die das senkrechte Teil des Druckkopfhalters mit dem oberen Kugellager verbinden. Bewegen Sie auch dabei den Druckkopfhalter öfter hin und her, um zu kontrollieren, ob das obere Kugellager klemmfrei läuft, und drehen Sie die Schraube endgültig fest, wenn das der Fall ist.

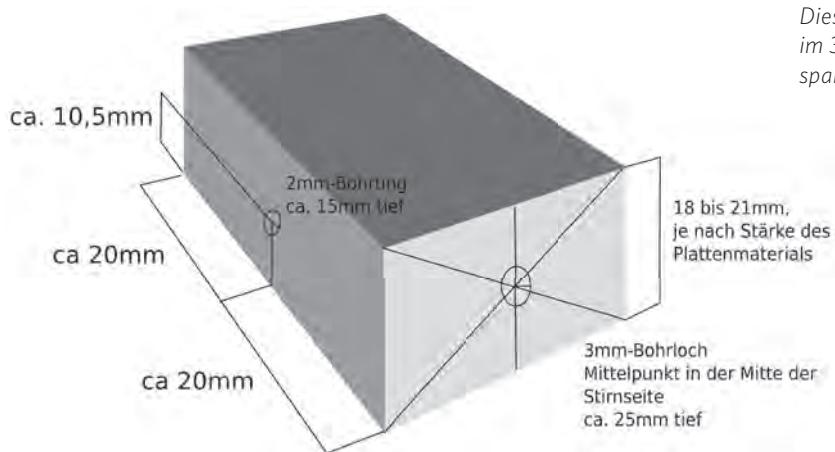
8.3.2 Zahnriemenspanner für die x-Achse bauen

Prinzipiell können Sie dabei genau so vorgehen, wie im Kapitel 5.4 »Zahnriemenspannvorrichtung für die y-Achse bauen und an den Druckbetthalter schrauben« beschrieben. Dort finden Sie auch Hinweise zur Ausrichtung des Zahnrückens und der Gewindestange, die im Spanner verbaut sind.

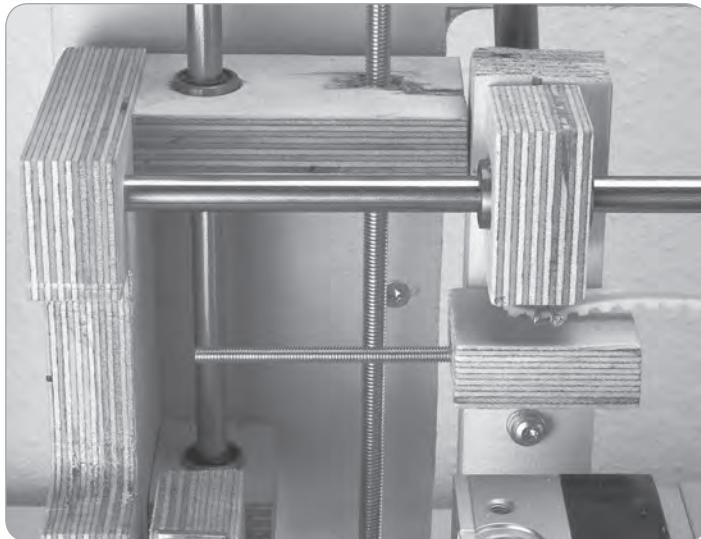
- 1** Sägen Sie vom 30 mm breiten Multiplexstreifen ein 40 mm und ein 30 mm langes Stück mit möglichst rechtwinkligen Sägeschnitten ab.
- 2** Bauen Sie aus dem 30 x 30 mm großen Holzstückchen den beweglichen Teil des Spanners, genau so, wie es in Schritt 3 des Kapitels über den Riemenspanner für die y-Achse beschrieben wird.
- 3** Bauen Sie aus dem 30 x 40 mm großen Stück den fest angeschraubten Teil des Riemenspanners. Dazu müssen Sie eine ca. 25 mm tiefe Bohrung mit 3 mm Durchmesser, die später ein Stück Gewindestange aufnimmt, mittig und lotrecht an einer der Stirnseiten sowie eine 15 mm tiefe Bohrung mit 2 mm Durchmesser mittig an einer der Längsseiten des Rohlings anbringen.

Orientieren Sie sich an der Skizze.

- 4** Schneiden Sie ein Gewinde in die dafür vorgesehene 3-mm-Bohrung und schrauben Sie ein ca. 70 mm langes Stück einer 4-mm-Gewindestange ein.
- 5** Tackern Sie ein ca. 105 cm langes Stück Zahnrämen am 30 x 40 mm großen Teil des Riemenspanners fest. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 6.



- 6** Montieren Sie den Teil des Riemenspanners, in den die Gewindestange eingeschraubt ist, am senkrecht stehenden Teil des Druckkopfhalters. Orientieren Sie sich am Bild.



Der Riemenspanner für die x-Achse ist an seinem Platz. Es wurde ein Spanner mit reduzierter Materialstärke verbaut, um am Motor einen kleineren Pulley montieren zu können.

Der bewegliche Teil des Riemenspanners wird erst mit dem anderen Ende des Zahnriemens bestückt und montiert, wenn der Antrieb für die x-Achse am Drucker angebracht ist.

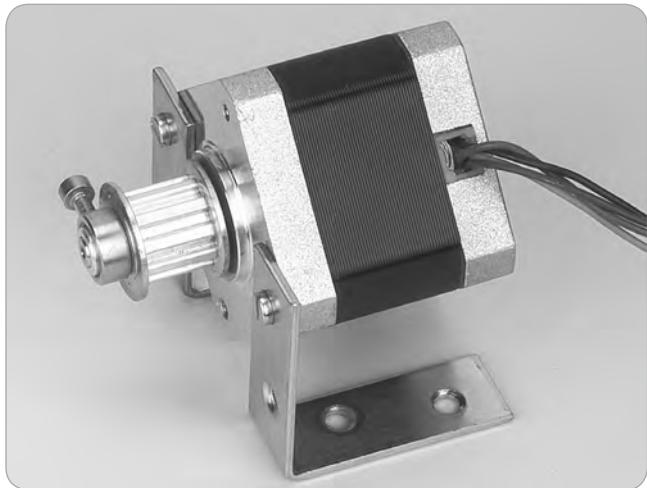


8.3.3 Antriebsmotor und Umlenkrolle für die x-Achse montieren

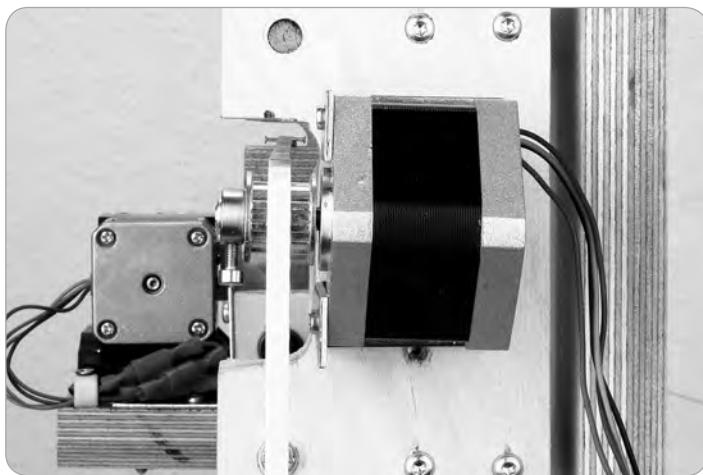
Nun bekommt Ihr Drucker Ohren. Der Motor und die Umlenkrolle schauen später links und rechts ein paar Zentimeter über die Rahmenkonstruktion hinaus und geben dadurch dem Drucker eine Art »Gesicht«. Das Prinzip des Antriebs der x-Achse ist dasselbe wie bei der y-Achse. Selbstverständlich werden hier die Besonderheiten des x-Achsen-Antriebs genauer erläutert.

- 1** Versehen Sie analog zum Vorgehen beim Antrieb der y-Achse einen Motor mit einem Pulley und zwei Stuhlwinkeln und montieren Sie einen Umlenkrollenhalter. Der einzige Unterschied ist, dass beim Motor die Schenkel der beiden Stuhlwinkel, die später am Holz festgeschraubt werden, in Richtung des Motorgehäuses liegend angegeschraubt werden. Das erschwert zwar später die Justage etwas, ist aber aufgrund der Platzverhältnisse nicht anders machbar. Orientieren Sie sich am Bild.

Der Motor für die x-Achse ist für seinen Einbau bereit.

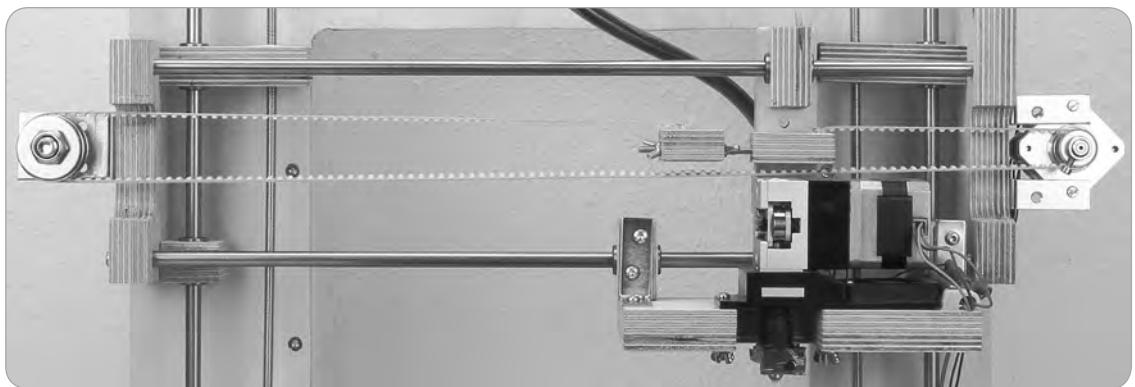


- 2** Schrauben Sie den Motor so an den rechten Wellenhalter für die x-Achse, dass die Oberkante seines Pulleys den vom Riemenspanner kommenden Zahnriemen aufnehmen kann, ohne dass dieser geknickt oder verdreht wird. Gehen Sie beim Bestimmen der Einbauposition des Motors und seiner Feinjustage vor wie beim Motor für die y-Achse. Falls Sie die Lage der Stuhlwinkel am Wellenhalter korrigieren wollen, müssen Sie leider den Motor abschrauben, um an die Spanplattenschrauben, die die Winkel halten, heranzukommen. Hier ist eventuell Ihre Geduld beim Justieren gefragt. Orientieren Sie sich bei der Positionierung des Motors am Bild.



Der Motor sollte so positioniert sein, dass der Zahnriemen gradlinig laufen kann.

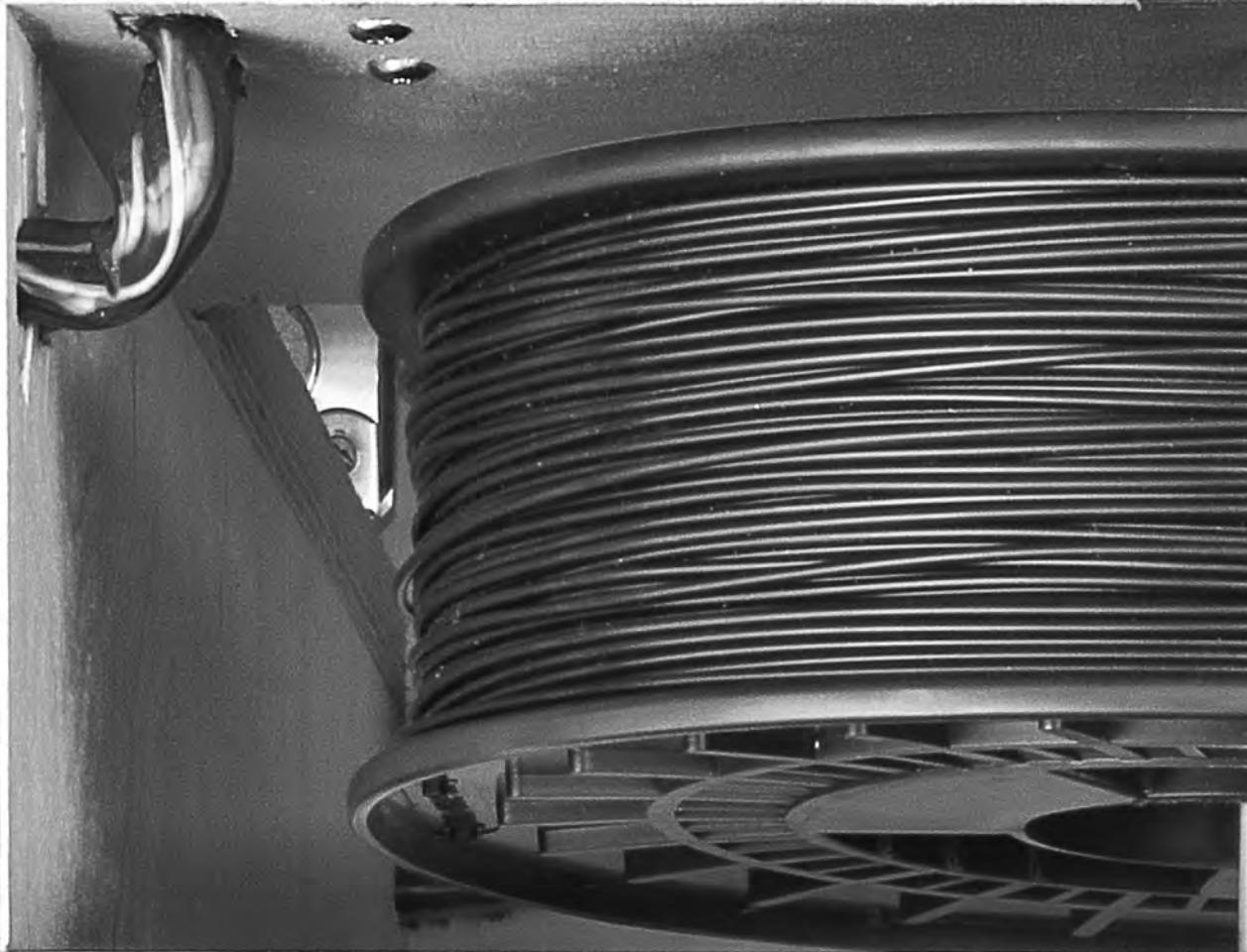
- 3** Komplettieren Sie den x-Achsen-Antrieb mit der Umlenkrolle auf der linken Seite. Gehen Sie beim Bestimmen der Einbauposition der Umlenkrolle und ihrer Feinjustage vor wie bei der Umlenkrolle für die y-Achse. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 4.
- 4** Tackern Sie das noch freie Ende des Zahnriemens auf das bewegliche Teil des Riemenspanners. Montieren Sie den Riemen und spannen Sie ihn. Orientieren Sie sich am Bild.



- 5** Kontrollieren Sie, ob der Riemen störungsfrei läuft. Wenn nicht, justieren Sie die betreffenden Bauteile nach. Gehen Sie auch hier so vor wie bei der Justage des Riemens für die y-Achse.

Der Antrieb für die x-Achse ist fertiggestellt.

Hiermit ist der Antrieb für die x-Achse (fast) vollbracht und der Bau der Mechanik komplett. Es fehlt nur noch die Kabelführung des Motors zur Steuerelektronik. Die erledigen Sie zusammen mit der Verkabelung des Endstopps für die x-Achse im übernächsten Bauabschnitt.





9

FILAMENT- ROLLENHALTER AM RAHMEN MONTIEREN

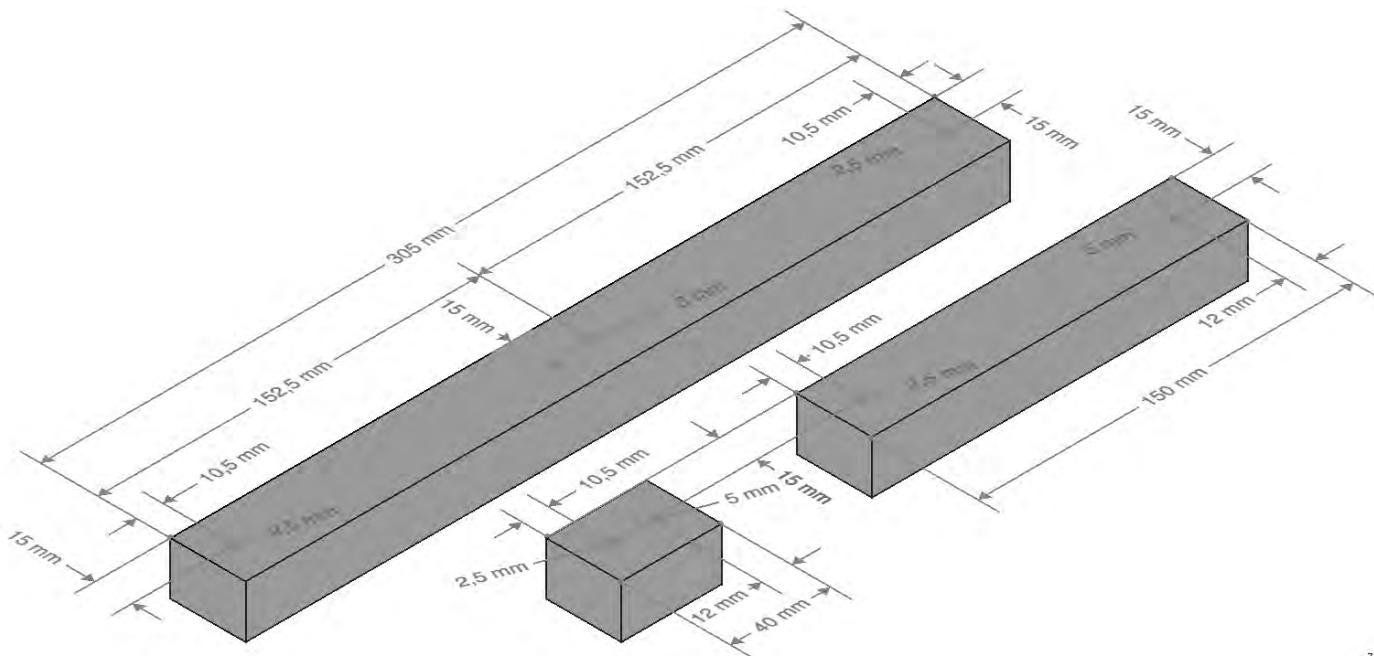
9.1 Bauteile vorbereiten und am Rahmen anbringen 166



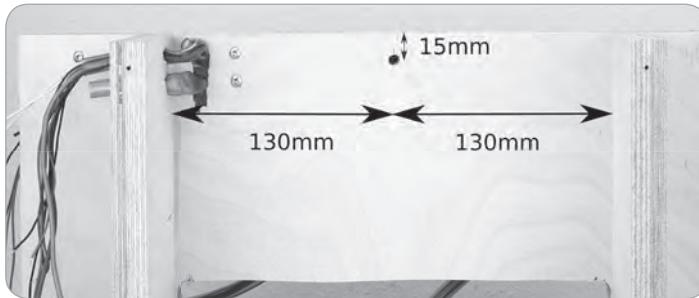
■ Die verbleibenden Holzarbeiten sind im Vergleich zu dem, was Sie bisher geschafft und geschaffen haben, ein Kinderspiel. Zwei kleine Klötzchen und ein längerer Multiplexstreifen, hinter dem Portal angebracht, ergeben einen Filamentrollenhalter mit einem Reststück 6-mm-Gewindestange als Achse und komplettieren den Drucker. Ein Stück Aquariumschlauch führt das Filament, sodass einer störungsfreien Versorgung des Extruders mit Druckmaterial nichts im Wege steht.

9.1 BAUTEILE VORBEREITEN UND AM RAHMEN ANBRINGEN

- 1** Sägen Sie vom 30 mm breiten Multiplexstreifen ein 305 mm langes, ein 150 mm langes und ein 40 mm langes Stück ab.
- 2** Versehen Sie die drei Bauteile mit den nötigen Bohrungen. Erstellen Sie die Bohrungen mit 6 mm und jene mit 10 mm Durchmesser als durchgehende Bohrungen. Die Bohrung mit 6mm Durchmesser, die mittig im 305 mm langen Bauteil vorgesehen ist, ist nicht durchgehend. Dieses Sackloch sollten Sie mit einer Tiefe von 15 mm bohren. Orientieren Sie sich an der Skizze.



- 3** Versehen Sie das Portal auf seiner Rückseite oben mittig mit einer 15 mm tiefen Bohrung mit 6 mm Durchmesser. Orientieren Sie sich am Bild.



So sollte der Mittelpunkt der 15 mm tiefen Sacklochbohrung am Portal positioniert sein.

- 4** Schrauben Sie die beiden Aquariumschlauchhalter mit 3,5-x-30-mm-Spanplattenschrauben an den Druckerrahmen. Der kurze Halter sollte etwa mittig, oben auf dem rechten Seitenteil, der lange oben mittig auf dem Portal platziert werden. Befestigen Sie ein ca. 40 cm langes Stück Aquariumschlauch in den beiden Haltern. Orientieren Sie sich am Bild.



So sieht die montierte Filamentführung, die oben auf dem Druckerrahmen ihren Platz findet, aus.

- 5** Längen Sie ein ca. 125 mm langes Stück Gewindestange ab und entgraten Sie es.

WIDERSTANDSMINIMIERUNG AM FILAMENTROLLENHALTER

Eine Achse aus Gewindestangenresten für die Filamentrolle genügt zwar im Normalfall, um den Drucker störungsfrei zu betreiben, abgebrochene Druckvorgänge aufgrund von zu viel Widerstand des Filaments können jedoch ab und an durchaus vorkommen. Sie können den Filamentrollenhalter optimieren, indem Sie z. B. eine Achse aus einem Stück Alurohr oder einem Reststück Linearführungswelle verwenden. In diesem Fall müssten Sie nur die als Aufnahme für die Achse vorgesehenen Sacklochbohrungen statt mit 6 mm in einem der Achse entsprechenden Durchmesser ausführen.

Später, wenn Ihr Drucker in Betrieb ist, können Sie den Rollenhalter vervollkommen, indem Sie eine kugelgelagerte Rollenfixierung, die auf der vorhandenen Achse sitzt, ausdrucken und einbauen. STL-Dateien für einen solchen einfachen kugelgelagerten Rollenhalter zum Ausdruck finden Sie z. B. unter <http://www.thingiverse.com/thing:154324>.

TIPP!



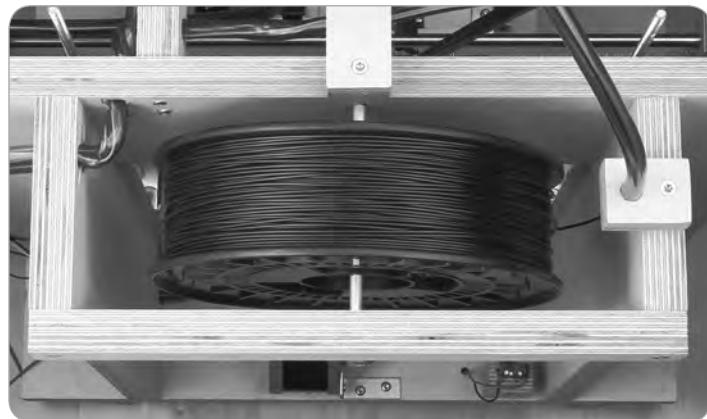


STÖRQUELLE AQUARIUMSCHLAUCH

Es kann vorkommen, dass der Kunststoffdraht im Druckbetrieb durch Reibung an seiner Führung, die aus Aquariumschlauch besteht, so schwer läuft, dass das Förderrad des Extruders diesen Reibungswiderstand nicht mehr überwinden kann. In diesem Fall können Sie in den Aquariumschlauch einen Teflonschlauch mit einem Innendurchmesser, dessen Maß leicht über dem Außendurchmesser des verwendeten Filaments liegt, einführen. Erhältlich sind Teflonschläuche im RepRap-Bedarf, da sie für die Filamentführung bei Bowden-Extrudern Verwendung finden.

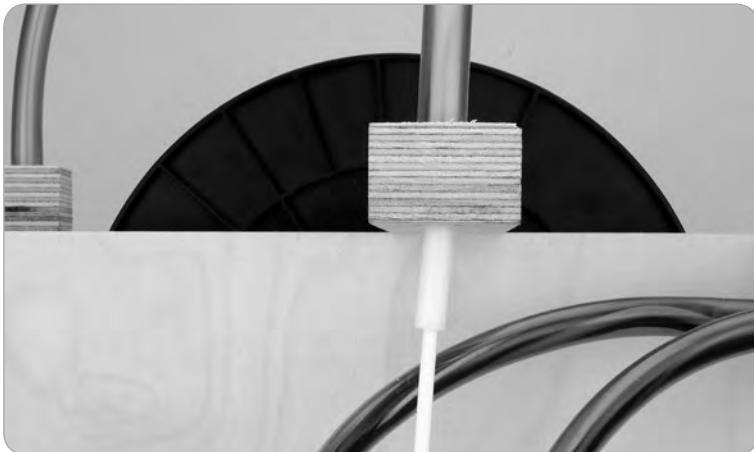
TIPP!

- 6** Jetzt können Sie die Gewindestange als Achse, auf der sich eine Filamentrolle frei drehen kann, verwenden. Die Enden der Achse liegen in den beiden Sacklöchern im Portal und im 305 mm langen Multiplexstreifen, der mit den Seitenteilen verschraubt wird, auf. Schrauben Sie den Multiplexstreifen so an, dass die Gewindestange horizontal in den Sacklöchern liegen kann. Zum Filamentwechsel schrauben Sie später jeweils einfach das 305 mm lange Multiplexteil ab, stecken die Achse durch die neue Filamentrolle, fädeln sie in die beiden Sacklöcher und schrauben alles wieder zusammen. Orientieren Sie sich am Bild.



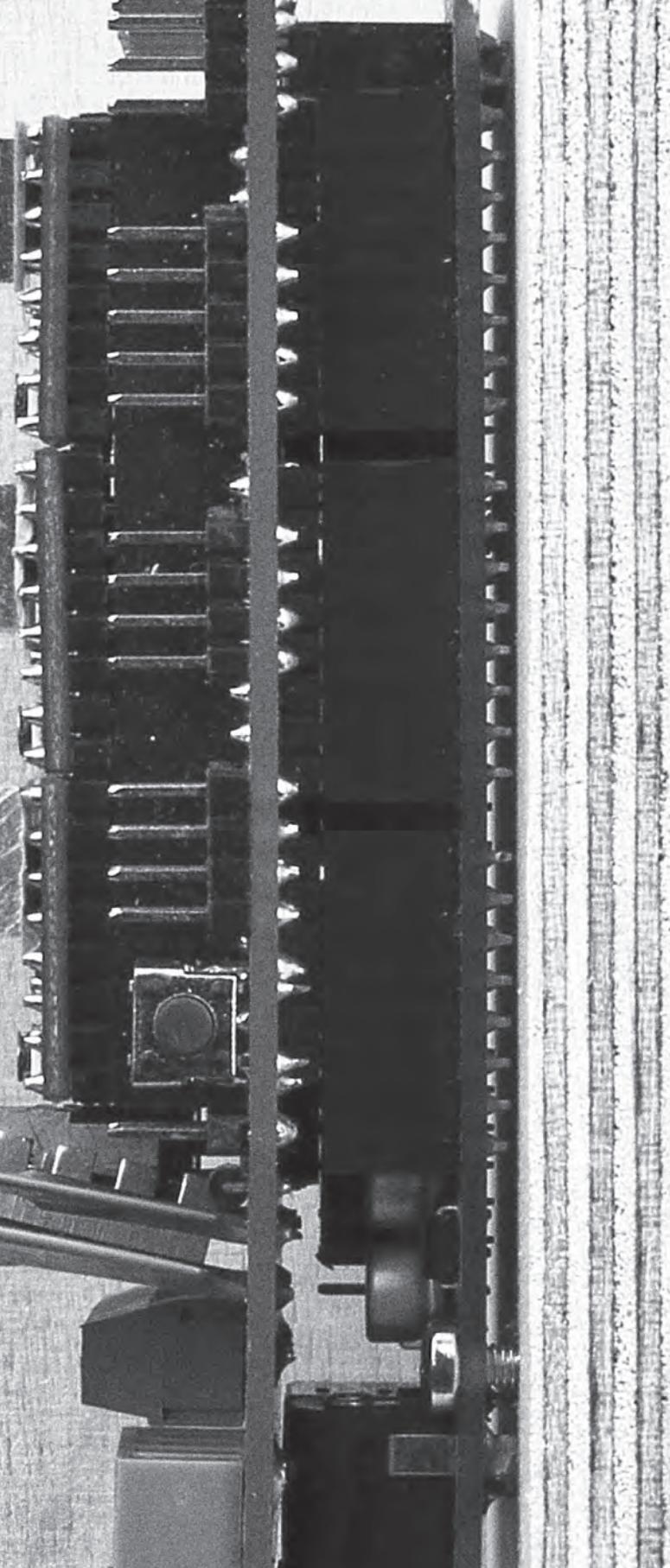
Der Filamentrollenhalter ist einsatzbereit. Damit sich die Rolle leichter drehen kann, wurde der 6-mm-Gewindestange im Bild ein Stück eines 6-mm-Aluminiumrohrs aus dem Baumarkt übergestülpt.

Das Filament wird später im Betrieb durch den Aquariumschlauch in Richtung Extruder geführt. Das Einfädeln des Druckguts ist denkbar einfach, da der Schlauch über einen deutlich größeren Durchmesser als das Filament verfügt.



Ein in den Aquariumschlauch gesteckter Teflonschlauch kann die Filament-führung erheblich verbessern.





10

EINBAU DER DRUCKER- STEUERUNG

10.1 Montage der Endstopps	172
10.2 Arduino™-Board am Drucker- rahmen befestigen	176
10.3 Ramps1.4-Board auf dem Arduino™ montieren	177
10.4 Steuerungskabel verlegen und verbinden	180



■ In diesem Bauabschnitt geht es darum, das Arduino-Board mit der aufgesteckten Ramps1.4-Steuerung im Drucker zu montieren und zu verkabeln. Zur Steuerung gehören auch drei Endstopps, die Sie an geeigneter Stelle platzieren müssen.

10.1 MONTAGE DER ENDSTOPPS

Je nach der Bauart können Sie diese Endstopps einfach an geeigneter Stelle mit kleinen Nägelchen befestigen oder anschrauben. Beim Endstopp für die z-Achse ist zusätzlich eine Einstellschraube vorgesehen, mit der Sie später die Höhenlage der Düse des Hot-Ends über dem Druckbett genau kalibrieren können.

10.1.1 Endstopf für die y-Achse montieren

SAINSMART- ENDSTOPPS EINBAUEN



Die in den folgenden Abbildungen zu sehenden SainSmart-Endstopps oder Klone davon werden oft günstig im RepRap-Bedarf angeboten. Die Lötstellenrückseite der Platine, auf der die eigentlichen Schalter aufgelötet sind, stören beim Anschrauben etwas. Wenn Sie die Platine mit 3-x-16-mm-Spanplattenschrauben mit flachem Kopf befestigen, können Sie M4-Muttern zu Unterlegscheiben umfunktionieren, um dieses kleine Problem zu lösen.

TIPP!

- 1 Bewegen Sie das Druckbett in seine hintere Endlage und prüfen Sie, ob sich die Düsen spitze des Hot-Ends noch über dem möglichen Druckbereich befindet. Sollte das nicht der Fall sein, schieben Sie das Druckbett so weit nach vorne, bis sich die Düse genau über dem Rand des Druckbereichs befindet. Markieren Sie die Stellung des linken hinteren Kugellagerhalters des Druckbetrthalters auf der Druckergrundplatte.
- 2 Montieren Sie einen Endstopf so am linken hinteren Wellenhalter der y-Achse, dass er den Sensorstromkreis unterbricht, sobald der Kugellagerhalter die Markierung überfährt. Sollte wegen der Bauart des Endstopps keine direkte Montage am Wellenhalter möglich sein, können Sie eine kleine Hilfskonstruktion aus Multiplexreststücken bauen. Ist die Markierung, an der der Endstopf auslösen soll, zu weit von einer möglichen Montageposition des Endstopps entfernt, können Sie sich mit einer Spanplattenschraube behelfen, die Sie so in den Kugellagerhalter drehen, dass die Schraube den Endstopf auslöst. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 4.
- 3 Bohren Sie mit dem 5-mm-Holzbohrer eine Öffnung für die Anschlusskabel des Endstopps in die Grundplatte. Führen Sie die beiden Kabel nach unten weg.
- 4 Kontrollieren Sie mit dem Multimeter oder der Prüflampe, ob der Endstopf auslöst, sobald die Düse des Druckkopfs am Rand des Heizbetts ist. Die Prüflampe muss erlöschen oder das Multimeter einen Widerstand von unendlich anzeigen.



So kann der Endstop für die y-Achse am Wellenhalter montiert sein. Die kleine Spanplattenschraube am Kugellagerhalter dient der Anpassung des Schaltpunkts des Endstopps an den real möglichen Druckraum.

10.1.2 Endstop für die x-Achse montieren

Dabei können Sie genau so vorgehen, wie beim Endstop für die y-Achse beschrieben. Allerdings verschwinden die Kabel nicht in der Grundplatte, sondern werden, gemeinsam mit den Anschlüssen des Motors, durch die Kabelführung aus Aquariumschlauch geführt.

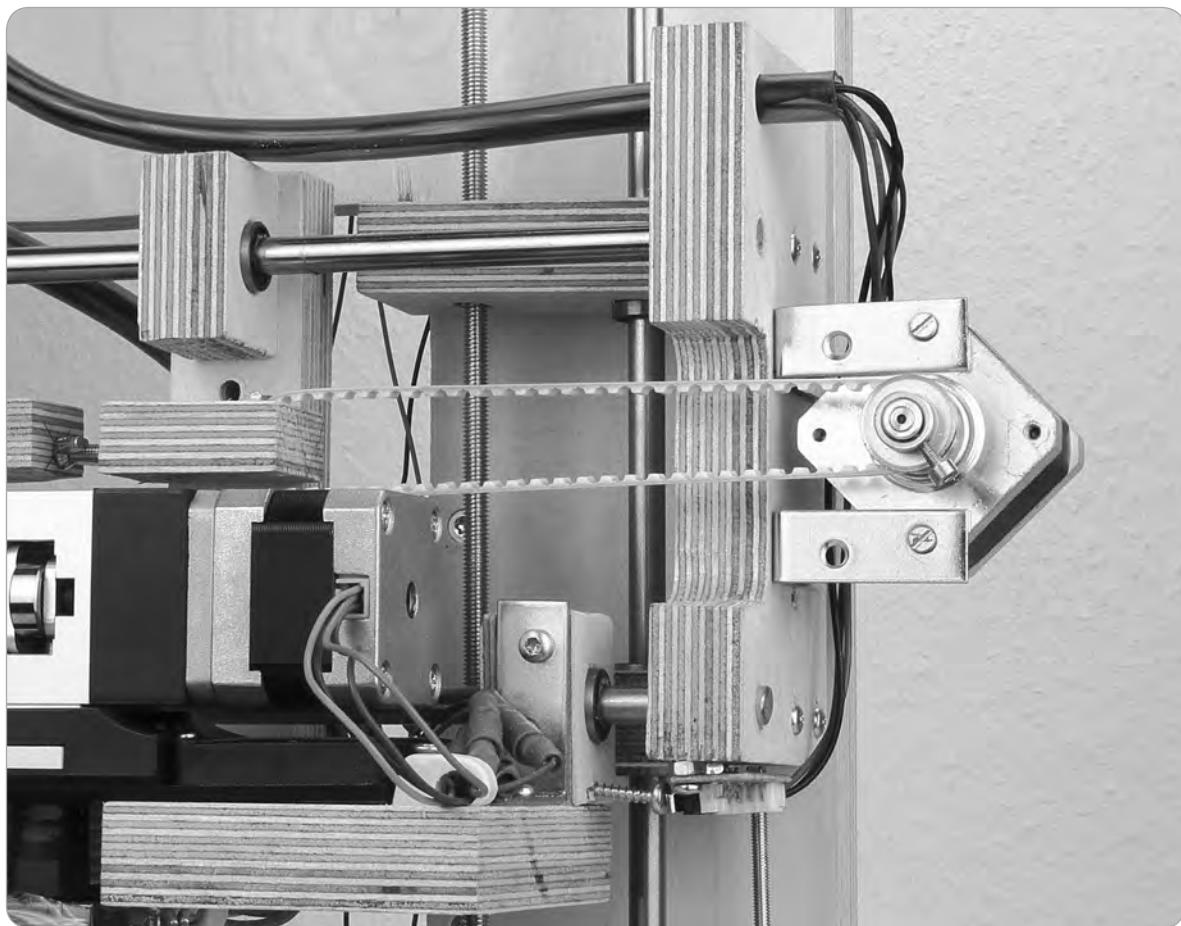
- 1** Schrauben Sie den Endstop so an den rechten Spezialwellenhalter der x-Achse, dass der betreffende Kugellagerhalter ihn auslöst, sobald der Druckkopfhalter das Ende des möglichen Druckraums erreicht. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 3.
- 2** Prüfen Sie, ob der Endstop auslöst, sobald die Düse des Druckkopfs den Rand des Druckraums erreicht. Auch hier können Sie eine Spanplattenschraube an geeigneter Stelle eindrehen, um den Auslösepunkt nach links zu versetzen, sollte das notwendig sein. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 3.
- 3** Führen Sie die Kabel des Endstop zusammen mit denen des Motors durch den Aquariumschlauch. Orientieren Sie sich am Bild.

MAXIMAL MÖGLICHER DRUCKBEREICH

Die Größe des MK3-Heizbetts ist nicht gleich der Größe des Druckbereichs. Die drei Schraubenköpfe für die Justierschrauben des Heizbetts schauen aus diesem hervor. Würde später im Betrieb das Hot-End eine dieser Schrauben rammen, könnte das zu einer Beschädigung des Druckers führen. Außerdem werden Sie meist mit einer aufgelegten Glasplatte drucken. Diese wiederum wird von Folder-Klammern gehalten, die den Druckraum einschränken. Achten Sie beim Montieren der Endstopps für die x- und die y-Achse auf diese Einschränkungen des Druckraums. Auch beim Justieren des Endstopps der z-Achse sollten Sie an die Materialstärke der aufgelegten Glasplatte denken.

Theoretisch muss der maximale Verfahrweg für jede Achse an zwei Enden definiert werden. Später beim Eintragen des Druckraums in der Firmware werden die jeweiligen Endstopps am anderen Ende des Druckraums pro Achse virtuell festgelegt. So können Sie sich den Einkauf von drei weiteren Endstopps sparen. Die im Buch angegebenen maximalen Verfahrwege pro Achse sind mit einem Sicherheitsfaktor angegeben. Wollen Sie den physikalisch möglichen Druckraum voll ausnutzen, müssen Sie den maximal möglichen Verfahrweg von den realen Endstopps weg am Drucker ausmessen und in der Firmware eintragen. Da Sie damit aber nur ein paar Millimeter Druckraum gewinnen, raten wir davon ab.

TIPP

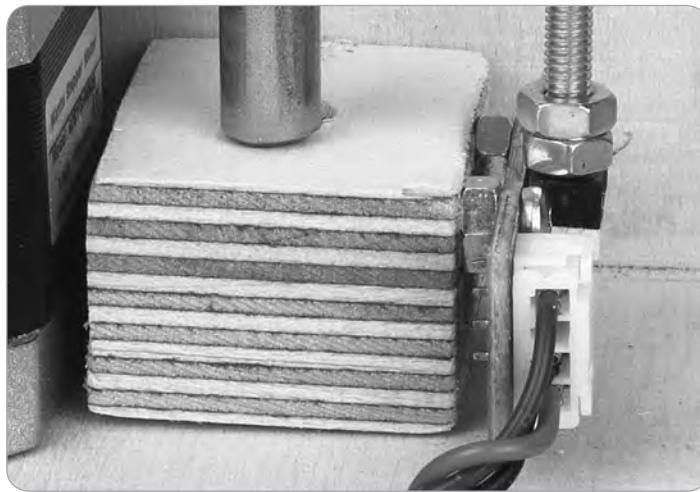


Die Kabelführung des Endstoffs (und des Stepermotors) für die x-Achse erfolgt durch den Aquariumschlauch. Eine kleine Spanplattenschraube dient auch hier der Justage des Endstop-Auslösemoments.

10.1.3 Endstop für die z-Achse montieren

Diesen Endstop sollten Sie so unter dem rechten x-Achsen-Wellenhalter montieren, dass eine Gewindeschraube, die Sie in das dort schon angebrachte Gewindeloch schrauben, genau auf den Auslösebügel des Endstoffs trifft, wenn später im Betrieb der Druckkopf nach unten fährt.

- 1 Montieren Sie den Endstop am unteren Wellenhalter für die rechte z-Achsen-Welle. Positionieren Sie ihn so unter der Justierschraube, dass diese genau auf den Auslösebügel trifft, wenn der Druckkopf nach unten gefahren wird. Den Abstand des Endstoffs zum Wellenhalter können Sie variieren, indem Sie Unterlegscheiben oder, wenn der Abstand größer sein soll, M5-Muttern unterfüttern. Orientieren Sie sich am Bild.



Die Justierschraube für die z-Achse muss beim Absenken des Druckkopfs genau auf den Auslösebügel des Endstopps treffen.

- 2** Messen Sie den Abstand zwischen der Düsen spitze des Hot-Ends und dem Heizbett sowie den Abstand der Unterkante des rechten x-Achsen-Wellenhalters zum Auslösebügel des Endstopps. Berechnen Sie die nötige Länge der Justierschraube, mit der später die Fein einstellung der Endlage des Druckkopfs möglich ist.
- 3** Drehen Sie eine M4-Schraube mit Sechskantkopf mit der in Schritt 3 ermittelten Länge oder eine Gewindestange, die Sie passend zurechtgesägt haben, in das Gewindeloch, das Sie in einem vorhergehenden Bauabschnitt im betreffenden Wellenhalter angebracht haben. Falls Sie ein Gewindestangenstück verwenden, belassen Sie die beiden zum Einschrauben benötigten Muttern auf der Stange und drehen sie ans untere Ende. Kontern Sie sie dort wieder gegeneinander. So können Sie später die Gewindestange wie eine Schraube mit Sechskantkopf drehen, um jederzeit eine Feinjustage des Endstopps der z-Achse vornehmen zu können. Praktisch für die Justage ohne Gabelschlüssel sind zwei gekontere Flügelmuttern.
- 4** Setzen Sie ein 5-mm-Bohrloch für die Anschlusskabel und führen Sie diese nach unten weg.
- 5** Klemmen Sie die Glasplatte mit Folder-Klammern auf das Heizbett. Prüfen Sie, ob der Endstopp auslöst, sobald die Düsen spitze beim Herunterfahren die Glasplatte berührt. Später können Sie bei einem Druckkopfwechsel die Höhenlage des Druckkopfs jeweils motorisch ändern. Jetzt, beim Zusammenbau des Druckers, drehen Sie einfach beide Gewindestangen des z-Achsen-Antriebs

JUSTIERSCHRAUBE MIT RICHTIGER LÄNGE

Die Länge dieser Justierschraube hängt von der verbauten Extruder-Hot-End-Kombination ab. Sie müssen beim Druckkopfwechsel gegebenenfalls eine neue Schraube mit anderer Länge montieren. Sonst könnte Ihr Drucker bei der Wiederinbetriebnahme nach dem Wechsel beschädigt werden!

Gehen Sie nach dem Einbau eines anderen Druckkopfs beim anschließenden Ermitteln der benötigten Schraubenlänge sowie bei der Montage der Justierschraube dabei jedes Mal vor, wie hier ab Schritt 3 beschrieben.

HINWEIS

LÄNGE DER ENDSTOPP- JUSTIERSCHRAUBE FÜR DIE Z-ACHSE BERECHNEN

TIPP:

Länge der Justierschraube = Abstand zwischen Wellenhalterunterkante und Auslösebügel + 15 mm - Abstand zwischen Düsen spitze und Heizbett.



Sobald die Düsen spitze das Heizbett berührt, sollte der Endstop auslösen.

Sie können die Justierschraube dank zweier gekonterter Flügelmuttern leicht von Hand etwas nach unten drehen, um z. B. die Materialstärke einer Glasplatte oder einer anderen Heizbettauflage auszugleichen.

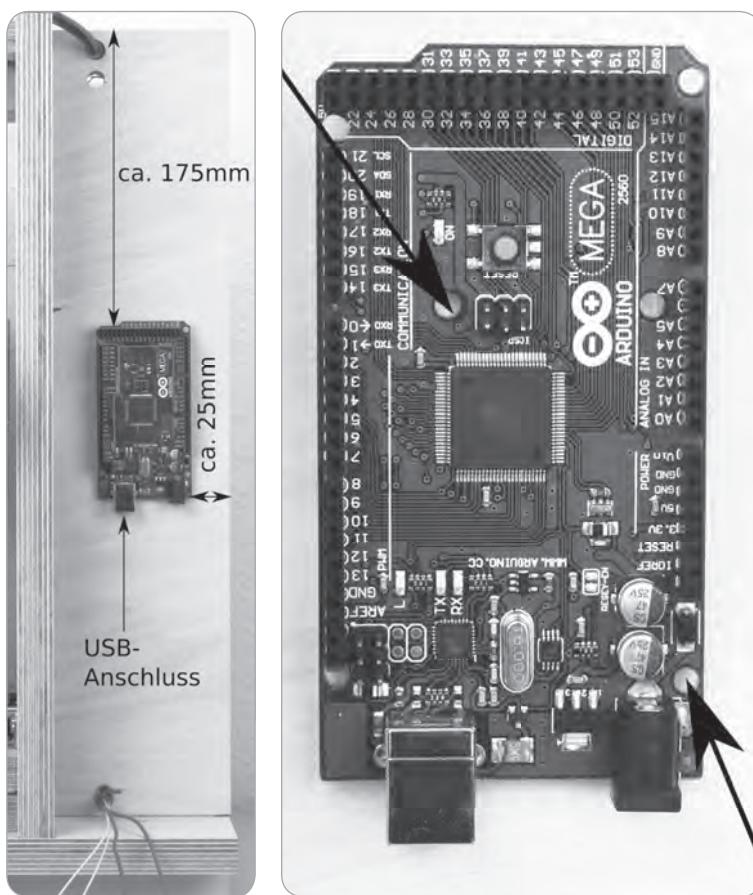
beim Justieren händisch. Achten Sie dabei darauf, dass Sie rechte und linke Seite gleichmäßig absenken und die Wellen der x-Achse immer parallel zur Grundplattenebene bleiben.



10.2 ARDUINO™-BOARD AM DRUCKERRAHMEN BEFESTIGEN

Das Arduino mit seinen Abmessungen von ca. 5,5 x 10 cm findet am rechten Seitenteil seinen Platz. Hier kommen Sie später gut und schnell an den Reset-Knopf des Ramps-Aufsteckboards heran, falls einmal eine Notabschaltung nötig wird.

- 1 Halten Sie das Arduino-Board an seine Position am Druckerrahmen-Sitenteil und markieren Sie mit einer Kugelschreibermine die Bohrlochpositionen für zwei Montageschrauben. Der USB-Anschluss sollte nach unten zeigen. Zwei der auf dem Board vorhandenen Bohrungen sind weit genug von aufgelötzten Bauteilen entfernt, um auch Schrauben aus dem Baumarkt mit relativ großen Köpfen aufzunehmen zu können. Orientieren Sie sich an den Bildern.
- 2 Erzeugen Sie mit dem 4-mm-Bohrer an den Markierungen zwei durchgehende Bohrungen.
- 3 Schrauben Sie das Arduino-Board mit 35 mm langen M3-Gewindeschrauben und passenden Flügelmuttern an das Seitenteil. Drehen Sie die Muttern nur so fest, dass das Board gerade fixiert wird. Achten Sie dabei sorgfältig darauf, keine mechanische Kraft auf das Board selbst auszuüben, es zu biegen oder sonst zu beschädigen.



Links: Das Arduino-Board kann am rechten Seitenteil platziert werden.

Rechts: An diesen beiden Stellen können zwei Montageschrauben das Board am Seitenteil halten.

10.3 RAMPS1.4-BOARD AUF DEM ARDUINO™ MONTIEREN

Mit vier Pololu-Steppertreibern A4988 oder Nachbauten muss das Ramps1.4 bestückt sein, um alle Motoren bewegen zu können. Die Treiber können Sie einfach auf das Ramps1.4 stecken. Sie müssen nur peinlich genau darauf achten, dass Sie die Treiberbausteine nicht verkehrt herum montieren. Auch die Montage des Ramps1.4 auf dem Arduino-Board erfolgt durch einfaches Aufeinanderstecken.

- 1 Zuerst sollten Sie die Jumper zur Einstellung des Microsteppings für die fünf Steppertreiber auf dem Ramps-Board setzen. Die Jumper liegen später, wenn die Treiber auf das Board gesteckt wurden, jeweils direkt unter dem entsprechenden Steppertreiber. Für die



BESCHÄDIGUNGEN BEI DER MONTAGE VERMEIDEN

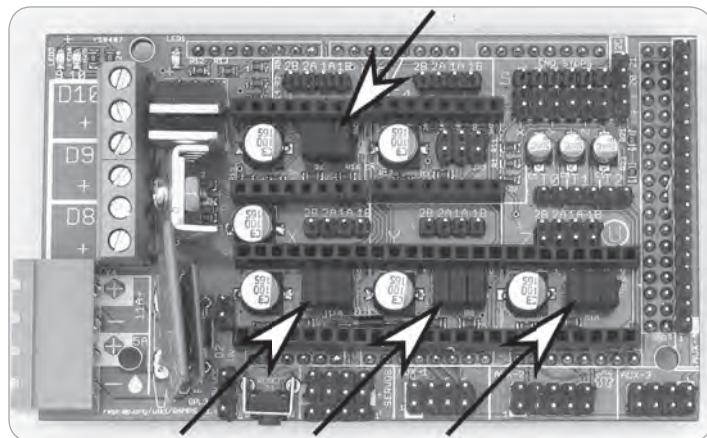


Das Arduino-Design mit seiner Möglichkeit, Ergänzungsmodule einfach aufeinanderzustapeln, ermöglicht Ihnen einen kinderleichten Zusammenbau der Steuerungselektronik. Sie stecken einfach Arduino, Ramps1.4 und die Steppertreiber gestapelt übereinander. Wenden Sie dabei jedoch nie Gewalt an. Dies könnte zu irreparablen Beschädigungen der Elektronik führen. Sollten sich die Pins (Kontaktstifte) eines Bauteils nicht auf Anhieb in die betreffende Buchsenleiste des darunterliegenden Moduls drücken lassen, überprüfen Sie bitte, ob alle Pins gerade sind und ob Sie mit den Pins exakt die richtigen Aufnahmen in der Buchsenleiste treffen. Falls ein oder mehrere Pins verbogen sind, biegen Sie sie vorsichtig gerade. Haben Sie die Pinleiste um einen oder mehrere Pinabstände versetzt auf die Buchsenleiste gesetzt, korrigieren Sie die Position der Bauteile zueinander.

Achten Sie auch auf die korrekte Orientierung der Steppertreiber auf dem Ramps-Board. Eine verdrehte Montage kann die Steuerungselektronik zerstören, sobald Sie Strom anlegen.

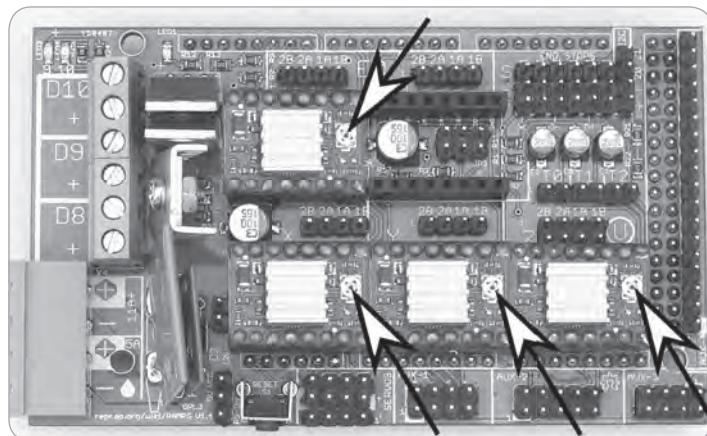
HINWEIS

Grundkonfiguration des FranzisMendel ist 1/16-Microstepping vorgesehen. Setzen Sie dazu auf die drei Jumper-Steckplätze für jeden der vier Treiber jeweils alle drei Jumper. Orientieren Sie sich am Bild.



Wenn Sie an den mit Pfeilen markierten Stellen je drei Jumper setzen, arbeitet das Ramps1.4 später mit 1/16-Microstepping-Schritten.

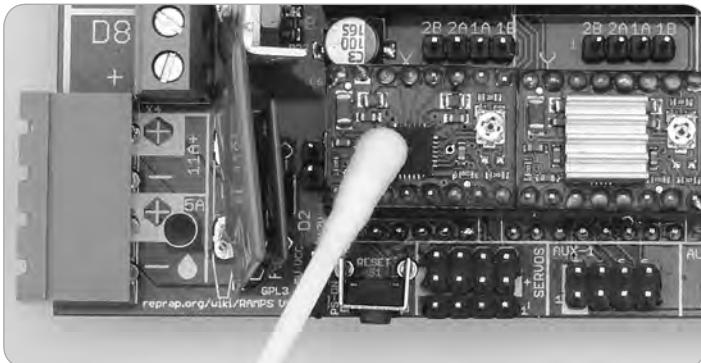
- 2 Stecken Sie fünf Steppertreiber in der richtigen Ausrichtung auf das Ramps1.4-Board. Betrachten Sie dazu das Ramps-Board von oben. Wenn die Stromversorgung des Ramps links liegt, müssen die Drehpotenziometer auf allen Steppertreibern jeweils rechts sitzen. Orientieren Sie sich am Bild.



Wenn bei links liegender Stromversorgungsbuchse auf dem Ramps-Board die mit Pfeilen markierten Drehpotenziometer jeweils rechts auf den vier Steppertreibern sitzen, haben Sie die A4988-Treiber richtig herum auf das Ramps gesteckt. (Im Bild sind bereits, wie in Schritt 4 beschrieben, die Kühlkörper aufgeklebt.)

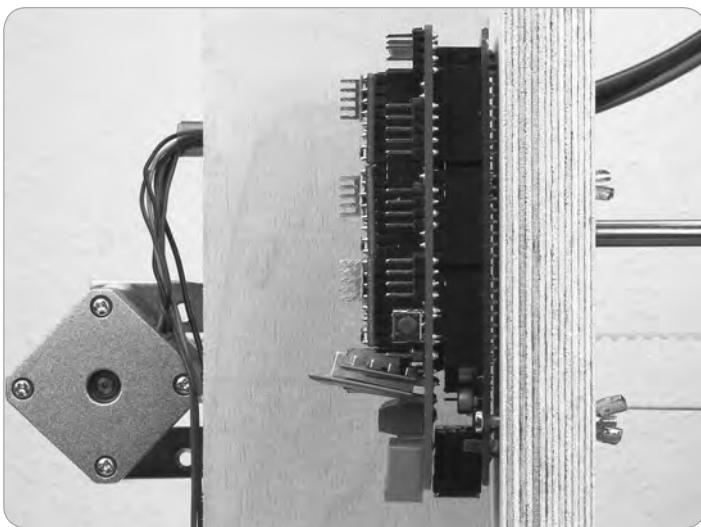


- 3** Reinigen Sie bei den fünf Treibern jeweils die Oberfläche der Leistungsverstärkerbausteine mit einem Wattestäbchen, das Sie mit einer Winzigkeit Spiritus getränkt haben. Orientieren Sie sich am Bild.



Bevor Sie Kühlkörper auf die Leistungsverstärker kleben, sollten Sie sie mit Alkohol reinigen, damit sie fettfrei sind.

- 4** Kleben Sie jeweils einen Kühlkörper mit dem mitgelieferten wärmeleitfähigen Klebstoff (meist Doppelklebeband) auf den Verstärkerbaustein der Stepper. Orientieren Sie sich am Bild bei Schritt 2.
- 5** Stecken Sie das Ramps-Board auf das Arduino-Board. Achten Sie dabei darauf, dass Sie alle Pins genau in die dafür vorgesehenen Aufnahmehilfen auf dem Arduino einführen. Orientieren Sie sich am Bild.



Alle Module der Steuerung haben, passgenau ineinander gesteckt, ihren Platz an der Seitenaussteifung des Druckerrahmens gefunden.

ANSCHLUSSPLÄNE UND PIN-BELEGUNGSLISTEN

Möchten Sie die Basiskonfiguration der FranzisMendel-Steuerung modifizieren, um z. B. eine andere Microstepping-Rate zu verwenden, oder wollen Sie zusätzliche Komponenten ans Ramps1.4-Board anschließen, hilft Ihnen die RepRap-Wiki weiter. Alle relevanten Informationen zum Verkabeln und Jumpern des Ramps1.4 finden Sie (englischsprachig) unter:

www.reprap.org/wiki/RAMPS_1.4

TIPP!

EINBAURICHTUNG BEI ANDEREN STEPPERTREIBERN

Manchmal werden statt der A4988-Treiber auch sogenannte DRV8825-Treiber in RepRap-Bundle-Angeboten geliefert. Bei diesen ist die Einbaurichtung genau entgegengesetzt: Die Drehpotenziometer müssen jeweils links (in Richtung der Stromversorgung des Ramps) auf den Treibern sitzen.

Grundsätzlich gilt: Falls Sie andere als A4988-Treiber einsetzen wollen, müssen Sie sich beim Einbau genau an die Angaben des Herstellers halten.

HINWEIS





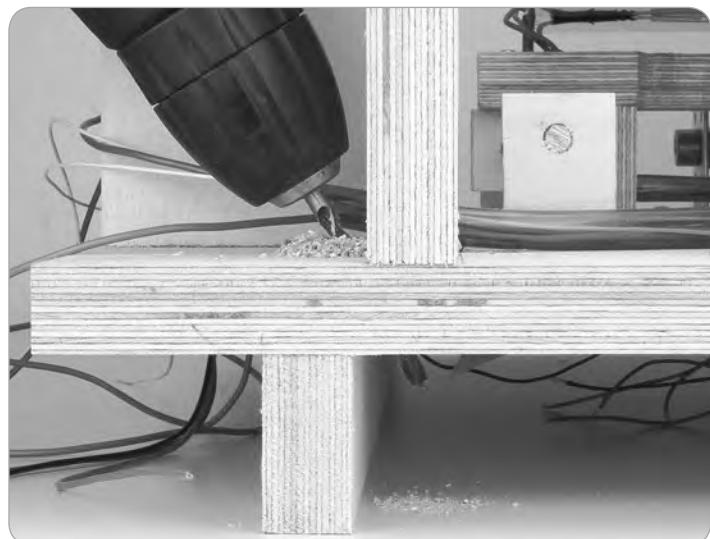
10.4 STEUERUNGSKABEL VERLEGEN UND VERBINDEN

Fünf Motoren, drei Endstopps, zwei Thermistoren, zwei Heizelemente (eines im Hot-End und eines im Heizbett) sowie eventuell ein Lüfter müssen mit dem Ramps1.4-Aufsteckboard verbunden werden. Dazu kommt die Stromversorgung sowie ein Datenbus via USB.

Sie haben in den vorangegangenen Bauabschnitten bereits fast alle Kabelführungen gebaut bzw. vorbereitet. Die Kabel, die in Aquariumschläuchen geführt werden, müssen Sie nur noch mit Buchsen versehen, um sie mit der Steuerung zu verbinden, die anderen werden unter der Grundplatte entlang in Richtung Steuerung geführt. Hier sind noch ein paar Bohrlöcher vonnöten. Diese letzten Bauarbeiten vor der Inbetriebnahme Ihres Druckers sollten für Sie als inzwischen erfahrenen Schrauber keinerlei Problem mehr darstellen.

- 1 Für die Kabel, die Sie im Laufe des Baufortschritts durch Bohrungen auf die Unterseite der Druckergrundplatte geführt haben, benötigen Sie eine zusätzliche Durchführung im rechten hinteren Eck der Grundplatte, um die Kabel wieder nach oben in Richtung Ramps1.4-Board führen zu können. Bohren Sie dazu ca. 5 cm von der Hinterkante der Grundplatte entfernt ein Loch mit 10 mm Durchmesser so, dass es den Platz, der vom Portal und dem rechten Seitenteil begrenzt wird, mit dem Teil der Grundplattenunterseite verbindet, der zwischen den beiden Grundplattenversteifungen liegt. Dazu müssen Sie den Bohrer leicht schräg ansetzen. Orientieren Sie sich am Bild.

Diese Bohrung sorgt für eine Kabeldurchführung, die schräg verlaufend den Raum zwischen den Grundplattenversteifungen mit dem Teil des Druckerrahmens verbindet, in dem die Steuerung montiert ist.



- 2 Eine allerletzte Bohrung gilt es noch zu setzen. Die Kabel für den Endstop der y-Achse können Sie entweder durch ein senkrechtes Loch direkt neben dem schrägen, das Sie soeben gesetzt haben, nach oben zur Steuerung führen, oder Sie erzeugen alternativ eine Bohrung durch die rechte Grundplattenaussteifung, fädeln die Kabel hindurch und führen sie dann gesammelt mit denen der Motoren für die z-Achse über die schräge Bohrung nach oben. Für beide Alternativen können Sie einen 5-mm-Bohrer verwenden.
- 3 Führen Sie die Kabel, die sich unter der Grundplatte befinden, durch die soeben erzeugten Bohrungen in Richtung Steuerung. Fixieren Sie die Kabel an der Unterseite der Grundplatte (z.B. mit ein paar Kabelschellen), damit sie bei einem eventuellen Transport des Druckers nicht nach unten baumeln können.
- 4 Die von den Motoren, Endstopps und Thermistoren kommenden Kabel benötigen an ihren Enden Buchsen, mit denen Sie eine leicht herzustellende und wieder lösbare, aber trotzdem zuverlässige Verbindung zum Ramps1.4-Board herstellen können. Längen Sie dazu die Kabel vorkonfektionierter Buchsen passend ab. Zu lange Kabelverbindungen bergen die Gefahr, störend herumzubaumeln oder durch eine unbedachte Bewegung abgerissen zu werden, zu kurze verunmöglichen die Herstellung einer zuverlässigen Verbindung zum Ramps1.4-Board.

KABELVERBINDUNGEN RICHTIG ZUORDNEN



Es kann Ihnen passieren, dass die Kabel der vorkonfektionierten Buchsen andere Farbcodes aufweisen als die der Motoren, Endstopps und Thermistoren. Sollte das der Fall sein, gibt es für die Zuordnung der Kabelenden zueinander einfache Lösungen:

Bei den Thermistoren ist es völlig unerheblich, mit welcher Polung Sie sie mit dem Ramps-Board verbinden. Für Endstopps gilt grundsätzlich das Gleiche, da es sich um einfache Ein/Aus-Schalter handelt. Trotzdem wird es hier etwas komplizierter, weil auf dem Ramps1.4 pro Endstop drei Pins zu finden sind. Dies ist einer möglichen Aufrüstung auf optische Endstopps geschuldet. Für die mechanischen, die im FranzisMendel zum Einsatz kommen, gilt folgende Faustregel: Schließen Sie bei Endstopps mit zwei Kabeln die beiden Anschlüsse an die vom Rand der Platine weiter entfernt liegenden Pins auf dem Ramps-Board an. Diese Pins sind mit + und - beschriftet. Von vielen mechanischen Endstopps führen, statt der üblichen zwei, drei Kabel weg. Hier können Sie ganz einfach mit einer Prüflampe oder dem Multimeter feststellen, welche beiden Adern der Schalter öffnet und schließt. Diese beiden müssen Sie mit den oben benannten Pins verbinden. Meist sind die Endstoppkabel mit Rot für +, Schwarz für - und Weiß für den mit S beschrifteten Pin codiert.

Achtung: Falsch angeschlossene Endstopps können zur Zerstörung der Steuerung und zu Brandschäden führen!

Steppermotoren mit ihren vier abgehenden Kabeln scheinen auf den ersten Blick noch komplizierter zu sein.

Eigentlich gibt es jedoch von den möglichen Kombinationen, wie Sie die vier Kabel des Motors mit den vier der Buchse verbinden können, nur zwei, die nicht funktionieren und das Ramps-Board gefährden könnten. →



KABELVERBINDUNGEN RICHTIG ZUORDNEN (Forts.)



Bei allen anderen wird lediglich die Drehrichtung des Motors beeinflusst, was Sie später in der Firmware im Bedarfsfall korrigieren können. Um sicherzugehen, keine der zwei nicht zulässigen Verbindungskombinationen zu erwischen, gehen Sie wie folgt vor:

Eruieren Sie mit der Prüflampe oder dem Multimeter, welche beiden Kabelpaare am Motor Stromdurchfluss ermöglichen. Nun ist es wichtig, dass Sie die beiden Kabelpaare so mit dem Ramps1.4 verkabeln, dass jedes stromdurchlässige Paar mit auf der 4er-Pinleiste nebeneinanderliegenden Pins verbunden wird. Die jeweilige Polung der Paare und welches Paar links bzw. welches rechts auf der 4er-Pinleiste seinen Platz findet, ist für die Funktion von Steuerung und Motor hingegen unerheblich.

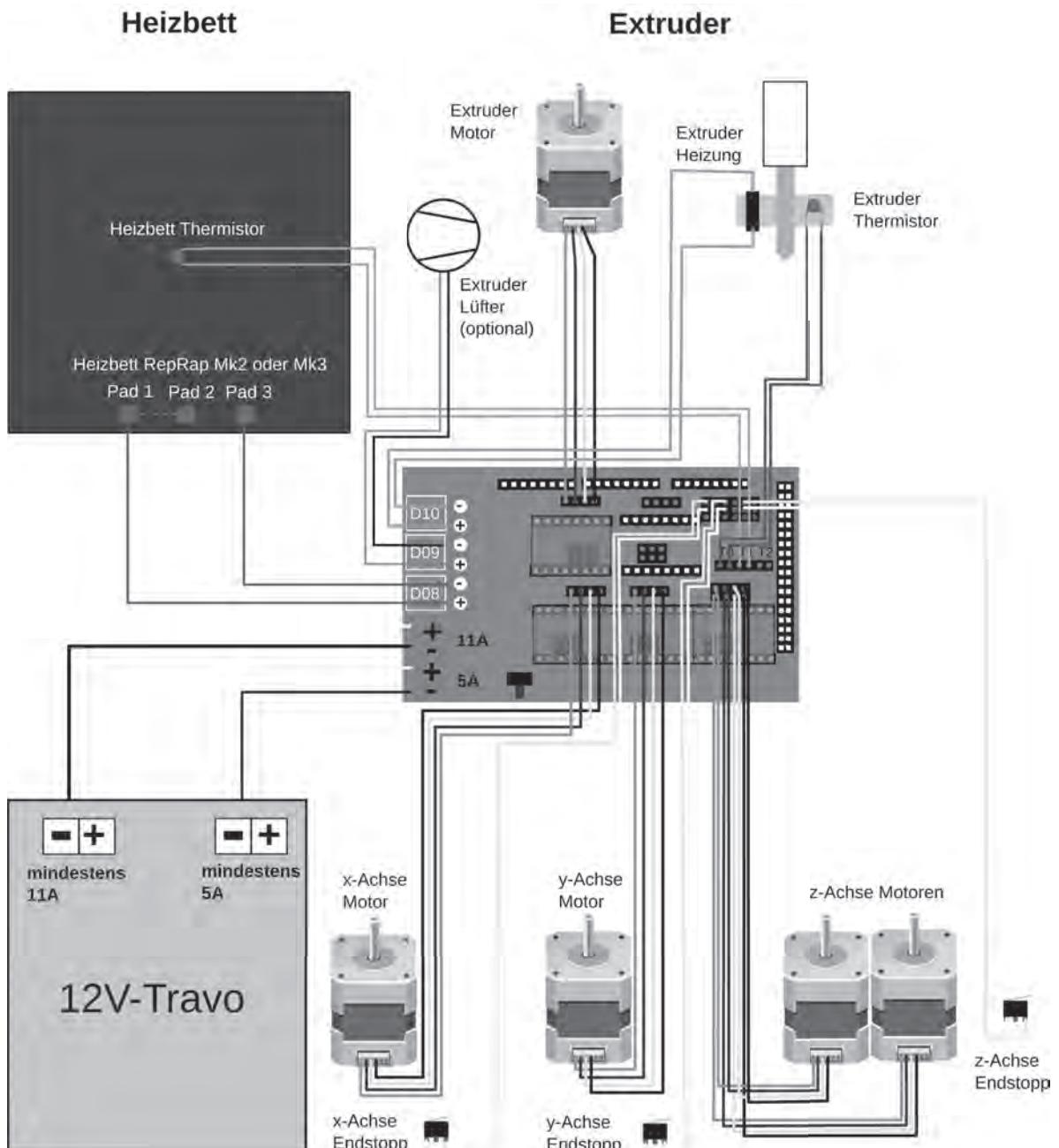
Eine wichtige Ausnahme gibt es: Für den Antrieb der z-Achse sind zwei Motoren im Einsatz, die in Aktion unbedingt die gleiche Drehrichtung haben müssen, damit Ihr Drucker funktioniert. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass in der Firmware leider nicht die Drehrichtung jedes Motors der z-Achse separat, sondern nur für beide gemeinsam geändert werden kann. Sie sollten darauf achten, dass bei beiden Motoren die entsprechenden Kabelpaare mit je gleicher Polung und einander entsprechend je links und rechts auf die Pinleisten gesetzt werden. Sollte sich später bei einem ersten Motortest herausstellen, dass beide z-Achsen-Motoren doch gegeneinander drehen, ist dieses Problem auch leicht zu lösen: Vertauschen Sie einfach bei einem Motor der z-Achse bei einem seiner Kabelpaare die Polung.

TIPP!

- 5 Verbinden Sie die abgelängten Kabel an den Buchsen mit den entsprechenden Kabeln, die von den Verbrauchern und Sensoren kommen. Sie können dazu löten (Schrumpfschläuche zur Isolierung bitte nicht vergessen) oder Lüsterklemmen verwenden. Auch Crimpverbindungen sind möglich.
- 6 Stecken Sie die Buchsen jeweils auf die betreffenden Pinleisten des Ramps1.4. Das Ramps1.4-Board ist relativ robust, sodass eine Zerstörung der Steuerungselektronik durch eine falsche Verkabelung eher selten vorkommen dürfte. Arbeiten Sie trotzdem sorgfältig. Falsch positionierte Buchsen können den Drucker funktionsunfähig machen. Gehen Sie systematisch vor. Stecken Sie zuerst alle vieradrigen Buchsen, die für die Stromversorgung der Motoren zuständig sind, in die Pinleisten, die sich direkt neben den Steppertreibern befinden.

Da für die z-Achse zwei Motoren eingesetzt werden, befinden sich auf dem Ramps1.4 neben dem Steppertreiber für die z-Achse zwei Pinleisten. Bestücken Sie anschließend die Leisten für die Endstopps. In den Lücken zwischen den Buchsen auf der Endstop-Pinleiste wäre Platz für die Verbindung zu jeweils einem zweiten Endstop pro Achse. Achten Sie auf mögliche Verwechslungen der Steckpositionen. Zuletzt bleibt noch das Aufstecken der Verkabelung der Thermistoren. Orientieren Sie sich unbedingt am Schaltplan und am Bild bei Schritt 8.

RepRap Arduino Mega Pololu Shield 1.4 für FranzisMendel

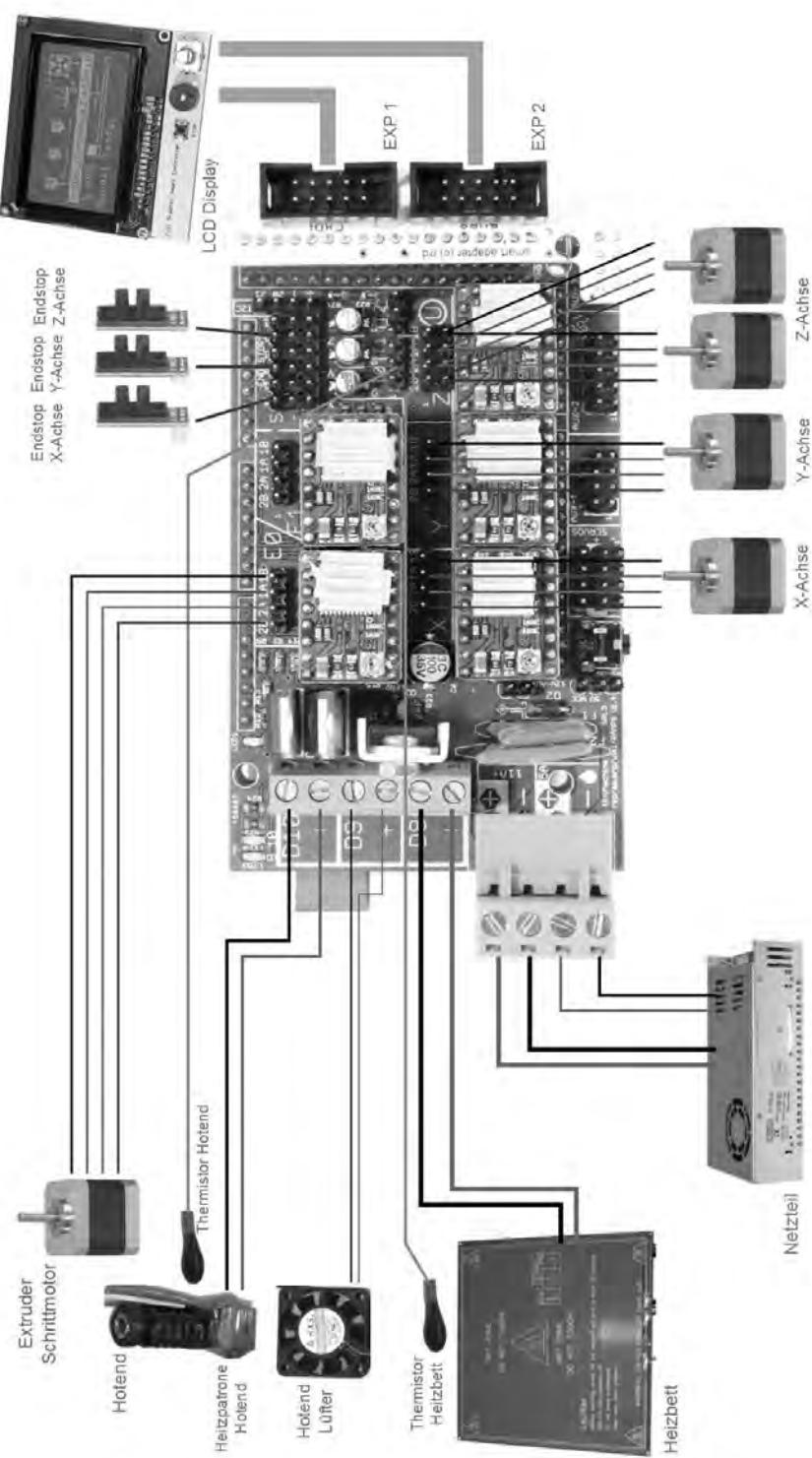


Created by Neil Underwood 5/28/2011
modified for FranzisMendel 2015

Den schematischen Schaltplan für den FranzisMendel zum Ausdrucken in Farbe
finden Sie unter www.buch.cd.



Diese schematische Abbildung soll Ihnen das Identifizieren der Pinleisten auf dem Ramps1.4 erleichtern. Wie ein Display mit SD-Slot zum optionalen Betrieb Ihres Druckers ohne Computer auf das Ramps1.4 gesteckt wird, ist ebenfalls ersichtlich.
(Quelle: www.my-home-fab.de)



- 7 Falls Sie einen Extruder verwenden wollen, der einen Lüfter benötigt (z. B. BulldogXL), müssen Sie noch die beiden Kabel des Lüfters mit den beiden Anschlüssen am Ramps1.4, die mit D9 beschriftet sind, verbinden. Das rote Kabel, das aus dem Lüfter kommt, sollte mit der mit »+« bezeichneten Klemme und das schwarze mit der mit »-« beschrifteten verdrahtet werden.
- 8 Verbinden Sie die Stromzufuhr der Extruderheizung mit den beiden Schraubklemmen, die mit D10 beschriftet sind, und die Kabel zur Heizung des Druckbetts mit denen, die mit D8 gekennzeichnet sind. Dabei ist die Polarität jeweils egal. Achten Sie nur darauf, Kabel der beiden Verbraucher nicht überkreuz mit dem Ramps1.4 zu verbinden. Orientieren Sie sich unbedingt am Schaltplan und am Bild.
- 9 Verbinden Sie das Ramps1.4 mit dem Netzteil. Orientieren Sie sich am Schaltplan und dem Bild bei Schritt 8. Achten Sie sorgfältigst darauf, die Kabel nicht verpolt anzuschließen. Eine Verwechslung der Plus- und Minuspole könnte zur Zerstörung der Steuerungselektronik führen!
- 10 Um den Drucker mit Daten zu versorgen, benötigen Sie eine Verbindung mit dem Computer. Diese können Sie mit einem USB-2-Standard-B-Kabel (Druckerkabel) herstellen. Die entsprechende Buchse befindet sich nicht auf dem Ramps1.4, sondern darunter auf dem Arduino-Board.



11

NETZTEIL FÜR DEN FRANZIS- MENDEL ZUM NULLTARIF

- | | |
|--|-----|
| 11.1 AT-Netzteil ohne Modifikation ... | 188 |
| 11.2 ATX-Netzteil,
noch weit verbreitet | 188 |
| 11.3 ATX2-Netzteil RepRap-fit
machen | 190 |
| 11.4 Erster Test
für das neue Netzteil | 191 |



MODIFIZIEREN JA ODER NEIN?

Das Modifizieren (Hacken) von Computernetzteilen sollten Sie nur vornehmen, wenn Sie über genügend Kenntnisse in Elektrotechnik und Elektronik verfügen.

HINWEIS

■ Der FranzisMendel wurde als Low-Budget-Maschine entwickelt. Ein Sparpotenzial von 20 bis 30 Euro liegt in der Stromversorgung Ihres Druckers. Falls Sie über einen alten, ausrangierte Computer verfügen, den Sie ausschlachten können, erhalten Sie, mit ein paar kleinen Hacks, ein hervorragend geeignetes Schaltnetzteil für Ihre Maschine zum Nulltarif.

Sie benötigen ein funktionierendes AT- oder ATX-Computernetzteil. AT-Trafos besitzen zwei sechspolige Stecker zur Stromversorgung eines Motherboards, ATX-Netzteile einen zweireihigen 20-poligen Stecker. ATX2-Netzteile, die Sie am zweireihigen 24-poligen Stecker erkennen können, sind grundsätzlich auch geeignet, verursachen jedoch manchmal einen höheren Verdrahtungsaufwand. Brauchbar sind grundsätzlich nur Trafos, die am 12-Volt-Strang mindestens 15, besser 20 Ampere Stromstärke liefern können. Funktionieren kann ein FranzisMendel mit einem Computernetzteil ab 300 Watt Leistung, da dies am 12-Volt-Strang ca. 15 Ampere liefert. Besser, weil zuverlässiger, sind 400 Watt oder mehr.

ACHTUNG LEBENSGEFAHR

Bei einem am Computernetzteil angeschlossenen Kaltgerätekabel kann an dessen Stecker theoretisch noch Strom anliegen, wenn Sie den Stecker aus der Steckdose entfernen. Achten Sie darauf, einen Schalter, der zweipolig schließt, als Netzschalter einzubauen, falls am Netzteil kein solcher angebracht ist, und vergewissern Sie sich, dass er geöffnet (Aus-Stellung) ist, bevor Sie den Stecker aus der Steckdose ziehen, um der Gefahr eines Stromschlags vorzubeugen.

ACHTUNG

11.1 AT-NETZTEIL OHNE MODIFIKATION

Diese Dinosaurier werden schon seit ca. 1996 nicht mehr hergestellt. Falls Sie jedoch noch eines mit Netzschalter im Trafogehäuse in Ihrer Bastelkiste finden, können Sie es ohne Modifikationen direkt verwenden. Trennen Sie einfach das gelbe und zwei schwarze Kabel von den Motherboard-Versorgungssteckern ab, entfernen Sie an jeder abgetrennten Litze ca. 6 mm der Isolierung und verbinden Sie sie mit der Ramps1.4-Elektronik, wie unten beschrieben. Die Farbcodierung für Computernetzteile ist seit 1984 bis heute beibehalten worden. Ein AT-Netzteil ohne Netzschalter, das nur über ein zweiadriges Verbindungskabel zu einem externen Hauptschalter verfügt, sollten Sie nicht einsetzen, es sei denn, Sie sind Elektriker von Beruf und wissen, wie Sie eine 230-Volt-Verkabelung mit einem zweipolig trennenden 250-Volt-/AC-Schalter, der für mindestens 10 Ampere Schaltstrom (oder mehr bei entsprechender Leistung des Netzteils) ausgelegt ist, ausführen müssen.

11.2 ATX-NETZTEIL NOCH WEIT VERBREITET

Diese 1995 eingeführten Trafos finden Sie noch heute in vielen Rechnern, die irgendwo unter oder auf einem Schreibtisch herumlungern. Ein solches Netzteil wird normalerweise über einen Niedervolt-Tastschalter am Computergehäuse eingeschaltet, der mit dem Motherboard verbunden ist, das dem Netzteil das Signal dazu gibt, aus dem Stand-by zu erwachen, sobald eben dieser Tastschalter betätigt wird.

11.2.1 Steuerleitungen des ATX-Netzteils brücken

Um ein ATX-Netzteil für Ihren FranzisMendel fit zu machen, bedarf es ein paar kleiner Modifikationen, damit es später beim Einsatz als Kraftquelle nicht den Dienst verweigert, sondern aus dem Stand-by erwacht, sobald der Netzstecker in der Steckdose und der Netzschalter am Trafo geschlossen ist.

- 1** Zwicken Sie mit einer Zange zunächst am 20-poligen Stecker, der eigentlich der Stromversorgung eines Motherboards dient, die beiden orangefarbenen Kabel, die an einer der Schmalseiten des Steckers ganz außen liegen, ab. Eines dieser außen liegenden Kabel kann statt orange auch braun sein.
- 2** Trennen Sie auch das grüne sowie eines der beiden direkt neben dem grünen liegenden schwarzen Kabel vom Stecker ab.
- 3** Entfernen Sie auf ca. 6 mm die Isolierung der vier abgetrennten Kabel.
- 4** Verbinden Sie das grüne Kabel mit dem schwarzen.
- 5** Verbinden Sie ebenso die beiden orangefarbenen Kabel oder gegebenenfalls das orangefarbene und das braune.



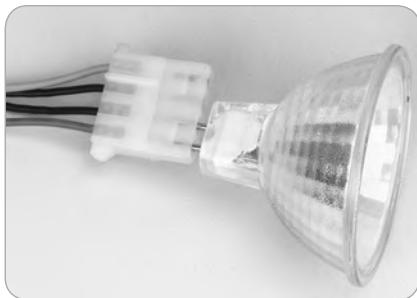
Damit ein ATX-Netzteil anspringt, müssen zwei Kabelpaare (Grün/Schwarz und Orange/Orange) gebrückt werden. Hier wurden Crimpkabelschuhe verwendet.

KABELBRÜCKEN BAUEN

TIPP!

Sie können die beiden Verbindungen, die Elektriker auch gern Brücken nennen, löten (Schrumpfschläuche nicht vergessen) oder Crimpstecker nehmen. Auch Lüsterklemmen können Sie für die Brücken verwenden.





Eine 12-Volt-Halogen-Glühbirne mit Stecksockel eignet sich gut als Grundlast am 5-Volt-Strang eines ATX-Netzteils.

GEFAHR DER SELBST-ZERSTÖRUNG!

**Computernetzteile sind Schalt-
netzteile und dürfen nie ohne einen
angeschlossenen Verbraucher mit
dem Haushaltstromnetz verbun-
den werden! Sie haben die gefährli-
che Eigenschaft, zu überhitzen und
eventuell sogar abzubrennen, wenn
sie ohne Last durch einen Verbrau-
cher betrieben werden. Falls Sie
Ihren 3-D-Drucker-Bau mit dem
Umbau eines Netzteils beginnen,
haben Sie noch keinen Drucker, der
als Verbraucher dienen könnte.
Sorgen Sie in diesem Fall unbe-
dingt immer dafür, dass, wie oben
beschrieben, eine Grundlast an das
Netzteil angeschlossen ist.**



ACHTUNG

11.2.2 Grundlast an das ATX-Netzteil anschließen

Einige ATX-Netzteile benötigen für einen stabilen Betrieb eine Grundlast am 5-Volt-Strang, andere springen ohne eine solche Grundlast gar nicht erst an. Eine kleine Grundlast an das ATX-Netzteil zu hängen schadet auf keinen Fall und ist sogar aus Sicherheitsgründen nötig, falls Sie noch keinen Verbraucher in Form eines RepRaps anschließen können (siehe Sicherheitstipp unten). Die Grundlastproblematik können Sie schnell erledigen, indem Sie einfach ein altes Laufwerk mit einem der dafür vorgesehenen vierpoligen Laufwerk-Stromversorgungsstecker (Molex-Stecker genannt) verbinden. Auch andere Verbraucher sind möglich.

Wenn Sie z. B. Ihren FranzisMendel später bei Betrieb beleuchten wollen, können Sie ein 12-Volt-Halogen-Leuchtmittel für Stecksockel am Molex-Stecker einstecken. Lassen Sie sich aber nicht verwirren! Die 12-Volt-Birne müssen Sie so einstecken, dass die Last auf dem 5-Volt-Strang liegt, also einen Pin dort, wo das rote Kabel ankommt, den anderen daneben, wo ein schwarzes Kabel ankommt. Eine 12-Volt-Birne wird als Grundlast am 5-Volt-Strang zwar nicht ihre volle Leuchtkraft entfalten, dafür aber ein langes Leben haben, da ein Durchbrennen durch einen Betrieb mit niedrigerer Spannung deutlich unwahrscheinlicher wird.

Sie können selbstverständlich auch ein 6-Volt-Leuchtmittel verwenden. Der Charme bei der Verwendung einer 12-Volt-Halogenbirne für den Sockeltyp GU5.3 liegt darin, dass sie aufwandlos in einen Molex-Stecker passen.

LED-Leuchtmittel können Sie zwar prinzipiell auch verwenden, allerdings kann es dann zu Problemen kommen, wenn die Grundlast zu gering ist, die Polung nicht stimmt oder die Diode(n) eine andere Nennspannung als 5 Volt benötigen. Während also LEDs eine Fehlerquelle darstellen, sind Sie mit der Halogenbirne, was die Grundlast betrifft, auf der sicheren Seite.

11.3 ATX2-NETZTEIL REPRAP-FIT MACHEN

Um ein solches Netzteil RepRap-fit zu machen, können Sie im Prinzip genau so vorgehen, wie oben beim ATX-Trafo beschrieben. Hochwahrscheinlich genügen die beiden Brücken (Grün/Schwarz und Orange/Orange bzw. Orange/Braun) schon, damit das Netzteil anspringt, sobald es Strom hat. Bei einigen ATX2-Netzteilen ist es jedoch nötig, zusätzlich vorhandene Feedback-Leitungen, die dem Netzteil Rückmeldung über den Status eines angeschlossenen Motherboards geben sollen, zu brücken. Feedback-Leitungen erkennen Sie daran, dass sie dünner sind als die anderen Leitungen am 24-poligen Stecker. Falls solche dünnen

Leitungen vorhanden sind, sollten Sie sie mit dicken Leitungen in gleicher Farbe am Stecker verbinden. Auch bei ATX2-Trafos gilt: Eine Grundlast auf dem 5-Volt-Strang schadet nicht und schaltet eine mögliche Fehlerquelle aus.

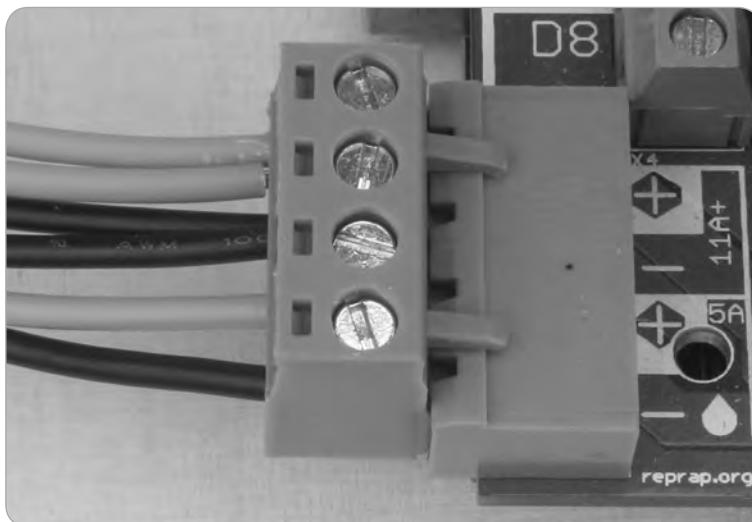
11.4 ERSTER TEST FÜR DAS NEUE NETZTEIL

Ob Ihr Netzteil nach den Modifikationen am Motherboard-Stecker anspringt oder ob es im Stand-by-Modus verweilt, erkennen Sie daran, ob die angeschlossene Grundlast mit Strom versorgt wird. Wenn also die Glühbirne leuchtet oder das Laufwerk beim Betätigen des entsprechenden Knopfs seine Datenträgerschublade öffnet, hat Ihr Netzteil-Hack den Test bestanden.

Falls nicht, müssen Sie sich auf Fehlersuche begeben. Zuerst sollten Sie prüfen, ob das Netzteil am Netz hängt, der Hauptschalter geschlossen ist und die angehängte Grundlast keinen Defekt hat. Neben diesen Fehlerklassikern sind Feedback-Leitungen, die nicht gebrückt sind, die Hauptfehlerquelle.

Ihr gehacktes Computernetzteil können Sie mit Ihrer Maschine verkaufen, wie auf dem Schaltplan im vorherigen Kapitel aufgezeigt:

Verbinden Sie die gelb codierten Plusausgänge (+) des Netzteils mit den mit 12 Volt+ bezeichneten Eingängen auf dem Ramps und die schwarz codierten Minusausgänge (-) mit den mit 12 Volt- bezeichneten Eingängen auf dem Ramps. Um möglichst viel Kabelquerschnitt zu erzielen, können Sie bei modernen Netzteilen dabei jeweils mehrere gleichfarbige Kabel zusammenfassen. Orientieren Sie sich am Bild.

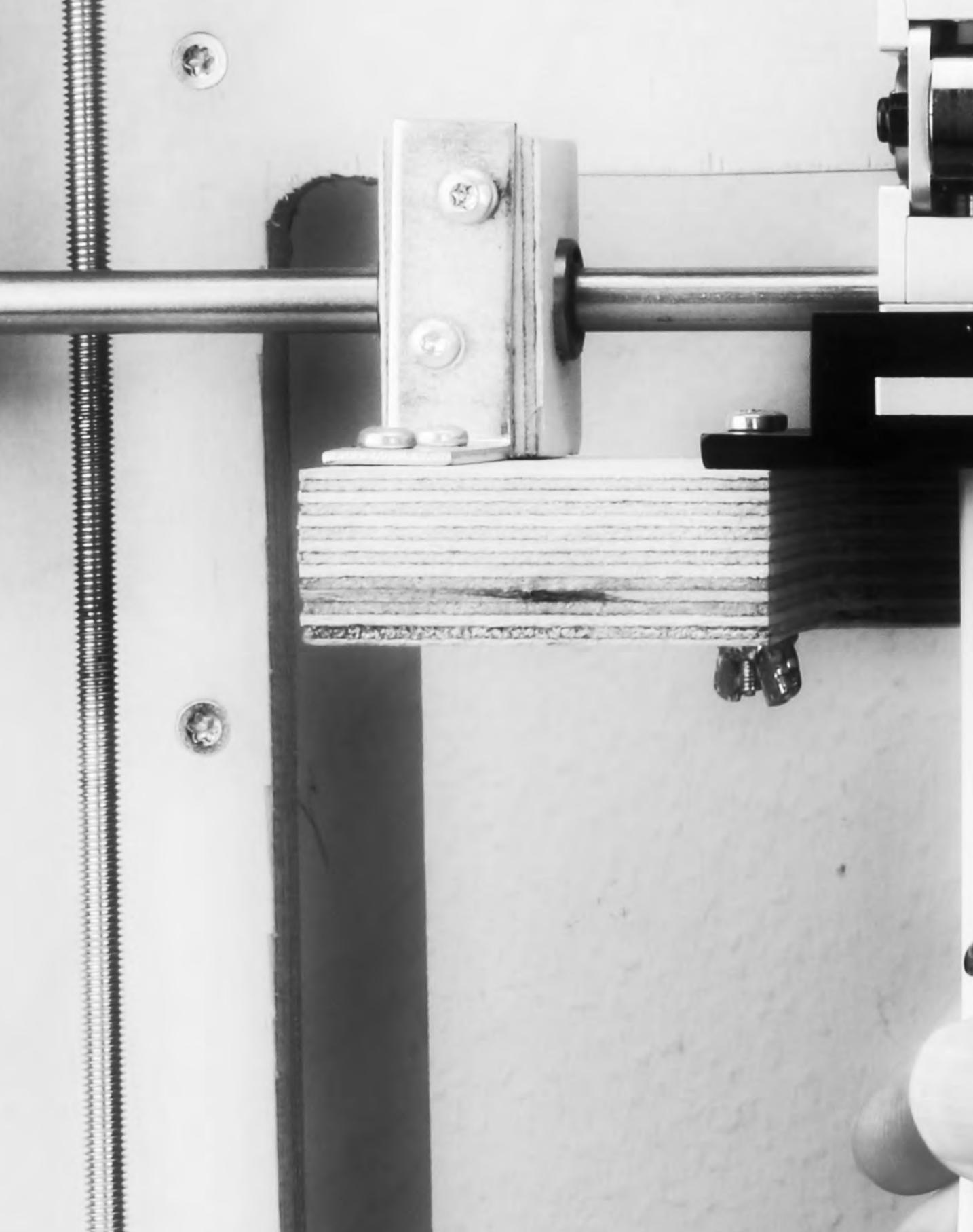


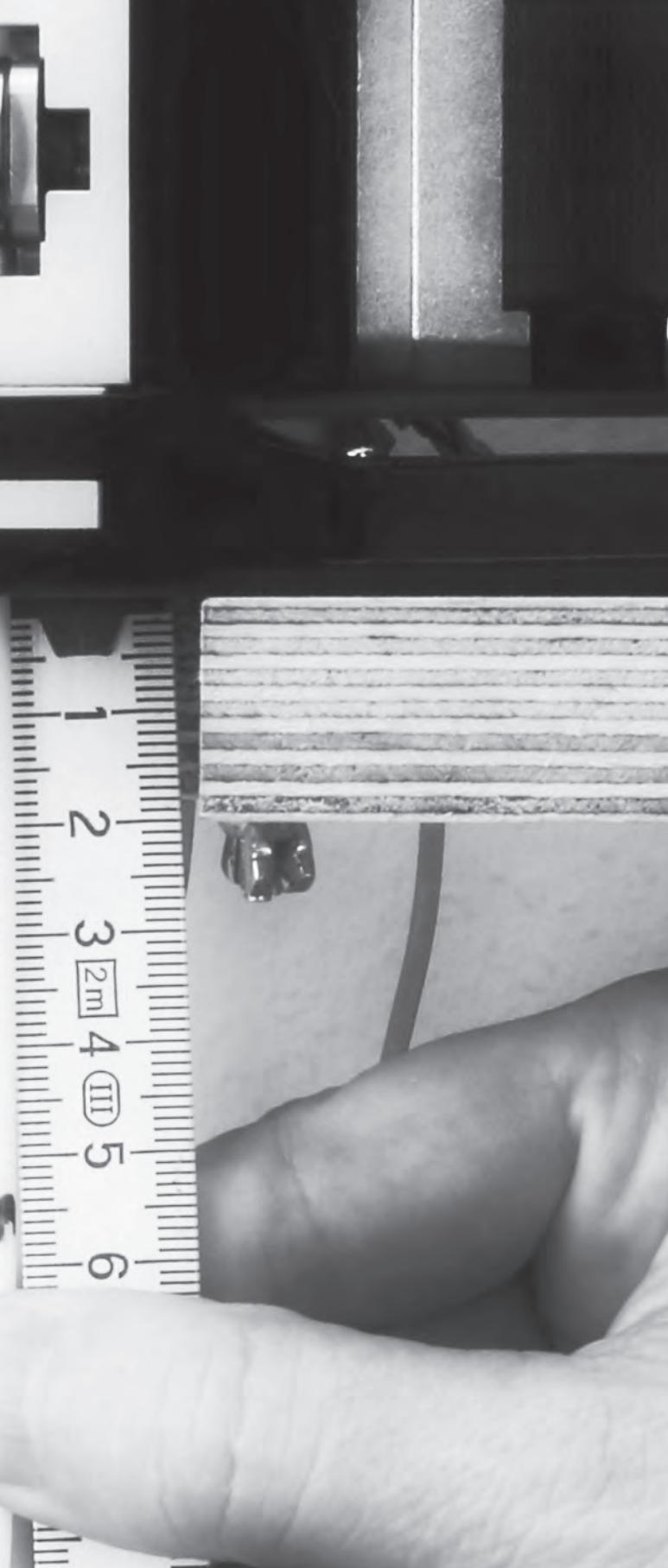
ATX-NETZTEILE: INFOS UND UMBAUTIPPS

TIPP!

Wenn Sie über eventuell vorhandene Feedback-Leitungen im Zweifel sind oder die nebenstehend beschriebene Fehlersuche nicht erfolgreich war, kann ein Blick in das RepRap-Wiki helfen. Unter www.reprap.org/wiki/PC-Netzteil finden Sie zusätzliche Tipps für die Fehlersuche und Pin-Belegungspläne für die Stecker von ATX- und ATX2-Netzteilen sowie Anregungen dazu, wie Sie Ihr selbst gehacktes Schaltnetzteil, z. B. durch einen Notausschalter, optimieren können.

Standardmäßig sind bei Computer-Netzteilen Kabel, die 12 Volt+ führen, gelb und die, die 12 Volt- führen, schwarz codiert.





FIRMWARE AUF DEN FRANZIS- MENDEL AUFSPIELEN

- 12.1 Arduino™-IDE installieren 194
- 12.2 IDE einrichten und Ansprechbarkeit
des Arduino™ testen 196
- 12.3 Firmware und Hostsoftware
aufspielen und konfigurieren 198



■ Bevor Ihr FranzisMendel loslegen und einen ersten Probedruck extrudieren kann, benötigt er eine Firmware. Dieses kleine Betriebssystem für den Arduino-Mikrocontroller können Sie mittels der quelloffenen Arduino-IDE kompilieren und dann über das USB-Kabel vom Rechner auf das Board Ihres Druckers überspielen. Diese IDE (integrierte Entwicklungs-Umgebung) ist ein Programm, das kostenlos für Windows, Mac OS X und Linux zur Verfügung steht.

12.1 ARDUINO™-IDE INSTALLIEREN

Vor dem Kompilieren gilt es, einige Konfigurationsdateien zu bearbeiten, damit der Mikrocontroller später mit der Hardware richtig umgehen kann. Ob ein Endstopp mit Öffnen oder mit Schließen des Stromkreises reagiert, wenn er aktiviert wird, muss z.B. genau so in der Konfiguration der Firmware berücksichtigt werden wie die konkrete Anzahl von Motorschritten, die nötig sind, um den verbauten Zahnriemen um einen bestimmten Weg zu bewegen.

Es gibt diverse quelloffene Firmwares, die für RepRap-Drucker entwickelt wurden. Eine Übersicht finden Sie unter reprap.org/wiki/List_of_Firmwares. Hier wird beschrieben, wie Sie die bewährte und einfach zu konfigurierende Firmware Marlin kompilieren und auf den Drucker übertragen. Keine Sorge: Auch wenn Sie mit Programmieren rein gar nichts zu tun haben (wollen), müssen Sie sich keine Gedanken machen, mit der Arduino-IDE und Marlin ist das Thema Druckerfirmware problemlos beherrschbar.

In diesem Kapitel finden Sie in Kurzform Schritt-für-Schritt-Anleitungen für die Installation der IDE unter Windows 7, Linux und Mac OS. Detailliertere Anleitungen finden Sie unter arduino.cc/en/Guide/HomePage.

Installation unter Windows

Eine bebilderte Anleitung zur Installation der Treiber unter Windows XP finden Sie unter arduino.cc/en/Guide/UnoDriversWindowsXP.

Diese ist im Prinzip auch für Windows 7 gültig. Im Einzelnen müssen Sie folgende Schritte durchführen:

- 1** Laden Sie sich die Arduino-IDE (1.6.5 oder höher) passend für Windows als Ziparchiv herunter und entpacken Sie das Archiv. Sie finden die Arduino-Software unter www.arduino.cc/en/Main/Software.
- 2** Schließen Sie das Druckersteuerungsboard mit dem USB-Kabel an den Rechner an. Lassen Sie das Netzteil des Druckers ausgeschaltet.
- 3** Warten Sie, bis Windows 7 die systemeigene Treibersuche ergebnislos abbricht.

-
- 4 Klicken Sie auf *Start*, anschließend auf *Systemsteuerung* und dann auf *Geräte-Manager*. Unter *COM&LPT* müsste ein Eintrag *Arduino UNO (COMxx)* zu finden sein. Auch ein Eintrag unter *Andere Anschlüsse* oder bei den *USB-Ports* ist denkbar.
 - 5 Wenn Sie den Eintrag *Arduino UNO (COMxx)* gefunden haben, klicken Sie mit der rechten Maustaste darauf und wählen im Kontextmenü *Treibersoftware aktualisieren*. Im erscheinenden Untermenü können Sie *Auf dem Computer nach Treibersoftware suchen* wählen und anschließend die Datei *arduino.inf*, die Sie im entpackten Archiv im Unterordner *Driver* finden, als Treiber installieren.

Doppelklicken Sie dann auf die Datei *arduino.exe*, die Sie ebenfalls im entpackten Archiv finden, um die IDE zu starten.

Installation unter Mac OS X

- 1 Laden Sie die Software für Mac OS X herunter. Sie finden sie unter www.arduino.cc/en/Main/Software.
- 2 Entpacken Sie das Ziparchiv in den Anwendungsordner.
- 3 Sie können die Arduino-IDE mit einem Doppelklick auf die Arduino-Anwendung im Anwendungsordner starten.

Installation unter Linux

Bei den beiden großen Distributionen Ubuntu und Mint können Sie die Arduino-IDE einfach über die Softwareverwaltung installieren, und das System kümmert sich automatisch um die Auflösung von Abhängigkeiten, legt ein Startmenü an usw.

Falls Sie eine andere Distribution verwenden: Detaillierte Installationsinformationen für die wichtigsten Linux-Distributionen finden Sie unter playground.arduino.cc/Learning/Linux.

So finden Sie dort z. B. für OpenSuse die Möglichkeit, direkt über Yast zu installieren.

Falls Sie manuell installieren wollen: Ein Tar-Archiv mit der Software gibt es unter www.arduino.cc/en/Main/Software.

Sie müssen sich zusätzlich zur Installation der IDE in die Gruppe *dialout* eintragen. Dies tun Sie im Terminal mit:

```
sudo usermod -aG dialout <Benutzername>
```



12.2 IDE EINRICHTEN UND ANSPRECHBARKEIT DES ARDUINO™ TESTEN

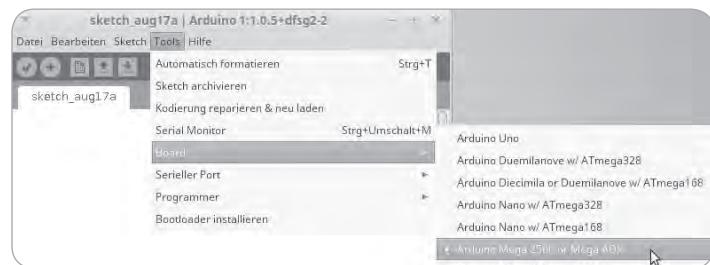
RAMPS-BOARD
BEIM AUFSPIELEN
DER FIRMWARE
AUSSCHALTEN

HINWEIS

Lassen Sie das Netzteil, das das aufgesteckte Ramps1.4 mit Strom versorgt, beim Aufspielen von Firmware prinzipiell ausgeschaltet. Durch diese Sicherheitsmaßnahme wird die Gefahr, dass Ihre Druckersteuerung zerstört wird, falls beim Firmware-Update etwas schiefgeht, deutlich verringert.

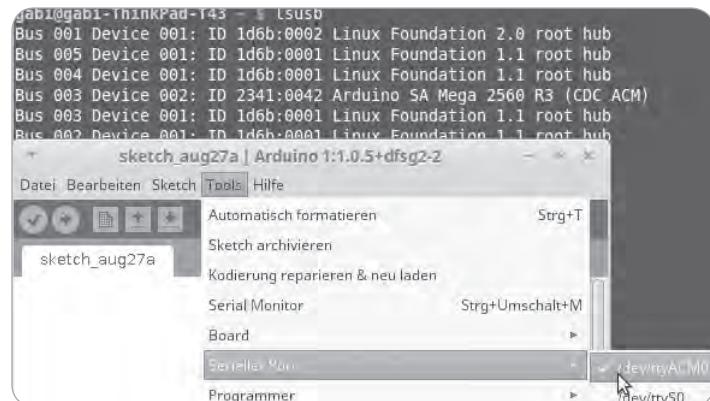
Nach der Installation der IDE gilt es, in ihr einige Einstellungen vorzunehmen, um das Arduino-Board ansprechen zu können. Ob diese vorgenommenen IDE-Grundeinstellungen passen, können Sie mit dem Aufspielen einer kleinen Mini-Firmware testen, die nichts weiter kann, als eine LED auf dem Board zum Blinken zu bringen.

- 1 Verbinden Sie das Arduino-Board Ihres 3-D-Druckers mit dem Rechner und öffnen Sie die Arduino-IDE.
- 2 Markieren Sie unter Tools/Board den Eintrag Arduino Mega 3560 or Mega ADK.



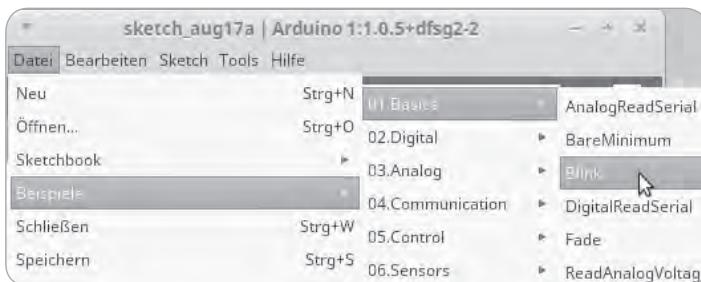
Stellen Sie die IDE auf das Board, das im Drucker verbaut ist, ein.

- 3 Teilen Sie der IDE unter Tools/Serieller Port mit, an welchem USB-Anschluss die 3-D-Drucker-Steuerung angeschlossen ist.



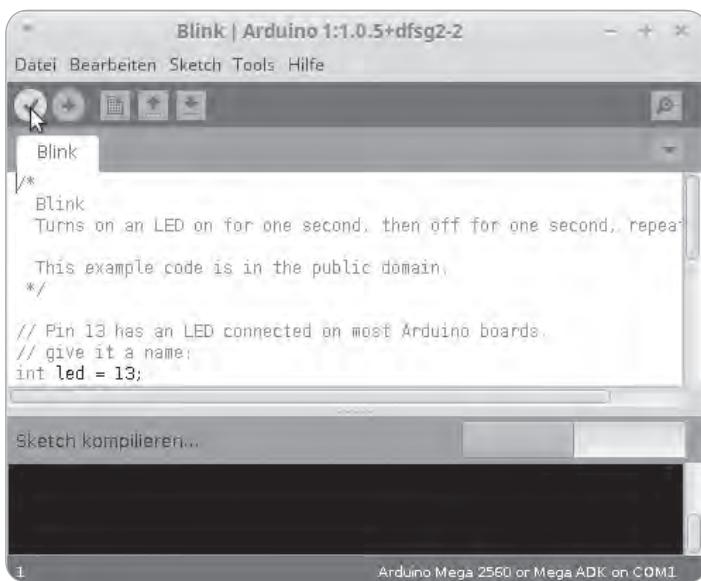
So kann z.B. der zu wählende USB-Port bei einem Linux-System aussehen. Bei anderen Betriebssystemen gehen Sie analog vor.

- 4 Öffnen Sie die Beispielfirmware *Blink* über Datei/Beispiele/01.Basics/*Blink*.



Die Mini-Firmware *Blink* eignet sich gut, um zu testen, ob sich das Board ansprechen lässt.

- 5 Nun gilt es, die Mini-Firmware *Blink* testweise zu komplizieren. Dies können Sie, indem Sie auf die Schaltfläche mit dem Häkchen links oben klicken, wobei die IDE diesen Schritt *Überprüfen* nennt.



Mit einem Klick auf die Schaltfläche mit dem Häkchen können Sie die Firmware testweise komplizieren und mit einem Klick auf die Schaltfläche mit dem Rechtspfeil auf das Board hochladen.

- 6 Falls diese testweise Kompilierung erfolgreich war, können Sie mit einem Klick auf die Schaltfläche mit dem Rechtspfeil die Firmware auf das Board hochladen (Upload). Vergewissern Sie sich beim Hochladen der Firmware, dass das aufgesteckte Ramps-Board von

AN WELCHEM USB-PORT HÄNGT DER ARDUINO?

Unter Windows 7 und XP: Stellen Sie fest, welche Ports Ihnen das Menü **Serieller Port** der IDE anbietet, trennen Sie das USB-Kabel der Druckersteuerung und prüfen Sie, welcher Port aus dem Menü verschwunden ist. Diesen Port müssen Sie wählen, sobald Sie das USB-Kabel des Arduino-Boards wieder mit dem Rechner verbunden haben.

Unter Mac OS X: Wählen Sie den USB-Port, dessen Bezeichnung mit /dev/tty.usbmodem beginnt.

Unter Linux: Geben Sie am Terminal lsusb ein und notieren Sie sich, an welchem Bus (Datenübertragungsweg) das Arduino-Board hängt. Wählen Sie diesen Port in der IDE aus.

HILFE BEI PROBLEmen MIT DER FIRMWARE

Este Hilfe bei Firmwareproblemen allgemeiner Art erhalten Sie (englischsprachig) unter www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting.

Im offiziellen Arduino-Forum (forum.arduino.cc/) finden Sie zudem Ansprechpartner für Ihre Fragen. Übrigens gibt es dort auch ein deutschsprachiges Unterforum, in dem Sie Hilfe finden können.

TIPP!



der Stromversorgung getrennt ist. Nach dem Upload sollte die LED an Pin 13 des Arduino Mega 2560 orangefarben blinken, was leider schwer zu sehen ist, weil das Ramps1.4 die Sicht auf die LED erschwert. Wenn die LED blinkt, haben Sie die Firmware Blink erfolgreich aufgespielt.

12.3 FIRMWARE UND HOSTSOFTWARE AUFSPIELEN UND KONFIGURIEREN

Wenn Ihr Arduino-Board ansprechbar ist und sich die Firmware Blink erfolgreich aufspielen ließ, können Sie damit beginnen, die eigentliche 3-D-Drucker-Firmware für Ihren FranzisMendel aufzuspielen. Dafür kommt Marlin zum Einsatz. Um die aufgespielte Marlin-Firmware (reprap.org/wiki/Marlin) gleich testen und Konfigurationsänderungen überprüfen zu können, benötigen Sie auch eine sogenannte Hostsoftware für Ihren FranzisMendel. Für diesen Host (engl. für Wirt, auch Gastgeber) kommt Repetier-Host (www.repetier.com) zum Einsatz.

Später im Alltagsbetrieb benötigen Sie zusätzlich einen sogenannten Slicer (engl. für »in Scheiben schneiden«), also eine Software, die die geometrischen Daten eines virtuellen dreidimensionalen Objekts in einzelne Schichten schneidet und für jede Schicht einen gangbaren Weg für den Druckkopf berechnet, um aus Kunststoffschichten ein reales Objekt zu erstellen. Die Daten für den Weg, den der Druckkopf Schicht um Schicht fahren muss, wird G-Code genannt. Für den Namen ist ein Zufall, nämlich die Position des Buchstabens G im Alphabet, verantwortlich, da bei vielen Maschinen-Steuercode-Standards Codeschnipsel mit Angaben zum linearen Verfahren eines Maschinenteils mit einem »G« beginnen.

Bei Repetier-Host werden Ihnen gleich mehrere Open-Source-Slicer mitgeliefert, darunter Skeinforge, Slic3r und seit Neuestem Cura. Die Erstellung eines guten G-Codes ist mathematisch nicht trivial. Neben einem möglichst optimalen Fahrweg für niedrige Druckzeiten spielen viele weitere Faktoren, wie Druckqualität, Stabilität der inneren Struktur, Stützmaterial usw., eine große Rolle.

Außerdem kann die Zeit, die ein Slicer zum Berechnen des G-Codes benötigt, eine Rolle bei der Wahl spielen. Skeinforge wurde früher auch von 3-D-Drucker-Herstellern wie MakerBot und Ultimaker verwendet. Mit dieser Software sind hervorragende Druckqualitäten möglich, da sie mannigfaltige Justier- und Einstellungsmöglichkeiten bietet. Für den Einstieg in den 3-D-Druck sowie für die Kalibrierung und erste Drucke Ihres FranzisMendel ist sie aus genau diesem Grund gänzlich ungeeignet.

Sli3er und Cura sind die deutlich bessere Wahl, wobei Cura, das eine Neuentwicklung der Firma Ultimaker ist, eigentlich für Bowden-Extruder-Maschinen optimiert ist. Da Cura aber auch für normale RepRaps guten G-Code erzeugt und dafür deutlich weniger Rechenzeit benötigt als Sli3er, wird in dieser Anleitung Cura verwendet.

12.3.1 Installation der Repetier-Host-Software

- 1 Laden Sie die für Ihr Betriebssystem passende Software herunter. Sie finden sie unter repetier.com/downloads/.

Möchten Sie eine kleine Spende für die Software geben, tun Sie das gern, wenn nicht, finden Sie jeweils einen kostenlosen Download-link, wenn Sie ganz nach unten scrollen. Sie benötigen nur den Host. Firmware und Serversoftware, die Repetier-Host ebenfalls anbietet, benötigen Sie nicht, da beim FranzisMendel Marlin als Firmware zum Einsatz kommt.

- 2 Installieren Sie Repetier-Host auf Ihrem Rechner.

Installation unter Windows

- 1 Laden Sie die Installationsdatei für Windows herunter. Sie finden sie unter www.repetier.com/downloads/.

Führen Sie die heruntergeladene Datei *setupRepetier-Host_Versionsnummer.exe* aus. Ein Installationsassistent leitet Sie durch die Installation. Achten Sie bei der Nachfrage, welche Module Sie installieren möchten, darauf, gleich den Slicer Cura (und eventuell auch Sli3er, falls Sie diesen ausprobieren möchten) mitzustallieren.

Falls die Installation nicht gelingt, weil auf Ihrem Rechner noch kein Microsoft .NET Framework 4.0 installiert ist, installieren Sie dieses und starten dann erneut die Setup-Datei von Repetier-Host. Microsoft .NET erhalten Sie kostenlos unter www.microsoft.com/de-DE/download/details.aspx?id=17851.

- 2 Öffnen Sie das Programm mit einem Doppelklick auf das entsprechende Desktopsymbol, das bei der Installation erstellt wurde.

Installation unter Mac OS X

- 1 Laden Sie die Installationsdatei für Mac OS X herunter. Sie finden sie unter www.repetier.com/downloads/.

Öffnen Sie das heruntergeladene Apple-Festplattenabbild bzw. entpacken Sie das Ziparchiv.



- 2 Verschieben Sie die darin enthaltene Datei *Repetier-Host Mac.app* mit Administratorrechten in den Programmordner.
- 3 Rechtsklicken Sie auf die Datei und klicken Sie dann auf *Öffnen*, um sie als Administrator zum ersten Mal zu starten. Bei weiteren Starts genügt ein Doppelklick auf die Datei.

Installation unter Linux

- 1 Starten Sie Linux mit einer Kernelversion 3.13.0-46 oder niedriger. (Neuere Kernels können zu Abstürzen von Repetier-Host führen.)
- 2 Installieren Sie über die Paketverwaltung Ihrer Distribution das Mono-Framework (meist heißt das Paket *mono develop*) in der Version 3.2.
- 3 Laden Sie das Archiv mit den Dateien für die Installation unter Linux herunter. Sie finden sie unter www.repetier.com/downloads/.
Verschieben Sie die heruntergeladene Datei *repetierHostLinux_Versionsnummer.tgz* in Ihr Homeverzeichnis.
- 4 Öffnen Sie ein Terminal und entpacken Sie das Archiv mit:

```
tar -xzf repetierhostLinux_Versionsnummer.tgz
```

- 5 Wechseln Sie in den entpackten Ordner *Repetier-Host* und starten Sie das Installationsskript mit:

```
cd Repetier-Host  
sh configureFirst.sh
```

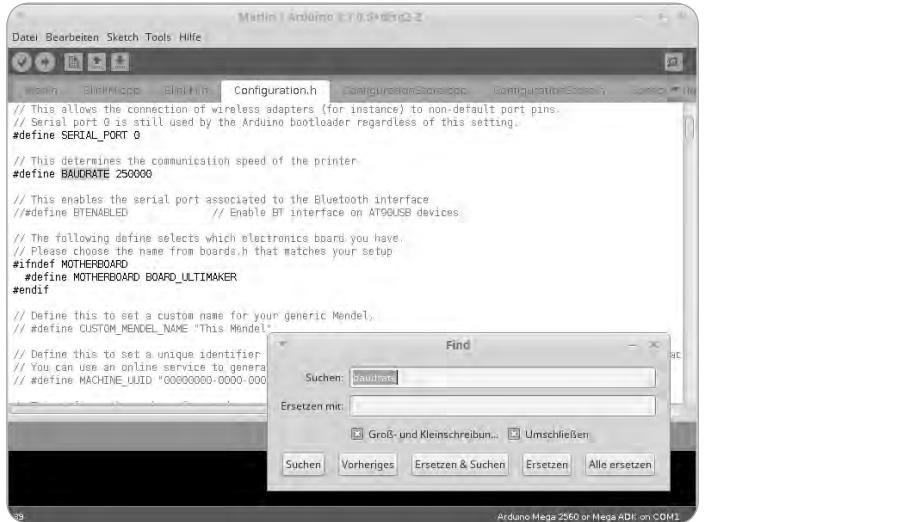
- 6 Öffnen können Sie das Programm mit dem Befehl:

```
repetierHost
```

12.3.2 Marlin-Firmware mit Basiskonfiguration aufspielen

Um die Firmware perfekt an Ihren FranzisMendel anzupassen, ist es nötig, die Konfiguration (und das Aufspielen der Firmware) mehrmals vorzunehmen. Im ersten Durchlauf geht es darum, grundsätzliche Einstellungen vorzunehmen. Nach einem kurzen Testlauf der Maschine mit dieser Basiskonfiguration können Sie die richtige Drehrichtung der Motoren und die Auslösepunkte der Endstopps einrichten. In einem dritten Durchlauf werden die genauen Fahrwege der Motoren kalibriert.

- 1 Laden Sie die aktuelle Version des Marlin-Sourcecodes herunter. Sie finden die Zipdatei unter github.com/MarlinFirmware/Marlin/releases.
- 2 Entpacken Sie das Archiv in ein Verzeichnis Ihrer Wahl oder erstellen Sie ein neues Verzeichnis.
- 3 Starten Sie die Arduino-IDE und öffnen Sie die Datei *Marlin.ino*. Diese finden Sie im Unterordner *Marlin* in dem in Schritt 2 entpackten Archiv.
- 4 Wechseln Sie in das Register mit der Bezeichnung *Configuration.h*.
- 5 Suchen Sie die erste Zeile in der Datei *Configuration.h*, in der das Wort *BAUDRATE* vorkommt. Das gelingt Ihnen am leichtesten mit der Suchfunktion *Find*, die Sie mit *Datei/Suchen* öffnen können.



Ersetzen Sie die vorhandene `#define`-Zeile durch folgende:

```
#define BAUDRATE 115200
```

- 6 Suchen Sie nach der ersten Stelle, in der das Wort *MOTHERBOARD* vorkommt. Ersetzen Sie die vorhandene `#define`-Zeile durch folgende:

```
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_13_EFB
```

- 7 Suchen Sie nach der ersten Stelle, an der *number of extruders* vorkommt. Die betreffende `#define`-Zeile sollte so lauten:

```
#define EXTRUDERS 1
```

GINGE'S MARLIN BUILDER

TIPP!

Hier im Buch ist die Bearbeitung der Marlin-Konfigurationsdatei mit dem Editor der Arduino-IDE beschrieben. Es gibt zur Arbeit mit dem Editor eine browserbasierte Alternative mit grafischer Benutzeroberfläche: Ginge's Marlin Builder (marlinbuilder.robotfuzz.com).



DIE THERMISTOR-BAUART BEEINFLUSST DIE KONFIGURATION DER FIRMWARE

Obige Einträge in der Konfigurationsdatei gelten für Thermistoren wie den, der auf der Einkaufsliste steht. Beim in J-Heads und MK8-Klonen üblicherweise verbauten Thermistor handelt es sich um den gleichen. Falls Sie ein Hot-End eingekauft haben, in dem ein anderer Thermistor verbaut ist, können Sie entweder im auskommentierten Teil der Abteilung Thermal Settings in der Konfigurationsdatei nach geeigneten Parametern für den Thermistor suchen und diese verwenden, den verbauten durch einen 100k-NTC-Thermistor ersetzen oder mit dem Online-Marlin-Konfigurationswerkzeug Ginge's Marlin Builder Ihr Glück versuchen. Dort haben Sie einige weitere Thermistoren zur Auswahl.

HINWEIS

- 8** Suchen Sie nach der ersten Zeile, in der Temp_Sensor vorkommt. Sorgen Sie dafür, dass die vier betreffenden #define-Zeilen wie folgt lauten:

```
#define TEMP_SENSOR_0 60
#define TEMP_SENSOR_1 -1
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_BED 60
```

- 9** Vergewissern Sie sich, dass die Druckersteuerung mit dem Rechner verbunden ist. Speichern Sie die veränderte Marlin-Datei unter einem neuen Namen. Überprüfen Sie (Schaltfläche mit dem Häckchen) die Firmware und laden Sie sie dann auf den Arduino (Schaltfläche mit dem Rechtspfeil).

12.3.3 Repetier-Host einrichten und konfigurieren

Bei den einzelnen Konfigurationsschritten für Repetier-Host werden nur die Einstellungen erwähnt, die Sie ändern sollten. Die weiteren Einstellungen können Sie so lassen, wie Sie sie beim Öffnen von Repetier-Host als Standard vorfinden.

- 1** Vergewissern Sie sich, dass der Druckkopf mittig mindestens 2 cm über dem Druckbett schwebt. Falls das nicht der Fall ist, verschieben Sie ihn manuell und drehen die beiden Gewindestangen des z-Achsen-Antriebs, bis der Mindestabstand gegeben ist. Achten Sie dabei darauf, dass die Linearführungen der x-Achse parallel zur Grundplatte verlaufen. Zudem sollten Sie sicherstellen, dass Ihr Drucker per USB-Kabel mit dem Rechner verbunden ist.
- 2** Schalten Sie das Netzteil des Druckers ein und starten Sie Repetier-Host.
- 3** Öffnen Sie das Repetier-Host-Menü *Druckereinstellungen*. Klicken Sie in das mit *Printer* bezeichnete Textfeld oben, löschen Sie den Eintrag *default* und ersetzen Sie ihn z. B. durch *Test1*. Wählen Sie auch gleich im Register mit der Bezeichnung *Verbindung* eine *Baudrate* von *115200* und den *USB-Port*, an dem Ihr Drucker hängt.
- 4** Tragen Sie im Register *Drucker* eine Default-Extruder-Temperatur von *200 °C* und eine Default-Druckbetttemperatur von *60 °C* ein. Entfernen Sie den Haken bei *Drucker hat SD-Slot*.



- 5 Im Register *Extruder* geben Sie eine maximale Extrudertemperatur von 240 °C an. J-Heads können zwar theoretisch bis 248 °C betrieben werden, eine kleine Sicherheitsreserve schadet jedoch nicht, zumal die zu druckenden Materialien PLA und ABS bei deutlich unter 240 °C verarbeitet werden. Die maximale Betttemperatur sollten Sie auf 120 °C festlegen. Als Durchmesser geben Sie den Düsendurchmesser Ihres Hot-Ends an. Beim empfohlenen Düsendurchmesser für Einsteiger von 0,5 mm wäre das dann z.B. der Wert 0.5.
- 6 Im Register *Druckerform* tragen Sie für die Breite und Tiefe des Druckbereichs je 190 mm und für die Höhe 120 mm ein. Die verbliebenen Register können Sie unbeachtet lassen. Klicken Sie auf die Schaltfläche *Übernehmen* und schließen Sie das Menü *Druckereinstellungen*.



12.3.4 Firmwarekonfiguration testen und Steppertreiber justieren

Nun wird es ernst. Es gilt, das Ramps-Board mit Strom zu versorgen und mit der Steuersoftware Repetier-Host den Motoren Ihres Druckers zum ersten Mal Leben einzuhauchen. Beachten Sie hierbei bitte unbedingt die Warnhinweise, da die Konfiguration der Firmware noch unvollständig ist. Es könnte sein, dass die reale Drehrichtung der Motoren und das Schaltverhalten der Endstopps noch nicht mit den Einträgen in der Konfigurationsdatei übereinstimmen, was bei einer Fehlbedienung von Repetier-Host zu Beschädigungen am Drucker führen kann.

Kompliziert wird dieser erste Test dadurch, dass die Potenziometer der Steppertreiber noch nicht eingestellt sind. Diese sind für die Einstellung der Stärke des Stroms, der den Motoren zur Verfügung gestellt wird, zuständig. Ist die Stromstärke zu gering, verweigern die Motoren den Dienst, ist sie zu hoch, überhitzen die Steppertreiber und schalten deshalb immer wieder kurz ab, was zu einem Stottern der Motoren führt.

Bitte bewahren Sie Geduld bei diesem Abschnitt der Druckereinrichtung. Ein systematisches Vorgehen, wie es hier beschrieben wird, führt zum Erfolg. Für den ersten Test und die weiteren Arbeitsschritte genügt es übrigens, die Steppertreiber grob einzustellen. Sie können sich also langsam an dieses etwas diffizile Problem herantasten. Die Feinjustierung der Steppertreiber erfolgt erst später, wenn Firmware und Repetier-Host vollständig konfiguriert sind.

MARLIN KENNT KEINE
NEGATIVEN DRUCK-
KOPFKOORDINATEN



Bei den ersten Gehversuchen Ihres FranzisMendel werden Sie feststellen, dass die Maschine auf Fahrbefehle mit negativen Werten nicht immer reagiert. Da Marlin keine negativen Werte für die Position des Extruders zulässt, können Sie zunächst nur mit negativen Werten verfahren, wenn Sie den Druckkopf zuvor mindestens genauso weit mit positiver Fahrrichtung bewegt haben. Später, wenn die Endstopps kalibriert und in der Firmware eingerichtet sind, kann Marlin beim sogenannten Homing den räumlichen Koordinatenursprung korrekt setzen, und der Druckkopf lässt sich im gesamten Bauraum verfahren.

TIPP!

- 1 Klicken Sie im Repetier-Host auf die Schaltfläche **Verbinden**. Wenn der USB-Port und die Baudrate korrekt eingestellt und die Stromversorgung sowie der USB-Anschluss hergestellt sind, sollte Ihr 3-D-Drucker über Repetier-Host ansprechbar sein. Klicken Sie im rechten Hauptfenster des Programms auf das Register **Manuelle Kontrolle**. Hier sollte als Status jetzt **Verbunden** angezeigt werden.
- 2 Machen Sie sich mit der Position des Netzschalters am Netzteil und dem Reset-Knopf am Ramps-Board vertraut, um im Notfall schnell eine Notabschaltung Ihres Druckers vornehmen zu können. Machen Sie sich auch mit der Benutzeroberfläche der manuellen Kontrolle vertraut. Die Schaltflächen für das Verfahren in den drei Achsen sowie die manuelle Kontrolle des Extruders zeigen verschiedene Werte an, je nachdem, wie weit entfernt von der Mitte der Schaltfläche Sie den Mauszeiger positionieren. Diese Werte entsprechen dem Verfahrweg in Millimetern. Finden Sie anhand des Bilds heraus, welche Schaltfläche der manuellen Kontrolle für welchen Motor bzw. für welche Funktion zuständig ist.



Die manuelle Kontrolle von Repetier-Host ist übersichtlich gestaltet. Achten Sie bitte darauf, das Homing vor der endgültigen Einrichtung der Firmware nicht zu betätigen.

- 3** Kontrollieren Sie, ob Repetier-Host für das Hot-End und das Heizbett die Umgebungstemperatur korrekt anzeigt und ob die jeweilige Anzeige auf ein vorsichtiges Erwärmen, z.B. mit einer Heißluftpistole oder einem Föhn, richtig reagiert. Falls nicht, überprüfen Sie die Verkabelung des betreffenden Thermistors. Ist dort kein Fehler zu entdecken, prüfen Sie, ob in der Firmware die richtigen Thermistorwerte eingetragen sind. Wenn das der Fall ist, hilft nur ein Austausch gegen einen Ersatzthermistor.
- 4** Fahren Sie mit dem Mauszeiger über die Schaltfläche für ein Verfahren der x-Achse nach rechts und klicken Sie, sobald ein Wert von 10 angezeigt wird. Nun sollte der zuständige Motor den Druckkopf nach rechts in Richtung Endstop bewegen. Bewegt er ihn stattdessen nach links, notieren Sie sich dieses Fehlverhalten, da Sie später in der Konfigurationsdatei der Firmware in der betreffenden Zeile die Drehrichtung des Motors neu definieren müssen.

Für den Fall, dass sich nichts bewegt, halten Sie den Endstoppeschalter manuell gedrückt und wiederholen den Versuch. Wenn sich der Motor bewegt, notieren Sie, dass später die #define-Zeile für den x-Achsen-Endstop auf inverse gesetzt werden muss. Sollte der Motor sich immer noch nicht bewegen oder bedenkliche Geräusche von sich geben, orientieren Sie sich an den unten stehenden Tipps.

GEFAHR DER BESCHÄDIGUNG DURCH FEHLBEDIENUNG VON REPETIER-HOST

Da die Konfiguration der Marlin-Firmware und von Repetier-Host zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig ist, kann ein Betätigen einer Schaltfläche für das sogenannte Homing in Repetier-Host zur Zerstörung mechanischer Bauteile führen. Die Schaltflächen mit den kleinen Häuschen dienen später im Regelbetrieb dazu, das Druckbett und den Druckkopf bis zu den Endstopps in die Ausgangsposition (Home) für einen Druck zu fahren. Da die Konfiguration der Endstopps jedoch noch nicht vorgenommen wurde, kann es sein, dass einer oder mehrere der Motoren die Maschine beschädigen, weil sie nicht korrekt gestoppt werden. Klicken Sie auf keinen Fall auf eine der Schaltflächen mit den Häuschensymbolen, solange die Konfiguration der Firmware noch nicht vollständig abgeschlossen und erfolgreich getestet ist!

TIPP!



FEHLERSUCHE: FALLS DER MOTOR STREIKT

Falls sich ein Motor beim Testen der Drehrichtung nicht bewegt, stottert oder starke Brummgeräusche von sich gibt, müssen Sie den betreffenden Steppertreiber auf dem Ramps-Board justieren und/oder die Verkabelung überprüfen. Gehen Sie dabei wie folgt vor:

Wenn der Motor brummt, überprüfen Sie, ob sich seine Welle in der Frequenz des Brummtons mit minimalen Bewegungen hin- und herbewegt. Ist das der Fall, ist der Motor falsch verkabelt. Ändern Sie die Verkabelung des Motors.

Wenn sich der Motor nicht bewegt, sondern nur Geräusche wie z. B. einen Pfeifton von sich gibt, bekommt er zu wenig Strom. In diesem Fall müssen Sie das Potenziometer des betreffenden Steppertreibers mit einem kleinen Kreuzschlitzschraubendreher etwas im Uhrzeigersinn verdrehen. Tun Sie dies schrittweise um jeweils eine Viertelumdrehung und aktivieren Sie dann eine Bewegung um 10 mm, bis der Motor den Druckkopf zuverlässig bewegt. Falls der Druckkopf dabei in die Nähe des Endes der Linearführung kommt, schieben Sie ihn manuell wieder in die Mitte.

Stottert der Motor, überprüfen Sie, ob der Kühlkörper des betreffenden Steppertreibers heiß wird. Falls nicht, drehen Sie das Potenziometer wie oben beschrieben im Uhrzeigersinn, bis der Motor zuverlässig läuft. Wird der Treiber heiß, drehen Sie das Potenziometer jedoch gegen den Uhrzeigersinn, bis der Motorlauf zufriedenstellend ist. →



TIPP!

5 Testen Sie, analog zum Vorgehen bei der x-Achse in Schritt 3, auch den Antrieb der y-Achse. Beim Klicken auf die obere der beiden Schaltflächen für die y-Achse sollte sich das Druckbett nach hinten in Richtung des Endstopps der y-Achse bewegen. Notieren Sie sich, ob die Drehrichtung stimmt und wie der Endstop schaltet.

6 Testen Sie nun das Verfahren des Druckkopfs in der Höhe und machen Sie sich Notizen. Da die Maschine in der z-Achse mit zwei Motoren bewegt wird, muss der Steppertreiber hier mehr Strom liefern. Erfahrungsgemäß ist die Justage dieses Treibers zeitaufwändiger als bei den anderen Motoren.

EIN TROPFEN ÖL MACHT DEN Z-ACHSEN-ANTRIEB LEICHTGÄNGIGER



TIPP!

Falls sich der Steppertreiber für die z-Achse bei der für eine zuverlässige Bewegung beider Motoren nötigen Stromstärke zu sehr erhitzt, geben Sie ein paar Tropfen Nähmaschinenöl (oder einen vergleichbaren Schmierstoff) an die Rampa-Muffen, um die Reibung der Gewindestangen zu verringern.

7 Schalten Sie die Extruderheizung und die Druckbettheizung ein und überprüfen Sie, ob beide Bauteile aufgeheizt werden. Falls nicht, überprüfen Sie die Kabelführung. Ist sie in Ordnung, sollten Sie die Konfiguration der Thermistoren in der Firmware überprüfen. Falls auch das nicht hilft, wäre von einem Defekt des betreffenden Heizelements oder des Ramps-Boards auszugehen, der einen Ersatz nötig machen würde. Dies ist jedoch äußerst unwahrscheinlich. Wenden Sie sich in diesem sehr seltenen Fall vor einem Ersatzkauf zuerst mit der Bitte um Rat an das RepRap-Forum. Vielleicht liegt ja doch ein exotischer Fehler vor, der behebbar ist.

Schalten Sie, analog zur Heizung oben, den Lüfter ein, falls an Ihrem Extruder ein Lüfter verbaut ist. Prüfen Sie, ob er sich dreht. Beim Lüfter gibt es eine zusätzliche Fehlerquelle: Einige Lüfter arbeiten nicht, wenn sie verpolt angeschlossen sind. Der Lüfter sollte im Betrieb Luft in Richtung Hot-End transportieren.

8 Als Letztes gilt es, die Drehrichtung des Extrudermotors zu testen. Aus Sicherheitsgründen lässt es Repetier-Host nicht zu, dass der Extrudervortrieb manuell betätigt wird, solange das Hot-End nicht seine Betriebstemperatur erreicht hat. Dies ist sehr sinnvoll, da z.B.

im Kaltbetrieb das Filament im Hot-End abbrechen könnte, was ärgerliche Reinigungsarbeiten zur Folge hätte.

Für das Komplettieren der Firmware und das Kalibrieren müssen Sie diese Sicherheitsmaßnahme überlisten. Bauen Sie dazu einfach das Hot-End vom Cold-End ab, lassen Sie es aber verkabelt. Schalten Sie in Repetier-Host die Extruderheizung ein. Nun können Sie Filament in die Eingangsöffnung des Cold-Ends einführen und, sobald das Hot-End seine Betriebstemperatur erreicht hat, testweise durch das Cold-End transportieren lassen. Notieren Sie sich auch hier, ob die Motordrehrichtung stimmt.

- 9 Vergessen Sie nicht, den Drucker wieder auszuschalten, sobald Sie das Verhalten aller Motoren und Endstopps getestet haben.

NOTFALLABSCHALTUNG IM HAVARIEFALL

Falls, aus welchem Grund auch immer, die Gefahr besteht, dass die Motoren durch ihre Bewegung die Maschine beschädigen, schalten Sie einfach so schnell wie möglich das Netzteil aus, das das Ramps-Board mit Strom versorgt, oder betätigen den Reset-Knopf des Boards.

Das Klicken auf die *Notstop-Schaltfläche* in Repetier-Host schaltet den Drucker oft nicht schnell genug ab.

TIPP!

FEHLERSUCHE: FALLS DER MOTOR STREIKT (Forts.)

(Der Hintergrund ist, dass ein Motor nicht nur ins Stottern geraten kann, weil er zu wenig Strom bekommt, sondern auch dadurch, dass bei einer Steppertreiber-Überhitzung der Treiber sich immer wieder kurzfristig selbst ausschaltet. Dieser Überhitzungsschutz kann ebenfalls ein Motorstottern verursachen.)

Pfeift der Motor stark, wenn er sich bewegt, kann auch der Ansteuerstrom zu hoch sein, und das Potenziometer muss leicht gegen den Uhrzeigersinn gedreht werden.

Die Einstellung der Treiber kann zum Geduldsspiel ausarten. Bewahren Sie Ruhe und lassen Sie sich Zeit bei der Justage. Diese muss übrigens bei den ersten Tests zur Konfigurierung der Firmware noch nicht perfekt sein. Die Feinjustage der Steppertreiber sollten Sie erst beim Probedruck vornehmen, weil die Überhitzungsgefahr bei den Steppern bei längerem Betrieb größer ist. Das Geheimnis dabei ist, den Punkt zu finden, an dem die Stromstärke groß genug ist, um die Motoren zuverlässig zu bewegen, und klein genug, um die Steppertreiber auch dauerhaft nicht zu überhitzen. Dabei kommt es jedoch nicht auf eine Hundertstelumdrehung am Potenziometer an. Mit etwas Geduld und Feingefühl schaffen Sie eine optimale Stepperfeinjustage.

TIPP!

12.3.5 Anpassen der Basiskonfiguration

Nachdem Sie das Verhalten Ihres FranzisMendel bei der manuellen Bedienung via Repetier-Host genau beobachtet haben, werden Sie feststellen, dass die Firmware bis jetzt noch nicht optimal konfiguriert ist. Zunächst gilt es, eventuell in die falsche Richtung drehende Motoren und falsch auslösende Endstopps zu bändigen. Ist dies geschehen, sollten Sie testen, ob das Homing funktioniert.

- 1 Starten Sie die Arduino-IDE und öffnen Sie erneut die von Ihnen schon bearbeitete Marlin-Firmware und dort die Karteikarte Configuration.h.
- 2 Haben alle Schrittmotoren die richtige Drehrichtung, können Sie diesen Schritt überspringen. Falls nicht, öffnen Sie das Suchfenster und suchen die erste Zeile, die den Begriff INVERT_X enthält. Hier beginnen die #define-Zeilen für die Drehrichtungen der Mo-



toren. Sollte ein Motor falsch drehen, ersetzen Sie einfach in der ihn betreffenden `#define`-Zeile den Eintrag `false` in `true`; wenn dort schon `true` eingetragen ist, ändern Sie es in `false`. Müssten Sie beispielsweise für die beiden Motoren der z-Achse, die ja an einem Steppertreiber hängen, die Drehrichtung ändern und stünde in der betreffenden Zeile:

```
#define INVERT_Z_DIR true
```

müssten Sie die Zeile wie folgt ändern:

```
#define INVERT_Z_DIR false
```

Falls der Extrudermotor die falsche Drehrichtung hat, ist die betreffende `#define`-Zeile, in der Sie die Drehrichtung invertieren können, diejenige mit dem Text: `INVERT_E_DIR`.

- 3 Ließ sich eine Achse beim Testen nur korrekt verfahren, wenn Sie den betreffenden Endstop manuell betätigt haben, sollte für diesen die Schaltlogik in der Firmware invertiert werden. Suchen Sie dazu mit *Bearbeiten/Suchen* die ersten Zeile, in der die Zeichenfolge `logic of the endstop` vorkommt. Sollte sich z.B. der Endstop der y-Achse bei Betätigung öffnen, statt zu schließen, müssten Sie in der Zeile

```
const bool Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true;
```

den Wert `true` durch `false` ersetzen. Für die anderen beiden Achsen sind die Zeilen

```
const bool X_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true;
```

und

```
const bool z_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true;
```

die richtigen, um durch Ersetzen von `true` durch `false` die Schaltlogik zu invertieren, falls es, was nur bei exotischen Fabrikaten der Fall sein sollte, nötig ist. Die darunterliegenden Zeilen betreffen Maschinen mit zwei Endstopps pro Achse und sollten nicht verändert werden.

- 4 Kompilieren Sie die Firmware mit den getätigten Änderungen und laden Sie sie auf das Arduino-Board. Schalten Sie das Netzteil ein, starten Sie Repetier-Host und testen Sie die Änderungen mit der manuellen Kontrolle.

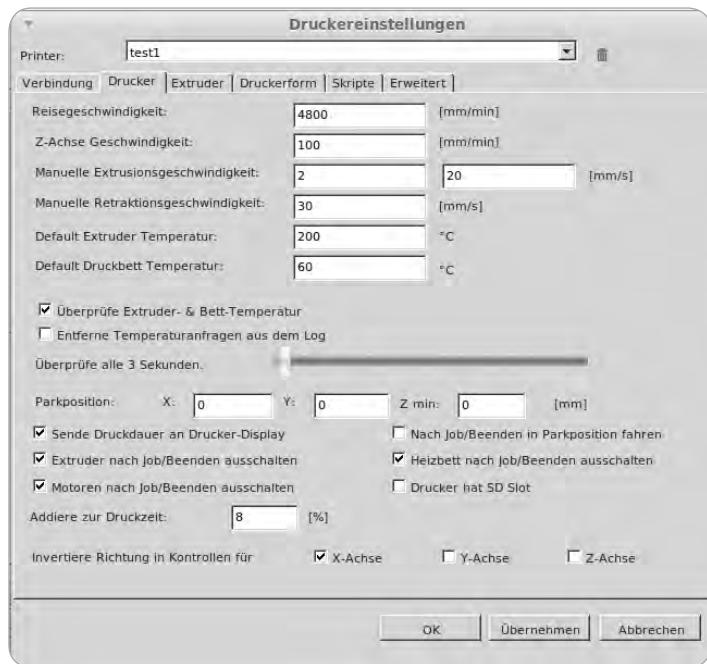
12.3.6 Homing testen und Endstopps kalibrieren

Sobald die Motoren richtig drehen und die Endstopp-Schaltlogik stimmt, können Sie sich um das korrekte Verhalten Ihres FranzisMendel beim Homing kümmern. Idealerweise sollten beim Homing Druckkopf und Druckbetthalter in Richtung der Endstopps fahren und dort stoppen, sobald diese berührt werden. Auf diese Weise kann der Druckkopf auf den Koordinatenursprung gesetzt werden. Versichern Sie sich, das Netzteil des Druckers jederzeit ausschalten zu können (oder haben Sie einen Finger in direkter Nähe des Reset-Knopfs des Ramps-Boards), wenn Sie diesen Test starten.

- 1 Klicken Sie auf die Homing-Schaltfläche für die x-Achse. Wenn der Druckkopf in Richtung des Endstopps fährt und dieser die Bewegung stoppt, sobald der Druckkopfhalter ganz nach rechts gefahren ist, ist alles in Ordnung. Fährt der Druckkopf nach links oder wird der Endstopp bei einer Fahrt nach rechts nicht ausgelöst, deaktivieren Sie den Drucker schnellstmöglich, indem Sie ihn vom Netz trennen oder den Reset-Knopf des Ramps-Boards betätigen. Notieren Sie sich das Verhalten, das Ihr FranzisMendel beim Homing der x-Achse gezeigt hat.
- 2 Testen Sie auf die gleiche Weise das Homing für die y-Achse und die z-Achse. Schalten Sie danach den Drucker wieder aus und trennen Sie die Datenverbindung in Repetier-Host.
- 3 Wenn der Drucker beim Homing auf einer oder mehreren Achsen in die falsche Richtung fährt, muss bei der Firmware und den Druckereinstellungen in Repetier-Host noch einmal nachgebessert werden. Für die betreffende Achse müssen Sie zuerst die Invertierung der Drehrichtung des Motors in der Firmware wieder rückgängig machen (siehe Schritt 2 der Basiskonfiguration). Dann muss in Repetier-Host bei den Druckereinstellungen im Register Drucker ein Haken bei *Invertiere Richtung in Kontrolle für* bei der betroffenen Achse gesetzt werden. Vergessen Sie nicht, auf die Schaltfläche *Übernehmen* zu klicken, bevor Sie nach getanen Anpassungen das Menü Druckereinstellungen von Repetier-Host wieder schließen.



- 4** Testen Sie die neuen Einstellungen in der Firmware und in Repetier-Host. Wenn beim Homing alle Endstopps zuverlässig auslösen, hat Ihr Drucker den Homing-Test bestanden. Wenn nicht, sollten Sie die Konfiguration wiederholen, um eventuelle Fehler zu eliminieren.



Hier ist die Motordrehrichtung für die x-Achse in Repetier-Host statt in der Firmware invertiert, um ein korrektes Homing zu gewährleisten.

12.3.7 Kalibrieren der FranzisMendel-Firmware

Nachdem sich die Mechanik grundsätzlich so bewegt, wie sie soll, bleibt als letzte Arbeit an der Firmwarekonfiguration das Kalibrieren des Druckers. Da die verschiedenen Extrudermodelle wie auch Pulleys und Gewindestangen die Drehbewegungen der Motoren mit unterschiedlichen Übersetzungsverhältnissen an die Mechanik weitergeben, müssen diese Übersetzungsverhältnisse noch in die Firmware-Konfigurationsdatei eingetragen werden, damit später im Betrieb z.B. der Druckkopf tatsächlich genau 10 mm nach links fährt, wenn der G-Code diese Bewegung verlangt. Es geht also darum, zu berechnen, wie viele Schritte ein Schrittmotor machen muss, um die Mechanik eine gewünschte Wegstrecke zu verfahren.

- 1** Aktivieren Sie den Drucker und Repetier-Host. Fahren Sie die Mechanik in die Home-Position.
- 2** Markieren Sie die Ausgangsposition des Druckkopfs in allen drei Dimensionen. Dabei können ein Bleistift und ein Geodreieck zum indirekten Messen hilfreich sein.
- 3** Verfahren Sie die z-Achse mit der manuellen Kontrolle um 50 mm nach oben. Diesen Streckenbetrag erreichen Sie, indem Sie die Schaltfläche für das Nach-oben-Fahren mit einem Wert von 10 fünfmal betätigen. Messen Sie nach, ob sich der Druckkopf tatsächlich um diesen Streckenbetrag nach oben bewegt hat, und notieren Sie sich den tatsächlichen Wert, der z.B. 39 mm betragen könnte.



Beim Vermessen der z-Achsen-Bewegung ist eine Differenzmessung an einer gut erreichbaren Kante des Druckkopfhalters am einfachsten.

- 4** Verfahren Sie nun analog zu Schritt 3 die y-Achse 50 mm nach vorne und schließlich die x-Achse nach links und messen Sie die tatsächlich von der Mechanik zurückgelegten Strecken. Notieren Sie sich die Werte.



BERECHNEN DER DEFAULT_AXIS_STEPS_ PER_UNIT-WERTE FÜR DIE CONFIGURATION.H

Mit folgender Formel, die einem einfachen Dreisatz entspricht, können Sie die neu einzutragenden Werte berechnen:

Wert Neu = (Sollstrecke / gemessene Strecke) x eingetragener Wert

Am Beispiel der z-Achse würde eine Berechnung so aussehen:

Eingetragen ist »200.0 x 8/3«. Die Art der Eintragung ist der Tatsache geschuldet, dass durch diese Notation ersichtlich ist, dass die eingesetzte Gewindespindel eine Steigung von 0,8 mm besitzt. Da dies für die Neuberechnung nicht relevant ist, können Sie statt der eingetragenen Rechnung den resultierenden Wert verwenden. Das ist dann $200.0 \times 0.8 / 3 = 53.333$.

Die z-Achse sollte beim manuellen Verfahren um 50 mm angehoben werden, tatsächlich hat sich der Druckkopf jedoch beispielsweise nur um 39 mm nach oben bewegt.

Daraus ergibt sich folgende Rechnung:

Wert Neu = $(50 / 39) \times 53.333$

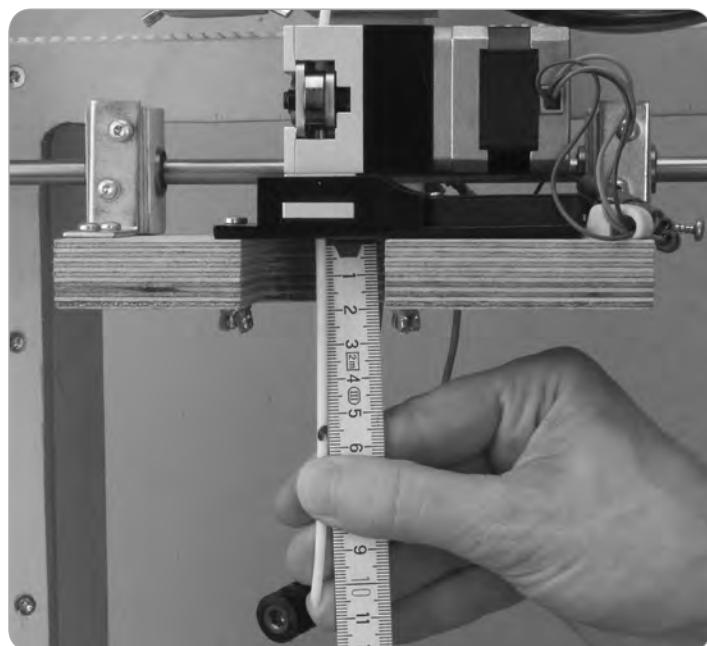
Wert Neu = 68.3760

Sie sollten also im Beispiel für die z-Achse den Eintrag »200.0 x 8/3« durch den Eintrag »68.3760« ersetzen. Beachten Sie dabei, dass Sie als Nachkommastellentrenner einen Punkt statt eines Kommas verwenden müssen.

TIPP!

- 5 Um den Extrudermotor zu kalibrieren, muss das Hot-End vom Cold-End abgebaut, aber noch elektrisch mit dem Ramps-Board verbunden sein. Heizen Sie das Hot-End auf Betriebstemperatur. Führen Sie dann Filament in das Cold-End ein und bewegen Sie es motorisch nach unten, bis es unten am Cold-End wieder zutage tritt.

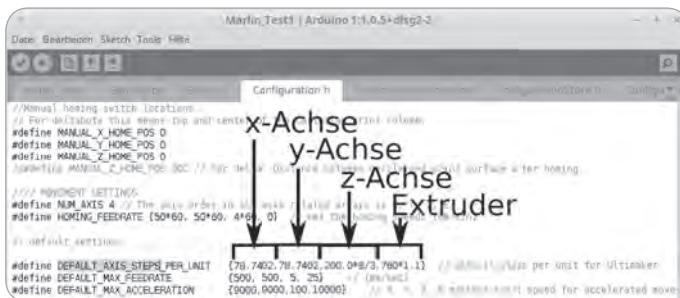
Markieren Sie das Filament mit einem Permanentmarker an der Austrittsstellung. Bewegen Sie den Kunststoffdraht nun mittels der manuellen Kontrolle 50 mm nach unten und messen Sie anschließend die Strecke, die das Filament tatsächlich nach unten bewegt wurde. Notieren Sie sich den Wert.



Für das Vermessen des Filamentvorschubs muss das Hot-End ausgebaut, aber aufgeheizt sein.

- 6 Öffnen Sie die Firmware mit der Arduino-IDE und dort das Register Configuration.h. Suchen Sie die Zeile mit dem Text DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT. Dort sind zwischen den geschweiften Klammern die Übersetzungsverhältnisse für die einzelnen Motoren, jeweils getrennt durch ein Komma, eingetragen. Da hier die amerikanische Schreibweise verwendet wird, bedeuten die Punkte bei den einzelnen Werten das, was hierzulande ein Komma bedeuten würde: die Trennung zwischen Vor- und Nachkommastellen in der Zahl.

Zudem können für einen Wert auch Berechnungen eingetragen werden, wobei »/« für eine Division und »*« für eine Multiplikation steht. Sie sehen in der Abbildung, welcher Wert sich auf welchen Motor bezieht.



An dieser Stelle können Sie die neu berechneten Werte für den Motorvortrieb für die drei Achsen und den Extruder eintragen. Als Trenner zwischen den einzelnen Werten dienen Kommaziechen.

- 7 Jetzt brauchen Sie einen Taschenrechner. Berechnen Sie pro Motor die Werte, die Sie als Ersatz für die vorhandenen einsetzen müssen, um die Soll-Verfahrwege des Druckkopfs, des Druckbetts und des Filaments mit den Ist-Werten in Deckung zu bringen. Orientieren Sie sich am vorigen Tippkasten.
- 8 Tragen Sie die neu berechneten Werte in die *Configuration.h* ein, kompilieren Sie die Firmware neu und spielen Sie sie auf das Arduino-Board auf.
- 9 Wiederholen Sie die Messungen der Verfahrwerte mit der neuen Firmware. Falls noch kleine Abweichungen beim Verfahren zwischen Soll- und Ist-Strecke vorhanden sind, wiederholen Sie die Schritte 7 und 8.

Mit dieser Kalibrierung der Firmware haben Sie den letzten »Bauabschnitt« Ihres 3-D-Drucker-Bauabenteuers geschafft. Ihr FranzisMendel ist bereit für einen ersten Probefeldzug.



U

LAUSCHEN & LESEN



Heated MK3 ALU-Heated Dual
Hot Plate for epi. or glass PCB_Heated

HOT ZONE

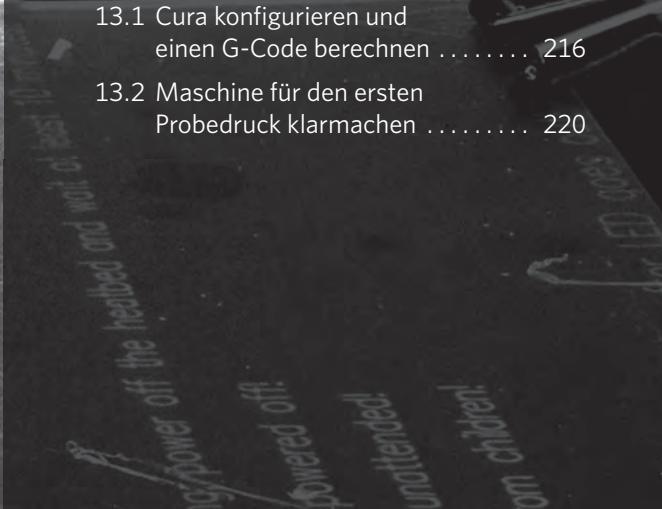
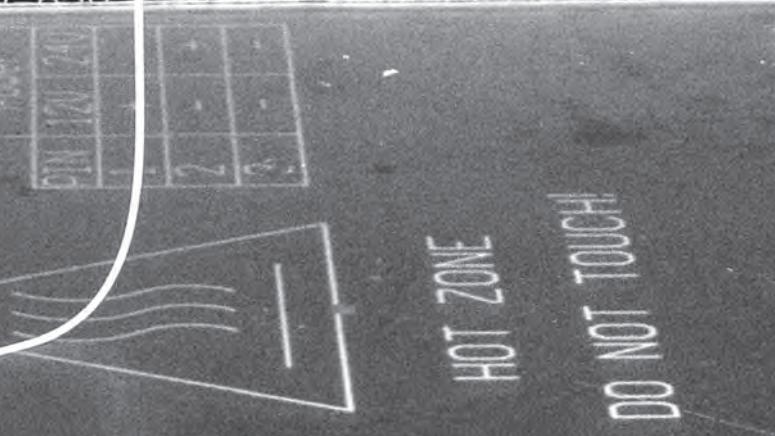
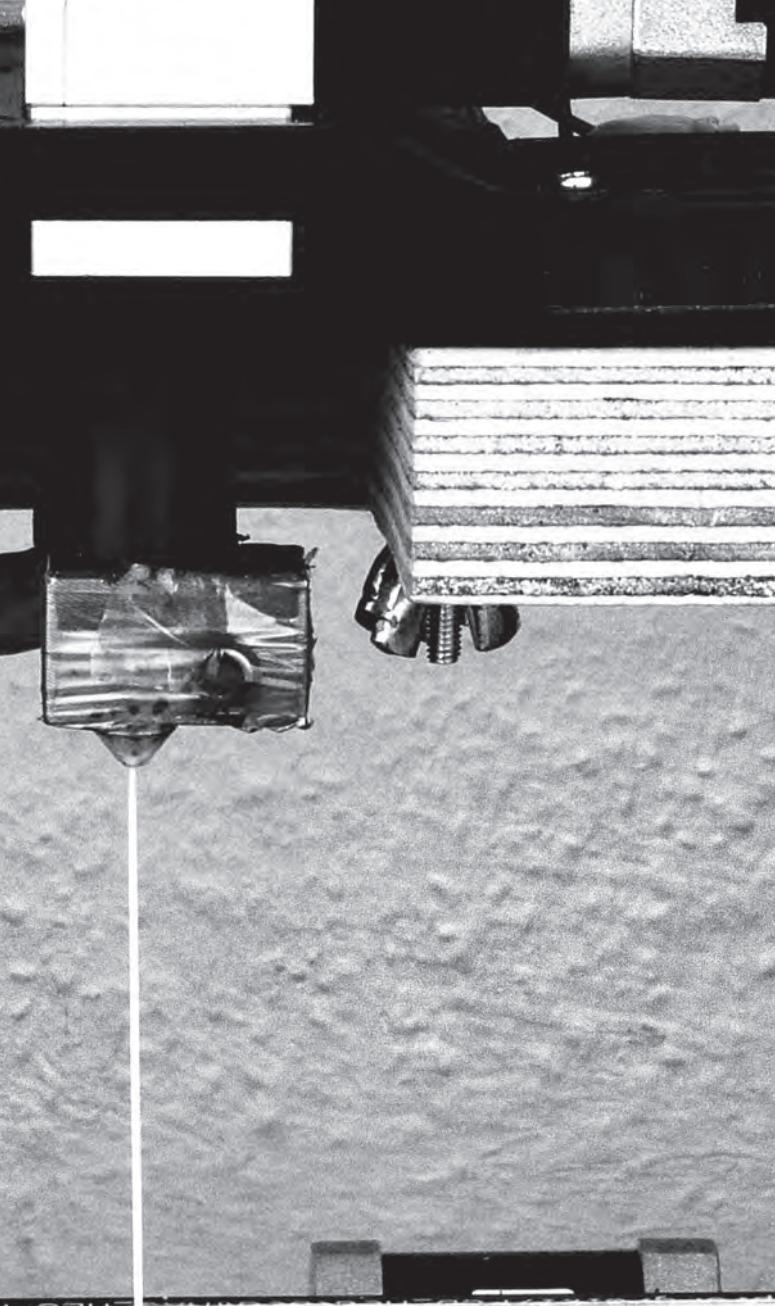
DO NOT TOUCH!

13

PROBEDRUCK, STEPPER- TREIBER- FEINTUNING UND REPETIER-HOST- OPTIMIERUNG

13.1 Cura konfigurieren und einen G-Code berechnen 216

13.2 Maschine für den ersten Probedruck klarmachen 220





■ Jetzt wird's ernst! Der erste Probefeldruck steht an. Allerdings wird Ihr FranzisMendel nicht auf Anhieb perfekte Ergebnisse liefern, etwas Feintuning ist noch vonnöten, bevor der Regelbetrieb Ihrer Maschine beginnen kann. Vor allem die Filamentmenge, die der Druckkopf extrudiert, sollte gut bemessen sein, um gute Druckergebnisse zu erzielen. Damit sich das Druckstück nicht vorzeitig vom Druckbett löst, sollten Sie das Homing der z-Achse oft, am besten vor jedem Druck, überprüfen. Und schließlich ist es für den Dauerbetrieb wichtig, dass die Steppertreiber noch einmal genau justiert werden, damit auch bei längerem Betrieb keine Überhitzungen der Treiber, die zu Fehldrucken führen können, vorkommen.

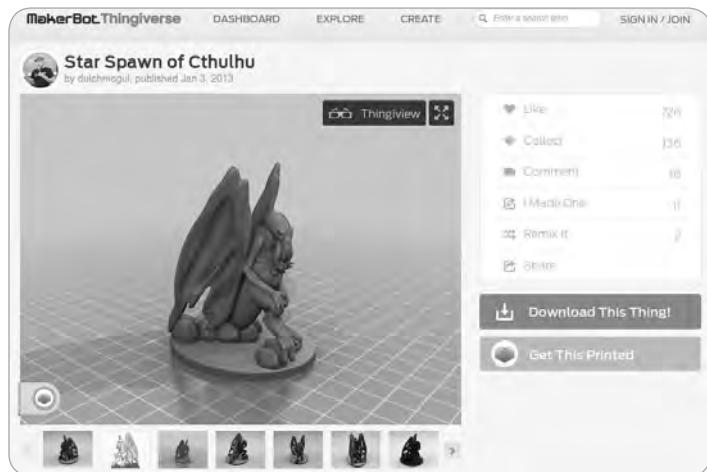
13.1 CURA KONFIGURIEREN UND EINEN G-CODE BERECHNEN

DRUCKVORLAGEN FÜR DEN 3-D-DRUCK

Grundsätzlich sollte eine Druckvorlage im STL-Format (de.wikipedia.org/wiki/STL-Schnittstelle) vorliegen. Es gibt diverse mathematische Eigenschaften, darunter z.B. eine sogenannte Mannigfaltigkeit (de.wikipedia.org/wiki/Mannigfaltigkeit), die ein virtuelles 3-D-Modell aufweisen muss, um für den Druck geeignet zu sein. Die zugrunde liegende Mathematik, vor allem bei amorphen Gebilden, ist nicht trivial. Zudem können sich beim Erstellen einer Vorlage mit einem CAD-Programm leicht Fehler einschleichen. Oft werden Sie vermutlich, statt selbst zu konstruieren, nach schon vorhandenen, geeigneten Dateien im Netz suchen. Dabei sollten Sie unbedingt darauf achten, dass die angebotenen Druckvorlagen vom Anbieter auf Eignung für den Druck geprüft wurden.

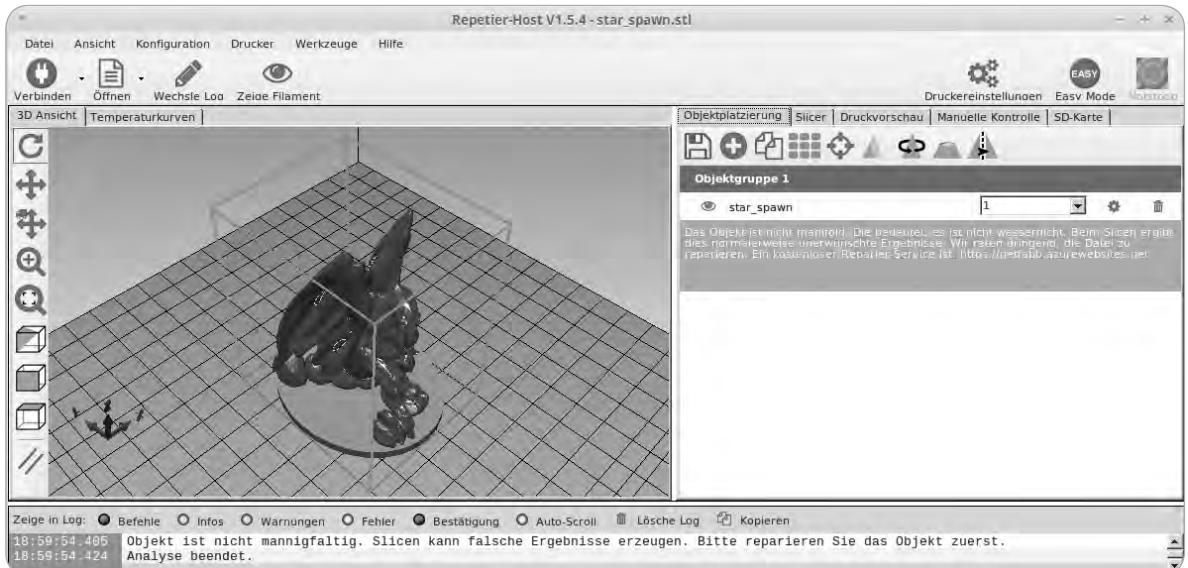
TIPP!

- 1 Laden Sie sich eine Druckvorlage (im STL-Dateiformat) aus dem Netz herunter, die für erste Probefeldrucke geeignet ist. Das kann z.B. eine Figur des Cthulhu aus der fantastischen Welt des H. P. Lovecraft sein, die es bei Thingiverse zum Download gibt (thingiverse.com/thing:40094). Das Modell besitzt feingliedrige Details und Überhänge, was für den FranzisMendel eine erste Herausforderung darstellt. Da die Figur über einen Sockel verfügt, eignet sie sich zudem für die ersten Tests der z-Achsen-Feinkalibrierung.



Bei Thingiverse finden Sie mannigfaltige Druckvorlagen. Diese Cthulhu-Figur wird in den nächsten Abschnitten für erste Testdrucke herhalten.

- 2 Öffnen Sie Repetier-Host und laden Sie mit Datei/Öffnen die STL-Datei aus Schritt 1. Das Modell wird im Hauptfenster von Repetier-Host angezeigt.



Leider wird im rechten Fenster bei vielen Druckvorlagen oft eine Warnung ausgegeben, die besagt, dass das Objekt nicht mannfaltig bzw. wasserdicht ist oder andere mathematische Fehler enthält. Falls Ihnen beim ersten Öffnen in Repetier-Host Fehler angezeigt werden, können Sie die Vorlage mit einem der im nächsten Kapitel vorgestellten Werkzeuge, wie z. B. dem Cloud-Service von netfabb (netfabb.azurewebsites.net), reparieren. Öffnen Sie die reparierte Datei erneut in Repetier-Host.

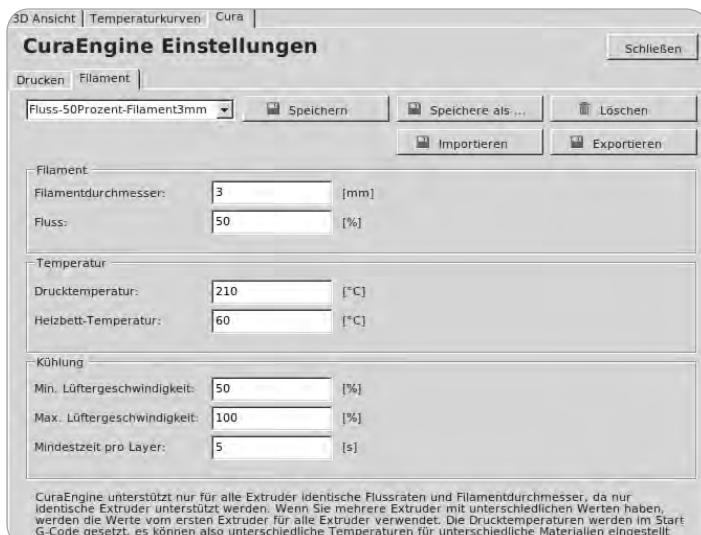
Repetier-Host teilt Ihnen mit, wenn eine Druckvorlage nicht fehlerfrei ist.

- 3 Klicken Sie im rechten Fenster von Repetier-Host auf das Register *Slicer*. In diesem Menü können Sie diverse Einstellungen ändern, um die Eigenschaften des zu erzeugenden G-Codes für Ihre Bedürfnisse zu optimieren. Wählen Sie als Slicing-Software im oberen Pull-down-Menü den Slicer *CuraEngine*. Aktivieren Sie die Kühlung, wählen Sie als Haftungsart *Raft*, eine Druckqualität von 0.2, eine Fülldichte von 25% und als Druckgeschwindigkeit ca. 45 mm/s. Bei *Stützstruktur* sollten Sie *keine* eintragen.
- 4 Klicken Sie im *Slicer*-Menü auf die Schaltfläche *Konfiguration* und dann auf *Filament*. Tragen Sie dort den Durchmesser des von Ihnen verwendeten Filaments und für die ersten Probefrucke eine Flussrate von 50% ein, damit Ihnen das Druckbett nicht mit zu großen Filamentmengen zugeschmiert wird.

Bei den späteren Probefrucken können Sie die Menge langsam erhöhen, bis ein sauberes Druckbild entsteht.



Kontrollieren Sie auch gleich, ob die anderen Werte denen entsprechen, die Sie in der Firmware und in der Repetier-Host-Drucker-einstellung eingetragen haben. Speichern Sie die Konfiguration der Filamentverarbeitung unter einem sinnvollen Namen.



FEINTUNING DES SLICERS CURA DURCH EINSTELLUNG DER FILAMENTMENGE BEIM DRUCK

Neben dem Konfigurieren über das einfach zu bedienende Cura-Einstellungsmenü, das in Schritt 3 beschrieben wird, haben Sie die Möglichkeit, Cura in vielen Details feinzutunen. Das Menü dazu verbirgt sich hinter der Schaltfläche **Konfiguration**. Dort finden Fortgeschrittene noch deutlich mehr Einstellungsmöglichkeiten als die in Schritt 4 beschriebenen, die zur Basiskonfiguration Ihres Franzis-Mendel nötig sind.

Von zentraler Bedeutung für die Druckqualität ist jedoch die Einstellung **Fluss**, hinter der sich die Kunststoffmenge, die pro gedruckter G-Code-Wegstrecke abgegeben wird, verbirgt. Hier können Sie also, im übertragenen Sinne, festlegen, wie viel 3-D-Tinte der Extruder ausspucken soll.

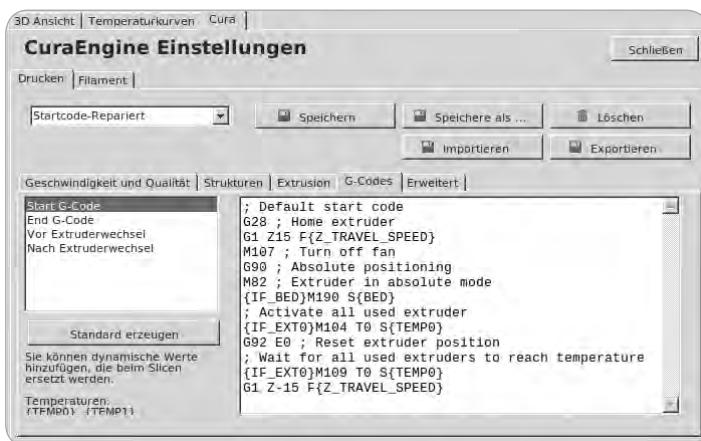
TIPP!

In den CuraEngine Einstellungen öffnen Sie das Register **Filament**. Dort legen Sie die Menge des zu extrudierenden Filaments fest und beeinflussen damit die Druckqualität entscheidend.

- 5 Ein Letztes ist noch zu tun, bevor es mit der Berechnung des G-Codes für den ersten Probefeldruck losgeht. Der Startcode muss festgelegt werden. Leider hat der in den *CuraEngine Einstellungen* hinterlegte Standard-Startcode einen kleinen Fehler, den Sie kurz reparieren sollten. Klicken Sie dazu auf das Register **Drucken** und dann auf **G-Codes**. Markieren Sie den Eintrag **Start-G-Code** und ersetzen Sie den vorhandenen durch folgenden Code:

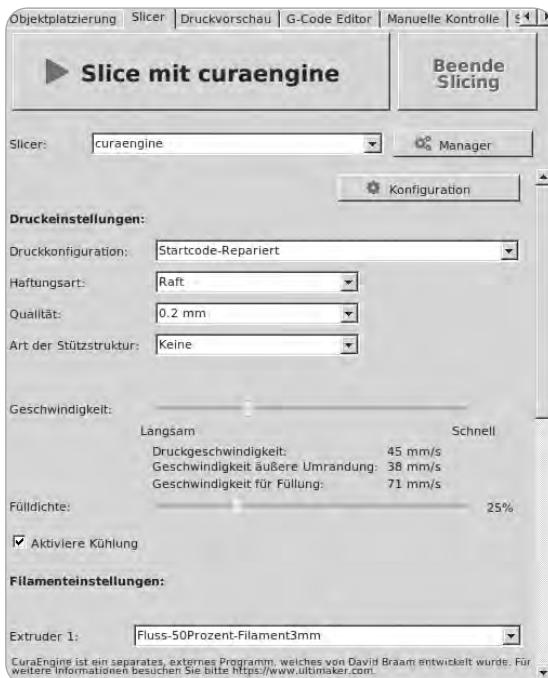
```
G28 ; Home extruder
G1 Z15 F{Z_TRAVEL_SPEED}
M107 ; Turn off fan
G90 ; Absolute positioning
M82 ; Extruder in absolute mode
{IF_BED}M190 S{BED}
{IF_EXTO}M104 T0 S{TEMPO}
G92 E0 ; Reset extruder position
{IF_EXTO}M109 T0 S{TEMPO}
G1 Z-15 F{Z_TRAVEL_SPEED}
```

Speichern Sie die Einstellungen unter einem sinnvollen Namen ab.



Das geöffnete Register **Drucken** in den **CuraEngine Einstellungen** bietet Ihnen u. a. die Möglichkeit, einen Start-G-Code zu hinterlegen.

- Nun geht es ans Slicen. Algorithmen schneiden das zu druckende Modell in Schichten und berechnen Wegstrecken für den Druckkopf, auf denen er Schicht für Schicht den Druck aufbaut. Öffnen Sie im rechten Fenster vom Repetier-Host das Register *Slicer* und wählen Sie in den betreffenden Pull-down-Menüs bei *Extruder 1* und *Druckkonfiguration* die beiden von Ihnen in Schritt 4 und 5 erzeugten Konfigurationen.



FEINTUNING DES SLICERS CURA DURCH OPTIMIERRUNG DER DRUCKEN-EINSTELLUNGEN

In den Tiefen des *CuraEngine Einstellungen*-Menüs finden Sie Stellschrauben, die auf die Druckqualität durchaus großen Einfluss haben können. Unter *Strukturen* können Sie z. B. die Dichte der Gitterstruktur unter dem eigentlichen Modell, auch Raft genannt, verändern. Ein Linienabstandswert von 3 mm für das Raft wäre eine gute Einstellung für den Einstieg. In der Abteilung *Füllung* können Sie neben der eigentlichen Füllung, also der Dichte und Struktur des Modellinneren, auch die Dicke von Deck- und Bodenschichten und der Modellhülle verändern. Damit beeinflussen Sie nicht nur die Optik Ihrer Ausdrucke, sondern vor allem deren Stabilität, was beim Druck von technischen Bauteilen wichtig werden kann.

Eine genaue Beschreibung aller einstellbaren Cura-Parameter finden Sie unter k8200-wiki.de/Cura#Reiter_Grundlegend.

TIPP!

Cura ist eingerichtet und bereit für das Erzeugen des G-Codes für den ersten Probedruck.



LEICHTES EINFÄDELN DES FILAMENTS

Halten Sie das Filament so neben den Extruder, dass sich sein Ende in etwa auf Höhe der Düsen spitze befindet, und markieren Sie das Filament an einer Stelle, die nach dem Einfädeln in den Extruder etwas über der Einfüllöffnung des Cold-Ends liegen wird. Mithilfe dieser Markierung können Sie erkennen, ob das Filament beim Einführen tatsächlich bis in die Hot-End-Spitze gelangt ist.

Spitzen Sie das Filament mit einem Bleistiftspitzer oder einem Cuttermesser vor dem Einfädeln an. Die Spitze hilft, die Problemstelle am Übergang vom Cold-End zum Hot-End zu überwinden. Dort verkantet sich das Filament beim Einführen sonst häufig.

Machen Sie sich mit der Bedienung der Mechanik Ihres Extruders vertraut. Die Federung, mit der die im Cold-End verbaute Gegendruckrolle den Kunststoffdraht gegen das Filamentvortriebsrad drückt, können Sie beim BulldogXL und beim MakerBot-Klon mit einem dafür vorgesehenen Hebel während des Einföhrens außer Kraft setzen. Beim Wade-Extruder müssen Sie die beiden Federn während des Einfädelvorgangs aushängen und, sobald das Filament die Düsen spitze des Hot-Ends erreicht hat, wieder einhängen.

TIPP!

Endlich können Sie auf die Schaltfläche *Slice mit curaengine* klicken, um sich den G-Code für Ihren ersten Probefeldruck berechnen zu lassen.

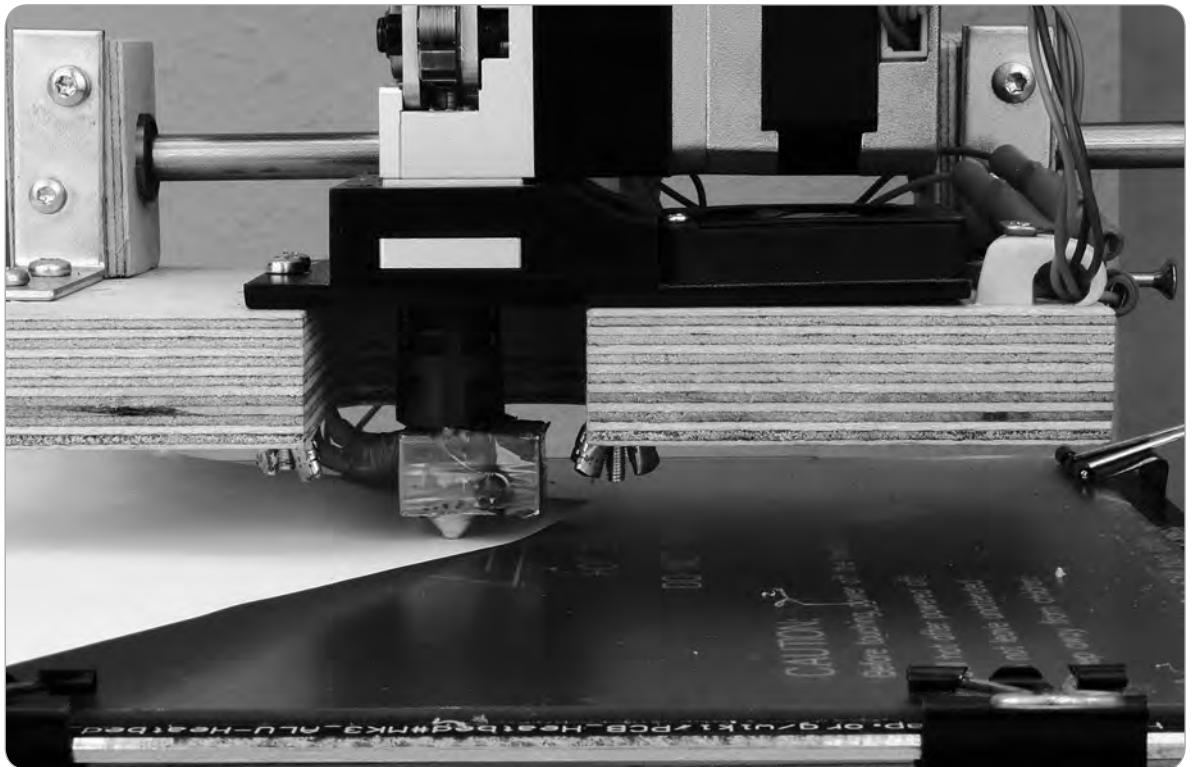
- 7 Wechseln Sie nach erfolgtem Slicen in das Register *Druckvorschau*. Speichern Sie zunächst den erzeugten G-Code als Datei. Starten Sie den Druck aber noch nicht!

13.2 MASCHINE FÜR DEN ERSTEN PROBEDRUCK KLARMACHEN

Bevor Sie endgültig den Klick auf die Schaltfläche *Drucken* wagen, sollten Sie prüfen, ob das Homing der z-Achse gut kalibriert ist und das Druckbett parallel zu y- und x-Achse ausgerichtet ist. Und natürlich müssen Sie den Extruder mit Filament versorgen. Ein kurzer Test vor dem Druck, ob der Kunststoff zuverlässig extrudiert wird, ist ebenfalls dringend zu empfehlen.

- 1 Legen Sie eine Filamentrolle in den Filamentrollenhalter und führen Sie das Ende des Filaments durch die Filamentführung aus dem Aquariumschlauch in Richtung Extruder. Fädeln Sie das Filament so weit in den Extruder ein, dass dessen Ende sich unmittelbar über der Spitze des Hot-Ends befindet.
- 2 Öffnen Sie, falls noch nicht geschehen, den Repetier-Host und klicken Sie auf die Schaltfläche *Verbinden*. Schalten Sie auch gleich das Netzteil des FranzisMendel ein. Wechseln Sie im rechten Fenster des Repetier-Hosts in das Register *Manuelle Kontrolle*.
- 3 Führen Sie ein Homing durch. Stellen Sie fest, ob x- und y-Achse sowie das Druckbett genau justiert sind. Korrigieren Sie eventuelle Kalibrierungsfehler.

Achten Sie besonders darauf, dass das Homing der z-Achse genau ist. Kalibrieren Sie das Auslösen des Endstopps der z-Achse durch Verdrehen der Gewindeschraube, die ihn auslöst, so exakt wie möglich. In der Home-Position sollte zwischen Düsen spitze und Druckbett ein Blatt Papier genau so passen, dass Sie zum Wegziehen einen leichten Widerstand überwinden müssen.

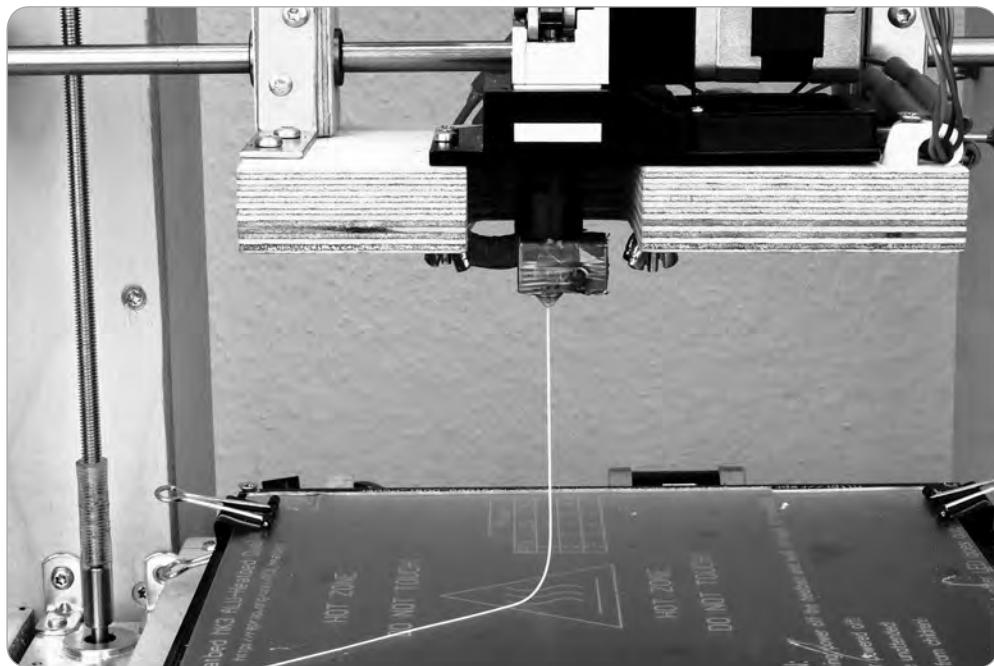


- 4 Schalten Sie mittels der manuellen Kontrolle die Hot-End-Heizung an. Extrudieren Sie, sobald die Düse ihre Arbeitstemperatur erreicht hat, ein paar Zentimeter Filament. Machen Sie ein paar Markierungen am Filament, mit deren Hilfe Sie überprüfen können, ob der Kunststoffdraht zuverlässig in den Extruder eingezogen wird. Sie sollten den Druck erst starten, wenn diese testweise Extrusion störungsfrei stattfindet. Falls die Düse verstopft ist, finden Sie im nächsten Kapitel Tipps, wie Sie eine solche Störung beseitigen.

Ein Blatt Papier kann Ihnen als Fühllehre (Abstandslehre) beim Kalibrieren der z-Achse dienen.



Eine Probe-Extrusion mittels der manuellen Kontrolle bewahrt Sie vor Überraschungen.



VOR JEDEM DRUCK DIE JUSTIERUNG DER ACHSEN UND DIE DURCHGÄNGIGKEIT DER DÜSE KONTROLIEREN



Beim Bau der Linearführungen für die drei Achsen haben Sie jeweils eine Justage vorgenommen. Wiederholen Sie diese vor dem ersten Probendruck und danach in regelmäßigen Abständen. Diese Wartungsarbeiten sorgen für eine gleichbleibend hohe Druckqualität. Folgende Justagen sollten Sie bei einer Inspektion vornehmen:

Die y-Achse müssen Sie nicht neu justieren, solange sich das Druckbett in dieser Richtung ohne zu klemmen bewegen lässt.

Die x-Achse sollten Sie auf Parallelität zum Grundrahmen überprüfen. Steht die Achse auf einer Seite höher als auf der anderen, können Sie dies durch Verdrehen einer der Gewindestangen des z-Achsen-Antriebs korrigieren. Prüfen Sie zusätzlich gelegentlich, ob der Druckkopf entlang der x-Achse noch klemmfrei läuft.

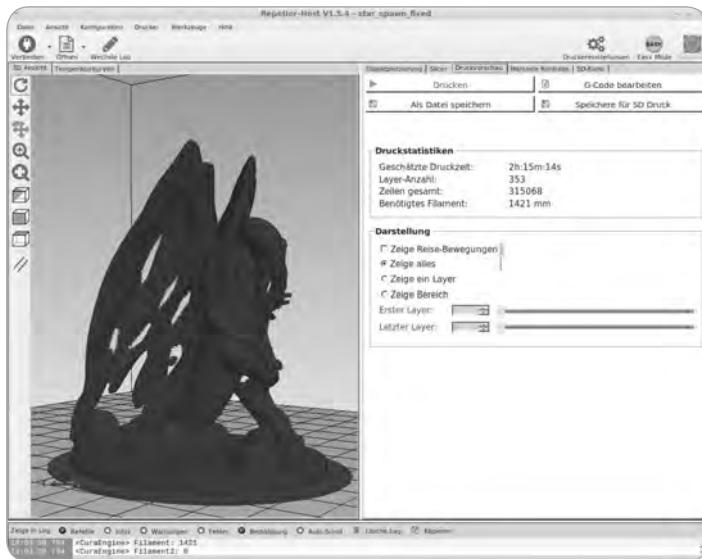
Das Homing der z-Achse sollte vor jedem Ausdruck, wie hier in Schritt 3 beschrieben, kalibriert werden. Die Klemmfreiheit der z-Achse können Sie nur kontrollieren, wenn Sie die Gewindestangen von den Motorwellen, die sie antreiben, abkoppeln. Da dies sehr aufwendig ist, werden Sie es in der Praxis nur tun, wenn die Motorwellen merklich durchrutschen, weil eine oder beide Gewindestangen blockieren.

Das Druckbett sollte flächenparallel zum Grundrahmen liegen. Kontrollieren können Sie das, indem Sie den Druckkopf auf der x-Achse und das Bett auf der y-Achse so verfahren, dass die Düsen spitze jeweils einmal über jedem Eck des Druckbetts liegt. Grundsätzlich sollte dann in jeder Druckposition, wie in Schritt 3 beschrieben, ein Blatt Papier zwischen Düse und Bett passen. Ist das nicht der Fall, justieren Sie die drei Schrauben der Druckbettfederung.

Prüfen Sie vor dem Druck auch immer die Durchgängigkeit des Hot-Ends und beseitigen Sie eventuelle Verstopfungen.

TIPP!

- 5 Laden Sie mit Datei/Öffnen den im vorherigen Kapitel erzeugten G-Code. Klicken Sie im rechten Repetier-Host-Fenster auf das Register Druckvorschau und dann auf Drucken. Der Druck beginnt, sobald Hot-End und Heizbett ihre Betriebstemperatur erreicht haben. Viel Glück!



In der Druckvorschau des Repetier-Hosts können Sie in der **3D Ansicht** betrachten, wie der G-Code Ihres Ausdrucks aussieht. Beim Cthulhu sind die feinen Durchbrüche in den Flügeln die größte Herausforderung für Ihren FranzisMendel.

Etwa 1,5 Stunden benötigt Ihr FranzisMendel, um einen 7 cm hohen Cthulhu vollständig auszudrucken.

DER MOTOR STOTTERT ODER ERZEUGT BEDENKLICHE GERÄUSCHE?

Wenn der Motor stottert oder besorgniserregende Geräusche erzeugt, müssen Sie die Steppertreiber-Justage überprüfen. Der erste Probefeldruck dient auch dazu, die Einstellung der Potentiometer der Steppertreiber einem Dauertest zu unterziehen. Sollte es beim ersten Probefeldruck dadurch zu Störungen kommen, dass die Motoren zu wenig Strom bekommen, müssen Sie die Leistungsabgabe der Treiber erhöhen. Wenn ein oder mehrere Motoren stottern, weil der bzw. die Treiber überhitzen und sich deshalb immer wieder kurz abschalten, ist die eingestellte Stromstärke zu hoch.

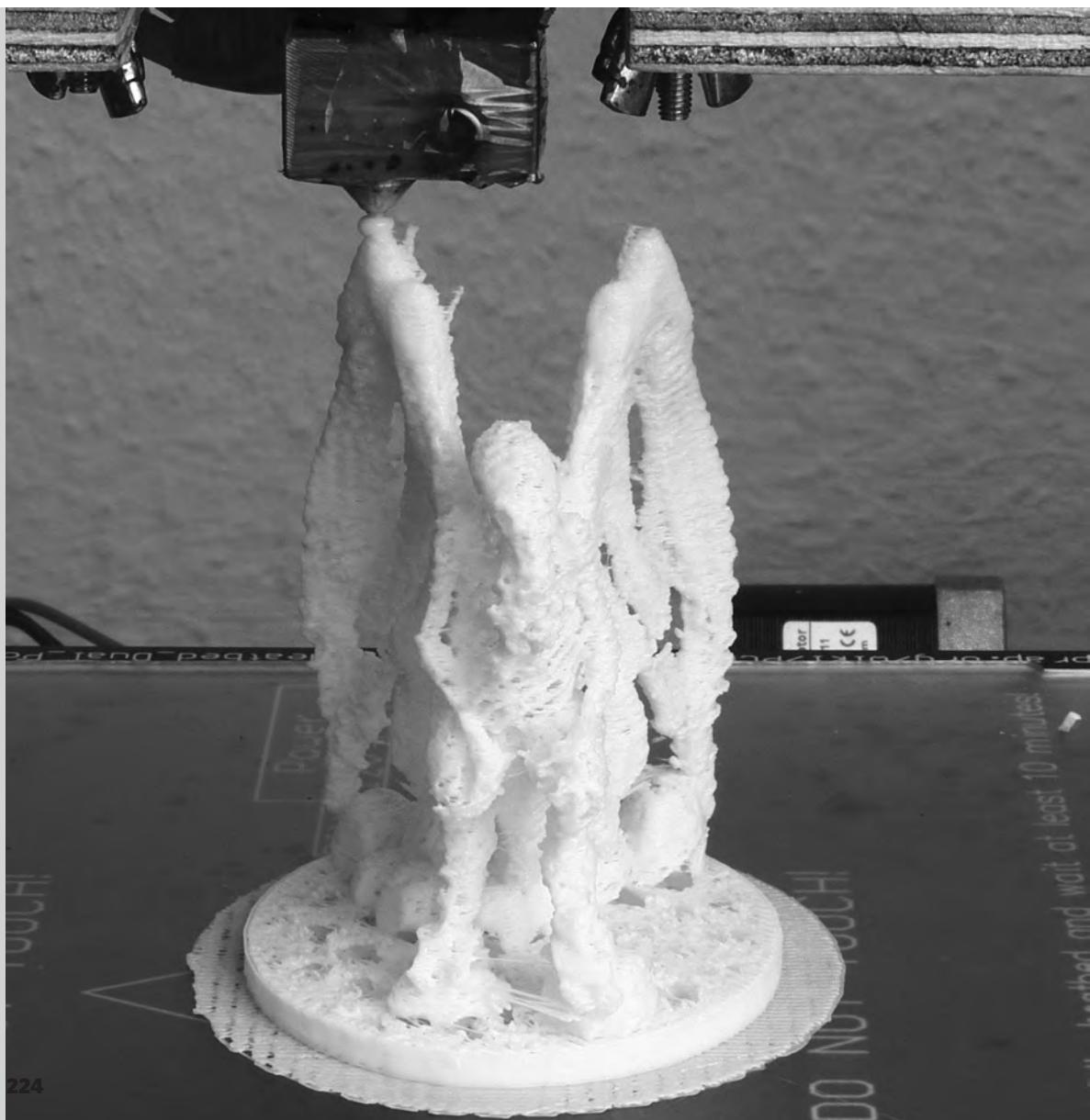
TIPP!





Mit etwas Glück gelingt Ihnen gleich auf Anhieb ein Druck in relativ guter Qualität. Hier war der in den **CuraEngine Einstellungen** eingestellte **Filamentfluss** von **50%** zu gering, daher weisen die Deckfläche des Sockels und Teile des Körpers keine geschlossene Oberfläche auf.

- 6 Sie werden einige Probendrucke benötigen, um eine gute Druckqualität zu erreichen. Als Erstes sollten Sie die Steppertreiber, wie in obigem Tipp beschrieben, bei einem längeren Ausdruck noch einmal genau justieren. Dann können Sie bei den folgenden Ausdrucken die Menge des extrudierten Filaments variieren, da die Filamentflussrate die wichtigste Einflussgröße für die Druckqualität darstellt. Die optimale Flussrate für Ihren FranzisMendel kann, je nach Modell, Extruder-Hot-End-Kombination, verwendetem Filament usw., von der hier angegebenen abweichen und ist nur durch Probendrucke zu ermitteln.



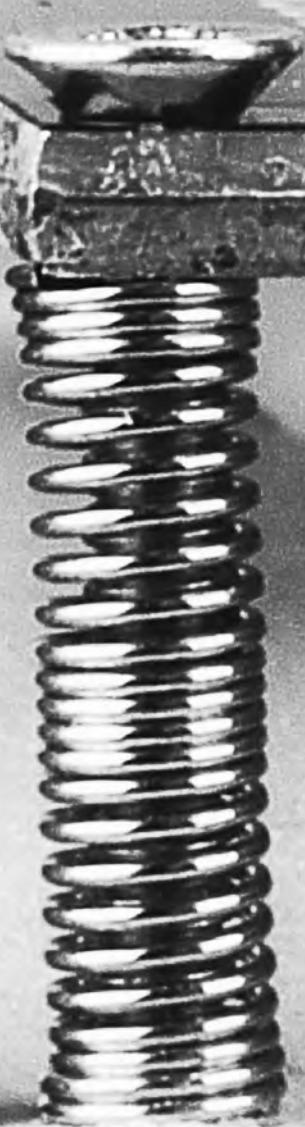
Wenn Sie alle Justagen und Kalibrierungen sauber vorgenommen haben und der G-Code fehlerfrei ist, sollte im Idealfall auf Anhieb ein zwar noch nicht perfekter, jedoch schon einigermaßen ansehnlicher Ausdruck herauskommen. Sollte das nicht der Fall sein, liegt das vermutlich an einer Kleinigkeit in den Einstellungen oder der Justage.

Bei einem **Filamentfluss** von **75%** sind die Oberflächen geschlossen, die zarten Durchbrüche in den Flügeln aber noch offen und nicht von einem Filamentüberschuss zugeschmiert.



2

1





14

ERSTE HILFE, TIPPS UND TRICKS SOWIE QUELLEN FÜR 3-D-DRUCK- VORLAGEN

- 14.1 Schlechtes Druckbild und Druckerfehlfunktionen 228
- 14.2 Werkzeuge für die Reparatur von 3-D-Druck-Vorlagen 234
- 14.3 FranzisMendel aufrüsten:
Ergänzungen und Erweiterungen 236



HILFE IM REPRAP-FORUM

Hilfe finden Sie im RepRap-Forum und auf den Seiten diverser 3-D-Drucker-Hersteller, deren Tipps meist ebenso für den FranzisMendel passen, sofern es sich um Fused-Deposition-Modeling-Drucker handelt.



TIPP!

WELCHES FILAMENT WIE DRUCKEN?



PLA:
Hot-End-Temperatur:
195 bis 210 °C
Heizbetttemperatur:
60 °C
ABS:
Hot-End-Temperatur:
230 bis 235 °C
Heizbetttemperatur: 120 °C

TIPP!

■ Tipps, wie Sie bei problematischen Ergebnissen mithilfe einer Analyse des Druckbilds möglichen Lösungen für einen guten Ausdruck auf die Spur kommen, finden Sie im Folgenden. Zudem erhalten Sie wertvolle Tipps für die Optimierung des G-Codes für Ausdrucke mit einer möglichst hohen Druckqualität.

14.1 SCHLECHTES DRUCKBILD UND DRUCKER-FEHLFUNKTIONEN

Grundsätzlich gilt: Verringern Sie bei detailreichen Vorlagen die Druckgeschwindigkeit und passen Sie die Filamentflussmenge den Gegebenheiten an. Probendrucke und Erfahrung helfen Ihnen, die richtige Kombination bei den Druckeinstellungen zu finden. Auch ein gestörter Filamentvorschub und eine teilweise verstopfte Düse sowie eine falsche Temperatur des Hot-Ends können zu unsauberem Druck führen. Es gibt einige Störquellen, die hier mangels Platz nicht erörtert werden können.

14.1.1 Filamentfragen

Welche Kunststoffe sind mit dem FranzisMendel druckbar?

Wikipedia (de.wikipedia.org/wiki/Fused_Deposition_Modeling) weiß zu berichten:

»Für das FDM-Verfahren können Formwachse und Thermoplaste wie Polyethylen, Polypropylen, Polylactid, ABS und thermoplastische Elastomere eingesetzt werden.«

Tatsächlich erhalten Sie im RepRap-Bedarf unzählige Filamente mit zum Teil erstaunlichen Eigenschaften. Allerdings sind für deren Verarbeitung oft spezielle Hot-Ends vonnöten. Mit dem J-Head oder dem Hot-End eines MK8-Extruder-Klons der Basisausrüstung Ihres FranzisMendel können Sie die beiden gängigsten Filamentsorten verarbeiten: PLA und ABS.

Für den Einstieg ist PLA besonders empfehlenswert, da es wenig Haftungsprobleme auf dem Druckbett bereitet und auch unerfahrenen 3-D-Drucker-Maschinisten mit diesem Material ein störungssamer Druck möglich ist. Für technische Bauteile eignet sich ABS wegen seiner Stabilität besser. Es ist fast ebenso gut für Einsteiger geeignet, allerdings sind einige Probendrucke erforderlich, um den Drucker gut auf dieses Material einzustellen.

Für die Ermittlung optimaler Werte sollten Sie für jede neue Rolle Filament Probendrucke durchführen, da die thermoplastischen Eigenschaften auch bei Filamenten, die nominell identische Werte erfordern würden, in der Praxis durch Qualitätsschwankungen bei der Produktion jeweils stark unterschiedlich sein können.

Durchmesser für Filamente

Als Pseudo-Normgrößen für Filamente haben sich die Durchmesser 1,75 mm und 3 mm durchgesetzt. Ab und an sind auch solche mit 2,85 mm Durchmesser im Angebot, die theoretisch problemlos in modernen 3-mm-Extrudern verarbeitet werden könnten. Falls Sie sich beim Bau für einen Wade-Extruder in der 3-mm-Variante entschieden haben, sollten Sie auf den Einsatz von 2,85-mm-Kunststoffdraht verzichten, da die Federung des Vorschubs nicht kräftig genug ist, diese Filamentsorte zuverlässig in das Hot-End zu drücken.

Aber auch sonst ist es empfehlenswert, nur Filament, das genau zum Extruder passt, zu verarbeiten. Probleme können auch durch Billigfilament entstehen, wenn sein Durchmesser zu sehr schwankt oder von minderer Materialqualität ist. Achten Sie auf die Produktbeschreibungen der Hersteller und lesen Sie im RepRap-Forum Erfahrungsberichte, falls Sie Zweifel an der Qualität eines Supersonderangebots hegen.

Trockene Lagerung

Die im FranzisMendel zum Einsatz kommenden PLA und ABS sind Werkstoffe, die hygrophil sind. Dies bedeutet, die Filamente ziehen aus der Luftfeuchtigkeit Wasser und lagern es in ihrer Molekularstruktur ein, was wiederum negative Auswirkungen auf die Funktion Ihres Druckers haben kann. Um Störungen durch feuchtes Filament vorzubeugen, sollten Sie es in einem luftdichten Behältnis aufbewahren. Das kann z. B. eine Plastikkiste mit dicht schließendem Deckel sein.

Zusätzlich können Sie ein Säckchen Kieselgel als Trocknungsmittel in das Behältnis geben. Kieselgel ist ein amorphes Siliciumdioxid, das Sie im Handel – oft unter der Bezeichnung Silica – für ein paar Cent pro 100 Gramm erhalten.

Trocknung von feuchtem Filament

Spätestens wenn Ihr Drucker beim Druck nur noch sprotzelt und zischt, wenn an der Düsen spitze feine Dampfbläschen mit hörbarem Geräusch platzen und das Druckbild deshalb völlig unakzeptabel wird, haben Sie Ihr Filament zu lange ungeschützt gelagert. Aber selbst dann können Sie das Filament noch verwenden, wenn Sie es aufbereiten.

Um feuchtes Filament zu trocknen, müssen Sie es nur in den nicht vorgeheizten Backofen legen. Stellen Sie dann den Ofen auf 50 °C ein und aktivieren Sie die Umluftfunktion. Lassen Sie Ihr feuchtes Filament ca. 30 bis 45 Minuten bei dieser Temperatur im Backofen. Sie können übrigens auch nach einer solchen Trocknungsaktion Ihren Ofen bedenkenlos zum Kochen und Backen verwenden. Vergessen Sie bitte nach dem Trocknen nicht, das aufbereitete Filament luftdicht zu lagern.



SOFTWARE FÜR 3-D-DRUCK-VORLAGEN

Mittlerweile gibt es unzählige Werkzeuge, die speziell für das Erstellen von 3-D-Druck-Vorlagen entwickelt wurden. Einige sind hochmoderne, browserbasierte Cloud-Lösungen, andere Klassiker, die über eine treue Fangemeinde verfügen. Folgende Programme haben sich bewährt, sind kostenlos erhältlich und zum größten Teil sogar Open Source. Zusammen ergeben sie einen Werkzeugkasten, mit dem Sie kreativ werden können.

SketchUp - Dieses CAD-Programm zeichnet sich vor allem durch eine kinderleichte Bedienung aus. Sie bekommen es kostenlos unter www.sketchup.com. Arbeiten Sie sich einfach durch die mitgelieferten Tutorial-Videos, und schon nach ein bis zwei Stunden Übung werden Sie in der Lage sein, einfache Konstruktionen mit SketchUp zu kreieren. Das Programm ist für Windows und Mac OS X erhältlich und läuft unter Linux mittels Wine.

FreeCAD - Für technische Bauteile ist das CAD-Programm FreeCAD eine gute Wahl. Sie bekommen die Open-Source-Software für Windows, Mac OS X und Linux unter www.freecadweb.org. Das Programm verfügt über umfangreiche Funktionen zum maßgenauen Konstruieren im dreidimensionalen Raum, darunter sind beispielsweise boolesche Operationen und parametrisiertes Zeichnen. Ein direkter STL-Export in guter, meist direkt druckbarer Qualität ist möglich.



TIPP!



14.1.2 Schutzmaßnahmen gegen das Verstopfen des Hot-Ends

Nach Beenden des letzten Druckvorgangs das Filament aus dem Extruder entfernen

Diese Maßnahme verhindert, dass sich abkühlendes Filament im Düsenkanal verformt und so im Hot-End verklebt.

Das Druckbett sauber halten und vor dem Druck kalibrieren

Neben kaltem Filament kann auch Schmutz, und sei es nur ein Staubkörnchen, die Düse verstopfen. Wenn nun die Düsenspitze aufgrund von nicht sorgfältiger Kalibrierung der z-Achse am Druckbett entlangkratzt, kann Schmutz in die Düse gedrückt werden. Regelmäßiges Reinigen der Heizbetauflage und ein Kalibrieren vor jedem Druck helfen, diese Störquelle zu minimieren.

Darauf achten, dass sich das Filament nicht verheddert und gut läuft

Es kann vorkommen, dass der Kunststoffdraht der Förderung in die Düsenspitze zu viel Widerstand entgegenbringt und das Förderrad dann den Grip verliert. Eine mögliche Ursache kann ein Verhendern des Filaments auf seiner Rolle sein. Sorgen Sie vor dem Druck dafür, dass sich das Filament störungsfrei abrollen lässt.

Es schadet nicht, auch während des Druckvorgangs ab und an zu kontrollieren, ob das Filament gut abrollen kann. Eine andere Störquelle kann eine zu hohe Reibung in der Filamentführung oder am Filamentrollenhalter sein.

14.1.3 Wenn das Hot-End doch einmal verstopft ist

Stoppen Sie sofort den Druck. So vermeiden Sie, dass am Förderrad des Extruders Filament abgespannt wird und dieser Abrieb dann die Riffelung des Förderrads zusetzt, was die Funktion des Filamentvorschubs bei weiteren Drucken erheblich stören kann.

Spülen der Düse

Heizen Sie das Hot-End über die manuelle Kontrolle auf und extrudieren Sie bei erreichter Betriebstemperatur etwa ein Dutzend Zentimeter Filament. Falls der Grip des Förderrads nicht genügt, um die Verstopfung aus der Düse zu pressen, können Sie versuchen, den Extruder dadurch zu unterstützen, dass Sie das Filament von Hand in den Extruder drücken.

Überhitzen der Düse

Ein J-Head, wie auch die anderen im Buch empfohlenen Hot-Ends, übersteht ein Erhitzen auf 240 °C auch über längere Zeit problemlos. Es ist möglich, dass sich Verstopfungen durch ein Anlegen dieser höheren Temperatur lösen. Sie können auch versuchen, die Temperaturerhöhung mit einem Spülen der Düse zu kombinieren.

Herausziehen des Filaments nach oben

Heizen Sie das Hot-End auf, bis unten Filament heraustropft, lassen Sie es wieder auf etwa 180 °C abkühlen und veranlassen Sie den Motor, das Filament nach oben zu fördern. Unterstützen Sie das Cold-End, indem Sie am Filament ziehen. Mit etwas Glück bleibt eine Verschmutzung beim Herausziehen am sich abkühlenden Filament kleben. Nach dieser Aktion können Sie versuchen, die Düse zu spülen. Gelingt dies, ist Ihr Hot-End wieder einsatzbereit.

Demontage des Hot-Ends

Sollte sich die Verstopfung nicht durch die oben beschriebenen Maßnahmen beseitigen lassen, kommen Sie nicht umhin, das Hot-End aus dem Drucker auszubauen und auseinanderzuschrauben. Verwenden Sie dazu einen Gabelschlüssel (bei einem J-Head z. B. mit 14 mm Schlüsselweite) statt einer Zange. Um Beschädigungen zu vermeiden, spannen Sie das Hot-End in einen Schraubstock ein. Alle Gewinde in den in diesem Buch erwähnten Hot-Ends sind Rechtsgewinde. Sie müssen also das Bauteil, das Sie aus dem anderen herausdrehen wollen, gegen den Uhrzeigersinn drehen.



Bei hartnäckigen Verstopfungen kann es notwendig werden, das Hot-End auseinanderzuschrauben.

Nach der Demontage können Sie im Führungskanal verkantetes oder verklebtes Filament mechanisch entfernen. Auch den Düsentrichter können Sie, z. B. mithilfe eines Bohrers (der einen deutlich größeren Durchmesser als die Düsenöffnung haben sollte), vorsichtig mechanisch reinigen. Besser ist es jedoch, die Düsen spitze mit der Öffnung nach oben gekehrt wieder aufzuheizen und die Schwerkraft dafür sorgen zu lassen, dass die Verstopfung zusammen mit dem flüssig werdenden Filament aus der Düse heraustropft.

SOFTWARE FÜR 3-D-DRUCK-VORLAGEN (Forts.)

Blender - Die Open-Source-Software Blender, die Sie für alle gängigen und viele exotische Betriebssysteme unter www.blender.org herunterladen können, ist die Eierlegende Wollmilchsau unter den 3-D-Modellierungsprogrammen. Neben einer eingebauten Game-Engine, mannigfältigen Werkzeugen zum Modellieren, Animieren und Rendern, einer Filmschnittfunktion usw. kommt Blender auch mit speziellen Tools für den 3-D-Druck und unzähligen möglichen Import- und Exportformaten.

TIPP!





Bei Druckstörungen den Teflonschlauch des J-Heads überprüfen

Eine der Ursachen für eine Verstopfung eines J-Head-Hot-Ends kann eine Verformung des eingebauten Teflonschlauchs sein. Da Sie für die Filamentführung vom Rollenhalter zum Cold-End passenden Teflonschlauch auf der Einkaufsliste hatten, haben Sie genügend Material (ca. 3cm reichen) zur Verfügung, um einen verformten Schlauch im Hot-End einfach zu ersetzen.

Beschädigungen der Düsenöffnung vermeiden

Versuchen Sie nie, mit einer Nadel oder ähnlichen Werkzeugen direkt in die Düsenöffnung zu stoßen, um eine Verunreinigung aus ihr herauszudrücken. Dabei könnten Sie versehentlich die Form und den Öffnungs-durchmesser der Düsenspitze so ungünstig verändern, dass bei erneuter Inbetriebnahme das Druckbild unakzeptabel würde und die Düse somit gewissermaßen zerstört wäre.

14.1.4 Druckprobleme, die durch die Vorlage verursacht werden

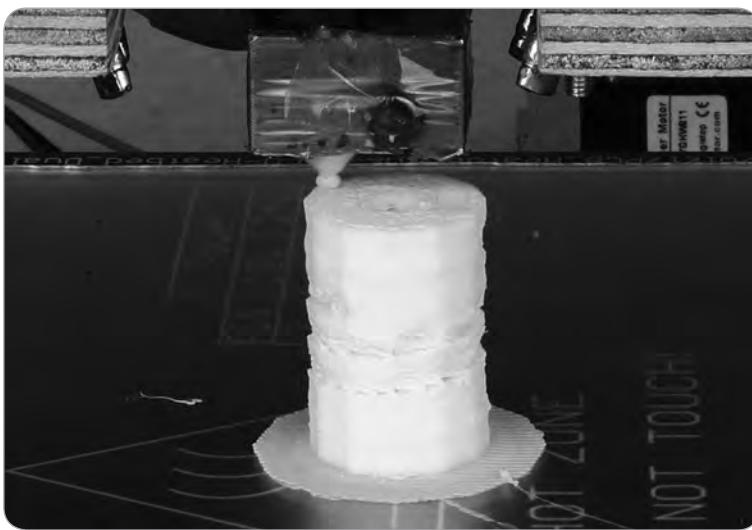
Maßprobleme bei technischen Bauteilen

Hier hilft nur, sich im Versuch-Irrtum-Verfahren mit mehreren Probendrucken an geeignete Slice-Einstellungen anzunähern. Repetier-Host verfügt über die Möglichkeit, Bauteile vor der Errechnung des G-Codes zu skalieren. Sollten die Maßhaltigkeitsprobleme nur eine der drei Achsen betreffen, kann es sinnvoll sein, die Werte für diese Achse noch einmal, wie im Kapitel 12.3.7 »Kalibrieren der FranzisMendel-Firmware« beschrieben, in der Firmware zu ändern.

Probleme mit Überhängen

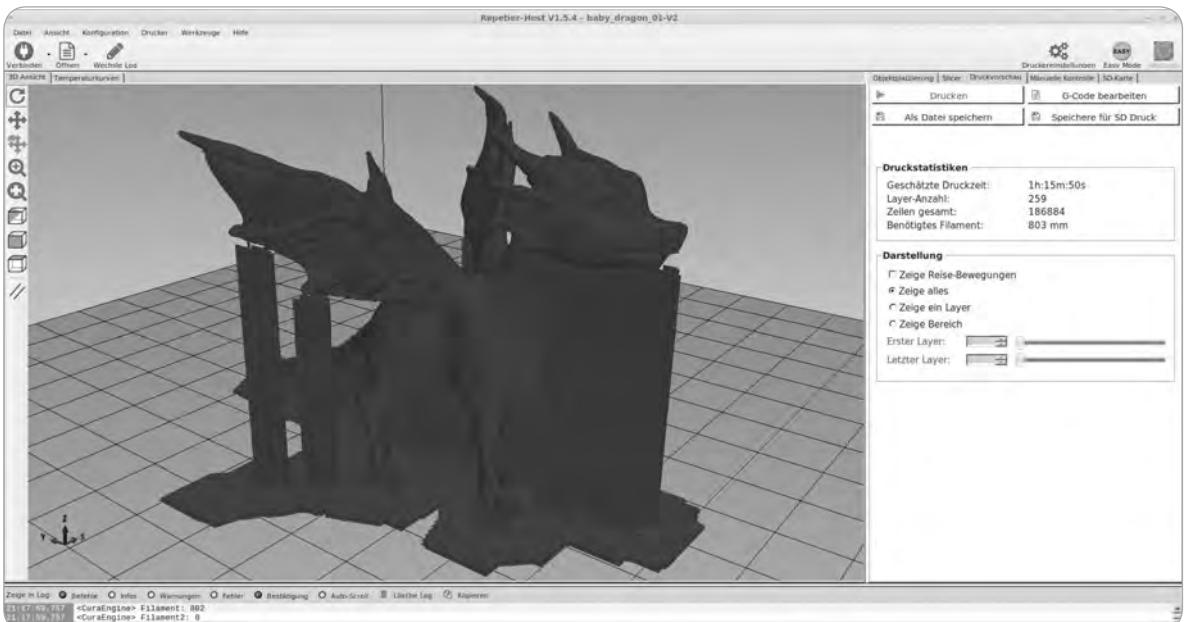
Prinzipiell gesehen, kann ein FranzisMendel nicht ins Leere drucken. Allerdings wird in der Praxis der Kunststoff nach dem Austritt aus der Düse beim Abkühlen von ihr ein wenig mitgezogen, sodass leichte Überhänge eben doch druckbar sind. Die Slicer-Software berechnet die Fahrwege des Extruders so, dass dieser Mitnahmeeffekt durch die sich wegbewegende Düse optimal ausgenutzt wird. Ohne diesen Effekt könnte z. B. beim Probedruck ein 3-D-Objekt wie der Cthulhu nicht realisiert werden.

Bei zu extremen Überhängen kommt das Fused-Deposition-Druckverfahren jedoch an seine Grenzen. Wenn Ihnen ein Druck misslingt, weil die Überhänge einen zu flachen Winkel haben, gibt es zwei Möglichkeiten, den Druck doch noch zu realisieren. Zum einen können Sie versuchen, die Positionierung des Druckobjekts im Bauraum zu optimieren. So ist es z. B. fast unmöglich, ein Rohr (oder die unten erwähnten Motorwellenkupplungen) liegend zu drucken, während der Druck eines senkrecht stehenden Rohrs keinerlei Probleme bereiten sollte.



Eine kluge Anordnung des Druckobjekts im Bauraum vermeidet Probleme mit Überhängen. Eine zylindrische Form wie z. B. diese Wellenkupplung lässt sich so problemlos drucken.

Die zweite Möglichkeit ist, vom Slicer Stützstrukturen für das zu druckende Objekt mitberechnen zu lassen. Diese können Sie dann nach dem Druck mit einer Zange und/oder einer Feile entfernen. Um den G-Code mit Stützstruktur berechnen zu lassen, können Sie in Repetier-Host in den Slicer-Einstellungen bei Art der Stützstruktur Ihre Wahl treffen.



CuraEngine berechnet Ihnen Stützstrukturen, wenn Sie im Repetier-Host die entsprechende Einstellung wählen.



NÜTZLICHE 3-D-DRUCK-VORLAGEN

Aktuell finden Sie Unmengen an nützlichen, schönen oder interessanten 3-D-Druck-Vorlagen im Netz – allerdings auch genauso viele unnütze, hässliche und unnötige. Was Sie drucken wollen, ist Ihre Entscheidung. Wichtig für die Realisierung ist nur, dass die Vorlage einigermaßen die technischen Mindestvoraussetzungen für eine 3-D-Druck-Datei erfüllt und der Reparaturaufwand vor dem Druck nicht allzu groß ist.

Thingiverse – Hauptquelle für Druckvorlagen in guter technischer Qualität ist Thingiverse. Die Plattform ist aus der Open-Source-Bewegung heraus von den Gründern der Firma MakerBot gegründet worden und bietet durchweg kostenlose Druckvorlagen. Sie finden das umfangreiche Angebot unter www.thingiverse.com.

YouMagine – Ähnlich wie Thingiverse ist diese Plattform von einem 3-D-Drucker-Hersteller, der der Open-Source-Idee verbunden ist, gegründet worden. Die Firma Ultimaker zeichnet für YouMagine verantwortlich. Die Webadresse dieser Plattform lautet www.youmagine.com.

Autodesk123D – Ein Beispiel dafür, dass auch ein Unternehmen, das sich nicht dem Open-Source-Gedanken verpflichtet fühlt, sondern rein kommerzielle Ziele verfolgt, ein interessantes Programm mit kostenlosen Druckvorlagen vorweisen kann. Autodesk ist vielen durch seine professionellen CAD-Programme, darunter AutoCAD, bekannt. Sie finden das vielfältige Angebot unter www.123dapp.com. →

TIPP!

14.2 WERKZEUGE FÜR DIE REPARATUR VON 3-D-DRUCK-VORLAGEN

In STL-Dateien werden dreidimensionale Objekte durch ihre Hüllflächen definiert. Das gilt auch für zylindrische, kugelförmige und amorphe Objekte, bei denen die Flächen je nach Auflösung klein genug gehalten sind, um eine genügende Annäherung an die eigentliche Form zu gewährleisten.

Um eine STL-Datei drucken zu können, muss sie einige mathematische Voraussetzungen erfüllen. Neben der Mannigfaltigkeit, einem Begriff aus der Topologie, der umgangssprachlich oft mit Wasserdichtigkeit umschrieben wird, ist es unter anderem erforderlich, dass für sämtliche Flächen, aus denen ein Objekt besteht, die Orientierung der Innen- und Außenseite in der Druckvorlage korrekt definiert ist. Ist das nicht der Fall, muss eine sogenannte Flächennormalisierung berechnet werden, die gewährleisten soll, dass sich sämtliche als Außenseiten definierten Seiten von Flächen auch tatsächlich außen am Objekt befinden.

Auch mit einem weiteren Problem sind STL-Dateien oft behaftet: mit doppelt vorhandenen Flächen. Solche Fehler entstehen schon beim Konstruieren mit einem CAD-Programm, häufig ohne dass der Konstrukteur dies bemerkt oder gar beeinflussen kann. Vor dem Slicen müssen diese Fehler repariert werden, damit ein funktionierender G-Code berechnet werden kann. Die empfehlenswertesten Reparaturtools sind im Folgenden aufgeführt. Alle sind für die Betriebssysteme Windows, Mac OS X und Linux erhältlich.

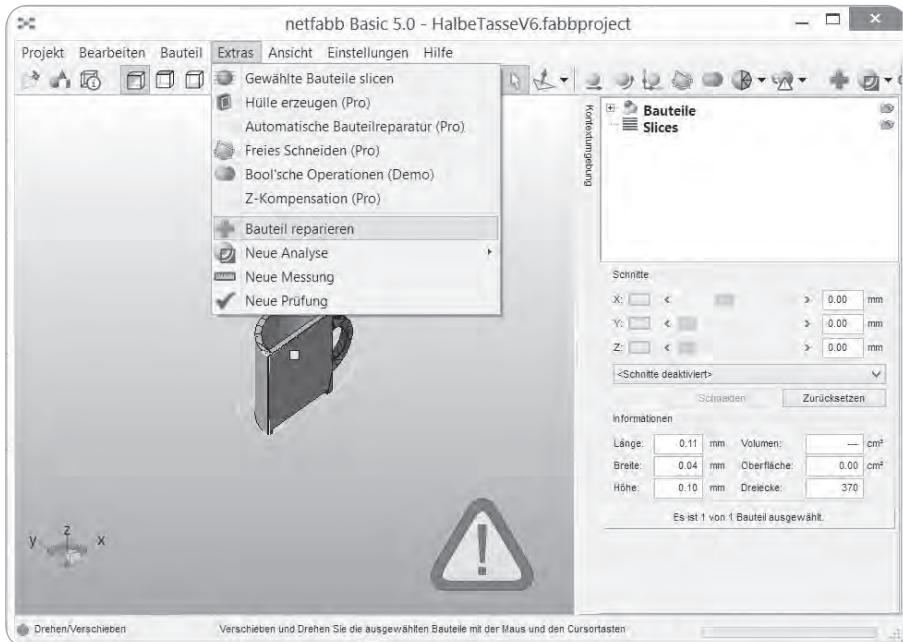
netfabb Basic

Für Einsteiger im Bereich 3-D-Druck ist dieses Programm der ideale Helfer zur Reparatur von Druckvorlagen, da es für die meisten Fehler automatische Reparaturroutinen zur Verfügung stellt. Sie erhalten das Programm in seiner kostenlosen Basisversion unter www.netfabb.com/basic.php.

Eine gute deutschsprachige Anleitung für das Reparieren von Druckvorlagen mit netfabb finden Sie als PDF-Download unter www.me.hm.edu/rpm-lab/ im Abschnitt Bauteilanfragen oder unter wiki.fablab-nuernberg.de/w/3D_Druck_Vorbereitung.

netfabb als Cloud-Service

Unter netfabb.azurewebsites.net können Sie sich fehlerhafte STL-Dateien auch in der Cloud berechnen lassen. Allerdings ist dazu ein Microsoft-Account erforderlich.



Die meisten Problemzonen einer STL-Datei bekommen Sie in **netfabb Basic** mit einem Mausklick auf **Bauteil reparieren** spielend in den Griff.

MeshLab

Dieses Open-Source-Programm fragt Sie schon beim Import einer STL-Datei, ob Flächenduplikate gelöscht werden sollen, was einen ersten wichtigen Schritt bei der Reparatur von STL-Dateien darstellt. Auch für die Flächennormalisierung sind, genau wie für viele andere STL-Schadensfälle, Reparaturwerkzeuge vorhanden. Die Möglichkeiten, die Ihnen MeshLab bietet, sind so vielfältig, dass Sie um eine gewisse Einarbeitungszeit in das Programm nicht herumkommen werden. Sie bekommen MeshLab unter sourceforge.net/projects/meshlab/.

Blender

Dieses Programm verfügt neben vielen anderen Funktionen auch über zahlreiche Werkzeuge zur Reparatur von 3-D-Druck-Vorlagen. Allerdings ist Blender für 3-D-Druck-Einsteiger nicht zu empfehlen, da es sehr komplex und schwer zu erlernen ist. Für den Profi kann es jedoch das Werkzeug der Wahl sein, auch knifflige Probleme, die mit netfabb oder MeshLab nicht behebbar sind, zu bewältigen.

NÜTZLICHE 3-D-DRUCK-VORLAGEN (Forts.)

Ctables - Instructables

(www.instructables.com) ist eine Plattform für DIY-Ideen aller Art. Sie finden dort neben Hardwarehacks Ideen zu Holzarbeiten, Nähvorlagen, Bastelanleitungen, Kochrezepte usw. Die Abteilung 3-D-Druck ist zwar relativ klein, dafür sind die Ideen, die Ihnen offeriert werden, umso origineller.

TIPP



14.3 FRANZISMENDEL AUFRÜSTEN: ERGÄNZUNGEN UND ERWEITERUNGEN



So sieht Bootstrapping in der Praxis aus:
Der FranzisMendel druckt seine Ersatzteile
selbst.

GEWICHT SPAREN BEIM BOWDEN-DRUCKKOPF



Der Hauptgrund, auf einen Bowden-Extruder umzusteigen, sind die höheren Druckgeschwindigkeiten, die gefahren werden können, da durch die Trennung von Hot-End und Cold-End die bewegten Massen am Druckkopf deutlich verringert werden. Sie können das Gewicht des Druckkopfs noch einmal verringern, indem Sie statt des Druckkopfhalters der Basisversion, der einen Komplettextruder aufnehmen kann, einen kleineren konstruieren und einbauen, da ja nur noch ein J-Head oder ein anderes Hot-End auf dem Halter Platz finden muss.

TIPP!

Optimierter Filamentrollenhalter

Diese Maßnahme ist mit einem Einsatz von 2 bis 3 Euro günstig umsetzbar und kann die Alltagstauglichkeit Ihres Druckers erhöhen. Sie benötigen nur ein Paar passende Kugellager und Bauteile, die Sie sich selbst ausdrucken können.

Motorwellenkupplungen selbst gedruckt

Mit dem Suchbegriff »Shaft Coupling« finden Sie bei Thinkiverse – und anderswo – Wellenkupplungen, mit denen Sie die aus Schlauchmaterial gehackten Ihres FranzisMendel ersetzen können. Geeignet ist z.B. diese Konstruktion: www.thingiverse.com/thing:7373

Für dieses Bauteil empfiehlt es sich, ABS zu verwenden, mit der Druckgeschwindigkeit auf ca. 30 mm/s herunterzugehen und mit einer Flussrate von 75% bei 100% Füllung zu drucken. Die genauen Werte für einen optimalen Druck technischer Bauteile auf Ihrem FranzisMendel sollten Sie jedoch im Try-and-Error-Verfahren mit ein paar Probedrucken festlegen.

Optischer Endstop für die z-Achse

Etwa 3 Euro kostet ein Exemplar. Während für die x-Achse und die y-Achse mechanische Endstopps vollauf genügen, da es hier beim Homing nicht auf den Zehntelmillimeter ankommt, ist eine hochgenaue Kalibrierung des Homings der z-Achse vor jedem Druck Grundvoraussetzung für einen gelungenen Druck.

Wenn Ihnen im Alltagsbetrieb das Einstellen des z-Achsen-Nullpunkts mittels der auf den mechanischen Endstopp wirkenden Gewindeschraube zu ungenau erscheint, rüsten Sie auf einen optischen Endstopp um. Wollen Sie die Justierschraube weiterverwenden, müssen Sie nur deren Durchmesser am unteren Ende so verringern, dass sie durch den Messspalt des optischen Endstopps passt. Natürlich können Sie auch eine andere Feinjustagemechanik konstruieren und einbauen.

Druckraumerweiterung

Sie können den maximal möglichen Druckraum Ihres FranzisMendel auf 190x190x190 mm vergrößern, indem Sie die oberen Halter für die Aquariumschläuche um ca. 15 cm nach oben versetzt anbringen, damit der Druckkopfhalter weit genug nach oben fahren kann, um die Bauraumerweiterung um 7 cm entlang der z-Achse zu realisieren. Da das Portal für diese Versetzung nach oben nicht hoch genug ist, bedarf es einer Hilfskonstruktion, die Sie aus den Reststücken der Multiplexstreifen leicht bauen können.

Allerdings ist eine Bauraumhöhe von mehr als 12 cm in der Praxis selten nötig. Alleine schon die zu erwartenden Druckzeiten von mehreren Stunden bei großen Objekten sprechen gegen allzu große Ausdrucke, zumal eine Störung des Druckers ein Druckobjekt auch noch kurz vor seiner Fertigstellung zerstören kann. Meist ist es deutlich einfacher und praktischer, große Ausdrucke in mehrere kleinere Teile zu splitten, diese separat zu drucken und später zusammenzubauen. Ziehen Sie eine Druckraumerweiterung nur in Erwägung, wenn Sie sie für Ihr Druckgut unbedingt benötigen.

Bowden-Extruder

Ebenso wie für eine Druckraumerweiterung können Sie Multiplexreststücke auch dazu verwenden, eine ca. 20 cm über der oberen Portalkante liegende Plattform anzubringen, auf der Sie das Cold-End eines Bowden-Extruders montieren können. Dies ist auch mit einer Druckraumerweiterung kombinierbar. Mit den Erfahrungen, die Sie beim Bau Ihres FranzisMendel gesammelt haben, wird Ihnen der Umbau problemlos gelingen. Die Änderung der Filamentführung sollte keinerlei Problem darstellen.

Vom Cold-End zum Hot-End verwenden Sie den bei Bowden-Extrudern beigelegten Teflonschlauch, der mittels der ebenfalls mitgelieferten Fittinge (Fachbegriff für Verbindungsstücke) mit den Extruderkomponenten verbunden wird. Die Führung des Filaments vom Rollenhalter zum Cold-End entspricht der Basisvariante des FranzisMendel, nur dass der vordere Halter entfällt und dafür der in den Aquariumschlauch gesteckte Teflonschlauch mit einem Fitting direkt mit der Eingangsöffnung des Cold-Ends verbunden wird.

Drucken ohne Computer - der FranzisMendel als Stand-alone-Maschine

Für wenig Geld (ca. 10 bis 20 Euro) bekommen Sie im RepRap-Bedarf eine »Smart Controller« genannte Erweiterung für Ihren Drucker, die aus einem Display mit Bedienelementen, einem SD-Kartenleser und einem Kabelset zum Anschluss an das Ramps1.4-Board besteht.

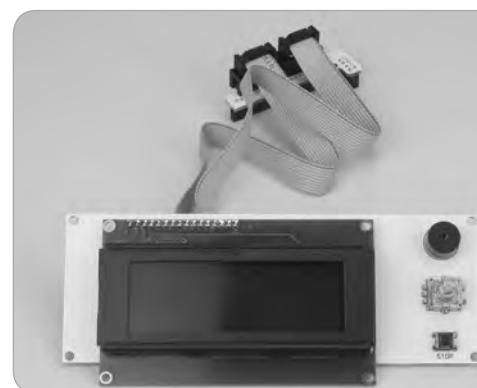
Mithilfe dieser Komponenten können Sie mit Ihrem FranzisMendel autonom drucken, ohne dass das Gerät über ein USB-Kabel mit einem Computer verbunden sein muss. Sie berechnen den C-Code mit Repetier-Host am Rechner und speichern den G-Code auf einer SD-Karte, die Sie in das Lesegerät des Smart Controllers setzen. Über ein Drehrad mit Tasterfunktion können Sie den Drucker manuell bedienen oder einen G-Code von der SD-Karte wählen, um mit seinen Daten einen Druck zu starten.

Genaueres zur Funktionsweise, zu den nötigen Änderungen in der Firmware sowie zum Einbau in Ihren RepRap-Drucker finden Sie unter reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Smart_Controller.

WERDEN SIE EIN TEIL DER OPEN-SOURCE-BEWEGUNG

Als Schlusswort für dieses Buch bietet sich eine Erinnerung daran, dass die Bauanleitung für einen FranzisMendel, die dieses Buch ist, nur durch all jene 3-D-Druck-Enthusiasten möglich wurde, die ihr Wissen und ihre Erfahrungen der Gemeinschaft offen und zur freien Nutzung überlassen haben. Wenn Sie der Gemeinschaft etwas zurückgeben wollen, wäre es ein guter Ansatz, ihr Druckvorlagen, die Sie konstruiert haben, und/oder Ideen zur Verbesserung von RepRap-Druckern wiederum offen und frei zur Verfügung zu stellen. So können auch Sie Teil der Open-Source-Bewegung werden.

TIPP!



Für unter 20 Euro erhalten Sie die Bauteile, die Sie für den Umbau Ihres FranzisMendel in ein Stand-alone-Gerät benötigen.

Index

Symbole

- 3-D-Druck 10
- 3-D-Drucker 10
 - alltagstaugliche 11
 - Bauteile 24
 - Rohbau 63
 - selber bauen 12
- 3-D-Drucker-Bausatz 11
- 3-D-Druck-Vorlagen 228, 234

A

- Akkuschrauber 40, 41
- Amazon 31
- Antrieb 21
 - z-Achse 147
- Antriebsmotor
 - justieren 123
 - y-Achse 116
- Aquariumschlauch 152, 157, 168
- Arduino-Board 172, 177
 - Druckerrahmen 176
- Arduino-IDE installieren 194
- Arduino-Mega-Board 21
- Arduino-Plattform 24
- AT-Netzteil 188
- ATX2-Netzteil 188
- ATX-Netzteil 188, 189

B

- Banzi, Massimo 24
- Bauteile
 - Einkaufsliste 34
- Betriebssystem 194
- Bleistift 48
- Bohren 40
- Bohrloch
 - Unterlegholz 70
- Bohrmaschine 40, 41
- Bohrmaschinenständer 41

Bootstraping 18

Bootstraps 16

Bowden-Extruder 21

Boywer, Adrian 15

Bügelsäge 43

BulldogXL 28

C

- CD-Marker 48
- Chaos-Computer-Club 15
- Cold-Ends 27
- Crimpkabelschuhe 48
- Crimpzange 46
- Cthulhu 216
- Cuartielle, David 24
- CuraEngine Einstellungen 218
- Cuttermesser 47

D

- Darwin 15
- Do-it-yourself-Bewegung 14
- Drehmomentbegrenzung 56
- Druckbett 19
 - Lagerhalter 93
 - y-Achse 78
- Druckbettfederung
 - Gewinde 80
- Druckbetthalter 84, 92, 94, 132
- Druckbetthalterung 79
 - zusägen 78
- Druckbettheizung 206
- Druckerrahmen 19
- Druckersteuerung 172
- Druckertreiber 21
- Druckkopf 19, 25
- Druckkopfhalter 130, 133
 - Kabelführung 152
- Druckprobleme 232
- Düsendifferenzmesser 26

E

- eBay 31
- Einkaufsliste
 - Bauteile 34
- Endstopf
 - kalibrieren 209

x-Achse 173

y-Achse 172

z-Achse 174

Erste Hilfe 228

Extruder 19, 25, 130, 157

richtig verkabeln 157

Extruderhalter

x-Achse 126

Extruderheizung 206

F

- FabLabs 14
- Feinmechanikerschraubendreher 46
- Fertiggeräte 10
- Filamentdurchmesser 26
- Filamentfragen 228
- Filamentführung 169
- Filamentrolle 166
- Filamentrollenhalter 166
- Firmware 194
 - Blink 197
 - Hilfe 197
 - kalibrieren 210
 - Konfiguration testen 204
 - konfigurieren 198
 - Marlin 200
 - Folder-Klammern 48
 - Forstnerbohrer 58, 70
 - FranzisMendel 13, 18
 - Aufbau 19
 - Erweiterungen 236
 - Firmware 194
 - Mendel90-Klon 67

Netzteil 188
Schaltplan 183
Staub 97
Steuerungselektronik 25
FTI-Strap 17

G

Geometriedreieck 43, 48
Gewinde
Druckbettfederung 80
schützen 147
Gewindestange
Enden bearbeiten 89
Glasplatte 111
Glasschneider 47
Grundplatte 59, 61
Grundplattenversteifungen
anschrauben 54
zusägen 53

H

Hacker 15
Hackerspaces 14
Handkreissäge 45
Heißluftpistole 47
Heizbett
elektrische Anschlüsse 109
LEDs 102
montieren 100
Heizbettverkabelung
Kabelführung 98
Hitze 158
Höchsttemperatur 26
Holland, Wau 15
Holz 48
Holzbohrer 42, 70
Holzleim 48
Holzzuschnitt 40
prüfen 50
Homing testen 209
Hot-Ends 28, 158

J

Japansäge 44
J-Heads 28

K

Kabelbrücken bauen 189
Kabelführung
Halter 86
Kabelreste 48
Kabelschellen 48
Kabelverbindungen
zuordnen 181
Kleinteile zusägen 52
Klingenschraubendreher 42
Kugellager
fixieren 75
x-Achse 130, 159
Kugellagerhalter 66, 70
Kühlkörper 29
Leistungsverstärker 179

L

Lagerhalter
am Druckbett 93
Leistungsverstärker
Kühlkörper 179
Leuchtmittel 190
Linearführung
x-Achse 126
y-Achse 78
z-Achse 142, 144
Linearführungswelle
y-Achse 92, 97
Linearkugellager 19, 66, 82, 84
LM8UU-Lager 66
Lötapparat 46
Löten lernen 101
Lötkolben 101
Lötspitze 101
Lüsterklemmen 48

M

M3-Gewindeschraube 78
M6-Rampa-Muffe 137
MakerBot 27
MakerBot-Extruder 21
Malerkreppband 48
Maße
anzeichnen 52
senkrecht abtragen 91
Mendel90 18
Mendel90-Wellenhalter
Ausdrucke 67
Merlin-Hot-End 29
Metallsäge 43
Meterstab 43
Minibohrmaschine 46
MK8-Extruder montieren 136
Motor

Fehlersuche 206

stottert 223

Multimeter 44, 47

Multiplexplatten 48

Multiplexstreifen 68, 88

Multiplexstücke 48

N

Nema14-Motor 21
Nema17-Motor 116

O

Open Source 14
Open-Source-Bewegung 14
Open-Source-Idee 14

P

Portal zusägen 57
Probedruck 216
Prüflampe 44
Pulleys 87

R

Rahmenbauteile zusägen 50

Rampa-Muffen 72

Iotrecht einschrauben 139

metrische Gewinde 81

Ramps1.4 21

Repetier-Host 198

Druckvorschau 223

Installation 199

konfigurieren 202

Optimierung 216

Replicating Rapid-Prototyper 15

RepRap 15

RepRap Arduino Mega Pololu Shield 21

RepRap-Drucker

Darwin 16

RepRap-Forum 40, 228

RepRap-MK3-Heizbett 19

RepRap-Philosophie 16

RepRap Prusa Mendel 18

RepRap-Wiki 40

Riemenspanner 87, 120

Rohbau 62

S

Säge 44

Sägen 40

SC8UU-Kugellager 66

Schaltnetzteil 188

Schieblehre 43

Schleifpapier 48

Schrauben 40

Schraubendreher 42

Schraubflansch

Aluminium 66

Schraubstock 44

Schraubzwinge 43

Seitenaussteifungen 60

Seitenteile 61

Silikon 107

SK8-Wellenhalter 66

Spanplattenschrauben 56

Spitzzange 46

Stahlwellen 19

Steppermotor 27, 116

Feintuning 216

Steuerung 21

Bauteile 25

Steuerungskabel 180

Stichsäge 43, 58, 79

Stuhlwinkel 116

optimieren 148

T

Thermistor 103, 104

Verklebung 107

Tipps und Tricks 228

U

Umlenkrolle 117

justieren 123

Umlenkrollenhalter

Einbauposition 117

Unterlegholz 70

USB-Anschluss 176

V

Verklebung 106

W

Wade-Extruder 21, 27

Wellen

fixieren 75

x-Achse 140

z-Achse 142

Wellenhalter 66, 68, 159

justieren 146

y-Achse 68

Wellenhalterrohlinge 128

Werkzeuge 41

Werkzeugquellen 41

WolfStrap 17

Z

Zahnriemen 21, 87

am Riemenspanner 120

montieren 120

Zahnriemenspanner 90

Zirkel 48

Zusägen

Druckbetthalterung 78

Grundplattenversteifungen 53

Kleinteile 52

Portal 57

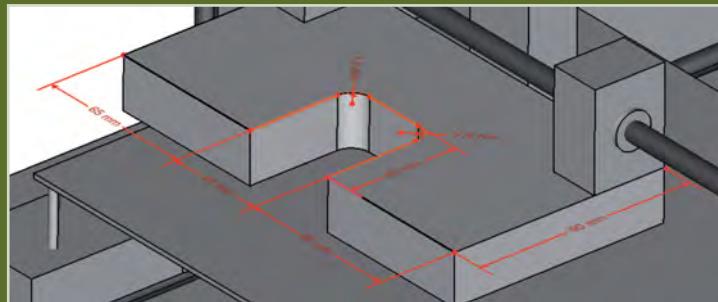
Rahmenbauteile 50

3-D-DRUCKER SELBER BAUEN

MACH'S EINFACH

1000 Euro sind Ihnen für einen 3-D-Drucker zu viel? Sie möchten die Funktionsweise eines 3-D-Druckers verstehen, um auch gute Ausdrucke erstellen zu können? Dann sind Sie hier richtig!

Daniel Walter zeigt Ihnen, wie Sie mit Materialkosten von weniger als 250 Euro einen guten 3-D-Drucker selbst bauen. Für den Aufbau müssen Sie kein Profi sein, lediglich Zeit und Motivation müssen Sie mitbringen. Den Rest liefert Ihnen dieses Buch, und zwar Schritt für Schritt mit vielen Bildern und Aufbauplänen. Und ein Drucker, den Sie selbst gebaut haben, birgt auch keine Rätsel mehr: Sie wissen genau, wie er arbeitet.



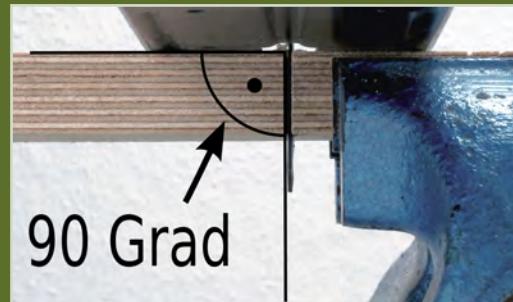
Der Aufbau wird anhand bemalter Pläne und zahlreicher Fotos Schritt für Schritt erklärt.

Schritt für Schritt zum eigenen 3-D-Drucker

Viele Bilder, detaillierte Pläne und Nahaufnahmen von Arbeitsschritten ermöglichen auch Einsteigern, den im Buch vorgestellten 3-D-Drucker, FranzisMendel genannt, nachzubauen. Der 3-D-Drucker wurde von Daniel Walter mehrmals gebaut, um die Funktionalität wirklich sicherzustellen. Das Ergebnis kann sich sehen lassen: Ein Preis von 250 Euro ist unschlagbar, und die Ausdrucke können mit Ausdrucken komplett gekaufter 3-D-Drucker mithalten.

Aus dem Inhalt:

- Detaillierte Einkaufsliste
- Tipps für einen kostengünstigen Einkauf
- Wichtige Anbieter und Bezugsquellen
- Empfehlungen für die Werkstattausrüstung
- Wellen- und Kugellagerhalter herstellen
- Druckbett und Linearführung für die y-Achse
- Extruderhalter und Linearführung für die x-Achse
- Kabelführung für Druckkopfhalter und x-Achsen-Antrieb
- Filamentrollenhalter am Rahmen montieren
- Einbau der Druckersteuerung
- Netzteil zum Nulltarif
- Firmware aufspielen
- Probendruck, Steppertreiber-Feintuning und Repetier-Host-Optimierung
- Werkzeuge für die Reparatur von 3-D-Druck-Vorlagen
- 3-D-Drucker aufrüsten



Zum besseren Nachvollziehen werden größere Arbeitsvorgänge mithilfe aussagekräftiger Fotos erläutert.

