

HANSER



Leseprobe

zu

CNC-Fräsen für Maker

von Ralf Steck

Print-ISBN: 978-3-446-47160-3

E-Book-ISBN: 978-3-446-47407-9

ePub-ISBN: 978-3-446-47408-6

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446471603>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	An wen richtet sich dieses Buch?	3
1.2	Von der Idee zum Span: Wie ist dieses Buch aufgebaut?	8
1.3	Danksagungen	11
2	Schnelleinstieg in die Welt der CNC-Fräsen: Aufbau, Funktionsweise und Marktübersicht	13
2.1	Von CAD zu CNC: Der Datenworkflow	14
2.2	Bestandteile einer CNC-Fräsmaschine	18
2.2.1	Kommandosache: Die Steuerung	18
2.2.2	Antreiber: Die Motorenendstufen	21
2.2.3	Einer nach dem anderen: Die Schrittmotoren	22
2.2.4	Immer geradeaus: Die Achsführungen	23
2.2.5	Vorwärtsdrang: Die Achsantriebe	24
2.2.6	Es geht rund: Die Spindel	27
2.2.7	Basis für alles: Die Arbeitsplatte	30
2.3	Von Achsen und Dimensionen: Was kann eine Fräsmaschine leisten?	30
2.4	Es ist nicht alles Käse! Der Einsatz von Werkstoffen	35
2.5	Shapeoko – die im Buch eingesetzte CNC-Fräse	38
2.6	Hobby-Fräsmaschinen: Eine kleine Marktübersicht	39
2.6.1	„Chinafräsen“	39
2.6.2	BZT	40
2.6.3	GoCNC	41
2.6.4	Proxxon	42
2.6.5	Shaper Origin	42
2.6.6	Sorotec	44
2.6.7	Stepcraft	45
2.6.8	MechaPlus	46

2.6.9	EMS Möderl	46
2.6.10	Shapeoko	47
2.7	Rund um die Maschine: Peripherie und Zubehör	48
2.7.1	Hiergeblieben! Werkstückbefestigung	48
2.7.2	Saubermann: Die Späneabsaugung	50
2.7.3	Wo bist du? Der Werkzeuglängensensor	51
2.7.4	Alles im Kasten: Das Gehäuse	53
2.7.5	Jetzt geht's rund! Die vierte Achse	54
3	Gedankenspiele: Die Grundlagen des Fräsens	57
3.1	Welcher Fräser ist für welchen Einsatz geeignet?	57
3.2	Schnittwerte: Bitte die Richtgeschwindigkeit beachten!	64
3.3	Routenplanung: Die richtige Frässtrategie	67
3.3.1	Hü oder hott: Gegen- und Gleichlaufräsen	67
3.3.2	Schruppen, Schlichten und Restmaterial	69
3.3.3	Die richtige Frässtrategie für verschiedene Anwendungen	71
3.4	Nullpunkte: Wo bin ich und wer bin ich?	75
4	Vor dem Fräsenbau: Kauf- und Bauvorbereitungen	79
4.1	Wie groß soll die Fräse werden?	79
4.2	Wer liefert was? Bauteile und Bezugsquellen	82
4.3	Die Kostenfrage: Bestelllisten und Preise	87
4.4	Werkzeug und Zubehör: Was braucht es noch?	91
5	Endlich schrauben! Der mechanische Aufbau der Fräse	93
5.1	Rolling, rolling, rolling: Die Kleinteile	94
5.2	Auf und ab: Die Z-Achse	96
5.3	Hin und her: Der X-Schlitten	100
5.4	Brückenbau: Das X-Portal	104
5.5	Am Boden: Die Y-Achse	109
5.6	Exkurs: Fräsen einer Arbeitsplatte mit Shaper Origin	116
5.6.1	Shaper Origin – die handgeführte CNC-Fräse	116
5.6.2	Erste Erfahrungen mit CAD: Der Arbeitstisch entsteht in Fusion 360	119
6	Der LötKolben glüht! Aufbau der Fräselektronik und -steuerung	127
6.1	Verbindendes und Trennendes: Leitungen und Schalter	128
6.2	Gute Führung: Verlegung der Leitungen und Anschluss der Steuerung	137

6.3	Das Gehirn der Fräse: Der Steuerrechner	142
6.4	Erstkontakt: Verbinden von bCNC mit GRBL	149
7	Jetzt wird es ernst! Die Inbetriebnahme der Fräse	151
7.1	Richtungsweisend: GRBL richtig einstellen	151
7.2	Oberflächlich: Erste Schritte in bCNC	160
7.3	Späne fliegen: Das erste Fräsprojekt	164
7.4	Fixiert: Haltestege einplanen hilft gegen Projektile	170
7.5	Sicher ist sicher: Sicherheit an der Maschine	172
8	Von der Vision zur Realität: Der CAD-CAM-NC-Workflow	175
8.1	Estlcam: CAM/CNC-Software made in Germany	176
8.2	Zeichen setzen: Gravieren mit Estlcam	179
8.3	Da schau her! G-Codateien lesen	185
8.4	Tiefschürfend: Vorgegebene Daten fräsen	188
8.5	Die Späne fliegen: Tipps zur Arbeit an der Fräse	197
8.6	Hoch hinaus! Fräsen eines Flugzeug-Spantengerüsts	199
8.7	3-Achs-Fräsen: In alle Richtungen	206
8.8	CAD/CAM vereint: Ein komplett in Fusion 360 realisiertes Projekt	212
9	Optimierungswahn: Diverse Fräsen-Upgrades und -ergänzungen	227
9.1	Fiat Lux! Es werde Licht im Arbeitsraum	227
9.2	Grenzen setzen: Abdeckbleche und Kabelführung	230
9.3	Messgerät: Der Werkzeuglängentaster	231
9.4	Sauber, sauber: Die Absaugung	239
9.5	CNC-Staubsaugen: Die Absaugung über G-Code steuern	243
10	Die Kür: 4-Achs-Steuerung und vierte Achse	245
10.1	Getrennt und doch gemeinsam: Der Aufbau der Steuerung	248
10.2	Spekulativ: Die Hardware für die vierte Achse	256
10.3	Drehwurm: Fräsen mit der Drehachse	258
11	Am Endschalter: Fazit und Ausblick	265
	Stichwortverzeichnis	267

1

Einführung

Für den Maker ist eine CNC-gesteuerte Fräse sicher eines der interessantesten Projekte, die er angehen kann. Neben dem 3D-Drucker und dem Lasercutter dürfte die CNC-Fräse zu den automatisierten Werkzeugen zählen, die in Kreisen von Makern, Modellbauern, Bastlern und Technikfreaks am häufigsten eingesetzt werden. Dieses Buch führt in die Anschaffung, den Bau und den Einsatz einer solchen Fräse ein. Ziel ist nicht, professionelle Fräsqualität zu erreichen, sondern mit überschaubarem Budget eine möglichst zuverlässige, einfach zu verstehende und produktive CNC-Maschine zu bauen. Dazu müssen auch einige Abstriche gemacht werden, auf die ich im Folgenden noch eingehen werde.

Das CNC-Fräsen ist eines der wichtigsten Fertigungsverfahren in der Industrie. Vor allem wenn es um Metallteile geht, führt kaum ein Weg daran vorbei. Auch in der Kunststoffteileherstellung sind Fräsmaschinen unverzichtbar – hier allerdings nicht direkt zur Fertigung, sondern für die Herstellung der Spritzgussformen, in denen dann die Kunststoffteile gefertigt werden.

Profimaschinen sind sehr genau und schnell. Sie sind mit automatischen Werkzeugwechseln und Bestückungsrobotern ausgestattet, um eine Serienfertigung mit möglichst geringem Anteil an manuellen Handgriffen zu ermöglichen. All diese Anforderungen – bis auf die Genauigkeit, aber auch diese mit Abstrichen – haben wir im Hobbybereich nicht. Professionelle CNC-Bearbeitungszentren kosten deshalb auch sechs- oder siebenstelligen Beträge, während Hobbymaschinen im hohen drei- oder niedrigen vierstelligen Bereich liegen. Natürlich sind auch im Hobbybereich die Grenzen fließend. In manchem Hobbykeller steht ein Maschinenpark, den man eher in einem Kleinunternehmen vermuten würde.

In diesem Buch stelle ich eine preiswerte, aber leistungsstarke computergesteuerte 2,5D-/3D-Fräsmaschine für ein Budget um ca. 1000 Euro vor. Ich arbeite dabei auf Basis des Open-Source-Projekts Shapeoko, sodass du die Maschine nach deinen Vorstellungen gestalten und trotzdem von diesem Buch profitieren kannst (Bild 1.2). Mit einer Absaugung, einem Werkzeuglängentaster, einem Upgrade für Motoren und Steuerung sowie einer einfachen vierten Achse zeige ich Erweiterungs- und Ausbaumöglichkeiten auf.

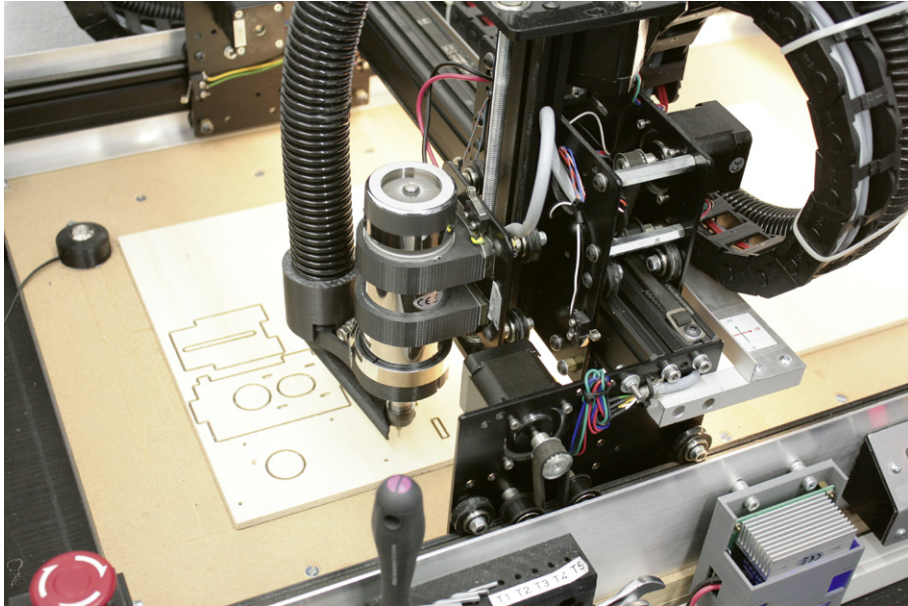


Bild 1.1 Mit einer CNC-Fräse lassen sich die unterschiedlichsten Dinge erstellen. Hier entstehen die Holzteile für die vierte Achse.

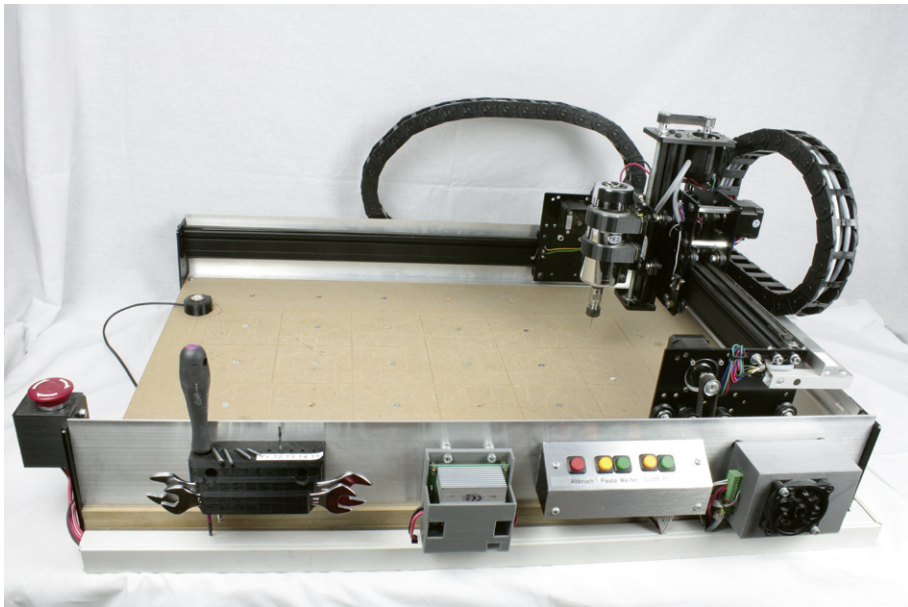


Bild 1.2 Was man für etwa 1000 Euro bekommt: eine Shapeoko-X-Fräse

■ 1.1 An wen richtet sich dieses Buch?

Interessierst du dich für die CNC-Technik? Hast du schon einen 3D-Drucker und möchtest in die „subtraktive“ Welt hineinschnuppern? Bist du Modellbauer, Maker oder ambitionierter Bastler? Dann wirst du dich in diesem Buch wiederfinden.



In der Maker-Szene duzt man sich. Deshalb spreche ich meine Leser mit „du“ an. Ich habe das Buch so aufgebaut, als ob wir zusammen in deinem oder meinem Hobbykeller säßen und das Projekt „CNC-Fräse“ gemeinsam angehen würden.

Um die CNC-Fräsmaschine zu betreiben, benötigst du digitale 2D- oder 3D-Vorlagen. CAD-Kenntnisse sind also hilfreich, allerdings werde ich in Kapitel 8 den kompletten Workflow von der Modellierung im CAD-System über die CNC-Programmierung im CAM-System bis zur Maschinensteuerung beispielhaft vorstellen, sodass du eine Idee bekommst, wie die Vorlagen entstehen. Darüber hinaus kann ich mein Buch *CAD für Maker* (ISBN 978-3-446-45681-5) empfehlen, in dem ich detailliert in die 3D-Modellierung einführe (Bild 1.3).

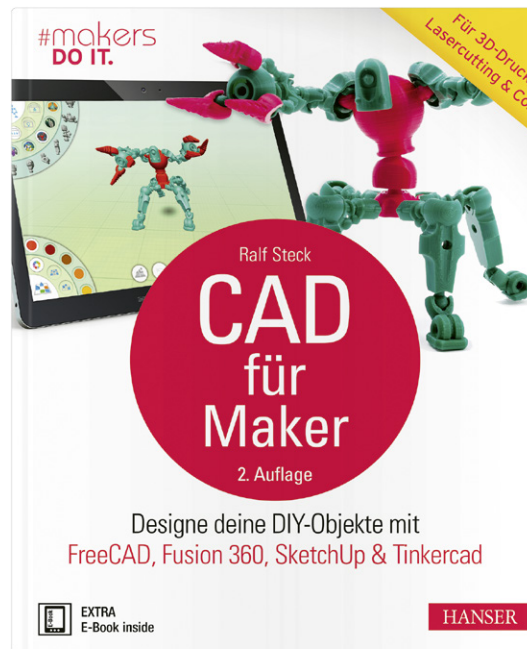


Bild 1.3 Mein Buch *CAD für Maker* enthält Anleitungen zur 3D-Modellierung.

Im Zuge der Arbeit an meinem Buch *CAD für Maker* beschäftigte ich mich auch erstmals seit dem Maschinenbaustudium wieder mit CNC-Fräsmaschinen. Ich kann mich also gut in die Situation, die man als CNC-Neuling durchläuft, hineinversetzen.

Entsprechend habe ich *CNC-Fräsen für Maker* aufgebaut. Ich habe eine Liste von Anforderungen zusammengestellt, die eine Hobbyfräse in meinen Augen erfüllen sollte:

- Sie soll preiswert sein.
- Sie soll einfach bedienbar und aus einfach verfügbaren Standardteilen aufgebaut sein.
- Sie soll einfach erweiterbar sein.
- Sie soll eine große Community im Internet haben, die bei Problemen weiterhelfen und Tipps geben kann.
- Die Maschine soll Holz und Kunststoffe bearbeiten können.
- Die Möglichkeit, Aluminium zu bearbeiten, wäre schön, ist aber nicht Voraussetzung.
- Die Maschine soll mit kostenloser Software zu betreiben sein.
- Sie soll „bürotauglich“ sein, das heißt, die Maschine soll im Betrieb nicht allzu viel Schmutz und Lärm erzeugen und kompakt sein.
- Sie soll „genau genug“ sein.



Bild 1.4 Auch dieses Projekt aus meinem Buch *CAD für Maker* entstand auf der Shapeoko-X.

Selbstbau steht bei mir an erster Stelle. Natürlich gibt es eine Vielzahl von Fräsmaschinen, die bereits fertig aufgebaut zu kaufen sind. Doch meiner Meinung nach erwirbt man erst dann echtes Wissen in einem Bereich, wenn man die Materie – zumindest in der Theorie – so weit durchdenkt, dass man eigene Entscheidungen treffen kann. Nur dann wird man sich die richtigen Geräte und Werkzeuge anschaffen.

Wir bauen in diesem Buch eine Shapeoko-Fräse (für nähere Ausführungen siehe Kapitel 2) und folgen damit einem bestimmten Bauplan. Das hat den Vorteil, dass wir Bausätze verwenden beziehungsweise vorkonfigurierte Pakete einkaufen können und uns damit die Mühe sparen, eine Vielzahl einzelner Schrauben, Scheiben und Rollen im Internet zusammenzusuchen. Ich habe zudem vorgefertigte Blechteile gekauft, da diese präziser gefertigt sind, als wenn ich diese selbst mit der Bohrmaschine bearbeitet hätte. Grundsätzlich kannst du jedoch fast alle mechanischen Teile der Fräse einzeln kaufen oder selbst herstellen. Du solltest also schrauben und löten können.

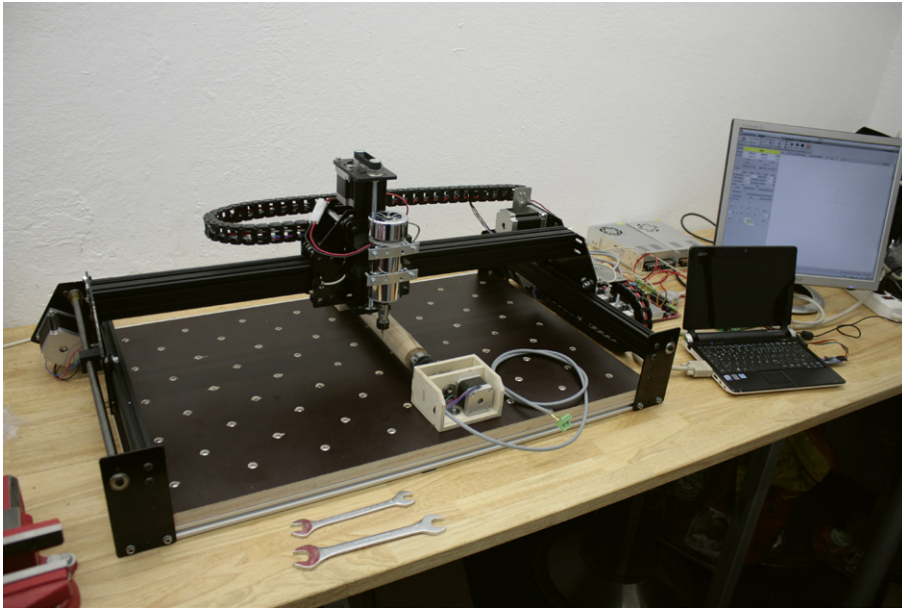


Bild 1.5 Größeres Kaliber: die Shapeoko-T mit Spindeltrieben, MaXYposi-Steuerung und vierter Achse

Warum einige der genannten Anforderungen besonders wichtig sind und miteinander zusammenhängen, werde ich noch genauer darlegen. Kurz gefasst: Je härter das zu bearbeitende Material ist, desto mehr Kräfte werden vom Fräser auf Spindel, Z-Achse, Portal und schließlich X-Achse übertragen. Verbiegt sich die Struktur der Maschine aufgrund dieser Kräfte, wird das Fräsergebnis nicht maßhaltig. Zudem kann nicht beliebig langsam gefräst werden, da sonst die beim Schneiden des Materials entstehende Hitze nicht abgeleitet werden kann.

Deshalb ist in Bezug auf die bearbeitbaren Materialien nicht die Kraft der Motoren der begrenzende Faktor, sondern die Steifigkeit des Maschinengestells (Bild 1.6). Mit Aluprofilen lassen sich die Kräfte beim Fräsen von härteren Metallen nicht mehr im Maschinengestell abfangen. Für eine Fräse, die sauber und zuverlässig Stahl oder dickes Alu bearbeiten kann, ist ein völlig anderer Aufbau notwendig, der speziell angefertigte Teile erfordert, was wiederum die Maschine verteuert. Solche Fräsen liegen im hohen vierstelligen bis fünfstelligen Eurobereich und damit außer Reichweite eines Heimwerkers.

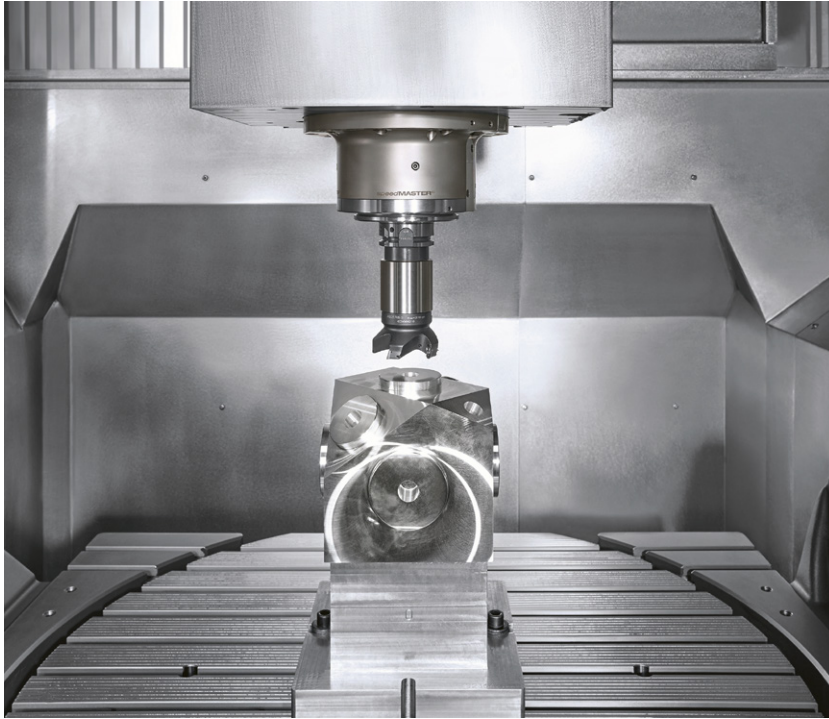


Bild 1.6 Für die Bearbeitung von Metall werden eine sehr steife Maschine und starke Motoren benötigt. Die Abbildung zeigt die Innenansicht einer DMU 95 monoblock von DMG Mori (© DMG Mori).

Doch degradieren diese Einschränkungen die preiswerten Fräsmaschinen zur „Käsefräse“, die nur Käse schneiden kann und deren Werkstücke „Käse sind“, wie man oft im Internet liest? Ich finde nein. Wer wissen möchte, was man mit einer Fräse und Holz alles anstellen kann, der schaue sich unter anderem einmal auf der Website www.zenziwerken.de oder auf einer Modellbaumesse um, denn die meisten Modellflugzeuge und viele Modellboote werden aus gefrästen Spanten und anderen Holzteilen gefertigt (Bild 1.7). Auch die im Modellbau sehr beliebten Hartschaumplatten lassen sich mit den preiswertesten Fräsen bearbeiten.

Nicht vergessen sollte man die Möglichkeit, Platinen zu gravieren. Das ist eine interessante Alternative zum Ätzen selbst entwickelter Leiterplatten. Gravuren in Acrylglas ergeben sehr schöne, beleuchtbare Schilder. Die Möglichkeiten sind mehr als umfangreich, auch ohne die Bearbeitung von Stahl. Immerhin lassen sich Aluminium und Nichteisenmetalle – wenn auch langsam – bearbeiten.

Der Aufbau einer Fräse aus Aluprofilen beschränkt also die Auswahl der Materialien, die man bearbeiten kann, hat aber unschätzbare Vorteile: Die Aluprofile kann man zum einen relativ einfach kaufen, zum anderen lässt sich die Größe der Fräse durch die Länge der Profile individuell an die eigenen Möglichkeiten und Anforderungen anpassen. Ebenso

verhält es sich mit dem Riemetrieb, den die in diesem Buch vorgestellte Fräse (zumindest anfänglich) hat. Auch dieser ermöglicht eine individuelle Größenauswahl.



Bild 1.7 Mit der „Käsefräse“ lassen sich sehr schöne Projekte, wie diese Schale von ZenziWerken, umsetzen. (© ZenziWerken.de, Daniel Groß)

Wenn du dich in diesen Beschreibungen wiedererkennst und mit den beschriebenen Anforderungen leben kannst, lade ich dich herzlich ein, mir auf dem Weg zur selbst gebauten Fräse zu folgen.

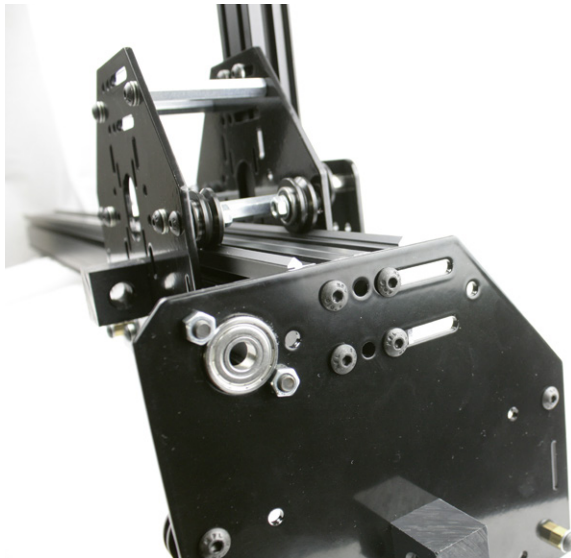


Bild 1.8 Schritt für Schritt bauen wir eine Fräse auf und nehmen sie in Betrieb.

Noch ein wichtiger Hinweis: Dieses Buch ist nicht als lineare Handlungsanweisung gedacht. Ich baue zunächst eine einfachen Maschine mit drei Achsen, Riementrieben, kleinen Motoren und einer einfachen Steuerung und rüste diese dann Schritt für Schritt auf: mit einer Absaugung, einem Werkzeuglängentaster, größeren Motoren, einer kräftigeren Steuerung, einer vierten Achse und so weiter. Du kannst die Zwischenschritte natürlich auch überspringen und gleich NEMA23-Motoren einbauen.

Dieses Buch wird dir auch ein nützlicher Wegweiser sein, wenn du dich nicht für eine Shapeoko-Grundmaschine, sondern einen anderen Bausatz entschieden hast. Die Ausführungen zur elektrischen/elektronischen Ausstattung sind auch für ein anderes mechanisches Basisset gültig. Lies das Buch am besten einmal komplett durch, bevor du dich für einen Aufbau entscheidest. Ich liefere an vielen Stellen Pros und Contras und begründe meine Entscheidungen ausführlich. So kannst du meinen Argumenten folgen – oder eben auch nicht.

■ 1.2 Von der Idee zum Span: Wie ist dieses Buch aufgebaut?

Nach dieser Einführung folgen in Kapitel 2 der Aufbau der Fräsmaschine, die Beschreibung ihrer Bestandteile und einige Begriffserklärungen. In Kapitel 2 wird zudem die notwendige Größe und das Budget geklärt, das für die Fräsmaschine und ihre Peripherie ausgegeben werden soll. Auch sinnvolle Erweiterungen und Ergänzungen werden besprochen.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit den Grundlagen des Fräsens. Welche Werkzeuge gibt es, wie werden diese eingesetzt, was bedeutet Vorschub, Zustellung und Schnittgeschwindigkeit, wie wählt man die richtigen Parameter für verschiedene Werkstoffe und Werkzeuge aus? Einen Schritt weiter geht es mit den Bearbeitungsstrategien. Es werden verschiedene Möglichkeiten vorgestellt, Material abzutragen, die jeweils Vor- und Nachteile haben. Wozu Maschinen-, Werkstück-, Programm- und andere Nullpunkte und ihre zugehörigen Koordinatensysteme gut sind und wie man mit ihnen arbeitet, ist ebenfalls Thema in Kapitel 3.

Dann folgt das kurze Kapitel 4, in dem ich den endgültigen Aufbau und die Größe der Fräse festlege und die zum Bau notwendigen Bestandteile zusammenstelle.

In Kapitel 5 und 6 gehe ich auf den mechanischen und elektrischen Zusammenbau der Fräsmaschine ein. Der Aufbau wird nicht bis zur letzten Schraube dargestellt, da dein individueller Baukasten je nach Anforderung sicherlich etwas anders aussieht, doch die Kapitel enthalten viele Tipps und Tricks, die dir helfen, Fehler beim Zusammenbau zu

vermeiden. Darüber hinaus wird in Kapitel 6 die Maschinensoftware auf den Steuerungsrechner gespielt und die Maschinensteuerung selbst initialisiert.

In Kapitel 7 kommen wir zum spannendsten Teil: der Inbetriebnahme der Fräse. Die Maschine macht die ersten Bewegungen, wir suchen Nullpunkte, spannen ein Werkstück auf und erzeugen das erste Mal Späne. Ganz wichtig ist auch Abschnitt 7.5 zum Thema Sicherheit. Sowohl der Bau als auch der Betrieb der Fräse bergen Gefahren in sich, wenn nicht gewisse Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden.

In Kapitel 8 wird der gesamte Workflow, der in Kapitel 2 bereits in der Theorie vorgestellt wurde, noch einmal detailliert betrachtet. Wir arbeiten mit Estlcam und Autodesk Fusion 360 verschiedene Projekte durch – von der Skizze über das 3D-Modell bis hin zur CAM-Programmierung, der G-Codeausgabe und dem Fräsvorgang auf der selbst gebauten Maschine.



Bild 1.9 Auch das Gravieren gescannter Zeichnungen bringen wir der Fräse bei.



HINWEIS: Bitte vergiss nicht, dass das Bedienen einer Fräse im Rahmen eines Lehrberufs erlernt wird. Zerspanungsmechaniker lernen dreieinhalb Jahre lang alles über Fertigungsmethoden und -prozesse. Auch du wirst – wenn du nicht die entsprechende Ausbildung hast – einige Zeit brauchen, um deine Fräse wirklich im Griff zu haben. Das Verstehen der Fräseparameter und des Workflows ist extrem wichtig, wenn du Erfolgserlebnisse statt Frust erfahren möchtest.

In Kapitel 9 werden der Werkzeugwechsel und der dafür notwendige Werkzeuglängensensor behandelt. Zudem bauen wir eine Späneabsaugung auf Basis eines Zyklonabscheiders, die über das NC-Programm gesteuert wird (Bild 1.10).



Bild 1.10 Sorgt für Sauberkeit am Arbeitsplatz: ein selbst gebauter Zyklonabscheider

Der Maker ist ja nie zufrieden, wenn etwas einfach nur funktioniert. Hatten wir die CNC-Maschine zunächst mit Komponenten ausgestattet, wie sie im 3D-Druckbereich typisch sind – mit Raspberry Pi, Polulu 8825-Treibern und NEMA17-Motoren –, greifen wir in Kapitel 10 zu Treiberplatinen, die zum einen NEMA23-Motoren treiben können und zum anderen Reserven für eine vierte Achse bieten. Außerdem wird der Maker nervös, wenn die Möglichkeiten der Elektronik nicht voll ausgeschöpft werden. Also bauen wir in Kapitel 10 eine vierte Achse, um Werkstücke von (fast) allen Seiten bearbeiten zu können (Bild 1.11).

Die optionalen Ergänzungen bauen nicht direkt aufeinander auf. Du kannst also die Späneabsaugung auch nachbauen, wenn du nicht auf Spindeltriebe umgerüstet hast, oder die Maschine gleich mit einer leistungsstärkeren Steuerung aufbauen, ohne zunächst mit dem Raspberry Pi zu arbeiten.

Am Ende wirst du eine leistungsstarke, vielseitige CNC-Fräsmaschine gebaut haben, die dir bei deinen Fräsprojekten hoffentlich wertvolle Dienste leisten wird und auch als Basis für einen Lasercutter dienen kann.

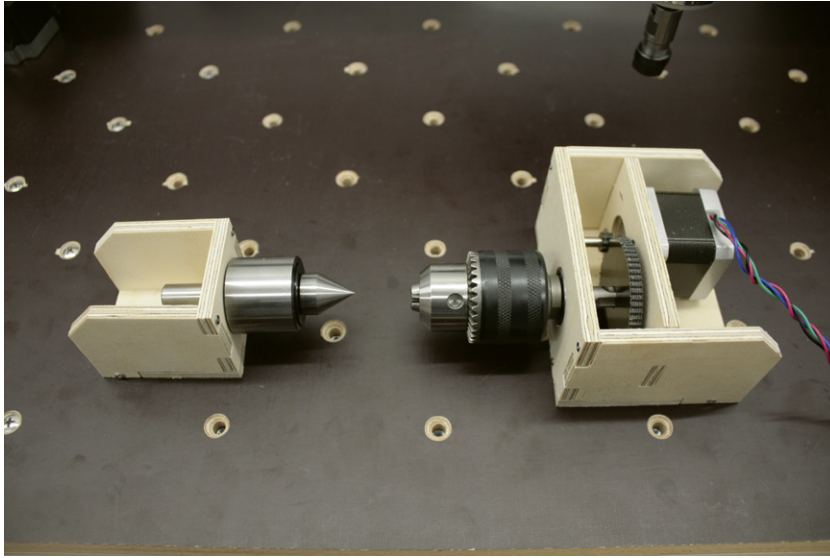


Bild 1.11 Die vierte Achse erschließt uns neue Möglichkeiten beim Fräsen.

■ 1.3 Danksagungen

Solch ein Buch schreibt sich nicht von alleine, insbesondere deshalb, weil man extrem viel Hardware für die Realisierung benötigt. Folgende Firmen und Personen haben mich mit Rat und Tat bzw. verschiedener Hardware unterstützt:

- Allen voran danke ich Ronald Holze von myhobby-CNC (<http://www.myhobby-cnc.de>), der mir eine fast komplette „Zweitfräse“ zur Verfügung gestellt hat.
- Ich danke den Firmen Protoneer und Heise Medien, die mich mit ihren Steuerungen Raspberry Pi CNC und MaXYposi Controller ausgestattet haben. Peter König von der Zeitschrift Make: und dem MaXYposi-Entwickler Carsten Meyer danke ich für ihre Unterstützung.
- Daniel Groß von ZenziWerken.de (www.zenziwerken.de) danke ich für die Erlaubnis, seine Konstruktionen und schönen Bilder zu nutzen.
- Der Estlcam-Entwickler Christian Knüll hat mir einige wichtige Fragen zu seiner CAM-Software beantwortet und mich vor einem großen Irrtum bewahrt.
- Michael Haase danke ich für die Daten seines Balsa-Zagi-Nurflüglermodells, das in Kapitel 8 zum Einsatz kommt.

- Und zum Schluss danke ich meiner Familie, meinen Kunden und Julia Stepp vom Hanser Verlag für ihre Geduld bei diesem Projekt.

Doch nun genug der Vorrede. Bist du bereit, in die spannende Welt des CNC-Fräsens abzutauschen? Dann lass uns loslegen. Ich wünsche dir viel Freude bei der Lektüre meines Buches!

Friedrichshafen, Januar 2022

Ralf Steck

Stichwortverzeichnis

Symbole

2,5 Achsen 30
3+2-Achs-Fräsen 34
3-Achs-Fräsen 206

A

A4988 21
A-Achse 34
Absaugung 239 → *siehe Späneabsaugung*
Achsantrieb 24
Achsen 30
Achsführungen 23
Adaptive Clearing 73
Aktivierung der Referenzfahrt 155
Anbindung 194
Arbeitsplatte 30, 116
Arbeitsraumgröße 79
Arduino 19
Arduino IDE 143
Aufbau der Fräselektronik 127
axiale Zustellung 66

B

B-Achse 34
Balsa-Zagi 200
bCNC 19, 147
Bedienpanel 135
Beleuchtung 135, 227
Beschleunigung 159
Bestellliste 88
Bestellung der Profile 83

Bewegungsbefehle 14
Blechmuttern 89
BOB 19
Breakout-Board 19
BZT Maschinenbau 40

C

C-Achse 34
CAD 175
CAM 175
CAM-Software 16
Carbide 3D 47
China-Endstufe 21
Chinafräse 39
Chinaspindel 27
Clock 257
Clockwise 257
Closed-Loop-Steuerung 22
CNC 175
CNC-Wiki 66
Computer-Aided Design 175
Computer-Aided Manufacturing 175

D

Datenfluss 18
Decay 253
Diamantverzahnung 63
digitale Daten 175
Dimensionen 30
Doppelkegelspannzangen 28
Doppelklebeband 48

Drehachse 33
Drehmoment 27
Drehzahl 27
Drehzahlcontroller 251
Drehzahlsteuerung 28
Dreiachsfräse 24
Dreiachs-Simultanbearbeitung 32
Dremel 27
DRV8825 21
DXF 188
DXF-Format 199

E

Easy Chain 138
Ebenenwechsel 31
echtzeitfähig 18
Eilgang 14
Einschlagmutter 116
Einspannen ins Bohrfutter 261
Eintauchtiefe 66
Eintauchvorgang 73
Ein Zahnfräser 61
Elektro-Kit 86
EMS Möderl 46
Enable 257
Endkappen 89
Endschalter 76, 132
Energieführungskette 137
ER11 28
Estlcam 176

F

Feileneffekt 37
Firmware 19
Fischschwanz 58
Fräserradiuskorrektur 16
Frässpindel-Kit 86
Frässtrategie 67
Frästisch 30
Fünfachs-Fräsmaschine 34
Fusion 360 119, 189, 213

G

Gantry 23
Garant-Zerspanungshandbuch 66
G-Code 14
G-Codedateien lesen 185
G-Code-Onlinesimulator 15
G-Code-Sender 19
Gegenlaufräsen 67
Gehäuse 53
Gleichlaufräsen 67
GoCNC 41
Gravieren 54
Gravierstichel 61
Gravuren 179
GRBL 19, 143
GRBL-Controller 86
GRBL einstellen 151

H

Haltemoment 22
Haltesteg 170
Handrad 160
Hartmetall 57
Hauptschalter 128
Helixbahn 74

I

Inbetriebnahme 151
Inkscape 181

K

Käsefräse 6
Keramik 57
Keypad 162
Klonen 140
Klonen von Achsen 248
Kommentare im G-Code 14
konturfolgend 72
Koordinatensystem 75
Kosten 87
Kress 27
Kugelumlaufmutter 25

L

Laufrollen 94
Laufwagen 24
Leitungen 131
linksspiraliger Fräser 61
Lubuntu 145

M

MakerSlide 24, 47, 82
Maschinengestell 37
Maschinennullpunkt 75
Maximaldrehzahl 28
MaXYposi 55, 245
M-Code 14
Mechanik-Kit 79
MechaPlus 46
Mikroschalter 135
Mikroschritte 22, 157
Motorentreiber 21
Motorregelung (Staubsauger) 241
myhobby-CNC 38, 82

N

NC 175
NEMA 22
Netzspannung 27
Netzteil 128
Normally-Closed 134
Normally-Open 134
Not-Aus-Schalter 130
Nullpunkt 75
Nullpunktverschiebung 78
Nutentische 48

O

Open Source 38

P

Parallelfräsen 71
Parallelport 19
Pause 135
Pi CNC Hat 20, 87

Polulu 21
Portal 23
Programmnullpunkt 76
Proxxon 27, 42
Pulley 24
PWM-Ausgang 28

R

radiale Zustellung 65
Radiusfräser 59
Raspberry Pi 19
Referenzpunkt 75
Referenzschalter 76, 132
Restmaterialbearbeitung 70
Resume 135
Richtungssignal umkehren 153
Richtwerte für Schnittwerte 65
Riementrieb 24
Ritzel 24
Root-Kit 83

S

Scannen (bCNC) 198
Schafffräser 58
Schleppkette 137
Schlichten 69
Schlichtfräser 62
Schnellarbeitsstahl 57
Schnittdatenberechnung 65
Schnittgeschwindigkeit 64
Schritte pro Millimeter 157
Schrittimpulssignal umkehren 153
Schritt Impulszeit 153
Schritt Leerlaufverzögerung 153
Schrittmotor 22
Schrittmotoraktivierungssignal umkehren 153
Schrittverluste 22
Schrittwinkel 22
Schruppmaß 70
Schruppen 69
Schruppfräser 63
Shapeoko 24, 38, 47
Shapeoko-T 38
Shapeoko-X 38

Shaper Origin 42, 116
Shaper Utilities 119
Sicherheitshinweise 172
Software-Endstops 154
Sorotec 44
Span 61
Späneabsaugung 50
Spanneisen 49
Spannpratze 49
Spannut 61
Spannzange 28
Spindel 27, 130
Spindelmotor 27
Spindeltrieb 25
Spiralbearbeitung 72
Stabilität 36
Standzeit 66
statische Aufladung 242
Statusreport 154
Staubsauger 50, 239
Staubsauger CNC-steuern 243
Steifigkeit 36
Stepcraft 45
Steppermotor 22
StepStick 21
Steuerrechner 145
Steuerung 18
Stop 135
Stromabbau 253
Stromversorgung 128
SVG-Datei 180

T

Taschenfrässtrategie 31
Tastplatte 233
TB6560 21, 248
TB6600 21
T-Nutenfräser 60
Trapezgewinde 25
Trapezgewinde-Set 105
Treppenbock 49
Trochoidalfräsen 73

U

Umkehrspiel 26

V

Vakuumtisch 30, 48
Verfahrbereich 80
Verfahrgeschwindigkeit 158
Vierachsbearbeitung 247
vierte Achse 54, 247, 259
Vollhartmetall 57
Vollnut 65
Vorschub 64
Vorschubrichtung 67

W

Wasteboard 30
Web-Handrad 163
Wendeschneidplatten 57
Werkstückbefestigung 48
Werkstücknullpunkt 76
Werkzeug 91
Werkzeugdurchmesser 64
Werkzeughalter 52
Werkzeuglängenmesssystem 53
Werkzeuglängensensor 51
Werkzeuglängentaster 231
Werkzeugnullpunkt 76
Werkzeugwechsel 51, 233
Werkzeugwechsellpunkt 76
Wirbelfräsen 73

X

X-Achse 23
X-Portal, Zusammenbau 104
X-Schlitten, Zusammenbau 100

Y

Y-Achse 23
Y-Achse, Zusammenbau 109

Z

- Z-Achse 23
- Z-Achse, Zusammenbau 96
- Zähnezahlen 61
- Zahnriemen 24
- ZenziWerken 54, 188
- Zerspanungsmechaniker 9
- Z-konstant 72
- Zyklon 51
- Zyklonabscheider 240