

2.
Auflage

Christian Rattat

CNC-FRÄSEN FÜR MAKER UND MODELLBAUER

Grundlagen – Technik – Praxis



edition **Make:**



dpunkt.verlag



Christian Rattat arbeitet seit etwa 20 Jahren als Softwareentwickler und begann seine Karriere 1987 auf einem Commodore Amiga 2000. Heute arbeitet er für Großunternehmen im Microsoft- und Unix-Umfeld, hat aber auch mikrocontrollerbasierte Anwendungen gebaut und dafür Software implementiert.

Sein Hobby, das Bauen und Fliegen von Multicoptern, brachte viele Berührungspunkte mit Themen wie 3D-Druck und CNC-Fräsen und der Schritt zum eigenen 3D-Drucker lag nahe.

Mit einem aufgemotzten Ultimaker Original-3D-Drucker und vielen Stunden zur Optimierung von 3D-Drucken erzeugt er heute hochwertige Werkstücke für verschiedenste Zwecke aus PLA, ABS, HIPS, PET oder Holz- und CFK-Filamenten.

Christian Rattat

CNC-Fräsen für Maker und Modellbauer

Grundlagen – Technik – Praxis

2., aktualisierte Auflage



dpunkt.verlag

Christian Rattat
christian@rattat.net

Lektorat: Dr. Michael Barabas
Lektoratsassistentz: Anja Weimer
Copy-Editing: Ursula Zimpfer, Herrenberg
Satz: Ulrich Borstelmann, www.borstelmann.de, Frank Heidt
Herstellung: Stefanie Weidner
Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, www.exclam.de
Druck und Bindung: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN:
Print 978-3-86490-752-4
PDF 978-3-96088-950-2
ePub 978-3-96088-951-9
mobi 978-3-96088-952-6

2., aktualisierte Auflage 2020
Copyright © 2020 dpunkt.verlag GmbH
Wieblinger Weg 17
69123 Heidelberg

Hinweis:
Der Umwelt zuliebe verzichten wir auf die Einschweißfolie.

Schreiben Sie uns:
Falls Sie Anregungen, Wünsche und Kommentare haben, lassen Sie es uns wissen: hallo@dpunkt.de.

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung der Texte und Abbildungen, auch auszugsweise, ist ohne die schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und daher strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die im Buch verwendeten Soft- und Hardware-Bezeichnungen sowie Markennamen und Produktbezeichnungen der jeweiligen Firmen im Allgemeinen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz unterliegen.

Alle Angaben und Programme in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt kontrolliert. Weder Autor noch Verlag können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Buches stehen.

5 4 3 2 1 0

Inhaltsübersicht

1	Einführung	1
2	Die eigene CNC-Fräsmaschine	49
3	Fräswerkzeuge	151
4	2D-Fräsen in der Praxis	171
5	Erweiterungen	207
6	Weitere Fräsarten	251
7	Ausblick	285
8	Glossar	289
	Index	297

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Was ist Fräsen?	2
1.2	Portalfräsen für den Hobbybereich	6
1.2.1	Maschinentisch	8
1.2.2	Fräsmotor	10
1.2.3	Werkzeugvorschub	13
1.2.4	Fräswerkzeuge	16
1.2.5	Ausstattung und Erweiterungen	24
1.3	Werkstoffe	34
1.4	CNC-Fräsen	35
1.4.1	CAD	35
1.4.2	CAM	39
1.4.3	Maschinensteuerung	42
1.5	Alternativen zum Fräsen	43
1.6	Sicherheit und Gefahren	44
1.6.1	Fräsmotor und Fräswerkzeuge	45
1.6.2	Elektrischer Strom	45
1.6.3	Brand- und Verbrennungsgefahr	46
1.6.4	Gefährliche Stoffe	46
1.6.5	Sicherer Arbeitsplatz	48
2	Die eigene CNC-Fräsmaschine	49
2.1	Auswahlprozess für die CNC-Fräsmaschine in diesem Buch	51
2.1.1	GoCNC Next 3D CNC M	54
2.1.2	Stepcraft-2/D.600	56
2.1.3	Weitere Modelle	58
2.1.4	Entscheidung	58
2.2	Montage der Stepcraft-2-Bausätze	61
2.3	Schritt 1: Montage des X-Z-Verbinders	63
2.4	Schritt 2: Montage der Z-Achse	76

2.5	Schritt 3: Montage der X-Spindel und der Portalseiten	82
2.6	Schritt 4: Zusammenbau des Portals	91
2.7	Schritt 5: Montage des Grundrahmens	98
2.8	Schritt 6: Zusammenbau der Fräsmaschine	108
2.9	Schritt 7: Montage der Elektronik	111
2.10	Schritt 8: Montage des Maschinentisches (5 Minuten).	119
2.11	Schritt 9: Installation und Inbetriebnahme (30 Minuten).	120
	2.11.1 Schmierer der Linearschienen und Spindeln	121
	2.11.2 Installation der Software	121
	2.11.3 Vorbereitung für das Ausrichten der Spindeln	122
	2.11.4 Anschluss der CNC-Fräsmaschine	123
	2.11.5 Ausrichten der Spindeln	125
2.12	Alternative Steuerung	128
	2.12.1 Hardwareinstallation	129
	2.12.2 Installation und Konfiguration von UCCNC	132
	2.12.3 Ein erster Test	136
	2.12.4 CAM.	137
	2.12.5 Fräsen	138
2.13	Das erste Werkstück	141
3	Fräswerkzeuge	151
3.1	Fräswerkzeuge	152
	3.1.1 Zähne und Nuten	153
	3.1.2 Schnittlänge und Aufnahmeform.	155
	3.1.3 Schneidstoffe für Fräswerkzeuge	155
	3.1.4 Schnittgeschwindigkeit und Vorschub	157
	3.1.5 Kühlung und Schmierung	161
3.2	Welcher Fräser für welches Material	164
	3.2.1 Schaftfräser aus Vollhartmetall	165
	3.2.2 Sonderformen	167
	3.2.3 Sonderlängen.	168
	3.2.4 Formfräser	169
3.3	Gleich- oder Gegenlaufräsen.	169
3.4	Pflege von Fräswerkzeugen	170

4	2D-Fräsen in der Praxis	171
4.1	Werkstücke spannen	174
4.2	Weichholz	176
4.2.1	Beispiel 1 – Fräsen von MDF.	177
4.2.2	Beispiel 2 – Fräsen von Pappelsper Holz (ungünstige Parameter)	178
4.2.3	Beispiel 3 – Fräsen von Pappelsper Holz (bessere Parameter)	180
4.2.4	Beispiel 4 – Fräsen von Pappelsper Holz (linksspiraliger Fräser)	181
4.3	Hartholz	182
4.3.1	Beispiel 1 – Fräsen von massiver Buche (rechtsspiraliger Fräser)	182
4.3.2	Beispiel 2 – Fräsen von massiver Buche (linksspiraliger Fräser)	183
4.4	Acrylglas und Polycarbonat	184
4.4.1	Beispiel 1 – Fräsen von Acrylglas	185
4.5	Hartschaumplatten	187
4.5.1	Beispiel 1 – Fräsen von PVC	187
4.6	Gravierkunststoff	189
4.6.1	Beispiel 1 – Gravieren von Gravierkunststoff	190
4.7	Aluminium	191
4.7.1	Beispiel 1 – Fräsen von Aluminium	192
4.7.2	Beispiel 2 – Planfräsen von Aluminium	195
4.8	Messing	197
4.8.1	Beispiel 1 – Fräsen von Messing	198
4.9	Alu-Dibond	201
4.9.1	Beispiel 1 – Fräsen von Alu-Dibond	202
4.10	Glas	204

5	Erweiterungen	207
5.1	Gehäuse.....	208
5.2	Absaugvorrichtung	214
5.2.1	Vorstufe mit Fliehkraftabscheider	215
5.2.2	Sauger und Anschluss	216
5.2.3	Absaugung im Gehäuse und am Fräser	218
5.3	T-Nutentisch aus Aluminium.....	221
5.4	Spanneisen und Spannblöcke.....	222
5.5	Maschinenschraubstock.....	228
5.6	Werkzeuglängensensor.....	229
5.6.1	Einbau.....	230
5.6.2	Konfiguration mit WinPC-NC	232
5.6.3	Verwendung und Feineinstellung.....	235
5.6.4	Werkzeuglängensensor verwenden	237
5.7	Wasserbad zum Unterwasserfräsen	242
5.8	Zusätzliche Notausschalter	246
6	Weitere Fräsarten	251
6.1	Isolationsfräsen	252
6.1.1	Eagle konfigurieren.....	255
6.1.2	Fräsen der Platine mit WinPC-NC USB.....	260
6.2	Unterwasserfräsen.....	263
6.3	2,5D-Fräsen.....	267
6.3.1	CAD	268
6.3.2	CAM.....	272
6.3.3	Fräsen.....	276
6.3.4	Langlöcher, Taschen und Planfräsen	280
7	Ausblick	285
7.1	Ersatzteile	286
8	Glossar	289
	Index	297

Vorwort von Stepcraft

Liebe Leser,

mit dem Aufkommen der NC-Technik um 1950 und insbesondere der CNC-Technik in den 1970er-Jahren wurde es für die Industrie immer einfacher, komplexe Teile schnell, präzise und reproduzierbar zu fertigen. Seitdem diese Technik nun auch für den Privat- und Kleingewerbebereich verfügbar ist, haben sich viele neue Möglichkeiten aufgetan, die hiermit realisiert werden können.

Doch ist für den Einsteiger die Hürde oftmals groß, denn das Wissen das es sich anzueignen gilt, scheint zunächst immens: Ein Zeichen- bzw. CAD- und CAM-Programm muss ebenso beherrscht werden können wie die jeweilige Steuerungssoftware der Maschine.

Christian Rattat holt den interessierten Leser genau an dieser Hürde ab und begleitet ihn von der Anschaffung einer Maschine und ihrem Aufbau bis hin zum ersten selbst gefertigten Objekt. Mit fundiertem Hintergrundwissen, zahlreichen Tipps und Tricks sowie Anregungen zu weiterführenden Entwicklungen unterstützt er den Leser optimal bei seinem Einstieg in das CNC-Fräsen. Christian Rattat zeigt, dass diese Technik kein Hexenwerk ist, und steckt den Leser mit seiner Begeisterung für das Thema sofort an. Denn eines ist hier offensichtlich: Neben den unbegrenzten Möglichkeiten, die die Arbeit mit der CNC-Maschine bietet, bringt diese vor allem eines – Spaß!

In diesem Sinne wünschen wir Ihnen viel Freude beim Lesen!

Markus Wedel und Peter Urban
Geschäftsführung



STPCRAFT GmbH & Co. KG
Kalkofen 6
58636 Iserlohn
www.stepcraft-systems.com
info@stepcraft-systems.com

Vorwort des Autors

Die Königsklasse für den Modellbauer, aber auch zunehmend für andere Hobbys sind Fräsen und Drehen. Erst mit der sehr präzisen Bearbeitung von Verbundwerkstoffen, Metallen, Hölzern und Kunststoffen lassen sich Bauteile anfertigen, die die meist hohen Anforderungen an Festigkeit und Genauigkeit erfüllen. Kombiniert mit der numerischen Steuerung durch Computer und die Erstellung von 2D- und 3D-Modellen im Vorfeld eröffnet sich eine unglaublich breite gestalterische Vielfalt.

Mit der CNC-Technik hat sich das benötigte Fachwissen über den Umgang mit Werkzeugmaschinen stark auf die Anwendung von Programmen und die Computertechnik verlagert. Durch die immer leistungsfähigeren Programme und Computer müssen Anwender sich weniger auf das Wie, sondern zunehmend mehr auf das Was konzentrieren. Hat man einmal ein Modell des Werkstücks, ist der Schritt zu dessen Anfertigung oft sogar trivial. Und nicht selten ist dann ein Werkstück in wenigen Minuten fertig und lässt sich beliebig oft mit derselben Qualität herstellen.

Die zwei größten Hemmschwellen, eine eigene CNC-Fräsmaschine anzuschaffen, sind die Kosten und die Angst vor der komplexen Technik:

- Schaffe ich das?
- Wo fange ich an?
- Welche Programme brauche ich?
- Was brauche ich alles?
- Wie funktioniert der ganze Prozess von der Idee zum fertigen Werkstück?
- Was kostet mich das alles zusammen?
- Welche Werkzeuge und Einstellungen benötige ich für welche Materialien?

Wenn man keine dieser Fragen beantworten kann, ist es sehr schwer, einen Anfang zu finden. Foren und Internet helfen nur, wenn es um sehr konkrete Punkte geht. Als Einsteiger ist man aufgrund der vielen unterschiedlichen Meinungen und Aussagen aber oft nicht in der Lage, die richtigen Aussagen herauszufiltern. Je mehr man sich in die Themen einliest, desto teurer wird alles. Schnell manifestieren sich Behauptungen, dass man ohne Linearführungen, eine Hochfrequenzspindel und Kugelumlaufspindeln und so weiter und so fort über-

haupt nicht fräsen kann – das Ergebnis ist dann höchstens etwas, das man selbst mit einer Nagelfeile besser bauen könnte. Das freut die Hersteller teurer Fräsmaschinen, ist aber grundlegend falsch. Niemand mit Sachverstand wählt eine Werkzeugmaschine nach deren Aufbau aus, sondern danach, was damit hergestellt werden soll.

Als Modellbauer stand ich vor diesen Herausforderungen. Deshalb habe ich mit dem Teil begonnen, der mich nichts kostet: die Erstellung von Modellen. Mit Sketchup, Blender und ähnlichen Programmen lernt man mehr oder weniger schnell die Anfertigung von Modellen. Wichtig ist, dass man diesen Teil wirklich gut beherrscht. Nur weil man ein paar Objekte extrudieren und schneiden kann, stellt man noch lange keine Werkstücke so her, wie man diese braucht.

Ohne die Beherrschung von Konstruktionsgeometrien und anderen Konstruktionshilfen sowie von Bemaßungstechniken kommt man kaum oder gar nicht zu den benötigten Modellen. Diese Modelle habe ich dann von einem Freund auf seiner Fräse herstellen lassen und habe so auch Einblicke in die weiteren Prozesse erhalten. Nach relativ kurzer Zeit verstand ich dann auch, wie der Ablauf prinzipiell funktioniert, und beschloss die Anschaffung einer eigenen Fräsmaschine. Zum Einstieg lege ich das auch Ihnen ans Herz. Sie finden in vielen Foren Menschen, die für Sie gegen einen kleinen Obolus gerne ein paar Teile anfertigen.

Insgesamt hat es bei mir etwa zwei Monate gedauert, bis ich den ganzen Prozess verstanden und beherrscht habe. Viele Dinge stelle ich heute samt Modell in kurzer Zeit (1–2 Stunden) her. Wenn bereits hergestellte Teile noch einmal benötigt werden, ist das oft sogar in wenigen Minuten erledigt.

Darüber hinaus habe ich aber auch verstanden, wie man das ganze Thema systematisch angeht, wenn man noch überhaupt keine Vorstellung hat, wie CNC-Fräsen funktioniert. In diesem Buch werden alle wichtigen Punkte erklärt und jeder, der bereit ist, sich mit dem Thema intensiv zu beschäftigen, sollte so in kurzer Zeit selbst richtig und sicher mit einer CNC-Fräse umgehen können.

Ergänzung zur Neuauflage

Die Veröffentlichung der ersten Auflage erfolgte vor fast vier Jahren im April 2016 und man könnte erwarten, dass sich seit dem viel geändert hat. Dass das nicht der Fall ist, zeugt davon, dass die CNC-Systeme der zweiten Generation von Stepcraft bereits von Beginn an gut durchdacht und konzeptioniert waren.

Das Zubehör für das CNC-System wurde inzwischen deutlich erweitert. Dieses beinhaltet neben verbesserten Varianten der Werkzeuge unter anderem nun auch ein oszillierendes Tangentialmesser, einen Gravierlaser und eine Umhauung. Außerdem bietet Stepcraft in einem umfangreichen Online-Shop eine umfassende Sammlung von Ersatzteilen an. Das hilft nicht nur bei der schnellen

Beschaffung solcher Komponenten, sondern bietet vorab auch eine gute Möglichkeit, sich mit Folgekosten zu befassen.

Während die D-Serie der Stepcraft CNC-Maschinen weiterhin den Hobby- und semiprofessionellen Einsatz abdeckt, ist die neuere und deutlich teurere Q-Serie auch für die industrielle Kleinserienfertigung geeignet. Letztere zeichnet sich durch eine vollständig neu konzipierte und robustere Mechanik aus.

Bei der im Buch verwendeten Software gab es ebenfalls keine signifikanten Änderungen, die zu Unterschieden der dargestellten Vorgehensweise führten. Doch auch hier gab es viele Detailverbesserungen, insbesondere mit Einführung der neuen Version 3 von WinPc-NC. Adobes Fusion 360 verfügt über mehr Funktionalität und ist weiterhin für die nicht kommerzielle Nutzung erhältlich. Die Kombination aus Adobe Fusion 360 und UCCNC bzw. WinPc-NC zur Maschinensteuerung ist nach wie vor eine optimale, integrierte Gesamtlösung für CAD, CAM und Fertigung.

Webseite zum Buch

Zu diesem Buch gibt es wie auch zu meinen anderen Büchern eine eigene Webseite. Dort stelle ich bei Bedarf Korrekturen und Anmerkungen zum Buch zur Verfügung. Diese Seite finden Sie unter <http://cncbuch.de>.

Dort finden Sie auch die Videos der Firma Stepcraft als Hilfe zum Aufbau der Stepcraft-Serie-2-Fräsmaschinen als Ergänzung zur detaillierten Aufbauanleitung in Kapitel 2 dieses Buchs.

Mit der Zeit werde ich dort nützliche Informationen und Tipps & Tricks bereitstellen. Schauen Sie gelegentlich mal rein.

Danksagungen

Mein allerherzlichster Dank geht wie immer zunächst an meine Lektorin Ursula Zimpfer, an Peter Griwatsch, Maik Schmidt und Wolfgang Lindner für die Reviews, an Anke Eltermann, Markus Wedel und Peter Urban von Stepcraft für die professionelle fachliche und technische Unterstützung, an Susan Grey für die moralische Unterstützung, an Michael, Miriam, Sabrina, Vanessa und alle weiteren Mitarbeiter vom dpunkt.verlag, die es mir ermöglicht haben, mein drittes Buch zu schreiben, und nicht zuletzt an Alfred für die besten Schnitzel der Welt.

1

Einführung

Die erste Fräsmaschine wurde bereits vor rund 200 Jahren von Eli Whitney entwickelt. Mit dieser konnte man manuell und sogar schon teilautomatisch Metall fräsen. Mit zunehmender Industrialisierung wurden die Maschinen genauer und leistungsfähiger und bereits um 1900 wurden diese im industriellen Maßstab für die Serienproduktion eingesetzt.



Etwa gegen Mitte des 20. Jahrhunderts entstanden die ersten Steuerungssysteme, die ganze Programme automatisch abarbeiten konnten. Damit mussten Maschinenbediener nicht mehr mühsam alle Teilschritte von Hand einrichten und die Herstellungszeiten und Fehlerquellen nahmen rapide ab. Nach Einzug moderner Computer und besserer Maschinenteknik sind maschinelle Fräsen mittlerweile in bestimmtem Umfang auch ohne umfangreiche Ausbildung nutzbar.

Die Technik ist nicht nur beherrschbar, sondern auch bezahlbar geworden, was insbesondere Bastler- und Modellbauerherzen höher schlagen lässt. Diese können damit nun Bauteile herstellen, die es gar nicht oder nur teuer zu kaufen gibt. Außerdem sind damit Arbeiten bis auf wenige Hundertstel Millimeter genau möglich.

Also schnell eine Fräse anschaffen und loslegen? Fräsen ist zwar auch für Einsteiger ohne Vorkenntnisse keine unüberwindbare Hürde mehr, ohne genaues Verständnis der Hardware (Maschine, Werkzeuge, Materialien) und der Software wird man aber kein einziges Bauteil herstellen. Noch schlimmer: Wenn man nicht auch die Risiken kennt und nicht den sicheren Umgang mit der Maschine beherrscht, drohen schwerwiegende Verletzungen und Erkrankungen. Wer mit Bedacht an das Thema Fräsen herangeht und sich sorgfältig einarbeitet, kann aber ohne Weiteres innerhalb von einigen Tagen erste Werkstücke selbst herstellen.

Dieses Buch erleichtert Ihnen den Einstieg und erklärt alle Aspekte der Frästechnik für den Hobbybereich bis ins Detail. Aus einem Bausatz wird eine kostengünstige, aber zuverlässige und solide Fräsmaschine zusammengesetzt und anschließend in Betrieb genommen und mit verschiedenen Extras der Anwendungsbereich erweitert. Neben der Hardware wird auch die Software und deren Verwendung erklärt. Anhand von praktischen Beispielen erfahren Sie, wie der ganze Prozess von der Idee bis zum fertigen Werkstück funktioniert, welche Werkzeuge Sie für welche Materialien verwenden und welche Einstellungen Sie dazu vornehmen müssen.

1.1 Was ist Fräsen?

Fräsen gehört zu den trennenden Fertigungsverfahren und zählt mit einer eigenen Norm DIN 8589-3 zu den spanenden Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide. Geometrisch bestimmt bedeutet, dass Längen und Winkel bekannt sind und dass sich die Schneide exakt reproduzieren lässt. Dem gegenüber ist eine geometrisch unbestimmte Schneide zum Beispiel ein Schleifstein, bei dem

die Anordnung der vielen durch das Schleifmittel gebildeten Schneiden zufällig ist – die Schneide kann nicht geometrisch definiert werden und unterscheidet sich bei jedem Schleifstein.

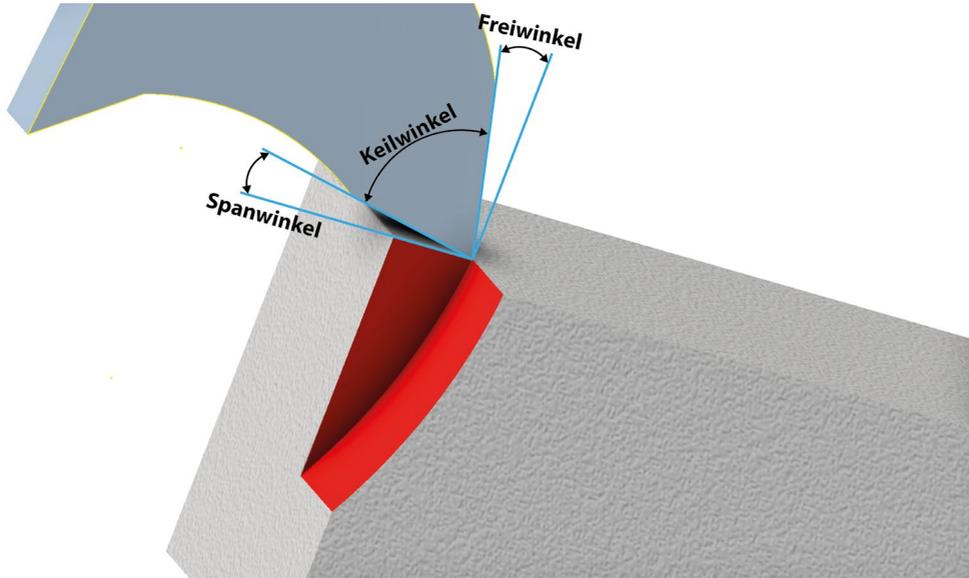


Abb. 1–1 Geometrisch definierte Schneide

Beim Fräsen wird mit einer Werkzeugmaschine ein Werkzeug – der Fräser – angetrieben und dadurch in eine kreisförmige Bewegung versetzt. Abhängig von der Art des Fräasers besitzt dieser eine oder mehrere Schneiden. Der rotierende Fräser wird am Werkstück, das fest auf dem Maschinentisch eingespannt ist, entlang geführt, bis die Schneiden in das Werkstück eindringen und Material abtragen. Dazu kann je nach Fräsmaschine sowohl der Fräser als auch das Werkstück in mehrere Achsen bewegt und gedreht werden.

Die einfachste Form von Fräsmaschinen sind 3-Achsen-Fräsmaschinen. Bei diesen wird das Fräswerkzeug relativ zum Werkstück in den drei Raumachsen positioniert. Sehr viel komplizierter sind Fräsmaschinen mit mehr – teilweise bis zu 15 – Achsen. Je mehr Achsen zur Verfügung stehen, desto komplexere Formen lassen sich damit herstellen. Bei einer 3-Achsen-Fräsmaschine kann der Fräser nur dort Material abtragen, wo dieser frei an das Material heranzufahren kann. Das kann nur an der Oberseite oder an allen seitlichen, frei zugänglichen Flächen des Werkstücks geschehen.



Abb. 1–2 3-Achsen-CNC-Portalfräsmaschine für den Hobbybereich

Kann man zusätzlich das Werkstück um eine Achse so drehen, dass Seiten und Unterseite nach oben gelangen, kann man auch dort Material abtragen. Diese sogenannte vierte Achse, ist bei vielen Fräsmaschinen nachrüstbar. In Abbildung 1–3 sehen Sie eine Fräsmaschine für den industriellen Einsatz, die als 4. Achse einen drehbaren Maschinentisch besitzt. Durch die Drehung des Werkstücks kann Material an Stellen entfernt werden, die für eine 3-Achsen-Fräsmaschine nicht erreichbar sind. Außerdem kann der Fräser dann auch in verschiedenen Winkeln in das Werkstück eintauchen. Verbindet man Dreh- und Längsbewegung, kann man beispielsweise auch Gewinde fräsen.



Abb. 1–3 CNC-Fräsmaschine mit drehbarem Maschinentisch (4. Achse)

Je härter und zäher das zu bearbeitende Material ist, desto stabiler muss die Fräsmaschine konstruiert sein und umso geringer ist die abgetragene Materialmenge. Der Fräser übt auf das Werkstück eine Kraft aus, um das Material zu schneiden. Durch diese Kraft entsteht eine Gegenkraft in die entgegengesetzte Richtung in die Maschine, durch die sich Teile der Maschine verwinden oder verbiegen können. Der Fräser weicht dadurch von seiner Sollposition ab und es entstehen Abweichungen der Werkstückmaße. Sind diese Abweichungen zu groß, ist das Werkstück unbrauchbar.

Im Maschinenbau liegen Toleranzen oft bei $\pm 0,01$ mm, manchmal sogar darunter. Die Anforderung an eine Fräsmaschine für ein solches Werkstück besteht darin, dass sich die Maschine um maximal $\pm 0,01$ mm verwindet oder verbiegt. Dies gilt aber auch für den Fräser und das Werkstück und dessen Einspannung. Dürfen alle Teile zusammen nur derart kleine Fehler verursachen, benötigt man extrem genau gefertigte Maschinenteile oder man muss so langsam fräsen, dass die Kräfte klein genug bleiben. Maschinen, die mit viel Kraft schnell fräsen, sind aus massiven, präzisionsgefrästen und geschliffenen Stahlteilen aufgebaut und sind sehr schwer und teuer. Da die wenigsten über geeignete Räumlichkeiten für tonnenschwere Maschinen verfügen, haben sich für die private Nutzung vor allem leichte Portalfräsmaschinen durchgesetzt. Findige Bastler bauen sich solche Fräsmaschinen sogar selbst.

1.2 Portalfräsen für den Hobbybereich

Für Hobby und Modellbau benötigt man nur selten Genauigkeiten im Bereich von Hundertstel Millimetern und man muss auch nicht möglichst viel in möglichst kurzer Zeit produzieren. Abweichungen von $\pm 0,1$ mm sind meist noch akzeptabel und man kann mit geeigneten Maßnahmen die Genauigkeit in den meisten Fällen noch weiter verbessern, sodass auch Toleranzen von $\pm 2-3/100$ mm eingehalten werden können.

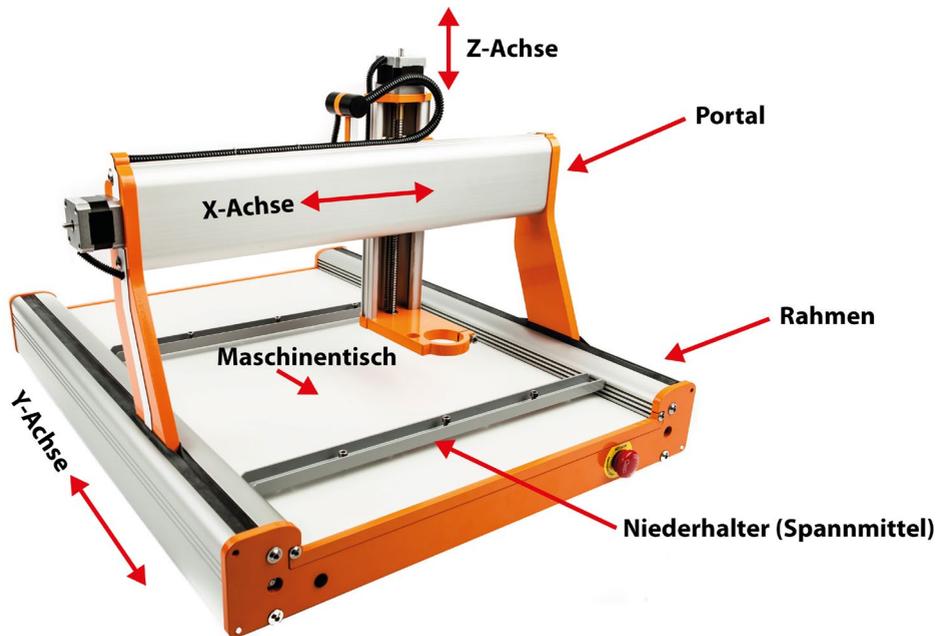


Abb. 1-4 Komponenten einer Portalfräse

Bei Portalfräsen ist der Maschinentisch unbeweglich und das Werkstück auf diesen aufgespannt. Damit das Werkzeug in drei Achsen beweglich ist und zum Werkstück geführt werden kann, befindet sich dieses auf einem U-förmigen Schlitten – dem Portal –, der längs über den Maschinentisch fahren kann. Das Portal trägt einen weiteren Schlitten, der quer über den Maschinentisch bewegt wird, und auf diesem Schlitten sitzt noch ein dritter, der den Fräsmotor trägt und in der Höhe verstellbar ist. Das Grundgerüst von Portalfräsmaschinen besteht oft aus Aluminiumprofilen in Verbindung mit Bauteilen aus Aluminium, Stahl oder manchmal auch aus Holz.

Die Höhe des Portals ist recht klein, da der Schlitten mit wachsender Höhe durch den größeren Hebelweg instabiler wird. Ein großer Vorteil bei dieser Bauform ist, dass die Länge der Fräsmaschine und damit der Werkstücke gegenüber anderen Bauformen deutlich größer sein kann. Mit zunehmender Länge verringert sich aber auch die Genauigkeit bzw. steigen die Anforderungen an Genauigkeit und Festigkeit der Maschinenteile.

Kräfte treten hier vor allem zwischen Fräswerkzeug und Werkstück auf. Beim Fräsen wird der Fräser in X-, Y- und Z-Richtung in das Werkstück getrieben, wodurch in jede dieser Richtungen eine Gegenkraft gegen das Portal entsteht. Die Portalseiten fungieren dabei als Hebel und drücken am unteren Ende längs und seitlich gegen die Führungen. Fährt der Fräser senkrecht in das Werkstück, hebt er das Portal oder die Z-Achse dabei an.

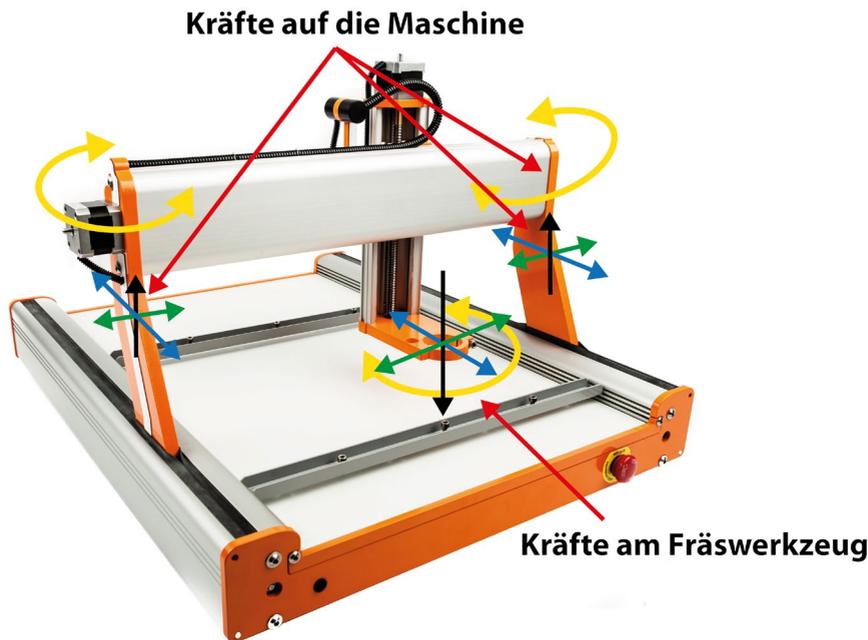


Abb. 1–5 Kräfte an den Achsen (grün = X, blau = Y, schwarz = Z) und Verwindung des Portals und der Z-Achse (gelb)

Durch diese Kräfte, die quasi permanent wechselnd in alle Richtungen wirken – der Fräser ändert innerhalb eines Schnitts die Krafrichtung –, versucht das Portal sich ständig aus der Sollposition zu bewegen. Erhält es dazu die Möglichkeit, beispielsweise durch Spiel in den Lagern oder den Spindeln, weichen die Maße von den Vorgaben ab. Dasselbe gilt auch für die tragende Konstruktion.

Sind die Bauteile zu schwach dimensioniert, biegen diese sich. Es ist keinesfalls so, dass eine 10 mm dicke Aluminiumplatte sich nicht biegt. Insbesondere wenn lange Hebel im Spiel sind, biegen sich auch vermeintlich stabile Komponenten, von denen man dies nicht erwarten würde.

Will man Werkstücke auf 0,01 mm genau herstellen, dürfen in alle Richtungen Abweichungen von maximal 0,005 mm auftreten. Da mehrere Komponenten der Fräsmaschine zusammenarbeiten, reichen bereits bei drei von diesen Komponenten Abweichungen von 0,002 mm, um aus der geforderten Toleranz zu laufen.

Aber nicht nur die Kräfte am Fräswerkzeug, sondern durch ihre großen Massen auch das Portal und die Z-Achse können Probleme bereiten. Beim abrupten Abbremsen oder bei Richtungswechseln besitzen diese genügend kinetische Energie, um ebenfalls für Ungenauigkeiten zu sorgen. Bei unvorteilhaften Konstruktionen oder wackligen Unterbauten gerät in ungünstigen Fällen die ganze Maschine in Schwingungen.

1.2.1 Maschinentisch

Ein wichtiger Punkt ist die Fixierung des Werkstücks. Dieses muss auf dem Maschinentisch unbeweglich befestigt sein und darf sich auch durch die Kräfte beim Fräsen nicht verschieben. Welche Befestigung verwendet wird, hängt vom Maschinentisch, vom Werkstückmaterial und der Werkstückgröße ab. Werkstücke werden direkt auf den Maschinentisch oder mit Spannvorrichtungen wie einem Maschinenschraubstock aufgespannt.

Ein Maschinenschraubstock kann aber nur verwendet werden, wenn das Werkstück mit sehr hohem Druck seitlich eingeklemmt werden kann, ohne sich dabei zu verbiegen. Zur Befestigung von großen oder flexiblen Werkstücken verwendet man vor allem Niederhalter, die das Werkstück auf den Maschinentisch drücken. Diese gibt es in unterschiedlichsten Bauformen und man kann sie auch einfach selbst bauen.



Abb. 1–6 Niederhalter

Sehr vielseitig und stabil sind Nutenplatten aus Aluminium oder Stahl. In den meist T-förmigen Nuten lassen sich mit Vierkant- oder Gleitmuttern Maschinenschraubstöcke, Spannpratzen und viele andere Spannmittel sicher befestigen und schnell wieder entfernen. Ist ein Werkstück direkt auf die Nutenplatte gespannt, kann man dieses aber nicht durchfräsen, da man sonst in die Nutenplatte fräsen würde. Die Lösung für dieses Problem nennt man Opferplatte. Dabei handelt es sich um eine Platte aus günstigem und gut spanbarem Material, deren Beschädigung bewusst in Kauf genommen wird und mit der man das Werkstück unterlegt. Typische Materialien für Opferplatten sind:

- Forex
- Depron
- Kork
- Gummi
- MDF

Opferplatten kann man mehrfach verwenden, selbst wenn diese schon deutlich beschädigte Oberflächen aufweisen. Wichtig ist lediglich, dass das Werkstück waagrecht und auf ausreichend viel Material aufliegt. Ist die Opferplatte dick genug, kann man sie auch mit der Fräsmaschine planfräsen, d.h. die gesamte Oberfläche gleichmäßig abtragen.

Eine teure, aber elegante Alternative zum Spannen von Werkstücken ist ein Vakuumtisch. Dieser besteht aus einer Platte, auf die Werkstücke über viele kleine Kanäle mit einem Unterdruck angesaugt werden. Zum Spannen wird das Werkstück einfach nur auf den Vakuumtisch gelegt und dann die Vakuumpumpe eingeschaltet. Allerdings setzt das voraus, dass die Unterseite des Werkstücks plan ist. Ein Nachteil des Vakuumtischs ist, dass man keine Opferplatte verwenden und Werkstücke nicht durchfräsen kann. Es gibt zwar gestanzte Gummimatten, die das Durchfräsen bzw. Bohren in kleinem Umfang ermöglichen, sobald aber der Gesamtdurchmesser der Durchbrüche größer als die der Vakuumleitung zum Vakuumerzeuger wird, fällt der Druck ab und das Werkstück hat keinen Halt mehr auf dem Tisch. Da das Werkstück durch das Ansaugen nicht beschädigt wird, eignet sich ein Vakuumtisch gut für empfindliche Materialien.

Man kann Werkstücke aber auch ohne komplizierte Spannvorrichtung spannen. Befestigt man beispielsweise eine dickere Opferplatte aus Holz auf dem Maschinentisch, so kann man Werkstücke einfach mit der Opferplatte verschrauben oder mit doppelseitigem Klebeband verkleben.

1.2.2 Fräsmotor

Das Portal befördert das Fräswerkzeug an die Stellen, wo Material abgenommen werden muss. Angetrieben wird das Fräswerkzeug von einem Elektromotor, den es in verschiedenen Formen gibt. Es gibt auch luftdruckbetriebene Fräsmotoren, die für Hobbyanwendungen aber nicht eingesetzt werden.

Fräsmotoren werden oft auch mit den Begriffen Spindel, Motorspindel oder HF-Spindel (Hochfrequenzspindel) bezeichnet. Die Spindel ist aber eigentlich nur die präzise gelagerte Antriebswelle mit der Werkzeugaufnahme. Die Bezeichnung Spindel verwendet man anscheinend, um diese Fräsmotoren von den herkömmlichen Motoren abzugrenzen. Die wesentlichen Vorteile von Spindeln sind deren kompakte Bauform und die erreichbaren Drehzahlen. Professionelle Varianten erreichen 100.000 U/min, während man im Hobbybereich vorwiegend Fräsmotoren bis 35.000 U/min findet.



Abb. 1-7 Fräsmotor Kress 800 FME

Fräsmotoren gibt es als kompakte Maschinen von Proxxon, Dremel, Kress, Metabo, Suhner und einigen anderen Herstellern in Form der bekannten Mini-bohrmaschinen mit einer Einspannvorrichtung. Diese günstigen Maschinen bis etwa 200 Euro sind nicht für den Dauereinsatz konzipiert und verschleifen schneller. Vermutlich liegt das aber oft auch an einer nicht an diese Motoren angepassten Beanspruchung durch zu hohe Vorschübe oder zu große Materialabnahme. Ist eine Fräsmaschine für einen bestimmten Vorschub ausgelegt, bedeutet das nicht automatisch, dass dies auch für den verwendeten Fräsmotor gilt.



Abb. 1-8 Hochfrequenzspindel

Aber nicht nur die Radial- und Axialkräfte setzen einem Fräsmotor zu: Weitere Schwachpunkte sind die Kühlung und offene Bauformen. Dringt in die Maschine und insbesondere in die Lager Schmutz ein, verschleifen diese schneller. Damit das nicht passiert, sind manche Fräsmotoren in geschlossene Gehäuse eingebaut und werden über Wasser gekühlt. Manche offene Bauformen werden mit Luft gekühlt und besitzen gegen das Eindringen von Staub ein Sperrluftsystem. Dabei wird mit einem Kompressor im Fräsmotor permanent ein Überdruck erzeugt, der aus allen Motoröffnungen Luft ausbläst. Dadurch kann in den Motor kein Staub eindringen. Solche Motoren kosten aber deutlich mehr als einfache Fräsmotoren. Die wichtigsten Kenngrößen eines Fräsmotors sind:

- **Rundlauf:** Dieser wird in Millimetern angegeben (beispielsweise mit $< 0,01$ mm) und beschreibt, wie weit die Spindelmitte um die tatsächliche Mitte schwanken kann.
- **Leistung:** Meist wird nur die Aufnahme- bzw. Nennleistung und nicht die tatsächlich umgesetzte Antriebsleistung am Werkzeug angegeben. Die Aufnahmeleistung startet bei einfachen Fräsmotoren bei etwa 300 W und geht bei leistungsfähigeren Varianten bis zu mehreren kW.
- **Drehzahlbereich:** Dieser gibt die minimale und maximale Drehzahl an. Die Drehzahl legt fest, welche Werkzeuge verwendet werden können. Auch hier wird oft nur die Leerlauf- oder Nenndrehzahl angegeben. Unter Last kann sich diese gegenüber dem voreingestellten Wert deutlich verringern.
- **Gewicht:** Das Gewicht des Fräsmotors muss von der Maschinenaufnahme und dem Portal getragen werden und der Spezifikation der Fräsmaschine entsprechen.

Das Motto mehr bringt mehr gilt bei Fräsmotoren nur begrenzt. Hohe Drehzahlen verwendet man nicht, um schnell zu fräsen. Die Drehzahl richtet sich nach der Schnittgeschwindigkeit des jeweiligen Werkzeugs, die in Zeit pro Strecke (mm/s, mm/min) angegeben wird. Die Schnittgeschwindigkeit richtet sich nach Material und Form des Fräasers. Halten Sie sich nach Möglichkeit an die Vorgaben für das jeweilige Fräswerkzeug – so bleiben Ihnen Fräswerkzeuge länger erhalten.

Aber nicht nur zu hohe, sondern auch zu niedrige Drehzahlen schaden dem Fräswerkzeug. Die Drehzahl muss zum Vorschub passen, damit die Schneiden des Fräasers bei jeder Umdrehung einen Span mit der für den Fräser definierten Spandicke erzeugen. Ist der Vorschub zu hoch, wird der Span zu dick, ist er zu niedrig, wird der Span zu dünn. Zu dicke Späne beanspruchen den Fräser zu

stark, während zu dünne Späne nur die Spitzen der Schneiden beanspruchen. In beiden Fällen erhöht sich der Verschleiß des Fräasers.

Die Drehzahl des Fräsmotors muss zu den eingesetzten Fräsern passen. Für große Fräser muss der Fräsmotor ausreichend niedrige Drehzahlen mit entsprechend großem Drehmoment erzeugen. Für kleine Fräser hingegen muss dieser hohe Drehzahlen erzeugen. Fräsmotoren, die den ganzen Drehzahlbereich mit passenden Drehmomenten abdecken, sind meist sehr teuer. Die Fräsmotoren im Hobbybereich sind daher oft Kompromisslösungen und es kann sinnvoll sein, für unterschiedliche Fräswerkzeuge verschiedene Fräsmotoren zu verwenden. Bei der Auswahl des Fräsmotors ist es wichtig, bereits die später verwendeten Schnittgeschwindigkeiten und Werkzeugdurchmesser zu kennen.

1.2.3 Werkzeugvorschub

Die Bewegung des Werkzeugs in den drei Raumachsen erfolgt über Gewindespindeln. Eine Gewindespindel funktioniert wie eine Schraube mit einer Mutter. Befestigt man die Schraube stationär und verhindert, dass die Mutter sich dreht, wird beim Drehen der Schraube die Drehbewegung von der Mutter in eine Linearbewegung umgesetzt.

Gewindespindeln unterscheiden sich durch die Gewindeformen wie Flach-, Rund- oder Trapezgewinde sowie durch ihre Fertigungstoleranzen. Hochwertige Gewindespindeln haben feingeschliffene Gewinde mit Toleranzen im Mikrometerbereich. Aus der Gewindesteigung ergibt sich die pro Umdrehung zurückgelegte Strecke. Je feiner die Steigung ist, desto genauer ist die Positionierung. Gewindeformen haben unterschiedliche Aufgaben, unterscheiden sich vor allem aber in Bewegungs- und Befestigungsgewinde. Bewegungsgewinde müssen möglichst leichtgängig und reibungsfrei sein. Befestigungsgewinde hingegen sollen sich möglichst nicht lösen und daher eine hohe Reibung an den Gewindeflanken erzeugen.

Trotz allen Aufwands ist die Genauigkeit von Gewindespindeln und deren Lagern begrenzt. Da Portalfräsmaschinen für den Hobbybereich die Position aus der Gewindesteigung berechnen, werden diese Toleranzen auf das Werkstück übertragen. Professionelle Fräsmaschinen verlassen sich darauf nicht, sondern messen die tatsächlich zurückgelegten Strecken mit geeigneten Messeinrichtungen.

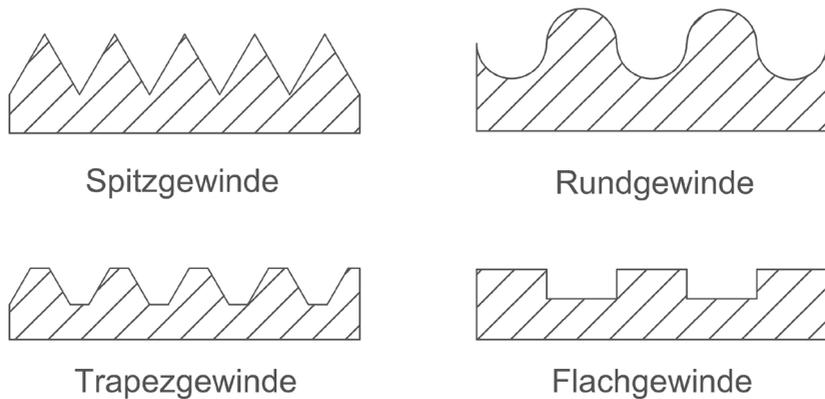


Abb. 1–9 Verschiedene Gewindeformen

Wenn Sie eine Schraube in eine Mutter drehen, liegt dabei eine Seite des Gewindes der Schraube an einer Seite des Gewindes der Mutter an. Bei einer Fräsmaschine sorgt der Druck an dieser Kontaktfläche für den Vortrieb. Der Druck zwingt das nicht fixierte Maschinenbauteil dazu, sich zu bewegen. In dieser Lage haben die jeweils anderen Seiten der Gewinde keinen Kontakt miteinander. Je nach Qualität und Wellendurchmesser gibt es einige Hundertstel Millimeter Spiel. Das Gesamtspiel ergibt sich aus Radial- und Axialspiel (siehe Abbildung 1–10).

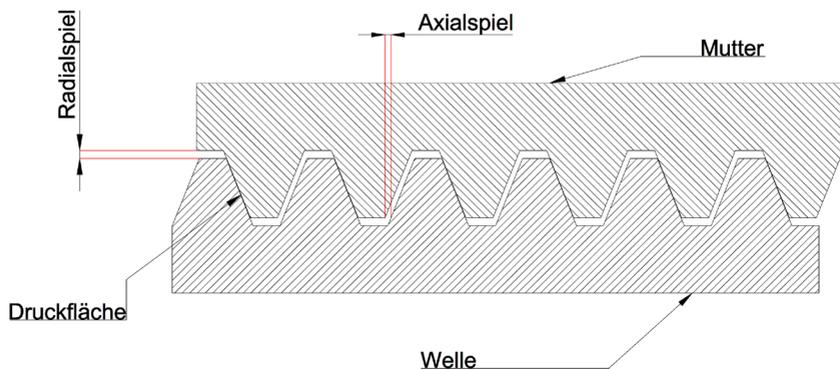


Abb. 1–10 Spiel an Gewinden

Bewegt man den Fräser von einer Position X zu einer Position Y und dann von dort zurück nach X, stoppt dieser, um dieses Spiel vor der Position X, da beim Hin- und Rückweg unterschiedliche Gewindeflanken für den Schub sorgen.

Diese Abweichung nennt man Umkehrspiel. Die Fräsmaschinensteuerung kann aus der Anzahl der Umdrehungen der Spindel ableiten, wo das Fräs Werkzeug sich gerade befindet, erkennt aber kein Umkehrspiel. Da das Umkehrspiel leicht zu messen und relativ konstant ist, kann dies in der Regel über eine Einstellung in der Steuer-Software kompensiert werden. Mit diesem Wert korrigiert die Steuerung der Fräsmaschine beim Wechsel der Vorschubrichtung die aktuelle Position des Fräasers.

Statt einfacher Gewindeformen verwendet man auch Spindeln mit Kugelumlaufgewinden. Hier wird die Kraft zwischen Spindel und Mutter nicht über Gewindeflanken, sondern über Kugeln wie in Kugellagern übertragen. Durch bestimmte Mechanismen ist das Umkehrspiel dabei beliebig genau einstellbar und kann sogar komplett eliminiert werden. Durch die kleinen Kontaktflächen der Kugeln wird gegenüber normalen Gewinden die Reibung und Hitzeentwicklung erheblich reduziert. So kann mit weniger Motorleistung schneller und genauer gefräst werden. Das funktioniert aber auch nur dann, wenn der Rest des Maschinenaufbaus entsprechend aufgebaut ist. Für Hobby und Modellbau kann man problemlos auf Kugelumlaufgewinde verzichten und trotzdem gute Ergebnisse erzielen.



Abb. 1–11 Rollenführung

Während die Spindeln für die Bewegung sorgen, müssen die Maschinenteile, wie beispielsweise das Portal, zusätzlich geführt werden. Würden diese nur auf den Spindeln gelagert, würde eine lineare Bewegung kaum möglich sein. Häufig verwendet man dazu Rollenführungen wie die in Abbildung 1–11. Auf zwei parallelen Schienen läuft auf mehreren Rollen eine Art Wagen, der das zu bewegende

Bauteil trägt. Der Vorteil dieser Konstruktion ist die einfache Bauweise, bei der hauptsächlich die Parallelität der beiden Schienen wichtig ist. Durch einzeln einstellbaren Anpressdruck der Räder kann der Wagen spielfrei eingestellt werden.

Zwar ist diese Form der Linearführung sehr genau, aber durch die Aluminiumprofile nicht für hohe Kräfte gedacht, da die Profile sich sonst verbiegen. Bei Fräsmaschinen, die für hohe Belastungen ausgelegt sind, verwendet man statt Rollenführungen nahezu verwindungsfreie Linearführungen aus sehr dickem, geschliffenem Stahl.

Bei Portalfräsmaschinen findet man zur Herstellung des Vorschubs vorwiegend Schrittmotoren. Diese erzeugen wie normale Elektromotoren die Drehbewegung durch elektromagnetische Felder, die den Rotor in Drehrichtung ziehen. Durch die Polumkehr der Elektromagnete kehrt man die Drehrichtung um. Bei Schrittmotoren kann der Rotor aber nicht nur gedreht, sondern in einzelnen Schritten innerhalb einer Umdrehung an genau definierten Stellen anhalten. Beispielsweise kann ein $1,8^\circ$ -Schrittmotor an 200 Positionen innerhalb einer Umdrehung anhalten. Die Steuerung der Maschine kennt diese Zahl und durch die Steigung der Welle ergibt sich, wie viel Strecke bei einem Schritt zurückgelegt wird.

Bei zu großer Gegenkraft verliert der Motor Schritte d.h., das Magnetfeld schafft es nicht, den Rotor in die nächste Position zu ziehen. Das kann die Steuerung aber nicht feststellen und geht dann von einer falschen Position aus. Bei einer Wellengewindesteigung von 10 mm bedeutet der Verlust eines Schrittes bei einem $1,8^\circ$ -Schrittmotor, dass alle nachfolgenden Maße für das Werkstück um 0,05 mm verschoben sind. Gehen im Verlauf des Fräsens so 10 Schritte an derselben Achse in derselben Richtung verloren, sind die Maße an dieser Achse am Ende gegenüber denen am Anfang um 0,5 mm verschoben. Bei richtigem Umgang mit der Fräsmaschine passiert das aber nicht.

Die Preise für Fräsmaschinen steigen mit der Verwendung von massiven Linearführungen, Kugelumlaufspindeln und dicken präzisionsgefertigten Stahlteilen sehr schnell auf hohe vier- bis fünfstellige Beträge. Für den Hobbybereich sind die zugehörigen Anforderungen aber fast nie relevant und man kann auf deutlich günstigere Maschinen zurückgreifen. Allerdings muss man sich dafür damit abfinden, dass Materialien wie Edelstahl oder Titan nicht sinnvoll verarbeitet werden können und dass Fräsarbeiten oft deutlich länger dauern.

1.2.4 Fräswerkzeuge

Für verschiedene Materialien und Aufgaben benötigt man unterschiedliche Fräser, die unterschiedliche Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe benötigen. Die Fräswerkzeuge unterscheiden sich dabei in Anzahl, Lage und Form der Schneiden, aber auch in ihrem Profil und verschiedenen Bauformen. Die Form der