



Bild: Albert Hulm

Feeds & Speeds

Optimale Parameter für die eigene CNC-Fräse finden

Die CNC rattert, die Späne verklumpen und die Fräser brechen. Die computer-gesteuerte Portalfräse kann viel falsch machen. Doch mit den richtigen Formeln fliegen die Späne auf jeder Maschine, sogar die wackelige Graviermaschine 3018 kann Flaschenöffner aus Alu fräsen.

Von Christoph Schmith

CNC-Portalfräsen werden immer erschwinglicher. Selbstbau-Fräsen und leichte Fertigeräte finden sich in immer

mehr privaten Werkstätten. Die kleinen Geräte beschränken sich meist auf weiche Materialien wie Holz und Kunststoffe oder gravieren härtere Oberflächen mit wenig Kraft. Die Produktion echter Metallteile scheuen viele Besitzer solcher Hobby-Fräsen, weil sie befürchten, dass ihre Maschine die Belastung nicht aushält. Hinsichtlich der Bearbeitung von Stahl sind die Bedenken berechtigt, bei Leichtmetallen wie Aluminium sieht das hingegen schon anders aus.

Es gibt so manche Fallstricke beim Zerspanen von Metall. Um sie zu umschiffen, benötigen Sie etwas Fachwissen zu Schnittgeschwindigkeit, Spanvorschub und -abfuhr. Die Tipps aus diesem Artikel werden es Ihnen ermöglichen, selbst auf einer Saintsu 3018, einer der leichtesten, wackeligsten und schwächsten CNC-Frä-

sen auf dem Markt, einen Flaschenöffner aus Aluminium zu fertigen. Sollte Ihre Fräse einem CNC-Bearbeitungszentrum näherkommen, werden Sie es einfacher haben, schneller zerspanen und dickere Fräser einsetzen können. Mit den in c't vorgestellten Selbstbau-CNCs [1, 2] geht es beispielsweise schon sehr gut.

Dieser Artikel leitet Sie an, Schritt für Schritt die optimalen Einstellungen für Ihre Maschine zu finden. Was dieses Beispiel für Metall erklärt, ist auf Holz und Kunststoff übertragbar, wobei die Probleme bei weicheren Materialien kleiner sind.

Strategie

Je beschränkter die Hardware, desto ausgefeilter muss die Frässtrategie sein. Ein Azubi mit einer industriellen Fräse könnte einfach einen Block Aluminium mit den

Außenmaßen des Werkstücks aufspannen und mit einem möglichst großen Fräser alles zerspanen, was nicht zum Flaschenöffner gehört. Der Fräser ist dabei immer nur an einer Seite im Material (Teilschnitt), was günstig für die Belastungen am Fräser und den Abtransport der Späne ist.

Leider hat nicht jeder Fräs-Anfänger eine so große Maschine wie der Azubi. Eine kleine Fräse wie die 3018 erlaubt nur so winzige Späne, dass die Außen-nach-Innen-Strategie mehrere Stunden dauern würde. Die Alternative ist, das Objekt nur anhand seiner Kontur aus einem Blech der passenden Dicke zu fräsen. Das hat den Nachteil, dass der Fräser auf seiner gesamten Breite Material zerspanen, also im Vollschnitt arbeiten muss. Er muss dann einen langen Span von links bis ganz nach rechts abschälen. Dabei besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, dass sich der Fräser verklemmt, es zu Vibrationen kommt oder die Metallspäne nicht aus der Nut abgeführt werden können. Das führt im schlimmsten Fall dazu, dass der Fräser abbricht. Doch auch wenn er nicht bricht, wird die Oberfläche nicht so glatt wie gewünscht.

Der Kompromiss ist sogenanntes „Trochoidalfräsen“: Es funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie das Ausfräsen der Kontur, allerdings ist hier die Nut etwas breiter als der Fräser. Der bewegt sich in kreisenden Bewegungen durch das Material und arbeitet daher im Teilschnitt. Durch die breitere Nut fliegen die Späne leichter aus der Nut und die Gefahr eines Fräserbruchs ist deutlich geringer. Einige Programme haben die Funktion direkt

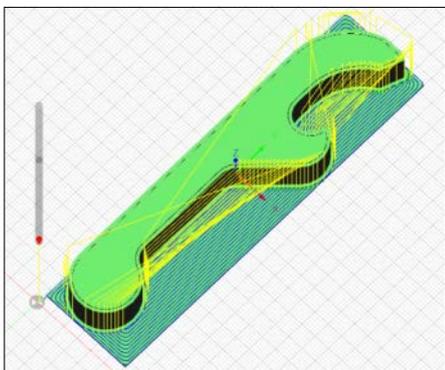


Bild: Christoph Schmith

Mit der Strategie „alles zerspanen, was nicht Flaschenöffner ist“, wird der Fräser geschont (Teilschnitt) und die Späne fliegen ungehindert weg. Erlaubt die Maschine nur einen geringen Vorschub, dauert die Bearbeitung jedoch sehr lang.

Zu schwach für Alu? Selbst der Hersteller Sainatsu bewirbt seine Mini-Graviermaschine 3018 nicht fürs Fräsen von Leichtmetall. Mit den richtigen Einstellungen klappt es aber sogar auf dieser Mini-CNC.

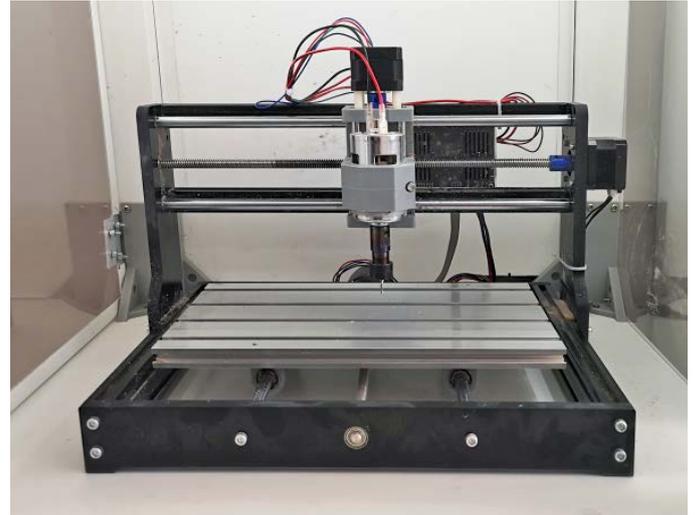


Bild: Christoph Schmith

integriert, bei Fusion 360 mussten wir dafür ein wenig in die Trickkiste greifen. Zum Vergleich haben wir beide Methoden ausprobiert, genau hingehört und die Oberflächen verglichen – dazu später mehr.

Weiche Alu-Legierungen neigen zum Schmieren

Hat man sich für eine Strategie entschieden, ist der nächste Schritt die Auswahl des Materials für das zu bearbeitende Werkstück, denn nicht alle Aluminiumlegierungen sind gleichermaßen zum Zerspanen geeignet. In der Regel gilt, je härter die Aluminiumlegierung, desto einfacher lässt sie sich zerspanen. Aluminiumprofile aus dem Baumarkt bestehen meist aus weichen Legierungen und lassen sich nur aufwendig bearbeiten, da sie dazu neigen zu schmieren. Empfehlenswerte Legierungen hingegen sind beispielsweise Al-CuMgPb oder AlMg4,5Mn. Tipp: Viele Betriebe verkaufen ihre Reststücke im Internet, sodass man hier günstig an gutes Material für Experimente kommt.

Fräser

Danach entscheidet man sich für den richtigen Fräser. Es kommt auf die Anzahl an Schneiden an, die Dicke, die Länge, Platz für die Spanabfuhr und ob die Schneiden gewendelt sind oder nicht. Die Hersteller bieten Fräser speziell für Kunststoffe, Holz, Stahl oder Nichteisenmetalle wie Aluminium an. Bei der Auswahl des Durchmessers gilt die Regel: So breit und kurz wie möglich, so schmal und lang wie nötig.

Die Anzahl der Schneiden legt fest, wie viele Späne die Maschine pro Umdre-

hung des Fräasers abschält. Mehr Schneiden bedeuten daher bei gleicher Drehzahl eine höhere Zerspanungsleistung und eine glattere Oberfläche, gleichzeitig steigen aber die Belastungen (Schnittkräfte), die der Fräser und die Maschine aufnehmen müssen. Gerade bei kleinen Fräsern und Fräsen mit geringer Steifigkeit sind weniger Schneiden daher oft die bessere Wahl. Je weniger Schneiden, desto leichter können die Späne abgeführt werden, was gerade bei Vollnuten von Vorteil ist. Steht hingegen eine gute Oberflächenqualität in möglichst kurzer Zeit im Vordergrund, sind Fräser mit mehr Schneiden im Vorteil. Fürs Konturfräsen auf der 3018 empfehlen wir, einen einschneidigen Fräser mit mindestens 2 Millimetern Durchmesser einzuspannen. Auf der MPCNC und der OX-

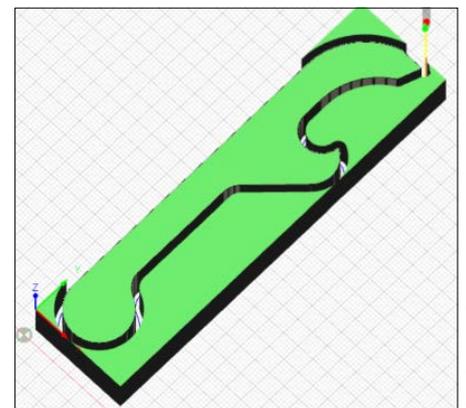


Bild: Christoph Schmith

Schneller geht Konturfräsen. Hier bleibt überschüssiges Material einfach stehen. Der Fräser muss aber im Vollschnitt arbeiten, was Maschine und Werkzeug stärker belastet und keine so glatten Oberflächen produziert.



Weiche Alu-Legierungen neigen dazu zu schmieren, was zu Rattermarken auf der Oberfläche führt. Härtere Legierungen lassen sich erheblich besser zerspanen, da die Späne brechen.

CNC machte ein Einschneider mit 6 Millimetern eine sehr gute Figur.

Schnittgeschwindigkeit

Hat man sein Material und den Fräser ausgewählt, geht es daran, für diesen die individuellen Schnittparameter zu bestimmen. Im Internet finden sich leider zu viele Pauschalaussagen zu angeblich idealen Einstellungen ohne weitere Infos zu dem Material, dem Fräser, der Aufspannung und der Maschine. Tatsächlich hängen die Parameter aber von so vielen Faktoren ab, dass sie nur im seltensten Fall eins zu eins übertragbar sind.

Die Parameter müssen Sie nur einmalig für die Kombination aus Fräser und Legierung bestimmen. Prinzipiell gibt es nämlich nur drei wesentliche Größen zu ermitteln: Die Drehzahl der Spindel, den Vorschub des Fräasers und die maximale Schnitttiefe im Werkstück. Die Drehzahl n der Spindel errechnet sich aus der zulässigen Schnittgeschwindigkeit v_c an der Schneide des Fräasers und dessen Durchmesser d anhand der Formel:

$$n = (v_c [\text{m/min}] \cdot 1000) / (\pi d [\text{mm}])$$

Welche Schnittgeschwindigkeit dabei richtig ist, hängt sowohl vom zu bearbeitenden Material als auch vom Fräser ab und wird in der Regel vom Werkzeughersteller angegeben. Wenn Sie dort keine Angaben finden, lassen sich Richtwerte aus Tabellenbüchern wie dem Tabellenbuch Metall (siehe ct.de/y8md) entnehmen. Gerade die Angaben der Hersteller sind meist am oberen Ende des Möglichen

angesiedelt, zum einen, weil die Standzeit der Fräser in der Industrie eine untergeordnete Rolle spielt und zum anderen, weil die Fräser dort durch die Kühlschmiermittelzufuhr unter Idealbedingungen laufen können. Im Zweifel sollten Sie die Schnittgeschwindigkeit im Hobbybereich daher etwas niedriger ansetzen. In Ermangelung genauerer Angaben unseres Fräserherstellers haben wir unsere Werte nach dem Tabellenbuch Metall bestimmt, einer Art Bibel für Maschinenbauer.

Entscheidend für die Schnittgeschwindigkeit ist die Zugfestigkeit R_m des Aluminiums. Bei unserem AlMg4,5Mn handelt es sich beispielsweise um eine Knetlegierung mit einer Zugfestigkeit von circa 270 N/mm². Je nach Behandlung des Materials kann dieser Wert auch bei der gleichen Legierung sehr unterschiedlich ausfallen, daher erfragen Sie den Wert am besten beim Verkäufer.

In den Materialdaten finden Sie zwei verschiedene Kategorien, einmal für Schruppen und einmal für Schlichten. Beim Schruppen geht es darum, in möglichst kurzer Zeit möglichst viel Material abzutragen, meist zulasten der Oberflächenqualität. Um eine glattere Oberfläche zu erhalten, können Sie an den Kanten eine dünne Schicht Material von etwa zehn Prozent des Werkzeugdurchmessers stehen lassen. Die tragen Sie in einem zweiten Durchgang mit den Parametern für Schlichten ab, was schönstmögliche Oberflächen garantiert. Für unser Experiment ist die Oberfläche zunächst jedoch unerheblich und wir beschränken uns auf das Schruppen. Bei einer empfohlenen

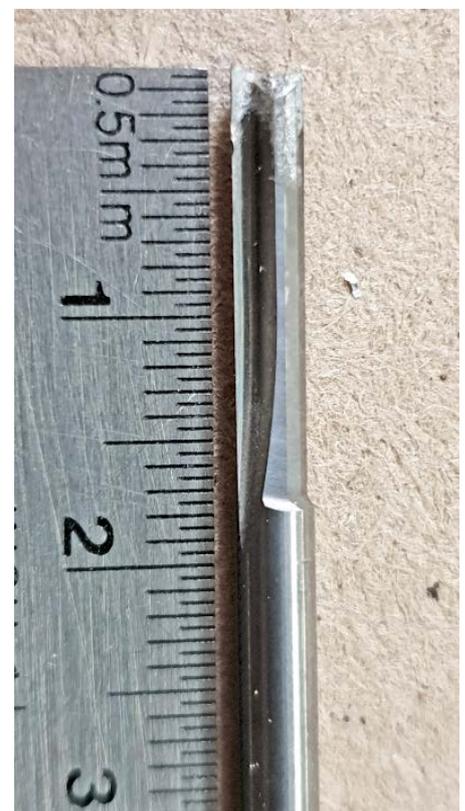
Schnittgeschwindigkeit von 180 m/min ergibt die Formel eine ideale Drehzahl von 28.647 U/min. Bei kleinen Fräsern und langsamen Spindeln kann es vorkommen, dass der berechnete Wert über der maximalen Drehzahl der Spindel liegt. In dem Fall nimmt man behelfsweise die maximale Drehzahl der Spindel, bei der 3018 sind das 7000 U/min.

Vorschub

Um den Vorschub f_z zu berechnen, benötigen Sie den sogenannten „Zahnvorschub“ f_z . Er beschreibt die Strecke, die sich ein Zahn des Fräasers pro Umdrehung in das Material arbeitet. Die Anzahl der Schneiden z mal den Zahnvorschub multipliziert mit der Drehzahl ergibt den Vorschubwert:

$$f = n [\text{U/min}] \cdot f_z [\text{mm/Zahn}] \cdot z$$

Den Wert für f_z erhält man wiederum vom Fräserhersteller oder aus Tabellenbüchern. Es ist wichtig, von diesem Wert nicht allzu stark abzuweichen. Führt die Fräse zu langsam, schält nicht jede Schneide einen Span ab und die Reibung erhitzt den Fräser, sodass er ausglühen kann. Ist die Geschwindigkeit zu hoch, wird der



Fräser mit Aufbauschneide aus Aluminium und ausgebrochener Schneide.

Fräser überlastet, biegt sich, die Maschine gerät in Schwingungen (hörbares Rattern) und der Fräser kann abbrechen. Ist der Durchmesser Ihres Fräasers nicht in der Tabelle aufgeführt, können Sie den Wert einfach linear interpolieren. Für einen 2-Millimeter-Fräser erhielten wir so einen Zahnvorschub von 0,005 Millimetern. In die Formel eingesetzt ergibt das für unseren Vorschub auf der 3018:

$$7000 \text{ U/min} \cdot 0,005 \text{ mm} \cdot 1 = 35 \text{ mm/min.}$$

Schaftfräser sind mit ihrer Geometrie nicht für Bohrarbeiten ausgelegt. In Z-Richtung sollten Sie den Vorschub deutlich geringer wählen. Rechnen Sie als Faustregel für das Eintauchen ins Material mit etwa einem Drittel des Vorschubs in der Arbeitsebene (X und Y).

Schnitttiefe

Die maximale Schnitttiefe ist hingegen hauptsächlich von der Stabilität der Maschine abhängig, weshalb es dafür keine Formel

gibt. In der Industrie sind Schnitttiefen bis etwa der Hälfte des Werkzeugdurchmessers üblich. Im Hobbybereich sollte man eher mit 20 bis 25 Prozent des Durchmessers beginnen und sich bei Bedarf langsam steigern. Wir haben nach einigen Tests an Aluresten mit 0,5 Millimetern gute Ergebnisse erzielt. Wenn Sie eine insgesamt höhere Leistung in Form des Zeitspanvolumens [cm^3/min] anstreben und die Stabilität der Maschine es erlaubt, ist es sinnvoller, einen größeren Fräser mit entsprechend höherem Vorschub zu verwenden, als die Schnitttiefe zu maximieren.

Spanbeschau

Ob diese Werte nun tatsächlich passen, bestimmen Sie am besten anhand der Form der Späne. Im Idealfall sind sie etwa halbkreisförmig und kurz. Man bezeichnet solche Späne als Bruchspäne. Erinnern die Späne eher an lange Bänder, ist es ratsam, die Schnitttiefe oder den Vorschub zu erhöhen. Bei langen Spänen besteht die Gefahr, dass sich aus ihnen ein Knäuel am

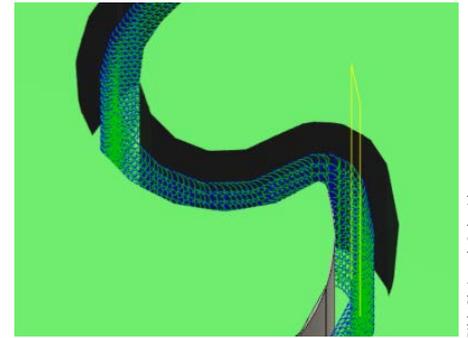


Bild: Christoph Schmith

Weil die Fräse sich beim Trochoidalfräsen in Kreisbewegungen vorarbeitet, wird die Strategie auch „Wirbelfräsen“ genannt. Ziel ist, dass der Fräser immer im Teilschnitt arbeitet und dennoch eine Nut entsteht.

Fräser bildet und der nur Späne statt Metall schneidet. Lassen sich hingegen keine Späne erkennen und gleicht der Auswurf eher Metallpulver, ist der Vorschub pro Zahn zu gering. Da der Fräser so mehr

Holz

Das Vorgehen zum Berechnen und Testen der optimalen Parameter funktioniert bei Holz genau wie bei Metall. Die Schnittgeschwindigkeit ist höher, die Spindeldrehzahl deswegen auch und die Vorschübe sind erheblich größer. Die Schnitttiefe darf hier durchaus die Hälfte des Fräserdurchmessers erreichen, die meisten Hobby-Fräsen halten das aus. Rattern sollte die Maschine auch im Holz nicht und auch wenn Holz weniger gleichförmige Späne erzeugt, sollten diese wie abgeschälte Holzkringel und nicht wie Schleifstaub aussehen.

Schlichten ist bei Holz meist nicht nötig. Sollte Sie Ausriss an der Unterseite der Fräsbahn plagen, ist vermutlich der Fräser stumpf. Einen stumpfen Fräser erkennen Sie auch an Brandmarken im Holz. Die lassen sich bei V-förmigen Gravierfräsern im Bereich der Spitze nicht völlig vermeiden.

Ein wie ein Spiralbohrer rechts herum gewendelter Fräser produziert besonders bei Plattenmaterial auf der Oberkante Ausriss. Dafür wird die Unterkante perfekt, sofern Sie komplett durchfräsen, und der Fräser führt die Späne gut ab. Es gibt Downcut-Fräser, die links herum wendeln und eine perfekte Oberkante produzieren. Dafür finden Sie dann an der Unterkante Ausriss und die Spanabfuhr ist besonders schlecht. Ein häufiger Kompromiss sind für Holz daher gerade Fräser, die oben und unten kaum Ausriss produzieren und die Späne zumindest seitlich weg-schleudern. Ein Spezialkompromiss sind kombinierte Up- und Downcut-Fräser (Compression Bits). Sie schneiden die Unterkante schräg nach oben und die Oberkante schräg nach unten. Der Trick funktioniert aber nur, wenn die Nut tief genug ist, damit die Stelle, an der sich die Wendelrichtung umkehrt, im Material liegt. Beim Eintauchen produzieren solche Fräser immer etwas Ausriss.

reißt als schneidet und die Wärme nur unzureichend abgeführt wird, kann im schlechtesten Fall der Fräser ausglühen, brechen oder das Aluminium schmelzen und sich eine sogenannte Aufbauschneide bilden. Dabei backt das Aluminium an den



Bild: Christoph Schmith

Nicht schön, aber selten: Das Experiment ist geglückt! Selbst die Graviermaschine 3018 konnte einen Flaschenöffner aus Aluminium produzieren.

Fräser an und muss anschließend chemisch mit Natronlauge wieder aufgelöst werden. Natronlauge ist Natriumhydroxid in wässriger Lösung.

Generell sollten Sie die Maschine nie unbeaufsichtigt arbeiten lassen. Spätestens, wenn die Fräse akustisch durch Rattern auf sich aufmerksam macht oder die Tonhöhe der Frässpindel merklich sinkt, wenn der Fräser ins Material eintaucht, ist ihre Belastungsgrenze erreicht. Die Schnittkräfte lassen sich verringern, indem Sie die Schnittgeschwindigkeit und Schnitttiefe reduzieren oder alternativ einen kleineren Fräser mit weniger Schneiden nutzen. In GRBL können Sie sogar, während ein G-Code-Programm läuft, die Vorschübe im Bereich von 50 bis 200 Prozent verändern.

Profis nutzen beim Fräsen stets Kühlschmiermittel. Das kühlt Fräser und Werkstück, reduziert die Reibung und schwemmt in den üblicherweise großen Mengen auch Späne weg. Der Fräser schleudert die Späne-Kühlmittel-Suppe aber in alle Richtungen, weshalb die Maschine dann unbedingt ein dichtes Gehäuse braucht. Die im Hobbybereich beliebten Opferplatten aus MDF würden aber sofort aufquellen. In den Leistungsbereichen von Hobbyfräsen ist es in der Regel nicht notwendig zu kühlen, außer man möchte sehr weiche Legierungen bearbeiten. Die Vorteile liegen eher in einer höheren Lebensdauer des Fräsers und einer besseren Oberfläche.

3018 fräst Alu

Nach Berechnung aller Formeln und ein paar Tests zur Bestimmung der Schnitttiefe haben wir das Blech mit doppelseitigem Klebeband auf einer Opferplatte fixiert und den Fräsvorgang mit den berechneten Parametern gestartet.

Tatsächlich arbeitete sich die kleine Graviermaschine mit unseren Einstellungen in etwa einer halben Stunde durch das

6 Millimeter dicke Blech. Die Oberfläche ist definitiv nicht die schönste und 0,1 Millimeter Abweichung vom Sollmaß sind ebenfalls alles andere als optimal. Das Experiment zeigt aber, dass selbst mit der 3018 Metallbearbeitung grundsätzlich möglich ist.

Trochoidalfräsen

Mit einer immer noch kleinen, aber schon deutlich praxistauglicheren OX-CNC erreichten wir in unseren Tests dann ein ganz anderes Niveau hinsichtlich Leistung und Stabilität. Auf der OX haben wir den Unterschied zwischen reinem Konturfräsen und Trochoidalfräsen getestet. Die Idee beim Trochoidalfräsen ist es, für das Fräsen einer Nut anstatt eines Fräsers mit identischem Durchmesser einen schmalen Fräser zu nutzen, der eine kreisende Bewegung ausführt. Dadurch arbeitet der Fräser stets im Teilschnitt, was einige entscheidende Vorteile bringt. So sind die Kräfte auf Fräser und Maschine geringer, wodurch die Oberflächen glatter werden, was zu weniger Verschleiß an der Schneide führt. Zudem erreicht man höhere Schnitttiefen, was zum einen die Bearbeitungszeit verringert und zum anderen den Ver-



Bild: Christoph Schmith

0,1 Millimeter Abweichung vom Soll sind schon ein recht grobes Maß. Die 3018 ist hier klar an ihrer Leistungsgrenze angelangt.

schleiß auf einen größeren Bereich der Schneide verteilt. Und nicht zuletzt sorgt die breitere Nut dafür, dass der Fräser nicht mehr so leicht abbricht, weil er sich durch Vibrationen oder Späne verklemt.

Um nicht unnötig viel Material abzutragen, ist es wichtig, ein gutes Verhältnis zwischen Nutbreite und Breite des Fräasers anzusetzen. Das 1,3-Fache des Fräserdurchmessers hat sich als guter Richtwert erwiesen. Da wir beim Trochoidalfräsen weniger auf Spanabfuhr achten mussten, haben wir hier direkt einen zweischneidigen Fräser mit 3,175 Millimetern Durchmesser (1/8 Zoll) und eine Nutbreite von 4 Millimetern verwendet. Das Ergebnis kann sich sehen lassen: minimale Rattermarken und eine insgesamt deutlich bessere Oberfläche als beim reinen Konturfräsen. Auch die Maßhaltigkeit fällt generell besser aus. Das beste Oberflächenergebnis erhält man wie erwartet mit einem abschließenden Schlichtdurchgang mit halbem Vorschub – entsprechend länger dauerte der Prozess dann natürlich auch.



Oben hat der Fräser in einer zu weichen Alu-Legierung geschmiert; in der Mitte gab es leichte Rattermarken; die geschlichtete Oberfläche unten zeigt, wie es aussehen sollte.

Fazit

Mit Hobbyfräsen können Sie auch durchaus Leichtmetall wie Aluminium bearbeiten, die Voraussetzungen sind jedoch die richtigen Einstellungen und eine geeignete Legierung. Den eigentlichen Kompromiss geht man bezüglich der Geschwindigkeit ein. Die Gravierfräse 3018 können

wir jedoch nicht empfehlen, weil sie einem einfach zu viele Kompromisse abverlangt: Die Stabilität reicht nicht für normal dicke Fräser, für kleine Fräser dreht die Spindel zu langsam und beides sorgt für geringe Maßhaltigkeit. Eine Maschine mit einer Oberfräse als Fräsmotor wie bei der MPCNC [1] oder der OX-CNC [2] sollte es mindestens sein.

Wer bereit ist, auf einer solchen Fräse ein wenig Zeit sowohl zum Austüfteln der Einstellungen als auch für den Fräsprozess an sich zu investieren, produziert auch auf für Holz konstruierten Portalfräsen maßhaltige Metallteile. (pmk@ct.de) 

Literatur

- [1] Jan Mahn, CNC für alle, Mostly Printed CNC: Eine Portalfräse selbst ausdrucken, c't 6/2021, S. 154
- [2] Pina Merkert, Stark wie eine OX, Stabile Portalfräse OX-CNC selbst bauen, c't 7/2021, S. 120

Tabellenbuch, Erklärvideo: [ct.de/y8md](https://www.ct.de/y8md)