

2.
Auflage

Christian Rattat

CNC-FRÄSEN FÜR MAKER UND MODELLBAUER

Grundlagen – Technik – Praxis

dition **Make:**

 dpunkt.verlag



Inhalt

Cover

Über den Autor

Titel

Impressum

Inhaltsübersicht

Inhaltsverzeichnis

Vorwort von Stepcraft

Vorwort des Autors

1 Einführung

1.1 Was ist Fräsen?

1.2 Portalfräsen für den Hobbybereich

1.2.1 Maschinentisch

1.2.2 Fräsmotor

1.2.3 Werkzeugvorschub

1.2.4 Fräswerkzeuge

1.2.5 Ausstattung und Erweiterungen

1.3 Werkstoffe

1.4 CNC-Fräsen

1.4.1 CAD

1.4.2 CAM

1.4.3 Maschinensteuerung

1.5 Alternativen zum Fräsen

1.6 Sicherheit und Gefahren

1.6.1 Fräsmotor und Fräswerkzeuge

1.6.2 Elektrischer Strom

1.6.3 Brand- und Verbrennungsgefahr

1.6.4 Gefährliche Stoffe

1.6.5 Sicherer Arbeitsplatz

2 Die eigene CNC-Fräsmaschine

2.1 Auswahlprozess für die CNC-Fräsmaschine in diesem Buch

2.1.1 GoCNC Next 3D CNC M

2.1.2 Stepcraft-2/D.600

2.1.3 Weitere Modelle

2.1.4 Entscheidung

2.2 Montage der Stepcraft-2-Bausätze

2.3 Schritt 1: Montage des X-Z-Verbinders

2.4 Schritt 2: Montage der Z-Achse

2.5 Schritt 3: Montage der X-Spindel und der Portalseiten

2.6 Schritt 4: Zusammenbau des Portals

2.7 Schritt 5: Montage des Grundrahmens

2.8 Schritt 6: Zusammenbau der Fräsmaschine

2.9 Schritt 7: Montage der Elektronik

2.10 Schritt 8: Montage des Maschinentisches (5 Minuten)

2.11 Schritt 9: Installation und Inbetriebnahme (30 Minuten)

2.11.1 Schmieren der Linearschienen und Spindeln

2.11.2 Installation der Software

2.11.3 Vorbereitung für das Ausrichten der Spindeln

2.11.4 Anschluss der CNC-Fräsmaschine

2.11.5 Ausrichten der Spindeln

2.12 Alternative Steuerung

2.12.1 Hardwareinstallation

2.12.2 Installation und Konfiguration von UCCNC

2.12.3 Ein erster Test

2.12.4 CAM

2.12.5 Fräsen

2.13 Das erste Werkstück

3 Fräswerkzeuge

3.1 Fräswerkzeuge

3.1.1 Zähne und Nuten

3.1.2 Schnittlänge und Aufnahmeform

3.1.3 Schneidstoffe für Fräswerkzeuge

3.1.4 Schnittgeschwindigkeit und Vorschub

3.1.5 Kühlung und Schmierung

3.2 Welcher Fräser für welches Material

3.2.1 Schaftfräser aus Vollhartmetall

3.2.2 Sonderformen

3.2.3 Sonderlängen

3.2.4 Formfräser

3.3 Gleich- oder Gegenlauffräsen

3.4 Pflege von Fräswerkzeugen

4 2D-Fräsen in der Praxis

4.1 Werkstücke spannen

4.2 Weichholz

4.2.1 Beispiel 1 – Fräsen von MDF

4.2.2 Beispiel 2 – Fräsen von Pappelsperrholz (ungünstige Parameter)

4.2.3 Beispiel 3 – Fräsen von Pappelsperrholz (bessere Parameter)

4.2.4 Beispiel 4 – Fräsen von Pappelsperrholz (linksspiraliger Fräser)

4.3 Hartholz

4.3.1 Beispiel 1 – Fräsen von massiver Buche (rechtsspiraliger Fräser)

4.3.2 Beispiel 2 – Fräsen von massiver Buche (linksspiraliger Fräser)

4.4 Acrylglas und Polycarbonat

4.4.1 Beispiel 1 – Fräsen von Acrylglas

4.5 Hartschaumplatten

4.5.1 Beispiel 1 – Fräsen von PVC

4.6 Gravierkunststoff

4.6.1 Beispiel 1 – Gravieren von Gravierkunststoff

4.7 Aluminium

4.7.1 Beispiel 1 – Fräsen von Aluminium

4.7.2 Beispiel 2 – Planfräsen von Aluminium

4.8 Messing

4.8.1 Beispiel 1 – Fräsen von Messing

4.9 Alu-Dibond

4.9.1 Beispiel 1 – Fräsen von Alu-Dibond

4.10 Glas

5 Erweiterungen

5.1 Gehäuse

5.2 Absaugvorrichtung

5.2.1 Vorstufe mit Fliehkraftabscheider

5.2.2 Sauger und Anschluss

5.2.3 Absaugung im Gehäuse und am Fräser

5.3 T-Nutentisch aus Aluminium

5.4 Spanneisen und Spannblöcke

5.5 Maschinenschraubstock

5.6 Werkzeuglängensensor

5.6.1 Einbau

5.6.2 Konfiguration mit WinPC-NC

5.6.3 Verwendung und Feineinstellung

5.6.4 Werkzeuglängensensor verwenden

5.7 Wasserbad zum Unterwasserfräsen

5.8 Zusätzliche Notausschalter

6 Weitere Fräsarten

6.1 Isolationsfräsen

6.1.1 Eagle konfigurieren

6.1.2 Fräsen der Platine mit WinPC-NC USB

6.2 Unterwasserfräsen

6.3 2,5D-Fräsen

6.3.1 CAD

6.3.2 CAM

6.3.3 Fräsen

6.3.4 Langlöcher, Taschen und Planfräsen

7 Ausblick

7.1 Ersatzteile

8 Glossar

Index

4 2D-Fräsen in der Praxis

Beim 2D-Fräsen wird als Grundlage ein 2D-Modell verwendet. Dieses Modell enthält lediglich Informationen für die Positionierung des Fräasers in der Horizontalen. Mit dieser Information allein kann man allerdings schlecht fräsen, da der Fräser irgendwie noch nach unten in das Material gelangen muss. Je nach Frästiefe muss das in mehreren Durchgängen mit Zustellung in der Tiefe und zur Seite erfolgen. Außerdem wäre die Anwendung sehr eingeschränkt, wenn man nicht an verschiedenen Stellen unterschiedlich tief in das Werkstück fräsen könnte.



Damit das funktioniert, gibt es eine dritte Achse, die den Fräser in der Höhe verstellt. Da das 2D-Modell aber keine Informationen über die Frästiefe enthält, wird diese manuell eingegeben. Bei der Inbetriebnahme in Abschnitt 2.11.6 haben Sie mit dem Schriftzug bereits Ihr erstes 2D-Werkstück angefertigt. Das 2D-Fräsen ist am einfachsten anzuwenden, da Sie ohne komplexe CAD- und CAM-Software auskommen. Prinzipiell reicht sogar bereits eine Zeichnung mit einem Zeichenprogramm aus, die über einen speziellen Druckertreiber für Plotter in eine Plotdatei ausgegeben wird.

Anwendungsbereiche für das 2D-Fräsen sind die Erstellung von Schildern und Platten jeglicher Art. Damit stellen Sie beispielsweise auf einfache Weise Schilder wie in Abbildung 4-1 mit Logos oder Schriftzügen aus Acrylglas her. Für besondere Anlässe gravieren Sie fertige Gegenstände mit Widmungen oder Namen oder vielleicht auch eigene Visitenkarten aus CFK.



Abb. 4-1 Logo in transparentes Acrylglas gefräst

Genauso können auch Schilder aus Holz, Messing oder Aluminium angefertigt werden. Breite Anwendung findet das 2D-Fräsen auch zum Herstellen von Halterungen, Rahmen und Spanten aus Holz und Verbundwerkstoffen im Flug- und Schiffmodellbau.

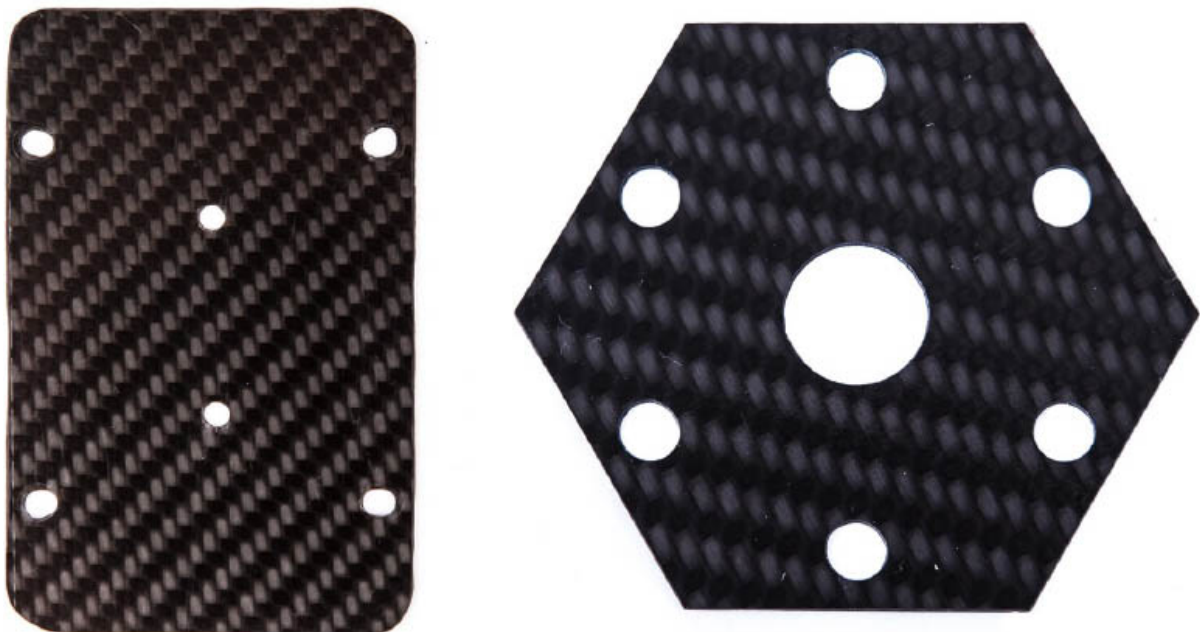


Abb. 4-2 Platten aus CFK: links manuell hergestellt, rechts gefräst

In diesem Kapitel erfahren Sie, wie Sie verschiedene Materialien mit dem 2D-Fräsen bearbeiten und welche Werkzeuge und Einstellungen notwendig sind, um gute Ergebnisse zu erreichen. Zu einigen Werkstoffen wird gezeigt, wie die Parameter ermittelt werden. Damit die Ergebnisse miteinander vergleichbar sind, wird immer dasselbe Schild aus Abbildung 4–3 hergestellt.



Abb. 4–3 Testwerkstück für das 2D-Fräsen

Obwohl das Modell einfach erscheint, ist die Ausführung mit einigen Materialien eine Herausforderung. Damit die Schrift halbwegs exakt wird, muss ein möglichst kleiner Fräser verwendet werden. Da der Fräser rund ist, entsteht bei vertikalen Innenkanten immer eine Rundung. Bei einem 1-mm-Fräser haben diese einen Radius von 0,5 mm. Um die Umsetzungen möglichst einfach zu gestalten, wird hier keine CAM-Software eingesetzt und nur mit einer Plotdatei und WinPC-NC gearbeitet.

Qualität der Fräsarbeiten

Die Vorlage wurde bewusst einfach gewählt und als Plotdatei erzeugt, um die Umsetzung insbesondere für Einsteiger einfach zu halten. Die Umsetzung mit einer Plotdatei und dem minimalen CAM-Prozess in WinPC-NC ist aber nicht optimal und führt zu recht eigenwilligen Formen der Fräsbahnen, die an einigen Werkstücken gut zu erkennen sind. Beispielsweise sieht man in der Rundung des »b« zwei Kanten, die es im originalen Modell nicht gibt. Das sind keine Fehler, die durch das Fräsen entstehen, sondern Fehler in der Berechnung bzw. der Umsetzung der Plotdatei in den G-Code.

Der Zweck dieses Kapitels besteht aber nicht in der Umsetzung möglichst exakter Abbildungen des Originals, sondern darin, zu erklären, mit welchen Parametern und Fräsworkzeugen Sie welches Material bearbeiten können. Auch wenn die Umsetzung mit integrierten CAM-Funktionen der Maschinensteuerungsprogramme möglich ist, empfiehlt sich in der Regel immer ein vorhergehender CAM-Prozess mit einem speziellen CAM-Programm.

Der Schriftzug wird, soweit möglich, in zwei Durchgängen zunächst mit einer Tiefe von 1,5 mm und dann mit 0,5 mm Tiefe gefräst. Die abgebildeten

Ergebnisse sind nicht nachbearbeitet und nur mehr oder weniger gut von Staub und Spänen befreit.

Schnittdaten

In manchen Konstellationen können die benötigten Drehzahlen mit einem Fräsmotor wie dem Kress 800 FME und die Vorschübe mit der Stepcraft-2/D.600 nicht so eingestellt werden, wie Fräser und Werkstoff dies verlangen würden. Die Werte in diesem Kapitel sind auf Fräsen wie der von Stepcraft abgestimmt. Anhand der detaillierten Fotos können Sie erkennen, welche Ergebnisse mit den Einstellungen zu erwarten sind. Das soll Sie aber nicht davon abhalten, eigene Experimente durchzuführen.

4.1 Werkstücke spannen

Je höher die geforderte Genauigkeit ist, desto wichtiger wird das Spannen der Werkstücke. Dass diese fest verankert sind und sich nicht lösen oder verschieben, ist eine Sache. Eine andere ist es, dass die untere Werkstückebene in X- und Y-Richtung orthogonal zum Fräswerkzeug liegt. Ist das nicht der Fall, kann es größere Probleme geben:

- Beim Gravieren von Schildern wird so die Gravur unterschiedlich tief oder es kann sogar ein Teil der Gravur fehlen.
- Beim Planfräsen wird zwar die Oberfläche gerade, ist aber dann nicht parallel zur Unterseite.
- Wird das Werkstück umgedreht und die Unterseite plangefräst, sind Ober- und Unterseite weiterhin nicht parallel. Im weiteren Verlauf der Werkstückfertigung zieht sich dieses Problem dann konsequent durch alle weiteren Bearbeitungsschritte.

Dass es überhaupt zu diesen Problemen kommen kann, liegt daran, dass die Unterlage nicht stabil oder genau genug ist oder falsch verwendet wird. Am empfindlichsten sind Maschinentische und Opferplatten aus Holz und ähnlich weichen Materialien. Aber selbst ein massiver T-Nutentisch aus Aluminium biegt sich bei ungünstiger Belastung um einige Hundertstel Millimeter. Erst mehrere Zentimeter dicke Maschinentische aus massivem Stahl bieten zuverlässige Stabilität.

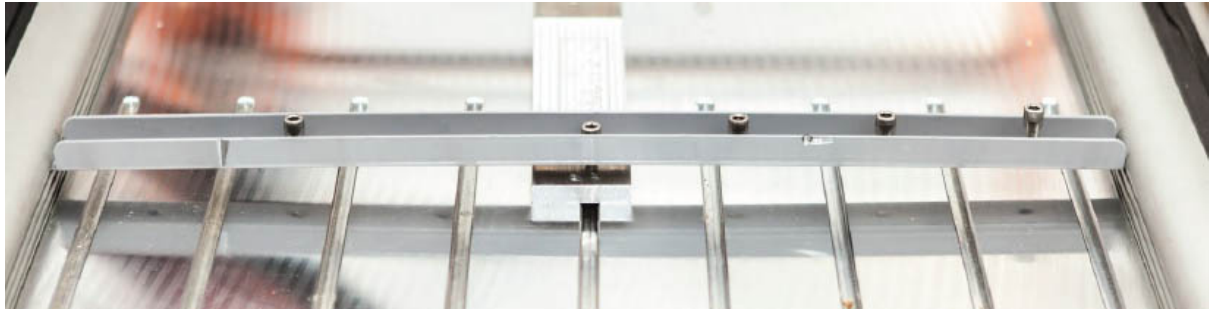


Abb. 4-4 *Ungünstige Spannung mit Niederhalter mit nur einer Schraube*

Zum richtigen Spannen von Werkstücken darf man Spannvorrichtungen nicht einfach beliebig fest anziehen. Die Spannkraft muss gerade groß genug sein, dass das Werkstück nicht verrutscht, und das ist oft bei viel weniger Kraft der Fall, als man vermutet. Außerdem müssen lange Hebel wie in Abbildung 4-4 vermieden werden. Hier bilden die seitlichen Auflagen der T-Nutenplatte mit dem Druckpunkt in der Mitte einen langen Hebel. Spannt man das Werkstück hingegen mit Spannvorrichtungen, die in den T-Nuten direkt neben dem Werkstück befestigt sind, ist dieser Hebel sehr kurz.

Außer einer kurzen Aufspannung der Werkstücke spielt auch das gleichmäßige Aufspannen eine große Rolle. Wird ein Werkstück mit zwei Spannvorrichtungen gespannt und gleich die erste sehr fest angezogen, kann das Werkstück bereits schief stehen und sich auch durch den zweiten Niederhalter nicht mehr richten lassen.

Ob ein Werkstück schief gespannt ist, können Sie leicht prüfen. Fahren Sie dazu den Fräser an einen Punkt des Werkstücks und dort bis auf das Werkstück (z. B. mit einem Blatt Papier als Maß zwischen Werkstück und Fräser) und notieren Sie die Z-Position, die die Steuerung anzeigt. Fahren Sie weitere Punkte auf dieselbe Art an und vergleichen Sie hier die Z-Positionen mit dem ersten Punkt. Die Methode ist nicht 100 % exakt, reicht aber völlig, um Abweichungen über 1/10 mm zu erkennen.

Es kann auch helfen, die Anzahl der Niederhalter zu erhöhen oder andere Befestigungen zu verwenden. Beispielsweise kann eine seitliche Sicherung wie in Abbildung 4-5 das Verdrehen und Verrutschen eines Werkstücks verhindern. Dann ist nur noch eine geringe Kraft zum Niederhalten notwendig.

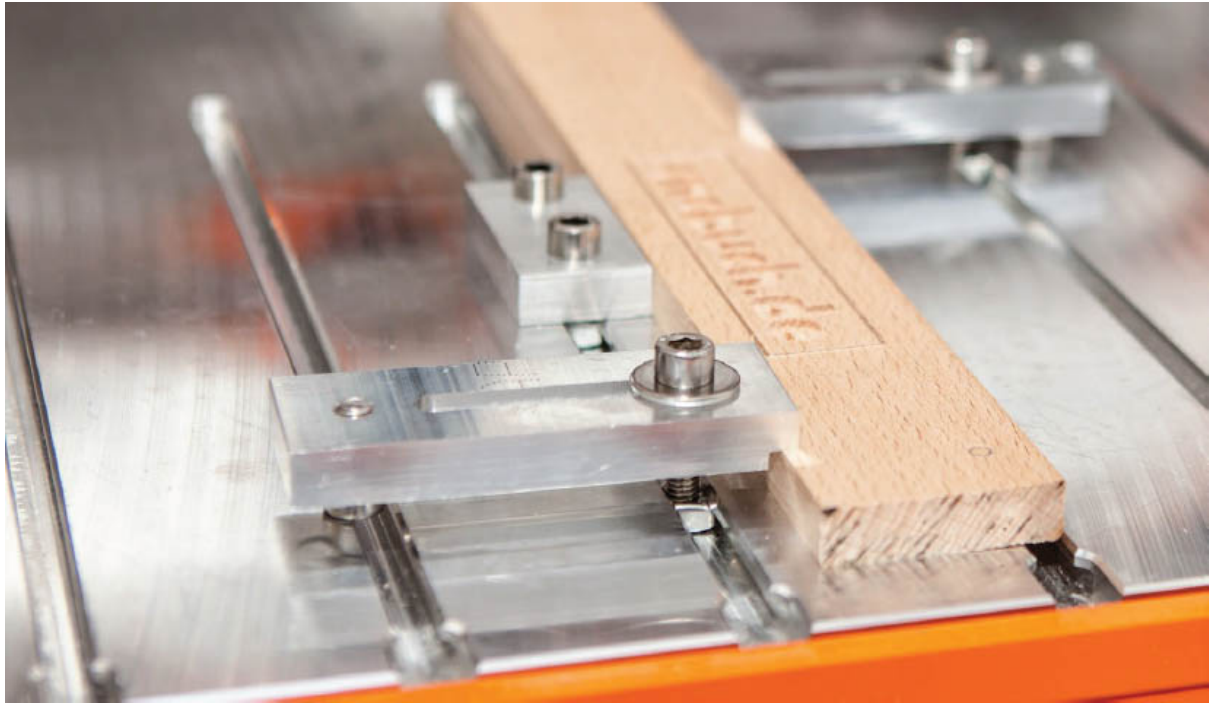


Abb. 4-5 Spannen mit seitlichem Halt und weniger Druck auf das Werkstück

4.2 Weichholz

Da Holz ein schlechter Wärmeleiter ist, erhitzen Fräser bei zu kleinen Vorschüben oder stumpfen Schneiden so stark, dass sich das Holz schwarz färbt oder sogar zu glimmen beginnt. Mit falschen Schnittgeschwindigkeiten ruinieren Sie selbst neue hochwertige Fräser in kürzester Zeit. Weichholz muss mit scharfen Fräsern bei nicht zu hohen Schnittgeschwindigkeiten, aber großen Vorschüben bearbeitet werden.

Die meisten Weichhölzer sind sehr günstig, vor allem, wenn man große Platten kauft und diese selbst in passende Größen schneidet. Daher eignen sie sich hervorragend zum schnellen Anfertigen von Prototypen und als Opferplatten. Mit Prototypen prüfen Sie Maßhaltigkeit, Funktionalität und Design.

Ein Quadratmeter MDF (Mitteldichte Holzfaserverplatte) mit 10 mm Stärke erhält man bereits ab etwa 8 Euro. Ein Quadratmeter CFK-Platte mit 10 mm Stärke kostet dagegen rund 1.200 Euro. Vor dem Verarbeiten des teuren CFK ist es daher sehr sinnvoll, sich an Prototypen aus Holz zu vergewissern, dass das Modell keine Fehler hat.

Bearbeitungsdaten

Zahnvorschub f_z	0,01–0,1 mm
Schnitttiefe a_p	0,5–3 mm
Eingriffsbreite a_e	Nach Möglichkeit bis 50 % des Fräserdurchmessers
Eintauchgeschwindigkeit	5–20 mm/s
Fräsart	Wenn möglich Gleichlaufräsen
Fräser	
Zähne	1–2
Spiralisierung	Rechtsspiralig, für dünnere Platten gibt es Fräser mit kleinerer Nutensteigung oder sonst linksspiralige Fräser verwenden
Material	Vollhartmetall
Beschichtung	Nicht notwendig
Kühlung	Luftkühlung, aber auch ohne Kühlung gut handhabbar

Tab. 4-1 *Schnittdaten für Weichholz*

4.2.1 Beispiel 1 – Fräsen von MDF

Gefräst wird mit einem rechtsspiraligen 1-mm-Einzahnfräser mit Habichtschnabelanschliff ohne Beschichtung. Der Anbieter (Sorotec, L1S VHM Fräser 1-Schneider) gibt für den Fräser (für Kunststoffe) einen Zahnvorschub von 0,04–0,065 mm pro Umdrehung bei 32.000 U/min an. Für MDF liegt die Schnittgeschwindigkeit bei 40–80 m/min.

Die Drehzahl n wird mit 21.000 U/min (Stufe 4) und der Zahnvorschub f_z mit 0,05 mm gewählt. Die Berechnung des Vorschubs ergibt 1.050 mm/min bzw. 17,5 mm/s und die Schnittgeschwindigkeit etwa 66 m/min.



Abb. 4-6 Ergebnis in MDF



Abb. 4-7 Vergrößerte Detailansicht der Kanten

Insgesamt ist das Schnittbild sehr sauber und es gibt keine verbrannten Kanten. In Abbildung 4-6 ist gut zu erkennen, dass die Zylinder im b und d abgebrochen sind, da das MDF so weich ist.

4.2.2 Beispiel 2 – Fräsen von Pappelsperrholz (ungünstige Parameter)

Gefräst wird mit einem rechtsspiraligen 1-mm-Zweizahnfräser mit Fischschwanzanschliff ohne Beschichtung. Für den Fräser liegen keine detaillierten Informationen vor und es wird wie im Beispiel mit MDF ein Zahnvorschub von 0,05 mm pro Umdrehung angenommen. Die Schnittgeschwindigkeit für Pappelsperrholz liegt bei etwa 20 m/min. Demnach wäre eine Drehzahl von etwa 7.000 U/min richtig, die der Kress-Motor aber nicht erzeugen kann.

Die Drehzahl wird hier wie vorher beim MDF mit 21.000 U/min (Stufe 4) und der Zahnvorschub mit 0,025 mm gewählt. Die Berechnung des Vorschubs ergibt

dafür 1.050 mm/min bzw. 17,5 mm/s und die Schnittgeschwindigkeit liegt bei knapp 66 m/min.

Die Parameter sind *bewusst falsch* gewählt, damit man die Auswirkungen erkennt.



Abb. 4-8 *Schlechtes Ergebnis in Pappelsperholz*



Abb. 4-9 *Vergrößerte Detailansicht der Kanten*

Hier erkennt man gut, wie die Kanten ausfransen und sogar teilweise ausreißen (z. B. zwischen b und u). Das liegt daran, dass die sehr kurzen Fasern auf den Teilstücken zwischen den Buchstaben nur sehr wenig Halt nach unten und zur Seite haben, während der Fräser durch falsche Parameter das Holz zu stark belastet und gleichzeitig durch die Rechtsspirale nach oben zieht. Beim MDF tritt das weniger auf, weil die ganze Platte mit Harz getränkt ist und mehr einem Kunststoff als einem faserigen Holz ähnelt.

4.2.3 Beispiel 3 – Fräsen von Pappelsperrholz (bessere Parameter)

Ein zweiter Test mit einem rechtsspiraligen spiralverzahnten 1-mm-Zweizahnfräser mit Fischschwanzanschiff verbessert das Ergebnis deutlich. Die Einstellungen für die Schnittgeschwindigkeit wurden beibehalten, aber der Vorschub auf 10 mm/s reduziert und das Holz so gespannt, dass die Fasern an den dünnen Stellen zwischen den Buchstaben längs liegen. Diese Parameter sind aber immer noch *nicht optimal*.



Abb. 4-10 Test mit anderem Fräser und anderen Schnittwerten

Man sieht, dass die Kanten deutlich weniger ausgefranst sind und durch das Umspannen die Oberfläche nicht beschädigt wurde. In Abbildung 4-11 ist gut zu erkennen, dass die seitlichen Flächen der Buchstaben schon sehr sauber sind. Da es keine Anzeichen von verkohltem Holz gibt, scheinen die Einstellungen ansonsten zu passen.



Abb. 4-11 Details der verbesserten Variante

4.2.4 Beispiel 4 – Fräsen von Pappelsperrholz (linksspiraliger Fräser)

Im dritten Test mit Pappelsperrholz wird ein linksspiraliger spiralverzahnter 1-mm-Fräser mit Fischschwanzanschliff verwendet. Zudem wird der Vorschub auf 8 mm/s gedrosselt und die Drehzahl des Kress-Motors auf etwa 11.000 U/min eingestellt (Stufe 1,5). Das entspricht einer Schnittgeschwindigkeit von etwa 34 m/min und einem Zahnvorschub von 0,02 mm. Zudem wird das Holz für den Test wieder wie im ersten Test mit Pappelsperrholz (Abschnitt 4.2.2) bewusst ungünstig gespannt, sodass die kurzen Fasern zwischen den Buchstaben quer liegen und zu erkennen ist, wie sich der Fräser hier positiv auswirkt.



Abb. 4-12 Sauberes Ergebnis in Pappelsperrholz

Ein paar Fasern sind immer noch zu sehen, das lässt sich aber bei so weichem Holz nicht ganz vermeiden. Verglichen mit den beiden anderen Varianten ist dies klar das beste Ergebnis.



Abb. 4-13 Detailansicht der Kanten

4.3 Hartholz

Harthölzer wie Eiche, Buche oder Platane sind härter und stabiler als Weichhölzer. Hartholz muss mit mittleren Schnittgeschwindigkeiten und höheren Vorschüben gefräst werden und ist wie Weichholz einfach zu verarbeiten.

Bearbeitungsdaten	
Zahnvorschub f_z	0,01–0,1 mm
Schnitttiefe a_p	0,5–3 mm
Eingriffsbreite a_e	Nach Möglichkeit bis 50 % des Fräserdurchmessers
Eintauchgeschwindigkeit	5–10 mm/s
Fräsart	Wenn möglich Gleichlaufräsen
Fräser	
Zähne	1–2
Spiralisierung	Rechts- oder linksspiralig, spiralverzahnt
Material	Vollhartmetall
Beschichtung	Nicht notwendig
Kühlung	Bevorzugt Luftkühlung, aber auch ohne Kühlung gut handhabbar

Tab. 4-2 *Schnittdaten für Hartholz*

4.3.1 Beispiel 1 – Fräsen von massiver Buche (rechtsspiraliger Fräser)

Gefräst wird mit einem rechtsspiraligen 1-mm-Zweizahnfräser mit Spiralverzahnung und Fischeschwanzanschliff ohne Beschichtung. Für den Fräser liegen keine detaillierten Informationen vor und es werden die gleichen Einstellungen wie in Abschnitt 4.2.3 vorgenommen, die Drehzahl aber auf 25.000 U/min gesetzt. Der Vorschub wird mit 10 mm/s gewählt.



Abb. 4-14 Ergebnis in massiver Buche

Prinzipiell ist das Ergebnis sehr sauber, der Eindruck wird aber durch die ausgefransten Kanten getrübt und das Schnittbild sieht unsauber aus. Das lässt sich weiter verbessern, indem auch hier ein linksspiraliger Fräser mit Spiralverzahnung verwendet wird, wie Sie im nächsten Beispiel sehen werden.



Abb. 4-15 Vergrößerte Detailansicht der Kanten

4.3.2 Beispiel 2 – Fräsen von massiver Buche (linksspiraliger Fräser)

Ein zweiter Test mit einem linksspiraligen spiralverzahnten 1-mm-Zweizahnfräser mit Fischschwanzanschiff verbessert das Ergebnis deutlich. Die Einstellungen aus Abschnitt 4.3.1 wurden unverändert beibehalten.



Abb. 4-16 *Viel besser geht es nicht.*

Es ist hier sehr gut zu sehen, dass die Kanten nicht mehr ausfransen. Die Drehzahl war ein wenig zu hoch. Im Bogen des b und in der rechten oberen Kante des u hat sich das Holz leicht geschwärzt. Die Drehzahl sollte daher um vielleicht 1.000–2.000 U/min heruntersetzt werden.



Abb. 4-17 *Detailansicht der Kanten*

4.4 Acrylglas und Polycarbonat

Polymethylmethacrylat (PMMA) gehört zur Gruppe der Thermoplaste. Sie kennen dies vielleicht als Acrylglas oder unter der Markenbezeichnung Plexiglas. Ein ähnlicher Thermoplast ist Polycarbonat (PC), das auch unter dem Markennamen Makrolon bekannt ist. Beide Materialien gibt es als hochtransparente klare, gefärbte sowie als satinierte Varianten.

Acrylglas wird bereits bei 105° C und Polycarbonat bei 140° C weich. Beide müssen wie weiches Holz mit hohen Schnittgeschwindigkeiten und hohen

Vorschüben gefräst werden. Bereits bei niedrigen Temperaturen um die 100–150° C, die ein Fräser bei falschen Parametern schnell erreicht, schmilzt der Werkstoff und verklebt den Fräser, sodass dieser dann nicht mehr schneidet und durch seitlichen Druck abbricht.

Bearbeitungsdaten	
Schnitttiefe a_p	Bis 3 mm
Eingriffsbreite a_e	Nach Möglichkeit bis 50 % des Fräserdurchmessers
Zahnvorschub f_z	0,04–0,07 mm
Eintauchgeschwindigkeit	5–10 mm/s
Fräsart	Gleich- oder Gegenlauf
Fräser	
Zähne	1
Spiralisierung	Rechtsspiralig, für dünnere Platten linksspiralig
Material	Vollhartmetall
Beschichtung	Nicht notwendig
Kühlung	Luftkühlung, Wasserkühlung oder Unterwasserfräsen, aber auch ohne Kühlung gut handhabbar

Tab. 4-3 Schnittdaten für Acrylglas und Polycarbonat

4.4.1 Beispiel 1 – Fräsen von Acrylglas

Gefräst wird mit einem rechtsspiraligen 1-mm-Einzahnfräser mit Habichtschnabelanschiff ohne Beschichtung. Der Anbieter (Sorotec, L1S VHM Fräser 1-Schneider) gibt für den Fräser einen Zahnvorschub von 0,04–0,065 mm pro Umdrehung bei 32.000 U/min an. Da der Kress-Fräsmotor nur mit maximal 29.000 U/min dreht, wird die Drehzahl auf 29.000 (Stufe 6) eingestellt und der Zahnvorschub mit 0,05 mm gewählt.

Daraus ergeben sich ein Vorschub von 1.450 mm/min bzw. etwa 24 mm/s und eine Schnittgeschwindigkeit von etwa 91 m/min.



Abb. 4-18 *Ergebnis in Acrylglas*



Abb. 4-19 *Vergrößerte Detailansicht der Kanten*



Abb. 4-20 Rechtes oberes Ende vom u unter dem Mikroskop

Das Ergebnis ist sehr sauber und man erkennt selbst mit der Lupe kaum Fehler. Erst unter dem Mikroskop werden zum Beispiel an der oberen Kante Ungenauigkeiten von etwa 0,1 mm erkennbar. Hier war der Vorschub zu hoch, sodass der Fräser leicht aus der Bahn gedrückt wurde. Beim Abbremsen zum Wechseln der Richtung wurde dann ein wenig zu weit in die Ecken gefräst.

4.5 Hartschaumplatten

Hartschaumplatten aus Polyvinylchlorid oder Polystyrol sind sehr weich. Sie werden beispielsweise zur Herstellung von Schildern verwendet und sind in vielen Farben erhältlich. Hartschaumplatten müssen mit niedrigen Schnittgeschwindigkeiten und hohen Vorschüben gefräst werden.

Bearbeitungsdaten	
Schnitttiefe a_p	Bis 5 mm
Eingriffsbreite a_e	Nach Möglichkeit bis 50 % des Fräserdurchmessers
Zahnvorschub f_z	0,05–0,2 mm

Eintauchgeschwindigkeit	5–20 mm/s
Fräsart	Gleich- oder Gegenlauf
Fräser	
Zähne	1
Spiralisierung	Rechtsspiralig, für dünnere Platten linksspiralig
Material	Vollhartmetall
Beschichtung	Nicht notwendig
Kühlung	Luftkühlung, Wasserkühlung oder Unterwasserfräsen, aber auch ohne Kühlung gut handhabbar

Tab. 4–4 **Schnittdaten für Hartschaumplatten**

4.5.1 Beispiel 1 – Fräsen von PVC

Gefräst wird wie beim Acrylglas mit einem rechtsspiraligen 1-mm-Einzahnfräser mit Habichtschnabelanschiff ohne Beschichtung. Die Drehzahl wird auf 17.000 U/min (Stufe 3) eingestellt und der Zahnvorschub mit 0,1 mm gewählt.

Daraus ergeben sich ein Vorschub von 1.700 mm/min bzw. etwa 28 mm/s und eine Schnittgeschwindigkeit von etwa 53 m/min.



Abb. 4–21 **Ergebnis in PVC**

Auch hier zeigt sich ein gutes Schnittbild und es sind keine geschmolzenen Kanten erkennbar. Der Fräser ist auch weder mit Kunststoff verklebt noch ist er angelaufen.



Abb. 4-22 *Vergrößerte Detailansicht der Kanten*

Unter dem Mikroskop zeigt sich eine sehr saubere Kante. Durch die Struktur der aufgeschäumten Platten weisen weder die Bodenflächen noch die Seiten der Ausfräsungen Spuren des Fräsers auf.

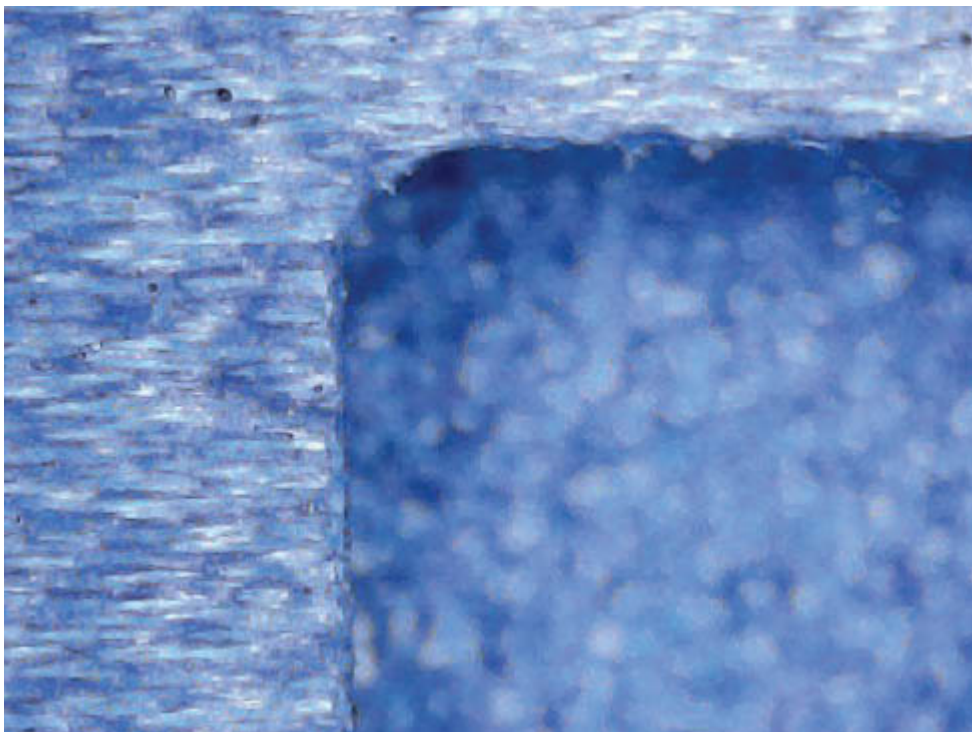


Abb. 4-23 *Rechtes oberes Ende vom u unter dem Mikroskop*

4.6 Gravierkunststoff

Gravierplatten aus Kunststoff bestehen aus zwei Platten in verschiedenen Farben, die miteinander verbunden sind. Fräst man durch die dünne Oberseite durch, erscheint die untere Platte. Diese Platten werden fast ausschließlich für Schilder verwendet.

Da die Oberseite nur wenige Zehntel Millimeter dick ist, wird in einem Durchgang mit einem Gravierstichel graviert. Alternativ kann zum Gravieren auch mit einem Fräser gearbeitet werden. Die Vorgehensweise ist hier dann wie bei Hartschaumplatten.

Bearbeitungsdaten	
Schnitttiefe a_p	0,1–0,4 mm
Eingriffsbreite a_e	Ergibt sich automatisch.
Vorschub $_{x,y}$	0,4–1,5 m/min, je größer a_p , desto kleiner der Vorschub
Eintauchgeschwindigkeit	5–20 mm/s
Fräsart	Gleich- oder Gegenlauf
Fräser	
Zähne	Gravierstichel mit 30–120° Spitze
Spiralisierung	keine
Material	Vollhartmetall
Beschichtung	Nicht notwendig
Kühlung	Luftkühlung, aber auch ohne Kühlung gut handhabbar

Tab. 4-5 *Schnittdaten für Gravierkunststoff*

Durch die Spitze des Gravierstichels wird der Schnitt breiter, je weiter der Stichel eintaucht. Im Umkehrschluss steigt die Drehzahl bei geringen Schnitttiefen schnell bis zu 60.000 U/min und mehr an, wenn beispielsweise nur noch mit einem Schneidkreis von 0,1 mm gefräst wird. Solche Drehzahlen erreichen die Fräsmotoren im Hobbybereich nicht und Sie müssen dann unterhalb der theoretisch benötigten Schnittgeschwindigkeiten fräsen.

4.6.1 Beispiel 1 – Gravieren von Gravierkunststoff

Graviert wird mit einem 60°-VHM-Gravierstichel (Sorotec, LGS.0060) bei einer Schnitttiefe von 0,4 mm, was einer Eingriffsbreite a_e von 0,6 mm entspricht. Da der Kress-Fräsmotor nur mit 29.000 U/min dreht, wird dieser auf höchster Stufe betrieben. Sorotec gibt bei dieser Einstellung 45.000 U/min und einen Vorschub von 0,6–1,0 m/min an.

Mit dem unteren Vorschubwert, also mit 10 mm/s, liegt die Schnittgeschwindigkeit trotz der niedrigen Geschwindigkeit noch in einem guten Rahmen. Damit der Gravierstichel das gesamte Material ausräumt, müssen Sie hier in WinPC-NC die Breite des Fräswerkzeugs mit 0,6 mm angeben.



Abb. 4-24 Fertiges Schild aus einer Gravierplatte

Das Ergebnis überzeugt auf ganzer Linie und bringt sehr saubere Kanten hervor. Lediglich der Boden der Buchstaben ist leicht mit Riefen versehen, die dadurch entstehen, dass der Gravierstichel am unteren Ende nur mit einer minimalen Spitze schneidet.



Abb. 4-25 Vergrößerte Detailansicht der Kanten

4.7 Aluminium

Unter den Modellbauern ist Aluminium sehr beliebt, da es sich nicht nur als Platten, sondern auch als Vollmaterial vielseitig einsetzen lässt. Durch die hohe Belastbarkeit und Temperaturstabilität lässt es sich vor allem gut für tragende Teile in Leichtbauweise verwenden.

Das Fräsen von Aluminium auf einer Hobby-Portalfräsmaschine verlangt der Maschine und dem Fräswerkzeug deutlich mehr ab als bei Holz oder Kunststoff. Reines Aluminium ist sehr weich und haftet leicht an Schneiden (Aufbauschneide) und in Nuten an und verschlechtert dadurch die Spanabfuhr und Schnitteigenschaften. Aluminiumlegierungen mit Metallen wie Kupfer, Magnesium, Mangan, Silizium und Blei verändern die Eigenschaften des Aluminiums und machen es härter oder fester oder verändern Schweißbarkeit und Eloxierbarkeit.

Zum Fräsen eignen sich am besten Legierungen mit guter Spanbarkeit:

- AlMg4,5Mn
- AlCuMgPB
- AlMgSiPb
- AlCuMg1

Bearbeitungsdaten	
Schnitttiefe a_p	Bis 0,5 mm
Eingriffsbreite a_e	Nach Möglichkeit bis 50 % des Fräserdurchmessers
Zahnvorschub f_z	0,001–0,01 mm
Eintauchgeschwindigkeit	0,5–1 mm/s
Fräsart	Gleich- oder Gegenlauf
Fräser	
Zähne	2–3 oder spezielle Einzahnfräser für Aluminium
Spiralisierung	Rechtsspiralig, für dünne Platten linksspiralig
Material	Vollhartmetall
Beschichtung	TiN, TiAlN, auch ohne Beschichtung
Kühlung	Minimalmengenschmierung, Kühlung mit Wasser-Spiritus-Lösung

Tab. 4-6 *Schnittdaten für Aluminium*

4.7.1 Beispiel 1 – Fräsen von Aluminium

Gefräst wird mit einem rechtsspiraligen 1-mm-Zweizahnfräser mit Fischeschwanzanschliff. Als Werkstoff wird AlCuMgPB verwendet. Der Kress-Motor wird auf 29.000 U/min (Stufe 6) eingestellt. Das entspricht einer Schnittgeschwindigkeit von etwa 90 m/min, was für dieses Aluminium viel zu niedrig ist und eigentlich bei 370–1.500 m/min liegen sollte.

Wegen des dünnen Fräasers und der viel zu niedrigen Drehzahl kann der Vorschub nicht optimal eingestellt werden. Auch sind der Fräsmaschine hier Grenzen gesetzt und es muss dafür gesorgt werden, dass die horizontale Kraft möglichst gering bleibt. Werte von 1–2 mm/s (60–120 mm/min), die einem Zahnvorschub von 0,002 mm entsprechen, liefern gute Ergebnisse.

Anders als bei den Hölzern und Kunststoffen wird hier mit einer geringen Einstechtiefe und wegen des dünnen Fräasers nur mit einer Zustellung von 0,2 mm gefräst. Mit dickeren Fräsern können Sie problemlos in einem Durchgang 2 mm Material abtragen. Sehr wichtig ist bei Aluminium das langsame Eintauchen,

das auf 1 mm/s eingestellt wird. Insgesamt nimmt das Fräsen mit diesen Einstellungen sehr viel Zeit in Anspruch und dauert etwa 4,5 Stunden.



Abb. 4-26 Fertiges Schild aus Aluminium

Das Ergebnis ist sehr gut. Der Boden wäre mit einem gerade angeschliffenen Fräser vielleicht sauberer geworden. In der seitlichen Ansicht in Abbildung 4-27 erkennt man aber gut, dass die Rillen nur eine sehr geringe Tiefe von vielleicht 1–2/100 Millimeter besitzen. Die Kanten sind perfekt.



Abb. 4-27 Vergrößerte Detailansicht

Interessant ist hierbei die Maßhaltigkeit, die bei den anderen Materialien weniger problematisch ist, da diese weniger Kraft am Fräser benötigen. Bei den hier verwendeten Parametern stimmt das Maß ($99,96 \times 20,00$ mm) nahezu exakt mit der Vorlage ($100,00 \times 20,00$ mm) überein.

Die Fräsdauer kann mit einer Zustellung von 0,3–0,5 mm vielleicht noch verbessert werden. Wie weit Sie hier gehen können, hängt auch vom Rundlauf des Fräsmotors, dem Spiel der Fräsmaschine und der Qualität des Fräasers ab.

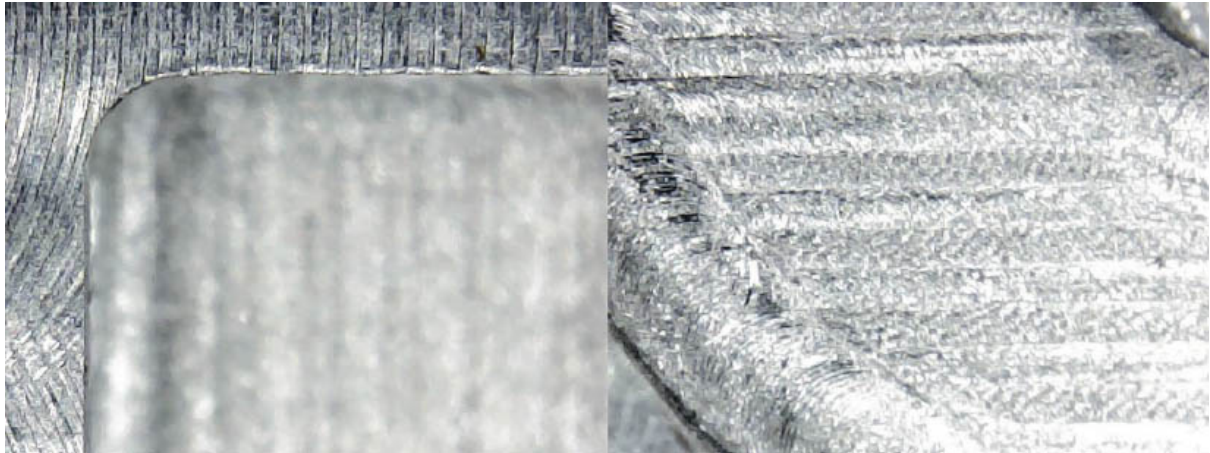


Abb. 4-28 Details unter dem Mikroskop

Unter dem Mikroskop erkennt man in Abbildung 4-28 sehr saubere und gerade Kanten und auch der Boden des sehr wellig aussehenden zweiten c erweist sich als fast glatt. Die Struktur ist hier durch die Umsetzung der Fräsbahnen entstanden, die abwechselnd gegenläufig sind.

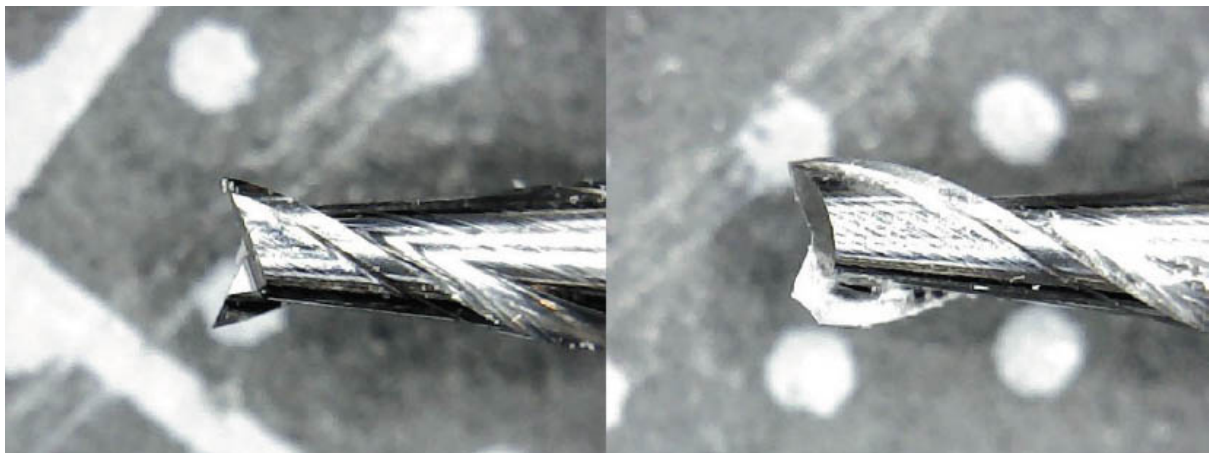


Abb. 4-29 Fräser vor und nach dem Test

Der Fräser hat zwar bis zum Ende durchgehalten und gleichbleibende Qualität erzeugt – das letzte Stück war das untere Drittel des dritten c –, unter dem Mikroskop zeigt sich aber, dass der Fräser nicht weiter zu gebrauchen ist. In anderen Positionen unter dem Mikroskop ist deutlich zu erkennen, dass sich keine Aufbauschneiden gebildet haben. Das spricht für den verwendeten Werkstoff und vernünftige Parameter. Von einem Zahn sind etwa 0,15 mm ausgebrochen und auch der andere ist leicht abgenutzt. Allerdings muss Folgendes berücksichtigt werden:

- Es wurde ein billiger Fräser (unter 4 Euro) verwendet.
- Das Werkstück wurde komplett trocken ohne Schmierung gefräst.

- Die Fräsvorlage war eine Plotdatei, die ohne CAM-Prozess direkt in WinPC-NC importiert wurde. Es fanden sehr viele Eintauchvorgänge statt, für die ein solcher Fräser für hartes Aluminium überhaupt nicht geeignet ist. Direktes Eintauchen in Aluminium ist generell ungünstig. Stattdessen sollten Eintauchstellen entweder vorgebohrt werden oder man verwendet eine Rampe zum seitlichen Eintauchen. Dazu wird aber ein komplexer CAM-Prozess notwendig.
- Die Schnittgeschwindigkeit war nicht optimal.
- Es wurde nicht zuerst mit einem größeren Fräser geschruppt.
- Bei der Zustellung von nur 0,2 mm wurde auch nur mit den unteren 0,2 mm des Fräasers, also etwa genau mit den feinen Zähnen, geschnitten. Allein für die 24 cm des Rahmens um die Schrift wurden somit bereits 2,4 m gefräst. In Summe kommen für das gesamte Werkstück sicherlich 10 m oder mehr zusammen. Für die insgesamt ungünstigen Konditionen ist das ein gutes Ergebnis.

Das Beispiel zeigt, dass man mit einer Hobby-Portalfräse auch Aluminium vernünftig und maßhaltig bearbeiten kann.

4.7.2 Beispiel 2 – Planfräsen von Aluminium

Durch Planfräsen trägt man bei einem Werkstückrohling die Oberfläche ab, um diese eben und glatt zu machen. Damit erreicht man, dass die Oberfläche überall denselben Abstand zur Fräuserspitze hat. Spannt man anschließend das Werkstück auf die plangefräste Fläche auf, kann die dann oben liegende Seite parallel und auf Maß gefräst werden.

Da in diesem Beispiel die ganze Fläche gefräst wird, ist der Durchmesser des Fräasers prinzipiell beliebig. Je größer aber dieser ist, desto sauberer werden die Oberflächen. Hier wird ein 6-mm-Zweizahnfräser mit flachem Anschliff (VHM-Fräser DIN 6535 HB 6 mm, Marke HOLEX) verwendet. Die Drehzahl des Kress-Motors wird auf 21.000 U/min (Stufe 4) eingestellt, was einer Schnittgeschwindigkeit von etwa 400 m/min entspricht. Die Zustellung wird auf 0,1 mm und der Vorschub auf 240 mm/min bzw. 4 mm/s eingestellt. Das entspricht einem Zahnvorschub von 0,01 mm. Höhere Vorschübe führen zu deutlich hörbaren Vibrationen. Sind größere Teile der Oberfläche zu entfernen, kann die Zustellung problemlos auf 0,5 bis 2 mm erhöht werden, dann sollte der Vorschub aber auf 2 mm/s reduziert werden. Der letzte Durchgang sollte immer nur mit 0,1–0,2 mm Zustellung erfolgen, um eine möglichst gute Oberflächenqualität zu erreichen.

Vor dem Fräsen wird geprüft, ob das Material nach dem Aufspannen an allen Ecken und in der Mitte etwa gleich hoch ist. Wenn es größere Abweichungen gibt, wird der Z-Nullpunkt an die höchste Stelle gesetzt und dann in mehreren Durchgängen plangefräst, bis die gesamte Fläche auf einer Ebene liegt.



Abb. 4-30 Plangefrästes Aluminiumprofil

Damit der Fräser nicht eintauchen muss, wurde die Vorlage zum Fräsen breiter als das Werkstück gemacht und der Fräsvorgang neben dem Werkstück in der Luft begonnen. Dazu stellen Sie den Nullpunkt zuerst wie gewohnt auf dem Werkstück ein, speichern dort aber nur den Z-Nullpunkt und bewegen den Fräser dann neben das Werkstück. Dieser Punkt wird dann als X-Y-Z-Nullpunkt gespeichert.

Das Ergebnis ist sehr gut und die Oberfläche sehr glatt mit geringer Welligkeit. Das Linienmuster entsteht dadurch, dass der Fräser die um 50 % überlappenden Bahnen abwechselnd in verschiedenen Richtungen fräst. Je nach CAM-Software kann man die Ausbildung der Linien durch unterschiedliche Fräsreihenfolgen beeinflussen.

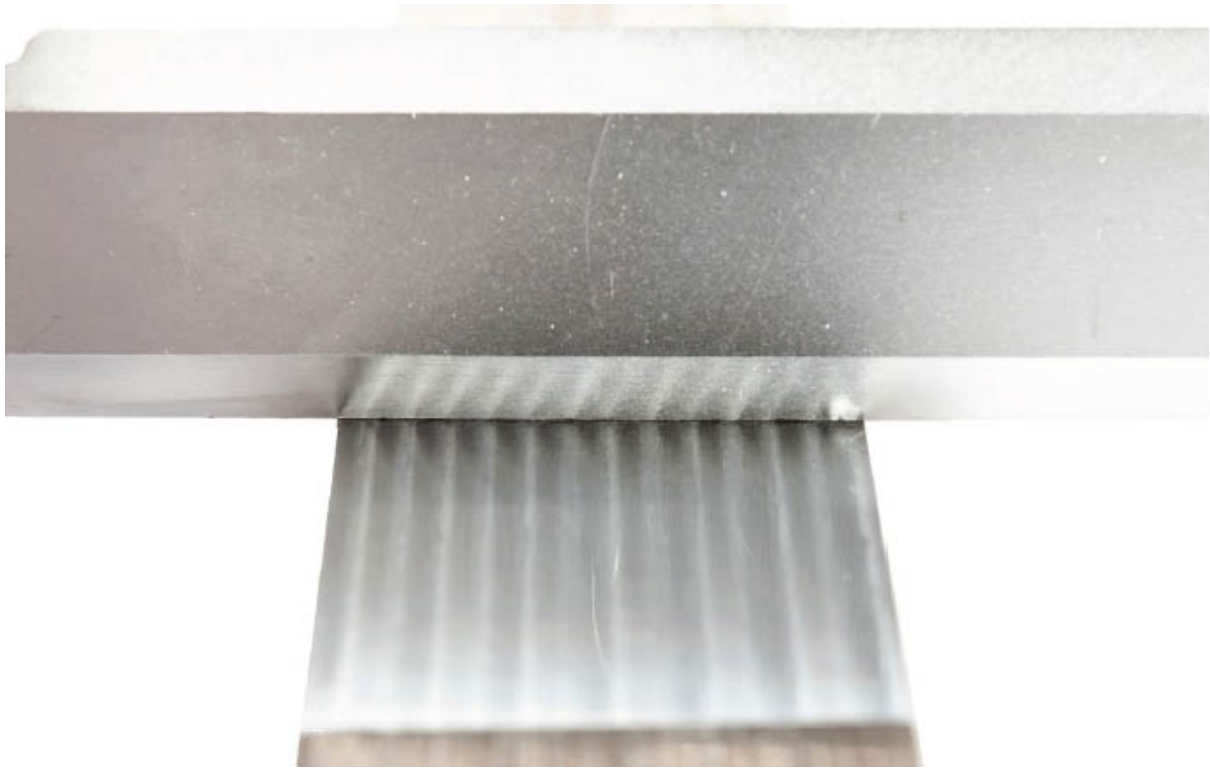


Abb. 4-31 *Minimale Welligkeit*

Unter dem Mikroskop erkennt man die sehr feinen Riefen, die der Fräser hinterlassen hat. Der Abstand zwischen zwei Linien entspricht dem Zahnvorschub und beträgt dementsprechend $1/100$ mm. Im unteren Bereich läuft die obere Spur mit einer gegenläufigen Spur zusammen.

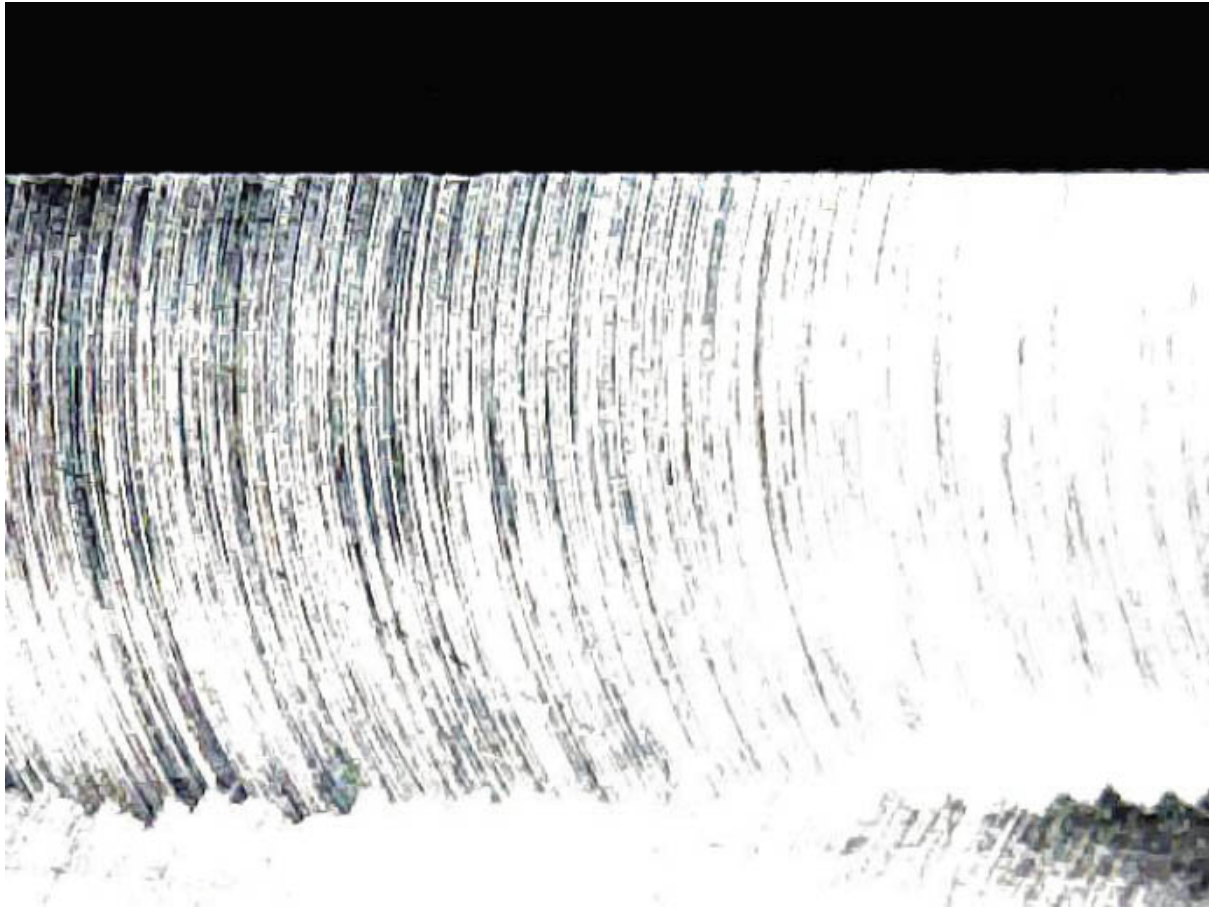


Abb. 4-32 Oberfläche unter dem Mikroskop

4.8 Messing

Messing kennen die meisten in Form von Schildern sowie von Beschlägen für Möbel und Türen. Im Modellbau wird es vor allem für den Bau von Lokomotiven und Dampfmaschinen verwendet, da es durch seine gute mechanische Polierbarkeit auf Hochglanz gebracht werden kann.

Messing ist eine Legierung mit den Hauptbestandteilen Kupfer und Zink. Wie bei Aluminium gibt es auch bei Messing Legierungen mit Blei, Aluminium, Mangan, Zinn und anderen Zusätzen, die die Eigenschaften des Messings verändern. Besonders gut zerspanen lassen sich Messinglegierungen mit Blei wie CuZn35Pb1 oder CuZn39Pb2 . Reines Messing ohne Zusätze ist schlecht spanbar und für das Fräsen nicht gut geeignet. Informieren Sie sich vor dem Kauf unbedingt über die genaue Legierung.

Messing ist schwieriger als Aluminium zu verarbeiten und wird bei dünnen Fräsern zum Geduldsspiel. Messingpartikel erzeugen abhängig von der Legierung genau wie Aluminium Aufbauschneiden.

Bearbeitungsdaten	
Schnitttiefe a_p	Bis 0,2 mm
Eingriffsbreite a_e	Nach Möglichkeit bis 50 % des Fräserdurchmessers
Zahnvorschub f_z	0,005–0,01 mm
Eintauchgeschwindigkeit	0,5–1 mm/s
Fräsart	Gleich- oder Gegenlauf
Fräser	
Zähne	2–3
Spiralisierung	Rechtsspiralig
Material	Vollhartmetall
Beschichtung	TiN, TiAlN, auch ohne Beschichtung
Kühlung	Kühlung mit Wasser-Spiritus-Lösung

Tab. 4-7 *Schnittdaten für Messing*

4.8.1 Beispiel 1 – Fräsen von Messing

Gefräst wird mit einem rechtsspiraligen 1-mm-Zweizahnfräser mit Fischschwanzanschliff. Als Werkstoff wird hier CuZn37, meist unter der alten Bezeichnung Ms63 bekannt, verwendet, da davon ein Reststück vorhanden ist. Diese Messingsorte ist nicht gut fräsbar, mit den richtigen Parametern und einer gut eingestellten Maschine funktioniert aber auch das.

Der Kress-Motor wird auf 29.000 U/min (Stufe 6) eingestellt. Das entspricht einer Schnittgeschwindigkeit von etwa 90 m/min und etwa der Hälfte der benötigten Schnittgeschwindigkeit. Als Zahnvorschub wird 0,001 mm gewählt, was einem Vorschub von 87 mm/min bzw. 1,45 mm/s entspricht. Die Zustellung wird auf nur 0,1 mm eingestellt. Vorherige Tests haben gezeigt, dass 0,2 mm mit dem hier verwendeten Fräser noch gerade eben möglich sind, aber bereits bei 0,3 mm Zustellung brach der Fräser in drei Versuchen ab.

Da die Zeit zur Herstellung des Schildes mit diesen Einstellungen etwa 14–15 Stunden dauern würde, wurde hier nur 1 mm tief gefräst. Das Schild ist nach rund sieben Stunden fertig.

Kühlung

Bei Messing sollten Sie unbedingt ein Kühlschmiermittel verwenden. Kühlschmierstoffe gibt es beispielsweise bei Jokisch (www.jokisch-fluids.de) fertig zu kaufen. Sie können aber auch die beliebten Hausmittel wie Mischungen aus Wasser und Spiritus oder Wasser und Spülmittel verwenden.

Zum Kühlen/Schmieren geben Sie regelmäßig sehr kleine Mengen direkt auf die gefräste Stelle. Das geht entweder mit einer Spritze oder einer ähnlichen Pumpvorrichtung oder aber mit einem weichen Pinsel. So verlängern Sie nicht nur die Lebensdauer Ihrer Fräser, sondern verhindern oder reduzieren die Anhaftung von Messingpartikel an Fräser und Werkstück. In Abbildung 4-34 erkennen Sie das gut am oberen Rand vom u.



Abb. 4-33 Fertiges Schild aus Messing

Das Messingblech wurde vor dem Fräsen nicht plangefräst. Die Konturen sind recht sauber geworden und die Bodenflächen sind mit denen des Aluminiumschildes vergleichbar. Das Werkstück ist aber weniger akkurat wie das aus Aluminium. Zum Beispiel ist der obere Bogen des b bei etwa 45° leicht außer Form geraten, weil der Fräser offensichtlich ins Material gewandert ist.

Das Beispiel dient lediglich dem Vergleich mit den anderen Materialien und in der Regel wird man Messingschilder gravieren. Um polierte Schilder herzustellen, sollte man die Oberfläche planfräsen und vor dem Gravieren polieren, da ein intensives Polieren nach dem Fräsen feine Details wieder verschwinden lässt.



Abb. 4-34 *Detailansicht der Kanten*

Unter dem Mikroskop erkennt man den Verschleiß des Fräasers, der bei dieser Beanspruchung völlig normal ist. Man darf nicht vergessen, dass der Fräser lediglich 1 mm Durchmesser hat. Die Abnutzung dürfte etwa $5/100$ mm betragen.



Abb. 4-35 Fräser neu (links) und nach der Bearbeitung des Messingschildes

4.9 Alu-Dibond

Alu-Dibond ist ein Verbundwerkstoff, dessen äußere Schichten aus Aluminium bestehen und der einen Kern aus Kunststoff oder mineralischem Füllstoff enthält. Die Platten wirken durch die echten Aluminiumfronten massiv, sind aber einfacher als massives Aluminium zu bearbeiten.

Zwar haben die zwei unterschiedlichen Materialien unterschiedliche Anforderungen an Fräser und Schnittgeschwindigkeit, doch lassen sie sich auch im Verbund recht einfach verarbeiten. Wichtig ist dabei vor allem, dass weder das Aluminium noch der Kern schmelzen und den Fräser verkleben.

Die Deckschichten sind bei dem hier verwendeten Alucobond nur 0,5 mm stark und aus recht weichem AlMg1. Bei Bedarf lässt sich problemlos die ganze Platte in einem Durchgang durchfräsen. Wie bei Gravierkunststoff kann auch nur die obere Schicht aus Aluminium weggefräst oder graviert werden, wodurch der Kern sichtbar wird. Das darunterliegende Material ist aber nicht sehr ansehnlich. Alu-Dibond wird für Schilder und Fotos als Trägermaterial benutzt und beklebt oder bedruckt. Außerdem wird es im Fassadenbau verwendet.

Bearbeitungsdaten	
Schnitttiefe a_p	0,1–2 mm
Eingriffsbreite a_e	0–100 %
Zahnvorschub f_z	0,005–0,05 mm
Eintauchgeschwindigkeit	0,5–1 mm/s
Fräsart	Gleich- oder Gegenlauf (Herstellerangaben des Werkstoffs beachten)
Fräser	
Zähne	1–2
Spiralisierung	Rechtsspiralig oder linksspiralig
Material	Vollhartmetall
Beschichtung	TiN, TiAlN, auch ohne Beschichtung bevorzugt mit polierter Nut
Kühlung	Kühlung mit einem geeigneten Kühlschmiermittel oder einer Wasser-Spiritus-Mischung (2/3:1/3)

Tab. 4–8 *Schnittdaten für Aluminium*

4.9.1 Beispiel 1 – Fräsen von Alu-Dibond

Gefräst wird mit einem rechtsspiraligen 1-mm-Zweizahnfräser mit Fischschwanzanschliff. Die Drehzahl für den Kress-Motor wird auf 21.000 U/min (Stufe 4) eingestellt, was einer Schnittgeschwindigkeit von etwa 66 m/s entspricht. Der Vorschub wird mit 2 mm/s gewählt und damit ein Zahnvorschub von 0,005 erreicht. Da das Material relativ weich ist, wird der Schriftzug wie beim Weichholz in zwei Durchgängen gefräst – 1,5 mm Eintauchen und danach 0,5 mm schlichten. Da das Aluminium im Vergleich relativ hart ist, wird die Eintauchgeschwindigkeit auch hier auf nur 1 mm/s festgelegt.



Abb. 4-36 Das Schild aus Alu-Dibond (Alucobond mit Kupfer-Design)

Das Ergebnis ist gut, nur das matte Grau – selbst wenn der Boden glatt wäre – sieht nicht besonders gut aus. Die Kanten sind sehr sauber, allerdings fasert der Kern.

Gut erkennbar ist das, was auch Alucobond in den Bearbeitungshinweisen angibt: Der Rahmen wurde gegen den Uhrzeigersinn gefräst, also die Innenkante im Gleichlauf und die Außenkante im Gegenlauf. Die *Gutseite* ist dabei innen und man erkennt deutlich die saubere Innenkante und die weniger saubere Außenkante.

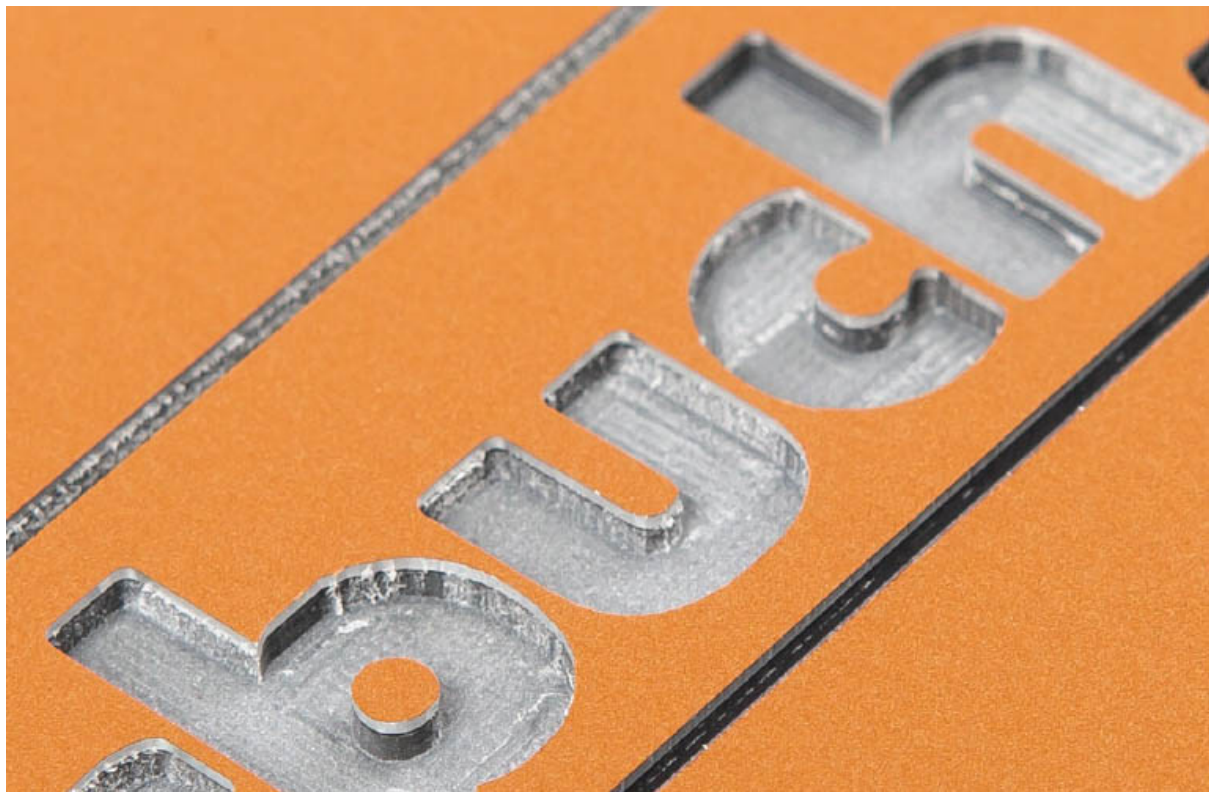


Abb. 4-37 Vergrößerte Ansicht der Kanten

Die gewählten Parameter passen insgesamt gut und man sieht, dass der Fräser keinen großen Schaden genommen hat.



Abb. 4-38 Neuer Fräser vor der Alu-Dibond-Bearbeitung (links) und nach dem Fräsen (rechts)

4.10 Glas

Im Internet und in Foren scheiden sich die Geister, ob man Glas fräsen kann oder nicht und wenn ja, ob es sich dann nicht um Schleifen handelt. Streng genommen kann man mit einem Fräser nicht Schleifen, da Schleifen definitionsgemäß nur mit einer geometrisch unbestimmten Schneide möglich ist. Aber Schleifen gehört auch zu den spanenden Fertigungsverfahren.

Die Antwort dazu ist schlicht und einfach: Ja, man kann Glas fräsen und nicht nur gravieren oder bohren. Das geschieht im großen Stil unter anderem bei der Herstellung von optischen Gläsern in der Industrie und es ist auch mit Ihrer CNC-Fräse möglich.

Da Glas hart und vor allem spröde ist, verursacht jede Beschädigung Risse, die mit zunehmender Spannung durch die einwirkende Kraft größer werden. Beim Fräsen von Glas ist daher oberstes Gebot, Spannungen im Material durch das Einwirken des Fräasers, aber auch durch das Aufspannen komplett zu vermeiden

und eine Rissbildung auf einen minimalen lokalen Bereich direkt am Fräser zu reduzieren.

Zum Eintauchen in das Material bohren Sie die Eintauchstellen immer mit einem Glasbohrer vor oder fahren Sie mit dem Fräser seitlich in das Material ein. Damit das funktioniert, müssen Sie festlegen, wie und wo das passiert. Da mit sehr kleinen Vorschüben und somit sehr geringen Kräften gefräst wird, können Sie auch dickere Glasplatten in einem Durchgang durchfräsen.

Sehr wichtig sind die Kühlung des Fräasers und die Beseitigung der Späne. Zum einen setzen die Späne dem Fräser schnell zu und zum anderen wirken sie wie Schleifpapier. Das ist nicht nur schlecht für den Fräser, sondern auch für die Maschine, da der feine Glasstaub sich auf Spindeln und Lagern absetzt und diese auf Dauer beschädigt. Abgesehen davon sind feine Glasstäube gesundheitsschädlich. Entweder verwenden Sie hier eine Überlaufkühlung oder fräsen im Wasserbad.

Für das Beispiel hier wurde die Fräsbahn mit Estlcam erzeugt. Damit wurde auch festgelegt, dass der Fräser seitlich in das Glas fährt. Das Beispiel dient lediglich dazu, die richtigen Parameter zu wählen.

Bearbeitungsdaten	
Schnitttiefe a_p	Voll
Eingriffsbreite a_e	0–100 %
Zahnvorschub f_z	0,0005–0,001 mm
Eintauchgeschwindigkeit	Vorbohren oder seitlich, nicht vertikal eintauchen
Fräsart	Gleich- oder Gegenlauf (Herstellerangaben des Werkstoffs beachten)
Fräser	
Zähne	Spiral- oder diamantverzahnt
Spiralisierung	–
Material	Vollhartmetall
Beschichtung	Diamantbeschichtung oder andere kristalline Beschichtung

Tab. 4-9 *Schnittdaten für Glas*

Als Beispiel wird zur Demonstration aus einem Stück Fensterglas mit 4 mm Stärke ein Teil eines Rechtecks mit 10-mm-Radien an den Ecken gefräst. Zum Einsatz kam ein diamantverzahnter 2-mm-VHM-Fräser mit polykristalliner Diamantbeschichtung. Die Drehzahl wurde mit 25.000 U/min (Kress-Motor Stufe 5) bei einem Vorschub von 30 mm/min bzw. 0,5 mm/s gewählt.



Abb. 4-39 *Das kann auch ein Glaser nicht besser.*

Der Rohling mit ungeraden und ausgebrochenen Kanten wurde mit doppelseitigem Klebeband auf eine Kunststoffplatte und diese auf den Boden des Wasserbads geklebt. In Abbildung 4-39 sehen Sie links oben die Schräge, an der der Fräser von außen seitlich eingefahren ist. Die Kanten sind sehr sauber und an den Seiten sind fast keine Spuren des Fräsers zu erkennen.

Index

Symbole

2,5D-Fräsen 38, 267

2D-Fräsen 171

2D-Modelle 38

3-Achsen-Fräsmaschine 3

3D-Druck 43

3D-Drucker 24

3D-Fräsen 37

A

Absaugadapter 218

Absaugung 218

Absaugvorrichtung 214

Acrylglas 184

Aerosole 163

Alu-Dibond 201

Aluminium 191

Aluminiumlegierungen 191

Anschluss 123

Ätzverfahren 252

Aufbauschneiden 170

Aufnahmeform 155

Ausrichten der Spindeln 122

Auswahl 50

Auswahlprozess 51

Axialspiel 14

B

Bearbeitungsgeschwindigkeit 152

Bohrnitrit 156

Brand 46

Brandgefahr 215

Buche 182

C

CAD 35

CAD-Programme 38

CAM 39, 137, 272

CAM-Programme 41

CBN 156

CNC-Fräsen 35

CNC-Fräsmaschinensteuerungen 43

Computer-Aided Design 35

Computer-Aided Manufacturing 39

D

Diamantverzahnt 166

Drehzahlbereich 12

Druckluftkühlung 162

E

Eagle 252

Eingriffsbreite 159

Einschneider 153

Einstehtiefe 145

Einzahnfräser 153

Eisen-3-Chlorid 252

Elektrischer Strom 45

Entstaubung 25

Ersatzteile 286

Erweiterungen 207

Estlcam 272

F

FDM-3D-Druck 44

Fertigungsverfahren 2

Filamente 44

Fischschwanzanschiff 165

Flächenmodell 38

Fliehkraftabscheider 215
Formfräser 169
Fräsarten 17, 255ff
Fräsen 2
Fräsmotor 10
Fräswerkzeugarten 20
Fräswerkzeuge 16, 45, 151ff
Freiwinkel 17

G

G-Code 41
Gefahren 44
Gefährliche Stoffe 46
Gegenlaufräsen 169
Gegen- und Gleichlaufräsen 19
Gehäuse 28, 208
geometrisch bestimmte Schneide 2
gerade Nut 153
Gewindeformen 13, 14
Gewindespindeln 13
Glas 204
Gleichlaufräsen 169
Gleitmuttern 222
Glutnester 46
Gravierfräser 167
Gravierkunststoff 189
Gravierplatten 189
Gravierstichel 167, 253

H

Habichtschnabelanschliff 166
Hartholz 182
Hartmetall 155
Hartschaumplatten 187
Hartstoffbeschichtet 168
Harzentferner 170
Hausstaubsauger 25

Heißschneider 24, 32
Hepa-Filter 25
HF-Spindel 10
High Efficiency Particulate Arrestance 25
Hilfskonstruktionen 36
HM 155
Hochdruckkühlung 163
Hochfrequenzspindel 10
HPGL 38
HS 155
HSS 155

I

Industriestaubsauger 217
Isolationsfräsen 227, 226, 21

K

Keilwinkel 17
Kenngößen 152
Konfiguration 232
Konstruktion 35
Konstruktionshilfen 36
Kosten 50
Kristallbeschichtet 168
Kryogene Kühlung 163
KSS 23
Kugel-umlaufgewinde 15
Kühlschmierstoff 23
Kühlung 23, 161

L

Langlöcher 223, 280
Langlochfräser 21
Läppen 167
Laser-Cutter 24
Laufrollen 64
LEDs 124, 134

Linearführung 16
Linksspiralig 154, 167
linksspiralige Nuten 154
LPT-Anschluss 43
Luftmengenregulierung 220

M

M31 237
Manuelle Kühlung 164
manuelle Steuerung 135
Manuell Fahren 147
Maschinengehäuse 28
Maschinenprogramm 41
Maschinenschraubstock 228, 8
Maschinensteuerung 42
Maschinentisch 8
MDF 177
Messerkopf 21
Messing 197
Messinglegierungen 197
Mindermengenschmierung 23
Minimalmengenschmierung 23, 162
MKD 168
MMS 23
modulare Zerspanung 156
Montage 61

N

Natriumpersulfat 252
Niederhalter 8
Notausschalter 246
Nullpunkt 147
Nuten 153
Nutenfräser 21
Nutentisch 26

O

Oberflächengüte 152
Opferplatte 9
Oszillierendes Tangentialmesser 24

P

Pappensperrholz 178
PCB-GCode 255
Pflege 170
PKD 156
Planfräsen 195, 280
Platinen 21
Platinenhalter 227
Plotter 24, 32
Polieren der Spannutt 167
Polycarbonat 184
Polykristalliner Diamant 156
Portal 6
Portalfräsen 6
Portalfräsmaschine 6
Prismenfräser 21
Profilfräser 21
PVC 187

R

Radial- und Axialspiel 14
Radiusfräser 167
Rattermarken 19
rechtsspiralig 153
Rechtsspiralige Nuten 153
Reitstock 31
Rollenführung 15
Rundlauf 12
Rundtisch 31

S

Schaftfräser 165
Scheibenfräser 21

Schleppmesser 24, 33
Schlichtfräser 20
Schmierung 161
Schneidöl 23
Schneidplatte 156
Schneidstoffe 155
Schnellarbeitsstahl 155
Schnittdaten 174
Schnittgeschwindigkeit 16, 157
Schnittlänge 155
Schnitttiefe 159
Schraubstock 27
Schrittmotoren 16
Schruppfräser 20
Sicherer Arbeitsplatz 48
Sicherheit 44
Sonderlängen 168
Spanbrecher 17
Spannblöcke 222
Spanneisen 222
Spannen 174
Spannmittel 27
Spannpratzen 9, 222, 27
Spannsystem 27
Spannvorrichtungen 8
Spanwinkel 17
Spindel 10
Spiralverzahnt 166
Standard Tessellation Language 39
Standard Triangulation Language 39
Standzeit 152
Statusanzeige 124
Staubexplosion 46
Staubklasse 47
Staubklasse L 216

Staubsauger 216
Steuerungsprogramm 42
Stirnanschliff 165
Stirnfräsen 17
STL-Format 39, 272

T

Taschen 280
TiAlN 156
TiN 156
Titan-Aluminium-Nitrid 156
Titankarbid 156
Titan-Nitrid 156
T-Nutenplatte 221, 26
T-Nutentisch 221
Tool Length Sensor 237

U

Überlaufkühlung 163
UC100 129
UCCNC 128
ULP 255
Umfangs- oder Wälzfräsen 17
Umkehrspiel 15
Unterwasserfräsen 164, 242, 263
Urformen 43
User Language Program 255

V

Vakuumtisch 10
V-Einstecken 145
Verletzungen 45
VHM-Fräser 156
Vibrationen 19, 155, 263
vierte Achse 31
Vorschub 157
V-Vorschub 145

W

Walzenfräser 21

Walzenstirnfräser 21

Wartung 149

Wasserbad 242

Weichholz 176

Werkstoffe 34

Werkstücknullpunkt 147

Werkzeuge 62

Werkzeu glängensensor 229, 28, 237

Werkzeugvorschub 13

Wiederholungen 141

Winkelfräser 21

WinPC-NC 43, 121ff, 232

Wolframkarbid 155

Z

Zähne 153

Zentriernuten 27

Zustellung 18, 145

Zweischneider 153

Zweizahnfräser 153