



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

IFQ



FabLab
ego.-INKUBATOR

FABLAB

ANLEITUNG ZUR BENUTZUNG DER FRÄSMASCHINE



Für eine erleichterte Einarbeitung in die CNC-Welt | PaTe IFQ-9



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG



FabLab
ego.-INKUBATOR

Inhalt

Vorbereitung.....	1
Arbeitsumfeld.....	1
Hardware.....	2
Software.....	5
Zettelmethode.....	8
Kreidemethode.....	8
Fräsvorgang.....	9
Werkzeugwechsel.....	10
Nachbereitung.....	11
Fräsmaschine.....	11
Werkstück.....	11
Software.....	12
Arbeitsumfeld.....	12
Fertiges Erzeugnis.....	12
Exkurs zu den G-Codes und M-Codes.....	13

Bedienung der CNC-Fräsmaschine



Vorbereitung

Arbeitsumfeld

Zunächst ist sicherzustellen, dass folgende Objekte am Arbeitsplatz vorhanden sind. Für jeden Teilnehmer müssen ein **Gehörschutz** und eine **Schutzbrille** parat liegen, da weder für die Werkzeugmaschine, noch für die Absaugung eine Schutzkabine installiert ist. Weiterhin sollten zwei **Gabelschlüssel** mit markierten Seiten in der Nähe der Fräsmaschine liegen. Diese werden für das Lösen und Festziehen der Überwurfmutter an der Werkzeugspindel benötigt.



Danach sollte überprüft werden, ob genügend **Kühlschmiermittel** im entsprechenden Behälter vorhanden ist. Dieser Schritt ist jedoch nicht von Relevanz, wenn das Rohmaterial Holz ist, da es bei diesem Material bei Benutzung des Sprühnebels zu Quellvorgängen kommen kann.



Falls keine oder kaum Flüssigkeit im Behälter vorhanden sein sollte, ist beim Betreuer um Nachfüllung des Isopropanols zu bitten.

Hardware

Die Vorbereitung der Fräsmaschine läuft wie folgt ab.

Zunächst wird der **Netzstecker** in die freie Steckdose eingeführt.

Danach wird mit einem Blick auf den **Durchflussindikator**, welcher sich auf der linken Tischunterseite befindet, sichergestellt, dass die Werkzeugspindel mit Kühlmittel durchflossen wird.

Wichtig: Falls dies nicht der Fall sein sollte, ist umgehend beim zuständigen Betreuer Bescheid zu geben.



Im Anschluss wird bereits die Einspannung des **Rohmaterials** vorgenommen.

Hierbei ist darauf zu achten, dass eine Opferplatte unter das Rohteil gelegt werden muss. Diese dient der zerstörungsfreien Weiterverwendung der genutzten Spannmittel bzw. der Arbeitsfläche und dem kompletten durchfräsen des Rohmaterials.

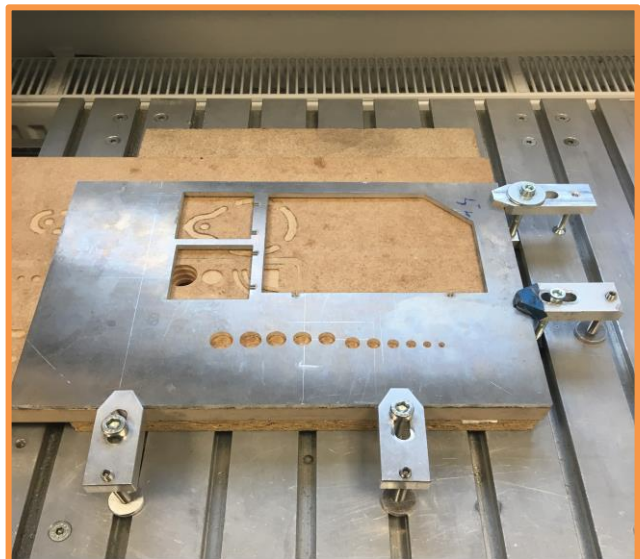


Die **Einspannung** ist durch die Verwendung einer Opferplatte etwas komplizierter.

Am wichtigsten ist es darauf zu achten, dass das Rohmaterial erst einmal fest eingespannt wird.

Das sorgt einerseits dafür, dass ein genaueres Ergebnis entsteht und andererseits dient es dem Schutz der Fräsmaschine und dem unmittelbaren Umfeld. Das Werkstück soll sich nicht während des Fräsvorgangs von der Verspannung lösen können.

Generell ist eine ausgewogene Einspannung zu erzielen. Wenn Werkstücke zu fest eingespannt werden, kann es unter Umständen zu Verformungen kommen, die das Ergebnis negativ beeinflussen.



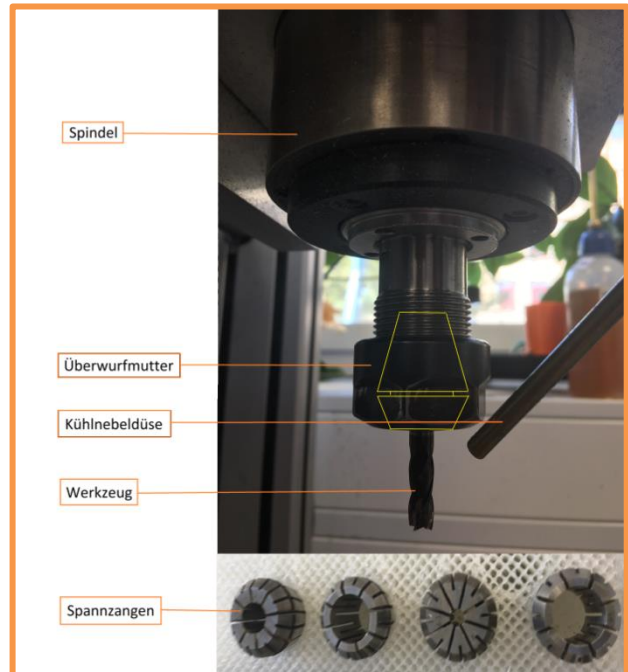
Nachdem das Rohmaterial entsprechend gut eingespannt wurde, wird nun das **Spannwerkzeug** eingerichtet.

Zuerst wird das entsprechende Spannwerkzeug aus der obersten Schublade des PC-Schranks entnommen.

Dazu passend muss eine **Spannzange** aus dem Etui entnommen werden.

Die Spannzangengröße richtet sich nach dem Schaftdurchmesser des verwendeten Werkzeugs.

Da nicht für jeden einzelnen Durchmesser eine separate Spannzange vorhanden ist, werden manche Werkzeuge erst mit dem Einspannen fest. Es wird bei manchen Werkzeugen so sein, dass es ohne Einspannung nicht passend aussieht, allerdings decken die vorhandenen Spannzangen alle vorhandenen Werkzeugdurchmesser ab.



Die **Installation der Spannzange** ist prinzipiell sehr einfach.

In der Überwurfmutter befindet sich ein exzentrischer Ring, der es ermöglicht die Spannzange in Position zu bringen. Dazu befindet sich in der Spannzange eine Umlaufkerbe.

Um die Paarung zusammenzuführen, muss die Spannzange schräg in die Überwurfmutter eingelegt und danach aufgerichtet werden. So wird sich die Spannzange unter dem Ring einklemmen.



Wenn die Spannzange vorbereitet ist, wird diese mit den ersten Windungen auf die Spindel geschraubt.

Danach wird das **Werkzeug** eingeschoben und von einer Person festgehalten, wenn es nicht von selbst hält. Es ist so weit einzuschieben, dass nur noch die Schneide herausguckt.

Erst dann kann von einer zweiten Person die Überwurfmutter weiter aufgeschraubt und mit Hilfe der markierten Gabelschlüssel festgezogen werden.



Um Spanreste aus dem Weg zu räumen und die Wärme, die durch den Fräsprozess am Material und am Werkzeug entsteht, abzuleiten, ist einerseits eine **Absaugung** und andererseits eine **Sprühnebdüse** installiert.

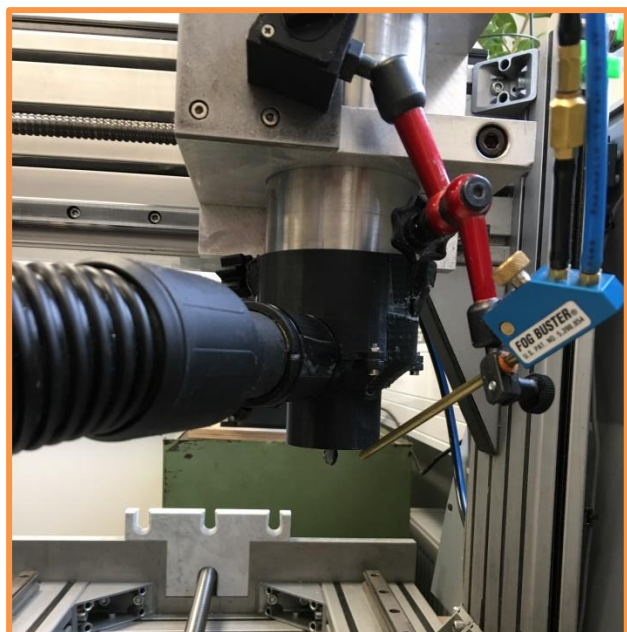
Zu diesem Zweck wird der **Absaugungsaufsatz** einfach auf die Spindel geschoben und mit der Schraube an dieser fixiert. Danach kann der Schlauch des Industriestaubsaugers angeschlossen werden.



Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Schlauch den Fräsvorgang nicht behindert.

Die **Sprühnebdüse** ist an einem Arm, der sich magnetisch an der Spindel fixiert, angebracht.

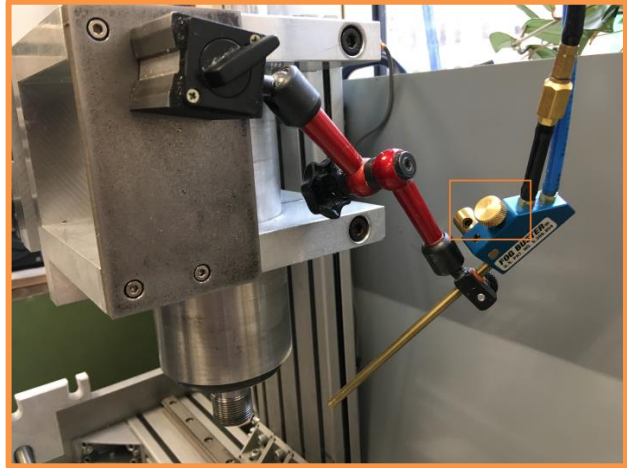
Die Öffnung der Düse ist immer auf die Spitze des Werkzeugs auszurichten, um eine bestmögliche Kühlung herbeizuführen.



Wichtig: Wenn mit **Aluminium** gearbeitet wird, muss zusätzlich zum Luftstrom die Kühlschmiermittelzufuhr eingestellt werden. Dies geschieht über eine gerändelte Daumenschraube, welche sich am oberen Teil der Düse befindet.

Die Anpassung der Durchflussmenge ist jedoch erst am Anfang des Fräsprozesses zu tätigen.

Es ist davon abzusehen diese bei **Holz** einzuschalten, da sie das Material zum Quellen bringt, was zu einem negativen Einfluss auf die Qualität führt.



Software

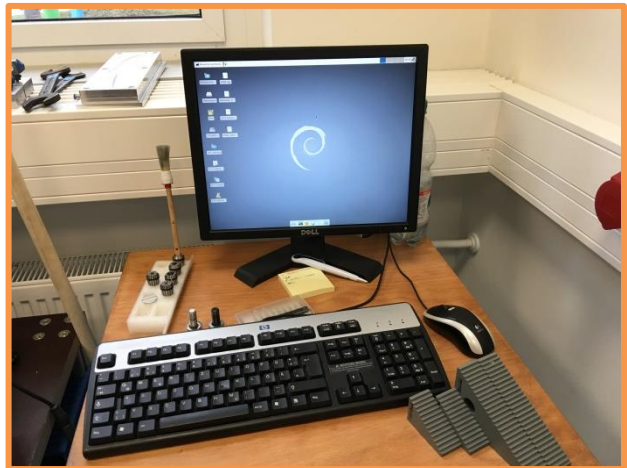
Zuerst wird der PC hochgefahren. Das Betriebssystem ist zwar eine Linux-Distribution, aber unterscheidet sich in der Bedienung nur minimal von Windows.

Anmeldedaten:

Nutzer: *fablab*

Passwort: *fablab*

Auf dem Desktop, der bei Linux „Arbeitsfläche“ heißt, kann anschließend die Steuerungssoftware mit Hilfe des „Pinguin“-Icons geöffnet werden. (Titel: **NTG FabLab starten**)



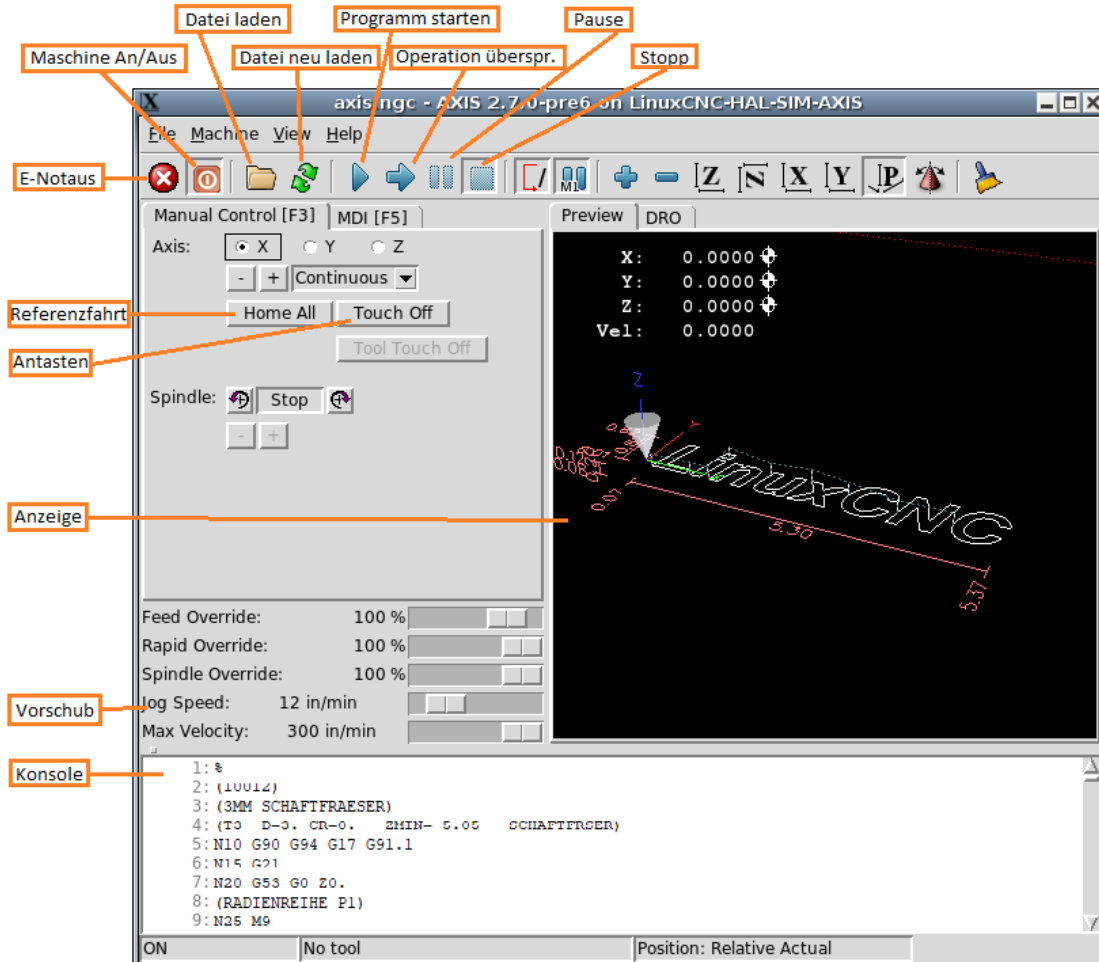
Wenn die Software geladen wurde, kann nun der Notaus-Schalter auf EIN gestellt werden. Das geschieht durch eine Drehung im Uhrzeigersinn.

Wichtig: Bei jeglichen größeren Problemen im Fräsvorgang sollte dieser Schalter betätigt werden, um größere Schäden an Mensch und Maschine zu vermeiden.

Exkurs: Es gibt zwar auch in der Steuerungssoftware Möglichkeiten zur Abschaltung, allerdings können diese bei Fehlfunktionen der Maschine einerseits nicht gewährleistet werden und andererseits ist eine grobmotorische Hand-/Armbewegung schneller auszuführen als eine feinmotorische Bedienung der Computer-Peripherie.



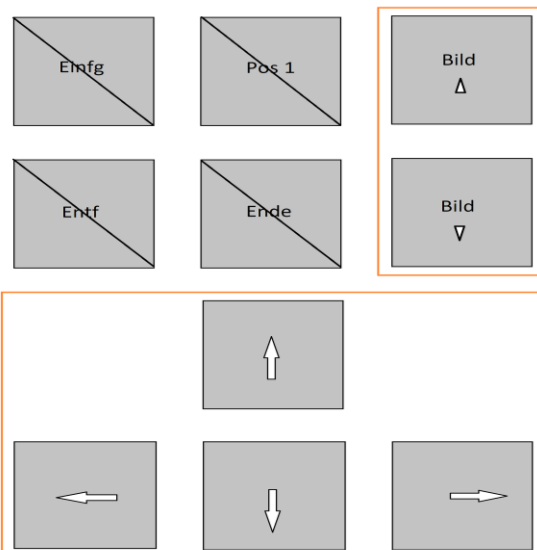
Das **LinuxCNC-Betriebssystem** ist darauf ausgelegt eine **CNC-Maschine** zu bedienen. Dazu wurden passende Schnittstellen implementiert, die mit einer graphischen Benutzeroberfläche angesteuert werden. im Falle der Lehrfräsmaschine ist es **Axis 2.7.0**



Die Möglichkeiten reichen dabei von der manuellen **Steuerung** der Fräsmaschine **via Tastatureingaben** über das Erstellen von einzeln ausführbaren G-Codes bis hin zur Interpretation von ganzen G-Code-Dateien zum halbautomatischen Fräsen. Die manuelle Steuerung wird allerdings immer zum Antasten des Werkzeugs benötigt.

Manuelle Steuerungstasten

X-Richtung:
Pfeiltasten - Links [+] / Rechts [-]
Y-Richtung:
Pfeiltasten - Hoch [+] / Runter [-]
Z-Richtung:
Bild-Auf [+] / Bild-Ab [-]



Aber bevor das Werkzeug angetastet wird, sollte die zuvor erstellte **G-Code-Datei** in die Software geladen werden. Diese sollte vom Wechseldatenträger auf die „Arbeitsfläche“ kopiert werden und nicht direkt vom Datenträger gestartet werden.

Um die Datei auszuwählen, wird das **Ordnersymbol** in Axis gedrückt und zur Arbeitsfläche, durch Drücken des **Ordner-Aufwärts-Buttons**, navigiert.

Wenn die G-Code-Datei geladen wurde, sollte das Modell im Anzeigefenster von Axis angezeigt werden. Falls das Modell nicht das gewünschte Ergebnis widerspiegelt, sollte die Datei überprüft werden.

Im Falle der korrekten Darstellung wird nun mit der Betätigung der entsprechenden Schaltfläche die Maschine eingeschaltet und darauf folgend eine **Referenzfahrt** ausgeführt.

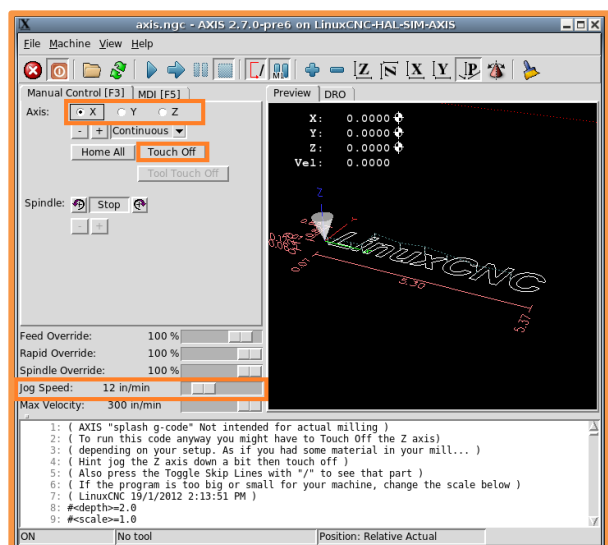
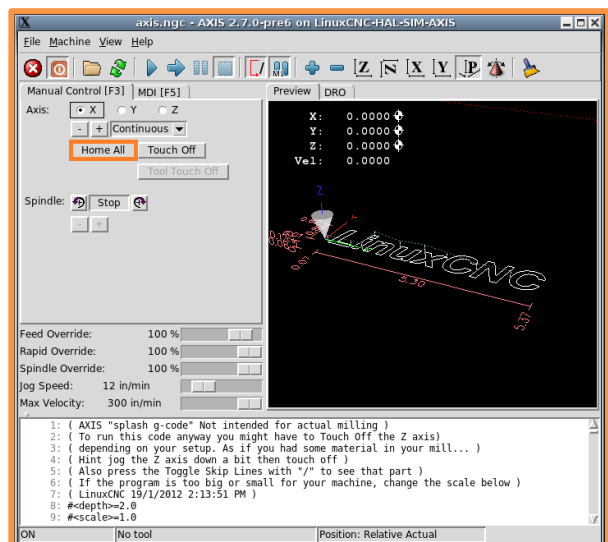
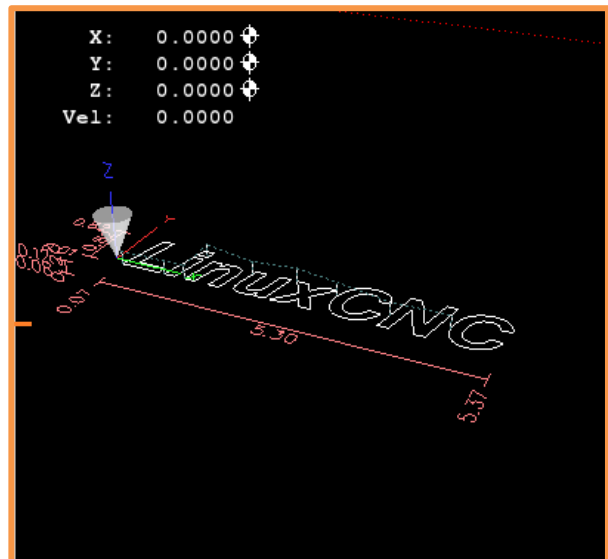
Referenzfahrt:

Bei der Referenzfahrt bewegt sich das Werkzeug zum Punkt $(X, Y, Z) = (0, 0, 0)$, um das Koordinatensystem der Maschine auszurichten.

Um den Koordinatenursprung des zu fräsenden Modells in dem eben eingerichteten Koordinatensystem zu platzieren, wird das Werkzeug mit Hilfe der Steuerungstasten zu dem in CAM vordefinierten Punkt auf dem Rohmaterial bewegt. Dazu kann die Schrittgeschwindigkeit mit dem Regler auf 1000 mm/min gestellt werden.

Allerdings ist zu beachten, dass die Werkzeugspitze in Z-Richtung bei Rohteil-Oberkante + 10mm belassen wird. Dort angekommen wird mittels der entsprechenden Schaltfläche die **X- und die Y-Position** angetastet.

Dazu wird jeweils die Achse ausgewählt, auf „Antasten“ gedrückt und als Wert „0.000mm“ bestätigt.



Für das (halbwegs) präzise **Antasten** der **Z-Position** wird die Schrittgeschwindigkeit auf 50-80 mm/min und die „Zettelmethode“ oder die „Kreidemethode“ angewendet.

Zettelmethode

Zur Bestimmung wird ein handelsübliches Papier benötigt, welches in der Regel 0,08mm dick ist.

Schritt 1:

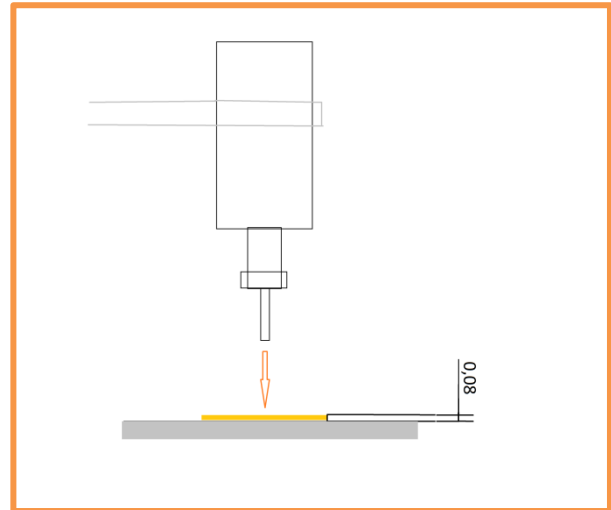
Ein Stück Papier wird auf das Rohteil unterhalb der Werkzeugspitze platziert.

Schritt 2:

Das Werkzeug wird nun Stück für Stück weiter heruntergefahren, bis das Papier durch das Werkzeug an der Hin- und Herbewegung gehindert wird.

Schritt 3:

Die Antasten-Taste für die Z-Achse wird gedrückt und der Wert „0.080“ eingetragen.



Es gibt noch eine weitere Option zum manuellen Antasten. Diese funktioniert zwar nicht mit allen Fräswerkzeugen, sollte aber dennoch Erwähnung finden.

Kreidemethode

Die Kreidemethode „kann“ eine genauere Bestimmung der Z-Höhe ermöglichen und funktioniert folgendermaßen.

Schritt 1:

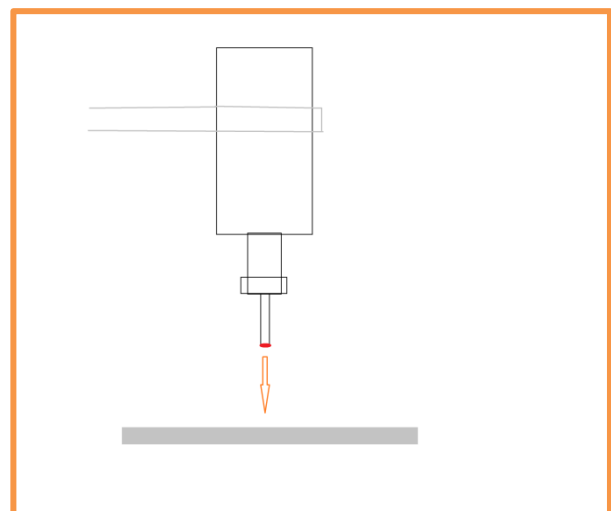
Die Spitze des Fräswerkzeugs wird mit etwas Kreide versehen.

Schritt 2:

Das Werkzeug wird Stück für Stück heruntergefahren und währenddessen in X-Richtung hin und her bewegt.

Schritt 3:

Wenn auf dem Rohteil eine Kreidespur zu erkennen ist, wird die Antasten-Taste für die Z-Achse gedrückt und der Wert „0.000“ eingetragen.



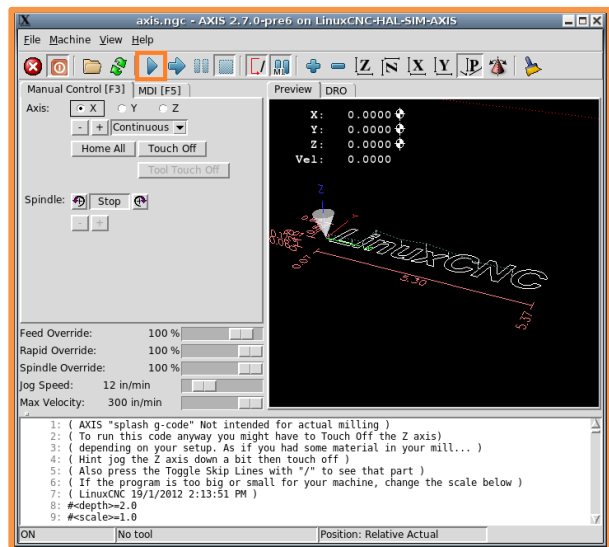
Problematik: Nicht jedes Werkzeug kann die benötigte Menge an Kreide mit der Spitze aufnehmen. (Beispiel: Gravierstichel)

Fräsvorgang

Bevor die G-Codes ausgeführt werden, muss die **Schutzbrille** und der **Gehörschutz** aufgesetzt werden.

Im Anschluss wird noch die **Absaugung** eingeschaltet.

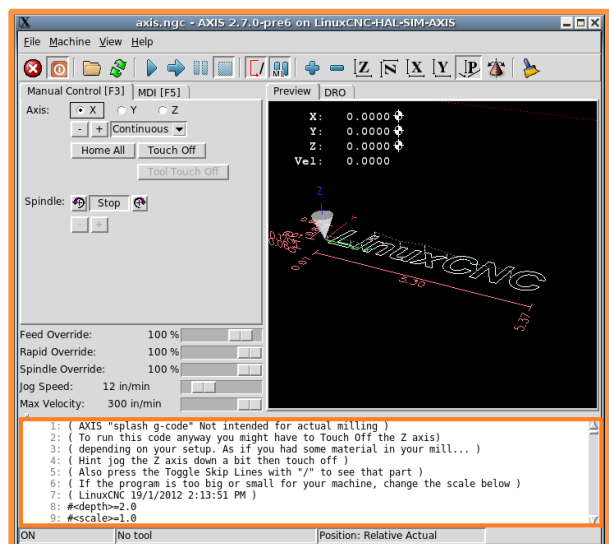
Erst dann wird die „**Start**“-Schaltfläche gedrückt



Am Anfang wird das Programm eine **Nachricht** anzeigen, die das **Einspannen** des angegebenen **Werkzeugs** verlangt. Da dies schon passiert ist, kann diese Anfrage einfach bestätigt werden.

Falls Unsicherheit besteht, ob die G-Codes und das eingespannte Werkzeug übereinstimmen, kann dies in den obersten Zeilen des Programms überprüft werden. Dort stehen die Parameter des in den folgenden Operationen verwendeten Werkzeugs.

Im Bestfall wurde dieses Werkzeug in der CAM-Oberfläche in Autodesk Fusion 360 bei den „Postprocessing“-Einstellungen entsprechend betitelt.



Wenn das Programm durchgelaufen ist, sollte der **Code M30** in der Konsole von Axis zu sehen sein. Dieser beendet das Programm. Selbst wenn danach noch etwas stehen sollte. Nachzulesen im Anhang „Exkurs zu G-Codes“.

Weiterhin sollte das Werkzeug in die „Home“-Position gefahren sein. Das ist, wenn nicht vorher geändert, der Koordinatenursprung der Fräsmaschine.

Wichtig: Bei den ersten Operationen sollte entweder die Hand am Notaus-Schalter sein oder mit dem Cursor auf der „Pause“-Schaltfläche in Bereitschaft zu verbleiben. Falls doch mal etwas nicht so läuft wie geplant, ist diese Regel essentiell, um größere Schäden an Material, Maschine und Mensch zu vermeiden. Generell sollte die Fräsmaschine immer in Beobachtung bleiben, da immer etwas Unerwartetes passieren kann.

Werkzeugwechsel

Im Falle der Nutzung mehrerer Werkzeuge, sind folgende Punkte zu beachten.

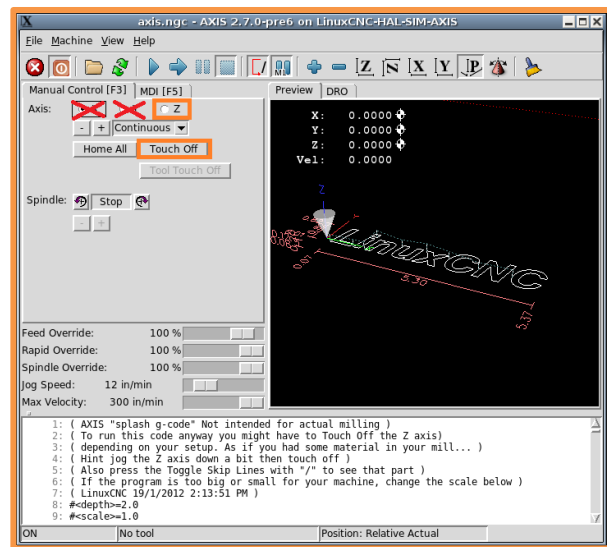
Im Bereich der CAM-Vorbereitung ändert sich, dass für jedes zu verwendende Werkzeug eine **separate G-Code-Datei** erstellt wird. In LinuxCNC ist es nämlich nicht möglich innerhalb einer abgespielten G-Code-Datei das Werkzeug neu anzutasten. Die einzelnen Werkzeuge besitzen aber unterschiedliche Längen. Das kann zwar durch eine **Werkzeugliste** innerhalb der Software kompensiert werden, aber dann bleibt noch der Faktor Mensch, der nicht die gewünschte Genauigkeit beim Einspannen erreichen kann. Deswegen ist das **erneute Antasten der Z-Achse durchzuführen**.

Name	Änderungsdatum
10012.ngc	08.01.2018 22:15
10022.ngc	08.01.2018 22:16
10031.ngc	08.01.2018 22:16
Metalllineal 09.01.18.f3d	08.01.2018 22:16

Wenn nun das erste Werkzeug alle Operationen ausgeführt hat, fährt es zurück in die „Home-Position“ und der Programmablauf ist beendet. Dann kann die neue G-Code-Datei in die Software geladen und das neue Werkzeug eingespannt werden. Im Anschluss werden die entsprechenden Schritte aus dem Absatz „Vorbereitung der Hardware“ wiederholt, mit einer wichtigen Ausnahme.

Der Antastvorgang von X und Y wird nicht erneut ausgeführt, da diese Orientierung bestehen bleiben muss, um an den korrekten Konturen zu fräsen.

Wenn der Z-Nullpunkt erneut angetastet wurde, kann die neue G-Code-Datei ausgeführt werden.



Ergänzungen:

Wenn auf Grund von z.B. vorangegangenen Plan-Prozessen der Nullpunkt nicht mehr direkt antastbar ist, sollte es bei der Erstellung der Werkzeugwege in CAM berücksichtigt werden. Somit müsste der Nullpunkt der weiterführenden Operationen auf der Höhe, die nach dem Planen resultiert, gesetzt werden. So kann dieser Punkt dann während des Fräsvorgangs wieder direkt angetastet werden. Aber auch generell ist bei der Gestaltung der verschiedenen Werkzeugwege darauf zu achten, dass die Koordinatensysteme zumindest in X- und Y-Richtung denselben Nullpunkt haben.

Nachbereitung

Die Nachbereitung ist essentiell, um die Maschine für zukünftige Anwendungen genauso nutzen zu können, wie es bei dem aktuellen Versuch der Fall war. Dementsprechend liegt auch der Fokus auf der Maschine selbst.

Fräsmaschine

Wenn das Werkzeug sich nach Beendigung des Vorgangs in der „**Home**“-Position befindet, kann die Maschine vom Stromnetz genommen werden. Das geschieht mit der **Betätigung des Notaus-Schalters** und anschließendem Entfernen des Steckers aus der Steckdose. Erst dann kann mit dem Reinigen der Maschine begonnen werden.

Hierzu wird das **Werkstück entnommen**, die **Absaugung abgeklemmt**, die Flachdüse aufgesetzt und damit die Spanreste entfernt. Weiterhin ist zu überprüfen, ob die Laufschiene genügend geschmiert sind, um einen reibungslosen Einsatz zu gewährleisten. Wenn das nicht der Fall ist, sollten diese mit dem in der Nähe stehenden Schmierstoff behandelt werden.

Die Maschine sollte so hinterlassen werden, wie sie vorgefunden wurde!

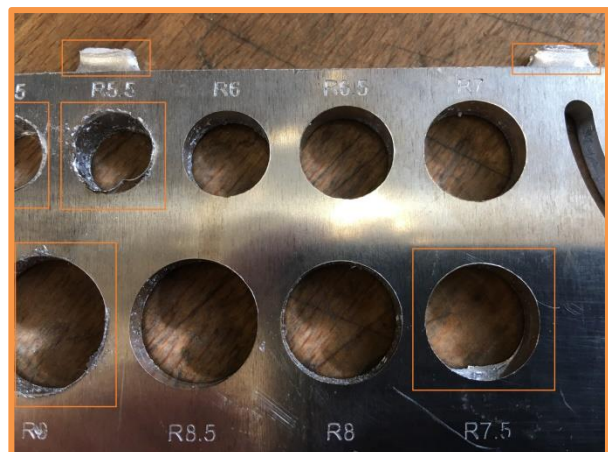


Werkstück

Gegebenenfalls stehen gelassene **Haltestege** sind je nach Dicke mit einem Cutter-Messer oder einer Säge zu entfernen.

Weiterhin wird dieses Bauteil noch **scharfe Kanten** und **Grat** aufweisen. Um das zu ändern werden alle nicht gefasteten Kanten und die Haltestegüberreste mit Hilfe einer Feile **entgratet**.

Wenn der Fräsvorgang problemlos ausgeführt wurde, dürfte sich diese Arbeit auf ein Minimum reduzieren.



Software

Das Programm Axis ist zu schließen, die vorher auf den Computer kopierten Dateien sind wieder zu entfernen und der Wechseldatenträger ist, falls noch angeschlossen, ebenfalls zu entfernen. Wenn diese Schritte durchgeführt wurden, wird der Computer, sofern nicht anders vom Betreuer verlangt, ausgeschaltet.

Arbeitsumfeld

Da mit Sicherheit noch **Spanreste** auf dem **Boden**, auf den **Arbeitsflächen** und auf den **Arbeitsmitteln** liegen, wird beim Staubsauger die Bodendüse aufgesetzt, um diese zu reinigen.

Abschließend werden noch alle **Arbeitsmittel zurück an ihren angestammten Platz gelegt**, das Kabel des Staubsaugers aufgewickelt, alle Düsenaufsätze an ihrem zugehörigen Platz fixiert und der Staubsauger unter dem Tisch verstaut.

Fertiges Erzeugnis

Nun kann das fertige Werkstück mit nach Hause genommen werden.



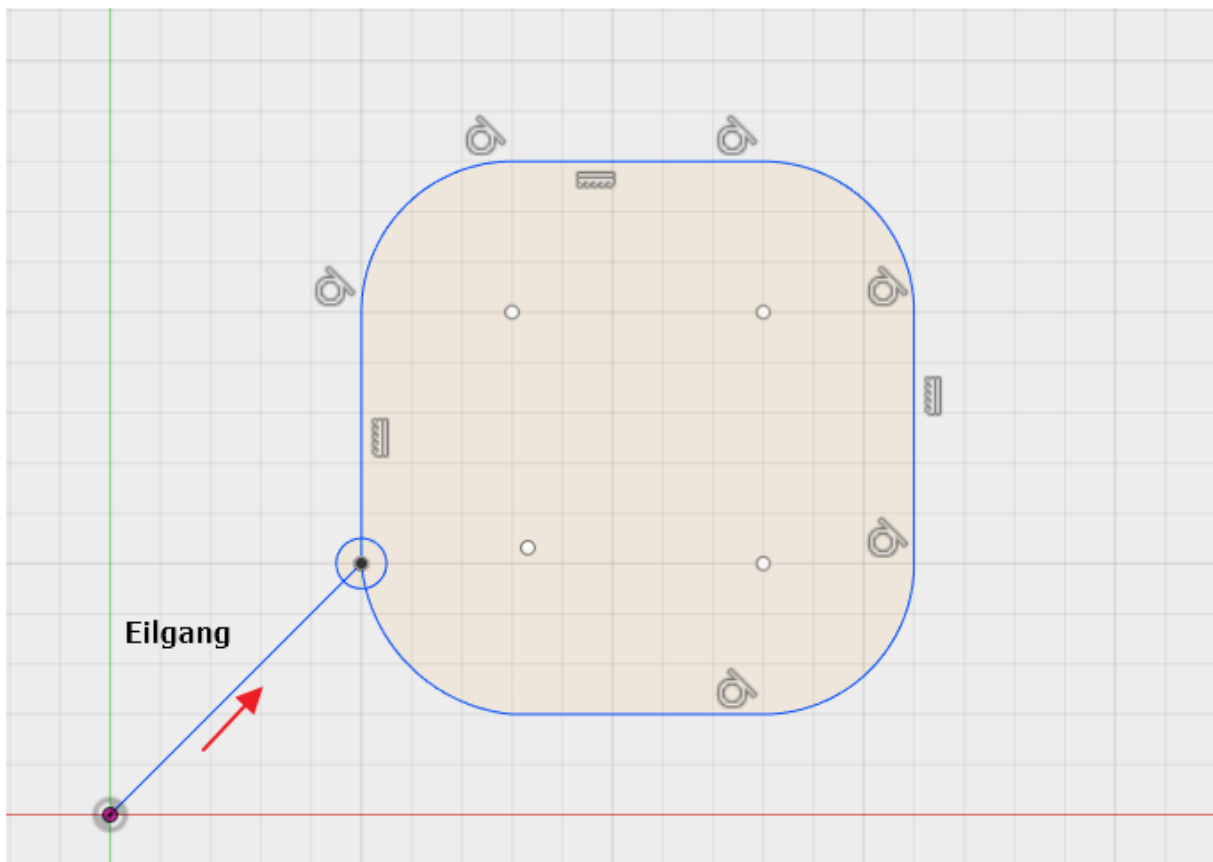
Exkurs zu den G-Codes und M-Codes

Für CNC-Maschinen gibt es eine einfach gehaltene Programmiersprache, welche sich aus „General Codes“ (G-Codes) und „Machine Codes“ (M-Codes) zusammensetzt. Jede Programmzeile besteht mindestens aus einem so genannten „Wort“, wie z.B. „G“, und einer direkt darauffolgenden Zahl, welche das Wort definiert.

So initiiert G00 (G0) den Bewegungsmodus (Eilgang) mit maximaler Geschwindigkeit. Ergänzt wird dieser Befehl noch mit Parametern, die die Bewegungsrichtung und deren Betrag festlegen. Das könnte wie folgt aussehen.

G00 X5 Y5.

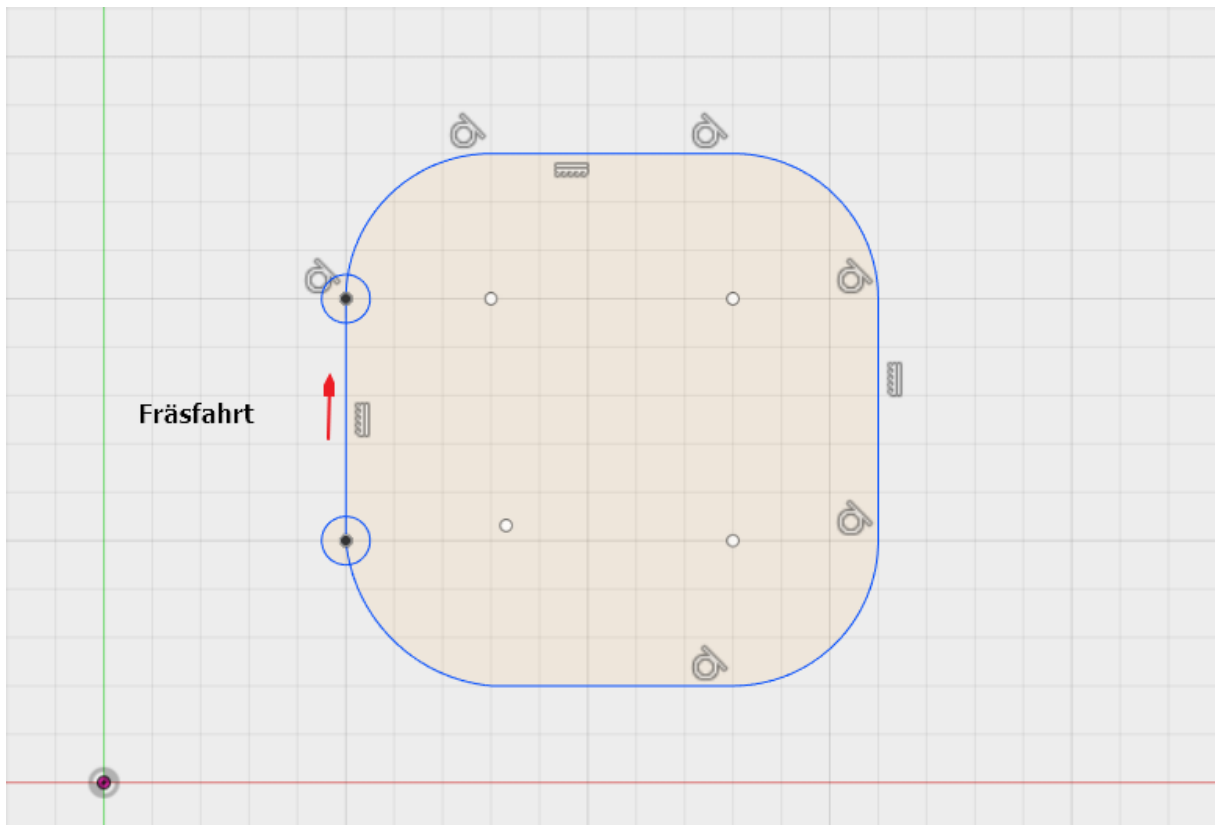
Das vorausgehende Beispiel hat eine Bewegung mit maximaler Geschwindigkeit zu Punkt(5,5) zur Folge. Dabei ist zu beachten, dass die Koordinatenangabe standardmäßig in absoluter Form festgelegt ist.



Zum Fräsen des Werkstücks wird allerdings eine langsamere Bewegung benötigt. Hierzu dient der folgende G-Code.

G01 X5 Y10

Bei dieser Operation fährt das Werkzeug mit einem vorher definierten Vorschub gerade in X-Richtung zum Punkt (5,10). Optional kann folgendermaßen auch direkt der Vorschub mit übergeben werden, falls die Gesamtfertigungsdauer optimiert werden soll.



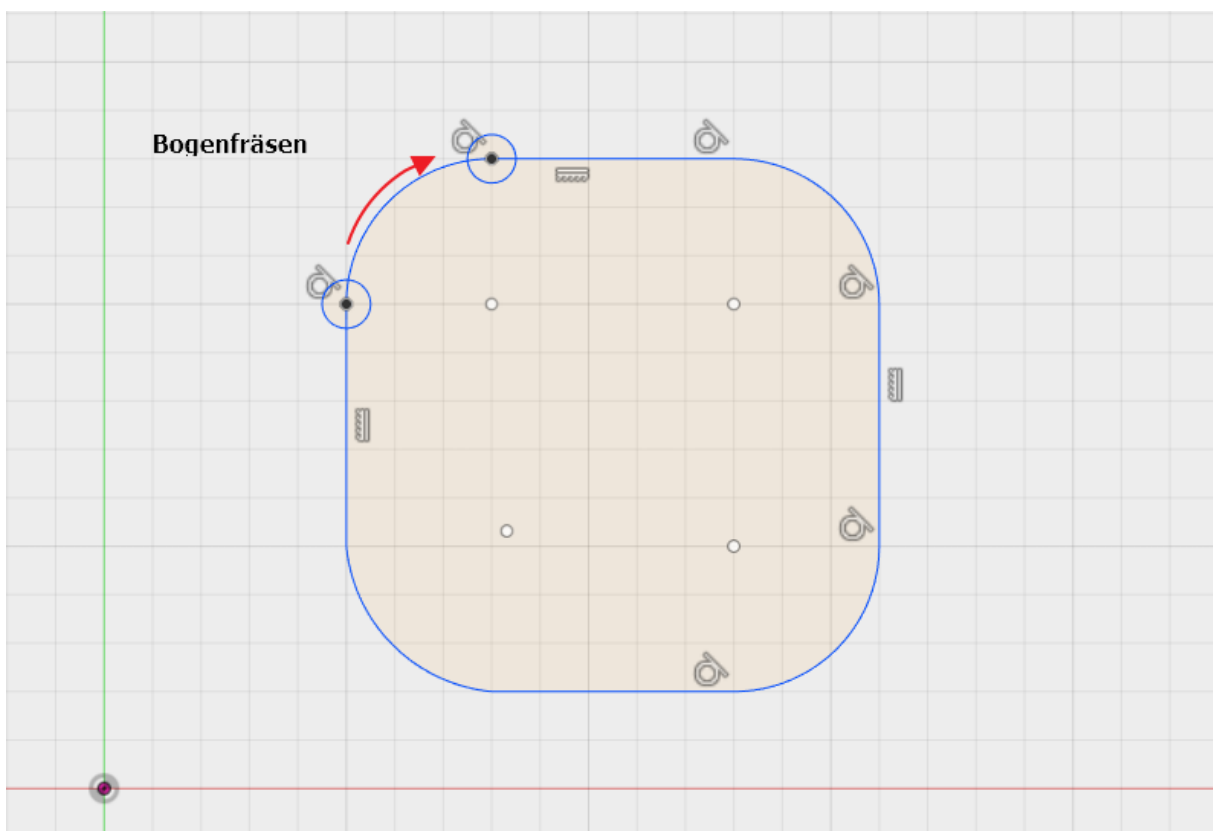
G01 X5 Y10 F1000

Mit diesem Befehl wird die ursprüngliche geradlinige Bewegung nun mit 1000mm/min ausgeführt. Falls nicht im metrischen, sondern im angloamerikanischen System gearbeitet werden soll, muss dies am Programmstart mit dem G-Code G20 aktiviert werden. Hierbei ist natürlich darauf zu achten, dass entsprechende Werte auch dahingehend umgewandelt werden.

Eine weitere Bewegung stellt der Bogen dar. Diese Bewegung wird wie folgt definiert:

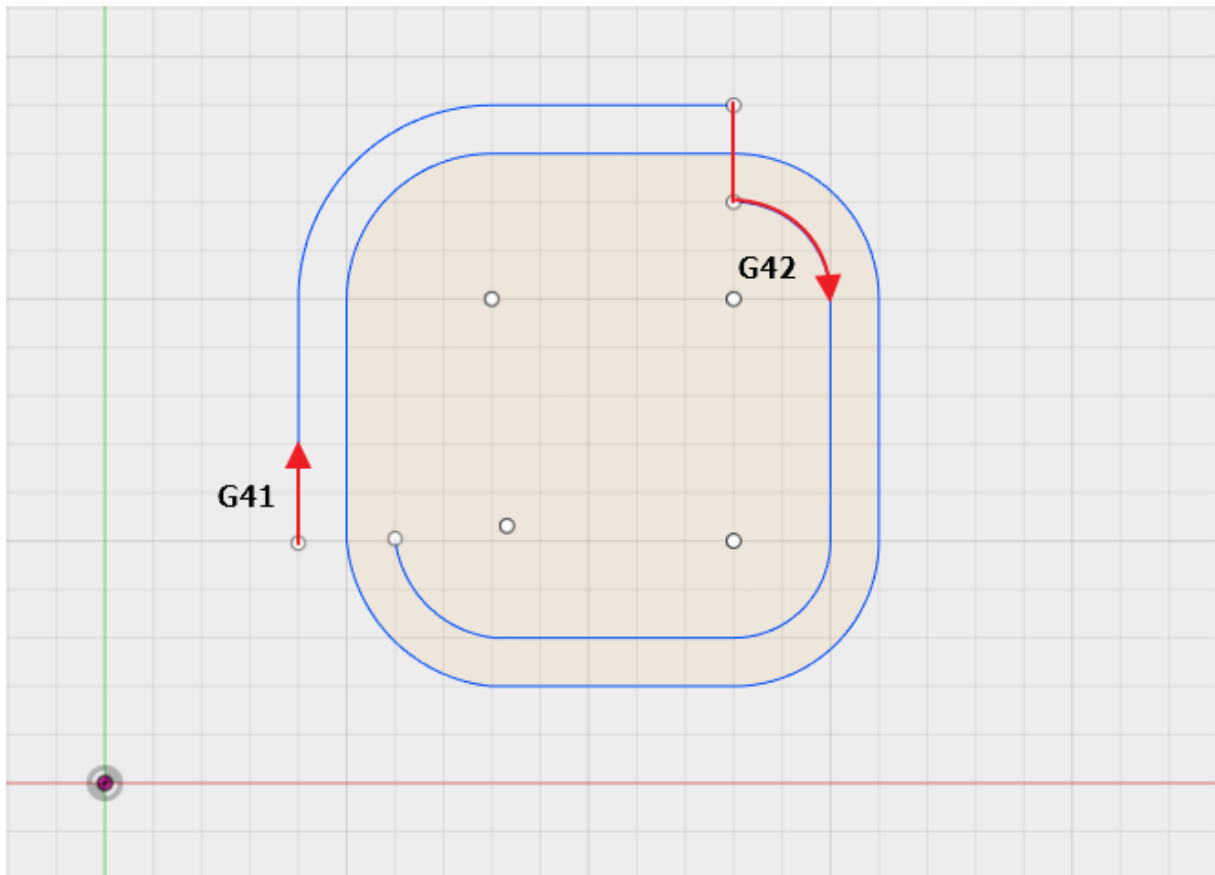
G02 X7.5 Y12.5 I5 J10

Hierbei ist G02 (G2) die Kennzeichnung der Kreisinterpolation. Die Parameter bei X und Y sind die Koordinaten für den Endpunkt des Bogens, I die X-Distanz und J die Y-Distanz vom Anfangspunkt bis zum Bogenursprung. Mit dieser Zeile wird also ein Bogen abgefahren, der bei dem Punkt(5,10) startet und in einem Kreisbogen mit 2,5mm Radius zum Punkt(7.5,12.5) fährt.



Allerdings sollte schon erkannt worden sein, dass diese Bahnen so in der Praxis nicht angewendet werden können, da das Werkzeug diese Bahn mit der Spitze abfährt. Werkzeuge sind aber nicht eindimensional, sondern besitzen einen Durchmesser, der bei dem Erstellen der Verfahrbahnen beachtet werden muss. Diese Problematik kann beim Programmieren in Form von angepassten Koordinaten aufgegriffen werden. Einfacher ist jedoch die Verwendung des Kurzzeichens G41 bzw. G42. Bei diesem Kurzzeichen handelt es sich um die Werkzeugbahnkorrektur (radiale Werkzeugkompensation).

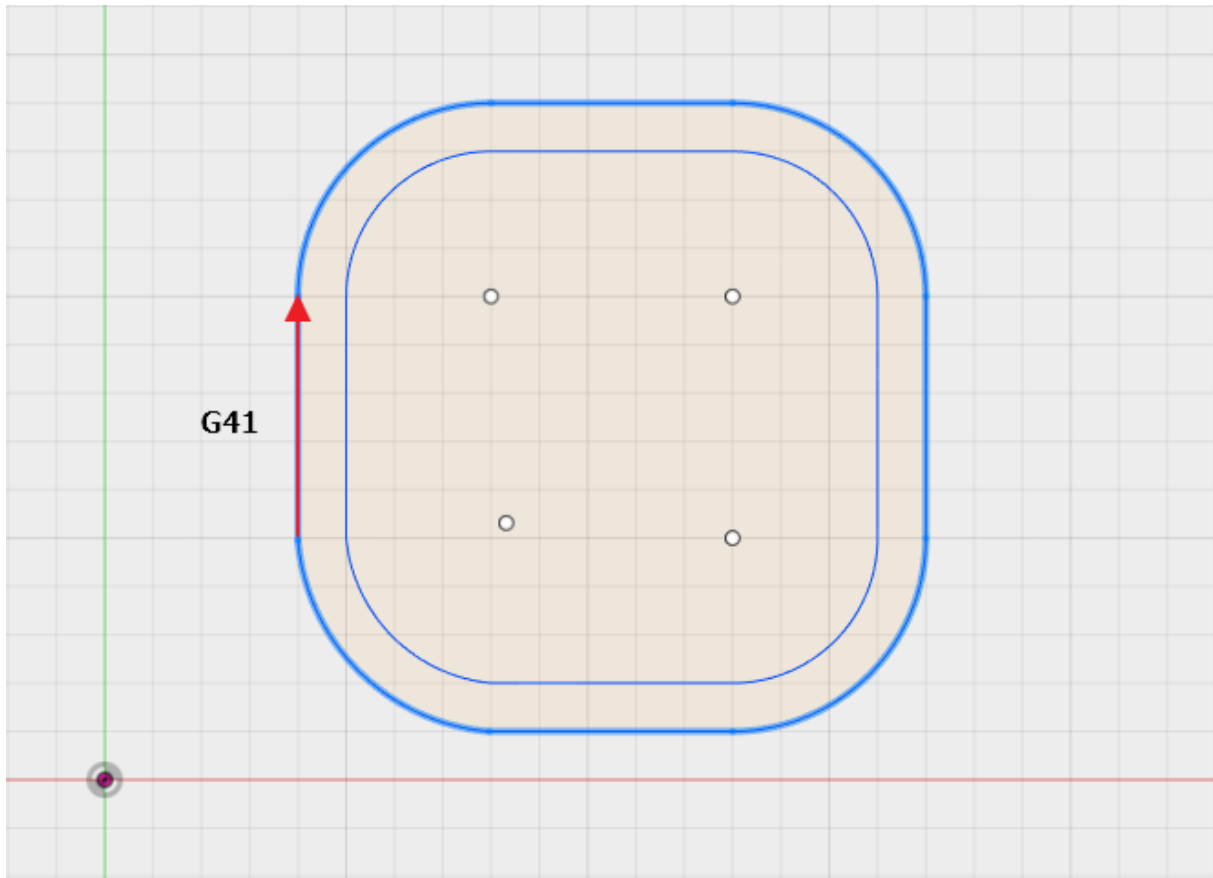
Während bei der Einstellung G40 die Kontur genauso abgefahren wird, wie die Koordinaten es bestimmen, würde bei der Einstellung von G41 die Bahn linksseitig und mit G42 rechtsseitig abgefahren werden.



Die Übergabe des Werkzeugdurchmessers kann auf zwei Arten erfolgen. Einerseits können die jeweiligen Durchmesser der einzelnen Werkzeuge in der Werkzeugliste der GUI hinterlegt oder bei der Korrektoreinstellung direkt mit übergeben werden.

G41 D2

Hierbei werden die darauffolgenden Bahnen mit einem Versatz von 1mm linksseitig abgefahren. Eine Angabe von Einheiten ist nicht nötig, da am Anfang des Programms festgelegt werden muss, in welchem Einheitensystem gearbeitet wird.



Weitere Kurzzeichen, die dem Fräsen zugeordnet werden können, sind der folgenden Tabelle zu entnehmen. Diese werden aber nicht weiter erläutert, da dies nur einen Exkurs in G-Codes darstellen soll.

Tabelle 1 "G-Codes" für Fräsoperationen

Code	Funktion	Code	Funktion
G00	Eilgang	G54.0	Externe Nullpunktverschiebung
G01	Linearbewegung/Vorschub	G54.1	Erweiterte Nullpunktverschiebung
G02	Kreisinterpolation (Im Uhrzeigersinn)	G55	Nullpunktverschiebung
G02.2	Evolvente (Im Uhrzeigersinn)	G56	Nullpunktverschiebung
G03	Kreisinterpolation (Gegen Uhrzeigersinn)	G57	Nullpunktverschiebung
G03.2	Evolvente (Gegen den Uhrzeigersinn)	G58	Nullpunktverschiebung

Code	Funktion	Code	Funktion
G04	Verweilzeit	G59	Nullpunktverschiebung
G05	High-speed cycle cutting	G60	Gerichtete Positionierung
G05.1	High-speed cycle (CYCLE305)	G61	Genauhalt (modal)
G07.1	Zylinderinterpolation	G62	Automatischer Ecken-Override
Code	Funktion	Code	Funktion
G08	Vorsteuerung EIN/AUS	G63	Gewindebohrmodus
G09	Genauhalt	G64	Bahnsteuerbetrieb
G10	Nullpunktverschiebung schreiben	G65	Makroaufruf
G11	Parameter eingabe beenden	G66	Makro-Modalaufruf
G12.1	Polarkoordinaten Interpolation AUS	G67	Makro-Modalaufruf löschen
G13.1	Polarkoordinaten Interpolation EIN	G68	Rotation ein 2D/3D
G15	Polarkoordinaten AUS	G69	Rotation AUS
G16	Polarkoordinaten EIN	G72.1	Konturwiederholung mit Rotation
G17	XY-Ebene	G72.2	Konturwiederholung linear
G18	ZX-Ebene	G73	Tieflochbohrzyklus mit Späne brechen
G19	YZ-Ebene	G74	Gewindebohrzyklus (links)
G20	Eingabesystem in [inch]	G76	Feinbohrzyklus
G21	Eingabesystem in [mm]	G80	Zyklus AUS
G22	Arbeitsfeldebegrenzung EIN	G81	Bohrzyklus Plansenken
G23	Arbeitsfeldebegrenzung AUS	G82	Bohrzyklus Ansenken
G27	Prüfung der Referenzposition	G83	Tieflochbohrzyklus mit Späne entfernen
G28	1. Referenzpunkt anfahren	G84	Gewindebohrzyklus rechts
G30.1	Referenzpunktposition	G85	Bohrzyklus
G31	Messen mit schaltendem Taster	G86	Bohrzyklus, Rückzug mit G00
G33	Gewindeschneiden mit konstanter Steigung	G87	Rückwärtssenken
G40	Aufhebung der Fräsradiuskorrektur	G89	Bohrzyklus, Rückzug mit Arbeitsvorschub
Code	Funktion	Code	Funktion
G41	Korrektur linksseitig	G90	Absolute Programmierung
G42	Korrektur rechtsseitig	G91	Inkrementelle Programmierung
G43	Werkzeuglängenkorrektur positiv EIN	G92	Istwert setzen, Spindeldrehzahlbegrenzung
G44	Werkzeuglängenkorrektur negativ EIN	G92.1	Istwert löschen, Rücksetzen des WKS
G49	Werkzeuglängenkorrektur AUS	G93	Zeitreziproker Vorschub (1/min)
G50	Skalierung AUS	G94	Vorschub in [mm/min]
G50.1	Spiegeln an programmierter Achse AUS	G95	Umdrehungsvorschub in [mm/U]
G50.2	Spiegeln an programmierter Achse EIN	G96	Konstante Schnittgeschwindigkeit EIN
G51	Skalierung EIN	G97	Konstante Schnittgeschwindigkeit AUS
G53	Position im Maschinenkoordinatensystem anfahren	G98	Rückkehr zum Ausgangspunkt bei Festzyklen
G54	Nullpunktverschiebung (G54 P[1...48])	G99	Rückkehr zum Punkt R bei Festzyklen

Essentiell für die Bearbeitung sind allerdings auch M-Codes, welche beispielsweise für die Einstellung der Spindeldrehzahl und der Schaltung des Kühlmittels verantwortlich sind. So stehen M3/M4 grundsätzlich für die Einstellung der Spindeldrehrichtung. **M3** lässt die Spindel im Uhrzeigersinn drehen und **M4** in die entgegengesetzte Richtung. Zusätzlich kann die Einstellung der Drehrichtung, um die Einstellung der Spindelgeschwindigkeit erweitert werden. Das wird mit dem folgenden Beispiel erläutert.

M3 S10000

Diese Zeile stellt somit die Drehrichtung der Spindel auf Rechtslauf und deren Drehzahl auf 10000 U/min. Eine negative Zahl sorgt allerdings nicht für eine Umkehrung der Drehrichtung, da hier das Gesetz der Nicht-Negativität greift.

Bei Bauteilen, die mit verschiedenen Werkzeugen bearbeitet werden sollen, muss zwischendurch ein Werkzeugwechsel initiiert werden. Das geschieht über das Kurzzeichen M6. Zusätzlich wird noch angegeben zu welchem Werkzeug aus der Liste gewechselt werden soll.

M6 T2

In diesem Beispiel wird der Wechsel zum Werkzeug mit der Nummer Zwei initiiert. Dadurch erscheint in der Benutzeroberfläche ein Fenster, in dem noch mal angezeigt wird, welches Werkzeug eingesetzt werden muss.

Um die Wärme, die bei dem eingespannten Werkzeug und bei dem zu bearbeitenden Material entsteht, abzuleiten, wird eine Kühlmöglichkeit benötigt. Diese wird mit Hilfe eines der folgenden Kurzzeichen eingeschaltet. Hierbei würde **M7** einen Sprühkühlnebel und **M8** eine Wasserkühlung einschalten, welche bei Nichtgebrauch mit dem Kurzzeichen **M9** jeweils wieder ausgeschaltet wird.

Am Ende jedes Programms muss das Kurzzeichen **M30** stehen, welches das aktuell laufende Programm beendet und es auf den Anfangspunkt zurücksetzt.