



OTTO VON GUERICKE  
UNIVERSITÄT  
MAGDEBURG

IFQ



**FabLab**  
ego.-INKUBATOR

FABLAB

ANLEITUNG ZUR MANUFACTURING-SOFTWARE



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



## Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	1
Fusion 360 erwerben.....	2
Interface .....	2
Fusion 360 Konfigurieren .....	4
Importieren von Bauteilen.....	4
Navigation .....	5
CAD/CAM-Ansicht - Arbeitsbereichwechsel .....	5
2D Fräsarten .....	5
Koordinatensystem setzen .....	8
Bohrfräsen – 3mm Fräser.....	11
2D-Adaptive Clearing – 3mm Fräser .....	15
2D-Tasche - 3mm Fräser .....	18
Gravur – 15°-Gravierstichel .....	20
Bohrfräsen - 8mm Fräser .....	25
2D-Tasche – 8mm Fräser.....	27
2D-Kontur – 8mm Fräser.....	29
Werkzeugsimulation .....	31
G-Code-Erstellung.....	32
Werkzeuge Erstellen .....	34
Anhang.....	38
Grundlegende Begriffe.....	38
Exkurs Schnittparameter.....	39
Milling Calculator App.....	39
Berechnungen und Wertetabelle.....	40

## Einleitung

Viele Studenten haben großartige Ideen, aber nicht das Wissen diese umzusetzen. An diese Zielgruppe richtet sich diese Anleitung. Denn es gibt an der Otto-von-Guericke-Universität die Makerlabs respektive das FabLab, in dem sich zwei Laserdrucker und eine CNC-Fräsmaschine befinden. Diese können unter der Aufsicht von M. Sc. Sebastian Hichert kostenfrei genutzt werden. Allerdings benötigt die Bedienung eine sehr umfangreiche Einarbeitungsphase. Um diese Zeit zumindest bei der CNC-Fräsmaschine drastisch zu reduzieren, wurde die folgende Anleitung erstellt, in der anhand eines nicht all zu komplexen, aber dennoch lehrreichen Bauteils, in Verbindung mit der Software Autodesk Fusion 360 und LinuxCNC, Schritt für Schritt erklärt, wie dieses aus einem Aluminium-Rohteil hergestellt wird.



## Fusion 360 erwerben

Autodesk bietet kostenlose Lizenzen für Fusion 360 Ultimate für Studenten (3 Jahre), Privatpersonen und Unternehmer mit einem Jahresumsatz von < 100.000\$ (1 Jahr) an.

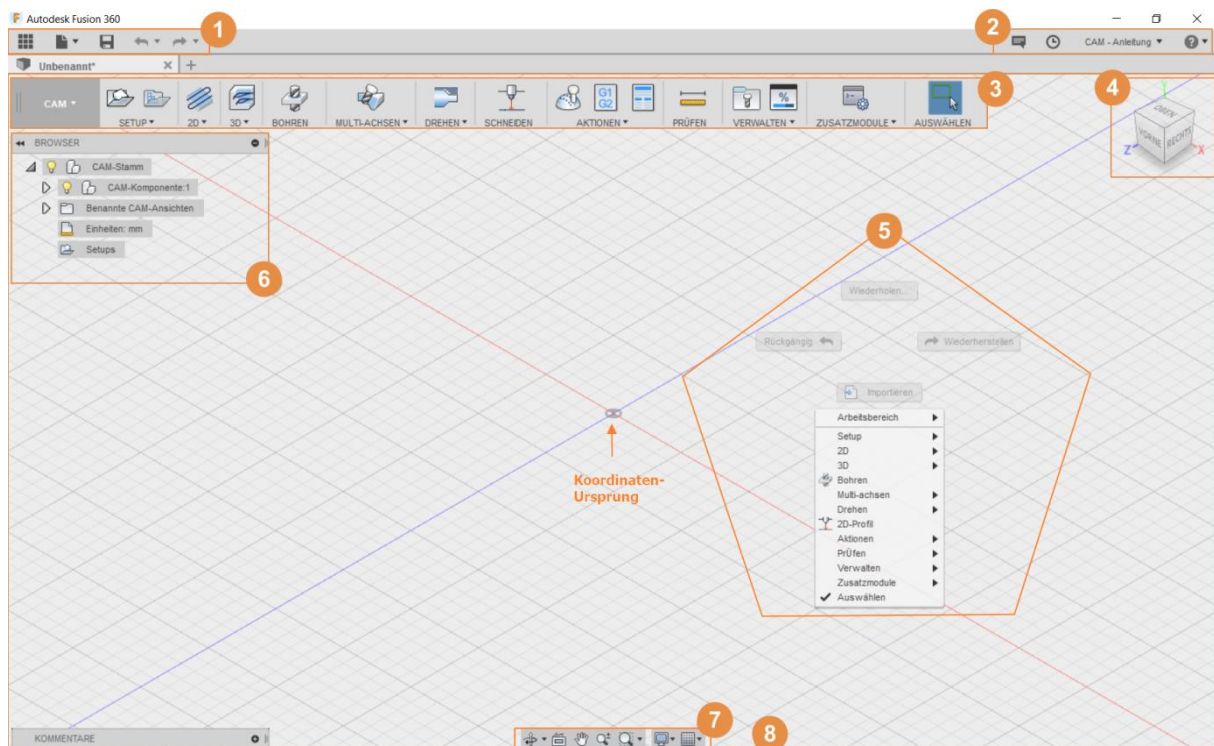
Auf der Homepage <https://www.autodesk.de/products/fusion-360/overview> findet sich der Reiter „KOSTENLOSE TESTVERSION“. Dort kann nach kurzer Registrierung eine 30-tägige Testversion geladen werden, die in eine 1-jährige Lizenz erweitert werden kann.

## Interface

Nach erfolgreicher Installation lässt sich Fusion 360 über

*START → Autodesk → Autodesk Fusion 360*

starten.



### 1. **Anwendungsleiste:**

Über die Anwendungsleiste kann auf Konstruktionsdateien zugegriffen werden sowie auf die Befehle Speichern, Rückgängig und Wiederherstellen

### 2. **Profil und Hilfe:**

Unter „Profil und Hilfe“ können die Einstellungen konfiguriert werden und es kann auf Hilfe zurückgegriffen werden, falls Bedarf bei der Fehleranalyse oder dem Lernprozess entsteht.

### 3. **Werkzeugkasten oder auch „Toolbar“:**

Die Toolbar ist das nützlichste Werkzeug der Software. Hier finden sich diverse Einstellungen und die elementaren Funktionen sowie Befehle zur Erstellung von CAD-Modellen und CAM-Werkzeugwegberechnung sowie -simulation. Des Weiteren kann über die Toolbar zwischen den verschiedenen Funktionsbereichen des Programms gewechselt werden.

### 4. **Navigationswürfel:**

Der Navigationswürfel ist ein hilfreiches Tool zur Orientierung und Steuerung der Ansicht des 3D-Modells. Hier kann der Betrachtungswinkel des Werkstücks geändert werden.

### 5. **Minimenü:**

Das Minimenü kann durch Rechtsklick in den Ansichtsbereich geöffnet werden. Es bietet im oberen Bereich einen Schnellzugriff auf wichtige Funktionen und im unteren einen Zugriff auf sämtliche Funktionen der Toolbar.

### 6. **Browser:**

Der Browser bietet eine strukturierte Übersicht über alle erstellten Funktionen und eignet sich gut, um schnell Veränderungen vorzunehmen.

### 7. **Navigationsleiste und Anzeigeeinstellungen:**

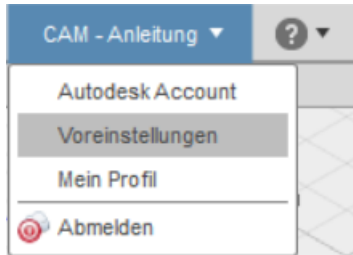
Mithilfe der Navigationsleiste kann die Ansicht auf das Modell verändert werden. Im Gegensatz zum Navigationswürfel eignet sich die Navigationsleiste eher für freies Verändern der Ansicht sowie herein- und herauszoomen. Des Weiteren kann hier die Rastergrafik des Arbeitsbereiches angepasst werden

### 8. **Ansichtsbereich:**

Umfasst den Rahmen, in dem das Modell bearbeitet wird. Durch die rasterförmige Struktur wird das Orientieren erleichtert.

## Fusion 360 Konfigurieren

Beginnend sollten die Einstellungen angepasst werden.



Unter „Profil und Hilfe“ ist der Profilname genannt. Per Klick auf diesen öffnet sich ein Dropdown-Menü bei den Voreinstellung ausgewählt wird. Unter „Allgemein“ wird die Z-Achse für Oben eingerichtet. Unter „Vorgabeeinheit“ findet sich der Reiter „CAM“, wo sich die die Vorgabeeinheit auf [mm] umstellen lässt.

## Importieren von Bauteilen

Um in Fusion 360 erstellte CAD-Datensätze zu öffnen, muss unter

*Anwendungsleiste → Datei → Neue Konstruktion aus Datei*

die gewünschte Datei ausgewählt werden. Hier sollte die Datei „Beispielmodell Lineal“ selektiert werden, die das Beispielobjekt dieser Anleitung enthält.

Alternativ können unter *Anwendungsleiste → Datei → Neue Konstruktion*

neue Bauteile konstruiert werden und mit diesen praktiziert werden. Jedoch ist das Erstellen eines CAD-Modells nicht Bestandteil dieser Anleitung und wird als Prämisse gesetzt.

Falls der CAD-Datensatz des zu fertigenden Bauteils nicht mit Fusion 360 erstellt wurde, gibt es die Möglichkeit Bauteile zu importieren, die mit verschiedenen CAD-Softwares erstellt wurden.

*Anwendungsleiste → Gruppe Dateien einfügen*

Im Anschluss muss entweder ein bestehendes Projekt ausgewählt werden oder ein neues Projekt erstellt werden. Als nächstes kann durch Klicken des Buttons „Hochladen“ und im sich neu öffnenden Fenster „Dateien auswählen“ angeklickt werden. Folgend kommt eine Aufforderung zum Auswählen der CAD-Datei, welche durch einen Doppelklick importiert wird.

Nach Import des Beispielmodells kann dieses jederzeit gespeichert und mit aktualisiertem Fortschritt neu geladen werden.

*Anwendungsleiste → Datei → Speichern*

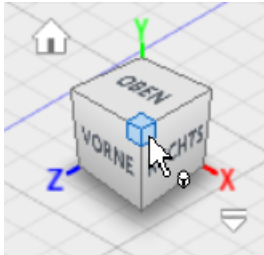
Zuletzt bearbeitete Dokumente lassen sich im Schnellstart öffnen.

*Anwendungsleiste → Gruppe Daten einblenden → Projektname → Dateiname*

## Navigation

Jetzt, da das erste 3D-Modell erstellt oder importiert wurde, wird es Zeit dieses ausführlich von verschiedenen Seiten zu betrachten und mit der Navigation vertraut zu werden.

Durch gleichzeitiges Gedrückthalten der „Umschalttaste“ sowie des Scrollrades kann experimentell durch Mausbewegungen die Ansichtsrichtung verändert werden. Hierbei wird die Ansicht um einen Mittelpunkt rotiert. Um wieder in den Ausgangszustand zu gelangen, reicht ein einzelner Klick auf das Haus-Symbol neben dem „Navigationswürfel“, das sich erst zeigt, wenn mit dem Cursor in dessen Nähe gewandert wird. Zudem kann jede Fläche, Kante oder Ecke des Navigationswürfels angeklickt werden, um die entsprechende Ansicht am Modell anzuvisieren. Des Weiteren kann durch Gedrückthalten des Scrollrades mit gleichzeitiger Mausbewegung der Ansichtsbereich verschoben werden und durch Scrollen ein- und ausgezoomt werden. Alle folgenden Angaben beziehen sich auf die „Home-Ansicht“.



## CAD/CAM-Ansicht - Arbeitsbereichwechsel

Fusion 360 ist in verschiedene Funktionsbereiche gegliedert. Standardmäßig öffnet sich die CAD-Funktion. Der CAM-Arbeitsbereich wird wie folgt geöffnet:

*Toolbar* → *Modell* → *CAM*

Da es für jeden Arbeitsbereich die entsprechende Toolbar gibt, sollte sich die CAM-Werkzeugleiste geöffnet haben.



1. Hier kann zwischen den verschiedenen Arbeitsbereichen gewechselt werden
2. Im Setup können verschiedene Rahmenbedingungen getroffen werden wie z.B. Platzieren des Koordinatensystems.
3. Unter „2D“ werden die 3-Achsfräsoperationen gelistet.
4. Die Werkzeugbibliothek lässt sich über Verwalten öffnen.

Bei Bedarf kann per Rechtsklick auf die Toolbar eine Anpassung der dargestellten Funktionen stattfinden.

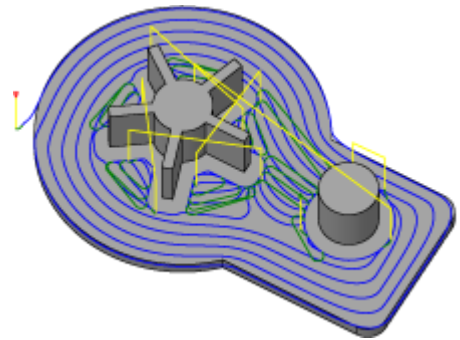


## 2D Fräsarten

Fusion 360 bietet diverse Operationen zur Erstellung und Berechnung von Werkzeugwegen. Auf die 2D-Operationen wird im Folgenden eingegangen und deren Eigenschaften erklärt. Die 3D-Operationen hingegen sind für mehrachsige (4+) CNC-Maschinen und daher nicht Bestandteil dieser Anleitung.

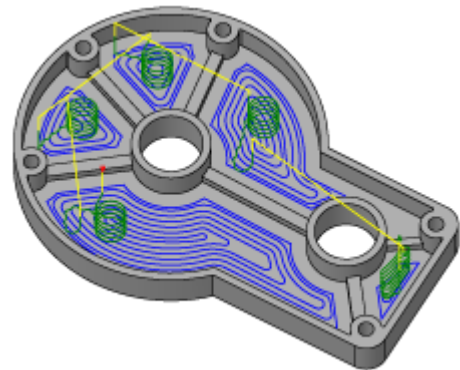
## 2D Adaptive Clearing

Das **2D Adaptive Clearing** ist ein Werkzeugwegberechnungsverfahren für Schlicht- und Schrappoperationen. Dieses Verfahren ist gekennzeichnet durch die Vermeidung von abrupten Werkzeugrichtungswechseln und „sanften“ Kurven. Zudem wird das Werkzeug nach Möglichkeit geschont und nicht mit voller Werkzeugbreite gefräst. Dadurch wird die Spannung verringert, wodurch die Lebensdauer des Werkzeugs ansteigt sowie der potentiell mögliche Vorschub.



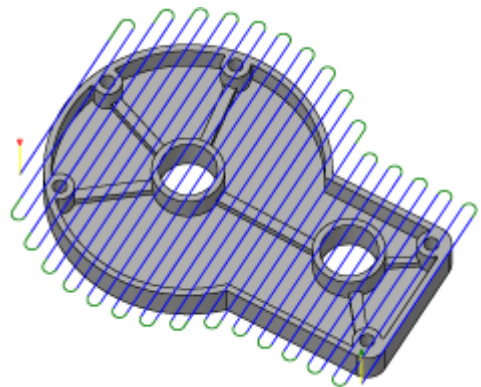
## 2D-Tasche

Das Verfahren 2D-Tasche ist ebenfalls eine Schrappoperation und eignet sich für Taschen, unabhängig davon, ob diese Materialinseln aufweisen oder nicht. Hierbei beginnt der Werkzeugweg im Zentrum der Tasche und verläuft von dort aus parallel zur Geometrie der Tasche nach außen. Alternativ kann der Startpunkt eigens bestimmt werden.



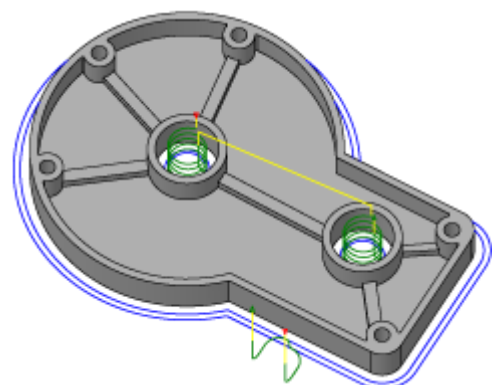
## 2D-Planen

Das 2D-Planen schneidet eine neue Oberfläche. Daher ist es bestens geeignet, um das Rohteil zu ebnen und saubere Flächen zu erschaffen. Oftmals dient es als Vorbereitung/Vorstufe zur weiteren Bearbeitung.



## Kontur

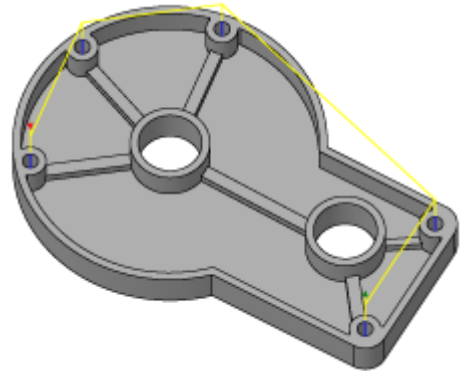
Mit dem Verfahren „**Kontur**“ kann ein Modell aus seinem Rohteil ausgeschnitten werden. Dabei können verschiedene Einstellungen wie Werkzeugkompensation, Tiefenkompensation und Schrapp- und Schlichtdurchgänge getroffen werden.





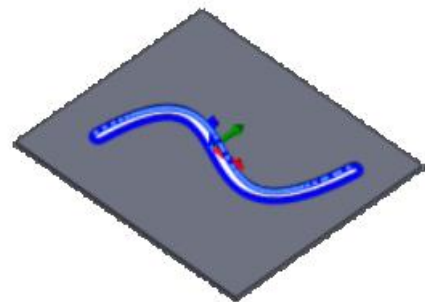
## Bohrfräsen

Um Bohrungen zu erstellen, bietet Fusion 360 gleich drei Operationen. Durch das **Zirkularfräsen** sowie **2D-Bohrfräsen** können zylindrische Bohrungen erstellt werden, wobei diese auch Inseln enthalten können. Das **Gewindefräsen** wird speziell für das Anfertigen von Bohrungen mit Gewinden genutzt. Dabei können verschiedene Einstellungen wie z.B. die Steigung P vorgenommen werden.



## Nut

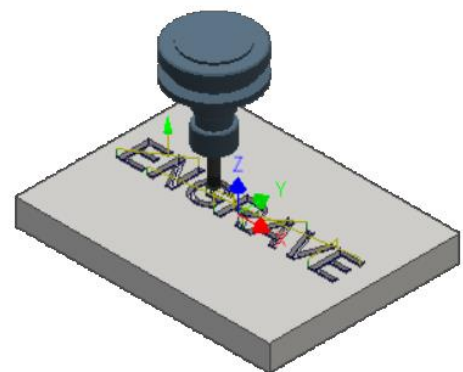
Bei dem Verfahren „**Nut**“ wird eine Nut erzeugt. Hierbei kann u.a. die Werkzeugkompensation angepasst werden.



## Gravieren

Anders als bei der Nut wird beim Gravieren kein Schaftfräser verwendet. Stattdessen werden Gravierstichel genutzt. Aufgrund dessen ist der Querschnitt der Materialabtragung keilförmig anstatt rechteckig.

Dieses Verfahren eignet sich insbesondere um Schriftzüge einzuarbeiten, beispielsweise Modellbezeichnungen.

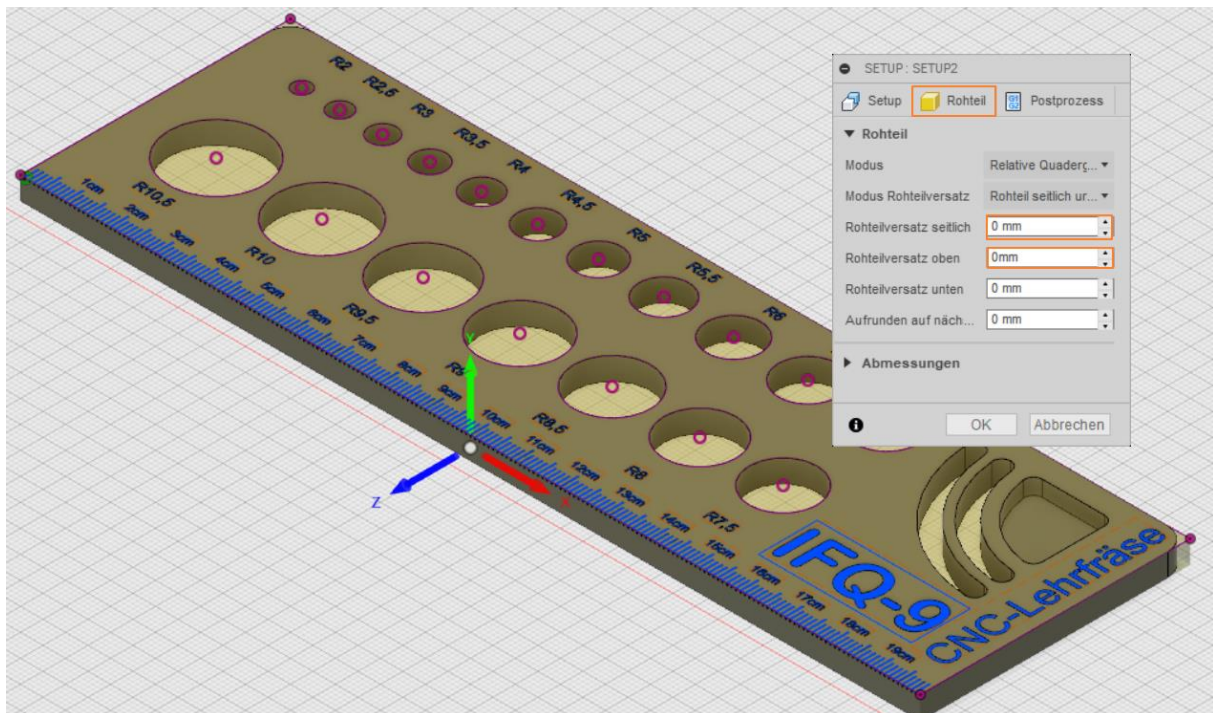
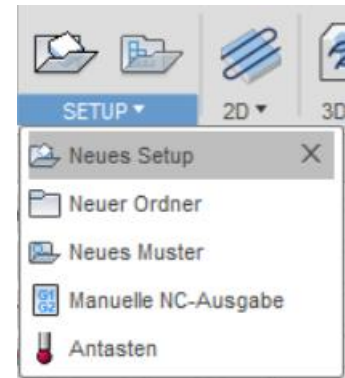


## Koordinatensystem setzen

Bevor Werkzeugwege erstellt und berechnet werden, müssen zunächst einige Vorbereitungen getroffen werden.

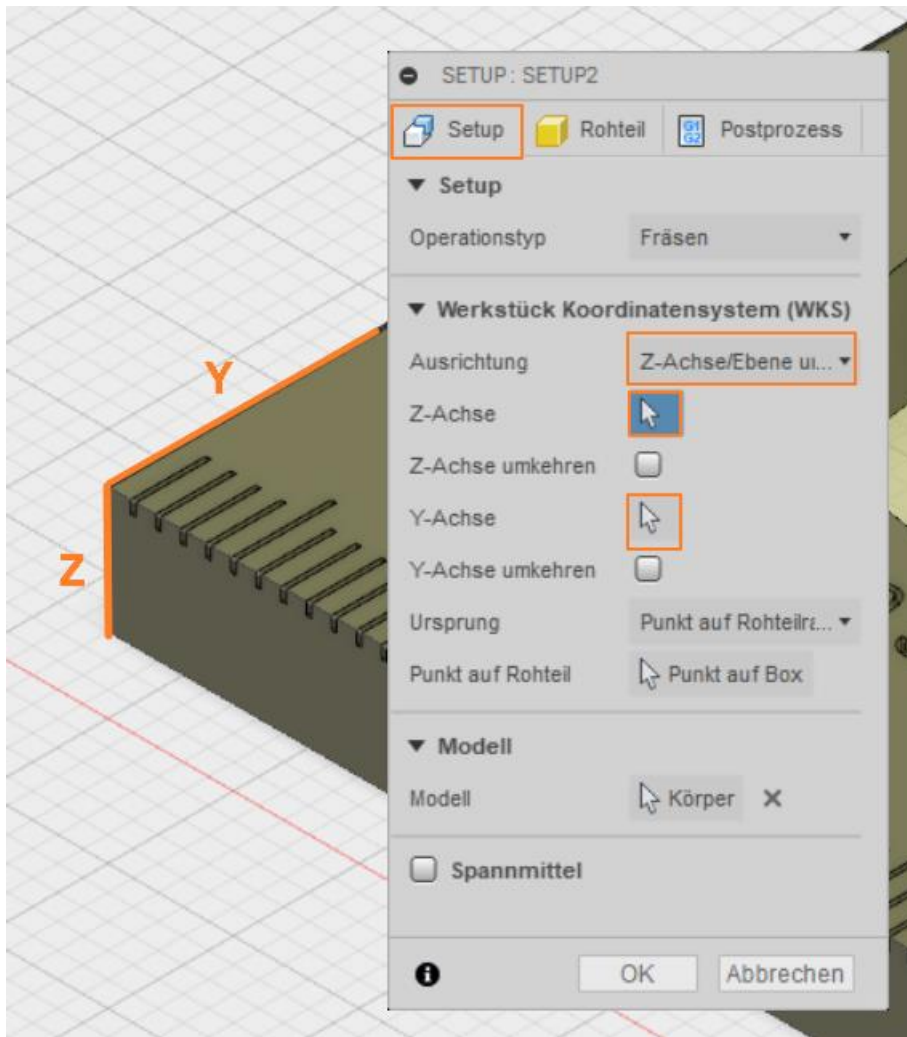
*Toolbar* → *Setup* → *Neues Setup*

Es öffnet sich ein Fenster sowie ein Koordinatensystem. Zunächst sollte im Reiter „**Rohteil**“ jegliche Werte der Rohteilversätze auf 0 gestellt werden.



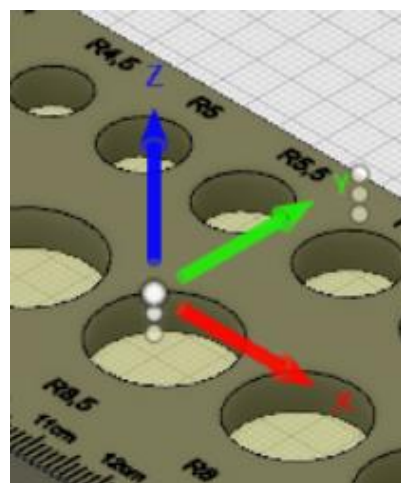
Nach entsprechender Veränderung der Rohteilaußmaße, muss das Koordinatenkreuz gemäß dem Koordinatensystem der CNC-Maschine ausgerichtet werden.

Dazu wird im nächsten Schritt zurück zum Reiter „**Setup**“ gewechselt. Im Dropdownmenü „**Modellausrichtung**“ wird „**Z-Achse/Ebene und Y-Achse auswählen**“ angeklickt. Als nächstes müssen die beiden im folgenden Bild orange markierten Modellkanten als Achsenbezugslinie entsprechend dem Bild ausgewählt werden, um das Koordinatensystem auszurichten. Dabei wird die Z-Achse als Vertikale und die Y-Achse als Horizontale eingerichtet. Im geöffneten Fenster wird „Z-Achse“ ausgewählt, im Anschluss muss die abgebildete orange markierte vertikale Kante des Lineals angeklickt werden. Auf diese Art und Weise lässt sich auch der Bezug der Y-Achse und der horizontalen Kante herstellen.

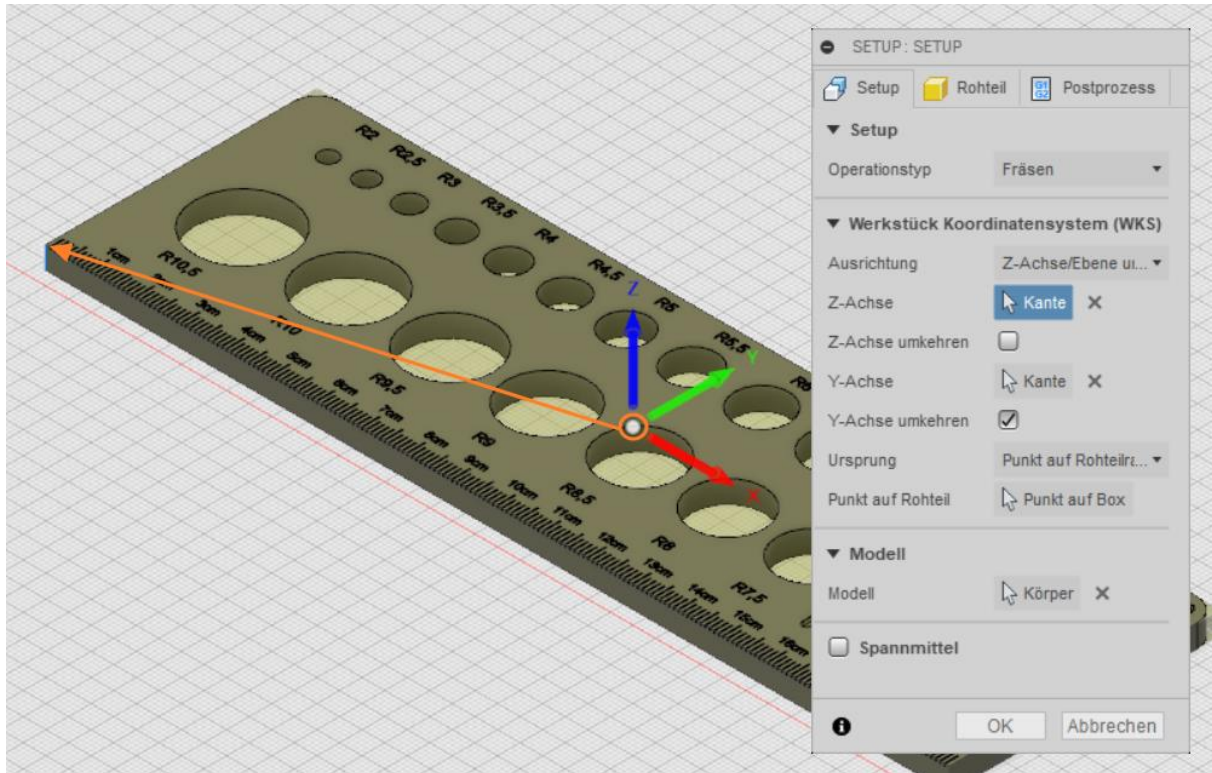


Nach erfolgreicher Zuweisung der Z- und Y-Achse zu den entsprechenden Kanten des Beispielmodells, sollte sich das vorhandene Koordinatensystem verändert haben.

Falls das Koordinatensystem nicht entsprechend dem Bild aufgebaut ist, kann durch Klick auf die Pfeilspitze die Ausrichtung der Richtungsachse „umgedreht“ werden. Dies wird solange wiederholt, bis das eigene Koordinatensystem mit dem der Abbildung in seiner Ausrichtung identisch ist. Ist dies der Fall, so sollte damit begonnen werden, das Koordinatensystem zu platzieren.



Das Koordinatensystem kann per Klick auf den Punkt zwischen den 3 Richtungsachsen verschoben werden, indem zusätzlich noch der Zielpunkt für das Koordinatensystem ausgewählt wird (nicht per Drag and Drop, sondern mit zwei einzelnen Klicks). Entsprechend der folgenden Abbildung wird als Zielkoordinate die vordere obere Ecke des Beispielmodells ausgewählt, sodass das Koordinatensystem auf der Modelloberfläche liegt.



**Hinweis:** Es sollte unbedingt sichergestellt werden, dass die Z-Achse als Vertikale eingerichtet ist! Dies ist von besonderer Bedeutung für die fehlerfreie Bearbeitung, da sich sonst ggf. die CNC-Maschine selbst schädigen könnte.

Der Koordinatenbezugspunkt sollte auf einer realen Oberfläche des zu bearbeitenden Modells liegen. D.h. es sollte keine Ebene gewählt werden, die schon zerspannt und abgetragen wurde.

Gespeichert wird das Setup durch Bestätigen des Buttons „OK“.

Nach dem die Vorbereitung abgeschlossen wurden, kann mit dem eigentlichen Erstellen der Schneidbewegungen angefangen werden.

## Bohrfräsen – 3mm Fräser

### Werkzeug

Zunächst sollen die drei kleinsten Bohrungen im Beispielmodell mit dem Operator „Bohrfräsen“ erstellt werden.

Toolbar → 2D → Bohrfräsen

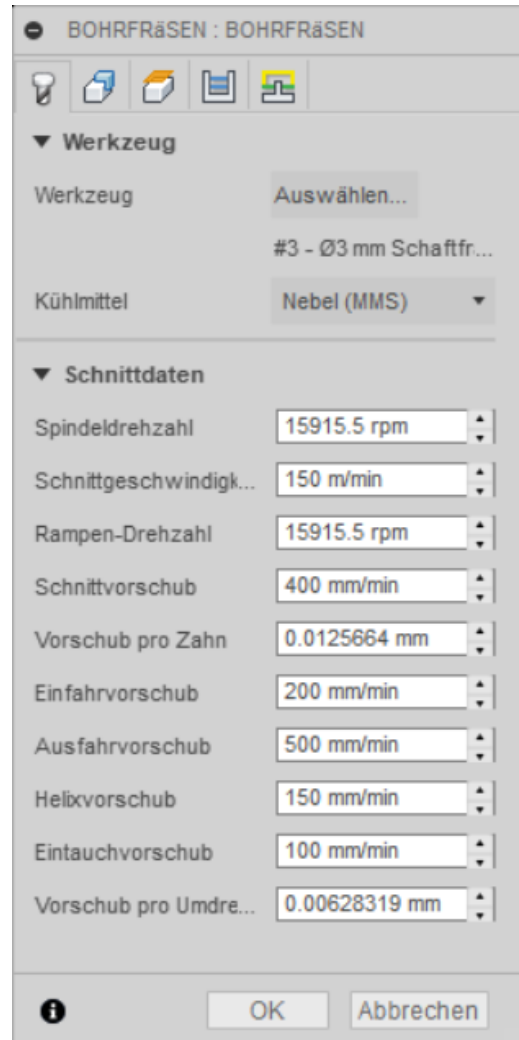
Unter „**Auswählen**“ wird in der Fusion 360-Werkzeugbibliothek ein geeignetes Werkzeug ausgewählt. Falls kein entsprechendes vorhanden ist, kann ein eigens erstelltes genutzt werden, welches in Kapitel „**Werkzeuge Erstellen**“ dargestellt ist. Hier wird der eigens erstellte 2-schneidige **3mm Schafffräser** ausgewählt.

Das **Kühlmittel** ist für die zu verwendende CNC-Fräsmaschine grundsätzlich auf „Nebel“ zu stellen.

Die **Schnittgeschwindigkeit** ist u.a. Produkt aus der Rotationsgeschwindigkeit des Werkzeuges sowie dem Werkzeugdurchmesser und gegenüber Gussaluminium auf ungefähr 150m/min zu wählen.

Der **Schnittvorschub** bestimmt den Vorschub des Werkzeuges beim Fräsvorgang. Entsprechend der Abbildung ist er auf 400mm/min zu setzen.

**Ein- und Ausfahrvorschub** geben die Geschwindigkeit des Werkzeuges bei Eintritt bzw. Austritt in eine definierte Sicherheitshöhe über dem CAD-Modell an, wobei keine Materialgegenwehr erwartet wird und können bei ca. 200 bzw. 500mm/min liegen.



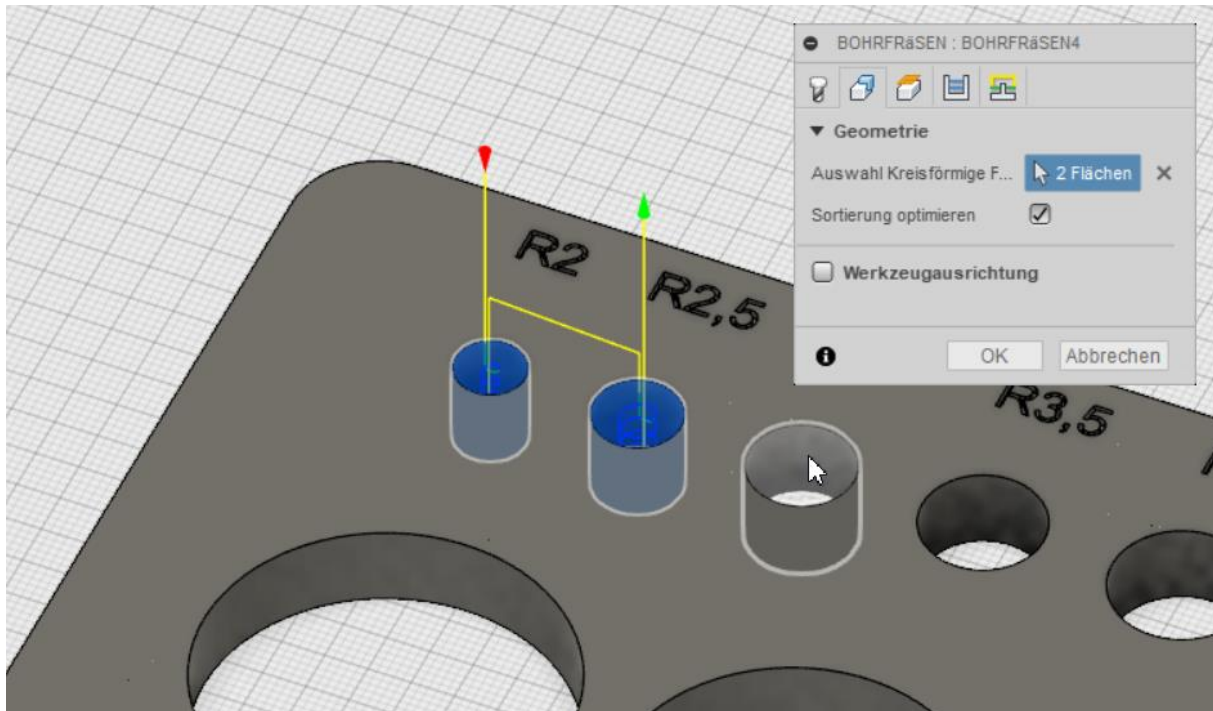
Der **Helixvorschub** ist von Bedeutung, wenn das Werkzeug spiralförmige Schneidbewegungen mit gleichzeitigem Absinken ausführt. Üblicherweise wird hier ein Wert von ca. 1/3 des Schnittvorschubwertes gewählt.

Der **Eintauchvorschub** gibt die Geschwindigkeit des Werkzeuges beim Absenken in das Werkstück an und wird mit 100mm/min gewählt. Da Fräser im vertikalen Vorschub mit ihren Nebenschneiden arbeiten muss der Vorschub hier stets geringer sein als beim horizontalen Vorschub.

Nach Übernahme aller Schnittwerte in die zugehörigen Textfelder, wird der Reiter „**Geometrie**“ aufgerufen und dort werden weitere Änderungen vorgenommen.

## Geometrie

In dieser Registerereinheit wird zur Auswahl der zu bearbeitenden Flächen aufgefordert.



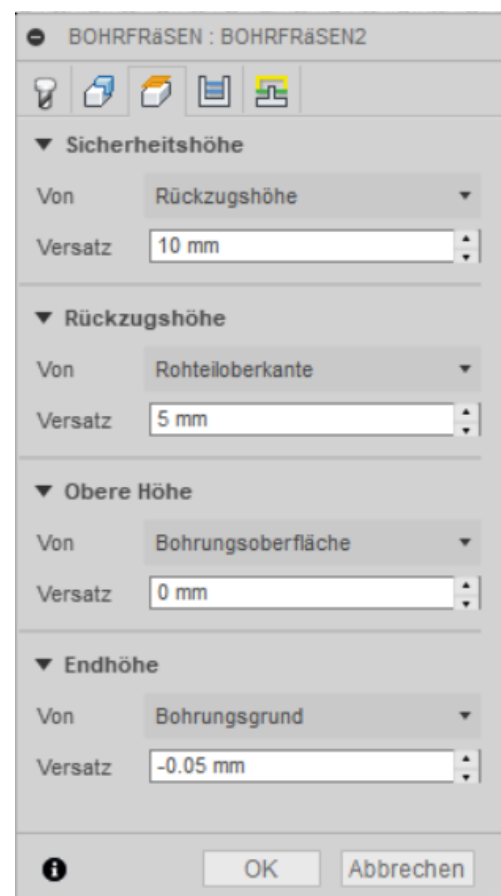
Durch Anvisieren der Bohrungsinnenfläche werden diese hervorgehoben. Per Klick werden sie blau hinterlegt und die spiralförmige Schneidbewegung wird animiert. Nach Auswahl der drei Innenflächen (R2; R2,5; R3) durch einfaches Anklicken, können im dritten Reiter „Höhen“ weitere Einstellung getroffen werden.

## Höhen

Die **Sicherheitshöhe** bestimmt die Höhe über der Modelloberfläche bis zu der das Werkzeug im Eilgang fährt, um Zeit zu sparen.

Die **Rückzugshöhe** gibt an, zu welcher Höhe das Werkzeug nach z.B. Bohrungsvorgängen aus dem Werkstück herausgehoben wird, bevor Horizontalbewegungen ausgeführt werden. Dies dient der Sicherheit gegenüber Brechen des Werkzeugs bei möglichem Materialkontakt.

Durch Festlegung der **Oberen Höhe** wird bestimmt, ab welcher Höhe der eigentliche Bohrungsvorgang gestartet werden soll. Dies kann bei unebenen Flächen oder unpräzisen Werkstückmaßen sinnvoll sein.



Mit Hilfe der **Endhöhe** wird die Tiefe bestimmt, bis wohin der Bohrvorgang fortgeführt werden soll. Dies ist sinnvoll, falls Bohrungen nicht „durchgestoßen“ werden.

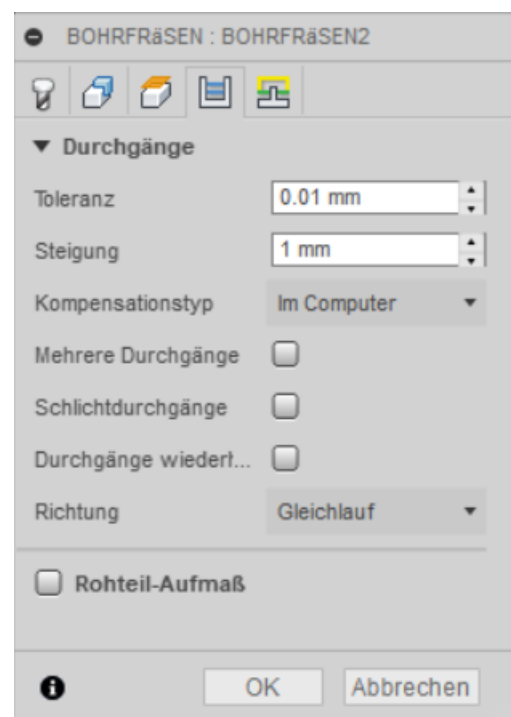
**Achtung:** Bei der zu wählenden **Endhöhe** von -0,05mm wird der Fräser durch das Modell in das darunterliegende Objekt fräsen. Es ist also unabdingbar eine geeignete Unterlage zu nutzen, da sonst in den Auflagetisch gefräst werden würde.

Jede dieser Höhen wird gesetzt, indem ein auszuwählender Versatz von einer bereits platzierten Ebene aus einer Liste bestimmt und angewendet wird.

## Durchgänge

### Toleranz:

Die Werkzeugwege im G-Code basieren hauptsächlich auf kurzen Linien und vor allem Splines, die annähernd die Geometrie des Grundmodells beschreiben sollen. Die Reduzierung der Geometrie durch Vereinfachung der Koordinaten erfolgt einerseits damit der G-Code nicht zu lang wird und andererseits damit die Speicherauslastung der CNC-Maschine nicht überbeansprucht wird. Die **Toleranz** gibt die maximale Abweichung der im G-Code vorhandenen Koordinaten von der „wahren“ Geometrie an. Das bedeutet, eine hohe Toleranz kann zu genaueren Ergebnissen führen, aber den G-Code auch deutlich aufbauschen.



### Steigung:

Hier wird die **Steigung** für metrische Gewinde in mm angegeben.

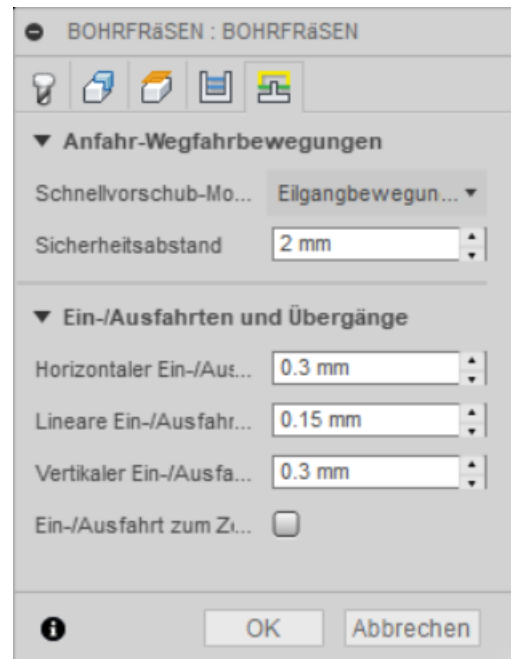
Der **Kompensationstyp** gibt an, an welcher Schnittstelle die Werkzeugkompensation für z.B. verschiedenen Werkzeugbreiten berechnet werden soll. Für gewöhnlich sollte hier „Im Computer“ belassen werden.

Falls die zu bearbeitende Fläche ein **Rohteil-Aufmaß** besitzt, kann dies mit einem Häkchen aktiviert werden und im Anschluss die Rohmaßdicke angegeben werden.

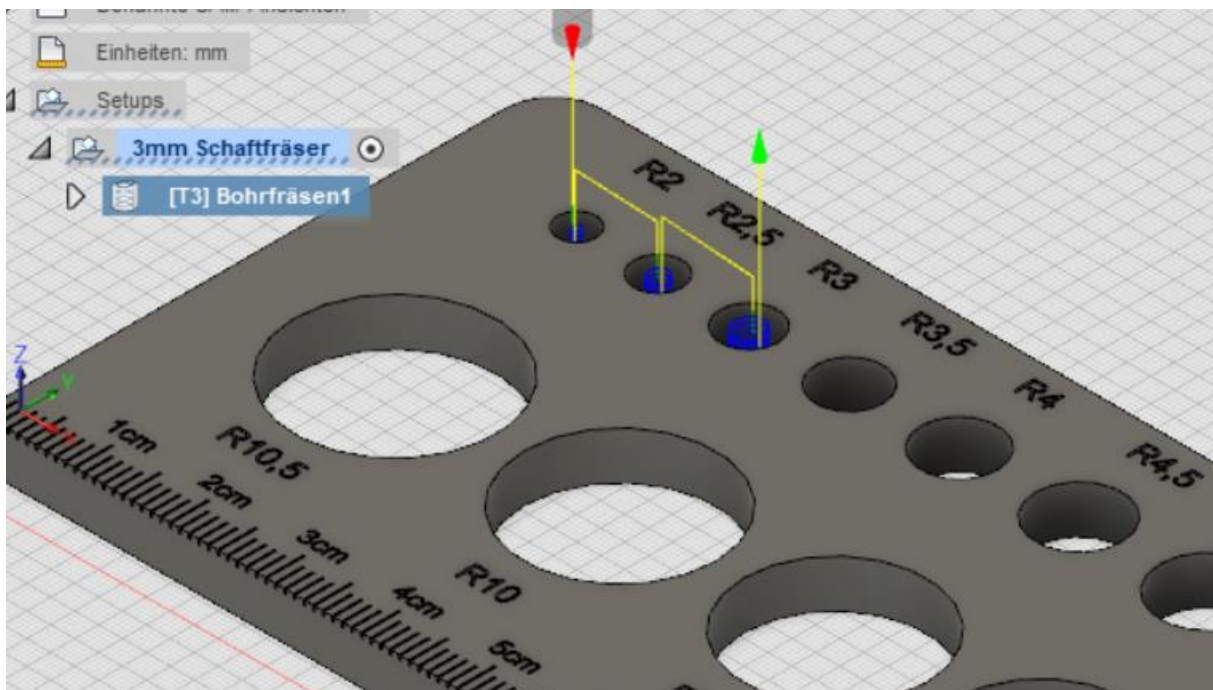
## Anfahr-Wegfahrbewegungen

Der **Sicherheitsabstand** gibt an, wie viel Abstand das Werkzeug von Konturen bei z.B. Ein- und Ausfahrt mindestens halten wird. Ein höherer Wert garantiert mehr Sicherheit, allerdings auch einen längeren Werkzeugweg.

Nach Bestätigen der Operation per Klick auf „OK“ wird der Werkzeugweg unter Nutzung aller Parameter berechnet und im Anschluss gespeichert. Verweigert das Programm an diesem Punkt jegliche Reaktion, ist keine Panik angebracht. Dies liegt dem hohen Ressourcenaufwand der Berechnung zugrunde.



Nachdem sich das Programm wieder steuern lässt, kann im Browser unter *Setup* → *Setup1* eine Einheit namens „[T3] Bohrfräsen1“ beobachtet werden. Wird diese angeklickt, so wird im Modell ein gelber sowie blauer Faden angezeigt. Dieser Faden stellt den erzeugten Werkzeugweg dar, der wie folgt aussehen sollte:



Falls der eigene Werkzeugweg von dem im Bild dargestellten abweicht oder andere Einstellungen nachträglich getroffen oder überarbeitet werden müssen, so kann die Operation auch nachbearbeitet werden.

*Setup* → *Setup1* → *[T3] Bohrfräsen* → *Rechtsklick* → *Bearbeiten*



## 2D-Adaptive Clearing – 3mm Fräser

### Werkzeug

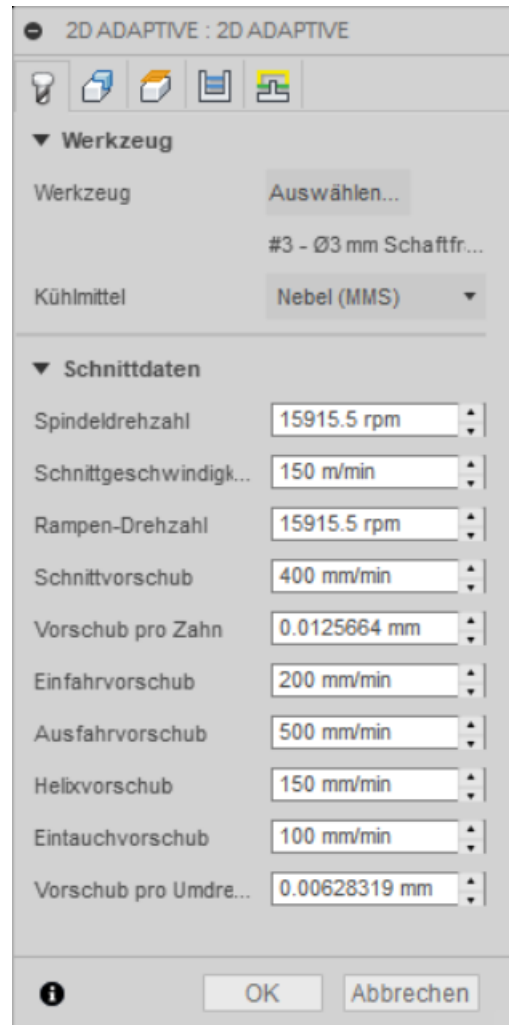
Die nächsten beiden Bohrungen werden durch die Operation „2D-Adaptive Clearing“ erstellt.

Toolbar → 2D → 2D-Adaptive Clearing

Es wird weiterhin mit dem 3mm -Schaffräser gearbeitet

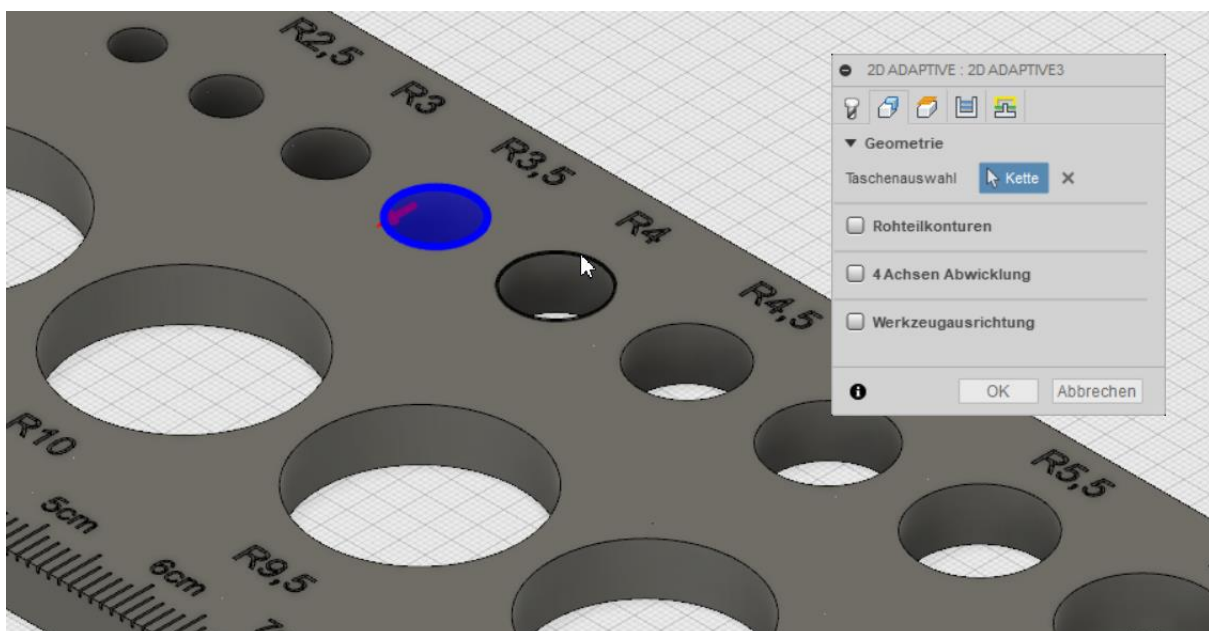
Im sich öffnenden Fenster werden die gleichen Schnittdaten eingestellt wie zuvor bei den Bohrungen, da hier mit dem gleichen Werkstoff gearbeitet wird.

Eine Übersicht über zu verwendende Schnittdaten für die CNC-Fräse bei verschiedenen Werkstoffen und Werkzeugdurchmessern ist im Anhang unter „Schnittparameter“ beigelegt.



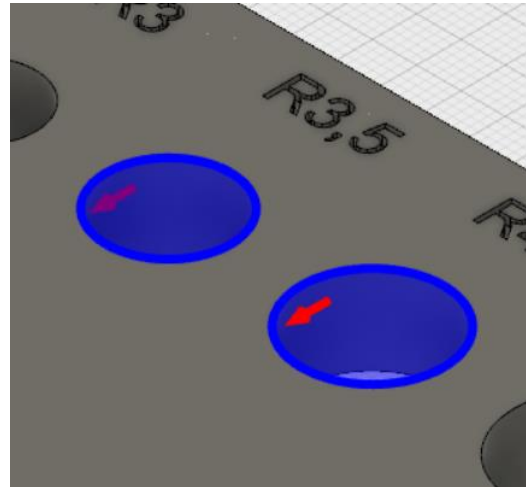
### Geometrie

In der Registerkarte Geometrie werden die zu bearbeitenden Konturen ausgewählt, an denen Material abgetragen werden soll.



Da 2D-Adaptive Clearing speziell für Taschen und nicht für Bohrungen konzipiert wurde, muss diesmal nicht die Innenfläche der Bohrungen ausgewählt werden, sondern die Kontur der Kreise R3,5 und R4 an der Modelloberfläche wie im vorherigen Bild dargestellt.

Wird die Kontur ausgewählt, so erscheint entweder der Innenteil der Kreise blau oder der Rest. Die blau gekennzeichnete Fläche gibt die abzuspannende Fläche an. Durch Klick auf den roten Richtungspfeil kann zwischen den zu zerspannenden Flächen gewechselt werden.

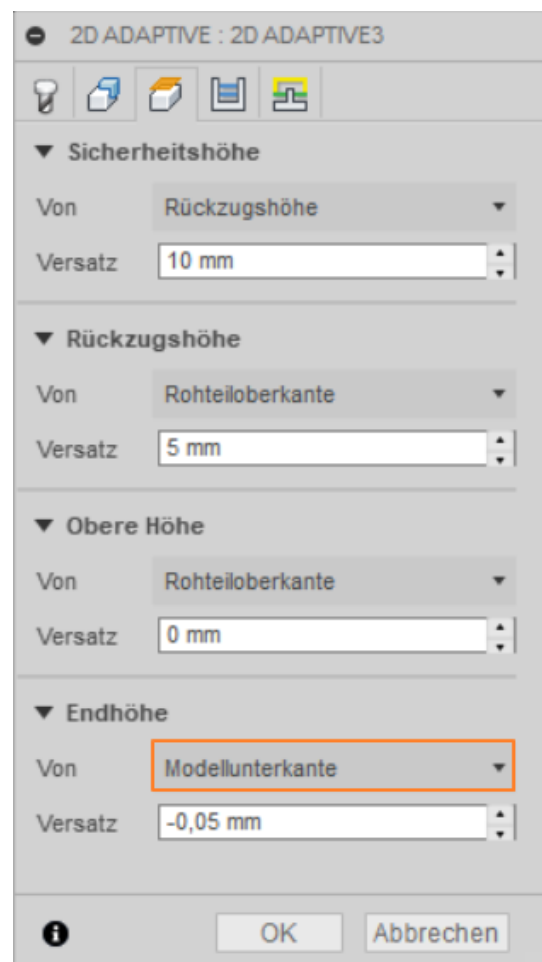


## Höhen

Da im Gegensatz zum Bohrfräsen kein Volumenmodell als Grundgeometrie des Werkzeugweges ausgewählt wurde, sondern nur eine Fläche, muss noch eine Höhen- bzw. Tiefenangabe erfolgen, da das Werkzeug andernfalls nur an der Modelloberfläche kratzen würde.

Die Arbeitstiefe wird durch die **Endhöhe** angegeben. Wichtig ist, hier als Referenzebene die **Modellunterkante** auszuwählen, da die Bohrungen von oben durch das ganze Modell verlaufen sollen.

Dem Versatz wird wieder ein Wert von -0,05 zugewiesen.

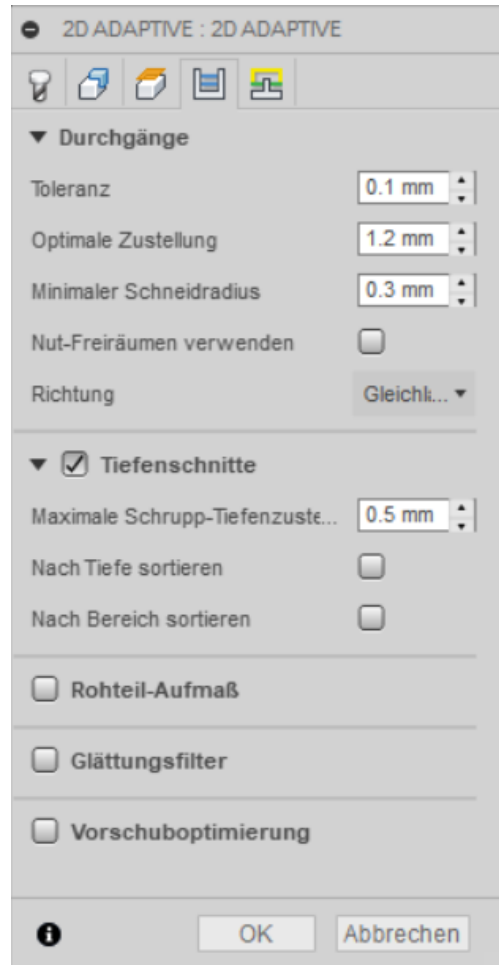


## Durchgänge

Die **optimale Zustellung** gibt die Werkzeugbreite bei dem Adaptive Clearing an, die maximal genutzt wird, um Material abzutragen. Durch eine kleinere Abtragungsfläche wird das Werkzeug geschont, es wird eine höhere Präzision erreicht und der Vorschub kann signifikant erhöht werden, was wiederum in kürzeren Bearbeitungszeiten resultieren kann.

Die **Tiefenschnitte** geben an, um wie viel das Werkzeug zwischen dem vollständigen Durchlauf einer Fläche abgesenkt wird. Dadurch ergibt sich die Anzahl an Intervallen, in der die Abtragung stattfindet. In diesem Fall sollen die Tiefenschnitte auf 0,5mm geändert werden.

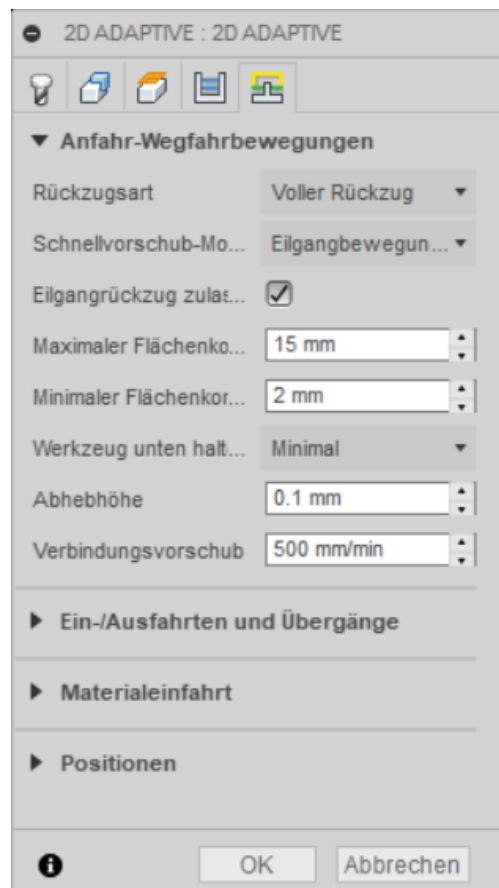
Das Häkchen bei **Rohteil-Aufmaß** ist zu entfernen.



## Anfahr-Wegfahrbewegungen

Unter „**Anfahr-Wegfahrbewegungen**“ finden sich viele Einstellungen zur Konfiguration und Beschleunigung der nicht-spanenden Bewegungen des Fräasers. Dies umfasst insbesondere die Rückzugsbewegungen.

Unter **Ein-/Ausfahrten** und **Übergänge** kann der Radius bestimmt werden, mit dem der Fräser „abkürzt“, wenn er von horizontaler Fräsbewegung vertikale Rückzugsbewegung wechselt.



## 2D-Tasche - 3mm Fräser

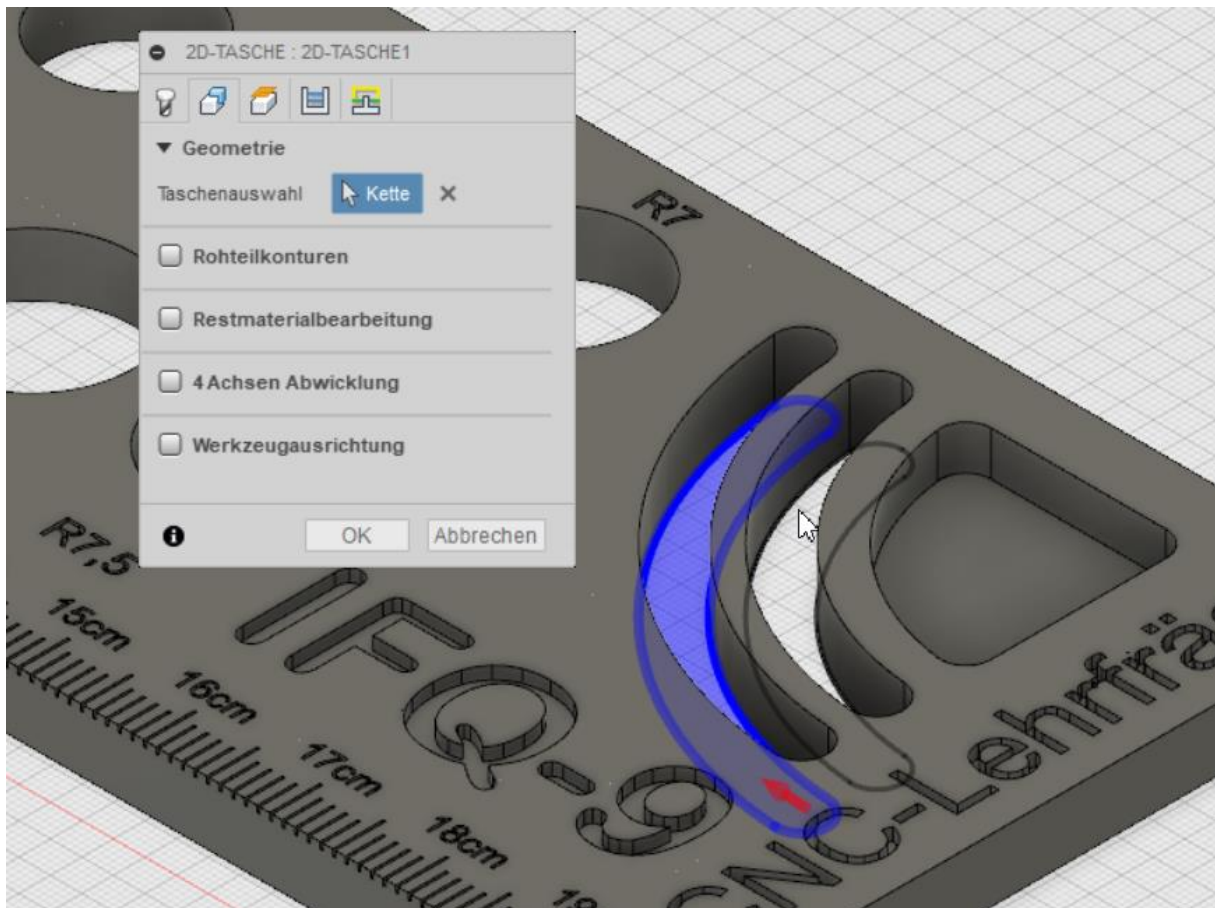
### Werkzeug

Im nächsten Schritt sollen die beiden bogenförmigen Taschen ausgeschnitten werden. Dazu wird auf den Operator „**2D-Tasche**“ zurückgegriffen.

*Toolbar → 2D → 2D-Taschen*

Wie zuvor für „**Bohrfräsen**“ und „**2D-Adaptive Clearing**“ werden die gleichen Schnittdaten verwendet.

Für die Taschenauswahl wird die Unterkantenkontur der beiden bogenförmigen Ausschnitte ausgewählt. Auch hier gilt, der Pfeil gibt an, ob Innerhalb oder außerhalb der Kontur gefräst werden soll.



Unter „**Höhen**“ wird ein weiteres Mal die Endhöhe auf „**Modellunterkante**“ eingestellt und der zugehörige Versatz mit -0,05mm gewertet.

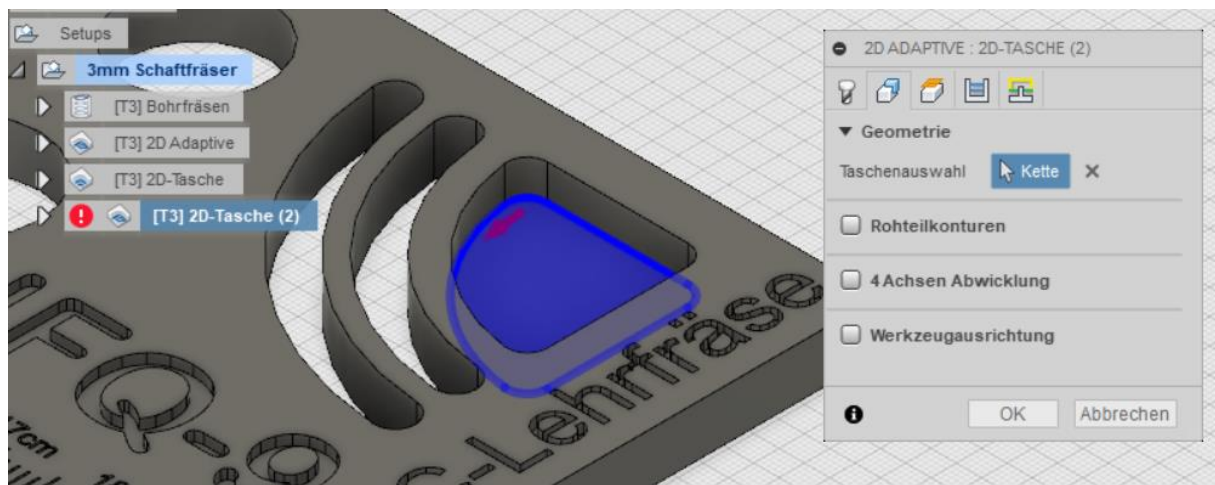
Im Reiter „**Durchgänge**“ wird die „maximale Querstellung“ auf 1,2mm gesetzt. Außerdem wird „Tiefenschnitte“ aktiviert und die maximale Schrupp-Tiefenzustellung auf 0,5mm gestellt.

Unter „**Anfahr-Wegfahrbewegungen**“ werden die Standardwerte beibehalten, hier muss nichts verändert werden. Mit Klick auf „**OK**“ wird die Operation bestätigt.

Nachdem die Tasche erstellt wurde, sollte im Browser ein Setup namens „Setup1“ mit drei Operationen vorhanden sein. Durch Auswählen des Setups durch Anklicken, kurzes Warten und ein weiteres Anklicken, kann das Setup umbenannt werden. Hier wird es „3mm Schafffräser“ betitelt, um später bei mehreren Setups nicht den Überblick zu verlieren.

Des Weiteren wird die Taschenoperation „**2D-Tasche**“ kopiert, indem das Pulldown-Menü durch einen Rechtsklick auf die Operation geöffnet wird. Hier wird „duplizieren“ ausgewählt.

Im Pulldown-Menü des Duplikats wird „Bearbeiten“ angeklickt. Im Anschluss kann in der Registerkarte „**Geometrie**“ die Auswahl der zu bearbeitenden Ausprägungen gelöscht werden, indem auf das X neben „Kette“ geklickt wird. Anstelle der beiden bogenförmigen Ausschnitte soll nun die untere Kontur der Tasche gesetzt werden. Außerdem sollte die Endmaße auf „**Ausgewählte Kontur(en)**“ und der Versatz gelöscht bzw. auf 0 gesetzt werden, damit die Tasche nicht tiefer geschnitten wird als im Modell vorgesehen.



Nach Abschluss der duplizierten Operation sind alle Werkzeugwegberechnungen für den 3mm-Fräser abgeschlossen. Für die restlichen Vorgänge wird entweder der Gravierstichel oder der 8mm-Fräser genutzt. Der 8mm-Fräser ist von Vorteil, da dieser durch seinen breiteren Durchmesser einen deutlich erhöhten Widerstandwert gegenüber seinem kleineren Pendant aufweist und damit bruchunempfindlicher ist. Des Weiteren kann durch die vergrößerte Schneidfläche mehr Volumen pro Zeiteinheit abgetragen werden und der Fräsvorgang verkürzt sich enorm.

## Gravur – 15°-Gravierstichel

### Werkzeug

Nachdem die Werkzeugwege der kleineren Bohrung sowie der Taschen mittels eines 3mm Schaftfräasers erstellt wurden, kann die Gravur bearbeitet werden. Da hier ein Werkzeugwechsel vorliegt, sollte zunächst ein neues Setup parallel zu Kapitel „**Koordinatensystem setzen**“ erstellt werden, dessen Koordinatenkreuz denselben Ursprung aufweist.

Dies ist von Bedeutung, da die Werkzeuge manuell eingespannt werden müssen. Dabei ist es nicht möglich, dies mit einer notwendigen Präzision auszuführen. Deshalb wird nach jedem Werkzeugwechsel die vertikale Z-Achse der CNC-Fräse neu kalibriert, damit der CNC-Fräse übermittelt wird, wo sich die Spitze des neu eingespannten Werkzeugs befindet.

Würde zusätzlich noch die X- oder Y-Achse verschoben werden, würde die CNC-Fräse davon ausgehen, das Modell liege an einer anderen Position, wodurch die Gravuren trotz richtiger G-Code-Koordinaten an der falschen Stelle erstellt werden würden. Um dies vorzubeugen, sollten die Koordinatenkreuze der Setups auf derselben Position liegen, mindestens aber in X- und Y-Achse übereinstimmen.

*Toolbar → 2D → Gravieren*

Als Werkzeug wird hier der eigens erstellte 15°-Gravierstichel verwendet. Zum Erstellen und Implementieren des Werkzeugs siehe Kapitel „**Werkzeuge Erstellen**“. Anzumerken ist, für Aluminium ist der 15°-Gravierstichel weniger zweckmäßig, da er auf Grund seiner dünnen Spitze bruchanfällig ist. Besser wäre ein Winkel von 120°. Für Holz jedoch ist der 15°-Gravierstichel gut geeignet.

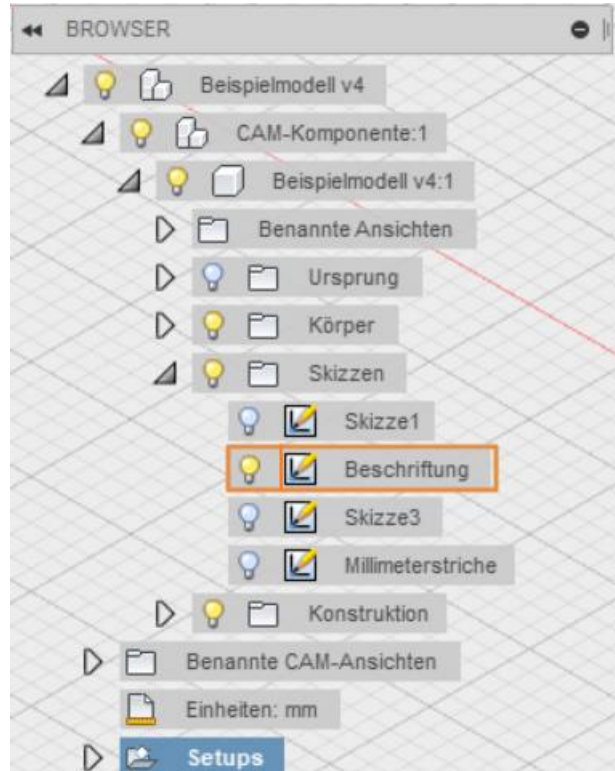


## Geometrie

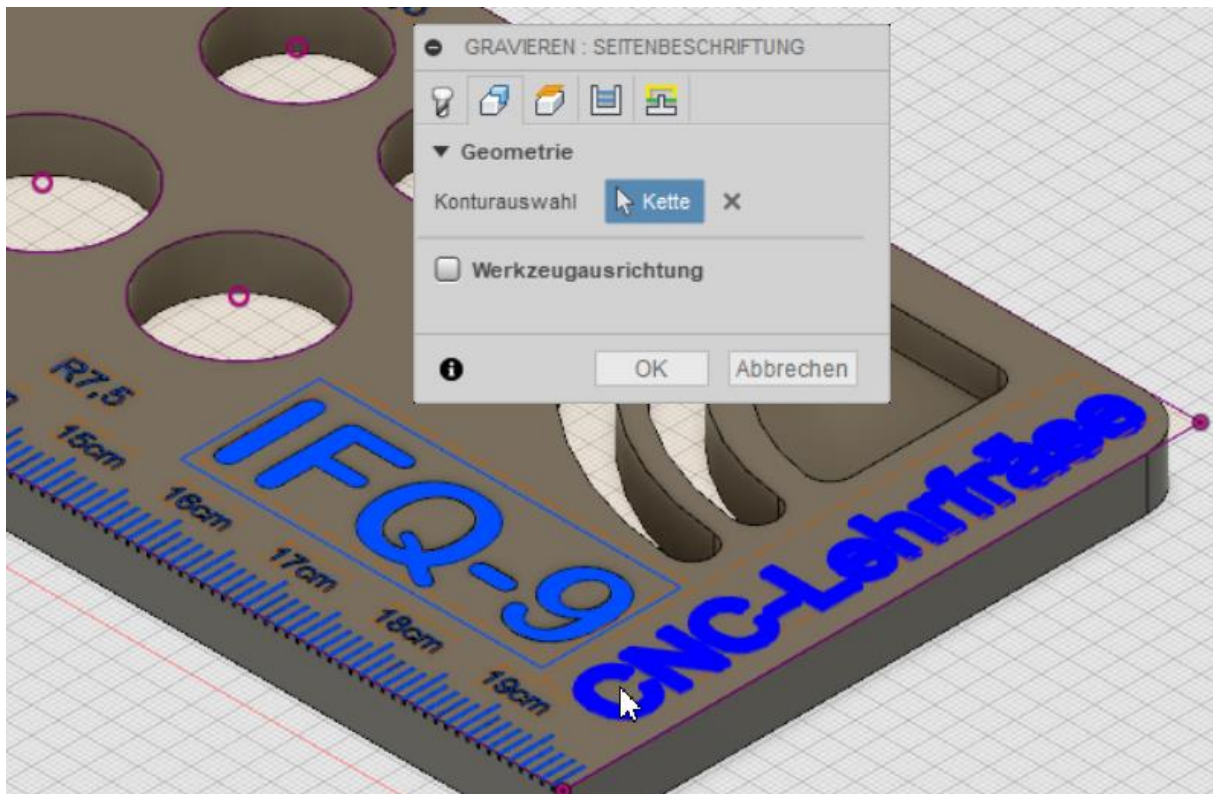
Üblicherweise müsste jede einzelne Kontur der Schrift bzw. Millimeterstriche einzeln angewählt werden. Allerdings gibt es auch die Möglichkeit ganze Skizzen auszuwählen, die zuvor im CAD-Modell genutzt wurden, um die Schrift darzustellen.

Die Skizzen lassen sich über den Browser einblenden.

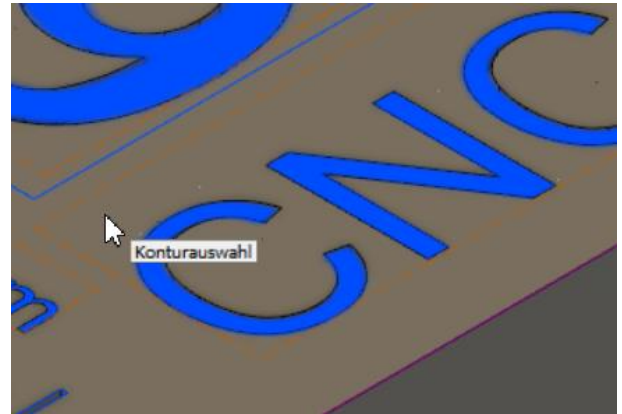
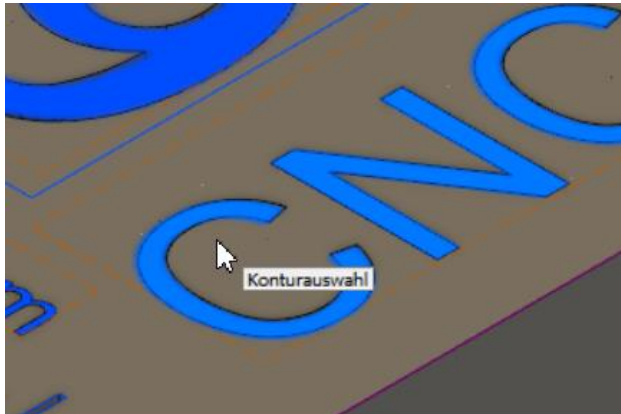
Leuchtet die Glühbirne im Icon vor der Skizze „**Beschriftung**“ gelb, so ist die Skizze aktiviert. Die Gravur im CAD-Modell hingegen wird dargestellt, unabhängig davon, ob die Skizze beobachtbar ist oder nicht. Ob die Skizzen angezeigt werden, lässt sich an den Lila Mittelpunktkreisen innerhalb der Bohrungen ermitteln (siehe untere Abbildung).



**Hinweis:** Alle Glühbirnen der übergeordneten Ordner müssen ebenfalls aktiviert sein.



In der Registerkarte „**Geometrie**“ kann jetzt die Beschriftung „**CNC-Lehrfräse**“ ausgewählt werden. Dies geschieht, indem mit dem Cursor Richtung der Schrift gewandert wird. Gelangt der Cursor nahe genug an die Buchstaben heran, so wird der komplette Schriftzug „CNC-Lehrfräse“ hellblau hervorgehoben. Liegt der Cursor jedoch auf einem einzelnen Buchstaben, so wird nur dieser hervorgehoben und dabei schwarz umrandet. Um nicht alle Schriftzeichen einzeln, sondern den gesamten Schriftzug in einem zu markieren, kann unterstützend die „Zoom“-Funktion genutzt werden.



In der linken Abbildung ist das erfolgreiche Hervorheben des gesamten Schriftzuges dargestellt, während die rechte Abbildung noch nicht „aufleuchtet“. Der Cursor sollte dichter zu den Buchstaben geführt werden.

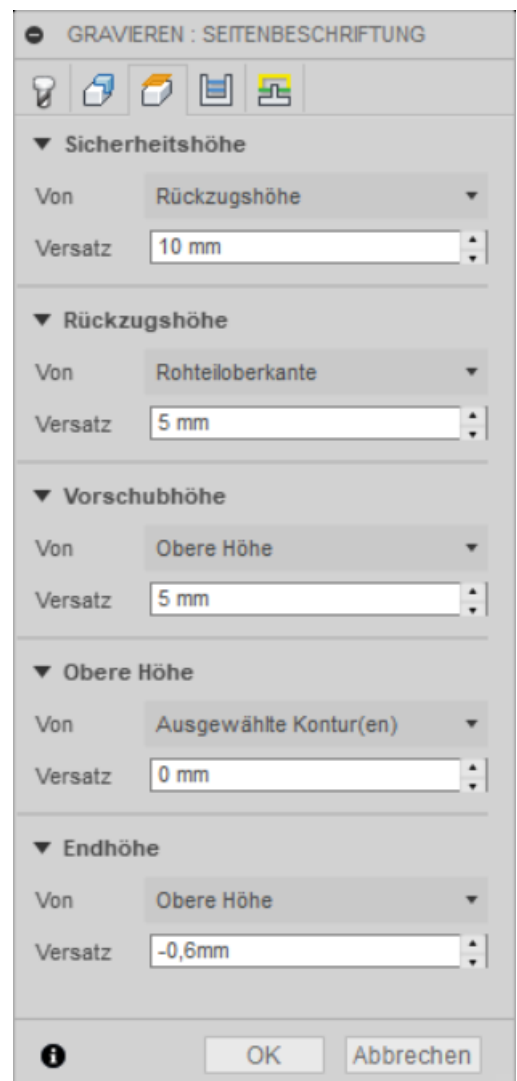
## Höhen

Die verschiedenen Höhenebenen bleiben unverändert und es werden die gleichen Werte gesetzt wie zuvor bei dem 3mm-Schafffräser.

Ausgenommen die Endhöhe, die sich von der „**Oberen Höhe**“ misst. Der zugehörige Versatz berechnet sich automatisch durch die Werkzeugeigenschaften des Gravierstichels.

## Durchgänge

Im Reiter Durchgänge bedarf es keiner Anpassungen.





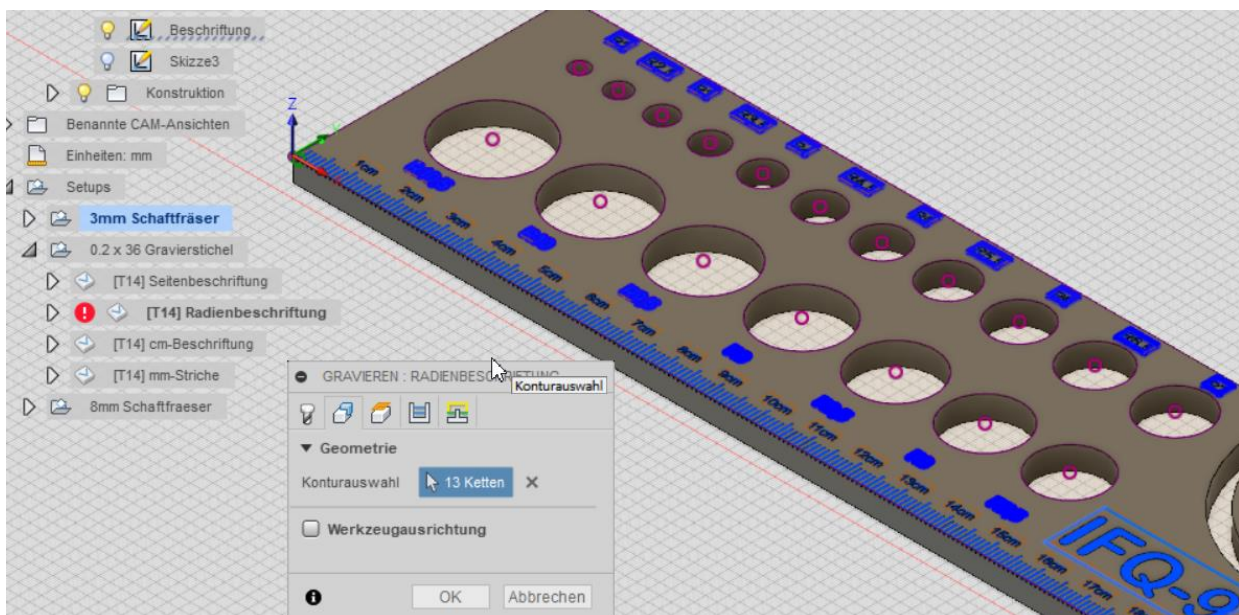
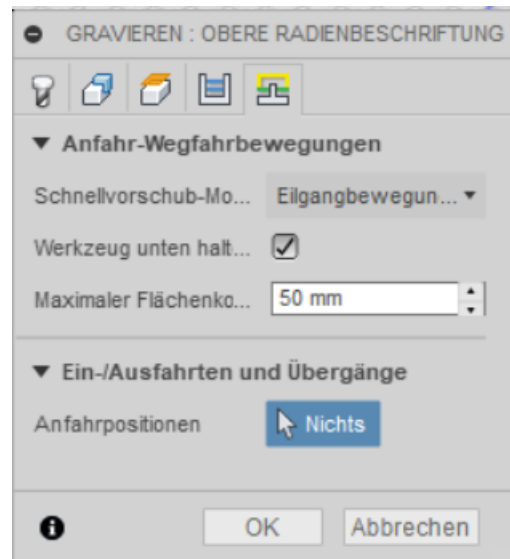
## Anfahr-Wegfahrbewegungen

Auch hier können die Standardwerte beibehalten werden.

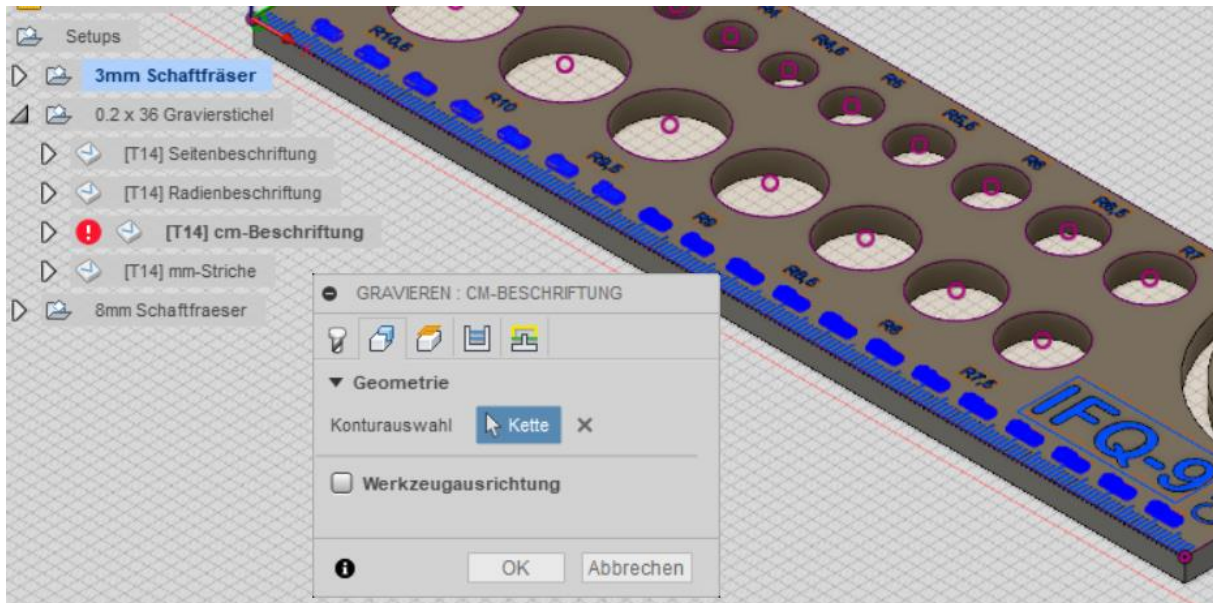
## Gravurduplikate

Um die restlichen Gravuren zu erstellen, werden Duplikate wie in Kapitel „**2D-Tasche - 3mm Fräser**“ genutzt. Es sollen insgesamt drei Duplikate, also vier identische Operationen vorhanden sein.

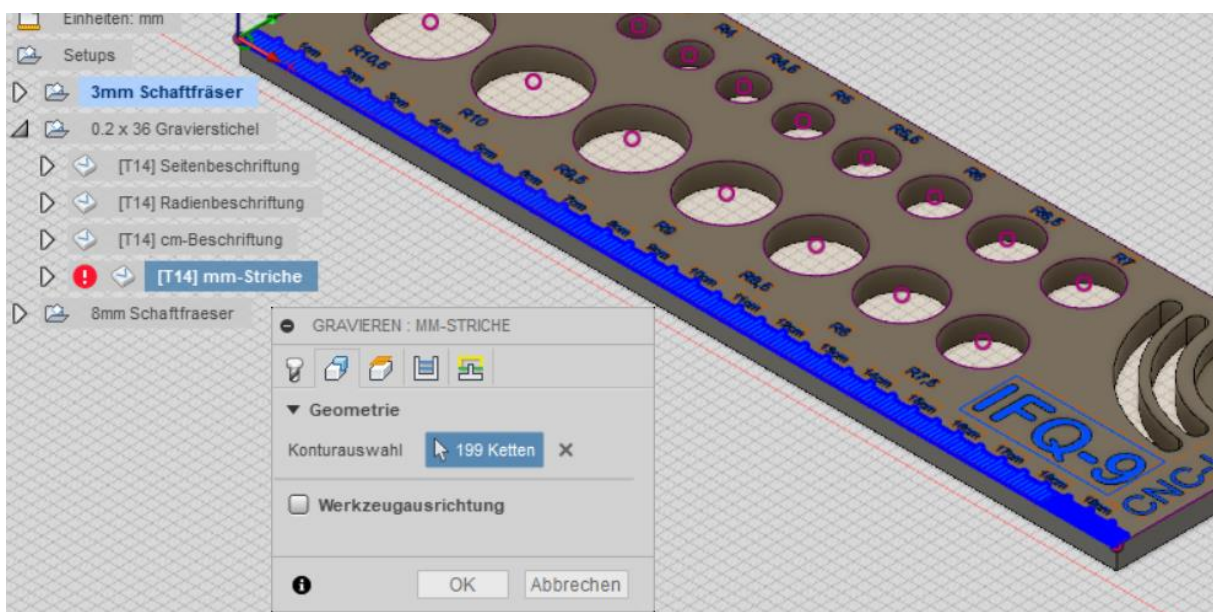
Nach Umbenennen der Funktionen (s. Kapitel **2D-Tasche - 3mm Fräser**) muss die Skizzenauswahl für jedes Duplikat im Tab „**Geometrie**“ ausgetauscht werden.



Im ersten Duplikat wird die Radienbeschriftung (R2-R10,5) als zu bearbeitende Gravur ausgewählt. Dafür werden die Nummerierungen nacheinander einzeln ausgewählt.



Für die dritte Gravieroperation wird die Zentimeterbeschriftung über den Millimeterstrichen sowie der Schriftzug „IFQ-9“ angeklickt.



Im letzten Schritt wird die noch übrig gebliebene Skizze der Millimeter-Striche ausgewählt. Dies geschieht allerdings nicht indem alle Millimeterstriche einzeln ausgewählt werden, sondern indem im Browser die Skizze „**Millimeterstriche**“ angewählt wird. Dadurch werden automatisch alle Millimeterstriche für die Konturauswahl selektiert.

Das Unterteilen der Gravierverfahren in mehrere kleine Abschnitte hatte mehrere Gründe. Zum einen können leichter Veränderungen für einzelne Skizzen vorgenommen werden und zum anderen dauert das Berechnen der Werkzeugwege nicht so lange. Des Weiteren reduziert es die Speicherauslastung beim Simulieren.

## Bohrfräsen - 8mm Fräser

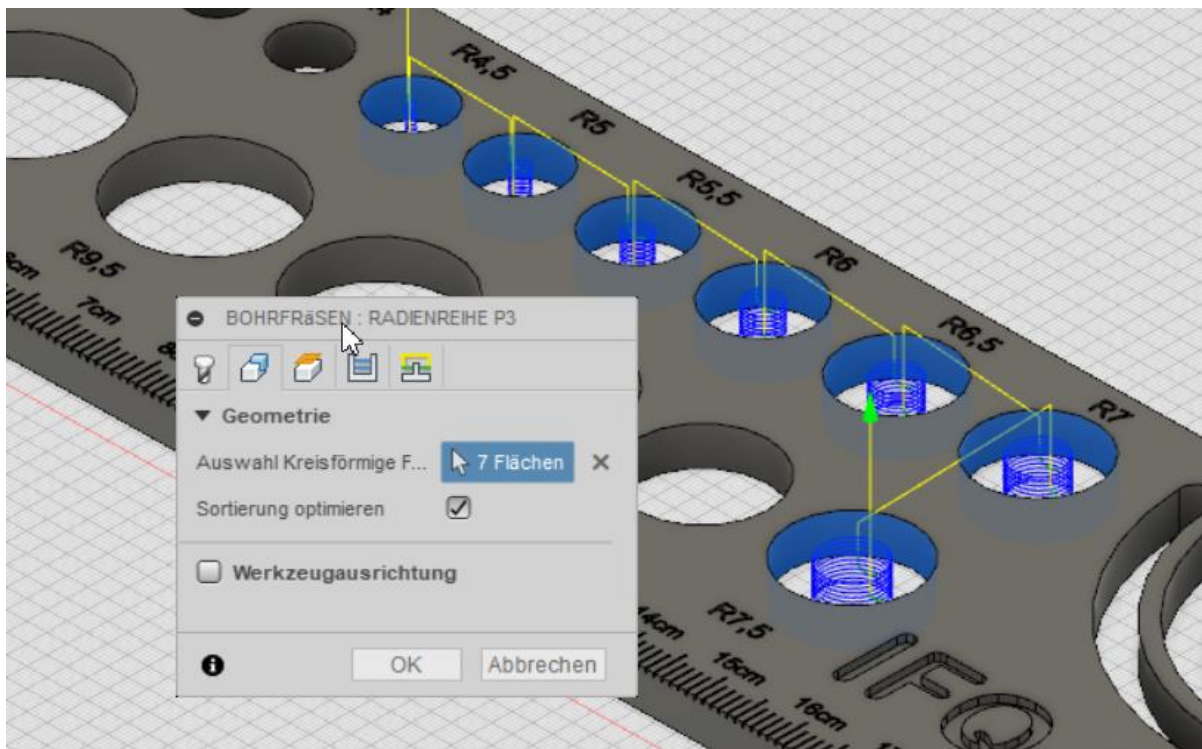
### Werkzeug

Da nun der zweite Werkzeugwechsel vorliegt, sollte ein neues Setup, wie in Kapitel „**Koordinatensystem setzen**“ beschrieben, angelegt werden.

Toolbar → 2D → Bohrfräsen

Zuvor wurde mit dem 3mm-Fräser eine Schnittgeschwindigkeit von 150m/min für Gussaluminium eingestellt, wodurch sich eine Spindeldrehzahl von 15915.5rpm ergab. Bei Beibehaltung der Schnittgeschwindigkeit würde sich auf Grund des breiteren Durchmessers des 8mm-Fräasers diesmal eine Drehzahl von 5968.31rpm einstellen. Jedoch benötigt die CNC-Lehrfräsmaschine mindestens eine Spindeldrehzahl von 6000rpm, da sich die Spindel sonst nicht dreht! Daher wird für die Spindeldrehzahl der Wert 6500rpm eingesetzt.

Tendenziell entspricht die Vorgehensweise mit dem 8mm-Fräser der des 3mm-Fräasers. Lediglich bestimmte Parameter ändern sich. In den nächsten beiden Kapiteln wird wieder mit den Operatoren „Bohrfräsen“ und „2D-Tasche“ gearbeitet. Deshalb können die folgenden beiden Kapitel auch als Überprüfung des gelernten Wissens angesehen werden.



## Geometrie

Als zu bearbeitendes geometrisches Element werden die Bohrungslöcher R4,5 bis R7,5 ausgewählt, indem wieder auf die Innenfläche der radialen Ausschnitte geklickt wird. Die Reihenfolge in der die Bohrungslöcher ausgewählt werden ist nicht von Relevanz, da Fusion 360 durch die Einstellung „**Sortierung optimieren**“ automatisch den effizientesten Werkzeugweg berechnet.

## Höhen

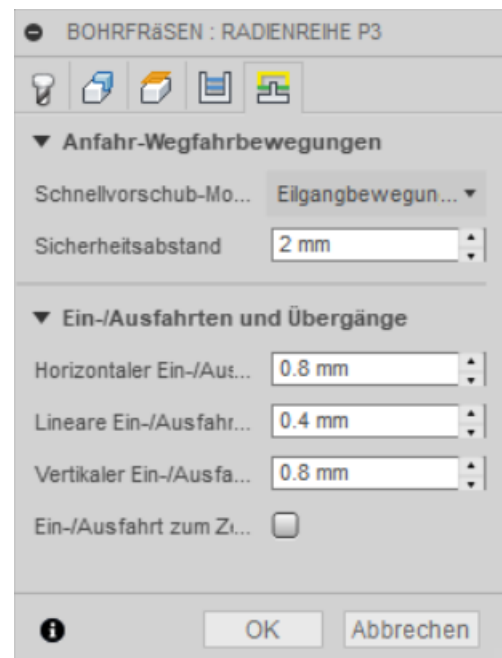
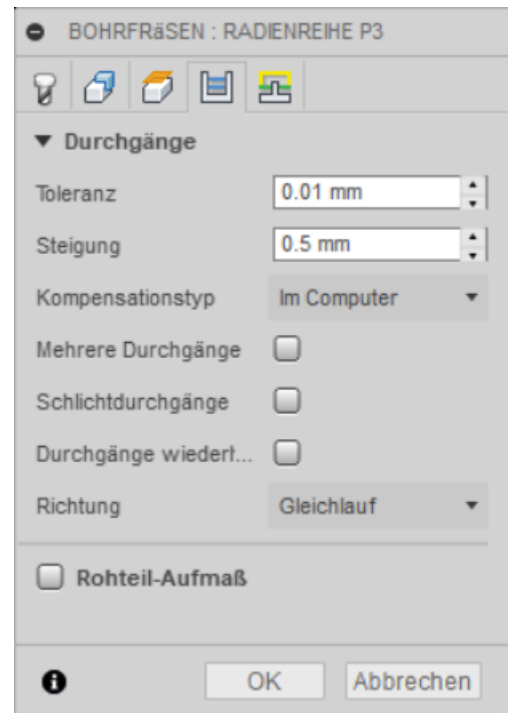
Zur Gewährleistung der Durchdringung des Beispielobjekts durch den Fräser, wird die Endhöhe wie gehabt auf -0,05mm gestellt. Der Bohrungsgrund stellt zugleich die Modellunterkante dar.

## Durchgänge

Mit der Einstellungsoption „**Richtung**“ kann zwischen Gleichlauf und Gegenlaufräsen gewählt werden. Grundsätzlich empfiehlt sich Gleichlaufräsen für CNC-Maschinen, da somit weniger Schneiddruck und Wärme aufgebaut wird, außer vom Hersteller des zu bearbeiten Werkstoffs wird Gegenlaufräsen gefordert.

## Anfahr-Wegfahrbewegungen

Die Anfahr-Wegfahrbewegungseinstellungen sind standardmäßig bereits passend für die auszuführende Operation eingestellt.



Mit Klick auf den Button „**OK**“ wird der Prozess bestätigt und die Operation erstellt. Diese ist nun im Browser einsehbar und dort für weitere Bearbeitung zugreifbar.

## 2D-Tasche – 8mm Fräser

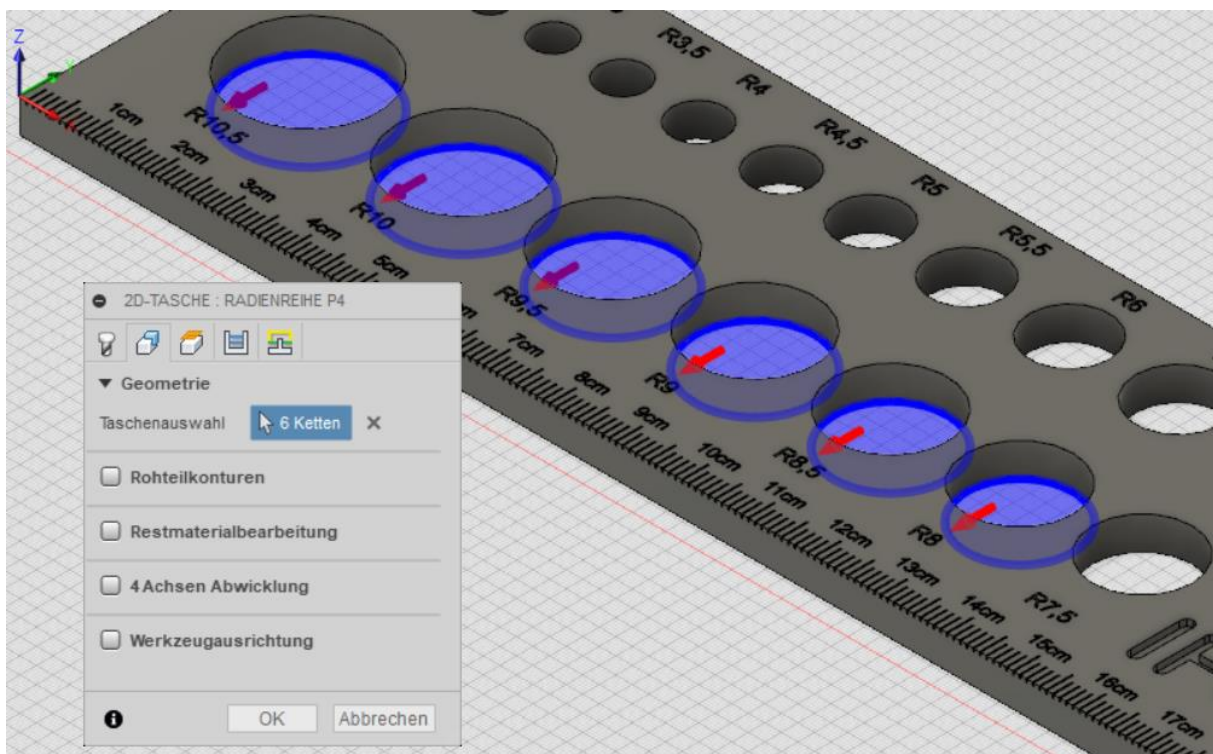
### Werkzeug

Toolbar → 2D → 2D-Tasche

Alternativ kann die Schnittgeschwindigkeit über den Exkurs „Schnittparameter“ im Anhang eigenständig ausgerechnet werden. Falls dabei höhere Werte errechnet werden als hier angegeben werden, liegt dies darin begründet, dass für den Anfang mit niedrigeren Werten gearbeitet werden sollte bis genügend Erfahrung aufgebaut wurde und der Umgang mit der CNC-Lehrfräsmaschine vertraut ist. Dies dient der eigenen Sicherheit und der Lebenszeit der nicht unbegrenzt vorliegenden Werkzeuge, die aus Kostengründen keiner unnötigen Gefährdung unterliegen sollten.

### Geometrie

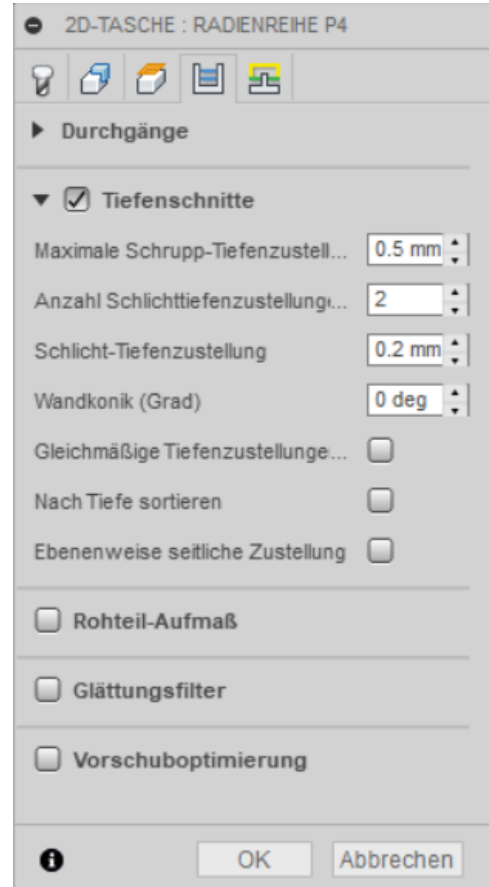
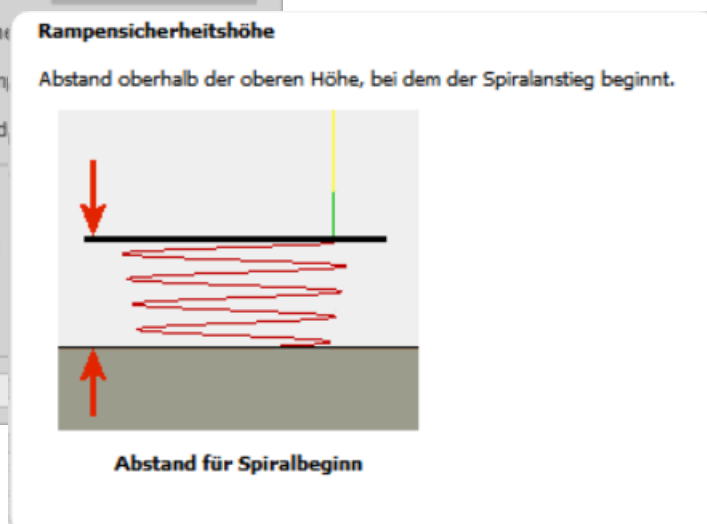
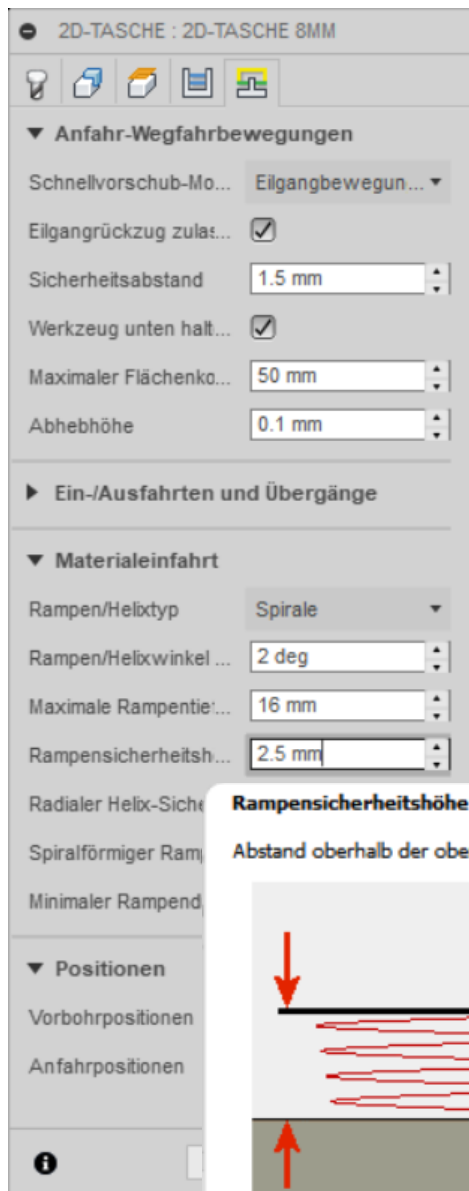
Mit der Operation 2D-Tasche sollen die letzten Bohrungen ausgefräst werden. Dazu werden wieder die radiale Konturen aller übrig gebliebenen Bohrungen (R8-R10,5) an der Unterseite des Modells ausgewählt.



## Durchgänge

Unter „**Durchgänge**“ sollte die „**maximale Querstellung**“ auf 3,2mm gestellt werden. Das entspricht 40% des Werkzeugdurchmessers und gilt als empfohlener Wert.

Die **maximale Querstellung** ist vergleichbar mit der bereits erklärten optimalen Zustellung des Adaptive Clearings. Allerdings wird bei der optimalen Zustellung sichergestellt, dass das Werkzeug nie mit einer größeren Fläche schneidet als angegeben. Anders als die maximale Querstellung, bei der zwischen Übergängen von einem zum nächsten Durchgang weiterhin Vollschnitte ausgeführt werden können.



## Anfahr-Wegfahrbewegungen

Wird mit dem Cursor über eine Einstellung gefahren und anschließend Stillstand gewahrt, so zeigt Fusion 360 nach einiger Zeit ein Informationskästchen an, in dem eine Erläuterung über die angewählte Option dargestellt wird. Dies funktioniert nicht nur in ausgewählten Fenstern, sondern über die gesamte Oberfläche des Programms hinweg.

## 2D-Kontur – 8mm Fräser

### Werkzeug

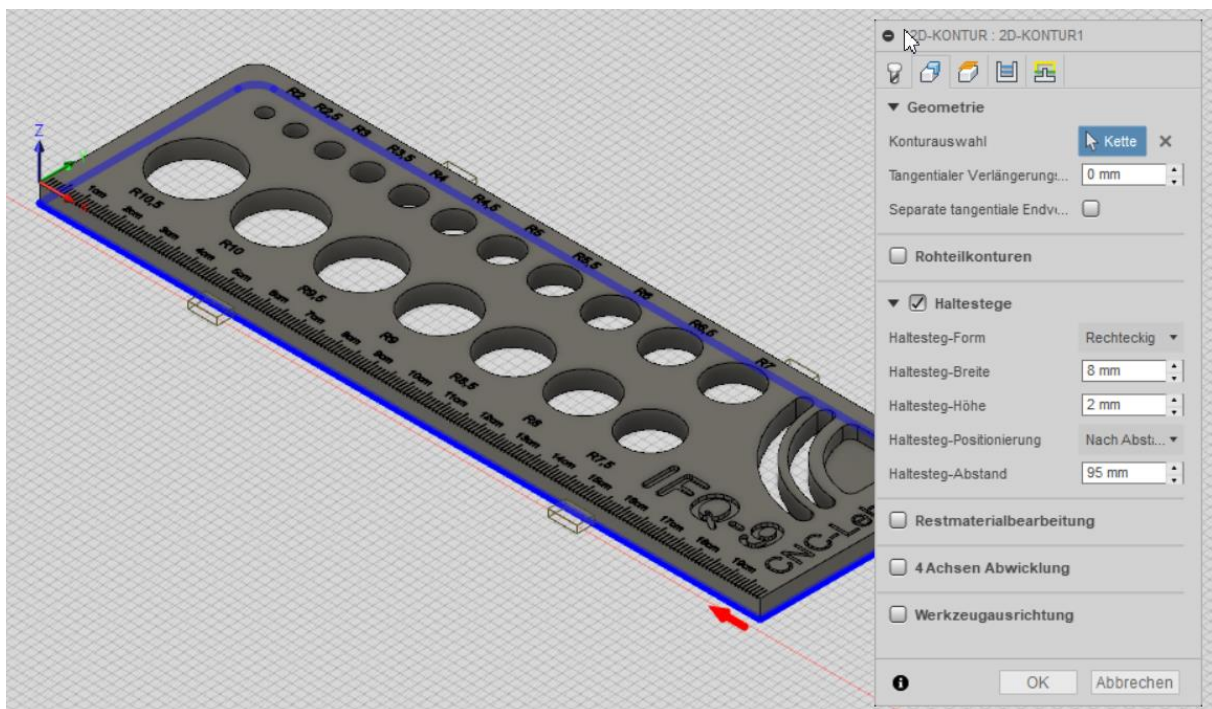
Im letzten Schritt wird dem Modell Gestalt gegeben, indem es aus dem Rohteil herausgeschnitten wird.

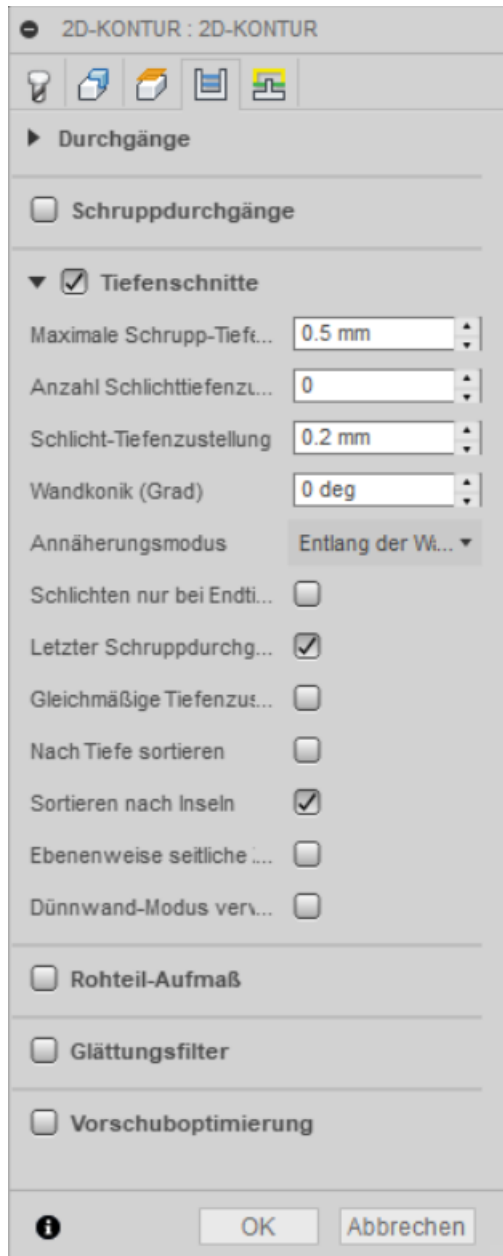
Dazu wird der Befehl „**2D-Kontur**“ aufgerufen.

*Toolbar → 2D → 2D-Kontur*

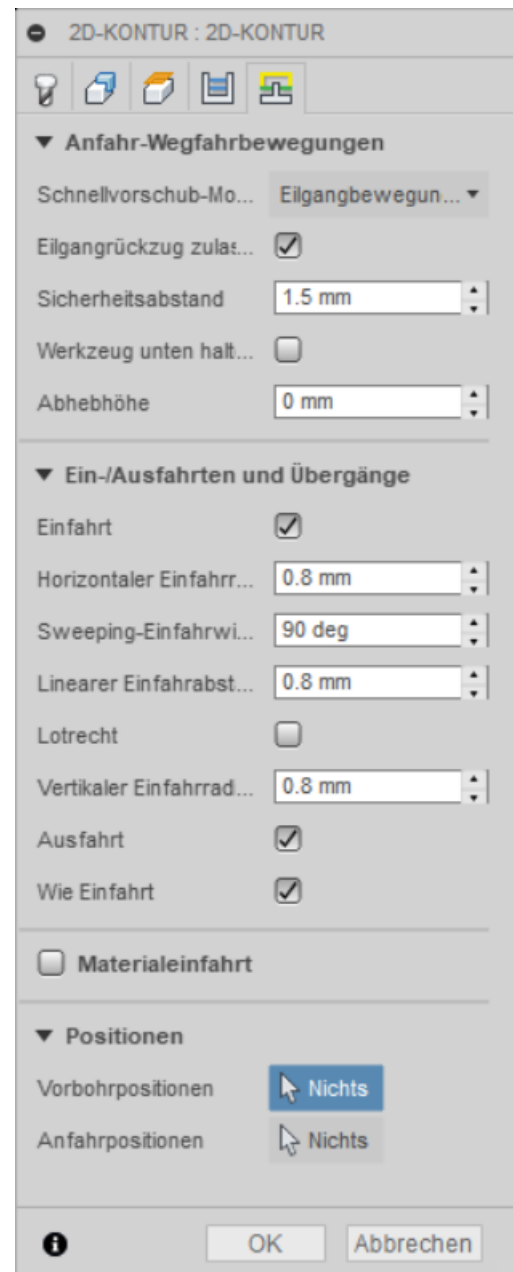
Beim vollständigen Ausfräsen des Modells aus seinem Rohteil ist darauf zu achten, dass das Modell befestigt ist und nicht verrutschen kann. Dies kann durch Haltestege gewährleistet werden, die das Modell nach dem Fräsvorgang immer noch mit dem Rohteil verbinden. Dabei wird bei dem Konturfräsen Material ausgelassen, das in Form von Brücken zurück bleibt und das Modell in seiner Position hält. Später kann das Modell herausgebrochen werden und die Überbleibsel der Haltestege nachbearbeitet werden.

Im Reiter „**Geometrie**“ wird dazu ein Häkchen bei „**Haltestege**“ gesetzt. Die Haltestegbreite sowie Dicke wird bei 8mm bzw. 2mm belassen. Der Abstand der Haltestege hingegen wird auf 95mm geändert, sodass vier Haltestege im Arbeitsbereich angedeutet werden.





Das Menü „**Durchgänge**“ der 2D-Kontur ähnelt dem der Tasche, beinhaltet jedoch größere Optionsvielfalt.



Die soeben abgeschlossene Operation beinhaltet den letzten nötigen Werkzeugweg für die Gestaltung des Lineals. Ab jetzt sind alle Schneidbewegungen erstellt und berechnet. Weiter geht es mit einer Überprüfung der berechneten Werkzeugwege (Werkzeugsimulation) und im Falle der korrekten Ausführung mit dem Anfertigen und Exportieren des G-Codes. Der G-Code ist das eigentliche informationsrelevante Material für die CNC-Lehrfräsmaschine bzw. dessen Steuerungssoftware und beinhaltet alle Werkzeugbewegungen und Schnittparameter für die verschiedenen verwendeten Werkzeuge.

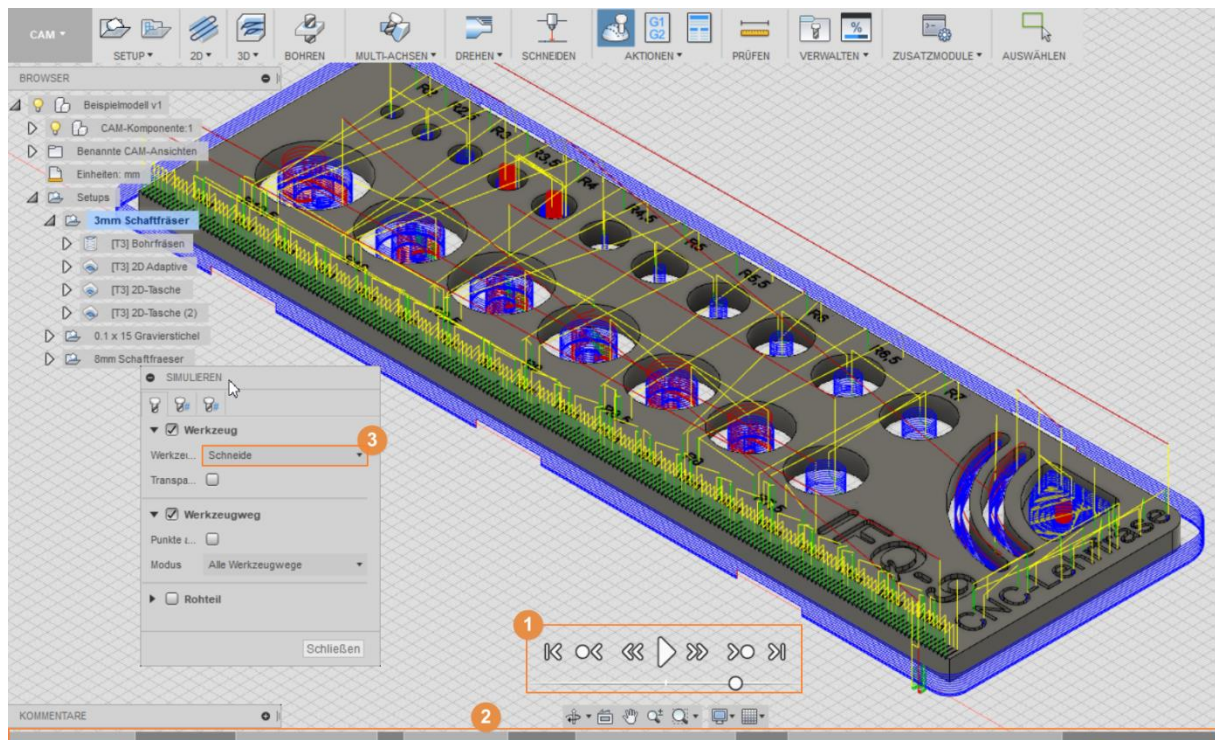


## Werkzeugsimulation

In Fusion 360 ist es möglich, erstellte Werkzeugbewegungen inklusiver aller Schneidparameter und Werkzeuge zu simulieren. Auf diese Art können mögliche Fehler aufgedeckt werden, die vorhandenen Wege können überprüft werden und es bietet Aufschluss über die Dauer des gesamten Bearbeitungsvorgangs.

*Browser → Setup → Rechtsklick → Simulieren*

Im Anschluss öffnet sich ein Fadenverlauf über dem Beispielmodell, das die Werkzeugbewegungen darstellt. Die gelben Linien geben den Eilgang an, grüne Linien hauptsächlich die Ausfahrtsbewegungen und blaue signalisieren den Schneidvorgang.



1. Über das „**Abspielen**menü“ kann die Simulation gestoppt werden. Des Weiteren kann zur nächsten Bewegung, Operation oder zum Ende des Werkzeugweges gesprungen werden. Der Schieberegler am unteren Ende gibt die Wiedergabegeschwindigkeit an.
2. Die „**Zeitachse**“ bietet eine Übersicht über die derzeit simulierten Vorgänge und deren Dauer.
3. Über das Menü „**Simulieren**“ können verschiedene Informationen wie z.B. die Anzahl der Werkzeugwechsel eingesehen werden.

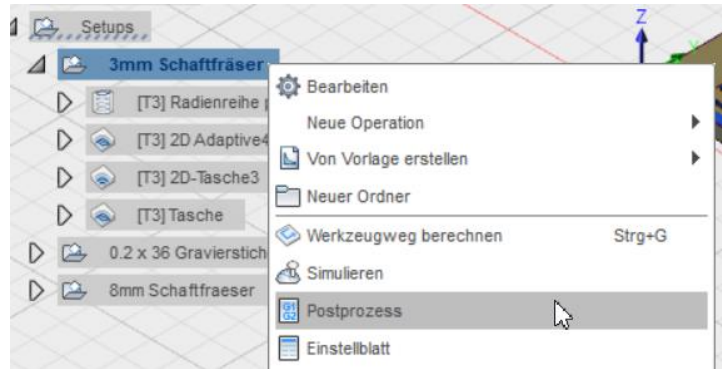
Alternativ ist es möglich, nur einzelne Setups oder Operationen zu simulieren, indem das Rechtsklickmenü des jeweiligen Ziels geöffnet wird und dort „**Simulieren**“ ausgewählt wird.

Über den Button „**Schließen**“ im Menü „**Simulieren**“ lässt sich die Simulation beenden.

## G-Code-Erstellung

Nachdem alle Werkzeugwege berechnet und in der Simulation auf Fehler überprüft wurden, muss der G-Code generiert und der CNC-Fräsmaschine übermittelt werden.

Für jedes Setup wird ein eigener G-Code erstellt, da die genutzte Software innerhalb eines G-Code-Durchlaufs keine neue Ausrichtung der Z-Achse nach einem Werkzeugwechsel zulässt.



Browser → Setup → 3mm Schaftfräser → Rechtsklick → Postprozess

**Konfigurationsordner**

C:\Users\mathis\AppData\Local\Autodesk\webdeploy\production\8556a3e1d81f6c5f0t Setup

**Postprozessor-Konfiguration**

Suchtext eingeben Alle Alle Zulieferer

LinuxCNC (EMC2) / linuxcnc Konfiguration öffnen

**Ausgabeordner**

E:\USB-Stick NC-Erweiterung

Ordner öffnen .ngc

**Programmeinstellungen**

Programmname oder -nummer: 10012

Programmkommentar: 3mm Schaftfraeser

Einheit: Dokumenteneinheit

Zur Minimierung von Werkzeugwechseln neu ord

NC-Datei im Editor öffnen

Eigenschaft	Wert
(Integriert) Helixbewegungen zulassen	Ja
(Integriert) Schnellvorschub-Zuordnung	Eilgangbeweg...
(Integriert) Schnellvorschub	0
(Integriert) Maximaler Zirkularradius	1000
(Integriert) Minimale Sehnenlänge	0.01
(Integriert) Minimaler Zirkularradius	0.01
(Integriert) Toleranz	0.002
Optional stop	Ja
Preload tool	Ja
Separate words with space	Ja

[In Autodesk-HSM-Postprozessor-Bibliothek nach Postprozessoren suchen](#) Postprozessor Abbrechen

Im sich öffnenden Fenster „Postprozess“ muss in erster Linie der G-Code auf LinuxCNC umgestellt werden. Das Dropdownmenü, in dem das erledigt werden kann, ist durch das obere orange Kästchen in der vorherigen Abbildung dargestellt.

Dies ist von Bedeutung, da jedes Betriebssystem einen G-Code eigens interpretiert. Die Fräsmaschine für Lehrzwecke basiert auf LinuxCNC, dementsprechend muss der G-Code auf für LinuxCNC basierende Systeme erstellt werden.

Im Ausgabeordner wird ein externer Datenträger angegeben. Da die CNC-Maschine über keinen Netzwerkanschluss verfügt, muss die Datenübertragung stets per externem Datenträger erfolgen.

Nach Bestätigen des Prozesses per Klick auf „Postprozessor“, öffnet sich ein Fenster, in dem der Speicherort sowie der Dateiname noch mal bestimmt werden können. Für eine höhere Ordnung ist es empfehlenswert, die G-Codes zu benennen, z.B. entsprechend ihrer Setupreihenfolge oder nach Datum. Hierbei werden jedoch keine Buchstaben, sondern nur Zahlen als Kennzeichnung zugelassen. Nach erfolgreichem Erstellen und Speichern des G-Codes wird dieser in einem sich öffnenden Fenster angezeigt. Falls Interesse besteht G-Codes allgemein etwas besser verstehen zu wollen, so findet sich im **Anhang** der weiterführenden Anleitung „**Anleitung zur Benutzung der Fräsmaschine**“ eine Erklärung der häufigsten und wichtigsten G-Codes.

Parallel dazu werden die anderen beiden Setups ebenfalls in G-Codes umgewandelt, benannt und auf dem Datenträger gespeichert. Anschließend kann dieser an den Steuerungscomputer der CNC-Lehrfräsmaschine angeschlossen werden und das Fräsen kann beginnen.

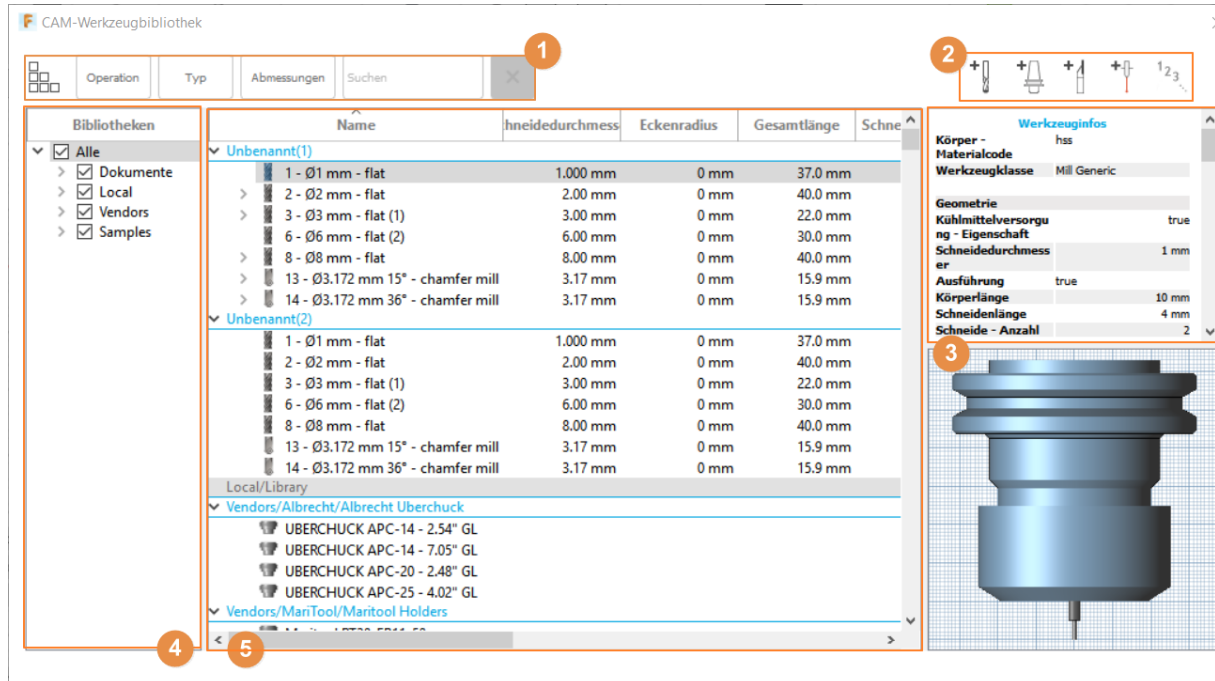
Alles Weitere wird in der Fortsetzung „**Anleitung zur Benutzung der Fräsmaschine**“ ausführlich beschrieben. Diese findet sich in digitalisierter Form im Archiv des FabLab und liegt zudem im Laborraum als Printversion vor, in der sich auch die CNC-Lehrfräsmaschine befindet.

## Werkzeuge Erstellen

Die Werkzeugbibliothek lässt sich über

*Toolbar* → *Verwalten* → *Werkzeugbibliothek*

aufrufen.



1. In dieser Suchleiste kann die Werkzeugbibliothek nach bestimmten Werkzeugen durchsucht werden. Als Kategorien werden die mit den Werkzeugen auszuführenden Operationen, die Werkzeugart sowie die geometrischen Abmessungen des Werkzeugs angeboten. Zudem kann in der Suchleiste die gesamte Bibliothek nach Stichworten durchforstet werden.
2. In diesem Menü können neue Werkzeuge erstellt werden und in die Bibliothek überführt werden. Anschließend können diese in Fusion 360 für Zerspanvorgänge und Simulation genutzt werden.
3. In dem Bereich Werkzeuginfos werden die Daten des ausgewählten Werkzeuges listenförmig dargestellt. Somit kann schnell überprüft werden, ob das Werkzeug für bestehende Aufgaben angemessen ist.
4. Der Abschnitt Bibliothek ist eine nach Ordnern gegliederte Struktur des Datenbanksystems. Es können Ordner erstellt werden, in denen Werkzeugdateien abgelegt werden, um z.B. für bestimmte Projekte alle Werkzeugdateien gebündelt vorliegen zu haben.
5. In diesem Fenster sind alle Werkzeuge aufgelistet, die im Datenbanksystem der Software enthalten sind oder den Suchkriterien entsprechen. Hier kann zwischen den Eigenschaften der Werkzeuge sortiert werden und durch einen Doppelklick kann ein Werkzeug ausgewählt werden.


Da die Datenbank der Software kein geeignetes Werkzeug aufweist das so auch tatsächlich im FabLab vorhanden ist, wird auf die Möglichkeit zurückgegriffen eigene Werkzeuge zu erstellen.

Toolbar → Verwaltung → Werkzeugbibliothek → Neues Fräs Werkzeug 

Als nächstes sollten folgende Werte in den Reitern „Werkzeug“ und „Schnittdaten“ angegeben werden.

Bibliothek: [Beispielmodell v0]

Allgemein Werkzeug Schaft Halter Schnittdaten Postprozessor

Type:  Schaftfräser

Number of Flutes: 2

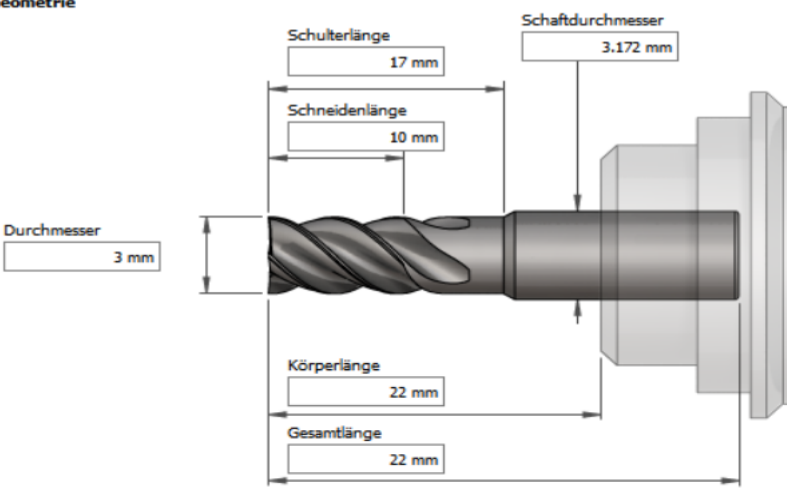
Material: HSS

Spindelrotation im Uhrzeigersinn

Innenkühlungskühlmittel: Nein

Einheit: Millimeter

**Geometrie**



Durchmesser: 3 mm

Schulterlänge: 17 mm

Schneidenlänge: 10 mm

Schaftdurchmesser: 3.172 mm

Körperlänge: 22 mm

Gesamtlänge: 22 mm

OK Cancel

Bibliothek: [Beispielmodell v1]

Allgemein Werkzeug Schaft Halter Schnittdaten Postprozessor

**Geschwindigkeit**

Spindeldrehzahl: 15915.5 rpm

Schnittgeschwindigkeit: 150 m/min

Rampen-Drehzahl: 15915.5 rpm

**Vorschübe**

Schnittvorschub: 400 mm/min

Vorschub pro Zahn: 0.0125664 mm

Einfahrsvorschub: 200 mm/min

Ausfahrsvorschub: 500 mm/min

Helixvorschub: 150 mm/min

**Vertikale Vorschubgeschwindigkeit:**

Eintauchvorschub: 100 mm/min

Vorschub pro Umdrehung: 0.00628318 mm

OK Cancel

In der Registereinheit „**Werkzeug**“ wird die Geometrie des Werkzeugs und den daraus abgeleiteten Eigenschaften erstellt.

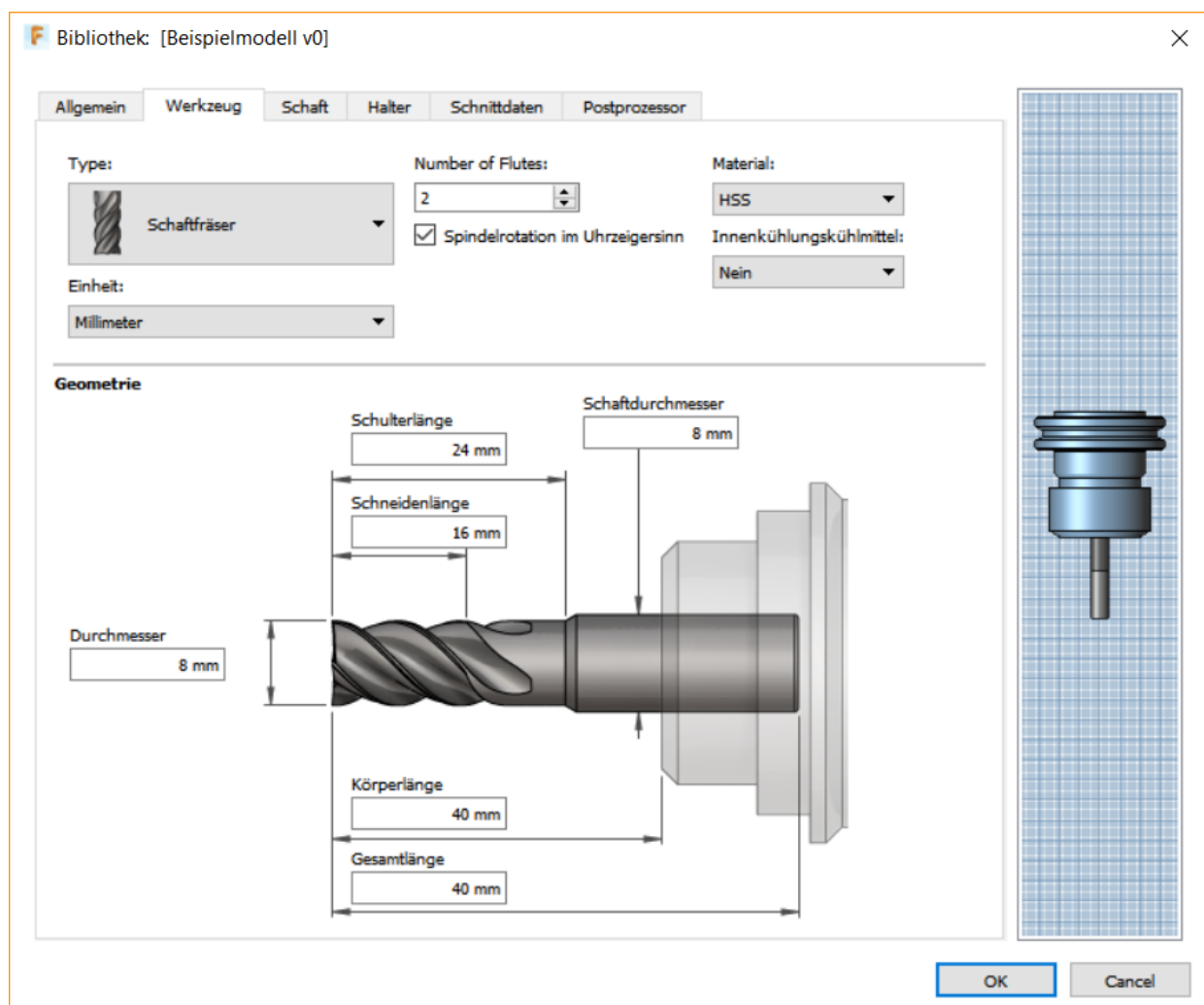
Die in der Registereinheit „**Schnittdaten**“ eingetragenen Daten werden automatisch für alle Werkzeugbewegungen des Werkzeugs als Standardeinstellung gesetzt, können aber individuell für jede Operation variiert werden.

Des Weiteren sollte in dem Tab „**Postprozessor**“ der manuelle Werkzeugwechsel aktiviert werden.

Mit Klick auf „Ok“ wird die Aktion bestätigt und das Werkzeug findet Einlass in die Werkzeugbibliothek des Systems.


Nachdem das erste Werkzeug erfolgreich hinzugefügt wurde, kann nach der selben Vorgehensweise mit dem 8mm-Fräser fortgefahren werden.

Toolbar → Verwaltung → Werkzeugbibliothek → Neues Fräs Werkzeug 



Bibliothek: [Beispielmodell v0]

Algemein Werkzeug Schaft Halter Schnittdaten Postprozessor

Type:  Schaftfräser

Number of Flutes: 2

Material: HSS

Einheit: Millimeter

Spindelrotation im Uhrzeigersinn

Innenkühlungsmittel: Nein

**Geometrie**

Schulterlänge: 24 mm

Schneidenlänge: 16 mm

Schaftdurchmesser: 8 mm

Durchmesser: 8 mm

Körperlänge: 40 mm

Gesamtlänge: 40 mm

OK Cancel

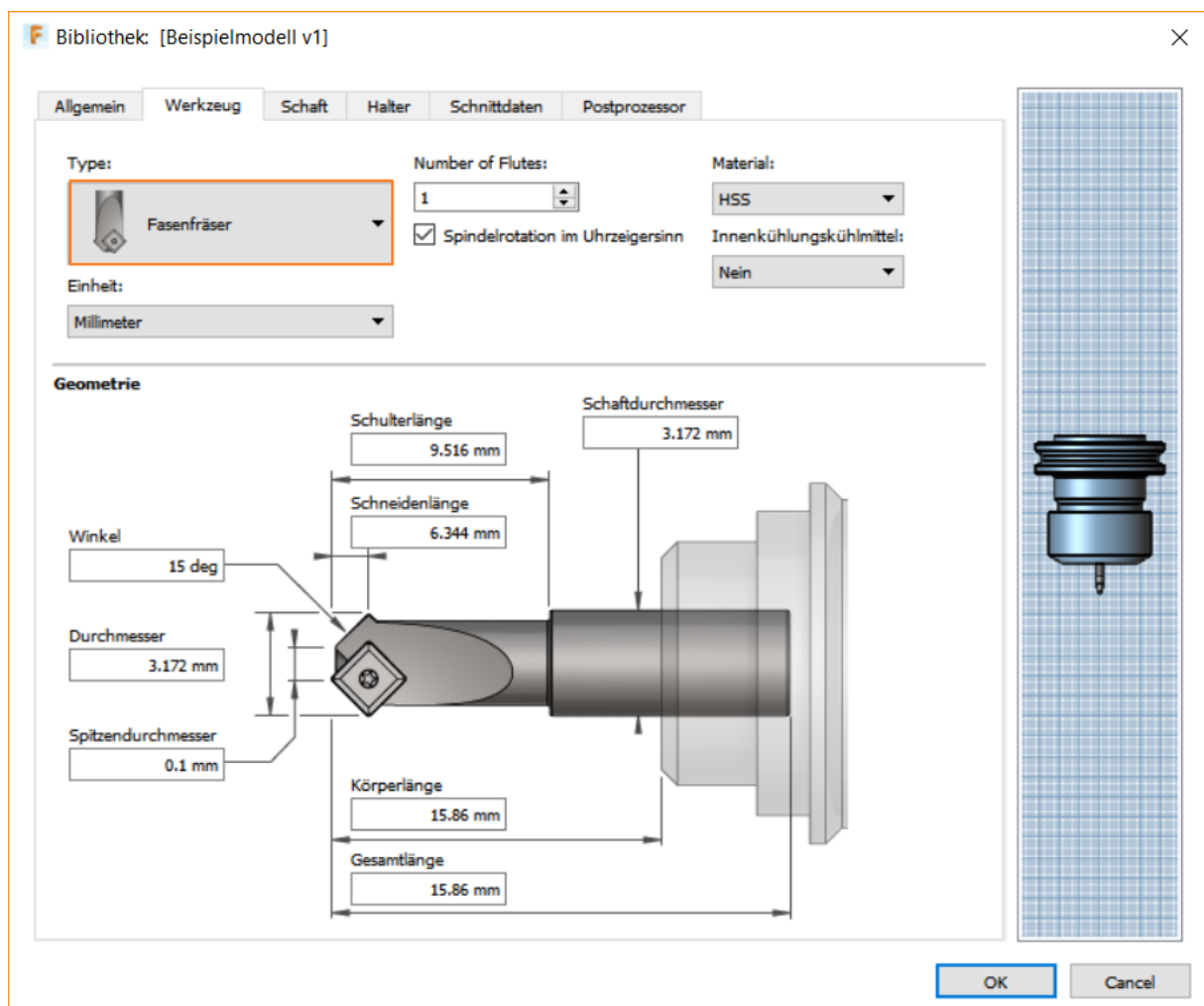
Hierbei wird auf die Eintragung von „**Schnittdaten**“ verzichtet.

Das letzte für den Fräsprozess benötigte Werkzeug ist ein Gravierstichel, der ebenfalls als Fräswerkzeug erstellt wird.

Toolbar → Verwaltung → Werkzeugbibliothek → Neues Fräswerkzeug 

Anders als die Schafffräser muss in der Registereinheit „**Werkzeug**“ jedoch „**Fasenfräser**“ ausgewählt werden. Anschließend können die Geometrie- und Materialeigenschaften übernommen werden.

Zudem sollte auch für den Gravierstichel in der Registereinheit „**Postprozessor**“ der manuelle Werkzeugwechsel aktiviert werden.



**Anmerkung:** Für gewöhnlich sind die Werkzeugeigenschaften sowie die Schnittdaten für entsprechendes Werkzeug vom Hersteller angegeben.

Abschließend können die Werkzeugdaten bei Bedarf per Nutzung und Benennung von Ordnern in der Werkzeugbibliothek sortiert werden, um den Zugriff im weiteren Prozess zu vereinfachen.

## Anhang

### Grundlegende Begriffe

*Browser → Setup → Rechtsklick → Simulieren*

Diese Aufforderung bedeutet, im Browser befindet sich der Button Setup, auf diesen soll ein Rechtsklick ausgeführt werden und im sich anschließend öffnenden Pulldown-Menü soll die Schaltfläche „Simulieren“ angeklickt werden.

Cursor	Mauszeiger
Doppelklick	Doppeltes Betätigen der linken Maustaste
Scrollen	Rotieren des Mousrades
Interface	Oberfläche eines Programms
Button	Anklickbare Schaltfläche
Pulldown-/Dropdown-Menü	Ausklappmenü
Drag and Drop	Element auswählen und durch Gedrückthalten der Maustaste Verschieben.
Tab, Reiter	Registereinheit, das weitere Optionen enthält



## Exkurs Schnittparameter

Wer seine Fertigung zeiteffizient und verschleißarm gestalten will, muss die Schnittparameter entsprechend wählen. Hierzu gibt einerseits diverse Apps von Werkzeug- und Maschinenherstellern, wie z.B. der Milling Calculator von Sandvik.

### Milling Calculator App

Diese App ist speziell für maschinelles Bearbeiten erstellt worden. Sie dient den Benutzern der erworbenen Sandvik-Werkzeuge. Allerdings sind die verwendeten Formeln auch auf andere Werkzeuge anwendbare.

**Wichtig:** Es muss berücksichtigt werden, dass die errechneten Werte idealisiert sind. Die Werte können somit bei der Lehrfräsmaschine funktionieren, müssen aber nicht. Probefräsungen mit Idealwerten haben zwar zu den gewünschten Ergebnissen geführt, sind aber zu wenige gewesen, um eine Gewährleistung auszusprechen.

#### Fräserdurchmesser:

Abhängig vom genutzten Werkzeug

#### Schnittgeschwindigkeit:

Aluminium: 200 m/min

#### Spindeldrehzahl:

6000 – 25000 U/min

#### Axiale Schnitttiefe:

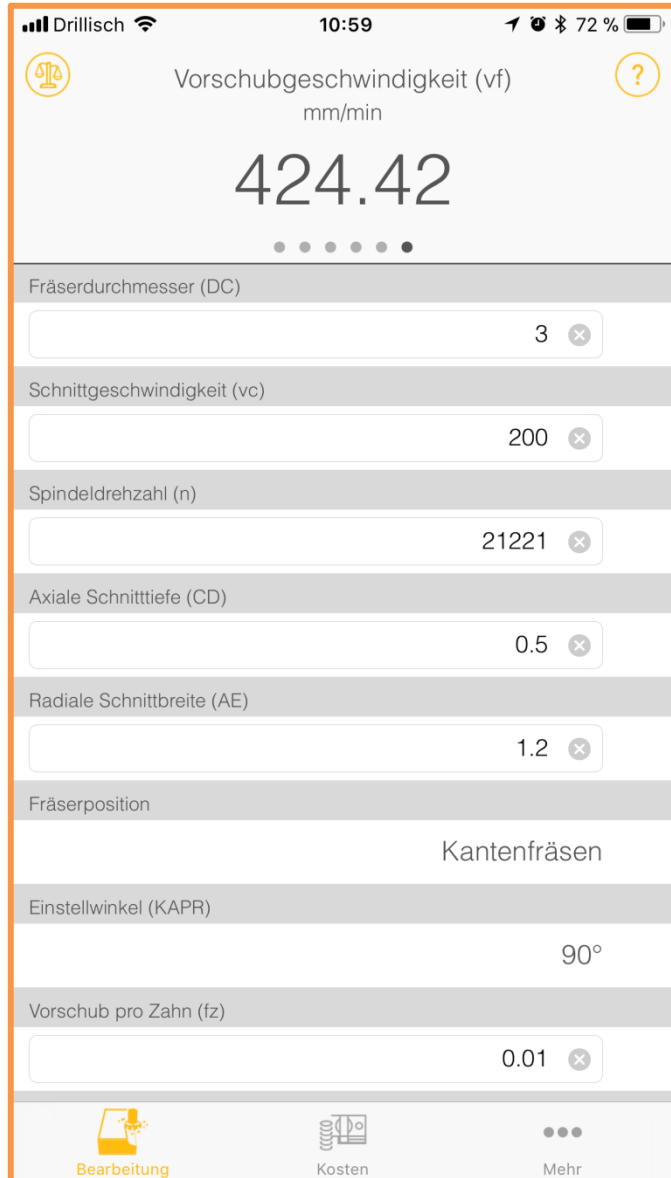
0,5mm

#### Radiale Schnittbreite:

0,4\*Werkzeuggestamm

#### Vorschub pro Zahn:

Abhängig vom genutzten Werkzeug



The screenshot shows the 'Milling Calculator App' interface. At the top, it displays the calculated feed rate: 'Vorschubgeschwindigkeit (vf) mm/min' with a value of '424.42'. Below this, several input fields are shown with their current values:

- Fräserdurchmesser (DC): 3
- Schnittgeschwindigkeit (vc): 200
- Spindeldrehzahl (n): 21221
- Axiale Schnitttiefe (CD): 0.5
- Radiale Schnittbreite (AE): 1.2
- Fräserposition: Kantenfräsen
- Einstellwinkel (KAPR): 90°
- Vorschub pro Zahn (fz): 0.01

At the bottom, there are three icons: 'Bearbeitung' (orange), 'Kosten' (grey), and 'Mehr' (grey).

Um Werte für die Schnittgeschwindigkeit und den Zahnvorschub zu bekommen, kann ein Tabellenwerk zur Hilfe herangezogen werden. Es gibt allerdings auch ein sehr gutes Worksheet von Sorotec, die dieses [Dokument](http://www.sorotec.de/webshop/Datenblaetter/fraeser/schnittwerte.pdf) unter folgendem Link zur freien Verfügung stellen, um ihre Kunden bei der Fertigung zu unterstützen. Aus diesem Grund befindet es sich auch im Anhang dieser Anleitung.

<http://www.sorotec.de/webshop/Datenblaetter/fraeser/schnittwerte.pdf>

# Berechnungen



- n = Drehzahl des Fräsers in U/min
- vc = Schnittgeschwindigkeit in m/min
- d = Fräserdurchmesser in mm
- z = Zähnezahl
- fz = Zahnvorschub in mm/Zahn
- vf = Vorschubgeschwindigkeit (mm/min)

Die Drehzahl des Fräsers wird über folgende Formel berechnet:

$$n \text{ [U/min]} = (vc \text{ [m/min]} * 1000) / (3.14 * \text{Ø}d1 \text{ [mm]})$$

Beispielberechnung:

vc = 500 m/min (gewählt aus Tabelle)

d = Ø 8 mm

$$19904 \text{ U/min} = (500 * 1000) / (3.14 * 8)$$

Liegt die maximale Drehzahl des Fräsmotors unterhalb des errechneten Wertes, muss die max. Drehzahl des Fräsmotors in der Formel zur Vorschub-Berechnung eingesetzt werden.

Die Vorschubgeschwindigkeit des Fräsers wird über folgende Formel berechnet:

$$vf = n * z * fz$$

Beispielberechnung für Aluminium (Knetlegierung) mit 8mm Fräser Zweischneider:

n = 15923 U/min aus obiger Formel

fz = 0,064 aus Tabelle

z = 2

$$2547,77 \text{ mm/min} = 19904 * 2 * 0,064$$

## Richtwerte für Drehzahl und Vorschub

	Schnitt Geschw. m/min.	Durchmesser Fräser								
		Ø 1mm	Ø 2mm	Ø 3mm	Ø 4mm	Ø 5mm	Ø 6mm	Ø 8mm	Ø 10mm	Ø 12mm
		Zahnvorschub in mm / Zahn / Umdrehung								
Guss-Aluminium > 6% Si	200	0,010	0,010	0,010	0,015	0,015	0,025	0,030	0,038	0,050
Aluminium Knetlegierung	500	0,010	0,020	0,025	0,050	0,050	0,050	0,064	0,080	0,100
Weichkunststoff	600	0,025	0,030	0,035	0,045	0,065	0,090	0,100	0,200	0,300
Hartkunststoff	550	0,015	0,020	0,025	0,050	0,060	0,080	0,089	0,100	0,150
Holz Hart	450	0,020	0,025	0,030	0,055	0,065	0,085	0,095	0,095	0,155
Holz weich	500	0,025	0,030	0,035	0,060	0,070	0,090	0,100	0,110	0,160
MDF	450	0,050	0,070	0,100	0,150	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600
Messing, Kupfer, Bronze	365	0,015	0,020	0,025	0,025	0,030	0,050	0,056	0,065	0,080
Stahl	90	0,010	0,010	0,012	0,025	0,030	0,038	0,045	0,050	0,080

Die aufgeführten Werte dienen der groben Orientierung und können je nach Maschine und Peripherie von der Tabelle abweichen.

# Praxistipps



## Eintauchtiefe:

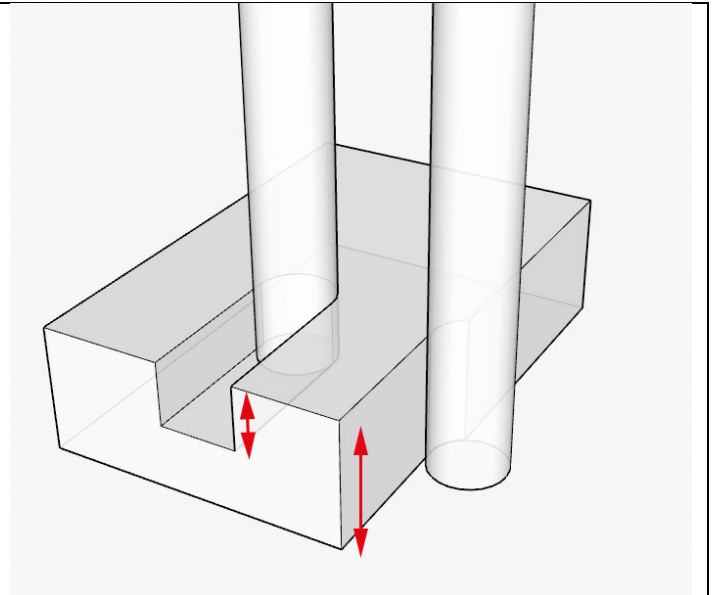
Beim Fräsen einer Nut empfehlen wir folgende Eintauchtiefe:

- NE Metalle: bis 0,5-facher Durchmesser
- Holz, Kunststoffe: bis 2-facher Durchmesser
- Hartschaum: bis 5-facher Durchmesser

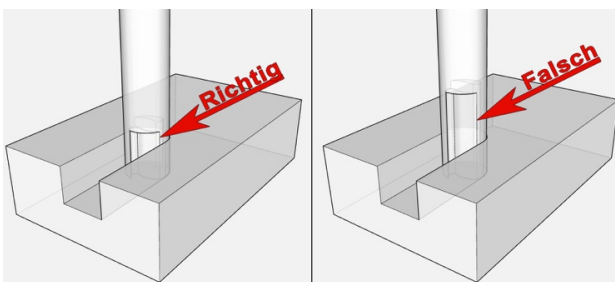
Beim Fräsen von Konturen empfehlen wir eine seitliche Zustellung von ca. 25% des Fräser-Durchmessers bei 100% Eintauchtiefe.

*Auch hier sind die Angaben wieder stark vom Aufbau und der Stabilität der Maschine abhängig.*

Zeichnung: [ZenziWerken](#)



## Längenwahl des Fräasers:



Um Vibrationen und ein Aufschwingen des Fräasers zu verhindern, empfehlen wir den Fräser immer so kurz wie möglich, bzw. so lange wie nötig zu wählen.

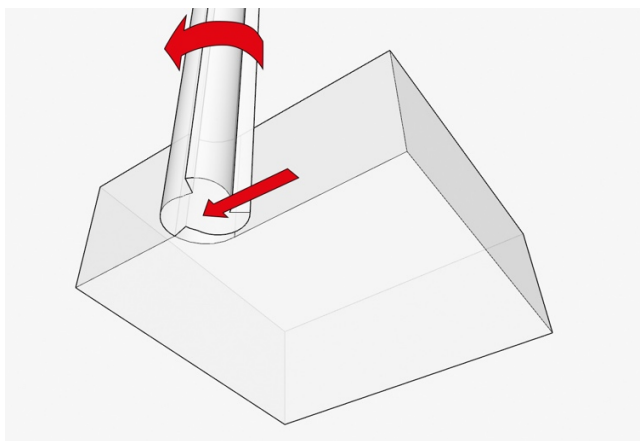
## Kühlen / Schmieren:

Die Kühlung erfolgt bei **NE Metallen** im besten Fall mit einer **Minimalmengenschmierung** in Verbindung mit einem Schmierstoff. Des weiteren verbessert die Schmierung die Oberflächenbeschaffenheit und die Standzeit des Werkzeuges.

Bei **Acrylglas** eignet sich die Schmierung mit **Seifenlauge**. Dies erzielt eine sehr gute Oberfläche.

Zeichnung: [ZenziWerken](#)

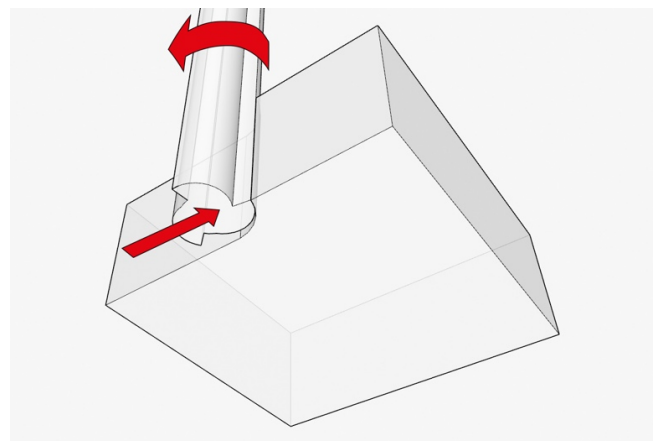
## Gleichlauf / Gegenlauf-Fräsen:



Gleichlauf-Fräsen

Beim Gleichlaufräsen zieht sich der Fräser in das Werkstück, wodurch es bei größerer Spanabnahme dazu kommen kann dass das Portal bzw. die Z-Achse unkontrolliert (Umkehrspiel der Spindel) in Richtung des Werkstücks gezogen wird. Das führt zu einem sehr unsauberen Fräsbild und kann sogar zum Bruch des Fräasers führen, wenn der Span in dem Moment zu groß wird.

**Sind spielfreie Kugelumlaufspindeln ohne Umkehrspiel verbaut, wird der Gleichlauf gegenüber dem Gegenlauf bevorzugt.**

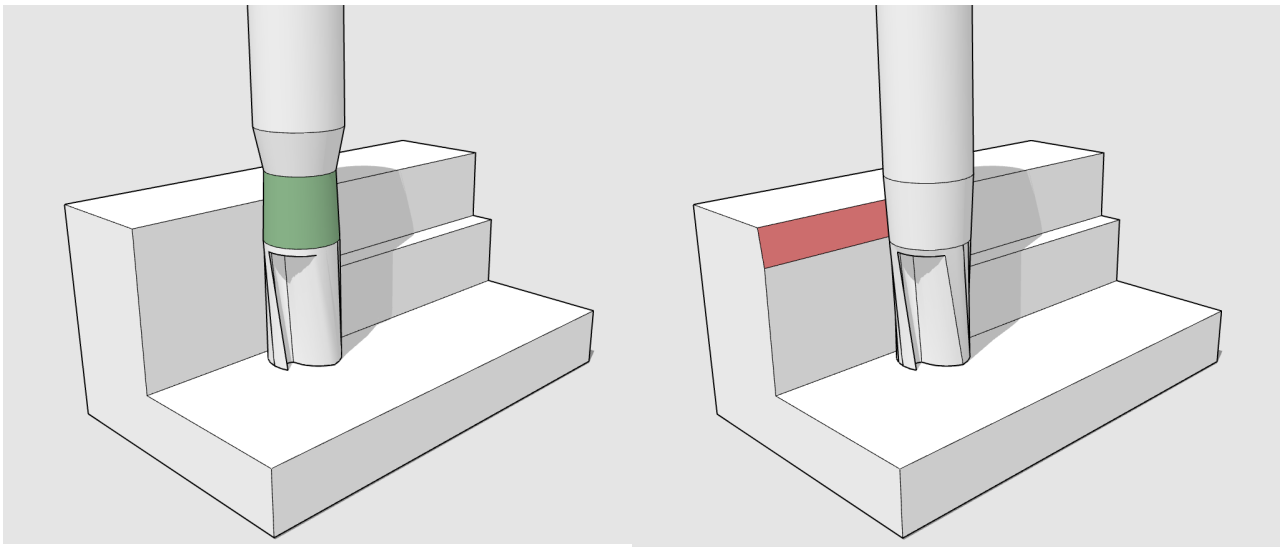


Gegenlauf-Fräsen

Beim Gegenlaufräsen drückt sich der Fräser vom Werkstück weg, was bei sehr geringer Spanabnahme schnell dazu führt, dass sich die Schneide aus dem Werkstück drückt, dadurch entstehen dann Rattermarken, die weder einer schönen Oberfläche noch der Standzeit des Fräasers dienlich sind.

**Der Gegenlauf wird bei Maschinen mit Umkehrspiel in den Gewindespindeln favorisiert.**

## Hinterschliffene Fräser:



Die max. mögliche Tiefenzustellung beschränkt sich normalerweise auf die Spirallänge des Fräasers da sonst der Schaft am Werkstück reibt.

Durch den Hinterschliffenen Schaft sind auch Frästiefen über mehrere Zustellungen bis hin zur max. Nutzlänge möglich welche die Spirallänge überschreiten.