

# CAD, CAM und CNC- Workshop

---

Teil 4 – Theorie zum CNC-Fräsen



# CNC-Fräsen

- Funktionsweise
- Werkzeuge
- Materialien
- Schnittdaten
- Frässtrategien
- Werkstücke spannen
- Arbeiten mit der CNC-Fräse im Metalab

# CNC-Fräsen?

CNC – Computer Numerical  
Control

Wie 3D-Drucken, nur verkehrt  
herum!

# CNC-Fräsen?



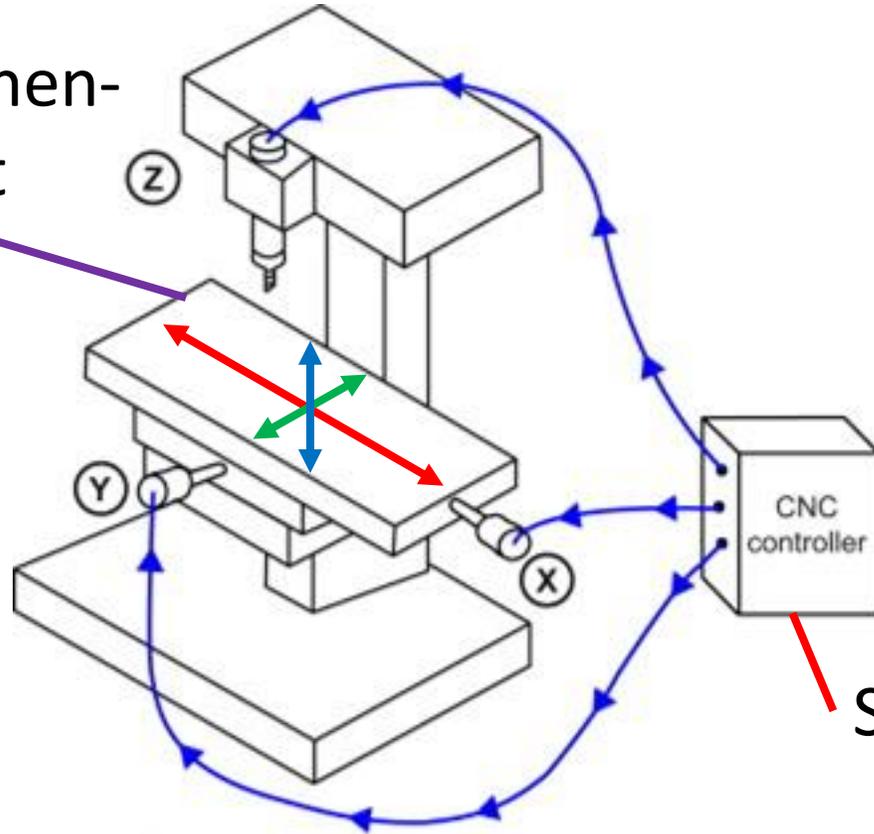
CNC – Computer Numerical Control

Wie 3D-Drucken, nur verkehrt herum!



# CNC-Fräsen?

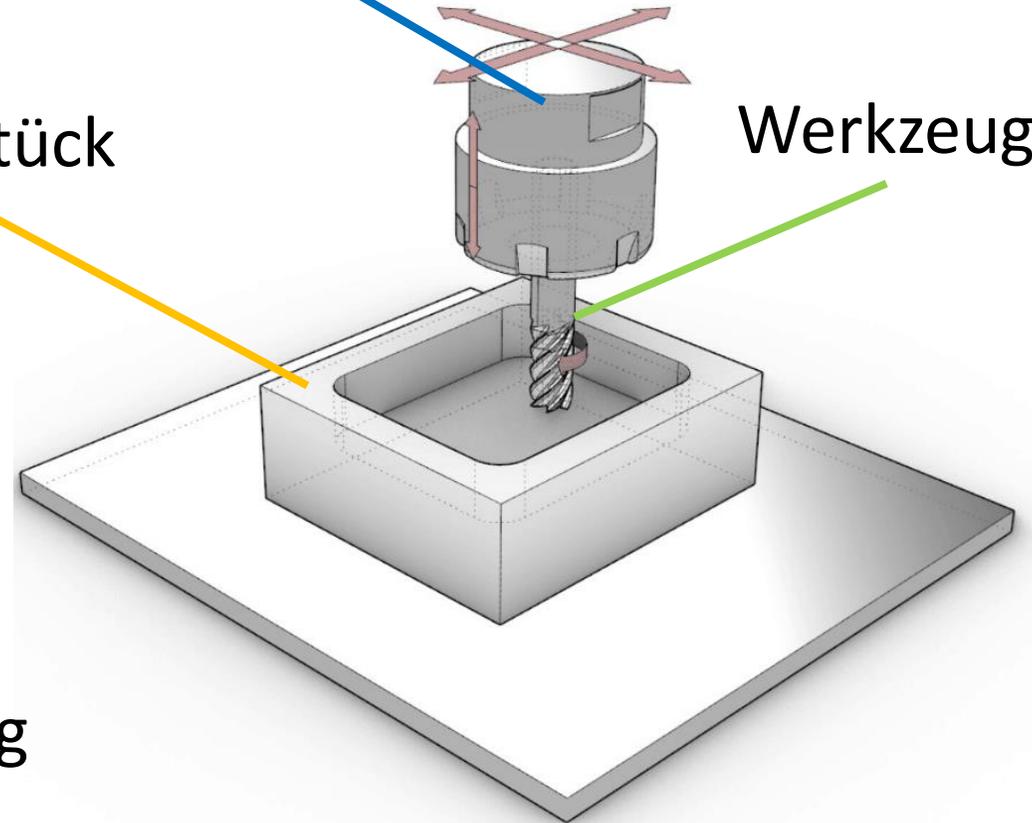
Maschinen-  
Bett



Werkstück

Spindel

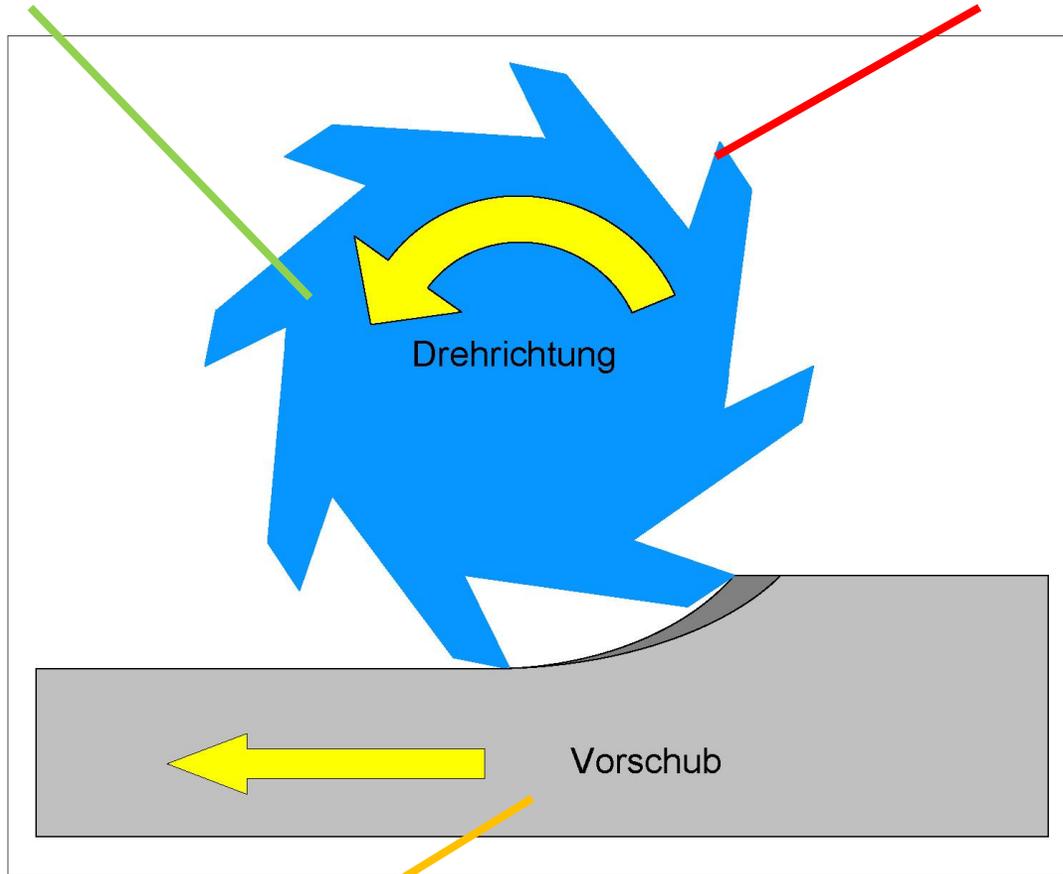
Werkzeug



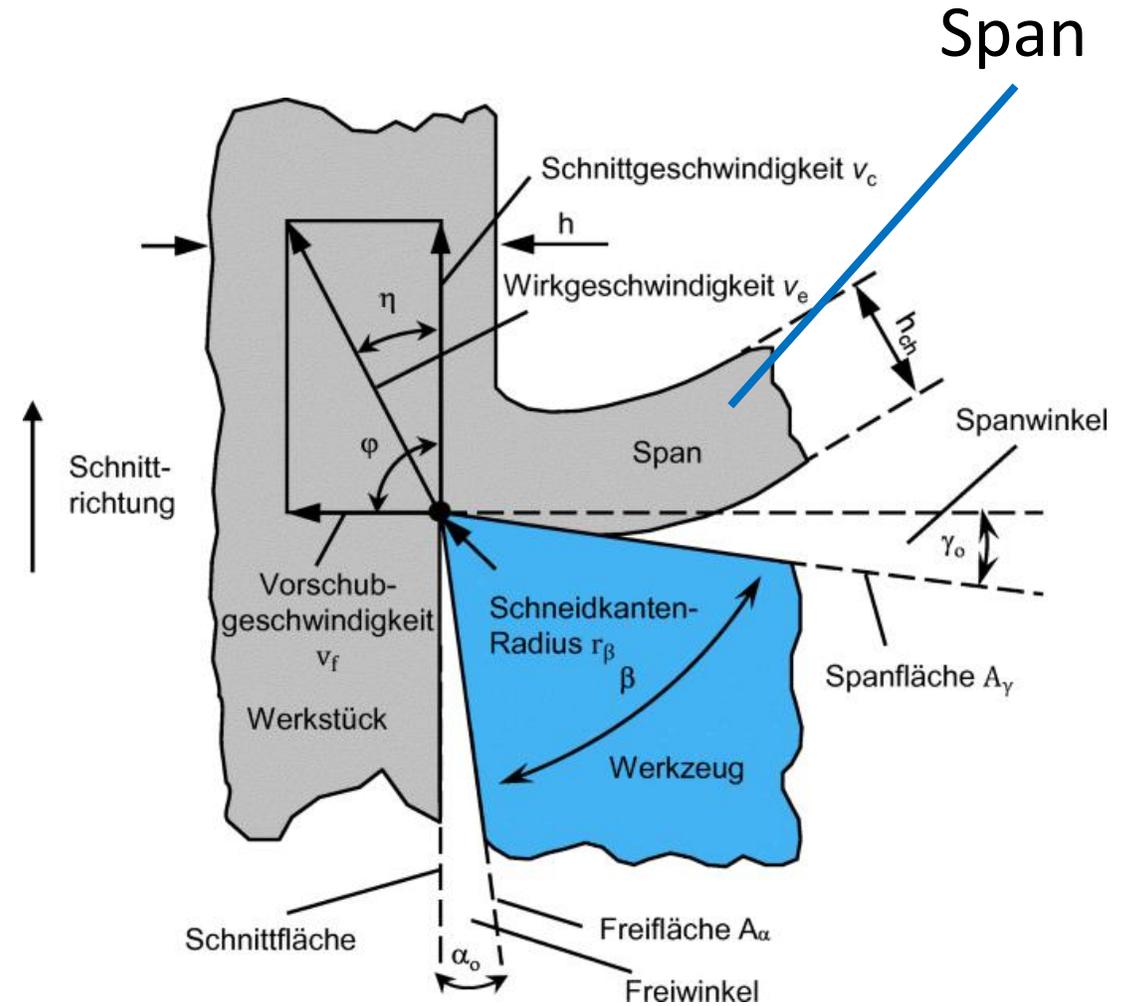
X, Y, Z → Achsen

Werkzeug

Schneide



Werkstück



Span

Schnitt-  
richtung

Schnittgeschwindigkeit  $v_c$

Wirkgeschwindigkeit  $v_e$

Span

Spanwinkel

Vorschub-  
geschwindigkeit  
 $v_f$

Werkstück

Schneidkanten-  
Radius  $r_\beta$

Werkzeug

Spanfläche  $A_y$

Schnittfläche

Freifläche  $A_\alpha$

Freiwinkel

Werkzeuge

---

Fräsergeometrie

---

Fräserformen

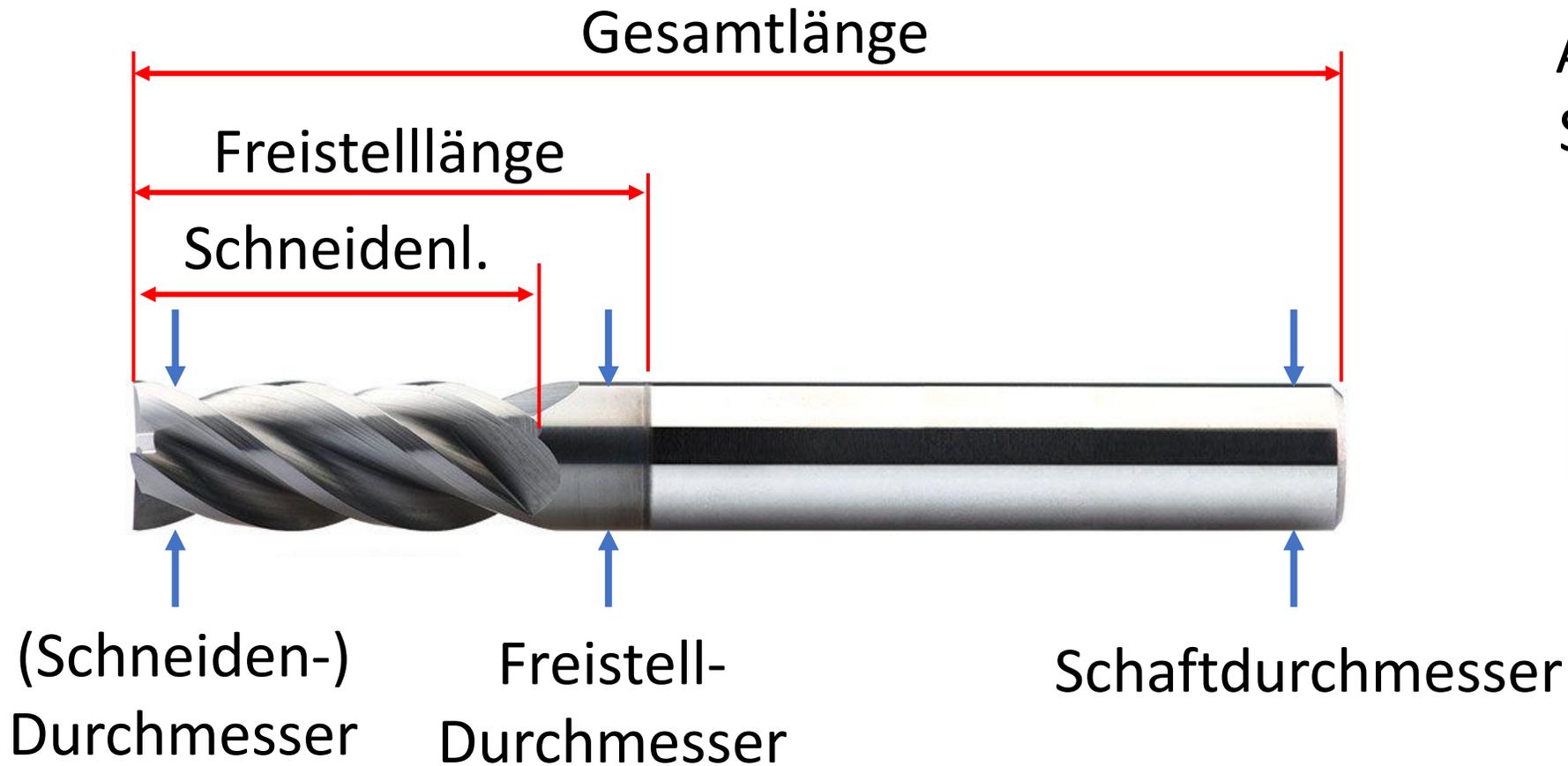
---

Fräserwerkstoffe

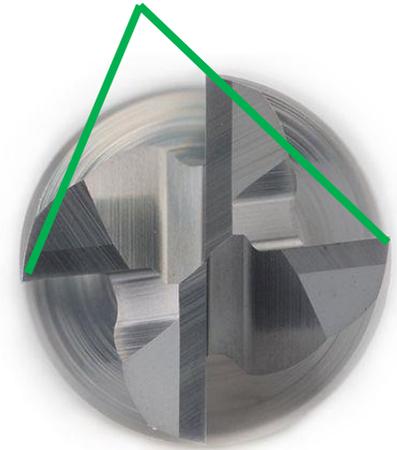
---

Bezugsquellen

# Fräsergeometrie



Anzahl der Schneiden



# Fräserformen

Schaftfräser

→ Gerade Schneide

- Schlichtfräser
- Schruppfräser



# Fräserformen

- Fassenfräser
- Kugelfräser
- Torusfräser
- ...



Schräg und  
spitz! 🤪

Ganz rund  
uwu

👉 Runde Ecken 👉

# Fräserwerkstoffe

- HSS (High Speed Steel)
- VHM (VollHartMetall)
- Beschichtungen

# Fräserwerkstoffe

## HSS

- Material: Spezieller Stahl
- Relativ günstig
- Außen Hart, innen Weich  
→ Sehr Zäh!
- Aber: eher nur langsam Fräsen,  
nur weiche Werkstücke

## VHM

- Material: Spezielle Legierung aus  
Wolfram, Carbiden, etc.
- Eher teuer
- Hart durch und durch  
→ Eher Spröde  
→ Vorsichtig Arbeiten
- Gut für schnell Fräsen, harte &  
feste Werkstücke

# Beschichtungen



- Aufgedampfte Schicht, meist Nitrid (TiN, TiAlN)
- Längere Haltbarkeit des Fräsers
  - Gut bei Metall
- Macht Schneide „rund“
  - Schlecht bei Holz und Kunststoff

🌟 FANCY! 🌟

# Bezugsquellen für Fräser

Onlineshops:

- <https://www.sorotec.de/shop/>
- <https://www.metzler.at/> (nur Firmen)
- <https://at.rs-online.com> (nur Firmen)
- Und viele mehr...

# Bezugsquellen für Fräser

VORSICHT bei billigem Werkzeug von Amazon, Ebay, AliExpress, etc.

- Oft schlechte Qualität
- Verletzungsgefahr
- Gefahr von Schaden an Werkstück und Maschine!

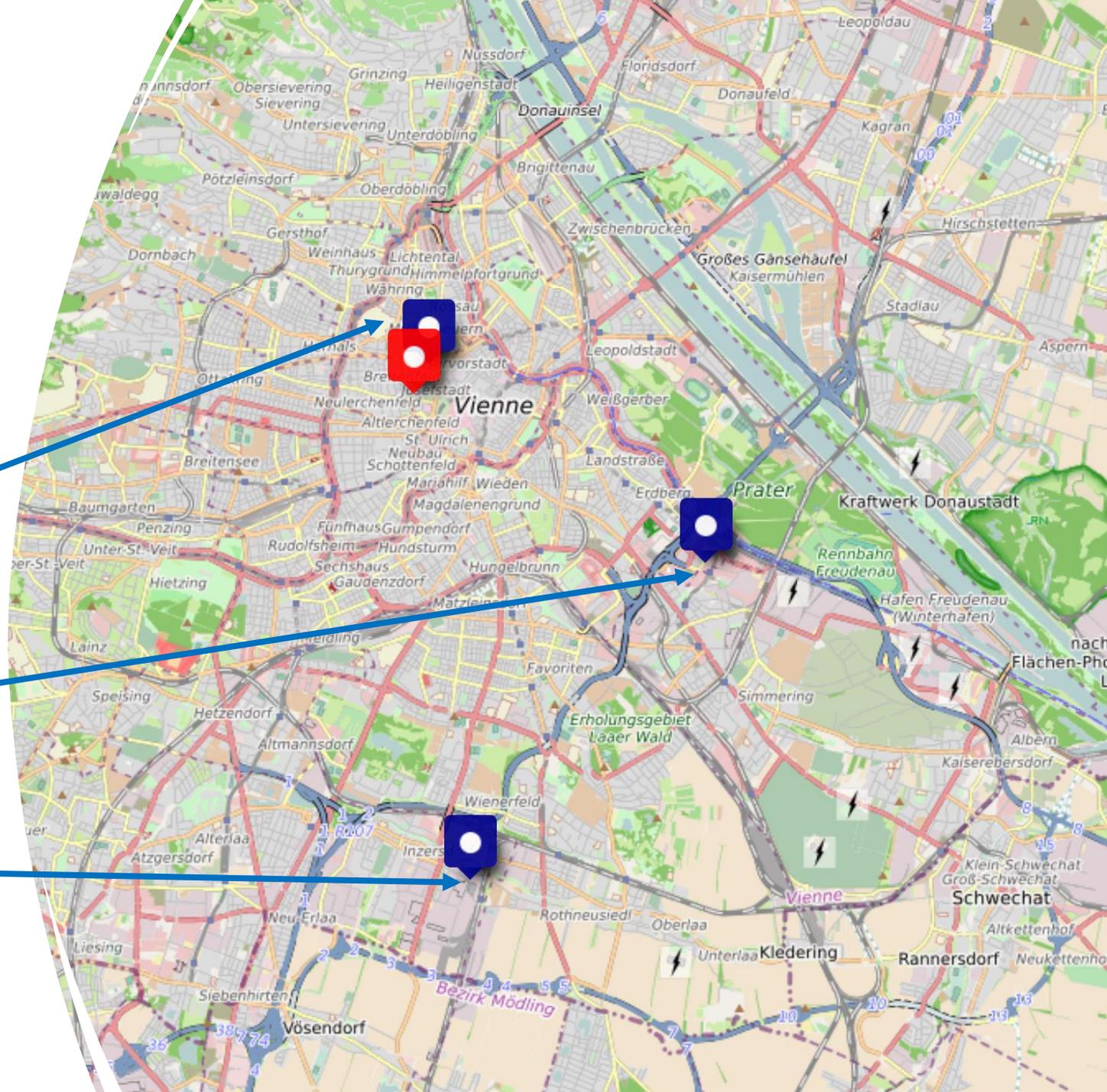


# Bezugsquellen für Fräser

---

Filialen in Wien:

- <https://flis.at/>  
(Filiale hinter der Uni)
- <https://www.haberkorn.com>  
(nur Firmen, Metalab hat Kundenkarte)
- <https://www.spiral.at/>  
(verschickt auch)



# Materialien – Was kann ich Fräsen?

- Holz
  - Vollholz
  - Spanplatten
  - Sperrholz
  - MDF
  - ...



# Materialien – Was kann ich Fräsen?

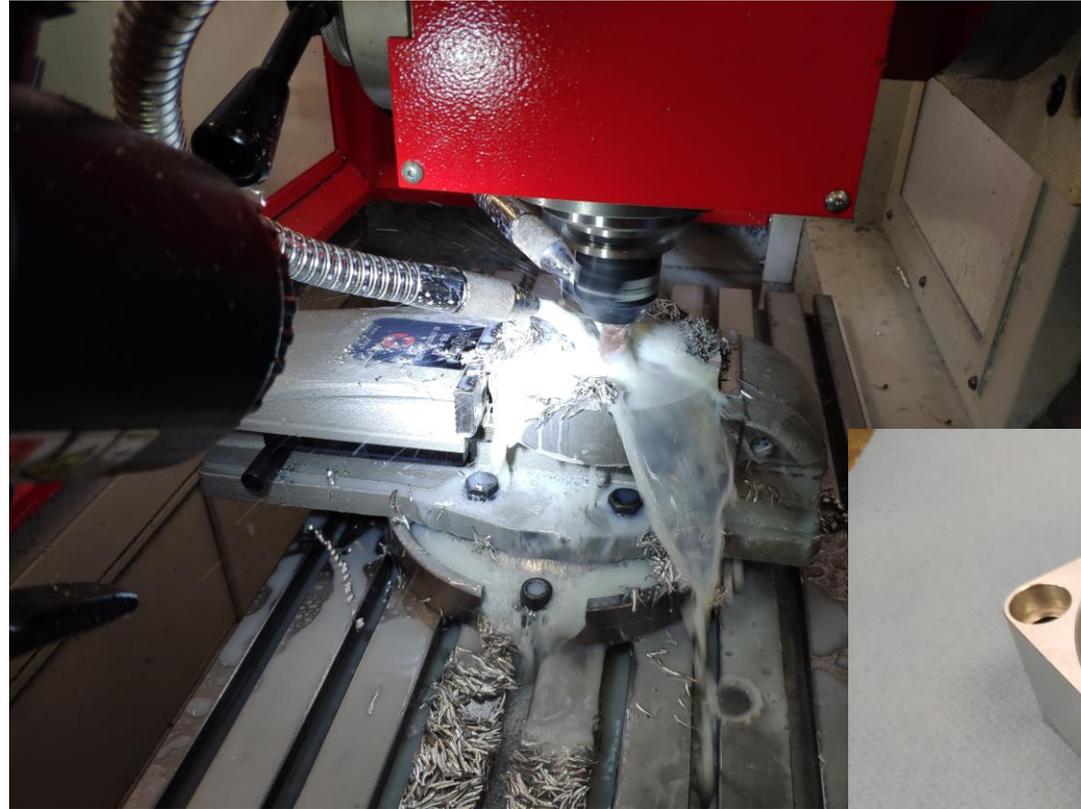


- Kunststoffe
    - Plexiglas
    - POM
    - PC
    - PVC
    - ...
  - Verstärkte Kunststoffe
    - Glasfaser (Platinen)
    - Kohlefaser
- Gefährlicher Staub!



# Materialien – Was kann ich Fräsen?

- Metalle
  - Aluminium
  - Messing
  - Stahl
  - ...



# Materialien – Was geht nicht Fräsen?

- Stein
- Glas
- Gummi
- Brennstäbe
- ...



Also zumindest nicht mit dem gezeigten Werkzeug...

# Materialien – Was geht im Metalab?

→ <https://metalab.at/wiki/CNC-Fräse>

- Holz
- Kunststoffe
- Verstärkte Kunststoffe (nur mit guter Staubabsaugung!)
- Aluminium (kein hochfestes!)
- Messing

# Bezugsquellen für Material

- Fixmetall (Aluminium, Messing, Kunststoff)  
<https://www.fixmetall-shop.com/>
- 247 Customized (Aluminium, Formbaumaterial, MDF)  
<https://www.247customized.com/>
- Zellmetall (Kunststoffe, Messing)  
<https://www.zellmetallvertrieb.com/>
- Petzolt (Aluminium, Messing)  
<http://www.petzolt.at/>

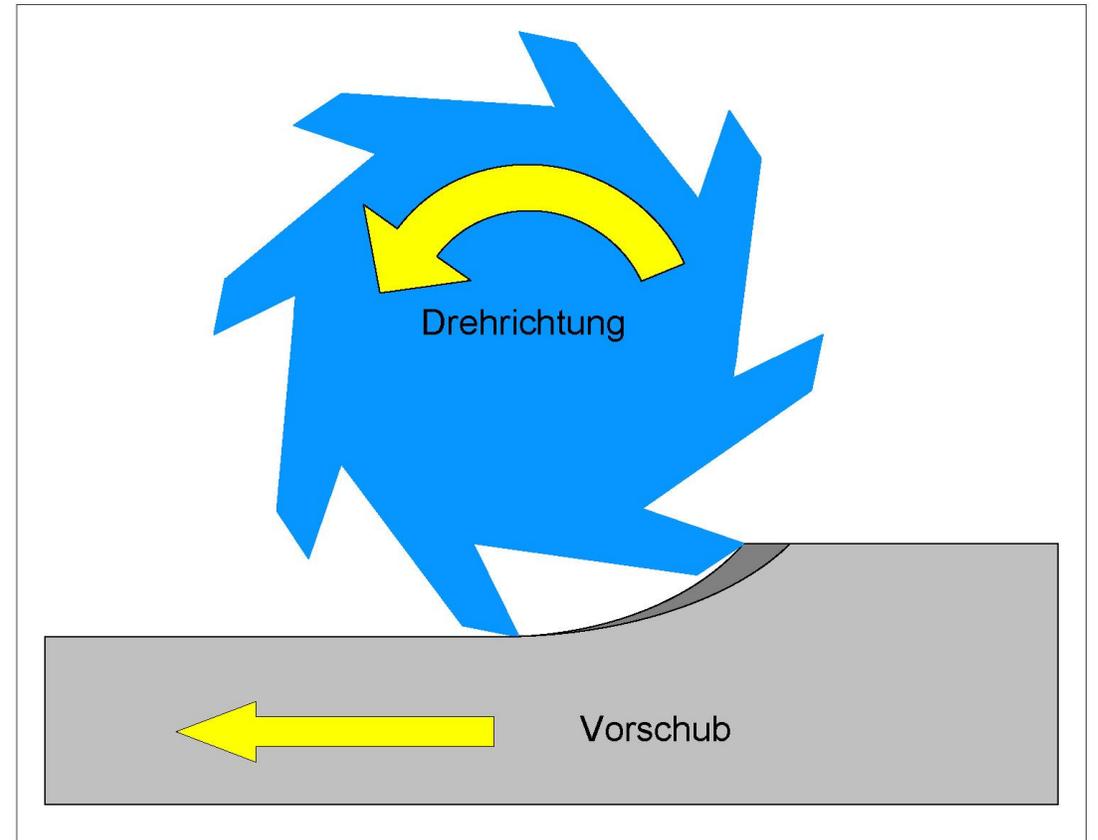
# Bezugsquellen für Material

Sammlung an Geschäften im Wiki:

- <https://metalab.at/wiki/Benutzer:Fbr/WhereToGet>
- <https://metalab.at/wiki/Benutzer:Lumbric/Gesch%C3%A4fte>

# Schnittdaten

- Schnittgeschwindigkeit  $v_c$
- Drehzahl  $n$
- Vorschub  $v_f$
- Spantiefe (Zustellung pro Zahn)  $f_z$
- Zustellung (radial)
- Eintauchtiefe (Axialzustellung)



# Schnittdaten

- Bei Fräsern üblicherweise pro Material angegeben
  - Schnittgeschwindigkeit  $v_c$
  - Zustellung pro Zahn  $f_z$
- Werte sind die maximal möglichen, in der Realität nur schwer umsetzbar

# Schnittdaten (Beispiel)

				fz [mm/Z] bei Durchmesser			
	Festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Bezeichnung nach DIN	Vc [m/min]	4-8	8-12	12-16	16-20
<b>1. Stähle</b>							
1.1 Automatenstahl	< 900	9 S 20	80-110	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06	0.06-0.07
1.2 Baustahl	<500	ST 37-2	80-110	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06	0.06-0.07
1.3 Baustahl	> 500	ST 60-2	70-80	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06	0.06-0.07
1.4 Vergütungsstahl	<1000	42 CrMo 4	80-90	0.025-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06
1.5 Stahlguss	<1000	GS-45	80-110	0.025-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06
1.6 Einsatzstahl	<1200	16 MnCr 5	70-105	0.025-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06
1.7 Edelstahl ferritisch/martensitisch	<1100	X 10 Cr 13	60-70	0.025-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06
1.8 Vergütungsstahl	>1000	43 CrMo 4	70-80	0.025-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06
1.9 Nitrierstahl	<1300	31 CrMoV 9	60-80	0.025-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06
1.10 Werkzeugstahl	<1300	X 38 CrMoV 5 1	40-60	0.025-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06
<b>2. Rostfreie Stähle</b>							
2.1 Edelstahl, austenitisch	<1100	G-X 2 CrNiMo 18 15	40-60	0.025-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06
<b>3. NE-Metalle</b>							
3.1 Aluminium, langspanend	<500	Al99.9	300-400	0.04-0.05	0.05-0.07	0.07-0.12	0.12-0.17
3.2 Aluminium, kurzspanend	<500	G-AlSi12	300-400	0.04-0.05	0.05-0.07	0.07-0.12	0.12-0.17
3.3 Kupferleg. Bronze langspanend	<1200	CuSn4	120-140	0.04-0.05	0.05-0.07	0.07-0.1	0.1-0.12
3.4 Kupferleg. Bronze kurzspanend	<850	CuNi12Zn24	120-150	0.04-0.05	0.05-0.07	0.07-0.1	0.1-0.12
3.5 Kupferleg. Messing langspanend	<600	Cu Zn 20	120-150	0.04-0.05	0.05-0.07	0.07-0.1	0.1-0.12
3.6 Kupferleg. Messing kurzspanend	<600	Cu Zn 39 Pb 3	120-150	0.04-0.05	0.05-0.07	0.07-0.1	0.1-0.12

# Schnittdatenberechnung

Für Fräse werden Drehzahl  $n$  und Vorschub  $v_f$  benötigt

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{d \cdot \pi}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n$$

$n$	Drehzahl in <b>U/min</b>
$v_c$	Schnittgeschwindigkeit in <b>m/min</b>
$d$	Werkzeugdurchmesser in <b>mm</b>
$v_f$	Vorschubgeschwindigkeit in <b>mm/min</b>
$f_z$	Zustellung pro Zahn in <b>mm</b>
$z$	Zähnezahl des Fräasers

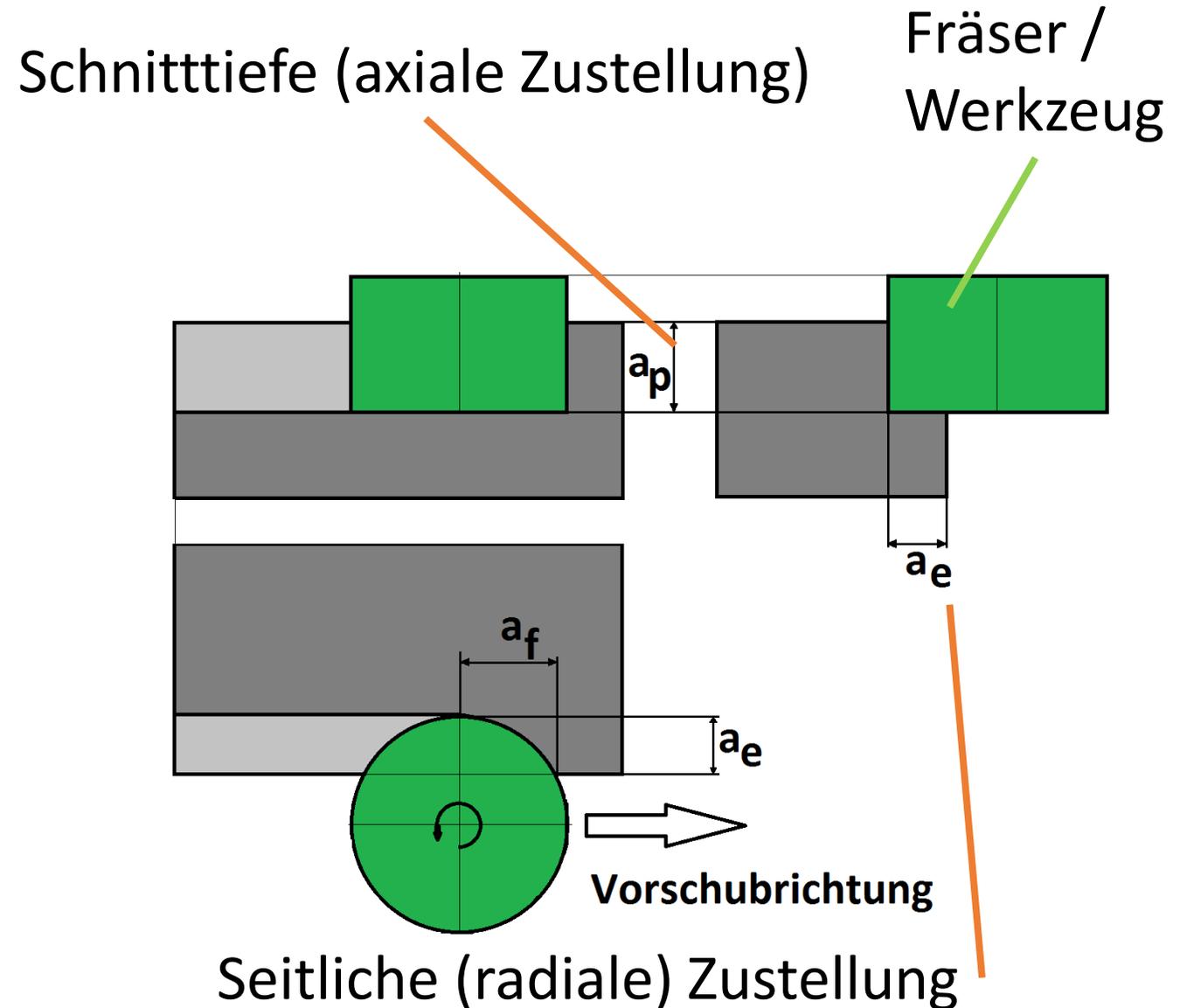
Gibt's aber auch als Rechner (Apps und Webseiten)!

# Zustellung

Wie viel Material der Fräser schneidet

Auswahl nach

- Gewünschter Oberfläche
- Material
- Fräsergröße



# Kühlung

- Warmer Fräser ist schlechter Fräser
- Späne müssen
  - Vom Fräser weg gebracht werden
  - Ggf. gebunden werden
- Verhindern von Aufbauschneide
- Notwendig bei:
  - Metall
  - Kunststoff



# Womit Kühlen?

Je nach Material und Werkstück:

- Lösungsmittel
  - Ethanol
  - Isopropanol
- Kühlschmiermittel  
(Wasser-Öl Emulsion)
- Öl

# Wie Kühlen?



- Minimalmengenkühlung
  - Ganz wenig Kühlmittel vernebelt auf Fräser
- Flutkühlung
- Innenkühlung
  - Durch Bohrungen im Werkzeug

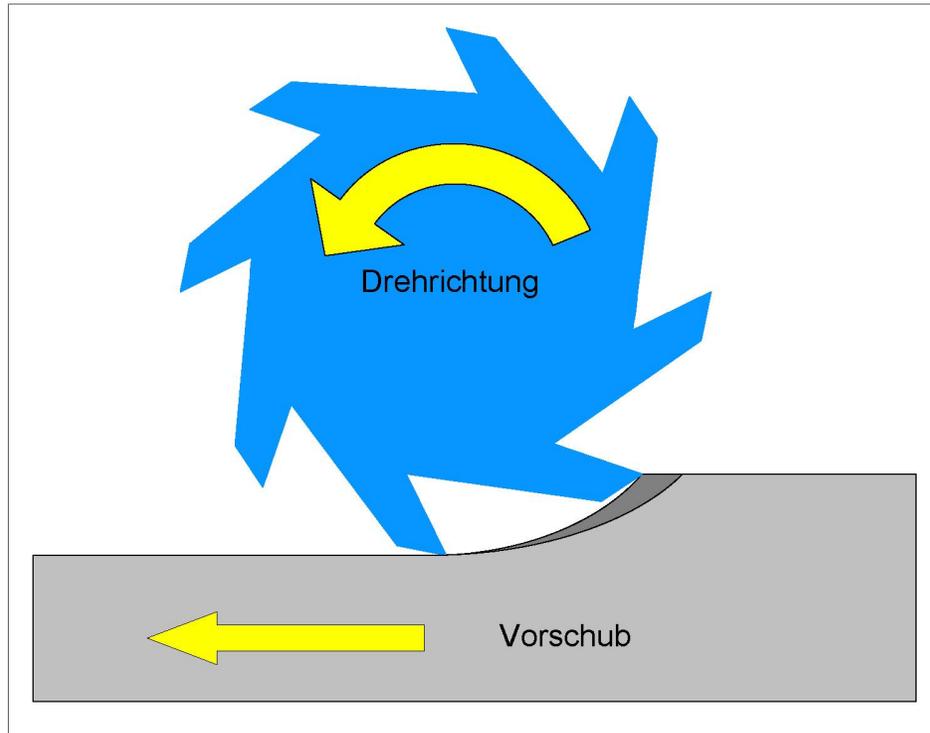
# Frässtrategien – Wie fährt der Fräser im Material

---

- Gleich- und Gegenlaufräsen
- Schruppen vs. Schlichten
- Fräsarten
  - Planfräsen
  - Taschenfräsen
  - Kontur
  - 3D-Fräsen
  - Gravieren

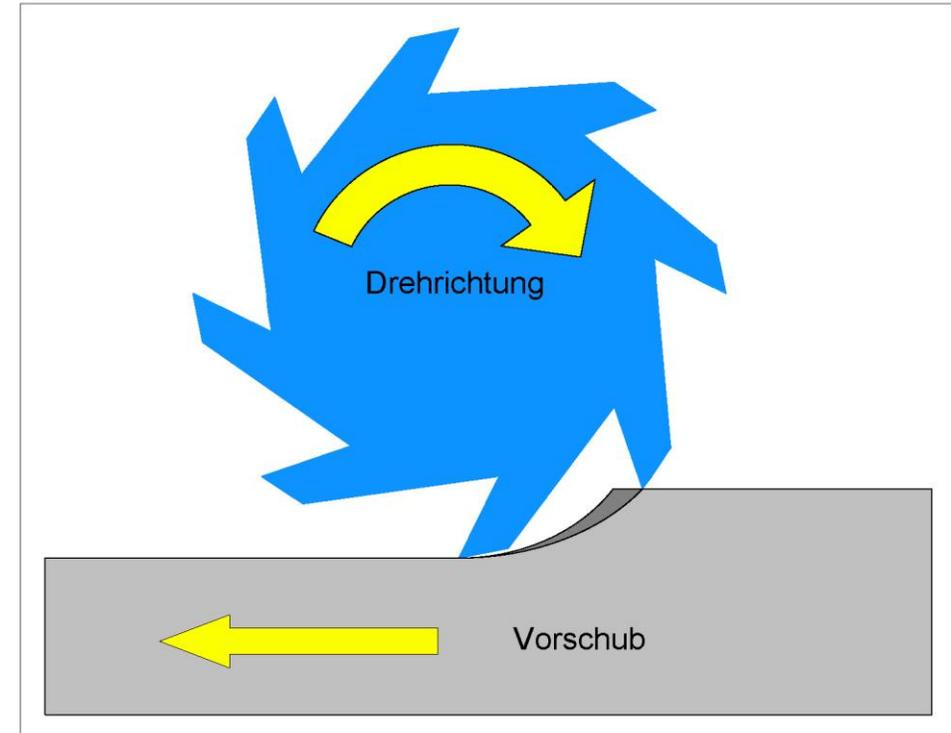
## Gegenlaufräsen (up milling)

- Fräser schneidet von min. Dicke weg
- Gut für viel Material wegnehmen
- Bessere Genauigkeit des Werkstücks



## Gleichlaufräsen (down milling)

- Fräser schneidet von max. Dicke weg
- Schönere Oberfläche
- Weniger Verschleiß beim Fräser



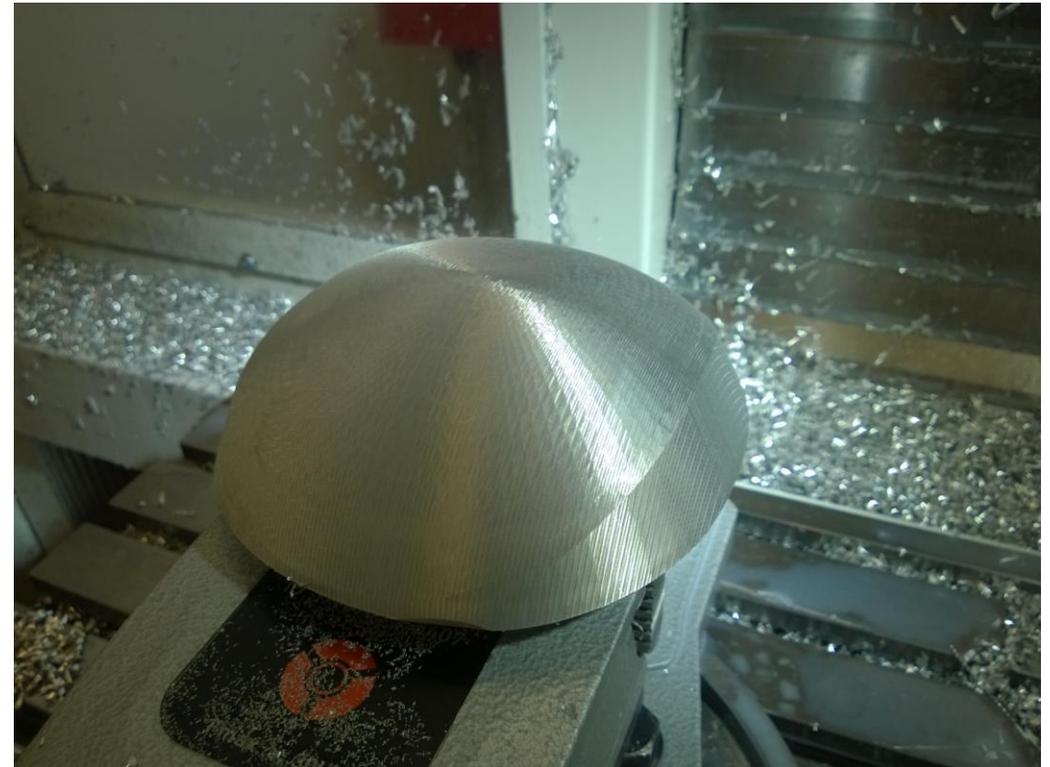
## Schruppen

- Grob & schnell Material wegnehmen
- Raue Oberfläche ist OK
- Aufmaß stehen lassen

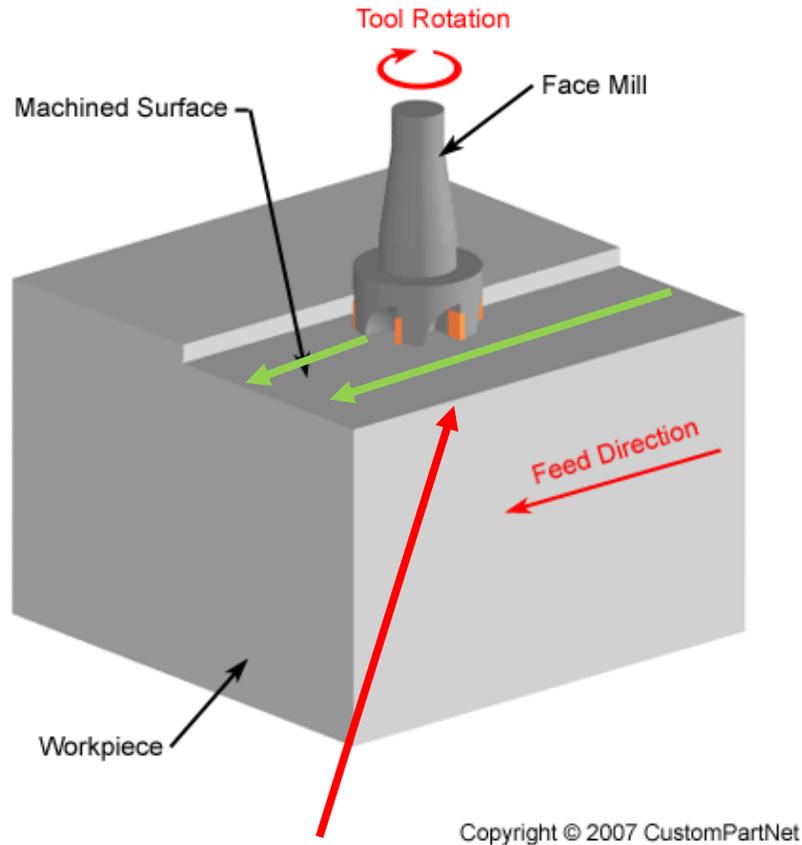


## Schlichten

- Langsam auf fertiges Maß fräsen
- Schöne Oberfläche

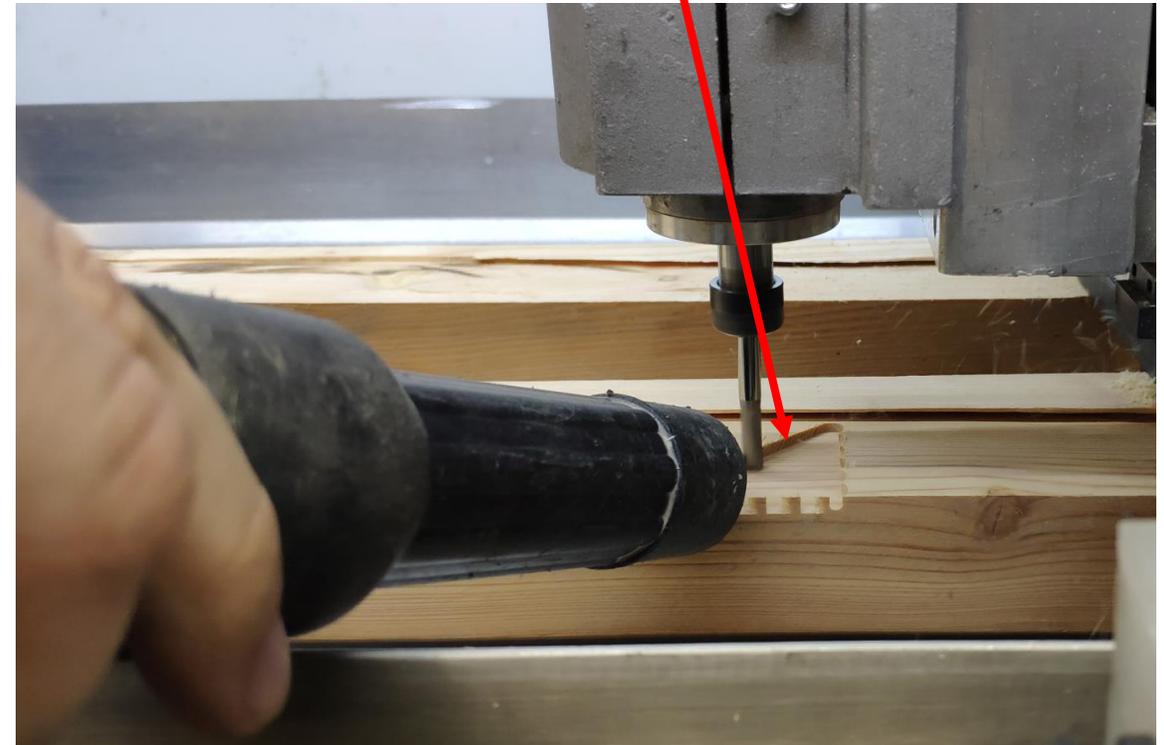


# Planfräsen

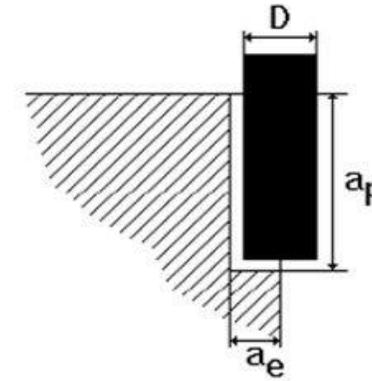
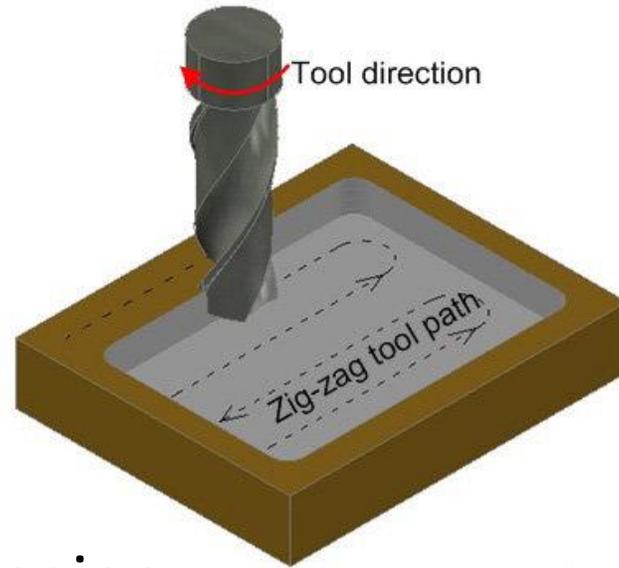


Immer in eine Richtung!

## Oberseite gerade fräsen

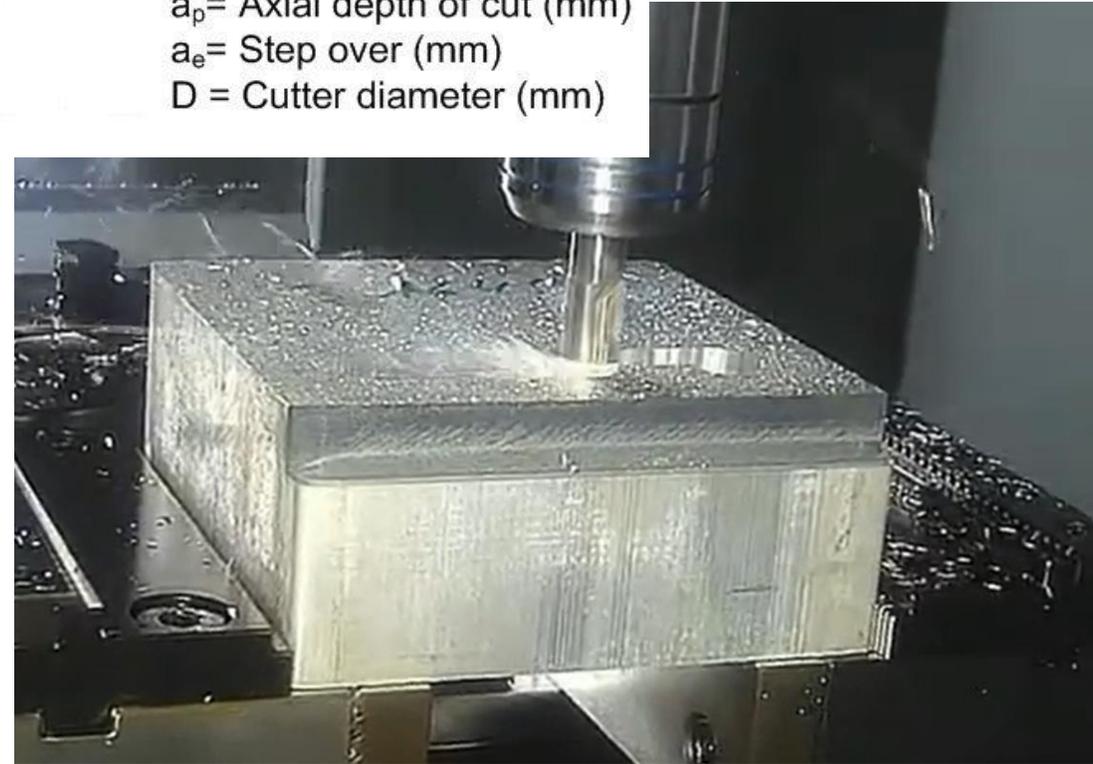


# Taschenfräsen



$a_p$  = Axial depth of cut (mm)  
 $a_e$  = Step over (mm)  
 $D$  = Cutter diameter (mm)

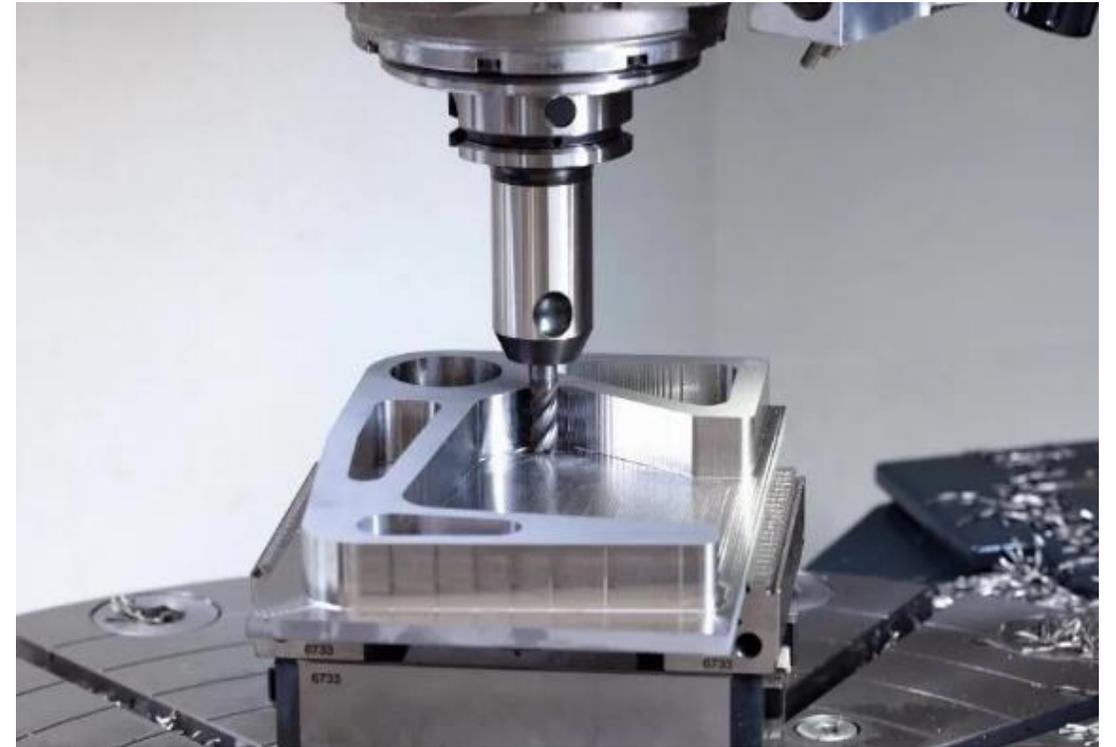
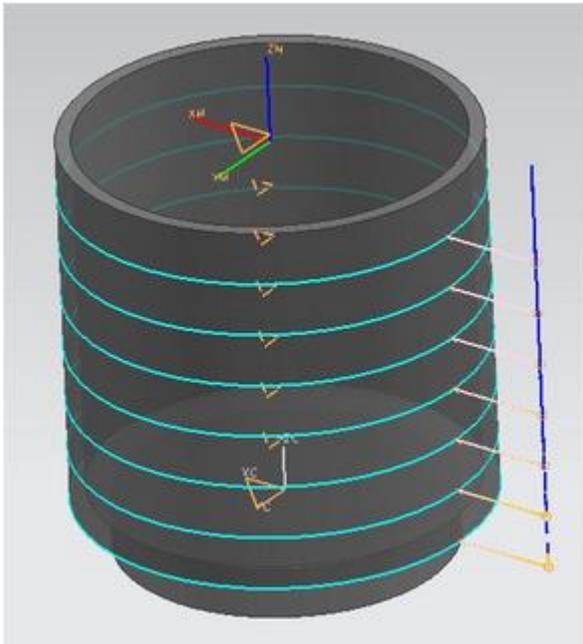
- Unterschiedliche Strategien
  - Zig-Zag
  - Innen nach Außen
  - Außen nach innen
- Auswahl nach Material und Form der Tasche



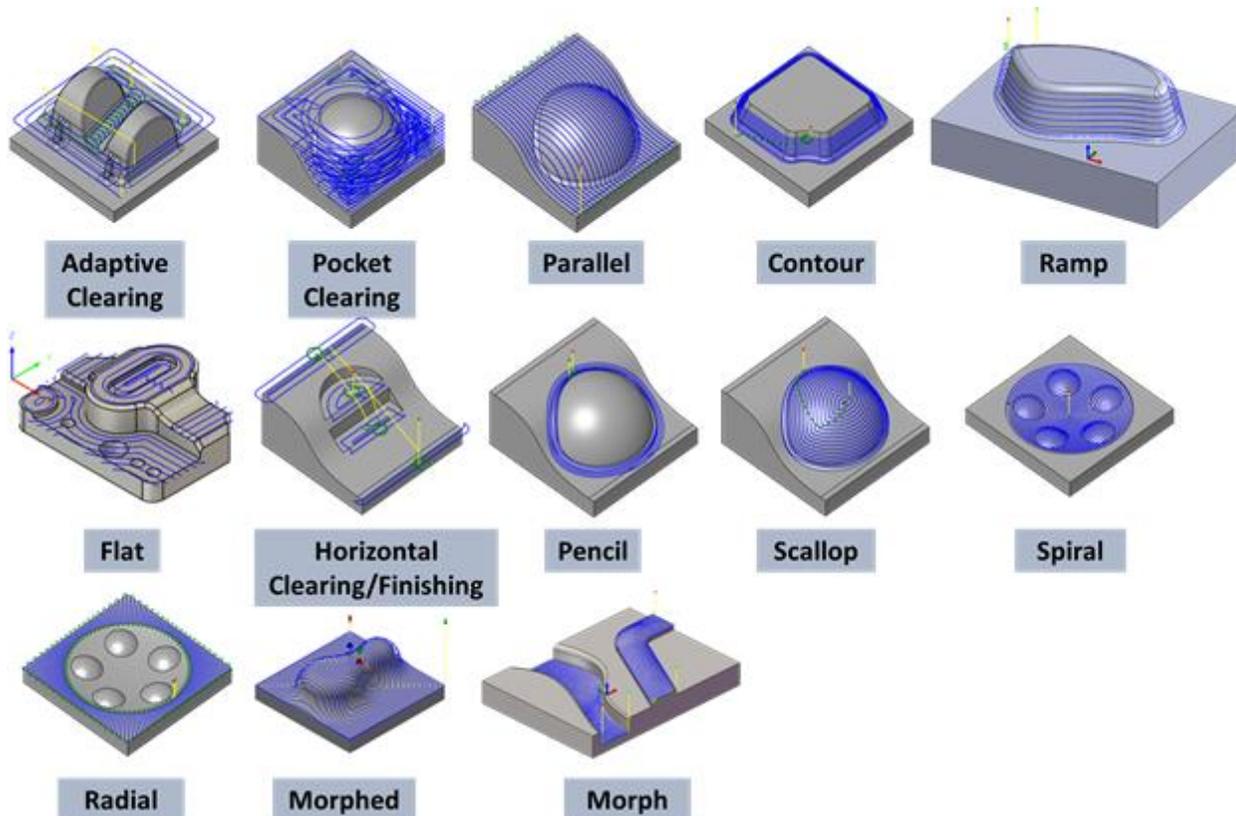
Quellen: <https://www.youtube.com/watch?v=Mj7xuMJNEHk>

Sütçü, Abdullah & karagöz işleyen, Ümmü. (2012). Effect of machining parameters on surface quality after face milling of MDF. Wood research. 57. 231-240.

# Konturfräsen



# 3D-Fräsen



- Fräser fährt in 3D-Bewegung Oberfläche ab
- Lange Fräszeit für glatte Oberfläche
- Kugel- oder Torusfräser oft besser

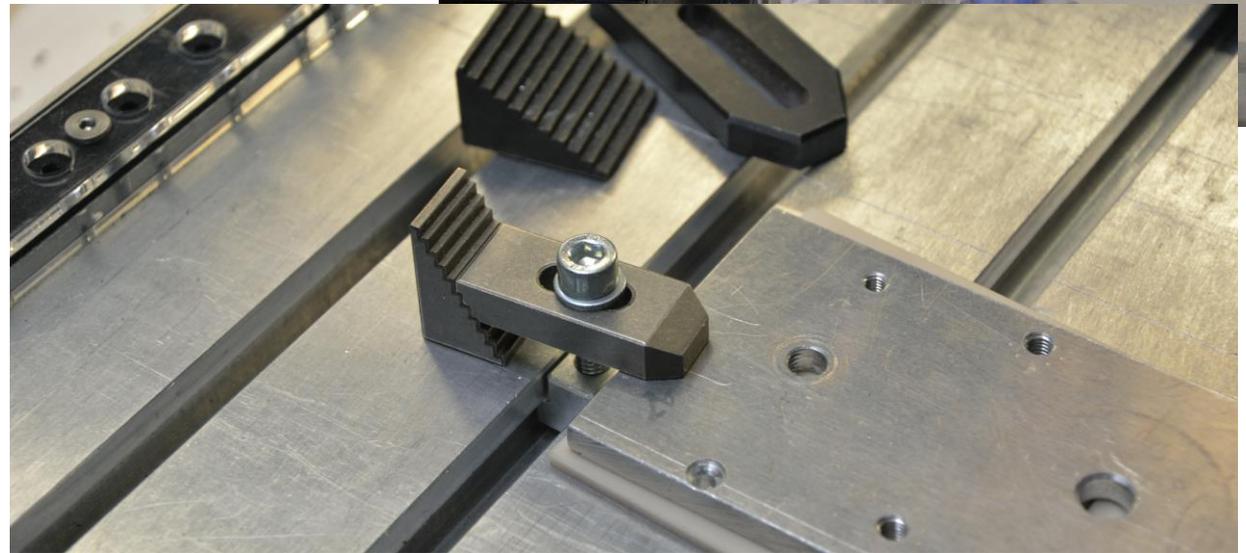
# Gravieren

- Spitzer Fräser - „Gravierstichel“
- Anwendung: Platinen und Schilder fräsen



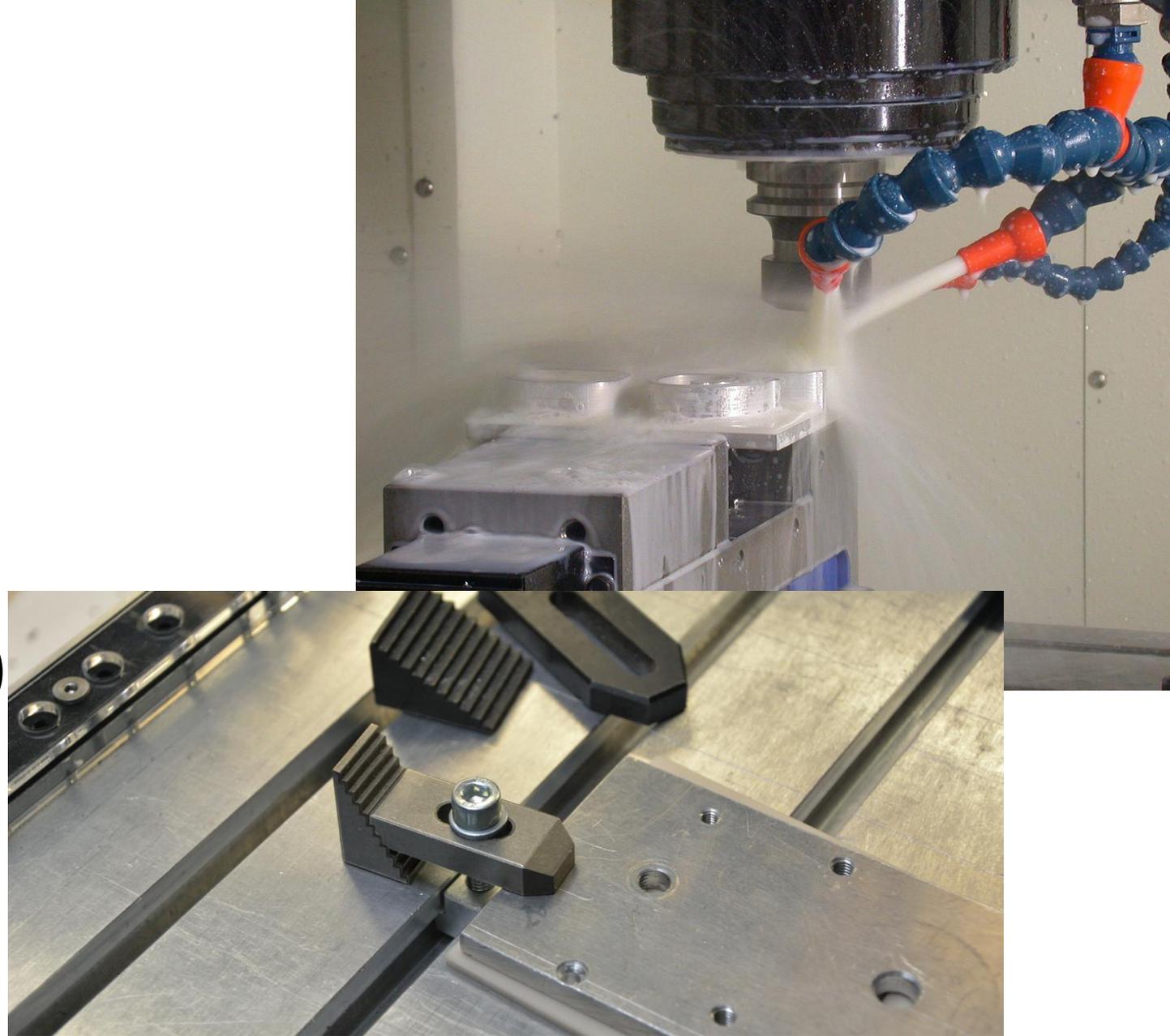
# Werkstück spannen

- Schnittkräfte ziehen am Werkstück  
→ Gute Fixierung notwendig
- Viele Möglichkeiten
  - Schraubstock
  - Spannpratzen
  - Vakuumtisch
  - Ankleben
  - ...



# Werkstück spannen

- Auswahl nach Werkstück und Material
- Ankleben ist manchmal schon ausreichend (zB bei Kunststoffplatten)



# Arbeitssicherheit beim Fräsen

- Hochfrequentes Fräsgeräusch  
→ Gehörschutz empfohlen
- Späne sind scharfkantig und fliegen leicht herum  
→ Immer Schutzbrille tragen



# Arbeitssicherheit beim Fräsen

- Lange Haare und Kleidungsstücke können in den Fräser kommen
  - Haare IMMER zusammenbinden
  - Keine weite Kleidung, Schnüre von Hoodies zusammenbinden
  - Keine Handschuhe beim hantieren in der Nähe des Fräasers
- (Metall-)Werkstücke sind scharfkantig
  - Vorsichtig hantieren, eventuell Handschuhe
- Späne, Staub und Öl
  - Eigene Arbeitskleidung

# Fräsprogramme

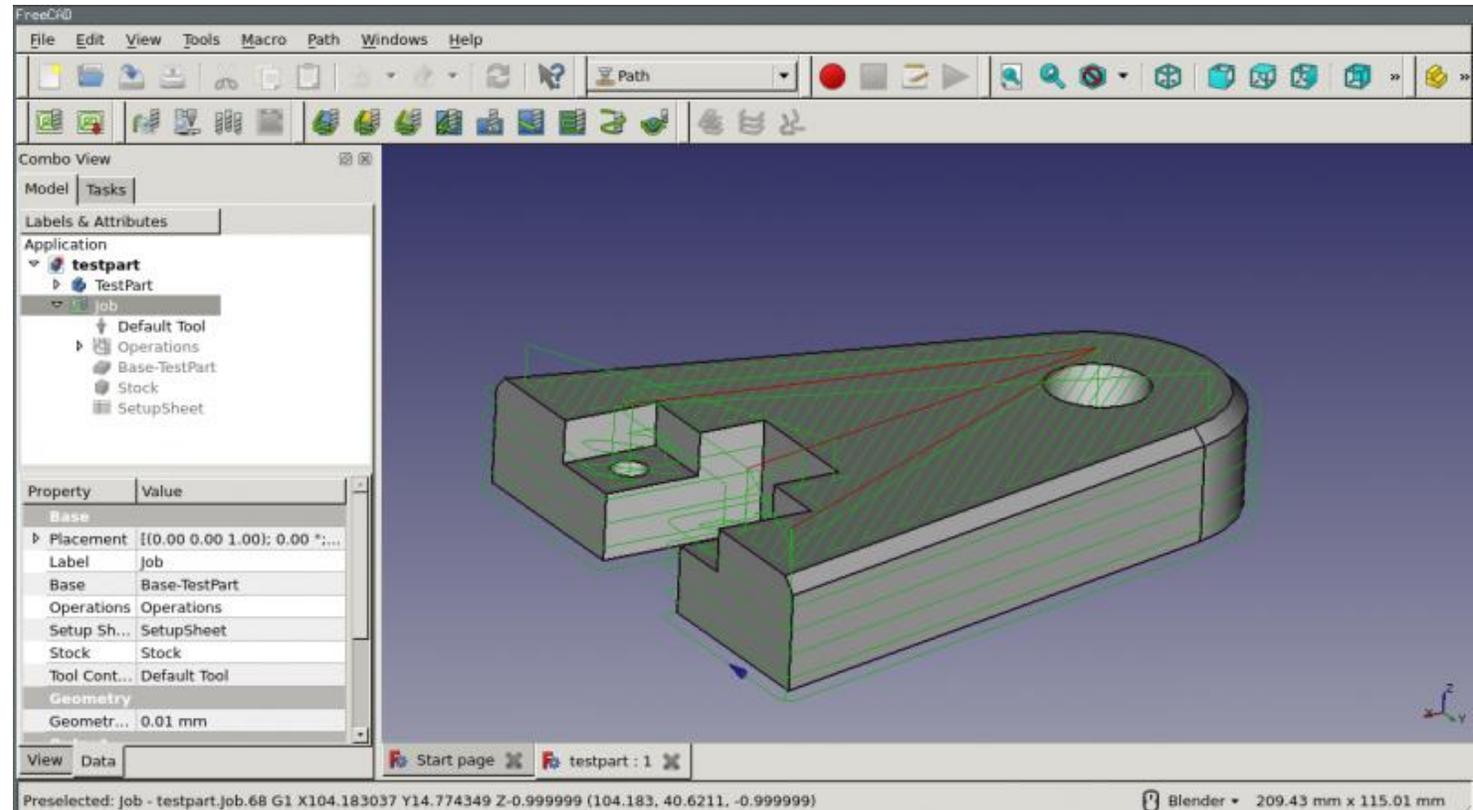
- CAM (Fräsprogramme erstellen)
- G-Code
  - Aufbau
  - Befehle (G0, G1, G92, ...)
  - Parameter (X, Y, Z, F, S, T)
  - Schleifen (O-Codes)

# CAM (Computer Aided Manufacturing)

- „Computergestützte Fertigung“ – Nicht nur Fräsen
- Besteht aus 3 Komponenten
  - Software erzeugt Fräspfade
  - Post processing erzeugt daraus Maschinencode
  - Maschine arbeitet nach Fräsprogramm

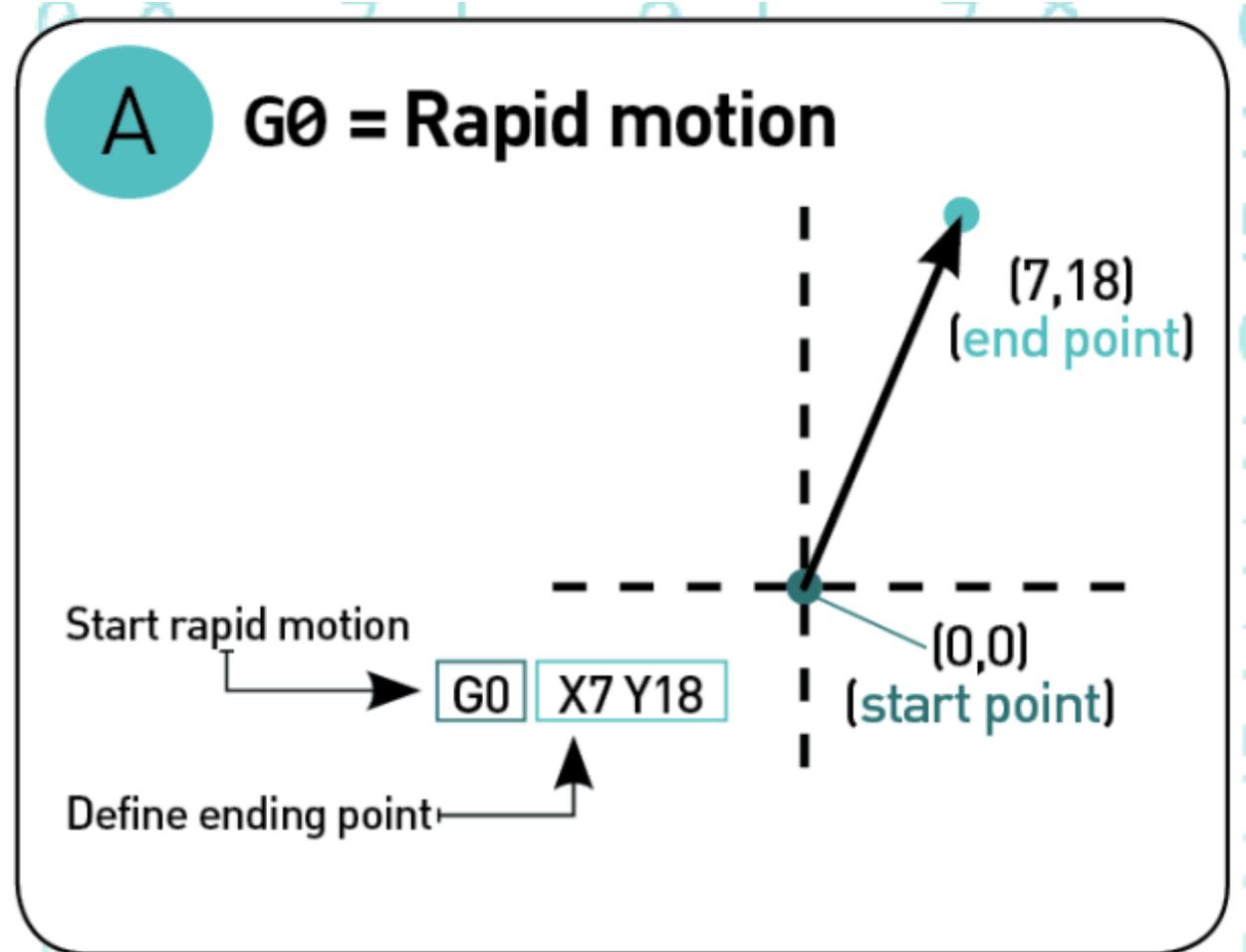
# CAM (Computer Aided Manufacturing)

- Basis für Fräspfade ist ein 3D-Modell
- Vergabe von Parametern für die Fertigung (Drehzahl, Schnittgeschwindigkeit, Zustellung)
- Funktionen für verschiedene Operationen
- Ausgabe in G-Code



# G-Code

- Standardisierte „Sprache“ zur Ansteuerung von Maschinen (CNC-Fräsen, Drehbänke, 3D-Drucker)
- Besteht aus Befehl (G, M) und Parametern (X, Y, Z, F, S, T, ...)
- Kann auch von Hand geschrieben werden!



# G-Code Befehle (Auswahl)

G0	Lineare Bewegung im Eilgang
G1	Lineare Bewegung
G2, G3	Kreisbewegung
G17 – G19	Auswahl der Fräsebene
G21	Verwendung von metrischen Einheiten
G52	Lokales Koordinatensystem

Mehr Informationen: <http://linuxcnc.org/docs/html/gcode/g-code.html>

# G-Code Befehle (Auswahl)

G54 – G59	Auswahl Koordinatensystem
G90 / G91	Absolute / relative Positionen
G92	Nullpunkt setzen
M2	Programmende
M3 / M4	Spindel ein (Im Uhrzeigersinn / gegen Uhrzeigersinn)
M5	Spindel aus

Mehr Informationen: <http://linuxcnc.org/docs/html/gcode/g-code.html>

# G-Code Parameter (Auswahl)

X, Y, Z	Position der jeweiligen Achse
F	Vorschub
S	Spindeldrehzahl
T	Werkzeugauswahl

Mehr Informationen: <http://linuxcnc.org/docs/html/gcode/g-code.html>

# G-Code Schleifen (Auswahl)

Oxxx	Stelle im Programm markieren
Oxxx sub / endsub	Unterprogramm Anfang / Ende (gleiche Nummer)
Oxxx call	Unterprogramm aufrufen
Oxxx repeat [n]	Unterprogramm n-mal aufrufen

Mehr Informationen: <http://linuxcnc.org/docs/html/gcode/o-code.html>

# G-Code (Beispiel)

Vollständiges Programm!

Was passiert hier?



G21

G17

G90

M3 S24000

G0 X500 Y12 Z5

G1 X500 Y12 Z-2 F100

G1 X500 Y10 Z-2 F400

G1 X16 Y10 Z-2

G1 X16 Y12 Z-2

G1 X500 Y12 Z-2

G0 Z5

M5

M2

# CNC-Fräse im Metalab

Z-Achse

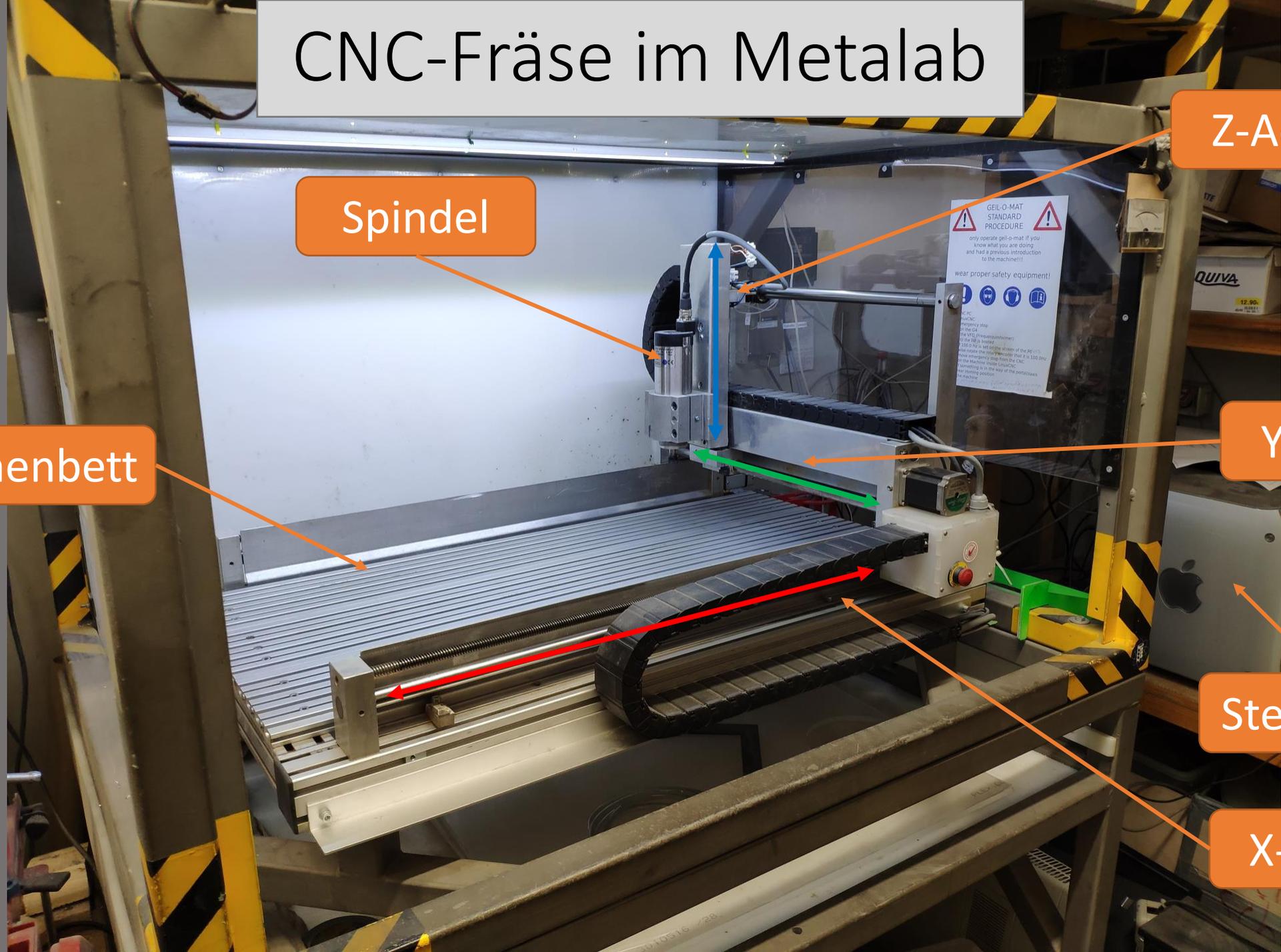
Spindel

Y-Achse

Maschinenbett

Steuerung

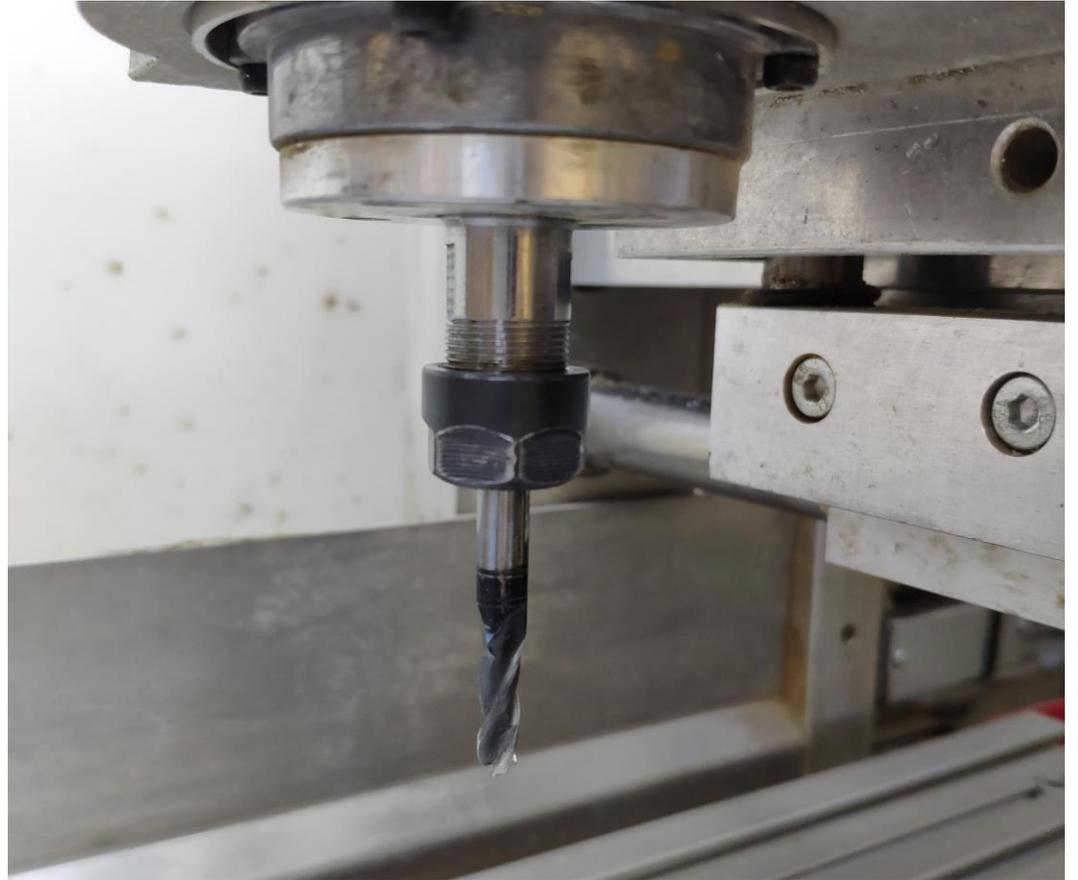
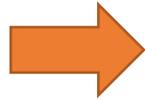
X-Achse



# Technische Daten

Drehzahl	6.000 – 24.000 U/min
Werkzeugdurchmesser	1 – 8 mm (Schaftdurchmesser)
Arbeitsbereich	725 x 395 x 107 mm (X / Y / Z)
Werkstückgröße	max. 510 x 2.000 mm
Verfahrensgeschwindigkeit	max. 2000 mm/min
Materialien	Holz Kunststoffe Aluminium Messing

# Werkzeugspannung



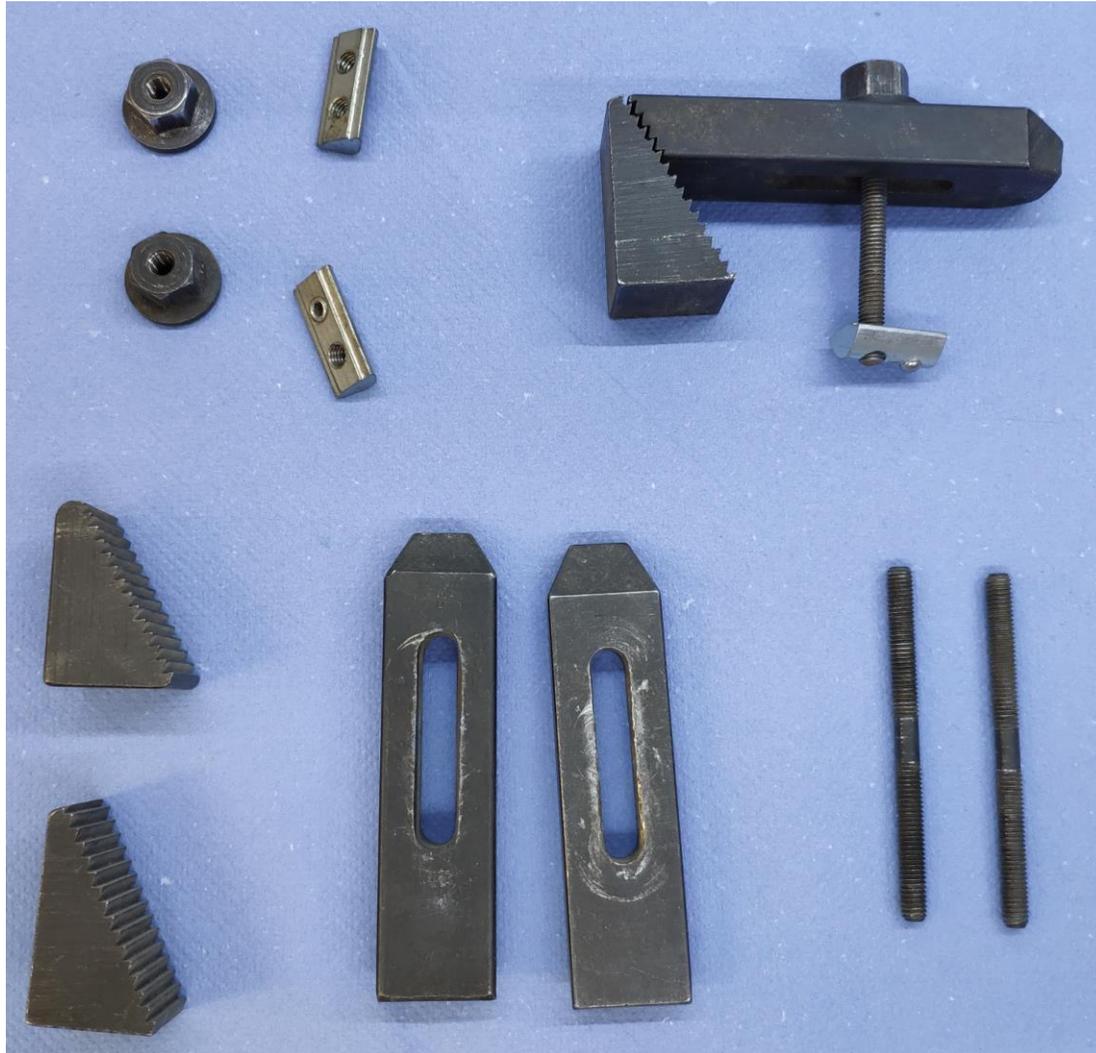
- Überwurfmutter klemmt Fräser in der Spindel
- Alles muss sauber sein!

# Werkzeugspannung

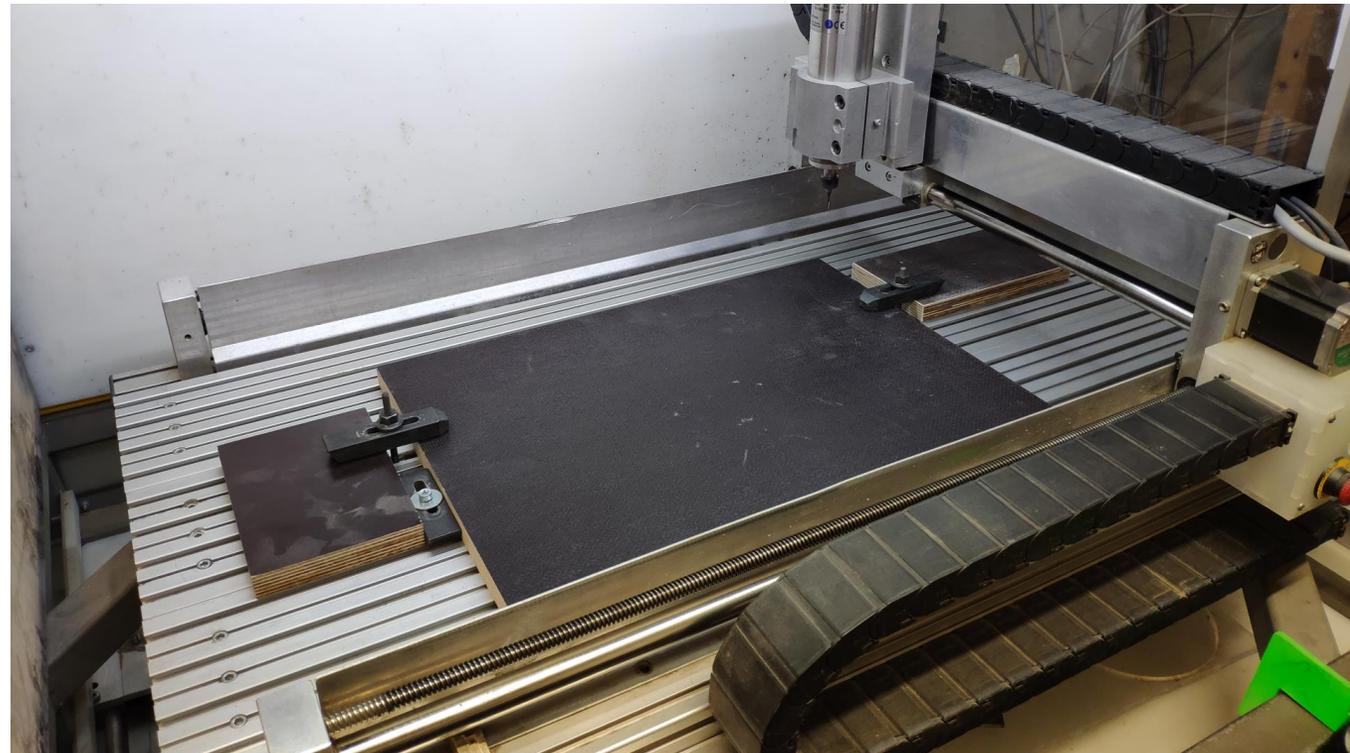
- Spannzangen für verschiedene Werkzeugdurchmesser
  - 1 – 8mm in 0,5mm Schritten
  - 1/8" und 1/4"
- Auswahl: Nächstgrößere Spannzange zu Fräser
  - Fräser 3,8mm → Spannzange 4mm
  - Fräser 5mm → Spannzange 5mm



# Werkstückspannung



- Spannpratzen für Spannen auf dem Maschinenbett
- 2-3 Pratzen je nach Werkstück genug



# Kühlung



- Keine Wanne unter Maschinenbett  
→ keine Flutkühlung
- Nur manuelle Kühlung mit Ethanol oder Isopropanol
- Am besten mit Spritzflasche
- **WICHTIG:** Gut lüften!

# Späneabfuhr

---

- Abfuhr mit Kühlung nicht möglich (Keine Wanne)  
→ Staubsauger
- Keine langen Aluminiumspäne!



# Reinigung und Wartung

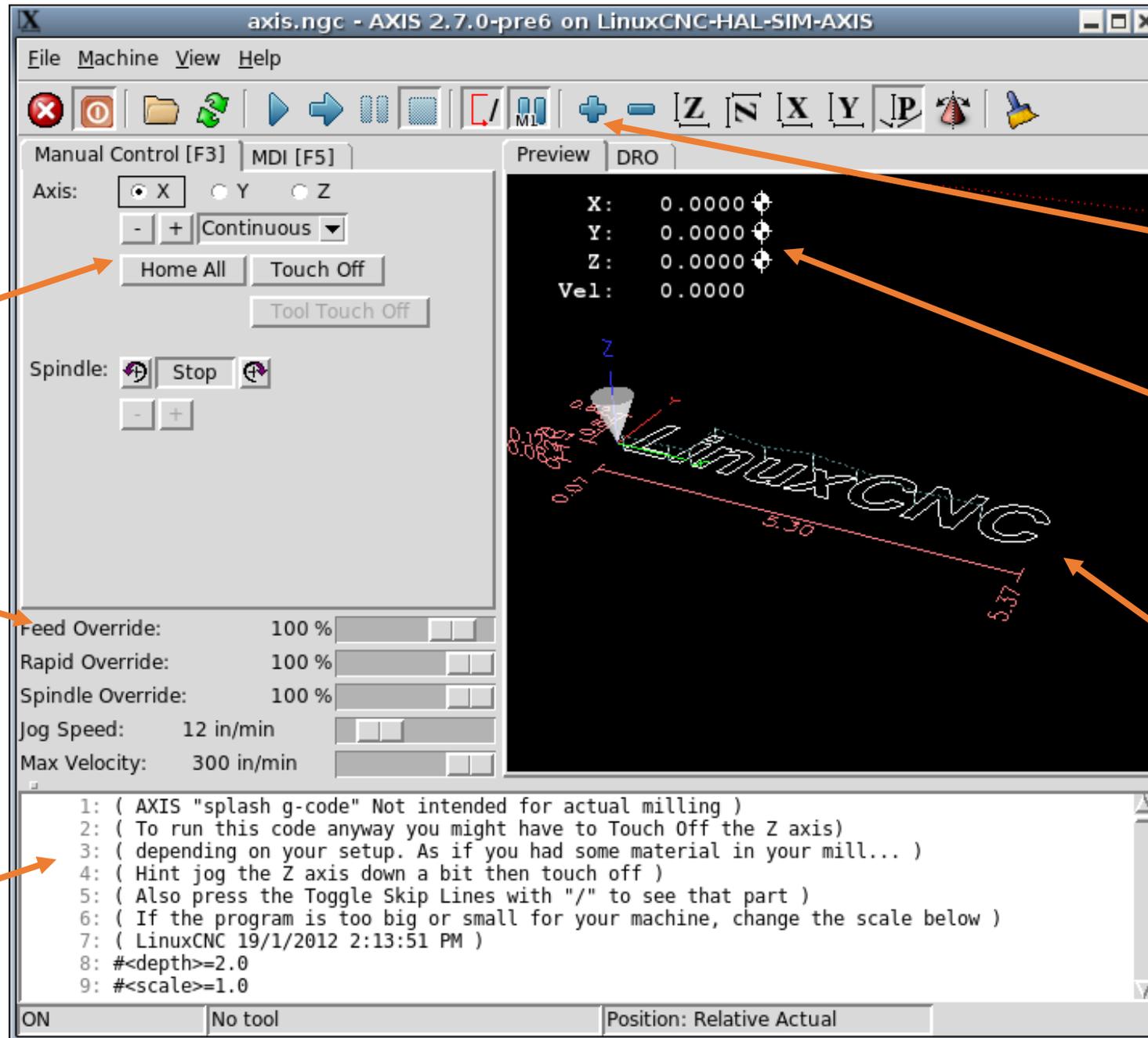
- Vor dem Fräsen
  - Kontrolle von Spannzange auf Schäden
  - Reinigen von Spannzange und Aufnahme in Spindel
- Nach dem Fräsen
  - Führungen reinigen
  - Gelegentlich Führungen schmieren

# LinuxCNC

Manuelle  
Bedienung

Vorschub  
steuern

G-Code  
Ansicht



Programm-  
steuerung

Aktuelle  
Position

Werkzeug-  
pfad