

# CNC-Fräse

Noch im Aufbau

- Technische Daten und Nachkäufe
- estlcam-Einstellungen
- Welcher Fräser und welche Einstellungen?
- Einweisung
- KOSY CNC

# Technische Daten und Nachkäufe

## Über die CNC-Fräse

Die Fräse ist ein Eigenbau von Tom. Sie hat ein schweres Betonbett, aber relativ schwache Schrittmotoren.

Als Software wird Estlcam verwendet:

- Estlcam für Linux (GitHub, kostenlos)
- Estlcam für Windows (25 € mit Lizenz für 3 Geräte, Testversion kostenlos)

## Technische Daten

Arbeitsvolumen	Frästisch: 800x600 mm Arbeitshöhe: 150 mm (TODO verifizieren)
max. Geschwindigkeit	70mm/s (x/y-Achsen) und 25mm/s (z-Achse)
Leistung (Spindel)	800 W
Drehzahl	10000 - 29000 U/min
Spindel	<u>Kress 800 FME</u>

## Nachkaufteile

Die folgenden Teile wurden bereits gekauft (und passen (hoffentlich)).

Fräser: Günstige gibts bei sorotec.de (z.B. L2SF.M.0300) ; <https://hc-maschinentechnik.de/Life-Latitudes-Fraeser-Starterset>

Spannzangen: 3mm (SKR.0300), 1/8" (SKR.0317), 6mm

# estlcam-Einstellungen

Steuerungselektronik	GRBL 0.9-1.1
Schritte pro Umdrehung	1600 (x/y), 800 (z)
Weg je Umdrehung	4mm (x/y/z) (Richtung umkehren bei z)
max. Vorschub	70mm/s (x/y), 25 mm/s (z)
Trägheit	85% (x/y), 95% (z)
Beschleunigungsweg	5 mm
Startvorschub	0.5 mm/s

# Welcher Fräser und welche Einstellungen?

## Fräserarten

Ein Fräser hat mehrere Aufgaben. Er muss nicht nur durchs Material fräsen, sondern die entstehenden Späne auch zuverlässig abtransportieren, da er sonst verstopft. Außerdem muss er hart genug sein.

Fräser unterscheiden sich nach verschiedenen Eigenschaften. Im folgenden werden einige "Faustregeln" dazu angegeben.

## Anzahl der Schneiden

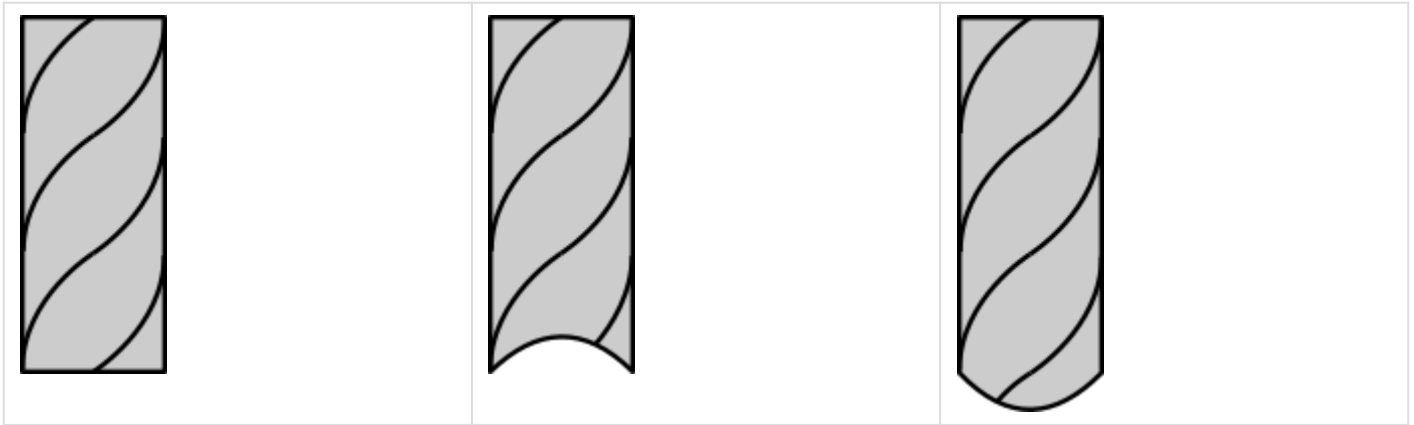
mehr = schneller, aber auch weniger Platz zur Spanabfuhr.

Für weiches Aluminium (z.b. 5754 Legierung) eher eine Schneide, für härteres Alu oder gut zerspanbare Werkstoffe zwei (oder vielleicht mehr).

## Anschliff

Es gibt an der Stirnseite (also "vorne" / "unten") verschiedene Schneidengeometrien. Die üblichsten sind hier abgebildet.

<b>Flacher Stirnschliff</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bessere Oberflächenqualität.</li><li>• Höherer Verschleiß beim Eintauchen (selbst mit flachen Winkeln).</li><li>• Achtung: manchmal geht die Klinge unten nicht bis zur Mitte. In dem Fall ist kein senkrechtes Eintauchen möglich!</li></ul>	<b>Fischschwanz</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Besser zum Eintauchen geeignet. (d.h. weniger Verschleiß bzw steilere Winkel möglich).</li><li>• Dafür schlechtere Oberflächenqualität.</li></ul>	<b>Bohrer, kein Fräser</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Eintauchen ist sein Job.</li><li>• Meist nicht auf seitliche Kräfte ausgelegt.</li><li>• Zum Fräsen i.A. ungeeignet!</li></ul>
---	---	---



Daneben gibt es noch:

- **Vollradius/Kugelfräser:** Für Feinarbeiten bei gewölbten Oberflächen, oder runde Nuten.
- **Fasenfräser:** V-Förmige Spitze, um 45°-Anschrägungen (Fasen) an Kanten anzubringen.
- **Viertelkreisfräser:** Ähnlich wie der Fasenfräser zum Abrunden von Kanten, nur dass sie eben rund, nicht angefast werden.

## Durchmesser

Größerer Durchmesser lässt mehr Platz zur Spanabfuhr, und der Fräser bricht nicht so leicht. Dafür kommen wir schlechter in Ecken hinein.

Da es beim Fräsen auf die Geschwindigkeit der Klingen ankommt, müssen wir (wenn wir den Vorschub, siehe unten, gleich lassen) bei größerem Durchmesser langsamer drehen.

## Einstellungen

**Die Drehzahl** darf maximal so schnell wie die Herstellerangabe gewählt werden. Drehen wir schneller, wird der Fräser heiß. Langsamer drehen ist problemlos möglich, dauert dann halt länger. Nur allzu niedrige Drehzahlen sind zu vermeiden, da unsere Frässpindel sonst an Drehmoment/Kraft verliert.

**Der Vorschub** (wie schnell der Fräser durchs Material fährt) muss gemäß Formel zur Drehzahl passen! Ist er zu langsam, reißt der Fräser keine schönen Späne mehr heraus, sondern reibt nurnoch am Material, produziert Staub und erhitzt sich dabei. Ist er zu hoch, kann der Fräser stecken bleiben.

# Einweisung

## Wie erhalte ich eine Einweisung?

Bitte lest dieses Dokument durch und bereitet euer Projekt entsprechend so weit wie möglich als SVG-Datei vor, **bevor** ihr eine persönliche Einweisung vereinbart. Das macht alles schneller ;).

Euer erstes Projekt sollte ein **weiches** Material wie Holz, Styrodur oder Plastik verwenden und "schnell" gehen: Faustregel: Wenn's auf **DIN-A5 passt und max. 20mm dick** ist, ist's ok. Bringt mindestens **2 Stunden** Zeit mit.

Ihr werdet das Projekt wie in der Fahrschule unter Aufsicht fräsen, euch wird alles erklärt und ggf. rechtzeitig eingegriffen. Nach 2-3 "Fahrstunden" dürft ihr dann alleine fräsen. Derzeit: Windfisch fragen.

## Sicherheitshinweise

Die CNC-Fräse ist nur mit Einweisung/"Führerschein" zu benutzen. Macht bitte weder euch noch die Fräse kaputt.

**Nur mit Schutzbrille fräsen!** (Schubfach oben rechts.)

### Warum?

Fräser brechen und fliegen mit viel Energie durch die Gegend. Am besten nicht in dein Auge. Normale Brillen reichen nicht aus, da sie seitlich nicht abschließen.

**Immer erst eine Referenzfahrt machen!** Sonst funktionieren Sicherheits- und Automatikfunktionen nicht richtig.

**Fräser werden heiß!** Erst abkühlen lassen.

**Fräser sind scharf!** Nicht an der Schneide anfassen.

**Metallspäne sind scharfkantig. Platinenmaterial ist ähnlich gesund wie Asbest.** Pinsel/Bürste benutzen. Danach die gesamte Fräse und den Boden gründlich(!) reinigen.

### Warum?

Die Fräse ist vorrangig für Holz bestimmt. Andere Materialien werden geduldet, aber nur, wenn keine Beeinträchtigung für Holzprojekte entsteht.

Selbst einzelne Metallspäne zerkratzen Oberflächen.

Glasfaserstaub von Platinen legt sich überall hin und wird irgendwann wieder aufgewirbelt und eingeatmet.

**Fräsmotor direkt am Gerät an- und ausschalten, bevor/nachdem gefräst wird!** Vertraut nicht der Softwaresteuerung (die aktuell eh nicht funktioniert), wenn ihr bspw. gerade den Fräser wechselt.

**Manuelles Fahren** oder **automatische Funktionen** wie Referenzfahrt/Werkzeuglängenmessung nur unter **ständiger Alarmbereitschaft**. Auf Objekte vor/hinterm Tisch, und auf dem Pfad des Fräasers achten. Bei Bedarf kleinen roten "Stopp"-Knopf drücken.

Vor dem **automatischen Z-Abnullen** immer erst eine **Testauslösung** (Tastplatte an den Fräser halten) machen!

### Warum?

Die Tastplatte ist active-high, d.h. sie kann nur auslösen, wenn sie auch angeschlossen ist und eine elektrisch leitfähige Verbindung zwischen dem Fräser und der Tastplatte auf dem Werkstück herstellen kann. Das könnte versagen, wenn:

- Stecker herausgerutscht. (Sieht man nicht, ist unter dem Fräsentisch)
- Fräser mit nicht leitfähiger Beschichtung.

Dann würde die Fräse immer weiter ins Werkstück hineinfahren und die Spindel beschädigen, da sie Kräfte in diese Richtung nicht gut abkann.

**Fräsprogramme -- insbesondere aus eigener Quelle -- immer erst in sicherer Höhe testfahren!**

### Warum?

Es gibt hunderte verschiedene G-Code-Dialekte, und nicht jedes Programm versteht alle. Dazu noch Inch vs Millimeter, schlicht fehlerhafter Code oder Kommandos, die zu unerwarteten Bewegungen führen. Eine sichere Höhe gibt euch Zeit zum "Stopp"-Drücken, bevor etwas kaputtgeht.



Wenn das gemacht habt, und ihr euer Fräsprogramm dann eine Minute im Werkstück habt laufen lassen, und euch nichts komisch vorkommt, müsst ihr nicht mehr jederzeit am Aus-Knopf stehen. Das wird dann schon funktionieren™, was soll schon schiefgehen™.

Auf **ausreichend Anbindungen** beim Ausfräsen achten. Werkstück fliegt sonst durch die Gegend.

# Grundlegende Bedienung

## Vorlage erstellen

EstlCAM kann SVG-Dateien für 2.5-dimensionale Projekte, und STL-Dateien für 3D-Projekte laden. Hier wird nur auf SVG eingegangen.

Siehe EstlCAM-Videos:

<https://www.youtube.com/embed/4IrUsoXFCXI?si=fI5DBjteM3igDCvP>

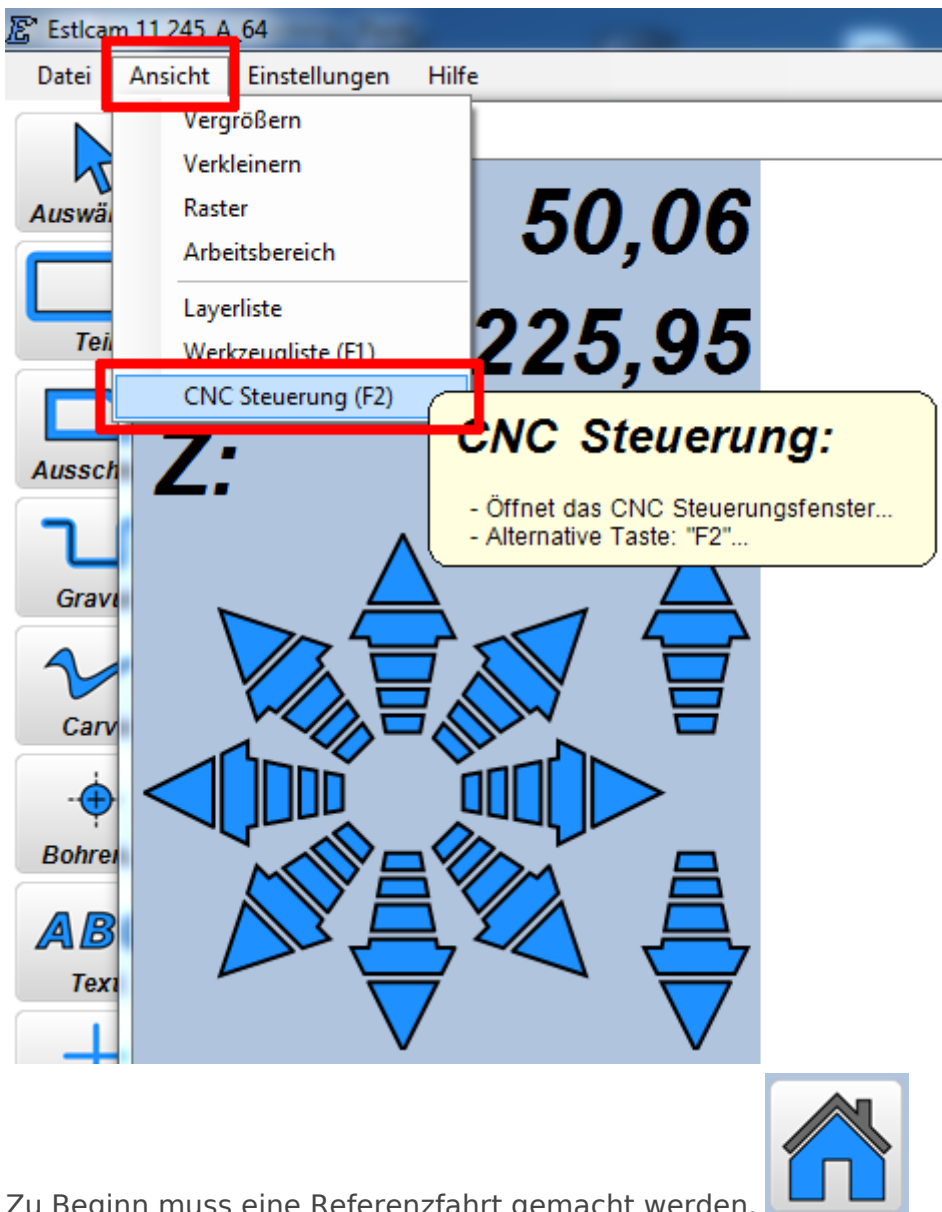
<https://www.youtube.com/watch?v=4IrUsoXFCXI>

Mit den Buttons links diejenigen Konturen auswählen, die "innen" oder "außen" gefräst werden sollen. Die Tiefe kann jeweils angegeben werden. (Bei Bedarf können auch unterschiedliche Fräser verwendet werden).

Zuletzt auf "Projekt fräsen" klicken.

## Fräse fahren und Vorbereitungen

Im Bildschirm "CNC Steuerung" kann die Fräse mit den blauen Pfeilen bewegt werden. Die Segmente geben die Geschwindigkeit an. **Unbedingt** den Fahrweg im Blick behalten.



Zu Beginn muss eine Referenzfahrt gemacht werden.

## Fräser einspannen

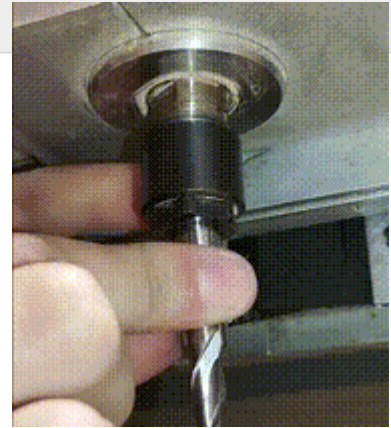
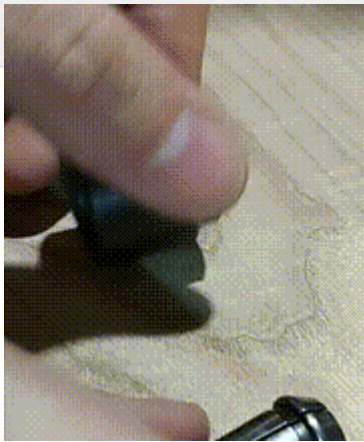
Zu jedem Fräser muss eine **exakt passende Spannzange** verwendet werden. Besondere Vorsicht ist bei 3mm **vs** 3.175mm=1/8" geboten, bitte nicht verwechseln!

Zuerst die **Überwurfmutter** vom Fräsmotor abschrauben und ggf. den **alten Fräser vorsichtig am Schaft herausziehen**. Achtung, Fräser sind scharf!

Dann ggf. die alte **Spannzange** entfernen. Dazu diese am besten schräg stellen und von unten herausdrücken. Da sie eingerastet ist, ist das manchmal etwas knifflig. Die neue Spannzange wird ebenso schräg eingeführt und dann runtergedrückt, bis sie einrastet. (Maulschlüssel im Schubfach)

Den **Fräser** so weit einführen, dass man ihn gerade noch am Schaft greifen kann, und die Spannzange festschrauben. Möglichst nur kräftig mit den Fingern anziehen. Bei dickeren Fräsern

kann man **vorsichtig** mit dem Maulschlüssel nachziehen. **Achtung! Nach "fest" kommt "ab"!**

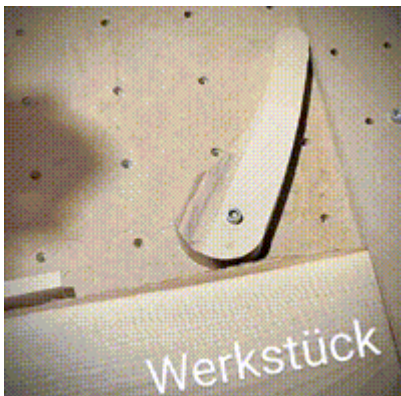


## Werkstück einspannen und abnullen

Das Werkstück muss auf der Fräse gut fixiert werden. Möglichkeiten dazu sind:

- **Exzenterspanner** drücken das Werkstück seitlich gegen die Kanten / "Lineale". Geeignete Größe aussuchen, ins Lochraster Schrauben, Spanner um mind. 90 Grad drehen und so das Werkstück an 3-4 Punkten einklemmen.

### Video

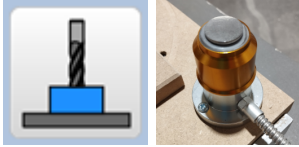


- **Doppelseitiges Klebeband** eignet sich für flache, breite Projekte. Bedingt auch für höhere Projekte, bei denen wenig Kraft benötigt wird, z.B. Gravuren. Das Klebeband hält überraschend gut, was es auch sehr schwierig zu entfernen macht.
- **Festschrauben.** Wenn möglich, mit Metallschrauben ins Lochraster schrauben. Wenn nicht, kann man auch in die Holzplatte des Frästisches mit Holzschrauben schrauben. (Die Holzplatte ist als Opferplatte gedacht, in die auch reingefräst wird.) **Achtung! Nicht**

## gegen die Schrauben fahren!

### Optional: Werkzeuglängenmessung

(Derzeit ist der Sensor deaktiviert, weil er manchmal mitten im Fräsprogramm auslöst)



Wenn ihr im Laufe des Fräsens den Fräser wechseln müsst, und euch das ständige Z-Abnullen ersparen wollt, empfiehlt sich eine Werkzeuglängenmessung. Diese muss **vor** dem Abnullen erfolgen:

- Dazu drückt ihr einmal auf den WZL-Knopf, um die Maschine in die WZL-Position zu fahren (auf Hindernisse achten!)
- Und dann nochmal auf den WZL-Knopf, um langsam nach unten in den Sensor zu fahren. (Vorher den Sensor von Hand auslösen, um seine korrekte Funktion zu überprüfen!)

Nach jedem Fräserwechsel nochmal 2x auf den WZL-Knopf. Abnullen auf Werkstückhöhe ist nicht mehr nötig.

Danach müsst ihr die Fräse abnullen. Dazu erst ins "Abnullen"-Menü auf der rechten Seite



wechseln.

- Entweder fahrt ihr von Hand an den gewünschten Nullpunkt, so dass der Fräser gerade so an der Werkstückoberseite kratzt, und klickt im "Abnullen"-Menü auf "Linke Seite", "Vordere Seite" und "Oberseite". Achtet darauf, dass unter "Hilfsmitteldicke" und "Fräserdicke" null eingetragen ist.
- Oder ihr fahrt zuerst etwas tiefer als die Werkstückoberseite ist, und dann seitlich ans Werkstück heran. Dann tragt ihr den Durchmesser des eingespannten Fräasers ein, und nullt "linke/rechte Seite" und "Vorder/Hinterseite" separat ab. Die Oberseite wie gehabt.
- Das Z-Abnullen könnt ihr auch mit der Tastplatte machen.



Dazu als Hilfsmitteldicke 14mm eintragen, Tastplatte oben drauf legen, und den Fräser vorsichtig in die Tastplatte fahren. Die Fräse hält bei Kontakt automatisch an, und setzt 1mm zurück. Dann ist der Nullpunkt gefunden.

### Optional: Höhe abtasten (nur für Metall)

Wenn ihr Metall gravieren wollt, könnt ihr statt Z-Abnullen auch die Höhe rasterartig abtasten:



- Dazu nullt ihr erst X und Y ab, stellt sicher, dass im Bereich eures Fräsprogramms keine Hindernisse sind und überall elektrische Leitfähigkeit besteht.
- Krokodilklemme mit Bananenstecker in die Tastplatte stecken und am metallischen Objekt befestigen.
- Abtastenfunktion von EstlCAM nutzen.

Achtung: Die Abtast-Funktion darf **nur einmal** nach dem Laden eines G-Codes benutzt werden. Jedes weitere Mal führt ohne Vorwarnung zu falschen Ergebnissen. Wenn ihr also denkt "oh, ein kleineres Raster wäre vielleicht doch besser", müsst ihr erst euer Fräsprogramm **neu laden**.

Ihr seht jetzt auf dem Bildschirm euer Fräsprogramm, und als blaues Fadenkreuz die Position der Fräse. Fahrt die Ränder ab, um euch von der richtigen Größe/Skalierung zu überzeugen.

The screenshot displays the EstlCAM software interface. On the left, the coordinate system shows X: 0.00, Y: 0.00, and Z: 0.00. Below this is a circular pattern of blue arrows representing the measurement grid. A command line labeled 'Kommandozeile...' is visible. At the bottom left, there are sliders for 'F:' (Feed rate) and 'S:' (Spindle speed), both set to 0. The main area shows a grid of measurement points represented by blue dashed lines forming a hexagonal pattern. A red crosshair marks the 'Programm-Nullpunkt' (Program Zero Point), and a blue crosshair marks the 'Aktuelle Position' (Current Position). On the right, a list of G-codes is displayed, including G00, G01, and G02, with their respective X, Y, and Z coordinates. A blue play button is at the bottom right.

0: G01 F120.00  
1: (THICKNESS 0.150MM FROM OUTSIDE)  
2: G00 X-5.1539 Y31.0000 Z2.0000  
3: G01 X-5.1539 Y31.0000 Z-0.0500  
4: G01 X-0.1539 Y26.0000 Z-0.0500  
5: G01 X-0.1539 Y16.0000 Z-0.0500  
6: G00 X-0.1539 Y16.0000 Z2.0000  
7: G00 X5.1539 Y31.0000 Z2.0000  
8: G01 X5.1539 Y31.0000 Z-0.0500  
9: G01 X0.1539 Y26.0000 Z-0.0500  
10: G01 X0.1539 Y16.0000 Z-0.0500  
11: G00 X0.1539 Y16.0000 Z2.0000  
12: (THICKNESS 0.150MM FROM OUTSIDE)  
13: G00 X-5.1539 Y1.0000 Z2.0000  
14: G01 X-5.1539 Y1.0000 Z-0.0500  
15: G01 X-0.1539 Y6.0000 Z-0.0500  
16: G01 X-0.1539 Y16.0000 Z-0.0500  
17: G00 X-0.1539 Y16.0000 Z2.0000  
18: G00 X5.1539 Y1.0000 Z2.0000  
19: G01 X5.1539 Y1.0000 Z-0.0500  
20: G01 X0.1539 Y6.0000 Z-0.0500  
21: G01 X0.1539 Y16.0000 Z-0.0500  
22: G00 X0.1539 Y16.0000 Z2.0000  
23: (THICKNESS 0.150MM FROM INSIDE)  
24: G00 X4.8461 Y63.0000 Z2.0000  
25: G01 X4.8461 Y63.0000 Z-0.0500  
26: G01 X-0.1539 Y58.0000 Z-0.0500

Program-Nullpunkt      Aktuelle Position

# KOSY CNC

**Ziel des Projekts** ist es die KOSY CNC Maschine sicher im ZAM nutzbar zu machen.

**Kontakt:** Thomas Ruehr (thomas.ruehr at gmail.com)

## Historie der Maschine

Die CNC Maschine ist ursprünglich von der deutschen Firma Max Computer / KOSY in der Verkehr gebracht worden. Die KOSY CNC Maschinen stehen schon seit den 90er Jahren in vielen Schulen und Berufsschulen, sie werden mit einer relativ einfachen Steuerung ausgeliefert und es gibt Materialien fuer den Unterricht. Leider ist die Steuerung nicht mehr ganz zeitgemaess. Es koennen auf der Maschine Holz, Plastik und im begrenzten Umfang auch Nichteisen-Metalle bearbeitet werden. Fuer Eisenmetalle ist die Maschine im Originalzustand mechanisch nicht ausgelegt.

Unsere KOSY CNC besteht im wesentlichen aus Beton, die Linearfuehrungen bestehen aus Aluminium-Stranggussprofilen in die rostfreie Stahl-Wellen eingegossen sind, auf denen Rollen laufen. Die Schrittmotoren sind im aktuellen Zustand open loop Schrittmotoren der Groesse Nema 17. Als Spindel ist derzeit ein Oberfraesen-Motor verbaut.

Im Habitat Augsburg wurde von einem Mitglied die Steuerung neu aufgebaut, allerdings auf etwas abenteuerliche Weise. Dabei wurde insbesondere die Antriebselektronik der Schrittmotoren / Controller zusammen mit der CNC Steuerung ersetzt.

## Aktueller Zustand

Das Gerät ist betriebsbereit.

Der Laptop hat eine EstlCAM Installation. Inkscape läuft. Verarbeitet werden können SVG-Dateien.

- Einweisung für Neue

## Verbesserungs-Vorschläge

### Umbau Elektrik/Elektronik

1. Schritt: Wieder-Inbetriebnahme im Zustand wie vom Habitat (Mit der Hacky Steuerung + EstlCam)

Erledigt.

2. Schritt: Einbau eines Notaus. Hierfuer sollten ein PILZ PNOZ und Notaus Schalter (Siemens) im Beifang der CNC vorhanden sein. Ziel ist es einen oder zwei Notaus Schalter zu verbauen die die

Maschine tatsaechlich Stromlos schalten, also kein Feed Stop.

3. Schritt: Pruefung / Einbau eines Feed-Stop Schalters. Evtl ist da schon etwas vorhanden, an der vorderseite der CNC. Der Feed Stop soll ermoeglichen das Programm an zu halten wenn etwas schief geht, etwa Material loest sich etc. wenn es kein Notfall ist. Sonst Not-Aus.

Erledigt: Roter Taster an Frontseite stoppt den Prozess.

4. Steckdosen für Absaugung, sichere Kabelführung

## Migrationspfade Steuerung/Elektronik

Derzeit läuft auf der Steuerung ein GRBL. Da als Mikrocontroller nur ein AVR ATMEGA 32 verwendet wird, ergeben sich Limitierungen im Funktionsumfang der Firmware; beispielsweise puffert GRBL zwar die entgegengenommenen G-Codes, aber meldet nicht zurück, an welche G-Codes schon verarbeitet wurden und welche noch nicht; damit ist die "aktuelle Position in der Datei" ungenau.

Die Steuerung selbst ist "zusammengeschustert" und leidet möglicherweise unter EMI-Problemen bei den Sensoreingängen; (bspw. löst der Werkzeuglängensensor manchmal einfach so aus). Das könnte (?) ein Problem mit der Versicherung darstellen.

Modernere Alternativen wären bspw. GRBL-Hal und andere.

Todos:

- Mögliche EMI-Probleme debuggen. Bestätigen oder ausschließen.
- Grbl-Hal ausprobieren, STM32-Adapter bauen.

Vorgeschlagener Pfad:

- Erstmal mit der "zusammengeschusterten Lösung" probieren.
- Diese Lösung durch einen 5-Euro-STM32-Mikrocontroller und GRBL-Hal upgraden.
- Bei Bedarf: Hardwarebox kaufen, auf der auch GRBL-Hal läuft.
  - für ca 300 Euro incl 4A-Treibern, deutscher Shop, CE Zeichen: OpenBuilds Blackbox X32: [https://www.conucon.de/cnc-steuerungen/openbuilds-blackbox-x32-motion-control-system-mit-software\\_2000223\\_1863](https://www.conucon.de/cnc-steuerungen/openbuilds-blackbox-x32-motion-control-system-mit-software_2000223_1863)
  - ca 100 Euro ohne Stepper-Driver, Import aus Kanada: Flexi-Hal

## Umbau Mechanisch

Die Maschine ist an sich recht steif, allerdings sind die Fuehrungsschienen nicht mehr Stand der Technik. Ein Ziel koennte sein, diese durch moderne Profilschienen ("THK-Schiene") zu ersetzen. Im Idealfall waeren dann Eisenmetalle zu verarbeiten.

## Umbau Antriebe

Es steht ein Satz Closed-Loop Stepper zu Verfügung. Diese sind deutlich stärker, passen aber mechanisch nicht so einfach in die Maschine.

## Umbau Spindel

Es steht eine wassergekühlte 2.2KW Spindel mit ER25 Collet zur Verfügung. Ein Vorteil dieser Spindel ist der deutlich bessere Rundlauf, so dass die Werkzeuge/Fräser geschont werden. Die Spindel ist aber möglicherweise zu schwer für den Stepper in der Z-Achse, daher ggf. abhängig von "Umbau Antriebe". Es wäre denkbar nur an der Z-Achse den Schrittmotor zu ersetzen. Ziel sollte dabei aber auch sein, dass bei Notaus die Spindel nicht absinkt, d.h. stromlose Haltekraft des Motors soll im Zusammenspiel mit der Kugelumlaufspindel (KUS) ausreichen, ggf. könnte statt einem starken Achsmotor eine KUS mit kleinerer Steigung verwendet werden oder aber für das Notaus Szenario auch eine Bremse verbaut werden.

Evtl. kann auch die Luftgekühlte ER11 1.5 kW Spindel verwendet werden, Nachteil: Oberfräsenbits sind evtl. zu groß für ER11 (max. 7mm).

## Spannsystem und Lineale

Das **Lochraster** für die Exzenter-Hebel ist manchmal zu groß:

- zusätzliche Löcher im Mittelpunkt jedes Lochquadrates
- zusätzliche kleinere Exzenter-Hebel könnten alternativ oder zusätzlich helfen
- (versetzbare Lineale (50% des Rasters) haben den Nachteil, dass das Koordinatensystem jedesmal neu genullt werden muss?)

Die **Exzenter-Hebel** könnten stabiler sein:

- 3D-gedruckte Hebel  
oder Laser-geschnitten aus festerem Material
- Imbusschrauben-Kopf versenken (weniger Überstand → weniger Kollisionsgefahr mit Fräser)
- Holz-Hebel brauchen eine Unterlegscheibe unter dem Schraubenkopf

Die **Lineale** sind nicht parallel zum Tisch:

- neu ausrichten (und Imbusschrauben-Kopf versenken)

## Standort

Maschine etwas von der Wand abrücken

(damit man um die Maschine herumgehen und den Fräs-Verlauf von allen Seiten kontrollieren kann).