



# CNC-Technik

## Unterrichtsplanung für TGTM-J1

### Inhaltsverzeichnis

<b>Lehrplan TGTM</b> .....Stand 10.09.2010	Werkzeugwechsellpunkt .....7	Werkstücknullpunkt .....11
Vorüberlegungen .....2	Schnittparameter .....7	Sinn der Werkzeugliste .....11
Schlussfolgerung .....2	Maschinenspezifische Zusatzfunktionen .....7	Koordinatenplan .....11
<b>Einführung in CNC-Technik</b> .....3	G00, G01: Geradeninterpolationen .....7	Zyklus.....11
Arbeitsweise von CNC-Wzm .....3	G00 Eilgang .....7	Einfachprogramm .....11
Merkmale .....3	G01 Vorschub .....7	<b>Sonstiges</b> .....11
<b>Wegmesssysteme</b> .....4	<b>Ub 02: G00, G01 – die 2.te</b> .....7	<b>Grundlagen der Zerspantechnik</b> .....11
Prinzip .....4	Fräsermittelpunktbahn ermitteln .. .....7	Herstellerinformationen nutzen .....11
Glasmaßstäbe .....4	.. mit rechtwinkligen Dreiecken .....7	Technisches Handbuch der
Stahlmaßstäbe .....4	.. mit Geradengleichungen .....7	Metallzerspanung .....11
Einteilung des Strichgitters .....4	„ mit Vektoren .....7	Werkzeugeometrie .....11
inkrementale .....4	<b>Ub 03: G41, G42, G40</b> .....8	Frei-, Keil-, Spanwinkel .....11
absolute Wegmessung .....4	Radiuskorrektur .....8	Spanentstehung .....11
Ablesen bei inkrementalen Maßstäben .....4	Radienkorrektur .....8	Einstellwinkel, Neigungswinkel .....11
Abtastgitter .....4	Fräsermittelpunktbahn .....8	Spanleitstufe .....11
interferentielle Abtastung .....4	Gegenlauf-/Gleichlaufräsen .....8	Einstellgrößen .....11
Kodierung bei absoluten Maßstäben .....4	<b>Ub 04: G01 mit RN, AS, D</b> .....8	f, fz, vf .....11
Binär-Code .....4	Winkel, Radien, Fasen .....8	vc, n .....11
Gray-Code .....4	<b>Ub 05: G90, G91</b> .....8	ap 11
Serieller Code .....4	Absolute und relative Koordinatenangaben ..8	<b>CNC-Fräsmaschinen</b> .....12
Anbringungsort .....5	<b>Ub 06: G22, L, H, %</b> .....8	Werkzeuglage: Stirnplanfräsen;
direkt .....5	Unterprogramme .....8	Umfangsplanfräsen .....12
indirekt .....5	<b>Ub 07: G02, G03</b> .....9	Drehrichtung beim Umfangs-Planfräsen .....12
Kriterien für die Auswahl .....5	Kreis(-interpolation) .....9	Gleichlaufräsen .....12
Prüfen von Wegmesssystemen .....5	Bedeutung der Adressen .....9	Gegenlaufräsen .....12
Abnahme / Prüfen von Fräsmaschinen .....5	<b>Ub 08: G72..75, G79</b> .....9	gekennzeichnet durch .....12
Fähigkeitsuntersuchung .....5	Taschen- und Nutzenzyklen,	Oberfläche des Rohlings .....12
Interferometer .....5	Einfachzyklusaufwurf .....9	Oberfläche des Werkstückes .....12
Kreisbahn fahren .....5	G72 Rechtecktasche .....9	Kraftrichtungen .....12
<b>CNC-Programmierung</b> .....6	G73 Kreis- und Zapfenzyklus .....9	Antriebe .....12
Schnittdaten: Arbeitsplan mit (für das	G74 Nutzenfräszyklus .....9	Kugelumlaufspindeln .....12
Beispiel) .....6	<b>Ub 09: ... unfertig ...</b> .....10	Trapezgewindespindel .....12
Geometriedaten .....6	Senken, Bohren, Gewindebohren .....10	<b>Analyse eines CNC-Programmes:</b>
Koordinatensystem (= rechtshändiges	Zyklen mit Zyklusaufwurf .....10	<b>Grundplatte (TM_HP200708-4)</b> .....13
System) .....6	G84 Gewindebohrzyklus .....10	Eilgang, Werkzeugwechsellpunkt .....13
Z-Achse .....6	Senken und Bohren .....10	Vorschub (F), Drehzahl (S), Werkzeug (T),
X-Achse .....6	Bohrzyklen G81, Zyklusaufrufe G76, G77,	Drehrichtung (M03, M04) .....13
y-Achse .....6	G79 .....10	Werkzeughahnkorrektur (G41, G42, G40) ..
A, B, C .....6	<b>Ub 10: G72..75, G79</b> .....10	13
U-, V-, W-Achse .....6	Schruppen mit Aufmaß .....10	Gerade(-ninterpolation G41) .....13
I, J, K .....6	<b>Reste und Entwürfe</b> .....10	Kreis(-interpolation G02, G03) .....13
Koordinatenachsen beim Programmieren .....6	Vorbereitung .....10	Kühlschmierung (M08, M09) .....13
Senkrechtfräsmaschine .....6	Anfahren ans Werkstück .....10	Taschen-Fräszyklus (G86) .....13
Waagrecht-Fräsmaschine .....6	Ausfahren .....10	Nuten-Fräszyklus (G88) .....13
Bezugspunkte .....6	Eintauchrichtung .....10	Unterprogramm .....13
M: Maschinennullpunkt .....6	Schruppen .....10	Fräsermittelpunktbahn (G40) .....13
R: Referenzpunkt .....6	Nullpunktverschiebung .....10	<b>Allgemeines</b> .....14
B: Programmstartpunkt .....6	Anfahren G45/G47 .....10	GFS .....14
W: Werkstücknullpunkt .....6	Wegfahren G46/G48 .....10	Beschluss TG 28.06.11 .....14
<b>CNC-Fräsen mit PAL 2007</b> .....7	<b>Wiederholung</b> .....11	ProMan Präsentationen .....14
<b>Ub 01: G00, G01</b> .....7	<b>Wiederholung für tgtn</b> .....11	Ideen / Themen .....14
Geradeninterpolation .....7	CNC .....11	<b>Notizen</b> .....14
Werkstoffbezeichnung .....7	tgtn NP 2014/15-4 Arretierplatte .....11	Beobachtungen in Kammerprüfungen .....14
Schnittdaten v <sub>c</sub> , n, v <sub>f</sub> .....7	Schnittdaten .....11	Abi / KA .....14
Programmaufbau .....7		Praktische Übungen .....14
Numerierung .....7		<b>Literaturverzeichnis</b> .....14



Lehrplan TGTMSand 10.09.2010  
Vorbemerkungen

....

Jahrgangsstufe 1

T 12 CNC-Technik

20 Stunden

Die Schülerinnen und Schüler begründen die Anforderungen an Werkzeugmaschinen für den computergesteuerten Einsatz. Sie entwerfen Bearbeitungsprogramme mit Unterprogrammen für CNC-Fräsmaschinen und überprüfen diese im Labor.

Für die Programmierung ermitteln sie die erforderlichen technologischen Daten und berechnen die notwendigen Konturpunkte.

Maschinenaufbau

– Antriebssystem

– Wegmesssystem

– Bezugspunkte

– Koordinatenachsen

Programmaufbau

– Wegbedingungen

– technologische Daten

– Zusatzfunktionen

– Werkzeugbahnkorrektur

– Unterprogramme

– Zyklen

Koordinatenberechnung

Vgl. LPE 7 Realisierung eines technischen Produkts

**Vorüberlegungen**

Der Lehrplan für CNC-Technik sieht aus, als ob seine Themen an der „Oberfläche“ von CNC-Frästechnik blieben und er gut zu bewältigen wäre.

In den Prüfungen werden aber auch Fragen gestellt, die mehr in die Tiefe der Zerspantechnik hineinreichen. Natürlich kann man begründen, dass Zerspantechnik eine Grundlage des CNC-FräSENS sei, und natürlich sollte ein Abiturient eines technischen Gymnasiums nicht nur an der Oberfläche der (CNC-)Technik herumkratzen, aber .. woher weiß man, welche Grundlagen des CNC-FräSENS prüfungsrelevant sind? Wie tief muss man neben der Zerspantechnik auch in Regelungstechnik, Antriebstechnik, Informatik, Werkstoffkunde .. einsteigen, und das alles nebenher ohne ausgewiesene Unterrichtszeit?

Immerhin liegen jetzt schon einige Prüfungsaufgaben vor, aus denen man die bisherige Linie herauslesen kann, und man muss hoffen, dass es so weiter geht, oder wenigstens so ähnlich.

Eine Auswahl von Fragen:

- Ermitteln Sie die geeigneten Werkzeuge zur Fertigung der gesamten Außenkontur und der Kreistasche. Dokumentieren Sie Ihre Empfehlung für die Wahl von T1 oder/und T2 aus technischer und wirtschaftlicher Sicht.
- Bestimmen Sie unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten die Schnittaufteilung für den Arbeitsgang Schruppen.
- Nennen Sie 2 Einflussgrößen, durch welche die Vorschubgeschwindigkeit erhöht werden kann. Bewerten Sie diese Einflussgrößen unter wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten.

**Schlussfolgerung**

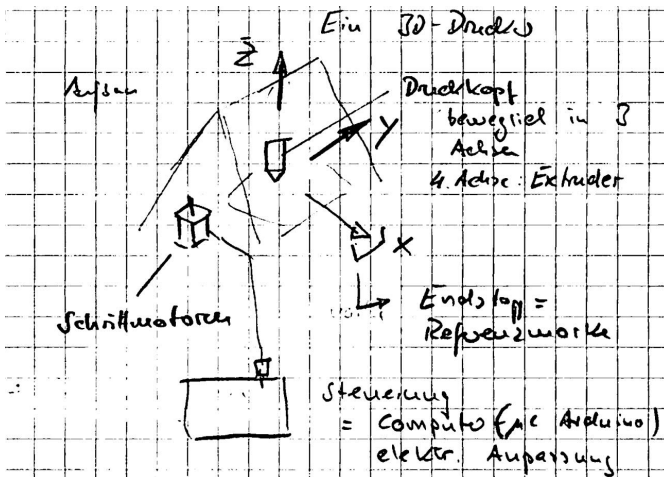
Aus Zeitgründen muss die Zerspantechnik bereits in TGTMSand-E unterrichtet werden.

Seitenumbruch

<sup>1</sup> Wer die Frage stellt, warum ein Lehrplan nicht alle relevanten Themen enthält, sollte unsere Gesellschaft beobachten, wie oft Schein und Sein noch deckungsgleich sind.  
<sup>2</sup> Nicht umsonst nennt man Prüfungsaufgaben in Fachkreisen auch den „heimlichen Lehrplan“.



Einführung in CNC-Technik



1) 3D-Drucker: Aufbau und Funktion?

3D-Drucker

2) Vergleich kleiner 3D-Drucker – große CNC-Fräsmaschine

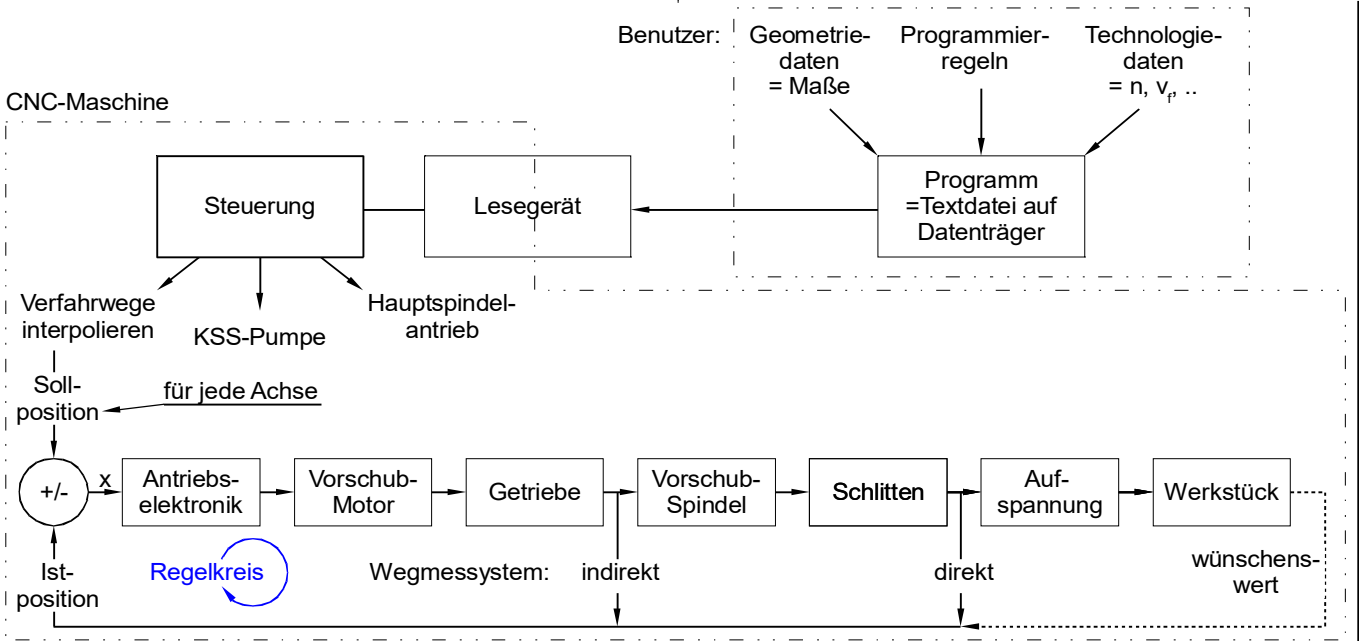
	kleiner 3D-Drucker	große CNC-Fräse
Verfahren	Auftragen (Urformen 1.2?)	Abtragen, Zerspanen (Trennen)
Werkzeug	Druckkopf	Fräskopf
Achsen	X, Y, Z (linear)	X, Y, Z (linear) A, B, .. (rotatorisch)
Antrieb und Positionierung	Schrittmotoren (Steuerung)	Asynchronmotoren + Wegmessung (Regelung)
Orientierung	Endstops (z.B. Lichtschranken)	Referenzmarken auf der Wegmessung
Steuerung	µController (=Computer ohne Tastatur usw.) (hier: Arduino)	Computer
Zusatzfunktionen	Extruder (Material fördern) Hotend (Mat. schmelzen) Heatbed (Werkstück gleichmäßig abkühlen)	Hauptspindeltrieb (Drehung für Fräser) KSS-Pumpe

2013: Fablab Neuchatel stellt einen 3D-Drucker mit rotierender Achse vor.

Arbeitsweise von CNC-Wzm

Wzm = Werkzeugmaschinen

Control wird im Deutschen oft mit Steuerung übersetzt. Das stimmt nur teilweise, weil die Wegmessung geregelt ist.  
Steuerung mit Lagekontrolle = Regelung  
Allerdings wird nur die Position des Werkzeuges oder des Werkstückhalters geprüft. Eine richtige Regelung würde das Maß des Teiles prüfen und danach korrigieren.



Merkmale

- teure Anschaffung
- aufwändige Vorbereitung
- + für komplizierte Teile zT. schon ab n=1 geeignet
- + Programm leicht änderbar
- + Bediener ist während der Fertigung frei
- + hohe Wiederholgenauigkeit

Bei einfachen Teilen mit sehr hoher Stückzahl gewinnen noch kurvengesteuerte Automaten: Sie sind aufwändiger vorzubereiten, laufen dann aber schneller und billiger.  
Kopierdrehmaschinen, -fräsen.  
Die Genauigkeit einer NC-Maschine unterliegt genauso den Einschränkungen der Mechanik wie bei konventionellen Maschinen mit dem Unterschied, dass oft hochwertigere Komponenten eingebaut werden (Gewindeumlaufspindel statt Trapezgewindespindel).  
Zusätzlich kommen die Grenzen der Interpolation, Regelung .. hinzu.

Vertiefung



## Wegmesssysteme

Quelle: [Kief 2011], dieser oft von [www.heidenhain.de](http://www.heidenhain.de).

3) 3D-Drucker verwendet Schrittmotoren, die durch geeignete Impulse in vorgegebene Winkel gesteuert werden. CNC-Maschinen verwenden Asynchronmotoren, die weniger Strom ziehen und mehr Drehmoment liefern. Was muss ergänzt werden, damit bei CNC die Positionierung gelingt?

Wegmesssysteme\_AB

### Prinzip

fotoelektrisch ablesbare Markierungen (Strichgitter)

Glasmaßstäbe

für Durchlicht, bis ca. 3m, teuer, genauer

Stahlmaßstäbe

für Auflicht, beliebige Länge

### Einteilung des Strichgitters

#### inkrementale

- Zählt den Weg anhand Markierungen
- Wenige Spuren erforderlich
- Nach Einschalten oder bei Störungen fehlt die Ortsinformation
  - Referenzmarken
- Interpolation von Zwischenwerten (z.B. mit Helligkeit)
- mind. 2 phasenversetzte Abtastgitter für die Richtung
- preisgünstiger und weiter verbreitet
- Vgl: 50m-Markierung an BAB; Ortsbeschreibung: 3. Straße rechts, dann 2. links

#### absolute Wegmessung

- Stellt Position anhand der Kodierung fest
- für 5µm Schritte auf 1 m sind 18 Spuren erforderlich ( $2^{18} \times 5\mu\text{m} = 262144 \times 5\mu\text{m} = 1,3\text{m}$ )
- genauer, aber selten
- Vgl: blaue km-Marken an BAB, Ortsbeschreibung: Bahnhofstr. 3

### Ablesen bei inkrementalen Maßstäben

#### Abtastgitter

#### interferentielle Abtastung

### Kodierung bei absoluten Maßstäben

#### Binär-Code

- Hell-Dunkel-Übergänge kann man nicht immer zuverlässig ablesen → Binär-Code hat viele davon

#### Gray-Code

- Beim Gray-Code gibt es bei jedem Zahlensprung nur einen Hell-Dunkel-Übergang.

#### Serieller Code

- In einer Spur sind 0/1 (bzw. Hell/Dunkel) seriell so verteilt, dass alle Binärzahlen enthalten sind
- wird von seriell angeordneten Fotoelementen abgetastet → absolute (= eindeutige) Position
- Inkrementalgitter → Feinorientierung

Die Position des feinen Gitters ist innerhalb der Breite eines seriellen Bits eigentlich nicht eindeutig bis zum nächsten Zahlensprung im seriellen Code (max ca.  $20\mu\text{m} = 2/100\text{mm}$  → vernachlässigbar oder wenigstens besser als Referenzmarkenabstand?). Oder es stecken noch mehr Tricks darin, z.B. zusätzliche phasenversetzte Sensoren oder unterschiedlich breite Bits (ähnlich abstandscodierte Referenzmarken) am seriellen Ring; eine dritte (Grob-)Spur (die per Helligkeit die Feinspur zuordnet).

Vorüberlegungen: Diese Unterrichtseinheit könnte man reduzieren auf 30 Sekunden: „Ein Wegmesssystem liefert die aktuelle Position des Werkzeuges, mit der die 'Steuerung' den Verfahren regelt, und mehr muss der CNC-Bediener nicht wissen.“ Aber das wäre zu anspruchslos für eine Schule mit dem Ziel allg. Hochschulreife. Wegmesssysteme berühren nämlich elementare Probleme und schlagen Brücken zu folgenden Themen: Binärcode; Zahlensysteme (binäre, dezimal, hexadezimal); Kodierung der DNA mittels 4 Basenpaaren; analoge Interpolation digitaler Werte, z.B. A/D- und D/A-Wandler in MP3-Playern; Legende vom Erfinder des Schachspiels; Kryptologie. Deshalb ist mir diese Einheit (und die Einheit 'Regelung') wichtiger als der Rest des CNC-Unterrichtes.

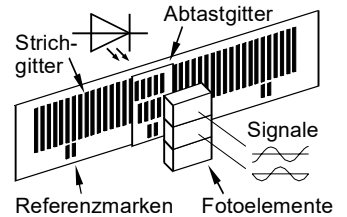
Es gibt auch kapazitive (Messschieber), induktive und magnetische Systeme, aber diese sind prinzipiell ungenauer als die optisch ablesbaren Markierungen und deshalb bei CNC-Maschinen unüblich. Die Messgeräte lesen die Position und können über einfacher oder doppelter Differenzierung auch Geschwindigkeits- und Beschleunigungsinfo geben. Zum Messgerät gehören die ganze Messkette, bestehend aus Maßstab mit Abtastkopf, Interpolationselektronik und Zähler. Die Teilungen betragen typisch  $20\mu\text{m}$  (bis  $1\mu\text{m}$ ). Für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen sind Messschritte von  $1\mu\text{m}$  oder weniger erforderlich (→ Interpolation s.u.). Bei Maßstäben unterscheidet man gekapselte Systeme (sicherer, aber teurer, kleiner, langsamer, ungenauer) und offene Systeme. Es gilt die Verfahrensgeschwindigkeit zu beachten (typisch bis 120 m/min (gekapselt) bzw. 240 m/min (offen)).

Durch Interpolation der Signale (z.B. durch Erfassung der Lichtmenge, die durch ein Strichgitter dringt) werden die Strichabstände in typisch 1024 Schritten oder mehr unterteilt, → Messschritte  $0,1\mu\text{m} \dots 1\text{nm}$  sind erfassbar.

#### FO Fotoelektrische Abtastung

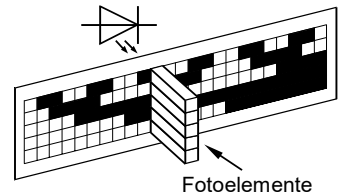
Referenzmarken können auch mehrfach aufgebracht sein, z.B. als abstandskodierte R. Dabei variieren die Abstände zw. den R., und nach Überfahren von 2 R. kann man die absolute Position bestimmen.

#### FO Abstandscodierte Referenzmarken



Neben den Spuren zur absoluten Messung ist oft auch eine inkrementale Spur aufgebracht, mit der man Zwischenwerte interpoliert.

Während bei NC-Werkzeugmaschinen noch inkrementale Maßstäbe verbreitet sind, verwenden z.B. Roboter in Kfz-Schweißstraßen eher absolute Maßstäbe, weil man nach einer Unterbrechung kaum zig Roboter in 5..6 Achsen auf die Referenzmarken fahren kann, ohne dass Karosserien leiden.



#### AM Computermaus mit altmodischen Kugeln, Elmo

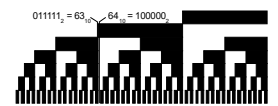
4) Beachte Strichmaßstab. Warum 2 LED+Photodioden? Einarbeiten: [Paetzold 2010] S.11

### [Heidenhain 2011a] S.11

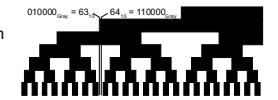
5) Wie kann man mit Hell / Dunkel Zahlen codieren → Binärcode

#### FO Glasmaßstäbe

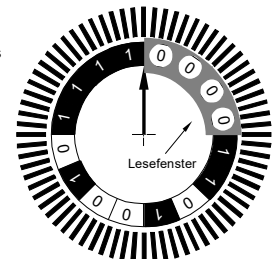
6) Liegt hier Binärcode vor?



Die Maßstäbe von Heidenhain (z.B. [Kief 2011] S.64) sehen wie ein verschobener Gray-Code aus. Vermutlich werden sie mit versetzten Fotoelementen abgelesen.



[Kief 2011] nennt den seriellen Code einen Pseudo-Zufalls-Code, [Heidenhain 2011a] nicht. Beim seriellen Code ordnet man 0/1 dergestalt im Kreis (seriell) an, so dass jede Binärzahl genau einmal darin vorhanden ist. (Es gibt sogar mehrere Anordnungen). Nach dem senkr. Strich | folgt die Wiederholung  
n=2: 0011|00 enthält 00; 01; 10 und 11 ( ) in  $2^2=4$  Bit  
n=3: 00010111|000 enthält 000; 001; 010; 011; 100; 101; 110 und 111 in  $2^3=8$  Bit  
n=4: 0000110100101111|0000 (Bild) bzw.  
n=4: 0000101001101111|0000 in  $2^4=16$  Bit  
n=5: 00000111011001101010010001011111|00000 in  $2^5=32$  Bit



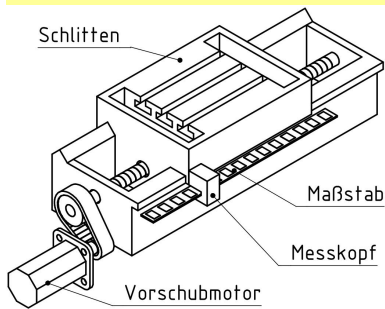
#### n=6ff : GFS?

Eine Unterscheidung von Binär- und Gray-Code spielt keine Rolle, da diese nur unterschiedliche Interpretationen der gleichen Zeichenfolgen darstellen, die in allen möglichen Permutationen in einem seriellen Code enthalten sind. Das Problem des Hell-Dunkel-Übergangs dürfte kein großes Problem darstellen, da mit jedem Zahlensprung nur ein Bit neu ist.

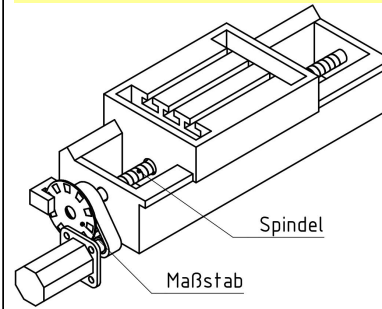


## Anbringungsort

### direkt



### indirekt



Die Spindelsteigungen liegen z.B. bei 5 oder 10 mm. Für eine Längsauflösung von  $1\mu\text{m}$ , muss eine Umdrehung 5..10000 Teile aufgelöst werden. In Werkzeugmaschinen müssen auch absolute Drehwinkelgeber ergänzt werden mit einem Umdrehungszähler, weil sonst nach einem Stromausfall o.ä. die Position nicht bekannt ist.

Die Spindelsteigungen liegen z.B. bei 5 oder 10 mm. In Werkzeugmaschinen müssen auch absolute Drehwinkelgeber ergänzt werden mit einem Umdrehungszähler, weil sonst nach einem Stromausfall o.ä. die Position nicht bekannt ist.

### Kriterien für die Auswahl

- Maschinenkonzept
- Antriebsart
- Verfahrenweg
- Verfahrensgeschwindigkeit
- Genauigkeit / Auflösung
- einfache Anbaumöglichkeit
- Kosten

### Prüfen von Wegmesssystemen

#### Interferometer

Achsen werden einzeln gefahren und interferometrisch vermessen

**Bild: Funktionsweise eines Interferometers**

→ Damit können Spindelsteigungsfehler von der Steuerung rechnerisch korrigiert werden

#### Kreisbahn fahren

- Elektr. lesbarer Maßstab wird drehbar am Frästisch (Mittelpunkt) und an der Fräseraufnahme befestigt
- CNC-Fräse fährt eine Kreisbahn um den Mittelpunkt
- Der Radius wird kontinuierlich gemessen.
- Es werden sichtbar:
  - Schleppfehler
  - Umkehrspiel
  - ..

### Eigener TA?

### Abnahme / Prüfen von Fräsmaschinen

#### Fähigkeitsuntersuchung

Schleppfehler → [Paetzold 2010] S.62

Spätestens bei der Abnahmeprüfung Albert Abraham Michelson, Nobelpreis 1907 für das Interferometer. Von 1960 bis 1983 wurde das Längenmaß „Meter“ als Vielfaches einer Lichtwellenlänge definiert und per Interferometer gemessen. (Vorher basierte die Meterdefinition auf dem Urmeter, später auf der Lichtgeschwindigkeit und der Zeit).

### Bezeichnung, Quellen?





## CNC-Programmierung

### Schnittdaten: Arbeitsplan mit (für das Beispiel) Schnittdaten ermitteln

### Geometriedaten

#### Koordinatensystem (= rechtshändiges System)

##### Z-Achse

in Richtung der Arbeitsspindel, Z+ vergrößert den Abstand zwischen Werkzeug und Werkstück

##### X-Achse

parallel zur Aufspannebene, waagrecht, Hauptbewegungsrichtung

##### y-Achse

ergibt sich automatisch durch rechte-Hand-Regel

##### A, B, C

Drehbewegung um die X-, Y-, Z-Achse

Richtung ist durch rechte-Hand-Regel festgelegt

##### U-, V-, W-Achse

sind parallel zu X, Y, Z-Achse

benötigt wenn Werkzeug und Werkstück beweglich sind

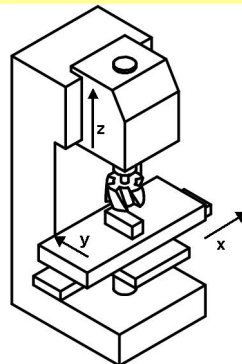
##### I, J, K

Interpolationsparameter, z.B. Angabe von

Kreismittelpunkten statt X, Y, Z

### Koordinatenachsen beim Programmieren

### Senkrechtfräsmaschine



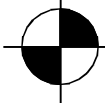
### Bezugspunkte



#### M: Maschinennullpunkt

Festlegung durch Hersteller

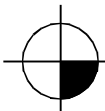
Zweck: Vermessung der Maschine



#### R: Referenzpunkt

Festlegung durch Hersteller

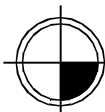
Zweck: Rücksetzen eines inkrementalen Wegmesssystems nach dem Einschalten



#### B: Programmstartpunkt

Festlegung durch CNC-Programmierer

Zweck: Start- und Endepunkt für die Programmierung, kann Werkzeugwechsellpunkt sein



#### W: Werkstücknullpunkt

Festlegung durch CNC-Programmierer

Zweck: Ausgangspunkt für Geometriedaten im CNC-Programm

1) Zusammenfassen während der Analyse eines bestehenden CNC-Programmes

1) Beginnen wir mit dem Bekannten. Erstellen Sie einen Arbeitsplan mit Schnittdaten. Schüler arbeiten selbstständig.

AB Arbeitsplan mit Zeichnung

H&T S. 104, H&T S. 107 AP mit Bildern

1) Bevor die Geometriedaten gesammelt werden können, muss man wissen, wie in einer CNC-Maschine Orte und Bewegungen eingegeben werden.

### Nachvollziehen

AB Koordinatensystem

### FO Flugzeug, rechte Handregel

H&T S. 108

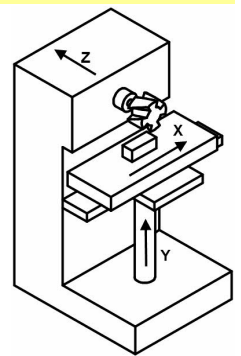
Z+ führt vom Werkstück weg = Sicherheitsmaßnahme, falls das Minuszeichen vergessen wird.

X+ führt bei der Drehmaschine vom Werkstück weg, bei der Fräsmaschine macht das keinen Sinn. Bei Drehmaschinen werden für X Durchmesserwerte angegeben.

Maho hat folgendes Koordinatensystem: vor der Maschine stehend: x nach rechts, y nach oben, z nach hinten. Raymond hat mit Maschinen von Maho angefangen und jetzt alle Maschinen auf dieses Koordinatensystem umgestellt. Raymond hat keine CNC-Drehmaschinen und nur Senkrechtfräsen.

z-Achse: Hauptspindelachse ins Werkzeug hinein  
x-Achse

### Waagrecht-Fräsmaschine



### AB Nullpunkte im Spannbolzen eintragen

H&T S. 109, weitere Bezugspunkte: [Friedrich 2003] S.7-15

Bei einem inkrementalen Wegmesssystem weiß die Maschine nach dem Einschalten nicht, wo das Werkzeug steht. Es muss deshalb über einen Referenzpunkt fahren. Vergleiche Zeitmessung im Segelschiffzeitalter per Sanduhr. Alle Stunde musste die Sanduhr gedreht werden und gezählt werden. Wenn es einmal vergessen wurde, war keine genaue Zeit bekannt. Ohne genaue Zeit konnte der Längengrad nicht gemessen werden.



## CNC-Fräsen mit PAL 2007

### Ub 01: G00, G01

#### Geradeninterpolation

#### Wiederholung

#### Werkstoffbezeichnung

Schnittdaten  $v_c$ ,  $n$ ,  $v_f$

#### Programmaufbau

#### Nummerierung

##### N10

Nummerierung in 10er-Schritten erleichtert das nachträgliche Einfügen von Zeilen.

#### Werkzeugwechsellpunkt

*N010 G00 X100 Y-75 Z100 ...*

– wurde im Abi immer angegeben

– G: geometrische Funktionen

– X, Y, Z.. Koordinaten

#### Schnittparameter

*N010 ... F382 S637 T1 ...*

– F Vorschub (Feed) in mm/s

– S Drehzahl (spindle speed) in U/min

– T Werkzeuge (Tools) gemäß gesonderter Liste

#### Maschinenspezifische Zusatzfunktionen

*N010 ... M03*

– M03: Spindel cw (im Uhrzeigersinn drehen)

#### G00, G01: Geradeninterpolationen

##### G00 Eilgang

– zeitsparende Bewegung ohne Werkzeugeingriff

##### G01 Vorschub

– Bewegung mit Vorschubgeschwindigkeit und Werkzeug im Eingriff

– Fährt eine Gerade mit oder ohne Radienkorrektur

### Ub 02: G00, G01 – die 2.te

#### Fräsermittelpunktbahn ermitteln ..

.. mit rechtwinkligen Dreiecken

.. mit Geradengleichungen

$$y = m \cdot x + n$$

.. mit Vektoren

TG: Die CNC-Programmierung soll anhand der Übungsaufgaben CNC\_Ub nach und nach erarbeitet werden. Achtung: Die Aufgaben sind für den Unterricht zu viel.

*CNC\_Ub 01 Geradeninterpolation an der Wallplatte*

Hinweis zu CNC\_Ub 01: komplett durchführen.

[Paetzold 2010] S.23, [HTFK1M 2007]S. 111 (oder andere Band von HuT

#### Lochstreifen

CNC-Programmsprache stammt aus den 60er Jahren, als jedes einzelne Byte Programm-speicherplatz noch viel Geld gekostet hat oder auf Lochstreifen gespeichert wurde. Deshalb werden sehr kurze Befehle verwendet. Moderne Formen haben es schwer, denn in der Industrie werden bewährte Systeme nicht gerne gewechselt, weil Umstellungen Zeit und Geld kosten und erst einmal nichts einbringen. Programmaufruf, z.B. %25, ist für Abi-Prüfungen nicht notwendig.

Der Werkzeugwechsellpunkt wird in Prüfungsaufgaben gerne relativ zum Werkstücknullpunkt W angegeben. In der Praxis ist das ungeeignet, weil der Werkzeugwechsellpunkt der Maschine feststeht oder an jeder Stelle gewechselt werden kann (z.B. bei Fräsmaschinen von CHIRON). Deshalb in der Praxis: N010 F382 S637 T1 M06 M03.

#### Begründung für WWP relativ Werkstück?

#### Vor M06 muss man aus dem Werkstück fahren

Schnittparameter werden vorab ermittelt und in den oben angegeben Einheiten .

cw = clock wise = Spindel im Uhrzeigersinn. Rechtsdrehende Werkzeuge sind üblich, deshalb benötigt man M04 (Spindel ccw = counter clock wise) nie. Sonderfällen wie Gewindebohrer haben wahrscheinlich spez. Zyklen.

#### CNC\_AB\_Geradeninterpolation G00 und G01

##### 2) Einfache rechteckige Außen- und Innenkontur mit Fräsermittelpunktbahnen

Es müssen nur die Koordinaten angegeben werden, die sich ändern (auch in G02..). Da Speicherplatz aber nichts mehr kostet und komplette Befehle leichter lesbar sind, sollte man alle Parameter angeben.

N040 G01 X-70 Y-50

N050 G01 Y-27,5

Man spricht von Geradeninterpolation, da sich im allgemeinen Fall mehrere Achsen gleichzeitig gefahren werden und deshalb auch für Gerade Zwischenpunkte interpoliert werden.

##### 3) Erklärung Interpolieren ↔ Extrapolieren.

Interpolieren: Zwischenwerte zwischen (inter) zwei Punkten (Polen) abschätzen.

Extrapolieren: Werte außerhalb (extra) zwe

#### CNC\_Ub – 02 Geradeninterpolation G01 – die 2. mit der Eckenplatte

Hinweis zu CNC\_Ub 02: komplett durchführen.

##### 1) Winklige Außenkontur mit Fräsermittelpunktbahnen

2) Als Standardverfahren zeigen. Vertiefung ergibt sich bei den Übungen. Schon für dieses einfache Beispiel mit simplen Geraden ist die Berechnung der Eckpunkte für die Fräsermittelpunktbahnen ziemlich aufwendig - >

##### 3) Ansprechen als Möglichkeit, aber weder zeigen noch unterrichten.

Beispiel → CNC\_AB\_Geradeninterpolation G01 – die 2. - Lösungen

##### 4) Nicht unterrichten, aber zeigen als Verknüpfung zur Mathematik (Lehrplan TG-J1)

#### Visualisierung, um diesen Ausflug kurz zu halten

Beispiel → CNC\_AB\_Geradeninterpolation G01 – die 2. - Lösungen

Für die Berechnung einzelner Konturen ist die Vektorschreibweise viel zu umständlich, für die Programmierung der Steuerung wahrscheinlich sinnvoll. Die Bahnkorrektur li / re kann man mit der Erzeugung des Verschiebevektors zur Parallelverschiebung organisieren (→ AB)



Ub 03: G41, G42, G40

Radiuskorrektur

Radienkorrektur

N040 G41

- benötigt vorher: Position mit G00 oder G41
- benötigt nachher: Fahrstrecke, um auf die korrigierte Bahn zu fahren

Veranschaulichung Radienkorrektur links / rechts

Fräsermittelpunktbahn

G40 Radienkorrektur aus

- benötigt nachher: G00 oder G01 mit Fahrstrecke, um auf die korrigierte Bahn zu fahren

Gegenlauf-/Gleichlaufräsen

M03 G41 → Gleichlauf

M03 G42 → Gegenlauf (ist unüblich)

Ub 04: G01 mit RN, AS, D

Winkel, Radien, Fasen

N10 G00 X200 Y200 Z200 T4 S1592 F637 M03

N20 G00 X2 Y-10

N30 G00 Z-4

N40 G41  
G01 X8 Y0

N50 G01 Y42 RN+10

N60 G01 Y45 AS5

N70 G01 AS285 D25

N80 G01 YI-15 AS240 RN+5

N90 G01 X8 RN-10

N100 G01 Y60

N110 G40  
G00 Z200

N120 G00 X200 Y200

N130 M30

1) Schon das einfache vorige Beispiel zeigt den Aufwand beim Berechnen von Fräsermittelpunktbahnen. Das möchte man lieber einer Steuerung überlassen.

CNC\_Ub 03 Werkzeugbahnkorrektur.

Hinweis zu CNC\_Ub 03: nur P3\* berechnen, Rest HA.

R. ist umgangssprachlich für den in der Norm verwendeten Begriff Werkzeugbahnkorrektur. Damit eine Radienkorrektur weiß, wie es links oder rechts am nächsten Punkt vorbeikommt, muss es wissen, woher das Werkzeug kommt. Vor einer Bahnkorrektur muss also schon ein Punkt angefahren werden (hier: N02). Da sich das Werkzeug unmittelbar nach dem Einschalten der Bahnkorrektur noch nicht auf der tangentialen Bahn befindet, sondern erst dorthin muss, braucht es Platz, um den Spurwechsel zu vollziehen.

Veranschaulichung Spurwechsel  
Faustregel für den Startpunkt

Weiter verbreitet ist der Ausdruck „Fräsermittelpunktbahn“.

Veranschaulichung Gegenlauf-/Gleichlauf

1) PAL2007 bietet viele Hilfen für Geraden mit G01

CNC\_Ub 04 Alternative Wegbeschreibungen mit der Alternativplatte

Hinweis zu CNC\_Ub 04: Nur obere Hälfte, kein CNC-Programm

; Werkzeugwechsel, Schnittdaten

; Startpunkt in Verlängerung der 1. Bahn

; Absenken

; Bahnkorrektur li, Startpunkt auf X8  
G41 und G00 / G01 dürfen in einer Zeile stehen

; linke Kante bis Y42 mit Radius 10

RN+10: Radius

; Schräge 5° bis Y45 - Y45 AS5: Schräge mit Winkel 5° bis Y5  
AS gibt den Winkel ab der x-Achse gegen den Uhrzeigersinn an.

Winkel eintragen



; Schräge 15° mit Länge 25

AS 285 D25: Schräge 15° mit 25 Länge

; Y inkremental 15 mit Schräge 30° und mit Radius 5

„Inkrement = Math. Betrag, um den eine Größe zunimmt“ [Duden 2006] von lat. incrementum = Wachsen, Zunahme [Stowasser 1971]). Die Zeilennummern N.. inkrementieren in dieser Lösung um das Inkrement 10.

; Waagerechte mit Fase 10x45°

RN-10: Fase

; linke Kante, Reste bei X0 Y50 beseitigen

; Bahnkorrektur aus, anheben

; Werkzeugwechsellpunkt

; Programmende

Ub 05: G90, G91

Absolute und relative Koordinatenangaben

1) Erster Schultag an GWS (Bewerbungsgespräch): Wo ist der Ort?

absolut: Lörrach, Gretherstr. 50 ..oder .. 47°N, 7°O

relativ: aus dem Bahnhof heraus rechts, 3. links, 7.rechts ..

Vor- und Nachteile?

Absolut: Eindeutig, leichter lesbar, kürzer, bei Verlaufen kann man korrigieren.

Relativ: Gut für gleiche Wege an verschiedenen Orten, z.B. Tanzschritte, Staubsaugroboter

CNC\_Ub 05 Absolute und relative Koordinatenangaben mit Texten

Ub 06: G22, L, H, %

Unterprogramme

Hauptprogramm	Unterprogramm L123
N40 ..	N10 G91
N50 G22 L123 [H01]	...
N60 ..	N99 M17 ; UP-Ende

G22: Aufruf eines Unterprogrammes

L123 Nummer des Unterprogramms

H01 Anzahl der Wiederholungen

1) Es macht keinen Spaß, die Programme für Buchstaben zu wiederholen

→ Unterprogramm

CNC\_Ub 06 Unterprogramme für die Buchstaben

2) Wo finden im TabB

→ [EuroTabM45] S.414

Die Beschreibung, wie man ein Unterprogramm mit G22 aufruft, findet man nur bei „G-Funktionen für Drehmaschinen“. In der Übersicht der PAL-Funktionen bei Fräsmaschinen ist G22 zwar auch aufgeführt, eine detaillierte Beschreibung für Fräsmaschinen fehlt aber.

In älteren Tabellenbüchern (→ [EuroTabM43] S.382; [EuroTabM41] S.347) ist nur eine ältere Form versteckt, die meistens auch in Abi-Lösungsvorschlägen verwendet ist. Das Beispiel entspricht dem linken, UP-Nummern konnten nur zweistellig sein.

Hauptprogramm	Unterprogramm L12
N40 ..	N10 %12
N50 L12H01	N20 G91 ...
N60 ..	N99 M17 ; UP-Ende





Ub 07: G02, G03

Kreis(-interpolation)

N070 G02 X17 Y-50 I17 J0

G02: Kreis cw

X17 Y-50: Zielkoordinate

I17 J0: Koordinate des Kreismittelpunktes  
relativ zur aktuellen Position X-70 Y-27,5  
aus N040 und N050

Bedeutung der Adressen

R

- R+5 (oder R5 O1) kurzer Radius des Kreisbogens
- R-5 (oder R5 O2) langer Radius des Kreisbogens

RN

- Übergang zum nächsten Element:
- RN+ Rundung, RN- Fase

AO

- Öffnungswinkel einer Kreisinterpolation

AS

- Steigungswinkel einer Geraden
- Nx G01 Y10 AS150  
fräst Kontur mit 150° zur Achse bis Y10 erreicht ist

X, Y, Z

- passen sich G90 (absolut) und G91 (inkremental) an
- Voreinstellung: aktuelle Werkzeugposition

XA, YA, ZA

- ausnahmsweise absolut bei G91

XI, YI, Zi

- ausnahmsweise inkremental bei G90

I, J, K

- Abstand zwischen Start- und Mittelpunkt
- Voreinstellung I0, J0, K0

IA, JA, (KA)

- absoluter Mittelpunkt

Vertiefung

1) Kompliziertere oder verkettete Bogen muss man mit Kreisen programmieren

CNC\_Ub 07 Kreisinterpolation mit der Kurvenplatte

→ [Falk 2012] Fräsen S.8; [EuroTabM44] S.386f (sehr versteckt)

→ [EuroTabM44] S.387

Der kürzere Bogen ist die Regel, deshalb positiv (+kann man vergessen ?)

langer / kurzer Kreisbogen visualisieren

O kennt Palmill wie links als Ersatz für +/-, aber nicht wie in[Falk 2012] Fräsen S.9  
Statt R+50 kann man auch R50 O1 verwenden (R50 O2 statt R-50).

→ [EuroTabM44] S.386, S.393

RN: Radius next ?

AO: Angle open

AO funktioniert in Palmill, wenn keine Mittelpunkt angegeben ist und X bzw. Y konstant bleiben. Dann passt Palmill den Mittelpunkt an.

→ [EuroTabM44] S.386, S.393

→ [EuroTabM44] S.386

→ [EuroTabM44] S.386

→ [EuroTabM44] S.386



Ub 08: G72..75, G79

Taschen- und Nutenzyklen, Einfachzyklusaufruf

G72 Rechtecktasche

G73 Kreis- und Zapfenzyklus

G74 Nutenfräszyklus

1)

CNC\_Ub 08 Taschen- und Nutenzyklen und Zyklusaufwurf mit der Lachplatte

Der Rechtecktaschenzyklus definiert LxBxT der Tasche

Der Zyklusaufwurf definiert die Lage (Startpunkt ist der Mittelpunkt) und die Richtung der Tasche.

Definiert eine Kreistasche R... optional bleibt in der Mitte ein Zapfen stehen mit dem Radius RZ..

Startpunkt ist die Mitte der Tasche

Nuten unterscheiden sich ggü. Rechtecktaschen in 2 Punkten

- äußerlich: Die kurzen Seiten des „Rechteckes“ sind Halbkreise
- Startpunkt einer Nut ist die Mitte eines Halbkreises, der Winkel bezieht sich auf die Richtung zur Mitte des anderen Halbkreises



Ub 09: ... unfertig ...

Senken, Bohren, Gewindebohren

Zyklen mit Zyklusaufzuruf

G84 Gewindebohrzyklus

Überlauf bei Durchgangsbohrungen oder nutzbare Gewindelänge + 3 x Gewindesteigung P

Senken und Bohren

Schnittwerte für Bohrer wie Fräser mit 2 Schneiden

Schnittwerte für Senken: ¼ der Bohrdrehzahl

Bild eines NC-Anbohrers

Wie tief bohren und senken?

Bohrzyklen G81, Zyklusaufzurufe G76, G77, G79

N010	G00	X200	Y200	Z200	T1	S..	F..	M03
N020	G00	X50	Y50					
N030	G00			Z2				
N040	G81			ZA-6,2		V2		
N050	G77	IA50	JA50	R56,569		AN45	AI90	O4
N060	G81			ZA-4		V2		
N070	G77	...		;(2xM8)				
N080	G77	...		;(5xØ8)				
N090	G79	...		;(1xØ8)				

1)

CNC\_Ub 08 Taschen- und Nutzenzyklen und Zyklusaufzuruf mit der Käseplatte

PALmill-fehlermeldung: G77 ist nur möglich, wenn G72, G81 .. definiert wurde.

Liste der Zyklen, die vor einem zyklusaufzuruf erlaubt sind. G73 funktioniert nur mit Zyklusaufzuruf, z.B. 1xZyklus G79

Tiefe beim Senken=1/2 Durchmesser

CNC\_Ub09 Käseplatte

Werkzeugwechsel T1 NC-Anbohrer

Eilgang zum Ausgangspunkt der Zyklusaufzurufe. Diesen Schritt erledigt ein Zyklusaufzuruf zwar auch, aber er fährt nach Erledigung des Zyklusses wieder an den Ausgangspunkt. Will man also mehrere Zyklen mit einem Werkzeug aufrufen, ist es geschickter, vorher ins Zentrum des Geschehens zu eilen.

Die Senktiefe entspricht bei einem 90°-Senker/Anbohrer der Radius der Senkung.

Die 4 quadratisch angeordneten Eckbohrungen lassen sich mit einem Teilkreiszyklusaufzuruf G77 programmieren, mit Geradenzyklusaufzuruf G76 wären 2 Aufrufe nötig.

Gewinde und Bohrungen werden so tief wie ihr Nenndurchmesser gesenkt.(?)

Ub 10: G72..75, G79

Schruppen mit Aufmaß

1)

CNC\_Ub 10 Schruppen mit Aufmaß

Reste und Entwürfe

Vorbereitung

G40: Radiuskorrektur ausschalten

- Kollision auf dem Weg zum WWP vermeiden

- Voreingestellt nach Programmstart

Anfahren ans Werkstück

N020 G00 X-90 Y-70

N030 G00 Z-5

Ausfahren

Eckpunkt: 1 mm darüber hinaus fahren

Sonst tangential ausfahren

Eintauchrichtung

Schaftfräser: senkrecht oder seitlich

seitlich tangential -> bessere Oberfläche

Position, die eine kollisionsfreie Gerade zum Werkzeugwechsellpunkt ergibt bzw. genügend Abstand zum Werkstück ergibt.

Können das moderne Programme nicht selbst ermitteln?

Grundsätzlich können CNC-Maschinen alle Achsen gleichzeitig bewegen. Wenn es auf Fertigungszeit nicht ankommt (Ausbildung, Prüfung!) ist es zweckmäßig, wenigstens die Z-Achse einzeln zu fahren, um das Risiko von Kollisionen zu vermeiden.

Zeilenvorgaben in Abi-Aufgaben kalkulieren den Eilgang zum Startpunkt mit einer Zeile

-> Zeilenvorgaben sind nicht so wichtig

Man muss beachten in welcher Richtung Werkzeuge ins Werkstück eintauchen können. (Schaftfräser können seitlich und senkrecht eintauchen, Bohrer und Senker nur senkrecht usw.)

Abi: Universalschaftfräser, die senkrecht, seitlich und schräg eintauchen können.

moderne Anfahrzyklen

[EuroTabM44] S.388: TR, TL; S.393 bei G1: TR, TL

Schlichtaufmaß ist nicht praxisingerecht.. Ändern Sie .. auf 0,1 mm\*[SYMplusF 2010]S.56

Aufgabe -> tgtm HP200809-4 Befestigungsplatte

HM FräserDurchmesser d soll 1,3..1,5 der Überlappungsbreite sein [HTFkM 1990]S.65. Dort

findet man auch die Begründung. [HTFkM 2007] S.47 schränkt sich nicht auf HM ein:

FräserØ = 1,3 ae (Arbeitseingriff)

[HTFkM 2007] S.50, Bild 1 S.51: „Die niedrigste Standzeit hat ein (HM-?)Fräser, wenn er rechtwinklig aus dem Werkstück austritt.“ Beim Gleichlaufzfräsen ist der Austrittswinkel immer nahe 0°.

[Paetzold 2010] S.72ff

Schruppen

Kontur abfahren mit Werkzeugkorrektur TR1 (erhöht

Werkzeugradius um 1 -> Schlichtaufmaß) und TL1

(Werkzuglänge dito.)

Ist Schrupp / Schlichtzyklus beim Strinfräsen nötig?

Schruppen mit G60 ? -> Hilfe von PALmill

Nullpunktverschiebung

Anfahren G45/G47

Vorher: G41 / G42

Wegfahren G46/G48

Unmittelbar vorher: G40

Problem ? (FM2011So\_Kerneinsatz):

- N19 G40 G48 R50 ; funktioniert in PALmill

- N19 G40 - N20 G48 R50 ; fährt in PALmill in die Kontur

- N19 G48 G40 R50 ; ist Beispiel in [SYMplusF 2010] S.46, wird aber von PALmill nicht akzeptiert



## Wiederholung

Wiederholung für tgtm

CNC

tgtm NP 2014/15-4 Arretierplatte

Schnittdaten

Werkstücknullpunkt

Sinn der Werkzeugliste

Koordinatenplan

Zyklus

Einfachprogramm

Standardaufgabe → [EuroTabM46]

Norm → [EuroTabM46], halbwegs sinnvolle Begründung

Sonderaufgabe

Fehlt: Unterprogramm

ME\_TA\_tgtm.odt

## Sonstiges

Grundlagen der Zerspantechnik

Herstellerinformationen nutzen

Technisches Handbuch der Metallzerspanung

→ <http://www.coromant.sandvik.com/>

AB Zerspantechnik nach Sandvik

TX „Technisches Handbuch der Metallzerspanung“ von <http://www.coromant.sandvik.com/>

2) Erarbeiten Sie die Fragen im AB anhand des TX

Werkzeuggeometrie

TGTM: Verschieben in TGTM-E, hier bestenfalls wiederholen.

Frei-, Keil-, Spanwinkel

Spanentstehung

Video *Spanentstehung BiBB ca 1980*

Uralt, aber immerhin. Mittlerweile versucht man, den Zerspanungsvorgang mithilfe CFD (Computational Fluid Dynamics = numerische Strömungssimulation) zu simulieren. Dabei wird der fließende Werkstoff als zähes Fluid betrachtet:

[https://www.fh-muenster.de/forschung/forschungskatalog/projekt.php?pr\\_id=609](https://www.fh-muenster.de/forschung/forschungskatalog/projekt.php?pr_id=609)

AB Spanentstehung

Einstellwinkel, Neigungswinkel

Spanleitstufe

Einstellgrößen

AB Arbeitsbewegung an Werkzeugmaschinen

f, fz, vf

vc, n

ap

CNC\_TA\_Zerspantechnik.odt  
Seitenumbruch



**CNC-Fräsmaschinen**

Milling machine

AM Frästeil

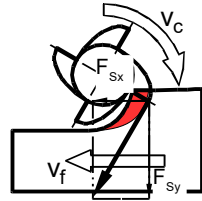
1) Ültg aus Zerspantechnik: Wdhg Gleich-/Gegenlaufräsen

**Werkzeuglage: Stirnplanfräsen; Umfangsplanfräsen**

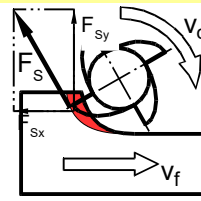
Für TGTm weglassen

**Drehrichtung beim Umfangsplanfräsen**

**Gleichlaufräsen**



**Gegenlaufräsen**



gekennzeichnet durch

Schneidenbewegung  $v_c$  mit ...  
CNC: M03 G41

... gegen Vorschubrichtung  
CNC: M03 G42

Oberfläche des Rohlings

schlagartiger Eintritt  
→ Druck hält HM gut aus

schlagartiger Austritt  
→ Zug → Schneidkantenbrüche bei HM (weil spröde)  
→ bricht harte Oberflächen per Hebel auf, günstig z.B. bei GG

GG: Grauguss ist ein Eisengusswerkstoff, dessen Oberfläche durch die Abkühlvorgänge härter wird als das Kernmaterial.

Oberfläche des Werkstückes

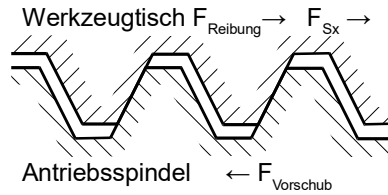
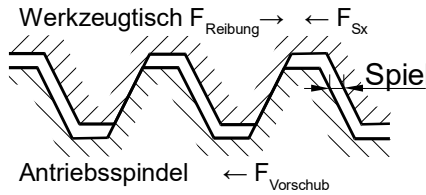
geschnitten  
→ bessere Oberfläche  
erkennbar am matten Glanz  
→ weniger Schneidenverschleiß

geschabt, gedrückt  
→ schlechtere Oberfläche  
→ Reibung → Wärme + Verschleiß

Krafrichtungen Schnittkraft  $F_s$

$F_{sy}$  wirkt gegen den Tisch  
→ für dünne Werkstücke  
 $F_{sx}$  teilweise mit dem Vorschub  
→ Schneide treibt Werkstück an  
→ erfordert spielfreien Antrieb

$F_{sy}$  wirkt vom Tisch weg  
→ zieht Werkstück aus der Einspannung  
 $F_{sx}$  wirkt gegen den Vorschub



Wenn je nach Stellung des Fräasers  $F_{sx} > F_{Reibung}$  wird, schiebt der Fräser den Tisch gegen die andere Flanke der Antriebs- spindel: quasi versucht der Tisch, die Spindel zu überholen. Den ständigen Wechsel hält auf Dauer kein Antrieb aus, deshalb muss er spielfrei sein.

Vorschub drückt gegen Reibung und Fräser, deshalb wechselt die Flanke im Vorschub nur, wenn die Vorschubrichtung wechselt.

**Antriebe**

**Kugelumlaufspindeln**  
**Bild**

teuer, aber genauer  
→ nur für CNC-Maschinen  
spielfrei

**Trapezgewindespindel**  
**Bild**

einzelne Spindeln sind nicht spielfrei  
→ ungenau,  
→ Rattermarken,  
→ mechanische Belastung  
relativ billig  
→ konventionelle Fräsmaschinen

2) Vergleich der Antriebe

Wenn man mehrere Trapezgewindespindeln verspannt, wird der Antrieb auch spielfrei; Nachteil: Hohe Reibung und Verschleiß.

**Youtube**

- CNC-Fräsmaschine aus Mineralguss" <http://www.youtube.com/watch?v=LdleAxxA8u0> (Fräsen einer typischen Prüfungsaufgabenplatte)
- Crash mit Fräsmaschine Alzmetall. GS1000/5T CNC Fräsen : <http://www.youtube.com/watch?v=tb1kUCb9aww>
- CNC Fräsen Milling UVA Unverzagt "Nockenwellenrad" <http://www.youtube.com/watch?feature=fywp&NR=1&v=Y46X5WzOfuo> (4:59)
- Impeller machining on five axis StarragHeckert machiningcenter <http://www.youtube.com/watch?v=Fjzhygzaf0&feature=related> (4:01; Turbinenrad wie bei einem Turboller mit einer 5-Achsen-Maschine)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kugelgewindetrieb>: Ein Kugelgewindetrieb (KGT) .. dient zur Umsetzung einer Drehbewegung in eine Längsbewegung oder umgekehrt (Definition nach DIN 69051-1). Im Vergleich zu konventionellen Gleitgewindetrieben, oder sogenannten Wälzschraubtrieben, ergeben sich vier Vorteile:

- durch die Punktanlage der Kugeln wird die Antriebsleistung um 2/3 reduziert (weniger Reibung erzeugt weniger Wärme, ca. 50 bis 90% der eingeleiteten Antriebsleistung wird bei Gleitgewindetrieben in Wärme umgewandelt),
- geringerer Verschleiß der Laufbahnen,
- Steigerung der erreichbaren Verfahrgeschwindigkeit,
- höhere Positioniergenauigkeit.

Wirtschaftlich betrachtet sind damit geringere Wartungskosten, geringere Bearbeitungszeiten und niedrigere Ausschussquoten verbunden.

Kugelgewindetriebe können je nach Spindel-durchmesser und Spindelsteigung dynamische Lasten zwischen wenigen Kilonewton (kN) bis in den dreistelligen kN-Bereich aufnehmen. Die höhere Rollreibung durch Vorspannung erzeugt bei hohen Drehzahlen (z. B. Bewegung einer Maschine im Eilgang) viel Wärme, welche aufgrund der Längenausdehnung der Spindel die Präzision der betroffenen Maschinenachse beeinträchtigt. Hohe axiale Kräfte sowie schnelle Drehzahlen der Spindel üben außerdem starke Belastungen auf Gewindegang und Kugel aus. Unter Belastung erhöht ein Reiben der Kugeln aneinander das zur Bewegung nötige Drehmoment und verursacht Verschleiß. Übermäßiger Erwärmung kann mit hohlen Gewindespindeln, durch die eine Kühlflüssigkeit fließt, entgegengewirkt werden



## CNC-Werkzeuge

Milling machine

### Schaftfräser

- zum Plan- und Umfangsfräsen geeignet
- nicht zum Bohren (senkrecht Eintauchen) geeignet

### Langlochfräser, Bohrnutenfräser

- Schaftfräser mit Schneide im Zentrum der Stirnseite
- kann wie ein Bohrer ins Material tauchen

### Scheibenfräser

- ähnlich Kreissäge

### Kugelfräser

[Youtube](#)

#### AM Frästeil

1) *Ültg aus Zerspantechnik: Wdhg Gleich-/Gegenlaufräsen*

Die meisten Schaftfräser haben in der Mitte der Stirnseite keine Schneide und räumen dort nicht frei. Sie können deshalb nicht wie ein Bohrer verwendet werden, können aber schräg eintachen.





Analyse eines CNC-Programmes:  
Grundplatte (TM\_HP200708-4)

Aufg. 4.4: Außenkontur

Eilgang, Werkzeugwechsellpunkt

N010 G00 X-40 Y0 Z100

Vorschub (F), Drehzahl (S), Werkzeug (T), Drehrichtung (M03, M04)

N020 F510 S640 T2 M3

N030 G00 X-25 Y0 Z-5

Werkzeugbahnkorrektur (G41, G42, G40)

N040 G41

Gerade(-interpolation G41)

N050 G01 X7 Y11

N060 G00 X12

Kreis(-interpolation G02, G03)

N070 G03 X20,156 Y34,788 I0 J14

N080 G01 X7 Y70,933

N090 G01 Y85

N100 G01 X97,749

N110 G02 I-37,749 J-40

N120 G01 Y22

N130 G01 X95 Y11

N140 G01 X7

N150 G01 Z1

N160 G40

Nut P11

N170 G00 X-40 Y0 Z100

N180 F318 S1990 T3

Kühlschmierung (M08, M09)

N190 G00 X60 Y45 Z1 M8

Taschen-Fräszyklus (G86)

N200 G86 X55 Y25 Z-7 I110 D4

N210 G00 X105 Y30,195

Nuten-Fräszyklus (G88)

N220 G88 X30 Y10 Z-5 I208,811 D4

N230 G00 X30 Y40 Z1

Unterprogramm

N240 L1001

Nut (P12)

Fräsermittelpunktbahn (G40)

Startadresse L10

N010 G91

N020 G01 Z-4

N030 G01 X-1

N040 G02 X2 Y0 I1 J0

Warum Y0, aber nicht Z0?

N050 G01 X0 Y-9 (Y-8,5)

N060 G01 X4

N070 G02 X0 Y-2 I0 J-1

N080 G01 X-4

N090 G01 X0 Y-9 (Y-8,5)

N100 G02 X-2 Y0 I-1 J0

N110 G01 X0 Y20 (Y19)

N120 G01 X1 Y0

N130 G00 Z4

N140 G90

N150 M17

TM\_HP200708-4

1) Übersetzen Sie das CNC-Programm mit Hilfe [EuroTabM].

2) Ergänzen Sie fehlende Zeilen.

3) Wichtige Begriffe → TA CNC-Programmierung

Eilgang zum Werkzeugwechsellpunkt

Muss der Werkstücknullpunkt jedesmal relativ zum Werkstück programmiert werden?

Vorschub(-geschwindigkeit; Feed): 510 mm/min; Spindeldrehzahl 640 U/min; Werkzeug T2 (Tool; Ø25); Spindel im Uhrzeigersinn (abhängig vom Werkzeug, linksdrehende Fräser habe ich keine gefunden, Anwendung z.B. Gewindeschneiden Rücklauf?)

Gibt es linkslaufende Fräserwerkzeuge

Eilgang neben das Werkstück, sodass seitlich in das Material eingetaucht werden kann.

Radiuskorrektur links wird eingeschaltet. Ab sofort korrigiert das Programm die Koordinaten so, dass das aktuelle Werkzeug (s.o.) im Uhrzeigersinn um die Kontur laufen kann. Im Zusammenhang mit M3 ergibt es Gleichlauf Fräsen (Schnitt- und Vorschubbewegung in die gleiche Richtung, Vorteile → TA Fräsen)

Geradeninterpolation zu Punkt P1

Gerade zu P2 (mit Bahnkorrektur bedeutet, dass der Fräsermittelpunkt links der gerade verläuft). Koordinaten, die sich nicht ändern, müssen nicht neu eingegeben werden: X, Z.

Kreisinterpolation gegen den Uhrzeiger (ccw = counter clockwise) um den Mittelpunkt (X<sub>aktuell</sub>-I, Y<sub>aktuell</sub>-J) bis P3

Kreisinterpolationen um andere Achsen als die Z-Achse

Gerade zu Punkt 4

Gerade zu Punkt 5

Gerade zu Punkt 6

Kreisinterpolation mit dem Uhrzeiger um den Mittelpunkt (I; J)

Über die letzte Kante hinaus fahren?

Über das Werkstück – kein Wechsel möglich, Taschen folgen

Werkzeugbahnkorrektur aus

Für Standardprobleme gibt es spezielle Unterprogramme. Diese unterscheiden sich bei jeder Steuerung.

Eilgang zum Werkzeugwechsellpunkt

Vorschub, Drehzahl, Werkzeug Ø8

Eilgang zur Startposition über dem Mittelpunkt der Rechtecktasche. Kühlschmierung: Ein

X x Y x Z = Länge x Breite x Tiefe = 55x25x7mm<sup>3</sup>, Winkel der Länge zur x-Achse 110°, Einzelschnitttiefe 4 mm (siehe Aufgabe)

Haben andere Sprachen andere Zyklen oder Bezeichnungen?

Eilgang zur Startposition 1mm über einem Mittelpunkt der Nut (P11)

X x Y x Z = Länge x Breite x Tiefe = 30x10x5mm<sup>3</sup> (einschließlich Rundung), Winkel der Länge zur x-Achse 208,811° (von P11 nach links unten), Einzelschnitttiefe 4 mm (siehe Aufgabe)

4) Von Y10 Z-5 → Y40 Z1 geht quer durch Material – sinnvoll?

Fangfrage: Nach Ende des Fräszyklus steht das Werkzeug an seiner Startposition Z1 (aus Zeile N190)

Eilgang zu P12

Aufruf des selbst erstellten Unterprogrammes L10, Startposition P12

- L Aufruf des Unterprogrammes
- 10 Nummer des Unterprogrammes
- 01 Anzahl der Durchläufe

In der originalen Aufgabe passen Zeichnung, Bemaßung und Programm nicht zusammen. P12 ist in der Zeichnung nicht bemaßt. Mit den Maßen aus der Koordinatentabelle müsste die Nut (P12) genau an der waagerechten Mittellinie der Grundplatte enden, in der Zeichnung ist eine deutliche Lücke. In der Zeichnung ist die waagerechte Mittellinie der Nut (P12) mit Abstand 30 von der Unterkante der Grundplatte bemaßt, das ergibt 10 bis P12. Im Programm werden aber nur 9,5 gefahren. Hier verwende ich korrigierte Werte, die originalen Werte stehen in Klammern.

Unterprogramme erfordern Übergabe der Startposition oder inkrementale Maßangaben.

Veranschaulichung, Merkmale Einstellungen (Werkzeug, Drehzahl usw) werden vom Hauptprogramm übernommen. Sinnvoll?

Absolut: X30 Y40 Z+1→Z-3; Eintauchen,

Absolut: X30→X29 Y40 bei Durchmesser 8. Gerade bis zum linken Rand.

Absolut: X29→X31 um X30 Y40. Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn, obere Rundung.

Andere Richtung wäre Gegenlauf.

Absolut: X31 Y40 → Y31 (Y31,5). Gerade nach unten

Absolut: X31→X35 Y31 (Y31,5). Gerade zur senkrechten Mittellinie der seitlichen Rundung

Absolut: X35 Y31→Y29 (Y31,5→Y29,5). Kreisinterpolation cw im Uhrzeigersinn um X35 Y30 (Y30,5), seitliche Rundung.

Absolut: X35 → X31; Y29 (Y29,5): Gerade aus der seitlichen Nut heraus.

Absolut: X31; Y29→Y20 (Y29,5 → Y21. Gerade nach unten.

Absolut: X31 → X29; Y20 (Y21). Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn, untere Rundung.

Absolut: X29; Y20 (Y21)→Y40. Gerade linke Seite.

Absolut: X29→X30; Y40. Gerade zur Startposition.

Eilgang aus dem Werkstück heraus

Inkremental: aus bzw. Absolute Maßangaben ein

M17? Unterprogrammende?



## Allgemeines

### GFS

- Pflicht ist eine in E und weitere insgesamt 3 in J1/J2
- In J1/J2 kann eine GFS eine Klassenarbeit ersetzen (pro Fach /Semester muss mind. 1 KA geschrieben werden)

### Beschluss TG 28.06.11

- In den ersten 3 Semestern der Jahrgangsstufen muss je 1 GFS geschrieben werden.
- Überprüfung in der Notenkonferenz
- GFS soll im Niveau einer KA entsprechen
- GFS-Plan muss für alle 3 Semester bis Herbstferien J1 vorliegen
- Jede GFS muss in einem anderen Fach erfolgen

### Ideen / Themen

- Stromtransport: Welche Bedeutung haben die Spannungsebenen (20kV, 110kV, 380kV)
- Biographie eines Ingenieurs / Technikers
- Übersicht über bedeutende Ingenieure (Wissenschaftler, Mathematiker ..) aus der Region
- Übersicht über die Wasserkraftwerke an der Wiese
- Industrialisierung des Wiesentals
- BHKw für Einfamilienhaus
- Solaranlage für Einfamilienhaus
- Abreißblock für Ausreden
- Einsatzgebiete eines Planetengetriebes

### Notizen

### Beobachtungen in Kammerprüfungen

### Abi / KA

Schüler senken Flachsungen mit allem, was da ist: Reibzyklus, Gewindebohrzyklus, Tiefbohrzyklus

### Praktische Übungen

Türschilder

### ProMan Präsentationen

- Welche Genehmigungen sind erforderlich
- Welche Institutionen unterstützen
- Technische Alternative
- grobe technische Planung einer Alternative
- Grundflächenbedarf
- Anschluss an die Infrastruktur

tg\_TA\_Allgemeines.odt

Sicherheitsabstand über Oberflächen: Z2  
G41 G45; G40 G1: auf jeweils einer Zeile  
Nach G45 ist kein G01 erforderlich → versteht PALmill nicht

## Literaturverzeichnis

- Duden 2006: -, Duden - Die deutsche Rechtschreibung, 2006  
EuroTabM: Ulrich Fischer ua., Tabellenbuch Metall,  
EuroTabM41: Ulrich Fischer ua., Tabellenbuch Metall 41.Auflage, 1999  
EuroTabM43: Ulrich Fischer ua., Tabellenbuch Metall 43.Auflage, 2005  
EuroTabM44: Ulrich Fischer ua., Tabellenbuch Metall 44.Auflage, 2008  
EuroTabM45: Ulrich Fischer ua., Tabellenbuch Metall 45.Auflage, 2011  
EuroTabM46: Roland Gommeringer ua., Tabellenbuch Metall 46.Auflage, 2014  
Falk 2012: Dietmar Falk, CNC-Kompendium PAL Drehen&Fräsen, 2012  
Friedrich 2003: Barthel et al., Friedrich Tabellenbuch Metall- und Maschinentechnik, 2003  
Heidenhain 2011a: k.A., Längenmessgeräte für gesteuerte Werkzeugmaschinen, 2011  
HTFk1M 2007: Reiner Haffer u.a., Fachkenntnisse 1 Industriemechaniker, 2007  
HTFkM 1990: Christof Braun u.a., Fachkenntnisse Metall - Industriemechaniker, 1990  
Kief 2011: Hans Kief; Helmut Roschival u.a., CNC-Handbuch 2011/2012, 2011  
Paetzold 2010: Heinz Paetzold, CNC-Technik in der Aus- und Weiterbildung, 2010  
Stowasser 1971: Dr. Michael Petschenig ua., Der kleine Stowasser - Lateinisch-deutsches Schulwörterbuch, 1971  
SYMplusF 2010: Siegfried Keller, SYMplus 5.2 Arbeitsheft Fräsen, 2010