



Aufgaben zur CNC-Programmierung

Inhaltsverzeichnis

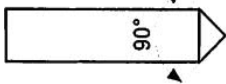
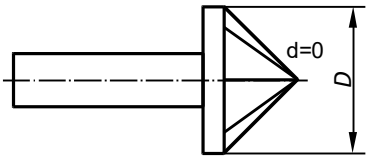
Aufgaben zur CNC-Programmierung.....	1
1 Fräswerkzeuge.....	1
2 G00, G01: Geradeninterpolation.....	3
3 Geradeninterpolation – die 2.....	4
4 G41, G42: Werkzeugbahnkorrektur.....	5
5 G01: Alternative Wegbeschreibungen, Fasen, Rundungen.....	6
6 G90, G91: Absolute und relative Koordinatenangaben.....	7
7 L, %: Unterprogramme.....	7
8 G02, G03: Kreisinterpolation.....	8
9 G72..75, G79 Taschen- und Nutenzyklen und Zyklusaufruf.....	10
10 G81: (Gewinde-)bohren und Senken mit Mehrfach-Zyklusaufrufen.....	11
11 Schruppen mit Aufmaß.....	12
12 Anfahren und Eintauchen.....	13
13 Linearinterpolation mit Polarkoordinaten.....	13
14 Sonstiges.....	13

Lösungsvorschläge.....	14
1 Fräswerkzeuge.....	14
2 G00, G01: Geradeninterpolation.....	15
3 Geradeninterpolation – die 2.....	16
4 G41, G42: Werkzeugbahnkorrektur.....	19
5 G01: Alternative Wegbeschreibungen, Fasen, Rundungen.....	20
6 G90, G91: Absolute und relative Koordinatenangaben.....	21
7 L, %: Unterprogramme.....	21
8 G02, G03: Kreisinterpolation.....	26
9 G72..75, G79 Taschen- und Nutenzyklen und Zyklusaufruf.....	30
10 G81: (Gewinde-)bohren und Senken mit Mehrfach-Zyklusaufrufen.....	31
11 Schruppen mit Aufmaß.....	32
12 Linearinterpolation mit Polarkoordinaten.....	34

1 Fräswerkzeuge

Eine CNC-Fräsmaschine hat einen mehr oder weniger großen Speicher, aus dem während des Programmablaufes Werkzeuge entnommen werden können. Die Werkzeuge sind mit T (= Tool) und einer Nummer bezeichnet.

Das unten aufgelistete Sortiment kann von der kostenlosen Simulations-Software PALmill von Hubert Klinkner (→<http://www.hubertklinkner.de/palmill/>) verwaltet werden und genügt für alle folgenden Übungen.

Werkzeug	Werkzeug Bezeichnung		d in mm	Z	a _p in mm	v _f in mm/min
T1	NC-Anbohrer 90° 		12	(1)		
T2	Schaftfräser	HSS	6	4	4	
T3	Schaftfräser	HSS	8	4	4	
T4	Schaftfräser	HSS	10	4	4	
T5	Schaftfräser	HM	12	4	6	
T6	Schaftfräser	HM	20	4	6	
T7	Langloch-Bohrnutenfräser		6			
T8	Langloch-Bohrnutenfräser		10			
T9	Langloch-Bohrnutenfräser		16			
T10	Spiral-/Wendelbohrer		Ø6,8	(1)		
T11	Spiralbohrer		Ø8	(1)		
T12	Gewindebohrer		M8			



2 G00, G01: Geradeninterpolation

Außenkontur und Rechtecktasche der Wallplatte aus Al-Cu4PbMg sollen mit Gleichlaufräsen hergestellt werden.

2.1 Entschlüsseln Sie die Werkstoffbezeichnung.

.....

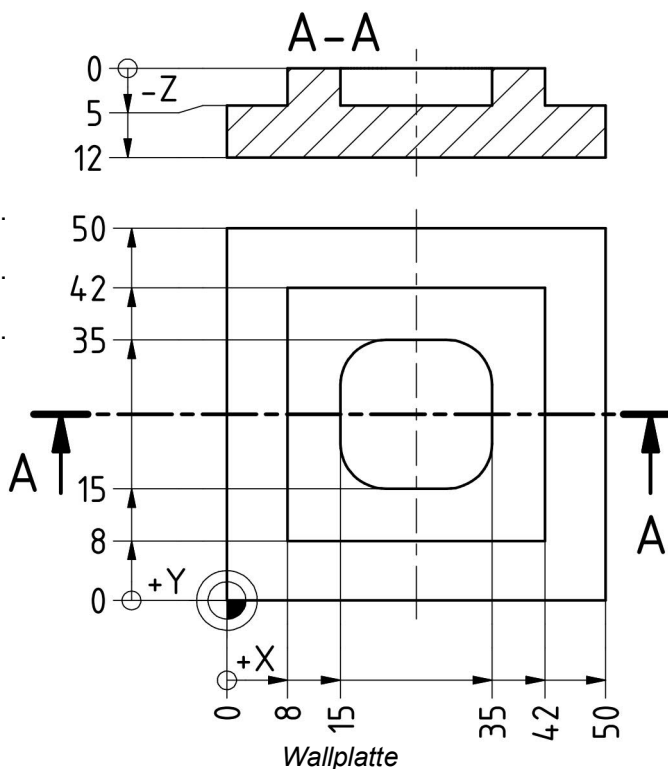
.....

.....

2.2 Wählen Sie einen geeigneten Schaftfräser T2 bis T6 aus, und bestimmen Sie die Schnittdaten.

2.3 Markieren Sie den Weg des Fräsermittelpunktes in der Zeichnung (Eilgang G00 gestrichelt, Vorschubgeschwindigkeit G01 durchgezogen) beginnend beim Startpunkt X3 Y-12, und nummerieren Sie die Eckpunkte fortlaufend.

2.4 Schreiben Sie das CNC-Programm mit den Befehlen G00 und G01.¹



Zu Aufgabe 2.2: Technologische Daten

Werkzeug	Werkzeug Bezeichnung	d in mm	Z	v_c in m/min	a_p in mm	f/f_z in mm	n in min^{-1}	v_f in mm/min
T2								
T5								
T6								

Zu Aufgabe 2.4: Programm

N	G	X	Y	Z	...	...	...	...	...
N10	G00	X150	Y150	Z150	T..	S..	F..	M03	; Werkzeugwechsel
N20	G00	X3	Y-12						
N30									
N40									
N50									
N60									
N70									
N80									
N90									
N100									
N110									
N120									
N130									
N140									
N150									
N160									
N170									
N180	G00	X150	Y150						; Werkzeugwechsellpunkt
N190								M30	; Programmende

¹ Interpolieren = Zwischenwerte abschätzen. Da Geraden nicht immer entlang einer Vorschubachse verlaufen, muss eine CNC-Steuerung mehrere Vorschubachsen koordinieren und dazu viele Zwischenpunkte berechnen (=interpolieren).



3 Geradeninterpolation – die 2.

Die Außenkontur der Platte 2 soll ausnahmsweise mit Gegenlaufräsen hergestellt werden. Werkstoff der Platte, Werkzeug T5 und Schnittdaten wie in Blatt 2.

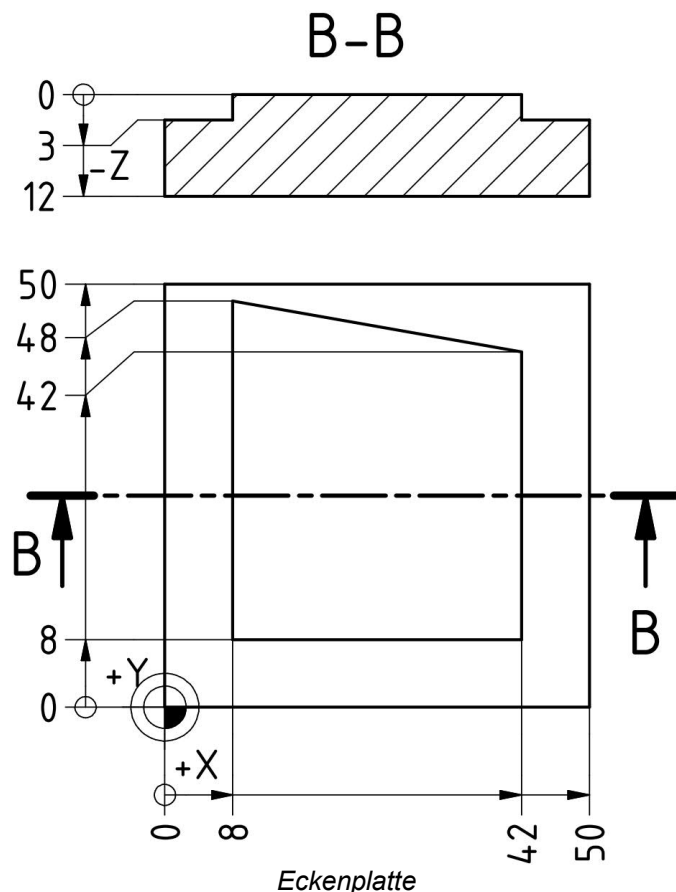
3.1 Markieren Sie den Weg des Fräsermittelpunktes in der Zeichnung beginnend bei X-8 Y-2 (P0), und nummerieren Sie die Eckpunkte fortlaufend.

3.2 Ermitteln Sie die Koordinaten der Eckpunkte der Fräsermittelpunktbahn

	X	Y	Z
P'0	-8	-3	
P'1			
P'2			
P'3			
P'4			
P'5	2	-8	

3.3 In welchem Verhältnis müssen der Fräser $\varnothing d$ und der Randabstand a der Kontur (hier 8 mm) mindestens stehen, damit beim Fräsen um den P2 (rechtwinklige Ecke) mit nur einem rechtwinkligen Richtungswechsel der Rand vollständig entfernt wird?

3.4 Schreiben Sie das CNC-Programm mit den Befehlen G00 und G01



N	G	X	Y	Z	...	...	...	...	...
N10	G00	X150	Y150	Z150	T..	S..	F..	M03	; Werkzeugwechsel
N20	G00	X-8	Y-2						
N30									
N40									
N50									
N60									
N70									
N80									
N90									
N100									
N110									
N120									
N130									
N140									
N150									
N160									
N170									
N180	G00	X150	Y150						; Werkzeugwechsellpunkt
N190								M30	; Programmende

Hinweise:

- Um den Eckpunkt P3' (für P3) der Fräsermittelpunktbahn zu erhalten, benötigt man den folgenden Punkt P4.



4 G41, G42: Werkzeugbahnkorrektur

Wie in Aufg. 3.2 gesehen, kann es schon bei einfachen Konturen kompliziert werden, die Fräsemittelpunktbahn zu berechnen. Deshalb entlasten moderne Steuerungen den Bediener und kalkulieren den Radius des Werkzeugs selbst ein (= Werkzeug-Bahnkorrektur oder Radiuskorrektur). Nach Einschalten der Bahnkorrektur muss man nur die tatsächlichen Eckpunkte der Kontur eingeben. Dazu muss die Bahnkorrektur aber wissen, ob ein Punkt links oder rechts umfahren werden soll.

4.1 Vergleichen Sie die unterschiedlichen Richtungen bei der Werkzeugbahnkorrektur am Beispiel:

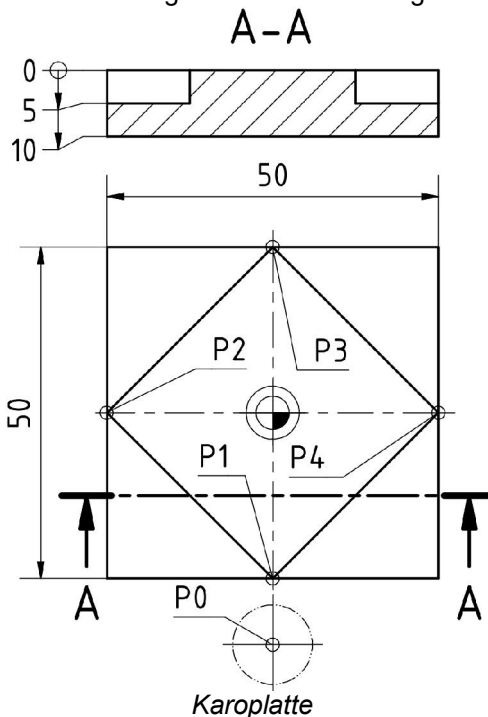
Bahnkorrektur links

Befehl: (einschalten)
Befehl: (ausschalten)
Der Fräser fährt in Fahrtrichtung
..... neben dem Werkstück.

Zusammen mit der M03 ergibt es
.....laufräsen.

Die Kontur (→ Beispiel) wird in folgender
Reihenfolge gefräst:

	X	Y	Z
P0	0	-40	-5
P..			
P..			
P..			
P..			
P5			



Karoplatte

Bahnkorrektur rechts

Befehl: (einschalten)
Befehl: (ausschalten)
Der Fräser fährt in Fahrtrichtung
..... neben dem Werkstück.

Zusammen mit der M03 ergibt es
.....laufräsen.

Die Kontur (→ Beispiel) wird in folgender
Reihenfolge gefräst:

	X	Y	Z
P0	0	-40	-5
P..			
P..			
P..			
P..			
P5			

4.2 Weisen Sie nach, dass T6 (Ø20) ausreicht, um die Kontur in einem Durchgang zu fräsen.

4.3 Ermitteln Sie die Schnittdaten für die Platte aus S235.

4.4 Wofür steht die Bezeichnung S235?

4.5 Schreiben Sie das Programm für die Platte gemäß Bild (Gleichlauf):

N	G	...	X	Y	Z	...	M ...	Bemerkung
N10	G00		X150	Y150	Z150	T6	S.. F..	M03 ; Werkzeugwechsel
N20	G00		X0	Y-40				
N30	G00				Z-5			; P00
N40								
N50								
N60								
N70								
N80								
N90								
N100								
N110								
N120	G00		X150	Y150				; Werkzeugwechselpunkt
N130							M30	; Programmende

Hinweise:

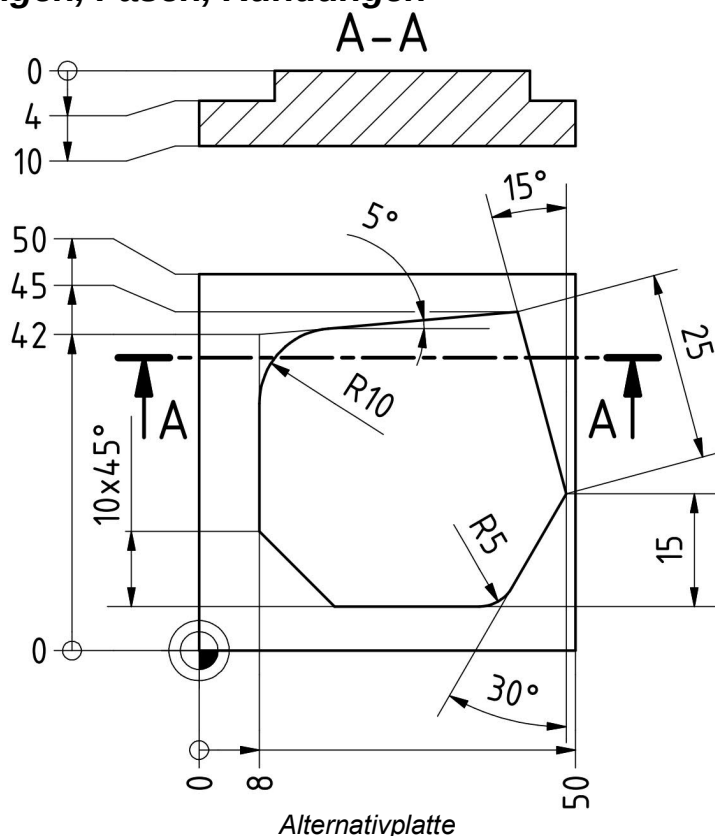
- 2) Ein Wechsel zwischen Fräsemittelpunktbahn und Bahnkorrektur erfordert Bewegung, deshalb muss nach G40, G41 oder G42 unmittelbar G00, G01, G45, G46, G47, G48 o.ä. folgen.
- 3) Beim Wechsel ist die Bahn des Fräasers nicht genau vorhersehbar, deshalb sollte man unmittelbar nach dem Wechsel erst einen Hilfspunkt vor der endgültigen Kontur anfahren.
- 4) Aus Hinweis 1 ergibt sich, dass die Bahnkorrektur einen Punkt erst dann anfahren kann, wenn sie den nach folgenden Punkt kennt.



5 G01: Alternative Wegbeschreibungen, Fasen, Rundungen

In CNC-Programmen nach PAL muss für G01 nicht immer eine explizite Zielcoordinate angegeben sein. Alternativ funktioniert es auch mit Angaben von Winkeln und Entfernungen, wenn die Angaben geometrisch eindeutig sind. Außerdem kann G01 Rundungen und Fasen erzeugen.

- 5.1 Die Kontur der nebenstehende Platte soll mit Hilfe der angegebenen Maße gefräst werden, also ohne weitere Punkte zu berechnen. Entnehmen Sie „Adressen“ von G01 dem TabB und schreiben Sie das Programm. Beginnen Sie mit der linken Kante (X8) von unten nach oben (Gleichlauf) und orientieren Sie sich an den vorgegebenen Bemerkungen im Programm. Werkstoff ist AlCu4PbMg, verwendet wird Werkzeug T5 (HSS-Schaftfräser Ø12) und die Schnittdaten können von Aufgabe 2.2 übernommen werden. Werkzeugwechsellpunkt ist bei X200 Y200 Z200.



Zu Aufgabe 5.1: Technologische Daten

Werkzeug	Werkzeug Bezeichnung	d in mm	Z	v_c in m/min	a_p in mm	f / f_z in mm	n in min^{-1}	v_f in mm/min
T5	HSS-Schaftfräser	12	4	100	20			

Zu Aufgabe 5.1: Programm

N	G	...	X	Y	Z	...	M ...	Bemerkung
N10								; Werkzeugwechsel, Schnittdaten
N20								; Startpunkt in Verlängerung der 1. Bahn
N30								; Absenken
N40								; Bahnkorrektur li, Startpunkt auf X8
N50								; linke Kante bis Y42 mit Radius 10
N60								; Schräge 5° bis Y45
N70								; Schräge 15° mit Länge 25
N80								; Schräge 30° mit Y15 (inkremental), R5
N90								; Waagerechte mit Fase 10x45°
N100								; linke Kante, Reste bei X0 Y50 beseitigen
N110								; Bahnkorrektur aus, anheben
N120								; Werkzeugwechsellpunkt
N130								; Programmende



6 G90, G91: Absolute und relative Koordinatenangaben

Koordinaten kann man *absolut* oder *relativ* angeben. *Absolute*² Koordinaten zählen vom Werkstücknullpunkt aus und erfordern keine Kenntnis des aktuellen Standpunktes. *Relative*³ Koordinaten (Kettenmaße, inkrementale Bemessung) rechnen vom aktuellen Standpunkt aus.

Absolute Angaben sind leichter zu bemaßen, können für sich nachvollzogen werden und führen nicht zu Toleranzen und Änderungen nachfolgender Schritte, wenn eine Koordinate geändert wird. Relative Angaben sind gelegentlich einfacher zu handhaben und vor allem dann zweckmäßig, wenn wiederkehrende Elemente an verschiedenen Positionen eingefügt werden sollen.

In PAL sind standardmäßig absolute Koordinaten (G90) eingeschaltet. Nach G90 gibt man mit X.. Y.. Z.. absolute Koordinaten an und verwendet XI.. YI.. ZI.., wenn man einzelne relative Koordinaten verwenden möchte.

Wenn man viele relative Koordinaten eingeben möchte, kann man mit G91 umschalten. Danach gibt man mit X.. Y.. Z.. relative Koordinaten an und verwendet XA.. YA.. ZA.. für einzelne absolute Koordinaten.

Das Bild rechts zeigt einen Screenshot von PALmill mit 'gefrästen' Zeichen. Alle Zeichen sind in einem Raster 20x40 programmiert, wobei nur Eckpunkte angefahren werden, deren Koordinaten durch 10 teilbar sind.

Damit die Zeichen an jeder beliebigen Position und Reihenfolge gefräst werden können, werden sie mit relativen Koordinaten (G91) programmiert und beginnen einheitlich in der linken unteren und enden in der rechten unteren Ecke. Der Abstand zwischen zwei Zeichen beträgt X20, eine neue Zeile beginnt mit XA10 Y-60. Verwendet wurde ein Zapfenfräser Ø8. Als Frästiefe wurde ZA-6 und für den Sicherheitsabstand zur Oberfläche ZA+2 gewählt. Die Bewegungen mit Sicherheitsabstand werden im Eilgang G00 absolviert, alle anderen Bewegungen mit G01.

6.1 Programmieren Sie mit G91 einen Schriftzug mit Ihrer Klassenbezeichnung.

6.2 Programmieren Sie mit G91 ein Kfz-Kennzeichen mit Ihren Initialen.



Zeichen im 20x40-Raster mit Ø8 ohne RN



7 L, %: Unterprogramme

Wenn einzelne Elemente wie die Buchstaben aus dem obigen Zeichensatz häufiger benötigt werden, ist es zweckmäßig, sie als Unterprogramme abzuspeichern⁴.

– Jedes Unterprogramm beginnt mit einem Prozentzeichen und seiner Nummer, z.B. %081

– Jedes Unterprogramm endet mit M17 (Unterprogrammende)

– Im Hauptprogramm werden Unterprogramme aufgerufen mit G22 L081 H01 (Beispiel).

G22 = Aufruf eines Unterprogramms; L081 = Nummer des UP; H01 = Anzahl der Wiederholungen des UP⁵

7.1 Speichern Sie die Buchstaben aus Aufgabe 6.1 einzeln als Unterprogramme ab und programmieren Sie die Klassenbezeichnung erneut mit Unterprogramm-Aufrufen.



7.2 Dito Kfz-Kennzeichen.

7.3 Für die ganz Schnellen ...⁶



Schriftplatten

2 Beispiel für absolute Koordinaten: Das Autobahndreieck Weil am Rhein befindet sich an der A5 bei km 809.

3 Beispiel für relative Koordinaten: Wenn man auf der A5 Freiburg passiert, ist man vom Autobahndreieck Weil am Rhein 60 km entfernt.

4 In der Praxis verlieren Unterprogramme an Bedeutung, weil Wiederholungen von Programmabschnitten auch mit Copy & Paste möglich sind und der dazu nötige Speicherplatz (fast) nichts mehr kostet.

5 In älteren PAL-Versionen wurden Unterprogramme im Hauptprogramm aufgerufen mit L / Nummer / Anzahl: L0802 bedeutet also, dass das Unterprogramm %08 zweimal aufgerufen wird.

6 Der hier verwendete Zeichensatz wurde wie oben und zusätzlich mit RN+8 programmiert.



8 G02, G03: Kreisinterpolation

Für einen Kreisbogen muss eine CNC-Steuerung zahlreiche Zwischenpunkte berechnen (=interpolieren). Damit der Kreisbogen eindeutig definiert ist, braucht die Steuerung neben Start- und Zielpunkt weitere Angaben. Hier werden die Verfahren mit Mittelpunkt und Radius gezeigt.⁷

Definition eines Kreisbogens mit Startpunkt P1, Endpunkt P2 und Mittelpunkt M

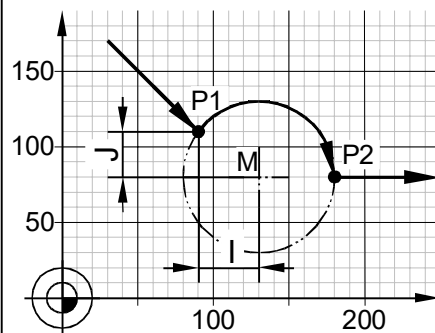
Den Startpunkt P1 des Kreisbogens kennt die Steuerung aus dem vorigen NC-Satz.

Der NC-Satz für den Kreis enthält..

- den Endpunkt P2 mit
 - X.. Y.. (wie G90 / G91) bzw.
 - XI.. YI.. (relativ bei G90)⁸ bzw.
 - XA.. YA.. (absolut bei G91)
- der Mittelpunkt M mit
 - I.. J.. (relativ)
 - IA.. JA (absolut)

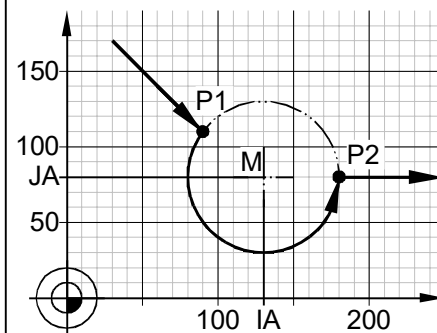
Mit diesen Angaben gibt es auf dem Kreis immer noch 2 Wege von P1 nach P2, zwischen denen man mit G02 oder G03 auswählt.

G02: Kreis im Uhrzeigersinn



N80 G01... X90... Y110... ; P1
N90 G... X... Y... I... J... ; P2

G03: Kreis gegen den Uhrzeiger



N80 G01... X90... Y110... ; P1
N90 G... XI... YI... IA... JA... ; P2

Definition eines Kreisbogens mit Startpunkt P1, Endpunkt P2 und Radius R

Startpunkt P1 und Endpunkt P2 wird wie oben angegeben.

Statt des Mittelpunkts M enthält der NC-Satz..

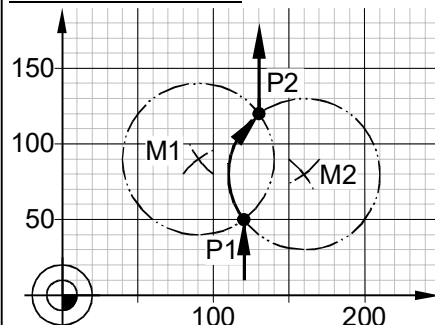
- den Radius R
- O1 (oder nichts) für den kurzen Kreisbogen bzw.
- O2 für den langen Kreisbogen

Aus 2 Punkten und einem Radius erhält man (fast) immer 2 Kreis(mittelpunkt)e, die wiederum je 2 Wege von P1 zu P2 ermöglichen, also insgesamt 4 Wege. Deshalb benötigt man neben G02 und G03 eine weitere Angabe und verwendet dafür O1 und O2 (früher: R+ bzw. R-).

Beispiel: G02 X.. Y.. R50 O1 gibt an, dass von den beiden mit G02 möglichen Kreisbögen der kürzere gewünscht ist, während R50 O2 den längeren Bogen nimmt (siehe mittlere Bildzeile).

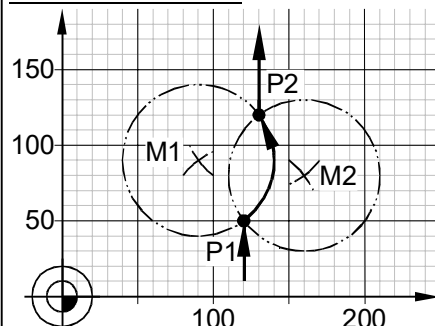
R50 O1: der kürzere Kreisbogen

zusammen mit G02



N80 G01... X120.. Y50... ; P1
N90 G... X... Y... ; P2

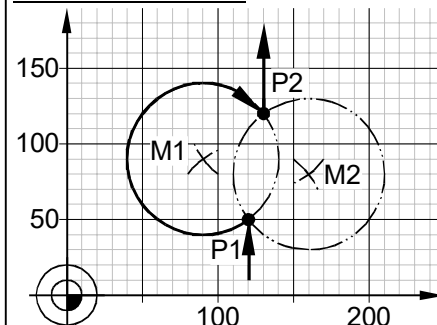
zusammen mit G03



N80 G01... X120.. Y50... ; P1
N90 G... XI... YI... ; P2

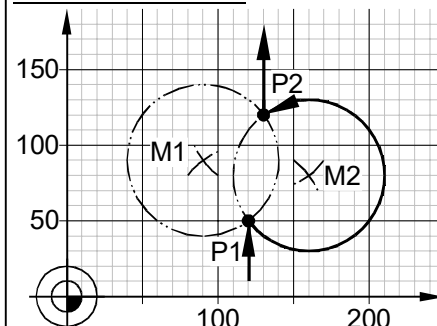
R50 O2: der längere Kreisbogen

zusammen mit G02



N80 G01... X120.. Y50... ; P1
N90 G... XI... YI... ; P2

zusammen mit G03



N80 G01... X120.. Y50... ; P1
N90 G... X... Y... ; P2

Hinweise:

- 5) Die Adressierungen X.. Y.. sind austauschbar mit XI.. YI.. usw., genauso wie I.. J.. mit IA.. JA.. usw.

⁷ Ab PAL 2007 gibt es weitere Möglichkeiten mit dem Öffnungswinkel und ohne Angabe des Zielpunktes.

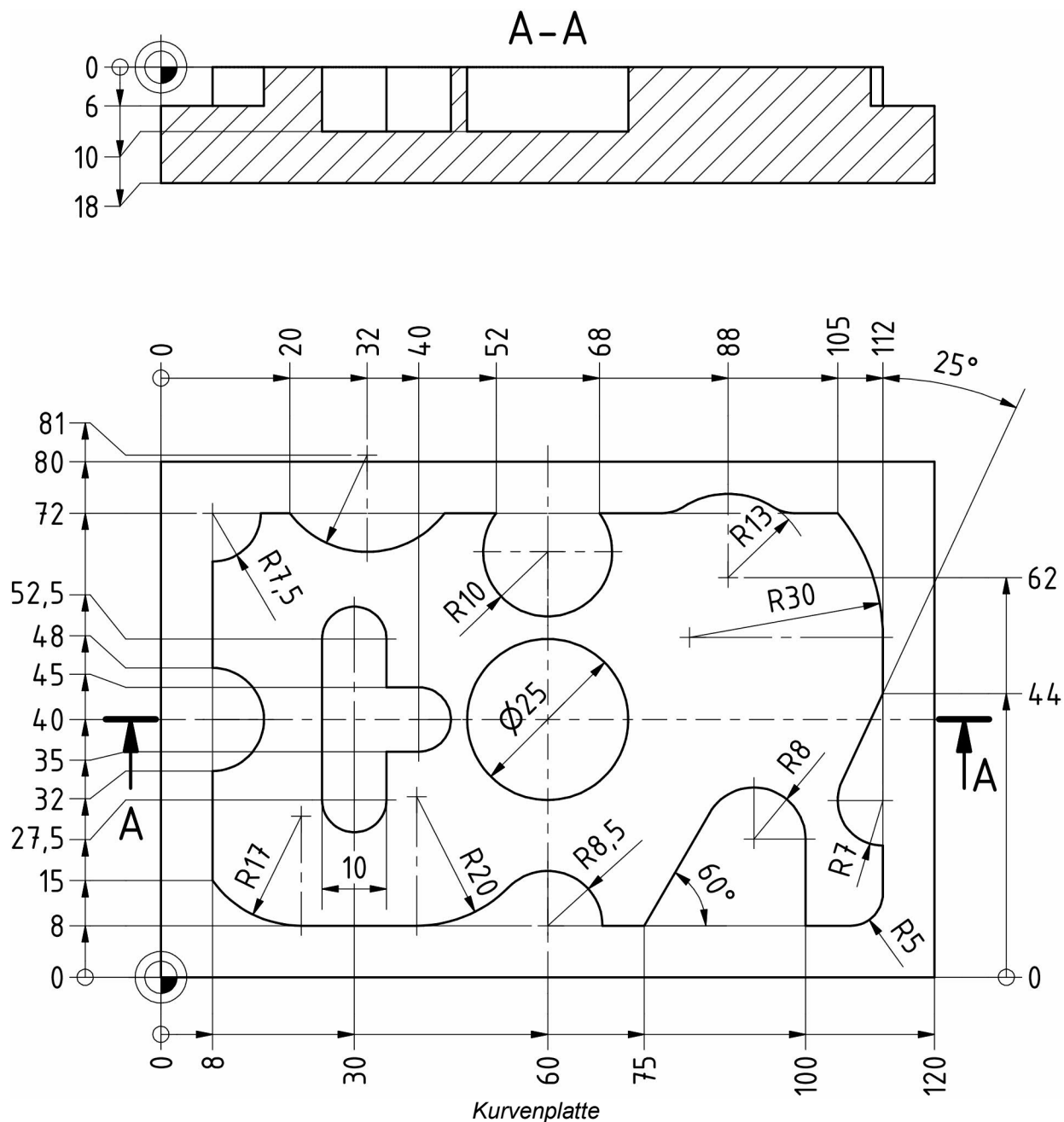
⁸ Zu den Begriffen absolute und relative Adressen und G90 und G91 → Kap. 6, G90, G91: Absolute und relative Koordinatenangaben



Aufgaben

Die Außenkontur der unten dargestellte Kurvenplatte aus E295 soll mit einem HSS-Schaftfräser T5 ($\varnothing 12$, 4 Zähne) gefräst werden. Die max. Schnitttiefe beträgt $a_p = 10$ mm.

- 8.1 Ermitteln Sie die Schnittdaten
- 8.2 Berechnen Sie die Konturpunkte für das Fräsen der Außenkontur im Gleichlauf, beginnend in der Nähe des Werkstücknullpunktes.
- 8.3 Berechnen Sie auch die Tangentialpunkte des Radius R8, d.h. die Übergangspunkte vom Radius zu den angrenzenden Geraden.
- 8.4 Erstellen Sie das Programm für die Außenkontur im Gleichlaufräsen.
- 8.5 Wo bleiben Reste stehen?





9 G72..75, G79 Taschen- und Nutenzyklen und Zyklusaufruf

Für typische Aufgaben der Metallbearbeitung wie rechteckige Ausfräsungen gibt es Zyklen, die das Programmieren vereinfachen. Mit Zyklus ist hier ein Unterprogramm gemeint, dem man z.B. die Maße der Rechtecktasche mitteilt, den Rest der Aufgaben wie Eintauchen und Schnittaufteilung übernimmt die CNC-Steuerung.

Zyklen werden zweistufig aufgerufen:

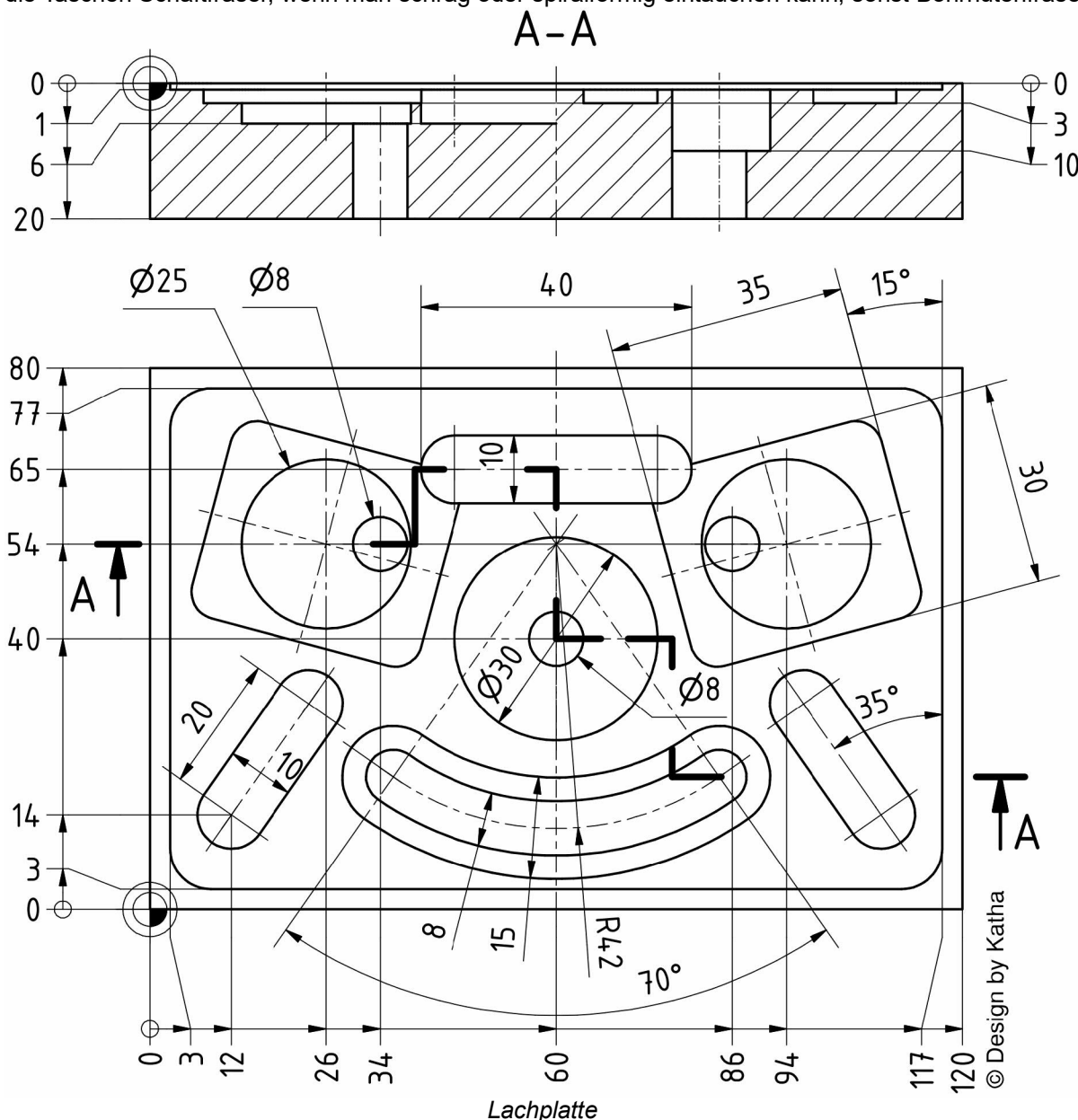
- In der ersten Zeile wird das Element definiert. Beim Rechtecktaschenzyklus G72 sind dies Länge LP, Breite BP und Tiefe ZI/ZA. Dazu kommen die Angaben D für die maximale Schnitttiefe und V für den Sicherheitsabstand für die Eilgänge innerhalb des Zyklusses, z.B. D6 und V2.
- In den folgenden Zeilen wird der Zyklus gestartet (= Zyklusaufruf). Im Zyklusaufruf G79 wird angegeben, wo das Element liegt und welche Ausrichtung es hat. Man kann eine Rechtecktasche also einmal definieren, und danach mit Zyklusaufrufen an verschiedenen Orten und in verschiedenen Himmelsrichtungen fräsen lassen.

Aufgaben

Für die unten gezeichnete Lachplatte aus einer Al-Legierung stehen 3 HSS-Schaftfräser T2(Ø6), T3 (Ø8) und T5 (Ø12) mit je 4 Zähnen bereit.

9.1 Ermitteln Sie die Schnittdaten.

9.2 Programmieren Sie die Lachplatte mit den PAL-Fräszyklen G72, G73, G74, G75 und G81 unter Verwendung des Einfach-Zyklusaufrufes G79. Beginnen Sie mit den flacheren Taschen, da die Lebensdauer eines Fräasers bei unterbrochenem Schnitt leidet (= wenn der Fräser über Kanten hinweg fräsen muss). Verwenden Sie für die Taschen Schaftfräser, wenn man schräg oder spiralförmig eintauchen kann, sonst Bohrnutenfräser.



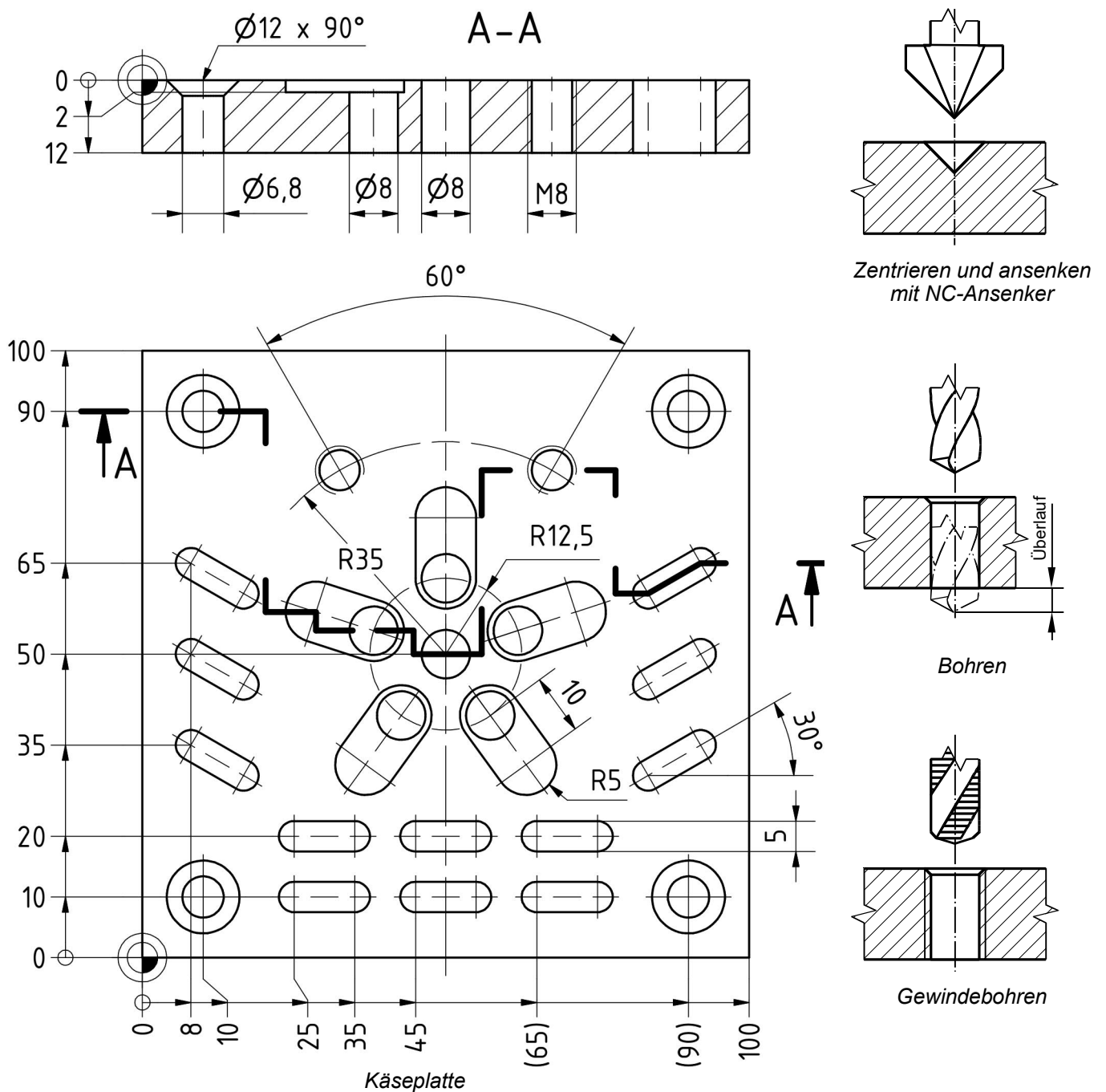


10 G81: (Gewinde-)bohren und Senken mit Mehrfach-Zyklenaufrufen

10.1 Programmieren Sie die Bohrungen, Senkungen, Gewinde und Nuten der Käseplatte.

Hinweise: Bohrungen und Gewinde werden in mehreren Schritten hergestellt:

1. Vorab zentriert der NC-Ansenker das Bohrloch ähnlich dem Körnen und senkt es gleichzeitig an.
 - Werkzeug: T1 (90°, Ø12); Zyklus: G81; Schnittgeschwindigkeit $\approx \frac{1}{4}$ des Bohrers⁹.
 - Für die Drehzahl ist der größte Durchmesser der Senkung maßgebend. Vorschub zählt pro Umdrehung ($z=1$).
 - Gewinde werden bis zum äußeren Gewindedurchmesser angesenkt.
2. Bohren mit einem Spiralbohrer T10 (Ø6,8) oder T11 (Ø8); Zyklus G81
 - Für Gewinde wird mit dem Gewindekernlochdurchmesser vorgebohrt → [EuroTabM] „Gewinde“.
 - Überlauf bei einer Durchgangsbohrung ist $0,3 \cdot d + 1\text{ mm}$ (für Bohrer Typ N mit Spitzenwinkel 118°).
3. Gewindebohren mit Gewindebohrer T12 (M8); Zyklus G84
 - Vorschub ist die Steigung P des Gewindes. Überlauf bei einem Durchgangsgewinde ist $3 \cdot P$.





11 Schruppen mit Aufmaß

Schruppen nennt man die Grobbearbeitung eines Werkstückes, bei dem es vor allem darauf ankommt, schnell Material abzutragen. Dazu wählt man innerhalb der Spannweite der Tabellenwerte große Zustellungen f und Schnitttiefen a_p , aber geringe Schnittgeschwindigkeiten v_c^{10} . Für das abschließende Schlichten (= Feinbearbeitung) lässt man noch etwa 1..2mm Material über Maß stehen (= Schlichtaufmaß oder Bearbeitungszugabe). Beim Schlichten kommt es vor allem auf Maßgenauigkeit ($\rightarrow$ geringe Schnitttiefe a_p und Zustellung $f \rightarrow$ geringe Schnittkräfte $\rightarrow$ geringe Verformung) und gute Oberflächenqualität (durch hohe Schnittgeschwindigkeit v_c) an.

Für den Programmierer gibt es, neben der Ermittlung der Schnittdaten, zwei weitere Probleme:

- In welcher Schnittfolge lässt man den Fräser arbeiten, damit unnötige Wege gespart werden?
- Wie lässt man das Schlichtaufmaß stehen, ohne eine zusätzliche Hüllkurve ($\rightarrow$ Aufg.3.2) zu berechnen?

Schnittfolge

In Prüfungen genügt es, einen einigermaßen vernünftigen Weg zu wählen und zu dokumentieren. Beachten Sie:

- Es dürfen keine Reste stehen bleiben.
- Gleichlaufräsen ist weiterhin zu bevorzugen, aber nicht um den Preis größerer Umwege.
- Schruppen fern der Kontur ist mit Fräsermittelpunktbahn (G40 $\rightarrow$ Kap. 4) einfacher.
- Die optimale Schnittbreite beträgt ca. 65..80% des Fräser $\varnothing$.¹¹

Schlichtaufmaß/ Bearbeitungszugabe

PAL bietet für das Schlichtaufmaß einen Trick:

- Schruppen Sie die Kontur mit Bahnkorrektur G41 oder G42 und der Werkzeugradiuskorrektur TR1 (Beispiel).
- Durch TR1 rechnet die Bahnkorrektur mit einem um 1 mm größeren Radius als der Fräser hat, das ergibt automatisch 1 mm Abstand zur Kontur ($\rightarrow$ Schlichtaufmaß).
- Zum Schlichten schaltet man mit TR0 die „Korrektur“ wieder ab und fräst die gleiche Kontur noch einmal. Das ist mit Copy&Paste schnell programmiert.¹²

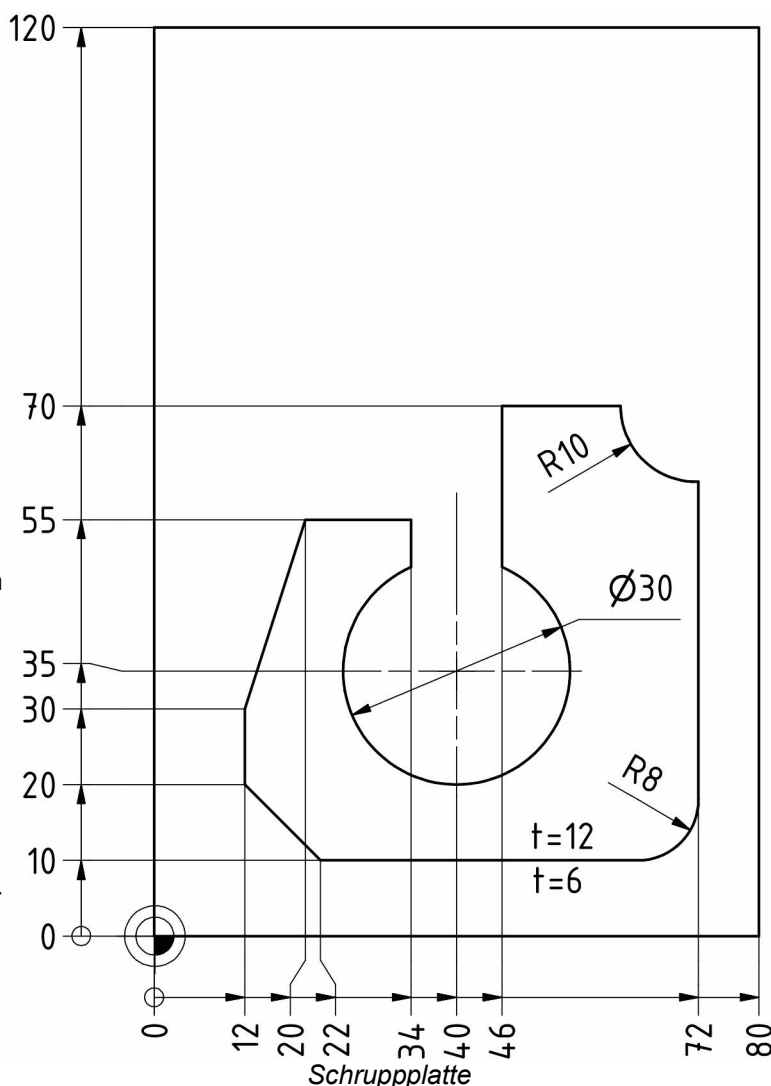
Aufgaben

- 11.1 Ein Teil der Werkstückoberseite der Schrupplatte aus ... wird in einer Schruppbearbeitung um 6 mm mit dem Werkzeug T4 (HSS-Schafffräser $\varnothing 10$, $z=4$) abgetragen. Für die nachfolgende Feinbearbeitung des Konturzugabes ist eine Bearbeitungszugabe von 1 mm vorzusehen.

Bestimmen Sie unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten die Schnittaufteilung für den Arbeitsgang Schruppen.

Dokumentieren Sie die Schnittaufteilung maßstabsgerecht in der Zeichnung. Kennzeichnen Sie die Reihenfolge, in der die Flächen abgetragen werden, mit aufsteigenden Ziffern 1, 2, ...

- 11.2 Erstellen Sie das Programm zum Fräsen der Oberseite der Schrupplatte ohne Taschenzyklen.



10 Niedrige Schnittgeschwindigkeit senkt den Leistungsbedarf der Maschine und erhöht die Lebensdauer des Werkzeuges. Der höhere Abtrag entsteht also durch dickere Späne, nicht durch schnelleres Arbeiten – ein Bagger schaufelt auch nicht schneller als ein Arbeiter.

11 Die Zähne eines Fräasers leiden besonders, wenn sie fast rechtwinklig ins Material ein- oder aus ihm heraustreten. Das ist der Fall, wenn die Schnittbreite gerade dem halben Fräserdurchmesser entspricht. Auch fast tangentialer Ein-/Austritte sind ungünstig, deshalb beträgt das optimale Verhältnis zwischen Fräserdurchmesser und Schnittbreite ca. 1,3 .. 1,5 oder, umgekehrt ausgedrückt, die Überdeckung des Frä - sers soll ca. 65..80% bzw. ca. 2/3 betragen.

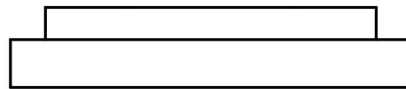
12 Ein Schlichtaufmaß auf der Fläche (an der Stirnseite des Fräser) ist unter Prüfungsbedingungen nur nötig, wenn es ausdrücklich gefordert ist. Man kann es analog zu TR mit dem Befehl TL oder über das Z-Maß erzeugen.



12 Anfahren und Eintauchen

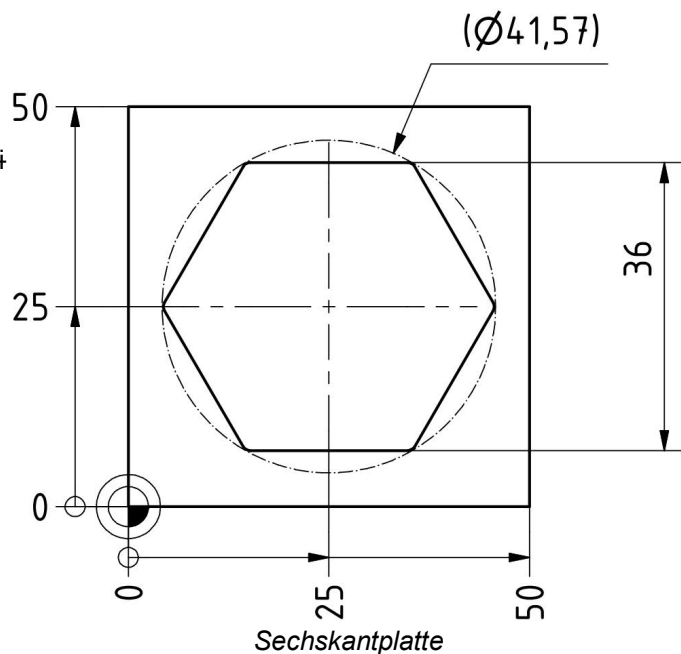
13 Linearinterpolation mit Polarkoordinaten

13.1 Erstellen Sie das CNC-Programm für einen Sechskant SW 36.



14 Sonstiges

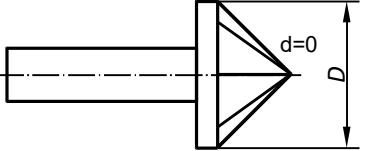
14.1 Warum gibt es hier keine Schlacht- und Vesperplatten, Kochplatten, Dämmplatten, Schallplatten, Festplatten, Waschbetonplatten, tektonische Platten, Reifenplatten, Dachlatten .. ?





Lösungsvorschläge

1 Fräswerkzeuge

Werk- zeug	Werkzeug Bezeichnung	d in mm	z	v_c in m/ min	a_p in mm	v_f in mm/min
T1	NC-Anbohrer					
T2	HSS-Schaftfräser	6	4			
T3	HSS-Schaftfräser	8	4			
T4	HSS-Schaftfräser	10	4			
T5	HSS-Schaftfräser	12	4			
T6	HSS-Schaftfräser	20	4			
T7	Langloch-Bohrnuten - fräser					
T8	Langloch-Bohrnuten - fräser					
T9	Langloch-Bohrnuten - fräser					
T10	Spiral-/Wendelbohrer		Ø6,8			
T11	Spiralbohrer		Ø8			
T12	Gewindebohrer		M8			
T13						



2 G00, G01: Geradeninterpolation

2.1 Werkstoff

Die erste Angabe Al steht für das Element, mit dem größten Anteil in der Legierung, hier Aluminium.

Cu4 steht für 4% Kupfer, Pb und Mg für Blei und Magnesium ohne Mengenangaben.

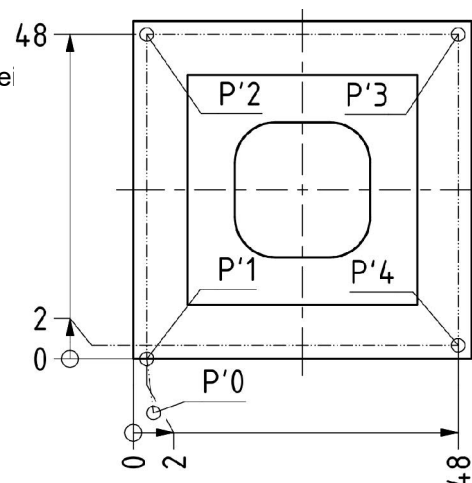
Technologische Daten

Werkzeug	Werkzeug ¹³	d in mm	Z	v_c in m/min	a_p in mm	f/f_z in mm	n in min ⁻¹	v_f in mm/min
T4	HSS-Schaftfräser	10	4	100	10			
T5	HSS-Schaftfräser	12	4	100	20	0,08	2652	849
T6	HSS-Schaftfräser	20	4	100	30			

$$v_c = \pi \cdot n \cdot d \rightarrow n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{100 \text{ m/min}}{\pi \cdot 12 \text{ mm}} = 2652 \frac{1}{\text{min}}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,08 \text{ mm} \cdot 4 \cdot 2652 \frac{1}{\text{min}} = 849 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

T2 mit Ø6 könnte die Außenkontur nicht in einem Durchgang fräsen, bei T3 mit Ø8 sind die Schnittbedingungen ungünstig, außerdem kann ein Grat stehen bleiben. T6 mit Ø20 könnte keine Rechtecktasche 20x20 fräsen. Gewählt wird T5 mit Ø12, weil er mit 2/3-Überdeckung der Außenkontur optimale Schnittbedingungen bietet. T4 mit Ø10 wäre auch möglich.



2.2

Fehlt

2.3 Programm

N	G	X	Y	Z	...			...	
N10	G00	X150	Y150	Z150	T5	S2652	F849	M03	; Werkzeugwechsel Ø12
N20	G00	X3	Y-12						
N30	G00			Z-5					; Startpunkt links außerhalb
N40	G01	X2	Y0						; Außenkontur im Gleichlauf
N50	G01		Y48						
N60	G01	X48							
N70	G01		Y2						
N80	G01	X-8							
N90	G00			Z2					
N100	G00	X21	Y21						
N110	G01			Z-5					; Eintauchen in der Ecke
N120	G01	X29							; Innenkontur im Gleichlauf
N130	G01		Y29						
N140	G01	X21							
N150	G01		Y21						
N160	G01			Z2					
N170	G00			Z150					
N180	G00	X150	Y150						; Werkzeugwechsellpunkt
N190								M30	; Programmende

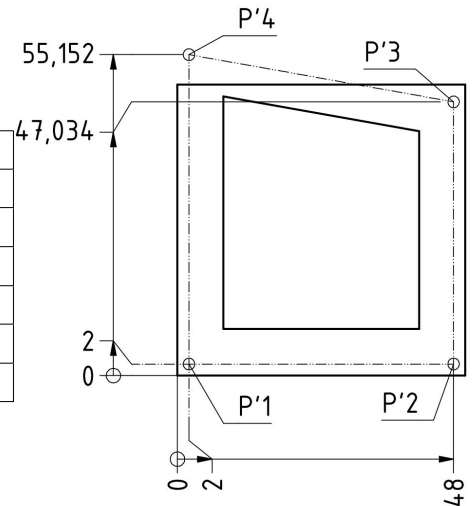


3 Geradeninterpolation – die 2.

3.1 Fräsermittelpunktbahn

3.2 Koordinaten der Fräsermittelpunktbahn

	X	Y	Z
P'0	-8	-3	-3
P'1	2	2	-3
P'2	48	2	-3
P'3	48	47,034	-3
P'4	2	55,152	-3
P'5	2	-8	-3



Ermittlung der Koordinaten mithilfe rechtwinkliger Dreiecke

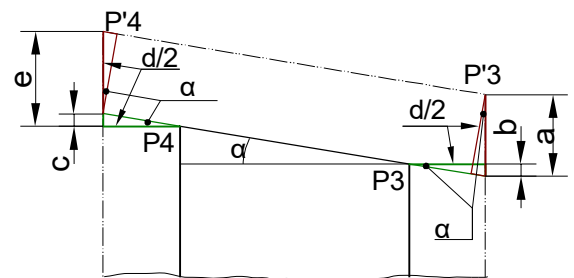
$$\alpha = \arctan \frac{P_{4Y} - P_{3Y}}{P_{4X} - P_{3X}} = \arctan \frac{48 - 42}{42 - 8} = \arctan \frac{6}{34} = 10,008^\circ$$

$$P'_{3X} = P_{3X} + \frac{d}{2} = 42 \text{ mm} + \frac{12 \text{ mm}}{2} = 48 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} P'_{3Y} &= P_{3Y} - b + a = P_{3Y} - \frac{d}{2} \cdot \tan \alpha + \frac{d}{2 \cos \alpha} \\ &= 42 \text{ mm} - \frac{12 \text{ mm}}{2} \cdot \tan 10,008^\circ + \frac{12 \text{ mm}}{2 \cdot \cos 10,008^\circ} \\ &= 42 \text{ mm} - 1,0588 \text{ mm} + 6,0927 = 47,034 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$P'_{4X} = P_{4X} - \frac{d}{2} = 8 \text{ mm} - \frac{12 \text{ mm}}{2} = 2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} P'_{4Y} &= P_{4Y} + c + e = P_{4Y} + \frac{d}{2} \cdot \tan \alpha + \frac{d}{2 \cos \alpha} \\ &= 48 \text{ mm} + \frac{12 \text{ mm}}{2} \cdot \tan 10,008^\circ + \frac{12 \text{ mm}}{2 \cdot \cos 10,008^\circ} = 55,152 \text{ mm} \end{aligned}$$



Ermittlung der Koordinaten mithilfe der Geradengleichungen $y = m \cdot x + n$

Gerade von P3 nach P4: $y = m_{34} \cdot x + n_{34} = -\frac{6}{34} \cdot x + 49,411765 \text{ mm}$

$$m_{34} = \frac{Y_4 - Y_3}{X_4 - X_3} = \frac{48 \text{ mm} - 42 \text{ mm}}{8 \text{ mm} - 42 \text{ mm}} = -\frac{6}{34}$$

$$m_{34} = \frac{Y_4 - Y_{x=0}}{X_4 - 0} \rightarrow n_{34} = Y_{x=0} = Y_4 - m_{34} \cdot X_4 = 48 \text{ mm} - \left(-\frac{6}{34}\right) \cdot 8 \text{ mm} = 49,411765 \text{ mm}$$

Gerade von P'3 nach P'4: $y = m'_{34} \cdot x + n'_{34} = -\frac{6}{34} \cdot x + 55,504474 \text{ mm}$

$$m'_{34} = m_{34}$$

$$n'_{34} = n_{34} + \frac{6 \text{ mm}}{\cos(\arctan m'_{34})} = 49,411765 \text{ mm} + \frac{6 \text{ mm}}{\cos(\arctan -\frac{6}{34})} = 55,504474 \text{ mm}$$

Gerade von P'2 nach P'3: $x = X_2 + \frac{d}{2} = 42 \text{ mm} + \frac{12 \text{ mm}}{2} = 48 \text{ mm}$

Eckpunkt P'3:

$$X'_3 = 48 \text{ mm}$$

$$Y'_3 = m'_{34} \cdot X'_3 + n'_{34} = -\frac{6}{34} \cdot 48 \text{ mm} + 55,504474 \text{ mm} = 47,034 \text{ mm}$$

Gerade von P'4 nach P'5: $x = X_4 - \frac{d}{2} = 8 \text{ mm} - \frac{12 \text{ mm}}{2} = 2 \text{ mm}$

Eckpunkt P'4:

$$X'_4 = 2 \text{ mm}$$

$$Y'_4 = m'_{34} \cdot X'_4 + n'_{34} = -\frac{6}{34} \cdot 2 \text{ mm} + 55,504474 \text{ mm} = 55,512 \text{ mm}$$



Ermittlung der Koordinaten in Vektorschreibweise

Koordinaten der Eckpunkte:

$$\vec{P}_i = \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix} \quad \vec{P}_2 = \begin{pmatrix} 42 \\ 8 \end{pmatrix} \quad \vec{P}_3 = \begin{pmatrix} 42 \\ 42 \end{pmatrix} \quad \vec{P}_4 = \begin{pmatrix} 5 \\ 48 \end{pmatrix} \quad \vec{P}_5 = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

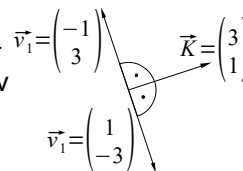
Vektoren der Kontur (→ Richtungsvektoren für die Geraden)

$$\begin{aligned} \vec{K}_{ij} &= \vec{P}_j - \vec{P}_i = \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_j - X_i \\ Y_j - Y_i \end{pmatrix} & \vec{K}_{23} &= \vec{P}_3 - \vec{P}_2 = \begin{pmatrix} 42 \\ 42 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 42 \\ 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 42 - 42 \\ 42 - 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 34 \end{pmatrix} \\ \vec{K}_{34} &= \vec{P}_4 - \vec{P}_3 = \begin{pmatrix} 5 \\ 48 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 42 \\ 42 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 - 42 \\ 48 - 42 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -34 \\ 6 \end{pmatrix} & \vec{K}_{45} &= \vec{P}_5 - \vec{P}_4 = \begin{pmatrix} 8 \\ 8 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 8 \\ 48 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 - 8 \\ 8 - 48 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -40 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Geradenvektoren der Kontur (→ Richtungsvektoren):

$$\begin{aligned} \vec{k}_{ij} &= \vec{P}_i + t \cdot \vec{K}_{ij} = \text{Stützvektor} + t \cdot \text{Richtungsvektor} & \vec{k}_{23} &= \vec{P}_2 + t \cdot \vec{K}_{23} = \begin{pmatrix} 42 \\ 8 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 34 \end{pmatrix} \\ \vec{k}_{34} &= \vec{P}_3 + t \cdot \vec{K}_{34} = \begin{pmatrix} 42 \\ 42 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} -34 \\ 6 \end{pmatrix} & \vec{k}_{45} &= \vec{P}_4 + t \cdot \vec{K}_{45} = \begin{pmatrix} 8 \\ 48 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ -40 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Die Fräsermittelpunktbahnen erhält man durch Parallelverschiebung der Konturgeraden um 6 (=d/2). Dazu erzeuge ich einen Versatzvektor, der rechtwinklig zum Richtungsvektor steht, indem ich die Koordinaten des Richtungsvektors vertausche und eine davon negativ mache. Welche Koordinate negiert wird, bestimmt die Richtung der Parallelverschiebung. Für den Abstand der Parallelverschiebung teile ich den Versatzvektor durch seine Länge und multipliziere ihn gleichzeitig mit dem Abstand 6. Das Ergebnis addiere ich zu den Geradenvektoren der Kontur und erhalte die Geradenvektoren $\vec{f}$ der Fräsermittelpunktbahnen.



$$\begin{aligned} \vec{f}_{23} &= \vec{P}_2 + t \cdot \vec{K}_{23} + \frac{\text{gewünschter Abstand}}{\text{Länge}(\vec{v})} \cdot \vec{v}_{\perp K_{23}} \\ &= \begin{pmatrix} 42 \\ 8 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 34 \end{pmatrix} + \frac{6}{\sqrt{34^2 + (-0)^2}} \cdot \begin{pmatrix} 34 \\ -0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 42 \\ 8 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 34 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 6 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 42 + 6 \\ 8 + 0 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 34 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 48 \\ 8 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 34 \end{pmatrix} \\ \vec{f}_{34} &= \begin{pmatrix} 42 \\ 42 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} -34 \\ 6 \end{pmatrix} + \frac{6}{\sqrt{34^2 + 6^2}} \cdot \begin{pmatrix} 6 \\ -(-34) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 42 \\ 42 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} -34 \\ 6 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1,0427 \\ 5,9087 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 43,0427 \\ 47,9087 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} -34 \\ 6 \end{pmatrix} \\ \vec{f}_{45} &= \begin{pmatrix} 8 \\ 48 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ -40 \end{pmatrix} + \frac{6}{\sqrt{(-40)^2 + (-0)^2}} \cdot \begin{pmatrix} -40 \\ -0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ 48 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ -40 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

(Zu klären: Bei den Versatzvektoren wurde immer das Vorzeichen der Y-Koordinate gedreht. Hängt das mit der Richtung der Werkzeugbahnkorrektur zusammen?)

Schnittpunkt P'3 der Fräsermittelpunktbahnen $\vec{f}_{23}$ und $\vec{f}_{34}$:

$$\vec{f}_{23} = \vec{f}_{34} = \begin{pmatrix} 48 \\ 8 \end{pmatrix} + t_{23} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 34 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 43,0427 \\ 47,9087 \end{pmatrix} + t_{34} \cdot \begin{pmatrix} -34 \\ 6 \end{pmatrix}$$

Aufsplitten in Koordinaten:

$$48 + t_{23} \cdot 0 = 43,0427 + t_{34} \cdot (-34) \rightarrow t_{34} = \frac{48 - 43,0427}{-34} = -0,1458029$$

$$8 + t_{23} \cdot 34 = 47,9087 + t_{34} \cdot 6 \rightarrow t_{34} \text{ einsetzen} \rightarrow t_{23} = \frac{47,9087 - 0,1458029 \cdot 6 - 8}{34} = 1,1480554$$

Schnittpunkt P'3:

$$P'3 = \vec{f}_{34}(t_{34}) = \begin{pmatrix} 43,0427 \\ 47,9087 \end{pmatrix} - 0,1458029 \cdot \begin{pmatrix} -34 \\ 6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 48 \\ 47,034 \end{pmatrix} \quad \text{oder:}$$

$$P'3 = \vec{f}_{23}(t_{23}) = \begin{pmatrix} 48 \\ 8 \end{pmatrix} + 1,1480554 \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 34 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 48 \\ 47,034 \end{pmatrix}$$

Schnittpunkt P'4 der Fräsermittelpunktbahnen $\vec{f}_{34}$ und $\vec{f}_{45}$:

$$\vec{f}_{34} = \vec{f}_{45} = \begin{pmatrix} 43,0427 \\ 47,9087 \end{pmatrix} + t_{34} \cdot \begin{pmatrix} -34 \\ 6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 48 \end{pmatrix} + t_{45} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ -40 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow t_{34} = 1,2071382 \quad \text{und} \quad t_{45} = 0,1787882$$

$$P'4 = \vec{f}_{34}(t_{34}) = \begin{pmatrix} 43,0427 \\ 47,9087 \end{pmatrix} + 1,2071382 \cdot \begin{pmatrix} -34 \\ 6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 55,152 \end{pmatrix}$$

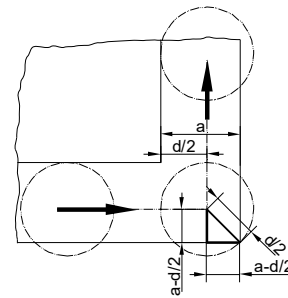


3.3 FräserØ um die Ecke im rechten Winkel ohne Rückstände

$$\left(\frac{d}{2}\right)^2 \geq \left(a - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(a - \frac{d}{2}\right)^2 \rightarrow$$

$$d \geq \sqrt{2} \cdot (2a - d) = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a - \sqrt{2} \cdot d$$

$$d \geq \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{(1 + \sqrt{2})} \cdot a = 1,172 \cdot a$$



3.4 Programm

N	G	X	Y	Z	...			...	...
N10	G00	X150	Y150	Z150	T..	S..	F..	M03	; Werkzeug Ø12
N20	G00	X-8	Y-3						; Startpunkt links außerhalb
N30	G00			Z-3					; Eintauchen seitlich
N40	G01	X0	Y2						; Außenkontur im Gleichlauf
N50	G01	X48							;
N60	G01		Y47,034						;
N70	G01	X2	Y55,152						;
N80	G01		Y-8						;
N90	G00			Z150					;
..									;
N180	G00	X150	Y150						;
N190								M30	; Programmende



4 G41, G42: Werkzeugbahnkorrektur

4.1 Richtungen bei der Werkzeugbahnkorrektur

Bahnkorrektur links

Befehl: **G41**..... (einschalten)

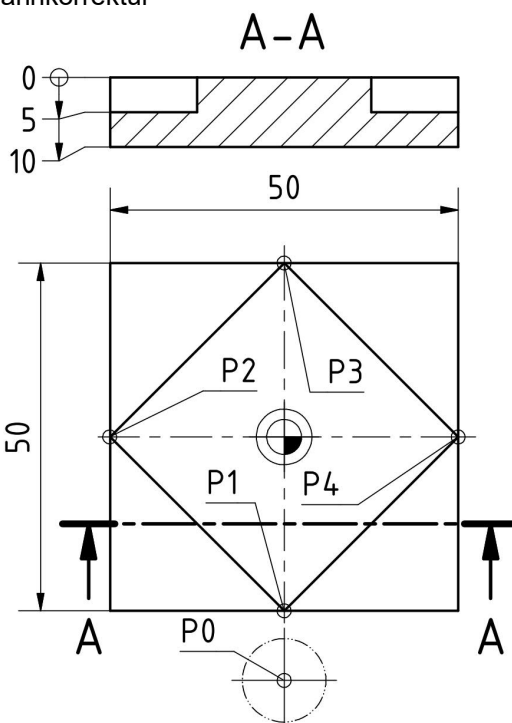
Befehl: **G40**..... (ausschalten)

Der Fräser fährt in Fahrtrichtung
links..... neben dem Werkstück.

Zusammen mit der M03 ergibt es
Gleich.....laufräsen.

Die Kontur (→ Beispiel) wird in folgender
Reihenfolge gefräst:

	X	Y	Z
P0	0	-40	-5
P1	0	-25	-5
P2	-25	0	-5
P3	0	25	-5
P4	25	0	-5
P5	-2	-27	-5



Bahnkorrektur rechts

Befehl: **G42**..... (einschalten)

Befehl: **G40**..... (ausschalten)

Der Fräser fährt in Fahrtrichtung
rechts..... neben dem Werkstück.

Zusammen mit der M03 ergibt es
Gegen.....laufräsen.

Die Kontur (→ Beispiel) wird in folgender
Reihenfolge gefräst:

	X	Y	Z
P0	0	-40	-5
P1	0	-25	-5
P4	25	0	-5
P3	0	25	-5
P2	-25	0	-5
P5	+2	-27	-5

4.2 Abstand zw. Kontur und Eckpunkt des Rohlings: $a \leq \frac{25 \text{ mm}}{\sqrt{2}} = 17,7 \text{ mm} < \text{Fräser} \varnothing 20 \text{ mm} \rightarrow \text{reicht.}$

4.3 Schnittdaten für die Platte aus S235.

Werkzeug	Werkzeug	d in mm	z	v_c in m/min	a_p in mm	f / f_z in mm	n in min^{-1}	v_f in mm/min
T6	HSS-Schaftfräser	20	4	100	30	0,10	1592	637

$$v_c = \pi \cdot d \cdot n \rightarrow n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{100 \text{ m/min}}{\pi \cdot 20 \text{ mm}} = 1592 \frac{1}{\text{min}}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,10 \text{ mm} \cdot 4 \cdot 1592 \frac{1}{\text{min}} = 637 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

4.4 S235 ist ein unlegierter Baustahl mit Streckgrenze $R_e = 235 \text{ MPa}$ und Zugfestigkeit $R_m = 360..510 \text{ MPa}$.

4.5 Programm (Gleichlauf):

N	G	...	X	Y	Z	...	M ...	Bemerkung
N10	G00		X150	Y150	Z150	T6	S1592 F637	M03 ; Werkzeugwechsel Ø20
N20	G00		X0	Y-40				
N30	G00				Z-5			; P00
N40	G41	G01	X0	Y-25				; Bahnkorrektur li ein, P1
N50	G01		X-25	Y0				; P2
N60	G01		X0	Y25				; P3
N70	G01		X25	Y0				; P4
N80	G01		X-2	Y-27				; P5
N90	G40	G00	X0	Y-40				; Bahnkorrektur aus
N100	G00				Z150			
N110								
N120	G00		X150	Y150				; Werkzeugwechselpunkt
N130							M30	; Programmende



5 G01: Alternative Wegbeschreibungen, Fasen, Rundungen

Zu Aufgabe 5.1: Technologische Daten

Werkzeug	Werkzeug Bezeichnung	d in mm	Z	v_c in m/min	a_p in mm	f/f_z in mm	n in min^{-1}	v_f in mm/min
T5	HSS-Schaftfräser	12	4	100	20	0,08	2652	849

Zu Aufgabe 5.1: Programm

N	G	...	X	Y	Z	...			M ...	Bemerkung
N10	G00		X200	Y200	Z200	T5	S2652	F849	M03	; Werkzeugwechsel Ø12, Schnittdaten
N20	G00		X2	Y-10						; Startpunkt in Verlängerung der 1. Bahn
N30	G00				Z-4					; Absenken
N40	G41	G01	X8	Y0						; Bahnkorrektur li, Startpunkt auf X8
N50	G01			Y42			RN+10			; linke Kante bis Y42 mit Radius 10
N60	G01			Y45		AS5				; Schräge 5° bis Y45
N70	G01					AS285	D25			; Schräge 15° mit Länge 25
N80	G01			YI-15		AS240	RN+5			; YI 15 mit Schräge 30° und Radius 5
N90	G01		X8				RN-10			; Waagerechte mit Fase 10x45°
N100	G01			Y60						; linke Kante, Reste bei X0 Y50 beseitigen
N110	G40	G00			Z200					; Bahnkorrektur aus, anheben
N120	G00		X200	Y200						; Werkzeugwechselpunkt
N130									M30	; Programmende



6 G90, G91: Absolute und relative Koordinatenangaben

6.1 Schriftzug: TGTM-J1

N	G	X	Y	Z	Bemerkung
N10	G00	X200	Y200	Z200	
	T3	S1592	F637	M03	; Werkzeugwechsel Ø8
N20	G00	X10	Y-50		; Startpunkt
N30	G00			Z2	; Sicherheitsabstand
N40	G91				; Kettenmaße
N50	G00		Y40		; T
N60	G01			Z-6	; T
N70	G01	X20			; T
N80	G01	X-10			; T
N90	G01		Y-40		; T
N100	G01			Z6	; T
N110	G00	X10			; T
N120	G00	X20			; Zeichenabstand
N130	G00	X10	Y20		; G
N140	G01			Z-6	; G
N150	G01	X10			; G
N160	G01		Y-20		; G
N170	G01	X-20			; G
N180	G01		Y40		; G
N190	G01	X20			; G
N200	G01			Z6	; G
N210	G00		Y-40		; G
N220	G00	X20			; Zeichenabstand
N230	G00		Y40		; T
N240	G01			Z-6	; T
N250	G01	X20			; T
N260	G01	X-10			; T
N270	G01		Y-40		; T
N280	G01			Z6	; T
N290	G00	X10			; T
N300	G00	X20			; Zeichenabstand

N	G	X	Y	Z	Bemerkung
N310	G01			Z-6	; M
N320	G01		Y40		; M
N330	G01	X10	Y-20		; M
N340	G01	X10	Y20		; M
N350	G01		Y-40		; M
N360	G01			Z6	; M
N370	G00	X20			; Zeichenabstand
N380	G00		Y20		; Minus
N390	G01			Z-6	; Minus
N400	G01	X20			; Minus
N410	G01			Z6	; Minus
N420	G00		Y-20		; Minus
N430	G00	X20			; Zeichenabstand
N440	G00		Y10		; J
N450	G01			Z-6	; J
N460	G01		Y-10		; J
N470	G01	X20			; J
N480	G01		Y40		; J
N490	G01			Z6	; J
N500	G00		Y-40		; J
N510	G00	X20			; Zeichenabstand
N520	G00		Y30		; 1
N530	G01			Z-6	; 1
N540	G01	X10	Y10		; 1
N550	G01		Y-40		; 1
N560	G01	X-10			; 1
N570	G01	X+20			; 1
N580	G01			Z6	; 1
N590	G00	X20			; Zeichenabstand
N600	G90				; absolut
N610	G00			Z200	
N620	G00	X200	Y200		
N630	M30				; Programmende

6.2 Schriftzug: LÖ-GWS 123 Zeichen siehe Lösung 7.3.

7 L, %: Unterprogramme

7.1 Schriftzug: „TGTM-J1“. Kodierung der Zeichen siehe Lösung 7.3.

N	G				Bemerkung
N10	G00	X200	Y200	Z200	; Werkzeugwechsel Ø8
	T3	S1592	F637	M03	
N20	G00	x0	y10		; Startpunkt
N30	G00			Z2	
N40	G91				
N50	G22	L98	H01		; Neue Zeile
N60	G22	L20	H01		; T
N70	G22	L99	H01		; Zeichenabstand
N80	G22	L07	H01		; G
N90	G22	L99	H01		; Zeichenabstand

N	G				Bemerkung
N100	G22	L20	H01		; T
N110	G22	L99	H01		; Zeichenabstand
N120	G22	L13	H01		; M
N130	G22	L99	H01		; Zeichenabstand
N140	G22	L31	H01		; -
N150	G22	L99	H01		; Zeichenabstand
N160	G22	L10	H01		; J
N170	G22	L99	H01		; Zeichenabstand
N180	G22	L41	H01		; 1
N190		M30			



7.2 Schriftzug: „Abschlussprüfung Bitte Ruhe“

Zeichen siehe Lösung 7.3.

7.3 Alle Unterprogramme für einen Zeichensatz 20x40 ohne RN

Die Unterprogramme sind nach den Zeilen und Spalten im Bild nummeriert: %00 ist nicht vergeben; %04 → D; %10 → J; %25 → Y

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%01				; A
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y40		
N40	G01	X20			
N50	G01		Y-20		
N60	G01	X-20			
N70	G01	X20			
N80	G01		Y-20		
N90	G00			Z6	
N100	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%02				; B
N20	G01			Z-6	
N30	G01	X20			
N40	G01		Y20		
N50	G01	X-10			
N60	G01	X10	Y10		
N70	G01		Y10		
N80	G01	X-20			
N90	G01		Y-40		
N100	G01			Z6	
N110	G01	X20			
N120	M17				

A B C D E F G H I
J K L M N O P Q R S
T U V W X Y Z Ä Ö Ü
-
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Zeichen im 20x40-Raster mit Ø8
ohne RN

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%03				; C
N20	G00	X20	Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X-10			
N50	G01	X-10	Y-10		
N60	G01		Y-20		
N70	G01	X10	Y-10		
N80	G01	X10			
N90	G01			Z6	
N100	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%04				; D
N20	G01			Z-6	
N30	G01	X10			
N40	G01	X10	Y10		
N50	G01		Y20		
N60	G01	X-10	Y10		
N70	G01	X-10			
N80	G01		Y-40		
N90	G01			Z6	
N100	G00	X20			
N110	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%05				; E
N20	G00	X20	Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X-20			
N50	G01		Y-20		
N60	G01	X+10			
N70	G01	X-10			
N80	G01		Y-20		
N90	G01	X+20			
N100	G01			Z6	
N110	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%06				; F
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y20		
N40	G01	X10			
N50	G01	X-10			
N60	G01		Y20		
N70	G01	X20			
N80	G01			Z6	
N90	G01		Y-40		
N100	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%07				; G
N20	G00	X10	Y20		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X10			
N50	G01		Y-20		
N60	G01	X-20			
N70	G01		Y40		
N80	G01	X20			
N90	G01			Z6	
N100	G00		Y-40		
N110	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%08				; H
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y40		
N40	G01		Y-20		
N50	G01	X20			
N60	G01		Y20		
N70	G01		Y-40		
N80	G01			Z6	
N90	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%09				; I
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X20			
N50	G01	X-10			
N60	G01		Y-40		
N70	G01	X-10			
N80	G01		x20		
N90	G01			Z6	
N100	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%10				; J
N20	G00		Y10		
N30	G01			Z-6	
N40	G01		Y-10		
N50	G01	X20			
N60	G01		Y40		
N70	G01			Z6	
N80	G00		Y-40		
N90	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%11				; K
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y40		
N40	G01			Z6	
N50	G00	X20			
N60	G01			Z-6	
N70	G01	X-20	Y-20		
N80	G01	X20	Y-20		
N90	G01			Z6	



N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%12				; L
N20	G01		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01		Y-40		
N50	G01	X20			
N60	G01			Z6	
N70	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%13				; M
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y40		
N40	G01	X10	Y-20		
N50	G01	X10	Y20		
N60	G01		Y-40		
N70	G01			Z6	
N80	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%14				; N
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y40		
N40	G01	X20	Y-40		
N50	G01		Y40		
N60	G01			Z6	
N70	G00		Y-40		
N80	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%15				; O
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y40		
N40	G01	X20			
N50	G01		Y-40		
N60	G01	X-20			
N70	G01			Z6	
N80	G00		x20		
N90	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%16				; P
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y40		
N40	G01	X20			
N50	G01		Y-20		
N60	G01	X-20			
N70	G01			Z6	
N80	G00	X20	Y-20		
N90	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%17				; Q
N20	G01			Z-6	
N30	G01	X10			
N40	G01	X10	Y10		
N50	G01		Y30		
N60	G01	X-20			
N70	G01		Y-40		
N80	G01			Z6	
N90	G00	X10	Y10		
N100	G01			Z-6	
N110	G01	X10	Y-10		
N120	G01			Z6	
N130	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%18				; R
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y40		
N40	G01	X20			
N50	G01		Y-20		
N60	G01	X-20			
N70	G01	X10			
N80	G01	X10	Y-20		
N90	G01			Z6	
N100	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%19				; S
N20	G01			Z-6	
N30	G01	X20			
N40	G01		Y20		
N50	G01	X-20			
N60	G01		Y20		
N70	G01	X20			
N80	G01			Z6	
N90	G00		Y-40		
N100	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%20				; T
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X20			
N50	G01	X-10			
N60	G01		Y-40		
N70	G01			Z6	
N80	G00	X10			
N90	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%21				; U
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01		Y-40		
N50	G01	X20			
N60	G01		Y40		
N70	G01			Z6	
N80	G00		Y-40		
N90	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%22				; V
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X10	Y-40		
N50	G01	X10	Y40		
N60	G01			Z6	
N70	G00		Y-40		
N80	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%23				; W
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01		Y-40		
N50	G01	X10	Y20		
N60	G01	X10	Y-20		
N70	G01		Y40		
N80	G01			Z6	
N90	G00		Y-40		
N100	M17				



N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%24				; X
N20	G01			Z-6	
N30	G01	X20	Y40		
N40	G01			Z6	
N50	G00	X-20			
N60	G01			Z-6	
N70	G01	X20	Y-40		
N80	G01			Z6	
N90	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%25				; Y
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X10	Y-20		
N50	G01	X10	Y20		
N60	G01	X-10	Y-20		
N70	G01		Y-20		
N80	G01			Z6	
N90	G00	X10			
N100	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%26				; Z
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X20			
N50	G01	X-20	Y-40		
N60	G01	X20			
N70	G01			Z6	
N80	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%27				; Ä
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y20		
N40	G01	X10	Y20		
N50	G01	X10	Y-20		
N60	G01		Y-20		
N70	G01		Y+20		
N80	G01	X-20			
N90	G01			Z6	
N100	G00		Y20		
N110	G01			Z-6	
N120	G01			Z6	
N130	G00	X20			
N140	G01			Z-6	
N150	G01			Z6	
N160	G00		Y-40		
N170	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%28				; Ö
N20	G01			Z-6	
N30	G01		Y30		
N40	G01	X20			
N50	G01		Y-30		
N60	G01	X-20			
N70	G01			Z6	
N80	G00		Y40		
N90	G01			Z-6	
N100	G01			Z6	
N110	G00	X20			
N120	G01			Z-6	
N130	G01			Z6	
N140	G00		Y-40		
N150	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%29				; Ü
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01			Z6	
N50	G01		Y-10		
N60	G01			Z-6	
N70	G01		Y-30		
N80	G01	X20			
N90	G01		Y30		
N100	G01			Z6	
N110	G00		Y10		
N120	G01			Z-6	
N130	G01			Z6	
N140	G00		Y-40		
N150	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%30				; Leer
N20	G00	X20			
N30	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%31				; -
N20	G00		Y20		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X20			
N50	G01			Z6	
N60	G00		Y-20		
N70	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%32				; Punkt
N20	G01			Z-6	
N30	G01			Z+6	
N40	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%40				; 0
N20	G00		Y10		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X20	Y20		
N50	G01		Y10		
N60	G01	X-20			
N70	G01		Y-40		
N80	G01	X20			
N90	G01		Y30		
N100	G01			Z6	
N110	G00		Y-30		
N120	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%41				; 1
N20	G00		Y30		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X10	Y10		
N50	G01		Y-40		
N60	G01	X-10			
N70	G01	X+20			
N80	G01			Z6	
N90	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%42				; 2
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X20			
N50	G01		Y-10		
N60	G01	X-20	Y-30		
N70	G01	X20			
N80	G01			Z6	
N90	M17				



N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%43				; 3
N20	G01			Z-6	
N30	G01	X20			
N40	G01		Y20		
N50	G01	X-10			
N60	G01	X10	Y20		
N70	G01	X-20			
N80	G01			Z6	
N90	G00	X20	Y-40		
N100	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%44				; 4
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01		Y-20		
N50	G01	X20			
N60	G01	X-10			
N70	G01		Y10		
N80	G01		Y-30		
N90	G01			Z6	
N100	G00	X10			
N110	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%45				; 5
N20	G01			Z-6	
N30	G01	X20			
N40	G01		Y10		
N50	G01	X-10	Y10		
N60	G01	X-10			
N70	G01		Y20		
N80	G01	X20			
N90	G01			Z6	
N100	G00		Y-40		
N110	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%46				; 6
N20	G01		Y20		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X20			
N50	G01		Y-20		
N60	G01	X-20			
N70	G01		Y40		
N80	G01	X20			
N90	G01			Z6	
N100	G00		Y-40		
N110	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%47				; 7
N20	G00		Y40		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X20			
N50	G01	X-10	Y-40		
N60	G01			Z6	
N70	G01	X10			
N80	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%48				; 8
N20	G01		Y20		
N30	G01			Z-6	
N40	G01	X20			
N50	G01		Y-20		
N60	G01	X-20			
N70	G01		Y40		
N80	G01	X20			
N90	G01		Y-40		
N100	G01			Z6	
N110	M17				

N	G	X	Y	Z	Bem.
N10	%49				; 9
N20	G01			Z-6	
N30	G01	X20			
N40	G01		Y40		
N50	G01	X-20			
N60	G01		Y-20		
N70	G01	X20			
N80	G01			Z6	
N90	G01		Y-20		

N	G	X	Y	Bem.
N10	%98			; LF CR
N20	G90			
N30	G00	X10		
N40	G91			
N50	G00		Y-60	
N60	M17			

N	G	X	Bem.
N10	%99		; Zeichenabstand
N20	G00	X20	
N30	M17		

7.4 Der hier dargestellte Zeichensatz ist nach den Regeln wie in Aufgabe 6 bzw. Lösung 7.3 programmiert, wobei zusätzlich RN+8 eingesetzt wurde.

ABCDEFGHI
JKLMNOPQRS
TUVWXYZÄÖÜ
-
0123456789

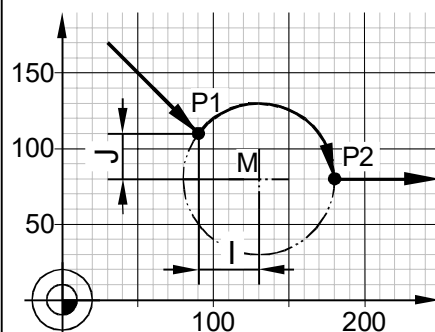
Zeichen im 20x40-Raster mit Ø8 und RN+8



8 G02, G03: Kreisinterpolation

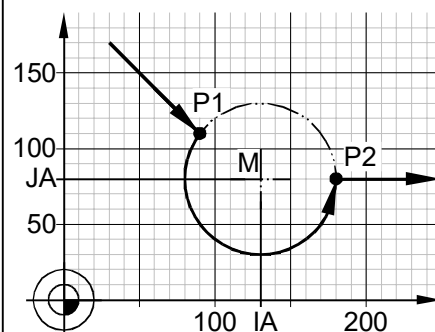
Definition eines Kreisbogens mit Startpunkt P1, Endpunkt P2 und Mittelpunkt M

G02: Kreis im Uhrzeigersinn



N80 G01... X90... Y110... P1
N90 G02... X180... Y80... I40... J-30... P2

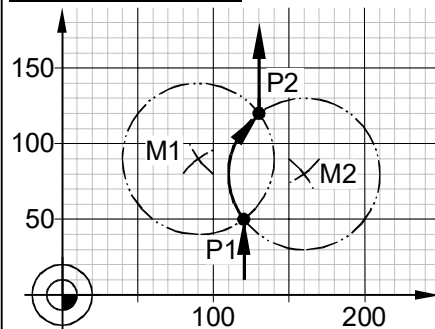
G03: Kreis gegen den Uhrzeiger



N80 G01... X90... Y110... P1
N90 G03... X180... Y80... I40... J-30... P2
N90 G03... X190... Y1-30... I40 J-30 ; P2

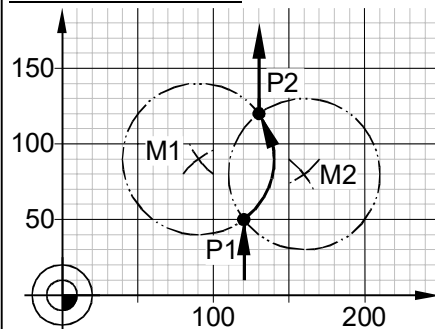
Definition eines Kreisbogens mit Startpunkt P1, Endpunkt P2 und Radius R

**R.. O1 : der kürzere Kreisbogen
zusammen mit G02**



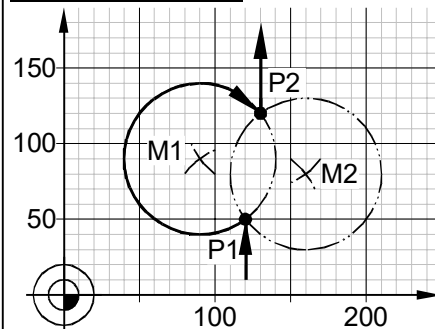
N80 G01... X120.. Y50... P1
N90 G02... X130... Y120... R50... O1... P2

zusammen mit G03



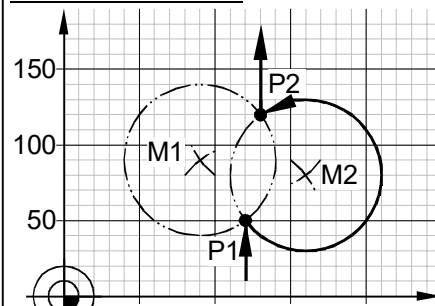
N80 G01... X120.. Y50... P1
N90 G03... X130... Y120... R50... O1... P2
N90 G03... X110... Y170... R50... O1... P2

**R.. O2 : der längere Kreisbogen
zusammen mit G02**



N80 G01... X120.. Y50... P1
N90 G02... X130... Y120... R50... O2... P2
N90 G02... X110... Y170... R50... O2... P2

zusammen mit G03



N80 G01... X120.. Y50... P1
N90 G03... X130... Y120... R50... O2... P2



8.3 Tangentialpunkte R8

$$P18a_y = P18_y - j = 51,301 - \frac{R8}{\tan 15^\circ} = 51,301 - 29,856 = 21,445 \text{ mm}$$

$$P18b_x = P18_x - k = 100 - j \cdot \sin 30^\circ = 100 - 29,8564 \cdot \sin 30^\circ = 100 - 14,928 = 85,072 \text{ mm}$$

$$P18b_y = P18_y - l = 51,301 - j \cdot \cos 30^\circ = 51,301 - 29,8564 \cdot \cos 30^\circ = 51,301 - 25,856 = 25,445 \text{ mm}$$

Tabelle der Konturpunkte

Punkt	X	Y	Z		
P0	X2	Y-10	Z-6		
P0a	X8	Y0	Z-6		
P1	X8	Y32	Z-6		
P2	X8	Y48	Z-6	I0	J8
P3	X8	Y64,5	Z-6		
P4	X15,5	Y72	Z-6	I0	J7,5
P5	X20	Y72	Z-6		
P6	X44	Y72	Z-6	IA32	JA81
P7	X52	Y72	Z-6		
P8	X68	Y72	Z-6	R10	O2
P9	X79,693	Y72	Z-6		
P10	X96,307	Y72	Z-6	R13	O1
P11	X105	Y72	Z-6		
P12	X112	Y52,739	Z-6	R30	O1
P13	X112	Y44	Z-6		
P14	X105,656	Y30,395	Z-6	AS245	
P15	X112	Y20,437	Z-6	R7	O1
P16	X112	Y8	Z-6	RN+5	
P17	X100	Y8	Z-6		
P18a	X100	Y21,445	Z-6		
P18	X100	Y51,301	Z-6	RN+8	
P18b	X85,072	Y25,445	Z-6		
P19	X75	Y8	Z-6		
P20	X68,5	Y8	Z-6		
P21	X53,944	Y13,965	Z-6	R8,5	O1
P21a	X51,5	Y8	Z-6		
P22	X39,696	Y8	Z-6	R20	O1
P23	X21,748	Y8	Z-6		
P24	X8	Y15	Z-6	R17	



8.4 Programm für die Kurvenplatte

N	G	...	X	Y	Z	...			M...	Bemerkung
N10	G00		X200	Y200	Z200	T5	S1592	F637	M03	; Werkzeugwechsel Ø12
N20	G00		X2	Y-10						; Startpunkt in Verlängerung der 1. Bahn
N30	G00				Z-6					; Absenken
N40	G41	G01	X8	Y0						; P0a
N50	G01			Y32						; P01
N60	G03			Y48	I0	J8				; P02
N70	G01			Y64,5						; P03
N80	G03		X15,5	Y72			R10	O1		; P04 - PALmill hat hier Probleme, R8 klappt
N90	G01		X20							; P05
N100	G03		X44		IA32	JA81				; P06
N110	G01		X52							; P07
N120	G03		X68				R10	O2		; P08
N130	G01		X79,693							; P09
N140	G02		X96,307				R13	O1		; P10
N150	G01		X105							; P11
N160	G02		X112	Y52,739			R30	O1		; P12
N170	G01			Y44						; P13
N180	G01		XI-6,344				AS245			; P14
N190	G03		X112	Y20,436			R7	O1		; P15 – PALmill schluckt Kombi XI, Y nicht
N200	G01			Y8			RN+5			; P16
N210	G01		X100							; P17
N220	G01			YI43,301			RN+8			; P18
N230	G01			Y8			AS240			; P19
N240	G01		X68,5							; P20
N250	G03		X53,944	Y13,965			R8,5	O1		; P21
N260	G02		X39,696	Y8			R20	O1		; P22
N270	G01		X21,748							; P23
N280	G02		X8	Y15			R17	O1		; P24
N290	G01		X-10							;
N300	G00				Z2					;
N310	G40	G00			Z200					; Bahnkorrektur aus, anheben
N320	G00		X200	Y200						; Werkzeugwechsellpunkt
N330									M30	; Programmende

P21 und P22 können auch mit RN umgangen werden:

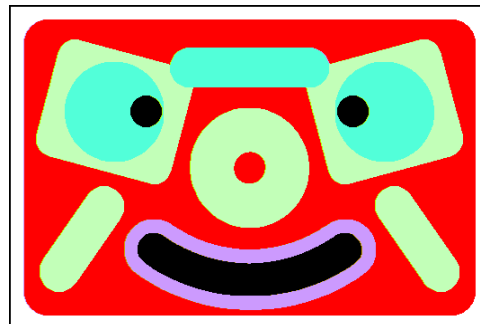
N240	G01		X68,5							; P20
N250	G03		X51,5				R8,5	O1	RN+20	; P21a
N260										; entfällt
N270	G01		X21,748							; P23



9 G72..75, G79 Taschen- und Nutenzyklen und Zyklusaufruf

9.1 Schnittdaten für die Platte aus Al

Werkzeug	Werkzeug	d in mm	z	v_c in m/min	a_p in mm	f/f_z in mm	n in min^{-1}	v_f in mm/min
T2	HSS-Schaftfräser	6	4	100	5	0,06	5305	1273
T3	HSS-Schaftfräser	8	4	100	5	0,073	3979	1162
T5	HSS-Schaftfräser	12	4	100	5	0,10	2653	1061



Die Lachplatte, simuliert mit PALmill

9.2 Programm für die Lachplatte

N	G	...	X	Y	Z	...	...	...	...	...	M ...	Bemerkung
N10	G00		X200	Y200	Z200	T5	S2653	F1061			M03	; Werkzeug Ø12
N20	G00		X60	Y40								; Startpunkt
N30	G00				Z2							;
N40	G72		LP114	BP74	ZA-1			D6	V2			; Gesicht, Rechtecktasche
N50	G79		X60	Y40								; Gesicht
N60	G00		X200	Y200	Z200	T3	S3979	F1082			M03	; Werkzeug Ø8
N70	G00		X25	Y54								; Startpunkt
N80	G00				Z2							;
N90	G72		LP35	BP30	ZA-3			D6	V2			; Brillenglas
N100	G79		X26	Y54		AR165						; li
N110	G79		X94	Y54		AR15						; re
N120	G74		LP40	BP10	ZA-6			D6	V2			; Brillensteg, Nutenfräszyklus
N130	G79		X45	Y65		AR0						; Brillensteg
N140	G74		LP30	BP10	ZA-3			D6	V2			; Grübchen
N150	G79		X12	Y14		AR55						; li
N160	G79		X108	Y14		AR125						; re
N170	G73				ZA-6	R12,5		D8	V2			; Auge, Kreistasche
N180	G79		X26	Y54								; li
N190	G79		X94	Y54								; re
N200	G81				ZA-21				V2			; Pupille, Kreistasche
N210	G79		X34	Y54								; li
N220	G79		X86	Y54								; re
N230	G73				ZA-3	R15	RZ4	D8	V2			; Nase, Kreistasche
N240	G79		X60	Y40								; Nase
N250	G00				Z200							;
N260	G00		X200	Y200		T4	S2653	F1061			M03	; Werkzeug Ø10, Palmill verlangt Ø 55-90% der Nutbreite
N270	G00		X60	Y54								; Startpunkt
N280	G00				Z2							;
N290	G75		BP15	RP42	ZA-10	AN235	AP305	D5	V2		EP0	; Lippen
N300	G79		X60	Y54								; Lippen
N310	G00		X200	Y200	Z200	T7	S5305	F1273			M03	; Werkzeug Ø6
N320	G00		X60	Y54								; Startpunkt
N330	G00				Z2							;
N340	G75		BP8	RP42	ZA-21	AN235	AP305	D4	V2	W2	EP0	; Mund
N350	G79		X60	Y54	Z-8							; Mund
N360	G00				Z200							;
N370	G00		X200	Y200								;
N380	M30											;



10 G81: (Gewinde-)bohren und Senken mit Mehrfach-Zyklenaufrufen

10.1 Programm für die Käseplatte

N	G	...	X	Y	Z	...	...	...	...	...	M ...	Bemerkung
N10	G00	X200	Y200	Z200	T1	S2653	F1061				M03	; NC-Anbohrer Ø12
N20	G00	X50	Y50									; Rückzugspunkt nach Zyklusaufwurf
N30	G00			Z2								;
N40	G81			ZA-6			V2					; Ecken Ansenken
N50	G77	IA50	JA50		R56,569	AN45	AI90	O4				; Teilkreisaufwurf
N60	G81			ZA-4			V2					; M8, Ø8 Ansenken
N70	G77	IA50	JA50		R35	AN60	AI60	O2				; 2xM8
N80	G77	IA50	JA50		R12,5	AN90	AI72	O5				; 5xØ8
N90	G79	X50	Y50									; 1xØ8
N100	G00	X200	Y200	Z200	T10	S2653	F1061				M03	; Bohrer Ø6,8
N110	G00	X50	Y50									; Rückzugspunkt nach Zyklusaufwurf
N120	G00			Z2								;
N130	G81			ZA-16			V2					; Ecken Bohren
N140	G77	IA50	JA50	Z2	R56,569	AN45	AI90	O4				; Teilkreis Ecken
N150	G77	IA50	JA50		R35	AN60	AI60	O2				; 2xM8
N160	G00	X200	Y200	Z200	T12	S2653	F1061				M03	; Gewindebohrer M8
N170	G00	X50	Y50									; Rückzugspunkt nach Zyklusaufwurf
N180	G00			Z2								;
N190	G84			ZA-16	F1,25	M3	V2					;
N200	G77	IA50	JA50		R35	AN60	AI60	O2				; 2xM8
N210	G00	X200	Y200	Z200	T11	S2653	F1061				M03	; Bohrer Ø8
N220	G00	X50	Y50									; Rückzugspunkt nach Zyklusaufwurf
N230	G00			Z2								;
N240	G81			ZA-16			V2					; Ø8 Bohren
N250	G77	IA50	JA50		R12,5	AN90	AI72	O5				; 5xØ8
N260	G79	X50	Y50									; 1xØ8
N270	G00	X200	Y200	Z200	T02	S2653	F1061				M03	; Schaftfräser Ø8
N280	G00	X50	Y50									; Rückzugspunkt nach Zyklusaufwurf
N290	G00			Z2								;
N300	G74	LP20	BP10	ZA-2		D4	V2					; Nut 20x10
N310	G77	IA50	JA50		R12,5	AN90	AI72	O5	AR90	Q1		; 5xØ8
N320	G00	X200	Y200	Z200	T07	S2653	F1061				M03	; Langlochbohrnutenfräser Ø4
N330	G00	X50	Y50									; Rückzugspunkt nach Zyklusaufwurf
N340	G00			Z2								;
N350	G74	LP15	BP5	ZA-13		D4	V2					; Nut 15x5
N360	G76	X25	Y10		AS0	D20	O3					; Nutenreihe unten
N370	G76	X25	Y20		AS0	D20	O3					; Nutenreihe unten
N380	G76	X15	Y30		AS90	D15	O3	AR150				; Nutenreihe links
N390	G76	X85	Y30		AS90	D15	O3	AR30				; Nutenreihe rechts
N400	G00	X200	Y200	Z200								;
N410											M30	;

11 Schruppen mit Aufmaß

11.1 Überlegungen zum Schruppen

Grundgedanke: In diesem Beispiel soll erst die Fläche über Y70 geschruppt werden, danach die Kontur mit Schlichtaufmaß und zuletzt die Reste, die stehen bleiben. Im letzten Schritt wird die Kontur geschlichtet. Andere Lösungen sind ebenfalls möglich.

65..80% des Fräasers entspricht beim Fräser Ø10 einer opt. Schnittbreite von 6,5 .. 8 mm.

I: Fläche Y120 – Y71

49mm Schnittbreite bei 8 mm pro Schnitt erfordern 6,25 Schnitte quer zur Fläche. Da die Kontur bei Y70 nochmals abgefahren wird, genügen 6 Schnitte á 8 mm = 48 mm, um die Fläche bis Y72 (=120-6x8) zu schruppen. Eine gerade Zahl Schnitte bedeutet, dass man links starten muss, wenn man links enden möchte.

II: Fläche X0Y70 (Y72) – X46Y56

16mm Schnittbreite erfordert 2 weitere Schnitte á 8 mm quer zur Fläche bis Y56, wobei der 2. Schnitt im Gegenlauf am Schlichtaufmaß bei Y56 stattfinden würde. Deshalb wird hier eine andere Variante gewählt und nach dem 1. Schnitt mit Konturfräsen in Richtung Kreistasche Ø30 fortgesetzt. Links oben bleibt Material bis X0Y64 und X35Y64 stehen.

III: Durchgang zwischen X34 und Y46

ist mit 12 mm breit genug, dass der Fräser Ø10 beidseitig das Schlichtaufmaß stehen lässt.

IV: Kreistasche Ø30

Nach dem Schruppen mit Schlichtaufmaß bleibt ein Zapfen Ø8 stehen.

V: Hohlkehle R10

Es bleiben Reste im Viereck X72,9 Y72 – X73 Y71 – X80 Y68,1 – X80 Y72 stehen (→ Bild)

VI: Kontur X72

Schnittbreite 7 mm liegt im optimalen Bereich.

VII Radius R8

Es bleiben Reste im Dreieck X80 Y7,8 – X80 Y0 – X70 Y0 stehen (→ Bild)

VIII: Kontur Y10

Die Schnittbreite wird 9mm. Die Abweichung vom optimalen Wert kann toleriert werden.

IX: Fase 10x45°

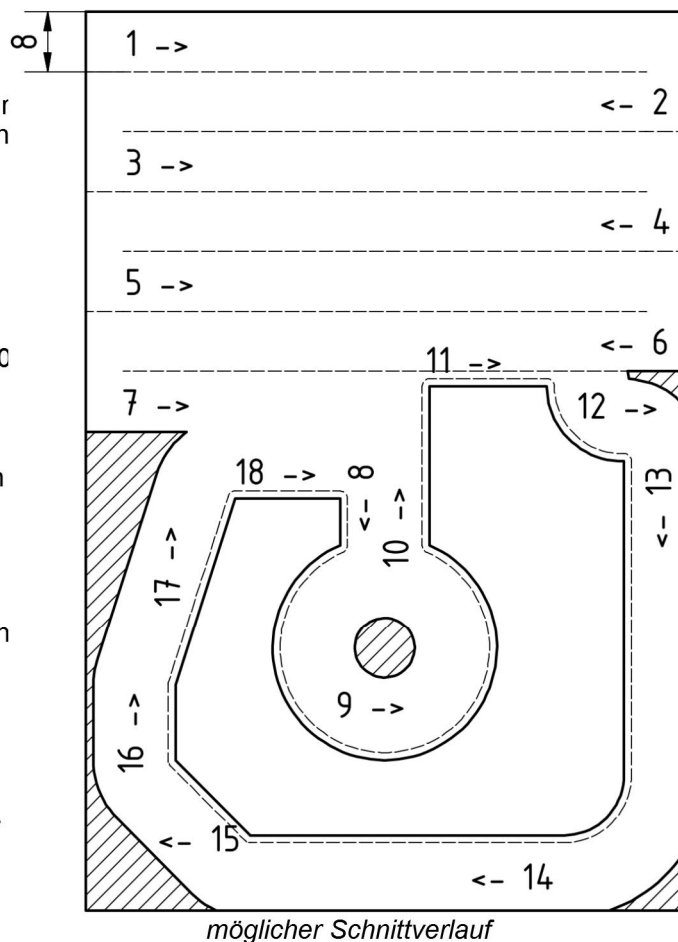
Es bleiben Reste im Dreieck X17,7 Y0 – X1 Y20 – X1 Y0 und der Streifen links von X1 stehen (→ Bild)

X: Kontur X12

Es bleibt ein Streifen links von X1 stehen (→ Bild)

XI: Abschrägung 25x8°

Es bleiben Reste im Dreieck X1 Y20 – X1 Y64 – X13,3 Y64 und der Streifen links von X1 stehen (→ Bild)





11.2 Programm für die Schruppplatte

N	G	...	X	Y	Z	...	...	...	M ...	Bemerkung
N10	G00		X200	Y200	Z200	T4	S1592	F467	M03	; Werkzeug Ø10
N20	G00		X-7	Y117						; Startpunkt
N30	G00				Z-6					;
N50	G01		XI82							; Schruppen 1
N60	G01			YI-8						;
N70	G01		XI-82							; Schruppen 2
N80	G01			YI-8						;
N90	G01		XI82							; Schruppen 3
N100	G01			YI-8						;
N110	G01		XI-82							; Schruppen 4
N120	G01			YI-8						;
N130	G01		XI82							; Schruppen 5
N140	G01			YI-8						;
N150	G01		XI-82							; Schruppen 6
N160	G01			YI-8						;
N170	G01		X40							; Schruppen 7
N180	G41					TR1				; Bahnkorrektur und Schlichtaufmaß 1
N190	G01		X34	Y55						; Kontur +1, Schruppen 8a
N200	G01			Y48,748						; Kontur +1, Schruppen 8b
N210	G03		X46	Y48,748		R15	O2			; Kontur +1, Schruppen 9
N220	G01			Y70						; Kontur +1, Schruppen 10
N230	G01		X62							; Kontur +1, Schruppen 11
N240	G03		X72	Y60		R10	O1			; Kontur +1, Schruppen 12
N250	G01			Y10		RN8				; Kontur +1, Schruppen 13
N260	G01		X12			RN-10				; Kontur +1, Schruppen 14
N270	G01			Y30						; Kontur +1, Schruppen 16
N280	G01		X20	Y55						; Kontur +1, Schruppen 17
N290	G01		X40							; Kontur +1, Schruppen 18
N300	G40					TR0				; Schlichtaufmaß aus
N310	G01			Y35						; Rest IV
N320	G01				Z2					;
N330	G00		X86	Y70						;
N340	G00				Z-6					;
N350	G01		X75							; Rest V
N360	G01		X86							;
N370	G00			Y4,5						;
N380	G01		X72							; Rest VII
N390	G01			Y-6						; Rest VII
N400	G00		X17							;
N410	G01			Y4						; Rest IX
N420	G01		X-1							; Rest IX
N430	G01		X4	Y8						; Rest IX
N440	G01			Y64						; Rest X
N450	G01		X10							;
N460	G01			Y60						;
N470	G41	G01	X22	Y55			S4775	F1400		;
N480	G01		X34	Y55						; Kontur Schlichten
N490	G01			Y48,748						; Kontur Schlichten
N500	G03		X46	Y48,748		R15	O2			; Kontur Schlichten
N510	G01			Y70						; Kontur Schlichten
N520	G01		X62							; Kontur Schlichten
N530	G03		X72	Y60		R10	O1			; Kontur Schlichten
N540	G01			Y10		RN8				; Kontur Schlichten
N550	G01		X12			RN-10				; Kontur Schlichten
N560	G01			Y30						; Kontur Schlichten
N570	G01		X20	Y55						; Kontur Schlichten
N580	G01		X40							; Kontur Schlichten
N590	G40									;
N600	G00				Z200					;
N610	G00		X200	Y200						;
N620	M30									;



12 Linearinterpolation mit Polarkoordinaten

N	G	...	X	Y	Z	...			M ...	Bemerkung
N10	G00		X200	Y200	Z200	T6	S955	F382	M03	; Werkzeugwechsel Ø20, Schnittdaten
N20	G00		X70	Y0						; Startpunkt in Verlängerung der 1. Bahn
N30	G00				Z-4					; Absenken
N40	G41	G01	X50	Y7						; Bahnkorrektur li, Startpunkt auf X8
N50	G11		IA25	JA25		RP20,785	AP240	RN+1		; linke Kante bis Y42 mit Radius 10
N60	G11		IA25	JA25		RP20,785	AP180	RN+1		; Schräge 5° bis Y45
N70	G11		IA25	JA25		RP20,785	AP120	RN+1		; Schräge 15° mit Länge 25
N80	G11		IA25	JA25		RP20,785	AP60	RN+1		; Y inkremental 15 mit Schräge 30° und mit Radius 5
N90	G11		IA25	JA25		RP20,785	AP0	RN+1		; Waagerechte mit Fase 10x45°
N100	G11		IA25	JA25		RP20,785	AP300	RN+1		; linke Kante, Reste bei X0 Y50 beseitigen
N110	G01		XI-5							; Bahnkorrektur aus, anheben
N120	G01				Z2					
N130	G40	G00			Z200					
N140	G00		X200	Y200						; Werkzeugwechselpunkt
N150									M30	; Programmende