

Persönliches Vorwort

Auf "meine alten Tage" hab' ich mich doch noch mal daran gemacht, das 20 Jahre alte PALmill noch einmal upzudaten und vor allem 5-achs-tauglich zu machen. Nach vielen Fehlversuchen ist es mir endlich gelungen, den "grauen Pixelwolken" die richtigen Farbflächen zu verpassen und das mit einer recht kurzen Berechnungszeit. Die (leicht verzerrt wirkende) Kavalliersperspektive lässt sich zwar weder drehen noch zoomen, dafür ist sie aber schnell und ich brauche mir kein (von CAD/CAM-Programmen verwendetes) Constructive Solid Geometry (CSG) zu kaufen. Nachdem die Simulation beendet (oder abgebrochen) ist, kann man die Seitenansicht oder die Draufsicht des Werkstücks anschauen; mit Hilfe einer Scrollbar kann man dort auch beliebige Schnitte generieren.

Leider bleiben manchmal bei schrägen Flächen einige widerborstige Pixel im Raum stehen, oder manche Fläche wirkt etwas scheckig, auch sind Gewinde sehr "platt", aber dennoch kann man zu jeder Zeit das Ergebnis des CNC-Programms erkennen. (Jede weitere Grafikoptimierung bedeutet unangemessene Programmier- und Rechenzeit.)

Weil PALmill keine Vektoren, sondern Pixel verwendet, ist die Genauigkeit der Simulation leider nur begrenzt und der erforderliche Speicherplatz (RAM) des Rechners sollte min. 2 MB betragen. Dafür sind die Anforderungen an die Grafikkarte sehr gering; alles macht die CPU alleine.

PALmill5 ist keine Freeware, sondern eine sog. CAREware:

PALmill kann zum Lernen kostenlos genutzt werden, aber es würde mich sehr freuen, wenn auch du mitmachen würdest, einen Teil deiner Freizeit für die Allgemeinheit einzusetzen. Habe Mut dazu!

Viel Spaß und Erfolg beim Lernen.

Oberhausen im Spätsommer 2015



H. Klinkner (ehem. Lehrer an der BBS Technik in Idar-Oberstein)

Hinweise:

- Mit F1 öffnet die Hilfe zum gerade editieren G-Gefehl. (Cursor muss in der jew. Zeile stehen.)
- Mit F11 kommst du immer zur Übersicht der Befehle von PAL-CNC.
- Strg+Z macht schrittweise die Editoreingaben rückgängig
- Umsch+Strg+Z kehrt Strg+Z wieder um.
- Lese in der Hilfe das Kapitel zur "5-Achsen-CNC", (bes. über die [eindeutige Schwenkposition](#).)
- Über die PAL-Steuerung wird viel gemockert, aber sie ist eine herstellerneutrale (nicht real existierende) zeitgemäße CNC-Steuerung, die sich so weit wie möglich an DIN orientiert, eine Schnittmenge zu den wichtigsten Steuerungen bildet und die wichtigsten NC-Funktionen beinhaltet. Die Prinzipien der CNC-Technik können so alle erlernt werden; Sobald man eine andere CNC-Steuerung benutzt, muss man sowieso immer das Neue (eigentlich nur die Syntax) beachten. (Natürlich haben die neuesten Steuerungen noch weitere, nicht in PAL implementierte Funktion. Das wird auch immer so bleiben, so lange Systeme weiterentwickelt werden.)
- P.S.: Obwohl bei PAL2009 kaum mehr gerechnet werden muss, vergesst mir den Pythagoras nicht.
- Unter <http://www.hubertklinkner.de/palmill> können immer die aktuellsten Versionen von PALmill und PALturn herunter geladen werden.
- Wer sich nicht sozial engagieren kann, aber gerne etwas spenden will, kann das z.B. gerne bei der in unserer Verbandsgemeinde ansässigen, sehr effektiv und sinnvoll arbeitenden Soonwaldstiftung <http://www.kinder-in-not-hilfe.de> tun. Ich sage Danke, obwohl ich dort noch nicht mal Mitglied bin.

[weiter](#) zur Kurzbeschreibung von PALmill5

Was das Programm tut (Kurzbeschreibung von PALmill5)

PALmill5 ist eine Lernsoftware (eigentlich: CAREware) zur Simulation einer CNC-Fräsmaschine mit 5 Achsen. PALmill simuliert die Bearbeitung einer Platte auf einer CNC-Senkrecht-Fräsmaschine mit 5-Achsen-Bahnsteuerung.

Welchen CNC-Code verwendet es?

- Die CNC-Programme müssen der DIN 66025 entsprechen.
- Benutzt also Euer Tabellenbuch!
- Zyklen können nur nach PAL verwendet werden. (s. Tabellenbuch, bzw. Hilfe F1)
(PAL heißt: Prüfungsaufgaben- und Lehrmittelenwicklungsstelle)

Wie arbeitet es?

- Die Bearbeitung wird 3-dimensional dargestellt. (nur in unveränderbarer Kavalliersperspektive)
- Es kontrolliert die wichtigsten (von Euch oft gemachten) Fehler.

Was muss ich als Bediener beachten?

- Damit simuliert werden kann, muss sich ein CNC-Programm auf dem Desktop (Arbeitsoberfläche) befinden.
- Entweder wird es mit Strg+N neu geschrieben oder mit Strg+O geladen (bzw. Pull-Down-Menü "Programm" anklicken).

Auf einfache [Weise](#) können CNC-Programme nach PAL erstellt werden.

PALmill beachtet beim Abspeichern Eurer Programme folgende Konvention über die Erweiterung der Dateinamen, damit ihr eure Programme später mühelos wiederfindet:

Hauptprogramme: _____.NC5
Unterprogramme: _____.NC6 (erledigt PALmill5 automatisch)

Werden [Unterprogramme](#) verwendet, so müssen sie sich vor der Simulation (F7) bzw. vor der Syntaxprüfung (STRG+F7) auf dem Desktop befinden (im Gegensatz zu "richtigen" Maschinen).

Prolog [vorher](#) [weiter](#) erste Schritte

Wie schreibe ich ein CNC-Programm? (Erste Schritte mit PALmill)

Zuerst muss eine Editor-Fenster geöffnet werden ...

- neues leeres Fenster kreieren mit **Strg+N**, oder
- bereits gespeicherte Datei öffnen mit **Strg + O**

Der Editor (Software zur Texterstellung) wurde als vorgefertigtes Programmpaket in PALMILL übernommen; er unterstützt die gängigsten Editier-Befehle mit Hilfe der Maus oder auch der Sondertasten. (vgl. [Editor](#)funktionen)

Es ist unwichtig, ob die Befehle groß- oder kleingeschrieben werden; auch sind Leerstellen nicht erforderlich.

Die Reihenfolge der Adressen muss ebenfalls nicht eingehalten werden; die nach DIN 66025 bzw. nach PAL erforderlichen Adressen müssen natürlich vollständig sein!

Zeilennummern brauchen nicht unbedingt geschrieben zu werden; das erleichtert auch das Löschen oder Kopieren von Programmsequenzen.

(Ästheten können mit "Format" diese Verschönerungen oder Tabellierungen nachträglich noch hineinzaubern. Selbst die Schriftart, -farbe und -größe können verändert werden.)

Kann man Programmzeilen ausblenden?

Beginnt die Programmzeile mit einem ";", einem "!", einem "%" oder mit einem "{", so wird diese Zeile beim Simulieren nicht interpretiert. Auch hinter einer Befehlszeile kann so ein Kommentar stehen.

Hinweis:

Ein „[C](#)“ oder ein „[/](#)“ ist ab Version 2.10 nur noch für die Parameterprogrammierung verwendbar, nicht mehr für die Kennzeichnung von Kommentaren.

Was kann ich während der Simulation tun?

Falls Dein Rechner nicht zu langsam ist, kann die Simulation oft kaum nachvollzogen werden. Deshalb kann man mit "e" auf Einzelsatz umschalten und den nächsten Befehl erst ablaufen lassen, wenn die RETURN-Taste gedrückt wird!
Auch lässt sich mit "h" zu jeder Zeit die Simulation anhalten und mit jeder folgenden Taste wieder fortfahren.
Die Simulationsgeschwindigkeit kann mit "S" gesteigert und mit "L" vermindert werden.
"m" stellt die maximale, „o“ die optimale Simulationsgeschwindigkeit ein.
Auch durch Drücken einer Ziffer von 1 bis 9 wird eine bestimmte Simulationsgeschwindigkeit eingestellt.
(Das geht auch alles mit dem Kontext-Menü, das mit der rechten Maustaste aufgerufen werden kann.)
Elegant ist auch das Anhalten und Weiterarbeiten mittels **Leertaste**.
Mit **ESC** kann von jeder Situation aus die Simulation abgebrochen werden und dann wieder zum Editor gewechselt werden.
Treten Fehler auf, so wird anschließend die fehlerhafte Zeile im entsprechenden Fenster markiert.

„Messen“ im Sinne einer Qualitätsprüfung ist nur bedingt möglich: drücke im Werkstückbereich die linke Maustaste und die Koordinaten sind auf der Skala leichter bestimmbar (nur ±1 Pixel genau):

Welche nc-Befehle sind verwendbar? siehe: Übersicht der G- und M-Befehle

Die meisten Funktionen sind selbsterklärend. Falls dir doch was unklar ist, klicke auf eines der folgenden Detailinformationen:

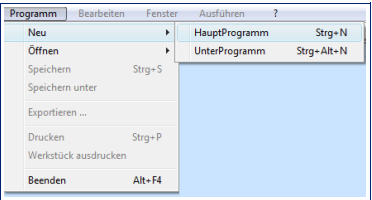
Editieren:	
neues CNC-Programm erstellen	
CNC-Programm speichern	
CNC-Programm öffnen	Hast du dich mal irgendwo vertan, so drücke einfach die
CNC-Programm exportieren	„war alles nur Spaß-Taste“ (ESC)
CNC-Programm drucken	oben links und du kommst
CNC-Programm bearbeiten / editieren	wieder zurück, ohne was Böses
CNC-Programm formatieren / tabellieren	angestellt zu haben.
Umgang mit mehreren Fenstern	
..	
Simulieren:	
Fräsbearbeitung simulieren	
..	
Hilfe benutzen	

Kurzbeschreibung < vorher ... weiter > neues Programm erstellen

Neues CNC-Programm erstellen Strg + N

Ein CNC-Programm, das du später testen und simulieren willst, muss zuerst auf den Bildschirm gebracht werden. Jedes Programm befindet sich also in einem eigenen Editor-Fenster.

Ein neues Hauptprogramm (-Fenster) wird erstellt mit einem der folgenden Befehle:



- mit Menü: Programm Neu ...Hauptprogramm oder
- mit Strg+N oder
- Symbol

Hinweis:
Will man die (riesige) Werkzeugliste eines anderen Programms gleich mit ins neue Programm übernehmen, so lade dieses alte Programm; die Werte werden dann auch dem neuen Programm bereitgestellt, aber Vorsicht: Jede Änderung ist hinfällig, wenn wieder auf ein anderes Editorfenster umgeschaltet wird, bevor das neue abgespeichert wurde!

Merke: 1. "(Pilot-)Datei öffnen" 2. "Neu Hauptprogramm" sofort 3. "Speichern unter.."

Ein neues Unterprogramm (-Fenster) wird erstellt mit folgendem Befehl:

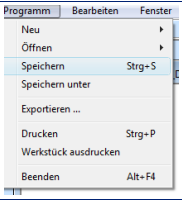
- mit Menü: Programm Neu ... Unterprogramm oder

Anschließend verlangt Palmill die Eingabe der Unterprogramm-Nummer, die laut PAL 2-stellig sein muss.
(Der später beim Abspeichern des Unterprogramms verwendete Dateiname ist für PAL-CNC uninteressant und darf beliebig lang sein; „richtige“ Steuerungen sind da pingelig.)

erste Schritte < vorher ... weiter > Datei speichern

CNC-Programm speichern Strg + S

Ein von dir geschriebenes (und getestetes) CNC-Programm kann auf externe Datenträger gespeichert werden mit ...



- mit Menü: Programm Speichern ...Hauptprogramm oder
- mit Strg+S oder
- Symbol

Wenn das Programm vorher noch nicht gespeichert war, läuft's automatisch über ... :

- Menü: Programm Speichern unter

Hinweis: Die Vergabe der Dateinamen ist beliebig (im Gegensatz zu „richtigen“ Maschinen, meist nur das Format „P001234“ zulassen).
Die von PALmill gewünschte Extension .NC5 bzw. .NC6 wird automatisch zugefügt. Bitte keine Dateierweiterung eingeben!

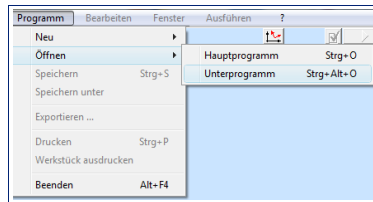
Wer den Programmtext mit einem Standardeditor bearbeiten will, stellt erschreckt fest, dass die ersten Zeilen ganz wirres Zeug enthalten.
Das erklärt sich dadurch, dass die von dir gemachten Werkstück- und Werkzeugeinstellungen hier mit abgespeichert wurden.
Ähnlich ist's auch bei vielen „richtigen“ Steuerungen; sie speichern auch nicht sichtbar interne Kenngrößen ab, die nicht verändert werden dürfen.

neue Datei < vorher ... weiter > Datei öffnen

CNC-Programm öffnen Strg + O

Ein CNC-Programm, das du ändern und simulieren willst, muss zuerst auf den Bildschirm gebracht werden.
Jedes Programm befindet sich also in einem eigenen Editor-Fenster.

Ein bereits gespeichertes Hauptprogramm(-Fenster) wird ins Desktop gebracht mit einem der folgenden Befehle:



- mit Menü: Programm Öffnen ...Hauptprogramm oder
- mit Strg+O oder
- Symbol

(Der dann erscheinende Datei-Öffnen-Dialog ist auf die Extension .CNS voreingestellt.)

Ein bereits gespeichertes Unterprogramm (-Fenster) wird erstellt mit folgendem Befehl:

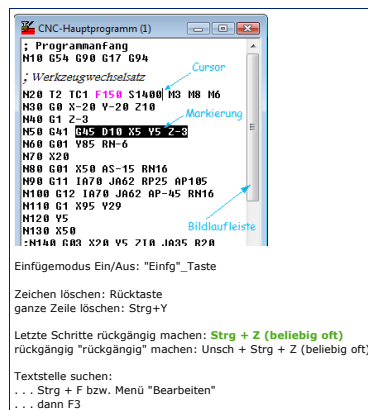
- mit Menü: Programm Öffnen ... Unterprogramm oder

(Der dann erscheinende Datei-Öffnen-Dialog ist auf die Extension .CNS voreingestellt.)

← vorher | weiter → CNC-Datei exportieren

Editorfunktionen

Der verwendete Programmierer (Standard-Textverarbeitungsprogramm) arbeitet ähnlich wie herkömmliche Editoren. Richtige CNC-Maschinen haben bis heute (mir unverständlicherweise) umständliche „bedienerunfreundliche“ Möglichkeiten Programmzeilen zu schreiben.



Cursor ...

- bewegen: Cursortasten bzw. Maus
- wortweise: Cursortasten + Strg
- an Zeilenanfang: Pos1
- ans Zeilenende: Ende

- Seite nach oben: Bild-auf bzw. Bildaufleiste
- Seite nach unten: Bild-ab
- an Programmanfang: Strg + Pos1
- ans Programmende: Strg + Ende

Block ...

- markieren: Shift + Cursor bzw. Maustaste gedrückt
- zwischenspeichern: Strg + C bzw. Menü "Bearbeiten"
- kopieren: Strg + V
- ausschneiden: Strg + X
- löschen: Entf
- verschieben: Strg + X dann Strg + V („drag & drop“ funktioniert nicht)

Fenster ...

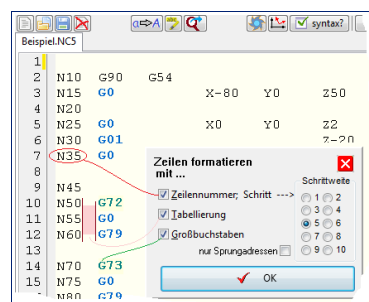
- schließen: klicke
- (Alt + F4 schließt das komplette PALmill !!)
- Fenstergröße verändern: Cursor am Rahmen "ziehen"

Schrift des gesamten Programms **formatieren**: F2

CNC-Programm drucken | ← vorher | weiter → Programm formatieren

Programmtext formatieren, tabellieren, nummerieren

Durch Tabellieren und Nummerieren kann der Programmtext übersichtlich dargestellt werden ...



gesamter Programmtext:

- mit Menü: Bearbeiten Tab_Formatieren bzw.
- Symbol
- F2 drücken

Es folgt dann ein Dialogfeld, in dem man alle Adressen in Großbuchstaben, eine Zeilennummerierung und eine Tabellierung einstellen kann. Die Einstellung der Schrittweite zur Nummerierung wird nur aktiv, wenn Zeilennummerierung angeklickt wurde. Die Zeilennummern in den Sprungbefehlen (G23 bzw. G29) werden dabei automatisch angepasst (Die Eindeutigkeit der Sprungbefehle wird vorher überprüft).

Die Tabellierung kann später wieder rückgängig gemacht werden, wenn man bei erneutem Formatieren dieses Optionsfeld frei lässt. (Der CNC-Steuerung ist es natürlich egal, in welcher Anordnung und Form die Befehle erscheinen, aber durch die Formatierung sind sie leichter lesbar.)

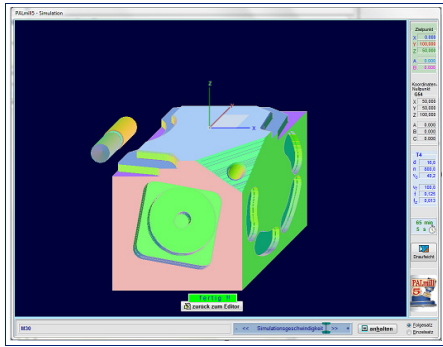
Will man unbedingt die Größe oder die Schriftart des Programms z.B. für Präsentationen ändern, so kann man das ...


- mit Menü: Bearbeiten -> Formatieren bzw.
- Symbol

Editorfunktionen | ← vorher | weiter → CNC-Programm simulieren

CNC-Programm simulieren

Um festzustellen, ob ein CNC-Programm richtig läuft, kann die Fräsbearbeitung simuliert werden. Dies geschieht ...



- mit Menü: Ausführen Simulieren bzw.
- mit F7 .oder
- Symbol  klicken
- Kontext-Menü (rechte Maustaste)

Um (Syntax-)Fehler im Programm schon vorher zu eliminieren, ist es ratsam, mit STRG+F7 bez. mit der -Taste evtl. Fehler auszuzeigen.

Im Falle eines Fehlers bricht die Simulation ab und es erscheint eine Fehlermeldung. Sobald man zum Editor zurückkehrt, wird dort die fehlerhafte Zeile im Programmeditor durch kurzzeitiges Blinken angezeigt.

Während des Simulierens kann das Programm mit der Taste h bzw. mit dem Button „anhalten“ angehalten werden. Weiter geht's analog mit dem gleichen Button bzw. mit der w-Taste. Noch eleganter geht's mit der **Leertaste**.


Auch kann mit den Tasten "f" bzw. "e" Folge- oder Einzelsatz eingestellt werden.

Die Simulationsgeschwindigkeit kann verändert werden:



- (grob) mit dem Schieberegler bzw.
- (fein) mit den Tasten "S" für schneller und "L" für langsamer
- mit dem Kontext-Menü (rechte Maustaste)
- Mit der Taste "m" kann die maximale Simulationsgeschwindigkeit eingestellt werden.
- Mit der Taste "o" kann die optimale Simulationsgeschwindigkeit (ohne Pixelsprünge) eingestellt werden.
- Mit den Ziffern-Tasten "1 bis 9" kann eine feste Simulationsgeschwindigkeit eingestellt werden.

Wurde nach der Simulation weiter programmiert, kann man die bisherigen Simulationsschritte mit max. Simulationsgeschwindigkeit "überfahren", bis die Programmzeile "M0" (Null, nicht O, wie Otto) die Simulation unterbricht. Jetzt kann man die optimale Simulationsgeschwindigkeit einstellen und mit RETURN weiter simulieren. M0 eignet sich so auch gut zur Fehlersuche.

Mit **ESC** kann man (wie überall) die Simulation abbrechen.

Das Simulationsfenster kann mit F8 bzw. mit  aufgerufen werden, falls schon vorher min. einmal eine Simulation durchgeführt wurde. Mit F8 kann auch zwischen Simulation- und Editorfenster hin- und her geschaltet werden.

Statt der Perspektive kann (nachdem die Simulation beendet ist, oder mittendrin abgebrochen wurde) mit den rechten Buttons auf die Seiten- oder **Draufsicht** umschalten und wieder zurück. Wer **Schnitte** mag, kann sie sich dort mit Hilfe der Scrollbar (links von der Ansicht) generieren.

Formatieren/Tabellieren   Hilfe nutzen

Hilfe nutzen F1

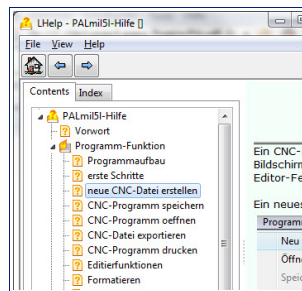
Die Arbeitsweise von PALmill erklärt sich weitgehend selbst. Das mitgelieferte Hilfesystem (Datei: „PALmillH.chm“) ermöglicht den Zugriff auf Informationen auf zwei Wegen:

Mit der **F1**-Taste gelangt man (je nach momentaner Situation, Menüpunkt oder Fenster) direkt in den Hilfetext.



Falls du während des Programmschreiben die F1-Taste drückst, so sucht PALmill nach dem ersten Befehlsword in der Cursorzeile und springt in die hoffentlich richtige Hilfe hinein.

Mit **F11** springt die Hilfe direkt in die Befehlsübersicht von PAL-CNC.

Hilfe mittels der Register Contents (=Inhalt) und Index:



- Contents: eine Art Inhaltsverzeichnis der Hilfetexte
- Index: Zugriff auf Hilfeseiten über „Stichwörter“

Simulieren   Befehls-Übersicht

Befehlsübersicht (G- und M-Befehle der PAL-CNC)

Die wichtigsten Funktionen sind in PALmill implementiert; drück' auf das jwe. Button und Du gelangst an die entsprechende Informationen. Leider fehlen einige G-Funktionen bei PALmill. Sorry.

Die G-Befehle:

- G00 Eilbewegung
- G01 Vorschubbewegung
- G02, G03 Kreisinterpolation
- G04 Verweildauer
- G09 Genauhalt
- G10+G11 Verfahren in Polarkoordinaten
- G11 Linearinterpolation mit Polarkoordinaten
- G12+G13 Kreisinterpolation mit Polarkoordinaten
- G17 Ebenenanwahl
- G18 + G19 Ebenenauswahl

Alle wichtigen G- und M-Befehle stehen in Deinem Tabellenbuch; mache Dich damit vertraut, damit's in der Prüfung klappt.

Programme müssen einfach und nicht überladen gestaltet werden. Aus diesem Grund werden einige Informationen als modale (selbsthaltende) Anweisungen programmiert. D.h., einmal in einem Satz aufgeführt, gelten sie so lange als wirksam, bis sie durch eine andere Anweisung aus gleicher Gruppe abgewählt werden (z.B. Abwahl von G00 durch G01 oder z.B. M08 durch M09)

G22 Unterprogrammaufruf
G23 Programmteilerholung
G29 Bedingte Programmsprünge
G34 Eröffnung des Konturabschließzyklus
G35 Schrupptechnologie des Konturabschließzyklus
G36 Restmaterialschrupp-Technologie des Konturabschließzyklus
G37 Schlichttechnologie des Konturabschließzyklus
G38 Konturbeschreibung des Konturabschließzyklus
G39 Konturabschließzyklusaufwurf mit konturparalleler oder mäanderförmiger Ausräumstrategie
G40-G42 Fräserradiuskorrektur
G45-G48 Kontur an- bzw. abfahren
G50 Nullpunkt-Verschiebungen
G60 Äquidistantes Aufmaß (Offset)
G61 Linearinterpolation für Konturzüge

G62 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge
G63 Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge
G66 Spiegeln
G67 Skalieren
G70 Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)
G71 Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)
G90 Absolutmaßangabe einschalten
G91 Kettenmaßangabe einschalten
(G92 Spindeldrehzahlbegrenzung)
G94 Vorschubgeschwindigkeit in Millimeter pro Minute
G95 Vorschub in Millimeter pro Umdrehung
G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit
G97 Konstante Drehzahl

Bearbeitungszyklen (nach PAL 2007):

G72 Zyklus Rechtecktasche
G73 Kreistaschen- und Zapfenfräszyklus
G74 Nutenfräszyklus
G75 Nutenfräszyklus auf einem Kreisbogen

G76 Mehrfachzyklusaufwurf auf Geraden (Lochreihe)
G77 Mehrfachzyklusaufwurf auf'm Teilkreis (Lochkreis)
G78 Zyklusaufwurf an einem Punkt (Polarkoordinaten)
G79 Zyklusaufwurf an einem Punkt (kartesische Koordinaten)

G81 Bohrzyklus
G82 Tiefbohrzyklus mit Spanbruch
G84 Gewindebohrzyklus

Technologiebefehle:

M-Befehle
F-Adresse
S-Adresse
T-Adresse
L-Adresse
..

Hilfe benutzen

Hilfe benutzen [← vorher](#) [weiter →](#) Befehlssyntax

Syntaxregeln der PAL-CNC

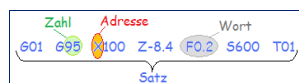
CNC heißt **computerized numerical control**, als die computerunterstützte zahlenmäßige Steuerung von Maschinen.

Die Maschine, die über einen Computer, Messsysteme u.a.m. verfügt, wird über Befehlssätze gesteuert. Ein CNC-Programm besteht aus vielen solcher Sätze. Der grundsätzliche Aufbau eines NC-Programms ist nach DIN 66025 genormt. In einem CNC-Befehlsatz erscheinen Wegbefehle (Geometrie) und/oder Schaltbefehle (Technologie).

N	Satznummer (nicht unbedingt erforderlich)
G	Wegbedingung
X, Y, Z	Koordinaten
I, J, K	Interpolationsparameter
F	Vorschub bzw. Vorschubgeschwindigkeit (engl.: feed)
S	Spindeldrehzahl (evtl. auch Schnittgeschwindigkeit (engl.: speed))
T	Werkzeugposition (engl.: tool)
M	(engl. miscellaneous = vermischt) steht für verschiedenste Schaltbefehle (an die SPS)
L	Aufruf eines Unterprogramms



Hol' dir dein Tabellenbuch zur Hand!



Den jew. Buchstabe nennt man Adresse; er benötigt immer einen numerischen Wert (z.B. T01). Beides zusammen nennt man ein Wort.

Die Reihenfolge der Befehlsworte ist beliebig; der G-Befehl steht sinnvoller Weise am Anfang. Auf Groß- und Kleinschreibung braucht nicht geachtet zu werden.

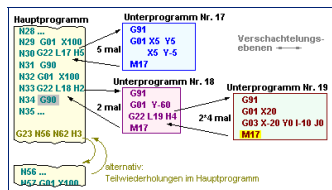
Die PAL-CNC war (bis 2007) pingelig und „einfach gestrickt“: Es durfte eine Adresse immer nur einmal pro Befehlszeile erscheinen. Die neue PAL-CNC (und andere Steuerungen sowieso) erlauben mehrere G-Befehle; z.B. G90 G41 G01 X20 Y4 ...

Befehlsübersicht [← vorher](#) [weiter →](#) Unterprogrammentechnik

Unterprogramme

Sie dienen der **übersichtlicheren Programmierung** und werden oft eingesetzt, wenn Programnteile **öfters wiederholt** und von anderen Programmen verwendet werden.

Sie sind keine eigenständigen Programme und können nur von einem Hauptprogramm aus gestartet werden.
Sie können selbst wieder andere Unterprogramme aufrufen (Die Verschachtelungsebene ist bei den meisten CNC-Steuerungen auf ca. 10 Ebenen begrenzt.
PALmill tut's unbegrenzt (solange der Stack = Speicherbereich nicht überläuft).
Unter PALmill ist sogar ein Selbstaufruf (= rekursives Programmieren) möglich.



Unterprogramme werden bei PAL mit **G22** aufgerufen, gefolgt von der Adresse L, die die Programm-Nr. des Unterprogramms enthält. Die Anzahl der Aufrufe steht in der Adresse H.

G22 L17 H5

Tipp:

Da im Unterprogramm meist inkremental programmiert wird, darf nicht vergessen werden, mit G90 die Absolutprogrammierung wieder einzuschalten!!

Bei PALmill muss allerdings beim Programmablauf (hier: Simulation) das Unterprogramm auf dem Bildschirm sein. (Ggf. wir der Bediener aufgefordert, die Datei zu öffnen.) Der eigentliche Dateiname des Unterprogramms wird von PALmill dabei (zuerst mal) ignoriert; wichtig ist nur die Nr., die beim Erzeugen des Unterprogramms vergeben werden musste.

(Will man diese Nr. ändern, so bleibt nur als einzige Möglichkeit, ein neues Unterprogramm mit der neuen Nr. zu kreieren und dann aus dem alten Unterprogramm mit Strg+A und Strg+C den gesamten Programmtext in das neue Unterprogramm (mit Strg+V) zu kopieren.) Bei „richtigen“ Steuerungen zählt nur der Dateiname.)

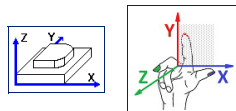
Am Ende eines jeden Unterprogramms muss der Befehl M17 (= Rücksprung zum aufrufenden Programm) stehen.

Statt ein eigenes Unterprogramm zu verwenden, besteht seit 2009 die Möglichkeit, im Hauptprogramm zu springen und so Programmbereiche mehrmals auszuführen. Vgl. die Sprungfunktionen **G23** bzw. **G29**.
(Diese Variante ist dann einem eigenständigen Unterprogramm vorzuziehen, wenn der Programnteil von keinem anderen NC-Programm verwendet wird.)

CNC-Syntaxregeln **vorher** **weiter** Koordinaten

Koordinatensysteme

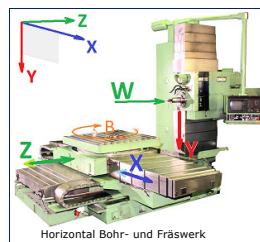
Die Koordinaten X, Y, Z kennzeichnen die Lage eines Punktes (z.B. des Wkz-Mittelpunktes) im Raum.
Die Koordinatenwerte werden in mm angegeben (z.B. Y12,345)



Laut DIN 66217 ist die Z immer parallel zur Hauptspindelachse der Maschine; X,Y und Z stehen nach der Drei-Finger-Regel der rechten Hand senkrecht zueinander.
Die pos. Z-Richtung ist immer: "Vom Werkstück zum Werkzeug"
X ist dabei immer die Hauptbewegungsachse der Maschine.

Vgl. auch **absolute und relative** Koordinaten!

Vgl. auch die Veränderung der **Koordinaten-Nullpunkte!**



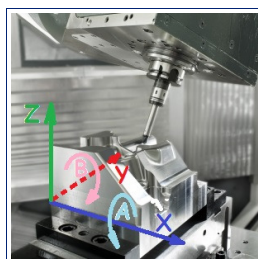
Zusätzliche Werkzeugschlitten, die sich parallel zu den Achsen X, Y und Z bewegen, werden entsprechend mit **U**, **V** und **W** bezeichnet.
Eine zusätzliche Pinolen-Bewegung in Richtung in Richtung Z erhält z.B. die Koordinate W.)

Bemerkung:
Ist die jew. Achse mit dem Kopf (Werkzeug) verbunden, so zeigen Bewegung und Koordinate in die gleiche Richtung.
Ist die jew. Achse mit dem Tische (Werkstück) verbunden, so sind Bewegung und Koordinatenrichtung gegenläufig.
Im linken Bild z.B. zeigen die aufgehellten Pfeilspitzen von X und Z die Bewegung in positiver Richtung.

Dem Programmierer ist's egal, für ihn gilt: "Es bewegt sich immer nur das Werkzeug (in alle Richtungen)."

Steuerungen lassen unabhängig von der Hardware auch **polare Koordinaten** (Radius und Winkel) zu. Diese werden dann von der Steuerung in kartesisch umgewandelt.
Vgl. die alternative Koordinatenangaben bei **G01-G03** und **G10-G13**.

Für die Definition der Koordinaten ist es unerheblich, ob sich dabei der Werkzeugträger (in Richtung der jew. Koordinate) oder der Tisch (entgegen der jew. Koordinate) bewegt. Ein CNC-Programm muss ja schließlich auf einer anderen Maschine das gleiche Werkstück erzeugen können.



Koordinatensystem mit 5-Achsen

Oft ist es sinnvoll das Koordinatensystem zu verschieben oder gar zu drehen.

Befinden sich zusätzlich noch Schwenkachsen an der Maschine, so erhalten diese entsprechend den Achsen X,Y, Z die Koordinaten **A,B** und **C**. (Drehrichtung: vgl. "Rechte-Hand-Regel")

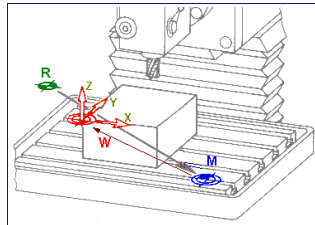


Hand-Regel")

(Zum Schwenken dieser Achsen verwendet man neben den Befehlen G54-G57 vor allem den **G17-Befehl**.)

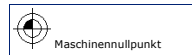
Unterprogramme **vorher** **weiter** Bezugspunkte

Bezugspunkte, Nullpunkte



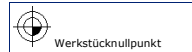
Die im Programm verwendeten Koordinatenangaben beziehen sich auf ein festgelegtes Koordinatensystem, dessen Nullpunkt eindeutig bestimmt sein muss.

CNC-Maschinen benutzen verschiedene Nullpunkte:



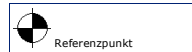
Maschinennullpunkt

Der **Maschinennullpunkt M** ist der Ursprung des Maschinenkoordinatensystems. Dieses ist vom Hersteller der Maschine festgelegt und ist fest mit der Maschine verbunden - abhängig von der Lage der (Glas-)Maßstäbe, die der Monteur angeschraubt hat. Auf das Maschinenkoordinatensystem bezieht sich die Hardware. Alle anderen Koordinatensysteme, bzw. ihre Nullpunkte sind virtuell: Sie werden von der CNC-Steuerung verrechnet.



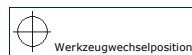
Werkstücknullpunkt

Der Programmierer verschiebt das Koordinatensystem auf die Werkstückkante oder -mitte: Man redet hier vom sog. **Werkstücknullpunkt W** (workpiece coordinate origin). Hat man mehrere gleiche Werkstücke aufgespannt, oder beziehen sich mehrere Elemente auf eine anderer Maßbezugssebene, so kann man den Werkstücknullpunkt innerhalb des Programmes versetzen (G50..) oder auch schwenken (G17).



Referenzpunkt

Der **Maschinenreferenzpunkt MR** (machine reference position) dient der Synchronisation des Mess- und Antriebssystems bei der Inbetriebnahme einer CNC-Maschine. Der Maschinenbediener macht jeden Morgen eine "Referenzfahrt".



Werkzeugwechselposition

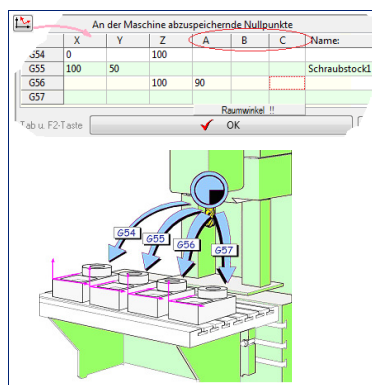
Die Werkzeugwechselposition N (tool change position) ist die Position der Hauptspindel, an der der Werkzeugwechselvorgang (Aufruf der Werkzeugwechselroutine) beginnt.

(Fast nicht) erwähnenswert sind hier noch ...

Anschlagposition A (clamping position),
Werkstückwechselposition (pallet change position),
Programmnullpunkt B (program coordinate origin)
und die Notrückzugposition (emergency position)

Der für die Programmierung wichtige Werkstück-Nullpunkt kann verschiedene Werte annehmen und während des Programmablaufs wechseln.

Entweder werden Sie an der Maschine absolut eingegeben und können dann später mit G54 bis G57 jew. eingeschaltet werden oder sie werden im Programm relativ zum momentanen Nullpunkt verändert G58 und G59.



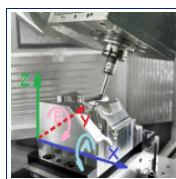
Die Nullpunkte werden bei PALmill in eine Tabelle eingegeben ...

- mit Menü: Ausführen --> Tabelle der Nullpunkte bzw.
- Symbol klicken bzw.
- F6-Taste drücken

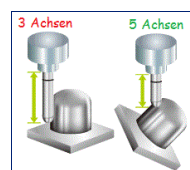
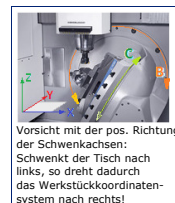
Die Winkel A,B und C sind keine (!!) Achswinkel einer realen Maschine, sondern Raumwinkel.
Also Achtung, wenn mehr als 1 Winkel eingetragen ist.

Koordinatensysteme vorher weiter 5-Achsen-CNC: Verwendung

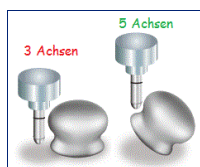
Verwendungszwecke von 5Achsen-CNC-Maschinen



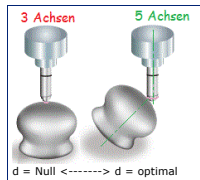
Zwar kann man mit den 3 (interpolierten) Achsen einer CNC-Fräsmaschine auch komplizierte Formen herstellen, aber das ist nicht immer effektiv.
Folgende Vorteile wiegen die höheren Kosten einer 5-Achsen-Maschine für Hard- und Software auf:



Durch Verändern des Anstellwinkels kann das Werkzeug kürzer und damit steifer sein. Vibrationen werden gemindert und die Oberflächengüte und die Spanleistung können verbessert werden. Die Werkzeugstandzeit wird erhöht. Auf eine zeitraubende Nacharbeit kann oft verzichtet werden.



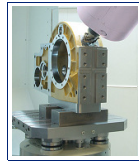
Hinterschnittene Flächen können ohne weiteren Hilfsmittel hergestellt werden.



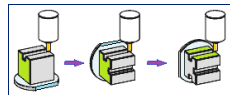
Die Eingriffsverhältnisse der Werkzeugschneide können optimiert werden. Somit können größere Spanleistungen erreicht werden, die Bearbeitungszeit wird verkürzt, die Oberflächengüte ist verbessert, Nachbearbeitungen z.B. der gefrästen Freiformflächen können z.T. entfallen.

Sonderfräsvfahren (HSC, ..., Wirbelfräsen) sind sinnvoll einsetzbar.

Nicht nur ein Anstellen der Achsen ist möglich, sondern eine simultane Verstellung der Schwenkachsen ermöglicht eine effizientere Bearbeitung von z.B. gewölbten Flächen. Das gleichzeitige Fahren aller fünf Achsen erfordert jedoch erheblich mehr (Rechen-)Aufwand.



Kein Umspannen:
Eine Vielfalt von Bohrungen, die in unterschiedlichen Richtungen verlaufen, können einfach und schnell hergestellt werden, da nicht ständig das Werkstück neu ausgerichtet werden muss.



Weniger Rüstzeiten:
4- bzw. 5-Seiten-Bearbeitung in einer Aufspannung.

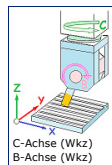
Dadurch werden Form- und Lage-toleranzen bestens gewährleistet.



5-Achsen-Fräsmaschinen sind vielseitiger und universeller einsetzbar. CAD-CAM-Software ermöglicht ihre effiziente Programmierung.

Bearzugspunkte, Nullpunkte <vorher> <weiter> Bauarten von 5-Achsen-Maschinen

Bauarten von 5Achsen-CNC-Maschinen



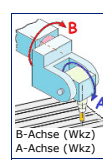
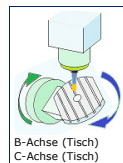
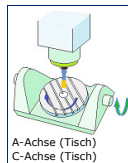
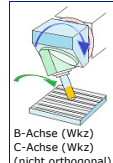
Neben den 3 Linearachsen besitzt eine 5-Achsen-CNC-Maschine (nur) 2 weitere Schwenkachsen und kann damit am Werkstück (theor.) jeden beliebigen Punkt mit jedem beliebigem Winkel bearbeiten.

Programmiertechnisch gesehen ist es gleichgültig, ob sich dabei der Tisch (und somit das Werkstück) oder aber das Werkzeug bewegt.

Der Programmierer stellt sich vor, dass das Werkstück ruht und dass allein das Werkzeug alle Linear- und Rotationsbewegungen ausführt.

Die CNC-Steuerung sorgt bei der Bearbeitung dafür, dass je nach Maschinenkonfiguration die richtige Achse in die richtige Richtung angesprochen wird. (+ Ausgleichbewegungen)

Selbst wenn eine Maschine z.B. gar keine A-Achse besitzt, können wir trotzdem ganz sorglos eine Schwenkbewegung um die X-Achse programmieren.



u.v.a.m.

Die Maschinenhersteller (und auch die Käufer) beachten bei der Auswahl der Bauform unterschiedlichste Kriterien:

Herstellungskosten, Baugröße, Raumbedarf beim Schwenken (erforderliche Ausgleichsbewegung), Maschinensteifigkeit, übertragbare Leistungen und Kräfte, erreichbare Maß-, Form- und Lagetoleranzen, sowie Oberflächengüte, Schwenkgeschwindigkeit an der Schneide, ...

5-Achsen: Verwendungszweck <vorher> <weiter> eindeutige Schwenkposition

Eindeutige Schwenkposition bei 5Achsen-CNC-Maschinen

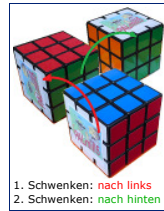
"Der Schwenker schwenkt den Schwenker mit einem Schlenker seines Schwenkers."

Diese Basisfertigkeit eines "Homo Saarpilensis" erfordert keine großen geometrisch-mathematischen Grundkenntnisse, aber wir müssen beim Schwenken an 5-Achsen-Maschinen Wichtiges beachten:



①

Man benötigt **nur 2 (nichtparallele) Achsen**, um jede beliebige "Orientierung" (=Winkelposition) zu erreichen.



②

Wenn man die Reihenfolge des Schwenkens vertauscht, dann erhält man ein anderes "Schwenkergebnis"!

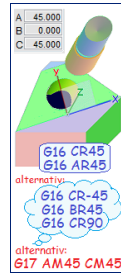
Beim Schwenken immer die Schwenkreihenfolge beachten!



③

Man kann über viele verschiedene (Um-)Wege zum gleichen Schwenkergebnis gelangen.
Von dort könnte man immer weiter um beliebige sog. "Euler"-Winkel "weiter"schwenken.

Um aber diese (momentane) Schwenkposition eindeutig (ohne die gesamte Schwenk-"historie") zu beschreiben, verwendet man die sog. **Raumwinkel AM, BM und CM**. * (Vgl. jeweils in den linken Bildern die Werte in den grauen Tabellen.)
"Raumwinkel" heißt: Die Schwenkachsen behalten immer ihre Richtung, egal welche Achsen schon geschwenkt wurden und um wie viel. In der Theorie ist das möglich, aber die real vorhandenen Maschinenachsen (s.u.) kippen - je nach Maschinenkinematik - beim Schwenken oft mit!



Wenn man also vom Ursprungskoordinatensystem nacheinander um die X-, Y- und dann um die Z-Achse die jew. Raumwinkel dreht, erhält man die so definierte Schwenkposition.

Mit diesen Werten arbeitet intern die CNC-Steuerung. Diese 3 Raumwinkel bilden die Basis, mit der die Steuerung die Drehbewegung der jeweils an der Maschine physikalisch vorhandenen Achsen berechnet.

(Eine "wilde Euler-Winkel-Matrizen-Rechnung", die den Programmieren nicht "juckt".)

Die erforderliche reale Schwenkbewegung ist abhängig von der Kineamtk der Maschine: Wenn z.B. die B-Achse auf dem A-Schwenktisch befestigt ist, würde in unserem Fall die Steuerung folgende Winkel berechnen:

A=35,3 B=30 (und virtuell C=35,3). Würde aber der **Achswinkel B** die A-Achse mitbewegen, so wär's "andersrum". Ergo: Achswinklereinstellung ist alleine Sache der Steuerung. Nur im Tipp-Betrieb (JOG-Modus) darfst du mit ihnen arbeiten.

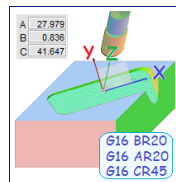
--> Nie in Achswinkel programmieren, denn dann wäre dein Programm nicht maschinenneutral!

Moderne Steuerung machen dies simultan und interpolierend*; ja selbst das Werkzeug könnte, wie z.B. beim Fräsen von Freiformflächen, dabei im Eingriff bleiben.

Ergo: Im Gegensatz zum einfachen "Anstellen" des Fräasers (durch Eingabe der Winkel A.. und B..) werden beim "Schwenken" 2 Dinge durchgeführt:

1. Das Koordinatensystem drehen (mit G17, G54-G59)
2. Neue Position mit G00 X.. Y.. Z.. anfahren

Leider sind die Raumwinkel AM, BM und CM, wenn es sich um mehrere Drehrichtungen handelt, meist nicht direkt aus der Werkstückzeichnung zu entnehmen. (Mathematiker können mit Hilfe der sog. Matrizenrechnung, Klasse 12, so etwas berechnen.)



Wir verwenden im CNC-Programm besser die schrittweise und in der jew. richtigen Reihenfolge einzugebenden Winkel AR, BR oder CR.

(Vgl. links die blauen G17-Befehle.) Die Steuerung rechnet jedes Mal aus dieser "Rotationsmatrix" die neuen, aktuellen Raumwinkel aus.

Auch die real auszuführenden Drehwinkel an den Maschinenachsen werden berechnet. (Sitzt zum Beispiel B auf A, so muss A=21,2 und B=18,7 (u. vert. C=37,9) ** sein.)

In der Prüfung wirst du danach nicht gefragt, aber als qualifizierter "Problemlöser" benötigst du dieses Hintergrundwissen!

siehe: [Koordinatensysteme](#) und auch: [G17 Ebenenanwahl](#) und [G50-G59 Werkstücknullpunktverschiebung](#)

* für Mathefräaks: Statt der Raumwinkel könnte man die Rotation des Koordinatensystems auch alternativ mit drei Punkten im Raum, zwei (Normalen-)Vektoren, Winkelprojektion oder durch die Richtung der Koordinatenachsen eindeutig mathematisch beschreiben. Toll!

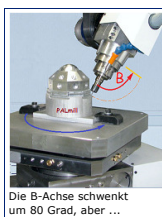
** Die dritte Achse ist virtuell: sie wird nicht geschwenkt, sondern (mittels Linearachsen) verrechnet. Vgl. die Drehung um den AR-Winkel beim G59-Befehl; der funktionierte ja auch bei 3-Achs-Maschinen.

Hinweis: Hier wurde durch das oben beschriebene "Schwenken" noch nicht das Werkzeug bewegt, sondern es wurde das (Werkstück-)Koordinatensystem gedreht. Erst durch den nächsten (G00-)Wegbefehl verfährt das Werkzeug und schwenkt parallel zur neuen Z-Achse ein. (Falls sich statt des Werkzeugs der Tisch bewegt, gilt dennoch das gleiche Problem.)

Das aber bedeutet dann wiederum für die Steuerung: fleißig rechnen! --> [Ausgleichsbewegung!](#)

5-Achsen: Bauarten [← vorher](#) [weiter →](#) Schwenk-Ausgleichsbewegungen

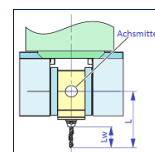
Schwenk- und Ausgleichsbewegungen



... ohne eine Ausgleichsbewegung, die CNC-Steuerung gleichzeitig mit der Schwenkbewegung einleitet, würde sich der X-, Y- und auch der Z-Wert an der Werkzeuspitze stark verändern.

Diese Ausgleichsbewegungen macht die CNC-Steuerung automatisch; der Programmierer braucht sich um nichts zu kümmern; die Kollisionsgefahr ist dadurch sehr gering geworden (Bei den meisten Steuerungen läßt sich dieser Automatismus auch abschalten.)

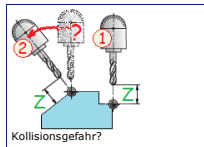
Damit die Steuerung diese Ausgleichsbewegungen berechnen kann, benötigt sie die exakte Lage der Schwenkachse und auch die Länge des Werkzeuges. (Beim Schwenken des Tisches ist ebenfalls die Lage der Schwenkachse und die Lage und Dicke des Werkzeuges nötig.) Bei der Ersteinrichtung (Konfiguration) der Steuerung, die ja für alle möglichen Maschinenarten entworfen wurde, müssen alle diese wichtigen Maschinendaten der Steuerung eingegeben bzw. vermessen werden. Die Vermessung der Werkzeuge muss sich auf den definierten Werkzeug-Nullpunkt beziehen; es reicht nicht mehr, so wie früher, relative Maße, bezogen auf ein sog. "Nullwerkzeug" einzugeben.



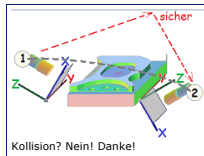
Eine Schwenkbewegung, so wie sie im obigen Bild zu sehen ist, kann auf 2 verschiedenen Wegen erfolgen:

- a) Im G00- bzw. G01-Befehl wird dem Raumwinkel A, B oder C ein (neuer) Wert zugewiesen; dann bleibt das Koordinatensystem unverändert bestehen; Z-Achse und Werkzeugachse sind u.U. nicht mehr parallel: das Werkzeug steht unter einem sog. "Anstellwinkel". z.B.: **G00 B-80**

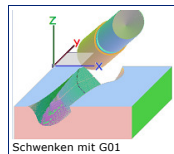
b) Das Koordinatensystem wird mit **G17** geschwenkt (z.T. auch mit **G59** möglich).
Aber erst wenn nun ein Wegbefehl (**G00** oder **G01**) erfolgt, beginnt das Schwenken und die Ausgleichsbewegung des Werkzeuges. z.B.: **G17 BM-80** und dann in der nächsten Zeile: **G00 X0**



Achte darauf, unmittelbar nach dem Schwenken des Koordinatensystem einen Wegbefehl mit **G0** einzugeben:
Das Werkzeug verfährt dann im Eilgang zu den neuen Koordinatenwerten und schwenkt (unterwegs) ein.
Achte darauf, dass der Z-Wert ausreichend groß genug ist. (Sicherheitsabstand)
Gib sicherheitshalber alle Koordinaten an; falls z.B. der X-Wert fehlt, wird nicht X-Achs-parallel verfahren, sondern der alte X-Wert wird auf das neue Koordinatensystem umgerechnet! Achtung!
(Aufgemerkt: anderen Steuerungen können sich evtl. etwas anders verhalten.)



Beim linken Beispiel gäb's bei arglosem Programmieren eine Kollision, denn das Werkzeug befindet sich in der Bahn der Schwenk- und Ausgleichsbewegung.
Man sollte vor oder spätestens unmittelbar nach der Anwahl des neuen Koordinatensystems das Werkzeug auf einen sicheren Punkt stellen.



Beim Schwenken mit dem **G01**-Befehl, wird die Schwenkbewegung über den gesamten Verfahrensweg interpoliert. CAD-CAM verwendet sowas schon mal öfters, wir wohl nicht.
PALmill simuliert das allerdings nur sehr "ruckelhaft", weil's sonst zu viel CPU-Leistung erfordert. (u. ist math. nicht ganz 100%-ig (Quaternion-Rechnung nötig!))
Schwenken mit **G02/G03** ist bei PALmill nicht vorgesehen; Die Bewegung wäre m.E. mehrdeutig.

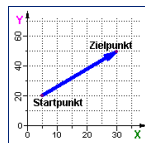
S-Achsen: Schwenkposition vorher weiter **G00** Eilgang

G00-Befehl: Eilgang

Werkzeug verfährt im Eilgang.
==> „Punktsteuerung“ (aber: Maschinen verfahren heutzutage meist linear interpoliert.) Punktsteuerung heißt: Kein Werkzeug im Eingriff; X- und Y-Bewegung sind nicht miteinander abgestimmt; nur der Zielpunkt ist wichtig.

Der Eilgang wird zum schnellen Positionieren des Werkzeugs eingesetzt und ist nicht für die Bearbeitung des Werkstücks vorgesehen. Die Achsen werden mit der maximalen Geschwindigkeit verfahren. Wenn mehrere Achsen im Eilgang verfahren werden sollen, dann wird die Geschwindigkeit von der Achse bestimmt, die für ihren Bahnweg die längste Zeit benötigt.
Jedoch sorgen heute schon viele Steuerungen dafür, dass selbst im Eilgang mit **G00** die Achsbewegungen miteinander interpoliert werden. D.h. die Bewegung ist eine Gerade im Raum.

G00 X2.. Y.. Z.. F.. S.. T.. M..



Mindestens ein Koordinaten-wert muss vom Zielpunkt angegeben sein.

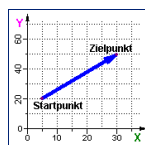
z.B.: **G00 X50 Y30 Z-5**

Schwenk-Ausgleichsbewegungen vorher weiter **G01**

G01-Befehl: Linearinterpolation + Verrunden bzw. Fasen

Werkzeug verfährt mit Vorschubgeschwindigkeit (und ist im Eingriff).
==> „Bahnsteuerung“ (; X-, Y- und evtl. die Z-Bewegung sind miteinander abgestimmt, „interpoliert“).

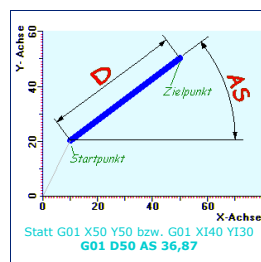
G1 [X/XI/XA] [Y/YI/YA] [Z/ZI/ZA] [D] [AS] .. (Auswahl) F.. S.. T.. M..



Mindestens ein Koordinaten-wert vom Zielpunkt muss angegeben sein.

z.B.: **G01 X50 Y30 Z-5** oder **G01 X125 Y125**

Ab 2009 sind weitere Eingabemöglichkeiten erlaubt:
Vergleiche auch die erweiterten Eingabealternativen vom **G61-Befehl**. (lineare Konturzüge)



Statt kartesischer Koordinaten können Winkel und Abstand, Winkel und Koordinate oder Abstand und Koordinate eingegeben werden.

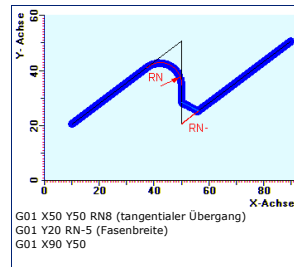
Statt **G01 X50 Y50** bzw. **G01 X140 Y130**
G01 D50 AS 36,87

Auch Kombinationen sind möglich:

G01 X50 D50 H1 oder
G01 Y130 D50 H1 oder
G01 X50 AS36,87

In den Fällen, wo es zwei Lösungen gibt, muss mit der Adresse **H** die Linie eindeutig festlegen:
H1 bedeutet: kleiner Anstiegswinkel zur X-Achse
H2 bedeutet: großer Anstiegswinkel

Zwei zusammenhängende Geraden o. auch Bögen können durch ein Anhängen einer **RN**-Adresse miteinander verrundet werden bzw. (bei neg. **RN**-Wert) eine Fase erhalten; es entsteht ein Übergangselement:

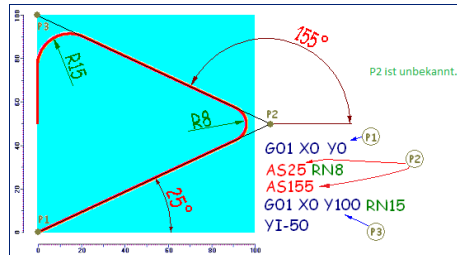


(RN+)
Radius mit tangentialem Übergang

(RN-)
Radius neg.: Fasenbreite

alternativ:
G01 D50 AS36,87 RN8

noch 'n Beispiel:



Kennt man von 2 benachbarten Geraden den gemeinsamen Eckpunkt nicht, so können die beiden Geraden durch ihre Winkellage definiert werden.
Die 1. Gerade wird durch den Winkel AS beschrieben (Extra-Befehlszeile!); die 2. Gerade wird auch mit AS erst am Ende der nächsten Zeile eingegeben, die den Endpunkt beschreibt.

Tipp:
Die Fehlermeldungen im Zusammenhang mit RN beziehen sich u.U. auf die Folgezeilen.
Schalte bei Interpretationsproblemen vorübergehend den RN-Befehl mit ; aus.

Achtung:
RN muss immer am Ende der Befehlszeile stehen, weil PALmill auch die Verrundung von zwei Linearwegen in einer Zeile erlaubt. Deshalb kann's leider zu Fehlermeldungen kommen, wenn man die originale Reihenfolge von manchen PAL-Lösungen verwendet.

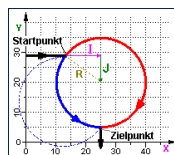
(PAL und PALmill vertragen sich hier nicht ganz 100-%-zig; ich will's aber nicht mehr umprogrammieren.)

G00-Befehl <vorher> <weiter> Kreisinterpolation

Der G02- bzw. G03-Befehl: Kreisinterpolation

Werkzeug verfährt auf einem Kreisbogen mit Vorschubgeschwindigkeit (und ist im Eingriff).
==> „Bahnsteuerung“ (; X-, Y- und evtl. die Z-Bewegung sind miteinander abgestimmt, „interpoliert“)

G02 X.. Y.. I.. J.. Z.. F.. S.. T.. M.. bedeutet: fahre im Uhrzeigersinn
G03 X.. Y.. I.. J.. Z.. F.. S.. T.. M.. bedeutet: fahre im Gegenuhrzeigersinn



Benötigt werden die Zielkoordinaten X und Y sowie die Mittelpunktswinkelkoordinaten des Kreisbogens. Dieser wird inkremental eingegeben, also ausgehend vom Startpunkt.

(Einige Steuerungen (Waagrecht-Fräsmaschinen) erlauben eine absolute Eingabe von I, und J.

(Startpunkt: X13 Y29)

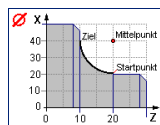
G02 X25 Y5 I 12 J-9 bzw. G03 X25 Y5 I12 J-9

bzw. inkremental:

G01 X13 Y29

G91

G02 X12 Y-24 I12 J-9



Beim Drehen sieht's etwas anders aus:

Die Zielkoordinaten X (als Durchmesser) und Z werden absolut eingegeben; die Mittelpunktswinkelkoordinaten I und K jedoch inkremental.

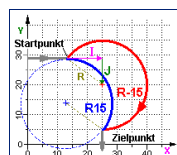
G02 X40 Z10 I10 K0

Im Sonderfall, dass der Zielpunkt identisch mit dem Startpunkt ist, verfährt PALmill (aber nicht jede Steuerung) einen Vollkreis. Schlimmstenfalls 2 Halbkreise programmieren!

Die Werte von I und J in den obigen Beispielen sind nach Herrn Pythagoras zufällig ganzzahlig. Sie müssen bis auf die 3. Kommastelle genau ausgerechnet werden. PALmill ist da genau so rabiat wie dein „Gesellenprüfungsauswerter“: bei Abweichungen von mehr als 3 Mikrometer bringt es 'ne Fehlermeldung. Andere Steuerungen sind da z.T. phlegmatischer: sie machen irgendwie das beste 'draus und verfahren am Schluss linear an den Zielpunkt !?!

Natürlich gibt's bei „richtigen“ Steuerungen bedienerfreundlichere Möglichkeiten, diese obige Bahn zu programmieren, ohne mühevoll rechtwinklige Dreiecke zu suchen: einfach durch die Eingabe des Radius (und des Zielpunktes natürlich). Aber so gibt's zwei Möglichkeiten, wie du aus obiger Zeichnung siehst. Bei der blauen gestrichelten Variante (und bei der roten Bahn) ist der Innenwinkel des Bogens größer als 180 Grad; für diese Bahn müsste man zur eindeutigen Unterscheidung den Radius negativ eingeben. (Wer CAD kann, kennt diese Möglichkeiten.)
z.B. G03 X25 Y5 R15 u. für die blau gestrichelte Variante G03 X25 Y5 R-15

PAL2009 erlaubt nun „bedienerfreundlichere“ Koordinateneingabe:



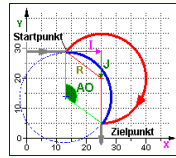
Statt I und J wird nur der Radius R eingegeben.

Da es 2 Lösungsmöglichkeiten gibt, wird die Variante, die über 180° geht, mit einem Minus-Zeichen gekennzeichnet. Also R- bzw. AO-

(Startpunkt: X13 Y29)

G02 X25 Y5 R 15 bzw. G02 X25 Y5 R-15 bzw. G02 X25 Y5 R15 O2

Alternativ kann man auch das Bogenlängenkriterium "O" benutzen: wenn es auf 2, statt auf 1 steht, dann ist (trotz pos. R oder pos. AO) der größere Bogen gemeint.



Statt I und J wird nur der Öffnungswinkel AO eingegeben.

Da es 2 Lösungsmöglichkeiten gibt, wird die Variante, die über 180° geht, mit einem Minus-Zeichen gekennzeichnet. Also R- bzw. AO-

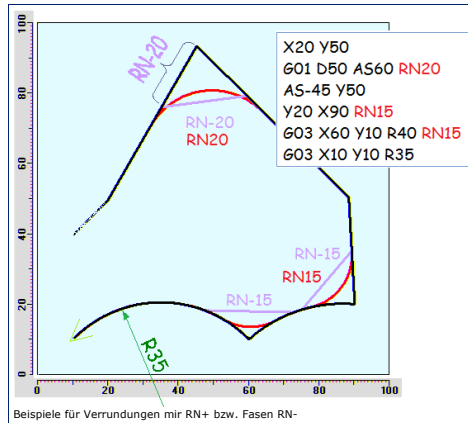
Startpunkt: X13 Y29)

G02 X25 Y5 AO 126,87 bzw. G02 X25 Y5 AO -126,87
bzw. G02 X25 Y5 AO 126,87 O2 bzw. G02 X25 Y5 AO 233,13

Hinweis:

Wird bei einer Kreisbewegung auch der Z-Wert verändert, so erhält man eine Helix.
Genau wie der G01-Befehl können auch die G2- bzw. G3-Befehle mit RN (Verrundung) oder RN-Übergangselement erweitert werden.

Beispiel:



PAL erlaubt unterschiedliche und sehr elegant Eingabemöglichkeiten für Linien und Bögen. (vgl. auch den G61- und G62-Befehl.)
Zusätzlich kann man die Ecken verrunden mit RN+ bzw. fasen mit RN-.

Wenig Sinn macht m.E. das Fasen von Bögen mit Geraden; es kann sogar u.U. zu unerwünschten Geometrien kommen, wenn z.B.

G01 vorher G04 Verweilzeit

G04 Verweilzeit

... sorgt für eine Unterbrechung der Vorschubbewegung (zum Spänebrechen oder Freischneiden) des Werkzeuges.

G04 U.. O..



U: Verweildauer (in Sekunden bzw. Umdrehungen) (voreingestellt: in Sekunden)
O: Auswahl der Verweilzeit (voreingestellt: O1)

O1: ... in Sekunden
O2: ... in Umdrehungen (O2 wird von der PALturn-Simulation nicht beachtet.)

Fräsen: G04 ist nur wichtig beim Bohren und bei exakten Ecken. Durch den Schleppwert zwischen Soll- und Istwert (vgl. Regeltechnik in deinem Fachbuch) ist immer eine leichte Verrundung festzustellen.
Mit G04 (oder dafür eigens vorgesehene Befehle G09) kann man dies vermeiden.

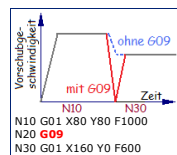
Drehen: G04 ist zu verwenden, wenn man eine Nut einschicht. Das Werkzeug muss dann mindestens so lange stehen bleiben, bis die Spindel einmal umgelaufen ist, sonst dreht man „ein Ei“.

G02-G03 Kreisinterpolation vorher G09 Genauhalt

G09 Genauhalt

... sorgt in Verbindung mit den Verfahrbefehle G01-G03 dafür, dass die Vorschubgeschwindigkeit auf Null reduziert wird.

G09 ohne Parameter



Die Genauhaltanweisung wird z.B. dann benutzt, wenn scharfe Konturrecken hergestellt werden müssen.
Dabei wird die Sollgeschwindigkeit der Bahn im Konturübergang bis auf Null reduziert und anschließend wieder erhöht.
Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die programmierte Position genau angefahren wird.

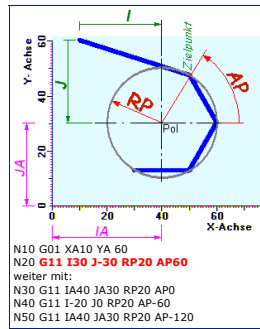
Dadurch wird ein „Verrunden“ von Kanten, das durch den sog. Schleppfehler der Steuerung bedingt ist, vermieden.

G04 Verweilzeit vorher G11 (Linearinterpolation mit Polarkoordinaten)

G10- und G11-Befehl (Linearinterpolation mit Polarkoordinaten)

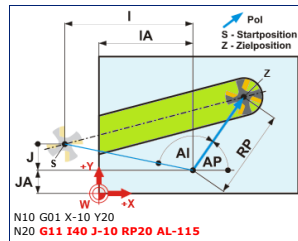
Bei Bohrbildern oder Bei Vielecken geht die Bemaßung oft von einem zentralen Punkt aus.
Damit man nicht mit Pythagoras oder Winkelfunktionen rechnen muss, kann man die Zielpunkte auch mit Hilfe von polaren Koordinaten eingeben:

G11 I.... J.... RP... AP...



Will man das Gleiche im Elgang tun, so verwendet man G10 statt G11.

G11 I.... J.... RP... AP...



Statt den Endwinkel AP anzugeben, kann man alternativ auch den inkrementalen Polwinkel AL verwenden.

Hinweis: Genau wie der G01-Befehl kann auch der G11-Befehl mit RN (Verrundung) erweitert werden.

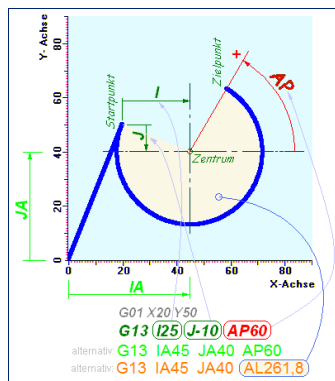
G09 Genauhute vorher ... weiter G12, G13 Kreisinterpolation über Polarkoordinaten

G12 und G13 (Kreisinterpolation über Polarkoordinaten)

Ist das Zentrum des Bogens bekannt, so kann man statt mit Hilfe von G02 bzw. G03 den Bogen nur mittels „Mittelpunkts“koordinaten I und J, sowie mittels Polwinkel AP angeben :

G12 IA ... JA... AP... Bogen im Uhrzeigersinn

G13 IA ... JA... AP... Bogen entgegen dem Uhrzeigersinn



I und J sind immer inkremental (egal, ob G90 oder G91 aktiv ist).
IA und JA sind immer absolut.
Der Polwinkel AP bezieht sich (im math. Sinne) auf die pos. Abszisse.
Er kann auch neg. eingetragen werden (z.B. -60 Grad, statt 300 Grad)

Statt AP (=absoluter Polwinkel des Zielpunktes) kann auch der inkrementale Winkel AL (Polwinkel Start-Ziel) verwendet werden. (Bei AL interessiert nur der Betrag des Innenwinkels, denn die Richtung wird von G12 bzw. G13 bestimmt.)

Hinweis: Genau wie der G01-Befehl können auch die G12- bzw. G13-Befehle mit RN (Verrundung) erweitert werden.

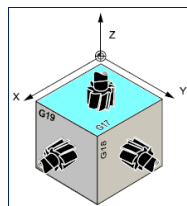
G10, G11 (Linearinterpolation mit Polarkoordinaten) vorher ... weiter G17 Ebenenwahl 2½D-Bearbeitung (Standardebene)

G17 Ebenenwahl 2½D-Bearbeitung (Standardebene)

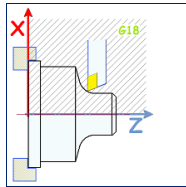
G17 (u. G16) Schwenken des Koordinatensystems

Durch die Ebenenauswahl (X-Y-Ebene) wird angegeben, in welche Richtungen die Werkzeuggradienkorrektur, die Werkzeuglängenkorrektur und die Kreisinterpolation wirken.

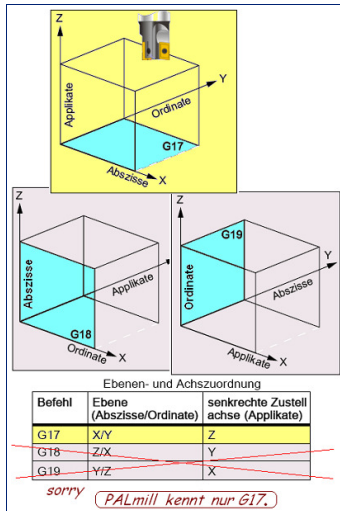
G17 bzw.. G18 oder G19 (ohne zusätzliche Parameter)



Bei der Senkrechtfräsmaschine ist G17 die Standardebene.



Bei der Drehmaschine ist G18 die Standardebene.



M.E. machen bei einer 5-Achsen-Maschine die Ebenen G18 und G19 keinen Sinn (mehr), denn man dreht ggf. das Koordinatensystem und hat damit die G17-Ebene mitgedreht. (Die Werkzeugachse ist immer = Z-Achse.) Wer gute Gründe hat, die dagegensprechen, der maille mir bitte.

KOORDINATEN-DREHUNG:
Drehung der maschinenfesten Raumwinkel mit **AM, BM und CM** absolut!
z.B.: G17 AM10 BM20 CM30

(Hier wirkt sich Reihenfolge nicht auf das Ergebnis aus.)
Aber Vorsicht bei Mehrfach-Drehung: stimmt die Raumebene mit der gewünschten Werkstückebene überein?
besser:

Drehung um die Achsen des aktuellen **Werkstückkoordinatensystems** mit **AR, BR und CR** relativ!

z.B.: G16 CR45
z.B.: G16 BR30
Bei umgekehrter Reihenfolge (zuerst BR30 und dann CR45) ist die Wirkung anders!

Aufgemerkt!
Bei relativem Schwenken die **Schwenkreihenfolge beachten!**
Es kann also immer nur ein rel. Drehbefehl in G17 stehen.
G17 ohne Parameter bedeutet: altes (Maschinen-)Koordinatensystem wieder einschalten.

siehe auch: [Schwenk- und Raumwinkel](#)

Schwenken des Koordinatensystems:

(Vgl. Info u. Animationen auf meiner HP: www.hubertklinkner.de/pamill/schwenken.html)

G16 Inkrementelle Drehung der aktuellen Bearbeitungsebene

Ergänzend zu vorstehenden 5 Definitionsmöglichkeiten einer Bearbeitungsebene ausgehend von einer Standardebene gibt es inkrementelle Drehungen der aktuellen Bearbeitungsebene als Ausgangsebene um einen relativen Raumwinkel zu einer aktuellen Werkstückkoordinatensystemachse der Bearbeitungsebene.

NC-Satz

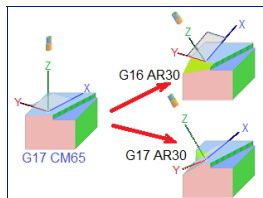
G16 [AR/BR/CR]

Optionale Adressen

AR Drehung um die X-Achse des aktuellen Werkstückkoordinatensystems

BR Drehung um die Y-Achse des aktuellen Werkstückkoordinatensystems

CR Drehung um die Z-Achse des aktuellen Werkstückkoordinatensystems



Im Falle von **G16 AR30** wird um die aktuelle, unter 65 Grad schräg liegende X-Achse geschwenkt.

Im Falle von **G17 AR30** wird um die fixe X-Achse des Maschinenkoordinatensystems geschwenkt.

G17 WM Ebenenanwahl mit maschinenfesten Raumwinkeln

Es erfolgt hier die Drehung des Bearbeitungsebenen-Koordinatensystems nacheinander um die programmierten festen Maschinenkoordinatensystem-Achsrichtungen. Die resultierende Bearbeitungsebene ist von der Reihenfolge der Drehwinkel abhängig.

G17/G18/G19 [AM] [BM] [CM] [H] [DS] [Q]

Optionale Adressen

AM Drehwinkel um die X-Achse des Maschinenkoordinatensystems

BM Drehwinkel um die Y-Achse des Maschinenkoordinatensystems

CM Drehwinkel um die Z-Achse des Maschinenkoordinatensystems

Nichtprogrammierte Drehwinkel werden mit Null (keine Drehung) vorbelegt

G17 WR Ebenenanwahl mit relativen Raumwinkeln

Die Drehungen erfolgen jeweils nacheinander um die programmierte entsprechende Achse des bereits mit dem vorausgehenden Winkel gedrehten Werkstückkoordinatensystems. Die erste Drehung erfolgt um die entsprechende Achse des aktuellen Koordinatensystems der Ausgangsebene, die noch mit dem Maschinenkoordinatensystem (auch "Referenzsystem") übereinstimmt. Die resultierende Bearbeitungsebene ist von der programmierten Reihenfolge der Drehwinkel abhängig.

G17 [AR] [BR] [CR] [H] [DS] [Q]

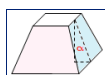
Optionale Adressen

AR Relativer (inkrementeller) Drehwinkel um die X-Achse des aktuellen Werkstückkoordinatensystems

BR Relativer (inkrementeller) Drehwinkel um die Y-Achse des aktuellen Werkstückkoordinatensystems

CR Relativer (inkrementeller) Drehwinkel um die Z-Achse des aktuellen Werkstückkoordinatensystems

Nichtprogrammierte Drehwinkel werden mit Null (keine Drehung)



Angenommen, der Winkel Alpha wäre 15 Grad. Damit "Z" des zu drehende Koordinatensystems senkrecht zur blauen Fläche zeigt, programmiert man:
G17 BM-15 ; nicht genannte Schwenkachsen werden 0 gesetzt.
Analog dreht man auf die "rosa Fläche" mit: G17 AM-15
(Die Position des Koordinatensystems hat sich in beiden Fällen natürlich nicht verändert.)

Aber wehe, wehe, wenn min. 2 nicht-rechtwinklige Drehungen nötig sind:

G22 Unterprogrammaufruf

... sorgt dafür, dass ein Unterprogramm, das sich in einer eigenen Datei befindet, (evtl. mehrmals) abgearbeitet wird.

G22 L ... H ...

L: ist die Nummer des Unterprogramms

H: (optional) ist die Anzahl der Wiederholungen

Z.B. G22 L666 H3

bedeutet: Programm mit der Nr. 666 wird 4x durchlaufen

Besonderheit bei PALmill: die NC-Datei muss sich auf dem Desktop befinden.
Ist sie nicht ins PALmillFenster geladen, so erfolgt während des Programmablaufs eine entsprechende Aufforderung, die jew. NC-Datei zu öffnen.
Außerdem muss diese Datei als Unterprogramm erstellt worden sein
(Menü: Datei Neu Unterprogramm Unterprogr.-Nr. eingeben
z.B. 666 und später unter beliebigem Namen abspeichern)

vgl. Thema: --> [Unterprogrammtechnik](#)

Tipp: ist das Unterprogramm schon als externe Datei vorhanden, so erzeuge wie oben beschrieben ein neues Unterprogramm und kopiere den Dateinhalt hinein.

**Wird ein Unterprogramm nur von einem einzigen Hauptprogramm genutzt, so sollte man m.E. auf ein eigenständiges Unterprogramm verzichten und statt G22 besser die G23-Funktion verwenden.
D.h. setze den Programmteil z.B. hinter M30 des Hauptprogramms und rufe es mit G23 N.. N.. auf.**

G17 Ebenenwahl [← vorher](#) [weiter →](#) G23 Programmabschnittswiederholung

G23 Programmabschnittswiederholung

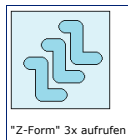
... sorgt dafür, dass das Programm an einer anderen Stelle im Programmtext (evtl. mehrmals) abgearbeitet wird, bevor es wieder an der Absprungstelle fortgeführt wird.

G23 N ... N ... H ...

N: ist die Zeilennummer am Beginn des Programmabschnitts

N: ist die Zeilennummer am Ende des Programmabschnitts

H: (optional) ist die Anzahl der Wiederholungen



"Z-Form" 3x aufrufen

Programmabschnittswiederholungen machen Sinn, wenn sie im Programm mehrfach verwendet werden können oder wenn ein aufwändiges Programm damit besser strukturiert werden soll.

(Wenn der Programmteil in mehreren Hauptprogrammen benötigt wird, empfiehlt sich m.E. besser der [L-Befehl](#).)

Z.B. G23 N117 N121 H2

bedeutet: Programm durchläuft 3x die Zeilen 117 bis 121

Hinweis:

Eine vollständige Nummerierung der Programmzeilen ist nötig;
sie muss noch nicht einmal fortlaufend sein. Bei der Renumerierung (mit F9) werden die Sprungziele entsprechend abgeändert.

Zwecks besserer Programmübersicht ist es sinnvoll, die Programmabschnitte hinter M30 zu legen.

G22 Unterprogrammaufruf [← vorher](#) [weiter →](#) G29 Parameter-Programmierung

G29 bedingter Programmsprung & Parameter-Programmierung

... sorgt dafür, dass das Programm bei bestimmten Bedingungen an einer anderen Stelle im Programmtext fortgeführt wird. (kein Rücksprung wie bei G23)

G29 P... O... P... N ...

N: ist die Zeilennummer der „anzuspringenden“ Programmzeile

P: Variable

O: Vergleichsoperator

O1	gleich
O2	ungleich
O3	größer
O4	kleiner

Z.B.

G29 N139

(ohne Parameter: „unbedingter Sprung“ in die Zeile 139)

Z.B.

G29 N117 P13 O3 P29

(mit Parameter: "bedingter Sprung" in die Zeile 117, wenn der Wert von P13 gleich dem Wert von P29 hat.
Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, wird die dem Befehl folgende Zeile abgearbeitet.)

Parameter-Programmierung

Sie erlaubt es, viele mathematisch zu beschreibende Geometrien an der Steuerung zu programmieren.
Mittels Parameter und Unterprogrammtechnik können auch eigene Zyklen nach Bedarf programmiert werden (um das fehlende Angebot der Steuerungshersteller zu ergänzen).
Mit P-Parametern kann man mit einem Bearbeitungs-Programm eine ganze Teilfamilie definieren.
Dazu gibt man anstelle von Zahlenwerten Platzhalter ein:

PALmill kennt nur **Benutzerparameter**.
Sie werden mit der Adresse P und dem ganzzahligen Adresswert von 0 bis 9999 programmiert.

Ein Wertzuweisung erfolgt durch ein Gleichheitszeichen: z.B.: **P456 = -45,5**

Systemparameter, z.B. Nullpunkte u.ä. werden nicht berücksichtigt.

Lediglich kann auf die aktuellen abs. Position der Achsen zugegriffen werden. z.B.: **P123 = X**

Einer P-Adresse kann mit Gleichheitszeichen der Wert eines arithmetischen Ausdruckes zugeordnet werden.

z.B.: P145= 6*0,46 - (P14 * SIN(26) + 0.5)

Leider können bei PALmill (vorerst ?) nicht mehrere Parameterzuweisungen in einem NC-Satz programmiert werden. Sorry, neue Zeile verwenden.

Einer NC-Adresse kann der Wert eines Benutzerparameters zugewiesen werden, in dem der Parameter mit vorangestelltem Gleichheitszeichen an die Adressbuchstabenkombination angehängt wird. z.B.: Y = P145

Leider ist es bei PALmill (vorerst ?) nicht möglich, einer Adresse mit Gleichheitszeichen den Wert eines arithmetischen Ausdruckes zuzuordnen..

Sorry, in vorhergehender Zeile den arithmetischen Ausdruck einem bestimmten Parameter zuordnen. z.B.:

P555 = P33 + P17 -0,6

X = P555

Ein arithmetischer Ausdruck wird aus Parametern, Zahlenwerten und Funktionswerten zusammen mit den arithmetischen Operationen +, -, *, / und Klammerungen () gebildet, wobei die üblichen Algebraregeln über die Klammerung und „Punkt-vor-Strich-Rechnung“ gültig sind. Innerhalb eines arithmetischen Ausdruckes wird ein Parameter oder eine Funktion wie eine Zahl behandelt.

Ein arithmetischer Ausdruck muss mit dem Zeichen "(" (Klammer auf) eröffnet und mit dem Zeichen ")" (Klammer zu) abgeschlossen werden. Arithmetische Teilausdrücke eines arithmetischen Ausdruckes werden ebenfalls durch runde Klammern eingeschlossen.

Natürlich muss der Benutzerparameter P vor seiner Verwendung in einem arithmetischen Ausdruck bereits im NC-Programm vorher schon definiert sein.

Rechenoperationen

Eine **Addition** wird mit dem Zeichen "+" (Plus) programmiert.

Eine **Subtraktion** wird mit dem Zeichen "-" (Minus) programmiert.

Eine **Multiplikation** wird mit dem Zeichen "*" (Stern) programmiert.

Eine **Division** wird mit dem Zeichen "/" (Schrägstrich) programmiert.

Nicht bei PAL, aber bei PALmill: Eine **Potenz** wird mit dem Zeichen „^“ programmiert.

Für die Reihenfolge der Ausführungen gilt die Punkt-vor-Strich-Regel (* / vor + -), die festlegt, dass zuerst die Multiplikation und Division vor Addition oder Subtraktion durchgeführt werden.

Funktionen

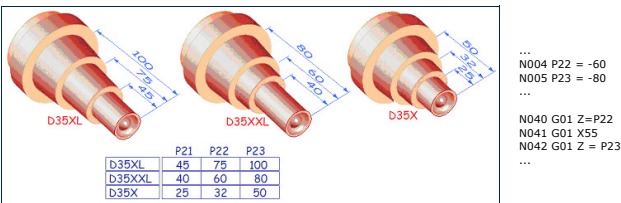
Eine Funktion ordnet ihrem in Klammern stehenden Argument, das auch ein arithmetischer Ausdruck sein kann, einen Funktionswert zu. Eine Funktion kann auch zwei durch Komma getrennte Argumente haben (vgl. MOD u. ATAN2). Der Funktionswert wird mit dem Funktionsnamen und den angehängten Argumenten in Klammern programmiert. z.B.:

P456 = -SIN(360/7)

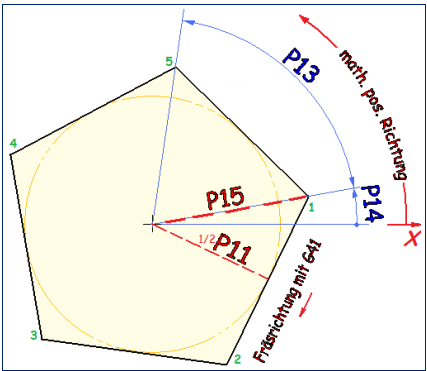
ABS(F)	Berechnet den Absolutbetrag des Argumentes als Funktionswert.
INT(F)	Schneidet die Nachkommastellen des Argumentes ab und hat als Funktionswert eine ganze Zahl.
MOD(I1,I2)	Restbetrag IR einer ganzzahligen Division. Der Rest IR = I1 - (I1 / I2) * I2 ist betragsmäßig kleiner als I2.
SIN(F)	Sinusfunktion mit der Argumenteneinheit Winkelgrad.
COS(F)	Kosinusfunktion mit der Argumenteneinheit Winkelgrad.
TAN(F)	Tangensfunktion mit der Argumenteneinheit Winkelgrad.
ASIN(F)	Arcussinusfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.
ACOS(F)	Arcuskosinusfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.
ATAN(F)	Arcustangensfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.
ATAN2(F1,F2)	Die Arcustangensfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad. Die Funktion entspricht der Tangensfunktion A1/A2 für A2≠0. und ATAN2(F1,0)=90° für F1>0 ATAN2(F1,0)=-90° für F1<0.
SQRT(F)	Quadratwurzelfunktion (eng. „square root“)
EXP(F)	Die Exponentialfunktion ist die Potenz eF und wird mit der Eulerschen Konstanten e = 2,71828 berechnet.
LN(F)	Als Umkehrfunktion zur obigen Exponentialfunktion kann mit "LN" der Logarithmus zur Basiszahl e berechnet werden.
^	Potenz {nicht bei PAL erlaubt!! Alternative: EXP(LN(Basis * Hochzahl)) }

Für die Reihenfolge der Ausführungen gilt die Punkt-vor-Strich-Regel (* / vor + -), die festlegt, dass zuerst die Multiplikation und Division vor Addition oder Subtraktion durchgeführt werden.

Beispiel Nr. 1: Teilefamilie



Beispiel Nr. 2: Vieleck fräsen



P11=19

P12=5

P13=(360/ P12)

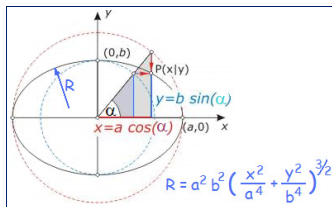
[Schlüsselweite = Durchmesser des Innenkreises]

[Anzahl der Flächen]

[Winkelteilung (360 : Eckenzahl)]

P14=10	[Startwinkel der 1. Ecke (in pos. math. Richtung) wird später jedes Mal um P13 größer]
	,
P15=((P11/2)/C OS(P13/2))	[Radius des Außenkreises]
P16=20	[Fräserdurchmesser; wichtig für Anfahrpunkt vor G41]
P17=-10	[Frästiefe]
	,
G00 Z100 F100 S1 T3 M03	
	,
P112=((P15+ P16)*COS(P14))	[X-Anfahr-Koordinate vor der 1. Ecke]
P113=((P15+ P16)* SIN(P14))	[Y-Anfahr-Koordinate vor der 1. Ecke]
G00 X= P112 Y= P113	
G00 Z= P17	
P20= P16/2	legt R des Anfahrbogens bei G47 fest
P112=(P15*C OS(P14))	[X-Koordinate der jew. Ecke]
P113=(P15* SIN(P14))	[Y-Koordinate der jew. Ecke]
G41 G47 X= P112 Y= P113 R= P20	
; Jetzt wird "P12"mal wiederholt	
N25 P14= P14- P13	[Winkel der jew. Ecke wird erhöht
	(bez. auf Mitte, entgegen dem math. Drehsinn)]
P112=(P15*C OS(P14))	[X-Koordinate der jew. Ecke]
P113=(P15* SIN(P14))	[Y-Koordinate der jew. Ecke]
G01 X= P112 Y= P113	[zur berechneten Ecke fahren]
P12= P12-1	
G29 (P12 O3 (0)) N25	[Springt zurück in N25, solange Eckenzahl P12 > 0 ist.
G40 G48 R= P20	
M30	
,	

Beispiel Nr. 3: Ellipse fräsen



;Eingabe		
P11 = 60	[Außendurchmesser über lange Achse]	
P12 = 40	[Außendurchmesser über kurze Achse]	
P13 = -7	[Tiefe, absolut]	
P14 = 20	[Fräserdurchmesser; wichtig für Anfahrpunkt vor G41]	
P15 = 20	[Anzahl der Bogenschritte pro Konturumrundung (min. 20)]	
;daraus berechnet:		
P21 = P11/2	[a	
P22 = P12/2	[b	
P23 = P21*P21*P22*P22	[a*b zum Quadrat	
P25 = 360/P15	[Winkelzunahme in Grad	
P26 = P21*P21*P21*P21	[a hoch 4 bzw. P21^4	
P27 = P22*P22*P22*P22	[b hoch 4 bzw. P22^4	
	,	
G00 z100 F100 S1 T3 M03		
	,	
P34 = P14*0.75	;legt R des Anfahrbogens bei G47 fest	
P31 = P21 + P34	[X-Anfahr-Koordinate auf X-Achse	
P32 = P34/3	[Y-Anfahr-Koordinate	
	,	
G00 X=P31 Y=P32		
G00 Z=P13		
	,	
P31 = P21	[X-Koordinate des 1. Konturpunktes	
P32 = 0	[Y-Koordinate der jew. Ecke]	
	,	
G41 G47 X=P31 Y=P32 R=P34		
,		
P124 =0	[Lauf-Winkel Alpha setzen; muss 0 Grad sein! vgl. Anfahren!	
; Jetzt wird P15 mal wiederholt, bis Kontur 1x umrundet ist.		
N10 P124 = P124 - P25/2	[Winkel Alpha wird um halben Schritt"erhöht" (bezogen auf Mitte, entgegen dem math. Drehsinn)-->G41	
P31 = P21*COS(P124)	[X-Koordinate aus a und Alpha ermittelt. Wird nicht angefahren, sondern nur zur R-Ermittlung benötigt	
P32 = P22*SIN(P124)	[Y-Koordinate aus b und Alpha ermittelt " " Liegt auf Mitte Bogen	
P33 = P23*(P31*P31/P26 + P32*P32/P27)^1.5	; ^ gibt's bei PAL nicht: erlaubt wäre => EXP(LN("Klammerwert" * 1,5))	
	,	
N10 P124 = P124 - P25/2	[Winkel Alpha wird weiter "erhöht"	
P31 = P21*COS(P124)	[X-Koordinate aus a und Alpha ermittelt.	
P32 = P22*SIN(P124)	[Y-Koordinate aus b und Alpha ermittelt	
G02 X=P31 Y=P32 R=P33	[Bogenschritt fahren m.E. schneller, sauberer, als tausend kleine G01-Wege zu fahren	
P15 = P15-1	[Zähler herunterzählen	

G29 (P15 O3 (0)) N10

[Springt zurück in N10, solange Bogenzahl P15 > 0 ist.

P32 = P32 -1

g01 Y=P32

[End-Tangente ist sonst evtl. ungenau bei kleinen Schrittzahlen von P15

g40 g48 r = P34

m30

G23 Programmabschnittswiederholung [vorher](#) [weiter](#) G40, G41, G42 Werkzeugbahnkorrektur

G40, G41 bzw. G42: Werkzeugbahnkorrektur .

Statt der Werkzeugmittelpunktsbahn wird die Werkstückkontur programmiert.

Der Übergang von den NC-Maschinen der 70er-Jahre zu den computergesteuerten Maschinen ermöglichte es, auf die umständliche Berechnung (der Äquidistanten) der Fräsermittelpunktsbahn zu verzichten. (Früher musste das Programm umgeschrieben werden, wenn man einen anderen Werkzeugradius verwandte, als im Programm vorgesehen!!!)



Man braucht also nur die Kontur des Werkstücks zu programmieren; der Computer bestimmt aus dem modal (also solange geltend, bis er wieder mit G40 abgeschaltet wird) wirkenden Befehl die zu verfahrenende Mittelpunktsbahn.

G41 : Werkzeugradienkompensation **links** von der Werkstückkontur
G42 : Werkzeugradienkompensation **rechts** von der Werkstückkontur
G40 : Werkzeugradienkompensation **aus**

G41 G01 X.. Y.. (mit Anfahrbefehl)
G41 G45 oder G46 (vgl. die spez. tangentialen [Anfahrbefehle](#))



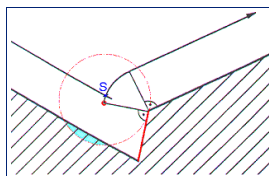
Selbstverständlich benötigt die Steuerung die erforderlichen Maße des Werkzeuges. Sie erhält sie beim Aufruf (Werkzeugwechsel) des Werkzeugs mit dem Befehlswort T . (Bei einigen uralten Steuerungen werden mit dem Befehlswort D solche Werte aus einer Tabelle gelesen, die der Bediener bei jedem Nachschliff des Werkzeuges eingeben muss.) Die [TR](#)-Adresse erlaubt es beim Werkzeugaufruf bzw. Werkzeugwechsel einen "Offset" (=Äquidistante) einzugeben. Dies bewirkt, dass die Steuerung mit einem größeren Werkzeugdurchmesser rechnet, als wirklich vorhanden: es bleibt an der Kontur ein (Schlicht-)Aufmaß stehen. (vgl. auch: [G60](#)-Befehl)

Je einfacher heutzutage das Programmieren geworden ist, desto sorgloser verwenden viele Schüler die G41/G42-Funktionen: Sie fahren oft bei eingeschalteter Wkz-Radienkompensation „wild in der Gegend herum“ oder machen sich keine Gedanken zum An- oder Wegfahren zu oder von der Kontur!! Es ist ja logisch, dass beim Zurückfahren der Fräser plötzlich auf der anderen Seite steht. PALmill "meckert" in solchen Fällen mit einer Warnmeldung.

Tipp: Beim Verfahren mit G00 nie die Wkz-Radienkompensation eingeschaltet lassen!

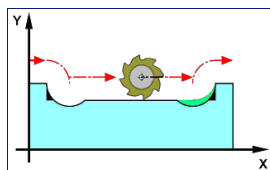
G40 schaltet die Werkzeugradienkompensation wieder ab

Abschließend sei auf einen typischen Programmierfehler hingewiesen, die auch bei anderen CNC-Steuerungen nicht ohne bes. Befehle aufgefangen wird: Bei der vorausschauenden Berechnung der korrigierten Werkzeugmittelpunktsbahn wird nur der Übergangswinkel zum Konturelement des anschließenden Bewegungssatzes berücksichtigt, **nicht aber die Länge** der Konturelemente!!!!



Die Steuerung verrechnet korrekt das rote Konturelement: der Werkzeugmittelpunkt fährt also zuerst an den blauen Punkt S, aber beim nächsten Schritt fährt er zum Ende der roten Kontur, also auf den roten Punkt !!! Es entsteht eine Konturverletzung.

Bei den meisten CNC-Steuerungen kann man dieses Problem mit einem gesonderten Befehl umgehen; die Steuerung "überspringt" dann den "roten Punkt" und fährt direkt zum nächsten Punkt.



Solche Konturverletzungen, werden von PALmill gezeigt, aber am Ende der Simulation gibt PALmill eine entsprechende Warnung heraus.

Siehe auch: --> [tangentiales Anfahren an die Kontur mit G45/G46](#)

By the way ...

Mächtige 5-Achsen-Steuerung kennen auch eine **räumliche** Werkzeugradienkorrektur. Das erleichtert die Programmierung von z.B. Freiformflächen: ohne das Programm zu ändern, kann der Bediener auch ein anderes, als das ursprünglich gedachte Werkzeug (Kugel- o. auch Torusfräser) einsetzen. Die Anzahl der (vom CAD-CAM-System erzeugten) Programmsätze kann wesentlich reduziert werden. Aktuelle Verschleißwerte können berücksichtigt werden; auch kann der Bediener problemlos die Eingriffstiefe verändern.

Die räumliche Werkzeugradienkorrektur funktioniert logischerweise nur, wenn statt Bahnen, Flächen bzw. Flächenvektoren eingegeben werden. Das alles geht (fast) nur noch per CAD-CAM.

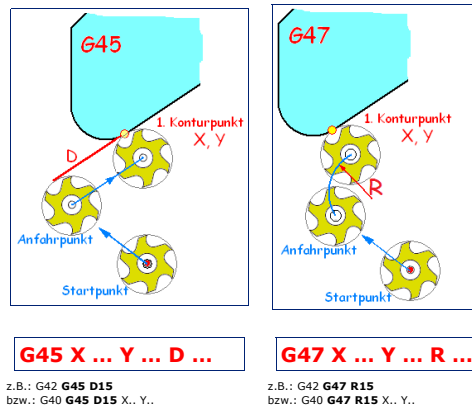
G29 Parameter-Programmierung [vorher](#) [weiter](#) G45-48 Anfahren an die Kontur

G45 G47 lineares oder bogenförmiges Anfahren an die Kontur G46 G48 lineares oder bogenförmiges Wegfahren von der Kontur

Anfahren:

Will man tangential zum 1. Konturelement (G01, G02,...) anfahren, so bietet

- a) G45 eine Linearbewegung und
- b) G47 ein Bewegung im Viertelkreis an.

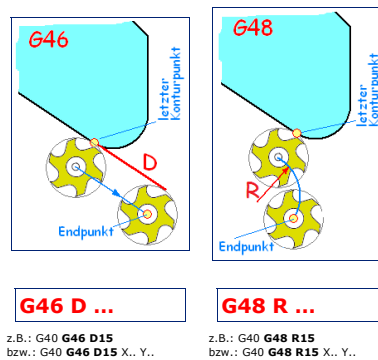


X und Y ist der Startpunkt der Kontur, D die Gerade bzw. R der Radius des Viertelkreises.
(Zwischen dem G41/G42-Befehl und dem Anfahrbefehl darf kein anderer Verfabrbefehl stehen.)

Wegfahren:

Will man vom Konturelement (G01, G02,...) tangential wegfahren, so bietet

- a) G46 eine Linearbewegung und
- b) G48 eine Bewegung im Viertelkreis an.

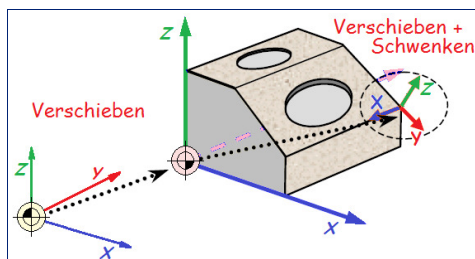


D ist die Länge der Geraden bzw. R ist der Radius des Viertelkreises.
(Zwischen dem G40-Befehl und dem Wegfabrbefehl darf kein anderer Verfabrbefehl stehen.)

G40, G41, G42 Werkzeugbahnkorrektur vorher weiter Koordinatenverschiebung

G50 bis G59 Koordinatenverschiebung (Nullpunktverschiebung)

Die Koordinatenwerte in einem Programm beziehen sich nicht immer auf den Werkstücknullpunkt (vgl. Bezugspunkte).
Oft ist es hilfreich, diesen Nullpunkt des Koordinatensystems (vorübergehend) zu verschieben oder sogar das ganze Koordinatensystem zu schwenken.



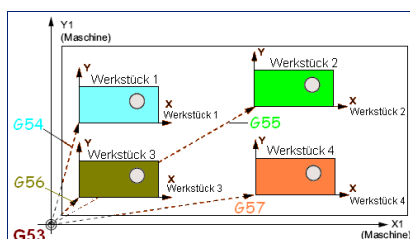
Innerhalb eines CNC-Programmes werden oft mehrere Werkstück-Nullunkte aufgerufen.
Diese werden entweder (von außen, von "Hand zu Fuß") in den Nullpunktspeicher der Maschine eingegeben (G54-G57), oder werden im Programm definiert (G58-G59).

Modernen Steuerungen reicht diese Anzahl nicht; sie verwalten zusätzlich Nullpunkte G-Befehle im Bereich von G505..G599)

a) einstellbare Koordinatenverschiebung (G54 bis G57)

Dazu dienen die folgenden Befehle.

G54 bis G57: absolute Verschiebung EIN
G53: inkrementale und absolute Verschiebung AUS



Die Koordinaten der **absoluten Nullpunktverschiebungen** werden in die Maschine eingegeben.
(Bei PALmill werden sie (X,Y,Z und Verdrehwinkel A,B und C) mit F6, bzw. mittels Button in eine Tabelle eingetragen.)

Im Programm können sie jew. mit den „nackten“ Befehlen G54, G55, G56 oder G57 eingeschaltet werden.
Sie gelten immer absolut (auch wenn sie nach G91 aufgerufen werden). Mit G53 werden sie ausgeschaltet.
Auch wird eine absolute Verschiebung dadurch ausgeschaltet, wenn eine andere eingeschaltet wird.

(PALmill erlaubt es zwar die Winkeldrehung der absoluten Achsen A, B und C in den Nullpunktspeicher einzugeben, aber falls man mehr als eine Achse verstellt, lässt sich die Wirkung (ohne Kenntnis der Matrixrechnung) meist nicht exakt voraussagen! ==> Statt der Maschinenachsen die Werkstück-Koordinatenachsen schrittweise schwenken. Dafür gibt's den G17-Befehl.)

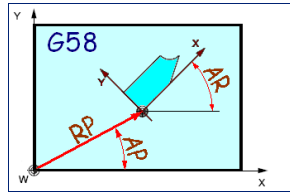
b) programmierbare Koordinatenverschiebung (G58 bis G59)

Für den Programmierer sind die **inkrementalen Nullpunktverschiebungen** flexibler zu handhaben, da sie (ständig) neu verändert werden können. Zudem wirken sie additiv; d.h. wenn eine absolut Verschiebung (z.B. G55) schon eingeschaltet ist und G58 oder G59 aufgerufen wird, so addieren sich die Verschiebewerte (bei G90 nur einmal, bei G91 immer weiter).

Mit G50 werden dann die inkrementalen Verschiebungen ausgeschaltet; die absolute z.B. G55 bleibt erhalten.

Mit G53 wird auch die absolute Nullpunktverschiebung abgeschaltet.

Spiegelungen (G66) und Skalierungen (G67) werden mit G53 ebenfalls aufgehoben. G53 steht allein in einem Satz. Dieser Befehl wirkt modal (=selbsthaltender Charakter).

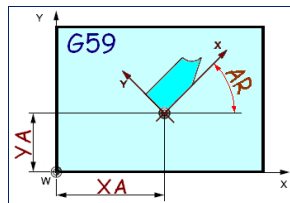


G58 RP ... AP ... ZA ... AR ...

z.B.: G58 RP25 AP36 AR42

Verschiebung: aus Radius RP und Winkel AP, Koordinatendrehung: Winkel AR

ZA ... AR ... sind nur optional.



G59 XA ... YA ... ZA ... AR ...

z.B.: G59 XA20 YA15 AR42

Verschiebung: relativ in X- und Y-Richtung, Koordinatendrehung: Winkel AR

ZA ... AR ... sind nur optional.

Mit G59 können auch nur Drehungen um die Zustellachse oder nur Verschiebungen programmiert werden.

Mehrfache Programmierungen von G58 und G59 bewirken eine schrittweise Verschiebung des jeweiligen aktuellen Koordinatensystems gestatten. (Durch die erneute Programmierung der zuvor programmierten negativen Winkel- und Verschiebungswerte landet man wieder auf dem "alten Nullpunkt").

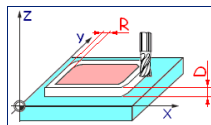
Eine inkrementelle Nullpunktverschiebung G58 oder G59 kann **aufgehoben werden durch G50**, dabei bleibt aber die **vorherige absolute Nullpunkteinstellung** (mit G54, G55 ... G57) **eingeschaltet**. Will man sowohl die inkrementalen, wie **auch die absoluten Nullpunktswerte zurücksetzen**, so verwendet man statt G50 den Befehl **G53**.

Im ersten dem G50-G59 nachfolgenden Verfahrssatz sollten unbedingt alle 3 Ebenenachsen programmiert werden.

G45-G48 Anfahren an die Kontur vorher ... weiter ... G60 Offset

G60 konstantes Aufmaß in Z und äquidistantes Aufmaß (Offset) bei der Werkzeug-Radien-Korrektur und bei Zyklen

Will man beim Fräsen einer Kontur mit G41 bzw. G42 z.B. ein **Schlichtaufmaß** lassen (und später noch einmal den gleichen Unter-Programmteil ohne Schlichtaufmaß erneut aufrufen), so **stellt man mit G60 dieses Distanzmaß ein**.
=> Der Fräser fräst eine **Äquidistante** zur programmierten Kontur.



G60 R... D...

z.B.: G60 R 1 D 0,5

R wirkt sich auf die XY-Ebene aus, D auf die Z-Achse.

(Mit **G60 R 0 D 0** wird diese Einstellung **rückgängig** gemacht.)

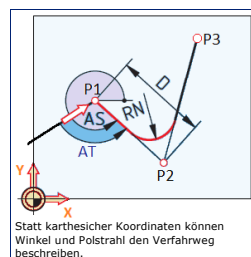
G50-G59 Koordinatenverschiebung vorher ... weiter ... G61 linearer Konturzug

G61-Befehl: Linearinterpolation für Konturzug

Werkzeug verfährt mit Vorschubgeschwindigkeit (und ist im Eingriff).
=> „Bahnsteuerung“ (; X-, Y- und evtl. die Z-Bewegung sind miteinander abgestimmt, „interpoliert“).

G61 [XI/XA] [YI/YA] [Z/ZI/ZA] [D] [AT] [AS] [RN] [H] [O] F.. S.. T.. M..

XI, XA X-Koordinate des Zielpunktes
YI, YA Y-Koordinate des Zielpunktes
Z, ZI, ZA Zustellung in der Z-Achse
D Länge der Verfahrstrecke AT Übergangswinkel
AS Anstiegswinkel zur X-Achse
RN+ Verrundungsradius R- Fasenbreite
H1 kleiner Anstiegswinkel H2 größerer Anstiegswinkel
O1 kleine Streckenlänge O2 größere Streckenlänge



Statt kartesischer Koordinaten können Winkel und Polstrahl den Verfahrweg beschreiben.

Folgende Kombinationen von **Koordinaten-**eingaben sind möglich.

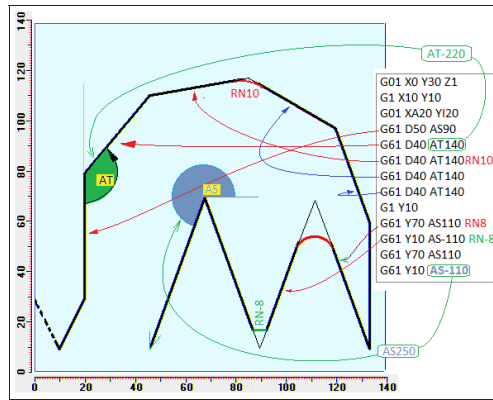
X (oder XI oder XA) mit oder ohne Y ...
D und AS
D und AT
D und X (bzw. Y) mit H
AS und X (bzw. Y)
AT und X (bzw. Y)

(Außer AT sind alle anderen Kombinationen bei **G01** auch erlaubt.)

z.B.: G61 D50 AT100 RN16
oder G01 YI-25 AS-30 RN16

vgl. die Information zu **G01 und zur Verrundung mit RN** !

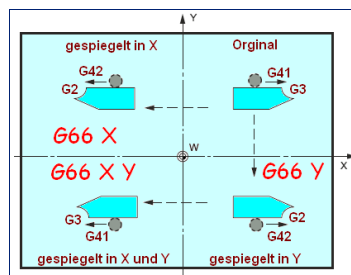
Zusammengesetztes Beispiel:



G60-Befehl (Aufmaß) [vorher](#) [weiter](#) G66 Spiegeln Kreisinterpolation

G66 Spiegeln

Sind an einem Werkstück spiegelbildliche Elemente zu fräsen, so benutzt man die G66-Funktion.



G66 X Y

z.B.: G66 Y

X sorgt für die Spiegelung um die X-Achse,
Y sorgt für die Spiegelung um die Y-Achse,

Hinweis:

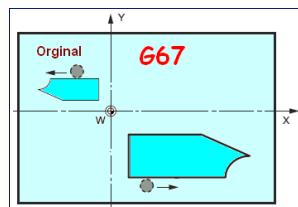
Der Kreisdrehsinn wird G02 bzw. G03 wird beim Spiegeln automatisch umgekehrt.
Eine bereits eingeschaltete Werkzeugradienkorrektur G41 bzw. G42 wird ebenfalls automatisch umgekehrt.
Programmierbare Nullpunktverschiebungen mit G58 bzw. G59 sind bei Spiegelungen nicht erlaubt.

Jeder neue G66-Befehl löscht die vorhergehenden Einstellungen.
Mit **G66 (ohne Parameter)** werden diese Einstellung rückgängig gemacht.

G60 Aufmaßprogrammierung [vorher](#) [weiter](#) G67 Skalieren

G67 Skalieren

Will man eine Kontur (noch mal) um ein verändertes Verhältnis größer oder kleiner fräsen, so verwendet man die G63-Funktion:
Man legt den Skalierfaktor SK fest und gibt mit Q an, welche Achsen skaliert werden sollen.



G67 SK ... Q ...

z.B.: G67 SK-2,1 Q2

SK ist der Faktor, um den die jew. Achse vergrößert bzw. verkleinert wird (Wert <1)
Q legt fest, welche Achsen skaliert werden:

- Q1 Skalierung aller 3 Achsen (voreingestellt)
- Q2 Skalierung nur in der X-Y-Ebene
- Q3 Skalierung nur in Zustellachse Z

Hinweis:

Mit **G67 SK1** werden diese Einstellung rückgängig gemacht.

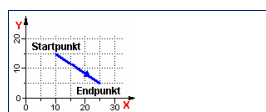
G66 Spiegeln [vorher](#) [weiter](#) G90-G91 absolut und inkremental

G90 und G91 (Absolut- und Schrittmaßprogrammierung)

Beide Befehle wirken modal, d.h. sie gelten solange, bis sie jew. von dem anderen ausgeschaltete werden.
Z.B. G91 in einem Unterprogramm gilt solange, bis irgendwann wieder G90 erscheint.

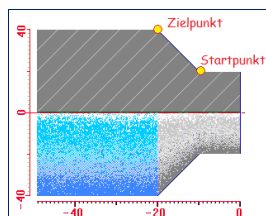
G90 (=Absolutbemaßung) besagt, dass sich die Koordinatenangaben auf das momentan verwendete Bezugssystem (vgl. Nullpunkte) beziehen.

G91 (Schrittmaßprogrammierung) besagt, dass sich die Koordinatenangaben immer („inkremental“) jew. auf den letzten Zielpunkt beziehen.



G90
G01 X25 Y5

G91
G01 X15 Y-10



Achtung mit der X-Koordinate ein Drehen:

absolut meint den Durchmesser

G90
G01 X40 Z-20

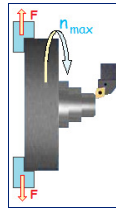
inkremental meint den Radius

G91
G01 X10 Z-10

G92 (Speicher setzen oder aber Spindeldrehzahlbegrenzung)

An Drehmaschinen wird damit die max. zulässige Drehzahl begrenzt, die ja z.B. beim Plandrehen unter G96 bei kleiner werdendem Radius immer größer würde! Fliehkräfte!!

G92 S... (Drehzahl in 1/min) (nur bei PALturn, nicht bei PALmill)

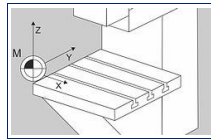


oder

aber

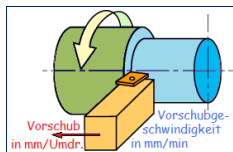
Bei Fräsmaschinen-Steuerungen wird der Befehl G92 dazu benutzt, den Werkstück-Nullpunkt zu setzen. Nicht so bei PAL (und PALmill).

G92 X ... Y ... Z ... (nicht bei PAL)

G90-G91 Absolut- und Schrittmahlprogrammierung vorher weiter G94-G95 Vorschub**G94 (Vorschubgeschwindigkeit) und G95 (Vorschub)**

Beide Befehle wirken **modal**, d.h. sie werden jew. durch den anderen ausgeschaltet.
Also noch mal: G94 bleibt solange aktiv, bis G95 vorkommt.

Wurde **G94** programmiert, so wird **F als Vorschubgeschwindigkeit in mm/min** interpretiert.



z.B.: G94 F150
Hier bewegt sich das Werkzeug mit 150 mm/min.

(Bewegen sich mehrere Achsen gleichzeitig, so werden laut Pythagoras die Geschwindigkeiten aufgeteilt, so dass der Vorschub an einer Raumkurve immer konstant bleibt.)

An Fräsmaschinen ist (meist) G94 (mittels Maschinenparameter = Konstanten, die man auch verändern kann) voreingestellt.
An Drehmaschinen hingegen ist meist G95 voreingestellt !!

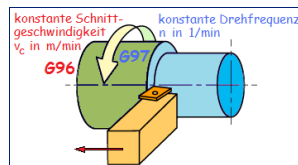
Wurde **G95** programmiert, so wird **F als Vorschub in mm/Umdrehung** interpretiert.

z.B.: G94 F0,5
Hier bewegt sich das Werkzeug so, dass bei jeder Umdrehung 0,5 mm zurückgelegt werden.
Das macht mehr Sinn an Drehmaschinen.

G92 Drehzahlbegrenzung vorher weiter G96-G97 Schnittgeschwindigkeit bzw. Drehzahl**G96 (konstante Schnittgeschwindigkeit) und G97 (konstante Drehzahl)**

Beide Befehle wirken **modal**, d.h. sie werden jew. durch den anderen ausgeschaltet.
Also noch mal: G96 bleibt solange aktiv, bis G97 vorkommt.

Bei Drehmaschinen bedeutet **G96**, dass die S-Werte als **Schnittgeschwindigkeit in m/min** angesehen werden; die **G97**-Einstellung hingegen bedeutet, dass die S-Werte als **Drehzahlen in 1/min** angesehen werden.



Besonderheit:
Bei Fräsmaschinensteuerungen heißt G96, dass die F-Werte (Vorschub) sich nicht wie bei G97 auf die Fräsermittelpunktsbahn beziehen, sondern auf die Werkstückkontur. Dies bewirkt eine gleichmäßige Oberfläche an Wölbungen.

Ergo, die Unterschiede zwischen G96 und G97 sind während der Simulation eh nicht zu erkennen.

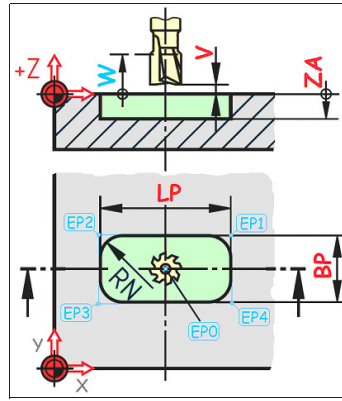
G94 Vorschubgeschwindigkeit vorher weiter G72 Zyklus Rechtecktasche**G72 Zyklus Rechtecktasche**

Damit wird eine Rechtecktasche unter Berücksichtigung der Aufmaße (AK u. AL) gefräst. Der Setzpunkt wird mit der Adresse EP programmiert.

Beliebig oft abgearbeitet werden kann der Zyklus mit den Befehlen G76-G79, die u. a. auch ein Verdrehen der Tasche um einen Winkel ermöglichen.

G72 LP.. BP.. ZI bzw. ZA.. D.. V.. [W] [RN] [AK] [AL] [EP] [DB] [RH] [DH] [O] [Q] [H] [E] [F] [S] [M]

Der Zyklus muss mit G76, G77, G78 oder G79 aufgerufen werden.



z.B.: G72 ZA-5 LP30 BP20 D4 V1 W50 DB50 DH4 Q2 Q1 H14

G79 X50 Y40 Z1 ; Zyklusaufwurf

...
G79 X50 Y90 Z1 ; wiederholter Zyklusaufwurf

Z1/ZA	Tiefe der Rechtecktasche in der Zustellachskoordinate
	Z1 inkrementell ab Materialoberfläche (immer negativ)
	ZA Tiefe absolut in Werkstückkoordinaten
LP	Länge der Tasche in der 1. Geometrieachse
BP	Breite der Tasche in der 2. Geometrieachse
D	Maximale Zustelltiefe
V	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche

Optionale Adressen

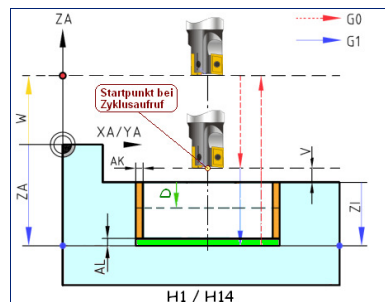
W	Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten
RN	Eckenradius der verrundeten Rechtecktasche
AK	Aufmaß auf die Berandung
AL	Aufmaß auf den Taschenboden
EP	Setzpunktfestlegung für den Taschenzyklusaufwurf

EP0 Taschenmittelpunkt (voreingestellt)
EP1 Eckpunkt im 1. Quadranten eines Achsenkreuzes
EP2 Eckpunkt im 2. Quadranten eines Achsenkreuzes
EP3 Eckpunkt im 3. Quadranten eines Achsenkreuzes
EP4 Eckpunkt im 4. Quadranten eines Achsenkreuzes

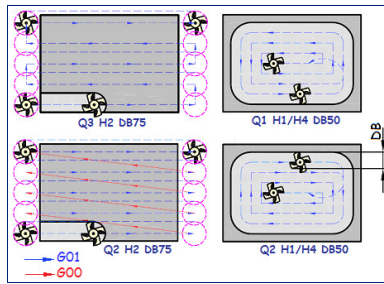
DB	Fräsebahnüberdeckung in Prozent
RH	Radius der Mittelpunktsbahn der Helixzustellung. Der Radius wird bei zu kleinen Taschenabmaßen automatisch reduziert.
DH	Zustellung pro Helix-Umdrehung
O	Zustellbewegung O1 Senkrecht eintauchen des Werkzeuges O2 Eintauchen des Werkzeuges in Schraubenlinienbewegung (Helix)
Q	Bearbeitungsrichtung Q1 Gleichlauf fräsen Q2 Gegenlauf fräsen Q3 Planen im Schruppbetrieb mit bidirektionaler Bearbeitung oder Gegenlauf fräsen bei der Taschenbearbeitung oder beim Schlichten
H	Bearbeitungsart H1 Schruppen H2 Planschrappen der Rechteckfläche mit Überfahren des Randes durch Abzeilen parallel zur 1. Geometrieachse der (ungedrehten) Tasche über die Rechteckfläche hinaus (freifahren) und ansteigenden Abzeilbahnkoordinaten in der 2. Geometrieachse. H4 Schlichten (tangentiales Anfahren der Kontur) Abfräsen des Aufmaßes zuerst am Rand und dann am Boden H14 Schruppen und anschließendes Schlichten (gleiches Werkzeug)
E	Vorschub beim Eintauchen
F	Vorschub beim Fräsen in der XY-Ebene

Voreinstellungen:

W Rückzugsebene ist gleich Sicherheitsebene
RN0
AK0
AL0
EP0
DB80, Voreinstellung 80%
RH ¾ Werkzeugradius
DH ½ Werkzeugradius
O1
Q1
H1
E=F
F aktueller Vorschub
S aktuelle Spindeldrehzahl/Schnittgeschwindigkeit



Beispiele:



Hinweis:
 Zyklen lassen sich nicht mehr (wie bei der "alten" PAL-CNC) direkt starten, sondern nur mit Hilfe des (Mehrfach-)Zyklusaufrufs laut G76, G77, G78 oder G59.
 Das hat gleichzeitig den Vorteil, dass der Zyklus öfters verwendet werden kann, ohne ihn jedes Mal neu zu definieren

z.B.:
 G72 ZA-15 Lp40 BP27 D1 v2 RN11 ep0 Db50 RH5 DH3 o2 q1 H14 al0,1 Ak0,2
 G78 Z-11 IA60 JA60 RP 25 AP165 AR165
 G... ..
 G76 XA20 YA100 ZA0 D40 AS-30 O5 AR10

G96 Vorschubgeschwindigkeit vorher! ... weiter! G73 Kreistaschen- und Zapfenfräszyklus

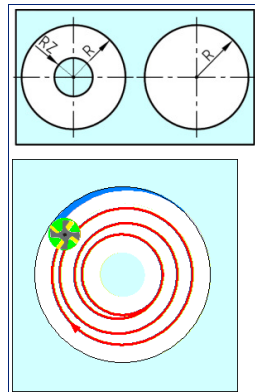
G73 Kreistaschen- und Zapfenfräszyklus

Damit wird eine Kreistasche (evtl. mit Zapfen) unter Berücksichtigung der Aufmaße (AK u. AL) gefräst.
 Der Setzpunkt ist der Kreismittelpunkt.
 Soll (optional) in der Mitte ein Zapfen stehen bleiben, so ist sein Radius mit RZ einzugeben.

Mit den Befehlen G76-G79 kann der Zyklus beliebig oft abgearbeitet werden.

G73 R.. ZI bzw. ZA.. D.. V.. [W] [RZ] [AK] [AL] [DB] [RH] [DH] [O] [Q] [H] [E] [F] [S] [M]

Der Zyklus muss mit G76, G77, G78 oder G79 aufgerufen werden.



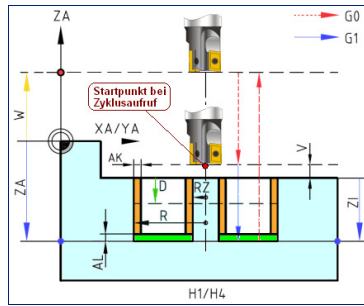
z.B.: G73 ZA-10 R21 D3 V1 W5 DB50 DH4 O2 Q1 H14
 G79 X20 Y30 Z2 ;Zyklusaufwurf
 ...
 G79 X60 Y50 Z2 ;wiederholter Zyklusaufwurf

D+ positiv: kreisförmiges Ausräumen
 D- negativ: spiralförmiges Ausräumen

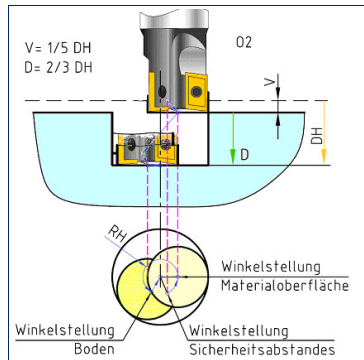
R	Radius der Kreistasche
ZI/ZA	Tiefe der Kreistasche in der Zustellachskoordinate
	ZI inkrementell ab Materialoberfläche (immer negativ)
	ZA Tiefe absolut in Werkstückkoordinaten
D	Maximale Zustelltiefe
V	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche

Optionale Adressen

W	Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten (voreingestellt auf V)
RZ	Radius des Zapfens (voreingestellt RZ = 0)
AK	Aufmaß auf die Berandung (voreingestellt auf AK = 0)
AL	Aufmaß auf den Taschenboden (voreingestellt auf AL = 0)
DB	Fräserbahnüberdeckung in Prozent (voreingestellt auf DB = 80 => 80%)
RH	Radius der Mittelpunktsbahn der Helixzustellung. Der Radius wird bei zu kleinen Taschenabmaßen automatisch reduziert. (voreingestellt auf RH = ¼ Werkzeugradius)
DH	Zustellung pro Helix-Umdrehung (voreingestellt auf DH = ¼ Werkzeugradius)
O	Zustellbewegung (voreingestellt auf O = 1) O1 Senkrechtes Eintauchen des Werkzeuges O2 Eintauchen des Werkzeuges in Schraubenlinienbewegung (Helix)
Q	Bearbeitungsrichtung (voreingestellt auf Q = 1) Q1 Gleichlaufräsen Q2 Gegenlaufräsen Q3 Planen im Schruppbetrieb mit bidirektionaler Bearbeitung oder Gegenlaufräsen bei der Taschenbearbeitung oder beim Schlichten
H	Bearbeitungsart (voreingestellt auf H = 1) H1 Schruppen H2 Planen zirkular von außen nach innen mit durch DB definierten Zustellung unter Überlappung des Randes oder entsprechendes Freistellen des Zapfens. H4 Schlichten (tangentiales Anfahren der Kontur) Abfräsen des Aufmaßes zuerst am Rand und dann am Boden H14 Schruppen und anschließendes Schlichten (gleiches Werkzeug)
E	Vorschub beim Eintauchen
F	Vorschub beim Fräsen in der XY-Ebene (voreingestellt auf E = F)



z.B.: spiralförmiges Ausräumen (Helix-Bewegung)



Hinweis:
Zyklen lassen sich nicht mehr (wie bei der "alten" PAL-CNC) direkt starten, sondern nur mit Hilfe des (Mehrfach-)Zyklusaufwurfs laut G76, G77, G78 oder G59.
Das hat gleichzeitig den Vorteil, dass der Zyklus öfters verwendet werden kann, ohne ihn jedes Mal neu zu definieren

z.B.:
G73 ZA-14 R20 D4 V2 AK0.4 AL0.5 W5
G79 X38 Y27 ;Zyklusaufwurf für G73
G... ..
G76 XA120 YA100 ZA0 D40 AS-30 O5 AR10 ;weiterer Zyklusaufwurf

G72 Zyklus Rechtecktasche vorher ... weiter G74 Nutenfräszklus

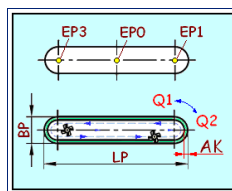
G74 Nutenfräszklus

Damit wird eine Nut unter Berücksichtigung der Aufmaße gefräst.
Nach dem Fräsen des Langlochs wird beim Schruppen und auch beim Schlichten das Restmaterial auf dem Rand in einem Schnitt abgespannt.
Der Setzpunkt wird mit der Adresse EP programmiert. (voreingestellt ist EP3)

Beliebig oft abgearbeitet kann der Zyklus mit den Befehlen G76-G79, die u. a. auch ein Verdrehen der Nut um einen Winkel ermöglichen.

G74 ZI bzw. **ZA.. LP.. BP.. D.. V..** [W] [AK] [AL] [EP] [O] [Q] [H] [E] [F] [S] [M]

Der Zyklus muss mit G76, G77, G78 oder G79 aufgerufen werden.



z.B.: G74 ZA-5 LP30 BP20 D4 V1 W50 DB50 O2 Q1 H14

G79 X50 Y40 Z1 ;Zyklusaufwurf

...
G79 X50 Y90 Z1 ;wiederholter Zyklusaufwurf

ZI/ZA	Tiefe der Nut
	ZI inkrementell ab Materialoberfläche (immer negativ)
	ZA Tiefe absolut in Werkstückkoordinaten
LP	Länge der Nut in der 1. Geometrieachse
BP	Breite der Nut in der 2. Geometrieachse
D	Maximale Zustelltiefe pro Langlochschnitt oder pro Pendelbewegung
V	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche

Optionale Adressen

W	Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten (voreingestellt auf V)
AK	Aufmaß auf die Berandung (voreingestellt auf AK = 0)
AL	Aufmaß auf den Nutboden (voreingestellt auf AL = 0)
EP	Setzpunktfestlegung für den Nutenfräszklus: (Voreinstellung: EP=3)

EP0 Nutmittelpunkt

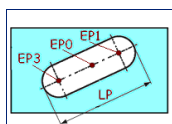
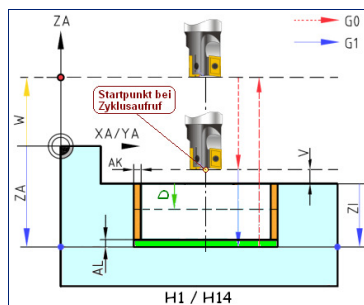
EP1 Mittelpunkt des rechten/oberen Abschlusshalbkreises

EP3 Mittelpunkt des linken/unteren Abschlusshalbkreises

O	Zustellbewegung (voreingestellt auf O = 1) O1 Senkrechtes Eintauchen des Werkzeuges O2 Eintauchen des Werkzeuges pendelnd
Q	Bearbeitungsrichtung (voreingestellt auf Q = 1) Q1 Gleichlaufräsen Q2 Gegenlaufräsen
H	Bearbeitungsart (voreingestellt auf H = 1) H1 Schruppen H4 Schlichten (tangenciales Anfahren der Kontur) Abfräsen des Aufmaßes zuerst am Rand und dann am Boden

	H14 Schruppen und anschließendes Schlichten (gleiches Werkzeug)
E	Vorschub beim Eintauchen
F	Vorschub beim Fräsen in der XY-Ebene (voreingestellt auf E = F)

Programmierhinweis:
Der Fräserdurchmesser muss zwischen 55% und 90% der Nutbreite liegen!



Um schräge Nuten zu fräsen, muss beim Zyklusaufwurf laut [G76](#), [G77](#), [G78](#) oder [G79](#) der Drehwinkel "AS" angegeben werden.
(Ein Drehen des Koordinatensystems z.B. mit [G58](#) wäre die umständlichere Lösung.)

Hinweis:
Zyklen lassen sich nicht mehr (wie bei der "alten" PAL-CNC) direkt starten, sondern nur mit Hilfe des (Mehrfach-)Zyklusaufwurfs laut [G76](#), [G77](#), [G78](#) oder [G59](#).
Das hat gleichzeitig den Vorteil, dass der Zyklus öfters verwendet werden kann, ohne ihn jedes Mal neu zu definieren

z.B.:
G75 ZA-7 BP8 RP15 AN0 AO70 D3 V2 W5 EP0 O1 Q1 H14 ;Definition des Langlochzyklus
G77 R0 AN-140 AR220 AP80 O3 IA60 JA60 ZA1 q1 H1 ;Zyklusaufwurf für G75
G... ...
G76 XA120 YA100 ZA0 D40 AS-30 O5 AR10 ;weiterer Zyklusaufwurf

G73 Kreistaschen- und Zapfenfräszklus [vorher](#) [weiter](#) G75 Nutenfräszklus auf einem Kreisbogen

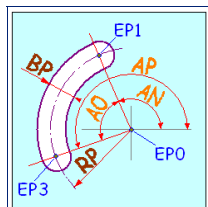
G75 Nutenfräszklus auf einem Kreisbogen

Damit wird eine bogenförmige Nut unter Berücksichtigung der Aufmaße AK und AL gefräst.
Nach dem Fräsen des Langlochs wird beim Schruppen und auch beim Schlichten das Restmaterial auf dem Rand in einem Schnitt abgespannt.
Der Setzpunkt wird mit der Adresse EP programmiert. (voreingestellt ist EP3)

Beliebig oft abgearbeitet kann der Zyklus mit den Befehlen [G76](#)-[G79](#), die u. a. auch ein Verdrehen der Nut um einen Winkel ermöglichen.

G75 **ZI** bzw. **ZA.. BP.. RP.. AO_AN_AP D.. V..** [W] [AK] [AL] [EP] [O] [Q] [H] [E] [F] [S] [M]

Der Zyklus muss mit [G76](#), [G77](#), [G78](#) oder [G79](#) aufgerufen werden.



z.B.: **G75 ZA-7 BP8 RP15 AN0 AO70 D3 V2 W5 EP0 O1 Q1 H14**

G77 R0 AN-140 AR220 AP80 O3 IA60 JA60 ZA1 q1 H1 ;Zyklus-Mehrfachaufruf
...
G79 X50 Y90 Z1 ;wiederholter Zyklusaufwurf

ZI/ZA	Tiefe der Nut in der Zustellachskoordinate
	ZI inkrementell ab Materialoberfläche (immer negativ)
	ZA Tiefe absolut in Werkstückkoordinaten
BP	Breite der Nut
RP	Radius des Bogens
AO	polarer Öffnungswinkel
AN	polarer Startwinkel (ausgehend von der Richtung der Hauptachse X)
AP	polarer Endwinkel (ausgehend von der Richtung der Hauptachse X)
	(nur 2 von den o.g. Winkel sind anzugeben))
D	Maximale Zustelltiefe pro Langlochschnitt oder pro Pendelbewegung
V	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche

Optionale Adressen

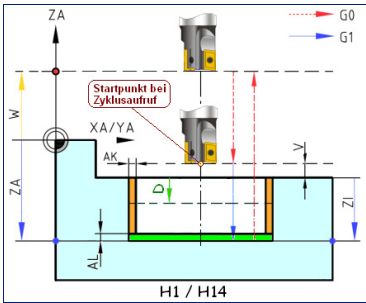
W	Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten (voreingestellt auf V)
AK	Aufmaß auf die Berandung (voreingestellt auf AK = 0)
AL	Aufmaß auf den Nutboden (voreingestellt auf AL = 0)
EP	Setzpunktfestlegung für den Nutenfräszklus: (Voreinstellung: EP=3)

EP0 Nutmittelpunkt
EP1 Mittelpunkt des rechten/oberen Abschlusshalbkreises
EP3 Mittelpunkt des linken/unteren Abschlusshalbkreises

O	Zustellbewegung (voreingestellt auf O = 1) O1 Senkrecht Eintauchen des Werkzeuges O2 Eintauchen des Werkzeuges pendelnd
Q	Bearbeitungsrichtung (voreingestellt auf Q = 1) Q1 Gleichlaufräsen Q2 Gegenlaufräsen
H	Bearbeitungsart (voreingestellt auf H = 1) H1 Schruppen H4 Schlichten (tangenciales Anfahren der Kontur) Abfräsen des Aufmaßes zuerst am Rand und dann am Boden H14 Schruppen und anschließendes Schlichten (gleiches Werkzeug)

E	Vorschub beim Eintauchen
F	Vorschub beim Fräsen in der XY-Ebene (voreingestellt auf E = F)

Programmierhinweis:
 Der Fräserdurchmesser muss zwischen 55% und 90% der Nutbreite liegen!



G74 Nutenfräszykklus vorher weiter G81 Bohrzyklus

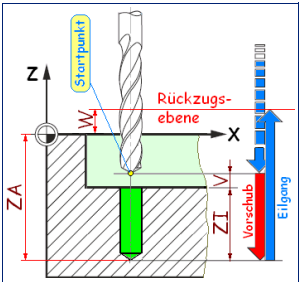
G81 Bohrzyklus

Damit wird eine Zentrierung, eine Senkung oder eine nicht zu tiefe Bohrung (ohne Spänebrechen oder Ausspänen) hergestellt.
 Der Aufrufpunkt (Start- bzw. Setzpunkt) liegt auf der Bohrungsachse.
 Mit den Befehlen G76-G79 Kann der Bohrzyklus beliebig oft abgearbeitet werden.

G81 ZI bzw. ZA.. V.. [W] [F] [S] [M]

Der Zyklus muss mit G76, G77, G78 oder G79 aufgerufen werden.

G81 ZA-25 V2 W5 F120 S1200



z.B.: G81 ZA-25 V2 W25 F120 S1200
 N11 G23 N27 N30 ; z.B. Bohrbild abarbeiten
 ...
 ; „Bohrbild3“
 N27 G79 X10 Y10 Z1 ;Zyklusauftrag
 N28 G79 X10 Y90 Z1 ;Zyklusauftrag
 N29 G79 X90 Y10 ...

ZI/ZA	Tiefe der Bohrung in der Zustellachskoordinate
	ZI inkrementell ab Materialoberfläche (immer negativ)
	ZA Tiefe absolut in Werkstückkoordinaten
V	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche

Optionale Adressen

W	Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten (voreingestellt auf V)
---	---

G75 Nutenfräszykklus Bogen vorher weiter G82 Tiefbohrzyklus mit Spanbruch

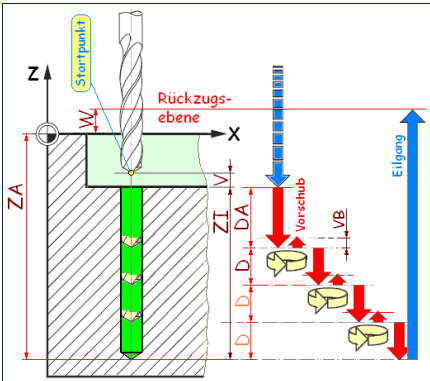
G82 Tiefbohrzyklus mit Spanbruch G83 Tiefbohrzyklus mit Spanbruch und Entspänen

Damit wird eine tiefe Bohrung mit Spänebrechen hergestellt.
 Die Vorschubbewegung wird nach Erreichen der Zwischenbohrtiefe angehalten und das Werkzeug um einen Betrag angehoben, um die Späne zu brechen.
 Der Aufrufpunkt (Start- bzw. Setzpunkt) liegt auf der Bohrungsachse.
 G83 hat die gleichen Parameter (+ ER als Eilangreduzierung) wie G82, fährt zum Ausspänen zurück auf den Sicherheitsabstand V.

Mit den Befehlen G76-G79 Kann der Tiefbohrzyklus beliebig oft abgearbeitet werden.

G82 ZI bzw. ZA.. D.. V.. [W] [VB] [DR] [DM] [U] [O] [DA] [F] [S] [M]
G83 ZI bzw. ZA.. D.. V.. [W] [VB] [DR] [DM] [U] [O] [DA] [FR] [F] [S] [M]

Der Zyklus muss mit G76, G77, G78 oder G79 aufgerufen werden.





z.B.: G82 ZA-65 D15 V1 W25 F120 S1200
 N11 G23 N27 N30 ; z.B. Bohrbild abarbeiten
 ...
 ; „Bohrbild3“
 N27 G79 X10 Y10 Z1 ;Zyklusauftrag
 N28 G79 X10 Y90 Z1 ;Zyklusauftrag
 N29 G79 X90 Y10 ...

ZI/ZA	Tiefe der Bohrung in der Zustellachskoordinate
	ZI inkrementell ab Materialoberfläche (immer negativ)
	ZA Tiefe absolut in Werkstückkoordinaten
D	Zustelltiefe
V	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche

Optionale Adressen

W	Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten (voreingestellt auf V)
VB	Rückzugsabstand vom Bohrgrund (Voreinstellung: VB1)
DR	Reduzierwert der Zustelltiefe (Degressionsbetrag ohne Vorzeichen) (Voreinstellung: DR0)
DM	Mindestzustellung ohne Vorzeichen (Voreinstellung: Werkzeugradius /2)
U	Verweilzeit in Sekunden am Bohrgrund (zum Spanbruch) (Voreinstellung: U1, eine Umdrehung (O2), eine Sekunde (O1)
O	Auswahl der Verweilzeiteinheit O1 Verweilzeit in Sekunden O2 Verweilzeit in Umdrehungen (Voreinstellung: O2)
DA	Anbohrtiefe inkrementell von der Materialoberfläche (Voreinstellung: DA0)
E	Anbohrvorschub (Voreinstellung: E = F)
F	Vorschub beim während des Bohrens (Voreinstellung: F = aktueller Vorschub)
S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M	Zusatzfunktionen

G81 Bohrzyklus   G84 Gewindebohrzyklus

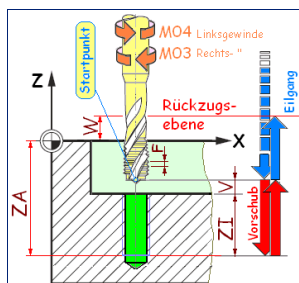
G84 Gewindebohrzyklus

Damit wird (mittels Gewindebohrer) ein Innengewinde hergestellt.
Der Aufrufpunkt (Start- bzw. Setzpunkt) liegt auf der Bohrungsachse.

Mit den Befehlen G76-G79 Kann der Tiefbohrzyklus beliebig oft abgearbeitet werden.

G84 **ZI** bzw. **ZA.. F.. M.. V..** [W] [F] [S] [M]

Der Zyklus muss mit G76, G77, G78 oder G79 aufgerufen werden.



z.B.: G84 ZI-15 F1.25 M3 V4 W8 S600

N11 G23 N27 N30 ; z.B. Bohrbild abarbeiten

...

; „Bohrbild3“

N27 G79 X10 Y10 Z1 ;Zyklusaufwurf



N28 G79 X10 Y90 Z1 ;Zyklusaufwurf

N29 G79 X90 Y10 ...

ZI/ZA	Tiefe der Bohrung in der Zustellachskoordinate
	ZI inkrementell ab Materialoberfläche (immer negativ)
	ZA Tiefe absolut in Werkstückkoordinaten
F	Gewindesteigung in mm
M	Drehrichtung (M03 für Rechtsgewinde, M04 für Linksgewinde)
V	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche

Optionale Adressen

W	Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten (voreingestellt auf V)
---	---

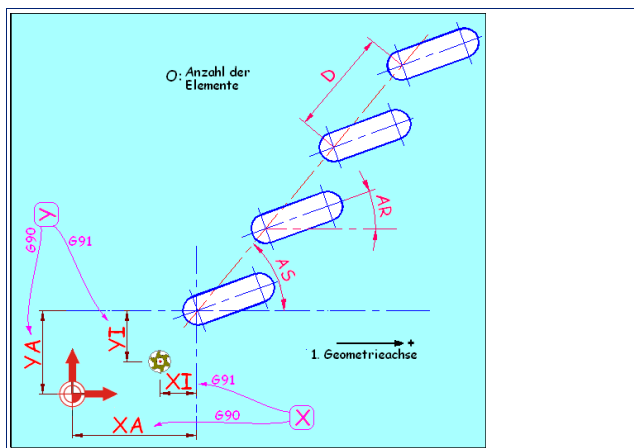
G82 Tiefbohrzyklus   G76 Mehrfachzyklusaufwurf auf Gerade

G76 Mehrfachzyklusaufwurf auf einer Geraden (Lochreihe)

Wenn mehrere Objekte in gleichen Abständen auf einer Linie liegen, so wird mit G76 der jew. Zyklus mehrmals aufgerufen.
Der G76-Befehl steht also hinter einem Zyklus (der vorher mit G72-G75 oder G81-G85 definiert wurde).

Ebene G17

G76 [X/XA/XI] [Y/YA/YI] [Z/ZA/ZI] **AS O D** [AR] [W] [H]



Pflichtparameter:

AS Winkel der Geraden in Zyklusaufwurfrichtung zur positiven 1. Geometrieachse (G17:X)

D Abstand der Zyklusaufwurfpunkte auf der Geraden

O Anzahl der Zyklusaufwurfpunkte auf der Geraden (Achtung! Tippfehler vermeiden: O, statt 0 = Null

X, XI, XA X-Koordinate des ersten Punktes (1. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf X 0)

X absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
XI inkrementelle Koordinatenwerteingabe zur aktuellen Werkzeug- position
XA absolute Werkstückkoordinateneingabe

Y, YI, YA Y-Koordinate des ersten Punktes (2. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf Y 0)

Y absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
YI inkrementelle Koordinatenwerteingabe zur aktuellen Werkzeug- position
YA absolute Werkstückkoordinateneingabe

Z, ZI, ZA Z-Koordinate des ersten Punktes (3. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf Z 0)

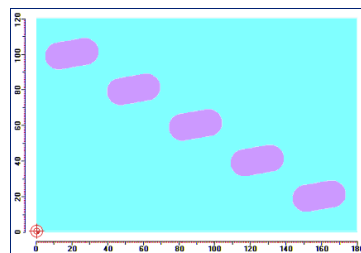
Z absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
ZI inkrementelle Koordinatenwerteingabe zur aktuellen Werkzeug- position
ZA absolute Werkstückkoordinateneingabe

optionale Adressen:

AR Drehwinkel zur positiven 1. Geometrieachse, um den das Zyklusobjekt (Tasche/Nut) um die Zustellachse gedreht wird. (voreingestellt auf AR 0)
W Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten
H Rückfahrposition
H1 Sicherheitsebene wird zwischen zwei Positionen angefahren und Rückzugsebene nach letzter Position (voreingestellt auf H1)
H2 Rückzugsebene wird zwischen zwei Positionen angefahren

- Es wird der aktuelle Zyklus (ausgenommen ist der Konturtaschenzyklus) auf den Positionen des programmierten Lochkreises aufgerufen.
- Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.
- Am Ende verfährt das Werkzeug im Eilgang auf Rückzugsebene W über dem zuletzt bearbeiteten Objekt.
- Bei weiteren Mehrfachzyklusaufufen (G76 bis G79) braucht man nicht jedes Mal den jew. Zyklus (G72 bis G82) neu zu programmieren, solange die Elemente gleich bleiben.

z.B.:



z.B. Langloch-Zyklus:
G74 LP30 BP15 D4 ZA-10 V2 Ep0 Q1 O2 H14 AL0,5 AK0,5

Mehrfachaufruf:
G76 XA20 YA100 ZA0 D40 AS-30 O5 AR10

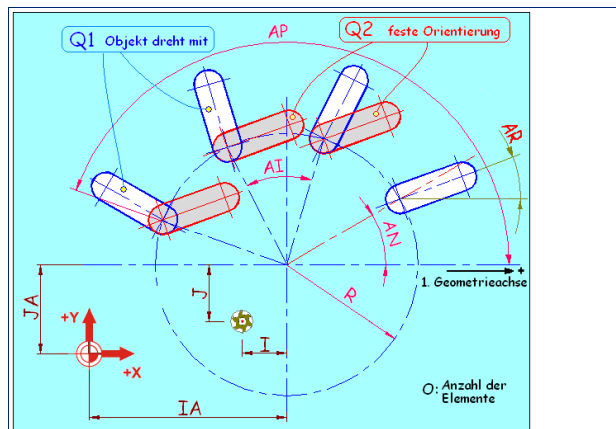
G84 Gewindebohrzyklus ... G77 Mehrfachzyklusaufuf auf einem Teilkreis

G77 Mehrfachzyklusaufuf auf einem Teilkreis (Lochkreis)

Wenn mehrere Objekte in gleichen Abständen auf einem Kreisbogen liegen, so wird mit G77 der jew. Zyklus mehrmals aufgerufen.
Der G77-Befehl steht also hinter einem Zyklus (der vorher mit G72-G75 oder G81-G85 definiert wurde).

Ebene G17

G77 [I /IA] [J /JA] [Z /ZA /ZI] R AN/AI AI/AP O [AR] [Q] [W] [H] [FP]



Pflichtparameter:

R Radius des Lochkreises
AN Polarer Winkel der ersten Zyklusaufufposition zur positiven 1. Geometrieachse (G17:X)
AI Inkrementwinkel zwischen zwei benachbarten Zyklusaufufpositionen
AP Polarer Winkel der letzten Zyklusaufufposition zur positiven 1. Geometrieachse (G17:X)
O Anzahl der Objekte auf dem Bogen (Achtung! Tippfehler vermeiden: O, statt 0 = Null)

I, IA X-Koordinate des Teilkreis-Mittelpunktes (1. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf X 0)

I (relativer) X-Abstand zwischen Startpunkt und Kreismittelpunkt des Teilkreises
(voreingestellt auf aktuelle Werkzeugposition)
IA X-Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten

J, JA Y-Koordinate des Teilkreis-Mittelpunktes (1. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf X 0)

J (relativer) Y-Abstand zwischen Startpunkt und Kreismittelpunkt des Teilkreises
(voreingestellt auf aktuelle Werkzeugposition)
JA Y-Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten

Z, ZI, ZA Z-Koordinate des ersten Punktes (3. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf Z 0)

Z absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
ZI inkrementelle Koordinatenwerteingabe zur aktuellen Werkzeug- position
ZA absolute Werkstückkoordinateneingabe

optionale Adressen:

AR Drehwinkel zur positiven 1. Geometrieachse, um den das Zyklusobjekt (Tasche/Nut) um die Zustellachse gedreht wird. (voreingestellt auf AR 0)
Q Orientierung der zu bearbeitenden Zyklusgeometrie
Q1 Mtdrehen des Objektes (voreingestellt Q1)

- Q2 feste Orientierung des Objektes
- W Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten
- H Rückfahrposition
 - H1 Sicherheitsebene wird zwischen zwei Positionen angefahren und Rückzugsebene nach letzter Position (voreingestellt auf H1)
 - H2 Rückzugsebene wird zwischen zwei Positionen angefahren
 - H3 Es wird wie bei H1 verfahren, jedoch wird die nächste Position nicht linear, sondern auf dem Teilkreisbogen angefahren.
- FP Positioniervorschub in G94 auf dem Teilkreisbogen bei H3

Programmierhinweise

Es können die drei Winkeladressen AN, AI oder AP nur dann programmiert werden, wenn die Differenz (AP – AN) ein ganzzahliges Vielfaches von AI ist. Es gilt dann $O = (AE - AN) / AI$.

- Es wird der aktuelle Zyklus (ausgenommen ist der Konturtaschenzyklus) auf den Positionen des programmierten Lochkreises aufgerufen.
- Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.
- Am Ende verfährt das Werkzeug im Eilgang auf Rückzugsebene W über dem zuletzt bearbeiteten Objekt.
- Bei weiteren Mehrfachzyklusaufrufen (G76 bis G79) braucht man nicht jedes Mal den jew. Zyklus (G72 bis G82) neu zu programmieren, solange die Elemente gleich bleiben.

G76 Mehrfachzyklusaufruf (Lochreihe)
 vorher
weiter
 G78 Zyklusaufruf an einem Punkt (Polarkoordinaten)

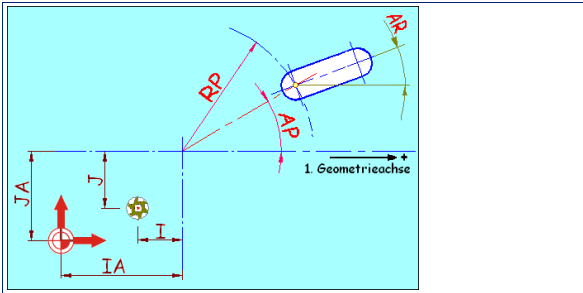
G78 Zyklusaufruf an einem Punkt (Polarkoordinaten)

Damit wird das Werkzeug auf den Startpunkt des aktiven Zyklus (vorher mit G72-G75 oder G81-G85 definiert) mit Hilfe von polaren Koordinaten gesetzt.

Der G78-Befehl steht also hinter einem Zyklusaufruf (G72-G75 oder G81-G85).
 Wenn er in einem Programm mehrfach vorkommt, bezieht er sich immer auf den zuletzt definierten Zyklus.

Ebene G17

G78 [**I** /IA] [**J** /JA] [**Z** /ZA /ZI] **RP** **AP** [**AR**] [**W**]



Pflichtparameter:

- RP** Polradius
- AP** Polarwinkel bezogen auf die 1. Geometrieachse (G17:X)

I, IA X-Koordinate des Teilkreis-Mittelpunktes (1. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf X 0)

- I (relativer) X-Abstand zwischen Startpunkt und Kreismittelpunkt des Teilkreises (voreingestellt auf aktuelle Werkzeugposition)
- IA X-Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten

J, JA Y-Koordinate des Teilkreis-Mittelpunktes (1. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf X 0)

- J (relativer) Y-Abstand zwischen Startpunkt und Kreismittelpunkt des Teilkreises (voreingestellt auf aktuelle Werkzeugposition)
- JA Y-Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten

Z, ZI, ZA Z-Koordinate des ersten Punktes (3. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf Z 0)

- Z absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
- ZI inkrementelle Koordinatenwerteingabe zur aktuellen Werkzeug- position
- ZA absolute Werkstückkoordinateneingabe

optionale Adressen:

- AR Drehwinkel zur positiven 1. Geometrieachse, um den das Zyklusobjekt (Tasche/Nut) um die Zustellachse gedreht wird. (voreingestellt auf AR 0)
- W Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten

Programmierhinweise

- Es wird der aktuelle Zyklus (ausgenommen ist der Konturtaschenzyklus) auf den Positionen des programmierten Lochkreises aufgerufen.
- Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.
- Am Ende verfährt das Werkzeug wieder im Eilgang zum Punkt zurück, von dem G78 aufgerufen wurde.
- Bei weiteren Mehrfachzyklusaufrufen (G76 bis G79) braucht man nicht jedes Mal den jew. Zyklus (G72 bis G82) neu zu programmieren, solange die Elemente gleich bleiben.

G77 Mehrfachzyklusaufruf auf einem Teilkreis
 vorher
weiter
 G79 Zyklusaufruf an einem Punkt (kartesische Koordinaten)

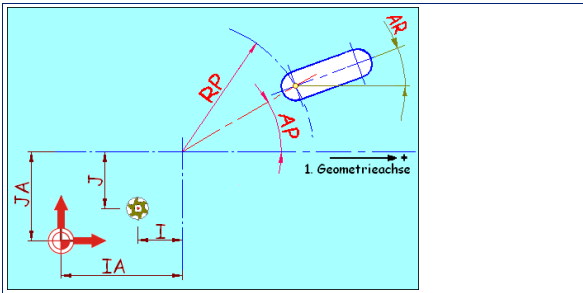
G79 Zyklusaufruf an einem Punkt (kartesische Koordinaten)

Damit wird das Werkzeug auf den Startpunkt des aktiven Zyklus (vorher mit G72-G75 oder G81-G85 definiert) mit Hilfe von kartesischen Koordinaten gesetzt.

Der G79-Befehl steht also hinter einem Zyklusaufruf (G72-G75 oder G81-G85).
 Wenn er in einem Programm mehrfach vorkommt, bezieht er sich immer auf den zuletzt definierten Zyklus.

Ebene G17

G79 [**X** /XA /XI] [**Y** /YA /YI] [**Z** /ZA /ZI] [**AR**] [**W**]



Pflichtparameter: keine

X, XI, XA X-Koordinate des ersten Punktes (1. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf X 0)

X absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
XI inkrementelle Koordinatenwerteingabe zur aktuellen Werkzeug-position
XA absolute Werkstückkoordinateneingabe

Y, YI, YA Y-Koordinate des ersten Punktes (2. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf Y 0)

Y absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
YI inkrementelle Koordinatenwerteingabe zur aktuellen Werkzeug-position
YA absolute Werkstückkoordinateneingabe

Z, ZI, ZA Z-Koordinate des ersten Punktes (3. Geometrieachse von G17) (voreingestellt auf Z 0)

Z absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
ZI inkrementelle Koordinatenwerteingabe zur aktuellen Werkzeug-position
ZA absolute Werkstückkoordinateneingabe

optionale Adressen:

AR Drehwinkel zur positiven 1. Geometrieachse, um den das Zyklusobjekt (Tasche/Nut) um die Zustellachse gedreht wird. (voreingestellt auf AR 0)
W Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten

Programmierhinweise

- Es wird der aktuelle Zyklus (ausgenommen ist der Konturtaschenzyklus) auf den Positionen des programmierten Lochkreises aufgerufen.
- Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.
- Am Ende verfährt das Werkzeug wieder im Eilgang zum Punkt zurück, von dem G79 aufgerufen wurde.
- Bei weiteren Mehrfachzyklusaufrufen (G76 bis G79) braucht man nicht jedes Mal den jew. Zyklus (G72 bis G82) neu zu programmieren, solange die Elemente gleich bleiben.

Sinnvoll, wenn z.B. ein „Bohrbild“ in Form eines Unterprogrammes abgearbeitet wird:

```
N10 G81 ZA-8 V2  
N11 G23 N27 N30  
...  
...  
;Bohrbild 8H7  
N27 G79 X10 Y10 Z1  
N28 G79 X10 Y90 Z1  
N29 G79 X90 Y10 ...
```

G78 Zyklusaufwurf an einem Punkt (Polarkoordinaten) <vorher> ... <weiter> M-Befehle

M-Befehle Ein- oder Ausschaltbefehle für die SPS



Mit den M-Befehlen (engl. miscellaneous = vermischt) gibt man verschiedenste Schaltbefehle (an die SPS der CNC-Maschine).

Sie schalten irgendwelche Motoren, Spindeln, Zangen etc. ein- oder aus.

... hier die wichtigsten:

M00	Programm Halt (Bedienereingabe erforderlich)
M02	Programm Ende
M03	Spindel im Uhrzeigersinn
M04	" " Gegenuhrzeigersinn (z.B. bei Schrägbett-Drehmaschinen)
M05	Spindel Halt
M06	Werkzeugwechsel (veraltet)
M07	Kühlschmierung Nr. 1 Ein
M08	Kühlschmierung Nr. 2 Ein
M09	Kühlschmierung Aus
M13	Spindel im Uhrzeigersinn und Kühlschmierung Ein
M14	Spindel im Gegenuhrzeigersinn und Kühlschmierung Ein
M15	Spindel und Kühlmittel aus
M17	Unterprogramm Ende
M30	Programm Ende

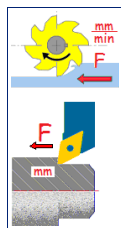
In einer Befehlszeile dürfen mehrere M-Befehle gleichzeitig vorkommen.
M-Befehle gehören sinnvoller Weise immer ans Zeilenende!

Zyklusaufwurf an einem Punkt (kartesische Koordinaten) <vorher> ... <weiter> F-Adresse

Die F-Adresse (FEED; Vorschub)

...ist erforderlich, damit die CNC-Maschine weiß, mit welcher Vorschubgeschwindigkeit sie verfahren soll.
Ein F-Befehl muss spätestens in der Programmzeile aufgetreten sein, in der G01, G02 o.ä. zum ersten Mal erscheinen.

Je nach Art der CNC-Maschine bzw. je nach ihrer Voreinstellung oder der Programmierung von G94 bzw. G95 wird der F-Wert unterschiedlich interpretiert:



Vorschubgeschwindigkeit:
Mit G94 bedeutet der F-Wert mm pro Minute (Bei Fräsmasch. voreingestellt.)

Vorschub:
Mit G95 bedeutet der F-Wert mm pro Umdrehung (Bei Drehmasch. voreingestellt.)

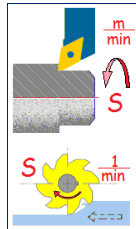
.... Bei Gewindezyklen ist F = Gewindesteigung.

M-Befehle <vorher> ... <weiter> S-Adresse

Die S-Adresse (SPEED; Drehzahl o. Schnittgeschwindigkeit)

...ist erforderlich, damit die CNC-Maschine weiß, mit welcher Schnittgeschwindigkeit sie das Werkstück bearbeiten soll.
Ein S-Befehl muss spätestens in der Programmzeile aufgetreten sein, in der M03 bzw. M04 (Spindelorientierung), zum ersten Mal erscheint.

Je nach Art der CNC-Maschine bzw. je nach ihrer Voreinstellung oder der Programmierung von G96 bzw. G97 wird der S-Wert unterschiedlich interpretiert:



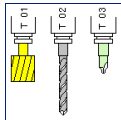
Mit G96 bedeutet der S-Wert konstante Schnittgeschwindigkeit in **m pro Minute** .
(Bei Drehmaschinen voreingestellt.)

Mit G97 bedeutet der S-Wert die Spindeldrehzahl in **Umdrehungen pro Minute** .
(Bei Fräsmaschinen voreingestellt.)

.... Bei Gewindezyklen ist F = Gewindesteigung.

F-Befehle **vorfür** **weiter** T-Adresse

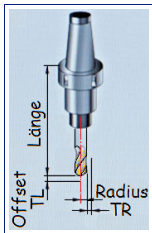
Die T-Adresse (TOOL Werkzeug)



...ist erforderlich, damit die CNC-Maschine weiß, welches Werkzeug eingespannt ist.
Wenn T in der Befehlszeile erscheint, wird, bevor sie abgearbeitet wird, der **Werkzeugwechsel** eingeleitet.

Dieser geschieht (oft immer noch) durch den Befehl "M06". (Dann hält die Spindel u.v.a.m. an, G53 wird kurzzeitig eingeschaltet und das mit T gekennzeichnete Werkzeug wird automatisch eingewechselt.)

Bei den Maschinen mit automatischem Wechsler ist M06 nicht notwendig; allein der T-Befehl leitet schon den Werkzeugwechsel ein.



Mit dem Werkzeugwechsel alleine ist es noch nicht getan, denn die veränderten Längen und Radien des neuen Werkzeuges müssen von der CNC-Steuerung verrechnet werden. Deshalb entnimmt sie aus dem Werkzeug(korrektur)speicher diese Werte (+ Verschleißkorrekturwerte, Standzeiten u.ä.). (Bei vielen alten Steuerungen musste dieser Aufruf durch die Adresse D programmiert werden. Z.B.T04 D04 ...)

Es ist sinnvoll, gleich mit dem T-Befehl auch die entsprechenden technologischen Werte für S und F einzugeben.
Will man beim Fräsen mit Werkzeugkorrektur ein Schlichtaufmaß einhalten, so kann das (ebenfalls mit dem T-Befehl zusammen) durch Benutzung der Adressen TR und TL auf einfache Weise erreicht werden. Später kann man die gleiche Kontur z.B. mit G41 noch einmal abfahren, nachdem dann nur noch die realen Korrekturwerte eingelesen wurden.

(Hinweis: Statt den Offset-Werten TR und TL kann man auch den (vgl. [G60](#)-Befehl verwenden.)

Bei PALmill reicht alleine der T-Aufruf zum Werkzeugwechsel. (Vergiss dennoch M06 nicht; zumindest nicht in deiner Prüfung!)
Damit nicht zu viele Fehlermeldungen nerven, wird nach dem Werkzeugwechsel von PALmill die Spindel ggf. wieder eingeschaltet; die Kühlung jedoch bleibt aus. (Aber Achtung: Jede andere Steuerung macht da "Ihr eigen Ding".)

Mit Strg + W kann man die Werkzeugtabelle einsehen, verändern und auf beliebig viele Werkzeuge erweitern. (Die Art der verwendbaren Werkzeuge kann man leider nicht verändern; es können nur die Grundwerkzeuge in der linken Tabelle beliebig oft in die rechte Werkzeugtabelle übernommen werden.)

Im Zeitalter der völligen Vernetzung kommt einer zentralen Werkzeugverwaltung eine immer wichtiger werdende Bedeutung zu: alle Werkzeuge des Betriebes müssen maßlich immer auf dem neuen Stand sein, Maßänderungen und Verschleißwerte sind einzugeben und -am besten in einer zentralen Datenbank- zu speichern. (PALmill hat aber leider keine Schnittstelle zu Werkzeugverwaltungssystemen. Schade!)

S-Befehle **vorfür** **weiter** L-Befehl

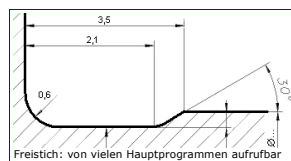
Die L-Adresse (Unterprogramm-Aufruf)

...ist erforderlich, um ein Unterprogramm aufzurufen.

Vgl. die Beschreibungen bei: [Unterprogramme](#) !

Unterprogramme werden bei PAL mit L aufgerufen, gefolgt von der zweistelligen Programm-Nr. und der zweistelligen Anzahl ihrer Aufrufe.

z.B.: L1302 ruft das Unterprogramm Nr. 13 auf und arbeitet es 2x ab (1 Wiederholung).



Unterprogramme machen Sinn, wenn sie in mehreren Programmen verwendet werden können oder wenn ein aufwändiges Programm damit besser strukturiert werden soll.

(Wenn sie nur in einem einzigen Hauptprogramm benötigt werden, empfiehlt sich m.E. besser der [G2.3](#)-Befehl.)

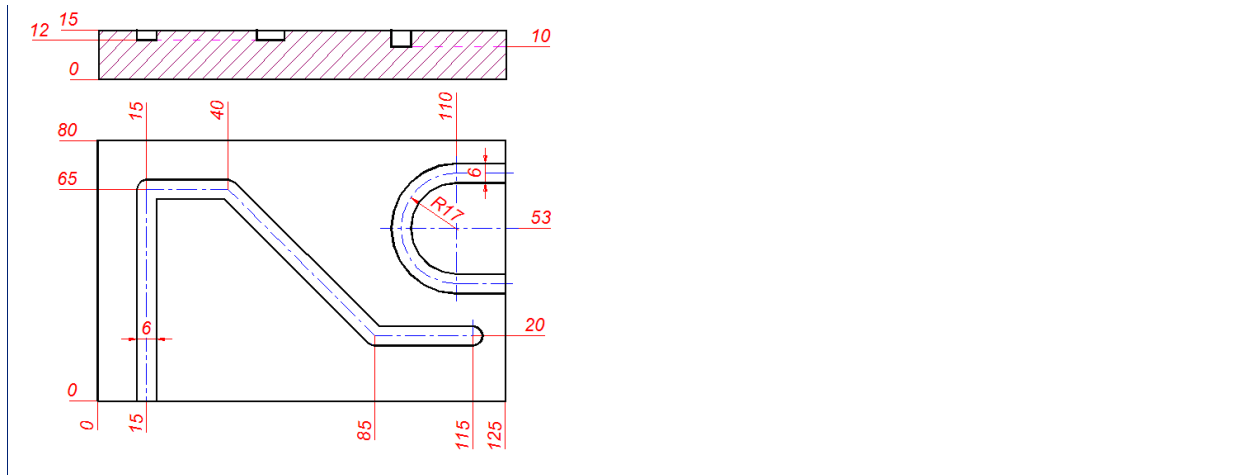
PALmill verlangt, dass vor einer Simulation das jew. Unterprogramm auf dem Desktop geöffnet ist; richtigen Maschinen genügt es, wenn die Datei im Speicher abgelegt ist.

T-Befehle **vorfür** **weiter** Übungsaufgabe Nr. 1

Übungsaufgabe Nr. 1

Erstelle ein CNC-Programm für folgende Platte aus EN AW-Al Mg2 !

(Störe dich nicht an der etwas ungewohnten CNC-Koordinatenbemaßung, wie sie mein CAD-System erzeugt. Normalerweise gehört an jedes absolute Maß noch ein Maßpfeil.)

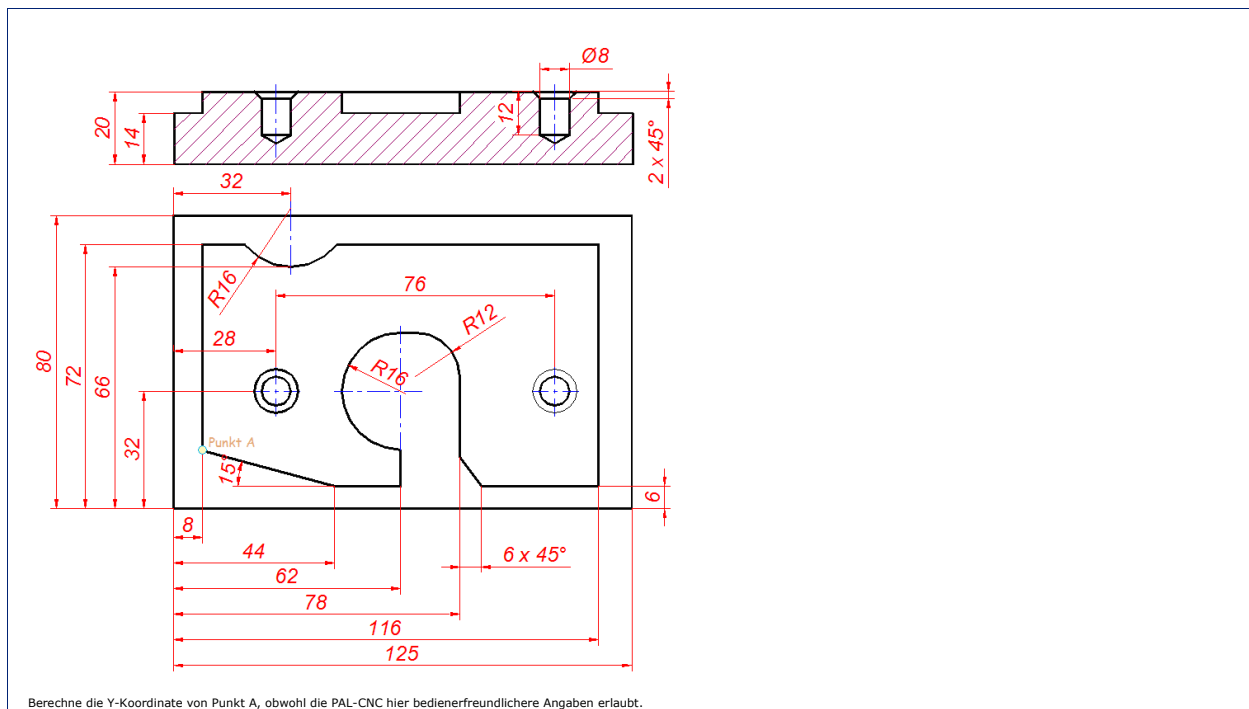


L-Befehl [vorher](#) [weiter](#) Übungsaufgabe Nr. 2

Übungsaufgabe Nr. 2

Erstelle ein CNC-Programm für folgende Platte aus 90MnCrV8 !

(Die Bemaßung ist zwar norm-, aber nicht cnc-gerecht! Da brauchst du deinen Taschenrechner.)



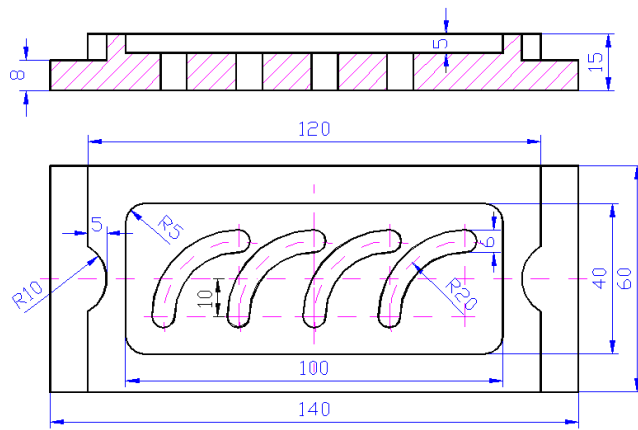
Berechne die Y-Koordinate von Punkt A, obwohl die PAL-CNC hier bedienerfreundlichere Angaben erlaubt.

Übungsaufgabe Nr. 1 [vorher](#) [weiter](#) Übungsaufgabe Nr. 3

Übungsaufgabe Nr. 3

Erstelle ein CNC-Programm für folgende Platte aus C45 !

Verwende dazu die Unterprogrammtechnik!

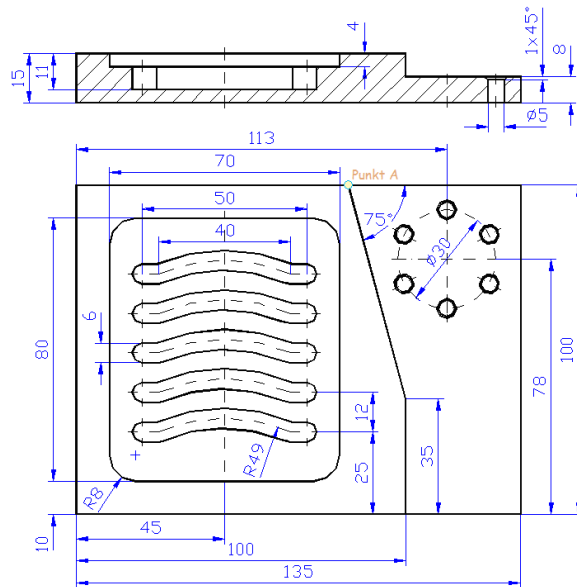


Übungsaufgabe Nr. 2 [vorher](#) [weiter](#) Übungsaufgabe Nr. 4

Übungsaufgabe Nr. 4

Erstelle ein CNC-Programm für folgende Platte aus 16MnCr5 !
Verwende dazu die [Unterprogrammtechnik](#)!

(Die Bemaßung ist zwar norm-, aber nicht cnc-gerecht! Da brauchst du deinen Taschenrechner.)

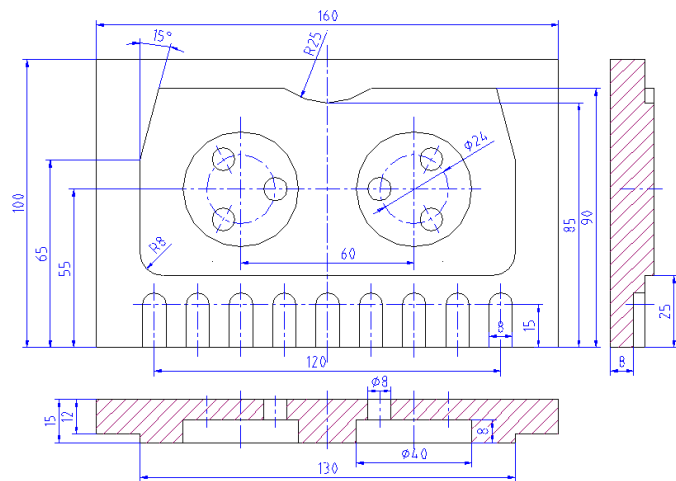


Berechne die X-Koordinate von Punkt A, obwohl die PAL-CNC hier bedienerfreundlichere Angaben erlaubt.

Übungsaufgabe Nr. 3 [vorher](#) [weiter](#) Übungsaufgabe Nr. 5

Übungsaufgabe Nr. 5

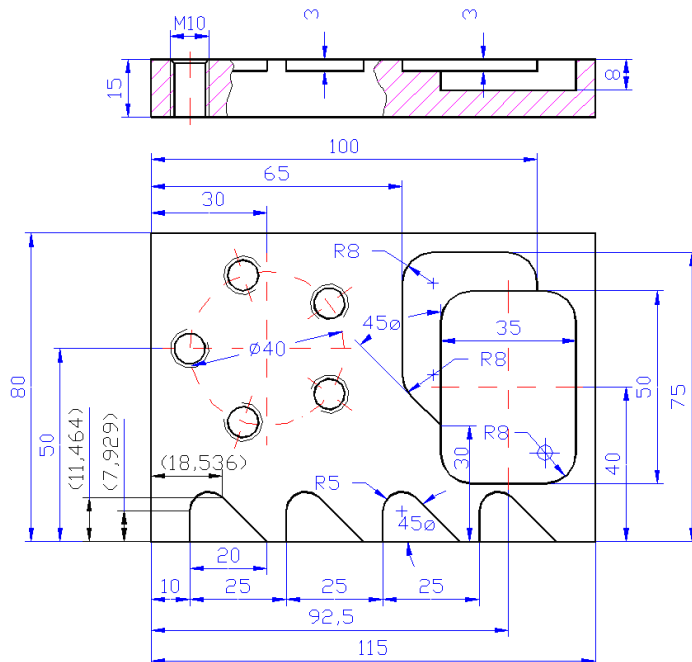
Erstelle ein CNC-Programm für folgende Platte aus 16MnCr5 !
Verwende dazu die [Unterprogrammtechnik](#)!



Übungsaufgabe Nr. 4 [vorher](#) [weiter](#) Übungsaufgabe Nr. 6

Übungsaufgabe Nr. 6

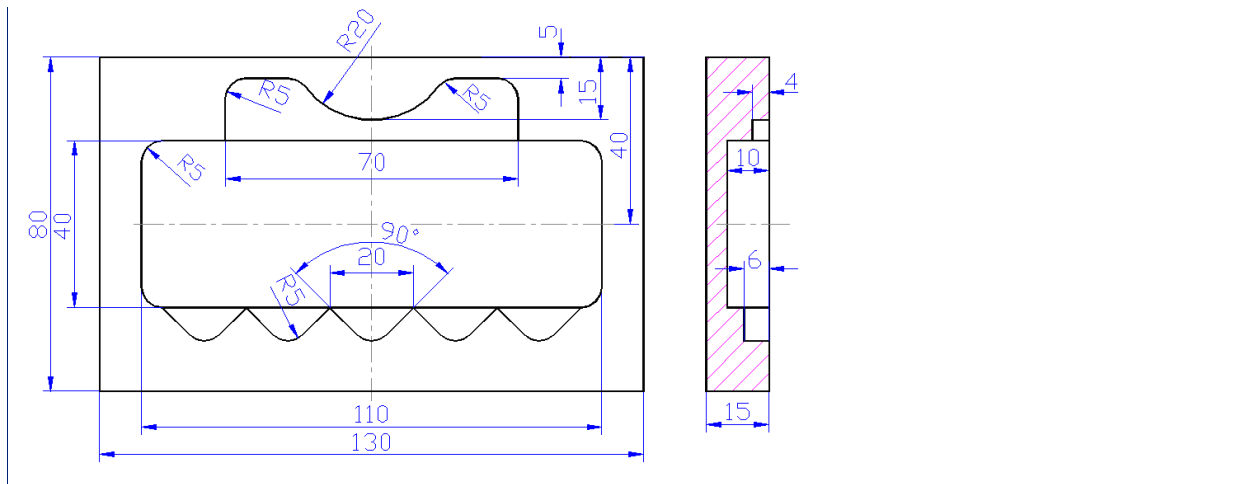
Erstelle ein CNC-Programm für folgende Platte aus 16MnCr5 !
Verwende dazu die Unterprogrammtechnik!



Übungsaufgabe Nr. 5 [vorher](#) [weiter](#) Übungsaufgabe Nr. 7

Übungsaufgabe Nr. 7

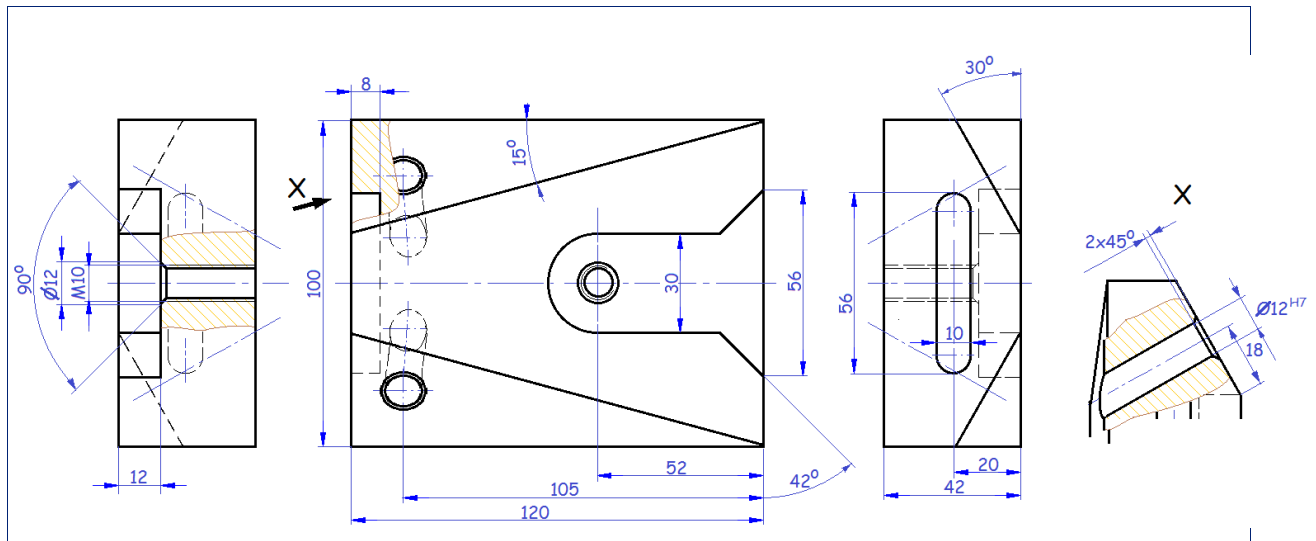
Erstelle ein CNC-Programm für folgende Platte aus AlMg 3 !
Verwende dazu die Unterprogrammtechnik!



Übungsaufgabe Nr. 6 [vorher](#) [weiter](#) Übungsaufgabe 8

Übungsaufgabe Nr. 7

Erstelle ein CNC-Programm für folgende Platte aus 55NiCrMoV7 !
Informiere dich dazu über die Grundlagen des [Schwenkens](#)!
Beachte, dass das Maß 105 der beiden 12H7-Bohrungen eingehalten wird!



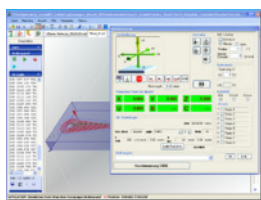
Übungsaufgabe Nr. 7 [vorher](#) [weiter](#) Nachwort

Ausblick

Die hier beschriebenen und von dir einzuübenden PAL-CNC-Funktionen sind zwar vollständig (mehr wird in der schriftlichen Gesellenprüfung nicht verlangt), aber sie sind noch lange nicht das, was „richtige“ Steuerungen zu bieten haben bzw. von einem Facharbeiter abverlangen.

Der Befehlsumfang üblicher NC-Steuerungen sind viel umfangreicher. Sie haben eine Vielfalt verschiedenster Zyklen, verwalten Schlichtbearbeitung, erlauben eine grafische Konturerstellung im Dialog, interpolieren in mehr als 3 Maschinenachsen, erlauben Programmieren in Hochsprache. Dadurch können – bes. durch Zugriff auf Variable, Zustände und Messwerte –, eigene, angepasste Zyklen geschrieben werden. So verrechnet z.B. ein Bad Sobernheimer Unternehmen die störende Wärmedehnung von noch nicht ganz abgekühlten Schmiedeteilen innerhalb eines CNC-Fräsprogrammes mittels Temperaturmessung. Oder eine immer bekannter werdende Firma aus Stipshausen erweitert den Funktionsumfang einer Steuerung, in dem sie spez. Zyklen für ihre selbstentwickelten Ultraschallmaschinen programmiert.

Andererseits hat das manuelle Programmieren in der betrieblichen Praxis eine starke Konkurrenz:

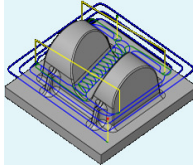


Maschinelles Programmieren mittels CAD-CAM:

aus einer 3-D-Zeichnung wird u.a. ein CNC-Programm generiert.

Die meisten komplizierten CN-Programme werden heute mittels Zusatzsoftware direkt aus den CAD-Daten (und aus einem Pool von Technologie-Daten) generiert und mit Hilfe von sog. Postprozessoren an die jew. vorhandene Maschinensteuerung (Siemens, Deckel Dialog, MAHO, Heidenhain, Fagor, Fanuc, ...) angepasst. Dabei ist bei Änderungen nicht mehr der eigentliche CNC-Programmcode von Interesse, sondern es wird ein übergeordneter Quellcode verwendet, der übersichtlich bleibt und einfacher zu ändern ist.

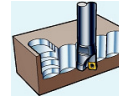
Das sieht einfach und spielerisch aus, aber hier können viele Fehler gemacht werden, wenn man keine ausreichende Praxis mitbringt und sich zu wenig Gedanken um Werkstoffe und Frässtrategien macht.
Lerne typische Probleme oder Unzulänglichkeiten in der Fräsbearbeitung zu erkennen und bereits im Vorfeld zu vermeiden!



Welche Frässtrategien sind wann sinnvoll?

Zeilenförmiges Abarbeiten oder Wälzbearbeitung? Z-Zustellung, kontinuierliche Helixzustellung, Stechfräsen, HSC, trochoidale Strategien? höhen- oder arialsortiert? Verwendung von Kugel-, Schaft-, Torus- und Freiformfräser?

. Die Fertigungszeit kann durch Reihenfolgenbestimmung und Gruppenbildung deutlich verkürzt werden. (Um Resonanzen und Schwingungen zu vermeiden, sollte im Rohling von innen nach außen gefräst werden.)



Trotz intelligenter Software und Materialdatenbank benötigt hier der Bediener fundierte Kenntnisse des Zerspanungsprozesses und dessen Optimierung unter Berücksichtigung von Standzeit, Schneidstoff, Schnittkraft, Kosten und Produktivität.

Wer aber jetzt glaubt, die mühsame manuelle Programmierung mit der „popligen“ PAL-CNC sei für ihn unwichtig geworden, täuscht sich gewaltig. Die Grundlagen sind wichtig. Nur auf diesen lässt sich Kompetenz aufbauen. Back to the roots. (Wer z.B. mit HTML-Dateien arbeitet, sieht sicher analoge Entwicklungen und wird mir Recht geben.)

Wichtig ist ebenso, dass man sich darüber im Klaren ist, dass man nur durch virtuellen Umgang mit Simulationssoftware noch lange kein CNC-Spezialist ist. Unbedingt erforderlich ist es, aufbauend auf den gewonnen Erkenntnissen, min. eine Steuerung an einer realen Maschine kennen gelernt zu haben. Möglichkeiten dazu bietet unsere zwar gebrauchte, aber voll funktionsfähige 5-Achsen-Fräsmaschine im Raum 119, die unser aller Stolz ist, die gleichen „Features“ wie große Fräszentren besitzt und (unserm Schulleiter sei Dank) ausschließlich von Spendengeldern Idar-Obersteiner Unternehmen beschafft wurde:



Jeder Schüler sollte sich möglichst schnell fit machen, um an der Maschine zumindest einmal

- eine Referenzfahrt durchzuführen,
- den Werkstücknullpunkt einzustellen,
- ein einfaches CNC-Programm samt Taschenfräszyklus zu programmieren, über die DNC einzugeben und abzuarbeiten,
- die Technologiewerte an Hand der erzielten Oberflächen korrigieren bzw. optimieren,
- ein z.B. nachgeschliffenes Werkzeug an der Maschine neu zu vermessen und in den Werkzeugkorrekturspeicher einzugeben und evtl.
- mit den Besonderheiten und erweiterten Möglichkeiten der Steuerung vertraut zu machen.

Hubert Klinkner, (1995, 2002) Sommer 2015

Übungsaufgabe 8 [Vorher](#)