

# Grundlagen der CNC-Programmierung (nach DIN 66025)

## 1. Aufbau eines CNC-Programms

Ein CNC-Programm stellt inhaltlich ein Informationspaket dar, in dem sämtliche Daten zur Herstellung eines Formteils verschlüsselt zusammengestellt sind. Die Zusammenstellung von Daten erfolgt nach bestimmten Ordnungsmerkmalen, wobei die kleinste Informationseinheit aus einem *Wort* gebildet wird. Ein oder mehrere Wörter bilden einen *Satz*, mit denen dann auch ein *Programm* geschrieben wird.

Jedes einzelne Wort beinhaltet eine bestimmte Information und kann in eine der 3 Datengruppen eingeteilt werden:

- a) Programmdaten
- b) Geometriedaten
- c) Technologiedaten

Alle Daten (alle Wörter) werden in einem Programm unter speziellen „*Adressen*“, geführt, die je nach Funktion unterschiedlich formatiert sind. Demnach besteht ein Wort aus *einer Adresse (Buchstabe)* und *einer Ziffernkombination (Nummer)*, die den Format bildet (ist mit „xxxx“, gekennzeichnet; die Anzahl der „x“, markiert den „x,-stelligen Format).

Beispiel 1: **P3 (1-stellig)**

**G01 (2-stellig)**

**N0010 (4-stellig)**

Jedes Programm erhält ihre Identifikationsnummer und muss mindestens einen Satz aufweisen, der dann zugleich das Beenden des Programms (M30) beinhalten soll.

### (a) Programmdaten

Programm- und Satznummern gehören zu Programmdaten. Sie sorgen für die Identifizierung des Programms und seiner einzelnen Sätze sowie für seine korrekte syntaktische Strukturierung. (Danach kann die Kombination einiger Daten syntaktisch sinnvoll oder nicht sinnvoll werden. Im letzten Fall wird die Ausführung des Programms blockiert). Ebenfalls zu Programmdaten zählen die einfachen Programm- (gekoppelt mit Wegfunktionen) und die komplexen Anweisungen (bei Zyklen).

Ein Programm wird mit einer 4-stelligen Programmnummer eingeleitet, die an die Adresse „**O**“, gekoppelt wird (z.B. **O2055**). Man unterscheidet zwischen Arbeitsprogrammen (dafür sind Ziffernkombinationen zwischen 0000 und 6999 zugelassen), Rohteilprogramme (7000 bis 7499) und Programmen mit weiteren Grafikanwendungen (7000 bis 9999).

Die Adresse eines Satzes ist „**N**“, gekoppelt mit einer 4-stelligen Ziffernkombination (z.B. **N0120**). Ein jedes Programm beginnt i.a. mit der Satznummer **N0000** und wird satzweise um 10-er Schritt fortgeführt, z.B.

Beispiel 2: **Oxxxx**

**N0000** ...

**N0010** ...

**N0020** usw.

Wegen Programmerweiterung und/oder -korrektur können Zwischensätze mit entsprechender Adresse und den Satznummern eingebaut werden (z.B. zwischen **N0010** und **N0020** können **N0011**, **N0012**, ...bis **N0019** eingesetzt werden).

Obwohl die Anzahl der Sätze im Programm generell nicht eingeschränkt ist, soll man das Programm so kurz wie möglich editieren (Informationsfluß ⇒ Energie- und Zeitaufwand). Das Ausführen von Technologie- und Geometriedaten im Programm erfolgt mit Hilfe von *Programmanweisungen*. Diese werden mit der Adresse „G,, und mit einer 2-stelligen Nummer belegt (z.B., **G01**).

Zu Programmdateien zählen auch die „L,,- und einige „M,,- Adressen (4- bzw. 2-stellig), mit der die Unterprogramme (modal) aufgerufen bzw. abgeschlossen werden können.

### (b) Geometriedaten

Strecken, die vom Werkzeug zurückgelegt werden, bilden die *Geometriedaten*. Jede Strecke wird durch die Koordinaten ihres Zielpunktes ausreichend beschrieben. Jeder Koordinate ist eine eigenständige Adresse zugeschrieben.

Man unterscheidet 3 Gruppen von *Koordinatenadressen*:

**X, Y, Z** absolute Koordinaten

**U, V, W** inkrementelle Koordinaten

**I, J, K** Interpolationsparameter (inkrementell zum Startpunkt)

*Format:* ± **xxxx.xxx** (Vorzeichen ist möglich, maximal 4 Stellen vor, 3 Stellen nach dem Dezimalpunkt)

Die Geometriedaten (Koordinaten) werden i. A. zusammen mit speziellen Programmdateien (G –Anweisungen) geschrieben, z.B.

*Beispiel 3:* **G01 X35.000 Y0.000 Z-10.000**

**G02 X50.000 Y-15.000 I15.000 J0.000 K-10.000**

Auch ein Teil von Hilfsparametern bei Abarbeitung von Zyklen zählt zu Geometriedaten. Zu ihnen gehören v.a. die Längen- bzw. Winkelmaße der geometrischen Konturen und die durch Werkzeuge zurückzulegenden Strecken (z.B., P0, P1, D2, D6 u.a.).

### (c) Technologiedaten

Zu Technologiedaten zählen alle die Informationen, mit denen ein Zerspanvorgang (z.B. Fräsen) über die Werkzeugeinstellungen (und über die dazu benötigten Anweisungen) realisieren läßt.

Dazu zählen:

**Txxxx** Werkzeugwahl und Werkzeugdatenregisterwahl (4-stellig) [Tool]

**Fxxxx** Vorschub in mm/min oder µm/Umdrehung oder Gewindesteigung in µm (2-stellig) [Feed]

**Sxxxx** Spindeldrehzahl (4-stellig) [Speed]

**Mxx** Zusatzfunktion (2-stellig), die z.B. den Drehsinn des Werkzeuges kennzeichnen kann [Modale]

Zu dieser Gruppe zählt auch ein anderer Teil von Hilfsparametern, wie D4, D5 und D7.

### (d) Programmeingabe, -korrektur und -sicherung (EMCO)

Die Programmeingabe erfolgt in der Betriebsart „EDIT“ (Edition). Die Eingabe von eigenständigen Informationen bzw. Daten innerhalb eines Satzes wird mit „ENTER“ abgeschlossen. Das Überspringen von einer zu der anderen Datei innerhalb eines Satzes im Vorwärtsgang erfolgt ebenfalls mit „ENTER“. Innerhalb des Satzes im Rückwärtsgang mit der Kombination „SHIFT“ + „ENTER“.

Das Ende eines Satzes und Übersprung auf den nächsten Satz erfolgt durch die Kombination „ENTER“ + „STOR NEXT“ + „ENTER“. Ein rückwärtiger Sprung von einem zum vorstehenden Satz erfolgt mit „PREV“.

Ist die Korrektur einer Datei (eines Wortes) notwendig, sind zwei Vorgehensweisen möglich:

1. Das jeweilige zu korrigierende Wort oder Zeichen wird markiert (angeklickt) und durch eine korrekte Information zeichenweise ersetzt. Für die Sicherung der neuen Information muss die Kombination „ENTER“ + „STOR NEXT“ + „ENTER“ betätigt werden.
2. Die gewünschte Information (Wort oder Wortgruppe) wird am Ende des Satzes geschrieben. Neue Wörter der gleichen Gruppe (gleiche Adressen) ersetzen dabei automatisch die Alten. Der korrigierte Satz muss mit „ENTER“ + „STOR NEXT“ + „ENTER“ gesichert werden.

## 2. Programmiersyntax

Programme werden Satzweise geschrieben, einschließlich die Programmbezeichnung und das Programmende. In der *Programmbezeichnung* steht der „Name“ des Programms, der mit dem Adressbuchstabe „O“ und einer vierstelligen Ziffernkombination zusammengestellt wird. Da der „Name“ des Programms eine an für sich geschlossene Information darstellt, besteht der Satz, in dem er geschrieben wurde, aus nur diesem einzigen Wort.

Jedes einzelne Wort im Satz soll mit „ENTER“ abgeschlossen werden, während der Satz selber mit der Tastenkombination „ENTER“ + „STOR NEXT“ + „ENTER“ abgeschlossen wird. Mit Abschluss des Satzes wird nach dieser Tastenkombination zugleich automatisch ein neuer Satz aufgerufen.

Das *Beenden des Programms* erfolgt gewöhnlich mit einem Satz, der mit dem Wort „M30“ ausgeführt ist. Dadurch springt der Cursor nach Abschluss des Programms zurück zum Programmanfang.

### Beispiel 4:

**O 0005** (Transkription: „SHIFT“ + „O“ + „0“ + „0“ + „0“ + „0“ + „5“ + „ENTER“ + „STOR NEXT“ + „ENTER“)

**N0000 G53 G56 G40 T0000** (Transkription: „G“ + „5“ + „3“ + „ENTER“ + „G“ + „5“ + „6“ + „ENTER“ + „G“ + „4“ + „0“ + „ENTER“ + „T“ + „0“ + „0“ + „0“ + „0“ + „ENTER“ + „STOR NEXT“ + „ENTER“)

**N0010 G54** (Transkription: „G“ + „5“ + „4“ + „ENTER“ + „STOR NEXT“ + „ENTER“)

.....

.....

**Nxxxx M30**

Die Reihenfolge der Wörter im Satz ist im Allgemeinen unerheblich. Es soll dennoch eine gewisse Aufbaustruktur eingeführt werden, an der man sich dann auch halten soll. Z.B. sollen

- die Wahl des Werkzeuges (*Txxxx*) im eigenständigen Satz mit der Angabe der gewählten *F*-, *S*- *M*-Parameter
- die Angaben der Zielkoordinaten einer Strecke erst nach der Anweisung des *G*-Befehls erfolgen.

### Beispiel 5:

.....

**Nxxxx T0303 F150 S2000 M03**

**Nyyyy G00 X-10.000 Y5.000 Z15.000**

.....

### 3. Übersicht über Adressen und ihre Formate

#### (a) Programmdaten

Oxxxx	(,x,, von 0...9)
Nxxxx	(,x,, von 0...9)
L (SHIFT)	Aufruf eines Unterprogramms
G00	Eilgang
G01	Geradeninterpolation
G02	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
G03	Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn
G72	Definition „Kreisbohrbild,,
G74	Definition „Rechteckbohrbild,,
G81	Zyklus „Bohren, Zentrieren,,
G82	Zyklus „Bohren, Plansenken,,
G83	Zyklus „Tieflochbohren mit Ausheben,,
G84	Zyklus „Gewindebohren,,
G86	Zyklus „Tieflochbohren mit Spänebrechen,,
G87	Zyklus „Rechtecktaschenfräszyklus,,
G88	Kreistaschenfräszyklus
G89	Nutfräszyklus
G25	Unterprogrammaufruf
G27	unbedingter Sprung
M00	programmierter HALT
M17	Unterprogrammende
M30	Programmende mit Rückzug zum Programmanfang

#### (b) Geometriedaten

G70	Maßangaben in Zoll
G71	Maßangaben in mm
G40	Aufheben der Werkzeugbahnkorrektur
G41	Werkzeugbahnkorrektur links
G42	Werkzeugbahnkorrektur rechts
G98	Rückzug auf Startebene
G99	Rückzug auf Rückzugebene
Xxxxx.xxx	X-Koordinate des Zielpunktes (absolut)
Yyyyy.yyy	Y-Koordinate des Zielpunktes (absolut)
Zzzzz.zzz	Z-Koordinate des Zielpunktes (absolut)
Iiii.iii	I-Koordinate des Mittelpunktes (inkrementell zum Startpunkt)
Jjjj.jjj	J-Koordinate des Mittelpunktes (inkrementell zum Startpunkt)
Kkkkk.kkk	K-Koordinate des Mittelpunktes (inkrementell zum Startpunkt)
Uuuuu.uuu	U-Koordinate des Zielpunktes (inkrementell)
Vvvvv.vvv	V-Koordinate des Zielpunktes (inkrementell)
Wwww.www	W-Koordinate des Zielpunktes (inkrementell)

P0	Taschenbreite in mm in X-Richtung
P1	Taschenbreite in mm in Y-Richtung
P3	Absolutes Z-Maß in mm für Definition der Rückzugebene, gemessen von der 0-Ebene
D2	horizontale Zustellung in mm (Standard: 1,7 x Fräserradius) (beim G88)
D2	Winkel der Nut bezüglich der positiven X-Richtung in 0,1°
D3	Bohrtiefe in µm für ersten Schnitt (beim G83, G86)
D3	Zustelltiefe in µm pro Schnitt bei Schnittaufteilung (beim G87, G88, G89)
D5	%-Wert für Abnahme der Bohrtiefe (beim G83, G86)
D6	Mindestbohrtiefe in µm (beim G83, G86)
M50	Abwahl der Richtungslogik bei bidirektionalem Werkzeugwender
M51	Anwahl der Richtungslogik bei bidirektionalem Werkzeugwender
M90	Abwahl der Spiegelfunktion
M91	Spiegeln an der X-Achse
M92	Spiegeln an der Y-Achse
M93	Spiegeln an der X- und Y-Achse (Drehung um den Ursprung um 180°)

**(c) Technologiedaten**

G04	Verweilzeit
G17	1. Achsumschaltung
G18	2. Achsumschaltung
G19	3. Achsumschaltung
G20	4. Achsumschaltung
G21	5. Achsumschaltung
G22	6. Achsumschaltung
G53	Abwahl von Verschiebung 1 und 2
G54	Aufruf von Verschiebung 1
G55	Aufruf von Verschiebung 2
G56	Abwahl von Verschiebung 3, 4, 5
G57	Aufruf von Verschiebung 3
G58	Aufruf von Verschiebung 4
G59	Aufruf von Verschiebung 5
G92	Verschiebung 5 setzen
G94	Vorschubangabe in mm/min bzw. 0,01"/min
G95	Vorschubangabe in µm/Umdrehung bzw. 0,0001"/Umdrehung
D4	Verweilzeit in Zehntel Sekunden am Ende der Z-Bewegung (beim G82)
D4	Schlichtparameter; 0 für vollen Arbeitsvorschub am äußeren Radius der Kreistasche (Initialzustand), 1 für halben Arbeitsvorschub am äußeren Radius der Kreistasche (beim G88, G89)
D5	02 für Gleichlaufräsen, 03 für Gegenlaufräsen (Initialzustand) (beim G87, G88, G89)
D7	0 für Zustellung mit G00, 1 für Zustellung mit halbem Arbeitsvorschub (Initialzustand) (beim G87, G88, G89)
M03	Spindel EIN im Uhrzeigersinn
M04	Spindel AUS im Gegenuhrzeigersinn
M05	Spindel HALT
M19	Spindel GENAUHALT
M38	Genauhalt EIN
M39	Genauhalt AUS
M08	Kühlmittel EIN
M09	Kühlmittel AUS

## 4. Programmierung mit Absolut- und Inkrementalmaßen

Für das Aufspannen eines räumlichen Koordinatennetzes gilt in der CNC-Technik die Rechte-Hand-Regel. Die Lage eines jeden Punktes kann in einem solchen Raum *absolut* (a) oder *inkrementell* (b) beschrieben werden. Im Fall (a) wird die Lage jedes Punktes stets gegenüber dem Koordinatenursprung bestimmt. Im Fall (b) wird die Lage eines Punktes auf den vorstehenden Punkt bezogen, dessen Koordinaten bekannt sein müssen.

Bei Absolutwertprogrammierung verwendet man *X, Y, Z-Adressen*.

Bei Inkrementalwertprogrammierung erfolgt die Lagebeschreibung mit den *U, V, W-Adressen*. Bei einigen Programmschritten ist die gemeinsame Anwendung von absoluten und inkrementellen Werten notwendig (z.B. bei der Kreisinterpolation *G02*). Um mit den erstgenannten Fällen nicht zu verwechseln, benutzt man hier bei inkrementellen Werten die *I, J, K-Adressen* (*X, Y, Z-Adressen* des Endpunktes der Kreisstrecke bleiben unverändert und werden mit *I, J, K-Koordinaten* des Mittelpunktes – inkrementell zum Startpunkt - ergänzt; *Z* und *K* sind nicht selten identisch)

Beispiel 6:

*O ....*

```
.....  
N0090 G01 X93.000 Y58.000 Z-3.000  
N0100 G02 X98.000 Y53.000 I0.000 J-5.000 K0.000  
N0110 G01 Y 7.000
```

Der Koordinatenursprung wird aus praktischen Gründen im Fluchtweg der Einspannvorrichtung und des linken Werkstück-Randes gelegt (an einem der beiden Werkstückecken).

*Tabelle 1*

Adressen	metrisch	zöllig
Wegeadressen absolut X,Y,Z	± [mm]	± [inch]
Wegeadressen inkrementell U,V,W	± [mm]	± [inch]
Kreisinterpolationsparameter I,J,K	± [mm]	± [inch]

## 5. Werkzeugprogrammierung

Werkzeuge werden mit einer T-Adresse (TOOL) und einer 4-stelligen Nummer formatiert bzw. programmiert (z.B. T0303). Aufgeteilt in 2 gleichgroße Zahlengruppen liefert diese Zahlenkombination zwei wichtige Informationen:

- die zuerst stehende Zahlengruppe 03 ist die *Werkzeugnummer* und gibt die Position (den Platz) des Werkzeuges im Revolverkopf an
- die zweite Zahlengruppe (ebenfalls 03) ist die *Werkzeugkorrekturnummer* und liefert Auskunft über die Werkzeugdaten (Länge, Radius)

Die T-Adressen sind im *TOOL-Speicher* (Werkzeugdatenspeicher) mit jeweiligen Werkzeugdaten (siehe Anlage „Vorbereitung zu einem CNC-Zerspanvorgang“) aufgelistet und können über die Tastenkombination „*SHIFT*“+“*TO*“ aufgerufen werden.

Der Einsatz eines Werkzeuges wird im Programm durch den Aufruf einer jeweiligen T-Adresse mit ergänzenden Adressen für die technologischen Daten simuliert. Zu solchen Daten zählen

- Vorschub (F-Adresse)
- Spindeldrehzahl (S-Adresse)
- Drehsinn der Hauptspindel (M-Adresse)

Tabelle 2

Adressen	metrisch
F-Gewindesteigung (G84)	[ $\mu\text{m}$ ]
F-Minütlicher Vorschub (G83)	[mm/min]
F-Umdrehungsvorschub (G95)	[ $\mu\text{m}/\text{U}$ ]
S-Drehzahl	[U/min]
M-Drehsinn (M03/M04)	Uhrzeiger-/Gegenuhrzeigersinn

Mit dem Aufruf einer neuen T-Adresse wird die alte automatisch überschrieben. Zu Beginn eines neuen Programms sollen jedoch generell mit der *Abwahl* (T0000) die sämtlichen Werkzeugfunktionen deaktiviert werden.

Beispiel 7:

O....

N0000 G40 G53 G56 T0000

N0010 .....

## 6. Selbsthaltende Funktionen und Wortinhalte

Programme müssen einfach und nicht überladen gestaltet werden. Aus diesem Grund werden einige Informationen als *modale (selbthaltende) 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).

Beispiel 8:

```

.....
N0100 G00 X-10.000 Y-5.000 Z15.000
N0120      X 5.000 Y-10.000
N0130 G01                Z-5.000
    
```

Im Beispiel bleibt die Funktion von G00 bis zum Satz N 120 aktiv und wird erst im N130 durch die G01 abgewählt; die Eingabe von G00 im Satz N 120 ist dadurch überflüssig, da sie *selbthaltend* ist. Ähnlich ist es mit X, Y, Z-Koordinaten; während die Z-Koordinate im Satz N 130 durch eine neue abgewählt wird, bleiben die X- und die Y-Koordinate im Satz N 130 selbsterhaltend.

Es gibt auch gekoppelte Anweisungen, die sich nur im Paket gegenseitig aufheben (z.B. Abwahl von G41 durch G40).

Beispiel 9:

```

.....
N0060 G01 X45.000 Y -5.000 Z-8.000 G41
N0070                Y-45.000
.....
.....
N0140      X15.000 Y20.000          G40
.....
    
```

## 7. Anweisungen zu Werkzeugbewegungen

Jede Werkzeugbewegung wird von zwei Datengruppen beschrieben:

a) die erste Gruppe erfasst die Anweisung, mit der die geometrische Art und die Schnelligkeit, mit der diese Bewegung ausgeführt wird, beschrieben werden. Zu den wichtigsten zählen *G00*, *G01*, *G02*, *G03*

b) die zweite Gruppe erfasst Koordinaten des Endpunktes der jeweiligen Strecke, entlang der die Bewegung ausgeführt wird.

Beide Datengruppen werden in eine Anweisung zusammengefasst (siehe *Beispiel 8*).

### **G00 Eilgang**

Die *G00-Anweisung* gilt für Werkzeugbewegungen im Eilgang. Solche Bewegungen können mit der Eilganggeschwindigkeit in allen 3 Achsen *gleichzeitig* erfolgen. Einsatz und Programmierung dieser Bewegung wird stets außerhalb des Werkstückes empfohlen. Vor allem beim Positionieren bzw. Zustellen des Werkzeuges vor dem Eintritt in das Werkstück oder beim Verlassen des Werkstückes. Die Angabe des Zielpunktes, der mit der *G00*-Anweisung im Eilgang erzielt werden soll, kann absolut (*X,Y,Z*) und inkrementell (*U,V,W*) vorgenommen werden. Die *G00*-Anweisung setzt man im Satz stets vor den jeweiligen Koordinaten des Zielpunktes.

#### Beispiel 10:

.....  
**N0050 G00 X-15.000 Y-12.500 Z10.000**  
.....

### **G01 Geradeninterpolation**

Mit der *G01*-Anweisung wird der Zielpunkt des Werkzeuges auf dem kürzesten Wege (gerade Strecke) erreicht. Das Tempo der Bewegung ist von der gewählten Vorschubgeschwindigkeit (*Fxxxx*) bestimmt. Die *G01*-Anweisung ist für die zerspantechnische Arbeiten innerhalb des Werkstückes festgelegt. Die Koordinaten des Zielpunktes können absolut (*X,Y,Z*) oder inkrementell (*U,V,W*) einprogrammiert werden und stehen hinter der *G01*-Anweisung

#### Beispiel 11:

.....  
**N0050 G01 X25.000 Y-50.000 Z-9.000**  
.....



### Hinweise zur Positionierung des Werkzeuges

Das Eintreten des Werkzeuges in das Material des Werkstückes erfolgt beim Fräsen über die Mantelfläche und beim Bohren bzw. Taschenfräsen über die Stirnfläche des Rohlings. Entsprechend müssen die Werkzeuge im Sinne der Zustellung räumlich positioniert werden. Dafür denkt man eine oder mehrere Ebenen aus, in denen das Werkzeug im Eilgang (außerhalb des Werkstückes) positioniert werden kann. Z.B.

- XYZ(1)-Ebene als Ausgangsebene
- XYZ(2)-Ebene als Startebene
- XYZ(3)-Ebene als Rückzugsebene (sinnvoll beim Bohren, Taschenzyklus)
- XYZ(4)-Ebene und Folgeebenen als Arbeitsebene

Beim *Fräsen* empfiehlt sich jede Positionierung des Werkzeuges in *zwei Etappen* :

- Festlegung der Koordinaten in einer *XYZ(1)-Ebene*, die außerhalb des Werkstückes (positive Z-Achse) liegt.
- Einsenken des Werkzeuges auf die gewünschte Tiefe in die *XYZ(2)-Ebene* (negative Z-Achse).

Die Werkzeugbewegungen in der *XYZ(1)-Ebene* sowie zwischen *XYZ(1)-* und *XYZ(2)-Ebene* können mit *G00* programmiert werden. Die *XYZ(2)-Koordinaten* bilden beim Fräsen (Bohren) die *Startposition* für den Eintritt in das Material des Werkstückes. Gerade Werkzeugstrecken innerhalb des Werkstückes können ausschließlich mit *G01* programmiert werden.

Beim *Bohren* und *Taschenfräsen* sollte man das Einsenken des Werkzeuges in *drei Etappen* vornehmen:

- Positionierung des Werkzeuges in einer *XYZ(1)-Ebene* (positive Z-Achse)
- Festlegung einer *XYZ(2)-Startebene* und einer *XYZ(3)-Rückzugsebene* (beide mit positiver Z-Achse)
- Einsenken des Werkzeuges auf die gewünschte Tiefe in die *XYZ(4)-* und die nachfolgenden Ebenen (negative Z-Achse).

Die *XYZ(2)-Koordinaten* und die *XYZ(3)-Koordinaten* bilden beim Bohren (Fräsen) jeweils die Start- und Endposition des Werkzeuges (siehe unten Bohrzyklen). Die Werkzeugbewegungen in *XYZ(1)-*, *XYZ(2)-* und *XYZ(3)-Ebenen* sowie zwischen *XYZ(1)-* und *XYZ(2)-* bzw. *XYZ(3)-Ebene* können mit *G00* programmiert werden. Werkzeugbewegungen innerhalb der *XYZ(4)-Ebene* sind ausschließlich mit *G01* erlaubt.

### G02/G03 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn/gegen Uhrzeigersinn

Mit G02/G03-Anweisungen können Vollkreise und Kreisbögen programmiert werden. Bei der Festlegung des Drehsinns benutzt man die Rechte-Hand-Regel und betrachtet man die jeweilige Ebene (z. B. XY-Ebene) immer von der positiven Richtung der dritten Achse aus (Z-Richtung).

Für die Programmierung eines Kreisbogens sind die Angaben

- des Drehsinns,
  - der Lage und der Größe des Kreisbogens sowie
  - des Vorschubes
- notwendig.

Der *Drehsinn* wird über die G02- (im Uhrzeigersinn) oder G03-Anweisung (gegen Uhrzeigersinn) festgelegt. Die *Lage* des Kreisbogens wird definiert über die absoluten X,Y,Z-Koordinaten des Zielpunktes des Kreisbogens (inkrementell mit U,V,W ebenfalls möglich). Die *Größe* des Kreisbogens äußert sich über die Größe seines Radius, der mit I,J,K-Koordinaten des Mittelpunktes (inkrementell gegenüber dem Anfangspunkt des Kreisbogens) vollständig beschrieben ist.

#### Beispiel 12:

*Gegeben:*

Rohling 50x50x15 (mm)

Aufsatz mit Kanten 46x46x3 (mm)

Radius R = 5 mm

Werkstücknullpunkt: *oben links*

*Gesucht:*

Lage und Größe des Mittelpunktes

*Lösung :*

.....  
**N... G01 X43.000 Y-2.000 Z-3.000**

**N... G02 X48.000 Y-7.000 I0.000 J-5.000 (K-3.000) (F....)**

#### **G04 Verweilzeit**

Wird eingeschaltet, wenn zwischen zwei Vorgängen technologisch bedingt eine Pause eingelegt werden muß. Die Einheit der Verweilzeit ist *1/10 Sekunden*. Die G04-Adresse wird mit dem Parameter  $D_4$  ergänzt, dessen Eingabereich in den Grenzen 1 – 10000 (von 1/10 bis 1000 Sekunden) liegt.

Unabhängig davon, an welcher Stelle die G04-Anweisung geschrieben ist, aktiv wird sie nur am Satzende.

#### Beispiel 13:

.....  
**N..40 G04 D<sub>4</sub> 20 M03**

**N..50 G00 X50.000 Y10.000**

.....  
Im Satz N 40 wird Spindel mit M03 (im Uhrzeigersinn) eingeschaltet. Bevor X-, Y-Koordinaten im Eilgang im Satz N 50 angefahren werden, verweilt das Werkzeug 2 Sekunden lang in ursprünglicher Lage.

## ***G41 / G42 Werkzeugbahnkorrektur / G40 Abwahl der Bahnkorrektur***

### *Zweck:*

Die Konturen eines Werkstückes auf der Zeichnung werden von der Bleistiftspitze erzeugt. Die Form und Größe eines Werkstückes wird dadurch von den *Konturpunkten* erfasst. Im realen Fräsvorgang wird die Rolle der Bleistiftspitze dem Werkzeugmittelpunkt übertragen. Um dennoch die gewünschten Konturen mit festgelegten Maßen erreichen zu können, muss die Lage des Werkzeugmittelpunktes um die *Größe des Radius* nach außen versetzt werden (*äquidistante Bahn*).

Zur Programmierung der äquidistanten Bahn ohne G41/G42 müssen *Rechenarbeiten* durchgeführt werden, die sich auf die Kenntnis der Lage von Koordinaten der sogenannten *Stützpunkte* beruhen.

Setzt man die G41- bzw. G42-Anweisung ein, so werden die Rechenarbeiten vom Computer (mit der Kenntnis des Werkzeugdurchmessers) übernommen. Dadurch ist die persönliche Kenntnis der Koordinaten von Stützpunkten unerheblich und die Gestaltung der Realkonturen wird auf die Eingabe von Koordinaten der eigentlichen Konturpunkte eingeschränkt.

### *Definition:*

Bei *G41 - Werkzeugbahnkorrektur links* positioniert man das Werkzeug links vom Werkstück in Richtung der Werkzeugrelativbewegung.

Die *G42 - Werkzeugbahnkorrektur rechts* beschreibt demnach die Lage des Werkzeuges rechts vom Werkstück in Richtung Werkzeugrelativbewegung.

Mit *G40 Aufheben der Werkzeugkorrektur* wird die äquidistante Bahn verlassen und die programmierte Bahn ist wieder die Bahn, die vom Mittelpunkt des Fräasers erzeugt wird.

### *Programmierbedingungen:*

- *G40, G41, G42* sind *modale* (selbsthaltende) Funktionen.
- Die Werkzeugbahnkorrektur (*G41, G42*) gelten in absoluter und in inkrementeller Programmierung.
- Die Anwahl und Abwahl muss *immer* in Verbindung mit *G00* oder *G01* erfolgen.
- *G41* oder *G42* werden im Programm aktiviert, wenn im Satz mit *G00* oder *G01* eine *Veränderung* des X- oder Y- oder XY-Wertes gegenüber den Werten im vorhergehenden Satz programmiert wird (Veränderung allein des Z-Wertes reicht nicht aus).
- Die Abwahl von *G41* und *G42* kann entweder durch *G40* oder durch *M30* erfolgen.

### *Beispiel 14:*

.....  
***Nxxxx G01 X21.500 Y-45.000 Z15.000***  
.....

Es gibt jedoch syntaktische Besonderheiten, die vom Hersteller eingeführt und somit als unbedingt eingehalten werden sollen. Zu solchen Besonderheiten zählt die Angabe zuerst eines *G00-* oder *G01-*Befehls inkl. der Koordinatenangabe bevor die Bahnkorrektur (siehe *Radiuskompensation*) mit *G41-* bzw. *G42-*Befehl im Satz angewählt wird. Das gleiche betrifft auch die Abwahl der Bahnkorrektur, *G40-*Befehl, bei dem ebenfalls zuerst *G00* oder *G01*, ergänzt mit Zielkoordinaten, vor der Bahnkorrektur gesetzt werden.

### *Beispiel 15:*

.....  
***Nxxxx G01 Xxxxx Yyyyy Zzzzz G41***  
.....

### Programmbeispiel *Fräsen*:

*Gegeben:*

ein Rohling aus einer Al-Si-Mg-Cu-Legierung mit Maßen 50x50x20 mm; der Werkstücknullpunkt liegt in der Ecke des Rohlings links oben

*Gesucht:*

- Die Schnitttiefe (Frästiefe) beträgt 10 mm.
- Ein Werkstück, dessen zwei gegenüberliegenden Ecken mit den Maßen 10x10 mm abgeschrägt sind.
- Zwei andere gegenüberliegenden Ecken weisen beim gleichen Radius von 10 mm entgegengerichtete Wölbungen (konkav, konvex) auf.
- Eine Außenkante des Werkstückes weist eine Einbuchtung mit geradlinigen Seitenkanten 20x15x20 mm auf.

*Tabelle 3*

Punkt-Nr.	X	Y	Z
P1	0.000	- 40.000	-10.000
P2	0.000	- 10.000	- 10.000
P3	10.000	0.000	- 10.000
P4	40.000	0.000	- 10.000
P5	50.000	- 10.000	- 10.000
P6	50.000	- 40.000	- 10.000
P7	40.000	- 50.000	- 10.000
P8	30.000	- 50.000	- 10.000
P9	30.000	- 30.000	- 10.000
P10	15.000	- 30.000	- 10.000
P11	15.000	- 50.000	- 10.000
P12	10.000	- 50.000	- 10.000
P13	0.000	- 40.000	- 10.000

*Hinweis:* der Werkstücknullpunkt wird in die Ecke des Rohlings links oben, der Startpunkt links unten im P1 (siehe Tabelle) gelegt.

*Beispiel 16:*

**O0006**

**N0000 G53 G56 G40 T0000**

**N0010 G54**

**N0020 G90**

**N0030 T0303 F350 S2000 M03**

**N0040 G00 X - 10.000 Y 0.000 Z 15.000**

**N0050 X 0.000 Y - 60.000 G41**

**N0060 Z - 10.000**

**N0070 G01 X 0.000 Y - 10.000**

**N0080 X 10.000 Y 0.000**

**N0090 X 40.000**

**N0100 G02 X 50.00 Y - 10.000 I 0.000 J - 10.000**

**N0110 G01 X 50.000 Y - 40.000**

**N0120 X 40.000 Y - 50.000**

**N0130 X 30.000**

**N0140 Y - 30.000**

**N0150 X 15.000**

**N0160 Y - 50.000**

**N0170 X 10.000**

**N0180 G03 X 0.000 Y - 40.000 I - 10.000 J 0.000**

**N0190 G01 X - 10.000 Y - 50.000 G40**

**N0200 G00 Z 15.000**

**N0210 G00 X 0.000 Y 0.000**

**N0220 M30**

## 8. Zyklen

Zyklen sind spezielle, in sich geschlossene Programmabschnitte, in denen ausgewählte technologische Komplexe in spezieller parametrisierter Form einfach dargestellt werden.

Das Typische für alle Zyklen ist die Kombination von *G00*, *G01* und *G04* mit den *P*- und *D*-*Parametern*. Während über die G-Funktionen die (geometrischen) Bewegungsabläufe des jeweiligen Komplexes bestimmt werden, spezifizieren die *P*- und *D*-Parameter die technologischen Besonderheiten im einzelnen. Dabei werden mit diesen Parametern die Anfangsbedingungen wie auch die einzelnen Stufen des Komplexes charakterisiert.

Wir unterscheiden zwischen hier zwischen

*Bohrzyklen* – G81...G84, G86 und

*Taschenfräszyklen* – G87...G89

Für das editieren der Zyklen sind bestimmte Festlegungen unumgänglich. Es geht dabei um die Festlegung von Ebenen, in denen das Werkzeug vor dem Starten bzw. am Ende des jeweiligen Komplexes positioniert ist.

Man unterscheidet zwischen Startebene und Rückzugebene. Die Lage dieser Ebenen wird bestimmt wie folgt:

- Die Lage der *Rückzugebene* (*RE*) wird absolut von der freien Fläche des Rohlings aus gemessen und durch den ***P<sub>3</sub>*** – *Parameter* dokumentiert (positiver Wert der *Z*-Richtung in mm)
- Die Lage der *Startebene* (*SE*) wird inkrementell zur *RE* hin gemessen und durch den ***P<sub>4</sub>*** – *Parameter* dokumentiert (negativer Wert der *W*-Richtung in mm).

*Wichtig ist:*

- a) Das Werkzeug startet immer von der *SE* und läuft zunächst bis zur *RE* im Eilgang (*G00*) und von hier aus im Arbeitsgang (*G01*) in den Werkstoff des Rohlings hinein.
- b) Nach dem Erreichen der gewünschten Tiefe fährt das Werkzeug im Eilgang zurück zur *SE* (*G98*) oder zur *RE* (*G99*).

Werden die Bewegungsabläufe im jeweiligen Komplex in absoluter Bemaßung erfaßt, so müssen die absoluten Koordinaten *X*, *Y*, *Z* im Zusammenspiel mit ***P<sub>3</sub>*** – *Parameter* gebracht werden.

Bei inkrementeller Bemaßung müssen entsprechende *U*-, *V*-, *W*- Koordinaten mit ***P<sub>4</sub>*** – *Parameter* in Verbindung gesetzt werden.

Beispiel 17 (Voraussetzung: *P<sub>3</sub>* = 3 mm; *P<sub>4</sub>* = 8 mm; *Z* = 10 mm):

```
.....  
N0100 G98  
N0110 G81 X25.000 Y-25.000 Z-10.000 P3 = 3.000 F150  
.....
```

Beispiel 18 (Voraussetzung: *P<sub>3</sub>* = 3 mm; *P<sub>4</sub>* = 8 mm; *Z* = 10 mm):

```
.....  
N0100 G98  
N0110 G81 U25.000 V-25.000 W-21.000 P4 = -8.000 F150  
.....
```

Das Einsetzen *G99* im Satz *N0100* anstelle *G98* würde nur zur Folge haben, daß das Werkzeug im Anschluß zum Bohrvorgang (des Komplexes) nicht bis zur *SE* sondern bis zur *RE* zurückfährt.

### **G81 Bohrzyklus**

Das Werkzeug fährt von der SE über die RE bis auf die gewünschte Bohrtiefe in einem Gang und kehrt in die SE (G98) oder in die RE (G99) zurück.

- G98 Rückzug auf Startebene
- G99 Rückzug auf Rückzegebene
- X, Y [mm] Verfahrenweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt des Bohrers) in absoluter Bemaßung
- U, V [mm] Verfahrenweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt des Bohrers) in inkrementeller Bemaßung
- Z (W)[mm] Bohrtiefe
- P<sub>3</sub> [mm] Absolutes Z-Maß (von Nullfläche aus)
- P<sub>4</sub> [mm] Inkrementelles W-Maß (von Startebene aus)
- F [mm/min] Vorschub

*Beispiel 19 (Voraussetzung: P<sub>3</sub> = 3 mm; P<sub>4</sub> = 8 mm; Z = 10 mm):*

.....  
**N0100 T0909 F150 S1500 M03**  
**N0110 G00 X25.000 Y-25.000 Z15.000**  
**N0120 G99**  
**N0130 G81 X25.000 Y-25.000 Z-10.000 P3 3.000 F150**  
**N0140 G00 X0.000 Y0.000 Z15.000**  
.....

### **G82 Bohrzyklus mit Verweilzeit**

Bei diesem Zyklus wird das Werkzeug beim Erreichen der gewünschten Bohrtiefe ein Bruchteil von Sekunde in der Tiefstlage verweilen, dokumentiert mit dem D<sub>4</sub> – Parameter (0,1 Sekunde). Erst danach kehrt es zur SE oder RE zurück. Sollte die Verweilzeit erhöht werden (um größere Spanmengen vollständig und rechtzeitig abführen zu können), muß D<sub>4</sub>-Parameter mit dem jeweiligen Faktor multipliziert werden.

- G98 Rückzug auf Startebene
- G99 Rückzug auf Rückzegebene
- X, Y [mm] Verfahrenweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt des Bohrers) in absoluter Bemaßung
- U, V [mm] Verfahrenweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt des Bohrers) in inkrementeller Bemaßung
- Z (W) [mm] Bohrtiefe
- D<sub>4</sub> [0,1 s] Verweilzeit
- P<sub>3</sub> [mm] Absolutes Z-Maß (von Nullfläche aus)
- P<sub>4</sub> [mm] Inkrementelles W-Maß (von Startebene aus)
- F [mm/min] Vorschub

### **G83 Tieflochbohren mit Ausheben**

Sollen bei Rohlingen aus hochlegierten schwerzerspanbaren Werkstoffen tiefe Bohrungen erzeugt werden, muß der Bohrvorgang in mehreren Schritten (Komplex) durchgeführt werden. Dabei wird im G83-Bohrzyklus der erste Schritt ( $D_3$ ) und der letzte Schritt ( $D_6$ ) zahlenmäßig in  $\mu\text{m}$  definiert. Die dazwischenliegende Strecke wird in mehreren Schritten nach dem festgelegten %-Wert für die Abnahme ( $D_5$  – Parameter) zurückgelegt.

Dafür errechnet der Mikroprozessor die Anzahl der Schritte, indem der erste und jeder nachfolgender Schritt mit einem  $D_5$ -Parameter ( $n - 1$ )-fach multipliziert wird (wird vom Rechner ausgeführt). Nach jedem Schnitt fährt das Werkzeug im Eilgang in die RE und führt über den Drillkanal die Späne mit ab. Anschließend kehrt das Werkzeug in die SE oder RE zurück.

- G98 Rückzug auf Startebene
- G99 Rückzug auf Rückzugebene
- X, Y [mm] Verfahrenweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt des Bohrers) in absoluter Bemaßung
- U, V [mm] Verfahrenweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt des Bohrers) in inkrementeller Bemaßung
- Z (W) [mm] Bohrtiefe
- $P_3$  [mm] Absolutes Z-Maß (von Nullfläche aus)
- $P_4$  [mm] Inkrementelles W-Maß (von Startebene aus)
- $D_3$  [ $\mu\text{m}$ ] Bohrtiefe für ersten Schnitt
- $D_5$  [%] %-Wert für Abnahme des jeweiligen Schrittes
- $D_6$  [ $\mu\text{m}$ ] Mindestbohrtiefe
- F [mm/min] Vorschub

### **G86 Tieflochbohren mit Spänebrechen**

Ist der zu bohrende Werkstoff duktil (plastisch), können beim Bohrvorgang Langspäne entstehen, die beim Abführen aus der Wirkstelle unerwünschte Folgen mit sich bringen können (Kratzer auf der Werkstückoberfläche, höherer Schneidenschleiß etc.).

Eine Lösung wäre, die Späne während des Vorganges zu zerkleinern. Dies geschieht durch kurzes Anheben des Werkzeuges (analog  $D_4$ ) bei jedem einzelnen Schritt und einem neuen Ansetzen für den darauffolgenden Schritt. Jeder Bohrschritt wird mit einem weiteren  $D_5$  – Parameter multipliziert (vom Rechner ausgeführt). Die Voraussetzungen für den Einsatz von P- und D-Parametern aus G83 werden beibehalten.

- G98 Rückzug auf Startebene
- G99 Rückzug auf Rückzugebene
- X, Y [mm] Verfahrenweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt des Bohrers) in absoluter Bemaßung
- U, V [mm] Verfahrenweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt des Bohrers) in inkrementeller Bemaßung
- Z (W) [mm] Bohrtiefe
  - $P_3$  [mm] Absolutes Z-Maß (von Nullfläche aus)
  - $P_4$  [mm] Inkrementelles W-Maß (von Startebene aus)
  - $D_3$  [ $\mu\text{m}$ ] Bohrtiefe für ersten Schritt
  - $D_4$  [0,1 s] Verweilzeit
  - $D_5$  [%] %-Wert für Abnahme des jeweiligen Schrittes
  - $D_6$  [ $\mu\text{m}$ ] Mindestbohrtiefe
  - F [mm/min] Vorschub

### **Taschen**

Taschen sind Einsenkungen, deren Längengrößen solche die des eingesetzten Werkzeuges übertreffen. Prinzipiell wird zwischen Rechtecktaschen (G87) und Kreistaschen (G88) unterschieden.

Die Ecken der s.g. Rechtecktaschen weisen eine Rundung auf, die dem Radius des eingesetzten Werkzeuges gleich ist. Die Laufbahn des Werkzeuges stellt bei G88 eine Archimedes-Spirale dar, deren laufenden Koordinaten durch eingegebene P- und D-Parameter vom Mikroprozessor errechnet und durch die Steuereinheit ausgeführt werden. In ähnlicher Weise werden Taschen auch bei G87 erstellt.

Sollten an den Innenwandungen einer Kreistasche hohe Anforderungen (im Sinne der Passungen und Toleranzen) gesetzt werden, müssen sie gesondert behandelt werden. Dies geschieht durch die Halbierung des Arbeitsvorschubes ( $D_4$ - Parameter) bei der senkrechten Zustellung im letzten Konturschritt des Werkzeuges (unmittelbar an der Innenwandung). Die Drehzahl soll unverändert hoch bleiben. Technologisch gesehen, gleicht dieser Schritt einem Übergang aus dem Schrapp- in den Schlichtvorgang und die Oberfläche der Wandung wird glatter.

### **G87 Taschenfräszyklus Rechtecktasche**

- G98 Rückzug auf Startebene
  - G99 Rückzug auf Rückzuebene
  - X, Y [mm] Verfahrensweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt der Tasche) in absoluter Bemaßung
  - U, V [mm] Verfahrensweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt der Tasche) in inkrementeller Bemaßung
  - Z (W) [mm] Einsenktiefe der Tasche
  - $P_0$  [mm] Taschenlänge in x-Richtung
  - $P_1$  [mm] Taschenlänge in y-Richtung
  - $P_3$  [mm] Absolutes Z-Maß (von Nullfläche aus)
  - $P_4$  [mm] Inkrementelles W-Maß (von Startebene aus)
  - $D_2$  [ $\mu\text{m}$ ] Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Wicklungen der Spirale
  - $D_3$  [ $\mu\text{m}$ ] Einsenktiefe für ersten Schritt
  - $D_5$  = 02 (Gleichlaufräsen)  
= 03 (Gegenlaufräsen)
  - $D_7$  = 0 (Eilgangvorschub bei senkrechter Zustellung)  
= 1 (senkrechte Zustellung mit halbem Arbeitsvorschub)
  - F [mm/min] Vorschub
- (Default-Optionen bzw. Initialzustände:  $D_5 = 03$  und  $D_7 = 1$ )



## **G88 Kreistaschenfräszyklus**

- G98 Rückzug auf Startebene
  - G99 Rückzug auf Rückzugebene
  - X, Y [mm] Verfahrenweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt der Tasche) in absoluter Bemaßung
  - U, V [mm] Verfahrenweg in XY-Ebene (bis zum Mittelpunkt der Tasche) in inkrementeller Bemaßung
  - Z (W) [mm] Einsenktiefe der Tasche
  - P<sub>1</sub> [mm] Taschendurchmesser
  - P<sub>3</sub> [mm] Absolutes Z-Maß (von Nullfläche aus)
  - P<sub>4</sub> [mm] Inkrementelles W-Maß (von Startebene aus)
  - D<sub>2</sub> [µm] Horizontale Zustellung (Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Wicklungen der Spirale – soll ≤ Fräserdurchmesser sein; Faustregel:  $D_2 = 1,7 \times \text{Fräserradius}$ )
  - D<sub>3</sub> [µm] Vertikale Zustellung
  - D<sub>4</sub> Schichtparameter:
    - = 0 (voller Arbeitsvorschub am äußeren Rand der Kreistasche (Innenwandung))
    - = 1 (halber Arbeitsvorschub am äußeren Rand der Kreistasche (Innenwandung))
  - D<sub>5</sub>
    - = 02 (Gleichlaufräsen)
    - = 03 (Gegenlaufräsen)
  - D<sub>7</sub> Senkrechter Vorschub:
    - = 0 (Eilgangvorschub bei senkrechter Zustellung)
    - = 1 (senkrechte Zustellung mit halbem Arbeitsvorschub)
  - F [mm/min] Vorschub
- (Default-Optionen bzw. Initialzustände: D<sub>4</sub> = 0, D<sub>5</sub> = 03 und D<sub>7</sub> = 1)

## G-Funktionen

### Prozesse gestalten und vorbereiten

- G00 Eilgang
- G01 Geradeninterpolation
- G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
- G03 Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn
- G04 Verweilzeit
- G17 1.Achsumschaltung
- .....
- G22 6.Achsenumschaltung
- G25 Unterprogrammaufruf
- G27 unbedingter Sprung
- G40 Aufheben der Werkzeugbahnkorrektur
- G41 Werkzeugbahnkorrektur links
- G42 Werkzeugbahnkorrektur rechts
- G53 Abwahl von Verschiebung 1 und 2
- G54 Aufruf von Verschiebung 1
- G55 Aufruf von Verschiebung 2
- G56 Abwahl von Verschiebung 3, 4, 5
- G57 Aufruf von Verschiebung 3
- G58 Aufruf von Verschiebung 4
- G59 Aufruf von Verschiebung 5
- G70 Maßangabe in Zoll
- G71 Maßangabe in mm
- G72 Definition Kreisbohrbild
- G73 Aufruf Kreisbohrbild
- G74 Definition Rechteckbohrbild
- G75 Aufruf Rechteckbohrbild
- G87 Rechtecktaschenfräszyklus
- G88 Kreistaschenfräszyklus
- G89 Nutfräszyklus
- G94 Vorschubangabe in mm/min
- G95 Vorschubangabe in  $\mu\text{m}$ /Umdrehung

### Prozesse ausführen

- G81 Bohren, Zentrieren
- G82 Bohren, Plansenken
- G83 Tieflochbohren mit Ausheben
- G84 Gewindebohren
- G86 Tieflochbohren mit Spänebrechen
- G98 Rückzug auf Startebene
- G99 Rückzug auf Rückzugebene