

Unverändert: Schwarz

Neue Zyklen/Messen: Blau

Veränderte Zyklen: Grün

Wegbefehle

G0	Verfahren im Eilgang (Eilganglogik entfernt)
G1	Linearinterpolation im Arbeitsgang
G2	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
G3	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn (Siehe G02) (G2/3 Korrektur PAL2007 um fehlende Programmieralternative)
G4	Verweilzeit
G5	Setzen der Verschleißkorrekturwerte
G6	Modale Adressen der Werkzeugwechselfunktanfahrt
G7	Elementarer Messbefehl: In Abschnitt In-Prozess-Messen
G8	Elementare Messzyklen: In Abschnitt In-Prozess-Messen
G9	Genauhalt
G10	Linearinterpolation im Eilgang in Polarkoordinaten
G11	Linearinterpolation im Vorschub in Polarkoordinaten
G12	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten
G13	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten
G14	Werkzeugwechselfunkt mit Zwischenpunkten anfahren
G15	Bearbeitungsebenenwahl
G16	Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene
G17	Kreisbogen-Interpolationsebenenwahl
G18	Kreisbogen-Interpolationsebenenwahl
G19	Kreisbogen-Interpolationsebenenwahl
G20	Punkt-Richtungsprogrammierung im Eilgang
G21	Punkt-Richtungsprogrammierung im Vorschub
G22	Unterprogrammaufruf
G23	Programmteilwiederholung
G24	Modale Zyklusadressen für PAL-Fräszyklen
G25	noch frei
G26	Mess-Taster-Kalibrierzyklus: In Abschnitt In-Prozess-Messen
G27	Modale Zyklusadressen Messen: In Abschnitt In-Prozess-Messen
G28	Toleranzwertadressen: In Abschnitt In-Prozess-Messen
G29	Bedingte und unbedingte Programmsprünge
G30	belegt beim Drehen
G31	belegt beim Drehen
G32	belegt beim Drehen
G33	belegt beim Drehen
G34	Eröffnung Konturtaschenzyklus mit Vorbohren
G35	Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus (HSC-Fräsen)
G36	Restmaterialschrupp-Technologie Konturtaschenzyklus (HSC-Fräsen)
G37	Schlicht-Technologie Konturtaschenzyklus mit Fasen und Stufen
G38	Konturbeschreibung Konturtaschenzyklus
G39	Aufruf/Abschluss Konturtaschenzyklus
G40	Abwahl der Fräser/Schneidenradiuskorrektur
G41	Anwahl der Fräser/Schneidenradiuskorrektur links
G42	Anwahl der Fräser/Schneidenradiuskorrektur rechts
G43	noch frei

G44	noch frei
G45	Lineares tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur
G46	Tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur im Viertelkreis
G47	Tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur im Halbkreis
G48	Gravier- / Beschriftungszyklus
G49	Konturfräsen
G50	Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen
G51	Einstellbare Nullpunkte setzen (zur Übernahme gemessener Nullpunkte)
G52	Satzweise Anwahl des Maschinenkoordinatensystems
G53	Alle Nullpunktverschiebungen und Drehungen aufheben
G54 - G57	Einstellbare Nullpunkte aktivieren
G58	Inkrementelle Nullpunkt-Verschiebung in Polarkoordinaten und Drehung
G59	Absolute / inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung
G60	noch frei
G61	Linearinterpolation für Konturzüge
G62	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge
G63	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge
G64	noch frei
G65	Makro-Aufruf (für Parameterprogrammierung)
G66	Spiegeln
G67	Skalieren
G68	noch frei
G69	Mehrkant-Fräsen (auf Kreisfläche Freistellen)
G70	Umschalten auf Maßeinheit Zoll (inch)
G71	Umschalten auf Maßeinheit Millimeter (mm)
G72	Rechtecktasche mit Stufen, Fasen und In-Prozess-Mess-Erweiterungen
G73	Kreistasche/-zapfen mit Stufen, Fasen und In-Prozess-Mess-Erweiterungen
G74	Nutzzyklus mit Stufen, Fasen und In-Prozess-Mess-Erweiterungen
G75	Kreisbogennut mit Stufen, Fasen und In-Prozess-Mess-Erweiterungen
G76	Bohrbild Gerade, Rahmen, Gitter
G77	Mehrfachzyklus auf einem Teilkreis oder mehreren konzentrischen Teilkreisen
G78	Zyklusaufruf an einem Punkt mit Polarkoordinaten
G79	Zyklusaufruf an einem Punkt
G80	Abschluss einer Kontur bei Zyklen (Konturtasche und Konturfräsen)
G81	Bohrzyklus mit In-Prozess-Mess-Erweiterungen
G82	Tiefbohrzyklus mit Spanbruch mit In-Prozess-Mess-Erweiterungen
G83	Tiefbohrzyklus mit Spanbruch und Entspänen mit In-Prozess-Mess-Erweiterungen
G84	Gewindebohrzyklus
G85	Reibzyklus mit In-Prozess-Mess-Erweiterungen
G86	Ausdrehzyklus mit In-Prozess-Mess-Erweiterungen
G87	Bohrfräszyklus mit In-Prozess-Mess-Erweiterungen
G88	Innengewindefräszyklus
G89	Außengewindefräszyklus

- G90 Absolutmaßangabe
- G91 Kettenmaßangabe
- G92 belegt beim Drehen
- G94 Millimetervorschub mm/min
- G95 Umdrehungsvorschub mm/U
- G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit m/min
- G97 Konstante Drehzahl U/min
- G98 WAIT- und NOWAIT-Synchronisationsmarken
(mit Mehrkanalprogrammierung)
- G99 Kanalwechsel im Mehrkanalprogramm
(mit Mehrkanalprogrammierung)
- M-Befehle
- M01 Bedingter Halt
- M06 Werkzeugwechsel mit M06

Parameterprogrammierung

- Allgemeine Grundlagen
- Systemparameter
- Rechenoperationen
- Allgemeine geometrische Grundlagen
- Arithmetische und Logische Ausdrücke
- Logische Anweisungen mit Verzweigungen IF und Schleifen DO, DO WHILE
- G65 Makro-Aufruf (Macro call)

In-Prozess-Messen

- G07 Elementarer Messbefehl für eine Berührungspositionsmessung
- G08 Elementare Messzyklen
- G26 Mess-Taster-Kalibrierzyklus für Kalibrierringe und Kalibrierkugeln
- G27 Modale Zyklusadressen Messen
- G28 Toleranzwertadressen für Form- und Lageabweichungen

Mehrkanalprogrammierung und Werkstückhandhabung

- Werkstückhandhabung mit Robotern
- M-Befehle zur Werkstückhandhabung
- G98 WAIT- und NOWAIT-Synchronisationsmarken (PAL2007)
- G99 Kanalwechsel im Mehrkanalprogramm (PAL2007)

Einrichteblatterweiterungen

- Einrichteblattsyntax-Erweiterungen für Werkstückhandhabung:
- Erweiterung um Werkstückmagazine für Rohteile und Fertigteile

G0 Linearinterpolation im Eilgang

Das Werkzeug verfährt im Eilgang mit größtmöglicher Geschwindigkeit mit Linearinterpolation auf die mit X, Y und Z programmierten Zielkoordinaten. Der Eilgang endet mit einem Genauhalt. Optional können auch in der Maschine vorhandene Rund- oder Dreh-Achsen A, B und C mit G0 programmiert werden (man beachte die wichtigen Programmierhinweise hierzu).

G0 X/XI/XA Y/YI/YA Z/ZI/ZA F S M TC TR TX TY TZ
(A/AI/AA B/BI/BA C/CI/CA)

Optional:

alle Linearachsen in Werkstückkoordinaten

X /XI /XA	X-Koordinate des Zielpunktes (1. Geometrieachse G17)
X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
XA	absolute Koordinate
Y /YI /YA	Y-Koordinate des Zielpunktes (2. Geometrieachse G17)
Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
YA	absolute Koordinate
Z /ZI /ZA	Z-Koordinate des Zielpunktes (3. Geometrieachse G17)
Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA	absolute Koordinate
F	Vorschub
S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M	Zusatzfunktionen
TC	Anwahl der Korrekturwertspeichernummer für Eintrag von TR, TX, TY, TZ
TR	inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

Alle Rundachswerte in Rundachskoordinaten mit optional verschobenen Rundachs-Nullpunkten (G58, G59)

A /AI /AA	Rundachse mit Drehung um die X-Achse, (G90/G91) / inkrementell / absolut
B /BI /BA	Rundachse mit Drehung um die Y-Achse, (G90/G91) / inkrementell / absolut
C /CI /CA	Rundachse mit Drehung um die Z-Achse, (G90/G91) / inkrementell / absolut

Programmierhinweise:

Selbthaltefunktion der Achswerte/Voreinstellung für alle Adressen ist der jeweils aktuelle Wert.

Bei der Eilgangbewegung werden **alle** Koordinatenachsen interpolierend verfahren.

Die in PAL2007 und in älteren CNC-Steuerungen übliche **Eilganglogik** wird bei **PAL2019** dem Steuerungsentwicklungstrend folgend **nicht mehr verwendet!**

Werden im gleichen NC-Satz eine Werkzeugspeicherveränderung TC, TR, TX, TY, TZ, ein Vorschub und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese Werte zuerst in die Steuerungsregister eingetragen und dann auf die Zielkoordinaten verfahren. Für die Behandlung der M-Maschinenbefehle gibt es gesonderte Einstellungen für das Aktivieren am Satzanfang oder Satzende.

Mit dem Befehl G0 können **alle NC-Achsen** zusammen in einem Satz programmiert werden.

Eine Rundachse darf nur nach sorgfältiger Prüfung in G0 programmiert werden, da dies im Allgemeinen zu bedeutenden Veränderungen in der aktiven Bearbeitungsebene beim Fräsen sowie auch beim Drehen (Schwenken der B-Achse) führt oder mit Fehlermeldungen der Steuerung (Programmierung des Achswerts einer mit M3/4 rotierenden Werkzeug- oder Werkstückspindel) den Programmabbruch zur Folge hat.

Die G0-Bewegung erfolgt im Eilgang der langsamsten Achse so, dass alle Achsen gleichzeitig ihre Zielkoordinate erreichen. Damit wird der Vorschub durch die Achse bestimmt, welche für ihre Achswertänderung die längste Zeit benötigt.

G1 Linearinterpolation im Vorschub

Das Werkzeug verfährt mit dem programmierten Vorschub mit Linearinterpolation auf den mit einer Auswahl der programmierten Koordinaten X, Y, Z und der Adressen D und AS berechneten Endpunkt der Strecke und berücksichtigt dabei eine programmierte Verrundung oder Fase zum nächsten Verfahrensweg.

Optional können auch in der Maschine vorhandene Rund- oder Dreh-Achsen A, B und C mit G1 programmiert werden (man beachte die wichtigen Programmierhinweise hierzu).

G1 *X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI D AS RN H F E S M TC TR TX TY TZ
(A/AI/AA B/BI/BA C/CI/CA) FW*

Optional:

X /XI /XA	X-Koordinate des Zielpunktes (1. Geometrieachse G17)
X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
XA	absolute Koordinate
Y /YI /YA	Y-Koordinate des Zielpunktes (2. Geometrieachse G17)
Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
YA	absolute Koordinate
Z /ZI /ZA	Z-Koordinate des Zielpunktes (3. Geometrieachse G17)
Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA	absolute Koordinate
D	Länge der Verfahrstrecke in der Bearbeitungsebene (D positiv)
AS	Anstiegswinkel der Verfahrstrecke in der Bearbeitungsebene bezogen auf die positive, erste Geometrieachse (G17: X, G18:Z, G19:Y)
RN	[0] Übergangselement zum nächsten Konturelement
	RN+ Verrundungsradius
	RN- Fasenbreite
H	[1] Lösungsauswahl Winkelkriterium (falls D aber nicht AS programmiert ist)
	H1 kleinerer, in positiver Orientierung gemessener Winkel der Verfahrstrecke zur positiven 1. Geometrieachsrichtung
	H2 größerer, in positiver Orientierung gemessener Winkel der Verfahrstrecke zur positiven 1. Geometrieachsrichtung
F	Vorschub
E	Feinkonturvorschub für Übergangselemente
S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M	Zusatzfunktionen
TC	Anwahl der Korrekturwertspeichernummer
TR	[0] inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0] inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0] inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0] inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z (G17: WZ-Längenkor.)
	<i>Alle Rundachswerte in Rundachskoordinaten mit optional verschobenen Rundachs-Nullpunkten (G58, G59)</i>
A/AI/AA	<i>Rundachse mit Drehung um die X-Achse, (G90/G91) / inkrementell / absolut</i>
B/BI/BA	<i>Rundachse mit Drehung um die Y-Achse, (G90/G91) / inkrementell / absolut</i>
C/CI/CA	<i>Rundachse mit Drehung um die Z-Achse, (G90/G91) / inkrementell / absolut</i>
FW	<i>[720] Vorschub der Winkeleinstellung auf dem Großkreis in Winkelgrad/min FW ist nicht selbsthaltend und hat die Vorbelegung Eilgang in allen Rundachsen</i>

Programmierhinweise:

Voreinstellung für alle Adressen ist der jeweils aktuelle Wert.

Es können maximal zwei der vier Geometrieadressen 1. Geometrieachse, 2. Geometrieachse, AS und D programmiert werden. Die Koordinaten-Selbthaltefunktion wird bei einer nicht programmierten Endpunktkoordinate nur dann verwendet, wenn als Geometrieadresse nur die andere Endpunktkoordinate programmiert wurde. Winkel, Längen, Fasen und Verrundungen werden nur in der Bearbeitungsebene eingefügt (d. h. Bewegungen in der Zustellachse werden bei Berechnungen ignoriert und die Zustellbewegungen dann nachträglich ergänzt).

Die Winkel für das Winkelkriterium mit H werden in positiver Orientierung zur positiven 1. Geometrieachsrichtung gemessen (Winkelwerte zwischen 0° und +360°).

Die dritte Geometrieachse kann als Zustellachse stets mitprogrammiert werden. Eine Zustellung in der dritten Geometrieachse findet jedoch nicht bei der Bewegung auf eingefügten Verrundungskreisbögen oder Fasen statt, sondern diese Elemente werden auf dem konstanten Zustellwert der Ecke abgefahren. In diesen Fällen wird die Zustellung auf die Bewegungsanteile vor und nach der Verrundung oder Fase aufgeteilt.

Werden im gleichen NC-Satz eine Werkzeugspeicherveränderung TC, TR, TX, TY, TZ, ein Vorschub und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese zuerst ausgeführt und danach auf die Zielkoordinaten verfahren.

Bei der Bewegung werden alle Koordinaten gesteuert durch den programmierten Vorschub des linearen Bewegungsanteils interpolierend verfahren.

Enthält der Verfahrssatz **keinen linearen Bewegungsanteil** wird die aktuelle Werkzeugrichtung in die neu programmierte Werkzeugrichtung so eingeschwenkt, dass alle Zwischenrichtungen in der vom Startrichtungs- und Endrichtungsvektor aufgespannten Richtungsebene liegen (Bewegung entlang eines Großkreises auf der Kugeloberfläche der normierten Richtungsvektoren), wobei die Endrichtung mit dem **kleineren** der beiden Winkelintervalle des Großkreises in der Richtungsebene angefahren wird. In diesem Fall wird die Winkeländerung in der Richtungsebene mit dem Winkelvorschub FW eingestellt. Dabei wird der Winkelvorschub von der Lageregelung der Steuerung reduziert, wenn der Winkelvorschub in einer beteiligten Rundachse dabei größer als der konfigurierte maximale Winkelvorschub dieser Rundachse werden würde.

Ein Spindelhalt M5 und das Ausschalten des Kühlmittels M9 werden erst am Ende des Verfahrssatzes ausgeführt. Ein Einschalten der Spindel oder des Kühlmittels erfolgt am Satzanfang.

Mit dem Befehl G1 können **alle NC-Achsen** zusammen in einem Satz programmiert werden.

Eine Rundachse darf nur nach sorgfältiger Prüfung in G0 programmiert werden, da dies im Allgemeinen zu bedeutenden Veränderungen in der aktiven Bearbeitungsebene beim Fräsen sowie auch beim Drehen (Schwenken der B-Achse) führt oder mit Fehlermeldungen der Steuerung (Programmierung des Achswerts einer mit M3/4 rotierenden Werkzeug- oder Werkstückspindel) den Programmabbruch zur Folge hat.

G2 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn

Das Werkzeug verfährt mit dem aktiven Vorschub auf einem Kreisbogen der Bearbeitungsebene im Uhrzeigersinn auf den programmierten Endpunkt und berücksichtigt dabei eine programmierte Verrundung oder Fase zum nächsten Verfahrensweg.

Zur Bestimmung des Kreisbogens müssen mindestens drei Adressen unter Einbeziehung der Koordinatenselbsthaltefunktion programmiert werden.

Wird außerdem ein Zustellwert in der dritten Geometrieachse programmiert, der vom Ausgangswert des Startpunktes abweicht, so verfährt das Werkzeug in der sogenannten Schraubelinieninterpolation (Helix). Hierbei wird beim Abfahren des Kreisbogens in der Bearbeitungsebene eine lineare Vorschubbewegung in der Zustellrichtung überlagert.

G2 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZI/ZI I/IA J/JA R AO RN O F E S M

Optional:

X /XI /XA	X-Koordinate des Zielpunktes (1. Geometrieachse G17)
X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
XA	absolute Koordinate
Y /YI /YA	Y-Koordinate des Zielpunktes (2. Geometrieachse G17)
Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
YA	absolute Koordinate
Z /ZI /ZA	Z-Koordinate des Zielpunktes (3. Geometrieachse G17)
Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA	absolute Koordinate
I /IA	X-Mittelpunktcoordinate in G17
I	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
IA	absolute Koordinate
J /JA	Y-Mittelpunktcoordinate in G17
J	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
JA	absolute Koordinate
R	Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl Bogenlängenkriterium
R+	kürzerer Bogen
R-	längerer Bogen
AO	Öffnungswinkel AO ist nur positiv zugelassen, da die Kreisorientierung mit G2 oder G3 festgelegt wird.
RN	[0] Übergangselement zum nächsten Konturelement
RN+	Verrundungsradius
RN-	Fasenbreite
O	[1] Lösungsauswahl Bogenlängenkriterium (bei Programmierung ohne R)
O1	kürzerer Bogen
O2	längerer Bogen
F	Vorschub
E	Feinkonturvorschub für Übergangselemente
S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M	Zusatzfunktionen

Satzalternativen:

G2	X/XA/XI	Y/YA/YI	Z/ZA/ZI	I/IA	J/JA		RN	O	F	E	S	M	
G2	X/XA/XI	Y/YA/YI	Z/ZA/ZI	I/IA	J/JA		RN	O	F	E	S	M	
G2	X/XA/XI	Y/YA/YI	Z/ZA/ZI			R	RN	O	F	E	S	M	
G2	X/XA/XI	Y/YA/YI	Z/ZA/ZI				AO	RN	O	F	E	S	M
G2			Z/ZA/ZI	I/IA	J/JA		AO	RN	O	F	E	S	M
G2			Z/ZA/ZI	I/IA	J/JA		AO	RN	O	F	E	S	M

Programmierhinweise:

Bei der Programmierung des Kreismittelpunktes ist zu beachten, dass eine nicht programmierte Mittelpunktkoordinate den inkrementellen Wert null als Vorbelegung erhält. Die Programmierung des Kreisbogenmittelpunkts und nur einer Endpunktkoordinate ist zulässig. In diesem Fall gibt es zwei, eine oder keine Lösung. Im Fall von zwei Lösungen kann eine mit Hilfe des Bogenkriteriums der Adresse O ausgewählt werden kann. Wird dabei auch die zweite Endpunktkoordinate programmiert, so muss deren Wert zu genau einer der möglichen Lösungen passen, andernfalls gibt es die Kreisformfehlermeldung (Überbestimmung der Kreisbogenprogrammierung durch die 4 Koordinatenangaben des Mittel- und des Endpunkts). Das Bogenlängenkriterium ist dann ohne Bedeutung.

Bei der Programmierung des Kreisradius erfolgt die Lösungsauswahl mit dem Bogenlängen-kriterium über das Vorzeichen des Radiuswertes. Die Programmierung von O wird in diesem Fall ignoriert.

Die Koordinaten-Selbthaltefunktion wird bei einer nicht programmierten Endpunktkoordinate der Bearbeitungsebene nur dann verwendet, wenn dies für die Bestimmung des Konturelements mit AO oder R notwendig ist.

Die Selbsthaltefunktion für beide Endpunktkoordinaten der Bearbeitungsebene erzeugt bei der Programmierung des Mittelpunktes eine Vollkreisbewegung und bei der Programmierung des Kreisradius oder des Öffnungswinkels ohne Mittelpunktkoordinaten eine Nullbewegung.

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Bearbeitungsebene gehörenden Mittelpunktkoordinaten programmiert werden.

Die dritte Geometrieachse kann als Zustellachse stets mit programmiert werden. Eine Zustellung in der dritten Geometrieachse findet jedoch nicht bei der Bewegung auf eingefügten Verrundungskreisbögen oder Fasen statt, sondern diese Elemente werden auf dem konstanten Zustellwert der Ecke abgefahren. In diesen Fällen wird die Zustellung auf die Bewegungsanteile vor und nach der Verrundung oder Fase aufgeteilt.

Wird im gleichen NC-Satz eine Vorschub- und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese zuerst ausgeführt und danach auf die Zielkoordinaten verfahren.

G3 Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn

Das Werkzeug verfährt mit dem aktiven Vorschub auf einem Kreisbogen der Bearbeitungsebene im Uhrzeigersinn auf den programmierten Endpunkt und berücksichtigt dabei eine programmierte Verrundung oder Fase zum nächsten Verfahrensweg.

Zur Bestimmung des Kreisbogens müssen mindestens drei Adressen unter Einbeziehung der Koordinatenselbsthaltefunktion programmiert werden.

Wird außerdem ein Zustellwert in der dritten Geometrieachse programmiert, der vom Ausgangswert des Startpunktes abweicht, so verfährt das Werkzeug in der sogenannten Schraubelinieninterpolation (Helix). Hierbei wird beim Abfahren des Kreisbogens in der Bearbeitungsebene eine lineare Vorschubbewegung in der Zustellrichtung überlagert.

G3 *X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI I/IA J/JA R RN O F E S M*

Optional:

X /XI /XA	X-Koordinate des Zielpunktes (1. Geometrieachse G17)
X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
XA	absolute Koordinate
Y /YI /YA	Y-Koordinate des Zielpunktes (2. Geometrieachse G17)
Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
YA	absolute Koordinate
Z /ZI /ZA	Z-Koordinate des Zielpunktes (3. Geometrieachse G17)
Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA	absolute Koordinate
I /IA	X-Mittelpunkt-Koordinate in G17
I	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
IA	absolute Koordinate
J /JA	Y-Mittelpunkt-Koordinate in G17
J	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
JA	absolute Koordinate
R	Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl Bogenlängenkriterium
R+	kürzerer Bogen
R-	längerer Bogen
AO	Öffnungswinkel AO ist nur positiv zugelassen, da die Kreisorientierung mit G2 oder G3 festgelegt wird.
RN	[0] Übergangselement zum nächsten Konturelement
RN+	Verrundungsradius
RN-	Fasenbreite
O	[1] Lösungsauswahl Bogenlängenkriterium (bei Programmierung ohne R)
O1	kürzerer Bogen
O2	längerer Bogen
F	Vorschub
E	Feinkonturvorschub für Übergangselemente
S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M	Zusatzfunktionen

Satzalternativen:

G3	X/XA/XI	Y/YA/YI	Z/ZA/ZI	I/IA	J/JA		RN	O	F	E	S	M	
G3	X/XA/XI	Y/YA/YI	Z/ZA/ZI	I/IA	J/JA		RN	O	F	E	S	M	
G3	X/XA/XI	Y/YA/YI	Z/ZA/ZI			R	RN	O	F	E	S	M	
G3	X/XA/XI	Y/YA/YI	Z/ZA/ZI				AO	RN	O	F	E	S	M
G3			Z/ZA/ZI	I/IA	J/JA		AO	RN	O	F	E	S	M
G3			Z/ZA/ZI	I/IA	J/JA		AO	RN	O	F	E	S	M

Programmierhinweise:

Bei der Programmierung des Kreismittelpunktes ist zu beachten, dass eine nicht programmierte Mittelpunktcoordinate den inkrementellen Wert null als Vorbelegung erhält. Die Programmierung des Kreisbogenmittelpunkts und nur einer Endpunktcoordinate ist zulässig. In diesem Fall gibt es zwei, eine oder keine Lösung. Im Fall von zwei Lösungen kann eine mit Hilfe des Bogenkriteriums der Adresse O ausgewählt werden kann. Wird dabei auch die zweite Endpunktcoordinate programmiert, so muss deren Wert zu genau einer der möglichen Lösungen passen, andernfalls gibt es die Kreisformfehlermeldung (Überbestimmung der Kreisbogenprogrammierung durch die 4 Koordinatenangaben des Mittel- und des Endpunkts). Das Bogenlängenkriterium ist dann ohne Bedeutung.

Bei der Programmierung des Kreisradius erfolgt die Lösungsauswahl mit dem Bogenlängen-kriterium über das Vorzeichen des Radiuswertes. Die Programmierung von O wird in diesem Fall ignoriert.

Die Koordinaten-Selbthaltefunktion wird bei einer nicht programmierten Endpunktcoordinate der Bearbeitungsebene nur dann verwendet, wenn dies für die Bestimmung des Konturelements mit AO oder R notwendig ist.

Die Selbthaltefunktion für beide Endpunktcoordinate der Bearbeitungsebene erzeugt bei der Programmierung des Mittelpunktes eine Vollkreisbewegung und bei der Programmierung des Kreisradius oder des Öffnungswinkels ohne Mittelpunktcoordinate eine Nullbewegung.

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Bearbeitungsebene gehörenden Mittelpunkt-coordinate programmiert werden.

Die dritte Geometrieachse kann als Zustellachse stets mit programmiert werden. Eine Zustellung in der dritten Geometrieachse findet jedoch nicht bei der Bewegung auf eingefügten Verrundungs-kreisbögen oder Fasen statt, sondern diese Elemente werden auf dem konstanten Zustellwert der Ecke abgefahren. In diesen Fällen wird die Zustellung auf die Bewegungsanteile vor und nach der Verrundung oder Fase aufgeteilt.

Wird im gleichen NC-Satz eine Vorschub- und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese zuerst ausgeführt und danach auf die Zielcoordinate verfahren.

G4 Verweildauer

Die Werkzeugbewegung wird für die angegebene Verweilzeit unterbrochen.

G4 U O

U		Verweilzeit
<i>Optional:</i>		
O	[1]	Verweilzeiteinheit
		O1 Sekunden
		O2 Umdrehungen

Der Befehl G4 wird zum Spanbruch, Freischneiden des Werkzeuges oder Entspänen programmiert.

G5 Setzen der Verschleißkorrekturwerte

Mit diesem Befehl kann für ein Werkzeug T und dessen Korrekturwertsatz TC eine Verschleißkorrektur gesetzt werden und optional ein Schwesterwerkzeug aktiviert werden.

G5 T TC VR VX VY VZ RK XK YK ZK IT IN

T		Werkzeugnummer
<i>Optional:</i>		<i>Inkrementell wirkende Verschleißkorrekturwerte</i>
TC	[1]	Verschleißkorrekturwertsatznummer
VR	[0]	Radius-Verschleißkorrekturwert
VX	[0]	X-Verschleißkorrekturwert
VY	[0]	Y-Verschleißkorrekturwert
VZ	[0]	Z-Verschleißkorrekturwert
RK	[0]	maximal zulässiger Betrag des Radius-Verschleißkorrekturwerts (sinnvoll angebar nur bei Fräswerkzeugen, da der Verschleiß bei Drehwerkzeugen bearbeitungsrichtungsabhängig ist)
XK	[0]	maximal zulässiger Betrag des X-Verschleißkorrekturwerts (Drehen in Z-X)
YK	[0]	maximal zulässiger Betrag des Y-Verschleißkorrekturwerts (Drehen in Z-Y)
ZK	[0]	maximal zulässiger Betrag des Z-Verschleißkorrekturwerts Die Verschleißkorrekturwerte und die Maximalwerte der Verschleißkorrekturen dürfen 5 % des Werkzeugradius nicht übersteigen,
IT	[0]	Parameternummer des Parameters mit der Werkzeugnummer des den Verschleiß erzeugenden Werkzeugs (Werkzeugaufruf mit T=P(IT))
IN	[0]	Werkzeugnummer des Schwesterwerkzeugs zum Werkzeug T=P(IT) (Schwesterwerkzeugaufruf durch die Parameterwertänderung P(IT)=IN)

Inkrementelle Verschleißkorrekturwerte:

Mit G5 werden die programmierten Verschleißkorrekturwerte zu den aktuellen Verschleißkorrekturwerten hinzuaddiert. Beim Einrichten werden die Verschleißkorrekturen auf null gesetzt.

Schwesterwerkzeugsteuerung:

Eine automatische Schwesterwerkzeugsteuerung setzt voraus, dass der Werkzeugaufruf parametrisiert, d. h. über eine Parameterwertsteuerung T=P(NR) mit einer Parameternummer NR, erfolgt, so dass mit einer Änderung des Parameterwertes des Parameters P(NR) durch den Werkzeugaufruf T=P(NR) ein anderes Werkzeug als Schwesterwerkzeug aufgerufen wird.

Im Fall, dass der Betrag des Verschleißes beim Fräsen in R oder in Z die Betragsmaxima RK oder ZK bzw. beim Drehen in Z und X die Betragsmaxima ZK oder XK übersteigt wird vom Zyklus G5 für IT > 0 und IN > 0 ein Schwesterwerkzeug für das verschlissene Werkzeug T=P(IT) durch Änderung des Parameterwertes P(IT) in P(IT)=IN definiert.

Damit wird bei einem erneuten Werkzeugaufruf mit T=P(IT) = IN das Schwesterwerkzeug mit der Werkzeugnummer IN aufgerufen.

Programmierhinweise:

Die Verschleißkorrekturen in Z sind beim Fräsworkzeugen in Z-Richtung stets wirksam. Die Radius-Verschleißkorrektur ist jedoch nur bei eingeschalteter Fräserradiuskompensation G41/G42 wirksam.

Bei Drehwerkzeugen werden die Verschleißkorrekturen in Z und X berücksichtigt, jedoch wird kein Schneidenradiusverschleiß berechnet.

Beim Einrichten eines neuen Werkzeugs werden die Verschleißkorrekturen auf null gesetzt.

Beispiel:

Werkzeug T2 habe das Schwesterwerkzeug unter T11. Mit den frei wählbaren Parameternummern 1002 und 1011 setzen wir: P1002=2 und P1011=11 und das Werkzeug T2 wird im NC-Programm aufgerufen mit T=P1002. Soll das Schwesterwerkzeug T11 statt T2 verwendet werden setzt G5 den Wert von P1002=11 und bei **weiteren Aufrufen** von T=P1002 wird somit Werkzeug T11 eingewechselt.

G6 Modale Adressen der Werkzeugwechsellpunktanfahrt

Zu den Koordinaten des in der Maschinenkonfiguration festgelegten Werkzeugwechsellpunktes in absoluten Maschinenkoordinaten können mit diesem G-Befehl zusätzlich ein Zwischenpunkt und zwei Werkzeug-Magazin-Wechsellpunkte in Maschinenkoordinaten als weitere Maschinenkonfigurationsgrößen definiert werden - Einfachste Anwendung beim Fräsen mit einem Werkzeugmagazin ist die Übereinstimmung der linearen Koordinaten des Werkzeug-Magazin-Wechsellpunkts mit denen des in der Maschinen konfigurierten Werkzeugwechsellpunkts.

Die einzelnen Linear- und Rundachswerte dieser drei Punkte können zur Festlegung einer Bewegungsabfolge zur Anfahrt auf den Werkzeug-Magazin-Wechsellpunkt mit G14 einzeln oder beliebig zusammengefasst in einem vom Anwender frei programmierbaren globalen Unterprogramm mit der Programmnummer PLO angefahren werden. Auf diese Weise kann auch die Anfahrt auf den konfigurierten Maschinen-Werkzeugwechsellpunkt in beliebigen Koordinatenreihenfolge vorgegeben werden.

Die Anfahrt erfolgt nach den inkrementellen Freifahrbewegungen von G14 durch Aufruf des von Benutzer vorgegebenen Unterprogramms L=PLO mit bereits angewähltem Maschinenkoordinatensystem G53 in der Standardbearbeitungsebene ohne Werkzeugkorrekturwertregister (TC0). Die Anfahrt des Werkzeug-Magazinwechsellpunkts steht im Unterprogramm L=PLO ab Satznummer N1000 oder die optionale Rückfahrt auf den Zwischenpunkt nach den Werkzeugwechsel ab Satznummer N2000. Beim Aufruf von G6 muss dieses Unterprogramm L=PLO bereits als globale Unterprogrammdatei existieren - entweder als leeres Programm oder mit einem bereits zuvor erfolgten Eintrag der Zuweisung aller Adresswerte der Werkzeugwechsellpunktanfahrt an Parameterwerte beginnend mit P(KO)=PLO und weiter in P(KO+KN), $0 < KN \leq 46$ für die weiteren Achskoordinaten und Magazinzuordnungswerte.

Die Anweisung G6 **ergänzt** das leere Unterprogramm L=PLO durch den Eintrag aller nachstehenden Achskoordinatenwerte der Werkzeug-Magazin-Wechsellpunktanfahrt in Parameter beginnend mit der Parameternummer KO **oder überschreibt** die im Unterprogramm L=PLO bereits enthaltenen Parameterwertzuweisungen durch die aktuell mit G6 definierten Werte.

Zusätzlich werden werkzeuggrößenabhängige inkrementelle Freifahrbewegungskoordinaten XT, YT, ZT für die aktuellen Bearbeitungsebene vor der eigentlichen Anfahrt des Werkzeugwechsellpunktes **als maschinenspezifische Voreinstellwerte** für G14 vorgegeben.

G6 KO LO *XT YT ZT AT BT CT DT HT IT JT KT XO YO ZO VO AO BO CO DO*
XP YP ZP AP BP CP XW YW ZW AW BW CW

KO		Parameternummern-Offset für die Achswertspeicherung, wird im Systemparameter PKO gespeichert
LO		Nummer des maschinenspezifischen Unterprogramms, wird im Systemparameter PLO und auch im Parameter P(KO) gespeichert Mit dem Parameter P(KO) beginnt der Speicherbereich P(KO+KN), KN = 1, 2, 3, ..., mit den Werten der nachstehenden Adressen zur Werkzeugwechsellpunktanfahrt
Optional:		Diese Vorgabewerte müssen maschinenspezifisch gesetzt werden: Inkrementelle Freifahrbewegungen in X, Y und Z in den Werkstückkoordinaten der aktuellen Bearbeitungsebene
XT	[100]	KN=1: Drehen: Inkrementelle Freifahrlänge in X (max. Auskraglänge in X bei eingewechseltem Außenbearbeitungsdreh-WZ oder vertikalem Fräs-Z)
	[0]	Fräsen (G17): Inkrementelle Freifahrlänge in X
YT	[0]	KN=2: Drehen und Fräsen (G17): Inkrementelle Freifahrlänge in Y
ZT	[180]	KN=3: Drehen: Inkrementelle Freifahrlänge in Z (max. Auskraglänge in Z bei eingewechseltem Innenbearbeitungsdreh-WZ oder horizontalem Fräswerkzeug oder beim Fräsen (G17) maximale Werkzeuglänge oder Auskraglänge in Z bei Fräswerkzeugen – je nachdem, ob auch das WZ-Spannfutter bei der Bearbeitung in das Werkstück eintaucht.)

Adressen der Werkzeug-Magazin-Wechselpunktanfahrt Werkzeugnummernzuordnung zu WZ-Magazin 1

AT	[1]	KN=11: Anfangs-WZ-Nummer eines WZ-Nummern-Intervalls für Magazin 1
BT	[999]	KN=12: End-WZ-Nummer eines WZ-Nummern-Intervalls (alle WZ in Mag 1)
CT	[0]	KN=13: Anfangs-WZ-Nummer eines WZ-Nummern-Intervalls für Magazin 1
DT	[0]	KN=14: End-WZ-Nummer eines WZ-Nummern-Intervalls für Magazin 1

Werkzeugnummernzuordnung zu WZ-Magazin 2

HT	[0]	KN=15: Anfangs-WZ-Nummer eines WZ-Nummern-Intervalls für Magazin 2
IT	[0]	KN=16: End-WZ-Nummer eines WZ-Nummern-Intervalls für Magazin 2
JT	[0]	KN=17: Anfangs-WZ-Nummer eines WZ-Nummern-Intervalls für Magazin 2
KT	[0]	KN=18: End-WZ-Nummer eines WZ-Nummern-Intervalls für Magazin 2

Maschinenkoordinaten der Werkzeug-Magazin-Wechselpunkte

Zwischenpunkt (Voreinstellung speziell für Fräsen/Plandrehen)

XO	[**]	KN=21: X-Wert des 1. Zwischenpunktes,
YO	[**]	KN=22: Y-Wert des 1. Zwischenpunktes,
ZO	[**]	KN=23: Z-Wert des 1. Zwischenpunktes,
AO	[**]	KN=24: A-Wert des 1. Zwischenpunktes,
BO	[**]	KN=25: B-Wert des 1. Zwischenpunktes,
CO	[**]	KN=26: C-Wert des 1. Zwischenpunktes,
VO	[**]	KN=27: V-Wert des 1. Zwischenpunktes (Gegenspindel-Z-Achse)
DO	[**]	KN=28: D-Wert des 1. Zwischenpunktes (Gegenspindel-C-Achse),

** Voreinstellung Achswerte: aktuelle Achsposition beim Aufruf von G14

Werkzeugwechsellpunkt von WZ-Magazin 1

XP	[**]	KN=31: X-Wert des Magaz-1-WZ-Wechselpunktes,
YP	[**]	KN=32: Y-Wert des Magaz-1-WZ-Wechselpunktes,
ZP	[**]	KN=33: Z-Wert des Magaz-1-WZ-Wechselpunktes,
AP	[**]	KN=34: A-Wert des Magaz-1-WZ-Wechselpunktes,
BP	[**]	KN=35: B-Wert des Magaz-1-WZ-Wechselpunktes,
CP	[**]	KN=36: C-Wert des Magaz-1-WZ-Wechselpunktes,

Werkzeugwechsellpunkt von WZ-Magazin 2 für Maschinen mit 2 WZ-Magazinen

XW	[**]	KN=41: X-Wert des Magaz-2-WZ-Wechselpunktes,
YW	[**]	KN=42: Y-Wert des Magaz-2-WZ-Wechselpunktes,
ZW	[**]	KN=43: Z-Wert des Magaz-2-WZ-Wechselpunktes,
AW	[0]	KN=44: A-Wert des Magaz-2-WZ-Wechselpunktes,
BW	[0]	KN=45: B-Wert des Magaz-2-WZ-Wechselpunktes,
CW	[0]	KN=46: C-Wert des Magaz-2-WZ-Wechselpunktes,

** Voreinstellung **Fräsmaschine**: **maximaler Z-Wert** des Verfahrbereichs
maximaler Y-Wert des Verfahrbereichs
minimaler X-Wert des Verfahrbereichs

** Voreinstellung **Drehmaschine** = **maximaler X-Wert** des Verfahrbereichs
Mittelwert in Z des Verfahrbereichs
Y=0

Programmierhinweise:

Diese Parameter können in diesem Unterprogramm L=PLO vom Benutzer zum Erstellen einer Werkzeugwechselpunktanfahrt mit der Fallunterscheidung Werkzeugmagazin 1 oder Werkzeugmagazin 2 in beliebiger Reihenfolge und beliebiger Achsauswahl verwendet werden, die seiner Maschine entspricht.

Da das globale Unterprogramm L=PLO im CNC-maschinen-spezifischen NC-Programmverzeichnis liegt, kann die Anpassung der Werkzeugwechselpunktanfahrt für jede CNC-Maschine bestehend aus CNC-Steuerung und Maschine individuell angepasst werden.

G9 Genauhalt

Wird in einem NC-Satz G9 ergänzend zu G1, G2, G3 programmiert, so wird die Vorschubgeschwindigkeit vor dem Erreichen des programmierten Zielpunktes so reduziert, dass alle Achsbewegungen mit den maschinenspezifisch konfigurierten Beschleunigungswerten im Zielpunkt zum Stehen kommen.

G9

Da NC-Programme kontinuierlich und nur mit kleinen Vorschubreduzierungen an Konturelementübergängen abgearbeitet werden, führt dies durch den physikalisch bedingten Schleppfehler zum Brechen von Kanten.

Sollen die Koordinaten exakt angefahren werden, so muss der Befehl G9 programmiert werden.

Eine Eilgangbewegung wird mit Genauhalt abgeschlossen.

G10 Linearinterpolation im Eilgang in Polarkoordinaten

Das Werkzeug verfährt mit größtmöglicher Geschwindigkeit mit Linearinterpolation zum programmierten Zielpunkt. Der Endpunkt wird mit Polarkoordinaten angegeben. Die Eilgangbewegung endet mit einem Genauhalt.

G10 RP AP/AI I/IA J/JA Z/ZI/ZA F S M TC TR TX TY TZ

RP	Polarradius
AP	Polarwinkel bezogen auf die positive 1. Geometrieachsrichtung (X in G17)
AI	inkrementeller Polarwinkel als Winkel zwischen den Strecken Pol-Startpunkt und Pol-Endpunkt.

Optional:

I /IA	[*]	X-Koordinate des Pols (1. Geometrieachse)
	I	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	IA	absolute Koordinate in Werkstückkoordinaten
J /JA	[*]	Y-Koordinate des Pols (2. Geometrieachse)
	J	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	JA	absolute Koordinate in Werkstückkoordinaten
		* Voreinstellung: aktuelle Werkzeugposition
Z/ZI/ZA		Z-Koordinate des Zielpunktes (3. Geometrieachse G17)
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	ZA	absolute Koordinate
F		Vorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen
TC		Anwahl der Korrekturwertspeichernummer
TR	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

Programmierhinweise:

Bei der Eilgangbewegung werden **alle** Koordinatenachsen interpolierend verfahren.

Werden im gleichen NC-Satz eine Werkzeugkorrekturspeicherveränderung TC, TR, TX, TY, TZ, ein Vorschub und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese Werte zuerst in die Steuerungsregister eingetragen und dann auf die Zielkoordinaten verfahren.

Für die Behandlung der M-Maschinenbefehle gibt es gesonderte Einstellungen für das Aktivieren am Satzanfang oder Satzende.

G11 Linearinterpolation im Vorschub in Polarkoordinaten

Das Werkzeug verfährt mit dem aktiven Vorschub mit Linearinterpolation zum programmierten Endpunkt. Der Endpunkt wird mit Polarkoordinaten angegeben und berücksichtigt dabei eine programmierte Verrundung oder Fase zum nächsten Verfahrensweg.

G11 RP AP/AI I/IA J/JA Z/ZI/ZA RN E F S M TC TR TX TY TZ

RP	Polarradius
AP	Polarwinkel bezogen auf die positive 1. Geometrieachsrichtung (X in G17)
AI	inkrementeller Polarwinkel, Winkel zwischen den Strecken Pol-Starpunkt und Pol-Endpunkt.

Optional:

I /IA	[*]	X-Koordinate des Pols (1. Geometrieachse)
I		inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
IA		absolute Koordinate in Werkstückkoordinaten
J /JA	[*]	Y-Koordinate des Pols (2. Geometrieachse)
J		inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
JA		absolute Koordinate in Werkstückkoordinaten
		* Voreinstellung: aktuelle Werkzeugposition
Z/ZI/ZA		Z-Koordinate des Zielpunktes (3. Geometrieachse G17)
Z		absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
ZI		inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA		absolute Koordinate
RN	[0]	Übergangselement zum nächsten Konturelement
RN+		Verrundungsradius
RN-		Fasenbreite
E		Feinkonturvorschub für Übergangselemente
F		Vorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen
TC		Anwahl der Korrekturwertspeichernummer
TR		inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuswertes
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

Programmierhinweise:

Die dritte Geometrieachse kann als Zustellachse stets mit programmiert werden. Eine Zustellung in der dritten Geometrieachse findet jedoch nicht bei der Bewegung auf eingefügten Verrundungskreisbögen oder Fasen statt, sondern diese Elemente werden auf dem konstanten Zustellwert der Ecke abgefahren. In diesen Fällen wird die Zustellung auf die Bewegungsanteile vor und nach der Verrundung oder Fase aufgeteilt.

Bei der Bewegung werden alle Koordinaten interpolierend verfahren. Werden im gleichen NC-Satz eine Werkzeugkorrekturspeicherveränderung TC, TR, TX, TY, TZ, ein Vorschub und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese zuerst ausgeführt und danach auf die Zielkoordinaten verfahren.

Ein Spindelhalt M5 und das Ausschalten des Kühlmittels M9 werden erst am Ende des Verfahrensatzes ausgeführt. Ein Einschalten der Spindel oder des Kühlmittels erfolgt am Satzanfang.

G12 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten

Das Werkzeug verfährt mit dem aktiven Vorschub auf einem Kreisbogen im Uhrzeigersinn zum in Polarkoordinaten programmierten Endpunkt und berücksichtigt dabei eine programmierte Verrundung oder Fase zum nächsten Verfahrweg. Der Kreisbogen-Mittelpunkt ist mit dem Pol identisch. Der Polarradius ergibt sich aus dem Abstand des Startpunktes zum Pol/Mittelpunkt.

Wird außerdem ein Zustellwert in der dritten Geometrieachse programmiert, der vom Ausgangswert des Startpunktes abweicht, so verfährt das Werkzeug in der sogenannten Schraubenlinieninterpolation (Helix). Hierbei wird beim Abfahren des Kreisbogens in der Bearbeitungsebene eine lineare Vorschubbewegung in der Zustellrichtung überlagert.

G12 AP/AI I/IA J/JA Z/ZI/ZA RN E F S M

AP	Polarwinkel bezogen auf die positive 1. Geometrieachsrichtung (X in G17)
AI	inkrementeller Polarwinkel, Winkel zwischen den Strecken Pol-Startpunkt und Pol-Endpunkt.

Optional:

I /IA	[*]	X-Koordinate des Pols (1. Geometrieachse)
	I	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	IA	absolute Koordinate in Werkstückkoordinaten
J /JA	[*]	Y-Koordinate des Pols (2. Geometrieachse)
	J	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	JA	absolute Koordinate in Werkstückkoordinaten
		* Voreinstellung: aktuelle Werkzeugposition
Z/ZI/ZA		Z-Koordinate des Zielpunktes (3. Geometrieachse G17)
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	ZA	absolute Koordinate
RN	[0]	Übergangselement zum nächsten Konturelement
	RN+	Verrundungsradius
	RN-	Fasenbreite
E		Feinkonturvorschub für Übergangselemente
F		Vorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen

Programmierhinweise:

Die dritte Geometrieachse kann als Zustellachse stets mit programmiert werden. Eine Zustellung in der dritten Geometrieachse findet jedoch nicht bei der Bewegung auf eingefügten Verrundungskreisbögen oder Fasen statt, sondern diese Elemente werden auf dem konstanten Zustellwert der Ecke abgefahren. In diesen Fällen wird die Zustellung auf die Bewegungsanteile vor und nach der Verrundung oder Fase aufgeteilt.

Werden im gleichen NC-Satz ein Vorschub und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese zuerst ausgeführt und danach auf die Zielkoordinaten verfahren.

G13 Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten

Das Werkzeug verfährt mit dem aktiven Vorschub auf einem Kreisbogen entgegen dem Uhrzeigersinn zum in Polarkoordinaten programmierten Endpunkt und berücksichtigt dabei eine programmierte Verrundung oder Fase zum nächsten Verfahrensweg. Der Kreisbogen-Mittelpunkt ist mit dem Pol identisch. Der Polarradius ergibt sich aus dem Abstand des Startpunktes zum Pol/Mittelpunkt.

Wird außerdem ein Zustellwert in der dritten Geometrieachse programmiert, der vom Ausgangswert des Startpunktes abweicht, so verfährt das Werkzeug in der sogenannten Schraubenlinieninterpolation (Helix). Hierbei wird beim Abfahren des Kreisbogens in der Bearbeitungsebene eine lineare Vorschubbewegung in der Zustellrichtung überlagert.

G13 AP/AI I/IA J/JA Z/ZI/ZA RN E F S M

AP	Polarwinkel bezogen auf die positive 1. Geometrieachsrichtung (X in G17)
AI	inkrementeller Polarwinkel, Winkel zwischen den Strecken Pol-Startpunkt und Pol-Endpunkt.

Optional:

I /IA	[*]	X-Koordinate des Pols (1. Geometrieachse)
	I	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	IA	absolute Koordinate in Werkstückkoordinaten
J /JA	[*]	Y-Koordinate des Pols (2. Geometrieachse)
	J	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	JA	absolute Koordinate in Werkstückkoordinaten
		* Voreinstellung: aktuelle Werkzeugposition
Z/ZI/ZA		Z-Koordinate des Zielpunktes (3. Geometrieachse G17)
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	ZA	absolute Koordinate
RN	[0]	Übergangselement zum nächsten Konturelement
	RN+	Verrundungsradius
	RN-	Fasenbreite
E		Feinkonturvorschub für Übergangselemente
F		Vorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen

Programmierhinweise:

Die dritte Geometrieachse kann als Zustellachse stets mit programmiert werden. Eine Zustellung in der dritten Geometrieachse findet jedoch nicht bei der Bewegung auf eingefügten Verrundungskreisbögen oder Fasen statt, sondern diese Elemente werden auf dem konstanten Zustellwert der Ecke abgefahren. In diesen Fällen wird die Zustellung auf die Bewegungsanteile vor und nach der Verrundung oder Fase aufgeteilt.

Werden im gleichen NC-Satz eine, ein Vorschub und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese zuerst ausgeführt und danach auf die Zielkoordinaten verfahren.

G14 Konfigurierten Werkzeugwechsellpunkt mit Zwischenpunkten anfahren

Mit G14 besteht die Möglichkeit die Anfahrt des Werkzeugwechsellpunkts an unterschiedliche Maschinen anzupassen. Dazu kann mit G6 für jede Maschine ein **Zwischenpunkt** und **Werkzeugmagazin-Wechsellpunkte** in **allen** NC-Achsen vorgeben werden, die mit dem Systemparameter PLO in Parameterwerten des maschinenspezifischen Unterprogramms L=PLO gespeichert werden. Diese Achswerte kann er zur Programmierung von Bewegungsbahnen ausgehend von der aktuellen Werkzeugposition in einzelnen oder mehreren zusammengefassten Achsbewegungen über einen Zwischenpunkt hin zu jedem der Magazin-Werkzeugwechsellpunkte beliebig verwenden.

G14 [H] [XT] [YT] [ZT] [Q] ([T] [TC]) / [M]

Optional:

H	[2]	Anfahrsteueradresse für die inkrementellen Koordinaten XT, YT, ZT
H0		Inkrementelle Bewegung um XT, YT, ZT in allen Achsen gleichzeitig
H1		Inkrementelle Bewegung, erst um die Koordinaten XT, YT und dann um ZT
H2		Inkrementelle Bewegung, erst um die Koordinate ZT und dann um XT & YT
		Rückzugspunktkoordinaten in der aktuellen Bearbeitungsebene
XT	[*]	Inkrementeller X-Rückzugswert
YT	[*]	Inkrementeller Y-Rückzugswert
ZT	[*]	Inkrementeller Z-Rückzugswert (* Vorbelegungswerte aus G6)
Q	[1]	Steueradresse für das Unterprogramm L=PLO
Q1		Werkzeugsetzpunkt/-spindel steht am Werkzeugübernahmepunkt
Q2		Anfahrt des Zwischenpunktes nach dem Werkzeugwechsel Bei einem Werkzeugmagazin mit 2 Werkzeugwechsellpunkten muss mit T oder M ein Werkzeugwechsel programmiert werden (T oder M dann obligat)
T		Werkzeugwechsellaufruf mit der neuen T-Nummer
TC		Korrekturwertregisternummer
M		Einwechseln des Werkzeugs mit M6, wenn das neue Werkzeug bereits vorausgewählt wurde, optional weitere M-Werte

Befehlsablauf G14 in Abhängigkeit vom Unterprogramm L=LO:

Wenn es **kein** globales Unterprogramm LO gibt (oder das Unterprogramm LO keine NC-Sätze enthält), wird G14 mit dem Erreichen der Rückfahrposition XT, YT, ZT beendet.

- Bei Standard-G17-Fräsbearbeitungszentren mit den Dreh-/Schwenkachsen im Maschinentisch erfolgt nach der Rückzugsbewegung erst mit dem T-Befehl für eine neues Werkzeug die Anfahrt auf den Werkzeugwechsellpunkt.
- Der Vorteil einer in G14 programmierbaren Rückfahrposition beim Drehen gegenüber einem festen Werkzeugwechsellpunkt ist die mögliche Anpassung an Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung und die Berücksichtigung der Werkstücklängen bei kleinen Verfahrbereichen durch Verändern der Rückfahrlängen in G6.

Mit einem Unterprogramm LO und den mit G6 definierten Zwischenpunkten und werkspezifischen Magazin-Wechsellpunkten kann die Anfahrt des Werkzeugwechsellpunkts maschinenspezifisch angepasst werden:

- Bei Dreh- oder Fräsbearbeitungszentren mit schwenkbaren Werkzeugköpfen und Werkzeugmagazinen kann mit dem globalen Unterprogramm L=LO und den in G6 definierten Zwischenpunkten eine maschinenspezifische Werkzeugwechsellpunktanfahrt vom Anwender selbst programmiert werden.

Bei komplexen Werkzeugsystemen mit getrennten Ablage- und Aufnahmepositionen muss dabei die neue Werkzeugnummer und/oder der Einwechselbefehl M6 mit programmiert werden.

- Dies erfordert gegebenenfalls die erneute Programmierung der Bearbeitungsebenenwahl nach dem Werkzeugwechsel, falls die Positionen der Dreh-/Schwenkachsen verändert wurden.

Programmierhinweise:

Eine Schwenkachse im Werkzeugspindelkopf wird nach dem Rückzug auf die Position XT, YT, ZT mit der Anwahl der Standardbearbeitungsebene in die Standardeinstellung geschwenkt. Hierbei kann es bei engen Verfahrbereichen jedoch noch zu Kollisionen kommen.

Die Bearbeitungsebene muss nach G14 wieder angewählt werden, wenn bei der Anfahrt des Werkzeugwechsellpunkts im Unterprogramm L=LO die Drehachswerte einer Einstellachse der Bearbeitungsebene verändert werden.

Grund für diese Erweiterungen:

Die in der praktischen CNC-Ausbildung geforderte Übersetzung der PAL-Programme in steuerungsspezifische Programme benötigt eine Anpassung bei der Anfahrt des Werkzeugwechsellpunktes an die unterschiedlichen Maschinen, insbesondere bei der Verwendung moderner Produktionsmaschinen in der Ausbildung.

G15 Allgemeine Fräs-Bearbeitungsebenenwahl für Mehrseitenbearbeitung und Sonderbearbeitungsebenen für Polar-, Zylinderkoordinaten- und Mantelflächen-Programmierung & Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Positionieraufgaben

Der PAL2007-G15-Befehl der freien Programmierung aller NC-Achsen wird erweitert zu **einem** universellen Bearbeitungsebenenwahlbefehl für alle Bearbeitungsebenen beim Fräsen **und** beim Drehen.

G15 IP0	Direkte Programmierung aller NC-Achsen, Realisierung von Polar-, und Zylinderkoordinaten mit einer Rundachse
G15 IP1 bis IP4	Kartesische Stirnseiten- und Mantelflächenprogrammierung
G15 (IP5) ...	Standard- und Mehrseiten-Bearbeitungsebenenwahl

IP5 ist der Voreinstellungswert.

Der Befehl G15 hebt alle programmierten Drehungen des Koordinatensystems und alle Nullpunktverschiebungen in den vorhandenen Drehachsen A, B, C auf.

Anmerkung:

G15 IP0 ersetzt den Befehl der simultanen 5-Achsbearbeitung der PAL 2007-Frässteuerung
G17/G18/G19 AB / AC / BC / A / B / C

G15 IP0 Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Sonderbearbeitungen, Polar- und Zylinderkoordinaten-Programmierung

Mit der Sonderbearbeitungsebenenwahl G15 IP0 aktiviert aus einer beliebigen Bearbeitungsebene heraus, kann danach mit den Befehlen G0 und G1 die direkte Programmierung aller in einem Bearbeitungskanal einer Maschine vorhandenen NC-Achsen unter ihren Adressnamen in Maschinenkoordinaten ausgeführt werden.

Insbesondere können in Kombination einer Rundachse mit einer Linearachse Polarkoordinaten oder Zylinderkoordinaten programmiert werden (Drehen: **Stirnseite** mit X und C sowie der Zustellung in Z und **Zylinderfläche** mit Z und C sowie der Zustellung in X).

G15 IP0 FL FW F S M

IP Interpolationsadresse

IP IP0 Sonderbearbeitungsebene zur direkten Programmierung aller NC-Achsen
Vorschubsteuerung mit der Länge des in den Linearachsen X, Y, Z programmierten Verfahrenswegs mit dem modal anstehenden Vorschub F oder mit FL in G94 unter Mitführung der im NC-Satz programmierten Rundachsen

Optional:

FL [500] Vorschub in den Linearachsen in mm/min
FW [720] Vorschub der Rundachsen in Winkelgrad/min
F Vorschub
S Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M Zusatzfunktionen

Programmierhinweise:

Mit dem Befehl G15 IP0 werden folgende Aktionen ausgeführt und es gelten die folgenden Beschränkungen:

1. Die Abarbeitung von G0/1 ist von der Maschinenkinematik und deren Achsbezeichnungen abhängig.
2. Der in der Standardebene aktive Einstellbare Nullpunkt der Linearachsen X, Y, Z und die inkrementellen Nullpunktverschiebungen mit G58 und G59 bleiben erhalten, Drehungen werden aufgehoben.
3. Alle NC-Achsen können nur mit den G-Befehlen G0, G1 mit ihren Achswerten und mit den Adressen FL, FW, F, S, M programmiert werden.
4. Beim Einschalten von G15 werden die aktuellen Achspositionen der vorhandenen Achsen nicht verändert.
5. Das Programmieren einer Bearbeitungsebene G15 IP5 beendet die Sonderbearbeitungsebene IP0 und aktiviert die zu der aktiven Kreisbogen-Interpolationsebene G17, G18 oder G19 gehörige Standardbearbeitungsebene. Mit der Programmierung von G15 IP5 mit zusätzlichen, zulässigen PAL-Bearbeitungsebenenwahladressen kann aus der aktuellen Bearbeitungsebene mit deren Kreisbogen-Interpolationsebene heraus, direkt eine beliebige Bearbeitungsebene zu dieser Kreisbogen-Interpolationsebene der Mehrseitenbearbeitung angewählt werden. In Kombination von G17/18/19 mit G15 kann dabei auch die Kreisbogen-Interpolationsebene gewechselt werden.
6. Mit G15 IP1/IP2/IP3/IP4 wird die Sonderbearbeitungsebenen ebenfalls verlassen und die entsprechende Kartesische Stirnseiten- oder Mantelflächen-Programmierung aktiviert.

G15 IP1 - IP4 Rundachs-Interpolation kartesischer Koordinaten auf Stirnseiten und abgewickelten Mantelflächen – Allgemeiner Fall

Mit G15 IP1 bis IP4 werden spezielle Bearbeitungsebenen angewählt bei denen eine der ersten beiden Geometrieachsen einer Standardbearbeitungsebene mit Hilfe der Interpolation mit einer zentrischen Rundachse gebildet wird.

Beim Drehen kann mit IP1 und beim Fräsen mit IP1 oder IP2 eine Mantelflächenbearbeitung eines zentrisch auf einer Rundachse eingespannten Werkstücks durchgeführt werden - zum Beispiel in G17 mit einem (einachsigen) NC-Teilapparat oder einer horizontal eingeschwenkten C-Rundachse oder in G19 mit einer vertikalen C-Achse und einer B-Achse im Werkzeugkopf.

G17 G15 IP DM

Optional:

IP1 Kartesische Mantelflächen-Interpolation mit einer virtuellen 1. Geometrieachse und der 2. Geometrieachse als Mantelflächenkoordinaten durch Abwicklung eines Zylinders um eine in der 2. Geometrieachse und durch den Nullpunkt gehenden Rundachse und Zustellung in der 3. Geometrieachse.

Anwendung Drehen mit G19: Programmierung der zum Durchmesser DM abgewickelten Mantelfläche im G19 Koordinatensystem YZX mit virtueller Y-Achse durch die Interpolation der C-Achse und Zustellung in X.

IP2 Kartesische Mantelflächen-Interpolation mit einer virtuellen 2. Geometrieachse und der 1. Geometrieachse als Mantelflächenkoordinaten durch Abwicklung eines Zylinders um eine in der 1. Geometrieachse und durch den Nullpunkt gehenden Rundachse und Zustellung in der 3. Geometrieachse.

IP3 Umrechnung der kartesischen Koordinaten der ersten und zweiten Geometrieachse in Polarkoordinaten, deren Winkelwert mit einer in der Zustellachse liegenden und durch den Nullpunkt gehenden Rundachse eingestellt wird und deren Radius mit der 1. Geometrieachse eingestellt wird (Stirnseitenbearbeitung mit rotierendem Koordinatensystem).

Anwendung Drehen mit G17: Programmierung der Stirnseite im G17 Koordinatensystem XYZ mit virtueller Y-Achse durch Interpolation der C- und X-Achse und Zustellung in Z.

IP4 Umrechnung der kartesischen Koordinaten der ersten und zweiten Geometrieachse in Polarkoordinaten, deren Winkelwert mit einer in der Zustellachse liegenden und durch den Nullpunkt gehenden Rundachse eingestellt wird und deren Radius mit der 2. Geometrieachse eingestellt wird (Stirnseitenbearbeitung mit rotierendem Koordinatensystem).

Obligate Adresse für IP1 und IP2:

DM Durchmesser der Mantelfläche

Die Anwahl dieser Rundachs-Interpolationsebenen mit IP1 bis IP4 setzt das Vorhandensein einer entsprechenden Rundachse und das zentrische Einspannen des Werkstücks auf dieser Rundachse voraus.

In diesen Bearbeitungsebenen darf die verwendete Rundachse nicht direkt programmiert und auch deren Nullpunkt nur auf der Rundachse verschoben werden. Bis auf diese Einschränkungen sind alle Befehle der Programmieranleitung Fräsen verwendbar.

G15 Standard- und Mehrseiten-Bearbeitungsebenenwahl mit kartesischem Koordinatensystem

Die geringfügigen Veränderungen der Bearbeitungsebenenwahl bei Drehen und Fräsen haben zwei Gründe: Zum einen eine einheitliche Programmierung der Bearbeitungsebenen bei Drehen und Fräsen und zum anderen die Wiederherstellung der Kreisbogen-Interpolationsebenenbefehle G17, G18 und G19 entsprechend zur DIN 66025.

Die Anwahl der Mehrseiten-Bearbeitungsebenen erfolgt aus der aktiven Kreisinterpolations-Standardebene G17 oder G18 oder G19 heraus mit dem Befehl G15 IP5 oder nur mit G15, da der Adresswert 5 der Mehrseitenbearbeitung die Voreinstellung für IP ist. G15 kann auch zusammen mit der Anwahl einer Kreisbogen-Interpolationsebene G17/18/19 programmiert werden.

Aufrufvarianten:

G15 G15 IP5 G17 G15 G18 G15 G19 G15

Siehe die ausführlichen Erläuterungen in **Anwahl kartesischer Bearbeitungsebenen der Mehrseitenbearbeitung**.

Differenzbeschreibung PAL2019 zu PAL2007

Alle Bearbeitungsebenenwahlbefehle der PAL2007 werden in der neuen PAL2019-Befehls-codierung wie folgt nur in der Nummer des G-Befehls geändert:

In den PAL2007-Bearbeitungsebenenwahlbefehlen wird mit dem Voreinstellungswert IP5 der Adresse IP

G17 oder **G18** oder **G19** ersetzt durch **G17 G15** oder **G18 G15** oder **G19 G15**

oder mit **Übernahme der jeweils modalen Kreisbogen-Interpolationsebene**

G17 oder **G18** oder **G19** nur durch **G15** **G15** **G15**

Die Vereinfachung der zweiten Zeile ergibt sich aus dem Sachverhalt, dass die Kreisbogen-Interpolationsebenen G17, G18, G19 selbsthaltend (modal) sind und als Einschaltzustand der Maschine nicht programmiert werden müssen, sowie in der Regel auch nicht im NC-Programm verändert werden.

Die unterschiedlichen weiteren Adressen der Bearbeitungsebenenwahl für maschinenfeste oder inkrementelle Winkeleingaben, Schnittwinkel, 3-Punkte-Form, Basis- und Zustellvektor bleiben alle unverändert.

Nachstehend sind alle Varianten der Bearbeitungsebenen-Programmierung angegeben.

G15 Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebenenanwahl

Ausgehend von der am Werkstück eingestellten Standardbearbeitungsebene erfolgt das Einschwenken der zur aktuellen Kreisbogen-Interpolationsebene G17/18/19 gehörigen Standardbearbeitungsebene durch aufeinanderfolgende Drehungen des Koordinatensystems mit der programmierten Winkelauswahl um die festen Maschinenkoordinatensystem-Achsrichtungen und zwar mit AM um die X-Achse, mit BM um die Y-Achse und mit CM um die Z-Achse in der mit IR festgelegten Reihenfolge. Da das Ergebnis i. A. von der Reihenfolge der Drehungen anhängig ist, muss bei mehr als einem programmierten Drehwinkel zusätzlich eine Reihenfolge-Adresse IR programmiert werden, wenn von der Vorgabereihenfolge der Winkel abgewichen werden soll. Diese Winkeleingaben werden von der PAL-Steuerung auf die in der Maschinenkinematik vorhandenen Rund-/Schwenkachsen umgerechnet und mit Q eine der i. A. zwei Lösungen ausgewählt.

G15 AM BM CM IR XI YI ZI H DS Q

Optional:

AM	[0]	Drehwinkel um die X-Achse des Maschinenkoordinatensystems
BM	[0]	Drehwinkel um die Y-Achse des Maschinenkoordinatensystems
CM	[0]	Drehwinkel um die Z-Achse des Maschinenkoordinatensystems
IR	[123]	Drehwinkelreihenfolge (Siehe unten)
XI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in X-Richtung
YI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Y-Richtung
ZI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Z-Richtung
Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.		
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten H1 Einschwenken der Drehachsen H2 Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung H3 Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen
DS	[0]	Verschiebung der virtuellen Schwenkposition nur bei H2: Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegenden Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunkts um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y, Z erhalten.
Q	[1]	Lösungsauswahl Q1 Voreingestellte Ebenen-Einschwenklösung Q2 Zweite Ebenen-Einschwenklösung

Erläuterung der Drehwinkelreihenfolge-Adresse IR:

IR ist eine ein-, zwei- oder dreistellige Zahl gebildet aus den drei verschiedenen Ziffern 1, 2 und 3, die nicht doppelt vorkommen dürfen. Dabei wird der Ziffer 1 eine Drehung um die X-Achse, der Ziffer 2 eine die Drehung um die Y-Achse und der Ziffer 3 eine Drehung um die Z-Achse zugeordnet.

Beginnend mit der ersten linksstehenden Ziffer werden die Drehungen in absteigender Ziffern-Reihenfolge durchgeführt. Bei nur einem programmierten Drehwinkel kann die Angabe von IR entfallen, bei zwei angegebenen Drehwinkeln ist eine einstellige Zahl mit der Ziffer der die erste Drehachse festlegenden Zahl ausreichend, wenn für diese Achse auch ein Winkel programmiert ist. Ist ein Drehwinkel zu einer Ziffer im Bearbeitungsebenenaufruf nicht programmiert worden, so wird diese Ziffer ignoriert und zur nachstehenden Ziffer übergegangen.

G15 Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebenenanwahl

Das Einschwenken der zur aktuellen Kreisbogen-Interpolationsebene G17/18/19 gehörigen Standardbearbeitungsebene erfolgt hier durch aufeinanderfolgende Drehungen des Koordinatensystems mit der programmierten Winkelauswahl und Winkelreihenfolge um die programmierte Achse des bereits mit dem vorausgehenden Winkel weitergedrehten Werkstückkoordinatensystems und zwar mit AR um die X-Achse, mit BR um die Y-Achse und mit CR um die Z-Achse in der mit IR festgelegten Reihenfolge. Bei der ersten Drehung stimmt die Drehachse noch der Maschinenkoordinatensystemachse überein. Da das Ergebnis i. A. von der Reihenfolge der Drehungen anhängig ist, muss bei mehr als einem programmierten Drehwinkel zusätzlich eine Reihenfolge-Adresse IR programmiert werden, wenn von der Vorgabereihenfolge der Winkel abgewichen werden soll (Die inkrementellen Winkel entsprechen den EULER-Winkeln).

Diese Winkeleingaben werden von der PAL-Steuerung auf die in der Maschinenkinematik vorhandenen Rund-/Schwenkachsen umgerechnet und mit Q eine der i. A. zwei Lösungen ausgewählt.

G15 AR BR CR IR XI YI ZI H DS Q

Optional:

AR	[0]	Drehwinkel um die X-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
BR	[0]	Drehwinkel um die Y-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
CR	[0]	Drehwinkel um die Z-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
IR	[321]	Drehwinkelreihenfolge (Siehe unten)
XI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in X-Richtung
YI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Y-Richtung
ZI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Z-Richtung
Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.		
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten H1 Einschwenken der Drehachsen H2 Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung H3 Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen
DS	[0]	Verschiebung der virtuellen Schwenkposition nur bei H2: Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegenden Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y, Z erhalten.
Q	[1]	Lösungsauswahl Q1 Voreingestellte Ebenen-Einschwenklösung Q2 Zweite Ebenen-Einschwenklösung

Erläuterung der Drehwinkelreihenfolgeadresse IR:

IR ist eine ein-, zwei- oder dreistellige Zahl gebildet aus den drei verschiedenen Ziffern 1, 2 und 3, die nicht doppelt vorkommen dürfen. Dabei wird der Ziffer 1 eine Drehung um die X-Achse, der Ziffer 2 eine die Drehung um die Y-Achse und der Ziffer 3 eine Drehung um die Z-Achse zugeordnet.

Beginnend mit der ersten linksstehenden Ziffer werden die Drehungen in absteigender Ziffern-Reihenfolge durchgeführt. Bei nur einem programmierten Drehwinkel kann die Angabe von IR entfallen, bei zwei angegebenen Drehwinkeln ist eine einstellige Zahl mit der Ziffer der die erste Drehachse festlegenden Zahl ausreichend, wenn für diese Achse auch ein Winkel programmiert ist. Ist ein Drehwinkel zu einer Ziffer im Bearbeitungsebenenaufruf nicht programmiert worden, so wird diese Ziffer ignoriert und zur nachstehenden Ziffer übergegangen.

G15 Schnittwinkeln AS, BS und CS zur Ebenenanwahl

In dieser Programmiervariante der Bearbeitungsebenenwahl werden die Winkel der Schnittlinien der Bearbeitungsebene mit parallel zu der aktuellen Kreisbogen-Interpolationsebenen G17/18/19 liegenden Standardebenen-Schnittflächen einer Seitenansicht oder einer Aufsicht des Werkstückes zu einer in der jeweiligen Schnittfläche/Ansicht liegenden Standardbearbeitungsebenenachse herangezogen. (Anmerkung: Aus Konsistenzgründen sollte diese Standardbearbeitungsebenenachse eigentlich stets die erste Geometrieachse der Kreisbogen-Interpolationsebenen-Schnittfläche sein. Heidenhain und Siemens folgend wird für BS in der G18-Schnittfläche aber die zweite Geometrieachse X und nicht die erste Geometrieachse Z als Winkelbezugsachse verwendet.).

Es müssen zwei der drei Schnittwinkel programmiert werden.

G15 AS BS CS O XI YI ZI H DS Q

Optional:

- AS [0] Drehwinkel um die X-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
- BS [0] Drehwinkel um die Y-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
- CS [0] Drehwinkel um die Z-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems

Dabei verstehen wir unter Schnittwinkel in einer Standardebenen-Schnittfläche (G17 oder G18 oder G19) den Winkel der Schnittgeraden von der Bearbeitungsebene mit dieser Standardschnittfläche bezüglich der angegebenen Standardebenenachse (Y oder X) dieser Schnittfläche. Das Vorzeichen des Schnittwinkels wird gemäß dem Drehsinn des Rechtssystems (Rechte-Hand-Regel) um die Zustellachse dieser Schnittfläche (X oder Y oder Z) bestimmt und der Drehachsbuchstabe (A oder B oder C) der jeweiligen Zustellachse ergänzt um S als Winkeladresse dieses Schnittwinkels zugeordnet.

- O [1] Achsrichtungsauswahl siehe weiter unten:

- XI [0] Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in X-Richtung
 - YI [0] Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Y-Richtung
 - ZI [0] Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Z-Richtung
- Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

- H [1] Ebenen-Einschwenkverhalten

- H1 Einschwenken der Drehachsen
- H2 Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung
- H3 Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen

- DS [0] Verschiebung der virtuellen Schwenkposition nur bei H2:
Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegenden Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt.
Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y, Z erhalten.

- Q [1] Lösungsauswahl
 - Q1 Voreingestellte Ebenen-Einschwenklösung
 - Q2 Zweite Ebenen-Einschwenklösung

O [1] **Achsrichtungsauswahl**

Es wird die Schnittlinie der neuen Bearbeitungsebene mit einer Standard-Bearbeitungsebene des XYZ-Ausgangs-Koordinatensystems mit der Adresse O ausgewählt. Das neue Koordinatensystem wird dabei so um die Zustellachse gedreht, dass eine der beiden Bearbeitungsebenenachsen (Auswahl mit O) des neuen Koordinatensystems (X'Y'Z') parallel zu dieser Schnittlinie liegt.

O1 Die erste Bearbeitungsebenenachse (erste Geometrieachse der Ebene) liegt in der Ausgangsbearbeitungsebene (G17/18/19)

O2 Die zweite Bearbeitungsebenenachse (zweite Geometrieachse der Ebene) liegt in der Ausgangsbearbeitungsebene (G17/18/19)

O3 / O4 unterscheiden nach den anderen Standardebenen

Auswahltable (X', Y', Z' sind Achsen der Bearbeitungsebene):

G17	O1	X' liegt in der XY-Ebene (parallel G17)
	O2	Y' liegt in der XY-Ebene (parallel G17)
	O3	X' liegt in der ZX-Ebene (parallel G18)
	O4	Y' liegt in der YZ-Ebene (parallel G19)
G18	O1	Z' liegt in der ZX-Ebene (parallel G18)
	O2	X' liegt in der ZX-Ebene (parallel G18)
	O3	Z' liegt in der YZ-Ebene (parallel G19)
	O4	X' liegt in der XY-Ebene (parallel G17)
G19	O1	Y' liegt in der YZ-Ebene (parallel G19)
	O2	Z' liegt in der YZ-Ebene (parallel G19)
	O3	Y' liegt in der XY-Ebene (parallel G17)
	O4	Z' liegt in der ZX-Ebene (parallel G18)

G15 Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene

Festlegung der Bearbeitungsebenen durch Vorgabe der Koordinaten von drei Punkten in dem zur Kreisbogen-Interpolationsebene G17/18/19 gehörigen Standardbearbeitungsebenenkoordinatensystem.

Dies entspricht der klassischen mathematischen Definition: Eine Ebene ist geometrisch durch drei Raumpunkte allgemeiner Lage eindeutig festgelegt (allgemeiner Lage bedeutet, dass die drei Punkte nicht alle auf einer Geraden liegen).

G15 XD YD ZD XE YE ZE XF YF ZF *XI YI ZI H DS Q*

Obligate Adressen:

XD	X-Koordinate des 1. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
YD	Y-Koordinate des 1. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
ZD	Z-Koordinate des 1. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
XE	X-Koordinate des 2. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
YE	Y-Koordinate des 2. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
ZE	Z-Koordinate des 2. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
XF	X-Koordinaten des 3. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
YF	Y-Koordinaten des 3. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
ZF	Z-Koordinaten des 3. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten

Optional:

XI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in X-Richtung
YI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Y-Richtung
ZI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Z-Richtung Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten H1 Einschwenken der Drehachsen H2 Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung H3 Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen
DS	[0]	Verschiebung der virtuellen Schwenkposition nur bei H2: Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegenden Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y, Z erhalten.
Q	[1]	Lösungsauswahl Q1 Voreingestellte Ebenen-Einschwenklösung Q2 Zweite Ebenen-Einschwenklösung

Programmierhinweise:

Die Koordinatensystemrichtung wird durch die Reihenfolge der drei Punkte bestimmt: Die Verbindungslinie von Punkt P1 mit den Koordinaten XD, YD, ZD zu Punkt P2 mit den Koordinaten XE, YE, ZE legt die Richtung der ersten Ebenenachse fest. Die von dieser ersten Ebenenachse senkrecht auf P3 mit den Koordinaten XF, YF, ZF zeigende Richtung legt die zweite Bearbeitungsebenenachse fest, so dass sich die Zustellrichtung aus der Rechten-Hand-Regel ergibt.

G15 Basis- und Zustellvektor zur Ebenenanwahl

Im zur Kreisbogen-Interpolationsebene G1A gehörigen Standardbearbeitungsebenenkoordinatensystem wird mit einem Basisvektor mit den Komponenten XB, YB, ZB die Richtung der ersten Geometrieachse der Bearbeitungsebene festgelegt und mit einem Zustellvektor mit den Komponenten XN, YN, ZN wird die Richtung der Zustellachse festgelegt (mathematisch die Normalenrichtung der Bearbeitungsebene). Mit diesen beiden Koordinatenrichtungen ist das Rechtssystem der Bearbeitungsebene bestgelegt.

G15 XB YB ZB XN YN ZN XI YI ZI H DS Q

Obligate Adressen:

XB	Komponente des Basisvektors in X-Richtung
YB	Komponente des Basisvektors in Y-Richtung
ZB	Komponente des Basisvektors in Z-Richtung
XN	Komponente des Zustellvektors in X-Richtung
YN	Komponente des Zustellvektors in Y-Richtung
ZN	Komponente des Zustellvektors in Z-Richtung

Optional:

XI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in X-Richtung
YI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Y-Richtung
ZI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Z-Richtung Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten H1 Einschwenken der Drehachsen H2 Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung H3 Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen
DS	[0]	Verschiebung der virtuellen Schwenkposition nur bei H2: Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegenden Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y, Z erhalten.
Q	[1]	Lösungsauswahl Q1 Voreingestellte Ebenen-Einschwenklösung Q2 Zweite Ebenen-Einschwenklösung

Programmierhinweise:

Der Zustellvektor mit den Komponenten XN, YN, ZN darf kein Vielfaches des Basisvektors mit den Komponenten XB, YB, ZB sein und sollte senkrecht auf dem Zustellvektor stehen. Andernfalls wird seine Projektion auf die Zustellachse vektoriell abgezogen, so dass die Vektordifferenz senkrecht auf der ersten Ebenenachse steht.

Die Richtung der zweiten Ebenenachse ergibt sich durch die Rechte-Hand-Regel.

Diese Ebenenanwahl wird in der Regel von CAD/CAM-Systemen verwendet.

G16 Inkrementelle Drehung der aktuellen kartesischen Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse

Die inkrementelle Drehung wird dann verwendet, wenn eine bereits aktive geschwenkte Bearbeitungsebene vom Typ G15 IP5 oder G16 um eine weitere Drehung in einer Rundachse des Werkstückkoordinatensystems geschwenkt werden soll.

G16 *AR/BR/CR XI YI ZI H DS Q*

Optional:

AR		inkrementelle Drehung um die X-Achse
BR		inkrementelle Drehung um die Y-Achse
CR		inkrementelle Drehung um die Z-Achse
XI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in X-Richtung
YI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Y-Richtung
ZI	[0]	Inkrementelle Verschiebung des Werkstücknullpunktes in Z-Richtung Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten H1 Einschwenken der Drehachse H2 Einschwenken der Drehachse mit Werkzeugausgleichsbewegung H3 Kein Einschwenken der Drehachsen
DS	[0]	Verschiebung der virtuellen Schwenkposition, nur bei H2 Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegende Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y, und Z erhalten.
Q	[1]	Lösungsauswahl Q1 Voreingestellte Ebenen-Einschwenklösung Q2 Zweite Ebenen-Einschwenklösung

Programmierhinweise:

Die Bearbeitungsebene kann mehrfach inkrementell mit G16 gedreht werden. Ein erneuter G16-Befehl setzt auf der aktuellen Bearbeitungsebene auf.

Ein G16-Befehl ohne Winkeladressen stellt die zuvor mit G15 erzeugte Ausgangsebene wieder her – auch dann, wenn G16 mehrfach programmiert wurde.

Eine neue Bearbeitungsebenenwahl mit G15 hebt eine inkrementelle Bearbeitungsebenen-drehung wieder auf.

G17 / G18 / G19 Kreisbogen-Interpolationsebenen

Mit dem Befehl G17 oder G18 oder G19 werden in einem kartesischen Koordinatensystem der Achsen X, Y, Z, das in dieser Achsreihenfolge ein Rechtssystem ist, jeweils zwei Koordinatenachsen als erste und zweite Geometrieachse einer Ebene festgelegt in denen **die Kreisbogeninterpolation** – etwa mit den Befehlen G2 und G3 – und die wichtige **Radiuskompensation** (als Schneidenradius- oder Fräserradiuskompensation) ausgeführt wird. Die dritte Geometrieachse hat dann die Funktion der Zustellachse. Dabei muss die Reihenfolge dieser Achsen so festgelegt werden, dass alle drei möglichen Kombinationen der 3 Achsen X, Y, Z ein Rechtssystem bilden.

G17	Kreisbogen-Interpolationsebene zwischen X und Y (ohne weitere Adressen)
G18	Kreisbogen-Interpolationsebene zwischen Z und X (ohne weitere Adressen)
G19	Kreisbogen-Interpolationsebene zwischen Y und Z (ohne weitere Adressen)

Diese drei Möglichkeiten der Kreisbogeninterpolation kennzeichnet man in der DIN-Norm als **Kreisbogen-Interpolationsebenen G17, G18 und G19** mit den Achsreihenfolgen eines Rechtssystems mit der 1. Geometrieachse X, der 2. Geometrieachse Y und der 3. Geometrieachse Z.

1. Geometrieachse 2. Geometrieachse 3. Geometrieachse/Zustellachse

G17	X	Y	Z	(X Y Z X Y)
G18	Z	X	Y	(X Y Z X Y)
G19	Y	Z	X	(X Y Z X Y)

Diese Kreisbogen-Interpolationsebenen sind modal oder selbsthaltend wirksam und haben nur die Funktion die zwei-dimensionale Kreisbogen-Interpolationsebene mit den Kreisbogenorientierungen und die Zustellachse festzulegen. Dies erfolgt über die Bedingung, dass die drei verschiedenen Achsreihenfolgen jeweils ein Rechtssystem bilden.

Drehwinkel in einer Kreisbogen-Interpolationsebene beziehen sich stets auf die positive erste Geometrieachse,

Fräsmaschinensteuerungen werden beim Einschalten mit G17 initialisiert und Drehmaschinensteuerungen mit G18.

G20 Punkt-Richtungs-Programmierung im Eilgang für 5-Achs-Bearbeitungszentren und Werkstück-Handhabungsroboter (TCP Tool Center Point Control/Programming)

Bei der Punkttrichtungs-Programmierung kann zu der Eilgang-Bewegung in den drei Linearachsen auf den Zielpunkt mit den beiden Rundachsen der Maschine auch eine Werkzeugrichtung im Zielpunkt mit Hilfe der 3 Vektorkomponenten XR, YR, ZR und einer zusätzlichen optionalen Orientierung der (nicht rotierenden) Werkzeugspindel mit dem Winkel AE im aktuellen Werkstückkoordinatensystem programmiert werden. Die Werkzeugrichtung ist definiert als Richtung vom Werkzeugschneidenpunkt (Verfahrenpunkt) zum Werkzeugansatzpunkt und stimmt daher mit der Werkzeugspindelachse überein.

Ausgehend von der aktuellen Werkzeugrichtung im Startpunkt werden die kontinuierlich eingestellten Zwischenrichtungen auf dem Weg zum Endpunkt mit der im NC-Satz programmierten Werkzeugrichtung XR, YR, ZR so berechnet, dass alle Zwischenrichtungen gleichmäßig bezüglich der Verfahrlänge des Schneidenpunkts ausgehend vom Startrichtungs- zum Endrichtungsvektor angenommen werden. Zu den dabei simultan mit den Linearachsen eingestellten Richtungen werden von der Steuerung auch die zugehörigen Achswerte der Rundachsen berechnet und gegebenenfalls der Eilgangvorschub reduziert, wenn der Winkelvorschub in einer beteiligten Rundachse dabei größer als der konfigurierte maximale Winkelvorschub dieser Rundachse werden würde.

Geometrische Erläuterung: Zur Berechnung der Richtungsinterpolation verwenden die Berechnungsalgorithmen Ergebnisse der sphärischen Geometrie auf einer Kugeloberfläche, hier speziell der Einheitskugel mit Radius eins, bei der jeder Punkt der Kugeloberfläche genau einem normierten Richtungsvektor zugeordnet werden kann.

Der Abstand auf der Kugeloberfläche des Richtungsvektors im Startpunkt als Punkt auf der Einheitskugeloberfläche zu dem programmierten Richtungsvektor im Endpunkt als Punkt auf der Einheitskugeloberfläche ist definiert als die Länge der kürzesten Verbindungskurve auf der Einheitskugeloberfläche, welche diese beiden Punkte miteinander verbindet. Diese kürzeste Verbindungskurve auf der Kugeloberfläche muss ein Kreisbogen sein und zwar ist es der kleinere der beiden Großkreisbögen des durch die Punkte geteilten Großkreises durch die beiden Punkte oder einer der beiden Halbkreise (Großkreise auf der Einheitskugeloberfläche haben ihren Mittelpunkt im Kugelzentrum).

Damit werden die Werkzeugrichtungen so eingestellt, dass mit der Bewegungsinterpolation der programmierten linearen Verfahrestrecke proportional auch die Länge des Richtungs-Kreisbogens auf der Kugeloberfläche mit den entsprechenden zugehörigen Werkzeugrichtungen eingestellt wird.

Die Punkttrichtungs-Programmierung wird an dem Vorhandensein **einer** der Vektoradressen XR, YR oder ZR erkannt. Die Programmierung der Nullvektorkomponenten XR0, YR0 und ZR0 wird als Richtungseingabe ignoriert (dies ist auch die Vorbelegung bei Nicht-Programmierung dieser Komponenten). Siehe Abschnitt „Allgemeine geometrische Grundlagen zur Werkstückhandhabung“.

Die Greifer-Richtungs-Programmierung wird an dem Vorhandensein **einer** der Vektoradressen XN, YN oder ZN erkannt. Die Programmierung der Nullvektorkomponenten XN0, YN0 und ZN0 wird ignoriert (dies ist auch die Vorbelegung bei Nicht-Programmierung dieser Komponenten). Die Adressen der Greiferorientierung und der Spindelorientierungswinkel AE **sind nicht selbsthaltend** (Vorbelegung 0).

Enthält der Verfahrssatz **keinen linearen Bewegungsanteil** wird mit dem maximalen Winkel-Vorschub der Rundachsen mit dem größten Quotienten Winkelgradstrecke/maximale Winkelgeschwindigkeit (unter Verwendung der konfigurierten maximalen Achswinkelgeschwindigkeiten der Maschinenkonfiguration) die neue Richtung in allen Achsen **an der aktuellen Position** eingeschwenkt.

G20 *XX/AXI YY/YI ZZ/ZI (XR YR ZR)/(AA/AI BA/BI CA/CI) XN YN ZN AN Q
F S M TC TR TX, TY, TZ*

Optional:

X /XI /XA		Koordinaten des Zielpunktes (1. Geometrieachse G17)
X		absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
XI		inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
XA		absolute Koordinate
Y /YI /YA		Koordinaten des Zielpunktes (2. Geometrieachse G17)
Y		absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
YI		inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
YA		absolute Koordinate
Z /ZI /ZA		Z-Koordinaten des Zielpunktes (3. Geometrieachse G17)
Z		absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
ZI		inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA		absolute Koordinate
		Werkzeugrichtungsprogrammierung durch Richtungsvektoren
XR	[0]	1. Komponente des Werkzeugrichtungsvektors in Werkstückkoordinaten
YR	[0]	2. Komponente des Werkzeugrichtungsvektors in Werkstückkoordinaten
ZR	[0]	3. Komponente des Werkzeugrichtungsvektors in Werkstückkoordinaten
		Werkzeugrichtungsprogrammierung durch Drehungen um die vorhandenen Maschinenrundachsen in absoluten Winkelwerten
AA/AI	[0]	Drehung um die X-Achse mit absolutem oder inkrementellem Winkelwert
BA/BI	[0]	Drehung um die Y-Achse mit absolutem oder inkrementellem Winkelwert
CA/CI	[0]	Drehung um die Z-Achse mit absolutem oder inkrementellem Winkelwert
		Richtungsänderung durch den Werkstückgreifer/Winkelkopf
XN	[0]	1. Komponente der Richtung der Greifer-Null-Lage in Werkstückkoordinaten
YN	[0]	2. Komponente der Richtung der Greifer-Null-Lage in Werkstückkoordinaten
ZN	[0]	3. Komponente der Richtung der Greifer-Null-Lage in Werkstückkoordinaten
AN	[0]	Winkel der Greifer-/Werkzeugspindelorientierung bezogen auf die Null-Lage bei nicht rotierender Spindel
Q	[1]	Lösungsauswahl der Rundachsstellungen zur vorgegebenen Richtung
		Q1 1. Lösung
		Q2 2. Lösung
		Vorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen
TC		Anwahl der Korrekturwertspeichernummer
TR	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

Programmierhinweise:

Bei einem Verfahrssatz **mit Linearachsbewegungsanteil** und einer Änderung der Werkzeugrichtung durch Programmierung des Richtungsvektors wird ausgehend von der aktuellen Werkzeugrichtung in der Bewegungsstartposition auf dem Weg der Linearachsen in den programmierten Endpunkt des linearen Bewegungsanteils, die neue Werkzeugrichtung gleichmäßig in allen erforderlichen Rundachsen in die Rundachs-Endpunktlage der programmierten neuen Werkzeugrichtung mit verfahren, so dass sie **im Endpunkt** die programmierte Werkzeugspindelrichtung hat. Daher bestimmt der Eilgang der langsamsten Achse die Bewegungsgeschwindigkeit. Bei größeren Richtungsänderungen muss daher der Vorschub in den Linearachsen von der CNC-Steuerung reduziert werden, da die Rundachsen sonst nicht folgen können (deshalb die Forderung nach hochdynamischen Maschinen für diese Bearbeitungsmethoden).

Die Einstellung der Werkzeugrichtung durch Maschinenwinkelwerte erfolgt mit Ausgleichsbewegung in den Linearachsen.

Die einmal eingestellte Werkzeugrichtung jedoch ist selbsthaltend und bleibt solange bestehen bis sie in G0 oder G1 mit der Programmierung von XR, YR, ZR (nicht alle gleich null) oder neuen Winkelwerten AA, BA, CA verändert wird oder mit einer neuen Ebenenanwahl auf die Standard-Zustellrichtung dieser Ebene zurückgesetzt wird.

Man beachte, dass mit dieser Selbsthaltefunktion der zuletzt eingestellten Werkzeugrichtung **alle weiteren Bearbeitungen** (wie Kreisbogenbewegungen G2, G3, Bearbeitungszyklen, etc.) mit dieser Werkzeugrichtung ausgeführt werden. Da dies i. A. nicht gewünscht sein wird, muss die Werkzeugrichtung mit G20 oder G21 wieder in die Standardrichtung der Bearbeitungsebene zurückgeschwenkt werden.

Das Zurücksetzen der Werkzeugorientierung kann in den Bearbeitungsebenen mit
G17: G20 (XR0 YR0) ZR1, G18: G20 (XR0) YR1 (ZR0) G19: G20 XR1 (YR0 ZR0)
programmiert werden, wobei die eingeklammerten Adressen mit Wert null wegen der Vorbelegung nicht programmiert werden müssen.

G21 Punkt-Richtungs-Programmierung im Vorschub für 5-Achs-Bearbeitungszentren und Werkstück-Handhabungsroboter (TCP Tool Center Point Control/Programming)

Bei der Punkttrichtungs-Programmierung kann zu der Bewegung in den drei Linearachsen auf den Zielpunkt mit den beiden Rundachsen der Maschine auch eine Werkzeugrichtung im Zielpunkt mit Hilfe der 3 Vektorkomponenten XR, YR, ZR und einer zusätzlichen optionalen Orientierung der (nicht rotierenden) Werkzeugspindel mit dem Winkel AE im aktuellen Werkstückkoordinatensystem programmiert werden. Die Werkzeugrichtung ist definiert als Richtung vom Werkzeugschneidpunkt (Verfahrenspunkt) zum Werkzeugansatzpunkt und stimmt daher mit der Werkzeugspindelachse überein.

Ausgehend von der aktuellen Werkzeugrichtung im Startpunkt werden die kontinuierlich eingestellten Zwischenrichtungen auf dem Weg zum Endpunkt mit der im NC-Satz programmierten Werkzeugrichtung XR, YR, ZR so berechnet, dass alle Zwischenrichtungen gleichmäßig bezüglich der Verfahrlänge des Schneidpunkts ausgehend vom Startrichtungs- zum Endrichtungsvektor angenommen werden. Zu den dabei simultan mit den Linearachsen eingestellten Richtungen werden von der Steuerung auch die zugehörigen Achswerte der Rundachsen berechnet und gegebenenfalls der Eilgangvorschub reduziert, wenn der Winkelvorschub in einer beteiligten Rundachse dabei größer als der konfigurierte maximale Winkelvorschub dieser Rundachse werden würde.

Geometrische Erläuterung: Zur Berechnung der Richtungsinterpolation verwenden die Berechnungsalgorithmen Ergebnisse der sphärischen Geometrie auf einer Kugeloberfläche, hier speziell der Einheitskugel mit Radius eins, bei der jeder Punkt der Kugeloberfläche genau einem normierten Richtungsvektor zugeordnet werden kann.

Der Abstand auf der Kugeloberfläche des Richtungsvektors im Startpunkt als Punkt auf der Einheitskugeloberfläche zu dem programmierten Richtungsvektor im Endpunkt als Punkt auf der Einheitskugeloberfläche ist definiert als die Länge der kürzesten Verbindungskurve auf der Einheitskugeloberfläche, welche diese beiden Punkte miteinander verbindet. Diese Verbindungskurve auf der Kugeloberfläche muss ein Kreisbogen sein und zwar ist es der kleinere der beiden Großkreisbögen des durch die Punkte geteilten Großkreises durch die beiden Punkte oder einer der beiden Halbkreise (Großkreise auf der Einheitskugeloberfläche haben ihren Mittelpunkt im Kugelzentrum).

Damit werden die Werkzeugrichtungen so eingestellt, dass mit der Bewegungsinterpolation der programmierten linearen Verfahrestrecke proportional auch die Länge des Richtungs-Kreisbogens auf der Kugeloberfläche mit den entsprechenden zugehörigen Werkzeugrichtungen eingestellt wird.

Die Punkttrichtungs-Programmierung wird an dem Vorhandensein **einer** der Vektoradressen XR, YR oder ZR erkannt. Die Programmierung der Nullvektorkomponenten XR0, YR0 und ZR0 wird als Richtungseingabe ignoriert (dies ist auch die Vorbelegung bei Nicht-Programmierung dieser Komponenten). Siehe Abschnitt „Allgemeine geometrische Grundlagen zur Werkstückhandhabung“.

Die Greifer-Richtungs-Programmierung wird an dem Vorhandensein **einer** der Vektoradressen XN, YN oder ZN erkannt. Die Programmierung der Nullvektorkomponenten XN0, YN0 und ZN0 wird ignoriert (dies ist auch die Vorbelegung bei Nicht-Programmierung dieser Komponenten). Die Adressen der Greiferorientierung und der Spindelorientierungswinkel AE **sind nicht selbsthaltend** (Vorbelegung 0).

Enthält der Verfahrssatz **keinen linearen Bewegungsanteil** wird die neue Richtung in allen Achsen **an der aktuellen Position** so eingeschwenkt, dass mit dem programmierten maximalen Winkelvorschub FW die Winkeländerung auf dem Großkreis eingestellt wird, sofern die beteiligten Rundachsen die geforderte Winkelgeschwindigkeit erreichen können (die Winkeländerungsgeschwindigkeit wird dabei von der Lageregelung der Steuerung in allen Rundachsen reduziert, wenn eine Rundachse die geforderte Geschwindigkeit nicht einhalten kann – z. B. wenn das Werkzeug im Material steht).

G21 *X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI (XR YR ZR)/(AA/AI BA/BI CA/CI) XN YN ZN AN Q
F FW S M TC TR TX TY TZ*

Optional:

X /XI /XA		Koordinaten des Zielpunktes (1. Geometrieachse G17)
X		absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
XI		inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
XA		absolute Koordinate
Y /YI /YA		Koordinaten des Zielpunktes (2. Geometrieachse G17)
Y		absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
YI		inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
YA		absolute Koordinate
Z /ZI /ZA		Z-Koordinaten des Zielpunktes (3. Geometrieachse G17)
Z		absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
ZI		inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA		absolute Koordinate
		Werkzeugrichtungsprogrammierung durch Richtungsvektoren
XR	[0]	1. Komponente des Werkzeugrichtungsvektors in Werkstückkoordinaten
YR	[0]	2. Komponente des Werkzeugrichtungsvektors in Werkstückkoordinaten
ZR	[0]	3. Komponente des Werkzeugrichtungsvektors in Werkstückkoordinaten
		Werkzeugrichtungsprogrammierung durch Drehungen um die vorhandenen Maschinenrundachsen in absoluten Winkelwerten
AA/AI	[0]	Drehung um die X-Achse mit absolutem oder inkrementellem Winkelwert
BA/BI	[0]	Drehung um die Y-Achse mit absolutem oder inkrementellem Winkelwert
CA/CI	[0]	Drehung um die Z-Achse mit absolutem oder inkrementellem Winkelwert
		Richtungsänderung durch den Werkstückgreifer/Winkelkopf
XN	[0]	1. Komponente der Richtung der Greifer-Null-Lage in Werkstückkoordinaten
YN	[0]	2. Komponente der Richtung der Greifer-Null-Lage in Werkstückkoordinaten
ZN	[0]	3. Komponente der Richtung der Greifer-Null-Lage in Werkstückkoordinaten
AN	[0]	Winkel der Greifer-/Werkzeugspindelorientierung bezogen auf die Null-Lage bei nicht rotierender Spindel
Q	[1]	Lösungsauswahl der Rundachsstellungen zur vorgegebenen Richtung
		Q1 1. Lösung
		Q2 2. Lösung
F		Vorschub
FL		Winkelvorschub in Grad/min bei fehlendem linearen Bewegungsanteil
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen
TC		Anwahl der Korrekturwertspeichernummer
TR	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z
FW	[720]	Vorschub der Winkeleinstellung auf dem Großkreis in Winkelgrad/min FW ist nicht selbsthaltend und hat die Vorbelegung Eilgang in allen Rundachsen

Programmierhinweise:

Bei einem Verfahrssatz **mit Linearachs Bewegungsanteil** und einer Änderung der Werkzeugrichtung durch Programmierung des Richtungsvektors wird ausgehend von der aktuellen Werkzeugrichtung in der Bewegungsstartposition auf dem Weg der Linearachsen in den programmierten Endpunkt des linearen Bewegungsanteils, die neue Werkzeugrichtung gleichmäßig in allen erforderlichen Rundachsen in die Rundachs-Endpunktlage der programmierten neuen Werkzeugrichtung mit verfahren, so dass sie **im Endpunkt** die programmierte Werkzeugspindelrichtung hat. Bei größeren Richtungsänderungen wird dabei der Vorschub in den Linearachsen von der Lageregelung der CNC-Steuerung reduziert, wenn die Rundachsen die geforderten Winkelgeschwindigkeiten nicht erreichen können (deshalb die Forderung nach hochdynamischen Maschinen für diese Bearbeitungsmethoden).

Enthält der Verfahrssatz **keinen linearen Bewegungsanteil (Startpunkt = Endpunkt)** wird die aktuelle Werkzeugrichtung in die neu programmierte Werkzeugrichtung so eingeschwenkt, dass alle Zwischenrichtungen in der vom Startrichtungs- und Endrichtungsvektor aufgespannten Richtungsebene liegen (Bewegung entlang eines Großkreises auf der Kugeloberfläche der normierten Richtungsvektoren), wobei die Endrichtung mit dem **kleineren** der beiden Winkelintervalle des Großkreises in der Richtungsebene angefahren wird. In diesem Fall wird die Winkeländerung in der Richtungsebene mit dem Winkelvorschub FW eingestellt. Dabei wird der Winkelvorschub von der Lageregelung der Steuerung reduziert, wenn der Winkelvorschub in einer beteiligten Rundachse dabei größer als der konfigurierte maximale Winkelvorschub dieser Rundachse werden würde.

Die Einstellung der Werkzeugrichtung durch Maschinenwinkelwerte erfolgt mit Ausgleichsbewegung in den Linearachsen

Die einmal eingestellte Werkzeugrichtung jedoch ist selbsthaltend und bleibt solange bestehen bis sie in G0 oder G1 mit der Programmierung von XR, YR, ZR (nicht alle gleich null) oder neuen Winkelwerten AA, BA, CA verändert wird oder mit einer neuen Ebenenanwahl auf die Standard-Zustellrichtung dieser Ebene zurückgesetzt wird.

Man beachte, dass mit dieser Selbthaltefunktion der zuletzt eingestellten Werkzeugrichtung **alle weiteren Bearbeitungen** (wie Kreisbogenbewegungen G2, G3, Bearbeitungszyklen, etc.) mit dieser Werkzeugrichtung ausgeführt werden. Da dies i. A. nicht gewünscht sein wird, muss die Werkzeugrichtung mit G20 oder G21 wieder in die Standardrichtung der Bearbeitungsebene zurückgeschwenkt werden.

Das Zurücksetzen der Werkzeugorientierung kann in den Bearbeitungsebenen mit
G17: G20 (XR0 YR0) ZR1, G18: G20 (XR0) YR1 (ZR0) G19: G20 XR1 (YR0 ZR0)
programmiert werden, wobei die eingeklammerten Adressen mit Wert null wegen der Vorbelegung nicht programmiert werden müssen.

G22 Unterprogrammaufruf

Ein mit dem Befehl G22 aufgerufenes Unterprogramm L wird von der Steuerung abgearbeitet und anschließend das Hauptprogramm nach dem Aufruf fortgesetzt.

G22 L H N N /

L Unterprogramm-Nummer

Optional:

H [1] Anzahl der Wiederholungen
N Startsatznummer im Unterprogramm
N Endsatznummer im Unterprogramm
/ Ausblendeebene

Programmierhinweise:

Die Steuerung sucht vom Unterprogramm anfang die beiden Satznummern. Findet sie die Endsatznummer vor der Startsatznummer oder eine der programmierten Satznummern nicht, so wird der Programmablauf mit Fehlermeldung abgebrochen.

Wird nur ein N programmiert, ist dies eine Startsatznummer im Unterprogramm. Das Unterprogramm wird von N bis zum Unterprogrammende M17 abgearbeitet.

Die programmierte Start- und Endsatznummer kann gleich sein.

Unterprogramme, die nach M30 ohne Satznummer beginnend mit Lxxx programmiert werden, sind lokale Unterprogramme. Diese können nur von dem darüberstehenden NC-Programm aufgerufen werden. Global gültige Unterprogramme stehen im NC-Programmverzeichnis unter ihrem Unterprogrammnamen (und können daher von allen NC-Programmen dieses Verzeichnisses aufgerufen werden).

Der Befehl G22 muss allein in einem NC-Satz stehen. Innerhalb eines Unterprogramms können weitere Unterprogramme aufgerufen werden. Die maximale Verschachtelungstiefe beträgt 10.

Unterprogrammstruktur

Im Unterprogramm steht in der ersten Spalte der ersten Zeile der Unterprogrammkenbuchstabe L gefolgt von der direkt an L anschließenden Unterprogrammnummer. Die letzte Zeile des Unterprogramms muss den Rücksprung M17 als einzigen Befehl enthalten, damit der Rücksprung ins Hauptprogramm bzw. ins aufrufende Unterprogramm korrekt erfolgt.

Für den Datenaustausch zwischen PAL2019-Softwaresystemen sollten Unterprogramme in zwei Varianten abgespeichert werden können:

Globales Unterprogramm

Ein globales Unterprogramm wird als eine eingeständige externe Datei mit dem Dateinamen "L gefolgt von der Unterprogrammnummer" und der Datei-Extension .dnc (beim Drehen und entsprechend .fnc beim Fräsen) angelegt.

Lokales Unterprogramm

Ein lokales Unterprogramm wird nach M30 an das Hauptprogramm angehängt und beginnt definitionsgemäß mit dem Unterprogrammbuchstaben L in der ersten Spalte der ersten Unterprogrammzeile gefolgt von der Unterprogrammnummer und endend mit M17 in der letzten Unterprogrammzeile. Davor oder daran anschließend können weitere lokale Unterprogramme stehen.

Gibt es ein lokales und ein globales Unterprogramm mit dem gleichen Dateinamen, so wird das lokale Unterprogramm verwendet.

Ausblendeebenen im Unterprogramm

Mit Hilfe der Sonderadresse „/“ wird die Steuerung veranlasst, bestimmte NC-Sätze des Unterprogramms nicht abzuarbeiten, also „auszublenden“. Da ein Unterprogramm mehrere Ausblendeebenen enthalten kann, können beispielsweise beim ersten Aufruf des Unterprogramms NC-Sätze ausgespart werden, die wiederum bei einem zweiten Aufruf desselben Unterprogramms abgearbeitet werden. Oder umgekehrt können für den zweiten Aufruf diejenigen NC-Sätze als Ausblendeebenen definiert werden, die nur für die erste Abarbeitung des Unterprogramms bestimmt waren. Die Sonderadresse „/“ wird dabei mit der ganzzahligen positiven Nummer der auszublendenden Ebene als Adresswert programmiert.

Die NC-Sätze einer Ausblendeebene im Unterprogramm werden durch die gleiche Sonderadresse „/“ mit der Ebenennummer als Adresswert als erste Adresse nach der NC-Satznummer gekennzeichnet. Die Sätze einer Ausblendeebene, die den gleichen Ausblend-Adresswert haben, können im Unterprogramm beliebig verteilt liegen.

Wird ein Unterprogramm mit einer Ausblendeebene angewählt, so werden die NC-Sätze der im Unterprogrammaufruf programmierten Ausblendeebene bei der Unterprogrammausführung übersprungen. Die NC-Sätze anderer Ausblendeebenen und die keiner Ebene zugeordneten NC-Sätze werden ausgeführt.

Soll im Unterprogramm einem Unterprogrammaufruf (verschachtelter Unterprogrammaufruf) eine Ausblendeebene zugeordnet werden, so muss die Sonderadresse „/“ direkt nach der NC-Satznummer und damit vor dem G22-Befehl stehen.

G23 Programmteilwiederholung

Mit dem Befehl G23 wird ein Teil eines NC-Programme wiederholt.

G23 N N *H*

N Startsatznummer

N Endsatznummer

Optional:

H [1] Anzahl der Wiederholungen

Programmierhinweise:

Die Steuerung sucht vom Programmanfang die beiden Satznummern. Findet sie die Endsatznummer vor der Startsatznummer oder eine der programmierten Satznummern nicht, so wird der Programmablauf mit Fehlermeldung abgebrochen.

Die programmierte Start- und Endsatznummer kann gleich sein.

Selbsthaltende Befehle, die in der Programmteilwiederholung programmiert werden, bleiben während und auch nach der Programmteilwiederholung wirksam.

Der Befehl G23 muss allein in einem NC-Satz stehen.

G24 Modale Zyklusadressen für PAL-Fräszyklen

G24 RD SG OH FR VH DR AA CB CM BA WA BB WB BC WC BD WD FM DV
Optional:

		Trochoidale HSC-Bearbeitung:
RD	[5]	Minimaler Radius bei An- und Abfahrbewegungen ohne Bearbeitung in Prozent des minimalen Radius der trochoidalen Bearbeitung RM (um Eckenfahrten zu vermeiden)
SG	[10]	An- und Abfahrradius mit Bearbeitung an die Kontur und an den minimalen trochoidalen Radius RM in Prozent des minimalen Radius RM
OH	[3]	Schruppsteueradresse OH1 Ohne Konturfolgen OH2 Mit Konturfolgen OH3 Ohne Konturfolgen aber mit abschließendem Konturschnitt OH4 Vollkreisbewegung
		Adressen der Seitenwechselbewegung ohne Materialabtrag bei der trochoidalen Bearbeitung
FR	[9000]	Pseudo-Eilganggeschwindigkeit
VH	[1]	Horizontaler Sicherheitsabstand
DR	[2]	Rückzugshöhe bei der Seitenwechselbewegung
AA	[5]	Abhebewinkel ab Erreichen des horizontalen Sicherheitsabstands bis zur Rückzugshöhe
		Fasen:
CB	[0]	Fasenbreite
CM	[50]	Arbeitsbereichsmittle des Faswerkzeuges in Prozent 0 %: Oberkante der Fase entspricht der Oberkante (Z+) der Faswerkzeugflanke 100 %: Unterkante der Fase entspricht der Unterkante (Z-) der Faswerkzeugflanke
		Rand-Stufen:
BA	[0]	Breite der 1. Stufe
WA	[0]	Tiefe der 1. Stufe
BB	[0]	Breite der 2. Stufe
WB	[0]	Tiefe der 2. Stufe
BC	[0]	Breite der 3. Stufe
WC	[0]	Tiefe der 3. Stufe
BD	[0]	Breite der 4. Stufe
WD	[0]	Tiefe der 4. Stufe
		Optimierung
FM	[150]	Maximaler Vorschub Die Vorschuboptimierung erzeugt keinen Vorschub größer als der maximale Vorschub . Der maximale Vorschub wird in Prozent des im Zyklus verwendeten Vorschubs festgelegt.
DV	[25]	Minimale Verfahrlänge Die Vorschuboptimierung erzeugt keine Bewegungen kleiner als die minimale Verfahrlänge . Die minimale Verfahrlänge wird in Prozent des im Zyklus verwendeten Werkzeugdurchmessers festgelegt.

Wichtiger Hinweis: Beim Programmstart werden die in den Konfigurations-Befehlen G6 und G24 vorgegebenen Adresswerte automatisch aktiviert. Daher müssen diese G-Befehle nur bei Veränderungen aufgerufen werden.

G29 Bedingte / unbedingte Programmsprünge zur Satznummer N

Der G29-Befehl der PAL 2019-Programmieranleitungen wurde an den Einzug moderner Programmiermethoden in die CNC-Steuerungsprogrammierung angepasst. Dazu gehört die Einführung von logischen Ausdrücken, deren Wahrheitswert (0 oder 1) für Programm-entscheidungen verwendet wird.

Ein in runden Klammern stehender logischer Ausdruck besteht aus zwei arithmetischen Ausdrücken, die in der Entscheidungssituation zwei berechenbare Zahlenwerte haben, die mit einem der nachstehenden Vergleichsoperatoren miteinander verglichen werden.

(Wert des Arithmetischen Ausdrucks 1 **Vergleichsoperator** Wert des Arithmetischen Ausdrucks 2)

Die Zahlenwerte der arithmetischen Ausdrücke werden mit einem der 6 Vergleichsoperatoren

EQ : gleich,	NE : ungleich,
GT : größer,	GE : größer oder gleich,
LT : kleiner,	LE : kleiner oder gleich

verglichen und dieser Vergleich ist dann entweder **wahr** (logischer Wert 1) oder **falsch** (logischer Wert 0).

Im einfachsten Fall besteht ein logischer Ausdruck aus den beiden einfachen arithmetischen Ausdrücken einer Zahl und eines Parameters (mit einem zugewiesenen Wert) verbunden durch einen der Vergleichsoperatoren.

G29 N *LA=(logischer Ausdruck)*

N Sprungziel-Satznummer

Optional:

LA Der Adresse LA wird als Bedingung ein logischer Ausdruck (in runden Klammern) als Adresswert mit Gleichheitszeichen zugewiesen (Zwischen Adresse und logischem Ausdruck muss gemäß der PAL-Syntax ein Gleichheitszeichen stehen).

Falls der logische Ausdruck wahr ist (also den Wahrheitswert 1 hat) erfolgt ein Sprung zu der Satznummer N.

Ist der logische Ausdruck **falsch** (und hat intern den **Wert 0**), wird der nach der G29-Abfrage stehende NC-Satz ausgeführt.

Wird LA nicht programmiert, erfolgt ein unbedingter Sprung zur Satznummer N.

Das Program sucht vom Programmanfang aus die Satznummer N und bricht mit einer Fehlermeldung ab, wenn diese Satznummer nicht gefunden wird (Dies kann zu Problemen führen, wenn die Satznummern nicht eindeutig sind, was nach der DIN 66025 leider nicht verboten ist.).

Der Befehl G29 muss allein in einem NC-Satz stehen.

Programmierhinweis: In der Erweiterung der Parameterprogrammierung erfolgt der Ersatz von G29 durch die in der Informatik übliche IF-Abfrage in der Form (siehe Parameterprogrammierung)

IF (logischer Ausdruck) GOTO xxx (Satznummer ohne N)

Der Befehl G29 N LA wird aus Kompatibilitätsgründen ebenfalls beibehalten.

G40 Abwahl der Fräserradiuskorrektur

Mit dem Befehl G40 wird die mit G41 oder G42 eingeschaltete Fräserradiuskorrektur aufgehoben. Die Abwahl der Fräserradiuskorrektur wird in einem eigenen NC-Satz programmiert.

Die Steuerung fährt zunächst auf den Endpunkt des letzten zuvor programmierten und mit Fräserradiuskorrektur abzufahrenden Konturelementes (siehe G41/42) und zwar so, dass der Fräser das letzte Konturelement im Endpunkt berührt (gemeinsame Tangente im Berührungspunkt).

Von diesem Punkt verfährt die Steuerung dann linear (G0, G1, G10, G11) unter Berücksichtigung der Koordinaten-Selbthaltefunktion der für diesen Endpunkt des letzten Konturelementes mit dem Werkzeugmittelpunkt angefahrenen Endpunktkoordinaten auf die programmierte Abfahrpunkt-position X, Y bzw. auf RP, AP/AI oder auf den Endpunkt einer tangentialen linearen oder kreisbogenförmigen Abfahrbewegung (G45, G46, G47).

Mit den ergänzend möglichen Wegbefehlen G45, G46 oder G47 kann eine tangentiale Abfahrstrategie programmiert werden.

```
G40 X/XI/XA Y/YI/YA Z/ZI/ZA
G40 G0 / G1 X/XI/XA Y/YI/YA Z/ZI/ZA
G40 G10 / G11 RP AP/AI Z/ZI/ZA
G40 G45 / G46 /G47 .....
```

Programmierhinweise:

Wird G40 allein ohne weiteren Wegbefehl in einem NC-Satz programmiert, so muss G0 oder G1 modal anstehen. Steht G2 oder G3 modal an, führt dies zu einer Fehlermeldung.

Bei der Abwahl der Fräserradiuskompensation mit G40 zusammen mit G1 oder G11 ist die Programmierung einer Fase oder Verrundung mit RN nicht erlaubt.

Wird G40 allein ohne weitere Adresse programmiert, so führt die Selbsthaltefunktion der kompensierten Endpunktkoordinaten (der mit dem Werkzeugmittelpunkt angefahrenen Koordinaten) des Konturendpunktes X, Y des letzten kompensiert abgefahrenen Konturelementes nach dem Anfahren des Konturendpunktes zu einer Nullbewegung, da das Werkzeug bereits an dieser Stelle steht. Wird nur eine Koordinatenachse programmiert, so wird ausgehend von der Werkzeugposition am Konturendpunkt mit dieser Festlegung der Selbsthaltefunktion eine achsparallele Werkzeugbewegung ausgeführt.

Man beachte folgendes:

Alternativ zu der Koordinaten-Selbthaltefunktion der für den Bearbeitungsendpunkt des letzten kompensierten Konturelementes angefahrenen Werkzeugmittelpunktskoordinaten findet man bei Steuerungen auch die Selbsthaltefunktion für die programmierten (unkompensierten) Endpunktkoordinaten des letzten Konturelementes. In diesem Fall würde bei G40 ohne weitere Adresse nach dem Anfahren des Konturendpunktes eine Bewegung mit dem Fräsermittelpunkt auf diesen programmierten Endpunkt erfolgen (wobei die Kontur im Endpunkt verletzt wird). Die Programmierung von einer Koordinate ergibt dann i. A. eine nicht-achsparallele Bewegung.

G41/G42 Anwahl der Fräserradiuskorrektur

Mit G41/G42 wird die Fräserradiuskorrektur (FRK) - auch Fräserradiuskompensation genannt - angewählt. Danach wird die zu bearbeitende Werkstückkontur programmiert.

Mit eingeschalteter Fräserradiuskompensation (FRK) verfährt der Werkzeugmittelpunkt auf einer rechts (G42) oder links (G41) von der programmierten Kontur liegenden äquidistanten Bahn.

Die Festlegung der Bearbeitungsseite „links“ oder „rechts“ von der Kontur bezieht sich auf die Relativbewegung des Werkzeugs gegenüber dem Werkstück in der Bearbeitungsebene betrachtet in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden dritten Koordinatenachse (3. Geometrieachse oder Zustellachse).

Bei der Berechnung dieser Abstandskontur werden bei Außenecken Ergänzungskreisbögen zwischen verschobenen benachbarten Konturelementen eingefügt, bei Innenecken werden die beiden verschobenen Konturelemente im Schnittpunkt verkürzt und nur bei tangentialen Konturübergängen werden die programmierten Konturteile lokal bis auf die Vergrößerungen oder Verkleinerungen von Kreisbogenradien in die Abstandskontur übernommen. (vereinfachte Beschreibung)

Diese Abstandskontur wird standardmäßig mit einer Vorausschau auf das nächste Konturelement berechnet. Über einen Steuerungsparameter kann die Vorausschau auf mehrere anschließende Konturelemente erhöht werden, um nicht bearbeitbare Abschnürungen/Flaschenhalse zu erkennen. Die Abstandskontur wird auch als die um den Fräserradius kompensierte Kontur bezeichnet.

G41 Fräserradiuskorrektur links von der Kontur
G42 Fräserradiuskorrektur rechts von der Kontur

G41 / G42 X/XI/XA Y/YI/YA Z/ZI/ZA
G41 / G42 G0 / G1 X/XI/XA Y/YI/YA Z/ZI/ZA
G41 / G42 G10 / G11 RP AP/AI Z/ZI/ZA
G41 / G42 G45 /G46/ G47

Bearbeitungsanfangspunkt oder Bearbeitungsendpunkt bezeichnet.

Die Steuerung verfährt linear unter Berücksichtigung der Koordinaten-Selbsthaltefunktion auf den mit der Fräserradiuskompensation berechneten Bearbeitungsanfangspunkt des ersten programmierten Konturelementes mit dem Startpunkt X, Y bzw. RP, AP/AI, das dann kompensiert abgefahren wird.

Dieser Bearbeitungsanfangspunkt zu dem Anfangspunkt X, Y bzw. RP, AP/AI des ersten kompensiert abzufahrenden Konturelementes kann erst nach der Programmierung dieses Konturelementes angefahren werden (Vorausschau bei der FRK).

Mit den ergänzend möglichen Wegbefehlen G45, G46 oder G47 kann eine tangentiale Anfahrstrategie auf den Bearbeitungsanfangspunkt programmiert werden.

Wird G41 oder G42 allein ohne weiteren Wegbefehl in einem NC-Satz programmiert, so muss G0 oder G1 modal anstehen. Steht G2 oder G3 modal an, führt dies zu einer Fehlermeldung.

Wird G41 oder G42 allein ohne weitere Adresse programmiert, so führt die Selbsthaltefunktion der X- und Y-Koordinaten zu einer Ausgleichsbewegung der Länge gleich Fräserradius auf den mit der Fräserradiuskompensation berechneten Bearbeitungsanfangspunkt des anschließend programmierten ersten Konturelementes, das kompensiert abgefahren wird.

Die programmierte Kontur in der Bearbeitungsebene kann beginnend mit den angegebenen Anwahlbefehlen G41, G42 bis zur Abwahl der FRK mit G40 beliebig aus den Wegbefehlen

G0, G1, G2, G3, G10, G11, G12, G13, G61, G62, G63

zusammengesetzt werden (sofern diese untereinander verträglich sind). Verrundungsradien von Innenecken dürfen dabei nicht kleiner als der Fräserradius sein.

Ein direkter Wechsel von G41 auf G42 und umgekehrt ist nicht erlaubt.

Eine Korrekturwertänderung, ist bei aktivem G41 oder G42 nicht erlaubt.

Nach der Anwahl der Fräserradiuskorrektur dürfen die Werkzeugkorrekturwerte, sei durch Korrekturwertmanipulation (TR, TX, TY, TZ) oder Korrekturwertregisteränderung (TC), **nicht verändert**, das Werkzeug nicht gewechselt und innerhalb der FRK dürfen keine Nullpunktänderungen programmiert werden.

Bei der Anwahl der Fräserradiuskompensation G41 oder G42 zusammen mit G1 oder G11 ist die Programmierung einer Fase oder Verrundung mit RN nicht erlaubt.

Man beachte, dass die Programmierung von G41/G42 ohne eine zusätzliche weitere Wegbedingung stets als implizite Anfahrt die Koordinatenselbthaltefunktion verwendet. Z. B. in G17:

G41/G42 G0/G1 X10 Y10 entspricht G41/G42 ,

wobei bei der Programmierung von G41/G42 G1 die Ausgleichsbewegung im Vorschub und bei G41/G42 G0 im Eilgang durchgeführt wird.

Programmierung der Zustellachse bei der Fräserradiuskompensation

Bei der FRK-Anwahl oder -Abwahl kann optional eine Zustellung Z (Ebene G17) programmiert werden. Die damit programmierte Zustellungsänderung wird linear auf den Anfahr- oder Abfahrweg aufgeteilt, so dass die programmierte Zustellung in dem Bearbeitungsanfangspunkt von G41/G42 bzw. der Abfahrpunktposition von G40 erreicht wird.

Bei eingeschalteter FRK können in dem programmierten Konturverlauf beliebig Zustellungen entweder allein oder kombiniert mit Bewegungen innerhalb der Bearbeitungsebenen programmiert werden.

Wird eine Zustellung allein (ohne Ebenenkoordinaten) innerhalb einer Kontur programmiert, so wird diese am Bearbeitungsendpunkt des kompensierten vorhergehenden Konturelementes vor einem eventuellen FRK-Verrundungskreis bei Außenecken ausgeführt.

Wird eine Veränderung der Zustellung zusammen mit einem Konturelement programmiert, so wird zunächst ein möglicher FRK-Verrundungskreis zum vorhergehenden Konturelement mit dem aktuellen Zustellwert gefahren und dann die programmierte Zustellung auf dem kompensierten Konturelement linear mit der Ebenenbewegung bis zum Erreichen des Bearbeitungsendpunktes dieses Konturelementes (auch im Fall des bei Innenecken verkürzten kompensierten Konturelementes) eingestellt. Eine mögliche FRK Verrundungskreisbewegung zum nächsten Konturelement wird dann wiederum mit dem konstanten Zustellwert des Bearbeitungsendpunktes verfahren.

Sind zwei benachbarte Konturelemente durch eine Verrundung oder Fase miteinander verbunden und wird dabei in einem oder beiden Konturelementen eine Zustellung programmiert, so werden diese beiden Konturelemente wie drei kompensierte Konturelemente

- Erstes Konturelement mit Zustellung
- Verrundung / Fase ohne Zustellung.
- zweites Konturelement mit Zustellung

aufgefasst. Dabei wird die Zustellung des ersten Konturelementes dem ersten und die Zustellung des zweiten dem zweiten Konturelement zugewiesen. Auf der Verrundung oder der Fase bleibt die Zustellung unverändert. Man beachte, dass bei gefasten Außenecken in der kompensierten Kontur zwei Ergänzungskreisbögen eingefügt werden, die dann ebenfalls mit der gleichen Zustellung abgefahren werden.

Programmierhinweis:

Sind zwei programmierte Konturelemente durch eine Verrundung oder Fase miteinander verbunden, so wird eine programmierte Zustellung des ersten Konturelementes bereits auf dem Anfangspunkt der Verrundung oder Fase erreicht und die Verrundung oder Fase mit konstanter Zustellung abgefahren. Eine Zustellbewegung des zweiten Konturelementes beginnt am Endpunkt der Verrundung oder Fase oder Verrundung.

Anfahr- und Abfahrstrategien von Werkzeugen an die Kontur

Mit G45 bis G47 können spezielle Anfahrbedingungen an den Startpunkt von Bearbeitungskonturen oder Abfahrbedingungen von der Kontur programmiert werden, die jeweils mit Fräser-radiuskompensation abgefahren werden.

Wird bei einer Anfahrt **kein Startpunkt** programmiert, so wird die aktuelle Werkzeugposition als Startpunkt verwendet und die kompensierte Anfahrbewegung **nicht** ausgeführt. Damit steht das Werkzeug unkompensiert im Startpunkt und verletzt beim Einschalten der Radiuskompensation eine dort beginnende Kontur.

Mit dem ersten Kontursatz fährt das Werkzeug dann vom Startpunkt auf die berechnete kompensierte Startpunktposition der Anfahrbewegung.

Nach der kompensierten Abfahrt von der Kontur wird ein programmierter Endpunkt unkompensiert angefahren.

Die Bearbeitungskontur wird als Anfahrbedingung im Kontur-Startpunkt um

G45 - eine tangential anschließende Anfahrstrecke der Länge DL

G46 - einen tangential anschließenden Anfahrviertelkreis mit Radius RR

G47 - einen tangential anschließenden Anfahrhalbkreis mit Radius RR

und als Abfahrbedingung im Endpunkt der programmierten Kontur um

G45 - eine tangential anschließende Abfahrstrecke der Länge DL

G46 - einen tangential anschließenden Anfahrviertelkreis mit Radius RR

G47 - einen tangential anschließenden Anfahrhalbkreis mit Radius RR

ergänzt.

Diese An- und Abfahrwege werden über die volle Länge mit Kompensation abgefahren. Die Entscheidung, ob An- oder Abfahrt erfolgt über den zusammen mit G45 oder G46 oder G47 bei der Anfahrt mit zu programmierenden Befehl G41 oder G42 und mit G40 bei der Abfahrt. Bei den Kreisbögen legt die Kompensationsseite auch die Kreisbogenorientierung fest: Bei G41 Kreisbögen entgegen dem Uhrzeigersinn und bei G42 im Uhrzeigersinn.

Eine kompensierter Anfahrweg wird bei G45, G46 oder G47 zusammen mit G41 oder G42 nur dann vor dem ebenfalls mit G45, G46 oder G47 programmierten Konturstartpunkt in die Kontur eingefügt, wenn in dem Satz davor G40 selbthaltend/modal aktiv war.

War die mit G45, G46 oder G47 programmierte Kompensation G41 oder G42 bereits davor eingeschaltet, findet nur eine Bewegung auf den programmierten Startpunkt statt und das Einfügen eines Anfahrweges entfällt (Ein Wechsel zwischen den Kompensationsseiten G41 und G42 führt dabei zu einer Fehlermeldung).

Wenn mit G41/G42 kombiniert mit G45, G46 oder G47 eine Anfahrbedingung programmiert wird, so wird mit den Koordinaten X, Y, Z ein Konturstartpunkt in X,Y und eine Zustellung in Z festgelegt. Mit der Programmierung des ersten Konturelementes kann die Steuerung in der XY-Ebene den kompensierten Startpunkt der Anfahrbewegung als Zustellpunkt berechnen und das Werkzeug in der XY-Ebene auf den Zustellpunkt verfahren. Die Anfahrt auf diesen Zustellpunkt in der Ebene erfolgt im Eilgang, wenn dieser modal wirksam ist und andernfalls im Arbeitsgang.

Am Zustellpunkt wird dann im Eilgang auf die optionale Zustell-Koordinate der Sicherheitsebene WV zugestellt. Danach findet eine Verzweigung nach der Steueradresse O statt:

O0: Bei vertikaler Zustellung wird im Vorschub E auf den Z-Wert zugestellt.

Anschließend wird der Konturstartpunkt mit Kompensation und Vorschub F auf einer Strecke der Länge DL oder einem Viertelkreis oder einem Halbkreis mit Radius RR tangential angefahren.

Nach der Zustellung wird der Konturstartpunkt mit Kompensation und Vorschub F auf einer Strecke der Länge DL oder einem Viertelkreis oder einem Halbkreis mit Radius RR tangential an- oder abgefahren.

- O1: In diesem Fall wird die Zustellung auf den Z-Wert **zusammen** mit der tangentialen linearen oder kreisförmigen Anfahrbewegung im Vorschub E als 3D-Bewegung auf den Konturstartpunkt ausgeführt (helikale Bewegung bei Kreisbögen in XY).

Wenn G40 als Abfahrbedingung programmiert wird, wird nach dem Konturendpunkt eine lineare oder kreisbogenförmige tangentiale Abfahrbewegung im Vorschub F in den Alternativen O0 oder O1 ausgeführt.

- O0: Unter Beibehaltung der aktuellen Zustellung der Kontur fährt das Werkzeug mit Kompensation vom Konturendpunkt auf einer tangential abgehenden Strecke der Länge DL oder einem Viertelkreis oder einem Halbkreis mit Radius RR weiter. Von dort erfolgt eine Bewegung auf die optional mit Z programmierte Rückzugsposition.

- O1: In diesem Fall wird die optionale Rückzugsbewegung auf Z **zusammen** mit der tangentialen linearen bzw. kreisförmigen kompensierten Abfahrbewegung im Vorschub F als 3D-Bewegung ausgeführt (helikale Bewegung bei Kreisbögen in XY).

Danach wird in beiden Fällen O0/O1 im Eilgang die mit WV optional programmierte Rückzugsebene in der Zustellachse angefahren und die Kompensation ausgeschaltet.

Danach wird der programmierte Endpunkt in X und Y angefahren.

An- und Abfahrbedingungen sind in Konturen von Zyklen nicht zulässig.

Die neuen PAL-Befehle G45 und G46 ersetzen die alten Befehle G45, G46, G47 und G48 der tangentialen An- und Abfahrt mit einer Strecke oder einem Viertelkreis von PAL 2007 und werden mit G47 somit auf die halbkreisförmige tangentiale An- und Abfahrt erweitert.

G45 Lineares tangenciales An-/Abfahren einer Kontur

Die Anfahrt auf den Konturstartpunkt und die Abfahrt von der Kontur erfolgt auf einer kompensiert abgefahrenen Strecke der Länge DL.

G40/G41/G42 G45 DL *X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI WV O F E S M*

DL Länge der tangentialen An-/Abfahrbewegung

Optional:

X /XI /XA	X-Koordinaten des Konturstartpunkts bzw. Freifahrpunkts (1. Geometrieachse G17)
X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
XA	absolute Koordinate im Werkstückkoordinatensystem
Y /YI /YA	Y-Koordinaten des Konturstartpunkts bzw. Freifahrpunkts (2. Geometrieachse G17)
Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
YA	absolute Koordinate im Werkstückkoordinatensystem
Z /ZI /ZA	Z-Koordinaten des Konturstartpunkts bzw. Freifahrpunkts (3. Geometrieachse G17)
Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA	absolute Koordinate im Werkstückkoordinatensystem
WV	Absolutwert in der Zustellachse, Sicherheitsebenenhöhe bei G41/G42 und Rückzugsebenenhöhe bei G40
O	[0] Zustellbewegung nach der horizontalen Anfahrt des Zustellpunktes in X, Y und der vertikalen Zustellung auf die Sicherheitsebene im Eilgang: O0 Vertikale Zustellbewegung in Z im Bearbeitungsstartpunkt O1 Vertikale Zustellung um WV gefolgt von einer 3D-Zustellung vom Bearbeitungsstartpunkt auf den Konturstartpunkt (Helix bei G46, G47)
F	Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E	[F] Eintauchvorschub
S	Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M	Zusatzfunktion

Mit den Koordinaten X, Y, Z wird bei der Anfahrt mit G41 oder G42 der Startpunkt der Kontur und bei der Abfahrt mit G40 ein Freifahrpunkt nach der kompensierten Abfahrbewegung programmiert.

G46 Tangentiales An-/Abfahren an eine Kontur in einem Viertelkreis

Die Anfahrt auf den Konturstartpunkt und die Abfahrt von der Kontur erfolgt auf einem kompensiert abgefahrenen Viertelkreis mit Radius RR.

G40/G41/G42 G46 RR *X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI WV O F E S M*

RR Radius des Viertelkreises bezogen auf den Fräsermittelpunkt

Optional:

X /XI /XA	X-Koordinaten des Konturstartpunkts bzw. Freifahrpunkts (1. Geometrieachse G17)
X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
XA	absolute Koordinate im Werkstückkoordinatensystem
Y /YI /YA	Y-Koordinaten des Konturstartpunkts bzw. Freifahrpunkts (2. Geometrieachse G17)
Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
YA	absolute Koordinate im Werkstückkoordinatensystem
Z /ZI /ZA	Z-Koordinaten des Konturstartpunkts bzw. Freifahrpunkts (3. Geometrieachse G17)
Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA	absolute Koordinate im Werkstückkoordinatensystem
WV	Absolutwert in der Zustellachse, Sicherheitsebenenhöhe bei G41/G42 und Rückzugsebenenhöhe bei G40
O	[0] Zustellbewegung nach der horizontalen Anfahrt des Zustellpunktes in X, Y und der vertikalen Zustellung auf die Sicherheitsebene im Eilgang: O0 Vertikale Zustellbewegung in Z im Bearbeitungsstartpunkt O1 Vertikale Zustellung um WV gefolgt von einer 3D-Zustellung vom Bearbeitungsstartpunkt auf den Konturstartpunkt (Helix bei G46, G47)
F	Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E	[F] Eintauchvorschub
S	Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M	Zusatzfunktion

Mit den Koordinaten X, Y, Z wird bei der Anfahrt mit G41 oder G42 der Startpunkt der Kontur und bei der Abfahrt mit G40 ein Freifahrpunkt nach der kompensierten Abfahrbewegung programmiert.

G47 Tangentiales An-/Abfahren an eine Kontur in einem Halbkreis

Die Anfahrt auf den Konturstartpunkt und die Abfahrt von der Kontur erfolgt auf einem kompensiert abgefahrenen Halbkreis mit Radius RR.

G40/G41/G42 G47 RR *X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI WV O F E S M*

RR Radius des Anfahr-Halbkreises bezogen auf den Fräsermittelpunkt

Optional:

X /XI /XA	X-Koordinaten des Konturstartpunkts bzw. Freifahrpunkts (1. Geometrieachse G17)
X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
XA	absolute Koordinate im Werkstückkoordinatensystem
Y /YI /YA	Y-Koordinaten des Konturstartpunkts bzw. Freifahrpunkts (2. Geometrieachse G17)
Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
YA	absolute Koordinate im Werkstückkoordinatensystem
Z /ZI /ZA	Z-Koordinaten des Konturstartpunkts bzw. Freifahrpunkts (3. Geometrieachse G17)
Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA	absolute Koordinate im Werkstückkoordinatensystem
WV	Absolutwert in der Zustellachse, Sicherheitsebenenhöhe bei G41/G42 und Rückzugsebenenhöhe bei G40
O [0]	Zustellbewegung nach der horizontalen Anfahrt des Zustellpunktes in X, Y und der vertikalen Zustellung auf die Sicherheitsebene im Eilgang: O0 Vertikale Zustellbewegung in Z im Bearbeitungsstartpunkt O1 Vertikale Zustellung um WV gefolgt von einer 3D-Zustellung vom Bearbeitungsstartpunkt auf den Konturstartpunkt (Helix bei G46, G47)
F	Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E [F]	Eintauchvorschub
S	Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M	Zusatzfunktion

Mit den Koordinaten X, Y, Z wird bei der Anfahrt mit G41 oder G42 der Startpunkt der Kontur und bei der Abfahrt mit G40 ein Freifahrpunkt nach der kompensierten Abfahrbewegung programmiert.

G48 Gravier- / Beschriftungszyklus

Mit dem Befehl G48 können beliebige Texte kombiniert mit den Zahlenausgaben von Parameterwerten in einer Fräsbearbeitungsebene in ein vorgebbares und optional um den Setzpunkt gedrehtes Ausgabefeld graviert/gefräst werden. Die Skalierung der Texte erfolgt automatisch so, dass diese einzeilig und mittig in das Textfeld passen.

G48 LT BT HT DG V W XA/XI YA/YI ZA/ZI AR EP F E S M

LT Die Text-Adresse LT hat als Adresswert einen zwischen zwei Hochkommata stehenden Text mit Sonderzeichen und Parameteradressen (siehe unten)

HT Texthöhe

BT Textbreite

DG Tiefe der Gravur von der Materialoberfläche aus

V Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche

Optional:

W [V] Rückzugsebene

XA/XI Setzpunktcoordinate der Gravieroberfläche,

[XI0] G17: Setzpunkt in der 1. Geometrieachse X

YA/YI Setzpunktcoordinate der Gravieroberfläche,

[YI0] G17: Setzpunkt in der 2. Geometrieachse Y

ZA/ZI Setzpunktcoordinate der Gravieroberfläche

[ZI=-V] G17, Setzpunkt in der 3. Geometrieachse/Zustellachse

Voreinstellungswertregelung: Die erste und zweite Geometrieachse der aktuellen Werkzeugposition legen den Setzpunkt fest (inkrementelle Werte null) und die aktuelle Werkzeugposition in der dritten Geometrieachse legt die Sicherheitsebene fest, die dann um -V auf die Gravieroberfläche verschoben wird.

AR [0] Drehung des Textes um den Winkel AR um den Setzpunkt

EP [3] Setzpunkt des Gesamtschriftzuges am Hüllrechteck BTxHT des Textfeldes

EP0 mittig links

EP1 mittig mitte

EP2 mittig rechts

EP3 unten links

EP4 unten mitte

EP5 unten rechts

EP6 oben links

EP7 oben mitte

EP8 oben rechts

F [F] Vorschub beim Fräsen in der Ebene

E [F] Tauchvorschub

S [S] Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit

M [M] Drehrichtung

Erläuterung der Text-Adresse LT, der Parameterwertausgaben und deren Formate

Der Text der Adresse LT besteht aus ASCII-Zeichen (einschließlich Leerzeichen) und darin enthaltenen Erweiterungskommandos. Alle Zeichen und die Leerstellen haben die gleiche Breite. Der Text wird durch doppelte Anführungszeichen eingerahmt. Da die doppelten Anführungszeichen den Beginn und das Ende des Textes markieren, dürfen doppelte Anführungszeichen innerhalb des Textes nicht verwendet werden.

Die Parameterwertausgaben stehen im Text in „spitzen Klammern“ gebildet aus den beiden Zeichen „kleiner als“ und „größer als“ und stehen als Platzhalter für spezielle Texte. So können mit den Erweiterungskommandos z. B. die aktuelle Uhrzeit oder das aktuelle Datum sowie Zahlen formatiert in den Text eingefügt werden.

Ausgabe des Datums und der Uhrzeit

Für die Ausgabe des Datums stehen folgende Erweiterungskommandos zur Verfügung:

<DD>	gibt den Tag als Zahl mit führender 0 aus (01 bis 31)
<MM>	gibt den Monat als Zahl mit führender 0 aus (01 bis 12)
<YY>	gibt das Jahr als zweistellige Zahl mit führender Null aus (00 bis 99)
<YYYY>	gibt das Jahr als vierstellige Zahl aus
<TIME24>	gibt Uhrzeit als 24-Stundenangabe aus.

Formatierte Zahlenausgabe:

In den spitzen Klammern stehen das Ausgabeformat gefolgt von dem Parameter P mit seinem Adresswert oder ein Systemparameternamen. Das Format und der Parameter werden durch ein Komma getrennt.

<Format,Parameter>

Ausgabeformat:

Das Format besteht aus einer Folge von #-Zeichen, die zwischen zwei #-Zeichen durch einen Punkt getrennt wird, oder einer ,#-Zeichenfolge, die mit einem Punkt endet, oder einer #-Zeichenfolge ohne abschließenden Punkt.

<####.###, P100> <#####., P100>, <###, P100>

Die Zahl der #-Zeichen vor dem Dezimalpunkt legt die reservierte minimale Vorkomma-Stellenzahl (vor dem Dezimalpunkt) fest, zu der noch eine freigehaltene Anzeigestelle für das mögliche Vorzeichen hinzukommt.

Dabei gelten die folgenden Regeln:

Endet das Format mit einem Punkt, wird der Parameterwert auf einen ganzzahligen Wert gerundet und mit Dezimalpunkt ausgegeben. Fehlt dieser Dezimalpunkt am Ende des Formates, so wird kein Dezimalpunkt ausgegeben.

Hat der auszugebende Parameterwert weniger Stellen vor dem Komma, werden zusätzlich Leerstellen oder wie nachstehend beschrieben führende Nullen ausgegeben, so dass die minimale Vorkomma-Stellenzahl erreicht wird.

Hat der Parameterwert mehr Stellen vor dem Komma, so wird die Stellenzahl automatisch erhöht, so dass der Zahlenwert mit allen Vorkomma-Stellen und dem optionalen Vorzeichen vor dem Komma ausgegeben werden kann.

Mit nur einem #-Zeichen vor dem Dezimalpunkt werden also stets alle Stellen eines Parameterwertes und eine Null bei einem Absolutwert kleiner als eins mit einem optionalen Vorzeichen vor dem Dezimalpunkt ausgegeben.

Negative Parameterwerte werden prinzipiell mit einem Minuszeichen ausgegeben.

Die Zahl der #-Zeichen nach dem Dezimalpunkt legt die Nachkomma-Stellenzahl (nach dem Dezimalpunkt) fest.

Hat ein Parameterwert mehr Nachkommastellen, wird dieser auf die vorgegebene Stellenzahl gerundet.

Endet die #-Zeichenfolge mit einem Punkt, wird der Parameterwert auf einen ganzzahligen Wert gerundet und mit Dezimalpunkt ausgegeben. Fehlt dieser Dezimalpunkt am Ende der #-Zeichenfolge, so wird kein Dezimalpunkt ausgegeben.

Die letzte ausgegebene Stelle wird prinzipiell aus dem Parameterwert mathematisch gerundet.

Der #-Zeichenfolge der Vorkommastellen können zwei Zeichen zur Ausgabesteuerung vorangestellt werden.

Erstens die Ziffer Null „0“ als Formatauffüll-Ziffer statt Leerzeichen und zweitens das Vorzeichen plus „+“ zur Ausgabe eines positiven Vorzeichens.

<0#####.##> <+#####.##> <+0#####.##>

Beginnt die #-Zeichenfolge oder 0#-Zeichenfolge mit einem Pluszeichen, werden auch positive Parameterwerte mit dem vorangestellten Pluszeichen graviert.

Mit der Ziffer Null (vor dem ersten #-Zeichen) wird festgelegt, dass zum Erreichen der minimalen Stellenzahl vor dem Dezimalpunkt die Ausgabe zwischen dem optionalen Vorzeichen und der ersten Ziffer mit Nullen aufgefüllt wird. Ohne die Ziffer Null wird zum Erreichen der minimalen Stellenzahl die Ausgabe vor dem optionalen Vorzeichen durch Leerstellen aufgefüllt.

G49 Konturfräsen (Beschreibung für G17)

Mit dem Zyklus G49 wird der Konturfräszyklus aufgerufen. Mit den Zyklusadressen werden die An- und Abfahrbedingungen an die Kontur sowie die Bearbeitungstechnologie mit den vertikalen und horizontalen Zustellungen und die Aufmaße festgelegt. Die anschließend an G49 programmierte Kontur beginnt mit einem G0- oder G1-Satz und wird mit G80 abgeschlossen. Der Zyklus G49 **darf nur bei modal aktivem G40 aufgerufen werden**. Mit der Beendigung des Zyklus wird auf G40 zurückgeschaltet.

G49 G40/G41/G42 ZA|ZI ZM D V **ZB OA BA OE BE W H DS DE F E S M**
AK AL RA VA DF EC FF SF

G		G41/G42/G40 Radiuskompensationsanwahl/-abwahl
ZA ZI		Tiefe der Bahn
ZM		Materialoberfläche absolut
D		maximale Zustelltiefe, Zustelltiefenfolge mit DE und DS
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche
<i>Optional:</i>		Geometriefestlegung:
G	[40]	Fräserradiuskompensation G40 ohne Kompensation G41 Kompensation links G42 Kompensation rechts
ZB		Oberkante der Materialbearbeitung absolut, wenn von der Materialoberfläche verschieden, ZB < ZM (Anwendung bei Hinterschneidungen und Bearbeitung mit Scheiben-, Schlitz oder T-Nutfräsern)
OA	[46]	Anfahrbedingung an die Kontur (siehe auch G45/46/47) OA45 lineare tangentielle Anfahrt mit Länge BA (auch bei G40 zulässig) OA46 tangentielle Anfahrt im Viertelkreis mit Radius BA (nur bei G41/G42) OA47 tangentielle Anfahrt im Halbkreis mit Radius BA (nur bei G41/G42)
BA	[5]	Länge der tangentialen Anfahrt oder Radius des Anfahrkreisbogens
OE	[46]	Abfahrbedingung von der Kontur (siehe auch G45/46/47) OE45 lineare tangentielle Abfahrt mit Länge BE (auch bei G40 zulässig) OE46 tangentielle Abfahrt im Viertelkreis mit Radius BE (nur bei G41/G42) OE47 tangentielle Abfahrt im Halbkreis mit Radius BE (nur bei G41/G42)
BE	[5]	Länge der tangentialen Abfahrt oder Radius des Abfahrkreisbogens
		Steueradressen des Zyklus-Ablaufs:
W		Höhe der Rückzugsebene absolut
H	[1]	Bearbeitungsart H1 Schruppen H4 Schlichten H14 Schruppen und Schlichten
		Schrupp-Technologie: D und
DS	[0]	Startzustellung
DE	[0]	Endzustellung
F		Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E	[F]	Zustellvorschub
S		Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktion
		Schlicht-Technologie:
AK	[0]	Aufmaß auf die Kontur (nur bei G41/G42)
AL	[0]	Aufmaß auf den Boden und dem optionalen oberen Rand bei Hinterschneidungen mit ZB < ZM
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierungen von AK um $AK \cdot RA / 100$ pro Zustellung ausgehend von der letzten Zustellung mit vollem Aufmaß AK in aufsteigender Zustellreihenfolge bis zur ersten Zustellung.

VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung für das Schlichten von Rand und Boden
DF	[D]	maximale Zustelltiefe Schlichten, für DF0 und ohne Hinterschneidung wird der Rand mit einer Zustellung in voller Höhe geschichtet
EC	[0]	Zahl der Leerschnitte
FF	[F]	Vorschub Schlichten
SF	[S]	Drehzahl Schlichten/Schlicht-Schnittgeschwindigkeit

Programmierhinweise:

Das Fasen der Kontur kann durch einen erneuten Zyklusaufwurf realisiert werden.

G50 Aufheben von inkrementellen Nullpunkt-Verschiebungen und Drehungen

Mit dem Befehl G50 werden **alle inkrementellen Transformationen** bestehend aus den inkrementellen Nullpunktverschiebungen und den inkrementellen Drehungen sowie **Spiegelungen** wieder aufgehoben (Skalierungen bleiben jedoch erhalten).

Anschließend gilt wieder das zuletzt mit einem der Befehle G54 bis G57 festgelegte Werkstückkoordinatensystem.

G50

Programmierhinweis:

Der Befehl G50 muss allein in einem NC-Satz stehen.

G51 Einstellbare Nullpunkte setzen

Mit dem Befehl G51 ist es möglich, z. B. gemessene Koordinatenwerte als Einstellbare Nullpunkte zu übernehmen.

G51 Q *XA/XI YA/YI ZA/ZI*

Q Nummer des einstellbaren Nullpunktes (54-57)

Optional:

XA/XI	[XI0]	absolute/inkrementelle Koordinate in X
YA/YI	[YI0]	absolute/inkrementelle Koordinate in Y
ZA/ZI	[ZI0]	absolute/inkrementelle Koordinate in Z

Q muss als eine Zahl der vier Zahlen 54, 55, 56 und 57 programmiert werden.

Die absoluten Koordinatenwerte überschreiben den aktuellen Eintrag des Nullpunktregisters. Die inkrementellen Eingaben werden zu dem aktuellen Wert des Nullpunktregisters addiert.

Der Befehl G51 muss allein in einem NC-Satz stehen.

G52 Satzweise Anwahl des Maschinenkoordinatensystems

Mit dem Befehl G52 werden die **aktive einstellbare Nullpunktverschiebung** und **alle inkrementellen Nullpunktverschiebungen** der Linearachsen sowie die **Spiegelungen und Skalierungen** in **nur in diesem G52-NC-Satz** aufgehoben. G52 aktiviert folglich das Maschinenkoordinatensystem nur in diesem G52-NC-Satz.

G52 *G0/1 XA/XI YA/YI ZA/ZI*

Programmierhinweise:

Zusammen mit G52 können in einem NC-Satz ein weiterer G-Befehl G0/1/ und die linearen Achskoordinaten X, Y, Z sowie die vorhandenen Rundachsen programmiert werden.

Die Programmierung eines G52 ohne weitere NC-Achskoordinate macht keinen Sinn.

Die Radiuskompensation muss vor G52 abgewählt werden.

G53 Anwahl des Maschinenkoordinatensystems

Mit dem Befehl G53 werden die **aktive einstellbare Nullpunktverschiebung** und **alle inkrementellen Transformationen** bestehend aus den Nullpunktverschiebungen und den Drehungen sowie die **Spiegelungen und Skalierungen** wieder aufgehoben

Dies macht für nachfolgende Bearbeitungen im Werkstückkoordinatensystem eine erneute Programmierung einer absoluten Nullpunktverschiebung G54 bis G57 erforderlich.

G53 aktiviert das Maschinenkoordinatensystem.

G53

Programmierhinweis:

Der Befehl G53 muss allein in einem NC-Satz stehen.

G54 - G57 Einstellbare absolute Nullpunkte

Mit den Befehlen G54 bis G57 wird ein Werkstücknullpunkt mit den Koordinaten X, Y und Z im Maschinenkoordinatensystem bezogen auf den Maschinennullpunkt ausgewählt. Insgesamt können 4 verschiedene Nullpunkte G54 – G57 definiert und in der Steuerung gespeichert werden.

Diese Nullpunktverschiebungen bezeichnet man deshalb als einstellbare Nullpunkte. Die Achswerte der von der Steuerung einzustellenden Nullpunkte müssen vor dem Programmstart in die Nullpunktregister der Steuerung eingegeben oder können vom NC-Programm aus auch mit G51 gesetzt werden.

Mit der Programmierung eines einstellbaren Nullpunktes werden vor der Ausführung die programmierbaren inkrementellen Verschiebungen und Drehungen des Werkstückkoordinatensystems G58 und G59 sowie die Spiegelungen G66 und die Skalierung G67 aufgehoben.

G54 oder G55 oder G56 oder G57

Programmierhinweise:

Ohne Anwahl eines Einstellbaren Nullpunktes verfährt die Steuerung im Maschinenkoordinatensystem.

Mit der Anwahl eines Nullpunktes wird ein Werkstückkoordinatensystem bezüglich eines Werkstückes festgelegt.

Um bei komplexen oder sich wiederholenden Konturen die Programmierung zu erleichtern, können bis zu 4 verschiedene Werkstücknullpunkte (G54, G55, G56 und G57) definiert werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Die Belegung der Nullpunktregister für X, Y und Z erfolgt z. B. beim Einrichten durch Ankratzen und Eingabe der bei G17 in X, Y bzw. in Z um den Werkzeugradius korrigierten Werkzeugposition in ein Nullpunktregister.

Bei der PAL-Steuerung werden der oder die Werkstücknullpunkte im Einrichtblatt eingetragen und können von da von der PAL-Steuerung in die Nullpunktregister übernommen werden, so dass sie dann für die Programmierung zur Verfügung stehen.

Die Koordinatenangaben für den jeweiligen Nullpunkt sind immer absolut und immer auf den Maschinennullpunkt bezogen, auch wenn in einem Programm mehrere Nullpunkte gesetzt werden.

Allgemeiner Hinweis zum Einrichten der PAL-Maschinen:

Im Hinblick auf eine Austauschbarkeit der PAL2007-Programme zwischen unterschiedlichen Maschinen werden die Koordinaten eines Werkstückbezugspunktes im Zentrum des Werkstückbodens im Einrichtkoordinatensystem als Werkstückposition angegeben. Das Einrichtkoordinatensystem ist ein mit dem Ursprung in das Zentrum der Maschinentischoberfläche verschobenes Maschinenkoordinatensystem (siehe Einrichten Werkstück).

Die Verwendung des Werkstückbezugspunktes an Stelle des Maschinennullpunkts als Bezugspunkt für eine werkstückbezogene Angabe der einstellbaren Nullpunkte im Einrichtblatt macht dieses weitgehend unabhängig von den Maschinenabmessungen (Maschinentischgröße, und der Positionierung des Werkstücks auf dem Maschinentisch). Die Nullpunktregisterwerte X, Y, Z der einstellbaren Nullpunkte in den jeweiligen Maschinenkoordinaten ergeben sich dann durch Addition der Koordinaten der Verschiebung vom Maschinenkoordinatensystem in das Einrichtkoordinatensystem und der weiteren Verschiebung in den Werkstückbezugspunkt zu den werkstückbezogenen Einstellbaren Werkstücknullpunktkoordinaten.

Beim Erzeugen eines Einrichtblattes zu einer eingerichteten Maschine werden die aktuellen Nullpunktregisterwerte der Steuerung, die entweder berechnet oder durch Antasten des Werkstückes ermittelt wurden, entsprechend verschoben in das Einrichtblatt eingetragen.

G58 Inkrementelle Nullpunkt-Verschiebung in Polarkoordinaten und Drehung

Die Nullpunktverschiebung G58 besteht aus einem Verschiebungsanteil in Polarkoordinaten in der ersten und zweiten Geometrieachse, einer optionalen Verschiebung in der dritten Geometrieachse als Zustellachse und in einer Drehung um die Zustellachse. Die Verschiebung in den ersten beiden Geometrieachs-Koordinaten X, Y erfolgt mit Polarkoordinaten RP, AP und in der G17-Zustellachse Z durch eine optionale Verschiebung ZA/ZI. Die an die Verschiebung anschließende optionale Drehung um die G17-Zustellachse Z wird mit WA/WI programmiert. Im Fall der Bearbeitungsebene IPO der direkten Achsprogrammierung können auch die Nullpunkte aller vorhandenen Dreh- oder Schwenkachsen A oder B oder C der Maschine verändert werden.

Alle Koordinatenangaben im nachfolgenden Programmverlauf beziehen sich solange auf das verschobene und/oder gedrehte Koordinatensystem, bis dieses mit G50 aufgehoben oder mit einem weiteren G58-oder G59-Befehl überschrieben oder ein anderer Einstellbarer Nullpunkt programmiert wird.

G58 RP AP ZA/ZI WA/WI AA/AI BA/BI CA/CI

RP Polarradius
AP Polarwinkel bezogen auf die positive erste Geometrieachse des aktuellen Koordinatensystems.
Der Pol ist der aktuelle Werkstücknullpunkt.

Optional:

ZA/ZI absolute/inkrementelle Z-Koordinate der Nullpunktverschiebung (G17)
WA/WI absolute/inkrementelle Drehung des Koordinatensystems um die Zustellachse der Bearbeitungsebene
AA/AI absolute/inkrementelle Verschiebung des A-Achs-Nullpunktes
BA/BI absolute/inkrementelle Verschiebung des B-Achs-Nullpunktes
CA/CI absolute/inkrementelle Verschiebung des C-Achs-Nullpunktes

Programmierhinweise:

Die Programmierung der Winkelverschiebungen AA/AI oder BA/BI oder CA/CI ist nur unter den folgenden Voraussetzungen programmierbar:

Die aktive Bearbeitungsebene ist die freie Achsprogrammierung mit IPO.

Die programmierte Drehachse ist auch an der Maschine vorhanden.

Es sind absolute und inkrementelle Koordinaten **gemischt** programmierbar.

Ein absoluter Koordinatenwert ZA oder absoluter Winkelwert WA bezieht sich auf das Koordinatensystem des aktiven Einstellbaren Nullpunkts.

Ein inkrementeller Koordinatenwert ZI oder inkrementeller Winkelwert WI bezieht sich auf das aktuelle Werkstückkoordinatensystem.

Nach der Verschiebung wird das verschobene Werkstückkoordinatensystem optional um den Winkel WA/WI um die Zustellachse gedreht. Die **Winkelangaben** beziehen sich auf die positive erste Geometrieachse.

Wichtige Hinweise:

Der Befehl G58 muss allein in einem NC-Satz stehen.

Eine aktive Spiegelung wird vor der Verschiebung aufgehoben, wenn eine der absoluten Eingabeadressen XA, YA oder ZA programmiert ist.

Alle Drehungen werden aufgehoben, wenn mit G15 eine Fräsbearbeitungsebene programmiert wird.

G59 Absolute/inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung

Mit dem Befehl G59 wird mit optionalen Verschiebungsadressen ein Punkt in den Werkstückkoordinaten Z, X, Y des aktuellen Werkstückkoordinatensystems als neuer Werkstücknullpunkt festgelegt und danach das neue Werkstückkoordinatensystem optional um die Zustellachse gedreht.

Fall der Bearbeitungsebene IP0 der direkten Achsprogrammierung können auch die Nullpunkte aller vorhandenen Dreh- oder Schwenkachsen A oder B oder C der Maschine verändert werden.

Alle Koordinatenangaben im nachfolgenden Programmverlauf beziehen sich solange auf das verschobene und/oder gedrehte Koordinatensystem, bis dieses aufgehoben oder mit einem weiteren G59-Befehl überschrieben oder ein anderer Nullpunkt programmiert wird.

G59 *XA/XI YA/YI ZA/ZI WA/WI AA/AI BA/BI CA/CI*

Optional:

<i>XA/XI</i>	absolute/inkrementelle X-Koordinate der Nullpunktverschiebung
<i>YA/YI</i>	absolute/inkrementelle Y-Koordinate der Nullpunktverschiebung
<i>ZA/ZI</i>	absolute/inkrementelle Z-Koordinate der Nullpunktverschiebung
<i>WA/WI</i>	absolute/inkrementelle Drehung des Koordinatensystems um die Zustellachse der Bearbeitungsebene
<i>AA/AI</i>	absolute/inkrementelle Verschiebung des A-Achs-Nullpunktes
<i>BA/BI</i>	absolute/inkrementelle Verschiebung des B-Achs-Nullpunktes
<i>CA/CI</i>	absolute/inkrementelle Verschiebung des C-Achs-Nullpunktes
	Vorgabewerte: XI0, YI0, ZI0, WI0 AI0, BI0, CI0 (aktuelle Achswerte)

Programmierhinweise:

Ein absoluter Koordinatenwert XA, YA, ZA oder absoluter Winkelwert WA mit dem Endbuchstaben „A“ bezieht sich auf das Koordinatensystem des aktiven Einstellbaren Nullpunkts.

Ein inkrementeller Koordinatenwert XI, YI, ZI oder inkrementeller Winkelwert WI mit dem Endbuchstaben „I“ bezieht sich auf das aktuelle Werkstückkoordinatensystems.

Man beachte, dass XA, YA, ZA in G59 nicht die selbsthaltenden/modalen Adressen des aktuellen Werkstückkoordinatensystems sondern Verschiebungen für Achskoordinaten des Koordinatensystems des aktuellen Einstellbaren Nullpunkts sind und XI, YI, ZI, keine inkrementellen Adressen zur aktuellen Werkzeugposition sondern Verschiebungen im aktuellen Werkstückkoordinatensystem sind.

Man beachte weiter, dass AA, BA, CA in G59 nicht die selbsthaltenden/modalen Rundachswerte bezogen auf den aktuellen Rundachsnullpunkt sind, sondern absolute Rundachswerte bezogen auf die Rundachs-Referenzwerte sind.

Entsprechend sind AI, BI, CI keine inkrementellen Adressen zu den aktuellen Rundachspositionen, sondern Rundachskoordinaten bezogen auf die aktuellen Rundachsnullpunkte.

Die Programmierung der Winkelverschiebungen AA/AI oder BA/BI oder CA/CI ist nur unter den folgenden Voraussetzungen programmierbar:

Die aktive Bearbeitungsebene ist die freie Achsprogrammierung mit IP0.

Die programmierte Drehachse ist auch an der Maschine vorhanden.

Es sind absolute und inkrementelle Koordinaten **gemischt** programmierbar.

Die gemischte Programmierung ist aber nicht sinnvoll, wenn das aktuelle Werkstückkoordinatensystem gegenüber dem Maschinenkoordinatensystem um $\pm 90^\circ$ gedreht ist, da dann eine inkrementelle Verschiebung in der einen Geometrieachsrichtung mit der positiven oder negativen anderen Geometrieachsrichtung übereinstimmt.

Nach der Verschiebung wird das verschobene Werkstückkoordinatensystem optional um den Winkel WA/WI um die Zustellachse gedreht. Die Winkelangaben beziehen sich auf die positive erste Geometrieachse.

Der Befehl G59 muss allein in einem NC-Satz stehen.

Eine aktive Spiegelung wird vor der Verschiebung aufgehoben, wenn eine der absoluten Eingabeadressen XA, YA, ZA programmiert ist.

Alle Drehungen werden aufgehoben, wenn mit G15 eine neue Fräsbearbeitungsebene programmiert wird.

Wichtiger Hinweis:

Da bei einem gedrehten ($\neq 0^\circ$, $\neq 180^\circ$) aktuellen Werkstückkoordinatensystem die Verschiebung des Werkstücknullpunkts in der Bearbeitungsebene mit einer absoluten und einer inkrementellen Bearbeitungsebenenkoordinate von der Reihenfolge dieser beiden Verschiebungen abhängt, wird für G59 eine Reihenfolge festgelegt:

Es werden stets zuerst die inkrementellen Koordinatenverschiebungen – falls vorhanden – ausgeführt und daran anschließend die absoluten Koordinatenverschiebungen.

Soll eine Verschiebung mit einer absoluten und einer inkrementellen Bearbeitungsebenenkoordinate jedoch in umgekehrter Reihenfolge ausgeführt werden (also zuerst die absolute Verschiebung), muss der G59 Befehl in zwei G59 Befehle aufgeteilt werden: Beispiel für G17 mit Zustellachse Z.

- G59 XA/YA ZA/ZI absolute Verschiebung in einer Bearbeitungsebenen-
koordinate X oder Y
- G59 YI/XI WA/WI inkrementelle Verschiebung in der anderen Bearbeitungsebenen-
koordinate
– Verschiebung in der Zustellachse Z in beliebiger Zeile

G61 Linearinterpolation für Konturzüge

Programmierung einer Strecke als Konturelement einer Konturzugprogrammierung. Das Werkzeug verfährt mit der gewählten Vorschubgeschwindigkeit auf einer Geraden zum programmierten Zielpunkt. Bei der Konturelementprogrammierung können sowohl der Start- als auch der Zielpunkt noch unbestimmt sein. Die **Koordinaten-Selbthaltefunktion** in der Bearbeitungsebene wird **nicht** benutzt. Eine Zustellbewegung kann zusätzlich zur Bewegung in der Bearbeitungsebene programmiert werden.

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

Optional:

XI, XA		X-Koordinate des Zielpunktes (1. Geometrieachse G17) XI inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition XA absolute Werkstückkoordinate
YI, YA		Y-Koordinate des Zielpunktes (2. Geometrieachse G17) YI inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition YA absolute Werkstückkoordinate
Z, ZI, ZA		Zustellung in der 3.Geometrieachse Z absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91 ZI inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition ZA absolute Werkstückkoordinate [aktuelle Werkzeugposition ZI0]
D		Länge der Verfahrstrecke in der Bearbeitungsebene
AT		Übergangswinkel im Startpunkt zur vorhergehenden Verfahrbewegung ohne Übergangselement gemessen von der Endrichtung der vorhergehenden Verfahrbewegung - Insbesondere AT0 : tangentialer Übergang und AT180 spitzer Tangentenübergang
AS		Anstiegswinkel der Verfahrstrecke in der Bearbeitungsebene bezogen auf die positive erste Geometrieachse (G17: X, G18: Z, G19: Y)
RN	[0]	Übergangselement zum nächsten Konturelement RN+ Verrundungsradius zum nächsten Konturelement RN- Fasenbreite zum nächsten Konturelement
H	[1]	Lösungsauswahl Winkelkriterium H1 kleinerer, in positiver Orientierung gemessener Winkel der Verfahrstrecke zur positiven 1. Geometrieachsrichtung H2 größerer, in positiver Orientierung gemessener Winkel der Verfahrstrecke zur positiven 1. Geometrieachsrichtung
O	[1]	Lösungsauswahl Längenkriterium O1 kleinere Streckenlänge O2 größere Streckenlänge
E		Feinkonturvorschub auf Übergangselementen
F		Vorschub
S		Spindeldrehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen

Programmierhinweise:

Neben der Zustelladresse können keine oder bis zu vier Geometrie-Adressen sowie die Verrundung/Fase programmiert werden. Dabei werden Winkel, Längen, Fasen und Verrundungen nur in der Bearbeitungsebene gemessen bzw. eingefügt (d. h. Bewegungen in der Zustellachse werden bei Berechnungen ignoriert und die Zustellbewegungen dann nachträglich ergänzt – siehe Anhang VII).

Die inkrementellen Koordinatenangaben ZI, XI sind nur dann zugelassen, wenn der Endpunkt des vorhergehenden Konturelementes mit den bis dahin erfolgten Eingaben bereits berechenbar ist (das vorhergehende Element ein mit Endpunkt abgeschlossenes Konturelement ist).

Die Programmierung eines Übergangswinkels $AT \neq 0$ oder $AT \neq 180$ eines nicht tangentialen Überganges ist ebenfalls nur in diesem Fall zugelassen.

Die Lösungsauswahl erfolgt mit den Auswahlkriterien. Kann keine Lösung aus den Adressen berechnet werden, wird dies von der Steuerung als Fehlermeldung quittiert. Die Winkel für das Winkelkriterium mit H werden in positiver Orientierung zur positiven 1. Geometrieachsrichtung gemessen (Winkelwerte zwischen 0° und $+360^\circ$).

Wird im gleichen NC-Satz eine Vorschub- und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese zuerst ausgeführt und danach auf den Zielpunkt verfahren.

Der Befehl G61 muss allein in einem NC-Satz stehen.

G62 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge

Das Werkzeug verfährt mit der gewählten Vorschubgeschwindigkeit auf einem Kreisbogen im Uhrzeigersinn vom Startpunkt zum Zielpunkt. Sowohl der Startpunkt als auch der Zielpunkt kann bei der Konturelementprogrammierung noch unbestimmt sein. Die **Koordinaten-Selbthaltefunktion in der Bearbeitungsebene** wird **nicht** benutzt (siehe Anhang III, VII und Programmierhinweise).

Wird außerdem ein Zustellwert in der dritten Geometrieachse programmiert, der vom Ausgangswert des Startpunktes abweicht, so verfährt das Werkzeug in der sogenannten Schraubenlinieninterpolation (Helix). Hierbei wird dem Abfahren des Kreisbogens in der Bearbeitungsebene eine lineare Vorschubbewegung in der Zustellrichtung überlagert.

G62 *[XI/XA] [YI/YA] [Z/ZI/ZA] [I/IA] [J/JA] [R] [AT] [AS] [AO] [AE/AP] [RN] [H] [O]
[E] [F] [S] [M]*

Optional:

XI, XA	X-Koordinate des Zielpunktes (1. Geometrieachse G17) XI inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition XA absolute Werkstückkoordinate
YI, YA	Y-Koordinate des Zielpunktes (2. Geometrieachse G17) YI inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition YA absolute Werkstückkoordinate
Z, ZI, ZA	Zustellung in der 3. Geometrieachse Z absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91 ZI inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition absolute Werkstückkoordinate [aktuelle Werkzeugposition ZI0]
I, IA	X-Koordinate des Kreisbogenmittelpunktes/Pols/ (1. Geom.-Achse) I inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition IA Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
J, JA	Y-Koordinate des Kreisbogenmittelpunktes/Pols/ (2. Geom.-Achse) J inkrementelle Koordinateneingabe zur aktuellen Werkzeugposition JA Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
R	Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl Bogenlängenkriterium R+ kürzerer Bogen R- längerer Bogen
AT	Übergangswinkel im Startpunkt zur vorhergehenden Verfahrbewegung ohne Übergangselement gemessen von der Endrichtung der vorhergehenden Verfahrbewegung - Insbesondere AT0 : tangentialer Übergang und AT180 spitzer Tangentenübergang (Anhang III)
AS	Tangentenwinkel im Startpunkt bezogen auf die positive 1. Geometrieachsrichtung
AO	Öffnungswinkel (es wird nur der Betrag von AO verwendet)
AE	Tangentenwinkel im Endpunkt bezogen auf die positive 1. Geometrieachsrichtung
AP	Polarwinkel des Kreisbogenendpunktes bezogen auf die positive 1. Geometrieachse
RN [0]	Übergangselement zum nächsten Konturelement RN+ Verrundungsradius zum nächsten Konturelement RN- Fasenbreite zum nächsten Konturelement
H [1]	Lösungsauswahl Winkelkriterium für die Tangente im Startpunkt H1 kleinerer, in positiver Orientierung gemessener Starttangentenwinkel zur positiven 1. Geometrieachsrichtung H2 größerer, in positiver Orientierung gemessener Starttangentenwinkel zur positiven 1. Geometrieachsrichtung

O	[1]	Lösungsauswahl Bogenlängenkriterium (Die Bogenauswahl mit dem Vorzeichen von R überschreibt die Auswahl mit O.)
		O1 kürzerer Kreisbogen
		O2 längerer Kreisbogen
E		Feinkonturvorschub auf Übergangselementen
F		Vorschub
S		Spindeldrehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen

Programmierhinweise:

Die Festlegung der Drehrichtung „Uhrzeigersinn“ oder „Gegenuhrzeigersinn“ bezieht sich auf die Relativbewegung des Werkzeugs gegenüber dem Werkstück in der Bearbeitungsebene betrachtet in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden dritten Koordinatenachse (3. Geometrieachse oder Zustellachse).

Neben der Zustelladresse und der Verrundung/Fase können keine oder bis zu sechs Geometrie-Adressen programmiert werden.

Die inkrementellen Koordinatenangaben XI, YI, ZI, I, J sind nur dann zugelassen, wenn der Endpunkt des vorhergehenden Konturelementes mit den bis dahin erfolgten Eingaben bereits vollständig berechenbar ist (das vorhergehende Element ein mit Endpunkt abgeschlossenes Konturelement ist).

Die Programmierung eines Übergangswinkels $AT \neq 0$ oder $AT \neq 180$ eines nicht tangentialen Überganges ist ebenfalls nur in diesem Fall zugelassen.

Die Lösungsauswahl erfolgt mit einem der Auswahlkriterien: Kann eine Auswahl mit den beiden Kriterien der Bogenlänge und der Winkel getroffen werden, hat das Bogenlängenkriterium Vorrang. Die Winkel für das Winkelkriterium mit H werden in positiver Orientierung zur positiven 1. Geometrieachsrichtung gemessen (Winkelwerte zwischen 0° und $+360^\circ$).

Kann keine Lösung aus den Adressen berechnet werden, wird dies von der Steuerung durch eine Fehlermeldung quittiert.

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Ebene gehörigen beiden Mittelpunktskoordinaten programmiert werden.

Winkel, Längen, Fasen und Verrundungen werden nur in der Bearbeitungsebene gemessen bzw. eingefügt (d. h. Bewegungen in der Zustellachse werden bei Berechnungen ignoriert und die Zustellbewegungen dann nachträglich ergänzt).

Die Programmierung der Zustellkoordinate des Zielpunktes erzeugt eine Schraubenlinieninterpolation.

Wird im gleichen NC-Satz eine Vorschub- und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese zuerst ausgeführt und danach auf die Zielkoordinaten verfahren.

Der Befehl G62 muss allein in einem NC-Satz stehen.

G63 Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge

Das Werkzeug verfährt mit der gewählten Vorschubgeschwindigkeit auf einem Kreisbogen entgegen dem Uhrzeigersinn vom Startpunkt zum Zielpunkt. Sowohl der Startpunkt als auch der Zielpunkt kann bei der Konturelementprogrammierung noch unbestimmt sein. Die **Koordinaten-Selbsthaltefunktion in der Bearbeitungsebene** wird **nicht** benutzt (**siehe Anhang III, VII** und Programmierhinweise). Wird außerdem ein Zustellwert in der dritten Geometrieachse programmiert, der vom Ausgangswert des Startpunktes abweicht, so verfährt das Werkzeug in der sogenannten Schraubenlinieninterpolation (Helix). Hierbei wird dem Abfahren des Kreisbogens in der Bearbeitungsebene eine lineare Vorschubbewegung in der Zustellrichtung überlagert.

G63 [XI/XA] [YI/YA] [Z/ZI/ZA] [I/IA] [J/JA] [R] [AT] [AS] [AO] [AE/AP] [RN] [H] [O]
[E] [F] [S] [M]

Optional:

XI, XA	X-Koordinate des Zielpunktes (1. Geometrieachse G17) XI inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition XA absolute Werkstückkoordinate
YI, YA	Y-Koordinate des Zielpunktes (2. Geometrieachse G17) YI inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition YA absolute Werkstückkoordinate
Z, ZI, ZA	Zustellung in der 3. Geometrieachse (G17) Z absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91 ZI inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition absolute Werkstückkoordinate [aktuelle Werkzeugposition ZI0]
I, IA	X-Koordinate des Kreisbogenmittelpunktes/Pols/ (1. Geom.-Achse) I inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition IA Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
J, JA	Y-Koordinate des Kreisbogenmittelpunktes/Pols/ (2. Geom.-Achse) J inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition JA Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
R	Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl Bogenlängenkriterium R+ kürzerer Bogen R- längerer Bogen
AT	Übergangswinkel im Startpunkt zur vorhergehenden Verfahrbewegung ohne Übergangselement gemessen von der Endrichtung der vorhergehenden Verfahrbewegung - Insbesondere AT0 : tangentialer Übergang und AT180 spitzer Tangentenübergang (Anhang III)
AS	Tangentenwinkel im Startpunkt bezogen auf die positive 1. Geometrieachsrichtung
AO	Öffnungswinkel (es wird nur der Betrag von AO verwendet)
AE	Tangentenwinkel im Endpunkt bezogen auf die positive 1. Geometrieachsrichtung
AP	Polarwinkel des Kreisbogenendpunktes bezogen auf die positive 1. Geometrieachsrichtung
RN [0]	Übergangselement zum nächsten Konturelement RN+ Verrundungsradius zum nächsten Konturelement RN- Fasenbreite zum nächsten Konturelement
H [1]	Lösungsauswahl Winkelkriterium H1 kleinerer, in positiver Orientierung gemessener, Starttangentenwinkel zur positiven 1. Geometrieachsrichtung H2 größerer, in positiver Orientierung gemessener, Starttangentenwinkel zur positiven 1. Geometrieachsrichtung

O	[1]	Lösungsauswahl Bogenlängenkriterium (Die Bogenauswahl mit dem Vorzeichen von R überschreibt die Auswahl mit O.)
		O1 kürzerer Kreisbogen
		O2 längerer Kreisbogen
E		Feinkonturvorschub auf Übergangselementen
F		Vorschub
S		Spindeldrehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen

Programmierhinweise:

Die Festlegung der Drehrichtung „Uhrzeigersinn“ oder „Gegenuhrzeigersinn“ bezieht sich auf die Relativbewegung des Werkzeugs gegenüber dem Werkstück in der Bearbeitungsebene betrachtet in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden dritten Koordinatenachse (3. Geometrieachse oder Zustellachse).

Neben der Zustelladresse und der Verrundung/Fase können keine oder bis zu sechs Geometrie-Adressen programmiert werden.

Die inkrementellen Koordinatenangaben XI, YI, ZI, I, J sind nur dann zugelassen, wenn der Endpunkt des vorhergehenden Konturelementes mit den bis dahin erfolgten Eingaben bereits vollständig berechenbar ist (das vorhergehende Element ein mit Endpunkt abgeschlossenes Konturelement ist).

Die Programmierung eines Übergangswinkels $AT \neq 0$ oder $AT \neq 180$ eines nicht tangentialen Überganges ist ebenfalls nur in diesem Fall zugelassen.

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Ebene gehörigen beiden Mittelpunktskoordinaten programmiert werden.

Winkel, Längen, Fasen und Verrundungen werden nur in der Bearbeitungsebene gemessen bzw. eingefügt (d. h. Bewegungen in der Zustellachse werden bei Berechnungen ignoriert und die Zustellbewegungen dann nachträglich ergänzt).

Die Programmierung der Zustellkoordinate des Zielpunktes erzeugt eine Schraubenlinieninterpolation.

Die Lösungsauswahl erfolgt mit einem der Auswahlkriterien: Kann eine Auswahl mit den beiden Kriterien der Bogenlänge und der Winkel getroffen werden, hat das Bogenlängenkriterium Vorrang. Die Winkel für das Winkelkriterium mit H werden in positiver Orientierung zur positiven 1. Geometrieachsrichtung gemessen (Winkelwerte zwischen 0° und $+360^\circ$).

Kann keine Lösung aus den Adressen berechnet werden, wird dies von der Steuerung durch eine Fehlermeldung quittiert.

Winkelprogrammierung: Alle Winkel werden bezogen auf die positive 1. Geometrieachsrichtung mit positivem oder negativem Vorzeichen angegeben. Im Fall des Winkelkriteriums mit H werden beide Winkelwerte in positiver Orientierung zur positiven 1. Geometrieachsrichtung gemessen, so dass beide zum Vergleich einen positiven Wert haben.

Wird im gleichen NC-Satz eine Vorschub- und/oder eine Drehzahländerung programmiert, so werden diese zuerst ausgeführt und danach auf die Zielkoordinaten verfahren.

Der Befehl G63 muss allein in einem NC-Satz stehen.

G66 Spiegeln in G17 an der X- und /oder Y-Achse – Spiegelung aufheben

Diese Programmieranweisung führt eine Spiegelung des Werkstückkoordinatensystems aus.

G66 [X] [Y]

Optional:

X Spiegeln an der X- Achse, X ohne Adresswert
Y Spiegeln an der Y- Achse, Y ohne Adresswert

Keine der beiden Adressen: Die Spiegelungen werden aufgehoben. Die in einem gespiegelten Koordinatensystem programmierten Nullpunkte bleiben erhalten.

Programmierhinweise:

Werden beide Adressbuchstaben programmiert, so werden die Spiegelungen der programmierten Konturen an beiden Achsen zusammen als Punktspiegelung (Drehung um 180 Grad) ausgeführt. Wird keine Adresse programmiert, so werden die Spiegelungen aufgehoben.

Die Spiegelungen erfolgen immer von einem ungespiegelten Werkstückkoordinatensystem aus, das mit G59 oder G58 verschoben und gedreht sein darf (eine zweite Spiegelung wird daher nicht in einem bereits zuvor gespiegelten Koordinatensystem ausgeführt). Insbesondere ist damit die aufeinanderfolgende Programmierung von G66 X und G66 Y in zwei aufeinanderfolgenden NC-Sätzen von G66 X Y verschieden.

Das Programmieren einer anderen Kreisbogen-Interpolationsebene (G17/18/19) hebt die Spiegelungen auf.

Der Befehl G66 muss allein in einem NC-Satz stehen.

Man beachte:

Wird nur an einer Koordinatenachse gespiegelt, so wird die Bedeutung der Wegbedingungen G2 und G3 sowie G41 und G42 getauscht, da das Koordinatensystem dann kein Rechtssystem mehr ist.

G67 Skalieren (Vergrößern bzw. Verkleinern oder Aufheben)

Der Befehl **G67** setzt einen **Skalierungsfaktor**, der wahlweise für die ersten beiden Geometrieachsen oder nur für die dritte Geometrieachse oder für alle drei Geometrieachsen der aktiven Kreisbogen-Interpolationsebene G18 oder G18 oder G19 verwendet werden kann. Ein Faktor größer 1 bedeutet eine Vergrößerung um den Faktor gegenüber dem nicht skalierten Werkstückkoordinatensystem, ein Faktor kleiner 1 eine Verkleinerung.

Die Skalierung kann für die Zustellachse, die dritte Geometrieachse, (Z in G17) unabhängig von der Skalierung in den ersten beiden Geometrieachsen der Kreisbogen-Interpolationsebene (X, Y in G17) mit einem weiteren G67 gesetzt werden.

Eine programmierte Skalierung bleibt modal erhalten, bis sie durch eine erneute Skalierung überschrieben wird. Mit Programmstart oder Änderung der Kreisbogen-Interpolationsebene werden alle Skalierungen auf den Faktor 1 zurückgesetzt.

G67 [SK] [Q]

Optional:

SK [1] Skalierungsfaktor (bezogen auf das Maschinenkoordinatensystem)
SK = 1 Zurück zum Originalmaßstab
SK > 1 Vergrößerung um den Faktor SK im unskalierten Werkstückkoordinatensystem
SK < 1 Verkleinerung um den Faktor SK im unskalierten Werkstückkoordinatensystem
Keine SK-Adresse: Die Skalierungen werden aufgehoben.

Q [1] Achsauswahl
Q1 Skalierung aller drei Geometrieachsen (X, Y und Z)
Q2 Skalierung der ersten beiden Geometrieachsen der Kreisbogen-Interpolationsebene (X und Y in G17)
Q3 Skalierung der Zustellachse, der dritten Geometrieachse der Kreisbogen-Interpolationsebene (Z in G17)

Programmierhinweise:

Der Befehl G67 ohne Adressen hebt alle bestehenden Skalierungen auf. Mit Programmstart werden alle Skalierungen auf den Faktor 1 zurückgesetzt.

Werden über die Achsauswahl nicht alle Achsen skaliert (Q2 oder Q3), bleibt die bestehende Skalierung für alle nicht betroffenen Achsen erhalten.

Beim zweimaligen Programmieren von G67 mit Q2 und Q3 können unterschiedliche Skalierungsfaktoren angegeben werden.

Man beachte: Die An- und Abfahrbewegungen (Fräserradiuskompensation) werden nicht skaliert.

Das Programmieren einer anderen Kreisbogen-Interpolationsebene (G17/18/19) hebt die Skalierungen auf.

Der Befehl G67 muss allein in einem NC-Satz stehen.

G70 Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)

Mit diesem Befehl werden die Koordinatensysteme auf die Einheit Zoll umgeschaltet. Alle Koordinaten- und Maßangaben sind nach der Programmierung von G70 in Zollmaßen (Inch) anzugeben. Ebenso verändern sich die Einheiten der Technologiedaten für:

die Vorschubgeschwindigkeit in Inch pro Umdrehung (in/U)
die Schnittgeschwindigkeit in Fuß pro Minute (ft/min)

G70

Programmierhinweise:

Der Befehl G70 muss allein in einem NC-Satz stehen.

Die Zoll-Maßangabe bleibt solange wirksam, bis sie mit G71 wieder auf Millimeter-Maßangabe umgeschaltet wird.

Am Ende eines NC-Programms (M30) schaltet die Steuerung automatisch wieder auf die konfigurierte Maßeinheit G71 zurück.

G71 Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)

Mit diesem Befehl werden die Koordinatensysteme auf die Einheit Millimeter umgeschaltet. Alle Koordinaten- und Maßangaben sind nach der Programmierung von G71 im metrischen Maßsystem (mm) anzugeben.

G71

Programmierhinweise:

Der Befehl G71 muss allein in einem NC-Satz stehen.

Die Millimeter-Maßangabe bleibt solange wirksam, bis sie mit G70 wieder auf Zoll -Maßangabe umgeschaltet wird.

G71 ist der Einschaltzustand.

G90 Absolutmaßangabe einschalten

Der Befehl **G90** aktiviert die **Absolutmaßangabe**. Bei aktiver Absolutmaßangabe beziehen sich alle Koordinatenangaben X, Y, Z auf den Werkstücknullpunkt – im Gegensatz zur Kettenmaßangabe (G91), bei der sich die Koordinatenangaben auf die aktuelle Werkzeugposition beziehen.

G90

Programmierhinweise:

Die Absolutmaßangabe bleibt modal wirksam, bis sie mit G91 (Kettenmaßangabe) überschrieben wird.

Die Voreinstellung bei Programmstart ist G90.

G91 Kettenmaßangabe einschalten

Der Befehl **G91** aktiviert die **Kettenmaßangabe**. Bei aktiver Kettenmaßangabe beziehen sich alle Koordinatenangaben X, Y, Z auf die aktuelle Werkzeugposition – im Gegensatz zur Absolutmaßangabe (G90), bei der sich die Koordinatenangaben auf den Werkstücknullpunkt beziehen.

G91

Programmierhinweise:

Die Kettenmaßangabe bleibt modal wirksam, bis sie mit G90 (Absolutmaßangabe) überschrieben wird.

Die Voreinstellung bei Programmstart ist G90.

G94 Vorschub in Millimeter pro Minute

Mit dem Befehl G94 wird der Vorschub in der Einheit "Millimeter pro Minute" programmiert.

G94 F [E] [S] [M] [T] [TC] [TR] [TX] [TY] [TZ]

F		Vorschub in mm/min
<i>Optional:</i>		
E		Feinkonturvorschub
S		Spindeldrehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen
T		Werkzeugwechsel – Anwahl der Werkzeugnummer [T* siehe Werkzeugwechsel]
TC		Anwahl der Korrekturwertspeichernummer
TR	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z (G17: WZ-Längenkor.)

Programmierhinweise:

G94 wirkt modal (d. h. solange bis mit G95 auf Vorschub pro Umdrehung umgeschaltet wird).

G95 Vorschub in Millimeter pro Umdrehung

Mit dem Befehl G95 wird der Vorschub in der Einheit "Millimeter pro Umdrehung" programmiert.

G95 F [E] [S] [M] [T] [TC] [TR] [TX] [TY] [TZ]

F		Vorschub in mm/U
<i>Optional:</i>		
E		Feinkonturvorschub
S		Spindeldrehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktionen
T		Werkzeugwechsel – Anwahl der Werkzeugnummer [T* siehe Werkzeugwechsel]
TC		Anwahl der Korrekturwertspeichernummer
TR	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z (G17: WZ-Längenkor.)

Programmierhinweise:

G95 wirkt modal (d. h. solange bis mit G94 auf Vorschub pro Minute umgeschaltet wird).

G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit

Mit dem Befehl G96 wird eine konstante Schnittgeschwindigkeit in der Einheit "Meter pro Minute" programmiert.

G96 S *[F] [E] [M] [T] [TC] [TR] [TX] [TY] [TZ]*

S konstante Schnittgeschwindigkeit in m/min

Optional:

F		Vorschub
E		Feinkonturvorschub
M		Zusatzfunktionen
T		Werkzeugwechsel – Anwahl der Werkzeugnummer [T* siehe Werkzeugwechsel]
TC		Anwahl der Korrekturwertspeichernummer
TR	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z (G17: WZ-Längenkor.)

Programmierhinweise:

Die konstante Schnittgeschwindigkeit wird mit dem Fräserdurchmesser des aktiven Korrekturwertsatzes **ohne Berücksichtigung von TR** auf eine Drehzahl umgerechnet.

Sie bleibt solange wirksam, bis sie mit G97 aufgehoben oder durch einen neuen G96-Befehl überschrieben wird.

G97 Konstante Drehzahl

Mit der Anweisung G97 wird eine unter G96 programmierte konstante Schnittgeschwindigkeit wieder aufgehoben und eine feste Drehzahl eingestellt.

G97 S *[F] [E] [M] [T] [TC] [TR] [TX] [TY] [TZ]*

S Spindeldrehzahl in U/min

Optional:

F		Vorschub
E		Feinkonturvorschub
M		Zusatzfunktionen
T		Werkzeugwechsel – Anwahl der Werkzeugnummer [T* siehe Werkzeugwechsel]
TC		Anwahl der Korrekturwertspeichernummer
TR	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z (G17: WZ-Längenkor.)

Programmierhinweise:

Bei Fräsmaschinen ist G97 Einschaltzustand. Wird zusammen mit G97 keine Spindeldrehzahl S programmiert, so wird die bei der konstanten Schnittgeschwindigkeit zuletzt errechnete Drehzahl beibehalten.

PAL2019-Fräszyklen

Generelle Erweiterungen bei allen PAL2019-Taschen- & Freistellzyklen

1. Fasen und angesetzte Stufen

Bei allen PAL-Taschen- und Freistellzyklen können mit der Steueradresse QM die Berandungskanten mit einer Fase oder angesetzten Stufen versehen werden. Im Fall von angesetzten Stufen werden die Kanten nacheinander durch wiederholte Zyklusaufrufe gefast. Das Werkzeug und die Fasenbreite müssen so gewählt werden, dass das Fasen kollisionsfrei möglich ist und keine Stufen verletzt werden.

Dazu ist zum Fasen ein erneuter Zyklusaufwurf oder eine Zykluswiederholung mit geänderter Steueradresse QM und einem eingewechselten Fas-Werkzeug erforderlich. Z. B. durch Programmteiwiederholung und Parameterwertzuweisungen für QM, T und die Bearbeitungstechnologie.

Zum Fasen können die folgenden Werkzeugtypen verwendet werden:

- Fasenfräser
- Winkelfräser
- Entgrat-Werkzeuge
- Prismenfräser

2. Allgemeine Zustellfolge mit Startzustellung DS und Endzustellung DE

3. Schlichten

Das Schlichten kann in mehreren vertikalen und horizontalen Zustellungen erfolgen.

Optional kann das Schlichten auch durch Leerschnitte zur Verbesserung der Oberfläche ergänzt werden.

4. In-Prozess-Messen

Es können die Berandungen und der Boden einer Zyklusgeometrie als Aufrufvariante mit einem Messtaster gemessen und Verschleißkorrekturwerte gesetzt werden und die Ergebnisse zu einem Messprotokoll zusammengefasst werden.

Übersicht der PAL2019-Fräsbearbeitungszyklen

Konturtaschenzyklus

- G34 Eröffnung Konturtaschenzyklus mit Vorbohren
- G35 Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus (HSC-Fräsen)
- G36 Restmaterialschrupp-Technologie Konturtaschenzyklus (HSC-Fr.)
- G37 Schlicht-Technologie Konturtaschenzyklus mit Fasen und Stufen
- G38 Konturbeschreibung Konturtaschenzyklus
- G39 Aufruf/Abschluss Konturtaschenzyklus
- G49 Konturfräszyklus
- G69 Mehrkant-Freistell-Zyklus
- G72 Rechtecktaschen-/Rechteckzapfenzyklus mit Stufen, Fasen
- G73 Kreistaschen-/Kreiszapfenzyklus
- G74 Nutenzyklus mit Stufen, Fasen
- G75 Kreisbogennutzenzyklus mit Stufen, Fasen
- G76 Bohrbild Strahl, Rahmen, Gitter
- G77 Bohrbild auf einem oder mehreren konzentrischen Teilkreisen
- G78 Zyklusaufruf in einem Punkt in Polarkoordinaten
- G79 Zyklusaufruf in einem Punkt
- G80 Abschluss einer Kontur bei Zyklen
- G81 Bohrzyklus
- G82 Tiefbohrzyklus mit Spanbruch
- G83 Tiefbohrzyklus mit Spanbruch und Entspänen
- G84 Gewindebohrzyklus
- G85 Reibzyklus
- G86 Ausdrehzyklus
- G87 Bohrfräszyklus
- G88 Innengewindefräszyklus
- G89 Außengewindefräszyklus

G34 Eröffnung Konturtaschenzyklus mit Vorbohren

Der Befehl **G34** eröffnet den **allgemeinen und universellen Konturtaschenzyklus**. Der Konturtaschenzyklus besteht aus einer Eröffnung (G34), der Definition der Technologie (G35, G36 und G37), einer Folge von geschlossenen Taschen- oder Inselkonturen (G38) und dessen Abschluss und Ausführung (G39).

Mit der Eröffnung werden die Taschentiefe und die Aufmaße festgelegt. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit die technologischen Daten für ein Vorbohren zu programmieren.

Die Vorbohrpositionen und die Zustellpositionen der einzelnen Arbeitsschritte für Schruppen, Restspan-Bearbeitung sowie Schlichten werden automatisch durch den Zyklus berechnet.

G34 ZA|ZI RA RI AK AL T TC AB VB D DR DM O U F S M

ZA|ZI Absolute/inkrementelle Tiefe der Rechtecktasche (3. Geometrieachse)

Optional:

Verrundungsradien und Aufmaße

RA [0] Außenecken-Verrundungsradius

RI [0] Innenecken-Verrundungsradius

AK [0] Aufmaß auf die Kontur

AL [0] Aufmaß auf den Boden

Vorbohren:

T Vorbohrwerkzeug

TC [1] Korrekturwertregister

AB [0] Sicherheitsabstand zum Rand. Der Sicherheitsabstand wirkt zusätzlich zum Aufmaß (AK).

VB [1] Sicherheitsabstand zum Boden. Der Sicherheitsabstand wirkt zusätzlich zum Aufmaß (AL).

D Maximale Zustelltiefe beim Vorbohren, Bei einer Zustelltiefe von 0 wird in einer Zustellung auf Endtiefe gebohrt.

DR [0] Reduzierwert der Zustelltiefe

DM [*] Minimale Zustelltiefe
[* Voreinstellung: Werkzeugradius / 2]

O [2] Auswahl der Verweilzeiteinheit:

O1 Verweilzeit in Sekunden

O2 Verweilzeit in Umdrehungen

U [1] Verweilzeit am Bohrgrund in Sekunden oder Zahl der Umdrehungen

F Vorschub zum Vorbohren

S Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit zum Vorbohren

M Maschinenbefehle

Programmierhinweise:

Die inkrementelle Taschentiefe bezieht sich auf die Materialoberfläche aus dem Abschluss des Konturtaschenzyklus (G39).

Zusätzlich zur Taschentiefe aus der Eröffnung des Konturtaschenzyklus kann jeder Tasche eine individuelle Tiefe und jeder Insel eine individuelle Höhe zugeordnet werden. Der Zyklus erstellt eine geordnete Folge der Taschentiefen und Inselhöhen. Zu jeder Tiefe werden die zugehörigen sich überlappenden Taschen- und Inselflächen flächenmäßig vereinigt und dann in absteigender Reihenfolge herausgearbeitet.

Das Vorbohr-Werkzeug wird wie die bei den anderen Arbeitsschritten, Schruppen, Restspan, Schlichten verwendeten Werkzeuge automatisch eingewechselt.

Ohne ein positives Aufmaß auf die Kontur entfällt die Schlichtbearbeitung des Randes. Das Gleiche gilt für das Aufmaß und die Schlichtbearbeitung des Bodens.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G35 Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus

Der Befehl **G35** ist Bestandteil des allgemeinen und universellen Konturtaschenzyklus. Der Befehl kann in jedem Konturtaschenzyklus einmalig verwendet werden, um die technologischen Daten für den Arbeitsschritt Schruppen (konventionell oder in trochoidaler HSC-Bearbeitung) vorzugeben.

G35 T TC TR TX TY TZ D DS DE DB V Q O RH DH/AE OF RA DM DV RM F E S M

T		Werkzeugnummer
<i>Optional:</i>		
TC	[1]	Korrekturwertspeichernummer
TR	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in der X-Achse
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in der Y-Achse
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in der Z-Achse
Zustellungen		
D	[*]	Maximale Zustelltiefe Schruppen, *Voreinstellungen: Schruppen: $D = \text{Werkzeugdurchmesser}$, Trochoidales HSC-Schruppen: $D = 3 * \text{Werkzeugdurchmesser}$
DS	[0]	Startzustellung
DE	[0]	Endzustellung
DB	[80]	Maximale Horizontale Zustellung in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers, die verwendete Zustellung $\leq DB$ wird so berechnet, dass die alle horizontalen Zustellungen bis zum Taschenrand gleich groß sind.
Zyklusbearbeitung		
V		Sicherheitsabstand, Voreinstellung V aus G39
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung Q1 Gleichlauf Q2 Gegenlauf
Eintauchen		
O	[1]	Zustellbewegung und Vorschuboptimierung beim Ausräumen O1 Senkrechtetes Eintauchen des Werkzeugs mit Ausräumvorschuboptimier. O2 Helikales Eintauchen des Werkzeugs mit Ausräumvorschuboptimierung O11 Senkrechtetes Eintauchen des Werkzeugs ohne Ausräumvorschuboptim. O12 Helikales Eintauchen des Werkzeugs ohne Ausräumvorschuboptimier.
RH	[*]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung * Voreinstellung: $3/4$ WZ-Radius
DH		Zustellung pro Helix-Umdrehung
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel
Optimierung		
OF	[0]	Vorschuboptimierung OF0 Vorschuboptimierung aus OF1 Vorschuboptimierung für konstante Spandicke ein
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierungen von AK um $AK * RA / 100$ pro Zustellung ausgehend von der letzten Zustellung mit vollem Aufmaß AK in aufsteigender Zustellreihenfolge bis zur ersten Zustellung.
DM	[D/8]	Maximale Zustelländerung, so dass ein Zustellniveau mit einer Inselhöhe zusammenfällt
DV	[25]	Minimale Verfahrenweglänge in Prozent des Fräserdurchmessers bei der Vorschuboptimierung
HSC-Fräsen		
RM		Minimalradius der Schruppbewegungen beim Hochgeschwindigkeits-Fräsen

Technologie		
F		Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E	[F]	Eintauchvorschub
S	[S]	Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M	[M]	Drehrichtung

Programmierhinweise:

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.

Durch den Parameter RM (Minimalradius der Schruppbewegungen beim trochoidalen Hochgeschwindigkeits-Fräsen (HSC High Speed Cutting) kann für die einzelnen Arbeitsschritte, Schruppen, Restspan-Bearbeitung, Schichten separat festgelegt werden, ob die Bearbeitung in trochoidaler Strategie durchgeführt werden soll oder nicht. Weitere Adressen für die trochoidale Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung können mit G24, Modale Fräszyklusadressen, gesetzt werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G36 Restmaterialschrupp-Technologie des Konturtaschenzyklus

Der Befehl **G36** ist Bestandteil des **allgemeinen und universellen Konturtaschenzyklus**. Der Befehl kann in jedem Konturtaschenzyklus einmalig verwendet werden, um die technologischen Daten für den Arbeitsschritt Restmaterial-Schruppen zu setzen.

G36 T D V TC TR TX TY TZ DM DB RH DH/AE O Q RA DS DE DV RM F E S M

T		Werkzeugnummer
<i>Optional:</i>		
D	[*]	Maximale Zustelltiefe Schruppen, *Voreinstellungen: Schruppen: D=Werkzeugdurchmesser, Trochoidales HSC-Schruppen: D=3 * Werkzeugdurchmesser,
V		Sicherheitsabstand, Voreinstellung V aus G39
TC	[1]	Korrekturwertspeichernummer
TR	[0]	inkr. Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in der X-Achse
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in der Y-Achse
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in der Z-Achse
DM	[D/8]	Maximale Zustelländerung, so dass ein Zustellniveau mit einer Inselhöhe zusammenfällt
DB	[75]	Maximale Horizontale Zustellung in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers, die verwendete Zustellung \leq DB wird so berechnet, dass die alle horizontalen Zustellungen bis zum Taschenrand gleich groß sind.
RH	[*]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung * Voreinstellung: 3/4 WZ-Radius
DH		Zustellung pro Helix-Umdrehung
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel
O	[1]	Zustellbewegung und Vorschuboptimierung beim Ausräumen O1 Senkrecht Eintauchen des Werkzeugs mit Ausräumvorschuboptimier. O2 Helikales Eintauchen des Werkzeugs mit Ausräumvorschuboptimierung O11 Senkrecht Eintauchen des Werkzeugs ohne Ausräumvorschuboptim. O12 Helikales Eintauchen des Werkzeugs ohne Ausräumvorschuboptimier.
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung Q1 Gleichlauf Q2 Gegenlauf
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierungen von AK um $AK*RA/100$ pro Zustellung ausgehend von der letzten Zustellung mit vollem Aufmaß AK in aufsteigender Zustellreihenfolge bis zur ersten Zustellung.
DS	[0]	Startzustellung
DE	[0]	Endzustellung
DV	[10]	Minimale Verfahrensweglänge in Prozent des Fräserdurchmessers bei der Vorschuboptimierung HSC-Fräsen
RM		Minimalradius der Schrubbewegungen beim Hochgeschwindigkeits-Fräsen
F		Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E	[F]	Eintauchvorschub
S	[S]	Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M	[M]	Drehrichtung

Programmierhinweise:

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.

Durch den Parameter RM (Minimalradius der Schruppbewegungen beim trochoidalen Hochgeschwindigkeits-Fräsen (HSC High Speed Cutting) kann für die einzelnen Arbeitsschritte, Schruppen, Restspan-Bearbeitung, Schichten separat festgelegt werden, ob die Bearbeitung in trochoidaler Strategie durchgeführt werden soll oder nicht. Weitere Adressen für die trochoidale Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung können mit G24, Modale Fräszyklusadressen, gesetzt werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G37 Schlicht-Technologie des Konturtaschenzyklus einschließlich Stufen und Fasen

Der Befehl **G37** ist Bestandteil des **allgemeinen und universellen Konturtaschenzyklus**. Der Befehl kann in jedem Konturtaschenzyklus bis zu dreimal programmiert werden, um die technologischen Daten für

- den Arbeitsschritt Schlichten (QM1)
- das Fasen der Kanten (QM-1) oder
- das Ansetzen von Stufen (QM-2)

zu setzen. Die dazu erforderlichen Geometriedaten für die Fasen und Stufen werden mit G24 festgelegt in speziellen Taschenzyklusadressen festgelegt.

G37 T D V TC TR TX TY TZ DM DB RH DH/AE O Q H VA DS DE DV RM EC QM F E S M

T		Werkzeugnummer
<i>Optional:</i>		
D	[*]	Maximale Zustelltiefe Schlichten, *Voreinstellungen: D=Werkzeugdiameter, Trochoidales HSC-Schlichten: D=3 * Werkzeugdiameter, Sicherheitsabstand, Voreinstellung V aus G39
V		
TC	[1]	Korrekturwertspeichernummer
TR	[0]	inkr. Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in der X-Achse
TY	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in der Y-Achse
TZ	[0]	inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in der Z-Achse
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl QM1 Schlichten QM-1 Fasen QM-3 Stufen
DM	[D/10]	Maximale Zustelländerung, so dass ein Zustellniveau mit einer Inselhöhe zusammenfällt
DB	[10]	Maximale Horizontale Zustellung in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers, die verwendete Zustellung \leq DB wird so berechnet, dass bei mehrfachen Schlicht-Zustellungen alle horizontalen Zustellungen bis zum Taschenrand gleich groß sind.
RH	[*]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung * Voreinstellung: 3/4 WZ-Radius
DH		Zustellung pro Helix-Umdrehung
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel
O	[1]	Zustellbewegung und Vorschuboptimierung beim Ausräumen O1 Senkrecht Eintauchen des Werkzeugs mit Ausräumvorschuboptimier. O2 Helikales Eintauchen des Werkzeugs mit Ausräumvorschuboptimierung O11 Senkrecht Eintauchen des Werkzeugs ohne Ausräumvorschuboptimier. O12 Helikales Eintauchen des Werkzeugs ohne Ausräumvorschuboptimier.
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung Q1 Gleichlauf Q2 Gegenlauf
H	[4]	Bearbeitungsart H4 Schlichten erst Rand dann Boden H5 Schlichten erst Boden dann Rand H6 nur Rand H7 nur Boden H8 nur die Schlicht-Restspäne des Bodens in einem zweiten G37-Aufruf mit kleinerem Schlichtwerkzeug schlichten

VA	[5]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung
DS	[0]	Startzustellung
DE	[0]	Endzustellung
DV	[25]	Minimale Verfahrenweglänge in Prozent des Fräserdurchmessers bei der Vorschuboptimierung
RM		Minimalradius der Boden-Schlichtbewegungen beim Hochgeschwindigkeits-Fräsen
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte
F		Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E	[F]	Eintauchvorschub
S	[S]	Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M	[M]	Drehrichtung

Programmierhinweise:

Für die Bearbeitungsauswahl Fasen und Stufen ist als Eingabe nur die Adresse QM und das Werkzeug sowie die Schnittwerte (F, S und M) zu programmieren. Die Geometriedaten für die Fasen und Stufen werden mit G24 festgelegt.

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.

Durch den Parameter RM (Minimalradius der Schruppbewegungen beim trochoidalen Hochgeschwindigkeits-Fräsen (HSC High Speed Cutting) kann für das Schlichten des Bodens festgelegt werden, ob die Bearbeitung in trochoidaler Strategie durchgeführt werden soll oder nicht. Weitere Adressen für die trochoidale Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung können mit G24, Modale Fräszyklusadressen, gesetzt werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G38 Konturbeschreibung des Konturtaschenzyklus

Der Befehl **G38** ist Bestandteil des **allgemeinen und universellen Konturtaschenzyklus**. Der Befehl programmiert eine Tasche mit Taschentiefe oder Insel mit Inselhöhe. Eine Taschenberandungskontur kann ein Kreis, ein abgerundetes Rechteck oder eine beliebige programmierte geschlossene Kontur sein.

Der G38 Befehl kann mehrfach für Taschen und mehrfach für Inseln programmiert werden. Die zugehörigen Taschen und Inseln werden automatisch zusammengefasst, wenn sie sich gegenseitig unter Berücksichtigung der Höhen und Tiefen überlappen.

G17: G38 H IA JA R *ZI/ZA* ; Kreis-Tasche oder -Insel
 G17: G38 H LP BP IA JA *RN AR ZI/ZA* ; Rechteck-Tasche oder -Insel
 G17: G38 H *ZI/ZA* ; Randkonturprogrammierung
 nachstehend bis G80

H Auswahladresse

H1 Tasche

H2 Insel

H3 Tasche in Insel

H4 Loch (Fläche ohne Werkstückmaterial)

Randkontureingabe: Wird in G38 außer H und der optionalen Adresse Z keine weitere programmiert, so wird eine Berandungskontur im Anschluss an den Zyklusaufwurf eingegeben und diese Eingabe mit G80 abgeschlossen.

Kreistasche/-Zapfen mit IA, JA, R

IA Mittelpunkt einer Kreistasche oder eines Zapfens in der 1. Geometrieachse in absoluten Werkstückkoordinaten oder Zentrum der Rechtecktasche/-Insel absolut in der 1. Geometrieachse

JA Mittelpunkt einer Kreistasche oder eines Zapfens in der 2. Geometrieachse in absoluten Werkstückkoordinaten oder Zentrum der Rechtecktasche/-Insel absolut in der 2. Geometrieachse

R Radius der Kreistasche (H1) oder des Zapfens (H2)

Rechtecktasche/-Insel mit LP, BP, IA, JA

LP Länge der Rechtecktasche/-Insel in der 1. Geometrieachse

BP Breite der Rechtecktasche/-Insel in der 2. Geometrieachse

Optional:

RN [0] Eckenradius des Taschen- oder Insel-Rechtecks

AR [0] Drehwinkel zur positiven 1. Geometrieachse, um den das Rechteck um die Zustellachse gedreht wird.

ZI/ZA Höhe der Insel oder Tiefe der Tasche, wenn die Vorgabe der Taschentiefe aus G34 nicht verwendet werden soll.

ZI inkrementell zur Materialoberfläche

ZA absolut in Werkstückkoordinaten

[Materialoberfläche aus G39]

Programmierhinweise:

Die oben angegebenen Adressen beziehen sich auf G17. Die Adressen IA, JA und ZA/ZI müssen im Fall der Kreisbogen-Kreisbogen-Interpolationsebenen G18 oder G19 entsprechend angepasst werden.

Konturprogrammierung:

Wird außer H und ZA/ZI keine weitere Adresse programmiert, so erwartet die NC die Definition einer Kontur im Anschluss an den Befehl G38. Die Definition der Kontur erfolgt unter Verwendung von

1. DIN-Sätzen G1, G2, G3
2. Konturzugbefehlen G61, G62, G63
3. Programmteiwiederholungen G23
4. Unterprogrammaufrufen G22

Dabei muss der erste Konturpunkt absolut mit G0 oder G1 programmiert werden.

Die Konturdefinition wird mit G80 in einer separaten NC-Zeile abgeschlossen.

Offene Konturen (Zielpunkt ungleich Anfangspunkt) werden mit G80 automatisch durch eine Verbindungslinie vom Zielpunkt zum Startpunkt geschlossen.

Ist eine Insel höher als die Materialoberfläche, wird sie auf die Materialoberfläche reduziert.

Nach G38 H Z/ZA folgt eine Beschreibung der Berandungskontur durch
DIN-Sätze G1, G2, G3 und Konturzugbefehle G61, G62, G63,
Programmteiwiederholung,
Unterprogrammaufruf.

Dabei muss der erste Konturpunkt absolut mit G0 oder G1 programmiert werden.

Die Konturdefinition wird mit G80 in einer separaten NC-Zeile abgeschlossen. Offene Konturen (Endpunkt ungleich Anfangspunkt) werden mit G80 automatisch durch eine Verbindungslinie vom Endpunkt zum Startpunkt geschlossen. Der Befehl G38 kann kombiniert mit G80 oder zur Eingabe von Rechteck- und Kreiskonturen beliebig wiederholt werden.

Taschentiefe

Für jede Taschenkontur kann die Tiefe individuell programmiert werden. Eine inkrementelle Angabe bezieht sich dabei auf die Materialoberfläche. Damit ist die Erstellung von Konturtaschen mit unterschiedlichen Tiefen möglich. Die Voreinstellung ist die Taschentiefe aus der Eröffnung des Konturtaschenzyklus (G34).

Die individuelle Tiefe einer Tasche darf nicht unterhalb unter der globalen Taschentiefe des Zyklus aus G34 liegen.

Inselhöhe

Für jede Inselkontur kann die Höhe individuell programmiert werden. Eine inkrementelle Angabe bezieht sich dabei auf die Materialoberfläche. Damit ist die Erstellung von Konturtaschen mit Inseln in unterschiedlichen Höhen möglich. Die Voreinstellung ist die Materialoberfläche aus dem Zyklusabschluss (G39).

Die individuelle Höhe einer Insel darf nicht über der Materialoberfläche des Zyklus liegen.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G39 Aufruf/Abschluss Konturtaschenzyklus

Der Befehl **G39** schließt den **allgemeinen und universellen Konturtaschenzyklus** ab und führt den Zyklus aus. Der Konturtaschenzyklus besteht aus einer Eröffnung (G34), der Definition der Technologie (G35, G36 und G37), einer Folge von geschlossenen Taschen- oder Inselkonturen (G38).

G17: G39 ZA|ZI V W AN H O XA/XI/X YA/YI/Y

G18: G39 YA/YI V W AN H O ZA/ZI/Z XA/XI/X

G19: G39 XA/XI V W AN H O YA/YI/Y ZA/ZI/Z

ZA|ZI Materialoberfläche in G17
V Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche

Optional:

W [100] Höhe der Rückzugsebene absolut
AN [0] Winkel für das mäanderförmige Ausräumen
H [1] Bearbeitungsart
H1 Schruppen
H2 Planschruppen/Freistellen
H4 Schichten erst Rand dann Boden
H8 Planschichten//Freistellen
H14 Schruppen und Schichten erst Rand dann Boden
H28 Planschruppen und Planschichten/Freistellen
O [1] Schruppen/Schichten
O1 Schruppen/Schichten mit Restmaterialschruppen
O2 Schruppen/Schichten ohne Restmaterialschruppen
O3 Schruppen/Schichten des Restmaterialschruppen
X/XA/XI G90, G91/absolute/inkrementelle X-Bearbeitungsstartposition in G17
Y/YA/YI G90, G91/absolute/inkrementelle Y-Bearbeitungsstartposition in G17
Voreinstellungswert wird vom Zyklus optimal berechnet.

Programmierhinweise:

Mit dem Programmieren von G39 werden die mit G38 definierten Taschen- und Inselkonturen geordnet nach Taschentiefen und Inselhöhen zusammengefasst, danach für die zusammengefassten Konturen die Ausräumstrategie für Schruppen, Restmaterialschruppen und Schichten berechnet und der Zyklus anschließend ausgeführt.

Die Entscheidung über die Bearbeitungsart (konturparallel, mäanderförmig oder HSC) wird in den Aufrufzyklen G35, G36 und G37 getroffen.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G69 Mehrkant Freistellen

Es wird ein Mehrkant unter Berücksichtigung von Aufmaßen über einer zentrisch liegenden Freistellfläche gefräst. Der Mehrkant-Drehwinkel wird so festgelegt, dass für den Winkel null eine Kante senkrecht auf der ersten Geometrie-Achse steht. Der Setzpunkt ist das Zentrum des Mehrkants.

Der Zyklus kann gesteuert durch QM und H mit unterschiedlichen Werkzeugen zum Schruppen, Schlichten, dem Ansetzen von Randstufen oder Fasen aufgerufen werden.

G69 O DK/LK DT ZA/ZI V *RN QM H OF W D DS DE DB RA Q F S M*
AK AL VA DF DJ QS FF SF EC M M
QL DQ DU DW RU AU RQ AQ TV SO SP

Mehrkantgeometrie und Sicherheitsabstand

O	Anzahl der Kanten (> 0)
DK	Schlüsselweite - nur für geradzahliges O
LK	Kantenlänge ohne Verrundungen
DT	Durchmesser der Freistellfläche um das Mehrkant-Zentrum
ZA/ZI	Tiefe der Freistellfläche in der Zustellachskoordinate
	ZA absolut in Werkstückkoordinaten
	ZI inkrementell ab Materialoberfläche
V	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche

Optional:

RN	[0]	Verrundungsradius der Kantenecken
		Steueradressen des Zyklus-Ablaufs und Rückzugsebene
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
		QM0 Überspringen des Zyklus
		QM1 Bearbeiten ohne Stufen
		QM2 Bearbeiten mit Stufen
		QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
		QM-1 Fasen
		QM-2 nur die Stufen am Mehrkantrand ansetzen
H	[1]	Bearbeitungsart
		H1 Schruppen der Freistellfläche
		H4 Schlichten erst Rand dann Boden
		H5 Schlichten erst Boden dann Rand
		H6 nur Rand schlichten
		H7 nur Boden schlichten
		H14 Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden
		H15 Schruppen und Schlichten erst Boden dann Rand
		H16 Schruppen und Schlichten nur Rand
		H17 Schruppen und Schlichten nur Boden
OF	[0]	Vorschuboptimierung
		OF0 Vorschuboptimierung aus
		OF1 Vorschuboptimierung für konstante Spandicke ein
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene absolut, *voreingestellt: Sicherheitsebene

Schruppen

D	[*]	Maximale Zustelltiefe Schruppen, *Voreinstellungen: Schruppen: D=Werkzeugdurchmesser, Trochoidales HSC-Schruppen: D=3 * Werkzeugdurchmesser,
DS	[0]	Startzustellung: Erste Zustelltiefe von der Materialoberfläche aus
DE	[0]	Endzustellung: Letzte Zustelltiefe vor Erreichen der Endtiefe (plus Aufmaß) Mit D, DS und DE kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.

DB	[80]	Horizontale Zustellung in Prozent des Werkzeugdurchmessers
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierungen von AK um $AK \cdot RA / 100$ pro Zustellung ausgehend von der letzten Zustellung mit vollem Aufmaß AK in aufsteigender Zustellreihenfolge bis zur ersten Zustellung.
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung Q1 Gleichlauf Q2 Gegenlauf

Schrupp-Technologie

F		Vorschub beim Fräsen in der Ebene
S		Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktion

Schlichtaufmaße und Schlichten

AK	[0]	Aufmaß auf die Kontur
AL	[0]	Aufmaß auf den Boden
VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung des Randes nur für das Schlichten des Bodens vor dem Schlichten des Randes
DF	[D]	maximale Zustelltiefe Schlichten, für DF0 wird der Rand mit einer Zustellung in voller Höhe geschlichtet
DJ	[10]	Horizontale Schlicht-Zustellung in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers
QS	[Q]	Bearbeitungsrichtung Schlichten QS1 Gleichlauf QS2 Gegenlauf

Schlicht-Technologie

FF	[F]	Vorschub Schlichten
SF	[S]	Drehzahl Schlichten
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte
M		Maschinenbefehle (Eingabe von zwei M-Befehlen möglich)

In-Prozess-Mess-Adressen

QL	[P8100]	Mess-Steuerindex mit der Auswahl unterschiedlicher durchzuführender Messungen, siehe Beschreibung in Abschnitt In-Prozess-Messen (P8100 ist die individuelle Mess-Adress-Voreinstellung aus G28)
DQ	[D]	Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche
DU	[DQ]	Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung möglich
DW	[0]	Horizontaler Abstand für die Winkelmessung in Prozent der Taschen- und Zapfenlängen, DW=0: Keine Winkelmessung in der Bearbeitungsebene
RU	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AU	[0]	Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
RQ	[0]	2. Abstand vom Mittelpunkt zur 2. Tiefenmess-Position
AQ	[0]	2. Winkel: RP, AP sind die Polarkoordinaten einer 2. Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt für eine Winkelberechnung des Taschenbodens Der gemessene Winkel liegt in der Ebene der Verbindungslinie der beiden Messpunkte und der Z-Achse!
TV	[0]	Werkzeugnummer für automatische Verschleißkorrektur, TV0 keine Verschleißkorrektur. Man beachte: TV darf bei der Verwendung der Mehrfachzyklusaufrufe G76/77 nicht verwendet werden.
SO	[50]	Parameternummern Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
SP	[500]	erste Parameternummer der Messwertspeicherung

Definition eines ausgearteten 1- bzw. 2-Kants: Ein 1-Kant kann nur mit seiner Kantenlänge programmiert werden. Beim 2-Kant sind die Kanten zueinander parallel. Beim 1- und 2-Kant werden die Kanten bis zum Rand der Freistellfläche verlängert und über den Rand der Freistellfläche mit einem Kreisbogen verbunden (Ein 1-Kant entspricht bei dieser Definition einer Kreisfläche mit abgeschnittener Sehnenfläche und ein 2-Kant einer Kreisfläche mit zwei gegenüberliegenden abgeschnittenen Sehnenflächen).

Nur bei geradzahligem Anzahl von Kanten kann die Schlüsselweite oder die Kantenlänge eingegeben werden, bei ungeradzahligem Anzahl von Kanten muss die Kantenlänge programmiert werden.

Programmierhinweise:

Eine optionale Drehung der Mehrkantflächen um die Z-Achse erfolgt beim Aufruf der Zyklen mit G76, G77, G78 und G79.

Beim Schruppen wird mit den Zustellungen DS, DE, D geschruppt und beim Schlichten, mit der Zustellung DF (ohne DS und DE) geschlichtet. Für DF0 wird der Rand in voller Höhe in einem Arbeitsgang geschlichtet.

G72 Rechtecktaschen-/Rechteckzapfenzyklus mit Stufen, Fasen und In-Prozess-Messerweiterungen

Mit unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien (konturparalleles oder trochoidales HSC-Fräsen) wird eine Rechtecktasche oder eine Rechtecktasche mit zentrischem Rechteckzapfen gefräst oder eine Rechteckfläche oder ein zentrischer Rechteckzapfen auf einer Rechteckfläche freigestellt. Dabei werden Aufmaße berücksichtigt. Der Setzpunkt wird mit der Adresse EP programmiert.

Der Zyklus kann gesteuert durch QM und H mit unterschiedlichen Werkzeugen zum konventionellen oder HSC-Bearbeiten, Schlichten, dem Ansetzen von Randstufen oder Fasen aufgerufen werden.

G72 LP BP ZA/ZI V RN LZ BZ RZ HA/HI BS EP W QM H OR OF D DS DE DB
RA Q O RH DH/AE RM DT F E S M AK AL VA DF DJ QS FF SF EC M
QL DQ DU DW RU AU RQ AQ TV SO SP

Rechtecktaschengeometrie und Sicherheitsabstand

LP Länge der Tasche in der 1. Geometrieachse
BP Breite der Tasche in der 2. Geometrieachse
ZA/ZI Tiefe der Tasche oder Freistellfläche in der Zustellachskoordinate
ZA absolut in Werkstückkoordinaten
ZI inkrementell ab Materialoberfläche
V Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche (aus Zyklusaufwurf)

Optional:

RN [0] Eckenradius der Tasche

Zapfengeometrie, Setzpunkt und globale Rückzugsebene

LZ [0] Länge des zentrischen sitzenden Zapfens
BZ [0] Breite des zentrischen sitzenden Zapfens
RZ [0] Verrundungsradius des Zapfens
HA/HI [HI0] Höhe des Zapfens in der Zustellachskoordinate (\leq Materialoberfläche)
HA absolut in Werkstückkoordinaten
HI inkrementell ab Materialoberfläche, Voreinstellung: HI0=Taschenrand
BS [0] Berandungsfestlegung für Planbearbeitung mit H2, H8, H28 (BS=0,1,...,14)
Es sind maximal 3 Berandungen möglich. Mehrere Berandungen werden durch Addition des BS-Werte festgelegt. Für eine Berandung rechts BS1 und eine Berandung oben BS4 ergibt sich beispielsweise BS5.
BS0 Planbearbeitung ohne Berandung
BS1 Berandung rechts in Richtung X+
BS2 Berandung links in Richtung X-
BS4 Berandung oben in Richtung Y+
BS8 Berandung unten in Richtung Y-
EP [0] Setzpunktfestlegung für den Rechteckzapfenzyklus
EP0 Rechtecktaschenmittelpunkt (=Zentrum)
EP1 Tascheneckpunkt im 1. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum
EP2 Tascheneckpunkt im 2. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum
EP3 Tascheneckpunkt im 3. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum
EP4 Tascheneckpunkt im 4. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum
W [**] Höhe der Rückzugsebene absolut, **Voreinstellung: = Sicherheitsebene

Steueradressen des Zyklus-Ablaufs

QM [1] Bearbeitungsauswahl
QM0 Überspringen des Zyklus
QM1 Bearbeiten ohne Stufen
QM2 Bearbeiten mit Stufen

		QM3	HSC-Bearbeiten trochoidal mit Minimalradius RM ohne Stufen
		QM4	HSC-Bearbeiten trochoidal mit Minimalradius RM mit Stufen
		QM5	Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
		QM-1	Fasen
		QM-2	nur die Stufen am Taschenrand ansetzen
		QM-3	nur die Stufen am Taschenrand ansetzen unter Beachtung der Schlichtreihenfolge der H-Adresse
H	[1]		Bearbeitungsart
		H1	Schruppen
		H2	Planschruppen/Freistellen mit Überfräsen des Randes gemäß , Adresse BS
		H4	Schlichten erst Rand dann Boden
		H5	Schlichten erst Boden dann Rand
		H6	nur Rand schlichten
		H7	nur Boden schlichten
		H8	Planschlichten/Freistellen mit Überfräsen des Randes gemäß Adresse BS
		H14	Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden
		H15	Schruppen und Schlichten erst Boden dann Rand
		H16	Schruppen und Schlichten nur Rand
		H17	Schruppen und Schlichten nur Boden
		H28	Planschruppen und Planschlichten/Freistellen mit Überfräsen gemäß Adresse BS
OR	[1]		Planfräsrichtung
		OR1	Planfräsen in Richtung der 1. Geometrieachse
		OR2	Planfräsen in Richtung der 2. Geometrieachse
OF	[0]		Vorschuboptimierung
		OF0	Vorschuboptimierung aus
		OF1	Vorschuboptimierung für konstante Spandicke ein
			Schruppen
D	[*]		Maximale Zustelltiefe Schruppen, *Voreinstellungen: Schruppen: $D = \text{Werkzeugdurchmesser}$, Trochoidales HSC-Schruppen: $D = 3 * \text{Werkzeugdurchmesser}$
DS	[0]		Startzustellung: Erste Zustelltiefe von der Materialoberfläche aus
DE	[0]		Endzustellung: Letzte Zustelltiefe vor Erreichen der Endtiefe (plus Aufmaß)
			Mit D, DS und DE kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.
DB	[50]		Horizontale Zustellung beim Schruppen in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers
RA	[0]		Prozentuale Aufmaßreduzierungen von AK um $AK * RA / 100$ pro Zustellung ausgehend von der letzten Zustellung mit vollem Aufmaß AK in aufsteigender Zustellreihenfolge bis zur ersten Zustellung.
Q	[1]		Bearbeitungsrichtung Schruppen
		Q1	Gleichlauf
		Q2	Gegenlauf
		Q3	Planen im Schruppbetrieb mit bidirektionaler Bearbeitung
O	[1]		Zustellbewegung
		O1	Senkrechtetes Eintauchen
		O2	Helikales Eintauchen
		O3	Pendelndes Eintauchen (nicht bei trochoidalem HSC-Fräsen und nicht bei vorhandenem Rechteckzapfen)
		O4	Zustellung im Eilgang bis auf Sicherheitsabstand zum Aufmaß
RH	[40]		Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung in Prozent des Fräserdurchmessers
DH			Zustellung pro Helix-Umdrehung oder pro Pendelbewegung (alternativ zu AE)

AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel in Winkelgrad beim helikalen Zustellen oder beim Pendeln
		Trochoidales HSC-Schruppen
RM	[300]	RM ist der Bewegungs-Minimalradius in Prozent des Fräserdurchmessers bei den trochoidalen Schrubbewegungen
DT	[10]	Horizontale Zustellung beim trochoidalen Schruppen in Prozent des Fräser-Durchmessers

Schrupp-Technologie

F	[***]	Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E	[F]	Eintauchvorschub beim Zustellen
S	[***]	Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehle (Eingabe von zwei M-Befehlen möglich)

Schlichtaufmaße und Schlichten

AK	[0]	Aufmaß auf die Kontur
AL	[0]	Aufmaß auf den Boden, AL negativ: Taschenvertiefung für Durchgangstasche
VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung des Randes nur für das Schlichten des Bodens vor dem Schlichten des Randes
DF	[D]	maximale vertikale Zustelltiefe beim Schlichten. Mit DF0 wird die gesamte Randtiefe mit einer Schlichtzustellung geschlichtet.
DJ	[DB]	Horizontale Schlicht-Zustellung in Prozent des aktuellen Werkzeug Durchmessers
QS	[Q]	Bearbeitungsrichtung Schlichten QS1 Gleichlauf QS2 Gegenlauf

Schlicht-Technologie

FF	[F]	Vorschub Schlichten und Eintauchen
SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schlichten
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte
M		Maschinenbefehle (Eingabe von zwei M-Befehlen bei gesondertem Zyklusaufruf für das Schlichten möglich)

In-Prozess-Mess-Adressen

QL	[P8100]	Mess-Steuerindex mit der Auswahl unterschiedlicher durchzuführender Messungen, siehe Beschreibung in Abschnitt In-Prozess-Messen (P8100 ist die individuelle Mess-Adress-Voreinstellung aus G28)
DQ	[D]	Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche
DU	[DQ]	Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung möglich
DW	[0]	Horizontaler Abstand für die Winkelmessung in Prozent der Taschen- und Zapfenlängen, DW=0: Keine Winkelmessung in der Bearbeitungsebene
RU	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AU	[0]	Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
RQ	[0]	2. Abstand vom Mittelpunkt zur 2. Tiefenmess-Position
AQ	[0]	2. Winkel: RP, AP sind die Polarkoordinaten einer 2. Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt für eine Winkelberechnung des Taschenbodens Der gemessene Winkel liegt in der Ebene der Verbindungslinie der beiden Messpunkte und der Z-Achse!
TV	[0]	Werkzeugnummer für automatische Verschleißkorrektur, TV0 keine Verschleißkorrektur . Man beachte: TV darf bei der Verwendung der Mehrfachzyklusaufrufe G76/77 nicht verwendet werden.
SO	[50]	Parameternummern Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus

SP [500] erste Parameternummer der Messwertspeicherung
Verwendung von H als Mess-Steueradresse
H2 oder H8 oder H28 : Vermessen des Zapfens
Alle anderen Adresswerte von H : Vermessen des Randes und des Zapfens

[*] Voreinstellungswertregelungen** für die zyklusintern verwendeten Adresswerte von Schnittgeschwindigkeit/Drehzahl, Vorschub und den Zustellungen D, DB beim Schruppen sowie DF und DJ beim Schlichten und bei der trochoidalen HSC-Bearbeitung :

Beim Schruppen werden die modalen Adresswerte von S und F verwendet. Diese Werte werden dann als Voreinstellungswerte für S und F beim Schlichten verwendet.

Der Voreinstellungswert für die vertikale Schruppzustellung D in mm ist der Werkzeugdurchmesser. Die Schruppzustellungen D und DB sind dann die Voreinstellungswerte für die Schlichtzustellungen DF und DJ.

Programmierhinweise:

Weitere Adressen für die trochoidale Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung können mit G24, Modale Zyklusadressen, gesetzt werden.

Eine optionale Drehung der Rechteckflächen um die Z-Achse erfolgt beim Aufruf der Zyklen mit G76, G77, G78 und G79.

Beim In-Prozess-Messen von Rechtecktaschen und Nuten muss daher das Koordinatensystem um den jeweiligen Drehwinkel des Zyklusobjektes mitgedreht werden, um die Startpositionen und Messanfahrrichtungen richtig zu wählen zu können.

TV ist die Werkzeugnummer des zu korrigierenden Werkzeugs. Die Adresse TV kann verwendet werden, um den beim Messen ermittelten Verschleiß eines Werkzeugs in den Verschleißkorrekturwerten im Werkzeugspeicher zu aktualisieren.

So kann z. B. nach der Bearbeitung eines Rechteckzapfens die Länge oder die Breite gemessen werden. Weichen die Werte vom Sollmaß ab, wird der als halbe Differenz ermittelte Verschleiß des Werkzeugs zu dem in die Werkzeugverschleißtabelle enthaltenen Verschleißkorrekturwert hinzuaddiert. Beim nächsten Bearbeitungsschritt mit diesem Werkzeug wird dann dieser zusätzliche Verschleiß des Werkzeugs automatisch berücksichtigt.

G73 Kreistaschen-/Kreiszapfenzyklus mit Stufen, Fasen und In-Prozess-Messerweiterungen

Mit unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien (konturparalleles oder trochoidales HSC-Fräsen) wird eine Kreistasche oder eine Kreistasche mit zentrischem Kreiszapfen gefräst oder eine Kreisfläche oder ein zentrischer Kreiszapfen auf einer Kreisfläche freigestellt. Dabei werden Aufmaße berücksichtigt. Der Setzpunkt ist stets der gemeinsame Mittelpunkt.

Der Zyklus kann gesteuert durch QM und H mit unterschiedlichen Werkzeugen zum konventionellen oder HSC-Bearbeiten (beim Zapfen), Schlichten, dem Ansetzen von Randstufen oder Fasen aufgerufen werden.

G73 R ZA/ZI V RZ HA/HI W QM H OF D DS DE DB RA Q O RH DH/AE
RM DT F E S M M AK AL VA DF DJ QS FF SF EC M
QL DQ DU RU AU RQ AQ TV SO SP

Kreistaschengeometrie und Sicherheitsabstand

R Radius der Tasche
ZA/ZI Tiefe der Tasche oder Freistellfläche in der Zustellachskoordinate
ZA absolut in Werkstückkoordinaten
ZI inkrementell ab Materialoberfläche
V Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche

Optional:

Zapfengeometrie und Rückzugsebene

RZ [0] Zapfenradius
HA/HI [HI0] Höhe des Zapfens in der Zustellachskoordinate (\leq Materialhöhe)
HA absolut in Werkstückkoordinaten
HI inkrementell ab Materialoberfläche
W [**] Höhe der Rückzugsebene absolut, ** voreingestellt: Sicherheitsebene

Steueradressen des Zyklus-Ablaufs

QM [1] Bearbeitungsauswahl
QM0 Überspringen des Zyklus
QM1 Bearbeiten ohne Stufen
QM2 Bearbeiten mit Stufen
QM3 Bearbeiten trochoidal mit Minimalradius RM ohne Stufen
QM4 Bearbeiten trochoidal mit Minimalradius RM mit Stufen
QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
QM-1 Fasen
QM-2 nur die Stufen am Taschenrand ansetzen
QM-3 nur die Stufen am Taschenrand ansetzen unter Beachtung der Schlichtreihenfolge der H-Adresse
H [1] Bearbeitungsart
H1 Schruppen
H2 Planschruppen/Freistellen mit Überfräsen des Randes gemäß Adresse BS
H4 Schlichten erst Rand dann Boden
H5 Schlichten erst Boden dann Rand
H6 nur Rand schlichten
H7 nur Boden schlichten
H8 Planschlichten/Freistellen mit Überfräsen des Randes gemäß Adresse BS
H14 Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden
H15 Schruppen und Schlichten erst Boden dann Rand

		H16	Schruppen und Schichten nur Rand
		H17	Schruppen und Schichten nur Boden
		H28	Planschruppen und Plansschichten/Freistellen mit Überfräsen gemäß Adresse BS
OF	[0]		Vorschuboptimierung
		OF0	Vorschuboptimierung aus
		OF1	Vorschuboptimierung für konstante Spandicke ein
			Schruppen
D	[*]		Maximale Zustelltiefe Schruppen, *Voreinstellungen: Schruppen: $D = \text{Werkzeugdurchmesser}$, Trochoidales HSC-Schruppen: $D = 3 * \text{Werkzeugdurchmesser}$
DS	[0]		Startzustellung: Erste Zustelltiefe von der Materialoberfläche aus
DE	[0]		Endzustellung: Letzte Zustelltiefe vor Erreichen der Endtiefe (plus Aufmaß)
			Mit D, DS und DE kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.
DB	[80]		Horizontale Zustellung beim Schruppen in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers
RA	[0]		Prozentuale Aufmaßreduzierungen von AK um $\text{AK} * \text{RA} / 100$ pro Zustellung ausgehend von der letzten Zustellung mit vollem Aufmaß AK in aufsteigender Zustellreihenfolge bis zur ersten Zustellung.
Q	[1]		Bearbeitungsrichtung Schruppen
		Q1	Gleichlauf
		Q2	Gegenlauf
			Eintauchen
O	[1]		Zustellbewegung
		O1	Senkrechtes Eintauchen
		O2	Helikales Eintauchen
		O4	Zustellung im Eilgang bis auf Sicherheitsabstand V zum Aufmaß
RH	[40]		Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung in Prozent des Fräserdurchmessers
DH			Zustellung pro Helix-Umdrehung oder alternativ AE
AE	[5]		Werkzeugeintauchwinkel in Winkelgrad beim helikalen Zustellen
			Trochoidales Schruppen
RM	[300]		RM ist der Bewegungs-Minimalradius in Prozent des Fräserdurchmessers bei den trochoidalen Schruppbewegungen (hier Zapfen-Bearbeitung als Kreisnut)
DT	[10]		Horizontale Zustellung beim trochoidalen Schruppen in Prozent des Fräserdurchmessers
			Schrupp-Technologie
F	[***]		Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E	[F]		Eintauchvorschub beim Zustellen
S	[***]		Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M			Maschinenbefehle (Eingabe von zwei M-Befehlen möglich)
			Schlichtaufmaße und Schichten
AK	[0]		Aufmaß auf die Kontur
AL	[0]		Aufmaß auf den Boden, AL negativ: Taschenvertiefung für Durchgangstasche
VA	[0]		Prozentuale Aufmaßvergrößerung des Randes nur für das Schichten des Bodens vor dem Schichten des Randes
DF	[D]		maximale vertikale Zustelltiefe beim Schichten. Mit DF0 wird die gesamte Randtiefe mit einer Schlichtzustellung geschichtet.
DJ	[DB]		Horizontale Schlicht-Zustellung in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers

QS [Q] Bearbeitungsrichtung Schlichten
QS1 Gleichlauf
QS2 Gegenlauf

Schlicht-Technologie

FF [F] Vorschub Schlichten
SF [S] Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schlichten
EC [0] Anzahl der Leerschnitte
M Maschinenbefehle (Eingabe von zwei M-Befehlen bei gesondertem Zyklusaufwurf für das Schlichten möglich)

In-Prozess-Messen

QL [P8100] Mess-Steuerindex (siehe Mess-Adress-Voreinstellungen in G28)
DQ [D] Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche
DU [DQ] Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche
DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung
RU [0] Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AU [0] Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
RQ [0] 2. Abstand vom Mittelpunkt zur 2. Tiefenmess-Position
AQ [0] 2. Winkel: RP, AP sind die Polarkoordinaten einer 2. Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt für eine Winkelberechnung des Taschenbodens
Der gemessene Winkel liegt in der Ebene der Verbindungslinie der beiden Messpunkte und der Z-Achse!
TV [0] Werkzeugnummer für automatische Verschleißkorrektur, TV0 keine Verschleißkorrektur. Man beachte: TV darf bei der Verwendung der Mehrfachzyklusaufwufe G76/77 **nicht** verwendet werden.
SO [50] Parameternummern Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
SP [500] erste Parameternummer der Messwertspeicherung
Verwendung von H als Mess-Steueradresse
H2 oder H8 oder H28 : Vermessen des Zapfens
Alle anderen Adresswerte von H : Vermessen des Randes und des Zapfens

[*] Voreinstellungswertregelungen** für die zyklusintern verwendeten Adresswerte von Schnittgeschwindigkeit/Drehzahl, Vorschub und den Zustellungen D, DB beim Schruppen sowie DF und DJ beim Schlichten und bei der trochoidalen HSC-Bearbeitung :

Beim Schruppen werden die modalen Adresswerte von S und F verwendet. Diese Werte werden dann als Voreinstellungswerte für S und F beim Schlichten verwendet.

Der Voreinstellungswert für die vertikale Schruppzustellung D in mm ist der Werkzeugdurchmesser. Die Schruppzustellungen D und DB sind dann die Voreinstellungswerte für die Schlichtzustellungen DF und DJ.

Programmierhinweise:

Weitere Adressen für die trochoidale Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung können mit G24, Modale Zyklusadressen, gesetzt werden.

Die konventionelle zirkulare Kreistaschenstrategie mit kleiner horizontaler Zustellung DB und großer vertikaler Zustellung D entspricht weitgehend schon der HSC-Strategie.

TV ist die Werkzeugnummer des zu korrigierenden Werkzeugs. Die Adresse TV kann verwendet werden, um den beim Messen ermittelten Verschleiß eines Werkzeugs in den Verschleißkorrekturwerten im Werkzeugspeicher zu aktualisieren.

So kann z. B. nach der Bearbeitung einer Kreistasche der Radius und die Position gemessen werden. Weichen die Werte vom Sollmaß ab, wird der ermittelte Verschleiß des Werkzeugs in die Werkzeugtabelle eingetragen. Beim nächsten Bearbeitungsschritt mit diesem Werkzeug wird der Verschleiß des Werkzeugs automatisch berücksichtigt.

G74 Nutenzyklus mit Stufen, Fasen und In-Prozess-Messerweiterungen

Mit unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien (pendelnd, konturparallel oder im trochoidalen HSC-Fräsen) wird eine Nut unter Berücksichtigung der Aufmaße in unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien gefräst.

Der Zyklus kann gesteuert durch QM und H mit unterschiedlichen Werkzeugen zum konventionellen oder HSC-Bearbeiten, Schlichten, dem Ansetzen von Randstufen oder Fasen aufgerufen werden.

G74 LP BP ZA/ZI V *OV EP W QM H OF D DS DE DB RA Q O RH DH/AE
RM DT F E S M AK AL VA DF DJ QS FF SF EC M
QL DQ DU DW RU AU RQ AQ TV SO SP*

Nutgeometrie, Fräszustellung und Sicherheitsabstand

LP	Länge der Nut in der 1. Geometrieachse, Bedingung $LP \geq BP$
BP	Breite der Nut in der 2. Geometrieachse (Durchmesser Abschlusskreisbögen)
ZA/ZI	Tiefe der Nut in der Zustellachskoordinate (in G17) ZA absolut in Werkstückkoordinaten ZI inkrementell ab Materialoberfläche
V	Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche

Optional:

Offene Nutseiten, Setzpunkt und globale Rückzugsebene

OV	[0]	Einseitig oder beidseitig offene Nutseiten OV0 Beidseitig durch Halbkreis geschlossene Nut OV1 Nut offen im rechten Abschlusshalbkreis (Richtung der positiven 1. Geometrieachse) OV2 Nut offen im linken Abschlusshalbkreis (Richtung der negativen 1. Geometrieachse) OV3 Nut beidseitig offen Die offene Nutseite wird durch die Verbindungsstrecke der Kreisbogenendpunkte gebildet. Diese Strecke ist eine Freistellkontur (d. h. vor dieser Kontur ist bis zur Nuttiefe kein Material vorhanden). Die Zustellung erfolgt unabhängig von O auf einer offenen Nutseite durch senkrecht zustellen - im Eilgang falls der Werkzeugdurchmesser kleiner als die Nutbreite ist.
EP	[0]	Setzpunktfestlegung für den Nutzyklus EP0 Nutmittelpunkt EP1 Mittelpunkt des rechten Abschlusshalbkreises (in Richtung der positiven 1. Geometrieachse) EP3 Mittelpunkt des linken Abschlusshalbkreises (in Richtung der negativen 1. Geometrieachse)
W	[**]	Höhe der Rückzugsebene absolut, **voreingestellt: Sicherheitsebene

Steueradressen des Zyklus-Ablaufs

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl QM0 Überspringen des Zyklus QM1 Bearbeiten ohne Stufen QM2 Bearbeiten mit Stufen QM3 Bearbeiten trochoidal mit Minimalradius RM ohne Stufen QM4 Bearbeiten trochoidal mit Minimalradius RM mit Stufen QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
----	-----	---

		QM-1 Fasen
		QM-2 nur die Stufen am Taschenrand ansetzen
		QM-3 nur die Stufen am Taschenrand ansetzen unter Beachtung der Schlichtreihenfolge der H-Adresse
H	[1]	Bearbeitungsart
		H1 Schruppen
		H4 Schlichten erst Rand dann Boden
		H5 Schlichten erst Boden dann Rand
		H6 nur Rand schlichten
		H7 nur Boden schlichten
		H14 Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden
		H15 Schruppen und Schlichten erst Boden dann Rand
		H16 Schruppen und Schlichten nur Rand
		H17 Schruppen und Schlichten nur Boden
OF	[0]	Vorschuboptimierung
		OF0 Vorschuboptimierung aus
		OF1 Vorschuboptimierung für konstante Spandicke ein
		Schruppen
D	[*]	Maximale Zustelltiefe Schruppen, *Voreinstellungen: Schruppen: $D = \text{Werkzeugdurchmesser}$, Trochoidales HSC-Schruppen: $D = 3 * \text{Werkzeugdurchmesser}$
DS	[0]	Startzustellung: Erste Zustelltiefe von der Materialoberfläche aus
DE	[0]	Endzustellung: Letzte Zustelltiefe vor Erreichen der Endtiefe (plus Aufmaß)
		Mit D, DS und DE kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.
DB	[80]	Horizontale Zustellung beim Schruppen in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierungen von AK um $AK * RA / 100$ pro Zustellung ausgehend von der letzten Zustellung mit vollem Aufmaß AK in aufsteigender Zustellreihenfolge bis zur ersten Zustellung.
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung Schruppen
		Q1 Gleichlauf
		Q2 Gegenlauf
O	[1]	Zustellbewegung
		O1 Senkrechtes Eintauchen
		O2 Helikales Eintauchen
		O3 Pendelndes Eintauchen (nicht bei trochoidalem HSC-Fräsen)
		O4 Zustellung im Eilgang bis auf Sicherheitsabstand V zum Aufmaß
RH	[40]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung in Prozent des Fräserdurchmessers
DH		Zustellung pro Helix-Umdrehung oder pro Pendelbewegung (alternativ zu AE)
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel in Winkelgrad beim helikalen Zustellen oder beim Pendeln
		Trochoidales Schruppen
RM	[300]	RM ist der Bewegungs-Minimalradius in Prozent des Fräserdurchmessers bei den trochoidalen Schruppbewegungen (hier Zapfen-Bearbeitung als Kreisnut)
DT	[10]	Horizontale Zustellung beim trochoidalen Schruppen in Prozent des Fräserdurchmessers
		Schrupp-Technologie-Werte
F	[***]	Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E	[F]	Eintauchvorschub beim Zustellen
S	[***]	Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehle (Eingabe von zwei M-Befehlen möglich)

Schlichtaufmaße und Schlichten

AK	[0]	Aufmaß auf die Kontur
AL	[0]	Aufmaß auf den Boden, AL negativ: Taschenvertiefung für Durchgangstasche
VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung des Randes nur für das Schlichten des Bodens vor dem Schlichten des Randes
DF	[D]	maximale vertikale Zustelltiefe beim Schlichten. Mit DF0 wird die gesamte Randtiefe mit einer Schlichtzustellung geschlichtet.
DJ	[DB]	Horizontale Schlicht-Zustellung in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers
QS	[Q]	Bearbeitungsrichtung Schlichten
	QS1	Gleichlauf
	QS2	Gegenlauf

Schlicht-Technologie-Werte

FF	[F]	Vorschub Schlichten
SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schlichten
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte
M		Maschinenbefehle (Eingabe von zwei M-Befehlen bei gesondertem Zyklusaufwurf für das Schlichten möglich)

In-Prozess-Mess-Adressen

QL	[P8100]	Mess-Steuerindex (siehe Mess-Adress-Voreinstellungen in G28)
DQ	[D]	Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche
DU	[DQ]	Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung
DW	[0]	Horizontaler Abstand für die Winkelmessung in Prozent der Taschen- und Zapfenlängen, DW=0: Keine Winkelmessung in der Bearbeitungsebene
RU	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AU	[0]	Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
RQ	[0]	2. Abstand vom Mittelpunkt zur 2. Tiefenmess-Position
AQ	[0]	2. Winkel: RP, AP sind die Polarkoordinaten einer 2. Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt für eine Winkelberechnung des Taschenbodens Der gemessene Winkel liegt in der Ebene der Verbindungslinie der beiden Messpunkte und der Z-Achse!
TV	[0]	Werkzeugnummer für automatische Verschleißkorrektur, TV0 keine Verschleißkorrektur. Man beachte: TV darf bei der Verwendung der Mehrfachzyklusaufrufe G76/77 nicht verwendet werden.
SO	[50]	Parameternummern Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
SP	[500]	erste Parameternummer der Messwertspeicherung

*****] Voreinstellungswertregelungen** für die zyklusintern verwendeten Adresswerte von Schnittgeschwindigkeit/Drehzahl, Vorschub und den Zustellungen D, DB beim Schruppen sowie DF und DJ beim Schlichten und bei der trochoidalen HSC-Bearbeitung :

Beim Schruppen werden die modalen Adresswerte von S und F verwendet. Diese Werte werden dann als Voreinstellungswerte für S und F beim Schlichten verwendet.

Der Voreinstellungswert für die vertikale Schruppzustellung D in mm ist der Werkzeugdurchmesser. Die Schruppzustellungen D und DB sind dann die Voreinstellungswerte für die Schlichtzustellungen DF und DJ.

Programmierhinweise:

Weitere Adressen für die trochoidale Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung können mit G24, Modale Zyklusadressen, gesetzt werden.

Eine optionale Drehung der Nut um die Z-Achse erfolgt beim Aufruf der Zyklen mit G76, G77, G78 und G79.

Beim In-Prozess-Messen von Rechtecktaschen und Nuten muss daher das Koordinatensystem um den jeweiligen Drehwinkel des Zyklusobjektes mitgedreht werden, um die Startpositionen und Messanfahrrichtungen richtig zu wählen zu können.

TV ist die Werkzeugnummer des zu korrigierenden Werkzeugs. Die Adresse TV kann verwendet werden, um den beim Messen ermittelten Verschleiß eines Werkzeugs in den Verschleißkorrekturwerten im Werkzeugspeicher zu aktualisieren.

So können z. B. nach der Bearbeitung einer Nut die Länge oder die Breite gemessen werden. Weichen die Werte vom Sollmaß ab, wird der ermittelte Verschleiß des Werkzeugs in die Werkzeugtabelle eingetragen. Beim nächsten Bearbeitungsschritt mit diesem Werkzeug wird der Verschleiß des Werkzeugs automatisch berücksichtigt.

G75 Kreisbogennutzzyklus mit Stufen, Fasen und In-Prozess-Messerweiterungen

Mit unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien (konturparalleles oder trochoidales HSC-Fräsen) wird eine Nut unter Berücksichtigung der Aufmaße in unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien (konturparallel, trochoidal oder pendelnd) gefräst.

Der Zyklus kann gesteuert durch QM und H mit unterschiedlichen Werkzeugen zum konventionellen oder HSC-Bearbeiten, Schlichten, dem Ansetzen von Randstufen oder Fasen aufgerufen werden.

G75 RP BP AN AO AP ZA/ZI V *OV EP W QM H OF D DS DE DB RA Q O RH
DH/AE RM DT F E S M AK AL VA DF DJ QS FF SF EC M
QL DQ DU RU AU RQ AQ TV SO SP*

Nutgeometrie, Fräszustellung und Sicherheitsabstand

BP	Breite der Nut (Durchmesser der Abschlusskreisbögen)
RP	Radius der Nut
AN	Polarer Startwinkel des Nutstartkreismittelpunktes
AO	Polarer Öffnungswinkel
AP	Polarer Endwinkel des Nutabschlusskreismittelpunktes Es müssen zwei der drei Winkel programmiert werden.
ZA/ZI	Tiefe der Nut in der Zustellachskoordinate in G17 ZA absolut in Werkstückkoordinaten ZI inkrementell ab Materialoberfläche
V	Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche

Optional:

Offene Nutseiten, Setzpunkt und globale Rückzugsebene

OV	[0]	Einseitig oder beidseitig offene Nutseiten OV0 Beidseitig durch Halbkreis geschlossene Nut OV1 Nut offen im Anfangshalbkreis der Nut OV2 Nut offen im Endhalbkreis der Nut OV3 Nut beidseitig offen Die offene Nutseite wird durch die Verbindungsstrecke der Kreisbogenendpunkte gebildet. Diese Strecke ist eine Freistellkontur (d. h. vor dieser Kontur ist bis zur Nuttiefe kein Material vorhanden). Die Zustellung erfolgt unabhängig von O auf einer offenen Nutseite durch senkrecht zustellen - im Eilgang falls der Werkzeugdurchmesser kleiner als die Nutbreite ist.
EP	[0]	Setzpunktfestlegung für den Nutzyklus EP0 Nutmittelpunkt EP1 Mittelpunkt des Anfangshalbkreises EP3 Mittelpunkt des Abschlusshalbkreises
W	[**]	Höhe der Rückzugsebene absolut, **voreingestellt: Sicherheitsebene

Steueradressen des Programmablaufs:

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl QM0 Überspringen des Zyklus QM1 Bearbeiten ohne Stufen QM2 Bearbeiten mit Stufen QM3 Bearbeiten trochoidal mit Minimalradius RM ohne Stufen QM4 Bearbeiten trochoidal mit Minimalradius RM mit Stufen QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
----	-----	---

		QM-1 Fasen
		QM-2 nur die Stufen am Taschenrand ansetzen
		QM-3 nur die Stufen am Taschenrand ansetzen unter Beachtung der Schlichtreihenfolge der H-Adresse
H	[1]	Bearbeitungsart
		H1 Schruppen
		H4 Schichten erst Rand dann Boden
		H5 Schichten erst Boden dann Rand
		H6 nur Rand schichten
		H7 nur Boden schichten
		H14 Schruppen und Schichten erst Rand dann Boden
		H15 Schruppen und Schichten erst Boden dann Rand
		H16 Schruppen und Schichten nur Rand
		H17 Schruppen und Schichten nur Boden
OF	[0]	Vorschuboptimierung
		OF0 Vorschuboptimierung aus
		OF1 Vorschuboptimierung für konstante Spandicke ein
		Schruppen
D	[*]	Maximale Zustelltiefe Schruppen, *Voreinstellungen: Schruppen: $D = \text{Werkzeugdurchmesser}$, Trochoidales HSC-Schruppen: $D = 3 * \text{Werkzeugdurchmesser}$,
DS	[0]	Startzustellung: Erste Zustelltiefe von der Materialoberfläche aus
DE	[0]	Endzustellung: Letzte Zustelltiefe vor Erreichen der Endtiefe (plus Aufmaß)
		Mit D, DS und DE kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.
DB	[80]	Horizontale Zustellung beim Schruppen in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierungen von AK um $AK * RA / 100$ pro Zustellung ausgehend von der letzten Zustellung mit vollem Aufmaß AK in aufsteigender Zustellreihenfolge bis zur ersten Zustellung.
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung Schruppen
		Q1 Gleichlauf
		Q2 Gegenlauf
O	[1]	Zustellbewegung
		O1 Senkrechtes Eintauchen
		O2 Helikales Eintauchen
		O3 Pendelndes Eintauchen (nicht bei trochoidalem HSC-Fräsen)
		O4 Zustellung im Eilgang bis auf Sicherheitsabstand V zum Aufmaß
RH	[40]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung in Prozent des Fräserdurchmessers
DH		Zustellung pro Helix-Umdrehung oder pro Pendelbewegung (alternativ zu AE)
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel in Winkelgrad beim helikalen Zustellen oder beim Pendeln
		Trochoidales Schruppen
RM	[300]	RM ist der Bewegungs-Minimalradius in Prozent des Fräserdurchmessers bei den trochoidalen Schruppbewegungen (hier Zapfen-Bearbeitung als Kreisnut)
DT	[10]	Horizontale Zustellung beim trochoidalen Schruppen in Prozent des Fräserdurchmessers
		Schrupp-Technologie-Werte
F	[***]	Vorschub beim Fräsen in der Ebene
E	[F]	Eintauchvorschub beim Zustellen
S	[***]	Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M	[M]	Zusatzfunktion

Schlichtaufmaße und Schlichten

AK	[0]	Aufmaß auf die Kontur
AL	[0]	Aufmaß auf den Boden, AL negativ: Taschenvertiefung für Durchgangstasche
VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung des Randes nur für das Schlichten des Bodens vor dem Schlichten des Randes
DF	[D]	maximale vertikale Zustelltiefe beim Schlichten. Mit DF0 wird die gesamte Randtiefe mit einer Schlichtzustellung geschlichtet.
DJ	[DB]	Horizontale Schlicht-Zustellung in Prozent des aktuellen Werkzeugdurchmessers
QS	[Q]	Bearbeitungsrichtung Schlichten
	QS1	Gleichlauf
	QS2	Gegenlauf

Schlicht-Technologie-Werte

FF	[F]	Vorschub Schlichten
SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schlichten
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte
M		Maschinenbefehle (Eingabe von zwei M-Befehlen bei gesondertem Zyklusaufwurf für das Schlichten möglich)

In-Prozess-Mess-Adressen

QL	[P8100]	Mess-Steuerindex (siehe Mess-Adress-Voreinstellungen in G28)
DQ	[D]	Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche
DU	[DQ]	Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung
RU	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AU	[0]	Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
RQ	[0]	2. Abstand vom Mittelpunkt zur 2. Tiefenmess-Position
AQ	[0]	2. Winkel: RP, AP sind die Polarkoordinaten einer 2. Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt für eine Winkelberechnung des Taschenbodens Der gemessene Winkel liegt in der Ebene der Verbindungslinie der beiden Messpunkte und der Z-Achse!
TV	[0]	Werkzeugnummer für automatische Verschleißkorrektur, TV0 keine Verschleißkorrektur. Man beachte: TV darf bei der Verwendung der Mehrfachzyklusaufrufe G76/77 nicht verwendet werden.
SO	[50]	Parameternummern Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
SP	[500]	erste Parameternummer der Messwertspeicherung

*****] Voreinstellungswertregelungen** für die zyklusintern verwendeten Adresswerte von Schnittgeschwindigkeit/Drehzahl, Vorschub und den Zustellungen D, DB beim Schruppen sowie DF und DJ beim Schlichten und bei der trochoidalen HSC-Bearbeitung :

Beim Schruppen werden die modalen Adresswerte von S und F verwendet. Diese Werte werden dann als Voreinstellungswerte für S und F beim Schlichten verwendet.

Der Voreinstellungswert für die vertikale Schruppzustellung D in mm ist der Werkzeugdurchmesser. Die Schruppzustellungen D und DB sind dann die Voreinstellungswerte für die Schlichtzustellungen DF und DJ.

Programmierhinweise:

Weitere Adressen für die trochoidale Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung können mit G24, Modale Zyklusadressen, gesetzt werden.

Eine optionale Drehung der Kreisbogennut um die Z-Achse erfolgt beim Aufruf der Zyklen mit G76, G77, G78 und G79.

Beim In-Prozess-Messen von Rechtecktaschen und Nuten muss daher das Koordinatensystem um den jeweiligen Drehwinkel des Zyklusobjektes mitgedreht werden, um die Startpositionen und Messanfahrrichtungen richtig zu wählen zu können.

TV ist die Werkzeugnummer des zu korrigierenden Werkzeugs. Die Adresse TV kann verwendet werden, um den beim Messen ermittelten Verschleiß eines Werkzeugs in den Verschleißkorrekturwerten im Werkzeugspeicher zu aktualisieren.

So kann z. B. nach der Bearbeitung einer Nut die Breite gemessen werden. Weicht dieser Werte vom Sollmaß ab, wird der ermittelte Verschleiß des Werkzeugs in die Werkzeugtabelle eingetragen. Beim nächsten Bearbeitungsschritt mit diesem Werkzeug wird der Verschleiß des Werkzeugs automatisch berücksichtigt.

G76 Bohrbild Strahl, Rahmen, Gitter

Die Wiederholung der O vielen Zyklusaufufe mit gleichem Abstand D auf einem vom Startpunkt ausgehenden Strahl mit Winkel AS bezogen auf die erste Geometrieachse kann mit einem zweiten Strahl im Winkel AI zum ersten Strahl erweitert werden. Auf dem zweiten Strahl in Richtung (AS+AI) haben die Zyklusaufufe einen zweiten Abstand DI und zweite Wiederholungszahl OI. Die Zyklusaufufpunkte der beiden Strahlen werden zu einem zweidimensionalen Wiederholungsbild der Zyklusaufufe als Flächen-Punktgitter einer Punktgitterraute ergänzt und der Zyklus wahlweise nur an den Gitterpunkten des ersten Strahls oder an allen Gitterpunkten oder nur auf den Randpunkten des Gitters aufgerufen.

G76 D AS O *AR W H X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZAZI Q AI DI OI*

D Abstand der Zyklusaufufpunkte auf dem ersten Strahl
 AS Winkel des Strahls der Zyklusaufufe (bezüglich 1. Geometrieachse)
 O Anzahl der Zyklusaufufpunkte auf dem ersten Strahl in Richtung AS
 (Zahl der Spalten der Gittermatrix)

Optional:

AR [0] Drehwinkel zur 1. Geometrieachse um den das Zyklusobjekt gedreht wird
 W [*] Höhe der Rückzugsebene absolut, *voreingestellt: Sicherheitsebene
 H [1] Rückfahrposition
 H1 Sicherheitsebene wird nach jeder Zyklusausführung angefahren,
 nach letzter Aufruf-Position jedoch die Rückzugsebene
 H2 Rückzugsebene wird nach jeder Zyklusausführung angefahren
 Startpunkt des Bohrbildes (1. Aufrufposition)
 X/XA/XI [*] G90, G91/absolute/inkrementelle X-Koordinate des ersten Aufrufpunkts
 Y/YA/YI [*] G90, G91/absolute/inkrementelle Y-Koordinate des ersten Aufrufpunkts
 Z/ZAZI [*] G90, G91/absolute/inkrementelle Z-Koordinate des ersten Aufrufpunkts
 [*] Default: aktuelle Werkzeugposition
 Q [0] Entscheidung, ob Halbgerade/Strahl oder Rahmen oder Gitter
 Q0 Halbgerade/Strahl
 Q1 Rahmen
 Q2 Gitter
 DI [D] Abstand der Zyklusaufufe auf dem zweiten Strahl
 AI [90] Inkrementeller Winkel des zweiten Strahls der Zykluswiederholungen
 bezüglich der Richtung AS des ersten Strahls
 OI [O] Anzahl der Aufrufpositionen auf dem zweiten Strahl in Richtung (AS+AI)
 (Zahl der Zeilen der Gittermatrix)

G77 Mehrfachzyklus auf einem oder mehreren konzentrischen Teilkreisen

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

R		Radius des Teilkreises, R = 0 ist zulässig
AN		Polarer Winkel der ersten Zyklusaufrufposition bezogen auf die positive 1. Geometrieachse (G17 : X)
AI		Inkrementeller Winkel mit Orientierung (\pm) zwischen zwei benachbarten Zyklusaufrufpositionen
AP		Polarer Winkel der letzten Zyklusaufrufposition bezogen auf die positiven 1. Geometrieachse (G17 : X)
O		Anzahl der Zyklusaufrufe auf dem Teilkreis
<i>Optional:</i>		
RI		Radiusinkrement für konzentrische Teilkreise (positiv oder negativ)
OI		Anzahl der konzentrischen Teilkreise
I/IA		Mittelpunktcoordinate des Teilkreismittelpunkts in G17, G18
	I	X-Koordinatendifferenz zwischen Kreismittelpunkt und aktueller Werkzeugposition
	IA	X-Mittelpunktcoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
J/JA		Mittelpunktcoordinate des Teilkreismittelpunkts in G17, G18
	J	Y-Koordinatendifferenz zwischen Kreismittelpunkt und aktueller Werkzeugposition
	JA	Y-Mittelpunktcoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
Z/ZI/ZA	[Zi-V]	Materialoberfläche (Voreinstellung ZI=-V)
	Z	absolute oder inkrementell Eingabe gesteuert durch G90/G91
	ZI	inkrementell Koordinatenwerteingabe zur aktuellen Werkzeugposition
	ZA	absolute Werkstückkoordinateneingabe
AR	[0]	Drehwinkel mit Orientierung (\pm), um den vorab das Zyklusobjekt (Tasche/Nut) um die Zustellachsrichtung in seinem Setzpunkt gedreht wird.
Q	[1]	Orientierung der zu bearbeitenden Zyklusgeometrie
	Q1	Mitdrehen des Objektes (Voreinstellung): Das Objekt wird ab der zweiten Bearbeitungsposition um den inkrementellen Winkel AI um seinen Setzpunkt gedreht.
	Q2	feste Orientierung des Objektes
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene absolut, *voreingestellt: Sicherheitsebene
H	[1]	Rückfahrposition
	H1	die Sicherheitsebene wird zwischen zwei Positionen angefahren, die Rückzugsebene erst nach der letzten Position
	H2	die Rückzugsebene wird zwischen zwei Positionen angefahren
	H3	Es wird wie bei H1 verfahren, jedoch wird die nächste Position nicht linear, sondern auf einem Teilkreisbogen angefahren.
FP	[F]	Positioniervorschub in G94 auf dem Teilkreisbogen bei H3

Programmierhinweise:

Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.

Ohne aktiven Arbeitszyklus wird die Programmausführung mit der Fehlermeldung "Kein Arbeitszyklus aktiv" beendet.

Es können die drei Winkel AN, AI oder AP nur dann programmiert werden, wenn die Differenz (AP - AN) ein ganzzahliges Vielfaches von AI ist. Es gilt dann $O = |(AP - AN) / AI| + 1$.

Die Zyklusaufzurufpunkte werden für AN < AP im Gegenuhrzeigersinn und für AN > AP im Uhrzeigersinn angeordnet.

Ein Sonderfall bei G77 ist der Mehrfachaufruf der Kreisbogennut G75 mit Setzpunkt im Kreisbogenmittelpunkt, wenn die Kreisbogennuten auf einem Kreis mit dem Radius der Kreisbogennut liegen sollen. Mit der Voreinstellung Mitdrehen Q1 des Objektes muss auch R0 programmiert werden.

Im Fall eines negativen Inkrements RI muss für das Produkt $ABS(RI) \cdot (OI-1) < R$ gelten. Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G78 Zyklusaufwurf auf einem Punkt (Polarkoordinaten)

G78 I /IA J /JA RP AP Z /ZI /ZA AR W (Adressen für G17)

I, IA	X-Koordinate des Pols (1.Geometrieachse)
I	X-Koordinatendifferenz zwischen Pol und Startpunkt
IA	X-Polkoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
J, JA	Y-Koordinate des Pols (2.Geometrieachse)
J	Y-Koordinatendifferenz zwischen Pol und Startpunkt
JA	Y-Polkoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
RP	Polarradius
AP	Polarwinkel bezogen auf die 1. Geometrieachse

Optional:

Z, ZI, ZA	Materialoberfläche in der Zustellachse von G17
Z	absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
ZI	inkrementelle Koordinateneingabe zur aktuellen Werkzeugposition
ZA	absolute Werkstückkoordinateneingabe
[ZI = -V	Das Werkzeug steht in der Sicherheitsebene. Die Materialoberfläche liegt um -V unter der aktuellen Werkzeugposition.]
AR [0]	Drehwinkel zur positiven 1. Geometrieachse, um den das Zyklusobjekt (Tasche/Nut) um die Zustellachse gedreht wird.
W	Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten [Rückzugsebene aus Zyklusdefinition]

Programmierhinweise:

Es wird der aktuelle Zyklus (ausgenommen ist der Konturtaschenzyklus) an der programmierten Position ausgeführt.

Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.

G79 Zyklusaufwurf auf einem Punkt (kartesische Koordinaten)

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

Optional:

X, XI, XA	X-Koordinate des ersten Punktes (1. Geometrieachse von G17) X absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91 XI inkrementelle Koordinateneingabe zur aktuellen Werkzeugposition XA absolute Werkstückkoordinateneingabe [aktuelle Werkzeugposition XI0]
Y, YI, YA	Y-Koordinate des Punktes (2. Geometrieachse von G17) Y absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91 YI inkrementelle Koordinateneingabe zur aktuellen Werkzeugposition YA absolute Werkstückkoordinateneingabe [aktuelle Werkzeugposition YI0]
Z, ZI, ZA	Materialoberfläche in der Zustellachse von G17 Z absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91 ZI inkrementelle Koordinateneingabe zur aktuellen Werkzeugposition ZA absolute Werkstückkoordinateneingabe [ZI = -V Das Werkzeug steht in der Sicherheitsebene. Die Material- oberfläche liegt um -V unter der aktuellen Werkzeugposition.]
AR [0]	Drehwinkel zur positiven 1. Geometrieachse, um den das Zyklusobjekt (Tasche/Nut) um die Zustellachse gedreht wird.
W	Höhe der Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten [Rückzugsebene aus Zyklusdefinition]

Programmierhinweise:

Es wird der aktuelle Zyklus (ausgenommen ist der Konturtaschenzyklus) an der programmierten Position ausgeführt.

Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.

G81 Bohrzyklus mit In-Prozess-Messerweiterungen

G81 ZA/ZI V W F S M QM QL DQ DU RU AU RB SO SP

ZA/ZI		Tiefe der Bohrung in der Zustellachskoordinate ZA absolut in Werkstückkoordinaten ZI inkrementell ab Materialoberfläche
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
<i>Optional:</i>		
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene absolut, voreingestellt: Sicherheitsebene
F		Bohrvorschub
S		Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
QM	[1]	Steueradresse des Programmablaufs: Bearbeitungsauswahl QM0 Überspringen des Zyklus QM1 Bearbeiten QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
In-Prozess-Mess-Adressen		
QL	[P8100]	Mess-Steuerindex (siehe Mess-Adress-Voreinstellungen in G28)
DQ	[D]	Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche Defaultwert D in den Zyklen G82, G83 und G87
	[ZI/2]	Defaultwert ZI/2 = halbe Zustellung in den Zyklen G81, G85 und G86
DU	[DQ]	Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung
RU	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AU	[0]	Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
RB	[0]	Sollradius der Bohrung zur Überprüfung der Toleranzmaße und zur Bestimmung des Werkzeugverschleißes, RB0 keine Überprüfung
SO	[50]	Parameternummern-Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
SP	[500]	erste Parameternummer der Messwertspeicherung

Man beachte: Die Messung der Tiefe bei Bohrungen mit Spiralbohrern wird durch die konische Spitze verfälscht.

G82 Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch und mit In-Prozess-Messerweiterungen

G82 ZA/ZI D V W VB DR DM DA O U F E S M QM QL DQ DU RU AU RB SO SP

ZA/ZI		Tiefe der Bohrung in der Zustellachskoordinate ZA absolut in Werkstückkoordinaten ZI inkrementell ab Materialoberfläche
D		Maximale Zustelltiefe / Messtiefe, vorzeichenlos bei Messoption
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
<i>Optional:</i>		
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene absolut, voreingestellt: Sicherheitsebene
VB	[1]	Rückzugsabstand vom Bohrgrund
DR	[0]	Reduzierwert der Zustelltiefe (ohne Vorzeichen)
DM	[*]	Mindestzustellung; Default: Werkzeugradius / 2
DA		Anbohrtiefe
U		Verweilzeit am Bohrgrund (Spanbruch)
O	[2]	Verweilzeiteinheit O1 Sekunden O2 Umdrehungen
F		Bohrvorschub
E	[F]	Anbohrvorschub
S		Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktion
Steueradresse des Programmablaufs:		
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl QM0 Überspringen des Zyklus QM1 Bearbeiten QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
In-Prozess-Mess-Adressen		
QL	[P8100]	Mess-Steuerindex (siehe Mess-Adress-Voreinstellungen in G28)
DQ	[D]	Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche Defaultwert D in den Zyklen G82, G83 und G87
	[ZI/2]	Defaultwert ZI/2 = halbe Zustellung in den Zyklen G81, G85 und G86
DU	[DQ]	Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung
RU	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AU	[0]	Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
RB	[0]	Sollradius der Bohrung zur Überprüfung der Toleranzmaße und zur Bestimmung des Werkzeugverschleißes, RB0 keine Überprüfung
SO	[50]	Parameternummern-Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
SP	[500]	erste Parameternummer der Messwertspeicherung

Man beachte: Die Messung der Tiefe bei Bohrungen mit Spiralbohrern wird durch die konische Spitze verfälscht.

G83 Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch und Entleeren sowie mit In- Prozess-Messerweiterungen

G83 ZA/ZI D V W VB DR DM DA O U F E S M QM QL DQ DU RU AU RB SO SP

ZA/ZI		Tiefe der Bohrung in der Zustellachskoordinate ZA absolut in Werkstückkoordinaten ZI inkrementell ab Materialoberfläche
D		Maximale Zustelltiefe / Messtiefe, vorzeichenlos bei Messoption
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
<i>Optional:</i>		
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene absolut, voreingestellt: Sicherheitsebene
VB	[1]	Rückzugsabstand vom Bohrgrund
DR	[0]	Reduzierwert der Zustelltiefe (ohne Vorzeichen)
DM	[*]	Mindestzustellung; Default: Werkzeugradius / 2
DA		Anbohrtiefe
U		Verweilzeit am Bohrgrund (Spanbruch)
O	[2]	Verweilzeiteinheit O1 Sekunden O2 Umdrehungen
F		Bohrvorschub
E	[F]	Anbohrvorschub
S		Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
Steueradresse des Programmablaufs:		
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl QM0 Überspringen des Zyklus QM1 Bearbeiten QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
In-Prozess-Mess-Adressen		
QL	[P8100]	Mess-Steuerindex (siehe Mess-Adress-Voreinstellungen in G28)
DQ	[D]	Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche Defaultwert D in den Zyklen G82, G83 und G87
	[ZI/2]	Defaultwert ZI/2 = halbe Zustellung in den Zyklen G81, G85 und G86
DU	[DQ]	Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung
RU	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AU	[0]	Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
RB	[0]	Sollradius der Bohrung zur Überprüfung der Toleranzmaße und zur Bestimmung des Werkzeugverschleißes, RB0 keine Überprüfung
SO	[50]	Parameternummern-Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
SP	[500]	erste Parameternummer der Messwertspeicherung

Man beachte: Die Messung der Tiefe bei Bohrungen mit Spiralbohrern wird durch die konische Spitze verfälscht.

G84 Gewindebohrzyklus

G84 ZA/ZI F M V W S M QM

ZA/ZI		Tiefe der Gewindebohrung in der Zustellachskoordinate
	ZA	absolut in Werkstückkoordinaten
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche
F		Gewindesteigung
M		Drehrichtung des Werkzeuges beim Eintauchen
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche

Optional:

W	[*]	Höhe der Rückzugsebene absolut, voreingestellt: Sicherheitsebene
S		Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M		weitere Zusatzfunktion

Steueradresse des Programmablaufs:

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
		QM0 Überspringen des Zyklus
		QM1 Bearbeiten

G85 Reibzyklus mit In-Prozess-Messerweiterungen

G85 ZA/ZI V W F E S M QM QL DQ DU RU AU RB SO SP

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

Optional:

W [*] Höhe der Rückzugsebene absolut, voreingestellt: Sicherheitsebene
 F Bohrvorschub
 E [F] Rückzugsvorschub
 S Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
 M Zusatzfunktion

Steueradresse des Programmablaufs:

QM [1] Bearbeitungsauswahl
 QM0 Überspringen des Zyklus
 QM1 Bearbeiten
 QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)

In-Prozess-Mess-Adressen

QL [P8100] Mess-Steuerindex (siehe Mess-Adress-Voreinstellungen in G28)
 DQ [D] Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche
 [ZI/2] Defaultwert D in den Zyklen G82, G83 und G87
 DU [DQ] Defaultwert ZI/2 = halbe Zustellung in den Zyklen G81, G85 und G86
 Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche
 DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung
 RU [0] Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
 AU [0] Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
 RB [0] Sollradius der Bohrung zur Überprüfung der Toleranzmaße und zur Bestimmung des Werkzeugverschleißes, RB0 keine Überprüfung
 SO [50] Parameternummern-Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
 SP [500] erste Parameternummer der Messwertspeicherung

G86 Ausdrehzyklus mit In-Prozess-Messerweiterungen

G86 ZA/ZI V W DR F S M QM QL DQ DU RU AU RB SO SP

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

Optional:

W [*] Höhe der Rückzugsebene absolut, voreingestellt: Sicherheitsebene
DR [WZDm/20] Freifahrtweglänge in der Bearbeitungsebene, Voreinstellung 1/20 des
Ausdrehwerkzeugdurchmessers

F Bohrvorschub
S Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M Zusatzfunktion

Steueradresse des Programmablaufs:

QM [1] Bearbeitungsauswahl
QM0 Überspringen des Zyklus
QM1 Bearbeiten
QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern
unter P(SP)

In-Prozess-Mess-Adressen

QL [P8100] Mess-Steuerindex (siehe Mess-Adress-Voreinstellungen in G28)
DQ [D] Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche
Defaultwert D in den Zyklen G82, G83 und G87
[ZI/2] Defaultwert ZI/2 = halbe Zustellung in den Zyklen G81, G85 und G86
DU [DQ] Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche
DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung
RU [0] Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AP [0] Winkel: RP, AP sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position
mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
RB [0] Sollradius der Bohrung zur Überprüfung der Toleranzmaße und zur
Bestimmung des Werkzeugverschleißes, RB0 keine Überprüfung
SO [50] Parameternummern-Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
SP [500] erste Parameternummer der Messwertspeicherung

G87 Bohrfräszyklus mit In-Prozess-Messerweiterungen

Mit G87 wird eine Bohrung durch helikales Zustellen eines Fräswerkzeuges hergestellt.

G87 ZA/ZI R D V *W BG F S M QM QL DQ DU RU AU TV RB SO SP*

ZA/ZI		Tiefe der Bohrung in der Zustellachskoordinate ZA absolut in Werkstückkoordinaten ZI inkrementell ab Materialoberfläche
R		Radius der Bohrung
D		Helikale Zustellung, Messtiefe
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
<i>Optional:</i>		
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene absolut, voreingestellt: Sicherheitsebene
BG	[2]	Bearbeitungsrichtung BG2 Im Uhrzeigersinn BG3 Entgegen dem Uhrzeigersinn
F		Bohrvorschub
S		Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktion
Steueradresse des Programmablaufs:		
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl QM0 Überspringen des Zyklus QM1 Bearbeiten QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
In-Prozess-Mess-Adressen		
QL	[P8100]	Mess-Steuerindex (siehe Mess-Adress-Voreinstellungen in G28)
DQ	[D]	Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche Defaultwert D in den Zyklen G82, G83 und G87
	[ZI/2]	Defaultwert ZI/2 = halbe Zustellung in den Zyklen G81, G85 und G86
DU	[DQ]	Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung
RU	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AP	[0]	Winkel: RP, AP sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
TV	[0]	Werkzeugnummer für automatische Verschleißkorrektur, TV0 keine Verschleißkorrektur. Man beachte: TV darf bei der Verwendung der Mehrfachzyklusaufrufe G76/77 nicht verwendet werden.
RB	[0]	Sollradius der Bohrung zur Überprüfung der Toleranzmaße und zur Bestimmung der Verschleißkorrekturen, RB0 keine Überprüfung
SO	[50]	Parameternummern-Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
SP	[500]	erste Parameternummer der Messwertspeicherung

Programmierhinweise:

Die Bearbeitung wird durch eine Kreisbewegung ohne Zustellung abgeschlossen. Die Abfahrbewegung erfolgt tangential auf einem Kreis und endet im Mittelpunkt.

G88 Innengewindefräszyklus

Mit der Gewindetiefe und der Gewindesteigung wird die Zahl der Gewinderillen bestimmt. Mit der Zahl der Werkzeugrillen ergibt sich die Zahl der ganzen Helixumdrehungen, die mit dem Versatz $D \cdot Q$ einzeln mit An- und Abfahrbewegungen ausgeführt werden. Nur bei Q1 werden alle Helixumdrehungen hintereinander mit nur einer An- und Abfahrbewegung ausgeführt.

Wenn die Zahl der Gewinderillen kein ganzzahliges Vielfaches von Q ist, wird die Restzahl der Gewinderillen-Luftschnitte über der Materialoberfläche ausgeführt, so dass der Sicherheitsabstand gegebenenfalls automatisch vergrößert wird.

G88 ZA/ZI DN D Q V W BG F S M QM

ZA/ZI		Tiefe der Bohrung in der Zustellachskoordinate ZA absolut in Werkstückkoordinaten ZI inkrementell ab Materialoberfläche
R		Radius der Bohrung
DN		Nenndurchmesser des Innengewindes
D		Gewindesteigung D+ Bearbeitung von oben nach unten D- Bearbeitung von unten nach oben
Q		Gewinderillenzahl des Werkzeugs
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
<i>Optional:</i>		
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene absolut, voreingestellt: Sicherheitsebene
BG	[2]	Bewegungsrichtung des Fräasers BG2 Im Uhrzeigersinn BG3 Entgegen dem Uhrzeigersinn
F		Vorschub
S		Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktion
Steueradresse des Programmablaufs:		
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl QM0 Überspringen des Zyklus QM1 Bearbeiten

Die An- und Abfahrbewegung erfolgt vom Zentrum weg bzw. zum Zentrum des Gewindes hin. Die Bearbeitung wird mit dem Erreichen der Zustelltiefe abgeschlossen. Aber: Der Zyklus führt An- und Abfahrbewegungen in der Bearbeitungsebene aus, denen eine zum Kreissektorwinkel proportionale Zustellung überlagert wird, um den Gewindeeinlauf und -auslauf nicht zu verletzen. Dies bedingt am Gewindestartpunkt (Materialoberfläche) und am Gewindeendpunkt Überlaufzustellwege, die bei Bohrungstiefen zu berücksichtigen sind. Der Zyklus benötigt einen Kreissektor von je 90 Grad, um die An- und Abfahrbewegung durchzuführen. Dies erfordert einen beidseitigen Gewindeüberlaufweg von einem Viertel der Gewindesteigung D.

Die Gewindedrehrichtung ergibt sich aus dem Vorzeichen von D und der Bewegungsrichtung BG.

G89 Außengewindefräszyklus

Mit der Gewindetiefe und der Gewindesteigung wird die Zahl der Gewinderillen bestimmt. Mit der Zahl der Werkzeugrillen ergibt sich die Zahl der ganzen Helixumdrehungen, die mit dem Versatz $D \cdot Q$ einzeln mit An- und Abfahrbewegungen ausgeführt werden. Nur bei Q1 werden alle Helixumdrehungen hintereinander mit nur einer An- und Abfahrbewegung ausgeführt.

Wenn die Zahl der Gewinderillen kein ganzzahliges Vielfaches von Q ist, wird die Restzahl der Gewinderillen-Luftschnitte über der Materialoberfläche ausgeführt, so dass der Sicherheitsabstand gegebenenfalls automatisch vergrößert wird.

G89 ZA/ZI DN D Q V W BG F S M QM

ZA/ZI		Tiefe der Bohrung in der Zustellachskoordinate ZA absolut in Werkstückkoordinaten ZI inkrementell ab Materialoberfläche
R		Radius der Bohrung
DN		Nenndurchmesser des Innengewindes
D		Gewindesteigung D+ Bearbeitung von oben nach unten D- Bearbeitung von unten nach oben
Q		Gewinderillenzahl des Werkzeugs
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
<i>Optional:</i>		
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene absolut, voreingestellt: Sicherheitsebene
BG	[2]	Bewegungsrichtung des Fräasers BG2 Im Uhrzeigersinn BG3 Entgegen dem Uhrzeigersinn
F		Vorschub
S		Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit
M		Zusatzfunktion
Steueradresse des Programmablaufs:		
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl QM0 Überspringen des Zyklus QM1 Bearbeiten

Der Radius der An- und Abfahrbewegung wird in Abhängigkeit vom Gewindekerndurchmesser, der Steigung und dem Werkzeugdurchmessers von der Steuerung berechnet. Die Bearbeitung wird mit dem Erreichen der Zustelltiefe abgeschlossen. Aber: Der Zyklus führt An- und Abfahrbewegungen in der Bearbeitungsebene aus, denen eine zum Kreissektorwinkel proportionale Zustellung überlagert wird, um den Gewindeeinlauf und -auslauf nicht zu verletzen. Dies bedingt am Gewindestartpunkt (Materialoberfläche) und am Gewindeendpunkt Überlaufzustellwege, die bei Bohrungstiefen zu berücksichtigen sind. Der Zyklus benötigt einen Kreissektor von je 90 Grad um die An- und Abfahrbewegung durchzuführen. Dies erfordert einen beidseitigen Gewindeüberlaufweg von einem Viertel der Gewindesteigung D.

Die Gewindedrehrichtung ergibt sich aus dem Vorzeichen von D und der Bewegungsrichtung BG.

Parameterprogrammierung

Entsprechend zu den modernen CNC-Steuerungen wird die Syntax für Verzweigungen angepasst und der PAL-G29-Befehl durch die nachstehenden Standardprogrammierbefehle ersetzt. Bei bedingten Sprüngen und Schleifen müssen die Programmierregeln der DIN66025 verlassen werden, da diese Norm bedauerlicherweise nicht an die internationalen Entwicklungen der CNC-Steuerungen angepasst wurde. Sprünge oder Schleifen werden heute wie nachstehend auf allen Steuerungen programmiert.

Es wird zwischen zwei Arten von Parametern unterschieden:

Benutzerparameter

Systemparameter

Benutzerparameter

Die Benutzerparameter werden mit der Adresse P und dem ganzzahligen Adresswert von 1 bis 9999 programmiert. Führende Nullen in dem Adresswert können weggelassen werden. Die Parameter mit den Nummern 1 bis 5000 stehen dem Benutzer zur Verfügung. Die Parameter mit den Nummern größer als 5000 werden für interne Berechnungen verwendet.

Der Wert des Parameters P0 hat die spezielle Bedeutung eines noch nicht durch eine Zuweisung definierten Parameters (undefined).

Die Wertzuweisung bei Benutzerparametern erfolgt durch Gleichheitszeichen nach dem Adresswert von P, z. B.

$$P4711 = -100.00$$

Als Wert kann ein berechenbarer arithmetischer Ausdruck zugewiesen werden – im einfachsten Fall eine Zahl, wie in dem obigen Beispiel.

Es können mehrere Parameterzuweisungen in einem NC-Satz programmiert werden.

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

$$X = P4711$$

Auch ist es möglich, einer Adresse mit Gleichheitszeichen den Wert eines arithmetischen Ausdruckes (s. dort) zuzuordnen.

Systemparameter

Über Systemparameter kann auf aktuelle Achswerte und Setzungen des CNC-Steuerungssystems lesend zugegriffen werden, die z. B. beim Schreiben von Unterprogrammen benötigt werden (siehe Liste der Systemparameter).

Diese Systemparameteradressen beginnend mit dem Buchstaben P und haben keinen Adresswert, sondern nur eine an P angehängte Buchstabenkombination, z. B.

PNX aktueller Nullpunkt in X.

Man beachte: Den Systemparametern kann kein Wert zugewiesen werden.

Die Systemparameter werden beim Programmablauf dynamisch verändert und haben beim Abruf stets den aktuellen Wert.

Systemparameter der Makro- und Zyklusprogrammierung bei Drehen und Fräsen

Parameter	Bedeutung	Werte
PDM	Radius/Durchmesserprogrammierung	0=Radius 1=Durchmesser 2=Durchm abs, Radius inkr.
PXA	Aktuelle X-Koordinate absolut	
PYA	Aktuelle Y-Koordinate absolut	
PZA	Aktuelle Z-Koordinate absolut	
PAA	Aktuelle A-Achsposition absolut	
PBA	Aktuelle B-Achsposition absolut	
PCA	Aktuelle C-Achsposition absolut	
PG	Modaler G-Befehl	0=G00 1=G01 2=G02 3=G03
PAI	Endpunktkoord. absolut/inkremental	90=G90 91=G91
PNR	Angewählte einstellb. Nullpkt.schiebung	54=G54 55=G55 56=G56 57=G57
PNX	Aktueller Werkstücknullpunkt in X	
PNY	Aktueller Werkstücknullpunkt in Y	
PNZ	Aktueller Werkstücknullpunkt in Z	
PMX	Einstellbare Nullpunktverschiebung in X	
PMY	Einstellbare Nullpunktverschiebung in Y	
PMZ	Einstellbare Nullpunktverschiebung in Z	
PFM	Millimeter-/Umdrehungsvorschub	94=G94 95=G95
PF	Aktueller Vorschub	
PSM	Konstante Drehzahl/Schnittgeschw.	96=G96 97=G97
PS	Aktuelle Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
PSG	Grenzdrehzahl	
PM	Aktuelle Drehrichtung	3=M3 4=M4 5=M5
PT	Aktuelle Werkzeugnummer	
PTC	Aktuelle Korrekturwertregisternummer	
PCR	Schneidenradius	
PCL	Längenkorrektur	
PCX	Korrekturwert in X	
PCY	Korrekturwert in Y	
PCZ	Korrekturwert in Z	
PCQ	Quadrant	
PD	Einstechmeißelbreite/ Bohrerdurchmesser	

Rechenoperationen

Addition	+	Eine Addition wird mit dem Zeichen "+" (Plus) programmiert.
Subtraktion	-	Eine Subtraktion wird mit dem Zeichen "-" (Minus) programmiert.
Multiplikation	*	Eine Multiplikation wird mit dem Zeichen "*" (Stern) programmiert.
Division	/	Eine Division wird mit dem Zeichen "/" (Schrägstrich) 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.

Vorzeichen- angabe	+ -	Durch die Vorzeichenangabe + (Plus) oder - (Minus) können Werte als reelle Zahlen mit bis zu vier Nachkommastellen verwendet werden. Werte ohne Vorzeichen werden als positive Zahlen interpretiert:
Klammern	()	Mit den angeführten Rechenarten ist auch die Verwendung von Klammern zur Steuerung der Abarbeitungsreihenfolge möglich. Als Zeichen werden hierfür "(" (Klammer auf) und ")" (Klammer zu) verwendet.

Mathematische Funktionen

Zur Programmierung steht eine Liste von Funktionen zur Verfügung. Eine Funktion ordnet ihrem in Klammern stehenden Argument, das ein arithmetischer Ausdruck sein kann, einen Funktionswert zu. Eine Funktion kann auch zwei durch Komma getrennte Argumente haben (MOD und ATAN2). Der Funktionswert wird mit dem Funktionsnamen und den angehängten Argumenten in Klammern programmiert. Ein Funktionswert kann in einem arithmetischen Ausdruck wie eine Zahl oder ein Parameter verwendet werden.

In der nachstehenden Funktionsaufstellung steht F für eine beliebige positive oder negative Gleitkommazahl und I für eine ganze Zahl (positiv oder negativ).

Absolutbetrag	ABS(F/I)	Berechnet den Absolutbetrag des Argumentes als Funktionswert.
Integer-Wert	INT(F)	Schneidet die Nachkommastellen des Argumentes ab und hat als Funktionswert eine ganze Zahl.
Modulo-Funktion	MOD(I1,I2)	Restbetrag IR einer ganzzahligen Division. Der Rest $IR = I1 - (I1 / I2) * I2$ ist betragsmäßig kleiner als I2.
Aufrunden	CEIL(F)	Bestimmt die kleinste ganze Zahl, die größer oder gleich dem Argument ist.
Absolutwert abrunden	FIX(F)	Aufrunden und Abrunden auf eine ganze Zahl.
Abrunden	FLOOR(F)	Bestimmt die größte ganze Zahl, die kleiner oder gleich dem Argument ist.
Absolutwert aufrunden	FUP(F)	Aufrunden und Abrunden auf eine ganze Zahl.
Runden	ROUND(F)	Aufrunden und Abrunden auf eine ganze Zahl.
Vorzeichen	SGN(F)	Bei negativen Argument = -1, bei positiven Argument = +1.
Sinus	SIN(F)	Sinusfunktion mit der Argumenteinheit Winkelgrad.
Kosinus	COS(F)	Kosinusfunktion mit der Argumenteinheit Winkelgrad.
Tangens	TAN(F)	Tangensfunktion mit der Argumenteinheit Winkelgrad.
Arcussinus	ASIN(F)	Arcussinusfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.
Arcuskosinus	ACOS(F)	Arcuskosinusfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.
Arcustangens	ATAN(F)	Arcustangensfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.
ATAN2(F1,F2)	ATAN2(F1,F2)	Die Arcustangensfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad. Die Funktion entspricht der Tangensfunktion $F1/F2$ für $F2 \neq 0$. und $ATAN2(F1,0)=90^\circ$ für $F1>0$ $ATAN2(F1,0)=-90^\circ$ für $F1<0$.
Quadrat-Wurzel	SQRT(F)	Quadratwurzelfunktion
Exponentialfunktion	EXP(F)	Die Exponentialfunktion ist die Potenz e^F und wird mit der Eulerschen Konstanten $e = 2,71828$ berechnet.
natürlicher Logarithmus	LN(F)	Als Umkehrfunktion zur obigen Exponentialfunktion kann mit "LN" der Logarithmus zur Basiszahl e berechnet werden.

Arithmetische und Logische Ausdrücke

Arithmetische Ausdrücke

Ein arithmetischer Ausdruck wird aus Parametern, Zahlenwerten und Funktionswerten zusammen mit den arithmetischen Operationen +, −, *, / und Klammerungen () gebildet, wobei die üblichen Algebra-Regeln 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 “(“ (runde Klammer auf) eröffnet und mit dem Zeichen „)” (runde Klammer zu) abgeschlossen werden.

Arithmetische Teilausdrücke eines arithmetischen Ausdruckes innerhalb der äußeren Klammern können ebenfalls durch runde Klammern eingeschlossen werden.

Besteht ein arithmetischer Ausdruck **nur aus einer Zahl** oder **nur aus einem Parameter** muss der Ausdruck **nicht eingeklammert** werden.

Vor seiner Verwendung in einem arithmetischen Ausdruck muss der Benutzerparameter P im NC-Programm bereits definiert sein.

Zuweisung

Der Begriff der Zuweisung ist hier beschränkt auf die Zuweisung des Wertes eines arithmetischen Ausdrucks per Gleichheitszeichen zu einem Parameter P oder zu einer NC-Adresse, die zusammen ein NC-Wort aus Adresse und Adresswert bilden, $P1=(arithm. \text{ Ausdruck})$ oder $X=(arithm. \text{ Ausdruck})$.

$P1=(arithm. \text{ Ausdruck})$ weist dem Parameter P1 den Wert des arithmetischen Ausdrucks zu
 $P(arithm. \text{ Ausdruck})$ ist der Parameter mit der Parameternummer gleich dem Wert des arithmetischen Ausdrucks

Logische Ausdrücke

Ein logischer Ausdruck (oder auch logische Bedingung genannt) besteht aus einem zweibuchstabigem Vergleichsoperator zwischen zwei arithmetischen Ausdrücken. Diese drei Angaben werden jeweils durch ein Leerzeichen getrennt und durch runde Klammern eingefasst. Ein arithmetischer Ausdruck kann hier auch nur aus einer Zahl oder einem Parameter bestehen.

((Arithmet. Ausdruck 1) Vergleichsoperator (Arithmet. Ausdruck 2))

Vergleichsoperatoren

Die Vergleichsoperatoren bestehen aus zwei Buchstaben und werden benutzt, um im Vergleich zweier Zahlenwerte festzustellen, ob dieser Vergleich der beiden Zahlenwerte richtig oder falsch ist.

EQ	gleich	(EQUAL)
NE	ungleich	(NOT EQUAL)
GT	größer als	(GREATER THAN)
GE	größer gleich	(GREATER or EQUAL)
LT	kleiner als	(LESS THAN)
LE	kleiner gleich	(LESS or EQUAL)

Logische Ausdrücke haben damit entweder den Wahrheitswert wahr oder falsch.

Diesem Wahrheitswert eines logischen Ausdrucks werden die Zahlenwerte

1 für **wahr** und

0 für **falsch**

zugeordnet.

In einem sinnvollen logischen Ausdruck ist in einem arithmetischen Ausdruck mindestens ein Parameter enthalten, dessen Wert die Entscheidung zwischen richtig und falsch verändern kann.

Logische Programmsteuer-Anweisungen der PAL-NC-Programmierung

GOTO-Anweisung

Die GOTO-Anweisung ist ein unbedingter Sprung auf die Satznummer, die nach dem GOTO steht.

```
GOTO      xxx
```

Programmierhinweise:

Es wird von der Steuerung die Satznummer vom Programmanfang aus gesucht. Der Programm-
lauf bricht mit einer Fehlermeldung ab, wenn diese Satznummer nicht gefunden wird.

Der Befehl GOTO als **unbedingter Sprung** muss allein in einem NC-Satz stehen.

IF-Anweisungen

Mit der IF-Anweisung können bedingte Programmsprünge oder bedingte Zuweisungen program-
miert werden. Unterschieden wird dies durch die Ergänzungen.

Nach IF muss ein logischer Ausdruck programmiert werden.

IF GOTO Bedingter Programmsprung

Der Befehl **IF GOTO** ist ein **bedingter Sprung** auf die Satznummer, die nach dem GOTO steht.
Der Programmsprung erfolgt ausschließlich, wenn die Bedingung erfüllt ist, d. h. der logische
Ausdruck wahr ist.

```
IF (logischer Ausdruck)      GOTO      xxx
```

Programmierhinweise:

Die Steuerung sucht die Satznummer vom Programmanfang aus und bricht mit einer Fehler-
meldung ab, wenn diese NC-Satznummer nicht gefunden wird.

Ist **der logische Ausdruck falsch**, wird sofort der nach der IF-Abfrage stehende NC-Satz
ausgeführt.

Der IF-Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

IF..THEN Bedingte Parameterzuweisung

Der Befehl **IF THEN** ist eine **bedingte Parameterzuweisung**. Diese erfolgt ausschließlich, wenn
die Bedingung erfüllt ist, d. h. der logische Ausdruck wahr ist.

```
IF (logischer Ausdruck)      THEN  Pxxx=(Zahl oder arithmetischer Ausdruck)
```

Programmierhinweise:

Der IF-Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

DO- und END-Anweisungen für den Anfang und das Ende einer Programmschleife

Mit dem Befehl **DO** wird ein Programmabschnitt bis zu einer Endanweisung **END endlos** wiederholt.

Der Wiederholungsabschnitt wird durch zwei NC-Sätze eingerahmt:

Der erste NC-Satz beginnt mit der Schleifenanfangs-NC-Satz **DOi** und endet mit dem NC-Satz **ENDi** für eine ganze Zahl von 1 bis 9.

NC-Satz Programmschleifen-Anfang:

DOi , für eine ganze Zahl i von 1 bis 9

NC-Satz Programmschleifen-Ende:

ENDi für eine ganze Zahl i von 1 bis 9

Programmierhinweise:

Um die Wiederholungen dieses Programmabschnitts zu verlassen, muss ein im Programmabschnitt stehender bedingter Sprungbefehl **IF GOTO** (siehe oben) verwendet werden.

Für die Schleifenbereiche von **DOi** bis **ENDi** gelten folgende Regeln:

1. Die DO-END-Bereiche dürfen sich nicht gegenseitig überschneiden.
2. DO-Schleifen können verschachtelt sein (maximale Schachteltiefe = 9).
3. Im Programmablauf kann aus seiner Schleife herausgesprungen werden.
4. Im Programmablauf kann nicht in eine Schleife nach dem DO-Befehl hineingesprungen werden.

Die Befehle **DOi** und **ENDi** müssen bei Endlosschleifen jeweils allein in einem NC-Satz stehen.

WHILE ... DO Anfang einer bedingten Wiederholungsschleife

Bei diesem Befehl wird ein Programmabschnitt bedingt wiederholt.

Die Wiederholung wird durch zwei NC-Sätze eingerahmt. Der erste NC-Satz beginnt mit WHILE gefolgt von der Schleifenanfangsmarke DO_i und endet mit dem NC-Satz END_i für eine ganze Zahl von 1 bis 9. In runden Klammern nach WHILE steht ein logischer Ausdruck. Solange dieser den Wert wahr hat, wird die Schleife wiederholt. Ist der logische Ausdruck vor einer Wiederholung falsch, erfolgt ein Sprung auf den nach der Endmarke END_i stehenden NC-Satz.

Start-NC-Satz:

WHILE (logischer Ausdruck) DO_i (i=1,2,3, ...,9)

Obligat:

Do_i (i=1,2,3, ...,9) Wiederholungsstartmarke

Optional:

WHILE (logischer Ausdruck)

End-NC-Satz

END_i (i=1,2,3, ...,9) Endmarke

Endlos-Schleife

Wenn der optionale Anteil „WHILE (logischer Ausdruck)“ nicht programmiert wird, so entsteht eine Endlos-Schleife:

Eine **Endlos-Schleife** beginnt mit der Wiederholungsstartmarke DO_i als NC-Satz und endet bei END_i. Durch das Fehlen der optionalen logischen Abbruchbedingung mit WHILE läuft diese Schleife endlos. Die Programmschleife kann dann nur durch einen Sprung z. B. mit

„IF (logischer Ausdruck) GOTO xxx“

aus der Schleife heraus beendet werden.

Programmierhinweise:

Für die Schleifenbereiche von DO_i bis END_i gelten folgende Regeln:

Die DO-END-Bereiche dürfen sich nicht gegenseitig überschneiden.

DO-Schleifen können verschachtelt sein (maximale Schachteltiefe = 9).

Im Programmablauf kann aus seiner Schleife herausgesprungen werden.

Im Programmablauf kann nicht in eine Schleife nach der DO-Anweisung hineingesprungen werden.

G65 Makro-Aufruf (Macro Call)

Der Aufrufzyklus G65 mit der in der Adresse L angegebenen Unterprogramm-Nummer ruft dieses Unterprogramm als sogenanntes Makro auf. Der Aufruf als Makro hat zwei wesentliche Vorteile gegenüber dem Unterprogrammaufruf (G22). Zum einen können dem Makro Parameter übergeben werden und zum anderen können die Parameter P1 bis P33 als lokale Parameter im Makro ohne Einschränkungen verwendet werden.

Gegenüber einem Unterprogrammaufruf, bei dem vom Programmierer zuerst alle benutzten Eingabeparameter gesetzt werden müssen, bietet der Makro-Aufruf den Vorteil, dass eine Adressliste beim Aufruf als Argumente an das Unterprogramm übergeben wird, die automatisch in die Rechenparameter umgesetzt wird. Das Unterprogramm selbst wird in der üblichen Weise mit Parametern programmiert. Mit diesem Makro ist es z. B. möglich, eigene Steuerungs-Bearbeitungszyklen mit Aufrufadressen zu programmieren.

G65 L O A B C D E F H I J K M Q R S T U V W X Y Z

L		Programm-Nummer des Makros als obligate Adresse
<i>Optional:</i>		
O	[1]	Zahl der Wiederholungen des Makros

A-Z: Adressliste mit den zulässigen Adressen als Makro-Argument-Liste

Die im Aufruf mit G65 verwendeten Adress-Buchstaben zwischen A und Z mit Ausnahme der Adressbuchstaben G, L, N, O und P sind von den sonst im NC-Programm verwendeten Adressen mit gleichlautendem Adressnamen völlig verschieden. Deren Werte werden auch nicht aus der CNC-Steuerung übernommen und auch nicht an diese zurückgegeben, sondern nur lokal in dem Makro verwendet.

Der Adresswert wird wie nachstehend angegeben intern in lokale Parameter mit den Nummern 1 bis 26 durch G65 in der angegebenen festen Reihenfolge umgespeichert:

A	P1
B	P2
C	P3
D	P7
E	P8
F	P9
H	P11
I	P4
J	P5
K	P6
M	P13
Q	P17
R	P18
S	P19
T	P20
U	P21
V	P22
W	P23
X	P24
Y	P25
Z	P26

Programmierhinweise:

Im Makro-Aufruf müssen die vordefinierten Adressen verwendet werden.

Im Makro selbst können diese Adressen nur als P-Parameter mit den entsprechenden Nummern benutzt werden.

Nicht im Unterprogramm L verwendete Aufruf-Adressen müssen nicht programmiert werden.

Im Unterprogramm L können die lokalen Parameter P1 bis P26 als lokale Variablen **zusammen mit anderen Parametern und Systemparametern** verwendet werden.

Default-Regelung: Die den nicht angegebenen Adressen entsprechenden lokalen Variablen werden gleich P0 d. h. auf "nicht definiert" gesetzt. Der Parameter P0 mit der Parameternummer 0 hat steuerungsintern der Wert nicht definiert.

Anmerkung: Da die Übergabe von Eingabedaten an Unterprogramme standardmäßig nur durch das Speichern dieser Daten in Parametern möglich ist und das Aufrufen von Unterprogrammen auf diese Weise fehleranfällig ist, gibt es diesen speziellen Unterprogrammaufruf als Makro-Aufruf G65 mit einer automatischen Umsetzung der Adressbuchstaben in Parameter.

In-Prozess-Messen mit Messtastern

Bei der automatischen Fertigung ist die kontinuierliche Qualitätskontrolle mit der Möglichkeit noch korrigierend in den Bearbeitungsprozess einzugreifen eine grundlegende Anforderung. Die einfachste Form ist dabei die Überwachung der Werkzeuge durch Nachführung der Verschleißkorrekturwerte und automatischem Übergang zu einem Ersatzwerkzeug bei zu großem Werkzeugverschleiß oder beim Erreichen einer maximalen Werkzeug-Standzeit.

Das Messen in der Bearbeitungsmaschine hat auf den ersten Blick den Nachteil, dass durch die Maschinenkinematik bedingte Bearbeitungsfehler in unterschiedlichen Mehrseiten-Bearbeitungsebenen auch beim Messen auftreten, was bei Verwendung einer Messmaschine ausgeschlossen werden kann. In letzterem Fall ist aber ohne eine aufwendige Werkstückeinspannung auf Paletten ein Nacharbeiten eines Werkstücks durch erneutes Einspannen sehr aufwendig und durch die erneute Einspannung ebenfalls fehleranfällig.

Die durch die Maschinenkinematik zurückzuführenden Fehler hängen maßgeblich auch von der Steifigkeit der Maschine ab und die daraus resultierenden Bearbeitungstoleranzen sind abhängig von den auftretenden Schnittkräften. Diese Belastungen entfallen aber, wenn die Maschine nur einen Messtaster zu verfahren hat. Die zu beobachtende immer größere Popularität des In-Prozess-Messens bestätigt diese Hinwendung zu den In-Prozess-Messverfahren.

Das Messen und die Toleranzüberwachung erfordert für die unterschiedlichen Prüfungen eine Vielzahl von Eingabedaten, die noch durch die zu überprüfenden Fertigungstoleranzen ergänzt werden. Da die standardisierten PAL-Messzyklen nicht alle Messaufgaben abdecken können, gibt es die Möglichkeit diese Messergebnisse in Parametern zu speichern, um weitergehende Messanforderungen – z. B. auch kombiniert mit elementaren G07-Einzelmessungen – durch gesonderte Berechnungen mit Parametern zu erhalten und z. B. eigene Mess-Makros für spezielle Messaufgaben selbst zu schreiben und die Ergebnisse in einem Messreport zusammenzustellen.

Alle Messzyklen wie die Elementaren Messzyklen G8 und die Erweiterungen der Taschenzyklen verwenden die Methode der optionalen Doppelmessung bestehend aus einer Vorabmessung durch Anfahrt des Messzielpunktes im schnellen Positioniervorschub FT, gefolgt von einer Rückzugsbewegung der Länge LT und einer erneuten Anfahrt des Messzielpunktes im Messvorschub FM, um lange Anfahrtswege im Messvorschub zu vermeiden.

Doppelmessung: Zuerst wird der Messzielpunkt mit dem Positioniervorschub FT angefahren und nach einer Rückfahrt um LT, der Summe von Überfahrlänge zum Vorschub FT und dem Minimalen Messweg LM, wird der Messzielpunkt erneut im Messvorschub FM angefahren. Im Fall $LT \leq 0$ wird die Vorabmessung unterdrückt.

Message-Befehl MSG – Anzeige von Nachrichten

Der Befehl MSG erzeugt eine Textausgabe in der Konsole. Er bietet die Möglichkeit, Informationen, Warnungen, Fehler oder Messergebnisse anzuzeigen.

Ein Text besteht aus ASCII-Zeichen (einschließlich Leerzeichen) und darin enthaltenen Erweiterungskommandos. Der Text wird durch doppelte Anführungszeichen eingerahmt. Da die doppelten Anführungszeichen den Beginn und das Ende des Textes markieren, dürfen doppelte Anführungszeichen innerhalb des Textes nicht verwendet werden.

MSG "TEXT"

"TEXT" beliebiger Text in Hochkommata

MSG "" erzeugt eine Leerzeile

Erläuterung zum Parameter TEXT:

Die Erweiterungskommandos stehen im Text in „spitzen Klammern“ gebildet aus den beiden Zeichen „kleiner als“ und „größer als“ und stehen als Platzhalter für spezielle Texte. So können mit den Erweiterungskommandos z. B. die aktuelle Uhrzeit oder das aktuelle Datum sowie mit den Erweiterungskommandos Zahlen formatiert in den Text eingefügt werden.

Ausgabe des Datums und der Uhrzeit:

Für die Ausgabe des Datums stehen folgende Erweiterungskommandos zur Verfügung:

<DD>	gibt den Tag als Zahl mit führender 0 aus (01 bis 31)
<MM>	gibt den Monat als Zahl mit führender 0 aus (01 bis 12)
<YY>	gibt das Jahr als zweistellige Zahl mit führender Null aus (00 bis 99)
<YYYY>	gibt das Jahr als vierstellige Zahl aus
<TIME24>	gibt Uhrzeit als 24-Stundenangabe aus.

Formatierte Zahlenausgabe:

In den spitzen Klammern für die Parameterwertausgabe stehen das Ausgabeformat gefolgt von dem Parameter P mit seinem Adresswert oder ein Systemparametername. Das Format und der Parameter werden durch ein Komma getrennt:

<Format,Parameter>

Leerzeichen sind innerhalb der Parameterwertausgaben nicht erlaubt.

Ausgabeformat:

Das Format besteht aus einer Folge von #-Zeichen, die zwischen zwei #-Zeichen durch einen Punkt getrennt wird, oder einer #-Zeichenfolge, die mit einem Punkt endet, oder einer #-Zeichenfolge ohne abschließenden Punkt.

<####.###, P100> <#####., P100>, <###, P100>

Die Zahl der #-Zeichen vor dem Dezimalpunkt legt die reservierte minimale Vorkomma-Stellenzahl (vor dem Dezimalpunkt) fest, zu der noch eine freigehaltene Anzeigestelle für das mögliche Vorzeichen hinzukommt.

Dabei gelten die folgenden Regeln:

Endet das Format mit einem Punkt, wird der Parameterwert auf einen ganzzahligen Wert gerundet und mit Dezimalpunkt ausgegeben. Fehlt dieser Dezimalpunkt am Ende des Formates, so wird kein Dezimalpunkt ausgegeben.

Hat der auszugebende Parameterwert weniger Stellen vor dem Komma, werden zusätzlich Leerstellen oder wie nachstehend beschrieben führende Nullen ausgegeben, so dass die minimale Vorkomma-Stellenzahl erreicht wird.

Hat der Parameterwert mehr Stellen vor dem Komma, so wird die Stellenzahl automatisch erhöht, so dass der Zahlenwert mit allen Vorkomma-Stellen und dem optionalen Vorzeichen vor dem Komma ausgegeben werden kann.

Mit nur einem #-Zeichen vor dem Dezimalpunkt werden also stets alle Stellen eines Parameterwertes und eine Null bei einem Absolutwert kleiner als eins mit einem optionalen Vorzeichen vor dem Dezimalpunkt ausgegeben.

Negative Parameterwerte werden prinzipiell mit einem Minuszeichen ausgegeben.

Die Zahl der #-Zeichen nach dem Dezimalpunkt legt die Nachkomma-Stellenzahl (nach dem Dezimalpunkt) fest.

Hat ein Parameterwert mehr Nachkommastellen, wird dieser auf die vorgegebene Stellenzahl gerundet.

Endet die #-Zeichenfolge mit einem Punkt, wird der Parameterwert auf einen ganzzahligen Wert gerundet und mit Dezimalpunkt ausgegeben. Fehlt dieser Dezimalpunkt am Ende der #-Zeichenfolge, so wird kein Dezimalpunkt ausgegeben.

Die letzte ausgegebene Stelle wird prinzipiell aus dem Parameterwert mathematisch gerundet.

Der #-Zeichenfolge der Vorkommastellen können zwei Zeichen zur Ausgabesteuerung vorangestellt werden.

Erstens die Ziffer Null „0“ als Formatauffüll-Ziffer statt Leerzeichen und zweitens das Vorzeichen plus „+“ zur Ausgabe eines positiven Vorzeichens.

<0#####.##> <+#####.##> <+0#####.##>

Beginnt die #-Zeichenfolge oder 0#-Zeichenfolge mit einem Pluszeichen, werden auch positive Parameterwerte mit dem vorangestellten Pluszeichen graviert.

Mit der Ziffer Null (vor dem ersten #-Zeichen) wird festgelegt, dass zum Erreichen der minimalen Stellenzahl vor dem Dezimalpunkt die Ausgabe zwischen dem optionalen Vorzeichen und der ersten Ziffer mit Nullen aufgefüllt wird. Ohne die Ziffer Null wird zum Erreichen der minimalen Stellenzahl die Ausgabe vor dem optionalen Vorzeichen durch Leerstellen aufgefüllt.

G7 Elementarer Messbefehl für eine Berührungspunktmessung

Mit diesem Messbefehl kann die Koordinatenposition des Tastkugelzentrums eines Messtasters bei Berührung eines Hindernisses bestimmt und in den PAL-Systemparametern PXA, PYA und PZA abgespeichert werden sowie eine Konsolmeldung gemacht werden. Hierfür muss der Messtaster als Werkzeug eingewechselt und die Korrekturwerte der verwendeten Tastkugel mit dem Korrekturwertregister TC angewählt werden.

G7 [X/XA/XI] [Y/YA/YI] [Z/ZA/ZI] [O] [SP]

Optional:

XA/XI/X	X-Zielpunktcoordinate
XI	inkrementelle Koordinateneingabe bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
XA	absolute Werkstückkoordinateneingabe
X	absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
YA/YI/Y	Y-Zielpunktcoordinate
YI	inkrementelle Koordinateneingabe bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
YA	absolute Werkstückkoordinateneingabe
Y	absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
ZA/ZI/Z	Z-Zielpunktcoordinate
ZI	inkrementelle Koordinateneingabe bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
ZA	absolute Werkstückkoordinateneingabe
Z	absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91 Voreinstellungswertregelung erfolgt mit der Koordinatenselbstthaltefunktion
O	[1] Vorschubauswahlindex
O1	Messen im Messvorschub FM mit Anzeige im Anzeigefenster (Message-Box)
O2	Messen im Messvorschub FM ohne Anzeige im Anzeigefenster (Message-Box)
O3	Geschützter Verfahrensweg im Positioniervorschub FT (bei Hindernis Anhalten und Ausführen des nächsten NC-Satzes: schnelles Antasten)
O4	Geschützter Verfahrensweg im Positioniervorschub FT (bei Berührungskollision mit einem Hindernis erfolgt ein Anhalten und Programmabbruch)
SP	[100] Die Berührungspunktcoordinate PXA, PYA und PZA werden in den Parametern P(SP), P(SP+1) und P(SP+2) abgespeichert. Für SP≤0 werden diese Ergebnisse nicht gespeichert.

Beschreibung des Messvorgangs mit den Steueradressen FM, FT, LM, LO, LT aus G27

Dieser G-Befehl führt eine lineare Bewegung in dem mit O angewählten Vorschub auf den programmierten Zielpunkt in Linearinterpolation (G01) bis zur Berührung eines Hindernisses durch den Taster aus. Diese Bewegung wird in der programmierten Zielpunkttrichtung um eine Überfahrlänge LO über den Zielpunkt hinaus verlängert, falls bis zum programmierten Zielpunkt keine Hindernisberührung stattgefunden hat. Gibt es auch mit der Verlängerung LO der Verfahrestrecke über den Zielpunkt hinaus keinen Berührungspunkt wird im Fall O1 oder O2 der Zyklus mit Fehlermeldung abgebrochen.

Die Messungen müssen mit dem **Messvorschub FM** erfolgen, für den der Messtaster mit dem Kalibrierzyklus G26 kalibriert wurde. Bei Bewegungen im **geschützten Positioniervorschub FT** kann die Steuerung die Bewegung noch anhalten, ohne dass der Messtaster beschädigt wird. Dieser Vorschub hängt von dem Messtaster und auch von der Maschine ab und wird i. A. vom Hersteller des Messtasters angegeben. Er ist jedoch nicht für eine Messung geeignet.

Nach der Berührung eines Hindernisses gibt der Messtaster nach einem messtaster-spezifischen Signal-Auslöseweg ein Haltesignal an die CNC-Steuerung. Die Steuerung reagiert im Rahmen ihrer Steuerungstaktzeit und speichert entweder die zu diesem Zeitpunkt aktuellen Achskoordinatenwerte ab und hält die Bewegung an oder bremst zuerst die Linearbewegung ab und speichert dann erst die Achskoordinatenwerte ab. Aus diesen abgespeicherten Koordinatenwerten werden mit den Kalibrierdaten die Koordinatenwerte des Berührungspunkts berechnet. Bei der Kalibrierung wird auch berücksichtigt, dass der Messtaster möglicherweise nicht genau zentrisch in der Aufnahme eingespannt ist und so richtungsabhängige Messabweichungen entstehen würden.

Voraussetzung für eine korrekte Rückrechnung auf die Tastkugelmittelpunktposition ist die Einhaltung des Messvorschubs FM mit dem die Kalibrierung erfolgte. Deshalb gibt es auch die Adresse der **minimalen Messweglänge LM**, die erforderlich ist, um den Taster auf den Messvorschub FM zu beschleunigen.

Die Steueradressen für den Messvorgang FM, FT, LO, LM, LT werden in G27, Modale Zyklusadressen Messen, gesetzt.

Ein in der Praxis gängiges Messverfahren ist, im schnelleren Positioniervorschub FT das Messobjekt anzufahren, dann mit FT die Rückzugslänge für die Zweitmessung LT in der Anfahrtrichtung zurückzufahren, um dann den Zielpunkt erneut mit dem Messvorschub FM anzufahren (schnelles Antasten). Im Fall $LT \leq 0$ wird die Vorabmessung unterdrückt.

Man beachte aber, dass das Messergebnis einer elementaren Messung ohne Zusatzangaben (senkrecht antasten eine Kante) bedeutungslos ist, da es lediglich den Ort des Zentrums der Tastkugel im Berührfall aber nicht den Berührungspunkt selbst angibt.

G26 Mess-Taster-Kalibrierzyklus für Kalibrierringe und Kalibrierkugeln

Der Kalibrierzyklus bestimmt für alle Bewegungsrichtungen die Berührungspunktüberfahrwege für einen Messvorschubwert FM in mm/min. Dabei werden die Einflüsse der CNC-Steuerung und der Maschinendynamik unter Einbeziehung des Werkstück- und Spannmittelgewichts sowie des Signal-Auslösewegs des verwendeten Messtasters unter Berücksichtigung der Tastarm-Geometrie berücksichtigt. Da dieses Verhalten richtungsabhängig ist, muss der Taster für jede verwendete Bewegungsrichtung kalibriert werden.

Die Änderung des Messvorschubs FM erfordert eine erneute Kalibrierung.

Die Verwendung eines anderen Messtaster-Einsatzes (i. A. mit 1, 3 oder 5 Tastköpfen) erfordert daher wegen der unterschiedlichen Tastarmgeometrie und der dadurch unterschiedlichen Auslösewege eine erneute Kalibrierung. Um keine Messrichtungseinschränkung zu haben, wird der Taster mit kleinen Winkeldifferenzen in allen möglichen Tastrichtungen kalibriert. Winkel zwischen den Kalibrierrichtungen werden interpoliert.

G26 Q TC FM X Y Z R AH AV

Q [1] Kalibrieren
Q1 Ring innen
Q2 Ring außen
Q3 Kugel

TC Korrekturwertregister Mess-Tasters

FM Messvorschub

X X-Koordinate des Zentrums des Kalibrierrings in XY oder der Kalibrierkugel

Y Y-Koordinate des Zentrums des Kalibrierrings in XY oder der Kalibrierkugel

Z Z-Koordinate der Oberfläche des Kalibrierrings oder des Zentrums der Kalibrierkugel

R Innerer Radius des Kalibrierringes oder Radius der Kalibrierkugel

Optional:

AH [5] Winkeldifferenz der horizontalen (Azimut-) Kalibrierrichtungen in Winkelgrad in der Bearbeitungsebene

AV [0] Höhenwinkeldifferenz der Kalibrierrichtungen bei Kalibrier-Kugelmessungen zum Messvorschub FM berechnet

Die Kalibrierung erfolgt nicht in den Fertigungs-NC-Programmen, sondern wird vorab für die verwendeten Taster durchgeführt. Zwischen verschiedenen Eichwertsätzen der Taster kann umgeschaltet werden, z. B. bei einem Tasterwechsel oder nur einem Tastkopfwechsel oder der Änderung des Messvorschubs.

Für die PAL-Prüfungssteuerungen ist G26 der Vollständigkeit halber notwendig und ein Hinweis auf die notwendige Kalibrierung der Messtaster. Eine erneute Kalibrierung ist nur bei der Änderung des Messvorschubs oder bei der Verwendung einer anderen Messtastarm-Geometrie oder dem Messen sehr schwerer Werkstücke und Spannmittel erforderlich.

G27 Modale Zyklusadressen Messen

Mit dem Befehl G27 werden die zu einer Tastkugel eines bereits eingewechselten Messtasters unter der Nummer des zugehörigen Korrekturwertregisters abgespeicherten Kalibrierwerte aktiviert und die zugehörigen Mess-Steueradressen der Kalibrierung eingegeben. Diese sind der Messvorschub der Kalibrierung FM, der Positioniervorschub FT und die minimal erforderliche Messweglänge LM, die zum Erreichen des Messvorschubs FM benötigt wird.

Der schnelle Positioniervorschub FT garantiert, dass die Achsbeschleunigungswerte die Bewegung mit dem Vorschub FT nach einem Taster-Auslösesignal innerhalb der Kollisionsüberfahrweglänge des Messtasters zum Halt abbremesen können, ohne dass der Taster zu Schaden kommt. Der Wert für FT wird i. A. vom Tasterhersteller für eine CNC-Maschine voreingestellt (oder muss mit der maximalen Kollisionsüberfahrweglänge des Tasters zu einer Taster-Referenzlänge aus der Tastergeometrie mit dem Ablenkungswinkel und den Achsbeschleunigungsdaten berechnet werden).

G27 FM FT LM LO *LT TC*

FM Mess-Vorschub (G94)

FT Positioniervorschub (G94) für schnelle Taster-Bewegungen

LM Minimal erforderliche Messweglänge unter Berücksichtigung des Tastkugelradius

LO Maximale Überfahrlänge des programmierten Endpunktes der Messbewegung ohne dass ein Taster-Auslösesignal eingegangen ist (Abbruch fehlerhafter Messbewegungen)

Optional:

LT [2*LM] Rückfahrlänge bei schneller Vorausmessung mit Vorschub FT für erneute Messung mit FM mit Anfahrt des gleichen Messzielpunktes.

TC [1] **Wichtig: Für $LT \leq 0$** wird die Vorausmessung unterdrückt
Korrekturwertregister des Mess-Tasters

Programmierhinweise:

In einem Programmlauf müssen die Mess-Steueradressen beim ersten Einwechseln eines Messtasters aktiviert werden.

G28 Toleranzwertadressen für Form- und Lageabweichungen

Setzen von Prüftoleranzen für die automatische Begutachtung der Messergebnisse in den Messzyklen. Diese Adressen werden in den Mess- und Prüfzyklen verwendet. In Benutzer-Unterprogrammen und Benutzer-Makros können diese Adressen ebenfalls als Parameter mit den angegebenen Parameternummern verwendet werden.

G28 *QL QT DX DY DZ DXMIN DXMAX DYMIN DYMAX DZMIN DZMAX DR DRZ DL DB DRMIN DRMAX DRZMIN DRZMAX DLMAX DLMIN DBMAX DBMIN DAV DAH DAVMIN DAVMAX DAHMIN DAHMAX*

Optional:

Parameter

QL	[1]	Auswahl des In-Prozess-Messumfangs	P8100
		QL0 Keine Prüfung	
		QL1 Messen in der Bearbeitungsebene	
		QL2 Messen nur in der Zustellrichtung	
		QL3 Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung	
		QL4 Messen in der Bearbeitungsebene unter Einbeziehung der Verrundungsradien und in der Zustellrichtung	
		QL5 Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit Vertikal-Winkelberechnungen	
		QL6 Messen in der Bearbeitungsebene wie QL5 und zusätzlich mit Horizontal-Winkelberechnungen und Mittelwertbildungen	
QT	[0]	QT0 Nur Messen	
		QT1 Messen mit Prüfen der Form- und Lageabweichungen und gegebenenfalls mit Fehlermeldungen ohne Programmabbruch	
		QT2 Messen mit Prüfen der Form- und Lageabweichungen und gegebenenfalls mit Fehlermeldungen und Programmabbruch	
		Lageabweichungen	
DX		symmetrische Abweichung in X	P8101
DY		symmetrische Abweichung in Y	P8102
DZ		symmetrische Abweichung in Z	P8103
DXMIN		minimale Abweichung in X	P8104
DXMAX		maximale Abweichung in X	P8105
DYMIN		minimale Abweichung in Y	P8106
DYMAX		maximale Abweichung in Y	P8107
DZMIN		minimale Abweichung in Z	P8108
DZMAX		maximale Abweichung in Z	P8109
		Formabweichungen	
DR		symmetrische Radius-Abweichung	P8110
DRZ		symmetrische Zapfenradius-Abweichung	P8111
DL		symmetrische Längen-Abweichung 1. Geometrieachse	P8112
DB		symmetrische Längen-Abweichung 2. Geometrieachse	P8113
DLZ		symmetrische Längen-Abweichung 1. Geometrieachse	P8114
DBZ		symmetrische Längen-Abweichung 2. Geometrieachse	P8115
DRMIN		minimale Radius-Abweichung	P8116
DRMAX		maximale Radius-Abweichung	P8117
DRZMIN		minimale Zapfenradius-Abweichung	P8118
DRZMAX		maximale Zapfenradius-Abweichung	P8119
DLMIN		minimale Längen-Abweichung 1. Geometrieachse	P8120
DLMAX		maximale Längen-Abweichung 1. Geometrieachse	P8121
DLZMIN		minimale Längen-Abweichung 1. Geometrieachse	P8122

DLZMAX	maximale Längen-Abweichung 1. Geometrieachse	P8123
DBMIN	minimale Längen-Abweichung 2. Geometrieachse	P8124
DBMAX	maximale Längen-Abweichung 2. Geometrieachse	P8125
DBZMIN	minimale Längen-Abweichung 2. Geometrieachse	P8126
DBZMAX	maximale Längen-Abweichung 2. Geometrieachse	P8127
DAV	symmetrische vertikale Winkel-Abweichung	P8128
DAH	symmetrische horizontale Winkel-Abweichung	P8129
DAVMIN	minimale vertikale Winkel-Abweichung	P8130
DAVMAX	maximale vertikale Winkel-Abweichung	P8131
DAHMIN	minimale horizontale Winkel-Abweichung	P8132
DAHMAX	maximale horizontale Winkel-Abweichung	P8133

Voreinstellwert für nicht programmierte Adressen ist null und damit wird die Toleranzprüfung nicht durchgeführt.

G8 Elementare Messzyklen

Nach dem Einwechseln eines Messtasters und Anwahl des Korrekturwertes der Tastkugel können die nachstehenden elementaren Messzyklen verwendet werden. Mit der Messzyklen-Auswahladresse LM können einfache Messzyklen für achsparallel ausgerichtete Flächen und geometrische Objekte ausgeführt werden, die ähnlicher Form in den aktuellen CNC-Steuerungen vorhanden sind.

Die Messzyklen arbeiten optional mit der der Vorabmessung im schnellen Positioniervorschub FT, um lange Anfahrtswege zum Messpunkt nicht im Messvorschub zu fahren. Nach dem Erreichen des Messzielpunktes im Positioniervorschub FT wird der Messtaster um LT zurückgefahren und dann der Messzielpunkt erneut im Messvorschub FM angefahren. Für $LT \leq 0$ werden diese Vorabmessungen unterdrückt und stets im Messvorschub FM verfahren.

G8 LM *BX BY BZ B I J K LP BP R RZ D RS V W AI AN Q QL X/XA/XI Y/YA/YI*

LM	Messzyklen-Auswahladresse
LM400	Messen Einzelpunkt
LM401	Messen Außenecke
LM405	Messen Nutbreite
LM406	Messen Stegbreite
LM407	Messen Kreisbogensegment innen
LM408	Messen Kreisbogensegment außen
LM500	Nullpunktsetzen in einzelnen Koordinaten
LM501	Nullpunktsetzen an einer Außenecke
LM568	Nullpunktsetzen am einem Rechteckzapfen
LM572	Nullpunktsetzen an einer Rechtecktasche
LM573	Nullpunktsetzen an einer Kreistasche/-zapfen

Optional: Zusammenstellung aller möglichen Adressen für alle Messzyklen LM

BX	Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in X
BY	Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Y
BZ	Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Z
B	Sollwert von Nutbreite oder Stegbreite
I	Verschiebung der gemessenen X-Nullpunktcoordinate um -I (minus I) oder Sollwert absolut in X
J	Verschiebung der gemessenen Y-Nullpunktcoordinate um -J (minus J) oder Sollwert absolut in Y
K	Verschiebung der gemessenen Z-Nullpunktcoordinate um -K (minus K) oder Sollwert absolut in Z
	Der gemessene und gesetzte Nullpunkt hat damit die Koordinaten (I, J, K)
LP	Soll-Länge der Rechtecktasche oder des Rechteckzapfens
BP	Soll-Breite der Rechtecktasche oder des Rechteckzapfens
R	Soll-Radius des Kreisbogens oder Kreistasche
RZ	Soll-Radius des Kreiszapfens
D	Messtiefe von der Materialoberfläche für die Berandungsmessung
RS	Kreistaschen-Hindernisbereich als zentrische Kreisfläche
V	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
W	Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten,
AI	Inkrementeller Winkel zwischen Messbewegungen bei Kreisbogenmessungen
AN	Winkel der Antastrichtung oder der ersten Antastrichtung bei Kreisbogenmessungen
Q	Nummer des Einstellbaren Nullpunkts (*: Vorbelegung: aktueller Nullpunkt)

QL	Messoption Tiefe messen (Default: nicht programmiert nur in Arbeitsebene)
QL1	Setzpunkt messen. Der Nullpunkt wird nur in X, Y gesetzt.
QL3	Setzpunkt und Tiefe messen. Der Nullpunkt wird in X, Y, und in Z auf den Boden der Tasche gesetzt.
X/XA/XI	Startpunkt der Messbewegung (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Y/YA/YI	Startpunkt der Messbewegung (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Z/ZA/ZI	Startpunkt der Messbewegung (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
RP	Abstand vom Messobjekt-Mittelpunkt zur Tiefenmessungsposition
AP	Winkel der Antastrichtung bezüglich Taschenlängsrichtung der Tiefenmessungsposition
EP	Messpunktauswahl bei Taschen zur Verwendung als Einstellbarer Nullpunkt
TV	Werkzeugnummer für Verschleißkorrekturwerteintrag
SP	erste Parameternummer der Messwertspeicherung P[SP] = Zyklusnummer

LM400 Messen Einzelkoordinate X oder Y oder Z

Beim Antasten einer achsparallelen Fläche wird nur eine Achse verfahren, deren Achskoordinate und Richtung (Vorzeichen) mit BX oder BY oder BZ vorgegeben wird. Ausgehend vom Startpunkt verfährt der Taster im Messvorschub inkrementell um BX oder BY oder BZ.

Der Abstand vom Startpunkt zur Messfläche muss größer als die minimale erforderliche Messweglänge LM aus G27 sein. Durch die senkrecht zur Antastfläche erfolgende Messung wird der Koordinatenwert unter Berücksichtigung des Tastkugelradius in der Messrichtung bestimmt.

G8 LM400 (BX I) / (BY J) / (BZ K) X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI TV SP

BX Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in X
BY Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Y
BZ Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Z

Optional:

X/XA/XI Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Y/YA/YI Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Z/ZA/ZI Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
I X-Sollposition zur Verschleißkorrekturberechnung und Messprotokoll
J Y-Sollposition zur Verschleißkorrekturberechnung und Messprotokoll
K Z-Sollposition zur Verschleißkorrekturberechnung und Messprotokoll
TV Werkzeugnummer für Verschleißkorrekturinträge von Länge (BZ) oder Radius (BX, BY) des Werkzeugs, das die gemessene Fläche gefertigt hat.
SP erste Parameternummer der Messwertspeicherung
P[SP] = Zyklusnummer
Es wird einer der drei Parameter gesetzt.
P[SP+1] = Kante in X bei BX
P[SP+2] = Kante in Y bei BY
P[SP+3] = Kante in Z bei BZ

LM401 Messen Außenecke von drei achsparallelen Flächen

Mit einem vor und über der zu messenden Ecke liegenden Startpunkt wird ein gegenüber dem Startpunkt in allen drei Koordinatenachsen um $BX \neq 0$, $BY \neq 0$, $BZ \neq 0$ inkrementell verschobener Zielpunkt der Messbewegungen gewählt, so dass der durch den Startpunkt und den Zielpunkt aufgespannte Quader die zu messende Ecke in seinem Inneren enthält. Die Vorzeichen der inkrementellen Verschiebungen bestimmen die Lage der zu messenden Ecke.

Ausgehend von dem inkrementell um

- BX und BY verschobenen Startpunkt erfolgt die Messung in Z bei der Bewegung um BZ,
- BX und BZ verschobenen Startpunkt erfolgt die Messung in Y bei der Bewegung um BY,
- BY und BZ verschobenen Startpunkt erfolgt die Messung in X bei der Bewegung um BX.

Die Abstände des zu messenden Eckpunktes von den Quaderflächen entsprechen dann paarweise den Abständen des Tasterberührungspunktes von den Kanten der Ecke.

Die Abstände vom jeweiligen Startpunkt zur Messfläche müssen größer als die minimale erforderliche Messweglänge LM aus G27 sein. Durch die senkrecht zur Antastfläche erfolgende Messung wird der Koordinatenwert unter Berücksichtigung des Tastkugelradius in der Messrichtung bestimmt.

G8 LM401 BX I BY J BZ K X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI TV SP

BX	Vom um BY und BZ verschobenen Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in X
BY	Vom um BZ und BX verschobenen Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Y
BZ	Vom um BX und BY verschobenen Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Z

Optional:

X/XA/XI	Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Y/YA/YI	Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Z/ZA/ZI	Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
I	X-Sollposition zur Verschleißkorrekturberechnung und Messprotokoll
J	Y-Sollposition zur Verschleißkorrekturberechnung und Messprotokoll
K	Z-Sollposition zur Verschleißkorrekturberechnung und Messprotokoll
TV	Werkzeugnummer für die Verschleißkorrekturwerteinträge für Länge und Radius diese Ecke gefertigt wurde
SP	erste Parameternummer der Messwertspeicherung
	P[SP] = Zyklusnummer
	P[SP+1] = Eckpunktcoordinate in X
	P[SP+2] = Eckpunktcoordinate in Y
	P[SP+3] = Eckpunktcoordinate in Z

LM405 Messen der Nutbreite einer geraden und optional gedrehten Nut

Die Breite einer geraden Nut kann nach der Drehung des Koordinatensystems um AN unter Mitführung des Startpunktes mit der Programmierung von B gemessen werden. Es wird zunächst auf Material-Oberfläche plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius zugestellt, dann in X und Y positioniert, das Koordinatensystem auf den Startpunkt verschoben und um AN gedreht. Dann wird auf Materialoberfläche minus Messtiefe abgesenkt und gemessen. Nach beendeter Messung erfolgt der Rückzug auf die Materialoberfläche plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius und das Koordinatensystem wird zurückgesetzt.

G8 LM405 B D V AN X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI TV SP

B	Sollnutbreite im um AN gedrehten Koordinatensystem
D	Messtiefe von der Materialoberfläche für die Berandungsmessung
<i>Optional:</i>	
V	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
AN [0]	Winkel der Nut-Richtung bezogen auf die 1. Geometrieachse X
X/XA/XI	Startpunkt Nutmitte (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Y/YA/YI	Startpunkt Nutmitte (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Z/ZA/ZI	Startpunkt in der Zustellachse (Vorbelegung aktuelle Tasterposition über Material plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius)
TV	Werkzeugnummer für den Radiusverschleißkorrekturwerteintrag des Werkzeugs mit welchem diese Nut gefertigt wurde
SP	erste Parameternummer der Messwertspeicherung P[SP] = Zyklusnummer P[SP+1] = Nutbreite

LM406 Messen der Stegbreite eines optional gedrehten Steges

Die Breite eines geraden Steges kann nach der Drehung des Koordinatensystems um AN unter Mitführung des Startpunktes mit der Programmierung von B gemessen werden. Es wird zunächst auf Material-Oberfläche plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius zugestellt, dann in X und Y positioniert, das Koordinatensystem auf den Startpunkt verschoben und um AN gedreht. Anschließend wird die mit der Sollstegbreite und der minimalen Messanfahrlänge LM ermittelte erste Mess-Startposition angefahren und dort auf die Materialoberfläche minus Messtiefe D zugestellt. Nach beendeter Messung der ersten Stegseite und Rückbewegung um LM erfolgt der Rückzug auf die Materialoberfläche plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius. Mit der Sollstegbreite und LM wird dann der zweite Zustellpunkt auf der anderen Stegseite angefahren und die Messung der zweiten Seite in der gleichen Weise durchgeführt. Nach beendeter Messung erfolgt der Rückzug auf die Materialoberfläche plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius und das Koordinatensystem wird zurückgesetzt.

G8 LM406 B D V AN X/XA/XI Y/YA/YI Z/Z A/ZI TV SP

B		Sollstegbreite im um AN gedrehten Koordinatensystem
D		Messtiefe von der Materialoberfläche für die Berandungsmessung
<i>Optional:</i>		
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
AN	[0]	Winkel der Steg-Richtung bezogen auf die 1. Geometrieachse X
X/XA/XI		Startpunkt Stegmitte (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Y/YA/YI		Startpunkt Stegmitte (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Z/Z A/ZI		Startpunkt in der Zustellachse (Vorbelegung aktuelle Tasterposition über Material plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius)
TV		Werkzeugnummer für die Radius-Verschleißkorrekturwerteintrag des Werkzeugs mit welchem dieser Steg gefertigt wurde
SP		erste Parameternummer der Messwertspeicherung P[SP] = Zyklusnummer P[SP+1] = Stegbreite

LM407 Messen Kreisbogensegment innen (3-Punktemessung)

In der Sicherheitsebene wird der erste in Richtung AN vom Kreismittelpunkt liegende Messstartpunkt auf dem Anfah-Kreisbogen mit dem Radius ($R - LM$) angefahren, um die minimal erforderliche Messweglänge LM zu garantieren. Dann wird auf Messtiefe zugestellt und anschließend der erste in Richtung AN vom Kreismittelpunkt liegende Messpunkt im Messvorschub angefahren und gemessen. Nach Rückfahrt auf den Messwegstartpunkt wird mit dem Winkelinkrement AI der nächste Messwegstartpunkt berechnet und gemessen. Nach der Messung des dritten Punktes erfolgt die Berechnung des Radius und des Mittelpunktes.

G8 LM407 R D V AN AI X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI TV SP

R		Sollradius
D		Messtiefe von der Materialoberfläche für die Berandungsmessung
<i>Optional:</i>		
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
AN	[0]	Winkel der Antastrichtung
AI	[120]	Inkrementwinkel
X/XA/XI		Startpunkt Mittelpunkt des Kreisbogens (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Y/YA/YI		Startpunkt Mittelpunkt des Kreisbogens (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Z/ZA/ZI		Startpunkt in der Zustellachse (Vorbelegung aktuelle Tasterposition über Material plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius)
TV		Werkzeugnummer für Radius-Verschleißkorrekturwerteintrag des Werkzeugs mit welchem dieses Kreisbogensegment gefertigt wurde
SP		erste Parameternummer der Messwertspeicherung
		P[SP] = Zyklusnummer
		P[SP+1] = Mittelpunkt in X
		P[SP+2] = Mittelpunkt in Y
		P[SP+4] = Radius

LM408 Messen Kreissegment außen (3-Punktemessung)

In der Sicherheitsebene wird der erste in Richtung AN vom Kreismittelpunkt liegende Messstartpunkt auf dem Anfahr-Kreisbogen mit dem Radius ($R - LM$) angefahren, um die minimal erforderliche Messweglänge LM zu garantieren. Dann wird auf Messtiefe zugestellt und anschließend der erste in Richtung AN vom Kreismittelpunkt liegende Messpunkt im Messvorschub angefahren und gemessen. Nach Rückfahrt zu dem Zustellpunkt wird mit dem Winkelinkrement AI der nächste Messstartpunkt angefahren und gemessen. Nach der Messung des dritten Punktes erfolgt die Berechnung des Radius und des Mittelpunktes.

G8 LM408 R D V AN AI X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI TV SP

R		Sollradius
D		Messtiefe von der Materialoberfläche für die Berandungsmessung
<i>Optional:</i>		
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
AN	[0]	Winkel der Antastrichtung
AI	[120]	Inkrementwinkel
X/XA/XI		Startpunkt Mittelpunkt des Kreisbogens (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Y/YA/YI		Startpunkt Mittelpunkt des Kreisbogens (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Z/ZA/ZI		Startpunkt in der Zustellachse (Vorbelegung aktuelle Tasterposition über Material plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius)
TV		Werkzeugnummer für Radius-Verschleißkorrekturwerteintrag des Werkzeugs mit welchem dieses Kreisbogensegment gefertigt wurde
SP		erste Parameternummer der Messwertspeicherung
		P[SP] = Zyklusnummer
		P[SP+1] = Mittelpunkt in X
		P[SP+2] = Mittelpunkt in Y
		P[SP+4] = Radius

LM500 Nullpunktsetzen Einzelpunkt

Beim Antasten einer achsparallelen Fläche wird nur eine Achse verfahren, deren Achskoordinate und Richtung (Vorzeichen) mit BX oder BY oder BZ vorgegeben wird. Ausgehend vom Startpunkt verfährt der Taster im Messvorschub inkrementell um BX oder BY oder BZ.

Der Abstand vom Startpunkt zur Messfläche muss größer als die minimale erforderliche Messweglänge LM aus G27 sein. Durch die senkrecht zur Antastfläche erfolgende Messung wird der Koordinatenwert unter Berücksichtigung des Tastkugelradius in der Messrichtung bestimmt.

Der gemessene Wert in einer Koordinatenachse wird als Einstellbarer Nullpunkt Q gesetzt. Mit I oder J oder K kann Verschiebung der gemessenen Nullpunktcoordinate vorgegeben werden (z. B. für ein Aufmaß).

G8 LM500 (BX I) / (BY J) / (BZ K) Q X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI

BX Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in X
BY Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Y
BZ Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Z

Optional:

Q [*] Nummer des Einstellbaren Nullpunkts (*: Vorbelegung: aktueller Nullpunkt)
X/XA/XI Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Y/YA/YI Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Z/ZA/ZI Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
I [0] Verschiebung der gemessenen X-Nullpunktcoordinate um -I (minus I)
J [0] Verschiebung der gemessenen Y-Nullpunktcoordinate um -J (minus J)
K [0] Verschiebung der gemessenen Z-Nullpunktcoordinate um -K (minus K)
Ein gemessener Nullpunkt hat dann die Koordinaten (I, J, K)

LM501 Nullpunktsetzen Außenecke

Mit einem vor und über der zu messenden Ecke liegenden Startpunkt wird ein gegenüber dem Startpunkt in allen drei Koordinatenachsen um $BX \neq 0$, $BY \neq 0$, $BZ \neq 0$ inkrementell verschobener Zielpunkt der Messbewegungen gewählt, so dass der durch den Startpunkt und den Zielpunkt aufgespannte Quader die zu messende Ecke in seinem Inneren enthält. Die Vorzeichen der inkrementellen Verschiebungen bestimmen die Lage der zu messenden Ecke.

Ausgehend von dem inkrementell um

- BX und BY verschobenen Startpunkt erfolgt die Messung in Z bei der Bewegung um BZ,
- BX und BZ verschobenen Startpunkt erfolgt die Messung in Y bei der Bewegung um BY,
- BY und BZ verschoben Startpunkt erfolgt die Messung in X bei der Bewegung um BX.

Die Abstände des zu messenden Eckpunktes von den Quaderflächen entsprechen dann paarweise den Abständen des Tasterberührungspunktes von den Kanten der Ecke.

Die Abstände vom jeweiligen Startpunkt zur Messfläche müssen größer als die minimale erforderliche Messweglänge LM aus G27 sein. Durch die senkrecht zur Antastfläche erfolgende Messung wird der Koordinatenwert unter Berücksichtigung des Tastkugelradius in der Messrichtung bestimmt.

Der gemessene Punkt mit den Koordinatenwerten X, Y und Z wird als Einstellbarer Nullpunkt Q übernommen. Mit I, J, K können noch Verschiebungen der gemessenen Nullpunktkoordinaten vorgenommen werden (z. B. für ein Bearbeitungsaufmaß).

G8 LM501 (BX I) (BY J) (BZ K) Q X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI

BX	Vom um BY und BZ verschobenen Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in X
BY	Vom um BZ und BX verschobenen Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Y
BZ	Vom um BX und BY verschobenen Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Z

Optional:

Q	[*]	Nummer des Einstellbaren Nullpunkts (*: Vorbelegung: aktueller Nullpunkt)
X/XA/XI		Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Y/YA/YI		Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
Z/ZA/ZI		Startpunkt (Vorbelegung aktuelle Tasterposition)
I	[0]	Verschiebung der gemessenen X-Nullpunktcoordinate um -I (minus I)
J	[0]	Verschiebung der gemessenen Y-Nullpunktcoordinate um -J (minus J)
K	[0]	Verschiebung der gemessenen Z-Nullpunktcoordinate um -K (minus K)
		Ein gemessener Nullpunkt hat dann die Koordinaten (I, J, K)

LM568 Nullpunktsetzen Rechteckzapfen

Die gemessenen Koordinaten X, Y des Mittelpunktes einer Rechteckzapfenoberfläche oder bei EP ungleich 0, auch einer Ecke der Rechteckzapfens und wird als Nullpunkt in X, Y und die Zapfenhöhe als Nullpunkt in Z gesetzt. Mit I, J oder K können noch Verschiebung der gemessenen Nullpunktkoordinaten vorgenommen werden (z. B. für ein Bearbeitungsaufmaß).

G8 LM568 LP BP D Q ZA/ZI V W RU AU QL EP I J K

LP		Solltaschenlänge
BP		Solltaschenbreite
D		Messtiefe bei der Messung der Berandung
<i>Optional:</i>		
Q	[*]	Nummer des Einstellbaren Nullpunkts (*: Vorbelegung: aktueller Nullpunkt)
ZA/ZI		Höhe des Zapfens
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
W		Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten, Vorbelegung ist die Sicherheitsebene
RP	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmessung
AP	[0]	Winkel der Antastrichtung bezüglich Taschenlängsrichtung für Tiefenmessung
QL	[1]	Messoption Tiefe messen (Default: nicht programmiert nur in Arbeitsebene)
		QL1 Setzpunkt messen. Der Nullpunkt wird nur in X, Y gesetzt und in Z nicht verändert
		QL3 Setzpunkt und Zapfenhöhe messen
EP	[0]	Setzpunktfestlegung für des als Nullpunkt zu berechnenden Punktes in der Rechteckzapfen-Oberfläche
		EP0 Rechteckzapfenflächenmittelpunkt
		EP1 Eckpunkt im ersten Quadranten eines Achsenkreuzes im Mittelpunkt
		EP2 Eckpunkt im zweiten Quadranten eines Achsenkreuzes im Mittelpunkt
		EP3 Eckpunkt im dritten Quadranten eines Achsenkreuzes im Mittelpunkt
		EP4 Eckpunkt im vierten Quadranten eines Achsenkreuzes im Mittelpunkt
I	[0]	Verschiebung der gemessenen X-Nullpunktkoordinate um -I (minus I)
J	[0]	Verschiebung der gemessenen Y-Nullpunktkoordinate um -J (minus J)
K	[0]	Verschiebung der gemessenen Z-Nullpunktkoordinate um -K (minus K)
		Ein gemessener Nullpunkt hat dann die Koordinaten (I, J, K)

Die Position des Zapfens und die Materialoberfläche wird in G79 angeben.

LM572 Nullpunktsetzen Rechtecktasche

Die gemessenen Koordinaten X, Y, des Mittelpunktes einer Rechtecktaschenoberfläche oder bei EP ungleich 0, einer Ecke der Rechtecktasche und wird als Nullpunkt in X, Y und mit QL3 die Tiefe der Tasche als Nullpunkt in Z gesetzt. Mit I, J, oder K können Verschiebung der gemessenen Nullpunktkoordinaten vorgegeben werden (z. B. für ein Bearbeitungsaufmaß).

G8 LM572 LP BP D Q ZA/ZI V W RU AU QL EP I J K

LP		Solltaschenlänge
BP		Solltaschenbreite
D		Messtiefe von der Materialoberfläche für die Berandungsmessung
<i>Optional:</i>		
Q	[*]	Nummer des Einstellbaren Nullpunkts (*: Vorbelegung: aktueller Nullpunkt)
ZA/ZI		Tiefe der Tasche
V		Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
W		Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten, Vorbelegung ist die Sicherheitsebene
RP	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmessung
AP	[0]	Winkel der Antastrichtung bezüglich Taschenlängsrichtung für Tiefenmessung
QL	[1]	Messoption Tiefe messen (Default: nicht programmiert nur in Arbeitsebene)
		QL1 Setzpunkt messen. Der Nullpunkt wird nur in X, Y gesetzt.
		QL3 Setzpunkt und Tiefe messen. Der Nullpunkt wird in X, Y, und in Z auf den Boden der Tasche gesetzt.
EP	[0]	Festlegung des Nullpunkt in X, Y in der Rechtecktaschen-Oberfläche
		EP0 Mittelpunkt der Rechtecktaschenoberfläche
		EP1 Eckpunkt im ersten Quadranten eines Achsenkreuzes
		EP2 Eckpunkt im zweiten Quadranten eines Achsenkreuzes
		EP3 Eckpunkt im dritten Quadranten eines Achsenkreuzes
		EP4 Eckpunkt im vierten Quadranten eines Achsenkreuzes
I	[0]	Verschiebung der gemessenen X-Nullpunktcoordinate um -I (minus I)
J	[0]	Verschiebung der gemessenen Y-Nullpunktcoordinate um -J (minus J)
K	[0]	Verschiebung der gemessenen Z-Nullpunktcoordinate um -K (minus K)
		Ein gemessener Nullpunkt hat dann die Koordinaten (I, J, K)

Die Position und die Materialoberfläche wird in G79 angeben.

LM573 Nullpunktsetzen für Kreistaschen oder Kreiszapfen

Die gemessenen Koordinaten X, Y, des Mittelpunktes einer Kreistaschen- oder Kreiszapfenoberfläche wird als Nullpunkt gesetzt. Der Nullpunkt in Z wird bei einer Kreistasche auf den Taschenboden und bei einem Kreiszapfen auf die Zapfenoberfläche gelegt. Mit I, J, oder K können Verschiebung der gemessenen Nullpunktkoordinaten vorgegeben werden (z. B. für ein Bearbeitungsaufmaß).

G8 LM573 ZA/ZI R/RZ D Q V W RS PR AP QL I J K

ZA/ZI		Tiefe der Tasche/Höhe des Zapfens
R		Sollradius der Kreistasche
RZ		Sollradius des Kreiszapfens
D		Messtiefe von der Materialoberfläche für die Berandungsmessung
<i>Optional:</i>		
Q	[*]	Nummer des Einstellbaren Nullpunkts (*: Vorbelegung: aktueller Nullpunkt)
V	[1]	Abstand der Sicherheitsebene von der Materialoberfläche
W	[V]	Rückzugsebene absolut in Werkstückkoordinaten, Vorbelegung ist die Sicherheitsebene
RS		Hindernisradius
RP	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmessung
AP	[0]	Winkel der Antastrichtung bezüglich Taschenlängsrichtung für Tiefenmessung
QL	[1]	Messoption Tiefe messen (Default: nicht programmiert nur in Arbeitsebene) QL1 Mittelpunkt messen. Der Nullpunkt wird nur in X, Y gesetzt. QL3 Mittelpunkt und Tiefe für R / Höhe für RZ bestimmen. Der Nullpunkt in Z wird bei einer Kreistasche auf den Taschenboden und bei einem Kreiszapfen auf die Zapfenoberfläche gelegt.
I	[0]	Verschiebung der gemessenen X-Nullpunktcoordinate um -I (minus I)
J	[0]	Verschiebung der gemessenen Y-Nullpunktcoordinate um -J (minus J)
K	[0]	Verschiebung der gemessenen Z-Nullpunktcoordinate um -K (minus K) Ein gemessener Nullpunkt hat dann die Koordinaten (I, J, K)

Die Position und die Materialoberfläche wird in G79 angeben.

In-Prozess-Messen in den erweiterten PAL-Bearbeitungszyklen

Die Integration des In-Prozess-Messens in die PAL Bearbeitungszyklen hat als Hauptvorteil, die dadurch gegebene Bereitstellung der Zyklusgeometrie-Sollwerte, die ohne die sonst notwendige erneute Programmierung eine Bewertung der Bearbeitung mit den Maß-Toleranzen zulassen.

Gegenüber den elementaren Messbefehlen ist das Messen in den Zyklen daher einfacher zu realisieren, da die geforderten Sollwerte durch den Zyklus selbst schon vorgegeben sind.

Für die Festlegung der Messpunkte an der Zyklusgeometrie gemäß der mit der Adresse QL festgelegten Messverfahren gibt es spezielle Zyklusadressen, die nachstehend ausführlich erläutert werden.

Siehe auch den Abschnitt **In-Prozess-Messen** mit der Beschreibung des **elementaren Messbefehls G7** und den **elementaren Messzyklen G8** sowie den **Mess-Kalibrierzyklus G26** und die Setzungen der internen **Steuerdaten für den Messablauf in G27**.

Für Toleranz-Überprüfungen können **Form und Lage-Toleranzen in G28** vorgegeben werden. Die Überprüfungsergebnisse können zu einem Mess-Protokoll zusammengefasst werden.

Da für das In-Prozess-Messen das Werkzeug „Messtaster“ eingewechselt werden muss, können die PAL-Zyklen über eine Steueradresse QM für unterschiedliche Bearbeitungen z. B. mit Programmteiwiederholung durch Verwendung eines Steuerparameters Px (x ist eine Parameternummer) für die Programmierung der Bearbeitungsauswahl $QM=P_x$ durch Programmteiwiederholung oder Schleifen mehrfach aufgerufen werden, z. B. für

- QM0 Überspringen des Zyklus
- QM1 Bearbeiten ohne Stufen
- QM3 Bearbeiten trochoidal mit Minimalradius RM ohne Stufen
- QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)**
- QM-1 Fasen

Die Messergebnisse werden zusammengefasst in einem Messprotokoll ausgegeben und können zusätzlich in Parametern ab $P=SP$ abgespeichert werden.

Das Messprotokoll wird dann in Prüfungsfragen zu Toleranzüberprüfungen und auch zur Berechnung der Verschleißkorrekturwerte verwendet.

Alle Messzyklen wie die Elementaren Messzyklen G8 und die Erweiterungen der Taschenzyklen verwenden die Methode der **optionalen Doppelmessung** bestehend aus einer Vorabmessung durch Anfahrt des Messzielpunktes im schnellen Positioniervorschub FT, gefolgt von einer Rückzugsbewegung und einer erneuten Anfahrt des Messzielpunktes im Messvorschub FM, um lange Anfahrtwege im langsamen Messvorschub zu vermeiden:

Doppelmessung: Zuerst wird der Messzielpunkt mit dem Positioniervorschub FT angefahren und nach einer Rückfahrt um die Überfahrlänge LT zum Vorschub FT wird der Messzielpunkt erneut im Messvorschub FM angefahren. Die Doppelmessung entfällt für $LT \leq 0$.

Vorauswahl der durchzuführenden Messungen für das In-Prozess-Messen in den PAL-Fräszyklen

Der Umfang der Messungen wird mit der optionalen Steueradresse QL der Messzyklen festgelegt, die vom Anwender in den Mess-Adress-Vorgaben G28 vordefiniert wird. Dieser vordefinierte Wert von QL wird im Parameterwert P8100 abgespeichert und als Voreinstellungswert für QL an alle Bearbeitungszyklen übergeben wird.

- QL [P8100] Mess-Steuerindex (P8100 ist die Mess-Adress-Voreinstellung in G28)
- QL0 Keine Prüfung
 - QL1 Messen in der Bearbeitungsebene
 - QL2 Messen nur in der Zustellrichtung. Beachten: Die Messung der Tiefe bei Bohrungen mit Spiralbohrern wird durch die konische Spitze verfälscht.
 - QL3 Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung
 - QL4 Messen in der Bearbeitungsebene unter Einbeziehung der Verrundungsradien und in der Zustellrichtung
 - QL5 Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit Vertikal-Winkelberechnungen
 - QL6 Messen in der Bearbeitungsebene wie QL5 und zusätzlich mit Horizontal-Winkelberechnungen und Mittelwertbildungen
 - QL11 Form- und Lagetoleranzen in der Bearbeitungsebene mit den Grenzwerten von G28 prüfen
 - QL12 Form- und Lagetoleranzen in der Zustellrichtung mit den Grenzwerten von G28 prüfen
 - QL13 Form- und Lagetoleranzen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit den Grenzwerten von G28 prüfen
 - QL14 Form- und Lagetoleranzen in der Bearbeitungsebene unter Einbeziehung der Verrundungsradien und in der Zustellrichtung mit den Grenzwerten von G28 prüfen
 - QL15 Form- und Lagetoleranzen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit **Vertikal-Winkelberechnungen** mit den Grenzwerten von G28 prüfen
 - QL16 Form- und Lagetoleranzen in der Bearbeitungsebene wie QL15 und zusätzlich mit **Horizontal-Winkelberechnungen** und Mittelwertbildungen mit den Grenzwerten von G28 prüfen
- QLxx = QL(xx+100) **Zusätzlich** zu den Messungen in den Bearbeitungsebenen werden auch die Verundungen der Rechtecktaschen und Rechteckzapfen gemessen

Adressen zur Festlegung des Messumfangs und der Messpositionen beim In-Prozess-Messen

Neben dieser übergeordneten Steueradresse QL gibt es Adressen, die den Messvorgang im Detail festlegen und die vom Anwender individuell verändert werden können. Insbesondere müssen die durch QL geforderten Messungen mit den nachstehenden Adressen auch ermöglicht werden. So ist z. B. mit dem Voreinstellungswert von $DU=DQ$ keine vertikale Winkelmessung möglich. Umgekehrt wird in der horizontalen Ebene $DU \neq DQ$ keine Messung durchgeführt, wenn der Benutzer mit der übergeordneten Steueradresse QL die Ausgabe der vertikalen Wand- oder Zapfenwinkel ausgeschlossen hat.

DQ	[D]	Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche Alle Messungen der Zyklusgeometrie finden in der X/Y-Schnittebene durch den mit DQ definierten Z-Achswert statt.
DU	[DQ]	Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche $DU \neq DQ$, $DU=DQ$: Keine vertikale Winkelmessung in der Zustellrichtung Die Messungen in einer zweite X/Y-Schnittebene DU finden nur für $DU \neq DQ$ statt und auch nur wenn vertikale Winkelmessungen mit $QL=5, 6, 15$ oder 16 durchgeführt werden sollen.
DW	[0]	Prozentualer horizontaler Abstand = $(\text{Sollwert Länge oder Breite}) * DW / 100$ der symmetrisch zur Objektmitte liegenden Messpunkte für die horizontale Winkelmessung in Prozent der Taschen- & Zapfenlängen. In DW sind mögliche Taschen- und der Zapfen-Verrundungsradien zu berücksichtigen. $DW=0$: Keine horizontale Winkelmessung in der Bearbeitungseben. Mit $DW > 0$ werden in einer X/Y-Schnitteben bei Strecken der Zyklusgeometrie jeweils zwei Messungen durchgeführt, der Mittelwert als Ergebnis gespeichert und im Messprotokoll ausgegeben. Bemerkung zur Winkelmessung: Die Messgenauigkeit ist umso höher je größer der Messpunktabstand.
RU	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AU	[0]	Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
RQ	[0]	2. Abstand vom Mittelpunkt zur 2. Tiefenmess-Position
AQ	[0]	2. Winkel: RP, AP sind die Polarkoordinaten einer 2. Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt für eine Winkelberechnung des Taschenbodens Bei der Tiefenmessung von Taschen oder Bohrungen können bei fehlendem geschlossenem Boden ein oder zwei beliebig liegende Messpunkte für die Tiefenmessung und Bodenwinkelmessung vorgegeben werden
TV	[0]	Werkzeugnummer für Verschleißkorrektur, TV0 keine Verschleißkorrektur. Da der PAL-Messzyklus ein Wiederholungsaufwurf nach der Fertigung mit dem neuen Werkzeug Messtaster ist, kann so die Werkzeugnummer für die Eintrag der Verschleißkorrekturen für das zuvor benutzte Fertigungswerkzeug mitgeteilt werden. Man beachte: TV darf bei der Verwendung der Mehrfachzyklusaufrufe G76/77 nicht verwendet werden.
SO	[50]	Parameternummern-Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Messzyklus mit G76/77. Dieser Wiederholungsoffset wird bei jeder Wiederholung eines Zyklusaufwurfs zu der vorhergehenden Nummer SP addiert. Der Wert von SO ist so zu wählen, dass die für weitere Benutzer-Auswertungen erforderlichen Ergebnisse bei den Mehrfachaufrufen nicht überschrieben werden.
SP	[500]	erste Parameternummer der Messwertspeicherung Für einen PAL-Messzyklus wird mit der Adresse SP die erste Parameternummer der ab dieser Nummer gespeicherten Messergebnisse programmiert. Der Bedeutung der in den nachfolgenden Parametern abgespeicherten Mess-ergebnisse wird nachstehend angegeben.

Tabelle der Parameternummern der In-Prozess-Mess-Ergebnisse der PAL-Bearbeitungszyklen

Die Ergebnisse eines Messzyklus werden zu einem Ausgabeprotokoll zusammengestellt und zur weiteren Verwendung der Messdaten auch in Parametern abgespeichert.

PAL-Zyklen	Parameternummer	Bedeutung des Parameterwertes
Position des Zyklusobjekts		
G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP]	= Mess-Zyklus-G-Befehl + 100 * vorhandene Satznummer N
G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP+1]	= Setzpunkt der Zyklusgeometrie in X
G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP+2]	= Setzpunkt der Zyklusgeometrie in Y
G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP+3]	= Tiefe in Z des Zyklusgeometriebodens
Zyklusgeometrie, Orientierung und Verschleißkorrekturwerte		
G72 G73	P[SP+4]	= Höhe des Kreis- oder Rechteckzapfens
G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP+5]	= X-Komponente normierter Richtungsvektor des Objektzentrums
G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP+6]	= Y-Komponente normierter Richtungsvektor des Objektzentrums
G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP+7]	= Z-Komponente normierter Richtungsvektor des Objektzentrums
G72 G73 G74 G75 G87	P[SP+8]	= X-Verschleißkorrekturwert
G72 G73 G74 G75 G87	P[SP+9]	= Y-Verschleißkorrekturwert
G72 G73 G74 G75 G87	P[SP+10]	= Z-Verschleißkorrekturwert
G72 G73 G74 G75 G87	P[SP+11]	= Radius-Verschleißkorrekturwert
Horizontale Messebene DQ		
Die Messungen erfolgen mittig zu den Seitenlängen und bei Kreisen in den Quadrantenpunkten. Mit $DW > 0$ (Aktivierung der horizontalen Winkelmessung) werden die Seiten von Rechtecken, Rechteckzapfen oder Nuten jeweils an 2 symmetrisch zur Mitte liegenden Positionen der Längen und Breiten gemessen und als Ergebnis in der horizontalen Messebene die Mittelwerte der beiden Messungen verwendet. Im Fall $DW=0$ wird nur eine Messung in der Mitte durchgeführt.		
G72 G73 G75 G8x	P[SP+12]	= Radius von Kreistasche oder Bohrung oder größerer Nutkreisbogenradius oder maximaler Verrundungsradius einer Rechtecktasche
G72 G75	P[SP+13]	= Minimaler Verrundungsradius einer Rechtecktasche oder kleinerer Nutkreisbogenradius
G72 G73 G75	P[SP+14]	= Radius Kreiszapfen oder maximaler Verrundungsradius des Rechteckzapfens oder Nutabschlusskreisradius im beim Startwinkel
G72 G75	P[SP+15]	= Minimaler Verrundungsradius des Rechteckzapfens oder Nutabschlusskreisradius im beim Endwinkel
G72 G74 G75	P[SP+16]	= Länge der Tasche/Nut/Öffnungswinkel der Kreisbogennut
G72 G74 G75	P[SP+17]	= Breite der Tasche/Nut
G72	P[SP+18]	= Länge des Zapfens
G72	P[SP+19]	= Breite des Zapfens
Horizontale Messebene DU		
Die Messpunkte haben die gleichen Ebenenpositionen wie bei DQ und werden in der gleichen Richtung angefahren.		
G72 G73 G75 G8x	P[SP+22]	= Radius von Kreistasche oder Bohrung oder größerer Nutkreisbogenradius oder maximaler Verrundungsradius einer Rechtecktasche

G72	G75	P[SP+23] = Minimaler Verrundungsradius einer Rechtecktasche oder kleinerer Nutkreisbogenradius
G72 G73	G75	P[SP+24] = Radius Kreiszapfen oder maximaler Verrundungsradius des Rechteckzapfens oder Nutabschlusskreisradius im beim Startwinkel
G72	G75	P[SP+25] = Minimaler Verrundungsradius des Rechteckzapfens oder Nutabschlusskreisradius im beim Endwinkel
G72	G74 G75	P[SP+26] = Länge der Tasche/Nut/Öffnungswinkel der Kreisbogennut
G72	G74 G75	P[SP+27] = Breite der Tasche/Nut
G72		P[SP+28] = Länge des Zapfens
G72		P[SP+29] = Breite des Zapfens

Vertikal-Winkelmessungen mit DQ ≠ DU und Mittelwertbildungen

Aus den Messungen werden in jeder der Bearbeitungsebene DQ und DU die Zentren der Objekte und der Zapfen berechnet und daraus die vertikalen Richtungsvektoren durch die beiden Zentrumspunkte berechnet und als Ergebnisse abgespeichert.

Man beachte: Im Fall einer Werkzeugverbiegung (Deflection) bei der Bearbeitung können sich durch diese Mittelwertbildung korrekte Richtungsvektoren des Zyklusobjekts ergeben, obwohl die Berandungsflächen sämtlich einen Abweichungswinkel haben (die sich bei der Berechnung des Richtungsvektors gegenseitig aufheben).

Daher werden zusätzlich die 4 Winkel zur positiven Zustellachse Z der Verbindungslinien der jeweils übereinanderliegenden Taschen-Berandungs- und Zapfenmesspunkte in der Ebene berechnet, die aus der Zustellachsrichtung und Messpunktanfahrrichtung gebildet wird.

G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP+30] = Winkel der Verbindungslinie der Y/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Taschenwandmesspunkte/ -Quadrantenpunkte in Y-Richtung
G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP+31] = Winkel der Verbindungslinie der X/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Taschenwandmesspunkte/ -Quadrantenpunkte in -X-Richtung
G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP+32] = Winkel der Verbindungslinie der Y/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Taschenwandmesspunkte/ -Quadrantenpunkte in -Y-Richtung
G72 G73 G74 G75 G8x	P[SP+33] = Winkel der Verbindungslinie der X/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Taschenwandmesspunkte/ -Quadrantenpunkte in X-Richtung
G72 G73	P[SP+34] = Winkel der Verbindungslinie der Y/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Zapfenwandmesspunkte/ -Quadrantenpunkte in Y-Richtung
G72 G73	P[SP+35] = Winkel der Verbindungslinie der X/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Zapfenwandmesspunkte/ -Quadrantenpunkte in -X-Richtung
G72 G73	P[SP+36] = Winkel der Verbindungslinie der Y/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Zapfenwandmesspunkte/ -Quadrantenpunkte in -Y-Richtung
G72 G73	P[SP+37] = Winkel der Verbindungslinie der X/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Zapfenwandmesspunkte/ -Quadrantenpunkte in X-Richtung
G72 G73	P[SP+38] = X-Komponente des normierten Richtungsvektors des Zapfens
G72 G73	P[SP+39] = Y-Komponente des normierten Richtungsvektors des Zapfens
G72 G73	P[SP+40] = Z-Komponente des normierten Richtungsvektors des Zapfens

Horizontal-Winkelmessungen mit $DW > 0$

Mit $DW > 0$ werden in jeder horizontalen X/Y-Messebene DQ und DU bei jeder Strecke zwei Messpositionen bestimmt und daraus der Winkel der Strecke in der X/Y-Ebene berechnet. Die Winkelwerte der Winkel-Betrags-Maxima der beiden Winkel-Abweichungswerte aus DQ und DU wird nachstehend gespeichert.

G72	G74	P[SP+41] = Winkel der in Y-Richtung liegenden Taschenseite zur X-Richtung
G72		P[SP+42] = Winkel der in -X-Richtung liegenden Taschenseite zur Y-Richtung
G72	G74	P[SP+43] = Winkel der in -Y-Richtung liegenden Taschenseite zur X-Richtung
G72		P[SP+44] = Winkel der in X-Richtung liegenden Taschenseite zur Y-Richtung
G72		P[SP+45] = Winkel der in Y-Richtung liegenden Zapfenseite zur X-Richtung
G72		P[SP+46] = Winkel der in -X-Richtung liegenden Zapfenseite zur Y-Richtung
G72		P[SP+47] = Winkel der in -Y-Richtung liegenden Zapfenseite zur X-Richtung
G72		P[SP+48] = Winkel der in X-Richtung liegenden Zapfenseite zur Y-Richtung

Messoption für die Zyklen G81, G82, G83, G85, G86, G87

Für eine einheitliche Erweiterung der Bohrzyklenfamilie zu Messzyklen werden diese Zyklen mit den nachstehenden optionalen Parametern erweitert. Der Aufruf der Bohrzyklen zum Messen erfolgt wie bei den Taschen mit QM5.

Die Bestimmung einer Verschleißkorrektur bei den Bohrzyklen ist bei Wendeplattenbohrern, Reib- und Ausdreh-Werkzeugen und mit Einschränkung auch bei Spiralbohrern zur Standzeitüberwachung durch Überschreitung von Verschleißgrenzwerten sinnvoll, auch wenn keine tatsächliche Korrekturmöglichkeit – außer beim Bohrfräszyklus G87 – besteht.

		Steueradressen des Programmablaufs:
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
		QM0 Überspringen des Zyklus
		QM1 Bearbeiten
		QM5 Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
		In-Prozess-Mess-Adressen
QL	[P8100]	Mess-Steuerindex (siehe Mess-Adress-Vorgaben in G28)
		QL0 Keine Prüfung
		QL1 Messen in der Bearbeitungsebene
		QL2 Messen in der Zustellrichtung Beachten: Die Messung der Tiefe bei Bohrungen mit Spiralbohrern wird durch die konische Spitze verfälscht.
		QL3 Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung
		QL5 Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit Vertikal-Winkelberechnungen
		QL11 Form- und Lagetoleranzen in der Bearbeitungsebene mit den Grenzwerten von G28 prüfen
		QL12 Form- und Lagetoleranzen in der Zustellrichtung mit den Grenzwerten von G28 prüfen
		QL13 Form- und Lagetoleranzen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit den Grenzwerten von G28 prüfen
		QL14 Form- und Lagetoleranzen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit Winkelberechnungen mit den Grenzwerten von G28 prüfen
DQ	[D]	Abstand der horizontalen Messebene von der Materialoberfläche Defaultwert D in den Zyklen G82, G83 und G87
	[ZI/2]	Defaultwert ZI/2 = halbe Zustellung in den Zyklen G81, G85 und G86
DU	[DQ]	Abstand der 2. horizontalen Messebene von der Materialoberfläche DU≠DQ, DU=DQ: Keine Winkelmessung in der Zustellrichtung
RU	[0]	Abstand vom Mittelpunkt zur Tiefenmess-Position
AU	[0]	Winkel: RU, AU sind die Polarkoordinaten der Tiefenmess-Position mit dem Pol im Zyklusmittelpunkt
TV	[0]	Werkzeugnummer für Verschleißkorrektur, TV0: keine Verschleißkorrektur. Diese Adresse wird nur bei G81 – G83, G85, G86 und G87 für die Berechnung der Verschleißkorrekturen und zur möglichen Bestimmung eines Schwesterwerkzeugs verwendet.
RB	[0]	Sollradius der Bohrung zur Überprüfung der Toleranzmaße und zur Bestimmung der Verschleißkorrekturen
	[R]	Defaultwert bei G87
SO	[50]	Parameternummern-Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus
SP	[500]	erste Parameternummer der Messwertspeicherung

Abspeicherung der Messergebnisse in den Parametern

Position des Zyklusobjekts

P[SP] = Mess-Zyklusnummer + 100 * vorhandene Satznummer N

P[SP+1] = Setzpunkt der Zyklusgeometrie in X

P[SP+2] = Setzpunkt der Zyklusgeometrie in Y

P[SP+3] = Tiefe in Z des Zyklusgeometriebodens

Orientierung und Verschleißkorrekturwerte

P[SP+5] = X-Komponente normierter Richtungsvektor der Bohrung

P[SP+6] = Y-Komponente normierter Richtungsvektor der Bohrung

P[SP+7] = Z-Komponente normierter Richtungsvektor der Bohrung

P[SP+10] = Z-Verschleißkorrekturwert

P[SP+11] = Radius-Verschleißkorrekturwert

Messebene DQ

P[SP+12] = Radius von Kreistasche oder Bohrung

Messebene DU

P[SP+22] = Radius von Kreistasche oder Bohrung

Vertikal-Winkelmessungen mit DQ ≠ DU und Mittelwertbildungen

Aus den Messungen werden in jeder der Bearbeitungsebene DQ und DU die Zentren der Objekte und der Zapfen berechnet und daraus die Richtungsvektoren durch die beiden Zentrumsunkte berechnet und als Ergebnisse abgespeichert.

P[SP+30] = Winkel der Verbindungslinie der Y/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Bohrungsmesspunkte/-Quadrantenpunkte in Y-Richtung

P[SP+31] = Winkel der Verbindungslinie der X/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Bohrungsmesspunkte/-Quadrantenpunkte in -X-Richtung

P[SP+32] = Winkel der Verbindungslinie der Y/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Bohrungsmesspunkte/-Quadrantenpunkte in -Y-Richtung

P[SP+33] = Winkel der Verbindungslinie der X/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Bohrungsmesspunkte/-Quadrantenpunkte in X-Richtung

Werkstückhandhabung beim Fräsen mit Robotern unter Verwendung der Mehrkanalprogrammierung

Für die automatische Werkstückbeschickung und Werkstückentnahme wird eine Fräsmaschine und ein Roboter von einer zweikanaligen CNC-Steuerung mit der **PAL-Befehlskodierung Fräsen** angesteuert. Zur Synchronisation der beiden Prozesse werden der Kanalsynchronisationsbefehl G98 und der Kanal-Umschaltbefehl G99 verwendet.

Im Kanal 1 läuft die CNC-Steuerung der Fräsmaschine mit der **PAL-Befehlskodierung Fräsen**.

Im Kanal 2 läuft die CNC-Steuerung des Roboters mit der **PAL-Befehlskodierung Fräsen**.

Fertigungszelle mit CNC-Maschine Werkzeugmagazin und Handhabungsroboter

Für die Werkstückhandhabung im PAL-Programmiersystem Fräsen wird von der folgenden Maschinen-Konfiguration ausgegangen:

Für die Werkstückhandhabung wird ein 6-Achsiger Roboter verwendet. Dabei werden die unteren 5 Achsen für die Punkttrichtungsprogrammierung benötigt und die sechste Achse dient zur Orientierung/Drehung eines einfachen Greifers oder eines Doppelgreifers. Die Koordinatensystemunterschiede zwischen Maschinen- und Roboterkoordinatensystem sind mit ihrer Verschiebung und Drehung zueinander bekannt.

Eine rundum abgeschlossene Fertigungszelle mit einer Zugangstür befindet sich vor der CNC-Maschine. Die Zugangstür kann vom Systembetreuer nur geöffnet werden, wenn sich der Roboter in einem gesicherten Haltemodus befindet. Ein Start des Roboters ist nur bei geschlossener Tür nach Freigabe durch den Systembetreuer möglich.

Optional kann der Roboter auch auf eine vor der Maschine verlaufende Linearführung aufgesetzt werden, um z. B. den Platz vor der Maschine freizumachen oder bei größeren Werkstückmagazinen zusätzliche Arbeits-Positionen mit dem Linearschlitten anzufahren oder auch bei der Bestückung zwischen zwei CNC-Maschinen zu wechseln

Anmerkung: Für präzise CNC-Maschinenbestückungsaufgaben (i. A. auch mit schwereren Werkstücken) benötigt man hochgenaue Roboter, deren dadurch bedingte schwerere Bauweise eine Abgeschlossenheit zum Bedienungspersonal verlangt. Das genaue Positionieren und Ausrichten der Werkstücke bzw. der Greiferhand erfordert die Möglichkeiten der Punkt-Richtungs-Programmierung im Kanal des Roboters. Die Abläufe der Werkstückhandhabung werden mit den Synchronisationsbefehlen der Kanäle aufeinander abgestimmt.

Bei mit einer genauen Sensorik ausgestatteten Robotern, kann schon teilweise auf das Einschließen des Roboters durch einen Käfig verzichtet werden, da ein Überschreiten der Arbeitsraumgrenzen durch ein anderes Objekt die Bewegungen des Roboters sofort anhält. Die Verwendung von Kollaborativen Robotern (Cobots) ist i. A. wegen der Schwere der Werkstücke und dem geforderten genauen Punkt-Richtungs-Positionieren nicht möglich.

Mit diesem Fertigungszellen-Szenarium lassen sich alle möglichen Handhabungsaufgaben exemplarisch durchführen. Dazu gibt es den Robotergreifer in den Varianten flexibler Einzelgreifer für Werkstückrohrtail und Fertigteil und Doppelgreifer für zwei Werkstücke mit unterschiedlicher Greiferauslegung. Für das stirnseitige Greifen eines zylindrischen Werkstücks oder das Greifen an der Mantelfläche sind die Greiferbacken i. A. mit Doppelprismen ausgestattet.

Die möglichen Greifer- und Backenvarianten werden analog zu den Spannmitteln in einer Greifer-Verwaltung zusammengefasst.

Bearbeitungsablauf

Das NC-Programm wird in beiden CNC-Steuerkanälen gestartet und im Allgemeinen wird der Bearbeitungskanal 1 dann nach einer Synchronisation „Bestückungsstart“ auf die Bestückung warten und der Bestückungskanal 2 nach dem Programmstart i. A. ein Werkstück aufnehmen.

Dem Beladeschritt geht im laufenden Betrieb das Entnehmen des Fertigteils voraus: Dies kann auf zwei Arten erfolgen:

1. Der Roboter ist mit einem Doppelgreifer ausgestattet, der zwei Werkstücke aufnehmen kann: Der Roboter entnimmt mit einem entsprechenden Synchronisations-Handshake mit der freien Greiferhand das gefertigte Werkstück aus der CNC-Maschine, schwenkt die Greiferhand und belädt das Spannmittel mit dem nächsten Werkstückrohteil ebenfalls mit einem Synchronisations-Handshake.
2. Der Roboter hat nur einen Einfachgreifer und das fertige Werkstück wird zuerst entnommen und im Fertigteilmagazin abgelegt und dann das neue Rohteil aus dem Rohteilmagazin aufgenommen und in die Maschine eingesetzt.

Dies erfolgt eingerahmt von dem Handshake-Betrieb des Öffnens und Schließens der Maschinentür.

Die Programme laufen dann in einer Schleife, bis die voreingestellte Losgröße vom NC-Programm erreicht wurde. Mit der Ablage des letzten Fertigteils wird das NC-Programm in beiden Kanälen beendet.

Eine mehrfache Handshake-Betrieb-Überwachung ist notwendig, da nach einem abgesetzten Befehl (Maschinentür auf, Maschinentür zu (Absaugung), Backen greifen, Backen öffnen, ...) auch abgewartet werden muss, ob dieser Steuerbefehl auch ausgeführt wurde oder z. B. wegen einer Störung nicht ausgeführt werden konnte.

Werkstückaufnahme und Werkstückablage im Werkstückmagazin und in der Maschine

Die Aufnahme und Ablage der Werkstücke im Magazin erfordert die werkstücknummernabhängige algorithmische Berechnung der Magazinpositionen in den verschiedenen Werkstückpaletten und der zugehörigen Greiferrichtungen und muss mit Punkt-Richtungsprogrammierung erfolgen. Das gleiche gilt für das Be- und Entladen der CNC-Maschine.

Die Bewegungen des Roboters von den Werkstückmagazinen in den Maschinenraum und wieder zurück wird wegen der Enge des Maschinenraums und möglichen Kollisionen i. A. im Teach-In-Betrieb durchgeführt.

Maschinenbefehle der Werkstückhandhabung

M67	Maschinentür öffnen	
M68	Maschinentür schließen	
M110	Hauptspindel Backen zu (nach innen)	
M111	Hauptspindel Backen auf (nach außen)	
M210	Gegenspindel Backen zu (nach innen)	
M211	Gegenspindel Backen auf (nach außen)	
M167	Tür 1 öffnen	
M168	Tür 1 schließen	
M267	Tür 2 öffnen	
M268	Tür 2 schließen	
M367	Tür 3 öffnen	
M368	Tür 3 schließen	
M467	Tür 4 öffnen	
M468	Tür 4 schließen	
M900	Linearschlitten des Roboters auf Position 0 (vor Maschinentür) fahren	
M901	Linearschlitten des Roboters auf Position 1 fahren	
M902	Linearschlitten des Roboters auf Position 2 fahren	
M903	Linearschlitten des Roboters auf Position 3 fahren	
M910	Greifer 1 Backen schließen	Gripper 1 close jaws
M911	Greifer 1 Backen öffnen	Gripper 1 open jaws
M919	Auswahl Greifer 1	Select gripper 1
M920	Greifer 2 Backen öffnen	Gripper 2 open jaws
M921	Greifer 2 Backen schließen	Gripper 2 close jaws
M929	Auswahl Greifer 2	Select gripper 2

G98 Wait- und NoWait-Synchronisationsmarken

Mit G98 können Synchronisationspunkte gesetzt und Synchronisationen zwischen einer beliebigen Kanalauswahl einer mehrkanaligen Maschine gesetzt werden. Die Synchronisationspunkte müssen mit einer Synchronisationsmarken-Nummer SM programmiert werden.

Ein Synchronisationspunkt darf nur dann überfahren werden, wenn der Synchronisationspunkt von allen in dem Synchronisationsaufruf programmierten Kanälen erreicht wurde oder von den Kanälen mit einer NOWAIT-Synchronisation bereits überfahren wurde. Ab dem Synchronisationspunkt laufen alle Kanäle mit einer WAIT-Synchronisation gleichzeitig weiter.

G98 SM KS . . . KS WAIT

Obligate Adressen:

SM Synchronisationsmarkennummer

KS Kanalnummern der mit dem aktuellen Kanal zu synchronisierenden Kanäle- Eine Kanalnummer KS, die von dem aktuellen Kanal verschieden ist, muss mindestens programmiert werden. KS kann mehrfach programmiert werden und die eigene Kanalnummer darf zur besseren Übersichtlichkeit mit enthalten sein.

Optional:

WAIT [*] Der Kanal wartet, bis alle mit KS programmierten Kanäle den programmierten Synchronisationspunkt in ihrem Kanal erreicht haben oder mit einer NOWAIT-Synchronisation bereits überfahren haben.

* **Default-Regelung:** Wird „WAIT“ nicht programmiert, führt G98 eine NOWAIT-Synchronisation aus: Der aktuelle Kanal setzt für die mit KS programmierten Kanäle unter der Synchronisationsmarkennummer SM ein Synchronisationshinweis „Synchronisationspunkt erreicht“ und führt seinen Programmlauf ohne Unterbrechung fort (NOWAIT-Synchronisation).

Programmierhinweise:

Der Befehl G98 muss allein in einem NC-Satz stehen.

G99 Kanalwechsel im Mehrkanalprogramm

Ein mehrkanaliges PAL-NC-Programm wird als eine Programmdatei gespeichert und innerhalb dieser Programmdatei wird mit einem Umschaltbefehl zwischen den Programmteilen für die unterschiedlichen Kanäle mit dem Befehl G99 umgeschaltet.

Der Umschaltbefehl legt fest, zu welchem Kanal die NC-Befehle nach dem Umschaltbefehl bis zum nächsten Umschaltbefehl gehören. Auf diese Weise ist es möglich NC-Programmteile unterschiedlicher Kanäle, die über Synchronisationen gleichzeitig laufen sollen, direkt hintereinander zu schreiben, was die Lesbarkeit eines Programmausdrucks wesentlich erhöht, insbesondere wenn kein spezieller Mehrkanaleditor mit automatischer Synchronisationspunktanpassung zur Verfügung steht.

G99 KN

KN Kanalnummer der nachfolgenden NC-Sätze

Programmierhinweise:

Beim Programmstart ist Kanal 1 als aktiv voreingestellt.

Der Befehl G99 muss allein in einem NC-Satz stehen.

Anhang V Einrichteblattsyntax Fräsen

PAL2019 – Einrichten der Fräsmaschine erweitert um die Konfiguration des Handhabungs-Roboters und der Werkstückpaletten

Einrichteblattsyntax Fräsen PAL 2007

Sämtliche Einrichteinformationen stehen als Kommentarkopf im Einrichteblatt, der mit dem Text

; Einrichteblatt

beginnt und der mit dem Text

; Einrichteblatt-Ende

abgeschlossen wird. Allen Einrichteinformationen ist das Kommentarzeichen Semikolon vorangestellt. Zeichenketten werden mit Hochkommata eingerahmt. Leerzeichen in den Zeichenketten vor oder hinter einem Backslash werden ignoriert.

Das Einrichteblatt besteht aus den nachstehenden acht Abschnitten, die mit den entsprechenden Schlüsselworten eingeleitet werden:

; Maschine

; Steuerung

; Allgemeine Informationen (optional)

; Werkstück

; Werkstück-Einspannung

; Werkzeugsystem

; Werkzeugkorrekturwertliste

; Nullpunktregister

Eine Abschnitts-Eintragung beginnt mit einem Schlüsselwort gefolgt von den Eingaben nach dem Doppelpunkt. Die Angaben von Namen oder Texten werden als Zeichenkette mit Hochkommata eingerahmt: “ **Name**“. Nach einem Schlüsselwort können auch mehrere Adressen mit Zahlenangaben stehen. Im Folgenden steht i für eine positive ganze Zahl und xx.xx für eine Gleitkommazahl.

Die Angaben von Werkzeugen oder Spannmittel aus den entsprechenden PAL-Verwaltungen erfolgen als Zeichenkette unter der Angabe des durch Backslashes getrennten Tripels: “**Norm \ Typ \ Identnummer**“

; Maschine: “**PAL-G17-BAZ**“ oder
“**PAL-G17-4-Achs-BAZ - A-Achs-Teilapparat**“ oder
“**PAL-G17-5-Achs-BAZ**“

und entsprechend die CNC-Steuerung

; Steuerung: “**PAL2018-Mill**“ oder
“**PAL2018-Mill-A**“ oder
“**PAL2018-Mill-AC/BC**“ (Es muss für Maschine und Steuerung genau eine dieser Angaben gemacht werden.)

; Maschinentischmittelpunkt: **Xxx.xx Yxx.xx Zxx.xx** (Ausgabe in Maschinenkoordinaten als Info.)

; Allgemeine Informationen (optionale Angaben **ohne** Einfluss auf das Einrichten und den Programmablauf in der Steuerung)

; Programmierer: "beliebiger Text mit Leerzeichen"
; Abteilung: "beliebiger Text mit Leerzeichen"
; Projekt: "beliebiger Text mit Leerzeichen"
; Erstellungszeit: "beliebiger Text mit Leerzeichen"
; Änderungszeit: "beliebiger Text mit Leerzeichen"
; Benennung: "beliebiger Text mit Leerzeichen"
; Zeichnungs-Identnr: "beliebiger Text mit Leerzeichen"
; Aufspannskizzen-Identnr: "beliebiger Text mit Leerzeichen"
; Programmnummer: "beliebiger Text mit Leerzeichen"
; Programmdateiname: "beliebiger Text mit Leerzeichen"

Im Folgenden sind textuelle Erläuterungen in einer Einrichtblattzeile (**beginnend** mit einem fettgedruckten Schlüsselbegriff) der nachstehenden Einrichtblattsyntax in runden Klammern angegeben.

; Werkstück (Jedes Werkstück hat einen Werkstückbezugspunkt, der bei Standardrohteilen im Zentrum liegt)

; Quader: **QXxx.xx QYxx.xx QZxx.xx** (maschinenachsparelle Werkstückquadermaße)
oder
; Zylinder/Rohr: **Lxx.xx DAxx.xx DIxx.xx** (Zylinder der Höhe L in Z, dem Durchmesser DA und dem optionalen Innendurchmesser DI (Zylinder ausgerichtet in Z-Richtung))
oder
; N-Kant: **Ni Lxx.xx DSxx.xx DIxx.xx** (i=3/4/6/8-Kant mit Höhe L in Z, der Schlüsselweite DS und optionalem Innendurchmesser DI und Ausrichtung analog zum Zylinder)
oder
; Vorgefertigtes Teil: **"Dateiname"** (z. B. Fertigteil aus einem anderen NC-Programm in einem software-spezifischen internen Format, z. B. STL)

; Werkstückausrichtung: **[APx.xx] [BPx.x] [CPx.x]**
(Das Werkstück wird im Werkstückbezugspunkt mit AP, BP, CP um die Maschinenachsrichtungen A, B und C in dieser Reihenfolge gedreht. Winkel-Voreinstellungswert ist null für alle Drehachsen. Die Werkstückausrichtung findet beim Spannen vorgefertigter Werkstücke Anwendung, Werkstückbezugspunkt siehe Werkzeugposition.)

; Referenzwerkstück: **"Dateiname"** (Musterlösung als Referenz- und Vergleichswerkstück)

; Werkstoff: "Werkstoffbezeichnung aus der PAL-Werkstoffdatei"

; Werkstück-Einspannung

; **Werkstückposition:**

[XMTx.x] [YMTx.x] [ZMTx.x]

(XMT, YMT gibt die Position des Werkstückbezugspunktes in X, Y bezogen auf ein in das Zentrum der Maschinentischoberfläche (Maschinentischmittelpunkt) verschobenes Maschinenkoordinatensystem an. ZMT legt den Abstand des Werkstückes vom Maschinentisch fest. Vorgabewerte XMT0, YMT0, ZMT0, ZMT <0 nicht zugelassen

Der Werkstückbezugspunkt in X, Y bei Standard-Werkstücken ist das Zentrum der Werkstück-Projektionsfläche in Z-Richtung auf den Maschinentisch und sein Z-Wert die kleinere Werkstück-Z-Koordinate in diesem Punkt oder bei vorgefertigten Teilen ein ausgezeichneter Werkstückbezugspunkt.)

Bemerkung zur Werkstückposition: Mit XMT0 und YMT0 liegt das Werkstück somit zentrisch auf dem Maschinentisch. Die 3. Koordinate ZMT gibt den Werkstückabstand vom Maschinentisch (i. A. die absolute Höhe des Werkstückbodens über dem Maschinentisch) an: Die **Spannmittel werden bezüglich dieser Werkstückposition positioniert**, so dass diese Werkstückposition für jedes Spannmittel erhalten bleibt. Dies führt bei zu großem ZMT-Wert zu über dem Maschinentisch schwebenden Spannmitteln und bei zu kleinem ZMT-Wert zu in den Maschinentisch eingelassenen Spannmitteln. Weiter werden auch die **Einstellbaren Nullpunktregister** im Einrichtblatt bezüglich dieser **Werkstückposition** angegeben. Ein Einrichtdialog oder eine CAM-Schnittstelle berechnet die im Einrichtblatt verwendeten Einspanndaten.

Die für den Maschinentisch mit der Spannmittelnorm **T-Nut-A14H8** auswählbaren Spannmitteltypen sowie die Spannmittelaufsatznormen mit den jeweiligen Spannmittelaufsatztypen und den Identnummern sind in der Fräs-Spannmittelverwaltung (s. Anlage VII) angegeben:

Schraubstöcke

Dreibacken-Kraftspannfutter (auf Maschinentisch parallel zur C-Achse oder A-Achse bei Teilapparat)

Vierbacken-Kraftspannfutter (auf Maschinentisch parallel zur C-Achse oder A-Achse bei Teilapparat)

Magnetplatten/Vakuumpplatten

Modulares Spannsystem (aus einzelnen Spannelementen)

Als Backenfutter ist bei N-Kanten als passendes Drei- oder Vierbackenfutter zu wählen.

- ; Spannmittel:** “(Spannmittelnorm=) T-Nut-A14H8 \ Spannmitteltyp \ Spannmittel-Identnummer“
- ; Spannmittelaufsatz:** “**Aufsatznorm \ Aufsatztyp \ Identnummer**“
 (Schraubstock-, Futter-Backen,
 Spannkomponenten passend zu
 Spannmitteltyp und Spannmittel-Identnummer)
- ; Spannmittelvorsatz:** [“**Vorsatznorm \ Vorsatztyp \ Identnummer**“]
 (nur bei außenstufigen Standard-
 Hochdruckspanner-Aufsatzbacken)

Mit den Zusatzinformationen

- ; Spannmittel-Ausrichtung:** [(X+/X-/Y+/Y-)/ARxx.xx]
 (Schraubstockkörper mit hinterer Backe oder einer Futterbacke in Richtung X+, X-, Y+, Y-, Voreinstellung Y+. Alternativ Drehung des Spannmittels um den Winkel AR um die Z-Achse, wobei AR0 der Ausrichtung X+ entspricht. Der alternative Spannmitteldrehwinkel AR muss an die Werkstückausrichtung AP, BP, CP und die Werkstückform angepasst sein.)
- ; Schraubstock-Verschiebung:** [Vxx.xx]
 (Verschiebung des Werkstücks zwischen den angelegten Schraubstockbacken in der freien Richtung (V+ in Richtung X+ in Schraubstocknormalstellung Y+ und dann gedreht entsprechend der Spannmittel-Ausrichtung) - durch die feste Werkstückposition (siehe oben) kommt dies einer Verschiebung des Schraubstockes mit dem Achsvorzeichen der gewählten Verschiebungsrichtung gleich, Voreinstellung V0.0)
- ; Spannungsart:** [Außenspannung außenstufige Backen/ oder (Voreinstellung)
 Außenspannung innenstufige Backen/ oder
 Innenspannung außenstufige Backen/ oder
 Innenspannung innenstufige Backen] (Bei Schraubstöcken kann ein Stufenbacken außen- oder innenstufig aufgesetzt werden.)
- ; Weiche Futterbacken:** SpDx.x AdPx.x [FBx.x]
 (Backenfestlegung nur bei weichen Backen notwendig: Spanndurchmesser SpD kann bei Zylinder, Rohr oder N-Kant entfallen. Ausdrehposition AdP in Backenmitte als prozentuale Angabe zwischen 5 % und 95 % der Backengesamthöhe bis zu der die weichen Futterbacken bei Rohr oder Zylinder ausgedreht sind). FB ist die optionale angedrehte Fase der Backen.
- ; Einspanntiefe:** ETxx.xx
 (Einspanntiefe des Werkstückes im Schraubstock oder Futter – Bei einer Zylinderspannung mit horizontalen Prismenbacken entfällt die Eingabe der Einspanntiefe)

; Parallelunterlagen: [PUBx.x DPUVx.x DPUHx.x]

(Die Parallelunterlagen der Dicke PUB in Backenöffnungsrichtung werden über die volle Backenbreite des Schraubstockes an den vorderen Backen mit dem Abstand DPUV zum Backen und an den hinteren Backen mit dem Abstand DPUH parallel zu den Backen unterlegt. Die Höhe der Parallelunterlagen ergibt sich aus der Differenz von Backenhöhe und Einspanntiefe. Die Voreinstellung für DPUV und DPUH ist jeweils null, d. h. anliegende Parallelunterlagen.)

oder

(Magnet- oder Vakuum-Plattenspannsystem oder Modulares Spannsystem)

; Spannelement: Xx.x Yx.x Zx.x XPx.x YPx.x ZPx.x [APx.x] [BPx.x] [CPx.x]

oder

**; Spannelement: "T-Nut-A14H8 \ ModulS \ Identnummer"
XPx.x YPx.x ZPx.x [APx.x] [BPx.x] [CPx.x]**

(Spannelementquader der Größe X,Y,Z oder die alternative Identnummer eines 3D-Spannelementes gefolgt von der Position XP, YP, ZP des Spannelementsetzpunktes bezüglich der Werkstückposition. Das Spannelement wird davor optional in seinem Setzpunkt in den Maschinenachrichtungen X, Y, Z um die Winkel AP, BP, CP in dieser Reihenfolge gedreht. Voreinstellung AP0, BP0, CP0. Setzpunkt eines Spannelementquaders ist das Zentrum des ungedrehten Spannelementbodens. Mehrfacheingaben von Spannelementen sind zulässig)

Alternativ zu den Spannelementquadern
können die
Spannelemente des modularen
Spannsystems TopFix in das Einrichtblatt in der gleichen Weise eingetragen werden.

Optionale Angabe für alle Spannmittel:

; Unterlegplatte: [UPXxx.xx UPYxx.xx UPZxx.xx XPxx.xx YPxx.xx ZPxx.xx]

(Unterlegplatte der Größe UPX x UPY x UPZ mit dem Zentrum der Bodenfläche in der Position XP, YP, ZP bezüglich der Werkstückposition)

; Werkzeugsystem

Mit dem Einrichtblattbefehl **Werkzeugsatz** wird eine Standardbelegung des Werkzeugmagazins mit einer Korrekturwertregisterbelegung aktiviert. Die Werkzeuge und Korrekturwerte eines Standard-Werkzeugsatzes werden durch die im Abschnitt **Werkzeuge** bzw. **Werkzeugkorrekturwerte** gemachten Eingaben überschrieben.

; Werkzeugsatz: "NC-Programmnamen" / leer (eines NC-Programmes des gleichen Maschinentyps mit den Werkzeugen und Korrekturwerten des Standard-Werkzeugsatzes im Einrichtblatt / oder entfernen aller Werkzeuge mit leer)

; Werkzeugliste

Die Angabe der Werkzeuge erfolgt im Einrichtblatt T-nummernspezifisch unter Angabe der Werkzeug-Aufnahmenorm, des Werkzeugtyps und der Werkzeug-Identnummer (Werkzeugname).

; Ti: "Werkzeughalternorm = SK40 \ Werkzeugtyp \ Werkzeug-Identnummer" [Laxx.xx]
(Die optionale Ausspannlänge La verändert die im Werkzeug voreingestellte Ausspannlänge, um ein optimales Werkzeug für die Bearbeitung zu erhalten. Der Längenkorrekturwert wird dabei automatisch angepasst.

Man beachte bei den Werkzeugkorrekturwerten:

Bei Werkzeugen mit angegebener Ausspannlänge La werden prinzipiell die zu La passenden richtigen Korrekturwerte aus der Werkzeugverwaltung verwendet (die im Einrichtblatt stehenden Korrekturwerte (siehe unten) werden ignoriert).

Die PAL-Fräsmaschinen haben die Werkzeughalternorm SK40. Die Werkzeugtypen und die Identnummern sind in der PAL-Fräs-Werkzeugverwaltung (s. Anhang VI) beschrieben und angegeben.

Eine nicht im Einrichtblatt vorhandene T-Nummer lässt die Belegung dieses Werkzeugmagazinplatzes bezüglich der vorhergehenden Werkzeugbelegung unverändert. Die Zuweisung Ti: leer erzeugt eine Magazinposition Ti ohne Werkzeug.

Erweiterung des Einrichteblatts für den Handhabungsroboter

; **Roboterkonfiguration**

; **Roboter:** "PAL-Knickarm-Robot G17 Rn" (n=1,2,3 für unterschiedliche große Roboter)
mit der Steuerung

; **Roboter-Steuerung:** "PAL2018-Mill ABC G17"

und der Transformation zwischen beiden

; **Roboter-Bezugspunktposition in CNC-Maschinenkoordinaten:** Xxx.xx Yxx.xx Zxx.xx

; **Roboter-Euler-Drehwinkel bezüglich CNC-Maschinenkoordinatensystem:**
CRxx.xx ARxx.xx CRxx.xx

; **Greifer:** "(Spannmittelnorm=) T-Nut-A14H8 \ Spannmitteltyp \ Spannmittel-Identnummer"
(Einfachgreifer oder Doppelgreifer)

(Rohteil-Greiferdaten)

; **Greiferaufsatz1:** "Aufsatznorm \ Aufsatztyp \ Identnummer" (Futter-Backen,
Spannkomponenten ,
passend zu Spannmittel-
typ & Identnr)

mit den Zusatzinformationen

; **Greifer-Ausrichtung1:** GRxx.xx (Drehung eines Greiferbackens gegenüber der
Nulllage der Greiferachse)

; **Greiferspannungsart1:** [Außenspannung außenstufige Backen/ oder (Voreinstellung)
Außenspannung innenstufige Backen/ oder
Innenspannung außenstufige Backen/ oder
Innenspannung innenstufige Backen]

; **Weiche Futterbacken1:** SpDx.x AdPx.x [FBx.x] (Backenfestlegung s. oben)
Spanndurchmesser SpD kann bei
Zylinder, Rohr oder N-Kant entfallen.
Ausdrehposition AdP in Backenmitte
als prozentuale Angabe zwischen 5 %
und 95 % der Backengesamthöhe bis zu
der die weichen Futterbacken bei Rohr
oder Zylinder ausgedreht sind). FB ist
die optionale angedrehte Fase der
Backen.

; **Greifer-Einspanntiefe1:** ETxx.xx (Einspanntiefe des Werkstückes im Futter – Bei einer
Zylinderspannung mit horizontalen Prismenbacken
entfällt die Eingabe der Einspanntiefe)

(nur bei Doppelgreifern: Fertigteil-Greiferdaten)

; **Greiferaufsatz2:** "Aufsatznorm \ Aufsatztyp \ Identnummer" (Futter-Backen,
Spannkomponenten,
passend zu Spannmittel-
typ & Identnr)

mit den Zusatzinformationen

; **Greifer-Ausrichtung2:** GDxx.xx (Drehung eines Greiferbackens gegenüber der
Nulllage der Greiferachse)

- ; **Greiferspannungsart2:** [Außenspannung außenstufige Backen/ oder (Voreinstellung)
 Außenspannung innenstufige Backen/ oder
 Innenspannung außenstufige Backen/ oder
 Innenspannung innenstufige Backen]
- ; **Weiche Futterbacken2:** SpDx.x AdPx.x [FBx.x] (Backenfestlegung s. oben)
 Spanndurchmesser SpD kann bei
 Zylinder, Rohr oder N-Kant entfallen.
 Ausdrehposition AdP in Backenmitte
 als prozentuale Angabe zwischen 5 %
 und 95 % der Backengesamthöhe bis zu
 der die weichen Futterbacken bei Rohr
 oder Zylinder ausgedreht sind). FB ist
 die optionale angedrehte Fase der
 Backen.
- ; **Greifer-Einspanntiefe2:** ETxx.xx (Einspanntiefe des Werkstückes im Futter – Bei einer
 Zylinderspannung mit horizontalen Prismenbacken
 entfällt die Eingabe der Einspanntiefe)

Anmerkung:

Quaderförmige Rohteile oder Fräs-Fertigteile können mit Zwei-Backen-Greifern gegriffen werden.

Erweiterung des Einrichteblatts für die Werkstückhandhabung mit Werkstückmagazin und Werkstückpaletten

Definition Werkstückpalette

Unter einer Werkstückpalette verstehen wir eine in sich abgeschlossene Einlagerungseinheit für ein oder mehrere Werkstücke. Eine Werkstückpalette gibt es in unterschiedlichen Formen und auch für unterschiedliche Anwendungen. Standardwerkstückpaletten haben i. A. eine Stapelkistenform und es gibt sie mit geschlossenen Seiten und Boden sowie mit einer Inneneinteilung mit vorgegebenen Werkstück-Positionen und -Ausrichtungen. Von der geschlossenen Bauweise geht der aktuelle Entwicklungstrend in Richtung einer stabilen Drahtgitterkonstruktion mit Werkzeugpositionen und einer Klemm-Möglichkeit der Werkstücke an Ihren Positionen für einen direkten Weitertransport zu Werkstückreinigungsanlagen oder zur Qualitätsendkontrolle.

Die Werkstückpaletten gibt es standardmäßig zur Aufnahme von

- Z. zylindrischen Werkstücken und Formwerkstücken mit zylindrischem Anteil mit vertikaler oder horizontaler Ausrichtung der Rotationsachse in der Palette
- Q. quaderförmigen Werkstücken und Formwerkstücken mit rechteckigem Grundflächenanteil
- F. Freiformwerkstücken
- S. als Sonderpaletten (z. B. mit Nullpunktspannsystem für Palettenwechsler)

Die Paletten der Typen Z, Q und F können in ihrer Größe und Werkstückanzahl festgelegt werden.

Die Sonderpaletten werden geometrisch mit ihren Werkzeugeinsetzpositionen und Einsetzrichtungen durch eine 3D-Geometrie-Datei beschrieben.

Definition Werkstückmagazin

Unter einem Werkstückmagazin verstehen wir ein (z. B. tischförmiges) Ablagesystem für mehrere Werkstückpaletten für Werkstückrohnteile und Fertigteile an vorgegebenen Ansetzpositionen und Ansetzrichtungen für die Paletten. Ein Werkstückmagazin hat einen Magazin-Nullpunkt und ein zugehöriges Koordinatensystem. Bei zu großem geometrischem Unterschied zwischen Rohteil und Fertigteil müssen für diese Werkstücke unterschiedliche Be- und Entladepaletten verwendet werden.

Ein Magazin wird einem Arbeitszellenbereich bei oder auch vor einer CNC-Maschine zugeordnet. Die Nullpunkte der beiden Systeme sind durch eine Verschiebung und Drehung miteinander verbunden.

Der Transport der Werkstücke zwischen Werkstückmagazin und CNC-Maschine erfolgt mit Hilfe von Handhabungsrobotern.

Für Ausbildungszwecke wird ein einfaches Werkzeugmagazin wird z. B. aus einem **Bereitstellungstisch** gebildet, auf dem die Werkstück-Rohteil- und -Fertigteilpaletten abgelegt werden.

Geometriedefinition der Werkstückpaletten

Die Grundform der vorstehenden Paletten Z, Q und F ist eine quaderförmige, i. A. stapelbare Palette mit vorgebbaren Außenmaßen und einer an die Anwendungen Z, Q oder F angepassten Inneneinteilung.

Diese Paletten sind konfigurierbar in ihrer Größe (Abmessungen in X, Y, Z), der Zahl der Werkstückablagepositionen $n = N_X * N_Y$, der geometrischen Anordnung dieser Positionen in Matrixform mit Anzahl N_X und Abstand DX in X-Richtung sowie Anzahl N_Y und Abstand DY in Y-Richtung, der Werkstück-Hüllform (Zylinder LD oder Quader $LX \times LY$ und der Höhe LZ in beiden Fällen), der Einsetzrichtung der Werkstücke in den Positionen der Palette und der Höhe des Füllstoffes HZ mit den Werkstück-Hüllform-Aussparungen.

Dialogaufbau des Werkstückmagazins

Nach der Auswahl eines Werkstückmagazins kann dieses mit Werkstückpaletten mit Rohteilen und optional auch mit leeren Fertigteilpaletten aufgefüllt werden. Diese Werkstückpaletten können in dem ausgewählten Werkstück-Magazin an einer ausgewählten Paletten-Ansetzposition angesetzt und mit XPOS, YPOS, ZPOS bezüglich dieser verschoben und um die drei Winkel AR, BR, CR gedreht werden. An **einer** Magazin-Ansetzposition können auch mehrere Werkstückpaletten angesetzt, verschoben und gedreht werden (beschränkt nur durch den zur Verfügung stehenden Platz).

Neben standardisierten Werkstückpaletten „WP XxYxZ“ mit vorgegebener Größe in X, Y, Z - Schlüsselwort „Werkstückpalette“ - können Werkstückpaletten auch 3D-mäßig definiert und mit Werkstückablagepositionen versehen werden. Diese Werkstückpaletten werden mit Ihrem Dateinamen ausgewählt.

Für die Entnahme von Rohteilen (Standardteile oder vorgefertigte Teile) aus Werkstückmagazinspaletten und die Ablage der gefertigten Werkstücke in den Paletten mit den Werkstück-Einspannrichtungen AM, BM, CM können diese Paletten im Einrichtedialog vorgegeben werden.

Dabei können für die Ablage der Werkstücke im Magazin auch mehrere verschiedene Werkstücke definiert werden, mit denen unterschiedliche Werkstückpaletten bestückt werden können.

Einrichteblatte-Erweiterung um die Werkstückmagazine

Magazinbelegung im Einrichtblatt

; Werkstückpalette 1
; Werkstück-Magazin:
"Magazin/Werkstückpalette/WP 400x800x135" NX2 NY5 DX140 DY150 HZ40 LD120
; Paletten-Ansetzpositionsnummer im Magazin: APN1
; Palettenposition: XPOS-275 YPOS-100 ZPOS250
; Palettenausrichtung: AR45
; Werkstück-Einsetzausrichtung: BM90
; Bestückt mit Werkstück: 1
;
; Werkstückpalette 2
; Werkstück-Magazin:
"Magazin/ Werkstückpalette/WP 800x500x100" NX5 NY3 DX100 DY110 HZ30 LD100
; Palettenposition: XPOS275 YPOS0 ZPOS200
; Palettenausrichtung: AR90 BR90
; Werkstück-Einsetzausrichtung: BM-90
; Bestückt mit Werkstück: 3
;
; Werkstückpalette 3
; Werkstück-Magazin: "Magazin/Werkstückpalette/WP Dateiname"
; Palettenposition: XPOS905 YPOS0 ZPOS100
; Werkstück-Einsetzausrichtung: AM-90
; Bestückt mit Werkstück: 2

Allgemeiner Hinweis zum Einrichten der PAL-Fräsmaschinen:

Im Hinblick auf eine Austauschbarkeit der PAL2007-Programme zwischen unterschiedlichen Maschinen werden die Koordinaten des Werkstückbezugspunktes im Einrichtekoordinatensystem als Werkstückposition angegeben. Das **Einrichtekoordinatensystem** ist ein mit dem Ursprung in das Zentrum der Maschinentischoberfläche verschobenes Maschinenkoordinatensystem (siehe Einrichten Werkstück).

Die Verwendung des Werkstückbezugspunktes als Bezugspunkt für die Angabe der einstellbaren Nullpunkte macht das Einrichteblatt weitgehend unabhängig von den Maschinenabmessungen (Maschinentischgröße, Verfahrbereiche). Die Nullpunktregisterwerte der einstellbaren Nullpunkte X, Y, Z in den jeweiligen Maschinenkoordinaten ergeben sich dann durch Addition der Koordinaten der Verschiebung vom Maschinenkoordinatensystem in das Einrichtekoordinatensystem und der Koordinaten der Werkstückposition zu den jeweiligen Koordinaten XP, YP, ZP.

Beim Erzeugen eines Einrichteblattes zu einer eingerichteten Maschine werden die aktuellen Nullpunktregisterwerte der Steuerung, die entweder berechnet oder durch Antasten des Werkstückes ermittelt wurden, in das Einrichteblatt eingetragen.