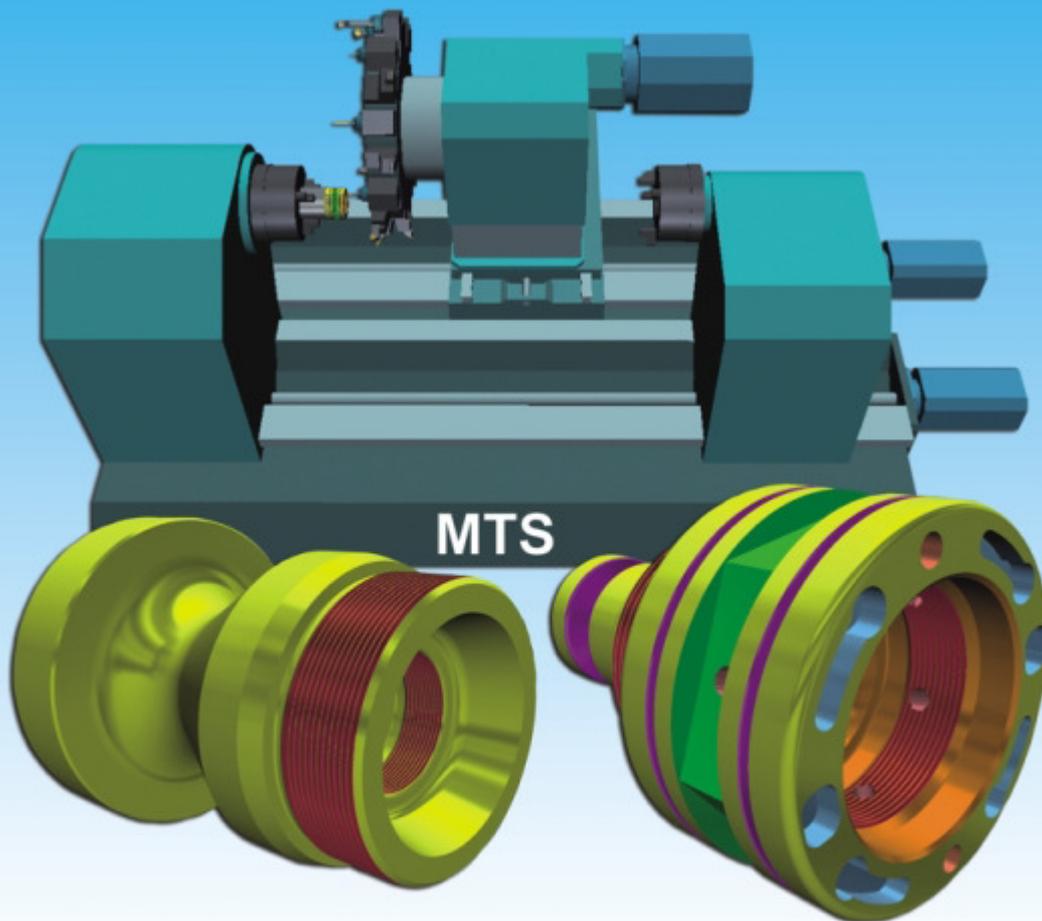


MATHEMATISCH TECHNISCHE
SOFTWARE-ENTWICKLUNG GMBH

TopTurn



Programmieranleitung

PAL2019-Turn - Basics + Measuring + Robotics

Programmieranleitung
PAL2019-Turn - Basics + Measuring + Robotics

Copyright © MTS Mathematisch Technische Software-Entwicklung GmbH 2019-2022
Kaiserin-Augusta-Allee 101 • 10553 Berlin • Germany • +49/30/349 960-0

Alle Rechte vorbehalten.

DIN: Deutsche Industrie Norm, Verbandzeichen des Deutschen Instituts für Normung e. V.

ISO: International Organization for Standardization

PAL: IHK Region Stuttgart, PAL - Prüfungsaufgaben- und Lehrmittelentwicklungsstelle

PAL2019 - Was ist neu?	5
Vereinheitlichung der Bearbeitungsebenenwahl bei Drehen und Fräsen	6
Erweiterungen beim Drehen und neue Zyklen der PAL-Befehlskodierungen	7
Erweiterungs-Software-Pakete	8
Allgemeine Grundlagen	9
Koordinatensysteme	10
Maschinenbezugspunkte	11
Maschinen-, Werkstück- und Werkzeugkoordinatensystem.....	12
Werkzeuggeometrie	13
Korrekturwerte und Radiuskorrektur	14
Grundsätzliches zur DIN-Programmierung.....	16
Behandlung von Adresswerten in der PAL2019-DIN-Programmierung	18
Programmierung der Koordinatenwerte.....	19
Programmierung der Werkzeugbewegungen	20
Allgemeine Erläuterungen zur PAL2019-Befehlskodierung	21
Allgemeine Erläuterungen.....	22
Selbthaltefunktionen und Vorbelegungen der Adressen	23
Programmierung der Koordinaten und Interpolationsadressen.....	24
Vorschubgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion	25
Werkzeug- und Spindeldrehzahl / Schnittgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion.....	26
Werkzeugwechsel	27
Zusatzfunktionen der Programmierung mit Selbsthaltefunktion bzw. Schaltfunktion.....	29
Sonder-Zusatzfunktionen beim Drehen	31
M-Befehle der Werkstückhandhabung	32
Wegbedingungen Fräsen nach DIN 66025	33
Technologieprogrammierung bei den Wegbedingungen.....	34
Spezielle Satzelemente	35
Einschaltzustand.....	36
Festlegungen für die Syntaxbeschreibung	37
Elementare Befehle nach DIN 66025	38
G0 - Linearinterpolation im Eilgang	40
G1 - Linearinterpolation im Vorschub	42
G2 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn	45
G3 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn.....	48
G4 - Verweildauer	51
G5 - Werkzeugverschleiß	52
Schwesterwerkzeuge.....	53
G6 - Modale Adressen der Werkzeugwechsellpunktanfahrt	54
G9 - Genauhalt	56
G10 - Linearinterpolation im Eilgang in Polarkoordinaten	57
G11 - Linearinterpolation im Vorschub in Polarkoordinaten	59
G12 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten.....	61
G13 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten	63
G14 - Werkzeugwechsellpunkt anfahren.....	65
G17/G18/G19 - Kreisbogen-Interpolationsebenen	67
G22 - Unterprogrammaufruf.....	68
G23 - Programmteiwiederholung	70
G29 - Programmsprung	71
G30 - Umspannen, Gegenspindelübernahme, Reitstockpositionierung	72
G30 Q1 - Werkstück umspannen	74
G30 Q2 - Gegenspindel positionieren und spannen	75
G30 Q3 - Gegenspindelübernahme.....	77
G30 Q4 - Reitstockpositionierung.....	79
G40 - Abwahl der Schneidenradiuskorrektur.....	80
G41/G42 - Anwahl der Schneidenradiuskorrektur SRK	81
Anfahr- und Abfahrstrategien von Werkzeugen an Drehkonturen.....	83
G45 - Lineares tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur.....	85
G46 - Tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur im Viertelkreis.....	87
G47 - Tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur im Halbkreis	89
G50 - Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen.....	91
G51 - Einstellbare Nullpunkte setzen	92
G52 - Satzweise Interpolation in Maschinenkoordinaten	93

G53 - Maschinennullpunkt	95
G54-G57 - Einstellbare Nullpunkte	96
G58 - Inkrementelle Nullpunktverschiebung in Polarkoordinaten und Drehung.....	97
G59 - Inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung.....	98
G61 - Linearinterpolation für Konturzüge.....	100
G62 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge	102
G63 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge.....	105
G66 - Spiegeln	108
G67 - Skalieren	109
G70 - Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)	110
G71 - Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)	111
G90 - Absolutmaßangabe	112
G91 - Kettenmaßangabe	113
G92 - Drehzahlbegrenzung.....	114
G94 - Vorschub in Millimeter pro Minute	115
G95 - Vorschub in Millimeter pro Umdrehung	116
G96 - Konstante Schnittgeschwindigkeit	117
G97 - Konstante Drehzahl	118
PAL2019-Bearbeitungszyklen.....	119
Konturschruppsyklen G81, G82, G83, G87, G89	120
Schlichtaufmaße	121
G31 - Gewindezyklus.....	122
G32 - Gewindebohrzyklus.....	124
G33 - Gewindestrehlgang.....	125
G64 - Nutenstoßen	126
G80 - Zyklusabschluss.....	127
G81 - Längsschruppsyklus	128
G82 - Planschruppsyklus	131
G83 - Konturparalleler Schruppsyklus	134
G84 - Tieflochbohrzyklus (zentrish)	137
G85 - Freistichzyklus	139
G86 - Radialer Einstechzyklus.....	141
G87 - Radialer Konturstechzyklus	145
G88 - Axialer Einstechzyklus	147
G89 - Axialer Konturstechzyklus.....	151
Bearbeitungsebenen	153
G15 G18 TURN - Drehebeneanwahl.....	154
G15 - Allgemeine Fräs-Bearbeitungsebeneanwahl.....	155
G15 IP0 - Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Sonderbearbeitungen, Polar- und Zylinderkoordinaten-Programmierung	156
G15 G17 IP0 - Stirnseitenbearbeitung in Pseudo-Polarkoordinaten.....	158
G15 G19 IP0 - Mantelflächenbearbeitung in Zylinderkoordinaten.....	159
G15 IP1-IP4 - Rundachs-Interpolation kartesischer Koordinaten auf Stirnseiten und abgewickelten Mantelflächen - Allgemeiner Fall.....	160
G15 G17 IP3 - Stirnseitenbearbeitung in interpolierten kartesischen Koordinaten	162
G15 G19 IP1 - Mantelflächenbearbeitung in kartesischen Koordinaten	163
G17- und G19-Fräsbearbeitungsebenen mit den Achsen Y und B.....	164
G15 IP5 - Allgemeine Mehrseitenbearbeitungsebeneanwahl beim Drehen mit 5 Achsen Z, X, Y, C, B.....	165
Erläuterung der Winkeleingaben bei der Mehrseitenbearbeitungsebeneanwahl	167
G15 IP5 - Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebeneanwahl	168
G15 IP5 - Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebeneanwahl.....	170
G15 IP5 - Schnittwinkel AS, BS und CS zur Ebeneanwahl.....	172
G15 IP5 - Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene.....	175
G15 IP5 - Basis- und Zustellvektor zur Ebeneanwahl	177
G15 - Gegenüberstellung der Allgemeinen Mehrseiten-Bearbeitungsebeneanwahl im Drehen von PAL2019 und PAL2007	179
G16 - Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse.....	180
Parameterprogrammierung und Systemparameter	182
Parameterprogrammierung.....	183
Systemparameter.....	184
Rechenoperationen.....	185

Mathematische Funktionen.....	186
Arithmetische und logische Ausdrücke.....	188
Erweiterung: Erweiterte Parameterprogrammierung.....	190
G65 - Makroaufruf.....	191
DO - Programmschleife Anfang.....	193
END - Programmschleife Ende.....	194
GOTO - Programmsprung.....	195
IF-GOTO - Bedingter Programmsprung.....	196
IF-THEN - Bedingte Parameterzuweisung.....	197
WHILE-DO - Programmschleife Anfang.....	198
Erweiterung: In-Prozess-Messen.....	199
In-Prozess-Messen mit Messtastern.....	200
In-Prozess-Messen in den erweiterten PAL-Bearbeitungszyklen.....	201
Vorauswahl der durchzuführenden Messungen für das In-Prozess-Messen in den PAL-Fräszyklen.....	202
Adressen zur Festlegung des Messumfangs und der Messpositionen beim In-Prozess-Messen..	203
Tabelle der Parameternummern der In-Prozess-Mess-Ergebnisse der PAL-Bearbeitungszyklen .	205
G7 - Elementarer Messbefehl.....	209
G8 - Basis-Messzyklen.....	211
G8 LM400 - Messen Einzelcoordinate.....	212
G8 LM401 - Messen Außenecke.....	213
G8 LM402 - Messen Innenecke.....	215
G8 LM405 - Messen Nutbreite.....	217
G8 LM406 - Messen Stegbreite.....	219
G8 LM407 - Messen Kreisbogen Innen.....	221
G8 LM408 - Messen Kreisbogen Außen.....	223
G8 LM500 - Nullpunktsetzen Einzelpunkt.....	225
G26 - Kalibrierzyklus für Messtaster.....	226
G27 - Modale Adressen für Messzyklen.....	228
G28 - Modale Toleranzwerte für Form- und Lageabweichungen.....	229
MSG - Textausgabe.....	232
Texte.....	233
Erweiterung: Mehrkanalprogrammierung.....	236
G98 - Kanalsynchronisation.....	237
G99 - Kanalwechsel.....	238
Erweiterung: Robotik.....	239
Werkstückhandhabung mit Robotern unter Verwendung der Mehrkanalprogrammierung.....	240
Mehrkanalprogrammierung zur Werkstückhandhabung beim Drehen.....	242
G20 - Linearinterpolation im Eilgang in allen NC-Achsen.....	243
G21 - Linearinterpolation im Vorschub in allen NC-Achsen.....	246
Programmierhinweise und Bemerkungen für G20 und G21.....	249
Punkt-Richtungs-Programmierung für 5-Achs-Bearbeitungszentren und Werkstück- Handhabungsroboter (Tool-Tip-Control).....	250
weitere Programmiermöglichkeiten.....	252
Geometrieprogrammierung.....	253
Konturzugprogrammierung mit G61, G62 und G63.....	255
Befehlsübersicht.....	257
Syntaxübersicht.....	261

PAL2019 - Was ist neu?

Was ist neu beim Drehen und Fräsen in den PAL2019-Programmierrichtlinien?

Die Erweiterungen und Veränderungen der PAL2019-CNC-Programmierrichtlinien gegenüber den Versionen von 2007 sind eine notwendige Anpassung an die Anforderungen von Industrie 4.0. Der aktuell mehr denn je notwendige wirtschaftliche Erfolg des Industrie 4.0-Konzepts ist auf das engste mit der erfolgreichen Einführung von Industrie-Standards verbunden. Industriestandards sind die wichtigste Grundlage für Flexibilität in der Fertigung und Steigerung der Produktivität. Ein aktuelles Beispiel ist der ISO 13399 Standard für die CNC-Werkzeugbeschreibung.

Für die PAL2019-Programmierrichtlinien ergeben sich daraus die Anforderungen:

- Standardisierung der NC-Programmierung von Drehen mit angetriebenen Werkzeugen und Fräsen
- Erweiterungen beim Fräsen:
 - Zyklus-Erweiterungen bei Taschen und Einstichen
 - Neue Zyklen
 - Integration der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC) in allen Taschenzyklen
 - Punkt-Richtungsprogrammierung für Werkstückhandhabung & Freiformflächen-Bearbeitung
- Erweiterungen beim Drehen und neue Zyklen
- Erweiterte Parameterprogrammierung
- Qualitätskontrolle durch In-Prozess-Messen mit Messtastern
- Werkstückhandhabung mit Industrierobotern und Mehrkanalprogrammierung

-
- | | |
|---|--|
| • | Vereinheitlichung der Bearbeitungsebenenwahl bei Drehen und Fräsen |
| • | Erweiterungen beim Drehen und neue Zyklen der PAL-Befehlskodierungen |
| • | Erweiterungs-Software-Pakete |

Vereinheitlichung der Bearbeitungsebenenwahl bei Drehen und Fräsen

Im CNC-Bereich bleibt die PAL an der engen Anlehnung an die DIN 66025 folgt aber den internen Standardisierungsbemühungen der CNC-Steuerungshersteller hin zu einer einheitlichen Programmierung für Drehen und Fräsen in einer CNC-Steuerung mit Schnittstellen zu Produktionssystemen, der verstärkten Integration der In-Prozess-Qualitätskontrolle und der Werkstückhandhabung. Dieser Entwicklungstrend entspricht auch dem der CNC-Bearbeitungszentren hin zu einem universellen Maschinentyp der Drehen und Fräsen gleichermaßen unterstützt. Ein 5-achsiges Fräsbearbeitungszentrum mit C-Achse im Maschinentisch kann die C-Achse als rotierende Werkstückspindel wie ein vertikales Drehbearbeitungszentrum benutzen und die Steuerung stellt für diese Anwendung dann alle Drehzyklen zur Verfügung. Mit einer A- oder B-Achse unter der C-Achse zur Schrägstellung des Werkstücks können auch lange Drehwerkstücke mit Drehwerkzeugen in der Fräs-Werkzeugspindel bearbeitet werden.

Die 5-Achs-Fräsbearbeitung in Drehbearbeitungszentren mit leistungsfähigen Frässpindeln, die eine vollwertige Fräsbearbeitung gestatten, gibt es schon viel länger. In diesem Trend liegt auch die zunehmende Ausstattung der Drehmaschinen mit Y-Achsen und Werkzeugspindeln mit B-Achse.

Im Zuge dieser Angleichung der Dreh- und Frässteuerungen musste daher die Fräsbearbeitungsebenenwahl in der PAL-Drehsteuerung an das Fräsen angepasst und in Angleichung an die CNC-Industriesteuerungen beide PAL-Steuerungen dabei auch um eine Nullpunktverschiebung erweitert werden. Eine weitere sinnvolle Ergänzung durch diese Angleichung ergibt sich beim Fräsen durch die Übernahme der Mantelflächenprogrammierung vom Drehen (z.B. mit einem NC-Teilapparat), die in dieser Form in der PAL-Frässteuerung nicht möglich war.

Diese Vereinheitlichung ist der wichtigste Schritt in dem Zusammenführen von Drehen und Fräsen in den PAL2019-Befehlskodierungen zu einer einheitlichen CNC-Programmierung.

Erweiterungen beim Drehen und neue Zyklen der PAL-Befehlskodierungen

Neu hinzugekommen ist der Stoßzyklus G64, die Polarkoordinaten-Programmierung G10-G13, die analog zum Fräsen auch in die Drehbearbeitung übernommen wurde. Die Konturprogrammierung wurde um das An- und Abfahren mit den Zyklen G45/G46/G47 in Analogie zum Fräsen erweitert.

Die Einstichzyklen G86 und G88 wurden in Anpassung an die Industriestandards erweitert.

Erweiterungs-Software-Pakete

In-Prozess-Messen und Erweiterte Parameterprogrammierung bei Drehen & Fräsen

Der PAL2007-Befehl G29 kann durch IF-Abfragen der Form 'IF ... GOTO' oder 'IF ... THEN' für logische Ausdrücke mit den sechs üblichen Vergleichsoperatoren ersetzt werden. Mit der Bedingung 'WHILE ... DO!' können Wiederholungsschleifen bis 'END!' programmiert werden. Mit dem Zugriff auf Systemparameter und Benutzerparameter können mit dem Makrobefehl G65 benutzereigene Zyklen programmiert werden.

Qualitätskontrolle durch In-Prozess-Messen mit Messtastern

Die PAL-Steuerungen wurden um einen elementaren Messzyklus mit Messvorschub und schnellem Positioniervorschub sowie einen Messtaster-Kalibrierzyklus ergänzt. Damit können Einzelmessungen und mit dem Makrobefehl G65 auch spezielle eigene Messzyklen programmiert werden. Für Standardmessungen wurde eine Messzyklusbibliothek mit G8 vorgegeben, die im Umfang den Messbibliotheken der beiden führenden Messtaster-Hersteller entspricht.

So kann zum Beispiel der Werkstücknullpunkt mit einem Standard-Messzyklus bestimmt werden und mit dem Befehl G51 dieser Nullpunkt als ein Einstellbarer Nullpunkt übernommen werden oder bei Abweichungen der Ist-Maße von den Soll-Maßen können daraus Verschleißkorrekturwerte berechnet und mit G5 gesetzt werden.

Für die Qualitätskontrolle sind die Zyklen mit einer speziellen Aufrufadresse um das In-Prozess-Messen der Zyklusgeometrie erweitert. Die Messergebnisse können in Parametern für weitere Berechnungen abgespeichert werden.

Werkstückhandhabung mit Industrierobotern und Mehrkanalprogrammierung

Die Programmierung eines Handhabungsroboters erfolgt in einem weiteren Kanal der Maschinen-CNC-Steuerung und setzt daher die Mehrkanalprogrammierung voraus. Der Vorteil dieses sich als Industrie-Standard etablierenden Vorgehens bei der Werkstückhandhabung ist, dass erstens der Roboter in der gleichen NC-Programmiersprache wie die CNC-Maschinesteuerung programmiert wird und zweitens die Kommunikation zwischen Maschine und Roboter über die Steuerungs-Synchronisation und Parameter erfolgen kann. Für das Teachen der Handhabungsroboter-Achsen gibt es Sonderbearbeitungsebenen. Diese Lerninhalte lassen sich dann unmittelbar auch auf das Programmieren von Mehrrevolver-Drehmaschinen übertragen.

Allgemeine Grundlagen

- Koordinatensysteme
- Maschinenbezugspunkte
- Maschinen-, Werkstück- und Werkzeugkoordinatensystem
- Werkzeuggeometrie
- Korrekturwerte und Radiuskorrektur
- Grundsätzliches zur DIN-Programmierung
- Behandlung von Adresswerten in der PAL2019-DIN-Programmierung
- Programmierung der Koordinatenwerte
- Programmierung der Werkzeugbewegungen

Koordinatensysteme

Die Programmierung nach DIN 66025 hat in allen Bearbeitungsebenen (auch beim Drehen) ein dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem als Grundlage, das in der Reihenfolge seiner aufeinander senkrecht stehenden Koordinatenachsen ein Rechtssystem bildet. Die Bezeichnungen der Koordinatenachsen sowie die Bewegungs- und Drehrichtungen sind in der DIN 66217 festgelegt. Für ein dreidimensionales Koordinaten-Rechtssystem ist die sogenannte Rechte-Hand-Regel erfüllt.

Für die Bearbeitung wird ein XYZ-Koordinaten-Rechtssystem und die durch zyklische Achsvertauschung entstehenden YZX- und ZXY-Koordinaten-Rechtssysteme mit ihren drei Koordinatenachsen unterschiedlich aufgeteilt in eine zweidimensionale Bearbeitungsebene mit den Koordinaten der jeweils ersten und zweiten Geometrieachse XY oder YZ oder ZX (auch Haupt- und Nebenachse genannt) sowie der jeweils verbleibenden dritten Geometrieachse als Zustellachse für Fräs- und Bohrbearbeitungen.

Für das XYZ-Koordinatensystem und die durch zyklische Achsvertauschung gebildeten YZX- und ZXY-Koordinatensysteme, die sämtlich Rechtssysteme sind, wird zur Festlegung der positiven Drehrichtung um eine Koordinatenachse mit Hilfe dieser drei Koordinatensysteme für die jeweilige Zustellachse (die dritte Koordinatenachse) die positive Drehrichtung und der Richtungs-Nullpunkt wie folgt festgelegt: Die erste Koordinatenachse (Hauptachse) wird mit dem kürzeren Winkelweg in die zweite Koordinatenachse (Nebenachse) gedreht und der Drehwinkelnulppunkt in Richtung der ersten Koordinatenachse festgelegt (mathematisch positive Drehorientierung).

Die Drehachsen der Drehungen um die Achsen X, Y, Z mit der so definierten Drehrichtung werden mit A, B und C bezeichnet. Merkhilfe zur Drehrichtung: Rechtsgewinde: Eine in einer Achse mit dem Kopf in negativer Achsrichtung eines Rechtssystems liegende Schraube mit Rechtsgewinde bewegt sich bei einer Rechtsdrehung (Drehung im positiven Drehsinn) in positiver Achsrichtung.

Jeder Koordinatenachse kann eine Maßeinheit zugeordnet werden. Im metrischen Maßsystem ist dies in der Regel die Einheit Millimeter (mm) für jede der Koordinatenachsen. Nur bei der Drehbearbeitung wird jedoch für die X-Achse üblicherweise die Einheit Durchmesser in Millimetern (2mm) verwendet. Dies gilt jedoch nicht für die Fräsbearbeitungsebenen G17 und G19 bei der Bearbeitung mit angetriebenen Fräs Werkzeugen.

Die drei möglichen Rechtssysteme werden nach DIN 66025 angewählt mit

G17	Bearbeitungsebene X Y	Zustellachse Z
G18	Bearbeitungsebene Z X	Zustellachse Y
G19	Bearbeitungsebene Y Z	Zustellachse X

Bei Fräsmaschinen verwendet man im allgemeinen G17 und bei Drehmaschinen G18. Eine Zustellachse kommt beim Drehen nur bei der Bearbeitung mit angetriebenen Werkzeugen mit Hilfe der C-Achs-Interpolation der Y-Achse oder einer realen Y-Achse in G17 oder G19 vor.

Maschinenbezugspunkte

Damit die Koordinatenangaben des NC-Programms von der Maschinensteuerung in die korrekte Bewegung des Werkzeuges umgesetzt werden können, besitzt die Werkzeugmaschine als Bezugssystem das Maschinenkoordinatensystem. Zu diesem gehören die folgenden Bezugspunkte:

Maschinennullpunkt

Dieser wird vom Maschinenhersteller festgelegt und kann nicht verändert werden.

Bei einer Drehmaschine liegt er generell in X auf der Drehachse und in Z im Spindelflanschkegel.

Bei einer Fräsmaschine liegt er heute meist im oberen Wert des Zustellachsverfahrbereichs (bei älteren Maschinen oft auf dem Maschinentisch) und in einer Ecke des horizontalen Verfahrbereichs.

Werkzeugbezugspunkt

Die Angaben der Wegstrecken zum Verfahren des Werkzeuges werden von der Steuerung auf den Werkzeugbezugspunkt bezogen. Dieser befindet sich Abhängigkeit von der maschinenspezifisch vorgegebenen Werkzeugansetznorm in der genormten Werkzeugansetzposition (z.B. VDI, SK, HSK).

Werkzeugschneidenpunkt

Werkzeugkorrekturwerte

Um jedoch die Zielposition für die Werkzeugspitze berechnen zu können, müssen von der Steuerung für jedes Werkzeug noch eine sogenannte Längen- und Radius-Korrekturwerte aktiviert werden, welche unter anderem die Abstände zwischen Werkzeugbezugspunkt und Werkzeugschneidenpunkt in allen Achsrichtungen und einen Werkzeugradius für die Schneidenradius-/Fräserradius-Kompensation eines Werkzeugs festlegen.

Werkstücknullpunkt

Ein beim Einrichten festgelegter Werkstücknullpunkt (intern werden diese auf den Maschinennullpunkt bezogen) kann ausgewählt und mit Nullpunktverschiebungsbefehlen beliebig weiter verschoben werden. Sinnvoll ist es, ihn so zu wählen, dass er mit dem Maßbezugspunkt (Nullpunkt) der Werkstückzeichnung zusammenfällt und somit Umrechnungen der Koordinatenangaben entfallen.

Maschinen-, Werkstück- und Werkzeugkoordinatensystem

Bei der Programmierung einer CNC-Werkzeugmaschine gibt es mit diesen Bezugspunkten als Ursprung drei Koordinatensystemtypen:

- **Maschinenkoordinatensystem** zur Programmierung maschinenfester Anfahrpositionen (Werkzeugwechsellpunkte, Be- und Entladestationen)
- **Werkstückkoordinatensystem** zur Programmierung der Bearbeitungsbewegungen des Werkzeugs am Werkstück in absoluten Koordinaten
- **Werkzeugschneidenpunktkoordinatensystem** zur Programmierung der Bearbeitungsbewegungen des Werkzeugs inkrementell zu seiner aktuellen Position

Das Maschinen- oder Werkstückkoordinatensystem kann vom NC-Programm aus angewählt und im Fall des Werkstückkoordinatensystems auch durch Verschiebungen und Drehungen verändert werden.

Das Werkzeugschneidenpunktkoordinatensystem - im folgenden nur Werkzeugkoordinatensystem - ist ein in die jeweils aktuelle Werkzeugschneidenpunktposition verschobenes Werkstückkoordinatensystem.

Werkzeuggeometrie

Die Einsatzmöglichkeiten eines Drehwerkzeugs sind abhängig von seiner Schneidengeometrie.

Winkel und Maße in der Aufsicht:

- vorderer Schneidenwinkel / Austauschwinkel
- Einstellwinkel als der um 90 Grad vergrößerte vordere Schneidenwinkel
- Schneidenwinkel / Winkel der Wendeplatte
- Eckenwinkel / hinterer Schneidenwinkel / Eintauchwinkel
- Schneidenlänge / -breite
- Schneidenradius

Winkel in der Seitenansicht:

- Keilwinkel
- Freiwinkel

Ferner ist für Werkzeuge zur kollisionsfreien Innenbearbeitung von Bedeutung:

- die Länge und der Durchmesser des Schaftes
- der Minstdurchmesser am Werkstück zum Einfahren
- Auskraglänge des Werkzeugschneidpunktes aus der Werkzeugaufnahme

und für Spiralbohrer:

- der Durchmesser
- die maximale Bohrtiefe (Auskraglänge des Bohrers)

Hinterer Schneidenwinkel

Der hintere Schneidenwinkel (maximaler Eintauchwinkel) ist u.a. für die Erzeugung von fallenden Konturen wichtig. Seine Größe abzüglich eines kleinen Winkelabschlages bestimmt den maximal möglichen Eintauchwinkel des Werkzeugs in das Werkstück. Ist der hintere Schneidenwinkel kleiner als der erforderliche, konturspezifische Eintauchwinkel der zu fertigenden Kontur, so kommt es zur Kollision mit der Werkzeughalterung oder bei geringen Eintauchtiefen nur zu einer Konturverletzung.

Minstdurchmesser

Durchmesser einer Bohrung, in die das Werkzeug (z.B. ein Inneneinstechdrehmeißel) einfahren kann, ohne zu bearbeiten.

Korrekturwerte und Radiuskorrektur

Korrekturwerte

Die Steuerung bezieht alle programmierten Koordinaten zunächst auf den Werkzeugbezugspunkt an der Anschlagfläche der Werkzeugaufnahme. Aufgrund der unterschiedlichen Geometrie der Werkzeuge ist die Lage des Werkzeugschneidpunktes (theoretische Schneidenspitze) zum Werkzeugbezugspunkt unterschiedlich. Zur Berechnung der Verfahrswege müssen daher die Abstände zwischen Werkzeugschneidpunkt und Werkzeugbezugspunkt für jedes Werkzeug bekannt sein. Diese Differenzwerte werden als Werkzeugkorrekturwerte werkzeugspezifisch in sogenannten Korrekturwertspeichern abgelegt. Wird in einem NC-Programm ein Werkzeugwechsel ausgeführt, so muss dabei auch ein zugehöriger Korrekturwertspeicher angewählt werden, damit die Werkzeuggeometrie bei der Berechnung der Verfahrswege berücksichtigt wird. Zu den gespeicherten Geometriedaten des Werkzeugschneidpunktes gehören u.a.:

- der gerichtete Abstand in Z vom Werkzeugbezugspunkt
- der gerichtete Abstand in X vom Werkzeugbezugspunkt
- der gerichtete Abstand in Y vom Werkzeugbezugspunkt zur Einstellung der Spitzenhöhe bei speziellen Aufnahmen mit vorhandener Y-Achse (Schneidenwechsel mit Y)
- der Schneidenradius
- der Arbeitsquadrant bzw. der Schneidenkorrekturvektor

Schneidenkorrekturvektor

Die Steuerung berechnet die Verfahrswege bezogen auf den Werkzeugschneidpunkt als eine theoretische Schneidenspitze. Real besitzt die Werkzeugschneide an ihrer Spitze jedoch einen Radius von einigen Zehntelmillimetern bis hin zur kreisförmigen Werkzeugschneide, so dass die theoretische Schneidenspitze außerhalb der Werkzeugschneide liegt.

Damit die Steuerung das Zentrum des zum Schneidenradius gehörigen Schneidenkreises für die Schneidenradiuskompensation berechnen kann, wird der Werkzeugschneidpunkt als theoretische Schneidenposition für jedes Werkzeug mit einem Schneidenkorrekturvektor (SRK-Vektor) ergänzt. Der SRK-Vektor gibt die Position des Werkzeugschneidpunktes in X- und Z-Richtung vom Zentrum des Schneidenkreises aus an. Der SRK-Vektor wird in der Werkzeugverwaltung für jedes Werkzeug festgelegt.

Quadranten

Der zur Vereinfachung verwendete Quadrant entspricht speziellen SRK-Vektoren:

Für Standardfälle der vier Z- und X-Achsrichtungen und den zugehörigen vier Winkelhalbierenden kann der SRK-Vektor alternativ über die üblichen 8 Werkzeug-Quadranten festgelegt werden. Die Verwendung der Quadranten ist in der Praxis üblich, obwohl nicht alle auftretenden Fälle abgedeckt werden.

Schneidenradiuskompensation SRK

Während der Bearbeitung ändert sich der real schneidende Punkt (oder der konturerzeugende Punkt) an der Wendeplatte in Abhängigkeit von der Bewegungsrichtung des Werkzeugs.

Die Steuerung verwendet bei der Berechnung der Verfahrswege den Werkzeugschneidpunkt als die vermessene theoretische Schneidenspitze und bewegt diesen auf der programmierten Kontur. Für die Bewegungen des Werkzeugs, die nicht parallel zur X- oder Z-Achse verlaufen, ergeben sich aufgrund des Schneidenradius dann bei nicht achsparallelen Strecken Maß- und bei Kreisbögen Formabweichungen.

Bei Anwahl der Schneidenradiuskompensation wird mit dem Schneidenradius eine äquidistante Werkzeugmittelpunktsbahn berechnet. Mit Hilfe des Quadranten oder des SRK-Vektors wird der Werkzeugschneidpunkt (theoretische Werkzeugschneidenspitze) auf den Mittelpunkt des

Schneidenradiuskreises verschoben und dieser auf der Äquidistanten bewegt. Je nach Bearbeitungsrichtung und Innen- oder Außenbearbeitung wird die Bearbeitungskontur mit der Schneidenradiuskompensation nach links (G41) oder nach rechts (G42) kompensiert.

Man beachte bei vormittiger Bearbeitung: 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).

Korrekturwertspeicher Fräswerkzeuge / Korrekturwerte

Auch hier bezieht die Steuerung die programmierten Koordinaten zunächst auf den Werkzeugbezugspunkt an der Anschlagfläche der Werkzeugaufnahme. Die Korrekturwerte geben hier entsprechend den Abstand des Werkzeugbezugspunktes zu dem zentrisch in dem Fräserboden oder der Bohrerspitze liegenden Werkzeugschneidenpunkt an. Dabei entspricht die Fräserlängenkorrektur bei radial stehenden Werkzeugen dem X-Werkzeugkorrekturwert und bei axial stehenden Werkzeugen dem Z-Korrekturwert der Drehwerkzeuge. Der zweite Korrekturwert entsteht durch den (bei Fräsmaschinen entfallenden) Versatz der Fräswerkzeugachse vom Werkzeugbezugspunkt.

Für die Fräserradiuskompensation enthält der werkzeugspezifische Korrekturwertdatensatz den Fräserradius anstelle des Schneidenradius.

Grundsätzliches zur DIN-Programmierung

NC-Programmstruktur

Ein NC-Programm besteht aus Sätzen, den NC-Sätzen - auch NC-Befehle genannt.

Ein NC-Satz besteht aus Worten, den NC-Worten. Die Reihenfolge der NC-Worte in einem NC-Satz hat keine Bedeutung.

Ein NC-Wort besteht aus einer NC-Adresse mit einem direkt daran anschließenden zugehörigen Adresswert. Adressen müssen stets mit einem Adresswert programmiert werden.

Die Adresse selbst besteht aus einem oder mehreren (großen) Buchstaben und der Adresswert aus einer positiven oder negativen Dezimalzahl mit Dezimalpunkt oder einer Festkommazahl. Für Sonderbefehle aus der Weiterentwicklung der CNC-Steuerungen gibt es auch abweichend von der DIN 66025 Schlüsselwörter wie z.B. 'TURN'.

Beispiel NC-Satz mit 6 Worten:

Wort	Wort	Wort	Wort	Wort	Wort
N245	G1	X100.5	Z-50.75	F0.05	M8
Adr. Wert	Adr. Wert	Adr. Wert	Adr. Wert	Adr. Wert	Adr. Wert

Adressen werden den Koordinaten, Drehwinkeln, Radien und den technologischen Steuerdaten zugewiesen. Diese Zuordnung ist bei Steuerungen in der Regel nicht eindeutig, sondern hängt vom Kontext des NC-Satzes ab.

Die NC-Sätze eines NC-Programms werden nach den syntaktischen Regeln der Programmieranleitung gebildet, die auf modernen Steuerungen wie der vorliegenden PAL2019-Steuerung bei den Bearbeitungszyklen weit über die DIN 66025 hinausgehen.

Nur in besonders ausgewiesenen Ausnahmefällen kann eine Adresse in einem NC-Satz zweimal oder sogar dreimal programmiert werden.

Wegbefehle

Eine Sonderstellung nimmt die Adresse G der Wegbefehle und Steueranweisungen ein, da mit dieser Adresse der eigentliche Inhalt eines NC-Programmsatzes festgelegt wird. Der ganzzahlige positive Wertevorrat der G-Adresse ist von der DIN 66025 in neun Gruppen eingeteilt. Die G-Adresse kann mit Werten aus einigen aber unterschiedlichen Gruppen zweimal in einem NC-Satz programmiert werden, wenn in der Programmieranleitung nichts Gegenteiliges angegeben ist (siehe Gruppeneinteilung).

Satznummerierung

Zur besseren Übersicht und Strukturierung können die NC-Sätze mit einer Satznummer N als erstes Wort versehen werden. Diese Satznummern können auch als Sprungmarken bei Programmteilwiederholungen und Programmverzweigungen verwendet werden.

Die Programmierung einer Satznummer ist aber nicht notwendig und die Satznummern müssen auch nicht in aufsteigender Reihenfolge programmiert werden - wenn auch beides dringend zu empfehlen ist. Der NC-Editor bietet die Möglichkeit, ein NC-Programm mit Startsatznummer und Nummerninkrement mit aufsteigender Nummerierung umzunummerieren, wobei Sprungmarken im NC-Programm automatisch mit geändert werden.

Modale Befehle

Modal nennt man programmierte Adressen die selbsthaltend sind, d.h. sie bleiben solange über mehrere NC-Sätze wirksam, bis sie durch die Adresse und einem anderem Adresswert überschrieben werden. Satzweise wirksame Adressen hingegen gelten nur für den Satz, in dem sie stehen.

Modal sind z.B. die Wegbefehle und die Adressen, die Spindeldrehzahl, Vorschub, Drehrichtung, Werkzeug und Achskoordinaten festlegen. Da sie bis zu ihrer Veränderung wirksam bleiben, brauchen sie nur einmal programmiert zu werden. Man bezeichnet diese Eigenschaft auch mit selbsthaltend.

Obligate und optionale NC-Adressen

Zu einem NC-Satz oder NC-Befehl gehören meistens mehrere Adressen. Die Adressen sind in Abhängigkeit von dem programmierten Wegbefehl zu unterscheiden nach denen, die immer programmiert werden müssen - also obligatorisch sind - und denjenigen, die wahlweise programmiert werden können also optional sind. Ferner gibt es Adressen, die grundsätzlich zusammen programmiert werden müssen oder solche, die nur alternativ zueinander angegeben werden dürfen.

Die optionalen Adressen sind dann entweder selbsthaltend (modal) auf ihrem alten Adressenwert oder es gibt für sie eine interne Voreinstellung (Vorbelegung), wie es mit den meisten Adressen der Bearbeitungszyklen der Fall ist.

Behandlung von Adresswerten in der PAL2019-DIN-Programmierung

Die Adressen der Wegbefehle G0/G1/G2/G3 und der Zyklen können in mehrere Gruppen eingeteilt werden. Adressen müssen stets mit einem Adresswert programmiert werden.

1. Selbsthaltende oder modale Adresswerte und Schaltzustände

Kartesische Koordinaten X, Y, Z, inkrementelle Kreismittelpunktkoordinaten I, J, K. Die Selbsthaltefunktion bedeutet intern, dass der inkrementelle Koordinatenwert für alle diese Adressen null ist.

Bei Nicht-Bewegungsbefehlen und Bearbeitungszyklen werden diese Adressen auch zur Eingabe verwendet. In diesen Fällen wird die Selbsthaltefunktion dieser Adressen nicht verwendet und umgekehrt überschreibt der programmierte Wert nicht den modalen Wert.

Die über die Standard-DIN-Programmierung hinausgehenden Erweiterungen der Geometrie-Programmierung mit zusätzlichen Geometrieadressen, wie Winkel, Längen, ... erfordern, dass die Selbsthaltefunktion in den Koordinaten X, Y, Z in geometrisch überbestimmten Situationen nicht verwendet werden kann.

Technologiewerte und Schalt-Zustände G70/G71, G90/G91, G94/G95, G96/G97, F, S, T, M (M auch mehrfach). Diese Adressen behalten ihren Wert bis dieser überschrieben oder durch eine Umrechnungsfunktion G94/G95 oder G96/G97 verändert wurde. Diese die Technologie betreffenden Werte müssen wegen des Einschaltzustandes F0 und S0 vom Programmierer mindestens einmal programmiert werden.

2. Optionale Beschreibungs- oder Steueradressen zur Festlegung des Zyklus- und Programmverhaltens

Die obligaten Adressen, die mit einem Adresswert programmiert werden müssen, werden hier nicht betrachtet.

Diese optionalen Adressen haben eine Vorbelegung (Vorgabe- oder auch Default-Wert), der verwendet wird, wenn diese Adresse in einem NC-Satz oder Zyklusaufwurf nicht programmiert wurde.

3. Sonderfälle von Optionalen Adressen

Optionale Adressen ohne Vorlegung werden in einem NC-Satz ignoriert, wenn sie nicht programmiert wurden. Ausnahme: Wird T aber nicht TC programmiert, so erhält ein nicht programmiertes TC die Vorbelegung 1.

Es gibt Adressen mit denen interne Daten verändert werden und bei denen eine Nicht-Veränderung dem Vorgabewert null entspricht.

Beispiel sind die Korrekturwertmanipulationen TR, TX, TY, TZ für das Werkzeug T und den Korrekturwertspeicher TC, bei denen die Eingabe von T*0 keine Veränderung bedeutet.

Die Selbsthaltefunktion von T ist gegeben, da ein anderer Wert einem Werkzeugwechsel gleichkommen würde. Beim Programmieren von T wird auch TC neu gesetzt. Der Vorgabewert von TC ist TC1 (T ohne TC erzeugt TC1 bei neuem oder aktuellen WZ T).

Programmierung der Koordinatenwerte

Die Programmierung der drei Koordinatenachsen erfolgt mit den jeweiligen Koordinaten-Adressbuchstaben, denen der Koordinatenwert als Adresswert angehängt wird.

Zur Erleichterung der Programmierung können die Achswerte wie folgt programmiert werden:

absolut	d.h. bezogen auf den Nullpunkt des Werkstückkoordinatensystems
inkrementell	zur aktuellen Werkzeugposition, d.h. bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition als den Nullpunkt des Werkzeugkoordinatensystems (Kettenbemaßung)

Die Unterscheidung erfolgt nach DIN 66025 durch die Umschaltbefehle:

G90	Absolute Koordinateneingabe mit Anwahl des Werkstückkoordinatensystems
G91	Inkrementelle Koordinateneingabe mit Anwahl des Werkzeugkoordinatensystems

Inkrementelle Koordinateneingaben beziehen sich immer auf das Werkzeugkoordinatensystem in der aktuellen Werkzeugposition, wenn es nicht explizit anders angegeben ist.

Die absolute Programmierung wird man verwenden, wenn in der Werkstückzeichnung die Maße auf einen Werkstücknullpunkt bezogen sind. Alternativ zur Absolutbemaßung kann auch eine Kettenbemaßung mit den Angaben jeweils des Abstandes zweier benachbarter Punkte verwendet werden. In diesem Fall bietet sich die Verwendung der inkrementellen Koordinateneingabe an.

Die Anforderung, die Koordinatenachswerte auch gemischt absolut und inkrementell zu programmieren, wird erfüllt mit alternativen Achsadressen mit einem angehängten A für absolute und einem angehängten I für inkrementelle Koordinateneingaben:

X / Y / Z	Koordinateneingaben absolut oder inkrementell gesteuert durch G90/G91
XA / YA / ZA	Absolute Koordinateneingaben im Werkstückkoordinatensystem
XI / YI / ZI	Inkrementelle Koordinateneingaben im Werkzeugkoordinatensystem

Die Kreismittelpunktskoordinaten werden in den Bearbeitungsebenen mit den X, Y, Z zugeordneten Mittelpunktsadressen I, J, K programmiert, die inkrementell einzugeben sind. Für die Programmierung absoluter Kreismittelpunktskoordinaten wird diesen Adressen ein A angehängt:

I / J / K	Zur Werkzeugposition am Startpunkt des Kreisbogens inkrementelle Kreismittelpunktskoordinaten des Werkzeugkoordinatensystems (bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition)
IA / JA / KA	Absolute Kreismittelpunktskoordinaten im Werkstückkoordinatensystem

Unterschieden zwischen Drehen und Fräsen

Beim Drehen werden nach DIN/ISO-Standard die absoluten Koordinaten in X-Richtung XA, G90 X im Durchmessermaß und die inkrementellen Koordinaten XI, G91 XI im Radiusmaß programmiert. In der PAL-Drehsteuerung kann dies jedoch beim Bearbeitungsebenenaufruf durch Programmierung von DIA oder RAD geändert bzw. vorgegeben werden.

Programmierung der Werkzeugbewegungen

Für die Werkzeugbewegungen im Maschinenraum gibt es eine Linearinterpolation in allen drei Koordinatenachsen. In speziellen Bearbeitungsebenen können die Dreh/Schwenkachsen als zu diesen mitlaufende oder allein verfahrbare Achsen programmiert werden.

In der Bearbeitungsebene gibt es als weitere Bewegungsform eine Kreisbogeninterpolation in den beiden Bearbeitungsebenenachsen (1. und 2. Geometrieachse). Für die Kreisbögen sind neben Endpunktkoordinaten noch weitere Adressen zu programmieren, z.B. zwei der zu X, Y, Z gehörigen Mittelpunktsadressen I, J, K oder Winkelangaben.

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).

Für Freiformanwendungen bieten Steuerungen auch eine Spline-Interpolation an, die wegen des Berechnungsaufwandes nicht mehr manuell programmiert werden kann und deshalb in die PAL-Befehlskodierung nicht aufgenommen wurde.

Allgemeine Erläuterungen zur PAL2019-Befehlskodierung

- Allgemeine Erläuterungen
- Selbsthaltefunktionen und Vorbelegungen der Adressen
- Programmierung der Koordinaten und Interpolationsadressen
- Vorschubgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion
- Werkzeug- und Spindeldrehzahl / Schnittgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion
- Werkzeugwechsel
- Zusatzfunktionen der Programmierung mit Selbsthaltefunktion bzw. Schaltfunktion
- Sonder-Zusatzfunktionen beim Drehen
- M-Befehle der Werkstückhandhabung
- Wegbedingungen Fräsen nach DIN 66025
- Technologieprogrammierung bei den Wegbedingungen
- Spezielle Satzelemente
- Einschaltzustand
- Festlegungen für die Syntaxbeschreibung

Allgemeine Erläuterungen

Führende Nullen können bei Adresswerten, speziell auch bei G- und M-Befehlen, weggelassen werden. Bei Koordinaten- und Winkelangaben kann auch das Pluszeichen entfallen. G- und M-Befehle sind vorzeichenlos.

Die Wiederholung einer NC-Adresse in einem NC-Satz ist nur für G, M und N (N bei Wiederholungen und Sprungbefehlen) zugelassen.

Winkelangaben erfolgen in Grad. Winkel in den Bearbeitungsebenen-Koordinaten eines dreidimensionalen Rechtssystems werden positiv entgegen dem Uhrzeigersinn und negativ im Uhrzeigersinn gemessen. Dabei zeigt der absolute Winkelwert null in die Richtung der positiven ersten Geometrieachse (d.h. Winkel werden prinzipiell bezüglich der Richtung der ersten positiven Geometrieachse gemessen).

Die Reihenfolge der Adressen in einem NC-Satz hat keine Bedeutung.

Selbthaltefunktionen und Vorbelegungen der Adressen

Die Programmierung eines Kreisbogens erfolgt in der jeweiligen Bearbeitungsebene mit den Achs-Adressen der ersten und zweiten Geometrieachse.

Für die Koordinaten ist die Selbsthaltefunktion bei der erweiterten Geometrie-Programmierung mit G1, G2 und G3 nur eingeschränkt gültig. Insbesondere ist die Programmierung eines Kreisbogens mit beiden Mittelpunktskoordinaten und nur einer Endpunktadresse möglich.

Bei Strecken und Kreisbögen wird die Selbsthaltefunktion der Ebenenkoordinaten nur dann herangezogen, wenn das Konturelement Strecke oder Kreisbogen durch die programmierten Adressen noch nicht vollständig bestimmt (d.h. berechenbar) ist.

Der selbsthaltende Wert einer Ebenenkoordinate wird als fehlende Geometrieadresse bei Strecken oder Kreisbögen zur Berechnung herangezogen, wenn die andere Ebenenkoordinate im NC-Satz programmiert wurde.

Ist ein Konturelement (Strecke oder Kreisbogen) durch die programmierten Adressen noch nicht bestimmt, ohne dass die Adresse einer Ebenenkoordinate programmiert wurde, so wird die Selbsthaltefunktion nur in beiden Ebenenkoordinaten gleichzeitig verwendet. Beim Kreisbogen mit Mittelpunktsprogrammierung wird dann ein Vollkreis abgefahren, beim Kreisbogen mit Radius und bei der Strecke entsteht eine Nullbewegung.

Bei der Konturzugprogrammierung mit G61 - G63 gibt es keine Selbsthaltefunktion bei den Adressen und Adresswerten der Koordinaten und geometrischen Parameter.

Die Werte der programmierten Adressen F, E, S, SK sowie die M-Zusatzfunktionen bleiben selbsthaltend bestehen, bis sie erneut verändert werden.

Vorbelegung einer Kreismittelpunktsordinate:

Die Adressen I, J, K der inkrementellen Kreisbogenmittelpunkte oder der Pole haben - wenn die Programmierung erlaubt ist und die entsprechende absolute Adresse nicht programmiert wurde - die Vorbelegung null.

Programmierung der Koordinaten und Interpolationsadressen

Die Koordinaten und Interpolationsadressen können entweder im Absolutmaß (G90), im Kettenmaß (G91) oder mit speziellen Adressen auch gemischt innerhalb eines NC-Satzes programmiert werden.

X / Y / Z	Koordinaten des Zielpunktes gesteuert durch G90/G91
XA / YA / ZA	Koordinaten des Zielpunktes in Werkstückkoordinaten (absolut)
XI / YI / ZI	Koordinaten des Zielpunktes inkrementell zur Startposition
I / J / K	Kreismittelpunkts/Pol-Adressen inkrementell zur Startposition (Koordinatendifferenz zwischen Kreismittelpunkt oder Pol und Startposition)
IA / JA / KA	Kreismittelpunkts/Pol-Adressen in Werkstückkoordinaten (absolut)

Die Maßeinheit Durchmesser- oder Radiusmaß der absoluten und der inkrementellen Koordinaten bei der Drehbearbeitung wird durch den programmierten Parameter DIA, RAD oder DRA beim Drehebeneaufruf G15 TURN festgelegt.

Vorschubgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion

F		<p>Die Vorschubgeschwindigkeit wird in Millimeter pro Minute (mm/min) oder in Millimeter pro Umdrehung programmiert.</p> <p>Die Umschaltung zwischen beiden Einheiten erfolgt mit G94 oder G95.</p>
E		<p>Zweiter Vorschub als Feinkonturvorschub und für Bearbeitungszyklen:</p> <p>Der Vorschub F wird auf den Feinkonturelementen Fase und Verrundung zwischen Strecken und Kreisbögen auf E abgeändert (i.a. verringert).</p> <p>Die Adresse E wird auch in Zyklen mit anderer Bedeutung als zweiter Vorschub verwendet.</p> <p>Wird in einem NC-Satz erstmalig die Adresse F ohne die Adresse E programmiert, so wird der Wert von E gleich dem von F gesetzt.</p> <p>Die Werte für F und E bleiben solange bestehen, bis sie erneut programmiert werden.</p>
FF	[F]	Vorschub Schlichten
FT	[*]	<p>Positioniervorschub für schnelle Taster-Bewegungen</p> <p><i>Voreinstellung: * Vorbelegung in G27</i></p>
FM	[*]	<p>Messvorschub</p> <p><i>Voreinstellung: * Vorbelegung in G27</i></p>

Werkzeug- und Spindeldrehzahl / Schnittgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion

S		<p>Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit</p> <p>Die Spindeldrehzahl wird mit G97 in Umdrehungen pro Minute (U/min) oder mit G96 als Schnittgeschwindigkeit in (m/min) programmiert.</p> <p>Die Umrechnung der Schnittgeschwindigkeit in die Drehzahl benutzt beim Drehen die aktuelle X-Position des Werkzeuges und beim Fräsen den Durchmesser des Fräsers.</p> <p>Fräserradius-Manipulationen mit TR werden ignoriert.</p> <p>Der Wert von S bleibt solange bestehen, bis er erneut programmiert oder von der Steuerung gesetzt wird.</p>
SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schichten

Werkzeugwechsel

T	[*]	<p>Werkzeugnummer des einzuwechselnden Werkzeugs</p> <p>Bei Werkzeugwechslern mit Werkzeugmagazin wird der T-Befehl schon vor dem eigentlichen Werkzeugwechsel programmiert, um das angeforderte Werkzeug in der Auswechselposition zur Reduzierung der Werkzeugwechselzeit bereitzu stellen.</p> <p>Der eigentliche Wechselbefehl mit Korrekturwertschaltung erfolgt mit dem Befehl M6.</p> <p><i>Voreinstellung: * Wird T aber nicht TC programmiert, so erhält ein nicht programmiertes TC die Vorbelegung 1.</i></p>
TC	[1]	<p>Anwahl der Korrekturwertspeichernummer</p> <p>Es stehen 9 Korrekturwertspeicher TC1 bis TC9 für jedes Werkzeug zur Verfügung.</p> <p>TC0 - Abwahl der Korrekturwerte (Werkzeugsetzpunkt als Verfahrenpunkt)</p>
TR	[0]	<p>Inkrementelle Veränderung des Werkzeugradiuswertes im angewählten Korrekturwertspeicher für konturparallele Aufmaße.</p> <p>Man beachte:</p> <p>Bei Drehwerkzeugen zieht die Programmierung von TR implizit eine interne Veränderung von TZ und TX um den gleichen Wert TR nach sich auch wenn TZ, TX selbst nicht programmiert werden.</p>
TX	[0]	Inkrementelle Veränderung des X-Korrekturwertes im aktuellen Korrekturwertspeicher
TY	[0]	Inkrementelle Veränderung des Y-Korrekturwertes im aktuellen Korrekturwertspeicher
TZ	[0]	Inkrementelle Veränderung des Z-Korrekturwertes im aktuellen Korrekturwertspeicher

Beim Dreh-Werkzeugen wird der Korrekturwert TY nur bei vorhandener Y-Achse und bei Fräs-Werkzeugen werden die Korrekturwerte TX, TY nur bei Sonderwerkzeugaufnahmen verwendet.

! Programmierhinweise

Man beachte: Die aktuellen Adresswerte von TC, TR, TX, TY und TZ werden bei einem Werkzeugwechsel oder bei der Programmierung einer Korrekturwertspeichernummer auf die Werte der Voreinstellung zurückgesetzt, falls sie nicht zusammen mit T oder TC neu programmiert werden.

Bei der Auswahl der T-Nummer eines bereits angewählten Werkzeuges werden keine Verfahrbewegungen ausgelöst, sondern gegebenenfalls nur die Korrekturwertspeichernummer neu gesetzt und die inkrementellen Korrekturwertveränderungen zurückgesetzt.

Eine Änderung der Korrekturwerte (sei es durch T, TC, TX, TY oder TZ) bewirkt eine sofortige Änderung der betroffenen Koordinaten des Werkstückkoordinatensystems, da sich die Werkzeugschneidenposition geändert hat. Eine Verfahrbewegung unterbleibt. Das Einstellen dieser Verschiebung erfolgt im ersten anschließenden Verfahrabsatz.

Vor der Durchführung eines Werkzeugwechsels werden Werkzeugspindel und Kühlmittel ausgeschaltet und nach dem Wechsel nicht wieder eingeschaltet.

Anmerkung zu M6

Ist das Werkzeugsystem einer CNC-Maschine nicht als Werkzeugrevolver mit Werkzeuganwahl durch Einschwenken der angewählten Werkzeugposition in die Werkzeugarbeitsposition oder als Pick-Up-Werkzeugsystem mit Anfahren einer Werkzeugablageposition gefolgt von der Anfahrt auf eine von dieser verschiedenen Übernahmeposition ausgeführt, sondern als z.B. als Werkzeugspindel mit Werkzeugbereitstellung in einem nachgeschalteten Werkzeugwechselfmagazinsystem (in die auch Drehwerkzeuge mit orientiertem Spindelhalt eingewechselt werden können), so erfolgt der

Werkzeugwechsel erst mit dem Programmieren von M06. Mit dem T-Befehl wird das angewählte Werkzeug für einen schnelleren Werkzeugwechsel nur in die werkzeugsystemseitige Werkzeugwechselposition gebracht aber noch nicht eingewechselt.

Zusatzfunktionen der Programmierung mit Selbsthaltefunktion bzw. Schaltfunktion

Zu den Zusatzfunktionen, die in einem NC-Satz auch allein programmiert werden können, gehören die sogenannten Maschinenbefehle (M-Befehle).

In einem NC-Satz können in der PAL2019-Syntax maximal zwei M-Befehle programmiert werden.

Programmierte Zustände oder Setzungen durch M-Befehle bleiben solange erhalten, bis sie durch eine andere Zusatzfunktion wieder aufgehoben werden.

M	
0	Programmierter Halt: In einem Satz, in dem M0 programmiert ist, wird das Programm angehalten, um z.B. das Werkstück zu vermessen oder ein Werkzeug manuell zu wechseln.
1	Wahlweiser Halt: In einem Satz, in dem M1 programmiert ist, wird das Programm angehalten, um z.B. das Werkstück zu vermessen oder ein Werkzeug manuell zu wechseln. Im Gegensatz zu M0 muss die Funktion über die GUI freigeschaltet werden.
3	Spindel einschalten - Drehrichtung rechts (im Uhrzeigersinn)
4	Spindel einschalten - Drehrichtung links (im Gegenuhrzeigersinn)
5	Spindel ausschalten
6	Werkzeug einwechseln, falls dies vom Schwenkarm-/Magazin-Werkzeugwechsellmakro gefordert wird (optionaler M-Befehl).
7	2. Kühlmittelpumpe einschalten
8	1. Kühlmittelpumpe einschalten
9	Kühlmittelpumpe ausschalten
10	Reitstock-Pinole lösen
11	Reitstock-Pinole setzen
13	Spindeldrehung rechts und Kühlmittel ein
14	Spindeldrehung links und Kühlmittel ein
15	Spindel und Kühlmittel ausschalten
17	Mit diesem Befehl wird der Steuerung angezeigt, dass ein Unterprogramm beendet ist. Die Steuerung kehrt in das Hauptprogramm zurück und setzt das Programm in der Zeile nach dem Unterprogrammaufruf fort.
30	Mit diesem Befehl wird das Hauptprogramm beendet und es erfolgt ein Zurücksetzen auf den Einschaltzustand (u.a. Spindeln aus, Kühlmittel aus). M30 wird im letzten NC-Satz programmiert.

M1 bis M10 und M30 sind bei fast allen CNC-Steuerungen implementiert.

Die nachstehenden M-Befehle sowie das Unterprogrammende M17 können auf CNC-Maschinen mit Industriesteuerungen andere Adresswerte haben - insbesondere da sie in den DIN/ISO-Normen nicht festgelegt sind.

M	
60	Konstanter Vorschub entlang der Verfahrkontur
61	Konstanter Vorschub mit Beeinflussung an Innen- und Außenecken
67 *	Maschinentür öffnen
68 *	Maschinentür schließen

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

Sonder-Zusatzfunktionen beim Drehen

M	
21	Klemmen der C-Achse
22	Freigeben der C-Achse
23	Werkzeugspindel aus Ebene G18 in Rechtslauf schalten. Dabei kann mit der Adresse SW die Werkzeugdrehzahl programmiert werden. Dies kann z.B. beim Drehfräsen, d.h. Drehen mit rotierendem Werkzeug, oder dem zentrischen Bohren verwendet werden.
24	Werkzeugspindel aus Ebene G18 in Linkslauf schalten. Dabei kann mit der Adresse SW die Werkzeugdrehzahl programmiert werden. Man beachte: M23 oder M24 kann mit der Adresse SW nur in einem Technologiesatz ohne Wegbedingung programmiert werden.
25	Werkzeugspindel aus Ebene G18 ausschalten
63	Einspannrichtung Hauptspindel außen und Gegenspindel außen
64	Einspannrichtung Hauptspindel außen und Gegenspindel innen
65	Einspannrichtung Hauptspindel innen und Gegenspindel außen
66	Einspannrichtung Hauptspindel innen und Gegenspindel innen

M-Befehle der Werkstückhandhabung

M	
110	Hauptspindel Backen zu (nach innen) / Spannmittel 1 zu
111	Hauptspindel Backen auf (nach außen) / Spannmittel 1 auf
210	Gegenspindel Backen zu (nach innen) / Spannmittel 2 zu
211	Gegenspindel Backen auf (nach außen) / Spannmittel 2 auf
310	Spannmittel 3 zu
311	Spannmittel 3 auf
410	Spannmittel 4 zu
411	Spannmittel 4 auf
167 *	Tür 1 öffnen
168 *	Tür 1 schließen
267 *	Tür 2 öffnen
268 *	Tür 2 schließen
367 *	Tür 3 öffnen
368 *	Tür 3 schließen
467 *	Tür 4 öffnen
468 *	Tür 4 schließen
600 *	Kinematik aus
601 *	Kinematik ein
900 *	Linearschlitten des Roboters auf Position 0 (vor Maschinentür) fahren
901 *	Linearschlitten des Roboters auf Position 1 fahren
902 *	Linearschlitten des Roboters auf Position 2 fahren
903 *	Linearschlitten des Roboters auf Position 3 fahren
910	Greifer 1 Backen schließen
911	Greifer 1 Backen öffnen
919	Auswahl Greifer 1 bei Doppelgreifern
920	Greifer 2 Backen öffnen
921	Greifer 2 Backen schließen
929	Auswahl Greifer 2 bei Doppelgreifern

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

Wegbedingungen Fräsen nach DIN 66025

Gruppeneinteilung der Wegbedingungen nach DIN 66025 angepasst an PAL2019

Gruppe		G-Befehle
A	Interpolationsart	G0 - G3, G4, G7, G10 - G13, G14, G21, G22, G23, G29, G45 - G47, G61 - G63, G66, G67
B	Interpolationsebenen	G17 - G19
B1	Bearbeitungsebenenauswahl	G15, G16
C	Werkzeugkorrektur	(G40 - G42, G5
D	Nullpunktverschiebungen	G51, G53 - G57, G50, G58, G59
E	Einfahrverhalten	G9
F	Arbeitszyklen	G8, G24, G34 - G39, G48, G49, G65, G69, G72 - G79, G80 - G89
H	Maßangaben	G70, G71, G90, G91
J	Vorschubvereinbarungen	G94, G95
K	Spindel-Drehzahlvereinbarungen	G96, G97
M	Konfigurationseinstellungen Messen	G26, G27, G28
N	Mehrkanalprogrammierung	G98, G99
O	Definitionen und Festlegungen	G6

Die G-Befehle legen die gesamte Programmsteuerung fest.

Es können maximal zwei Wegbedingungen aus unterschiedlichen Gruppen in einem NC-Satz programmiert werden.

Alle Wegbedingungen der Gruppen B, D und F sowie die Wegbedingungen G22, G23, G29, G31 - G33, G61 - G63, G70, G71, G92 der Gruppen A, H und K dürfen in einem NC-Satz nur allein programmiert werden.

Die Wegbedingungen der Gruppen J und K dürfen nicht mit G1 - G3 in einem NC-Satz programmiert werden.

Es werden jedoch noch weitere im einzelnen angegebene Einschränkungen für Wegbedingungen vereinbart, die sich nicht gemeinsam mit anderen programmieren lassen (z.B. G2/G3 mit G41/G42).

Die fett markierten oder eingeklammerten zueinander alternativen Wegbedingungen einer Untergruppe sind prinzipiell innerhalb ihrer Gruppe selbsthaltend. In den Gruppen D und H sind jeweils zwei Wegbedingungen selbsthaltend. G92 ist stets selbsthaltend.

Nicht selbsthaltend sind die Wegbedingungen G4, G9, G10 - G14, G22 - G33, G61 - G63, G72 - G75, G80 - G89.

Technologieprogrammierung bei den Wegbedingungen

Mit den Wegbedingungen können in den meisten Fällen die technologischen Adressen F, E, S, M - M auch zweifach - zusammen mit einem G-Befehl oder auch als eigener NC-Satz ohne G-Befehl programmiert werden. Welche Technologieadressen bei einem Wegbefehl programmiert werden können, ist in der NC-Satz-Syntax im einzelnen festgelegt.

Die Programmierung eines Werkzeugwechsels ist allein sowie zusammen mit G0, G1 und G90 bis G97 zugelassen.

Tabelle der Ausführungsreihenfolgen der Technologie und Zusatzfunktionen

werden vor einem Verfahrbefehl ausgeführt		werden nach einem Verfahrbefehl ausgeführt	
		M0	Programmierter Halt
		M1	Wahlweiser Halt
M3/ M4	Spindel ein rechts/links	M5	Spindel ausschalten
M7/ M8	Kühlmittel 1/2 ein	M9	Kühlmittel ausschalten
M10	Reitstock-Pinole setzen	M11	Reitstock-Pinole lösen
M21	C-Achse klemmen	M22	C-Achse freigeben
M23/ M24	Fräswerkzeug-Spindel ein rechts/links	M25	Fräswerkzeug-Spindel aus
F	Vorschub		
S	Spindeldrehzahl	M17	Unterprogrammende
T	Werkzeugwechsel	M30	Programmende

Beim Programmieren der Spindeldrehzahl wartet die Steuerung beim Übergang von Werkzeugstillstand oder Eingangsbewegungen in Vorschubbewegungen das Erreichen der Drehzahl ab.

Spezielle Satzelemente

Satznummer

- N** Am Anfang eines jeden NC-Satzes kann eine Satznummer programmiert werden.

Kommentare

Damit ein NC-Programm übersichtlich und nachvollziehbar angelegt werden kann, gibt es die Möglichkeit, Erläuterungen und Kommentare zu einzelnen NC-Sätzen oder ganzen Programmteilen in das NC-Programm aufzunehmen. Um die Kommentare von den eigentlichen Programmsätzen zu unterscheiden, werden sie mit einem besonderen Zeichen begonnen. Die Kommentare werden von der CNC-Steuerung mit Ausnahme des Einrichtblattes überlesen.

- :** Als Kommentar-Anfangszeichen wird ein ';' (Semikolon) verwendet.
Vom Kommentarzeichen ';' an wird der Rest der Zeile als Kommentar betrachtet.
Ausnahme ist das Zeilenfortsetzungszeichen als letztes Zeichen einer Zeile.

Fortsetzungszeilen

- ~** Fortsetzungszeilen werden mit einer '~' (Tilde) als letztem Zeichen der vorhergehenden Zeile gekennzeichnet.
Am Anfang einer Fortsetzungszeile darf keine Satznummer (Adresse N) stehen.

Leerzeichen

- Leerzeichen vor Adressen sind nicht notwendig - erhöhen aber die Lesbarkeit.

Einschaltzustand

Mit dem Start eines NC-Programmes geht die PAL2019-Steuerung von folgendem Einschaltzustand der G-Befehle aus:

G18, G15 HS DRA, G90, G53, G40, G1, G95, G97, (G70/G71 aus Optionen)

Folgende Zusatzfunktionen sind beim Programmstart angewählt:

M5, M9, M60

Für die Vorschub- und Drehzahlregister gilt beim Programmstart:

F0.0, E0.0, S0 (für die Werkstückspindeln als auch für die angetriebenen Werkzeuge)

Der Werkzeugbezugspunkt steht auf den Maximalwerten des Verfahrbereiches oder auf den Achswerten eines konfigurierten Werkzeugwechselfunktes.

Festlegungen für die Syntaxbeschreibung

NC-Satz-Syntaxzeile

Ein NC-Satz als Programmzeile besteht aus einem oder mehreren G-Befehlen gefolgt von der Liste der programmierbaren obligaten und optionalen Adressen, die mit diesem oder diesen G-Befehlen programmiert werden können. Es werden für einige Wegbefehle auch alternative NC-Satz-Syntaxzeilen bei komplexeren Adressabhängigkeiten angegeben.

Adressen und Adressgruppen

Adressen

X

So werden die obligaten Adressen bezeichnet, die zusammen mit dem G-Befehl programmiert werden müssen.

Optionale Adressen

X

Die optionalen Adressen müssen nicht programmiert werden, da es für sie eine steuerungsinterne Vorbelegung des Adresswertes gibt, die verwendet wird, wenn im NC-Satz nichts anderes steht. Diese Voreinstellung gilt nur für diesen Wegbefehl.

[0]

Der zugehörige voreingestellte Adresszahlenwert oder eine Berechnungsformel steht bei den Adress-Erklärungen der NC-Satz-Syntaxzeile in eckigen Klammern hinter dem Adressnamen oder bei textuell angegebenen Voreinstellungen (z.B. Werkzeugeinstellwinkel) in kursiver Schrift hinter dem Erläuterungstext zum Adressnamen. Bei den selbthaltenden optionalen (modal wirkenden) Adressen, Vorschub F, Feinkonturvorschub E, Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit S, M-Zusatzfunktionen, werden diese Werte standardmäßig als globale Vorbelegung verwendet.

Adressgruppen

(X
Y)

Mehrere Adressen und/oder optionale Adressen können mit runden Klammern zu Adressgruppen zusammenfasst werden.

Alternative Adressen und alternative Adressgruppen

X |
Y
X /
Y
X/Y

Gibt es für eine Adresse oder eine Adressgruppe in der NC-Satz-Syntax Alternativen, so werden diese durch Schrägstrich getrennt.

Sind zwei oder mehrere Adressen jeweils durch Schrägstrich getrennt, so kann von diesen nur eine programmiert werden. Diese Schrägstrichregelung gilt für Adressen, optionale Adressen, Adressen mit Adresswert und auch für die in runden Klammern zusammengefassten Adressgruppen.

Elementare Befehle nach DIN 66025

G0	Linearinterpolation im Eilgang
G1	Linearinterpolation im Vorschub
G2	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
G3	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn
G4	Verweildauer
G5	Werkzeugverschleiß
•	Schwesterwerkzeuge
G6	Modale Adressen der Werkzeugwechsellpunktanfahrt
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	Werkzeugwechsellpunkt anfahren
G17 / G18 / G19	Kreisbogen-Interpolationsebenen
G22	Unterprogrammaufruf
G23	Programmteilwiederholung
G29	Programmsprung
G30	Umspannen, Gegenspindelübernahme, Reitstockpositionierung
G30 Q1	Werkstück umspannen
G30 Q2	Gegenspindel positionieren und spannen
G30 Q3	Gegenspindelübernahme
G30 Q4	Reitstockpositionierung
G40	Abwahl der Schneidenradiuskorrektur
G41 / G42	Anwahl der Schneidenradiuskorrektur SRK
•	Anfahr- und Abfahrstrategien von Werkzeugen an Drehkonturen
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
G50	Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen
G51	Einstellbare Nullpunkte setzen

G52	Satzweise Interpolation in Maschinenkoordinaten
G53	Maschinennullpunkt
G54-G57	Einstellbare Nullpunkte
G58	Inkrementelle Nullpunktverschiebung in Polarkoordinaten und Drehung
G59	Inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung
G61	Linearinterpolation für Konturzüge
G62	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge
G63	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge
G66	Spiegeln
G67	Skalieren
G70	Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)
G71	Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)
G90	Absolutmaßangabe
G91	Kettenmaßangabe
G92	Drehzahlbegrenzung
G94	Vorschub in Millimeter pro Minute
G95	Vorschub in Millimeter pro Umdrehung
G96	Konstante Schnittgeschwindigkeit
G97	Konstante Drehzahl

G0 - Linearinterpolation im Eilgang

Funktion

Der Befehl G0 erzeugt eine Bewegung im Eilgang. Der programmierte Zielpunkt wird linear im Eilgang mit größtmöglicher Geschwindigkeit angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Die Bewegung im Eilgang endet immer mit einem Genauhalt.

NC-Satz

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

Adressen

Zielpunkt	
Z / ZA / ZI	Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA absolute Koordinate
	ZI inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
X / XA / XI	X-Koordinate des Zielpunktes
	XA absolute Koordinate
	XI inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y / YA / YI	Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA absolute Koordinate
	YI inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Rundachsen	
A / AA / AI	Wert der A-Achse
	AA absolut
	AI inkrementell
	A G90/G91
B / BA / BI	Wert der B-Achse
	BA absolut
	BI inkrementell
	B G90/G91
C / CA / CI	Wert der C-Achse
	CA absolut
	CI inkrementell

	C	G90/G91
G	weiterer G-Befehl	
Schnittwerte		
F	Vorschub	
S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M	Maschinenbefehl	
Werkzeug		
T	Werkzeug	
TC	Korrekturwertsatz	
TR	Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur	
TX	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X	
TY	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y	
TZ	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z	

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

G1 - Linearinterpolation im Vorschub

Funktion

Der Befehl G1 erzeugt eine Bewegung im Vorschub. Der programmierte Zielpunkt wird linear mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Der Befehl unterstützt eine Fase oder Verrundung zum nächsten Konturelement sowie einfache geometrische Funktionen (Länge und Winkel der Strecke).

NC-Satz

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

Adressen

		Zielpunkt
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
X / XA / XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Rundachsen		
A / AA / AI		Wert der A-Achse
	AA	absolut
	AI	inkrementell
	A	G90/G91
B / BA / BI		Wert der B-Achse
	BA	absolut
	BI	inkrementell
	B	G90/G91
C / CA / CI		Wert der C-Achse
	CA	absolut
	CI	inkrementell
	C	G90/G91
Strecke		
D		Länge (positiv)

		Die Länge wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.
AS		Anstiegswinkel Der Anstiegswinkel wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite
Lösungsauswahl		
H	[1]	Winkelkriterium
	1	kleinerer Anstiegswinkel
	2	größerer Anstiegswinkel
G		weiterer G-Befehl
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl
Werkzeug		
T		Werkzeug
TC		Korrekturwertsatz
TR		Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

Selbthaltefunktion

Werden eine Länge (D) oder ein Winkel (A) programmiert, so wird die Selbsthaltefunktion für die ersten beiden Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene ausgesetzt.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Für den Fall, dass eine Länge (D) aber kein Winkel (W) programmiert wird, können sich zwei unterschiedliche Lösungen ergeben. Als Lösungsauswahl kommt dann das Winkelkriterium (H) zum tragen.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G2 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn

Funktion

Der Befehl G2 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen im Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Der Befehl unterstützt eine Fase oder Verrundung zum nächsten Konturelement sowie einfache geometrische Funktionen (Radius und Winkel des Kreisbogens).

NC-Satz

G2 **Z/ZA/ZI** **X/XA/XI** (**K/KA** | **I/IA** | **AO**) / **R** **RN** **O** **G** **F** **E** **S** **M** **M**

Adressen

		Zielpunkt
Z/ZA / ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
X/XA / XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
		Kreisbogen
K/KA		Z-Koordinate des Mittelpunktes
	KA	absolute Werkstückkoordinate
	K	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
I/IA		X-Koordinate des Mittelpunktes
	IA	absolute Werkstückkoordinate
	I	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
R		Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl >0 kürzerer Bogen <0 längerer Bogen
AO		Öffnungswinkel (positiv) Der Öffnungswinkel wird ohne Vorzeichen programmiert, weil die Orientierung des Kreisbogens über den Befehl festgelegt wird.
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite

Lösungsauswahl

O	[1]	Längenkriterium
	1	kürzerer Bogen
	2	längerer Bogen

G weiterer G-Befehl

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

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

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Selbthaltefunktion

Die Selbsthaltefunktion wird bei einer nicht programmierten Koordinate nur dann verwendet, wenn dies für die Bestimmung der Bewegung mit AO oder R notwendig ist.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Bei der Programmierung des Radius (R) erfolgt die Lösungsauswahl zusätzlich über das Vorzeichen des Radius nach dem Längenkriterium, falls die Lösungsauswahl (O) nicht explizit vorgegeben wird.

Die Programmierung des Mittelpunktes und nur einer Zielpunktcoordinate ist zulässig. In diesem Fall erfolgt die Lösungsauswahl über die Adresse O.

Vollkreisbewegung

Die Selbsthaltefunktion für beide Zielpunktcoordinate der Interpolationsebene erzeugt bei der Programmierung des Mittelpunktes eine Vollkreisbewegung und bei der Programmierung des Kreisradius oder des Öffnungswinkels ohne Mittelpunktcoordinate eine Nullbewegung.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G3 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn

Funktion

Der Befehl G3 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen entgegen dem Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Der Befehl unterstützt eine Fase oder Verrundung zum nächsten Konturelement sowie einfache geometrische Funktionen (Radius und Winkel des Kreisbogens).

NC-Satz

G3 **Z/ZA/ZI** **X/XA/XI** (**K/KA** | **I/IA** | **AO**) / **R** **RN** **O** **G** **F** **E** **S** **M** **M**

Adressen

		Zielpunkt
Z/ZA / ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
X/XA / XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
		Kreisbogen
K/KA		Z-Koordinate des Mittelpunktes
	KA	absolute Werkstückkoordinate
	K	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
I/IA		X-Koordinate des Mittelpunktes
	IA	absolute Werkstückkoordinate
	I	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
R		Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl >0 kürzerer Bogen <0 längerer Bogen
AO		Öffnungswinkel (positiv) Der Öffnungswinkel wird ohne Vorzeichen programmiert, weil die Orientierung des Kreisbogens über den Befehl festgelegt wird.
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite

Lösungsauswahl

O	[1]	Längenkriterium
	1	kürzerer Bogen
	2	längerer Bogen

G weiterer G-Befehl

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

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

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Selbthaltefunktion

Die Selbsthaltefunktion wird bei einer nicht programmierten Koordinate nur dann verwendet, wenn dies für die Bestimmung der Bewegung mit AO oder R notwendig ist.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Bei der Programmierung des Radius (R) erfolgt die Lösungsauswahl zusätzlich über das Vorzeichen des Radius nach dem Längenkriterium, falls die Lösungsauswahl (O) nicht explizit vorgegeben wird.

Die Programmierung des Mittelpunktes und nur einer Zielpunktcoordinate ist zulässig. In diesem Fall erfolgt die Lösungsauswahl über die Adresse O.

Vollkreisbewegung

Die Selbsthaltefunktion für beide Zielpunktcoordinate der Interpolationsebene erzeugt bei der Programmierung des Mittelpunktes eine Vollkreisbewegung und bei der Programmierung des Kreisradius oder des Öffnungswinkels ohne Mittelpunktcoordinate eine Nullbewegung.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G4 - Verweildauer

Funktion

Der Befehl G4 unterbricht die Programmausführung für eine angegebene Zeit. Die Verweilzeit kann in Sekunden oder in Umdrehungen der aktiven Spindel programmiert werden.

NC-Satz

G4 U O

Adressen

U		Verweilzeit	
O	[1]	Verweilzeiteinheit	
		1	Sekunden
		2	Umdrehungen

! Programmierhinweise

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

G5 - Werkzeugverschleiß

Funktion

Der Befehl G5 setzt die Verschleißkorrekturen für ein Werkzeug. Liegt der akkumulierte Verschleiß über einer gegebenen Toleranz, wird das Werkzeug im weiteren Programmablauf als verschliffen angesehen. Das Einwechseln eines verschliffenen Werkzeugs führt auf einen Fehler, außer dem Werkzeug ist ein Schwesterwerkzeug zugeordnet, das dann stattdessen eingewechselt wird.

Die programmierten Verschleißkorrekturen werden zu den aktuellen Werten hinzu addiert. Beim Einrichten oder Einwechseln eines neuen Werkzeugs werden alle betroffenen Verschleißkorrekturwerte auf Null gesetzt.

Änderungen am aktiven Werkzeug werden sofort wirksam.

NC-Satz

G5 T TC VR VX VY VZ RK XK YK ZK

Adressen

Werkzeug		
T		Werkzeugnummer
TC	[1]	Korrekturwertsatz
Verschleiß		
VR	[0]	Radius-Verschleißkorrekturwert (inkrementell)
VX	[0]	X-Verschleißkorrekturwert (inkrementell)
VY	[0]	Y-Verschleißkorrekturwert (inkrementell)
VZ	[0]	Z-Verschleißkorrekturwert (inkrementell)
Toleranzen		
RK	[0]	Maximal zulässiger Verschleiß des Radius
XK	[0]	Maximal zulässiger Verschleiß in X
YK	[0]	Maximal zulässiger Verschleiß in Y
ZK	[0]	Maximal zulässiger Verschleiß in Z

! Programmierhinweise

Die Angabe der Toleranz RK ist nur bei Fräswerkzeugen sinnvoll, da der Verschleiß bei Drehwerkzeugen abhängig von der Bearbeitungsrichtung ist.

Schwesterwerkzeuge

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

Funktion

Der Befehl G6 setzt die modalen Daten für die Anfahrt zum Werkzeugwechsellpunkt.

Die Anfahrt zum Werkzeugwechsellpunkt erfolgt mit dem Befehl G14 und ist spezifisch für jede Werkzeugmaschine. Der Maschinenhersteller stellt die notwendigen Daten - wie zum Beispiel den Werkzeugwechsellpunkt - in der Maschinenkonfiguration bereit. Der Befehl G6 überschreibt grundlegende Werte. Die Änderungen gelten nur innerhalb des NC-Programms. Bei Programmstart werden die Daten wieder komplett aus der Konfiguration initialisiert.

Die Daten können auch mehrfach im Parameterraum vorliegen. In diesem Fall gibt die Adresse SP die erste Parameternummer des Datensatzes vor.

Alle nicht programmierten Werte bleiben unverändert.

NC-Satz

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

Adressen

SP	[8200]	Erste Parameternummer der Daten
LO		Unterprogrammnummer
XT		Inkrementelle Freifahrlänge in X
YT		Inkrementelle Freifahrlänge in Y
ZT		Inkrementelle Freifahrlänge in Z
Werkzeugnummern von Werkzeugmagazin 1		
AT		Erste Werkzeugnummer für Magazin 1
BT		Letzte Werkzeugnummer für Magazin 1
CT		Erste Werkzeugnummer für Magazin 1 (2. Bereich)
DT		Letzte Werkzeugnummer für Magazin 1 (2. Bereich)
Werkzeugnummern von Werkzeugmagazin 2		
HT		Erste Werkzeugnummer für Magazin 2
IT		Letzte Werkzeugnummer für Magazin 2
JT		Erste Werkzeugnummer für Magazin 2 (2. Bereich)
KT		Letzte Werkzeugnummer für Magazin 2 (2. Bereich)
Zwischenpunkt		
XO		X-Koordinate des Zwischenpunktes
YO		Y-Koordinate des Zwischenpunktes

ZO		Z-Koordinate des Zwischenpunktes
AO		A-Koordinate des Zwischenpunktes
BO		B-Koordinate des Zwischenpunktes
CO		C-Koordinate des Zwischenpunktes
VO		Zwischenpunkt (Gegenspindel-Z-Achse)
DO		Zwischenpunkt (Gegenspindel-C-Achse)

Werkzeugwechsellpunkt von Werkzeugmagazin 1

XP		X-Koordinate des 1. Wechsellpunktes
YP		Y-Koordinate des 1. Wechsellpunktes
ZP		Z-Koordinate des 1. Wechsellpunktes
AP		A-Koordinate des 1. Wechsellpunktes
BP		B-Koordinate des 1. Wechsellpunktes
CP		C-Koordinate des 1. Wechsellpunktes

Werkzeugwechsellpunkt von Werkzeugmagazin 2

XW		X-Koordinate des 2. Wechsellpunktes
YW		Y-Koordinate des 2. Wechsellpunktes
ZW		Z-Koordinate des 2. Wechsellpunktes
AW		A-Koordinate des 2. Wechsellpunktes
BW		B-Koordinate des 2. Wechsellpunktes
CW		C-Koordinate des 2. Wechsellpunktes

! Programmierhinweise

Alle notwendigen Daten wurden vom Maschinenhersteller in der Konfiguration hinterlegt und müssen nur in den seltensten Fällen im NC-Programm verändert werden.

Nicht alle Daten werden auf jeder Werkzeugmaschine tatsächlich verwendet, zum Beispiel die Werte für ein zweites Werkzeugmagazin.

G9 - Genauhalt

Funktion

Der Befehl G9 definiert eine programmierte Bewegung als Bewegung mit Genauhalt, d.h. die Vorschubgeschwindigkeit wird vor dem Erreichen des Zielpunktes so reduziert, dass alle Achsbewegungen mit den maschinenspezifisch konfigurierten Beschleunigungswerten im Zielpunkt zum Stehen kommen.

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 Bewegung im Eilgang endet immer mit einem Genauhalt.

NC-Satz



Programmierhinweise

Der Befehl ist satzmodal, gilt also nur im programmierten NC-Satz.

G10 - Linearinterpolation im Eilgang in Polarkoordinaten

Funktion

Der Befehl G10 erzeugt eine Bewegung im Eilgang. Der programmierte Zielpunkt wird linear im Eilgang mit größtmöglicher Geschwindigkeit angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G0 wird der Zielpunkt in der Interpolationsebene in Polarkoordinaten angegeben.

Die Bewegung im Eilgang endet immer mit einem Genauhalt.

NC-Satz

G10 RP AP/AI K/KA I/IA G F S M M T TC TR TX TY TZ

Adressen

		Zielpunkt
RP		Polarradius
AP / AI		Polarwinkel Der inkrementelle Polarwinkel wirkt inkrementell auf den Polarwinkel des Startpunktes der Bewegung. Die Verwendung ist nur zulässig, wenn Pol und Startpunkt verschieden sind.
	AP	absolut
	AI	inkrementell
K / KA	<i>[K0]</i>	Z-Koordinate des Pols
	KA	absolut
	K	inkrementell auf den Startpunkt
I / IA	<i>[I0]</i>	X-Koordinate des Pols
	IA	absolut
	I	inkrementell auf den Startpunkt
G		weiterer G-Befehl
		Schnittwerte
F		Vorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl
		Werkzeug
T		Werkzeug
TC		Korrekturwertsatz
TR		Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur

TX	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

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

G11 - Linearinterpolation im Vorschub in Polarkoordinaten

Funktion

Der Befehl G11 erzeugt eine Bewegung im Vorschub. Der programmierte Zielpunkt wird linear mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G1 wird der Zielpunkt in der Interpolationsebene in Polarkoordinaten angegeben.

Der Befehl unterstützt eine Fase oder Verrundung zum nächsten Konturelement.

NC-Satz

G11 RP AP/AI K/KA I/IA RN G F E S M M T C TR TX TY TZ

Adressen

		Zielpunkt
RP		Polarradius
AP / AI		Polarwinkel Der inkrementelle Polarwinkel wirkt inkrementell auf den Polarwinkel des Startpunktes der Bewegung. Die Verwendung ist nur zulässig, wenn Pol und Startpunkt verschieden sind.
	AP	absolut
	AI	inkrementell
K / KA	<i>[K0]</i>	Z-Koordinate des Pols
	KA	absolut
	K	inkrementell auf den Startpunkt
I / IA	<i>[I0]</i>	X-Koordinate des Pols
	IA	absolut
	I	inkrementell auf den Startpunkt
RN	<i>[0]</i>	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite
G		weiterer G-Befehl
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

Werkzeug	
T	Werkzeug
TC	Korrekturwertsatz
TR	Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

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

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G12 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten

Funktion

Der Befehl G12 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen im Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G2 wird der Zielpunkt in der Interpolationsebene in Polarkoordinaten angegeben. Der Pol ist identisch zum Mittelpunkt des Kreisbogens.

NC-Satz

G12 **AP/AI** **K/KA** **I/IA** **RN** **G** **F** **E** **S** **M** **M**

Adressen

		Zielpunkt				
AP/ AI		Polarwinkel				
		Der inkrementelle Polarwinkel wirkt inkrementell auf den Polarwinkel des Startpunktes der Bewegung.				
		Die Verwendung ist nur zulässig, wenn Pol und Startpunkt verschieden sind.				
		<table border="1"> <tr> <td>AP</td> <td>absolut</td> </tr> <tr> <td>AI</td> <td>inkrementell</td> </tr> </table>	AP	absolut	AI	inkrementell
AP	absolut					
AI	inkrementell					
K/ KA	<i>[K0]</i>	Z-Koordinate des Pols				
		<table border="1"> <tr> <td>KA</td> <td>absolut</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>inkrementell auf den Startpunkt</td> </tr> </table>	KA	absolut	K	inkrementell auf den Startpunkt
	KA	absolut				
K	inkrementell auf den Startpunkt					
I/ IA	<i>[I0]</i>	X-Koordinate des Pols				
		<table border="1"> <tr> <td>IA</td> <td>absolut</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>inkrementell auf den Startpunkt</td> </tr> </table>	IA	absolut	I	inkrementell auf den Startpunkt
	IA	absolut				
I	inkrementell auf den Startpunkt					
RN	<i>[0]</i>	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite				
G		weiterer G-Befehl				
Schnittwerte						
F		Vorschub				
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub				
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit				
M		Maschinenbefehl				

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

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

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G13 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten

Funktion

Der Befehl G13 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen entgegen dem Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G3 wird der Zielpunkt in der Interpolationsebene in Polarkoordinaten angegeben. Der Pol ist identisch zum Mittelpunkt des Kreisbogens.

NC-Satz

G13 AP/AI K/KA I/IA RN G F E S M M

Adressen

		Zielpunkt
AP/ AI		Polarwinkel
		Der inkrementelle Polarwinkel wirkt inkrementell auf den Polarwinkel des Startpunktes der Bewegung. Die Verwendung ist nur zulässig, wenn Pol und Startpunkt verschieden sind.
		AP absolut AI inkrementell
K/ KA	<i>[K0]</i>	Z-Koordinate des Pols
		KA absolut K inkrementell auf den Startpunkt
I / IA	<i>[I0]</i>	X-Koordinate des Pols
		IA absolut I inkrementell auf den Startpunkt
RN	<i>[0]</i>	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite
G		weiterer G-Befehl
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

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

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G14 - Werkzeugwechsellpunkt anfahren

Funktion

Der Befehl G14 erzeugt eine Bewegung zum Werkzeugwechsellpunkt. Die Bewegung zum Werkzeugwechsellpunkt erfolgt gemäß den hinterlegten modalen Adressen (G6).

Der Bewegung zum Werkzeugwechsellpunkt kann zusätzlich ein Freifahren vorangestellt werden.

NC-Satz

G14 **XT** **YT** **ZT** **H** **SP** **M** **M**

Adressen

		Freifahren
XT	[*]	Inkrementelle Freifahrt in X <i>Voreinstellung: * Konfigurationsdaten aus G6</i>
YT	[*]	Inkrementelle Freifahrt in Y <i>Voreinstellung: * Konfigurationsdaten aus G6</i>
ZT	[*]	Inkrementelle Freifahrt in Z <i>Voreinstellung: * Konfigurationsdaten aus G6</i>
		Optionen
H	[0]	Steueradresse für die Anfahrt zum Wechsellpunkt 0 alle Koordinaten werden gleichzeitig angefahren 1 erst in X und dann werden alle anderen Koordinaten angefahren 2 erst in Z und dann werden alle anderen Koordinaten angefahren
SP	[8200]	Erste Parameternummer der Konfigurationsdaten
M		Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Freifahren

Der Befehl G14 unterstützt ein Freifahren vor der eigentlichen Bewegung zum Werkzeugwechsellpunkt über die Register XT, YT und ZT.

Ein Freifahren kann auch über die Optionen H1 und H2 erreicht werden.

Konfiguration

Für die Programmierung des Befehls G14 sind keine Koordinatenangaben erforderlich, da die Art und Weise, wie der Werkzeugwechsellpunkt anzufahren ist, in den Konfigurationsdaten hinterlegt ist. Die Konfigurationsdaten werden über den Befehl G6 beginnend mit einer ersten Parameternummer (SP) modal hinterlegt.

Der Maschinenhersteller liefert eine sinnvolle Vorbelegung ab P8200 aus. Ein Wechsel der Konfigurationsdaten ist in den meisten Fällen nicht nötig.

G17/G18/G19 - Kreisbogen-Interpolationsebenen

Funktion

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.

NC-Satz

G17/G18/G19

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)

! Programmierhinweise

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.

G22 - Unterprogrammaufruf

Funktion

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

Das Unterprogramm endet mit M17 oder sobald die NC-Zeile mit der Endsatznummer verarbeitet wurde.

NC-Satz

G22 L N N H /

Adressen

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

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Innerhalb eines Unterprogramms können weitere Unterprogramme aufgerufen werden. Die maximale Verschachtelungstiefe beträgt 10.

Die NC sucht die Startsatznummer vom Programmanfang. Findet sie diese nicht, so wird der Programmablauf mit einer Fehlermeldung abgebrochen. Ohne Angabe einer Startsatznummer beginnt die Programmausführung im Unterprogramm in der ersten NC-Zeile.

Die programmierte Start- und Endsatznummer kann gleich sein. In diesem Fall wird nur ein NC-Satz verarbeitet.

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 muss als externe Datei vorhanden sein. Der Dateiname ist der große Buchstabe L gefolgt von der Unterprogrammnummer. Die Dateierweiterung ist 'dnc' für Drehprogramme und 'fnc' für Fräsprogramme.
- **Lokales Unterprogramm**
Ein lokales Unterprogramm wird nach M30 an das Hauptprogramm angehängt und beginnt definitionsgemäß mit dem Unterprogramm Buchstaben L in der ersten Spalte der ersten Unterprogrammzeile gefolgt von der Unterprogrammnummer. 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 NC 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

Funktion

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

NC-Satz

G23 N N H

Adressen

N		Startsatznummer
N		Endsatznummer
H	[1]	Anzahl der Wiederholungen

! Programmierhinweise

Die NC sucht die Startsatznummer vom Programmstart. Findet sie diese nicht, so wird der Programmablauf mit einer Fehlermeldung abgebrochen.

Die programmierte Start- und Endsatznummer kann gleich sein. In diesem Fall wird nur ein NC-Satz wiederholt.

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

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G29 - Programmsprung

Funktion

Der Befehl G29 führt einen bedingten Sprung zu einer gegebenen Satznummer aus. Der Programmsprung erfolgt nur, wenn die Bedingung LA wahr ist. Die Bedingung ist ein beliebiger logischer Ausdruck. Ohne Angabe einer Bedingung erfolgt der Sprung grundsätzlich (unbedingter Programmsprung).

NC-Satz

G29 **N** LA= (<Bedingung>)

Adressen

N		Satznummer
LA	[1]	Bedingung

! Programmierhinweise

Der Adresse LA wird als Bedingung ein logischer Ausdruck zugewiesen. Zwischen Adresse und logischem Ausdruck muss gemäß der PAL-Syntax ein Gleichheitszeichen stehen.

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

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G30 - Umspannen, Gegenspindelübernahme, Reitstockpositionierung

Funktion

Mit diesem Universalmakro wird entweder das Umspannen oder die Übernahme eines Werkstückes von der Hauptspindel auf die Gegenspindel allgemein ermöglicht. Bei Maschinen mit Reitstock kann dieser mit G30 positioniert werden, wobei die Pinole vor dem Befehl nicht gesetzt sein darf. Sie kann nach der Positionierung mit der optionalen Adresse M11 gesetzt werden.

Das Umspannen (Q1) entspricht der manuellen Vorgehensweise auf einspindeligen Maschinen: Nach dem Umspannen ist das Werkstück bis zu der mit DE vorgegebenen Einspannposition auf der Hauptspindel gespannt.

Die beiden Steueradresswerte Q2 und Q3 gestatten eine komfortable und flexible Programmierung der Komplettbearbeitung auf Haupt- und Gegenspindel:

- Mit Q2 wird das Werkstück von der Gegenspindel an der Einspannposition DE gespannt und optional um eine Auszugslänge DA aus der Hauptspindel herausgezogen. Das Werkstück ist nach der Abarbeitung dieser G30-Befehlsvariante auf beiden Werkstückspindeln gespannt.
- Mit Q3 wird wie bei Q2 verfahren und anschließend kann die Übernahme des Werkstückes auf die Gegenspindel in zwei Varianten durchgeführt werden: Abstechen oder Übernahme des gesamten Werkstückes auf die Gegenspindel und Anfahrt des Gegenspindelreferenzpunktes.

NC-Satz

G30 Q1 DE C
 G30 Q2 DE C DA H O M DM V U SP DZ E
 G30 Q3 DE C T TC ZA XS XA DA H O M DM V U ZT SP DZ S F M E
 G30 Q4 ZA M

Adressen

Q	Funktion
1	Werkstück umspannen
2	Gegenspindel positionieren und spannen
3	Gegenspindelübernahme
4	Reitstockpositionierung

! Programmierhinweise

Der Befehl ist nur in der Ebene G18 HS in einem ungedrehten Koordinatensystem durchführbar.

Eine inkrementelle Koordinatensystemdrehung wird daher mit G30 aufgehoben.

Das Werkstück kann nach dem Spannen durch die Gegenspindel optional um die Auszugslänge DA aus der Hauptspindel herausgezogen werden. Dies erfolgt mit dem maschinenspezifisch eingestellten Vorschub E.

Bei mehrfachen G30 Aufrufen kann die Einspannposition auch verändert werden.

Der inkrementelle Werkstücknullpunkt der Hauptspindel wird dabei jeweils automatisch mit der Auszugslänge DA korrigiert (gegebenenfalls auch mehrfach).

Mit der Anfahrt des Gegenspindelreferenzpunktes (Q3) werden alle einstellbaren Werkstücknullpunkte automatisch umgesetzt bzw. von der Haupt- auf die Gegenspindel übertragen und die inkrementellen Nullpunktverschiebungen für die Haupt- und Gegenspindelbearbeitung aufgehoben.

Die Einspanntiefe auf der Gegenspindel ergibt sich aus der Differenz *Maximaler Werkstück-Z-Wert minus Einspannposition DA*.

Das optionale Abstechen erfolgt vom Startdurchmesser XS bis zum programmierten Enddurchmesser XA.

Die Abstechposition ist durch die Nullpunktnachführung unabhängig von einem Werkstückauszug um DA.

Beim Abstechen wird vor dem Werkzeugwechsel die Werkzeugwechselposition mit G14 H1 und danach der Abstechstartpunkt im Eilgang zuerst in Z und dann in X angefahren.

Abarbeitungsreihenfolge

1. Anfahren des Werkzeugwechsellpunktes G14 H1 (optional)
2. Positionieren und Spannen der Gegenspindel und optionaler Werkzeugwechsel
3. Optionales Herausziehen um DA
4. Optionales Abstechen
 - Anfahren des Startpunktes zuerst in Z und dann in X
 - Abstechen
5. Optionale Gegenspindelrückfahrt und optionales Freifahren des Abstechwerkzeuges mit anschließender Anfahrt des Werkzeugwechsellpunktes mit G14 H1

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G30 Q1 - Werkstück umspannen

Funktion

Der Befehl G30 Q1 spannt das Werkstück auf der Hauptspindel um und entspricht damit der manuellen Vorgehensweise auf Einspindeldrehautomaten. Nach dem Umspannen ist das Werkstück bis zu der mit DE vorgegebenen Einspannposition auf der Hauptspindel gespannt.

NC-Satz

G30 Q1 DE C

Adressen

DE		Einspannposition
Optionen		
C	[0]	Werkstückausrichtung

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G30 Q2 - Gegenspindel positionieren und spannen

NC-Satz

G30 Q2 DE C DA H O M DM V U SP DZ E

Adressen

DE		Einspannposition der Spannmittelvorderkante im aktuellen ungedrehten Werkstückkoordinatensystem der Hauptspindel
Optionen		
C	[0]	C-Achs-Differenz der beiden Spindeln bei der Übernahme / dem Umspannen
DA	[0]	Auszugslänge des Werkstückes Auszugslänge des Werkstückes nach der Positionierung und dem Spannen durch die Gegenspindel mit Öffnen/Schließen der Werkstückspannung auf der Hauptspindel
H	[0]	Werkstückauszugsmodus 0: Auszug des Werkstückes bei stehender Spindel wert: Auszug mit der Drehzahl G97 S=wert
O	[0]	Spindelkopplungsmodus für Q2 0: Gegenspindel mit beiden Werkstückspindeln stehend an die Einspannposition verfahren und spannen wert: Gegenspindel mit Drehzahl G97 S=wert und Spindelsynchronisation an die Einspannposition verfahren und spannen
M	[63]	Einspannrichtungen auf Haupt- und Gegenspindel
	63	Einspannrichtung Hauptspindel außen und Gegenspindel außen
	64	Einspannrichtung Hauptspindel außen und Gegenspindel innen
	65	Einspannrichtung Hauptspindel innen und Gegenspindel außen
	66	Einspannrichtung Hauptspindel innen und Gegenspindel innen
DM	[*]	Abstand Spannmittelvorderkante zum Gegenspindelbezugspunkt <i>Voreinstellung: * Maschinenparameter der PAL-Maschinenkonfiguration</i>
V	[*]	Sicherheitsabstand vor der Einspannposition für den Wechsel G0 in G1 <i>Voreinstellung: * Maschinenparameter der PAL-Maschinenkonfiguration</i>
U	[*]	Verweilzeit nach dem Schließen der Gegenspindelspannung <i>Voreinstellung: * Maschinenparameter der PAL-Maschinenkonfiguration</i>
Nullpunktmitnahme		
SP	[*]	Nullpunktspeicher <i>Voreinstellung: * Automatik</i>

DZ	[0]	Verschiebung in Z (inkrementell)
Schnittwerte		
E	[*]	Vorschub der Gegenspindelpositionierung am Werkstück mit G94 in mm/min
		<i>Voreinstellung: * Maschinenparameter der PAL-Maschinenkonfiguration</i>

! Programmierhinweise

Auf Maschinen ohne Gegenspindel beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G30 Q3 - Gegenspindelübernahme

NC-Satz

G30 Q3 DE C T TC ZA XS XA DA H O M DM V U ZT SP DZ S F M E

Adressen

DE		Einspannposition der Spannmittelvorderkante im aktuellen ungedrehten Werkstückkoordinatensystem der Hauptspindel
Optionen		
C	[0]	C-Achs-Differenz der beiden Spindeln bei der Übernahme / dem Umspannen
DA	[0]	Auszugslänge des Werkstückes nach der Positionierung und dem Spannen durch die Gegenspindel mit Öffnen/Schließen der Werkstückspannung auf der Hauptspindel (vor dem optionalen Abstechen bei Stangenbearbeitung)
H	[0]	Werkstückauszugsmodus 0: Auszug des Werkstückes bei stehender Spindel wert: Auszug mit der Drehzahl G97 S=wert
O	[0]	Spindelkopplungsmodus für Q2 0: Gegenspindel mit beiden Werkstückspindeln stehend an die Einspannposition verfahren und spannen wert: Gegenspindel mit Drehzahl G97 S=wert und Spindelsynchronisation an die Einspannposition verfahren und spannen
M	[63]	Einspannrichtungen auf Haupt- und Gegenspindel
	63	Einspannrichtung Hauptspindel außen und Gegenspindel außen
	64	Einspannrichtung Hauptspindel außen und Gegenspindel innen
	65	Einspannrichtung Hauptspindel innen und Gegenspindel außen
	66	Einspannrichtung Hauptspindel innen und Gegenspindel innen
DM	[*]	Abstand Spannmittelvorderkante zum Gegenspindelbezugspunkt <i>Voreinstellung: * Maschinenparameter der PAL-Maschinenkonfiguration</i>
V	[*]	Sicherheitsabstand vor der Einspannposition für den Wechsel G0 in G1 <i>Voreinstellung: * Maschinenparameter der PAL-Maschinenkonfiguration</i>
U	[*]	Verweilzeit nach dem Schließen der Gegenspindelspannung <i>Voreinstellung: * Maschinenparameter der PAL-Maschinenkonfiguration</i>
ZT	[*]	Arbeitsposition <i>Voreinstellung: * Referenzposition</i>

Nullpunktmitnahme

SP	[*]	Nullpunktspeicher
		Voreinstellung: * <i>Automatik</i>
DZ	[0]	Verschiebung in Z (inkrementell)
Abstechen		
T	[*]	Abstechwerkzeug mit T muss auch ZA und XS programmiert werden
		Voreinstellung: * <i>kein Abstechen</i>
TC	[1]	Korrekturwertregister des Abstechwerkzeuges
ZA		Abstechposition (absolut, mit DA optional verschoben) oder Reitstockposition
XS		Abstechstartdurchmesser (absolut)
XA	[*]	Abstechenddurchmesser (absolut)
		Voreinstellung: * <i>negativer zweifacher Abstechschneideneckenradius</i>
Schnittwerte		
S		Abstechnschnittgeschwindigkeit mit G96 in m/min
F		Abstechvorschub mit G95 in mm/U
M		Abstechdrehrichtung und Übernahmedrehrichtung
	3	Spindel einschalten - Drehrichtung rechts (im Uhrzeigersinn)
	4	Spindel einschalten - Drehrichtung links (im Gegenuhrzeigersinn)
E	[*]	Vorschub der Gegenspindelpositionierung am Werkstück mit G94 in mm/min
		Voreinstellung: * <i>Maschinenparameter der PAL-Maschinenkonfiguration</i>

Programmierhinweise

Auf Maschinen ohne Gegenspindel beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G30 Q4 - Reitstockpositionierung

Funktion

Der Befehl G30 Q4 positioniert den Reitstock. Vor dem Positionieren wird eine eventuell gesetzte Pinole automatisch gelöst. Im Anschluss kann die Pinole gesetzt werden (M11). Das kann noch im selben NC-Satz erfolgen.

NC-Satz

G30 Q4 ZA M

Adressen

ZA	Reitstockposition
	Optionen
M	Reitstock-Pinole

Programmierhinweise

Die Position des Reitstocks wird in den Koordinaten der aktiven einstellbaren Nullpunktverschiebung angegeben.

Auf Maschinen ohne Reitstock beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G40 - Abwahl der Schneidenradiuskorrektur

Funktion

Mit dem Befehl G40 wird die mit G41 oder G42 eingeschaltete Schneidenradiuskorrektur aufgehoben:

Die NC fährt zunächst auf den Zielpunkt des letzten zuvor programmierten und mit Schneidenradiuskorrektur abzufahrenden Konturelementes (siehe G41/G42) und zwar so, dass der Werkzeugschneidenkreis das letzte Konturelement im Zielpunkt berührt (gemeinsame Tangente im Berührungspunkt). In diesem Punkt ist die aktuelle Position des theoretischen Werkzeugschneidenpunktes verschieden von dem programmierten Konturendpunkt, da die Schneidenradiuskompensation bis zu diesem Konturpunkt noch eingeschaltet ist.

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

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

NC-Satz

G40 Z/ZA/ZI X/XA/XI ...
 G40 G0/G1 Z/ZA/ZI X/XA/XI ...
 G40 G10/G11 RP AP/AI ...
 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 Schneidenradiuskompensation mit G40 zusammen mit G1 oder G11 ist die Programmierung einer Fase oder Verrundung mit RN nicht erlaubt.

Es gibt hier bei den CNC-Steuerungen wegen der fehlenden Festlegung in der DIN-Norm folgenden Unterschied: Wird G40 allein ohne weitere Adresse programmiert, so führt die Selbsthaltefunktion der kompensierten Zielpunktkoordinaten (der mit dem Werkzeugschneidenpunkt angefahrenen Koordinaten) des Konturendpunktes Z, X 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 Werkzeugschneidenpunktskoordinaten findet man bei Steuerungen auch die Selbsthaltefunktion für die programmierten (unkompensierten) Zielpunktkoordinaten des letzten Konturelementes. In diesem Fall würde bei G40 ohne weitere Adresse nach dem Anfahren des Konturendpunktes eine Bewegung mit dem Werkzeugschneidenpunkt auf diesen programmierten Zielpunkt erfolgen (wobei die Kontur im Zielpunkt verletzt wird). Die Programmierung von einer Koordinate ergibt dann i.a. eine nicht-achsparallele Bewegung.

G41/G42 - Anwahl der Schneidenradiuskorrektur SRK

Funktion

Mit G41/G42 wird die Schneidenradiuskorrektur (SRK) angewählt. Danach wird die zu bearbeitende Werkstückkontur programmiert. Im Fall von G41 wird diese Kontur durch das Werkzeug bezogen auf die Bearbeitungskonturrichtung nach links und mit G42 nach rechts korrigiert (kompensiert).

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).

Da die NC bei der Berechnung der Verfahwege von einer theoretischen Schneidenspitze ausgeht und diese entlang der programmierten Kontur bewegt, entstehen aufgrund des Schneidenradius Maß- und Formabweichungen, wenn die Bewegungen nicht parallel zur X- oder Z-Achse verlaufen.

Bei Anwahl der Schneidenradiuskorrektur (SRK) wird für die Werkzeugschneide unter Berücksichtigung des Schneidenradius und der Lage der theoretischen Schneidenecke in Bezug auf den Schneidenmittelpunkt eine korrigierte Bahn (Äquidistante) berechnet. Hierzu wird der Werkzeugquadrant oder der Korrekturwertvektor (SRK-Vektor) der theoretischen Schneidenspitze verwendet. Somit kann die zu fertigende Kontur ohne Umrechnungen direkt aus der Werkstückzeichnung programmiert werden.

G41	Schneidenradiuskorrektur links von der Kontur
G42	Schneidenradiuskorrektur rechts von der Kontur

NC-Satz

G41/G42 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI C D AS H F E S M M TC TR TX TY TZ
G41/G42 G0/G1 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI ...
G41/G42 G10/G11 RP AP/AI Z/ZA/ZI ...
G41/G42 G45/G46/G47 ...

! Programmierhinweise

Die Anwahl der Schneidenradiuskompensation kann zusammen mit einer der Wegbedingungen G0 oder G1 in einem NC-Satz programmiert werden, welche die Anfahrt an die Kontur festlegt. Bei G1 ist dabei jedoch die Programmierung einer Fase oder Verrundung mit RN nicht erlaubt.

Der kompensierte Anfangs- oder Zielpunkt eines Konturelementes wird nachfolgend mit Bearbeitungsanfangspunkt oder Bearbeitungsendpunkt bezeichnet.

Die NC verfährt linear unter Berücksichtigung der Koordinaten-Selbthaltefunktion auf den mit der Schneidenradiuskompensation berechneten Bearbeitungsanfangspunkt des ersten programmierten Konturelementes mit dem Startpunkt Z, X, das dann kompensiert abgefahren wird.

Dieser Bearbeitungsanfangspunkt zu dem Anfangspunkt Z, X des ersten kompensiert abzufahrenden Konturelementes kann erst nach der Programmierung dieses Konturelementes angefahren werden (Vorausschau bei der SRK).

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 Selbthaltefunktion der Z- und X-Koordinaten gegebenenfalls zu einer Ausgleichsbewegung 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 SRK mit G40 beliebig aus den folgenden Wegbefehlen zusammengesetzt werden (sofern diese untereinander verträglich sind):

G0, G1, G2, G3, G10, G11, G12, G13, G61, G62, G63, G85.

Verrundungsradien von Innenecken dürfen dabei nicht kleiner als der Schneidenradius 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 einer Schneidenradiuskorrektur dürfen die Werkzeugkorrekturwerte, sei durch Korrekturwertmanipulation (TR, TX, TY, TZ) oder Korrekturwertregisteränderung (TC), nicht verändert werden, das Werkzeug nicht gewechselt werden und innerhalb der SRK dürfen keine Nullpunktänderungen programmiert werden.

Bei der Anwahl der Schneidenradiuskompensation 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 Koordinatenselbsthaltefunktion 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.

Adressen

G41 / G42	Werkzeugradiuskorrektur	
	41	links von der Kontur
	42	rechts von der Kontur

Anfahr- und Abfahrstrategien von Werkzeugen an Drehkonturen

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

Nach der kompensierten Abfahrt von der Kontur wird ein programmierter Zielpunkt 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 Zielpunkt der programmierten Kontur um

G45	eine tangential anschließende Abfahrstrecke der Länge DL
G46	einen tangential anschließenden Abfahrviertelkreis mit Radius RR
G47	einen tangential anschließenden Abfahrhalbkreis 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 selbsthaltend/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 Z, X, ein Konturstartpunkt in Z, X festgelegt. Mit der Programmierung des ersten Konturelementes kann die NC in der ZX-Ebene den kompensierten Startpunkt der Anfahrbewegung berechnen und das Werkzeug in der ZX-Drehebene auf diesen Punkt verfahren. Die Anfahrt auf diesen kompensierten Startpunkt in der Ebene erfolgt im Eilgang, wenn dieser modal wirksam ist und andernfalls im Arbeitsgang.

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 an- oder abgefahren.

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

Die neuen PAL-Befehle G45, G46 und G47 ersetzen die alten Befehle G45, G46, G47 und G48 der tangentialen An- und Abfahrt mit einer Strecke oder einem Viertelkreis von PAL2007 und werden mit G47 auf die halbkreisförmige tangentielle An- und Abfahrt erweitert.

G45 - Lineares tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur

Funktion

Der Befehl G45 definiert eine Anfahrbewegung oder eine Abfahrbewegung auf einer Tangenten mit definierter Länge. Der Befehl definiert eine Anfahrt, wenn er zusammen mit der Anwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G41 oder G42) programmiert wird, oder eine Abfahrt, wenn er zusammen mit der Abwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G40) programmiert wird. Eine andere Verwendung ist unzulässig.

Die Anfahrbewegung erfolgt in den folgenden Schritten:

1. Bewegung auf den Startpunkt der Anfahrt ohne Änderung in der Zustellachse
2. Absenken auf die Sicherheitsebene im Eilgang (entfällt ohne Angabe der Sicherheitsebene)
3. Absenken auf den Startpunkt der Anfahrt in der Zustellachse im Vorschub
4. Verfahren der Anfahrt im Vorschub ohne Änderung in der Zustellachse

Mit der Option O1 erfolgen die Schritte 3 und 4 in einer Bewegung. Die Abfahrt erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.

NC-Satz

G40/G41/G42 G45 DL Z/ZA/ZI X/XA/XI F E S M M

Adressen

G40 / G41 / G42		Werkzeugradiuskorrektur
	40	Abwahl
	41	links von der Kontur
	42	rechts von der Kontur
DL		Länge der An-/Abfahrt
Zielpunkt		
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X / XA / XI		X-Koordinate
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit

M

Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Mit den Koordinaten Z, X wird bei der Anfahrt der Startpunkt der Kontur und bei der Abfahrt ein Freifahrpunkt nach der Abfahrbewegung programmiert.

G46 - Tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur im Viertelkreis

Funktion

Der Befehl G46 definiert eine Anfahrbewegung oder eine Abfahrbewegung auf einem tangentialen Viertelkreis mit definiertem Radius. Der Befehl definiert eine Anfahrt, wenn er zusammen mit der Anwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G41 oder G42) programmiert wird, oder eine Abfahrt, wenn er zusammen mit der Abwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G40) programmiert wird. Eine andere Verwendung ist unzulässig.

Die Anfahrbewegung erfolgt in den folgenden Schritten:

1. Bewegung auf den Startpunkt der Anfahrt ohne Änderung in der Zustellachse
2. Absenken auf die Sicherheitsebene im Eilgang (entfällt ohne Angabe der Sicherheitsebene)
3. Absenken auf den Startpunkt der Anfahrt in der Zustellachse im Vorschub
4. Verfahren der Anfahrt im Vorschub ohne Änderung in der Zustellachse

Mit der Option O1 erfolgen die Schritte 3 und 4 in einer Bewegung. Die Abfahrt erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.

NC-Satz

G40/G41/G42 G46 RR Z/ZA/ZI X/XA/XI F E S M M

Adressen

G40 / G41 / G42	Werkzeugradiuskorrektur	
	40	Abwahl
	41	links von der Kontur
	42	rechts von der Kontur
RR	Radius des Viertelkreises Der Radius bezieht sich auf den Schneidenpunkt. Der Viertelkreis an die Kontur ist um den Werkzeugradius größer.	

Zielpunkt

Z / ZA / ZI	Z-Koordinate	
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X / XA / XI	X-Koordinate	
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91

Schnittwerte

F		Vorschub
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub

S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M	Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Mit den Koordinaten Z, X wird bei der Anfahrt der Startpunkt der Kontur und bei der Abfahrt ein Freifahrpunkt nach der Abfahrbewegung programmiert.

G47 - Tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur im Halbkreis

Funktion

Der Befehl G47 definiert eine Anfahrbewegung oder eine Abfahrbewegung auf einem tangentialen Halbkreis mit definiertem Radius. Der Befehl definiert eine Anfahrt, wenn er zusammen mit der Anwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G41 oder G42) programmiert wird, oder eine Abfahrt, wenn er zusammen mit der Abwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G40) programmiert wird. Eine andere Verwendung ist unzulässig.

Die Anfahrbewegung erfolgt in den folgenden Schritten:

1. Bewegung auf den Startpunkt der Anfahrt ohne Änderung in der Zustellachse
2. Absenken auf die Sicherheitsebene im Eilgang (entfällt ohne Angabe der Sicherheitsebene)
3. Absenken auf den Startpunkt der Anfahrt in der Zustellachse im Vorschub
4. Verfahren der Anfahrt im Vorschub ohne Änderung in der Zustellachse

Mit der Option O1 erfolgen die Schritte 3 und 4 in einer Bewegung. Die Abfahrt erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.

NC-Satz

G40/G41/G42 G47 RR Z/ZA/ZI X/XA/XI F E S M M

Adressen

G40 / G41 / G42	Werkzeugradiuskorrektur	
	40	Abwahl
	41	links von der Kontur
	42	rechts von der Kontur
RR	Radius des Halbkreises Der Radius bezieht sich auf den Schneidenpunkt. Der Halbkreis an die Kontur ist um den Werkzeugradius größer.	
Zielpunkt		
Z / ZA / ZI	Z-Koordinate	
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X / XA / XI	X-Koordinate	
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Schnittwerte		
F	Vorschub	
E	[F]	Feinvorschub

S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M	Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Mit den Koordinaten Z, X wird bei der Anfahrt der Startpunkt der Kontur und bei der Abfahrt ein Freifahrpunkt nach der Abfahrbewegung programmiert.

G50 - Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen

Funktion

Der Befehl G50 setzt alle inkrementellen Transformationen bestehend aus den Nullpunktverschiebungen, den Drehungen sowie Spiegelungen und Skalierungen zurück. Die aktive Bearbeitungsebene bleibt erhalten.

Anschließend gilt wieder der zuletzt mit einem der Befehle G53 bis G57 festgelegte Nullpunkt.

NC-Satz

G50

! Programmierhinweise

Eine erneute Anwahl des aktiven Nullpunktes (G53 bis G57) hat genau den gleichen Effekt.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G51 - Einstellbare Nullpunkte setzen

Funktion

Der Befehl G51 setzt die Werte einer einstellbaren Nullpunktverschiebungen. Damit lassen sich zum Beispiel gemessene Koordinatenwerte als einstellbare Nullpunkte übernehmen.

Änderungen an den einstellbaren Nullpunkten sind modal wirksam und werden bei Programmstart auf die Werte aus dem Einrichtblatt zurückgesetzt. Das Einrichtblatt wird durch G51 nicht verändert.

Änderungen am aktiven einstellbaren Nullpunkt werden sofort aktiv.

NC-Satz

G51 Q XA/XI YA/YI ZA/ZI

Adressen

Q		Nummer des einstellbaren Nullpunktes (54-57)	
XA / XI	[X10]	Verschiebung in X	
		XA	absolut
		XI	inkrementell
YA / YI	[Y10]	Verschiebung in Y	
		YA	absolut
		YI	inkrementell
ZA / ZI	[Z10]	Verschiebung in Z	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell

! Programmierhinweise

Die absoluten Adressen überschreiben den jeweils aktuellen Eintrag des Nullpunktes. Der Wert der inkrementellen Adressen wird zum jeweils aktuellen Eintrag des Nullpunktes addiert.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G52 - Satzweise Interpolation in Maschinenkoordinaten

Funktion

Der Befehl G52 aktiviert die Interpolation in Maschinenkoordinaten nur für den enthaltenden NC-Satz. Der Befehl hat keine Auswirkung auf Folgesätze.

Bei der Interpolation in Maschinenkoordinaten werden der aktive einstellbare Nullpunkt (G54 bis G59) sowie alle Transformationen (G15, G16, G59), Spiegelungen (G66) und Skalierungen (G67) ignoriert. Die Werkzeugkorrektur wird berücksichtigt.

Die Interpolation in Maschinenkoordinaten kann absolut oder inkrementell erfolgen.

NC-Satz

G52 G X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI D A S H F E S M M T T C T R T X T Y T Z
G52 G X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI (A/AA/AI | B/BA/BI | C/CA/CI) F E S M
M T T C T R T X T Y T Z

Adressen

G		weiterer G-Befehl
		Zielpunkt
X / XA / XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y / YA / YI		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
		Rundachsen
A / AA / AI		Wert der A-Achse
	AA	absolut
	AI	inkrementell
	A	G90/G91
B / BA / BI		Wert der B-Achse
	BA	absolut
	BI	inkrementell
	B	G90/G91

C/ CA/ CI		Wert der C-Achse
	CA	absolut
	CI	inkrementell
	C	G90/G91
Strecke		
D		Länge (positiv) Die Länge wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.
AS		Anstiegswinkel Der Anstiegswinkel wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.
Lösungsauswahl		
H	[1]	Winkelkriterium
	1	kleinerer Anstiegswinkel
	2	größerer Anstiegswinkel
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl
Werkzeug		
T		Werkzeug
TC		Korrekturwertsatz
TR		Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

! Programmierhinweise

Die NC erwartet im selben NC-Satz eine Linearbewegung. Wird keine Bewegung explizit programmiert, so gilt die modal aktive Bewegung. Die Interpolation in Maschinenkoordinaten auf einem Kreisbogen beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung.

Die Programmierung von Fasen oder Verrundungen ist ebenfalls unzulässig.

G53 - Maschinennullpunkt

Funktion

Der Befehl G53 aktiviert den Maschinennullpunkt. Die Aktivierung setzt alle inkrementellen Transformationen bestehend aus den Nullpunktverschiebungen, den Drehungen sowie Spiegelungen und Skalierungen zurück. Die aktive Bearbeitungsebene bleibt erhalten.

Der Maschinennullpunkt bleibt aktiv, bis er durch die Anwahl eines einstellbaren Nullpunktes (G54 bis G57) deaktiviert wird.

NC-Satz

G53

Programmierhinweise

Mit Programmstart ist der Maschinennullpunkt aktiv.

G54-G57 - Einstellbare Nullpunkte

Funktion

Die Befehle G54 bis G57 aktivieren jeweils einen einstellbaren Nullpunkt. Die Aktivierung setzt alle inkrementellen Transformationen bestehend aus den Nullpunktverschiebungen, den Drehungen sowie Spiegelungen und Skalierungen zurück. Die aktive Bearbeitungsebene bleibt erhalten.

Der Nullpunkt bleibt aktiv, bis er durch die Anwahl eines anderen Nullpunktes (G53 bis G57) deaktiviert wird.

Alle einstellbaren Nullpunkte werden bei Programmstart von der NC aus dem Einrichtblatt gelesen.

NC-Satz

G54/G55/G56/G57

Adressen

G54 / G55 / G56 / G57	Nullpunkt	
	54	1. Einstellbarer Nullpunkt
	55	2. Einstellbarer Nullpunkt
	56	3. Einstellbarer Nullpunkt
	57	4. Einstellbarer Nullpunkt

Programmierhinweise

Mit Programmstart ist der Maschinennullpunkt (G53) aktiv.

G58 - Inkrementelle Nullpunktverschiebung in Polarkoordinaten und Drehung

Funktion

Mit dem Befehl G58 wird der Nullpunkt des aktuellen Werkstückkoordinatensystems der ZX-Bearbeitungsebene in einen mit Polarkoordinaten programmierten Punkt RP, AP der ZX-Bearbeitungsebene verschoben. Die an die Verschiebung anschließende optionale Drehung um die Zustellachse wird mit WA/WI programmiert.

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.

NC-Satz

G58 RP AP WA/WI

Adressen

		Verschiebung	
RP		Polarradius	
AP		Polarwinkel	
		Drehung	
WA/ WI	<i>[WIO]</i>	Drehung in der Interpolationsebene	
		WA	absolut
		WI	inkrementell

! Programmierhinweise

Ein absoluter Winkelwert WA bezieht sich auf das Koordinatensystem des aktiven Einstellbaren Nullpunktes.

Ein inkrementeller Winkelwert WI bezieht sich auf das aktuelle Werkstückkoordinatensystem.

Wichtige Hinweise:

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G59 - Inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung

Funktion

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

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.

NC-Satz

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

Adressen

Verschiebung		
ZA / ZI	<i>[ZI0]</i>	Nullpunktverschiebung in Z
		ZA absolut
		ZI inkrementell
XA / XI	<i>[XI0]</i>	Nullpunktverschiebung in X
		XA absolut
		XI inkrementell
YA / YI	<i>[YI0]</i>	Nullpunktverschiebung in Y
		YA absolut
		YI inkrementell
Drehung		
WA / WI	<i>[WI0]</i>	Drehung in der Interpolationsebene
		WA absolut
		WI inkrementell
Rundachsen		
AA / AI	<i>[AI0]</i>	Verschiebung des A-Achs-Nullpunktes
		AA absolut
		AI inkrementell
BA / BI	<i>[BI0]</i>	Verschiebung des B-Achs-Nullpunktes
		BA absolut
		BI inkrementell
CA / CI	<i>[CI0]</i>	Verschiebung des C-Achs-Nullpunktes
		CA absolut
		CI inkrementell

! Programmierhinweise

Ein absoluter Koordinatenwert XA, YA, ZA oder absoluter Winkelwert WA mit dem Endbuchstaben 'A' bezieht sich auf das Koordinatensystem des aktiven Einstellbaren Nullpunktes. 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 Nullpunktes sind und XI, YI, ZI, keine inkrementellen Adressen zur aktuellen Werkzeugposition sondern Verschiebungen im aktuellen Werkstückkoordinatensystem sind.

Es sind absolute und inkrementelle Koordinaten gemischt programmierbar.

Die gemischte Programmierung ist aber nicht sinnvoll, wenn das aktuelle Werkstückkoordinatensystem gegenüber dem Maschinenkoordinatensystem um +/-90 Grad gedreht ist, da dann eine inkrementelle Verschiebung in der einen Geometrieachse mit der positiven oder negativen anderen Geometrieachse übereinstimmt.

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

Mehrfache Programmierungen von G59 sind möglich, die eine inkrementelle Verschiebung des jeweiligen aktuellen Koordinatensystems gestatten.

Da bei einem gedrehten (!=0 Grad, !=180 Grad) aktuellen Werkstückkoordinatensystem die Verschiebung des Werkstücknullpunktes 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), so muss der G59 Befehl in zwei G59 Befehle aufgeteilt werden:

Beispiel G18 (ohne Zustellachse Y)

G59 ZA/XA	absolute Verschiebung in einer Bearbeitungsebenenkoordinate Z oder X
G59 XI/ZI WAWI	inkrementelle Verschiebung in der anderen Bearbeitungsebenenkoordinate
	Eine Verschiebung in der Zustellachse Y kann in einer der beiden Zeilen angefügt werden.

In Abhängigkeit von DIA, DRA und RAD sind XA und XI im Radius- oder Durchmessermaß zu programmieren.

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

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G61 - Linearinterpolation für Konturzüge

Funktion

Der Befehl G61 erzeugt eine Bewegung im Vorschub. Der programmierte Zielpunkt wird linear mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G1 werden erweiterte geometrische Funktionen (Länge, Anstiegswinkel und Übergangswinkel der Strecke) für die Programmierung von Konturzügen unterstützt. Zusätzlich können sowohl der Start- als auch der Zielpunkt unbestimmt sein.

NC-Satz

G61 Z/ZA/ZI X/XA/XI D AT AS RN O H F E S M M

Adressen

		Zielpunkt
Z/ ZA/ ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
X/ XA/ XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
		Strecke
D		Länge der Verfahrstrecke
AT		Übergangswinkel im Startpunkt
		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 Anstiegswinkel wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite
		Lösungsauswahl
O	[1]	Längenkriterium
	1	kürzere Strecke
	2	längere Strecke

H	[1]	Winkelkriterium
	1	kleinerer Anstiegswinkel
	2	größerer Anstiegswinkel
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Selbthaltefunktion

Die Selbsthaltefunktion ist für die ersten beiden Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene ausgesetzt.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Das Längenkriterium (O) hat Vorrang gegenüber dem Winkelkriterium (H).

Für das Winkelkriterium werden die Winkel auf den Bereich zwischen 0 Grad und +360 Grad normiert und anschließend verglichen.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G62 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge

Funktion

Der Befehl G62 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen im Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G2 werden erweiterte geometrische Funktionen (Radius und verschiedene Winkel des Kreisbogens) für die Programmierung von Konturzügen unterstützt. Zusätzlich können sowohl der Start- als auch der Zielpunkt unbestimmt sein.

NC-Satz

G62 Z/ZA/ZI X/XA/XI K/KA I/IA R AT AS AO AE AP RN O H F E S M M

Adressen

		Zielpunkt
Z/ ZA/ ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
X/ XA/ XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Kreisbogen		
K/ KA		Z-Koordinate des Mittelpunktes
	KA	Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
	K	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
I/ IA		X-Koordinate des Mittelpunktes
	IA	Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
	I	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
R		Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl >0 kürzerer Bogen <0 längerer Bogen
AT		Übergangswinkel im Startpunkt Übergangswinkel im Startpunkt zur vorhergehenden Verfahrbewegung ohne Übergangselement gemessen von der Endrichtung der vorhergehenden Verfahrbewegung. Insbesondere AT0 tangentialer Übergang und AT180 spitzer Tangentenübergang.
AS		Tangentenwinkel im Startpunkt

AO		Öffnungswinkel (positiv) Der Öffnungswinkel wird ohne Vorzeichen programmiert, weil die Orientierung des Kreisbogens über den Befehl festgelegt wird.
AE		Tangentenwinkel im Zielpunkt
AP		Polarwinkel des Zielpunktes
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite

Lösungsauswahl

O	[1]	Längenkriterium
		1 kürzerer Bogen
		2 längerer Bogen
H	[1]	Winkelkriterium
		1 kleinerer Winkel der Tangente im Startpunkt
		2 größerer Winkel der Tangente im Startpunkt

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

! Programmierhinweise

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

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Selbthaltefunktion

Die Selbsthaltefunktion ist für die ersten beiden Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene ausgesetzt.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Bei der Programmierung des Radius (R) erfolgt die Lösungsauswahl zusätzlich über das Vorzeichen des Radius nach dem Längenkriterium, falls die Lösungsauswahl (O) nicht explizit vorgegeben wird.

Das Längenkriterium (O) hat Vorrang gegenüber dem Winkelkriterium (H).

Für das Winkelkriterium werden die Winkel auf den Bereich zwischen 0 Grad und +360 Grad normiert und anschließend verglichen.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G63 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge

Funktion

Der Befehl G63 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen entgegen dem Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G3 werden erweiterte geometrische Funktionen (Radius und verschiedene Winkel des Kreisbogens) für die Programmierung von Konturzügen unterstützt. Zusätzlich können sowohl der Start- als auch der Zielpunkt unbestimmt sein.

NC-Satz

G63 Z/ZA/ZI X/XA/XI K/KA I/IA R AT AS AO AE AP RN O H F E S M M

Adressen

		Zielpunkt
Z/ ZA/ ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
X/ XA/ XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Kreisbogen		
K/ KA		Z-Koordinate des Mittelpunktes
	KA	Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
	K	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
I/ IA		X-Koordinate des Mittelpunktes
	IA	Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
	I	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
R		Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl >0 kürzerer Bogen <0 längerer Bogen
AT		Übergangswinkel im Startpunkt Übergangswinkel im Startpunkt zur vorhergehenden Verfahrbewegung ohne Übergangselement gemessen von der Endrichtung der vorhergehenden Verfahrbewegung. Insbesondere AT0 tangentialer Übergang und AT180 spitzer Tangentenübergang.

AS		Tangentenwinkel im Startpunkt
AO		Öffnungswinkel (positiv) Der Öffnungswinkel wird ohne Vorzeichen programmiert, weil die Orientierung des Kreisbogens über den Befehl festgelegt wird.
AE		Tangentenwinkel im Zielpunkt
AP		Polarwinkel des Zielpunktes
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite

Lösungsauswahl

O	[1]	Längenkriterium
		1 kürzerer Bogen
		2 längerer Bogen
H	[1]	Winkelkriterium
		1 kleinerer Winkel der Tangente im Startpunkt
		2 größerer Winkel der Tangente im Startpunkt

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

! Programmierhinweise

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

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Selbsthaltefunktion

Die Selbsthaltefunktion ist für die ersten beiden Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene ausgesetzt.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer

Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Bei der Programmierung des Radius (R) erfolgt die Lösungsauswahl zusätzlich über das Vorzeichen des Radius nach dem Längenkriterium, falls die Lösungsauswahl (O) nicht explizit vorgegeben wird.

Das Längenkriterium (O) hat Vorrang gegenüber dem Winkelkriterium (H).

Für das Winkelkriterium werden die Winkel auf den Bereich zwischen 0 Grad und +360 Grad normiert und anschließend verglichen.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G66 - Spiegeln

Funktion

Der Befehl G66 definiert eine Spiegelung des Werkstückkoordinatensystems. Die Spiegelung erfolgt in der aktiven Interpolationsebene in den folgenden 4 Varianten:

1. Spiegeln an der Z-Achse

Der Befehl G66 Z spiegelt die Interpolationsebene an der Z-Achse. Die Bedeutung der Wegbedingungen G2 und G3 sowie G41 und G42 wird getauscht.

2. Spiegeln an der X-Achse

Der Befehl G66 X spiegelt die Interpolationsebene an der X-Achse. Die Bedeutung der Wegbedingungen G2 und G3 sowie G41 und G42 wird getauscht.

3. Spiegeln an der Z- und X- Achse gleichzeitig

Der Befehl G66 Z X spiegelt an Z- und X- Achse gleichzeitig. Das entspricht einer Punktspiegelung oder Drehung um 180 Grad. Die Bedeutung der Wegbedingungen G2 und G3 sowie G41 und G42 bleibt erhalten.

4. Keine Spiegelung

Der Befehl G66 (ohne weitere Adressen) hebt alle aktiven Spiegelungen auf. Diese Variante ist die Voreinstellung bei Programmstart.

Dabei steht die Z für die 1. Geometrieachse und die X für die 2. Geometrieachse in der aktiven Interpolationsebene. Eine Spiegelung der Zustellachse ist nicht möglich.

Eine programmierte Spiegelung bleibt modal erhalten, bis sie durch eine erneute Spiegelung überschrieben wird. Mit Programmstart werden alle Spiegelungen zurückgesetzt.

NC-Satz

G66 Z X

Adressen

Z	Spiegeln an der Z-Achse Z ohne Adresswert
X	Spiegeln an der X-Achse X ohne Adresswert

! Programmierhinweise

Der Befehl G66 ohne Adressen hebt alle bestehenden Skalierungen auf.

Die Spiegelungen erfolgen absolut immer vom Ausgangssystem aus. Insbesondere ist damit die aufeinanderfolgende Programmierung von G66 Z und G66 X von G66 Z X verschieden.

Die Auswirkung der Spiegelung hängt von der aktiven Interpolationsebene ab. Die Anwahl einer Interpolationsebene hebt automatisch alle aktiven Spiegelungen auf.

Die in einem gespiegelten Koordinatensystem programmierten Nullpunkte bleiben erhalten.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G67 - Skalieren

Funktion

Der Befehl G67 setzt den Skalierungsfaktor für die Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene. 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 (Y in G18) unabhängig von der Skalierung in der Interpolationsebene (Z, X in G18) gesetzt werden.

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

NC-Satz

G67 **SK** **Q**

Adressen

SK	[1]	Skalierungsfaktor
		SK=1: Zurück zum Originalmaßstab
		SK>1: Vergrößerung um den Faktor SK gegenüber dem nicht skalierten Werkstückkoordinatensystem
		SK<1: Verkleinerung um den Faktor SK gegenüber dem nicht skalierten Werkstückkoordinatensystem
Q	[1]	Achsauswahl
	1	Skalierung aller drei Geometrieachsen (Z, X und Y)
	2	Skalierung der ersten beiden Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene (Z und X in G18)
	3	Skalierung der dritten Geometrieachse (Zustellachse) der aktiven Interpolationsebene (Y in G18)

! Programmierhinweise

Der Befehl G67 ohne Adressen hebt alle bestehenden Skalierungen auf.

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

Die Auswirkung der Skalierung hängt von der aktiven Interpolationsebene ab. Für den Fall, dass in Zustellachse und Interpolationsebene unterschiedliche Skalierungsfaktoren aktiv sind, führt ein Wechsel der Interpolationsebene zu unerwartetem Verhalten. Es wird empfohlen die Skalierung in jedem Fall anschließend neu aufzusetzen.

Vorschübe, Schnittgeschwindigkeiten sowie die An- und Abfahrbewegungen der Werkzeugradiuskompensation werden unter anderem nicht skaliert.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G70 - Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)

Funktion

Der Befehl G70 setzt die aktive Maßeinheit auf Zoll (Inch). Alle Positions- und Längenangaben sind nach der Programmierung von G70 im Zollmaß anzugeben.

Ebenso verändern sich die Einheiten der Technologiedaten für:

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

Die Maßeinheit bleibt modal wirksam, bis sie mit G71 umgesetzt wird. Bei Programmstart ist als Voreinstellung immer das metrische Maßsystem aktiv.

NC-Satz

G70

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G71 - Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)

Funktion

Der Befehl G71 setzt die aktive Maßeinheit auf Millimeter (mm). Alle Positions- und Längenangaben sind nach der Programmierung von G71 im metrischen Maßsystem anzugeben.

Ebenso verändern sich die Einheiten der Technologiedaten für:

1. die Vorschubgeschwindigkeit in Millimeter pro Umdrehung (mm/U)
2. die Schnittgeschwindigkeit in Meter pro Minute (m/min)

Die Maßeinheit bleibt modal wirksam, bis sie mit G70 umgesetzt wird. Bei Programmstart ist als Voreinstellung immer das metrische Maßsystem aktiv.

NC-Satz

G71

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G90 - Absolutmaßangabe

Funktion

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.

Die Absolutmaßangabe bleibt modal wirksam, bis sie mit G91 (Kettenmaßangabe) überschrieben wird. Die Voreinstellung bei Programmstart ist G90.

NC-Satz

G90

G91 - Kettenmaßangabe

Funktion

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.

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

NC-Satz

G91

G92 - Drehzahlbegrenzung

Funktion

Der Befehl G92 definiert eine Drehzahlbegrenzung für die aktive Spindel in der Betriebsart Konstante Schnittgeschwindigkeit.

Ist beim Plandrehen auf einen sehr kleinen Durchmesser oder den Durchmesser Null die Betriebsart Konstante Schnittgeschwindigkeit aktiv, so läuft die Spindel auf ihre maximale Drehzahl hoch. Das kann fatale Folgen für die Werkstückspannung haben. Um dies zu verhindern, sollte in Zusammenhang mit einer konstanten Schnittgeschwindigkeit eine Drehzahlbegrenzung mit G92 programmiert werden.

Die Drehzahlbegrenzung ist an die Spindel gebunden und bleibt erhalten, wenn zwischenzeitlich Spindel und Betriebsart gewechselt werden. Fall nötig muss die Drehzahlbegrenzung für jede Spindel, zum Beispiel Hauptspindel, Gegenspindel oder Werkzeugspindel, separat programmiert werden.

NC-Satz



Adressen



maximale Drehzahl in U/min



! Programmierhinweise

Bei der konstanten Schnittgeschwindigkeit (G96) wird die aus Bearbeitungsdurchmesser und Schnittgeschwindigkeit berechnete Drehzahl auf die mit G92 programmierte maximale Drehzahl reduziert (in diesem Fall wird damit die Schnittgeschwindigkeit reduziert).

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G94 - Vorschub in Millimeter pro Minute

Funktion

Der Befehl G94 setzt das aktive Vorschubmaß auf Millimeter pro Minute. Im Vorschubmaß Millimeter pro Minute werden alle Vorschübe (F) und Feinvorschübe (E) in Millimeter pro Minute programmiert. Das Vorschubmaß bleibt modal aktiv, bis es durch G95 umgesetzt wird.

NC-Satz

G94 **F** **E**

Adressen

F		Vorschub
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub

Programmierhinweise

Die NC hält getrennte Vorschübe für G94 und G95. Nach einem Wechsel auf G94 ist wieder der zuletzt unter G94 programmierte Vorschub aktiv.

Wenn eine Bewegung im Vorschub programmiert wird, ohne dass vorher ein Vorschub gesetzt wurde, meldet die NC den Fehler 'Kein Vorschub programmiert'.

Für alle PAL-Fräsmaschinen ist G94 die Voreinstellung bei Programmstart.

G95 - Vorschub in Millimeter pro Umdrehung

Funktion

Der Befehl G95 setzt das aktive Vorschubmaß auf Millimeter pro Umdrehung. Im Vorschubmaß Millimeter pro Umdrehung werden alle Vorschübe (F) und Feinvorschübe (E) in Millimeter pro Umdrehung programmiert. Das Vorschubmaß bleibt modal aktiv, bis es durch G94 umgesetzt wird.

NC-Satz

G95 G F E

Adressen

F		Vorschub
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub

Programmierhinweise

Die NC hält getrennte Vorschübe für G94 und G95. Nach einem Wechsel auf G95 ist wieder der zuletzt unter G95 programmierte Vorschub aktiv.

Wenn eine Bewegung im Vorschub programmiert wird, ohne dass vorher ein Vorschub gesetzt wurde, meldet die NC den Fehler 'Kein Vorschub programmiert'.

Für alle PAL-Drehmaschinen ist G95 die Voreinstellung bei Programmstart.

G96 - Konstante Schnittgeschwindigkeit

Funktion

Der Befehl G96 schaltet die NC in die Betriebsart Konstante Schnittgeschwindigkeit. In dieser Betriebsart wird im Register S die Schnittgeschwindigkeit in der Einheit Meter pro Minute programmiert. Die NC regelt die aktive Spindel, so dass die programmierte Schnittgeschwindigkeit erreicht und beibehalten wird.

Die NC entscheidet anhand des aktiven Werkzeugs, ob die Schnittgeschwindigkeit am Werkstück gemessen wird (Drehwerkzeuge) oder am Werkzeug (Fräser und Bohrer).

Die Betriebsart bleibt bestehen bis sie mit G97 aufgehoben wird. Mit Programmstart ist als Voreinstellung die Betriebsart Konstante Drehzahl (G97) aktiv.

NC-Satz

G96 S

Adressen

S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
----------	---------------------------------

Programmierhinweise

Um beim Drehen mit kleinen X-Koordinatenwerten sicherzustellen, dass die Drehzahl nicht über einen für die Werkstückspannung maximal zulässigen Wert ansteigt, sollte ergänzend mit dem Befehl G92, eine Drehzahlbegrenzung programmiert werden.

G97 - Konstante Drehzahl

Funktion

Der Befehl G97 schaltet die NC in die Betriebsart Konstante Drehzahl. In dieser Betriebsart wird im Register S eine Drehzahl in der Einheit Umdrehungen pro Minute programmiert.

Die Betriebsart bleibt bestehen bis sie mit G96 aufgehoben wird. Mit Programmstart ist als Voreinstellung die Betriebsart Konstante Drehzahl (G97) aktiv.

NC-Satz

G97 S

Adressen

S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
----------	---------------------------------

Programmierhinweise

Bei einem Wechsel von G96 auf G97 behält die NC die aktuelle Drehzahl bei, sofern keine Drehzahl im selben NC-Satz programmiert wird.

PAL2019-Bearbeitungszyklen

•	Konturschruppzyklen G81, G82, G83, G87, G89
•	Schlichtaufmaße
G31	Gewindezyklus
G32	Gewindebohrzyklus
G33	Gewindestrehlgang
G64	Nutenstoßen
G80	Zyklusabschluss
G81	Längsschruppzyklus
G82	Planschruppzyklus
G83	Konturparalleler Schruppzyklus
G84	Tieflochbohrzyklus (zentrisch)
G85	Freistichzyklus
G86	Radialer Einstechzyklus
G87	Radialer Konturstechzyklus
G88	Axialer Einstechzyklus
G89	Axialer Konturstechzyklus

Konturschruppzyklen G81, G82, G83, G87, G89

Die Konturdefinition erfolgt im Anschluß an die Zyklusprogrammierung durch eine beliebige Kombination von Wegbefehlen, Unterprogrammaufrufen und Programmteilwiederholungen, die durch den Befehl G80 abgeschlossen werden.

Die Programmierung des ersten Konturpunktes muß absolut durch G0 oder G1 erfolgen.

Beim Schruppen werden die beim Zyklusaufwurf aktiven Werte für Vorschub, Drehzahl oder Schnittgeschwindigkeit verwendet. Eine Vorschubprogrammierung bei der Konturdefinition (z.B. für das anschließende Schlichten) wird beim Schruppen ignoriert.

Beim Schlichten werden die programmierten Aufmaße ignoriert. Bei einem Zyklusaufwurf zum Schruppen mit anschließendem Schlichten, wird die Schlichtbearbeitung unterdrückt, wenn kein Schlichtaufmaß programmiert wurde.

Die Zyklen arbeiten prinzipiell mit Werkzeugradiuskorrektur und berücksichtigen beim Schruppen die im Zyklusaufwurf programmierten Aufmaße. Weiter wird für die Berechnung der Schneidenradiuskompensation die gesamte Werkstückkontur herangezogen, indem eine mathematische Äquidistante im Abstand des Schneidenradius des verwendeten Werkzeuges berechnet wird. Die Äquidistante wird anschließend für die Bestimmung der Verfahrbewegungen des Werkzeuges genutzt. Dieses Vorgehen entspricht einer beliebig großen Vorschau bei der Berechnung der Schneidenradiuskompensation.

Der Werkzeugquadrant legt fest, ob es sich um eine Innen- oder Außenbearbeitung handelt.

Der Zyklus berechnet sich unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes V in Bearbeitungsrichtung einen Bearbeitungsstartpunkt aus der programmierten Kontur, der im Fall des Auswahlparameters O2 vor der Zyklusbearbeitung im Eilgang angefahren wird.

Die aktuelle Werkzeugposition wird mit dem Auswahlparameter O1 (Vorgabewert) als Bearbeitungsstartpunkt verwendet.

Der Bearbeitungsquadrant ist einer von achsparallelen Begrenzungslinien durch den Bearbeitungsstartpunkt definierten vier Quadranten der ZX-Ebene. Die Auswahl des Bearbeitungsquadranten erfolgt mit dem Werkzeugquadrant. Im Fall der Werkzeugquadranten 6 und 8 wird der Bearbeitungsquadrant in der dem Werkzeug gegenüberliegenden Halbebene gemäß der Lage der Werkstückspindel (Haupt- oder Gegenspindel) ausgewählt.

Im Fall O1 werden über die Quadrantenbegrenzung hinausgehende Konturstücke abgeschnitten bzw. die Kontur in einem Zielpunkt achsparallel auf die Quadrantenbegrenzung verlängert, falls der Zielpunkt im Inneren des Quadranten liegt.

Durch Setzen von Bearbeitungsgrenzen XA und/oder ZA in G80 kann die Bearbeitung in den Schruppzyklen an der Z-parallelen Geraden $XA=const$ und/oder der X-parallelen Geraden $ZA=const$ abgeschnitten werden.

Schlichtaufmaße

Bei den Bearbeitungszyklen können drei verschiedene Schlichtaufmaße programmiert werden. Die bei einem Bearbeitungszyklus mit den Aufmaßadressen angegebenen Aufmaße können beliebig miteinander kombiniert werden.

AZ	<p>Verschiebungs-Schlichtaufmaß in Z:</p> <p>Die Bearbeitungskontur wird in Richtung der Z-Achse um AZ (unter Berücksichtigung des Vorzeichens) verschoben:</p> <p>AZ positiv: Bearbeitungskontur in Richtung der positiven Z-Achse verschoben</p> <p>AZ negativ: Bearbeitungskontur in Richtung der negativen Z-Achse verschoben</p>
AX	<p>Verschiebungs-Schlichtaufmaß in X (im Radiusmaß):</p> <p>Die Bearbeitungskontur wird in Richtung der X-Achse um AX (unter Berücksichtigung des Vorzeichens) verschoben:</p> <p>AX positiv: Bearbeitungskontur in Richtung der positiven X-Achse verschoben</p> <p>AX negativ: Bearbeitungskontur in Richtung der negativen X-Achse verschoben</p> <p>Das Vorzeichen ist bei der Programmierung von Aufmaßen bei der Außen- (positiv) und Innenbearbeitung (negativ) entsprechend zu setzen.</p>
AK	<p>Konturparalleles (äquidistantes) Schlichtaufmaß:</p> <p>Es wird zur Bearbeitungskontur eine im Abstand AK liegende äquidistante Kontur als neue Bearbeitungskontur berechnet.</p> <p>Dabei wird über den Werkzeugquadranten festgelegt, ob die in positiver (Außenbearbeitung) oder negativer X-Richtung (Innenbearbeitung) oder in positiver Z-Richtung (Axialgesenk) liegende Äquidistante verwendet wird.</p> <p>Die äquidistante Bearbeitungskontur wird dann gegebenenfalls noch um die Verschiebungs-Schlichtaufmaße AZ, AX verschoben.</p> <p>Man beachte:</p> <p>Im Fall eines negativen Aufmaßes AK wird die auf der anderen Seite liegende Äquidistante verwendet.</p> <p>Diese zu der Programmierung von AX, AZ unterschiedliche Regelung entspricht der steuerungsüblichen Vorgehensweise.</p>

Die Programmierung eines äquidistanten Schlichtaufmaßes ist immer dann erforderlich, wenn der Konturverlauf nicht monoton (sondern steigend und fallend) ist. **Anmerkung:** Eine Kontur für eine Radialbearbeitung z.B. heißt monoton, wenn entweder der gesamte über der Z-Achse aufgetragene Konturverlauf in X kontinuierlich ansteigt bzw. gleich bleibt oder der gesamte Konturverlauf in X kontinuierlich fällt bzw. gleich bleibt.

Ist ein Schlichtaufmaß programmiert, so wird in den Schrupp- oder Gesenkzyklen die Schnittaufteilung mit der beaufmaßten Kontur, Werkzeugradiuskorrektur und den Werkzeugwinkeln bzw. bei Gesenkzyklen auch mit der gesamten Werkzeugschneidengeometrie berechnet.

Beim Schlichten mit einem Bearbeitungszyklus werden die Aufmaße stets ignoriert.

! Programmierhinweise

Da der Konturverlauf jeweils für das Vor- und Fertigdrehen beschrieben werden muss, bietet es sich für das Schruppen und Schlichten mit unterschiedlichen Werkzeugen an, die Konturbeschreibung in einem Unterprogramm abzulegen und dieses im Hauptprogramm jeweils für das Vor- und Fertigdrehen aufzurufen. Alternativ zum Unterprogramm kann für das Fertigdrehen auch eine Programmteilerholung mit dem G23-Befehl programmiert werden.

G31 - Gewindezyklus

Funktion

Der Befehl G31 definiert einen Gewindezyklus zum Fertigen von Längs- und Kegelgewinden bis 45 Grad mit konstanter Steigung. Über den Werkzeugquadranten entscheidet der Zyklus, ob ein Innen- oder Außengewinde geschnitten wird.

NC-Satz

G31 Z/ZA/ZI X/XA/XI F D ZS XS DA DU Q O AE H S M M

Adressen

		Gewinde	
Z/ZA/ ZI		Gewindeendpunkt in Z	
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell	
	Z	G90/G91	
Metrisches ISO-Gewinde			
XA F D		Regelgewinde Reihe 1 (Bolzen)	
XA F D		Regelgewinde Reihe 1 (Mutter)	
XA F D		Feingewinde (Bolzen)	
XA F D		Feingewinde (Mutter)	
benutzerdefiniertes Gewinde			
X/XA/ XI		Gewindeendpunkt in X	
	XA	absolut	
	XI	inkrementell	
	X	G90/G91	
F		Gewindesteigung	
D		Gewindetiefe (Radiusmaß)	
Optionen			
ZS	[*]	Gewindestartpunkt in Z (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * um DA verschobene aktuelle Werkzeugposition in Z</i>	
XS	[*]	Gewindestartpunkt in X (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Gewindeendpunkt in X</i>	
DA	[0]	Gewindeanlaufstrecke gemessen in Z-achspareller Richtung	
DU	[0]	Gewindeüberlaufstrecke gemessen in Z-achspareller Richtung	

Q	[1]	Zahl der Schnitte
O	[0]	Anzahl der Leerdurchläufe
AE	[29]	Eintauchwinkel zur X-Achse für Zustellung auf der rechten oder linken Flanke
H	[1]	Zustellart- und Restschnittauswahl Restschnitte 1/2, 1/4, 1/8, 1/8 x (D/Q)
	1	Ohne Versatz, Restschnitte aus
	2	Linke Flanke, Restschnitte aus
	3	Rechte Flanke, Restschnitte aus
	4	Versatz R/L wechselweise, Restschnitte aus
	11	Ohne Versatz, Restschnitte ein
	12	Linke Flanke, Restschnitte ein
	13	Rechte Flanke, Restschnitte ein
	14	Versatz R/L wechselweise, Restschnitte ein
Schnittwerte		
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

! Programmierhinweise

Die Gewindesteigung wird in Richtung der Z-Achse gemessen.

Ein mehrgängiges Gewinde kann durch mehrere Zyklusaufrufe mit der Variation des Startpunktes gefertigt werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G32 - Gewindebohrzyklus

Funktion

Der Befehl G32 definiert einen Gewindebohrzyklus zum Fertigen von zentrischen Innengewinden mit einem feststehenden Gewindebohrer und rotierender Werkstückspindel.

NC-Satz

G32 Z/ZA/ZI F S M M

Adressen

		Gewinde	
Z/ZA/ZI	Gewindeendpunkt in Z		
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell	
	Z	G90/G91	
F	Gewindesteigung		
		Schnittwerte	
S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit		
M	Drehrichtung		
M	Kühlmittel		

! Programmierhinweise

Der Zyklus kehrt die Spindeldrehrichtung im Gewindeendpunkt um, um mit gegenläufiger Spindel aus dem Gewinde ausziehen. Am Ende des Zyklus wird die ursprüngliche Drehrichtung wieder hergestellt.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G33 - Gewindestrehlgang

Funktion

Der Befehl G33 definiert einen Gewindeschnitt (auch Gewindestrehlgang) zum Fertigen von Längs- und Kegelgewinden bis 45 Grad mit konstanter Steigung. Der Vorschub und die Drehzahl werden in Abhängigkeit von der Gewindesteigung synchronisiert, um ein Gewinde zu schneiden.

NC-Satz

G33 Z/ZA/ZI X/XA/XI F S M M

Adressen

		Gewinde	
Z/ZA/ZI	Gewindeendpunkt in Z		
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell	
	Z	G90/G91	
X/XA/XI	Gewindeendpunkt in X		
	XA	absolut	
	XI	inkrementell	
	X	G90/G91	
F	Gewindesteigung		
Schnittwerte			
S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit		
M	Drehrichtung		
M	Kühlmittel		

! Programmierhinweise

Die Gewindesteigung wird in Richtung der Z-Achse gemessen.

Der Befehl definiert einen einzelnen Gewindeschnitt. Um ein Gewinde zu fertigen, müssen zusätzlich Zustell-, Rückzugs- und Rücklaufbewegungen programmiert werden. Bei mehreren Schnitten für ein Gewinde können durch geeignete Vorgaben der Startpunkte unterschiedliche Zustellarten realisiert werden (z.B. zentrische Zustellung, Zustellung auf der rechten oder linken Flanke). Auf die gleiche Weise ist es möglich, mehrgängige Gewinde zu fertigen.

G64 - Nutzenstoßen

Funktion

Der Befehl G64 definiert einen Zyklus zum Nutzenstoßen. Der Zyklus wird mit der Definition einmalig ausgeführt.

NC-Satz

G64 **Z/ZA/ZI** **X/XA/XI** **D** **ZS** **XS** **DA** **DU** **F**

Adressen

		Zielpunkt
Z/ZA/ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X/XA/XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Zyklus		
D		Zustellung in X
ZS	[*]	Startpunkt der Nut in Z
		Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition
XS	[*]	Startpunkt der Nut in X
		Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition
DA	[1]	Einlauflänge vor dem Startpunkt
DU	[0]	Auslauflänge nach dem Zielunkt
Schnittwerte		
F		Vorschub

! Programmierhinweise

Das Stoßen einer Nut erfordert ein spezielles Stoßwerkzeug. Aufgrund der großen auf den Werkzeugträger einwirkenden Kräfte wird das Stoßen nur mit sehr kleinen Zustellungen durchgeführt. Üblicherweise wird vom Zyklus dabei die Werkstückspindel geklemmt.

Die C-Achse wird vor dem Zyklusaufwurf positioniert.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G80 - Zyklusabschluss

Funktion

Der Befehl G80 schließt die Definition eines Zyklus oder einer Kontur ab. Der Zyklus wird mit dem Abschluss einmalig ausgeführt.

Nur in Verbindung mit den Schruppzyklen G81, G82 und G83 lassen sich über Parameter Bearbeitungsgrenzen festlegen.

NC-Satz

G80 **ZA** **XA**

Adressen

ZA	[*]	Z-Koordinatenwert der X-parallelen Bearbeitungsgrenze
		Voreinstellung: * Es gibt keine X-parallele Bearbeitungs-Begrenzungslinie.
XA	[*]	X-Koordinatenwert der Z-parallelen Bearbeitungsgrenze
		Voreinstellung: * Es gibt keine Z-parallele Bearbeitungs-Begrenzungslinie.

! Programmierhinweise

Durch die achsparallelen Begrenzungslinien ZA=const und/oder XA=const wird zusammen mit den achsparallelen Begrenzungslinien des Bearbeitungsquadranten durch den Bearbeitungsstartpunkt ein Rechteck oder ein bandförmiger Bereich aufgespannt, auf den alle Zyklusverfahrbewegungen eingeschränkt werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G81 - Längsschruppzyklus

Funktion

Mit dem Befehl G81 kann ein Zyklus zum Abspannen in Längsrichtung (parallel zur Z-Achse) mit einer beliebigen, auch Hinterschneidungen enthaltenden Bearbeitungskontur programmiert werden.

Die Bearbeitungskontur wird nach dem Zyklusaufwurf mit den Geometriebefehlen einschließlich der Freistiche beginnend mit einer linearen Bewegung auf den Bearbeitungskonturstartpunkt programmiert. Mit G80 wird die Bearbeitungskontureingabe abgeschlossen. Die Bearbeitungskontur kann durch ein Unterprogramm oder eine Programmteiwiederholung definiert werden, die dann ebenfalls mit G80 abgeschlossen werden.

Der Zyklus kann sowohl für die Innen- als auch für die Außenbearbeitung verwendet werden. Der Zyklus verwendet intern die Werkzeugradiuskorrektur für den gesamten Konturverlauf.

NC-Satz

G81 D H1/H2/H3/H24 AK AZ AX AE AS AV O Q V F E S M M
G81 H4 AE AS AV O V F E S M M

Adressen

H	[2]	Bearbeitungsart
	1	nur Schruppen, 1x45 Grad abheben
	2	stufenweise Auswinkeln entlang der Kontur
	3	wie H1 mit zusätzlichem Konturschnitt am Ende
	4	Schichten der Kontur
	24	Schruppen mit H2 und anschließendes Schichten
D		Zustellung (Radiusmaß) Die Zustellung gibt an, um welchen Wert nach jedem Schnitt in X-Richtung zugestellt wird.
Aufmaße		
AK	[0]	Konturparalleles (äquidistantes) Aufmaß auf die Kontur
AZ	[0]	Aufmaß durch Verschiebung der Kontur in Z-Richtung
AX	[0]	Aufmaß durch Verschiebung der Kontur in X-Richtung im Radiusmaß
Optionen		
O	[1]	Bearbeitungsstartpunkt
	1	aktuelle Werkzeugposition: Wird mit O1 die aktuelle Werkzeugposition als Bearbeitungsstartpunkt ausgewählt, so legt diese Position den Bearbeitungsquadranten fest, der bis auf eine Abhebewegung nicht überfahren wird (Verfahrwegbegrenzung). Die programmierte Bearbeitungskontur wird dann achsparallel auf den Rand des Bearbeitungsquadranten verlängert oder an diesem abgeschnitten. Der Sicherheitsabstand V wird in diesem Fall nicht berücksichtigt.
	2	aus Kontur berechnet: Mit O2 wird der Bearbeitungsquadrant (mit dem Bearbeitungsstartpunkt auf der X-parallelen Begrenzung) durch den Bearbeitungskonturverlauf unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes V bestimmt. Bei einer ansteigenden oder fallenden (also monotonen) Kontur ergibt

		sich dieser aus dem ersten und letzten Konturpunkt und der Verschiebung um den Sicherheitsabstand.
V	[1]	<p>Sicherheitsabstand</p> <p>Das Werkzeug wird vor jedem Schruppschnitt in Z so positioniert, dass es nach der Zustellbewegung in X den Abstand V zum Werkstück hat.</p> <p>Von dort beginnt der Schruppschnitt im Vorschub.</p>
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F]	Eintauchvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel
Werkzeug		
AE	[*]	<p>Eintauchwinkel der Nebenschneide des Werkzeugs (beschränkt durch den Werkzeug-Endwinkel bezüglich der positiven ersten Geometrieachse Z)</p> <p>Wird kein Eintauchwinkel programmiert, so verwendet die NC den Werkzeug-Endwinkel bezüglich der positiven Z-Geometrieachse aus dem Einrichtblatt-Korrekturwertdatensatz des aktuell angewählten Werkzeugs.</p> <p>Dieser Winkel wird um AV verkleinert und dann als Eintauchwinkel AE für die Ausführung des Zyklus benutzt.</p> <p><i>Voreinstellung: * Werkzeug-Endwinkel aus Korrekturwertspeicher</i></p>
AS	[*]	<p>Austauchwinkel der Hauptschneide des Werkzeugs (beschränkt durch den Werkzeug-Seiteneinstellwinkel bezüglich der negativen ersten Geometrieachse Z)</p> <p>Wird kein Austauschwinkel programmiert, so verwendet die NC den Werkzeug-Seiteneinstellwinkel bezüglich der negativen Z-Geometrieachse aus dem Einrichtblatt-Korrekturwertdatensatz des aktuell angewählten Werkzeugs.</p> <p>Dieser Winkel wird um AV verkleinert und dann als Austauschwinkel AS für die Ausführung des Zyklus benutzt.</p> <p><i>Voreinstellung: * Werkzeug-Seiteneinstellwinkel aus Korrekturwertspeicher</i></p>
AV	[1]	Sicherheitswinkelabschlag für AE und AS
Optimierung		
Q	[1]	<p>Leerschnittoptimierung</p> <p>Mit der Programmierung von Q2 optimiert der Zyklus die Verfahrswege des Werkzeuges bezogen auf das tatsächliche aktuelle Werkstück unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes V.</p> <p>Dadurch werden sogenannte 'Luftschnitte' vermieden.</p>
	1	Optimierung aus
	2	Optimierung ein

! Programmierhinweise

Es muss entweder die Zustellung D oder H4 (Adresse H mit Adresswert 4) programmiert werden.

Alle Aufmaße AK, AZ, AX können miteinander kombiniert werden. Bei einem konturparallelen Aufmaß bewirken AZ, AX zusätzliche Aufmaßverschiebungen.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G82 - Planschruppzyklus

Funktion

Mit dem Befehl G82 wird ein Zyklus zum Abspannen in Planrichtung (parallel zur X-Achse) mit einer beliebigen, auch Hinterschneidungen enthaltenden Bearbeitungskontur programmiert.

Die Bearbeitungskontur wird nach dem Zyklusaufwurf mit den Geometriebefehlen einschließlich der Freistiche beginnend mit einer linearen Bewegung auf den Bearbeitungskonturstartpunkt programmiert. Mit G80 wird die Bearbeitungskontureingabe abgeschlossen. Die Bearbeitungskontur kann durch ein Unterprogramm oder eine Programmteiwiederholung definiert werden, die dann ebenfalls mit G80 abgeschlossen werden.

Der Zyklus kann sowohl für die Innen- als auch für die Außenbearbeitung verwendet werden. Der Zyklus verwendet intern die Werkzeugradiuskorrektur für den gesamten Konturverlauf.

NC-Satz

G82 D H1/H2/H3/H24 AK AZ AX AE AS AV O Q V F E S M M
G82 H4 AE AS AV O V F E S M M

Adressen

H	[2]	Bearbeitungsart
	1	nur Schruppen, 1x45 Grad abheben
	2	stufenweise Auswinkeln entlang der Kontur
	3	wie H1 mit zusätzlichem Konturschnitt am Ende
	4	Schlichten der Kontur
	24	Schruppen mit H2 und anschließendes Schlichten
D		Zustellung Die Zustellung gibt an, um welchen Wert nach jedem Schnitt in Z-Richtung zugestellt wird.
Aufmaße		
AK	[0]	Konturparalleles (äquidistantes) Aufmaß auf die Kontur
AZ	[0]	Aufmaß durch Verschiebung der Kontur in Z-Richtung
AX	[0]	Aufmaß durch Verschiebung der Kontur in X-Richtung im Radiusmaß
Optionen		
O	[1]	Bearbeitungsstartpunkt
	1	aktuelle Werkzeugposition: Wird mit O1 die aktuelle Werkzeugposition als Bearbeitungsstartpunkt ausgewählt, so legt diese Position den Bearbeitungsquadranten fest, der bis auf eine Abhebewegung nicht überfahren wird (Verfahrwegbegrenzung). Die programmierte Bearbeitungskontur wird dann achsparallel auf den Rand des Bearbeitungsquadranten verlängert oder an diesem abgeschnitten. Der Sicherheitsabstand V wird in diesem Fall nicht berücksichtigt.
	2	aus Kontur berechnet: Mit O2 wird der Bearbeitungsquadrant (mit dem Bearbeitungsstartpunkt auf der X-parallelen Begrenzung) durch den Bearbeitungskonturverlauf unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes V bestimmt. Bei einer ansteigenden oder fallenden (also monotonen) Kontur ergibt

		sich dieser aus dem ersten und letzten Konturpunkt und der Verschiebung um den Sicherheitsabstand.
V	[1]	<p>Sicherheitsabstand</p> <p>Das Werkzeug wird vor jedem Schruppschnitt in Z so positioniert, dass es nach der Zustellbewegung in X den Abstand V zum Werkstück hat.</p> <p>Von dort beginnt der Schruppschnitt im Vorschub.</p>
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F]	Eintauchvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel
Werkzeug		
AE	[*]	<p>Eintauchwinkel der Nebenschneide des Werkzeugs</p> <p>(beschränkt durch den Werkzeug-Endwinkel bezüglich der positiven ersten Geometrieachse Z)</p> <p>Wird kein Eintauchwinkel programmiert, so verwendet die NC den Werkzeug-Endwinkel bezüglich der positiven Z-Geometrieachse aus dem Einrichtblatt-Korrekturwertdatensatz des aktuell angewählten Werkzeugs.</p> <p>Dieser Winkel wird um AV verkleinert und dann als Eintauchwinkel AE für die Ausführung des Zyklus benutzt.</p> <p><i>Voreinstellung: * Werkzeug-Endwinkel aus Korrekturwertspeicher</i></p>
AS	[*]	<p>Austauchwinkel der Hauptschneide des Werkzeugs</p> <p>(beschränkt durch den Werkzeug-Seiteneinstellwinkel bezüglich der negativen ersten Geometrieachse Z)</p> <p>Wird kein Austauschwinkel programmiert, so verwendet die NC den Werkzeug-Seiteneinstellwinkel bezüglich der negativen Z-Geometrieachse aus dem Einrichtblatt-Korrekturwertdatensatz des aktuell angewählten Werkzeugs.</p> <p>Dieser Winkel wird um AV verkleinert und dann als Austauschwinkel AS für die Ausführung des Zyklus benutzt.</p> <p><i>Voreinstellung: * Werkzeug-Seiteneinstellwinkel aus Korrekturwertspeicher</i></p>
AV	[1]	Sicherheitswinkelabschlag für AE und AS
Optimierung		
Q	[1]	<p>Leerschnittoptimierung</p> <p>Mit der Programmierung von Q2 optimiert der Zyklus die Verfahrswege des Werkzeuges bezogen auf das tatsächliche aktuelle Werkstück unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes V.</p> <p>Dadurch werden sogenannte 'Luftschnitte' vermieden.</p>
	1	Optimierung aus
	2	Optimierung ein

Programmierhinweise

Es muss entweder die Zustellung D oder H4 (Adresse H mit Adresswert 4) programmiert werden.

Alle Aufmaße AK, AZ, AX können miteinander kombiniert werden. Bei einem konturparallelen Aufmaß bewirken AZ, AX zusätzliche Aufmaßverschiebungen.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G83 - Konturparalleler Schrappzyklus

Funktion

Mit dem Befehl G83 wird ein Zyklus zum konturparallelen Abspannen an eine beliebige, auch Hinterschneidungen enthaltende Bearbeitungskontur programmiert oder ein Programmteil (mit Zyklen) mit Verschiebungen wiederholt.

Die Bearbeitungskontur wird nach dem Zyklusaufwurf mit den Geometriebefehlen einschließlich der Freistiche beginnend mit einer linearen Bewegung auf den Bearbeitungskonturstartpunkt programmiert. Mit G80 wird die Bearbeitungskontureingabe abgeschlossen. Die Bearbeitungskontur kann durch ein Unterprogramm oder eine Programmteiwiederholung definiert werden, die dann ebenfalls mit G80 abgeschlossen werden.

Der Zyklus kann sowohl für die Innen- als auch für die Außenbearbeitung verwendet werden.

Dabei arbeitet der Zyklus intern mit einer Wiederholungsstrategie: So ist es beispielsweise möglich, mit G83 mehrere Einstiche mit konstantem Abstand zu erstellen.

Verfahrensbefehle oder weitere Zyklusaufwufe, die zwischen dem G83-Befehl und der Zyklusabwahl G80 programmiert sind, werden abhängig von der programmierten Zustellung mehrfach ausgeführt. So kann der G83-Befehl als konturparalleler Schrappzyklus z.B. bei der Bearbeitung von vorgeformten Rohteilen oder zur Innenbearbeitung eingesetzt werden. Dabei findet eine automatische Verfahrenswegbegrenzung auf den Bearbeitungsquadranten statt.

Der Zyklus verwendet bei Konturwiederholungen intern die Werkzeugradiuskorrektur für den gesamten Konturverlauf.

NC-Satz

G83 D H1/H14 AK AZ AX AE AS AV O Q V F E S M M
G83 H4 AE AS AV O Q V F E S M M

Adressen

D		Zustellung
H	[1]	Bearbeitungsart
	1	nur Schruppen
	4	Schichten der Kontur
	14	Schruppen und Schichten
Aufmaße		
AK	[0]	Konturparalleles (äquidistantes) Aufmaß auf die Kontur
AZ	[0]	Aufmaß durch Verschiebung der Kontur in Z-Richtung
AX	[0]	Aufmaß durch Verschiebung der Kontur in X-Richtung im Radiusmaß
Optionen		
O	[1]	Bearbeitungsstartpunkt
	1	aktuelle Werkzeugposition: Wird mit O1 die aktuelle Werkzeugposition als Bearbeitungsstartpunkt ausgewählt, so legt diese Position den Bearbeitungsquadranten fest, der bis auf eine Abhebewegung nicht überfahren wird (Verfahrenwegbegrenzung). Die programmierte Bearbeitungskontur wird dann achsparallel auf den Rand des Bearbeitungsquadranten verlängert oder an diesem abgeschnitten. Der Sicherheitsabstand V wird in diesem Fall nicht berücksichtigt.

		2	aus Kontur berechnet: Mit O2 wird der Bearbeitungsquadrant (mit dem Bearbeitungsstartpunkt auf der X-parallelen Begrenzung) durch den Bearbeitungskonturverlauf unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes V bestimmt. Bei einer ansteigenden oder fallenden (also monotonen) Kontur ergibt sich dieser aus dem ersten und letzten Konturpunkt und der Verschiebung um den Sicherheitsabstand.
V	[1]		<p>Sicherheitsabstand</p> <p>Das Werkzeug wird vor jedem Schrappschnitt in Z so positioniert, dass es nach der Zustellbewegung in X den Abstand V zum Werkstück hat.</p> <p>Von dort beginnt der Schrappschnitt im Vorschub.</p>
Schnittwerte			
F			Vorschub
E	[F]		Eintauchvorschub
S			Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M			Drehrichtung
M			Kühlmittel
Werkzeug			
AE	[*]		<p>Eintauchwinkel der Nebenschneide des Werkzeugs</p> <p>(beschränkt durch den Werkzeug-Endwinkel bezüglich der positiven ersten Geometrieachse Z)</p> <p>Wird kein Eintauchwinkel programmiert, so verwendet die NC den Werkzeug-Endwinkel bezüglich der positiven Z-Geometrieachse aus dem Einrichtblatt-Korrekturwertdatensatz des aktuell angewählten Werkzeugs.</p> <p>Dieser Winkel wird um AV verkleinert und dann als Eintauchwinkel AE für die Ausführung des Zyklus benutzt.</p> <p><i>Voreinstellung: * Werkzeug-Endwinkel aus Korrekturwertspeicher</i></p>
AS	[*]		<p>Austauchwinkel der Hauptschneide des Werkzeugs</p> <p>(beschränkt durch den Werkzeug-Seiteneinstellwinkel bezüglich der negativen ersten Geometrieachse Z)</p> <p>Wird kein Austauschwinkel programmiert, so verwendet die NC den Werkzeug-Seiteneinstellwinkel bezüglich der negativen Z-Geometrieachse aus dem Einrichtblatt-Korrekturwertdatensatz des aktuell angewählten Werkzeugs.</p> <p>Dieser Winkel wird um AV verkleinert und dann als Austauschwinkel AS für die Ausführung des Zyklus benutzt.</p> <p><i>Voreinstellung: * Werkzeug-Seiteneinstellwinkel aus Korrekturwertspeicher</i></p>
AV	[1]		Sicherheitswinkelabschlag für AE und AS
Optimierung			
Q	[1]		<p>Leerschnittoptimierung</p> <p>Mit der Programmierung von Q2 optimiert der Zyklus die Verfahrenswege des Werkzeuges bezogen auf das tatsächliche aktuelle Werkstück unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes V.</p>

		Dadurch werden sogenannte 'Luftschnitte' vermieden.
	1	Optimierung aus
	2	Optimierung ein

! Programmierhinweise

Aus dem Startpunkt und dem Konturanfangspunkt sowie der Zustellung D berechnet die NC einen Zustellvektor, der vom Start- auf den Konturanfangspunkt zeigt.

Es muss entweder die Zustellung D oder H4 (Adresse H mit Adresswert 4) programmiert werden.

Alle Aufmaße AK, AZ, AX können miteinander kombiniert werden. Bei einem konturparallelen Aufmaß bewirken AZ, AX zusätzliche Aufmaßverschiebungen.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G84 - Tieflochbohrzyklus (zentrisch)

Funktion

Universeller Tiefbohrzyklus mit Spanbruch und/oder Spanentleerung.

Mit dem Befehl G84 wird eine zentrische Bohrung mit stehendem Werkzeug und rotierender Werkstückspindel in mehreren Arbeitsgängen gefertigt.

NC-Satz

G84 ZA/ZI D V VB DR DM R DA U O FR F E S M M

Adressen

		Bohrung	
ZA/	ZI	Tiefe der Bohrung	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell zur aktuellen Werkzeugposition
D	[*]	Zustelltiefe	
		<i>Voreinstellung: * Zustellung bis zur Endbohrtiefe</i>	
V	[1]	Sicherheitsabstand Abstand der aktuellen Werkzeugposition von der Materialoberfläche.	
VB	[1]	Sicherheitsabstand vor Bohrgrund	
DR	[0]	Reduzierwert der Zustelltiefe	
DM	[DR]	Mindestzustellung ohne Vorzeichen	
R	[*]	Rückzugsabstand Es muss R mindestens gleich VB sein.	
		<i>Voreinstellung: * Rückzug zum Startpunkt</i>	
DA	[0]	Anbohrtiefe	
U	[0]	Verweilzeit am Bohrgrund (Spanbruch)	
O	[1]	Auswahl der Verweilzeiteinheit	
		1	Verweilzeit in Sekunden
		2	Verweilzeit in Umdrehungen
Schnittwerte			
FR	[100]	prozentualer Eilgangreduzierungsfaktor bei der Zustellung zum Bohrgrund	
F		Bohrvorschub	
E	[F]	Anbohrvorschub	

S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

Ablaufbeschreibung

Der Befehl G84 führt einen universellen Tieflochbohrzyklus bis zum Erreichen der mit ZA/ZI vorgegeben Endtiefe aus. Der Bewegungsablauf wird dabei wie folgt in Abhängigkeit der programmierten oder voreingestellten optionalen Adressen wie folgt gesteuert:

1. V
Von der aktuellen Werkzeugposition als Bearbeitungsstartposition erfolgt eine Zustellbewegung im Vorschub der Länge V in negativer Z-Richtung auf die damit definierte Materialoberfläche.
2. DA, E, Z
Mit dem Anbohrvorschub E wird dann die optionale Anbohrtiefe DA angefahren oder der Zyklus abgebrochen, wenn beim Anbohren die Endtiefe Z erreicht wird.
3. D, Z, U, R
Im Vorschub wird von der Anbohrtiefe die erste Zustellung D ausgeführt bzw. mit Erreichen der Endtiefe Z abgebrochen. Nach der optionalen Verweilzeit U wird im Eilgang eine Rückzugsbewegung der Länge R ausgeführt oder die Bearbeitungsstartposition vor der Materialoberfläche zur Spanentleerung angefahren. Der Zyklus wird mit der Eilganganfahrt der Bearbeitungsstartposition abgebrochen, wenn die Endtiefe Z bereits erreicht ist und die Verweilzeit U gewartete wurde.
4. D, DR, DM, FR, VB, Z, U, R
Es wird eine neue Zustellung $D(\text{neu}) = \text{Maximum}(DM, D(\text{alt}) - DR)$ berechnet. Das Werkzeug fährt dann im um FR reduzierten Eilgang auf den Abstand VB vom aktuellen Bohrgrund und von da im Vorschub bis die Zustelltiefe $D(\text{neu})$ oder die Endtiefe Z erreicht ist. Nach der optionalen Verweilzeit U wird eine Rückzugsbewegung der Länge R ausgeführt oder die Bearbeitungsstartposition vor der Materialoberfläche zur Spanentleerung angefahren. Der Zyklus wird mit der Eilganganfahrt der Ausgangsposition abgebrochen, wenn die Endtiefe Z erreicht ist und die Verweilzeit abgewartet wurde.
5. Es wird Schritt 4 wiederholt bis die Endtiefe Z erreicht ist.

! Programmierhinweise

Die Gesamtbohrtiefe der beiden letzten Arbeitsgänge wird von der NC hälftig auf diese aufgeteilt, falls der vorletzte Arbeitsgang bereits die minimale Zustelltiefe D erreicht hat.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G85 - Freistichzyklus

Funktion

Mit dem Befehl G85 können Gewindefreistiche nach DIN 76 oder Freistiche nach DIN 509 Form E oder Form F programmiert werden. Anhand der programmierten Adresse H erkennt die NC welcher Freistich ausgeführt werden soll.

Die Freistiche Form E und F unterscheiden sich in ihrer Geometrie durch interne Parameter (siehe Tabellenbuch). Die Maße wie Länge, Tiefe, Verrundungsradius und Bearbeitungszugaben des Freistichs sind abhängig vom Durchmesser des programmierten Eckpunktes.

NC-Satz

G85 Z/ZA/ZI X/XA/XI H1 I K RN Q F E S M M
 G85 Z/ZA/ZI X/XA/XI H2/H3 SX RN Q F E S M M

Adressen

Z/ ZA/ ZI		Z-Koordinate des Freistichs
	ZA	absolut
	ZI	inkrementelle Koordinate zur Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
X/ XA/ XI		X-Koordinate des Freistichs
	XA	absolut
	XI	inkrementelle Koordinate zur Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Eingabe gesteuert durch G90/G91
H	[1]	Freistichform
	1	DIN 76
	2	DIN 509 E
	3	DIN 509 F
DIN 76		
I		Freistichtiefe obligatorische Adresse für DIN 76 (H1)
K		Freistichbreite obligatorische Adresse für DIN 76 (H1)
DIN 509		
SX	[0]	Schleifaufmaß
Optionen		
RN	[*]	Freistich-Eckenradius (wenn abweichend von den DIN-Normen gewünscht)
		Voreinstellung: * Eckenradius gemäß DIN

Q	<i>[O]</i>	Quadrant Werkzeugquadrant Q1 - Q4 für Außen- oder Innen-Freistichgeometrie, wenn sich die Lage der Freistichs nicht aus dem Folgekonturelement bestimmen lässt.
	0	Es wird der Werkzeugquadrant des Bearbeitungswerkzeuges verwendet
	1	1. Werkzeugquadrant
	2	2. Werkzeugquadrant
	3	3. Werkzeugquadrant
	4	4. Werkzeugquadrant
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

! Programmierhinweise

Man beachte: Die tatsächliche Schneidenlage des Werkzeuges wird bei der Programmierung von Q nicht überprüft.

Man beachte, dass bei Freistichen nach DIN 76 aufgrund der Geometrie des Freistichs die Länge K mindestens 2,34 mal so groß sein muss wie die Tiefe I. Der optionale Radius RN wird aufgrund der programmierten Freistichtiefe I von der NC berechnet. Er beträgt 0,6 der Freistichtiefe I.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G86 - Radialer Einstechzyklus

Funktion

Es wird ein radialer Formeinstich gefertigt, bei dem an allen vier Ecken optional Fasen oder Verrundungen eingefügt werden können. Es kann entweder die Breite der Einstichöffnung oder des Einstichgrunds programmiert werden und es können 6 verschiedene Setzpunkte des Einstichs programmiert werden. Die vertikalen und horizontalen Zustellungen sind getrennt programmierbar.

NC-Satz

G86 Z/ZA/ZI X/XA/XI ET LE EB/EO AS AE RO LO LG RG D AK AX EP H DB V F E S M M QM(QL DQ DU DW DE SP)

Adressen

		Einstich
Z/ZA / ZI		Z-Koordinate des Setzpunktes
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X/XA / XI		X-Koordinate des Setzpunktes
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
ET		Tiefe des Einstichs (Radiusmaß)
LE		Lage des Einstichs
	1	Außeneinstich in negativer X-Richtung
	2	Inneneinstich in positiver X-Richtung
EB	[*]	Breite des Einstichs am Einstichgrund <i>Voreinstellung: * Breite des Werkzeuges am Einstichgrund</i>
EO	[*]	Breite des Einstichs an der Einstichöffnung <i>Voreinstellung: * Breite des Werkzeuges am Einstichgrund</i>
AS	[0]	Flankenwinkel des Einstichs der in positiver Z-Richtung liegenden Flanke als Abweichung von der Vertikalen
AE	[0]	Flankenwinkel des Einstichs der in negativer Z-Richtung liegenden Flanke als Abweichung von der Vertikalen
RO	[0]	Verrundung (>0) oder Fasenbreite (<0) an der Einstichöffnung in Richtung Z+
LO	[0]	Verrundung (>0) oder Fasenbreite (<0) an der Einstichöffnung in Richtung Z-
LG	[0]	Verrundung (>0) oder Fasenbreite (<0) am Einstichgrund in Richtung Z-

RG	[0]	Verrundung (>0) oder Fasenbreite (<0) am Einstichgrund in Richtung Z+
EP	[1]	Setzpunktfestlegung
		1 Einstichecke der Einstichöffnung in Richtung Z+
		2 Einstichecke der Einstichöffnung in Richtung Z-
		3 Einstichecke des Einstichgrundes in Richtung Z-
		4 Einstichecke des Einstichgrundes in Richtung Z+
		5 Mittelpunkt der Einstichöffnung
6 Mittelpunkt des Einstichgrundes		

Aufmaße

AK	[0]	Konturparalleles Aufmaß
AX	[0]	Verschiebung in X (Radiusmaß)

Abarbeitung

H	[14]	Bearbeitungsart
		1 Vorstechen
		2 Stehdrehen
		4 Schlichten
		14 Vorstechen und Schlichten
		24 Stehdrehen und Schlichten
D	[0]	Zustelltiefe
		<i>Voreinstellung: mit D0 erfolgt die Zustellung bis zum Einstichgrund</i>
DB	[75]	Zustellung in Prozent der Meißelbreite
V	[1]	Sicherheitsabstand über der Einstichöffnung

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Vorschub beim Stechen ins Vollmaterial
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

Steueradressen

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
		0 Überspringen des Zyklus
		1 Bearbeiten
		5 Messen

In-Prozess-Messen

QL	[*]	Mess-Steuerindex	
		0	Keine Messung
		1	Messen in der Bearbeitungsebene
		2	Messen nur in der Zustellrichtung
		3	Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung
		4	Messen in der Bearbeitungsebene unter Einbeziehung der Verrundungsradien und in der Zustellrichtung
		5	Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit Vertikal-Winkelberechnungen
		6	Messen in der Bearbeitungsebene wie QL5 und zusätzlich mit Horizontal-Winkelberechnungen und Mittelwertbildungen
		<i>Voreinstellung: * Die Voreinstellung wird über G28 programmiert und steht im Parameter P8100</i>	
DQ	[ET/3]	Abstand der ersten Messtiefe von der Materialoberfläche	
DU	[ET2/3]	Abstand der zweiten Messtiefe von der Materialoberfläche Bedingung: DU!=DQ	
DW	[*]	Abstand der Messpunkte am Einstichboden	
		<i>Voreinstellung: * 2/3 (EB oder EO)</i>	
DE	[*]	Abstand des Messpunktes von den Ecken der Einstichöffnung	
		<i>Voreinstellung: * Maximum LO, RO + Tasterradius</i>	
SP	[0]	Erste Parameternummer der Messwertspeicherung	

Programmierhinweise

Von den Register EB und EO darf nur eines programmiert werden. Wird keines angegeben, gilt als Voreinstellung die Werkzeugbreite am Einstichgrund.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Durchmessermaß

Nur die Definition der X-Koordinate des Setzpunktes (X/XA/XI) erfolgt in Abhängigkeit von der aktiven Einstellung zu Durchmesserbemaßung (DIA/RAD/DRA). Die Tiefe des Einstichs (ET), die Zustelltiefe (D), das Aufmaß (AX) und der Sicherheitsabstand (V) werden davon unabhängig immer im Radiusmaß zu programmieren.

Aufmaße

Der Zyklus unterstützt zwei unterschiedliche Aufmaße. Das Aufmaß AK verkleinert die Einstichkontur konturparallel (äquidistant) nach innen. Die Verschiebung AX verschiebt den gesamten Einstich radial. Damit entsteht ein Aufmaß auf dem Boden und schrägen Flanken. Beim Inneneinstich (LE2) muss hier auf ein negatives Vorzeichen geachtet werden.

Die beiden Aufmaße lassen sich kombinieren. In diesem Fall summieren sich die Effekte auf.

Messwertspeicherung

Der Zyklus hinterlegt alle gemessenen Maße in den folgenden Parametern:

P(SP+0)	Zyklusnummer
P(SP+1)	Einstichtiefe
P(SP+2)	Breite am Einstichgrund
P(SP+3)	Flankenwinkel rechts
P(SP+4)	Flankenwinkel links
P(SP+5)	Breite an der Einstichöffnung
P(SP+6)	X-Koordinate am rechten Eckpunkt des Bodens
P(SP+7)	Z-Koordinate am rechten Eckpunkt des Bodens
P(SP+8)	X-Koordinate am linken Eckpunkt des Bodens
P(SP+9)	Z-Koordinate am linken Eckpunkt des Bodens

G87 - Radialer Konturstechzyklus

Funktion

Universeller Konturstechzyklus an eine programmierte Längs-Gesenkkontur.

Mit dem Befehl G87 wird ein Gesenkzyklus programmiert, mit dessen Hilfe beliebige Konturen als Gesenkform gestochen, geschruppt oder geschlichtet werden können. G87 setzt einen Einstechmeißel oder einen Meißel mit runder Wendeplatte als aktuelles Werkzeug zwingend voraus.

Die Bearbeitungskontur wird nach dem Zyklusaufwurf mit den Geometriebefehlen beginnend mit einer linearen Bewegung auf den Bearbeitungskonturstartpunkt programmiert und mit G80 wird die Bearbeitungskontureingabe abgeschlossen. Die Bearbeitungskontur kann durch ein Unterprogramm oder eine Programmteilwiederholung definiert werden, die dann ebenfalls mit G80 abgeschlossen werden.

Der Zyklus verwendet intern die Werkzeugradiuskorrektur für den gesamten Konturverlauf.

NC-Satz

G87 D AK AX H DB O Q V F E S M M

Adressen

D		Zustelltiefe zwischen den Bearbeitungsstufen
Aufmaße		
AK	[0]	Konturparalleles Aufmaß
AX	[0]	Verschiebung in X (Radiusmaß)
Abarbeitung		
H	[14]	Bearbeitungsart
	1	Vorstechen
	2	Stechdrehen
	4	Schlichten
	14	Vorstechen und Schlichten
	24	Stechdrehen und Schlichten
DB	[75]	Zustellung in Prozent der Meißelbreite beim Stechen
O	[1]	Bearbeitungsauswahlparameter
	1	Schräges Abstechen der Randstufen für jedes Bearbeitungszustellniveau. Bearbeitung in Richtung der negativen Z-Achse für jede Zustellung.
	2	Schräges Abstechen der Randstufen für jedes Bearbeitungszustellniveau. In Z bidirektionale Bearbeitung in den Zustellungen abwechselnd.
	11	Schräges Abstechen der Randstufen am Ende aller Einzelzustellungen. Bearbeitung in Richtung der negativen Z-Achse für jede Zustellung.
12	Schräges Abstechen der Randstufen am Ende aller Einzelzustellungen. In Z bidirektionale Bearbeitung in den Zustellungen abwechselnd.	
V	[1]	Sicherheitsabstand in X- (Stechen) oder Z-Richtung (Stechdrehen) bei Leerschnittoptimierung

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Vorschub beim Stechen ins Vollmaterial
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

Optimierung

Q	[1]	Leerschnittoptimierung Mit der Programmierung von Q2 optimiert der Zyklus die Verfahrenswege des Werkzeuges bezogen auf das tatsächliche aktuelle Werkstück unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes V. Dadurch werden sogenannte 'Luftschnitte' vermieden.
	1	Optimierung aus
	2	Optimierung ein

! Programmierhinweise

Der Gesenkzyklus G87 kann nur mit Einstechmeißeln oder Kopiermeißeln mit runden Wendeplatten genutzt werden. Ist zum Zeitpunkt des Zyklusaufrufs ein anderes Werkzeug eingewechselt, so erfolgt die Fehlermeldung: 'Korrekturwerte nicht verarbeitbar'.

Ist der Durchmesser der aktuellen Werkzeugposition bei Aufruf des Zyklus G87 bei Außenbearbeitungen größer bzw. bei Innenbearbeitungen kleiner als der Durchmesser des Zielpunktes der programmierten Kontur, so wird die Kontur vom Zielpunkt achsparallel nach außen bzw. innen bis auf den Durchmesser der aktuellen Werkzeugposition verlängert.

Spitze Täler innerhalb der programmierten Gesenkkontur werden vom Zyklus G87 genau bis zu der Tiefe bearbeitet, bei der die Breite des Tales gerade der Breite des verwendeten Einstechmeißels entspricht. Dies wird mit der Fehlermeldung 'Kontur nicht vollständig bearbeitbar' gemeldet.

Die Aufmaße AK und AX können miteinander kombiniert werden. Bei einem konturparallelen Aufmaß bewirkt AX eine zusätzliche Aufmaßverschiebung.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Durchmessermaß

Nur die Definition der X-Koordinate des Setzpunktes (X/XA/XI) erfolgt in Abhängigkeit von der aktiven Einstellung zu Durchmesserbemaßung (DIA/RAD/DRA). Die Tiefe des Einstichs (ET), die Zustelltiefe (D), das Aufmaß (AX) und der Sicherheitsabstand (V) werden davon unabhängig immer im Radiusmaß zu programmieren.

Aufmaße

Der Zyklus unterstützt zwei unterschiedliche Aufmaße. Das Aufmaß AK verkleinert die Einstichkontur konturparallel (äquidistant) nach innen. Die Verschiebung AX verschiebt den gesamten Einstich radial. Damit entsteht ein Aufmaß auf dem Boden und schrägen Flanken. Beim Inneneinstich (LE2) muss hier auf ein negatives Vorzeichen geachtet werden.

Die beiden Aufmaße lassen sich kombinieren. In diesem Fall summieren sich die Effekte auf.

G88 - Axialer Einstechzyklus

Funktion

Es wird ein axialer Formeinstich gefertigt, bei dem an allen vier Ecken optional Fasen oder Verrundungen eingefügt werden können. Es kann entweder die Breite der Einstichöffnung oder des Einstichgrunds programmiert werden und es können 6 verschiedene Setzpunkte des Einstichs programmiert werden. Die vertikalen und horizontalen Zustellungen sind getrennt programmierbar.

NC-Satz

G88 Z/ZA/ZI X/XA/XI ET LE EB/EO AS AE RO LO LG RG D AK AZ EP H DB V F E S M M QM(QL DQ DU DW DE SP)

Adressen

		Einstich
Z/ZA / ZI		Z-Koordinate des Setzpunktes
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X/XA / XI		X-Koordinate des Setzpunktes
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
ET		Tiefe des Einstichs
LE		Lage des Einstichs
	1	Einstich in negativer Z-Richtung (Stirnseite)
	2	Einstich in positiver Z-Richtung (Rückseite)
EB	[*]	Breite des Einstichs am Einstichgrund <i>Voreinstellung: * Breite des Einstechwerkzeuges als Einstichgrundbreite</i>
EO	[*]	Breite des Einstichs an der Einstichöffnung <i>Voreinstellung: * Breite des Einstechwerkzeuges als Einstichgrundbreite</i>
AS	[0]	Flankenwinkel des Einstichs der in positiver X-Richtung liegenden Flanke als Abweichung von der Horizontalen
AE	[0]	Flankenwinkel des Einstichs der in negativer X-Richtung liegenden Flanke als Abweichung von der Horizontalen
RO	[0]	Verrundung (>0) oder Fasenbreite (<0) an der Einstichöffnung in Richtung X+
LO	[0]	Verrundung (>0) oder Fasenbreite (<0) an der Einstichöffnung in Richtung X-
LG	[0]	Verrundung (>0) oder Fasenbreite (<0) am Einstichgrund in Richtung X-

RG	[0]	Verrundung (>0) oder Fasenbreite (<0) am Einstichgrund in Richtung X+
EP	[1]	Setzpunktfestlegung
		1 Einstichecke der Einstichöffnung in Richtung X+
		2 Einstichecke der Einstichöffnung in Richtung X-
		3 Einstichecke des Einstichgrundes in Richtung X-
		4 Einstichecke des Einstichgrundes in Richtung X+
		5 Mittelpunkt der Einstichöffnung
6 Mittelpunkt des Einstichgrundes		

Aufmaße

AK	[8]	Konturparalleles Aufmaß
AZ	[8]	Verschiebung in Z

Abarbeitung

H	[14]	Bearbeitungsart
		1 Vorstechen
		2 Stehdrehen
		4 Schlichten
		14 Vorstechen und Schlichten
		24 Stehdrehen und Schlichten
D	[0]	Zustelltiefe
		<i>Voreinstellung: mit D0 erfolgt die Zustellung bis zum Einstichgrund</i>
DB	[75]	Zustellung in Prozent der Meißelbreite
V	[1]	Sicherheitsabstand über der Einstichöffnung

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Vorschub beim Stechen ins Vollmaterial
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

Steueradressen

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
		0 Überspringen des Zyklus
		1 Bearbeiten
		5 Messen

In-Prozess-Messen

QL	[*]	Mess-Steuerindex	
		0	Keine Messung
		1	Messen in der Bearbeitungsebene
		2	Messen nur in der Zustellrichtung
		3	Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung
		4	Messen in der Bearbeitungsebene unter Einbeziehung der Verrundungsradien und in der Zustellrichtung
		5	Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit Vertikal-Winkelberechnungen
		6	Messen in der Bearbeitungsebene wie QL5 und zusätzlich mit Horizontal-Winkelberechnungen und Mittelwertbildungen
		<i>Voreinstellung: * Die Voreinstellung wird über G28 programmiert und steht im Parameter P8100</i>	
DQ	[ET/3]	Abstand der ersten Messtiefe von der Materialoberfläche	
DU	[ET2/3]	Abstand der zweiten Messtiefe von der Materialoberfläche Bedingung: DU!=DQ	
DW	[*]	Abstand der Messpunkte am Einstichboden	
		<i>Voreinstellung: * 2/3 (EB oder EO)</i>	
DE	[*]	Abstand des Messpunktes von den Ecken der Einstichöffnung	
		<i>Voreinstellung: * Maximum LO, RO + Tasterradius</i>	
SP	[0]	Erste Parameternummer der Messwertspeicherung	

! Programmierhinweise

Von den Register EB und EO darf nur eines programmiert werden. Wird keines angegeben, gilt als Voreinstellung die Werkzeugbreite am Einstichgrund.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Aufmaße

Der Zyklus unterstützt zwei unterschiedliche Aufmaße. Das Aufmaß AK verkleinert die Einstichkontur konturparallel (äquidistant) nach innen. Die Verschiebung AZ verschiebt den gesamten Einstich axial. Damit entsteht ein Aufmaß auf dem Boden und schrägen Flanken. Beim Rückseiteneinstich (LE2) muss hier auf ein negatives Vorzeichen geachtet werden.

Die beiden Aufmaße lassen sich kombinieren. In diesem Fall summieren sich die Effekte auf.

Messwertspeicherung

Der Zyklus hinterlegt alle gemessenen Maße in den folgenden Parametern:

P(SP+0)	Zyklusnummer
P(SP+1)	Einstichtiefe
P(SP+2)	Breite am Einstichgrund

P(SP+3)	Flankenwinkel oben
P(SP+4)	Flankenwinkel unten
P(SP+5)	Breite an der Einstichöffnung
P(SP+6)	X-Koordinate am oberen Eckpunkt des Bodens
P(SP+7)	Z-Koordinate am oberen Eckpunkt des Bodens
P(SP+8)	X-Koordinate am unteren Eckpunkt des Bodens
P(SP+9)	Z-Koordinate am unteren Eckpunkt des Bodens

G89 - Axialer Konturstechzyklus

Funktion

Universeller axialer Konturstechzyklus an eine programmierte Gesenkkontur.

Mit dem Befehl G89 wird ein Axial-Gesenkzyklus programmiert, mit dessen Hilfe beliebige Konturen als Gesenkform gestochen, geschruppt oder geschlichtet werden können. G89 setzt einen Einstechmeißel als aktuelles Werkzeug zwingend voraus.

Die Bearbeitungskontur wird nach dem Zyklusaufwurf mit den Geometriebefehlen beginnend mit einer linearen Bewegung auf den Bearbeitungskonturstartpunkt programmiert und mit G80 wird die Bearbeitungskontureingabe abgeschlossen. Die Bearbeitungskontur kann durch ein Unterprogramm oder eine Programmteilwiederholung definiert werden, die dann ebenfalls mit G80 abgeschlossen werden.

Der Zyklus verwendet intern die Werkzeugradiuskorrektur für den gesamten Konturverlauf.

NC-Satz

G89 D AK AZ H DB O Q V F E S M M

Adressen

D		Zustelltiefe zwischen den Bearbeitungsstufen
Aufmaße		
AK	[0]	Konturparalleles Aufmaß
AZ	[0]	Verschiebung in Z
Abarbeitung		
H	[14]	Bearbeitungsart
	1	Vorstechen
	2	Stechdrehen
	4	Schlichten
	14	Vorstechen und Schlichten
24	Stechdrehen und Schlichten	
DB	[75]	Zustellung in Prozent der Meißelbreite beim Stechen
O	[1]	Bearbeitungsauswahlparameter
	1	Schräges Abstechen der Randstufen für jedes Bearbeitungszustellniveau. Bearbeitung in Richtung der negativen X-Achse für jede Zustellung.
	2	Schräges Abstechen der Randstufen für jedes Bearbeitungszustellniveau. In X bidirektionale Bearbeitung in den Zustellungen abwechselnd.
	11	Schräges Abstechen der Randstufen am Ende aller Einzelzustellungen. Bearbeitung in Richtung der negativen X-Achse für jede Zustellung.
12	Schräges Abstechen der Randstufen am Ende aller Einzelzustellungen. In X bidirektionale Bearbeitung in den Zustellungen abwechselnd.	
V	[1]	Sicherheitsabstand in Z- (Stechen) oder X-Richtung (Stechdrehen) bei Leerschnittoptimierung

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Vorschub beim Stechen ins Vollmaterial
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

Optimierung

Q	[1]	Leerschnittoptimierung
		Mit der Programmierung von Q2 optimiert der Zyklus die Verfahrswege des Werkzeuges bezogen auf das tatsächliche aktuelle Werkstück unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes V. Dadurch werden sogenannte 'Luftschnitte' vermieden.
	1	Optimierung aus
	2	Optimierung ein

! Programmierhinweise

Der Gesenkzyklus G89 kann nur mit Axial-Einstechmeißeln genutzt werden. Ist zum Zeitpunkt des Zyklusaufrufs ein anderes Werkzeug eingewechselt, so erfolgt die Fehlermeldung: 'Korrekturwerte nicht verarbeitbar'.

Ist der Z-Wert der aktuellen Werkzeugposition bei Aufruf des Zyklus G89 größer als der Z-Wert des Zielpunktes der programmierten Kontur, so wird die Kontur vom Zielpunkt achsparallel nach außen bis auf den Z-Wert der aktuellen Werkzeugposition verlängert.

Spitze Täler innerhalb der programmierten Gesenkkontur werden vom Zyklus G89 genau bis zu der Tiefe bearbeitet, bei der die Breite des Tales gerade der Breite des verwendeten Einstechmeißels entspricht. Dies wird mit der Fehlermeldung 'Kontur nicht vollständig bearbeitbar' gemeldet.

Aufgrund der im Einsatzdurchmesser (von D(min) bis D(max)) zum Stechen ins Vollmaterial begrenzten Verwendbarkeit von axialen Einstechmeißeln gelten folgende Einschränkungen beim Plangesenk:

Die am tiefsten im Plangesenk zu bearbeitende X-parallele Strecke X(min) bis X(max) muss mit dem Einsatzdurchmesserbereich D(min) bis D(max) des Werkzeuges mindestens um die Breite des Einstechmeißels überlappen.

Ein Plangesenkzyklus G89 darf im allgemeinen nur ein lokales Gesenkminimum (=Tal) besitzen - es sei denn der Einsatzdurchmesser reicht über zwei lokale Gesenkminima.

Andernfalls ist ein Plangesenk mit mehreren lokalen Gesenkminima mit mehreren Gesenkzyklusaufrufen hintereinander zu programmieren. Dabei müssen dann unterschiedliche axiale Einstechwerkzeuge genutzt werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Aufmaße

Der Zyklus unterstützt zwei unterschiedliche Aufmaße. Das Aufmaß AK verkleinert die Einstichkontur konturparallel (äquidistant) nach innen. Die Verschiebung AZ verschiebt den gesamten Einstich axial. Damit entsteht ein Aufmaß auf dem Boden und schrägen Flanken. Beim Rückseiteneinstich (LE2) muss hier auf ein negatives Vorzeichen geachtet werden.

Die beiden Aufmaße lassen sich kombinieren. In diesem Fall summieren sich die Effekte auf.

Bearbeitungsebenen

G15 G18 TURN	Drehebeneanwahl
G15	Allgemeine Fräs-Bearbeitungsebenenwahl
G15 IP0	Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Sonderbearbeitungen, Polar- und Zylinderkoordinaten-Programmierung
G15 G17 IP0	Stirnseitenbearbeitung in Pseudo-Polarkoordinaten
G15 G19 IP0	Mantelflächenbearbeitung in Zylinderkoordinaten
G15 IP1-IP4	Runddachs-Interpolation kartesischer Koordinaten auf Stirnseiten und abgewinkelten Mantelflächen - Allgemeiner Fall
G15 G17 IP3	Stirnseitenbearbeitung in interpolierten kartesischen Koordinaten
G15 G19 IP1	Mantelflächenbearbeitung in kartesischen Koordinaten
•	G17- und G19-Fräsbearbeitungsebenen mit den Achsen Y und B
G15 IP5	Allgemeine Mehrseitenbearbeitungsebenenwahl beim Drehen mit 5 Achsen Z, X, Y, C, B
•	Erläuterung der Winkeleingaben bei der Mehrseitenbearbeitungsebenenwahl
G15 IP5	Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebenenwahl
G15 IP5	Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebenenwahl
G15 IP5	Schnittwinkel AS, BS und CS zur Ebenenwahl
G15 IP5	Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene
G15 IP5	Basis- und Zustellvektor zur Ebenenwahl
G15	Gegenüberstellung der Allgemeinen Mehrseiten-Bearbeitungsebenenwahl im Drehen von PAL2019 und PAL2007
G16	Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse

G15 G18 TURN - Drehebeneanwahl

Funktion

Mit dem Befehl G15 G18 wird die ZX-Ebene als Drehbearbeitungsebene mit der 1. Geometrieachse Z und der 2. Geometrieachse X festgelegt zwischen denen die Kreisinterpolation stattfindet. Die Werkstücknullpunkte bleiben erhalten. Eine rotierende Werkzeugspindel wird angehalten. Die S- und M-Adressen für Drehzahl und Drehrichtung wirken nach der Anwahl der Drehebene auf die angewählte Werkstückspindel.

Mit der Anwahl der Drehbearbeitungsebene aus einer Fräsbearbeitungsebene wird der Einschaltzustand für die angewählte Werkstückspindel (insbesondere S0, F0.0 und M05) aktiviert.

Die einstellbaren Nullpunkte und den Werkstücknullpunkt gibt es jeweils für Haupt- und Gegenspindel.

NC-Satz

G15 **G18** **TURN** **DIA/RAD/DRA** **HS/GS/GSU**

Adressen

DIA / RAD / DRA	[DRA]	Maßeinheit der X-Achse für programmierte Zielpunkte und Kreismittelpunkte
	DIA	Alle X-Koordinaten im Durchmessermaß
	RAD	Alle X-Koordinaten im Radiusmaß
	DRA	Die Eingabe der absoluten Koordinaten XA, IA erfolgt im Durchmessermaß. Die Eingabe der inkrementellen Koordinaten XI, I erfolgt im Radiusmaß. Für die Adresse X hängt die Interpretation als Radius- oder Durchmessermaß von G90/G91 ab: G90 - X im Durchmessermaß, G91 - X im Radiusmaß
HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung
	HS	Hauptspindelbearbeitung
	GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)
	GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)
Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel		

G15 - Allgemeine Fräs-Bearbeitungsebenenwahl

für Mehrseitenbearbeitung und Sonderbearbeitungsebenen für Polar-, Zylinderkoordinaten- und Mantelflächen-Programmierung und 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, z.B. Realisierung von Polar-, und Zylinderkoordinaten mit einer Rundachse
G15 IP1 ... IP4	Kartesische Stirnseiten- und Mantelflächenprogrammierung
G15 IP5	Standard- und Mehrseiten-Bearbeitungsebenenwahl in der aktiven Kreisbogen-Interpolationsebene G17 oder G18 oder G19 IP5 ist der Voreinstellungswert.

Der Befehl G15 hebt alle programmierten Drehungen des Koordinatensystems und alle Nullpunktverschiebungen in den vorhandenen Drehachsen A, B, C auf. Die Anwahl einer der Kreisbogen-Interpolationsebenen kann auch zusammen mit G15 programmiert werden. Die klassische Programmierung mit angetriebenen Werkzeugen auf dreiachsigen Drehmaschinen mit zwei Linearachsen Z, X und einer NC-gesteuerten C-Achse erfolgt mit IP0, IP1 und IP3 in den Kreisbogen-Interpolationsebenen G17 und G19

Stirnseite:	G15 G17 IP0	und	G15 G17 IP3
Mantelfläche:	G15 G19 IP0	und	G15 G19 IP1

Moderne Drehbearbeitungszentren haben zusätzlich die dritte Linearachse Y und eine um 360 Grad schwenkbare B-Achse im Werkzeugträger, der zudem mit einer leistungsstarken Frässpindel ausgestattet ist. Diese Frässpindel lässt sich NC-gesteuert um die Spindelachse als A-Achse orientieren, um insbesondere Drehwerkzeuge auf unterschiedliche Bearbeitungsrichtungen einstellen und auch Mehrfach-Drehwerkzeughalter verwenden zu können.

Man beachte: In allen Fräsbearbeitungsebenen erfolgt die Programmierung von X im Radiusmaß.

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

Funktion

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 (Stirnseite mit X und C sowie der Zustellung in Z und Zylinderfläche mit Z und C sowie der Zustellung in X).

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP0** **FL** **FW** **F** **S** **M** **M** **HW** **HS/GS/GSU**

Adressen

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene
	17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene

Schnittwerte

FL	[500]	Vorschub in den nicht kartesischen Linearachsen (Zusatzachsen) in mm/min
FW	[720]	Vorschub der Rundachsen in Winkelgrad/min
F		Vorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

Optionen

HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)	
		1	Vertikales Werkzeug
		2	Horizontales Werkzeug
HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung	
		HS	Hauptspindelbearbeitung
		GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)
		GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)

Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel

Programmierhinweise

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

1. Die Abarbeitung von G0/G1 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/G18/G19 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 G17 IP0 - Stirnseitenbearbeitung in Pseudo-Polarkoordinaten

Funktion

In der Kreisbogen-Interpolationsebene G17 ist mit G15 IP0 die Programmierung der Stirnseite in Pseudo-Polarkoordinaten X, C mit der Zustellung in Z möglich (Pseudopolarkoordinaten weil X<0 zugelassen).

NC-Satz

G15 G17 IP0 HW HS/GS/GSU

Adressen

HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)	
	1	1	Vertikales Werkzeug
	2	2	Horizontales Werkzeug
HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung	
	HS	HS	Hauptspindelbearbeitung
	GSU	GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)
	GS	GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)
<i>Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel</i>			

! Programmierhinweise

Die Stirnseitenbearbeitung setzt die Verwendung eines horizontalen Fräswerkzeuges in der entsprechenden Ausrichtung für Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung voraus. Stimmt die Richtung eines Werkzeuges nicht mit der angewählten Z-parallelen Werkzeugrichtung überein, so ist ohne B-Achse eine Bearbeitung nicht möglich.

Die gleichzeitige Programmierung von X und C erzeugt spiralförmige Bewegungen auf der Stirnseite. Bei der Vorschubsteuerung wird die tatsächliche Verfahrestrecke des Werkzeug Bezugspunktes zu Grunde gelegt.

Im Gegensatz zu echten Polarkoordinaten darf X auch negativ sein - das Werkzeug fährt dann unter die Drehmitte bei gleichzeitiger Einstellung des C-Achswertes (falls der negative X-Achsverfahrbereich dieses erlaubt).

Einschränkungen der Fräs-Befehlskodierung bei der Programmierung dieser Ebene:

Eine Kreisbogeninterpolation (G2/G3) ist nicht möglich.

Es können weiter nur die Bohrzyklen G81 bis G86 der PAL-G17-Befehlskodierung mit dem Zyklusaufrufbefehl G79 ohne Ebenenkoordinaten für die aktuelle Werkzeugposition programmiert werden.

G15 G19 IP0 - Mantelflächenbearbeitung in Zylinderkoordinaten

Funktion

In der Kreisbogen-Interpolationsebene G19 ist mit G15 IP0 die Programmierung der Mantelfläche in Zylinderkoordinaten Z, C mit der Zustellung in X möglich.

NC-Satz

G15 **G19** **IP0** **HW** **HS/GS/GSU**

Adressen

HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)	
	1	Vertikales Werkzeug	
	2	Horizontales Werkzeug	
HS/ GS/ GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung	
	HS	Hauptspindelbearbeitung	
	GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)	
	GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)	
<i>Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel</i>			

! Programmierhinweise

Die Stirnseitenbearbeitung setzt die Verwendung eines vertikalen Fräswerkzeuges voraus. Stimmt die Richtung eines Werkzeuges nicht mit der angewählten überein, so ist ohne B-Achse eine Bearbeitung nicht möglich.

Bei der Vorschubsteuerung wird die tatsächliche Verfahrestrecke des Werkzeug Bezugspunktes zu Grunde gelegt.

Die gleichzeitige Programmierung von Z und C erzeugt eine Schraubenlinie auf der Zylinderfläche (Wendelnut).

Da die Zustellung theoretisch X auch negativ sein könnte (Zustellung bis unter die Drehachse), sind dies eigentlich keine echten Zylinderkoordinaten.

Einschränkungen der Fräs-Befehlskodierung bei der Programmierung dieser Ebene:

Eine Kreisbogeninterpolation (G2/G3) ist nicht möglich.

Es können weiter nur die Bohrzyklen G81 bis G86 der PAL-G19-Fräsbefehlskodierung mit dem Zyklusaufrufbefehl G79 ohne Ebenenkoordinaten für die aktuelle Werkzeugposition programmiert werden.

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

Funktion

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.

Anwendungen der Bearbeitungsebenen G15 IP1/IP3 gibt es beim Drehen mit C-Achse in der G19-Mantelflächen-Bearbeitungsebene mit vertikalen und auf G17-Stirnseiten mit horizontalen Werkzeugen.

NC-Satz

G15 **G17/G19** **IP1/IP2** **DM**
G15 **G17/G19** **IP3/IP4**

Adressen

G17 / G19	Interpolationsebene	
	17	XY-Ebene
	19	YZ-Ebene
IP	1	Kartesische Mantelflächen-Interpolation mit einer virtuellen 1. Geometrieachse und der 2. Geometrieachse als Mantelflächenkoordinaten durch Abwicklung eines Zylinders des Durchmessers DM 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. Realisiert in G19 für CNC-Drehmaschinen mit C-Achse.
	2	Kartesische Mantelflächen-Interpolation mit einer virtuellen 2. Geometrieachse und der 1. Geometrieachse als Mantelflächenkoordinaten durch Abwicklung eines Zylinders des Durchmessers DM um eine in der 1. Geometrieachse und durch den Nullpunkt gehenden Rundachse und Zustellung in der 3. Geometrieachse.
	3	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. Realisiert in G17 für CNC-Drehmaschinen mit C-Achse.
	4	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).
DM	Durchmesser der Mantelfläche Obligate Adresse für IP1 und IP2	

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 werden. Bis auf diese Einschränkungen sind alle Befehle der Programmieranleitung Fräsen verwendbar.

Insbesondere sind auch Nullpunktverschiebungen programmierbar.

G15 G17 IP3 - Stirnseitenbearbeitung in interpolierten kartesischen Koordinaten

Funktion

In der Kreisbogen-Interpolationsebene G17 ist mit G15 IP3 die Programmierung der Stirnseite in kartesischen Koordinaten X, Y mit der Zustellung in Z möglich. Die virtuelle Y-Achse wird durch Polarkoordinateninterpolation der positiven X- und der C-Achse erzeugt.

NC-Satz

G15 **G17** **IP3** **HW** **HS/GS/GSU**

Adressen

HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)	
	1	Vertikales Werkzeug	
	2	Horizontales Werkzeug	
HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung	
	HS	Hauptspindelbearbeitung	
	GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)	
	GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)	
Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel			

! Programmierhinweise

Die Stirnseitenbearbeitung setzt die Verwendung eines horizontalen Fräswerkzeuges in der entsprechenden Ausrichtung für Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung voraus. Stimmt die Richtung eines Werkzeuges nicht mit der angewählten überein, so ist ohne B-Achse eine Bearbeitung nicht möglich.

In dieser Bearbeitungsebene kann der gesamte Umfang der Programmieranleitung PAL-G17-Fräsen programmiert werden.

G15 G19 IP1 - Mantelflächenbearbeitung in kartesischen Koordinaten

Funktion

In der Kreisbogen-Interpolationsebene G19 ist mit G15 IP1 die Programmierung der im Durchmesser DM abgewickelten Mantelfläche in kartesische Koordinaten Z, Y mit der Zustellung in X möglich.

NC-Satz

G15 **G19** **IP1** **DM** **HW** **HS/GS/GSU**

Adressen

DM		Durchmesser der Mantelfläche
Optionen		
HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)
	1	Vertikales Werkzeug
	2	Horizontales Werkzeug
HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung
	HS	Hauptspindelbearbeitung
	GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)
	GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)
	Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel	

! Programmierhinweise

Die Mantelflächenbearbeitung setzt die Verwendung eines vertikalen Fräswerkzeuges voraus. Stimmt die Richtung eines Werkzeuges nicht mit der angewählten überein, so ist ohne B-Achse eine Bearbeitung nicht möglich.

In dieser Bearbeitungsebene kann der gesamte Umfang der Programmieranleitung PAL-G19-Fräsen programmiert werden.

Anmerkung

Nur mit einer real vorhandenen Y-Achse ist die Bearbeitung einer Sehnenfläche des Zylinders möglich.

G17- und G19-Fräsbearbeitungsebenen mit den Achsen Y und B

Die Bedeutung von G17 und G19 als Kreisbogen-Interpolationsebenen bei angetriebenen Werkzeugen auf CNC-Drehmaschinen kommt von den klassischen Revolvermaschinen ohne B-Achse, die mit horizontalen (G17) Werkzeugen oder vertikalen (G19) Werkzeugen bestückt werden können. Theoretisch können bei einer Drehmaschine mit Y- und B-Achse zusammen mit den Drehachsen Z, X und C alle Fräsbearbeitungsebenen angewählt werden - sofern der B-Achs-Schwenkbereich hinreichend groß ist und ein kollisionsfreies Schwenken möglich ist.

Mit den beiden Rundachsen C und B sowie den Linearachsen Z, X, Y ist prinzipiell die Fräs-Mehrseitenbearbeitung am Drehwerkstück mit den Ebenenanwahlbefehlen der PAL2019-Frässteuerung möglich - und auch in jeder der Kreisbogen-Interpolationsebenen G17, G18 oder G19.

Die Stirnseiten-Bearbeitungsebene G15 G17 gedreht um B=90 Grad ist z.B. gleich der Sehnenflächenbearbeitungsebene G15 G19 oder im NC-Satz:

G15 G17 BM90 mit einem G17-Koordinatensystem ist die gleiche Bearbeitungsebene wie **G15 G19**

mit einem G19-Koordinatensystem

Ist nur eine Reale Y-Achse aber keine B-Achse vorhanden, lässt sich keine beliebige Bearbeitungsebene einschwenken. Mit einem vertikalem Werkzeug lassen sich nur Sehnenflächen orthogonal zu allen C-Achsrichtungen einstellen.

G15 G19 CM oder auch **G15 G17 BM90 CM**

G15 IP5 - Allgemeine Mehrseitenbearbeitungsebenenwahl beim Drehen mit 5 Achsen Z, X, Y, C, B

Die Anwahl der Mehrseiten-Bearbeitungsebenen erfolgt aus der aktiven Kreisinterpolations-Standardebene G17 oder G18 oder G19 heraus mit dem Befehl G15 IP5 oder wegen der Voreinstellung IP5 nur mit G15. G15 kann auch zusammen mit der Anwahl einer Kreisbogen-Interpolationsebene G17, G18 oder G19 programmiert werden. Aufrufvarianten:

G15 G15 IP5 G15 G17 G15 G18 G15 G19

Mit der Anwahl einer G15 IP5 Mehrseiten-Fräsbearbeitungsebene gilt für die Bearbeitung die Programmieranleitung PAL2019-Fräsen. Die Adresse IP mit dem Vorgabewert IP5 wird weggelassen.

Der allgemeine Fall der 2,5D-Mehrseitenbearbeitungsebenenwahl hat mit dem Vorgabewert IP5 analog zu PAL2019-Fräsen die Form:

G15 G17/G18/G19 IP5 <Winkel oder Punktangaben> XI YI ZI H DS Q HW HS/GS/GSU

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene
	17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene
Verschiebung		
XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z
Schwenkverhalten		
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten
	1	Einschwenken der Drehachsen
	2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung
	3	Kein automatisches 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 Werkzeugschneidpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.
Q	[1]	Lösungsauswahl
	1	Voreingestellte Einschwenklösung
	2	Alternative Einschwenklösung
Optionen		
HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)
	1	Vertikales Werkzeug
	2	Horizontales Werkzeug

HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung Die verwendete C-Achse ist dann die der Haupt- oder Gegenspindel.
	HS	Hauptspindelbearbeitung
	GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)
	GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)
	<i>Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel</i>	

! Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenwahl ausgeführt.

<Winkel oder Punktangaben>

Die Angabe steht für eine der nachstehend angegebenen Adress-Kombinationen der 5 unterschiedlichen Varianten der Bearbeitungsebenenwahl:

- Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM, CM
- Inkrementelle Raumwinkel AR, BR, CR
- Schnittwinkel des Werkstücks AS, BS, CS
- Drei-Punkte-Definition
- Basis- und Zustellvektor

Die Verwendung von G17 für alle Bearbeitungsebenen gestattet die Übernahme von Mehrseiten-Fräsprogrammen auf eine Drehmaschine.

Bei der Drehbearbeitung mit angetriebenen Werkzeugen in Polar- oder Zylinderkoordinaten oder den interpolierten kartesischen Koordinaten liegt der Werkstücknullpunkt auf der Drehachse und wird allenfalls auf dieser verschoben.

Bei allgemein liegenden Fräsbearbeitungsebenen ist dies jedoch nicht mehr der Fall, da hier vor der Bearbeitungsebenenwahl der Werkstücknullpunkt in einen geeigneten Punkt der neuen Bearbeitungsebene verschoben wird, der beim Einschwenken der Bearbeitungsebene mit transformiert wird. Deshalb gibt es in den allgemeinen Bearbeitungsebenen eine inkrementelle Verschiebung um XI, YI und ZI, die vor der Ebeneneinstellung ausgeführt wird.

Erläuterung der Winkeleingaben bei der Mehrseitenbearbeitungsebenenwahl

Man beachte bei der Bearbeitungsebenenwahl mit unterschiedlichen Drehwinkeln, dass diese Drehungen des Werkstücks beschreiben und zwar ausgehend von einem ungedrehten und achsparallel ausgerichteten Werkstück:

AM / BM / CM	Maschinenfeste Drehwinkel Mit diesen Winkeln werden aufeinanderfolgende Drehungen des Werkstücks um die festen Achsrichtungen des Maschinenkoordinatensystems programmiert
AR / BR / CR	Inkrementelle Drehwinkel Mit diesen Winkeln werden aufeinanderfolgende Drehungen des Werkstücks um die jeweiligen Werkstückachsrichtungen des mitgedrehten (durch den vorhergehenden Drehwinkel) Werkstückkoordinatensystem programmiert
AS / BS / CS	Schnittwinkel Diese Winkel werden achsparallelen Schnitten AS, BS, CS durch das Werkstück-Fertigteil entnommen.

Man beachte: Bei maschinenfesten und inkrementellen Drehwinkeln hängt die angewählte Bearbeitungsebene von der Reihenfolge der Winkel ab. Da die Position einer Adresse im NC-Satz nach der DIN 66025 keine Bedeutung hat, muss noch eine Reihenfolge-Index IR programmiert werden der bei mehr als einem programmierten Winkel die Reihenfolge festlegt.

Lässt sich nur mit der C-Achse (ohne B-Achse) eine programmierte Mehrseitenbearbeitungsebene nicht einschwenken, weil eine B-Achseinstellung erforderlich wäre, führt dies zu einer Fehlermeldung.

G15 IP5 - Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebenenanwahl

Funktion

Ausgehend von der am Werkstück eingestellten Standardbearbeitungsebene erfolgt das Einschwenken der zur aktuellen Kreisbogen-Interpolationsebene G17/G18/G19 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 NC auf die in der Maschinenkinematik vorhandenen Rund-/Schwenkachsen umgerechnet und mit Q eine der i.a. zwei Lösungen ausgewählt.

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP5** (**AM** | **BM** | **CM**) **XI** **YI** **ZI** **IR** **H** **DS** **Q** **HW**
HS/GS/GSU

Adressen

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene
	17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene

Maschinenfeste Raumwinkel

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

Verschiebung

XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z

Schwenkverhalten

IR	[321]	Drehwinkelreihenfolge (Siehe Programmierhinweise)	
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten	
		1	Einschwenken der Drehachsen
		2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung
	3	Kein automatisches 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 Werkzeugschneidpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.	
Q	[1]	Lösungsauswahl	
		1	Voreingestellte Einschwenklösung
		2	Alternative Einschwenklösung
Optionen			
HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)	
		1	Vertikales Werkzeug
		2	Horizontales Werkzeug
HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung	
		HS	Hauptspindelbearbeitung
		GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)
		GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)
		<i>Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel</i>	

Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

Drehwinkelreihenfolge

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 links stehenden 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 IP5 - Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebenenanwahl

Funktion

Das Einschwenken der zur aktuellen Kreisbogen-Interpolationsebene G17/G18/G19 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 Drehachsrichtung noch der Maschinenkoordinatensystemachsrichtung 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 NC auf die in der Maschinenkinematik vorhandenen Rund-/Schwenkachsen umgerechnet und mit Q eine der i.a. zwei Lösungen ausgewählt.

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP5** (**AR** | **BR** | **CR**) **XI** **YI** **ZI** **IR** **H** **DS** **Q** **HW**
HS/GS/GSU

Adressen

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene	
	17	XY-Ebene	
	18	ZX-Ebene	
	19	YZ-Ebene	
Inkrementelle Raumwinkel			
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	
Verschiebung			
XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X	
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y	
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z	
Schwenkverhalten			
IR	[321]	Drehwinkelreihenfolge (Siehe Programmierhinweise)	
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten	
		1	Einschwenken der Drehachsen
		2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung

		3	Kein automatisches 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 Werkzeugschneidpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.	
Q	[1]	Lösungsauswahl	
		1	Voreingestellte Einschwenklösung
		2	Alternative Einschwenklösung
Optionen			
HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)	
		1	Vertikales Werkzeug
		2	Horizontales Werkzeug
HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung	
		HS	Hauptspindelbearbeitung
		GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)
		GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)
		<i>Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel</i>	

! Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

Drehwinkelreihenfolge

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 links stehenden 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 IP5 - Schnittwinkel AS, BS und CS zur Ebenenanwahl

Funktion

In dieser Programmiervariante der Bearbeitungsebenenwahl werden die Winkel der Schnittlinien der Bearbeitungsebene mit parallel zu der aktuellen Kreisbogen-Interpolationsebenen G17/G18/G19 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.

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP5** (**AS** **BS**) / (**AS** **CS**) / (**BS** **CS**) **XI** **YI** **ZI** **O** **H** **DS** **Q**
HW **HS/GS/GSU**

Adressen

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene
	17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene
Schnittwinkel		
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
Verschiebung		
XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z
O	[1]	Achsrichtungsauswahl (Siehe Programmierhinweise)
	1	Die erste Bearbeitungsebenenachse (erste Geometrieachse der Ebene) liegt in der Ausgangsbearbeitungsebene (G17/G18/G19)
	2	Die zweite Bearbeitungsebenenachse (zweite Geometrieachse der Ebene) liegt in der Ausgangsbearbeitungsebene (G17/G18/G19)
	3	unterscheidet nach den anderen Standardebenen
	4	unterscheidet nach den anderen Standardebenen

Schwenkverhalten

H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten
	1	Einschwenken der Drehachsen
	2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung
	3	Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen
DS	[0]	<p>Verschiebung der virtuellen Schwenkposition, nur bei H2</p> <p>Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegende Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidpunktes um DS festgelegt.</p> <p>Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.</p>
Q	[1]	Lösungsauswahl
	1	Voreingestellte Einschwenklösung
	2	Alternative Einschwenklösung
Optionen		
HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)
	1	Vertikales Werkzeug
	2	Horizontales Werkzeug
HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung
	HS	Hauptspindelbearbeitung
	GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)
	GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)
	<i>Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel</i>	

! Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

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.

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/G18/G19)

O2	Die zweite Bearbeitungsebenenachse (zweite Geometrieachse der Ebene) liegt in der Ausgangsbearbeitungsebene (G17/G18/G19)
O3/ O4	unterscheiden nach den anderen Standardebenen

Auswahltabelle (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 IP5 - Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene

Funktion

Festlegung der Bearbeitungsebenen durch Vorgabe der Koordinaten von drei Punkten in dem zur Kreisbogen-Interpolationsebene G17/G18/G19 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).

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP5** **XD** **YD** **ZD** **XE** **YE** **ZE** **XF** **YF** **ZF** **XI** **YI** **ZI** **H** **DS** **Q**
HW **HS/GS/GSU**

Adressen

G17 / G18 / G19	Interpolationsebene	
	17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene

Drei-Punkte-Definition

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-Koordinate des 3. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
YF		Y-Koordinate des 3. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
ZF		Z-Koordinate des 3. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten

Verschiebung

XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z

Schwenkverhalten

H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten
	1	Einschwenken der Drehachsen

		2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung
		3	Kein automatisches 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 Werkzeugschneidpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.	
Q	[1]	Lösungsauswahl	
		1	Voreingestellte Einschwenklösung
		2	Alternative Einschwenklösung

Optionen

HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)	
		1	Vertikales Werkzeug
		2	Horizontales Werkzeug
HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung	
		HS	Hauptspindelbearbeitung
		GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)
		GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)
		<i>Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel</i>	

! Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

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 Rechte-Hand-Regel ergibt.

G15 IP5 - Basis- und Zustellvektor zur Ebenenanwahl

Funktion

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 festgelegt.

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP5** **XB** **YB** **ZB** **XN** **YN** **ZN** **XI** **YI** **ZI** **H** **DS** **Q** **HW**
HS/GS/GSU

Adressen

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene
	17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene
Basis- und Zustellvektor		
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
Verschiebung		
XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z
Schwenkverhalten		
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten
	1	Einschwenken der Drehachsen
	2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung
	3	Kein automatisches 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 Werkzeugschneidpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.
Q	[1]	Lösungsauswahl
	1	Voreingestellte Einschwenklösung
	2	Alternative Einschwenklösung
Optionen		
HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)
	1	Vertikales Werkzeug
	2	Horizontales Werkzeug
HS / GS / GSU	[*]	Anwahl der Haupt- oder Gegenspindelbearbeitung
	HS	Hauptspindelbearbeitung
	GSU	Gegenspindelbearbeitung mit Drehung des XYZ-Koordinatensystems um 180 Grad um die X-Achse (damit ist in der ZX-Ebene die Z-Achse gespiegelt und in der ZY-Ebene das Ebenenkoordinatensystem um 180 Grad gedreht) ohne Veränderung der Werkzeugquadranten (Damit entspricht die Gegenspindelprogrammierung einer vormittigen Programmierung der Hauptspindel)
	GS	Gegenspindelbearbeitung mit der gleichen Z-Richtung wie auf der Hauptspindel (nur für Drehbearbeitung zugelassen)
	<i>Voreinstellung: * Aktuell angewählte Werkstückspindel</i>	

! Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

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.

G15 - Gegenüberstellung der Allgemeinen Mehrseiten-Bearbeitungsebenenwahl im Drehen von PAL2019 und PAL2007

Gegenüberstellung Drehen PAL2019 und PAL2007

Die zusätzliche Verschiebung XI YI ZI und die in allen Befehlen enthaltenen optionalen Adressen H DS Q HS/GS/GSU werden hier nicht angegeben.

Die Interpolationsadresse IP mit dem Vorgabewert IP5 muss nicht programmiert werden. Daher kann die Angabe von IP5 bei der Allgemeinen Mehrseitenbearbeitung entfallen.

Eine modal anstehende Kreisbogen-Interpolationsebene G17 oder G18 oder G19 muss bei der Programmierung von G15 nicht angegeben werden. Aber aus Gründen der Übersichtlichkeit des NC-Programms ist die Angabe der Kreisbogen-Interpolationsebene zu empfehlen.

PAL2007	PAL2019	Kommentar
G18 C	G15 G18 IP0	Nicht-Standard
G17 C	G15 G17 IP0	Pseudo-Polarkoordinaten
G17	G15 G17 IP3	Stirnseite Virtuelle Y-Achse
G17 Y	G15 G17 IP5	Allg. Mehrseiten-Bearbeitung
G17 Y C	G15 G17 IP5 CM / CR	Allg. Mehrseiten-Bearbeitung
G19 C	G15 G19 IP0	Pseudo-Zylinderkoordinaten
G19 X	G15 G19 IP1 DM	Abgew. Mantelflächenbearb.
G19 Y	G15 G19 IP5	Allg. Mehrseiten-Bearbeitung
G19 Y C	G15 G19 IP5 CM / CR	Allg. Mehrseiten-Bearbeitung
G19 Y B	G15 G19 IP5 BM / BR	Allg. Mehrseiten-Bearbeitung
G19 Y B C	G15 G19 IP5 (BM CM) / (BR CR)	Allg. Mehrseiten-Bearbeitung
Nicht vorhanden		Allg. Mehrseiten-Bearbeitung mit
	G15 G17/G18/G19 IP5 (AM BM CM)	maschinenfesten Winkeln oder
	G15 G17/G18/G19 IP5 (AR BR CR)	inkrementellen Winkeln oder
	G15 G17/G18/G19 IP5 (AS BS CS)	Schnittwinkeln oder
	weitere Varianten	Punkt- und Vektorvorgaben

G16 - Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse

Funktion

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.

NC-Satz

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

Adressen

		Drehung
AR		Drehung um die X-Achse
BR		Drehung um die Y-Achse
CR		Drehung um die Z-Achse
		Verschiebung
XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z
		Einschwenken
H	[1]	Einschwenkverhalten
	1	Einschwenken
	2	Einschwenken mit Werkzeugausgleichsbewegung
	3	Kein Einschwenken
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.
	[1]	Lösungsauswahl
Q	1	Voreingestellte Einschwenklösung
	2	Alternative Einschwenklösung
HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)
	1	Vertikales Werkzeug
	2	Horizontales Werkzeug

Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

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/G17/G18/G19 erzeugte Ausgangsebene wieder her - auch dann, wenn G16 mehrfach programmiert wurde.

Eine neue Bearbeitungsebenenwahl mit G15 hebt eine inkrementelle Bearbeitungsebenenendrehung wieder auf.

Parameterprogrammierung und Systemparameter

•	Parameterprogrammierung
•	Systemparameter
•	Rechenoperationen
•	Mathematische Funktionen
•	Arithmetische und logische Ausdrücke

Parameterprogrammierung

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 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.

Diese Systemparameteradressen beginnend mit dem Buchstaben P und haben keinen Adresswert, sondern nur eine an P angehängte Buchstabenkombination, z.B. (aktueller Nullpunkt in X)

PNX

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 & 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=G0, 1=G1, 2=G2, 3=G3
PAI	Endpunktkoordinaten absolut/inkremental	90=G90, 91=G91
PNR	Angewählte einstellbare Nullpunktverschiebung	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 / Schnittgeschwindigkeit	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

+	<p>Addition</p> <p>Eine Addition wird mit dem Zeichen '+' (Plus) programmiert.</p>
-	<p>Subtraktion</p> <p>Eine Subtraktion wird mit dem Zeichen '-' (Minus) programmiert.</p>
*	<p>Multiplikation</p> <p>Eine Multiplikation wird mit dem Zeichen '*' (Stern) programmiert.</p>
/	<p>Division</p> <p>Eine Division wird mit dem Zeichen '/' (Schrägstrich) programmiert.</p>
+ -	<p>Vorzeichenangabe</p> <p>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.</p>
()	<p>Klammern</p> <p>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.</p>

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.

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).

ABS(F/I)	Absolutbetrag Berechnet den Absolutbetrag des Argumentes als Funktionswert.
INT(F)	IntegerWert Schneidet die Nachkommastellen des Argumentes ab und hat als Funktionswert eine ganze Zahl.
MOD(I1,I2)	Modulo-Funktion Restbetrag IR einer ganzzahligen Division. Der Rest $IR = I1 - (I1 / I2) * I2$ ist betragsmäßig kleiner als I2.
CEIL(F)	Aufrunden Bestimmt die kleinste ganze Zahl, die größer oder gleich dem Argument ist.
FIX(F)	Absolutwert abrunden Aufrunden und Abrunden auf eine ganze Zahl.
FLOOR(F)	Abrunden Bestimmt die größte ganze Zahl, die kleiner oder gleich dem Argument ist.
FUP(F)	Absolutwert aufrunden Aufrunden und Abrunden auf eine ganze Zahl.
ROUND(F)	Runden Aufrunden und Abrunden auf eine ganze Zahl.
SGN(F)	Vorzeichen Bei negativen Argument = -1, bei positiven Argument = +1.
SIN(F)	Sinus Sinusfunktion mit der Argumenteinheit Winkelgrad.
COS(F)	Kosinus Kosinusfunktion mit der Argumenteinheit Winkelgrad.
TAN(F)	Tangens Tangensfunktion mit der Argumenteinheit Winkelgrad.
ASIN(F)	Arcussinus Arcussinusfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.

ACOS(F)	<p>Arcuskosinus</p> <p>Arcuskosinusfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.</p>
ATAN(F)	<p>Arcustangens</p> <p>Arcustangensfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.</p>
ATAN2(F1,F2)	<p>ATAN2(F1,F2)</p> <p>Die Arcustangensfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad. Die Funktion entspricht der Tangensfunktion mit dem Argument $F1/F2$ für $F2$ ungleich 0 und $ATAN2(F1,0)=90$ Grad für $F1>0$ $ATAN2(F1,0)=-90$ Grad für $F1<0$.</p>
SQRT(F)	<p>Quadrat-Wurzel</p> <p>Quadratwurzelfunktion</p>
EXP(F)	<p>Exponentialfunktion</p> <p>Die Exponentialfunktion ist die Potenz e hoch F und wird mit der Eulerschen Konstanten $e = 2,71828$ berechnet.</p>
LN(F)	<p>natürlicher Logarithmus</p> <p>Als Umkehrfunktion zur obigen Exponentialfunktion kann mit 'LN' der Logarithmus zur Basiszahl e berechnet werden.</p>

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 Ausdrucks 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 Ausdrucks 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. Ausdruck)	weist dem Parameter P1 den Wert des arithmetischen Ausdrucks zu
P(arithm. 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.

((arithmetischer Ausdruck 1) Vergleichsoperator (arithmetischer 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 folgenden Zahlenwerte zugeordnet:

1	für wahr und
0	für falsch

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

Erweiterung: Erweiterte 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 DIN 66025 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.

Diese Softwareergänzung ist eine ab Version 9.0 nachbestellbare Erweiterungsoption.

G65	Makroaufruf
DO	Programmschleife Anfang
END	Programmschleife Ende
GOTO	Programmsprung
IF-GOTO	Bedingter Programmsprung
IF-THEN	Bedingte Parameterzuweisung
WHILE-DO	Programmschleife Anfang

G65 - Makroaufruf

Funktion

Der Befehl G65 ruft ein Unterprogramm als Makro auf. Der Aufruf als Makro hat zwei wesentliche Vorteile gegenüber dem Unterprogrammaufruf (G22). Zum einen können dem Makro Parameter übergeben werden. Zum anderen können die Parameter P1 bis P33 im Makro ohne Einschränkungen verwendet werden.

Makroparameter

Im Makroaufruf können Parameter über die Adressen von A bis Z mit Ausnahme von G, L, N, O und P programmiert werden. Im Makro kann auf die Makroparameter über die lokalen Parameter P1 bis P26 zugegriffen werden.

Die den nicht angegebenen Adressen entsprechenden lokalen Variablen werden gleich P0 d.h. auf 'nicht definiert' gesetzt. Der Parameter P0 mit der Nummer 0 hat den Wert nicht definiert.

Parameter im Makro

Im Makro können die Parameter P1 bis P33 ohne Einschränkungen verwendet werden. Der Makroaufruf kopiert die Werte vor dem Aufruf und stellt sie im Anschluss wieder her. Damit bleiben die Parameter außerhalb trotz Änderungen im Makro unverändert.

NC-Satz

G65 L O A B C D E F H I J K M Q R S T U V W X Y Z

Adressen

L		Programmnummer des Makros
O	[1]	Zahl der Wiederholungen des Makros
Makroparameter		
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

Nicht im Makro verwendete Adressen müssen nicht programmiert werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

DO - Programmschleife Anfang

Funktion

Mit dem Befehl DO wird ein Programmabschnitt endlos wiederholt.

Die Wiederholung wird durch zwei NC-Sätze eingerahmt. Der erste NC-Satz beginnt mit der Schleifenanfangsmarke DO# und endet mit dem NC-Satz END#. Der Befehl verhält sich wie WHILE-DO mit einer immer erfüllten Bedingung.

Um die Wiederholung zu verlassen, kann ein bedingter Sprungbefehl verwendet werden (siehe IF-GOTO).

Für die Schleifenbereiche von DO_i bis END_i 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.

NC-Satz

DO<Markennummer>

Adressen

Markennummer (1-9)

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

END - Programmschleife Ende

Funktion

Der Befehl END schließt eine DO oder WHILE-DO Programmteilwiederholung ab.

NC-Satz

END<Markennummer>

Adressen

Markennummer (1-9)

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

GOTO - Programmsprung

Funktion

Der Befehl GOTO ist ein unbedingter Sprung auf die Satznummer, die nach dem GOTO steht.

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

NC-Satz

GOTO <Satznummer>

Adressen

	Satznummer
--	------------

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

IF-GOTO - Bedingter Programmsprung

Funktion

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.

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

NC-Satz

IF (**<Bedingung>**) **GOTO** **<Satznummer>**

Adressen

	Bedingung
	Satznummer

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

IF-THEN - Bedingte Parameterzuweisung

Funktion

Der Befehl IF-THEN ist eine bedingte Parameterzuweisung.

Die Parameterzuweisung erfolgt ausschließlich, wenn die Bedingung erfüllt ist.

NC-Satz

IF (**<Bedingung>**) **THEN** **<Zuweisung>**

Adressen

	Bedingung
	Zuweisung

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

WHILE-DO - Programmschleife Anfang

Funktion

Mit dem Befehl WHILE 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 und endet mit dem NC-Satz END. 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# stehenden NC-Satz.

NC-Satz

WHILE (<Bedingung>) **DO**<Markennummer>

Adressen

	Bedingung
	Markennummer (1-9)

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Für die Schleifenbereiche gelten folgende Regeln:

1. Die DO-END-Bereiche dürfen sich nicht gegenseitig überschneiden.
2. Schleifen können verschachtelt sein (maximale Schachteltiefe = 9).
3. Im Programmablauf kann aus einer Schleife herausgesprungen werden.

Erweiterung: In-Prozess-Messen

Diese Softwareergänzung ist eine ab Version 9.0 nachbestellbare Erweiterungsoption.

•	In-Prozess-Messen mit Messtastern
•	In-Prozess-Messen in den erweiterten PAL-Bearbeitungszyklen
•	Vorauswahl der durchzuführenden Messungen für das In-Prozess-Messen in den PAL-Fräszyklen
•	Adressen zur Festlegung des Messumfangs und der Messpositionen beim In-Prozess-Messen
•	Tabelle der Parameternummern der In-Prozess-Mess-Ergebnisse der PAL-Bearbeitungszyklen
G7	Elementarer Messbefehl
G8	Basis-Messzyklen
G8 LM400	Messen Einzelcoordinate
G8 LM401	Messen Außenecke
G8 LM402	Messen Innenecke
G8 LM405	Messen Nutbreite
G8 LM406	Messen Stegbreite
G8 LM407	Messen Kreisbogen Innen
G8 LM408	Messen Kreisbogen Außen
G8 LM500	Nullpunktsetzen Einzelpunkt
G26	Kalibrierzyklus für Messtaster
G27	Modale Adressen für Messzyklen
G28	Modale Toleranzwerte für Form- und Lageabweichungen
MSG	Textausgabe
•	Texte

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 Werkzeug-Verschleiß 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 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 G7-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 Anfahrtwege 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.

Die elementaren Messzyklen sind hier für eine Drehmaschine ausgelegt (Z, X).

Für Drehmaschinen mit C- und Y-Achse sind auch die elementaren Messzyklen aus dem Fräsen programmierbar.

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 Programmteilwiederholung durch Verwendung eines Steuerparameters Px (x ist eine Parameternummer) für die Programmierung der Bearbeitungsauswahl QM=P_x durch Programmteilwiederholung oder Schleifen mehrfach aufgerufen werden, z.B. für

QM	[1]	
	0	Überspringen des Zyklus
	1	Bearbeiten ohne Stufen
	3	Bearbeiten trochoidal mit Minimalradius RM ohne Stufen
	5	Messen der Zyklusgeometrie gemäß QL und Abspeichern unter P(SP)
	-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 Taschen-/Einstichzyklen 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	[1]	Auswahl des In-Prozess-Messumfangs [P8100]
	0	Keine Messung
	1	Messen in der Bearbeitungsebene
	2	Messen nur in der Zustellrichtung
	3	Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung
	4	Messen in der Bearbeitungsebene unter Einbeziehung der Verrundungsradien und in der Zustellrichtung
	5	Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit Vertikal-Winkelberechnungen
	6	Messen in der Bearbeitungsebene wie QL5 und zusätzlich mit Horizontal-Winkelberechnungen und Mittelwertbildungen

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 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- und Zapfenlängen. In DW sind mögliche Taschen- und der Zapfen-Verrundungsradien zu berücksichtigen. $DW=0$: Keine Winkelmessung in der Bearbeitungsebene. 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 Messpunkt Abstand.
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 RQ, AQ 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 geschlossenen Boden ein oder zwei beliebig liegende Messpunkte für die Tiefenmessung und Bodenwinkelmessung vorgegeben werden.
TV	[0]	Werkzeugnummer für automatische 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/G77 nicht verwendet werden.
		<i>Voreinstellung: keine Verschleißkorrektur</i>
SP	[0]	<p>Erste Parameternummer der Messwertspeicherung</p> <p>Für einen PAL-Messzyklus wird mit der Adresse SP die erste Parameternummer der ab dieser Nummer gespeicherten Messergebnisse programmiert.</p> <p>Der Bedeutung der in den nachfolgenden Parametern abgespeicherten Messergebnisse wird nachstehend angegeben.</p>
SO	[50]	<p>Parameternummern-Offset für SP bei Mehrfachaufruf eines Zyklus</p> <p>Dieser Wiederholungsoffset wird bei jeder Wiederholung eines Zyklusaufrufs zu der vorhergehenden Nummer SP addiert.</p> <p>Der Wert von SO ist so zu wählen, dass die für weitere Benutzer-Auswertungen erforderlichen Ergebnisse bei den Mehrfachaufrufen nicht überschrieben werden.</p>

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	G8*	P(SP+0)	Mess-Zyklus-G-Befehl + 100 * vorhandene Satznummer N
G72	G73	G74	G75	G8*	P(SP+1)	Setzpunkt der Zyklusgeometrie in X
G72	G73	G74	G75	G8*	P(SP+2)	Setzpunkt der Zyklusgeometrie in Y
G72	G73	G74	G75	G8*	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	G8*	P(SP+5)	X-Komponente normierter Richtungsvektor des Objektzentrums
G72	G73	G74	G75	G8*	P(SP+6)	Y-Komponente normierter Richtungsvektor des Objektzentrums
G72	G73	G74	G75	G8*	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	G8*	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	G8*	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

					<p>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 Zentrumsunkte berechnet und als Ergebnisse abgespeichert.</p> <p>Man beachte: Im Fall einer Werkzeugverbiegung (Deflection) bei der Bearbeitung können sich durch diese Mittelwertbildung korrekte Richtungsvektoren des Zyklusobjekts ergeben, obwohl die Berandungsfächen sämtlich einen Abweichungswinkel haben (die sich bei der Berechnung des Richtungsvektors gegenseitig aufheben).</p> <p>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 Messpunktanfahrrihtung gebildet wird.</p>	
G72	G73	G74	G75	G8*	P(SP+30)	Winkel der Verbindungslinie der Y/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Taschenwandmesspunkte/-Quadrantenpunkte in Y-Richtung
G72	G73	G74	G75	G8*	P(SP+31)	Winkel der Verbindungslinie der X/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Taschenwandmesspunkte/-Quadrantenpunkte in -X-Richtung
G72	G73	G74	G75	G8*	P(SP+32)	Winkel der Verbindungslinie der Y/Z-Ebene der beiden übereinanderliegenden Taschenwandmesspunkte/-Quadrantenpunkte in -Y-Richtung
G72	G73	G74	G75	G8*	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

G7 - Elementarer Messbefehl

Funktion

Der Befehl G7 verfährt die folgenden elementaren Messbewegungen:

1. Messen im Messvorschub
2. Vormessen im Positioniervorschub
3. Positionieren im Positioniervorschub

Der Messbefehl setzt voraus, dass ein Messtaster als aktives Werkzeug eingewechselt ist und wählt automatisch den korrekten Eichwertsatz zum aktiven Taster und Messvorschub. Der Eichwertsatz muss zuvor über den Kalibrierzyklus (G26) bestimmt werden.

Der Befehl verwendet die modalen Adressen für Messzyklen (G27).

NC-Satz

G7 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI O SP

Adressen

		Zielpunkt
X / XA / XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y / YA / YI		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
		Optionen
O	[1]	Messoption
	1	Messen im Messvorschub mit Anzeige in der Konsole
	2	Messen im Messvorschub ohne Anzeige
	3	Vormessen im Positioniervorschub
	4	Positionieren im Positioniervorschub
		Messwertspeicherung
SP	[0]	Erste Parameternummer

Programmierhinweise

Man beachte, dass das Messergebnis einer elementaren Messung ohne zusätzliche Informationen (z.B. senkrecht Antasten einer Kante) bedeutungslos ist, da es lediglich den Ort des Zentrums der Tastkugel im Fall einer Berührung, aber nicht den Berührungspunkt selbst angibt. Der elementare Messbefehl wird vielmehr verwendet, um komplexe Messzyklen zu programmieren.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Messen im Messvorschub

Beim Messen im Messvorschub verfährt die NC im Messvorschub (FM) vom Startpunkt zum Zielpunkt und um die maximale Überfahrlänge (LO) über diesen hinaus. Der Zielpunkt muss so gewählt sein, dass eine Berührung erwartet wird. Die NC bricht die Programmausführung ab, wenn der Messweg kleiner als die minimal erforderliche Messweglänge (LM) ist oder kein Berührungspunkt gefunden wurde.

Bei Berührung speichert die NC die Werkzeugposition im Messspeicher und zieht um einen Sicherheitsabstand zurück.

Bei der Messoption O1 erfolgt eine Ausgabe der Messposition in der Konsole.

Vormessen im Positioniervorschub

Das Vormessen folgt dem selben Ablauf wie das Messen, mit dem einzigen Unterschied, dass der Positioniervorschub (FT) statt des Messvorschubs verwendet wird. Aufgrund des höheren Vorschubs ist das Ergebnis weniger genau und als Messung nicht geeignet.

Eine exakte Messung misst im Positioniervorschub vor, zieht um die Rückfahrlänge (LT) zurück und misst im Messvorschub nach.

Positionieren im Positioniervorschub

Beim Positionieren fährt die NC im Positioniervorschub (FT) den programmierten Zielpunkt an. Die Wahl des Vorschubs stellt sicher, dass die NC bei Kollision die Bewegung noch stoppen kann, ohne den Messtaster zu beschädigen. Im Falle einer Berührung bricht die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung ab. Im Erfolgsfall steht im Messspeicher der Zielpunkt.

Die Funktion wird auch als geschützter Verfahrtsatz bezeichnet und findet Verwendung beim Positionieren im Messzyklus, wenn keine Berührung erwartet wird.

Messwertspeicherung

Nur wenn in der Adresse SP ein Wert größer als 0 programmiert wird, werden im Erfolgsfall die Messergebnisse wie folgt gespeichert:

P(SP+0)	Zyklusnummer
P(SP+1)	X-Koordinate der Messposition
P(SP+2)	Y-Koordinate der Messposition
P(SP+3)	Z-Koordinate der Messposition

G8 - Basis-Messzyklen

Funktion

Elementare Messzyklen liefern im Vergleich zum elementaren Messbefehl als Ergebnis die Koordinaten des Berührungspunktes und durch Berechnung Steg- oder Nutbreite, Radien von Kreisen oder Kreisbögen sowie deren Mittelpunkte. Die Werte der 'modalen Adressen Messen' aus G27 werden berücksichtigt und gegebenenfalls Fehlermeldungen ausgegeben.

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 in ähnlicher Form in den aktuellen CNC-Steuerungen vorhanden sind.

Die Messzyklen arbeiten optional mit 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.

Der Befehl verwendet die modalen Adressen für Messzyklen (G27).

LM400	Messen Einzelcoordinate
LM401	Messen Außenecke
LM402	Messen Innenecke
LM405	Messen Nutbreite
LM406	Messen Stegbreite
LM407	Messen Kreisbogen Innen
LM408	Messen Kreisbogen Außen
LM500	Nullpunktsetzen Einzelpunkt

G8 LM400 - Messen Einzelkoordinate

Funktion

Beim Antasten einer achsparallelen Fläche im Drehbetrieb wird nur eine Achse verfahren, deren Achskoordinate und Richtung (Vorzeichen) mit BZ oder BX vorgegeben wird. Ausgehend vom Startpunkt verfährt der Taster im Messvorschub inkrementell um BZ oder BX.

Der Abstand vom Startpunkt zur Messfläche muss größer als die minimale erforderliche Messweglänge LM aus G27 sein. Durch die senkrecht zur Antastfläche erfolgte Messung wird der Koordinatenwert unter Berücksichtigung des Tastkugelradius in der Messrichtung bestimmt.

NC-Satz

G8 LM400 (**BZ** **K**) / (**BX** **I**) **Z/ZA/ZI** **X/XA/XI** **SP**

Adressen

BZ / BX		Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke
Startpunkt		
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate des Startpunktes
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X / XA / XI		X-Koordinate des Startpunktes
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Sollposition		
K / I	[0]	Sollposition Messprotokoll und Toleranzprüfung
Messwertspeicherung		
SP	[0]	Erste Parameternummer

! Programmierhinweise

Messwertspeicherung

Nur wenn in der Adresse SP ein Wert größer als 0 programmiert wird, werden im Erfolgsfall die Messergebnisse wie folgt gespeichert:

P(SP+0)	Zyklusnummer
P(SP+1)	X-Koordinate der Messposition
P(SP+3)	Z-Koordinate der Messposition

Von den 3 Koordinaten wird nur ein Wert gemessen und belegt. Die anderen beiden Werte werden auf P0 (undefiniert) gesetzt.

G8 LM401 - Messen Außenecke

Funktion

Mit einem vor und über der zu messenden Ecke liegenden Startpunkt wird ein gegenüber dem Startpunkt in den beiden Koordinatenachsen um $BZ \neq 0$, $BX \neq 0$ inkrementell verschobener Zielpunkt der Messbewegungen gewählt, so dass das durch den Startpunkt und den Zielpunkt aufgespannte Rechteck die zu messende Ecke enthält. Die Vorzeichen der inkrementellen Verschiebungen bestimmen die Lage der zu messenden Ecke.

Beim Antasten der Fläche in Z und der Zylinderfläche in X werden nacheinander die Messbewegungen in den beiden Achsen X, Z verfahren. Ausgehend vom Startpunkt verfährt der Taster im Messvorschub erst in X und nach Rückfahrt auf den Startpunkt dann in Z-Richtung.

Eine optionale zweite Messung kann zur Winkelbestimmung in jeder Achsrichtung mit DX und DZ vorgegeben werden.

Der Abstand vom Startpunkt zur Messfläche muss größer als die minimale erforderliche Messweglänge LM aus G27 sein. Durch die senkrecht zur Antastfläche erfolgte Messung wird der Koordinatenwert unter Berücksichtigung des Tastkugelradius in der Messrichtung bestimmt und bei zwei Messungen pro Tast-Richtung auch der Winkel überprüft.

NC-Satz

G8 LM401 BX | I BZ | K DX DZ X/XA/XI Z/ZA/ZI SP

Adressen

BZ		Vom um BX und BY verschobenen Startpunkt ausgehende inkrementelle Messstrecke in Z
BX		Vom um BY und BZ verschobenen Startpunkt ausgehende inkrementelle Messstrecke in X
Startpunkt		
Z / ZA / ZI	Z-Koordinate des Startpunktes	
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X / XA / XI	X-Koordinate des Startpunktes	
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Sollposition		
I		X-Sollposition Messprotokoll und Toleranzprüfung
K		Z-Sollposition Messprotokoll und Toleranzprüfung
DZ	[0]	Gerichteter Abstand (mit Vorzeichen) für eine optionale zweite Messung für $DZ \neq 0$ in X-Richtung ausgehend vom Startpunkt verschoben um DZ

DX	[0]	Gerichteter Abstand (mit Vorzeichen) für eine optionale zweite Messung für $DX \neq 0$ in Z-Richtung ausgehend vom Startpunkt verschoben um DX
-----------	-----	--

Messwertspeicherung

SP	[0]	Erste Parameternummer
-----------	-----	-----------------------

! Programmierhinweise

Es sind BZ und/oder K und BX und/oder I zu programmieren. Werden beide programmiert, wird BZ bzw. BX verwendet.

Messwertspeicherung

Nur wenn in der Adresse SP ein Wert größer als 0 programmiert wird, werden im Erfolgsfall die Messergebnisse wie folgt gespeichert:

P(SP+0)	Zyklusnummer
P(SP+1)	X-Koordinate der Außenecke
P(SP+3)	Z-Koordinate der Außenecke
P(SP+4)	1. Winkel bezüglich der 1. Geometrieachse
P(SP+5)	2. Winkel bezüglich der 1. Geometrieachse

Die berechneten Winkel liegen immer in der Interpolationsebene und beziehen sich auf die 1. Geometrieachse.

G8 LM402 - Messen Innenecke

Funktion

Beim Antasten einer XZ-achsparallelen Fläche oder des Durchmessers bei $Y=0$ werden nacheinander die Messbewegungen in den beiden Achsen Z, X verfahren. Ausgehend vom Startpunkt verfährt der Taster im Messvorschub erst in X und nach Rückfahrt auf den Startpunkt dann in Z-Richtung.

Eine optionale zweite Messung kann zur Winkelbestimmung in jeder Achsrichtung mit DX und DZ vorgegeben werden.

Der Abstand vom Startpunkt zur Messfläche muss größer als die minimale erforderliche Messweglänge LM aus G27 sein. Durch die senkrecht zur Antastfläche erfolgte Messung wird der Koordinatenwert unter Berücksichtigung des Tastkugelradius in der Messrichtung bestimmt und bei zwei Messungen pro Tast-Richtung auch der Winkel überprüft.

NC-Satz

G8 LM402 BZ | K BX | I DZ DX Z/ZA/ZI X/XA/XI SP

Adressen

BZ		Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in Z
BX		Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke in X
Startpunkt		
Z / ZA / ZI	Z-Koordinate des Startpunktes	
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X / XA / XI	X-Koordinate des Startpunktes	
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Sollposition		
I		X-Sollposition für Messprotokoll
K		Z-Sollposition für Messprotokoll
DZ	[0]	Gerichteter Abstand (mit Vorzeichen) für eine optionale zweite Messung für $DZ \neq 0$ in X-Richtung ausgehend vom Startpunkt verschoben um DZ
DX	[0]	Gerichteter Abstand (mit Vorzeichen) für eine optionale zweite Messung für $DX \neq 0$ in Z-Richtung ausgehend vom Startpunkt verschoben um DX
Messwertspeicherung		
SP	[0]	Erste Parameternummer

Programmierhinweise

Es sind BZ und/oder K und BX und/oder I zu programmieren. Werden beide programmiert, wird BZ bzw. BX verwendet.

Wenn die Sollposition programmiert wird, kann die Angabe der Messstrecke entfallen. In diesem Fall berechnet der Befehl automatisch eine Messstrecke aus Start-, Sollposition, Tastkugelradius und der maximale Überfahrlänge (G27). Werden Sollwert und Messstrecke programmiert, wird die Messstrecke benutzt. Die Sollwerte sind wichtig für das Messprotokoll. Werden sie nicht angegeben, erscheint der Startpunkt als Sollwert im Protokoll.

Messwertspeicherung

Nur wenn in der Adresse SP ein Wert größer als 0 programmiert wird, werden im Erfolgsfall die Messergebnisse wie folgt gespeichert:

P(SP+0)	Zyklusnummer
P(SP+1)	Ecke in X bei BX
P(SP+3)	Ecke in Z bei BZ
P(SP+4)	1. Winkel bezüglich der 1. Geometrieachse
P(SP+5)	2. Winkel bezüglich der 1. Geometrieachse

Die berechneten Winkel liegen immer in der Interpolationsebene und beziehen sich auf die 1. Geometrieachse.

G8 LM405 - Messen Nutbreite

Funktion

Im Drehbetrieb wird die Nutbreite bei $Y=0$ und mit $AN=0$ mit der Programmierung von B in Z-Richtung achsparallel gemessen. Es wird zunächst auf Materialoberfläche plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius zugestellt, dann in Z und X positioniert. Dann wird auf Materialoberfläche minus Messtiefe abgesenkt und gemessen. Nach beendeter Messung erfolgt der Rückzug auf die Materialoberfläche plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius.

Eine Nutbreite in Z-Richtung wird in G17 gemäß G8 LM405 im Fräsen gemessen.

NC-Satz

G8 LM405 B D V Z/ZA/ZI X/XA/XI TV SP

Adressen

B		Sollnutbreite im um AN gedrehten Koordinatensystem	
D		Messtiefe von der Materialoberfläche für die Berandungsmessung	
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche	
Startpunkt			
Z / ZA / ZI	[*]	Startpunkt in der Zustellachse	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell
		Z	G90/G91
<i>Voreinstellung: * aktuelle Tasterposition über Material plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius</i>			
X / XA / XI		Startpunkt Nutmitte	
		XA	absolut
		XI	inkrementell
		X	G90/G91
Werkzeugverschleißkorrektur			
TV	[0]	Werkzeugnummer	
Messwertspeicherung			
SP	[0]	Erste Parameternummer	

! Programmierhinweise

Werkzeugverschleißkorrektur

Wenn im Zyklus eine Werkzeugnummer für die Verschleißkorrektur (TV) ungleich 0 programmiert wird, so berechnet der Zyklus die Abweichung der gemessenen Nutbreite vom Sollwert und erzeugt daraus eine Verschleißkorrektur für den Werkzeugradius des Werkzeug. Wenn die gemessene Nutbreite größer als der Sollwert ist, bricht die NC mit einer Fehlermeldung ab.

Messwertspeicherung

Nur wenn in der Adresse SP ein Wert größer als 0 programmiert wird, werden im Erfolgsfall die Messergebnisse wie folgt gespeichert:

P(SP+0)	Zyklusnummer
P(SP+1)	Nutbreite

G8 LM406 - Messen Stegbreite

Funktion

Im Drehbetrieb wird die Breite eines geraden Steges bei $Y=0$ und mit $AN=0$ mit der Programmierung von B in Z -Richtung achsparallel gemessen. Es wird zunächst auf Materialoberfläche plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius zugestellt, dann in Z positioniert. Anschließend wird die mit der Sollstegbreite und der minimalen Messanfahränge 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.

Eine Stegbreite in Z -Richtung wird in $G17$ gemäß G8 LM406 im Fräsen gemessen.

NC-Satz

G8 LM406 B D V Z/ZA/ZI X/XA/XI TV SP

Adressen

B		Sollstegbreite im um AN gedrehten Koordinatensystem
D		Messtiefe von der Materialoberfläche für die Berandungsmessung
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche

Startpunkt

Z / ZA / ZI	[*]	Startpunkt in der Zustellachse
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
<i>Voreinstellung: * aktuelle Tasterposition über Material plus Sicherheitsabstand plus Tasterradius</i>		
X / XA / XI		Startpunkt Stegmitte
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91

Werkzeugverschleißkorrektur

TV	[0]	Werkzeugnummer
-----------	------------	----------------

Messwertspeicherung

SP	[0]	Erste Parameternummer
-----------	------------	-----------------------

! Programmierhinweise

Werkzeugverschleißkorrektur

Wenn im Zyklus eine Werkzeugnummer für die Verschleißkorrektur (TV) ungleich 0 programmiert wird, so berechnet der Zyklus die Abweichung der gemessenen Stegbreite vom Sollwert und erzeugt daraus eine Verschleißkorrektur für den Werkzeugradius des Werkzeug. Wenn die gemessene Stegbreite kleiner als der Sollwert ist, bricht die NC mit einer Fehlermeldung ab.

Messwertspeicherung

Nur wenn in der Adresse SP ein Wert größer als 0 programmiert wird, werden im Erfolgsfall die Messergebnisse wie folgt gespeichert:

P(SP+0)	Zyklusnummer
P(SP+1)	Stegbreite

G8 LM407 - Messen Kreisbogen Innen

Funktion

Im Drehbetrieb wird die Nutbreite bei $Y=0$ gemessen. Es 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 der erste in Richtung AN vom Kreismittelpunkt liegende Messpunkt im Messvorschub angefahren und gemessen. Nach Rückfahrt auf den Messstartpunkt wird mit dem Winkelinkrement AI der nächste Messstartpunkt berechnet, angefahren und gemessen. Nach der Messung des dritten Punktes erfolgt die Berechnung des Radius und des Mittelpunktes.

NC-Satz

G8 LM407 R AN AI Z/ZA/ZI X/XA/XI TV SP

Adressen

R		Sollradius
AN	[0]	Winkel der Antastrichtung
AI	[120]	Inkrementwinkel
Startpunkt		
Z / ZA / ZI		Startpunkt Mittelpunkt des Kreisbogens
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X / XA / XI		Startpunkt Mittelpunkt des Kreisbogens
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Werkzeugverschleißkorrektur		
TV	[0]	Werkzeugnummer
Messwertspeicherung		
SP	[0]	Erste Parameternummer

! Programmierhinweise

Werkzeugverschleißkorrektur

Wenn im Zyklus eine Werkzeugnummer für die Verschleißkorrektur (TV) ungleich 0 programmiert wird, so berechnet der Zyklus die Abweichung des gemessenen Bogenradius vom Sollwert und erzeugt daraus eine Verschleißkorrektur für den Werkzeugradius des Werkzeug. Wenn der gemessene Radius größer als der Sollwert ist, bricht die NC mit einer Fehlermeldung ab.

Messwertspeicherung

Nur wenn in der Adresse SP ein Wert größer als 0 programmiert wird, werden im Erfolgsfall die Messergebnisse wie folgt gespeichert:

P(SP+0)	Zyklusnummer
P(SP+1)	X-Koordinate des Mittelpunktes
P(SP+3)	Z-Koordinate des Mittelpunktes
P(SP+4)	Radius

Der Mittelpunkt wird in der aktiven Interpolationsebene berechnet. Die Koordinate in Zustellrichtung ist gleich P0 (undefiniert).

G8 LM408 - Messen Kreisbogen Außen

Funktion

Im Drehbetrieb wird die Nutbreite bei $Y=0$ gemessen. Es 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 der erste in Richtung AN vom Kreismittelpunkt liegende Messpunkt im Messvorschub angefahren und gemessen. Nach Rückfahrt auf den Messstartpunkt wird mit dem Winkelinkrement AI der nächste Messstartpunkt berechnet, angefahren und gemessen. Nach der Messung des dritten Punktes erfolgt die Berechnung des Radius und des Mittelpunktes.

NC-Satz

G8 LM408 R AN AI Z/ZA/ZI X/XA/XI TV SP

Adressen

R		Sollradius
AN	[0]	Winkel der Antastrichtung
AI	[120]	Inkrementwinkel
Startpunkt		
Z / ZA / ZI		Startpunkt Mittelpunkt des Kreisbogens
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X / XA / XI		Startpunkt Mittelpunkt des Kreisbogens
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Werkzeugverschleißkorrektur		
TV	[0]	Werkzeugnummer
Messwertspeicherung		
SP	[0]	Erste Parameternummer

! Programmierhinweise

Werkzeugverschleißkorrektur

Wenn im Zyklus eine Werkzeugnummer für die Verschleißkorrektur (TV) ungleich 0 programmiert wird, so berechnet der Zyklus die Abweichung des gemessenen Bogenradius vom Sollwert und erzeugt daraus eine Verschleißkorrektur für den Werkzeugradius des Werkzeug. Wenn der gemessene Radius kleiner als der Sollwert ist, bricht die NC mit einer Fehlermeldung ab.

Messwertspeicherung

Nur wenn in der Adresse SP ein Wert größer als 0 programmiert wird, werden im Erfolgsfall die Messergebnisse wie folgt gespeichert:

P(SP+0)	Zyklusnummer
P(SP+1)	X-Koordinate des Mittelpunktes
P(SP+3)	Z-Koordinate des Mittelpunktes
P(SP+4)	Radius

Der Mittelpunkt wird in der aktiven Interpolationsebene berechnet. Die Koordinate in Zustellrichtung ist gleich P0 (undefiniert).

G8 LM500 - Nullpunktsetzen Einzelpunkt

Funktion

Beim Antasten einer achsparallelen Fläche im Drehbetrieb wird nur eine Achse verfahren, deren Achskoordinate und Richtung (Vorzeichen) mit BZ oder BX vorgegeben wird. Ausgehend vom Startpunkt verfährt der Taster im Messvorschub inkrementell um BZ oder BX

Der Abstand vom Startpunkt zur Messfläche muss größer als die minimale erforderliche Messweglänge LM aus G27 sein. Durch die senkrecht zur Antastfläche erfolgte 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 K oder I kann eine Verschiebung der gemessenen Nullpunktcoordinate vorgegeben werden (z.B. für ein Aufmaß).

NC-Satz

G8 LM500 (**BZ** **K**) / (**BX** **I**) **Q** **Z/ZA/ZI** **X/XA/XI**

Adressen

BZ / BX		Vom Startpunkt ausgehende inkrementelle Messtrecke
K / I	[0]	Verschiebung der gemessenen Z/X-Nullpunktcoordinate um -K/-I (minus K/I)
Q	[*]	Nummer des Einstellbaren Nullpunktes
		<i>Voreinstellung: * aktiver Nullpunkt</i>

Startpunkt

Z / ZA / ZI	Startpunkt	
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell
	Z	G90/G91
X / XA / XI	Startpunkt	
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91

! Programmierhinweise

Ein gemessener Nullpunkt hat dann die Koordinaten (K, I)

G26 - Kalibrierzyklus für Messtaster

Funktion

Der Kalibrierzyklus bestimmt für alle Bewegungsrichtungen die Berührungspunktüberfahrwege für einen Messvorschubwert FM in mm/min. Dabei werden die Einflüsse der NC 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.

Aus diesen abgespeicherten Koordinatenwerten werden mit den Kalibrierdaten die Koordinatenwerte des Berührungspunktes (Mittelpunkt der Tastkugel) 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.

NC-Satz

G26 Q FM Z X Y R AH AV

Adressen

Q	Kalibrierwerkzeug	
	1	Ring innen
	2	Ring außen
	3	Kugel
FM	Messvorschub	
Z	Z-Koordinate des Zentrums des Kalibrierrings oder der Kalibrierkugel	
X	X-Koordinate des Zentrums des Kalibrierrings oder der Kalibrierkugel	
Y	Y-Koordinate der Oberfläche des Kalibrierrings oder des Zentrums der Kalibrierkugel	
R	Innerer Radius des Kalibrierringes oder Radius der Kalibrierkugel	
AH	[5]	Winkeldifferenz der horizontalen (Azimut-)Kalibrierrichtungen in Winkelgrad in der Bearbeitungsebene
AV	[0]	Höhenwinkeldifferenz der Kalibrierrichtungen bei Kalibrier-Kugelmessungen zum Messvorschub FM berechnet

! Programmierhinweise

Der Messtaster muss eingewechselt sein.

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 Adressen für Messzyklen

Funktion

Der Befehl G27 setzt allgemeine Adressen für alle Messzyklen. 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 Kollisionsüberfahrlänge des Messtasters zum Halt abbremsen können, ohne dass der Taster zu Schaden kommt.

Alle Adressen sind modal bis zum Programmende gültig, oder bis sie überschrieben werden.

Mit Programmstart werden alle Werte auf ihre Voreinstellung zurückgesetzt.

Alle nicht programmierten Werte bleiben unverändert.

NC-Satz

G27 FM FT LM LO LT

Adressen

FM	Messvorschub [P8140]
FT	Positioniervorschub für schnelle Taster-Bewegungen [P8141]
LM	Minimal erforderliche Messweglänge unter Berücksichtigung des Tastkugelradius [P8142]
LO	Maximale Überfahrlänge des programmierten Zielpunktes der Messbewegung ohne dass ein Taster-Auslösesignal eingegangen ist (Abbruch fehlerhafter Messbewegungen) [P8143]
LT	Rückfahrlänge bei schneller Vorausmessung mit Vorschub FT für erneute Messung mit FM mit Anfahrt des gleichen Messzielpunktes. [P8144]

! Programmierhinweise

Alle Adressen können auch über ihre Parameternummer gelesen und geschrieben werden.

Der Maschinenhersteller hat in der Konfiguration sinnvolle Voreinstellungen hinterlegt, die nur in den seltensten Fällen im NC-Programm verändert werden müssen.

G28 - Modale Toleranzwerte für Form- und Lageabweichungen

Funktion

Der Befehl G28 setzt allgemeine Toleranzwerte für Form- und Lageabweichungen. Die Toleranzwerte werden in den Mess- und Prüfzyklen zur automatischen Begutachtung der Messergebnisse verwendet.

Alle Toleranzwerte sind modal bis zum Programmende gültig, oder bis sie überschrieben werden. Mit Programmstart werden alle Werte auf ihre Voreinstellung zurückgesetzt.

Alle nicht programmierten Werte bleiben unverändert.

NC-Satz

G28 **QL** **QT** **DX** **DY** **DZ** **DXMIN** **DXMAX** **DYMIN** **DYMAX** **DZMIN** **DZMAX** **DR**
DRZ **DL** **DB** **DLZ** **DBZ** **DRMIN** **DRMAX** **DRZMIN** **DRZMAX** **DLMIN** **DLMAX**
DBMIN **DBMAX** **DLZMIN** **DLZMAX** **DBZMIN** **DBZMAX** **DAV** **DAH** **DAVMIN**
DAVMAX **DAHMIN** **DAHMAX**

Adressen

QL	[1]	Auswahl des In-Prozess-Messumfangs [P8100]
	0	Keine Messung
	1	Messen in der Bearbeitungsebene
	2	Messen nur in der Zustellrichtung
	3	Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung
	4	Messen in der Bearbeitungsebene unter Einbeziehung der Verrundungsradien und in der Zustellrichtung
	5	Messen in der Bearbeitungsebene und in der Zustellrichtung mit Vertikal-Winkelberechnungen
QT	[0]	Prüfen der Form- und Lageabweichungen [P8135]
	0	Keine Prüfung
	1	Prüfen und gegebenenfalls mit Fehlermeldungen ohne Programmabbruch
	2	Prüfen 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]

Programmierhinweise

Alle Toleranzwerte können auch über ihre Parameternummer gelesen und geschrieben werden.

Die Voreinstellung für alle Toleranzen ist undefiniert. In diesem Fall entfällt der entsprechende Test. Um eine programmierte Toleranz auf die Voreinstellung zurückzusetzen, muss der Adresse der Wert P0 zugewiesen werden.

MSG - Textausgabe

Funktion

Der Befehl MSG erzeugt eine Textausgabe in der Konsole. Er bietet damit die Möglichkeit Informationen, Warnungen, Fehler oder Messergebnisse anzuzeigen.

NC-Satz

MSG "Text"

Adressen

	Text
--	------

Programmierhinweise

Die Textausgabe unterbricht nicht die Programmausführung.

Über die Funktionen der formatierten Zahlenausgabe lassen sich die aktuelle Uhrzeit, das Datum und Parameterwerte formatiert ausgeben.

Beispiel 1

```
P110=24 P130=-23.96 P135=19.008
```

```
MSG " MITTELPUNKT X: <#.###,P110> Y: <#.###,P130> RADIUS: <#.###,P135>"
```

Ausgabe

```
MITTELPUNKT X: 24.000 Y: -23.960 RADIUS: 19.008
```

Beispiel 2

```
P110=24 P130=-23.96 P135=19.0084 P140=123
```

```
MSG " Teil: <0#####,P110> Y: <#.###,P130> RADIUS: <#.###,P135> X: <#.###,P140>"
```

Ausgabe

```
Teil: 000024 Y: -23.960 RADIUS: 19.008 X: 123.000
```

Texte

Ein Text 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 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 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 die Uhrzeit als 24-Stundenangabe aus

Formatierte Zahlenausgabe

In den spitzen Klammern 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 Pluszeichen '+' zur Ausgabe eines positiven Vorzeichens.

<0####.##,P100> <+#####.##,P100> <+0#####.##,P100>

Beginnt das Format 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.

Beispiele

Bei folgenden Beispielen steht zum besseren Verständnis der Zahlwert anstelle des Parameters direkt in der Parameterwertausgabe.

<###,1>	1
<###,-1>	-1
<0###,1>	001
<0###,-1>	-001
<+###,1>	+1
<+###,-1>	-1
<+0###,1>	+001
<+0###,-1>	-001
<##,123>	123
<##,-123>	-123
<0##,123>	123
<0##,-123>	-123
<+##,123>	+123
<+##,-123>	-123
<+0##,123>	+123
<+0##,-123>	-123
<#,1.2>	1
<#.,1.2>	1.
<#,1.8>	2

<#.1.8>	2.
<#.##,1.236>	1.24
<#.##,1.2>	1.20
<#.##,.2>	0.20
<#.##,1>	1.00

Erweiterung: Mehrkanalprogrammierung

Die beiden optionalen Wegbedingungen G98 und G99 erweitern die PAL2019-Befehlskodierung um die Programmierung mehrkanaliger Drehbearbeitungszentren. Die kanalspezifischen Programmnamen beginnen jeweils mit '%Kanalnummer' _ gefolgt von einem individuellen Namensanteil.

Diese Softwareergänzung ist eine ab Version 7.5 nachbestellbare Erweiterungsoption.

G98	Kanalsynchronisation
G99	Kanalwechsel

G98 - Kanalsynchronisation

Funktion

Der Befehl G98 definiert einen Synchronisationspunkt. Synchronisationspunkte erlauben die Synchronisation eines NC-Programms, das NC-Code in mehreren Kanälen gleichzeitig ausführt.

Die Synchronisation erfolgt in einer beliebigen Untermenge aller aktiven Kanäle, mindestens aber zwei. In jedem Kanal muss der Synchronisationspunkt programmiert werden, mit einer Auflistung aller beteiligten Kanalnummern (KN). Die eigene Kanalnummer kann dabei entfallen.

Jeder Synchronisationspunkt muss mit einer Synchronisationsmarke (SM) programmiert werden, um eine fehlerhafte Zuordnung ausschließen zu können.

Die Synchronisation erfolgt es in zwei Varianten.

- Eine WAIT-Synchronisation stoppt die Programmausführung im Kanal, bis der Synchronisationspunkt in allen beteiligten Kanälen erreicht oder überschritten wurde.
- Eine NOWAIT-Synchronisation unterbricht die Programmausführung dagegen nicht.

NC-Satz

G98 **SM** **KS** ... **KS** **WAIT**

Adressen

SM		Synchronisationsmarke
KS		Kanalnummer
WAIT	[*]	Wartebefehl
		<i>Voreinstellung: * NOWAIT</i>

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G99 - Kanalwechsel

Funktion

Der Befehl G99 ordnet alle folgenden Zeilen im NC-Programm einem Kanal zu. Die Zuordnung bleibt bestehen bis sie erneut gesetzt wird. Ohne explizite Zuordnung werden alle NC-Zeilen immer Kanal 1 zugeordnet.

Auf diese Weise können alle Teile eines NC-Programms, das NC-Code in mehreren Kanälen gleichzeitig ausführt, in einer Datei geschrieben werden. Die Programmteile können beliebig gemischt werden, um etwa die Lesbarkeit zu erhöhen, insbesondere wenn kein spezieller Mehrkanaleditor mit automatischer Synchronisationspunktanpassung zur Verfügung steht.

NC-Satz

G99 **KN**

Adressen

KN Kanalnummer der nachfolgenden NC-Sätze

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Erweiterung: Robotik

Diese Softwareergänzung ist eine ab Version 9.0 nachbestellbare Erweiterungsoption.

•	Werkstückhandhabung mit Robotern unter Verwendung der Mehrkanalprogrammierung
•	Mehrkanalprogrammierung zur Werkstückhandhabung beim Drehen
G20	Linearinterpolation im Eilgang in allen NC-Achsen
G21	Linearinterpolation im Vorschub in allen NC-Achsen
•	Programmierhinweise und Bemerkungen für G20 und G21
•	Punkt-Richtungs-Programmierung für 5-Achs-Bearbeitungszentren und Werkstück-Handhabungsroboter (Tool-Tip-Control)

Werkstückhandhabung mit Robotern unter Verwendung der Mehrkanalprogrammierung

Für die automatische Werkstückbeschickung und Werkstückentnahme wird eine Maschine und ein Roboter von einer zweikanaligen CNC-Steuerung mit der PAL-Befehlskodierung angesteuert. Zur Synchronisation der beiden Prozesse werden der Kanalsynchronisationsbefehl G98 und der Kanal-Umschaltbefehl G99 verwendet.

Im Kanal 1 läuft die CNC-Steuerung der Maschine mit der PAL-Befehlskodierung.

Im Kanal 2 läuft die CNC-Steuerung des Roboters mit der PAL-Befehlskodierung.

Fertigungszelle mit CNC-Maschine Werkzeugmagazin und Handhabungsroboter

Für die Werkstückhandhabung im PAL-Programmiersystem wird von der folgenden Maschinen-Konfiguration ausgegangen:

Für die Werkstückhandhabung wird ein 6-Achsiger Roboter verwendet. Dabei werden die unteren 5 Achsen für die Punktprogrammierung 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 Werkzeugmagazinen zusätzliche Arbeitspositionen 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 Werkstückrohteil 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-Steuerungskanälen 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.

Mehrkanalprogrammierung zur Werkstückhandhabung beim Drehen

Eine wichtige Funktion der CNC-Steuerungen bei der Mehrkanalprogrammierung sind die möglichen Achsüberlagerungen (d.h. eine Achse eines Bearbeitungskanals führt inkrementell die Bewegungen einer anderen Achse eines anderen Kanals mit aus). Dies ist eine Standardanwendung bei den Langdrehern und auch die Grundlage des sogenannten 'Balanced Cutting' beim Drehen.

Beim Balanced Cutting führt man den gleichen Bearbeitungszyklus mit den gleichen Werkzeugen in zwei Bearbeitungskanälen aus, in dem dieser Zyklus nur in einem Kanal als Master-Kanal programmiert wird und der andere Kanal als Slave-Kanal diese Zyklus-Bewegungen ausgehend von seinem Startpunkt inkrementell folgt bis der Zyklus mit der Rückfahrt auf den Bearbeitungsendpunkt abgeschlossen ist. Da die Drehebene der i.a. gegenüberstehenden Werkzeugsysteme (Revolver) aufeinander liegen, heben sich die Querkäfte und damit auch die Biegemomente gegenseitig auf (sind in Balance). Beim Bearbeiten der gleichen Zyklusgeometrie können daher querkräftfrei die Vorschübe auf das Doppelte oder sogar noch mehr erhöht werden (wenn die Antriebsleistung ausreicht und der Werkzeug-Freiwinkel groß genug ist).

Balanced Cutting bietet die effektivste Bearbeitungsmöglichkeit mit zwei Werkzeugrevolvern auf einem Werkstück, da es bei dem Eingriff von zwei Werkzeugen auf unterschiedlichen Bearbeitungsdurchmessern i.a. stets Konflikte in den Schnittgeschwindigkeiten geben kann und eine Bearbeitung mit der technologisch besseren konstanten Schnittgeschwindigkeit G96 praktisch ausgeschlossen ist.

Wegen der großen Bedeutung der Mehrkanalprogrammierung und der Balanced-Cutting-Bearbeitung für die Erhöhung der Produktivität wird diese Möglichkeit in die PAL-Drehsteuerung aufgenommen.

Dazu werden alle Drehbearbeitungszyklen G81, G82, G83, G86, G87, G88 und G89 sowie bei der Bearbeitung mit angetriebenen Werkzeugen die Aufrufzyklen G76, G77, G78 und G79 um eine als letzte angefügte optionale Adresse KN und dem Vorgabewert KN0 erweitert mit der Bedeutung:

Für $KN > 0$ werden die Zyklusbewegungen in allen Linearachsen Z, X, Y im aktuellen Kanal mit Achsüberlagerung inkrementell auf die entsprechenden Achsen im Kanal KN übertragen und mit Erreichen des Zyklusendpunktes wird die Achsüberlagerung wieder aufgehoben.

Anmerkungen zu den Lerninhalten:

Neben der NC-Programmierung werden die planerischen und organisatorischen Inhalte besonders gefordert: Die Aufgaben bestehen dann in der Organisation und Programmierung der Vorbereitung der Balanced-Cutting-Bearbeitung im Slave-Kanal KN mit dem Setzen der den Programmablauf steuernden Synchronisationsmarken G98 vor und nach dem Zyklusaufwurf im Master-Kanal und der vorbereitenden Programmteile wie Werkzeugwechsel und Startpunktanfahren mit Synchronisationsmarken im Slave-Kanal KN.

Über die Variation der Werkzeugstartposition in Kanal KN lassen sich bei G86, G87, G88 und G89 sowie G76, G77, G78 und G79 viele sinnvolle unterschiedliche Bearbeitungsvarianten programmieren.

G20 - Linearinterpolation im Eilgang in allen NC-Achsen

Funktion

Der Befehl G20 erzeugt eine Bewegung im Eilgang. Der programmierte Zielpunkt wird linear im Eilgang mit größtmöglicher Geschwindigkeit angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig. Im Allgemeinen ist die resultierende Bewegung keine Linearbewegung des Werkzeugs bezogen auf das Werkstück (z.B. Spiralen, Wendelnuten).

Eine BAZ-Kinematik eines (einkanaligen) Dreh- oder Fräsbearbeitungszentrums besteht aus 3 zueinander orthogonalen Linearachsen und 3 Rundachsen mit den Achsbezeichnungen X, Y, Z, A, B, C.

Eine Rundachs-Kinematik besteht aus 5 oder 6 aufeinander aufgesetzten Rundachsen mit den Achsbezeichnungen AX, AY, AZ, A, B, C und den virtuellen Linearachsen X, Y, Z. Bei einer Rundachs-Maschinenkinematik können in einem G20-Befehl entweder nur die kartesischen Koordinaten X, Y, Z oder alle 6 Rundachsen AX, BY, BZ, A, B, C programmiert werden.

Mit dem Befehl G20 können die NC-Achsen alle zusammen in einem Satz programmiert werden. Die Bewegung erfolgt im Eilgang so, dass alle Achsen gleichzeitig Ihre Zielkoordinate erreichen.

Damit wird der Vorschub durch die Achse bestimmt, welche für Ihre Achswertänderung die längste Zeit benötigt.

Der Werkzeugbezugspunkt im Werkzeug-Spindelflansch wird durch den Werkzeug- bzw. Greifer-Korrekturwert verschoben.

NC-Satz

G20 (X/XA/XI | Y/YA/YI | Z/ZA/ZI | XR | YR | ZR | XN | YN | ZN | AN) F S M
M
G20 (X/XA/XI | Y/YA/YI | Z/ZA/ZI | A/AA/AI | B/BA/BI | C/CA/CI) F S M M
G20 (AX/AU | BY/BV | CZ/CW | A/AA/AI | B/BA/BI | C/CA/CI) F S M M

Adressen

		Zielpunkt
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px; display: inline-block;">X</div> / <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px; display: inline-block;">XA</div> / <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px; display: inline-block;">XI</div>		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px; display: inline-block;">Y</div> / <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px; display: inline-block;">YA</div> / <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px; display: inline-block;">YI</div>		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px; display: inline-block;">Z</div> / <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px; display: inline-block;">ZA</div> / <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px; display: inline-block;">ZI</div>		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91

Ausrichtung

XR		X-Koordinate des Richtungsvektors
YR		Y-Koordinate des Richtungsvektors
ZR		Z-Koordinate des Richtungsvektors
XN		X-Koordinate des Nullvektors
YN		Y-Koordinate des Nullvektors
ZN		Z-Koordinate des Nullvektors
AN	[0]	Winkel der Greifer-/Werkzeugspindelorientierung bezogen auf die Null-Lage bei nicht rotierender Spindel

BAZ-Kinematik

A / AA / AI		Wert der A-Achse
	AA	absolut
	AI	inkrementell
	A	G90/G91
B / BA / BI		Wert der B-Achse
	BA	absolut
	BI	inkrementell
	B	G90/G91
C / CA / CI		Wert der C-Achse
	CA	absolut
	CI	inkrementell
	C	G90/G91

Rundachs-Kinematik

AX / AU		Basisrundachse
	AX	absolut
	AU	inkrementell
BY / BV		auf AX aufgesetzte Rundachse
	BY	absolut
	BV	inkrementell
CZ / CW		auf BY aufgesetzte Rundachse
	CZ	absolut
	CW	inkrementell

Schnittwerte

F		Vorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit

M

Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Werden in einem G20-Befehl keine Rundachsen programmiert, entspricht die Bewegung einem G0.

Voreinstellung für alle Adressen ist der jeweils aktuelle Wert.

Dieser Befehl darf nur in der Sonderbearbeitungsebene G15 IP0 programmiert werden.

G21 - Linearinterpolation im Vorschub in allen NC-Achsen

Funktion

Der Befehl G21 erzeugt eine Bewegung im Vorschub. Der programmierte Zielpunkt wird linear mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig. Im Allgemeinen ist die resultierende Bewegung keine Linearbewegung des Werkzeugs bezogen auf das Werkstück (z.B. Spiralen, Wendelnuten).

Eine BAZ-Kinematik eines (einkanaligen) Dreh- oder Fräsbearbeitungszentrums besteht aus 3 zueinander orthogonalen Linearachsen und 3 Rundachsen mit den Achsbezeichnungen X, Y, Z, A, B, C.

Eine Rundachs-Kinematik besteht aus 5 oder 6 aufeinander aufgesetzten Rundachsen mit den Achsbezeichnungen AX, AY, AZ, A, B, C und den virtuellen Linearachsen X, Y, Z. Bei einer Rundachs-Maschinenkinematik können in einem G21-Befehl entweder nur die kartesischen Koordinaten X, Y, Z oder alle 6 Rundachsen AX, BY, BZ, A, B, C programmiert werden.

Mit dem Befehl G21 können die NC-Achsen alle zusammen in einem Satz programmiert werden. Die Bewegung erfolgt im Vorschub FL oder FW oder F so, dass alle Achsen gleichzeitig Ihre Zielkoordinate erreichen.

Der Werkzeugbezugspunkt im Werkzeug-Spindelflansch wird durch den Werkzeug- bzw. Greifer-Korrekturwert verschoben.

NC-Satz

G21 (**X/XA/XI** | **Y/YA/YI** | **Z/ZA/ZI** | **XR** | **YR** | **ZR** | **XN** | **YN** | **ZN** | **AN**) **FL** **FW**
F **S** **M** **M**

G21 (**X/XA/XI** | **Y/YA/YI** | **Z/ZA/ZI** | **A/AA/AI** | **B/BA/BI** | **C/CA/CI**) **FL** **FW** **F**
S **M** **M**

G21 (**AX/AU** | **BY/BV** | **CZ/CW** | **A/AA/AI** | **B/BA/BI** | **C/CA/CI**) **FL** **FW** **F** **S** **M**
M

Adressen

		Zielpunkt
X / XA / XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y / YA / YI		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91

Ausrichtung

XR		X-Koordinate des Richtungsvektors
YR		Y-Koordinate des Richtungsvektors
ZR		Z-Koordinate des Richtungsvektors
XN		X-Koordinate des Nullvektors
YN		Y-Koordinate des Nullvektors
ZN		Z-Koordinate des Nullvektors
AN	[0]	Winkel der Greifer-/Werkzeugspindelorientierung bezogen auf die Null-Lage bei nicht rotierender Spindel

BAZ-Kinematik

A / AA / AI	Wert der A-Achse	
	AA	absolut
	AI	inkrementell
	A	G90/G91
B / BA / BI	Wert der B-Achse	
	BA	absolut
	BI	inkrementell
	B	G90/G91
C / CA / CI	Wert der C-Achse	
	CA	absolut
	CI	inkrementell
	C	G90/G91

Rundachs-Kinematik

AX / AU	Basisrundachse	
	AX	absolut
	AU	inkrementell
BY / BV	auf AX aufgesetzte Rundachse	
	BY	absolut
	BV	inkrementell
CZ / CW	auf BY aufgesetzte Rundachse	
	CZ	absolut
	CW	inkrementell

Schnittwerte

FL	[500]	Vorschub auf der räumlichen Bewegungskurve des Werkzeug Bezugspunktes in mm/min (Die Zeitsteuerung erfolgt auf der räumlichen (i.a. komplizierten) Bewegungskurve des Bezugspunktes (TC) mit dem Vorschub FL)
-----------	-------	--

FW	[720]	Vorschub der Rundachsen in Winkelgrad/min (Zeitsteuerung durch die Rundachse, welche die längste Zeit benötigt)
F		Vorschub der Linearbewegung in X, Y, Z
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Bei G21 werden alle Achswerte zwar linear interpoliert, aber die resultierende Bewegung ist geometrisch im allgemeinen keine Linearbewegung des Werkzeugs bezogen auf das Werkstück (z.B. Spiralen, Wendelnuten).

Werden in einem G21-Befehl keine Rundachsen programmiert entspricht die Bewegung einem G0.

Voreinstellung für alle Adressen ist der jeweils aktuelle Wert.

Dieser Befehl darf nur in der Sonderbearbeitungsebene G15 IP0 programmiert werden.

Programmierhinweise und Bemerkungen für G20 und G21

Eine BAZ-Kinematik eines Dreh- oder Fräsbearbeitungszentrums aufgesetzt auf einen Maschinenkörper besteht aus 3 zueinander orthogonalen Linearachsen X, Y, Z, die in zwei Gruppen aufgeteilt und aufeinandergesetzt dem Maschinenkörper zugeordnet sind, sowie aus 2 oder 3 Rundachsen, die ebenfalls in zwei Gruppen aufgeteilt und aufeinandergesetzt, der jeweils oberen Linearachse der beiden Linearachsgruppen oder bei nur einer Linearachsgruppe der oberen Linearsachse und/oder dem Maschinenkörper zugeordnet werden (Achsbezeichnungen X, Y, Z, A, B, C).

Ein in die oberste Achse eines Kinematikzweiges eingesetztes Werkzeug kann bei dieser Kinematik unter Beibehaltung seiner raumfesten Werkzeugrichtung und Orientierung mit der 6. Achse mit den Linearachsen verfahren werden.

Eine Rundachskinematik besteht aus 5 oder 6 aufeinander aufgesetzten Rundachsen mit den Achsbezeichnungen AX, AY, AZ, A, B, C.

Auch hier gibt es die Möglichkeit ein in die oberste Achse eingesetztes Werkzeug linear unter Beibehaltung der Werkzeugrichtung und der Orientierung der 6. Achse in dem kartesischen Koordinatensystem X, Y, Z zu verfahren. Dazu sind jedoch alle 5 Achsen (mit Orientierung alle 6 Achsen) erforderlich, die sich simultan mitbewegen.

Deshalb gibt es bei der freien Programmierung von Rundachskinematiken mit G20/G21 eine Fallunterscheidung zwischen der NC-Achsprogrammierung der 5/6 Rundachsen und der Programmierung der virtuellen Linearachsen ausgehend von der aktuellen Koordinatenposition und Werkzeugrichtung (letztere wird bei der Linearbewegung unverändert beibehalten).

Punkt-Richtungs-Programmierung für 5-Achs-Bearbeitungszentren und Werkstück-Handhabungsroboter (Tool-Tip-Control)

Bei der Punkttrichtungs-Programmierung kann zu einer 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 AN im aktuellen Werkstückkoordinatensystem programmiert werden. Die Werkzeugrichtung ist definiert als Richtung vom Werkzeugschneidenpunkt (Verfahrpunkt) 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 Zielpunkt mit der im NC-Satz programmierten Werkzeugrichtung XR, YR, ZR so berechnet, dass alle Zwischenrichtungen gleichmäßig bezüglich der Verfahrlänge des Schneidpunktes ausgehend vom Starttrichtungs- zum Endtrichtungsvektor angenommen werden. Zu den dabei simultan mit den Linearachsen eingestellten Richtungen werden von der NC auch die zugehörigen Achswerte der Rundachsen berechnet und gegebenenfalls der Vorschub 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 Zielpunkt 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 Verfahrstrecke 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 AN sind nicht selbsthaltend (Vorbelegung 0).

Enthält der Verfahrsatz 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.

Programmierhinweise

Bei einem Verfahrsatz 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 Zielpunkt des linearen Bewegungsanteils, die neue Werkzeugrichtung gleichmäßig in allen erforderlichen Rundachsen in die Rundachs-Zielpunktlage der programmierten neuen Werkzeugrichtung mit verfahren, so dass sie im Zielpunkt die programmierte Werkzeugspindelrichtung hat. Daher bestimmt der Vorschub der langsamsten Achse die Bewegungsgeschwindigkeit. Bei größeren Richtungsänderungen muss dabei der Vorschub in den Linearachsen von der NC reduziert werden,

da die Rundachsen sonst nicht folgen 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 einmal eingestellte Werkzeugrichtung jedoch ist selbsthaltend und bleibt solange bestehen bis sie in G20 oder G21 mit der Programmierung von XR, YR, ZR (nicht alle gleich null) 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.

weitere Programmiermöglichkeiten

- Geometrieprogrammierung
- Konturzugprogrammierung mit G61, G62 und G63

Geometrieprogrammierung

Die Winkel und Längenangaben beziehen sich sämtlich auf den Bewegungsanteil in der Bearbeitungsebene. Bei 3D-Bewegungen in allen drei Geometrieachsen wird folglich nur die Projektion des Verfahrweges in die Bearbeitungsebene bei den Winkeln und Längen berücksichtigt (d. h. eine Bewegung in der Zustellachse wird in der Berechnung bei Strecken und bei Kreisbögen ignoriert).

Bei Fasen und Verrundungen in 3D-Bewegungen wird wie folgt verfahren:

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.

Kreisbogenprogrammierung mit G2 / G3 und Konturzugprogrammierung mit G62 / G63

Die Erweiterung der Kreisbogenprogrammierung mit G2, G3 auf die von der DIN 66025 auch zugelassenen folgenden Geometrieadressen mit einer automatischen Endpunkt- oder Mittelpunktberechnung bei der Programmierung von nur drei Geometrieadressen muss eine Lösungsauswahl für den Kreisbogen zulassen:

R	Kreisradius
AO	Öffnungswinkel

Diese Lösungsauswahl ist insbesondere bei Konturzügen erforderlich, da es z.B. bei drei beliebigen Geometrieadressen schon keine, eine, zwei, drei oder vier Kreisbogenlösungen geben kann.

Diese Auswahl kann mit den beiden folgenden Auswahlsteueradressen getroffen werden:

O	Bogenlängenkriterium
H	Startwinkelkriterium

Beim Bogenlängenkriterium wählt man unter zwei möglichen Lösungen den Kreisbogen mit der kleineren oder größeren Bogenlänge aus.

Das Bogenlängenkriterium kann auf zwei Arten programmiert werden:

- Als Vorzeichen des Kreisradius R

R+	Auswahl des kürzeren Kreisbogens
R-	Auswahl des längeren Kreisbogens

- Mit der Steueradresse O

O1	Auswahl des kürzeren Kreisbogens (Voreinstellung)
O2	Auswahl des längeren Kreisbogens

Wird R programmiert, so hat dies eine höhere Priorität als die Programmierung von O.

Dieses Bogenlängenkriterium ist ausreichend, wenn es zwei Lösungen mit unterschiedlicher Bogenlänge gibt. Haben die zwei Lösungskreisbögen die gleiche Länge, so können sie wegen der mit G2 oder G3 vorgegebenen Kreisorientierung keinen gemeinsamen Kreismittelpunkt haben. Die Auswahl des zugehörigen Kreises mit seinem Mittelpunkt erfolgt dann mit dem Startwinkelkriterium im Startpunkt des Kreisbogens.

Das Winkelkriterium verwendet den Winkel des parallel zur Kreistangente im Startpunkt liegenden Strahls in Bewegungsrichtung zur positiven ersten Ebenenachse. Das Kriterium wählt entweder den Kreisbogen mit dem kleineren oder größeren Startwinkel aus.

Das Startwinkelkriterium wird mit der Steueradresse H programmiert:

H1	Auswahl des kleineren Startwinkels (Voreinstellung)
H2	Auswahl des größeren Startwinkels.

Haben Kreisbogenlösungen einen gemeinsamen Mittelpunkt, so bleibt das Startwinkelkriterium ohne Auswahlfunktion.

Das Bogenlängenkriterium hat Vorrang vor dem Winkelkriterium:

Im Fall einer eindeutigen Lösung für den Kreisbogen sind die Auswahladressen H, O oder das Vorzeichen von R bedeutungslos und werden ignoriert.

Kompatibilitätsbedingung bei G2 und G3

Die Anwendung dieser Auswahlkriterien kann in G2 oder G3 bei der Programmierung mit dem Öffnungswinkel oder den 4 Geometrieadressen des Kreismittelpunktes und der beiden Endpunktadressen entfallen. Die Programmierung der letzten vier Geometrieadressen schränkt wegen der Überbestimmtheit im allgemeinen die Lösungsvielfalt auf eine oder keine Lösung ein (Kreisformfehler bei der Mittel- und Endpunkteingabe G2/G3 X Y I K der 'klassischen' überbestimmten Kreisbogenprogrammierung).

Linearbewegung mit G1

Die Programmierung einer Strecke mit G1 wird um die folgenden Geometrieadressen erweitert:

AS	Winkel zur positiven ersten Geometrieachse
D	Länge der Strecke

Entsprechend ist eine Strecke durch die Programmierung von zwei beliebigen Geometrieadressen (bis auf Sonderfälle bei ebenenachsp parallelen Richtungen) berechenbar. Bei der Längenprogrammierung mit der Adresse D und einer Geometrieadresse erfolgt die Lösungsauswahl mit dem Winkelkriterium angewandt auf die Richtung der Strecke.

Verrundungen und Fasen als Übergangselemente zwischen zwei Konturelementen

Beim Einfügen einer Verrundung oder Fase wird geprüft, ob diese sich überhaupt einsetzen lässt.

Beim Fasen von Kreisbögen wird die Sekantenlänge des abgeschnittenen Kreisbogenstückes für die Berechnung zugrunde gelegt.

Bei der Berechnung des Übergangselementes Fase oder Verrundung zwischen zwei Konturelementen wird dieses ohne Berücksichtigung von möglichen Bewegungen in der Zustellachse nur in der (2D-)Bearbeitungsebene berechnet (Projektion der Bewegung in die Bearbeitungsebene). Bei der Berechnung der symmetrischen Fase wird bei Kreisbögen die Länge des abgeschnittenen Bogenstückes zur Bestimmung verwendet.

Bei Bewegungen in der Zustellachse bei einem oder beiden Konturelementen werden dann die Zustellachswerte in den Übergangselement-Endpunkten berechnet und diese dem Übergangselement zugeordnet. Auf diese Weise entsteht bei Fasen eine lineare 3D-Bewegung in allen drei Achsen und bei Verrundungen eine 3D-Helixbewegung.

Konturzugprogrammierung mit G61, G62 und G63

Die gegenüber G1, G2 und G3 erweiterten Wegbedingungen G61, G62 und G63 ermöglichen eine Konturzugprogrammierung mit offenen, noch unbestimmten Konturelementen und tangentialen Übergängen oder Übergangswinkeln zwischen Konturelementen.

Unter einem Konturzug ist eine gerichtete Folge aus den Konturelementen Strecke und Kreisbogen zu verstehen, welche eine Werkstückkontur beschreiben. Neben den Angaben der Anfangs- und Endpunktkoordinaten bzw. der Mittelpunktskoordinaten können z.B. Längen, Winkel, tangentiale Übergangswinkel, Verrundungen, Fasen, die zur eindeutigen geometrischen Festlegung notwendig sind, eingegeben werden. Auf diese Weise ist die Konturprogrammierung direkt nach den Maßangaben der Zeichnung ohne Hilfsberechnungen möglich.

Insbesondere können noch nicht vollständig beschriebene Konturelemente unbestimmt (offen) programmiert werden.

Die fehlenden Angaben werden durch Schnittpunkte, Übergangswinkel von den nachfolgenden Konturelementen zurück übertragen (Rückwärtsrechnung).

Die Winkel und Längenangaben beziehen sich wie auch bei 3D-Bewegungen mit G1, G2 und G3 sämtlich auf den Bewegungsanteil in der Bearbeitungsebene. Bei 3D-Bewegungen in allen drei Geometrieachsen wird folglich nur die Projektion des Verfahrenweges in die Bearbeitungsebene bei den Berechnungen mit Winkeln und Längen berücksichtigt. (siehe auch Geometrieprogrammierung)

Wegbedingungen der Konturzugprogrammierung:

G61	Geradeninterpolation (entsprechend zu G1)
G62	Kreisinterpolation rechts (entsprechend zu G2)
G63	Kreisinterpolation links (entsprechend zu G3)

Man beachte: Die Wegbedingungen G61, G62 und G63 und deren Adresswerte sind nicht selbsthaltend.

Um die riesige Vielfalt bei der Eingabe der geometrischen Maßangaben zu strukturieren und komplexe Konturzüge aus mehreren Elementen (Strecken G61, Kreisbögen rechts G62, Kreisbögen links G63) zu gliedern, wird der folgende Begriff eines abgeschlossenen Mehrpunktekonturzuges verwendet, der den Grad der Rückrechnung festlegt:

Definition: Unter einem abgeschlossenen N-Punkte-Konturzug verstehen wir eine Folge von N-1 vielen Elementen mit N Punkten ausgehend von einem bekannten Anfangspunkt P1 bis zu dem Endpunkt PN, dessen Koordinaten entweder gegeben sind oder aus den Angaben des N-Punkte-Konturzuges von der PAL2019-Steuerung berechnet werden können. Die Maßangaben zu dem (N-1)-ten als dem letzten Konturelement sind erforderlich, um das vorhergehende Element mit seinen Endpunktkoordinaten berechnen zu können. Rekursiv gilt dies bis zum ersten Element; so dass auch der Endpunkt des ersten Elementes erst mit den Angaben des oder der nächsten Elemente bestimmt werden kann.

Die vor dem letzten liegenden Elemente nennt man offen.

Ein Konturelement heißt abgeschlossen, wenn es ganz (einschließlich seines Endpunktes) berechnet werden kann.

Das letzte Element eines Mehr-Punkte-Konturzuges oder ein Zwei-Punkte-Konturzug ist folglich abgeschlossen.

Ein beliebiger Konturverlauf besteht somit aus der Aneinanderreihung von N-Punkte-Konturzügen (Mehrpunktezügen) verschiedener Länge und von elementaren DIN-Konturelementen.

Abgeschlossene Konturelemente können beim Übergang auf DIN-Konturelemente G1, G2 oder G3 mit der Programmierung von RN durch eine Verrundung oder Fase verbunden werden.

Gleiches gilt beim Übergang von einem DIN-Konturelement auf ein Konturzugelement G61, G62 oder G63.

Definition: Ein N-Punkte-Konturzug heißt offen, wenn das letzte Element in seiner Größe und geometrischen Lage bestimmt ist, aber der Endpunkt auf diesem Element aus den bisher gemachten Eingaben nicht berechnet werden kann.

Da bei Mehrpunkt-Konturzügen die Umschaltung G90/G91 auf nur schwer nachvollziehbare Konturfehler führen könnte, werden nur festprogrammierte absolute oder inkrementelle Koordinatenadressen zugelassen. Die inkrementellen Koordinaten XI, I, YI, J sind nur dann zugelassen, wenn das vorausgehende Konturelement abgeschlossen ist.

Die häufigsten vorkommenden Mehrpunktezüge sind:

- **Zwei-Punkte-Konturzüge**
bestehend aus dem Konturelement Strecke G61 oder Kreisbogen G62/G63
- **Drei-Punkte-Konturzüge**
bestehend aus zwei Konturelementen in 4 Varianten
 - Strecke G61 in Strecke G61
 - Strecke G61 in Kreisbogen G62/G63
 - Kreisbogen G62/G63 in Strecke G61
 - Kreisbogen G62/G63 in Kreisbogen G62/G63
- **Vier-Punkte-Konturzüge**
bestehend aus drei Elementen in 8 Varianten mit tangentialen Übergängen zwischen den Elementen
- **Fünf-Punkte-Konturzüge**
bestehend aus vier Elementen mit tangentialen Übergängen zwischen den Elementen (von den 16 Element-Reihenfolgevarianten und fast beliebig vielen Eingabe-Adressvarianten werden nur einige an den aktuellen CNC-Steuerungen verbreitete Kombinationen exemplarisch herausgegriffen)
- **Offene Mehr-Punkte-Konturzüge**

Da bei der Ausgestaltung einer Konturzugprogrammierung mit Mehrpunktezügen sehr schnell eine riesige Fülle von Eingabevarianten entsteht, kann dies im einzelnen nicht bis ins Detail festgelegt werden. Vielmehr werden Minimalanforderungen vorgegeben, deren Programmierung möglich sein muss. Die Lösungsauswahl erfolgt bei mehreren Lösungen mit den Auswahlkriterien:

- Bei Strecken G61 mit dem Längen- und Winkelkriterium
- Bei Kreisbögen G62, G63 mit dem Bogenlängen- und Winkelkriterium

Konturzug-Minimalanforderungen **KM1 - KM5 und KMO**

KM1	Alle Adresskombinationen sind bei der Programmierung eines Zwei-Punkte-Konturzuges G61, G62 oder G63 möglich.
KM2	Beim Drei-Punkte-Konturzug aus zwei Strecken sind ebenfalls alle Adresskombinationen zugelassen mit Ausnahme des Übergangswinkels AT beim zweiten Element.
KM3	Drei-Punkte-Konturzüge ohne die Adresse AT im zweiten Konturelement
KM3-AT0/180	Drei-Punkte-Konturzüge mit dem Adresswert AT0 oder AT180 im zweiten Konturelement für tangentiale AT0 oder spitz-tangentiale AT180 Übergänge
KM4	Vier-Punkte-Konturzüge für verschiedene Element-/Adresskombinationen
KM5	Fünf-Punkte-Konturzüge für verschiedene Element-/Adresskombinationen
KMO	Offene Konturzüge für verschiedene Element-/Adresskombinationen

Befehlsübersicht

G0	Linearinterpolation im Eilgang
G1	Linearinterpolation im Vorschub
G2	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
G3	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn
G4	Verweildauer
G5	Werkzeugverschleiß
G6	Modale Adressen der Werkzeugwechselfunktanfahrt
G7	Elementarer Messbefehl
G8 LM400	Messen Einzelkoordinate
G8 LM401	Messen Außenecke
G8 LM402	Messen Innenecke
G8 LM405	Messen Nutbreite
G8 LM406	Messen Stegbreite
G8 LM407	Messen Kreisbogen Innen
G8 LM408	Messen Kreisbogen Außen
G8 LM500	Nullpunktsetzen Einzelpunkt
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 anfahren
G15 G18 TURN	Drehebeneanwahl
G15 IP0	Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Sonderbearbeitungen, Polar- und Zylinderkoordinaten-Programmierung
G15 G17 IP0	Stirnseitenbearbeitung in Pseudo-Polarkoordinaten
G15 G19 IP0	Mantelflächenbearbeitung in Zylinderkoordinaten
G15 G17 IP3	Stirnseitenbearbeitung in interpolierten kartesischen Koordinaten
G15 G19 IP1	Mantelflächenbearbeitung in kartesischen Koordinaten
G15 IP5	Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebenenanwahl
G15 IP5	Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebenenanwahl

G15 IP5	Schnittwinkel AS, BS und CS zur Ebenenanwahl
G15 IP5	Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene
G15 IP5	Basis- und Zustellvektor zur Ebenenanwahl
G16	Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse
G17/ G18/ G19	Kreisbogen-Interpolationsebenen
G20	Linearinterpolation im Eilgang in allen NC-Achsen
G21	Linearinterpolation im Vorschub in allen NC-Achsen
G22	Unterprogrammaufruf
G23	Programmteilwiederholung
G26	Kalibrierzyklus für Messtaster
G27	Modale Adressen für Messzyklen
G28	Modale Toleranzwerte für Form- und Lageabweichungen
G29	Programmsprung
G30 Q1	Werkstück umspannen
G30 Q2	Gegenspindel positionieren und spannen
G30 Q3	Gegenspindelübernahme
G30 Q4	Reitstockpositionierung
G31	Gewindezyklus
G32	Gewindebohrzyklus
G33	Gewindestrehlgang
G40	Abwahl der Schneidenradiuskorrektur
G41/ G42	Anwahl der Schneidenradiuskorrektur SRK
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
G50	Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen
G51	Einstellbare Nullpunkte setzen
G52	Satzweise Interpolation in Maschinenkoordinaten
G53	Maschinennullpunkt
G54-G57	Einstellbare Nullpunkte
G58	Inkrementelle Nullpunktverschiebung in Polarkoordinaten und Drehung
G59	Inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung

G61	Linearinterpolation für Konturzüge
G62	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge
G63	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge
G64	Nutenstoßen
G65	Makroaufruf
G66	Spiegeln
G67	Skalieren
G70	Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)
G71	Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)
G80	Zyklusabschluss
G81	Längsschruppzyklus
G82	Planschruppzyklus
G83	Konturparalleler Schruppzyklus
G84	Tieflochbohrzyklus (zentrisch)
G85	Freistichzyklus
G86	Radialer Einstechzyklus
G87	Radialer Konturstechzyklus
G88	Axialer Einstechzyklus
G89	Axialer Konturstechzyklus
G90	Absolutmaßangabe
G91	Kettenmaßangabe
G92	Drehzahlbegrenzung
G94	Vorschub in Millimeter pro Minute
G95	Vorschub in Millimeter pro Umdrehung
G96	Konstante Schnittgeschwindigkeit
G97	Konstante Drehzahl
G98	Kanalsynchronisation
G99	Kanalwechsel
DO	Programmschleife Anfang
END	Programmschleife Ende
GOTO	Programmsprung
IF-GOTO	Bedingter Programmsprung
IF-THEN	Bedingte Parameterzuweisung

WHILE-DO	Programmschleife Anfang
MSG	Textausgabe

Syntaxübersicht

- Linearinterpolation im Eilgang

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

- Linearinterpolation im Vorschub

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

- Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn

G2 Z/ZA/ZI X/XA/XI (K/KA | I/IA | AO) / R RN O G F E S M M

- Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn

G3 Z/ZA/ZI X/XA/XI (K/KA | I/IA | AO) / R RN O G F E S M M

- Verweildauer

G4 U O

- Werkzeugverschleiß

G5 T TC VR VX VY VZ RK XK YK ZK

- Modale Adressen der Werkzeugwechselfunktanfahrt

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

- Elementarer Messbefehl

G7 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI O SP

- Messen Einzelkoordinate

G8 LM400 (BZ K) / (BX I) Z/ZA/ZI X/XA/XI SP

- Messen Außenecke

G8 LM401 BX | I BZ | K DX DZ X/XA/XI Z/ZA/ZI SP

- Messen Innenecke

G8 LM402 BZ | K BX | I DZ DX Z/ZA/ZI X/XA/XI SP

- Messen Nutbreite

G8 LM405 B D V Z/ZA/ZI X/XA/XI TV SP

- Messen Stegbreite

G8 LM406 B D V Z/ZA/ZI X/XA/XI TV SP

- Messen Kreisbogen Innen

G8 LM407 R AN AI Z/ZA/ZI X/XA/XI TV SP

- Messen Kreisbogen Außen

G8 LM408 R AN AI Z/ZA/ZI X/XA/XI TV SP

- Nullpunktsetzen Einzelpunkt

G8 LM500 (BZ K) / (BX I) Q Z/ZA/ZI X/XA/XI

- Genauhalt

G9

- Linearinterpolation im Eilgang in Polarkoordinaten

G10 RP AP/AI K/KA I/IA G F S M M T TC TR TX TY TZ

- Linearinterpolation im Vorschub in Polarkoordinaten

G11 RP AP/AI K/KA I/IA RN G F E S M M T TC TR TX TY TZ

- Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten

G12 AP/AI K/KA I/IA RN G F E S M M

- Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten

G13 AP/AI K/KA I/IA RN G F E S M M

- Werkzeugwechsellpunkt anfahren

G14 XT YT ZT H SP M M

- Drehebeneanwahl

G15 G18 TURN DIA/RAD/DRA HS/GS/GSU

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

G15 G17/G18/G18 IP0 FL FW F S M M HW HS/GS/GSU

- Stirnseitenbearbeitung in Pseudo-Polarkoordinaten

G15 G17 IP0 HW HS/GS/GSU

- Mantelflächenbearbeitung in Zylinderkoordinaten

G15 G19 IP0 HW HS/GS/GSU

- Stirnseitenbearbeitung in interpolierten kartesischen Koordinaten

G15 G17 IP3 HW HS/GS/GSU

- Mantelflächenbearbeitung in kartesischen Koordinaten

G15 **G19** **IP1** **DM** **HW** **HS/GS/GSU**

- Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebenenanwahl

G15 **G17/G18/G19** **IP5** (**AM** | **BM** | **CM**) **XI** **YI** **ZI** **IR** **H** **DS** **Q** **HW**
HS/GS/GSU

- Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebenenanwahl

G15 **G17/G18/G19** **IP5** (**AR** | **BR** | **CR**) **XI** **YI** **ZI** **IR** **H** **DS** **Q** **HW**
HS/GS/GSU

- Schnittwinkel AS, BS und CS zur Ebenenanwahl

G15 **G17/G18/G19** **IP5** (**AS** **BS**) / (**AS** **CS**) / (**BS** **CS**) **XI** **YI** **ZI** **O** **H** **DS** **Q**
HW **HS/GS/GSU**

- Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene

G15 **G17/G18/G19** **IP5** **XD** **YD** **ZD** **XE** **YE** **ZE** **XF** **YF** **ZF** **XI** **YI** **ZI** **H** **DS** **Q**
HW **HS/GS/GSU**

- Basis- und Zustellvektor zur Ebenenanwahl

G15 **G17/G18/G19** **IP5** **XB** **YB** **ZB** **XN** **YN** **ZN** **XI** **YI** **ZI** **H** **DS** **Q** **HW**
HS/GS/GSU

- Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse

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

- Kreisbogen-Interpolationsebenen

G17/G18/G19

- Linearinterpolation im Eilgang in allen NC-Achsen

G20 (**X/XA/XI** | **Y/YA/YI** | **Z/ZA/ZI** | **XR** | **YR** | **ZR** | **XN** | **YN** | **ZN** | **AN**) **F** **S** **M**
M

G20 (**X/XA/XI** | **Y/YA/YI** | **Z/ZA/ZI** | **A/AA/AI** | **B/BA/BI** | **C/CA/CI**) **F** **S** **M** **M**

G20 (**AX/AU** | **BY/BV** | **CZ/CW** | **A/AA/AI** | **B/BA/BI** | **C/CA/CI**) **F** **S** **M** **M**

- Linearinterpolation im Vorschub in allen NC-Achsen

G21 (**X/XA/XI** | **Y/YA/YI** | **Z/ZA/ZI** | **XR** | **YR** | **ZR** | **XN** | **YN** | **ZN** | **AN**) **FL** **FW**
F **S** **M** **M**

G21 (**X/XA/XI** | **Y/YA/YI** | **Z/ZA/ZI** | **A/AA/AI** | **B/BA/BI** | **C/CA/CI**) **FL** **FW** **F**

S **M** **M**

G21 (**AX/AU** | **BY/BV** | **CZ/CW** | **A/AA/AI** | **B/BA/BI** | **C/CA/CI**) **FL** **FW** **F** **S** **M**

M

- Unterprogrammaufruf

G22 **L** **N** **N** **H** /

- Programmteilwiederholung

G23 N N H

- Kalibrierzyklus für Messtaster

G26 Q FM Z X Y R AH AV

- Modale Adressen für Messzyklen

G27 FM FT LM LO LT

- Modale Toleranzwerte für Form- und Lageabweichungen

**G28 QL QT DX DY DZ DXMIN DXMAX DYMIN DYMAX DZMIN DZMAX DR
DRZ DL DB DLZ DBZ DRMIN DRMAX DRZMIN DRZMAX DLMIN DLMAX
DBMIN DBMAX DLZMIN DLZMAX DBZMIN DBZMAX DAV DAH DAVMIN
DAVMAX DAHMIN DAHMAX**

- Programmsprung

G29 N LA= (<Bedingung>)

- Werkstück umspannen

G30 Q1 DE C

- Gegenspindel positionieren und spannen

G30 Q2 DE C DA H O M DM V U SP DZ E

- Gegenspindelübernahme

G30 Q3 DE C T TC ZA XS XA DA H O M DM V U ZT SP DZ S F M E

- Reitstockpositionierung

G30 Q4 ZA M

- Gewindezyklus

G31 Z/ZA/ZI X/XA/XI F D ZS XS DA DU Q O AE H S M M

- Gewindebohrzyklus

G32 Z/ZA/ZI F S M M

- Gewindestreihgang

G33 Z/ZA/ZI X/XA/XI F S M M

- Abwahl der Schneidenradiuskorrektur

**G40 Z/ZA/ZI X/XA/XI ...
G40 G0/G1 Z/ZA/ZI X/XA/XI ...
G40 G10/G11 RP AP/AI ...
G40 G45/G46/G47 ...**

- Anwahl der Schneidenradiuskorrektur SRK

G41/G42 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI C D A S H F E S M M T C T R T X T Y T Z
 G41/G42 G0/G1 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI ...
 G41/G42 G10/G11 R P A P/AI Z/ZA/ZI ...
 G41/G42 G45/G46/G47 ...

- Lineares tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur

G40/G41/G42 G45 D L Z/ZA/ZI X/XA/XI F E S M M

- Tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur im Viertelkreis

G40/G41/G42 G46 R R Z/ZA/ZI X/XA/XI F E S M M

- Tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur im Halbkreis

G40/G41/G42 G47 R R Z/ZA/ZI X/XA/XI F E S M M

- Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen

G50

- Einstellbare Nullpunkte setzen

G51 Q XA/XI YA/YI ZA/ZI

- Satzweise Interpolation in Maschinenkoordinaten

G52 G X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI D A S H F E S M M T T C T R T X T Y T Z
 G52 G X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI (A/AA/AI | B/BA/BI | C/CA/CI) F E S M
 M T T C T R T X T Y T Z

- Maschinennullpunkt

G53

- Einstellbare Nullpunkte

G54/G55/G56/G57

- Inkrementelle Nullpunktverschiebung in Polarkoordinaten und Drehung

G58 R P A P WA/WI

- Inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung

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

- Linearinterpolation für Konturzüge

G61 Z/ZA/ZI X/XA/XI D A T A S R N O H F E S M M

- Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge

G62 Z/ZA/ZI X/XA/XI K/KA I/IA R A T A S A O A E A P R N O H F E S M M

- Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge

G63 Z/ZA/ZI X/XA/XI K/KA I/IA R AT AS AO AE AP RN O H F E S M M

- Nutzenstoßen

G64 Z/ZA/ZI X/XA/XI D ZS XS DA DU F

- Makroaufruf

G65 L O A B C D E F H I J K M Q R S T U V W X Y Z

- Spiegeln

G66 Z X

- Skalieren

G67 SK Q

- Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)

G70

- Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)

G71

- Zyklusabschluss

G80 ZA XA

- Längsschruppzyklus

G81 D H1/H2/H3/H24 AK AZ AX AE AS AV O Q V F E S M M
G81 H4 AE AS AV O V F E S M M

- Planschruppzyklus

G82 D H1/H2/H3/H24 AK AZ AX AE AS AV O Q V F E S M M
G82 H4 AE AS AV O V F E S M M

- Konturparalleler Schruppzyklus

G83 D H1/H14 AK AZ AX AE AS AV O Q V F E S M M
G83 H4 AE AS AV O Q V F E S M M

- Tieflochbohrzyklus (zentrisch)

G84 Z/ZA/ZI D V VB DR DM R DA U O FR F E S M M

- Freistichzyklus

G85 Z/ZA/ZI X/XA/XI H1 I K RN Q F E S M M
G85 Z/ZA/ZI X/XA/XI H2/H3 SX RN Q F E S M M

- Radialer Einstechzyklus

G86 Z/ZA/ZI X/XA/XI ET LE EB/EO AS AE RO LO LG RG D AK AX EP H
 DB V F E S M M QM(QL DQ DU DW DE SP)

- Radialer Konturstechzyklus

G87 **D** **AK** **AX** **H** **DB** **O** **Q** **V** **F** **E** **S** **M** **M**

- Axialer Einstechzyklus

G88 **Z/ZA/ZI** **X/XA/XI** **ET** **LE** **EB/EO** **AS** **AE** **RO** **LO** **LG** **RG** **D** **AK** **AZ** **EP** **H**
DB **V** **F** **E** **S** **M** **M** **QM**(**QL** **DQ** **DU** **DW** **DE** **SP**)

- Axialer Konturstechzyklus

G89 **D** **AK** **AZ** **H** **DB** **O** **Q** **V** **F** **E** **S** **M** **M**

- Absolutmaßangabe

G90

- Kettenmaßangabe

G91

- Drehzahlbegrenzung

G92 **S**

- Vorschub in Millimeter pro Minute

G94 **F** **E**

- Vorschub in Millimeter pro Umdrehung

G95 **G** **F** **E**

- Konstante Schnittgeschwindigkeit

G96 **S**

- Konstante Drehzahl

G97 **S**

- Kanalsynchronisation

G98 **SM** **KS** ... **KS** **WAIT**

- Kanalwechsel

G99 **KN**

- Programmschleife Anfang

DO<Markennummer>

- Programmschleife Ende

END<Markennummer>

- Programmsprung

GOTO <Satznummer>

- Bedingter Programmsprung

IF (**<Bedingung>**) **GOTO** **<Satznummer>**

- Bedingte Parameterzuweisung

IF (**<Bedingung>**) **THEN** **<Zuweisung>**

- Programmschleife Anfang

WHILE (**<Bedingung>**) **DO****<Markennummer>**

- Textausgabe

MSG **"Text"**