



PA - Software

5-Achs-Transformation

PA 8000

AUSGABE

01.00

Software Revision

1.9

Copyright

PA

IRRRTUM UND TECHNISCHE ÄNDERUNGEN VORBEHALTEN

Inhalt

1 Einleitung	1
2 Leistungsumfang	3
2.1 Tool-Center-Point Programmierung (TCP-Programmierung).....	3
2.2 Beliebige Orientierung eines Koordinatensystemes im Raum	3
3 Aufruf der speziellen 5-Achs-Funktionen aus einem NC-Programm	5
3.1 Allgemein	5
3.2 Übersicht über die verfügbaren G-Codes	5
3.3 G-Code-Gruppen	6
3.4 Beschreibung der G-Codes	8
3.5 G180 Transformation ausgeschaltet	9
3.5.1 Überwachung der Achsgrenzen.....	9
3.5.2 Aktivieren von G180 durch ein externes Signal	9
3.6 G181 TCP-Programmierung mit nicht gedrehtem Koordinatensystem.....	10
3.6.1 Maschinentyp A (drehbares Werkzeug).....	10
3.6.2 Maschinentyp B (drehbares Werkstück)	11
3.6.3 Bestimmung des Koordinatensystems.....	16
3.7 Überwachung der Achsgrenzen.....	22
3.8 Aktivierung von G181 durch ein externes Signal	22
3.9 G182 TCP-Programmierung mit gedrehtem Koordinatensystem	22
3.10 G183 Definition eines Koordinatensystemes	28
3.11 Nullpunktverschiebung des Koordinatensystemes	29
3.12 G184 Programmierung der Werkzeugabmessungen	30
3.13 Angabe der Werkzeuglänge mit Hilfe der H-Korrekturen	31
3.14 G109 Programmierung der Werkzeugeintauchtiefe	31
3.15 G120, G121 Änderung der Werkzeugorientierung.....	33
3.15.1 G120 Orientierungsänderung durch lineare Änderung der Rundachsenposition	33
3.15.2 G121 Orientierungsänderung in der Ebene	33

3.16 G130, G131, G132 Programmierung der Orientierungsänderung des Werkzeugs	36
3.16.1 G130 Programmierung der Orientierungsänderung des Werkzeuges durch Angabe der Rundachsenpositionen.....	36
3.16.2 G131 Programmierung der Art der Orientierungsänderung durch Angabe des Richtungsvektors mit I, J und K	36
3.16.3 Programmierung der Art der Orientierungsänderung des Werkzeuges durch Angabe des Richtungsvektors mit A, B und C	37
3.17 G140, G141 Programmierung des Orientierungsbezuges	38
3.17.1 G140 absolute Programmierung der Werkzeugorientierung.....	38
3.17.2 G141 Programmierung der Werkzeugorientierung bezogen auf das gültige Koordinatensystem	38
4 PLC-CNC Interface.....	39
4.1 CNC Eingänge	39
4.2 CNC Ausgänge	40
5 Inbetriebnahme für 5-Achs-Systeme.....	41
5.1 Achsbelegung	41
5.2 Transformation	41
5.3 Transformation für Nutatorachse	44
5.4 Wegoptimierung bei der Richtungsvektorprogrammierung	47
5.5 Maschinenparameter Tabelle	48
5.5.1 Allgemeiner Hinweis zu 3-Achs-Maschinen.....	48
5.5.2 ParameterTabelle	48

1 Einleitung

Das Softwarepaket "5-Achs-Transformation" wird an Maschinen eingesetzt, die außer den üblichen drei Linearachsen X,Y und Z über zwei Rundachsen verfügen, die es ermöglichen, ein rotationssymmetrisches Werkzeug (Fräser, Laserstrahl) in einen beliebigen Raumpunkt gegenüber dem zu bearbeitenden Werkstück beliebig zu orientieren. Wegen der vorausgesetzten Rotationssymmetrie des Werkzeuges genügen 5 Freiheitsgrade; ein 6. Freiheitsgrad würde nur zu einer Drehung des Werkzeuges um seine Symmetrieachse führen. Die Maschine kann außer den genannten 5 Achsen weitere Achsen enthalten (z.B. Beladeachsen, Werkzeugwechsler-Achsen), die an der Transformation nicht beteiligt sind.

An die Kinematik der Maschine werden folgende Forderungen gestellt::

- Die drei Linearachsen X,Y und Z bilden ein rechtshändiges kartesisches Koordinatensystem.
- Jede der beiden Rundachsen ist parallel zur Verfahrriichtung einer der Linearachsen. Daraus folgt, daß die beiden Rundachsen aufeinander senkrecht stehen.
- Bei Grundstellung der Maschine zeigt das Werkzeug in die negative Z-Richtung.
- Mit den Rundachsen kann wahlweise das Werkzeug (Maschinentyp A) oder das Werkstück (Maschinentyp B) gedreht werden. Der Fall, daß eine der Rundachsen das Werkzeug, die andere das Werkstück dreht, ist erlaubt (Maschinentyp C).
- Maschinentyp A und B: Die 4. Achse der Maschine (d.h. die 1. Rundachse) ist die Achse, bei deren Drehung die Orientierung der 5. Achse (d.h. der 2. Rundachse) verändert wird. Eine Drehung der 5. Achse hat dagegen keinen Einfluß auf die Orientierung der 4. Achse.

- Maschinentyp C: Die 4. Achse der Maschine (d.h. die 1. Rundachse) dreht das Werkstück, die 5. Achse (d.h. die 2. Rundachse) dreht das Werkzeug.

Mit den genannten Bedingungen und Bezeichnungen der Rundachsenbezeichnungen nach DIN sind insgesamt die folgenden 18 Maschinenarten möglich:

Achsfolge	Werkzeug drehbar	Werkstück drehbar	Werkzeug/Werkstück drehbar
	Typ A	Typ B	Typ C
AB	1	7	13
AC	2	8	14
BA	3	9	15
BC	4	10	16
CA	5	11	17
CB	6	12	18

Je zwei Maschinenarten bei jeder der drei Maschinenarten, nämlich die Maschinenarten 2,4,11,12,14 und 16 sind nicht sinnvoll, da eine Drehung um die C-Achse gleichbedeutend einer Drehung des Werkzeuges um seine Rotationsachse ist.

Für eine beliebige Werkzeugorientierung im Raum fehlt somit ein Freiheitsgrad.

2 Leistungsumfang

2.1 Tool-Center-Point Programmierung (TCP-Programmierung)

Bei der TCP-Programmierung beziehen sich programmierte Koordinaten stets auf einen frei wählbaren Punkt im Werkzeug (in der Regel ist dieser Punkt die Werkzeugspitze = TCP).

Werden Rundachsen bewegt, so ändert sich die Orientierung des Werkzeuges; es ist jedoch nicht erwünscht, daß der TCP seine Position im Raum ändert. Die Software sorgt deshalb dafür, daß die Linearachsen solche Ausgleichsbewegungen ausführen, damit der TCP bezogen auf das Werkstück seine Position nicht verändert. Sind gleichzeitig Linear- und Rundachsen programmiert, bewegt sich der TCP auf der durch X,Y und Z bestimmten Raumbahn, ohne daß diese durch die gleichzeitige Orientierungsänderung des Werkzeuges in Bezug auf das Werkstück infolge der Rundachsenbewegung beeinflusst wird.

2.2 Beliebige Orientierung eines Koordinatensystemes im Raum

Bei der reinen TCP-Programmierung ist das Koordinatensystem, in dem die Programmierung erfolgt gegenüber einem werkstückfesten Koordinatensystem (bei Maschinen des Typs A ist das gleichbedeutend mit einem maschinenfesten) bei Grundstellung nicht verdreht. Die zweite Hauptfunktion der 5-Achs Transformation bietet die Möglichkeit, ein beliebig im Raum gedrehtes und verschobenes Koordinatensystem zu definieren. In einem solchen Koordinatensystem sind sämtliche Funktionen wie Kreisinterpolation, Splineinterpolation, Fräserradiuskorrektur, Partrotation ..., nutzbar. Auch in diesem Fall beziehen sich die programmierten Positionen stets auf den TCP, so daß die Ausgleichsbewegungen bei der Programmierung nicht berücksichtigt werden müssen.

Wird ein Koordinatensystem definiert, das gegenüber dem werkstückfesten Koordinatensystem bei Grundstellung der Rundachsen nicht gedreht ist, so erhält man die reine TCP-Programmierung.

Die erste Hauptfunktion ist deshalb ein Spezialfall der zweiten Hauptfunktion.

Neben den genannten beiden Hauptfunktionen umfaßt die 5-Achs-Transformation noch folgende weitere Funktionen:

- Drei verschiedene Möglichkeiten der Definition eines gedrehten Koordinatensystems zur Verwendung durch die zweite Hauptfunktion.
- Programmierung der Werkzeugabmessungen
- Auswahl aus zwei Möglichkeiten eine Werkzeugorientierung in eine andere zu überführen.
- Verschiedene Möglichkeiten zur Definition der Werkzeugorientierung

Alle Funktionen können von einem NC-Programm aus aktiviert werden; ein Teil auch über die PLC-Schnittstelle (siehe Programmieranleitung). Damit ist bei der Programmerstellung im Teach-In-Verfahren die Möglichkeit gegeben, alle benötigten Funktionen von einem tragbaren Handbedienfeld (Teach-In-Panel) aus aufzurufen.

3 Aufruf der speziellen 5-Achs-Funktionen aus einem NC-Programm

3.1 Allgemein

Alle speziellen 5-Achs-Funktionen werden mit der gleichen NC-Adresse programmiert. Diese NC-Adresse ist ein Applikationsdatum und kann frei gewählt werden.

Es wird empfohlen, die NC-Adresse "G" zu verwenden. Jeder Funktion ist eine Nummer zugeordnet, die ebenfalls applizierbar und damit frei wählbar ist.

3.2 Übersicht über die verfügbaren G-Codes

Hinweis:

- Alle nachfolgenden G-Codes sind die empfohlenen Standardcodes.

Code	Wirksamkeit	Beschreibung
G180	modal	keine Transformation aktiv;
G181	modal	TCP-Programmierung in einem gegenüber dem werkstückfesten Koordinatensystem bei Grundstellung der Rundachsen nicht gedrehten Koordinatensystem;
G182	modal	TCP-Programmierung in einem gegenüber dem werkstückfesten Koordinatensystem bei Grundstellung der Rundachsen gedrehten und verschobenen Koordinatensystem;
G183	satzweise	Definition eines gegenüber dem werkstückfesten Koordinatensystems bei Grundstellung der Rundachsen gedrehten Koordinatensystems;

G184	satzweise	Programmierung der Werkzeugabmessung;
G109	modal	Programmierung der Werkzeugeintauchtiefe;
G120	modal	Linearinterpolation der Rundachsen bei Orientierungsänderungen;
G121	modal	Drehung des Werkzeugvektors in der Ebene bei Orientierungsänderung;
G130	modal	Bestimmung der Werkzeugrichtung durch Programmierung der Rundachsenposition;
G 131	modal	Bestimmung der Werkzeugrichtung durch Programmierung der Komponenten des Richtungsvektors mit I,J und K;
G 132	modal	Bestimmung der Werkzeugrichtung durch Programmierung der Komponenten des Richtungsvektors mit A,B und C;
G 140	modal	Programmierung der Orientierung bezieht sich auf das werkstückfeste Koordinatensystem;
G 141	modal	Programmierung der Orientierung bezieht sich auf das mit G183 definierte Koordinatensystem;

3.3 G-Code-Gruppen

G-Codes, die modal wirksam sind und sich gegenseitig ausschließen, werden in G-Code-Gruppen zusammengefaßt.

Es ist immer genau ein (1) G-Code jeder Gruppe aktiv. Nach dem Einschalten der Steuerung sind die mit " * " gekennzeichneten G-Codes wirksam.

Die hier genannten G-Code-Gruppen sind unabhängig von den in der Standard-programmieranleitung beschriebenen G-Code-Gruppen.

Gruppe1: (Transformationsart)

G180* 1)

G181

G182

Gruppe 2: (Interpolationsart der Rundachsen)

G120* 2)

G121

Gruppe 3: (Programmierung der Werkzeugorientierung)

G130*

G131

G132

Gruppe 4: (Orientierungsbezug)

G140*

G141

Erläuterung:

1.) G180 wird beim Umschalten in die Betriebsart „Referenzpunkt“ automatisch aktiv. Beim Referenzpunktanfahren mit G74 wird ebenfalls automatisch nach G180 umgeschaltet. Nach Beendigung des Referenzpunktzykluses wird jedoch wieder der G-Code aktiv, der vor dem Aufruf von G74 aktiv war.

Der jeweils aktive G-Code der ersten Gruppe kann über 3 Interface-Bits ausgegeben werden und so z.B. von der PLC verarbeitet werden. Der jeweils aktive G-Code der ersten Gruppe wird bei Grundstellung und M30 (Programmende) nicht verändert.

2.) Der Einschaltzustand wird auch bei Grundstellung und bei Umschaltung in die Betriebsart „HNC oder „Referenzpunkt“ wirksam. Wird einer der G-Codes G180 bis G185 programmiert, so werden die NC-Adressen, die in der nachfolgenden Beschreibung nicht explizit angegeben werden, ohne Fehlermeldung ignoriert. Das gleiche gilt, wenn bei aktiver Transformation (G181 oder G182) die Werkzeuglänge mit der Adresse H programmiert wird.

3.4 Beschreibung der G-Codes

Die folgende Beschreibung gilt für alle 18 (bzw. für alle 12 sinnvollen) Maschinenarten. Um die Beschreibung möglichst allgemein halten zu können, werden die Rundachsen mit

R1 = 1. Rundachse = 4. Maschinenachse

R2 = 2. Rundachse = 5. Maschinenachse bezeichnet.

In konkreten Beispielen wird als Repräsentant des Maschinentyps mit drehbarem Werkzeug (Maschinentyp A) die Achsfolge CB (Maschinenart 6), und als Repräsentant des Maschinentyps mit drehbarem Werkstück (Maschinentyp B) die Achsfolge AC (Maschinenart 8) verwendet.

Nach Möglichkeit wird in den Programmierbeispielen davon ausgegangen, daß eine der beiden Rundachsen in der Nullstellung verbleibt, so daß die wesentlichen Vorgänge in einer Ebenen dargestellt werden können. Positionen der Linearachsen in Maschinenkoordinaten werden mit X, Y und Z bezeichnet; solche in gedrehten oder verschobenen Koordinatensystemen mit X', Y' und Z' bzw. mit X'', Y'' und Z'' usw., falls andere Koordinatensysteme definiert werden.

3.5 G180 Transformation ausgeschaltet

Ist der G-Code G180 aktiv, verhält sich die Maschine wie eine normale 5-Achs-Maschine; d.h. die Bewegung einer Achse hat keinen Einfluß auf die Bewegung der übrigen Achsen. Insbesondere führt eine Bewegung von R1 oder R2 nicht zu Ausgleichsbewegungen.

G180 wird automatisch aktiv, wenn die Steuerung in die Betriebsart „Referenzpunkt“ umgeschaltet wird.

Beim Referenzpunktanfahren mit G74 wird automatisch während des Zykluses nach G180 umgeschaltet. War vor dem Aufruf von G74 ein anderer G-Code der ersten Gruppe (G181 oder G182) aktiv, so wird nach Abschluß des Referenzpunktanfahrens dieser G-Code erneut aktiv.

3.5.1 Überwachung der Achsgrenzen

Sämtliche Achsgrenzen werden bereits bei der Satzvorbereitung überwacht. Ein Satz mit Verfahrinformationen, die zur Verletzung von Achsgrenzen führen würden, kann nicht aktiv werden.

3.5.2 Aktivieren von G180 durch ein externes Signal

G180 kann auch durch die Vorderflanke eines Interfacesignales im CNC-PLC-Interface aktiviert werden. Dazu müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- es darf kein NC-Programm aktiv sein
- in der Betriebsart „MDI“ müssen alle Satzzeilen bis auf die oberste (Basissatz N+2) leer sein
- die Maschine muß stehen (Anzeige in der zweiten Bildschirmzeile: Zyklus Aus)
- es darf kein PLC-Programm eingelesen werden

Ist mindestens eine der genannten Forderungen nicht erfüllt, wird das Interfacesignal ignoriert. Werden alle Bedingungen erst dann erfüllt, wenn das Interfacesignal anliegt, erfolgt keine Umschaltung. Die Steuerung schaltet erst um, wenn erneut eine Vorderflanke des Interfacesignales erkannt wird.

3.6 G181 TCP-Programmierung mit nicht gedrehtem Koordinatensystem

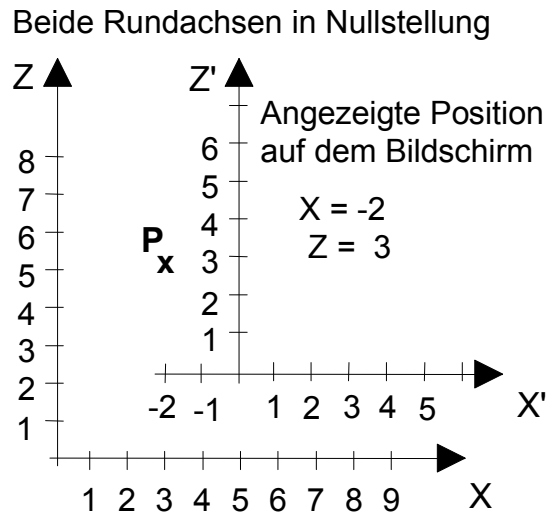
Mit G181 wird die Tool-Center-Point Programmierung aktiviert. Damit ist es möglich, sich bei der Programmierung nicht mehr auf die Maschinenachsen, sondern auf das Werkstück zu beziehen. Dies wird dadurch erreicht, daß die Steuerung bei der Bewegung der Rundachsen solche Ausgleichsbewegungen generiert, daß ein Punkt im Werkzeug (der TCP) seine Lage in Bezug auf das Werkstück nicht verändert.

Das Koordinatensystem, auf das sich programmierte Achspositionen beziehen, ist – auf das Werkstück bezogen – gegenüber dem Maschinenkoordinatensystem bei Nullstellung der beiden Rundachsen R_1 und R_2 nicht gedreht. Dies hat bei Maschinen des Typs A und des Typs B unterschiedliche Folgen für die Orientierung des Koordinatensystems im Raum.

3.6.1 Maschinentyp A (drehbares Werkzeug)

Da hier das Werkstück gegenüber dem Maschinenkoordinatensystem nicht verdreht werden kann (es dreht sich nur das Werkzeug), ist das bei G181 verwendete Koordinatensystem gegenüber dem Maschinenkoordinatensystem nicht verdreht. Die Programmierung einer Linearachse hat deshalb auch nur eine Bewegung der betreffenden Maschinenachse zur Folge. Die Bewegung einer beliebigen Achse hat keinen Einfluß auf die Lage des Koordinatensystems.

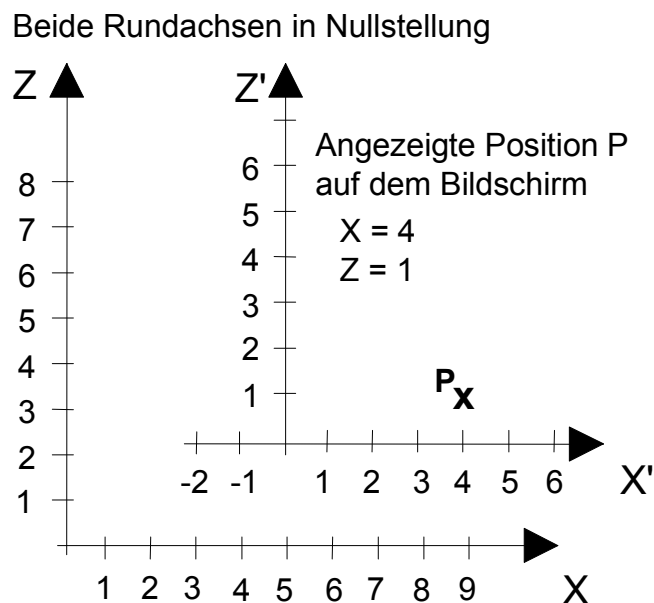
Beispiel:



3.6.2 Maschinentyp B (drehbares Werkstück)

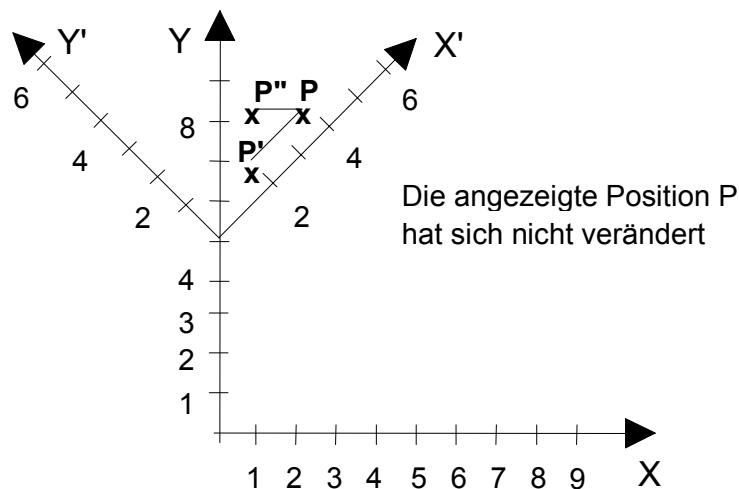
Da das bei G181 verwendete Koordinatensystem werkstückfest ist, wird es bei einer Drehung der Rundachsen gegenüber dem Maschinenkoordinatensystem gedreht. Bezogen auf das Werkstück ist das Koordinatensystem jedoch nicht verdrehbar.

Beispiel:



Beispiel:

Drehung des Werkstückes bzw. des Tisches mit aufgespannten Werkstück um 45° um die C-Achse



Wird nur eine der Linearachsen programmiert, z.B. die X-Achse, so verändert sich auch in der Anzeige nur die Position dieser Achse, da die Koordinaten X' , Y' und Z' angezeigt werden. Im Maschinenkoordinatensystem verändert sich jedoch die Position von X und Y, d.h. an der Maschine bewegen sich zwei Linearachsen (im allgemeinen Fall beliebig gedrehter Rundachsen würden sich alle 3 Linearachsen bewegen).

Bewegung von P nach P'

	Anzeige P	Anzeige P'	Bewegung der Maschinenachsen
X	4	2	$-\sqrt{2}$
Y	1	1	$-\sqrt{2}$

Mit unter kann es auch bei Maschinen des Typs B in der Betriebsart MMI wünschenswert sein, daß bei der TCP-Programmierung die Programmierung der Linearachse die Bewegung nur einer Maschinenachse zur Folge hat. Im obigen Beispiel entspricht das einer Bewegung vom Punkt P zum Punkt P'.

Die Folge ist jedoch, daß sich nun in der Anzeige die Positionen von X und Y verändern:

Bewegung von P nach P"

	Anzeige P	Anzeige P"	Bewegung der Maschinenachse
X	4	2,586 ($= 4 \cdot \sqrt{2}$)	- 2
Y	1	2,414 ($= 1 \cdot \sqrt{2}$)	0

Diese Funktion (Rückdrehung des Koordinatensystems) kann in der Betriebsart MMI durch ein Interfacesignal aktiviert werden. Dieses Interfacesignal wird statistisch ausgewertet, d.h. wenn die Bedingungen erfüllt werden, die eine Umschaltung erlauben (s. Beschreibung der Aktivierung von G180 durch ein Interfacesignal), ist kein Flankenwechsel erforderlich, um die Rückdrehung des Koordinatensystems zu aktivieren. Diese Funktion ist vor allem dann vorteilhaft anwendbar, wenn die Kontur eines Werkstückes im Teach-In-Verfahren erfaßt werden soll.

Hier kann sich der Bediener die Bewegung der Maschine in bezug auf das Werkstück oft leichter vorstellen, wenn sich die von Ihm aktivierten Bewegungen auf die Maschinenachsen beziehen.

Die Tatsache, daß sich bei Bewegung einer der drei Maschinenachsen X,Y oder Z in der Anzeige im allgemeinen die Position aller drei Linearkoordinaten ändern, fällt demgegenüber nicht ins Gewicht.

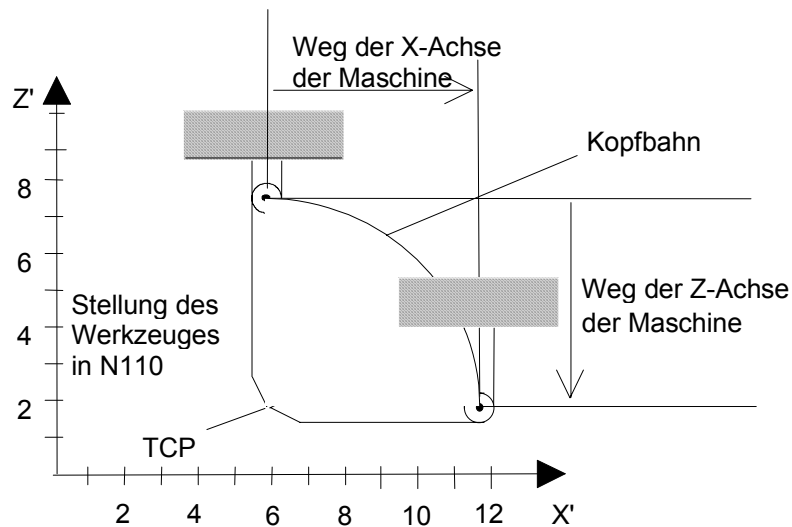
Sowohl bei Maschinen des Typs A als auch des Typs B ändert sich bei aktivem G181 und einer Bewegung der Rundachsen die Position des TCP's in bezug auf das Werkstück nicht. Daraus folgt, daß in diesem Fall auch die Positionsanzeige auf dem Bildschirm unverändert bleibt. Die linearen Maschinenachsen führen solche Ausgleichsbewegungen aus, daß die oben genannten Bedingungen erfüllt bleiben.

1. Beispiel

```

N110    G90    X6    Y0    Z2    B0    C0
N120    G181
N130    B90

```



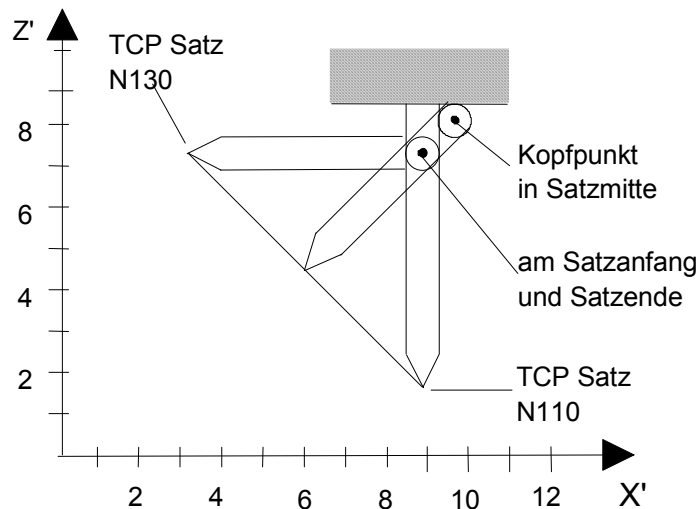
2. Beispiel

Linearbewegung mit überlagerter Orientierungsänderungen des Werkzeuges. Die Bewegung ist so gewählt, daß die Linearachsen (bzw. der Kopfpunkt) vor und nach Ende des transformierten Verfahrensatzes die gleiche Position einnehmen (Werkzeuglänge=6).

```

N110    G90    X10   Y0    Z2    B0    C0
N120    G181
N130    X4     Z8     B90

```



Der TCP bewegt sich auf der programmierten Geraden. Der Kopfunkt hat am Anfang und Ende des Satzes die gleiche Position, bewegt sich jedoch während der Interpolation (Ausgleichsbewegung), so daß der TCP die programmierte Bahn einhält. Würden keine Ausgleichsbewegungen stattfinden, würde sich der TCP auf einer Kreisbahn bewegen.

Die Kopfposition in der Satzmitte ist in der vorstehenden Skizze angedeutet. Es muß beachtet werden, daß die Ausgleichsbewegungen außer von der programmierten Bahn auch von der Maschinenkinematik und von den Werkzeugabmessungen abhängen. So würde ein kürzeres oder längeres Werkzeug im vorhergehenden Beispiel zu unterschiedlichen Kopfpositionen an Satzanfang und am Satzende führen.

Die Orientierung des Werkzeuges kann, wie in den Beispielen gezeigt wurde, durch Angabe der Rundachspositionen programmiert werden. Daneben besteht die Möglichkeit die Werkzeugorientierung durch eine von der Maschinenkinematik unabhängigen Richtungsvektor anzugeben. (siehe hierzu die Beschreibung der G-Codes G131 und G132)

Es gibt zwei Möglichkeiten, einen Richtungsvektor in einen anderen zu überführen:

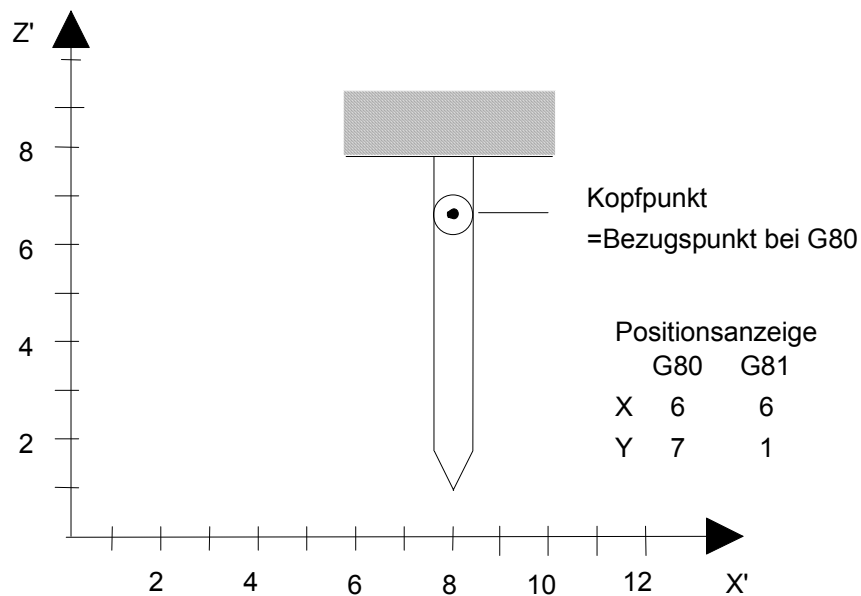
- Bei G120 werden die Rundachspositionen R_1 und R_2 linear interpoliert, d.h. es gilt $R_1 = a + bR_2$ mit beliebigen Konstanten a und b .
- Bei G121 spannen Anfangs- und Endrichtungsvektor eines Satzes eine Ebene auf. Der Richtungsvektor liegt während der Interpolation stets in dieser Ebene auf. Zwischen den Winkeln der beiden Rundachsen R_1 und R_2 besteht ein nichtlinearer Zusammenhang.

Für eine ausführliche Erläuterung der verschiedenen Möglichkeiten der Richtungsprogrammierung wird auf die Beschreibung der G-Codes G120 und G121 verwiesen.

3.6.3 Bestimmung des Koordinatensystems

Wird ohne Transformation (G180) eine Rundachse von einer Position P1 in eine Position P2 bewegt, so ändern sich die Positionen der Linearachsen nicht, auch nicht in der Anzeige.

Wird nach G181 umgeschaltet, so müssen in beiden Fällen unterschiedliche Positionen angezeigt werden, da sich der TCP in verschiedenen Raumpunkten befindet. Daraus folgt, daß sich beim Umschalten zwischen G180 und G181 im allgemeinen die Positionsanzeigen ändern werden. Wird bei G180 als Bezugspunkt z.B. ein Punkt im Werkzeugkopf (Maschinentyp A) gewählt, verändern sich die Positionsanzeigen bei Nullstellung der Rundachsen um die Werkzeugabmessungen.

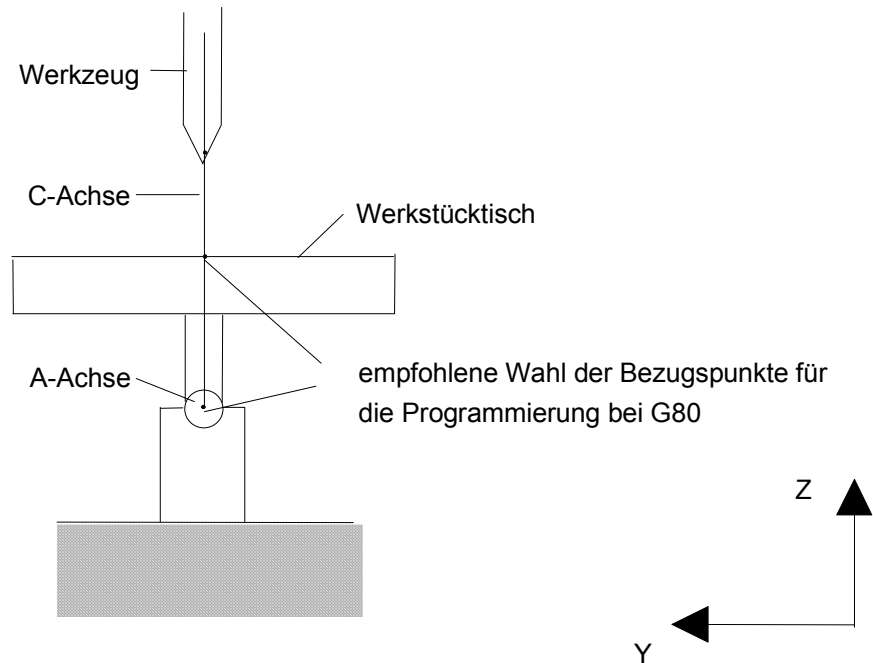


Diese Wahl des Bezugspunktes hat den Vorteil, daß sich die Positionsangaben bei G180 stets auf einen festen Maschinenpunkt beziehen.

Der Bezugspunkt kann durch Applikationsdaten frei bestimmt werden. Er kann insbesondere auch so appliziert werden, daß er bei Nullstellung der Rundachse für ein bestimmtes Werkzeug mit dem TCP zusammenfällt. Wird in diesem Fall (bei Nullstellung der Rundachsen) zwischen G180 und G181 umgeschaltet, ändert sich die Positionsanzeige nicht.

Für Maschinen des Typs B gilt entsprechend, daß der Bezugspunkt vorzugsweise in einem Punkt gelegt werden sollte, der seine Position bei Drehung der Tischachse nicht verändert, bzw. als zweite Möglichkeit in der Tischmitte.

Siehe folgende Skizze:

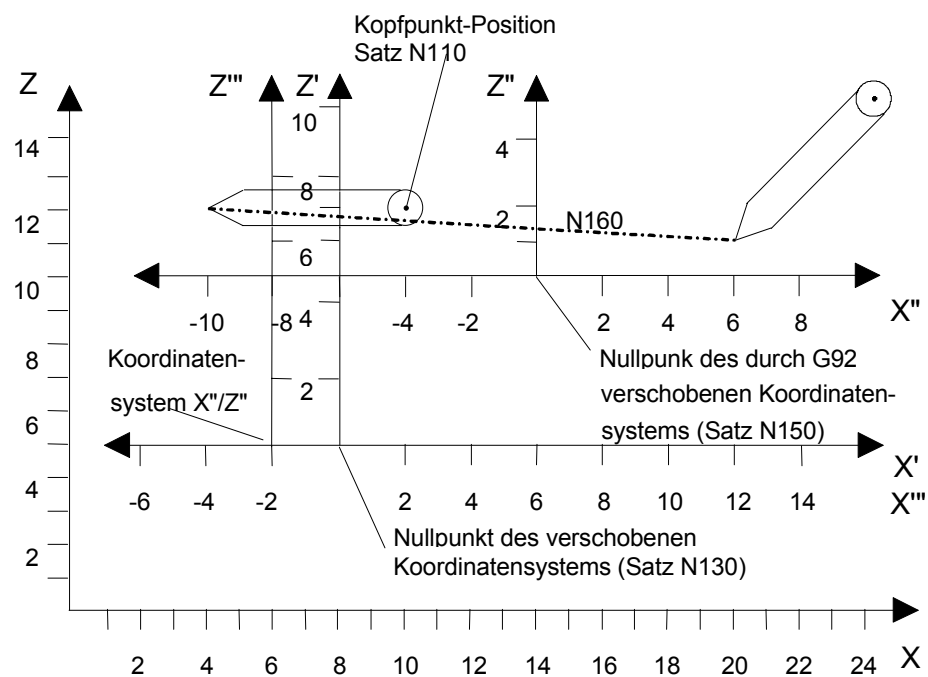


Bei der Definition eines gedrehten Koordinatensystems mit G183 kann auch die Lage des Ursprungs des Koordinatensystems in bezug auf das werkstückfeste Koordinatensystem angegeben werden. Während die Information zur Drehung nur bei G182 verwendet werden, sind die Informationen zur Verschiebung des Koordinatensystems auch bei G181 gültig.

Beispiel:

Bezugspunkt bei G180 ist der Kopfpunkt

N110	C90	X10	Y0	Z12	B90	C0
N120	G184	Z6				
N130	G183	X8	Y0	Z5	B0	C0
N140	G181					
N150	G92	X-10	Z2			
N160		X6	Z1	B45		
N170		G180				
N180	G92					



Satz	Erläuterung
N110	Programmierung der Kopfposition und der Position der B-Achse
N120	Programmierung der Werkzeugabmessungen. Das Werkzeug hat nur eine Komponente in Z-Richtung.
N130	Definition eines gedrehten und verschobenen Koordinatensystems. Der Koordinatenursprung liegt in Punkt t $X = 8, Y = 0, Z = 5$. Die Werte für B,C müssen nicht angegeben werden. Da im vorliegenden Beispielprogramm im Anschluß nur mit G181 gearbeitet wird, hat die Angabe von Werten unter NC-Adresse B und C keinen Einfluß auf das Verhalten der Maschine.
N140	Aktivierung von G181. Die Bildschirmanzeige gibt nun die Position des TCP's in dem in Satz N130 definierten Koordinatensystems an, Die Anzeige wechselt auf X -4, Z 7.
N150	Nullpunktverschiebung durch G92. Die aktuelle Position wird gleich X -10 und Z 2 gesetzt.
N160	Verfahren in die Position X 6, Z 1 bei gleichzeitiger Drehung der B-Achse. Der TCP bewegt sich auf einer Geraden.
N170	Abwahl der TCP-Programmierung. Die Positionsanzeige bezieht sich wieder auf den Kopfpunkt. Die in Satz N150 mit G92 aktivierte Nullpunktverschiebung ist nach wie vor wirksam. Die Positionsanzeige erfolgt deshalb nicht in dem in der Skizze mit X/Y bezeichneten Koordinatensystem, sondern in einem Koordinatensystem X"/Y", das verschoben ist, wie X"/Y" gegenüber X'/Y'. Die Positionsanzeige ist deshalb $X \ 18,243 (= 14 + 6\sqrt{0,5}); \ Y \ 0; Z \ 10,243 (= 6 + 6\sqrt{0,5})$

N180 Löschen der Nullpunktverschiebung, die im Satz N150 aufgerufen wurde. Die Anzeige bezieht sich nun wieder auf das ursprüngliche Koordinatensystem X/Z. Die Positionsanzeige ist X 24,243 ($=20 + 6\sqrt{0,5}$), Y 0, Z 15,243 ($=11 + 6\sqrt{0,5}$).

Übersicht über die Positionsanzeigen der Steuerung bei vorangegangenem Beispielprogramm

	Satz	Satz	Satz	Satz	Satz	Satz
	N 110 N 120 N 130	N 140	N 150	N 160	N 170	N 180
X	10	- 4	-10	6	18,243	24,243
Y	0	0	0	0	0	0
Z	12	7	2	1	10,243	15,243

Korrekturen

Eine korrekte Radiuskorrektur mittels der D-Korrekturen ist nur möglich, wenn das Werkzeug in Richtung der Z-Achse zeigt (Maschinentyp A) bzw. wenn der Werkzeuggestisch nicht gedreht ist (Maschinentyp B).

Die Werkzeugabmessungen werden mit G184 programmiert. dabei ist es möglich, außer einer Z-Komponente auch X- und Y-Komponenten der Werkzeugabmessungen anzugeben. Werden X- und Y-Komponenten nicht benötigt, kann die Werkzeuglänge auch mit den H-Korrekturen programmiert werden.

3.7 Überwachung der Achsgrenzen

Bei transformierten Betrieb werden die Achsgrenzen der Linearachsen in Echtzeit überwacht. Wird eine Achsgrenze überschritten, hält die Maschine an; die Position der Achse, die die Achsgrenze überschritten hat, wird gleich der Achsgrenze gesetzt. Die übrigen Achsen erhalten die durch die Interpolation vorgegebenen Positionen. Die Überwachung der Achsgrenzen der Rundachsen erfolgt bei G120 während der Satzvorbereitung; bei G121 in Echtzeit. Die Überwachung der Achsgrenzen eventuell vorhandener weiterer Achsen erfolgt während der Satzvorbereitung.

3.8 Aktivierung von G181 durch ein externes Signal

Der G-Code G181 kann unter den gleichen Bedingungen wie G180 (siehe dortige Beschreibung) durch ein externes Signal aktiviert werden.

3.9 G182 TCP-Programmierung mit gedrehtem Koordinatensystem

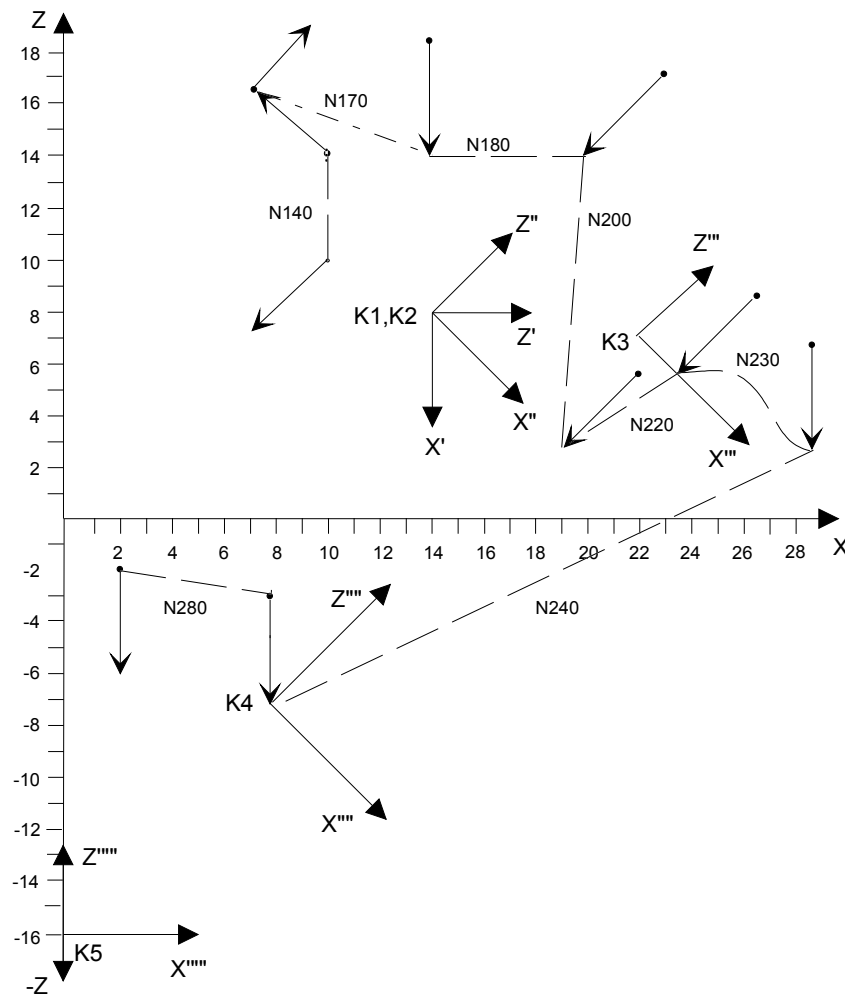
Bei der Programmierung mit G182 beziehen sich alle Positionen – ebenso wie bei G181 – auf den Tool-Center-Point, d.h. ein im Werkzeug definierter Punkt verändert in bezug auf das Werkstück seine Lage nicht, wenn sich ausschließlich Rundachsen bewegen. Als Erweiterung des Funktionsumfanges von G181 besteht bei G182 die Möglichkeit, ein beliebig im Raum gedrehtes Koordinatensystem zu definieren und sämtliche programmierten Positionen auf dieses Koordinatensystem zu beziehen.

Die Definition des gedrehten Koordinatensystems erfolgt mit G183 bzw. durch ein externes Signal (siehe Beschreibung G183).

Die Beschreibung der G182-Funktion wird anhand des folgenden Programmierbeispiel erläutert.

In der Zeichnung ist das Werkzeug durch einen Pfeil symbolisiert. Die verwendeten Koordinatensysteme werden in ihrem Ursprung durch K₀ bis K₆ gekennzeichnet. Es wird davon ausgegangen, daß sich die Programmierung bei G180 auf die Kopfbahn bezieht. Entsprechend beziehen sich die gestrichelt eingezeichneten Bahnen bei G180 auf den Kopf, bei G182 dagegen auf den TCP. Alle Sätze des Beispielprogramms werden ausführlich erläutert. In einer Tabelle sind die von der Steuerung in jedem Satz angezeigten X- und Z-Positionen, sowie das jeweils gültige Koordinatensystem zusammengefaßt.

N110	G90	X10	Y0	Z10	B45	C0
N120	G184	Z4				
N130	G183	X14	Y0	Z8	B90	
N140	Z14	B135				
N150	G182					
N160	B60					
N170	X-6	Z0	B0			
N180	Z6	B45				
N190	G183					
N200	X7	Z0				
N210	G183	X22	Y0	Z7		
N220	X2	Z0				
N230	G2	X8	Z2	I3	B0	
N240	G1	X0	Y0	Z0		
N250	G92	X0	Y0	Z0		
N260	G180					
N270	G92					
N280	X2	Z-2				



Satz Erläuterung

- N110 Verfahren auf die Position X10, Y0, Z10. B45, C0; der programmierte Punkt bezieht sich auf den Kopf (Annahme: G180 ist aktiv). Es ist das Koordinatensystem K gültig.
- N120 Definition eines Werkzeuges der Länge 4.

- N130 Definition des Koordinatensystems K_1 im Punkt X14, Y0 Z8. das Koordinatensystem ist um 90° gedreht, da die Definition so erfolgt, daß das Werkzeug in negative Z-Richtung zeigen würde, wenn es die in B programmierte Position einnehmen würde. Alle in einem Satz mit G183 programmierten Achsadressen dienen nur zur Definition eines Koordinatensystems und haben keine Achsbewegung zu Folge. G183 definiert das Koordinatensystem nur, aktiviert es aber nicht. Bis zur Aktivierung durch G182 gilt weiterhin das Koordinatensystem K.
- N140 Linearbewegung bezogen auf den Kopf mit gleichzeitiger Drehung der B-Achse.
- N150 Aktivierung der TCP-Programmierung im durch den Satz N130 definierten Koordinatensystem K_1 . Die Anzeige ändert sich. Sie gibt nun die Position des TCP's in K_1 an.
- N160 Drehung der B-Achse. Die Linearachsen führen Ausgleichsbewegungen aus, so daß der TCP seine Position nicht verändert. Daraus folgt, daß sich auch die Anzeige für die Linearachsen nicht verändert.
- N170 Linearbewegung des TCP mit überlagerter Orientierungsänderung des Werkzeuges.
- N180 Linearbewegung des TCP mit überlagerter Orientierungsänderung des Werkzeuges.
- N190 Definition des neuen Koordinatensystemes K_2 . Da keine Achswerte programmiert sind, bleibt die in Satz N130 programmierte Nullpunktverschiebung erhalten. Die Drehung des Koordinatensystemes wird durch die momentane Orientierung des Werkzeuges bestimmt, d.h.. Z"-Richtung und Werkzeugausrichtung sind parallel. K_2 wird sofort wirksam, da G182 bereits aktiv ist, d.h.. die Bildschirmanzeige ändert sich.

- N200 Linearbewegung des TCP .
- N210 Definition des neuen Koordinatensystemes K_3 . Dieser Satz bewirkt lediglich eine Nullpunktverschiebung (die Koordinaten des Nullpunktes beziehen sich stets auf K_0). Die Definition der Orientierung erfolgt wie in Satz N190 und führt in diesem Beispiel nicht zu einer Orientierungsänderung, da Rundachspositionen gegenüber Satz N190 nicht verändert sind.).
- N220 Linearbewegung des TCP .
- N230 Helixinterpolation des TCP im Koordinatensystem K_3 mit überlagerter Orientierungsänderung des Werkzeuges. Die Helix ist die Überlagerung eines Halbkreises mit dem Radius 4 in der X''' - Y''' -Ebene mit einer linearen Zustellung von Z in der Z''' -Richtung. Im Bild ist die Projektion der Helix in die X''' - Z''' -Ebene dargestellt.
- N240 Linearbewegung des TCP .
- N250 Nullpunktverschiebung mit G92 im Koordinatensystem K_3 ; dadurch wird das Koordinatensystem K_4 definiert. Der TCP liegt im Nullpunkt von K_4 .
- N260 Abwahl der Transformation; die angezeigte Position bezieht sich nun wieder auf den Kopf. Die Positionsanzeige erfolgt im Koordinatensystem K_3 , das gegenüber K_0 um die in Satz N250 gesetzten Werte verschoben ist (Nullpunktverschiebung infolge G92, G54-G59 bleiben beim Wechsel zwischen den verschiedenen Transformationsarten G180, G181, G182 erhalten).
- N270 Löschen der Nullpunktverschiebung; Anzeige der Kopfposition im Koordinatensystem K_0 .
- N280 Linearinterpolation der Kopfposition.

Satz	Positionsanzeige X	am Satzende Z	Koordinatensystem
N110	10	10	K ₀
N120	10	10	K ₀
N130	10	10	K ₀
N140	10	14	K ₀
N150	- 9,828 (= - 7 - $\sqrt{8}$)	- 6,828 (= - 4 - $\sqrt{8}$)	K ₁
N160	- 9,828	- 6,828	K ₁
N170	- 6	0	K ₁
N180	- 6	6	K ₁
N190	0	8,485 (= $\sqrt{72}$)	K ₂
N200	7	0	K ₂
N210	1,343 (= 7 - $\sqrt{32}$)	- 5,657 (= $\sqrt{32}$)	K ₃
N220	2	0	K ₃
N230	8	2	K ₃
N240	0	- 20	K ₃
N250	0	0	K ₄
N260	7,858 (= 22 - $\sqrt{200}$)	12,858 (= 27 - $\sqrt{200}$)	K ₅
N270	7,858	- 3,142	K ₀
N280	2	- 2	K ₀

3.10 G183 Definition eines Koordinatensystemes

Mit dem G-Code G183 kann gegenüber dem werkstückfesten Koordinatensystem ein gedrehtes und verschobenes Koordinatensystem definiert werden.

Die Drehung des Koordinatensystemes kann auf mehrere Arten bestimmt werden:

- G183 ohne Richtungsinformation. Das Koordinatensystem ist in bezug auf das Werkzeug gegenüber der Maschinengrundstellung nicht gedreht, d.h. man kann sich vorstellen, daß das Koordinatensystem im TCP befestigt und bei Drehung der Rundachsen mitgeführt wurde. Die Z-Richtung des gedrehten Koordinatensystemes zeigt deshalb in Werkzeugrichtung. Die gleiche Funktion kann auch durch ein Interfacesignal ausgelöst werden. Dabei gelten die gleichen Bedingungen wie für G180. Ein Quittierungssignal auf dem Interface ist ebenfalls möglich. Es steht nach dem Erkennen einer Vorderflanke standardmäßig 500 ms an.
- Bei aktivem G130 und Angabe der beiden Rundachspositionen wird die Drehung des Koordinatensystemes so definiert, als stünden die Rundachsen in den angegebenen Positionen und es würde G183 ohne Richtungsinformation programmiert. Die angegebenen Positionen werden nicht angefahren. Die beiden nachfolgenden NC-Teileprogrammstücke haben deshalb die gleiche Wirkung.

N100	G1	A0	B0	N100	G1	A0	B0
N110	A50	B-30		N120	G183	A50	B-30
N120	G183						
N130	A0	B0					

Programmierung der Drehung des Koordinatensystemes mit Hilfe der Eulerwinkel. Diese Möglichkeit hat den Vorteil, daß die Eulerwinkel von der Maschinenkinematik unabhängig sind. Die Eulerwinkel werden bei aktivem G131 mit I, J und K, bei aktivem G132 mit A, B und C programmiert.

Sie haben folgende Bedeutung:

I bzw K: Drehwinkel um die Z-Achse in Grad;

J bzw B: Drehwinkel um die X-Achse des durch die erste Drehung entstandenen Koordinatensystemes in Grad;

K bzw C: Drehwinkel um die Z-Achse des durch die ersten beiden Drehungen entstandenen Koordinatensystemes in Grad;

3.11 Nullpunktverschiebung des Koordinatensystemes

Der Nullpunkt des bei aktiver Transformation (G181, G182) gültigen Koordinatensystemes wird in einem Satz mit G183 durch X, Y und Z angegeben. Die Nullpunktposition bezieht sich stets auf das werkstückfeste Koordinatensystem. Das bedeutet, daß die Lage des Nullpunktes nicht durch eventuell aktive Nullpunktverschiebungen (G54-G59, G92) beeinflußt wird. Dabei besteht die Möglichkeit, daß zu dem programmierten Wert stets ein applizierter Wert addiert wird. Werden in einem G183-Satz nicht alle Linearachsen programmiert, so werden die Nullpunktverschiebungen der betreffenden Achsen nicht verändert, d.h. sie werden nicht **gleich Null** gesetzt, wenn sie in einem früheren Satz **ungleich Null** gesetzt worden waren

. Die programmierten Achspositionen definieren den Nullpunkt eines Koordinatensystemes; sie werden nicht angefahren.

Die jeweils aktive Definition eines Koordinatensystemes (Drehung und Verschiebung) wird bei Grundstellung nicht gelöscht.

3.12 G184 Programmierung der Werkzeugabmessungen

Durch die Programmierung der Werkzeugabmessungen wird der TCP im Werkzeug definiert, d.h.. der Punkt, auf den sich die Verfahrinformation beim transformierten Betrieb beziehen. Die Komponenten der Werkzeugabmessungen werden unter den Adreßbuchstaben X, Y und Z zusammen mit dem G-Code G84 programmiert. Dabei ist das Vorzeichen, mit dem die einzelnen Komponenten bewertet werden jeweils applizierbar.

Da das Werkzeug im allgemeinen in negative Z-Richtung zeigt, es aber üblich ist, die Werkzeuglänge positiv anzugeben, empfiehlt es sich, die Z-Richtung mit negativem Vorzeichen zu bewerten.

Zu jeder Komponente wird ein fester, applizierbarer Wert (der auch Null sein kann) addiert. Damit besteht die Möglichkeit, den Werkzeugursprungspunkt beliebig zu wählen, so daß als Werkzeuglänge beispielsweise wie üblich die Länge ab der Spindelnase verwendet werden kann.

Für die korrekte Transformation wird intern aber der Abstand zwischen Werkzeugspitze und der 5. Achse verwendet.

Werden in einem Satz mit G84 nicht alle drei Komponenten X, Y und Z programmiert, so behalten die nicht programmierten Komponenten ihre alten Werte bei; sie werden nicht automatisch auf Null gesetzt. Alle weiteren NC-Adressen, außer X, Y und Z, die zusammen mit G84 programmiert werden, werden ohne Fehlermeldung ignoriert.

Hinweis:

- Die jeweils aktive Definition der Werkzeuglänge wird bei Grundstellung nicht gelöscht. Die Werkzeuglänge darf bei aktiver Spiegelfunktion (G38) und aktiver Transformation G181, G182) nicht programmiert werden.

3.13 Angabe der Werkzeuglänge mit Hilfe der H-Korrekturen

In der Mehrzahl aller Fälle sind die X- und die Y-Komponenten der Werkzeugabmessungen Null, so daß nur die Z-Komponente (Werkzeuglänge) programmiert werden muß. Dies ist mit Hilfe der H-Korrekturen möglich.

Wird bei aktiver Transformation (G81, G82) ein H-Wert programmiert, so wird dieser Satz so behandelt, als wäre G84 und Z programmiert. Insbesondere werden eventuell vorher mit G84 programmierte X- und Y-Komponenten nicht verändert. Alle Adreßbuchstaben außer H werden ohne Fehlermeldung ignoriert. Bei der H-Wortprogrammierung bei nicht aktiver Transformation (G80) könnten weitere NC-Adressen (auch Verfahrinformationen) programmiert werden.

Hinweis:

- Die Programmierung eines die Werkzeuglänge ändernden H-Wortes bei aktiver Spiegelfunktion (G38) und aktiver Transformation (G181, G182) ist nicht erlaubt.

3.14 G109 Programmierung der Werkzeugeintauchtiefe

Beim transformierten Betrieb bezieht sich die programmierte Geschwindigkeit (F-Wort) auf den TCP. Sind an der programmierten Bewegung keine Linearachsen beteiligt, bezieht sich die programmierte Geschwindigkeit auf die Rundachsen (es gilt dann: 1mm = 1).

Die Transformation kann dazu führen, daß an anderen Punkten der Maschine wesentlich höhere Geschwindigkeiten auftreten, als im TCP. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn bei kleinen Linearbewegungen große Drehbewegungen ausgeführt werden müssen, und wenn die Abstände zwischen TCP und Drehachsen groß sind.

Mit dem G-Code G109 kann unter dem Adreßbuchstaben K eine Werkzeugeintauchtiefe programmiert werden. In dem durch die Eintauchtiefe definierten Punkt im Werkzeug wird die Geschwindigkeit überwacht und gegebenenfalls reduziert, wenn die Geschwindigkeit in diesem Punkt die programmierte Geschwindigkeit überschreitet. Die Geschwindigkeitsüberwachung erfolgt näherungsweise für jeweils einen vollständigen Satz. Geschwindigkeitsänderungen innerhalb eines Satzes infolge nichtlinearer Ausgleichsbewegungen werden nur global mit ihrem Mittelwert erfaßt.

Wird als Eintauchtiefe die Werkzeuglänge gewählt, kann die Funktion G109 zur Begrenzung der Geschwindigkeit der Linearachsen dienen.

3.15 G120, G121 Änderung der Werkzeugorientierung

Die Änderung der Werkzeugorientierung kann auf zwei Arten erfolgen, die mit G120 bzw. mit G121 programmiert werden.

3.15.1 G120 Orientierungsänderung durch lineare Änderung der Rundachsenposition

Zu jeder Werkzeugorientierung gehören bestimmte Positionen der beiden Rundachsen.

Die Rundachspositionen werden bei G130 unmittelbar programmiert; bei G131 bzw. G132 aus dem programmierten Richtungsvektor ermittelt (zu den auftretenden Mehrdeutigkeiten siehe Beschreibung G130-G132).

Die Überführung von einer Werkzeugorientierung in eine andere erfolgt bei G120 durch lineare Interpolation der Rundachsen, d.h.. die beiden Rundachsen bewegen sich während eines Satzes (mit Ausnahme der Beschleunigungsphase am Satzanfang bzw. der Abbremsphase am Satzende) mit konstanter Geschwindigkeit. Die Fläche, die das Werkzeug im Raum bei einer Drehung ohne überlagerte Linearbewegung beschreibt, ist im allgemeinen gekrümmt.

Nur für den Fall, daß sich ausschließlich die zweite Rundachse bewegt, beschreibt das Werkzeug eine Ebene.

3.15.2 G121 Orientierungsänderung in der Ebene

Bei Bearbeitungsverfahren, bei denen nicht näherungsweise von einem punktförmigen Werkzeugangriff ausgegangen werden kann (z.B. Fräsen im Gegensatz zum Laserschneiden), kann es notwendig sein, daß sich das Werkzeug bei Orientierungsänderungen stets in einer Ebene bewegt. Dies wird durch G121 erreicht.

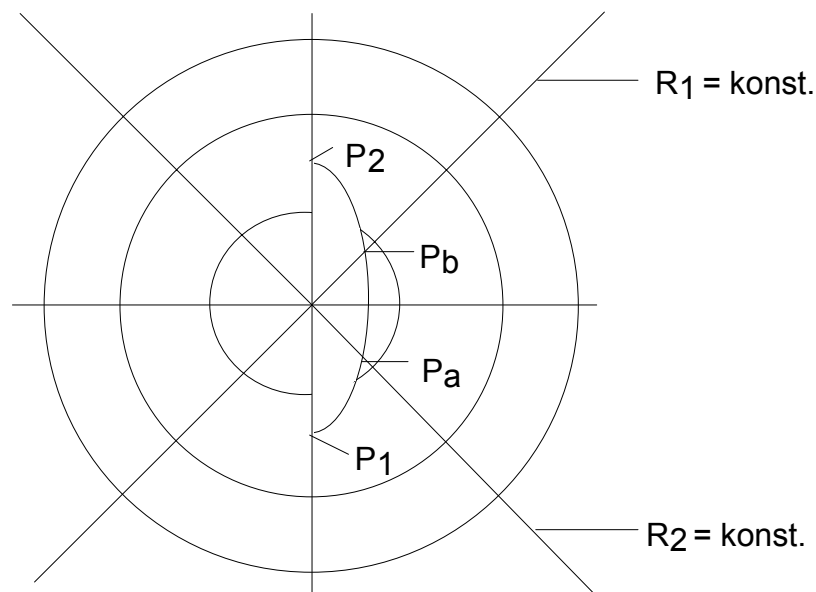
Gegenüber 6120 sind folgende Unterschiede zu beachten:

- Die Bewegungen beider Achsen sind im allgemeinen nicht linear
- Die nichtlinearen Bewegungen können in ungünstigen Fällen zu extremen Geschwindigkeitsverhältnissen führen.
- Die 2. Rundachse kann in einem Satz Positionen erreichen, die betragsmäßig größer sind, als der Start- oder Endpunkt.
- Durch Start- und Endpunkt sind die maximal und minimal erreichbaren Positionen der zweiten Rundachse indirekt festgelegt. Bei Maschinen mit großem Verfahrbereich der 2. Rundachse (auf jeden Fall bei einem Verfahrbereich der Maschine von mehr als 180°), können deshalb bei gegebenem Start- und Endpunkt nicht alle vom Verfahrbereich der Maschine aus erreichbaren Werkzeugorientierungen erreicht werden.

Bei aktivem G121 werden die Achsgrenzen der beiden Rundachsen nicht bei der Satzvorbereitung, sondern in Echtzeit überwacht. Betrachtet man einen Punkt im Werkzeug, der nicht gleich dem TCP ist, so liegt dieser Punkt bei beliebigen Orientierungsänderungen ohne überlagerte Linearbewegungen stets auf einer Kugeloberfläche. Denkt man sich nun Bewegungen nur jeweils in einer der beiden Rundachsen, so beschreibt dieser Punkt die Linie eines Kugelkoordinatensystemes, entsprechend den Längen- und Breitenkreisen auf der Erdoberfläche. Dabei werden bei Bewegungen der 1. Rundachse die Breitenkreise, bei Bewegungen der 2. Rundachse die Längenkreise beschrieben. Ein Pol ist dann erreicht, wenn das Werkzeug in Richtung der 1. Rundachse zeigt. Dies ist beispielsweise bei einer Maschine mit einer C-Achse als der 1. Rundachse und einer A- oder B-Achse als der 2. Rundachse in Grundstellung der Fall.

Im Polpunkt führt eine Drehung der 1. Rundachse nicht zu einer Änderung der Werkzeugorientierung, sondern lediglich zu einer Drehung des (rotationssymmetrischen) Werkzeuges um seine Achse.

Die Umgebung eines Polpunktes ist in der nachfolgenden Zeichnung dargestellt.



Wird nun eine Orientierungsänderung programmiert, die sehr dicht an einem Polpunkt vorbeiführt (in der Skizze der Weg von P_1 zu P_2), so muß die erste Rundachse in Polnähe (z.B. zwischen den Punkten P_a und P_b) ihre Position sehr schnell ändern.

Im Grenzfall, wenn der Weg durch den Pol führt, müßte die erste Rundachse um 180° springen. Diese extremen Beschleunigungen in Polnähe führen zu Dynamikproblemen infolge der mechanischen Begrenzungen der Maschine.

Führt der programmierte Weg bei G121 durch einen Polpunkt (es sind Abweichungen bis etwa $0,01$ Grad vom Polpunkt zulässig), so wird automatisch für einen Satz nach G120 umgeschaltet. Damit kann der Polpunkt ohne Geschwindigkeits- und Beschleunigungsproblemen durchfahren werden. Das Werkzeug beschreibt in diesem Spezialfall auch bei G120 eine Ebene. Bei Grundstellung wird automatisch G120 aktiv.

3.16 G130, G131, G132 Programmierung der Orientierungsänderung des Werkzeugs

Mit den G-Codes G130, G131 und G132 wird die Art der Orientierung des Werkzeuges programmiert.

3.16.1 G130 Programmierung der Orientierungsänderung des Werkzeuges durch Angabe der Rundachsenpositionen

Bei G130 werden die Rundachsen wie normale Achsen programmiert; d.h. am Satzende stehen die Rundachsen in den angegebenen Positionen. Der Weg auf dem die Endpositionen erreicht werden, hängt vom aktiven G-Code der Gruppe G120/G121 ab

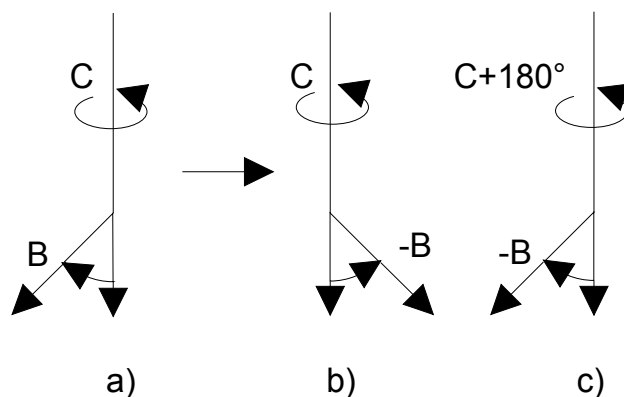
Bei aktivem G121 sind nicht alle Rundachsenpositionen, die programmierbar sind und innerhalb des Verfahrbereiches der Maschine liegen, auch tatsächlich erreichbar (siehe Beschreibung G121). Wird eine solche Position programmiert, erfolgt eine Fehlermeldung.

3.16.2 G131 Programmierung der Art der Orientierungsänderung durch Angabe des Richtungsvektors mit I, J und K

Bei G131 wird der Werkzeugvektor programmiert. Die Vektorkomponenten stehen unter den NC-Adressen I, J und K. Dabei ist applizierbar, ob der programmierte Vektor von der Werkzeugspitze zur Werkzeugaufnahme oder in die umgekehrte Richtung zeigt. Um auch bei Kreisprogrammierung und aktivem G131 eine Orientierungsänderung programmieren zu können, werden in diesem Fall als Vektorkomponenten nicht I, J und K, sondern A, B und C verwendet. A, B und C werden nicht als Achspositionen interpretiert. Bei aktivem G131 werden in allen anderen Fällen die NC Adressen A, B und C ohne Fehlermeldung ignoriert.

Bei der Vektorprogrammierung sind alle programmierten Orientierungen solange sie innerhalb des Verfahrbereiches der Maschine liegen - auch bei aktivem G121 erreichbar.

Durch Angabe eines Richtungsvektors sind im allgemeinen die Achspositionen der beiden Rundachsen nicht eindeutig bestimmt, d.h. eine bestimmte Werkzeugorientierung kann durch verschiedene Stellungen der Maschine erreicht werden.



Die Werkzeugorientierung im Bild c) ist die gleiche wie im Bild a). Die beiden Achspositionen sind jedoch unterschiedlich (B bzw. -B und C bzw. C + 180°).

Bei Mehrdeutigkeiten wird die Maschinenkonstellation von der Steuerung automatisch so ausgewählt, daß sich der kürzeste Fahrweg ergibt.

3.16.3 Programmierung der Art der Orientierungsänderung des Werkzeuges durch Angabe des Richtungsvektors mit A, B und C

Der Unterschied zu G131 besteht lediglich darin, daß die Komponenten des Richtungsvektors statt mit I, J und K mit A, B und C angegeben werden. Damit ist eine einheitliche Richtungsprogrammierung unabhängig von der aktiven Interpolation (Kreisinterpolation bzw. Linear- oder Splineinterpolation) möglich.

Bei aktivem G132 werden die NC-Adressen A, B und C nicht als Achspositionen interpretiert.

Grundstellung wird automatisch G130 aktiv.

3.17 G140, G141 Programmierung des Orientierungsbezuges

3.17.1 G140 absolute Programmierung der Werkzeugorientierung

Bei G140 bezieht sich die programmierte Werkzeugorientierung (G130, G131, G132) stets auf das werkstückfeste Koordinatensystem. Dies gilt auch dann, wenn sich bei aktiver Transformation in einem gedrehten Koordinatensystem (G182) Positionsangaben für Linearachsen auf dieses gedrehte Koordinatensystem beziehen.

3.17.2 G141 Programmierung der Werkzeugorientierung bezogen auf das gültige Koordinatensystem

Bei G141 beziehen sich die bei G131 und G132 programmierten Richtungsvektoren auf das jeweils aktive, gegebenenfalls gedrehte Koordinatensystem. Damit ist es möglich, Programmteile, die Linear und Rundachsbewegungen enthalten, in beliebiger Orientierung im Raum abzuarbeiten.

Die bei G130 programmierten Rundachspeditionen werden durch G141 nicht beeinflusst, d.h. die bei G130 programmierte Orientierung ist immer absolut.

Grundstellung wird automatisch G140 aktiv.

4 PLC-CNC Interface

4.1 CNC Eingänge

Die PLC kann die 5-Achs-Funktionen auch durch die Vorderflanke eines Interfacesignales im CNC-PLC-Interface aktivieren. Dazu müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- es darf kein NC-Programm aktiv sein
- die Maschine muß stehen (Anzeige in der zweiten Bildschirmzeile: Zyklus Aus)

Ist mindestens eine der genannten Forderungen nicht erfüllt, wird das Interfacesignal ignoriert. Werden alle Bedingungen erst dann erfüllt, wenn das Interfacesignal anliegt, erfolgt keine Umschaltung. Die Steuerung schaltet erst um, wenn erneut eine Vorderflanke des Interfacesignales erkannt wird.

IN_NO_TCP

Ausschalten TCP (gleich wie G180)

IN_TCP_ACTIVE

Einschalten TCP (gleich wie G181)

IN_TCP_COORD

Einschalten TCP-Programmierung mit gedrehtem Koordinatensystem (gleich wie G182)

IN_COORD_DEF

Definition eines Koordinatensystems

Das Koordinatensystem ist in bezug auf das Werkzeug gegenüber der Maschinengrundstellung nicht gedreht, d.h. man kann sich vorstellen, daß das Koordinatensystem im TCP befestigt und bei Drehung der Rundachsen mitgeführt wurde. Das Koordinatensystem ist dasselbe wie G183 ohne Richtungsinformation.

IN_BACK_TRAFO_OFF

Ausschalten der Rücktransformation

IN_BACK_TRAFO_ON

Einschalten der Rücktransformation

4.2 CNC Ausgänge

ON_NO_TCP

TCP nicht aktiv (G180)

ON_TCP_ACTIVE

TCP aktiv (G181)

ON_TCP_COORD

TCP-Programmierung mit gedrehtem Koordinatensystem aktiv (G182)

ON_COORD_DEF

Definition eines Koordinatensystems aktiv (G183)

ON_BACK_TRAFO

Rücktransformation aktiv

5 Inbetriebnahme für 5-Achs-Systeme

5.1 Achsbelegung

Die an der Transformation beteiligten drei Linearachsen müssen die ersten 3 Achsen der Steuerung sein. Die 3. Linearachse muß in Werkzeugrichtung (im allgemeinen Z-Richtung) sein. Die Reihenfolge der beiden Rundachsen wird unabhängig von ihrer Benennung gemäß der Beschreibung des Maschinenparameters **FiveAxRoundAxesConfig** festgelegt. Weitere nicht an der Transformation beteiligte Achsen sind möglich.

Beide Rundachsen müssen 4. und 5. Achse sein. Die Drehachse der 1. Rundachse muß parallel zu einer Linearachse sein. Die Drehachsen der beiden Rundachsen müssen senkrecht aufeinander stehen.

5.2 Transformation

Zunächst müssen die Maschinenparameter **FiveAxMachineType** und **FiveAxRoundAxesConfig** bestimmt werden. Der Drehsinn der beiden Rundachsen kann beliebig gewählt werden. Dreht eine Rundachse im mathematisch negativen Sinn, muß das Applikationsdatum **FiveAxRoundAxisSign** dieser Achse auf FF gesetzt werden, andernfalls auf 0.

Haben die Rundachsen bei Grundstellung von Null verschiedene Positionen, müssen die entsprechenden Werte in **FiveAxAngleOffset** eingetragen werden. Anschließend müssen die Werte für **FiveAxLinkOffset** bestimmt werden. Es folgen zwei Beispiele für Maschinen mit drehbarem Werkzeug bzw. mit drehbarem Werkstück. Gegebenenfalls muß noch **FiveAxCompensationAppl** gesetzt werden, wenn die entsprechenden Voraussetzungen erfüllt sind

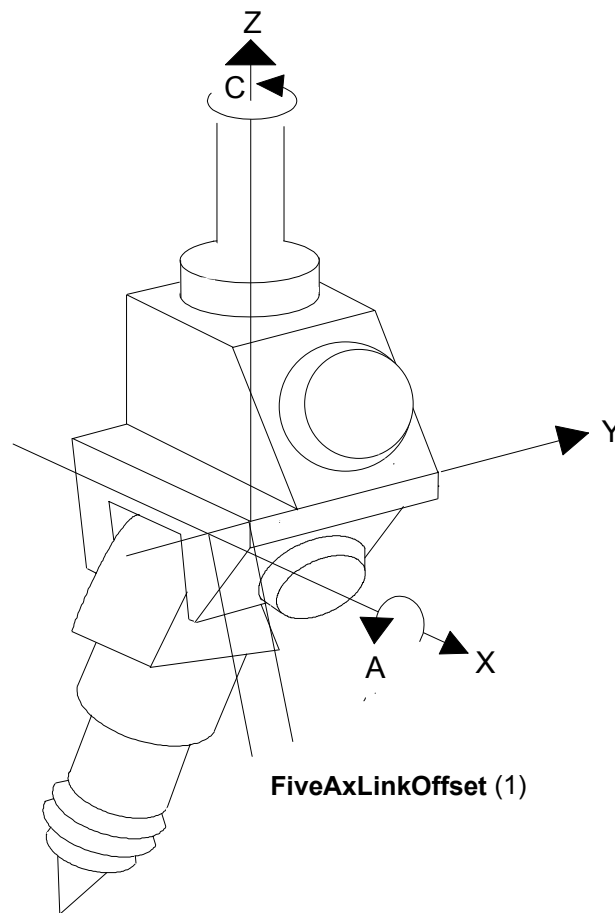
Beispiel 1:

Werkzeug ist drehbar (FiveAxMachineType = 0).

4. Achse bzw. 1. Rundachse dreht um Z (C-Achse).

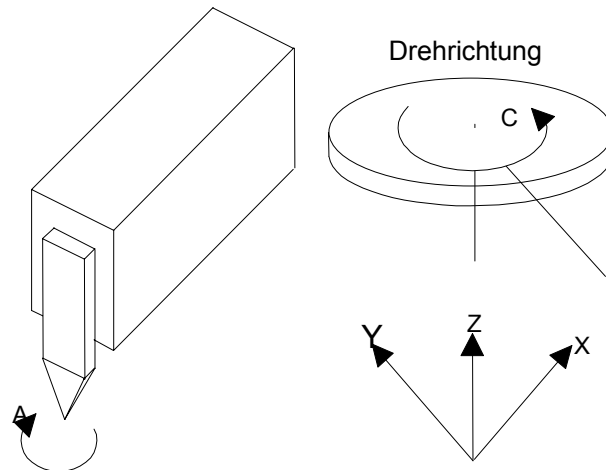
5. Achse bzw. 2. Rundachse Dreht um X (A-Achse).

d.h. FiveAxRoundAxesConfig = 4



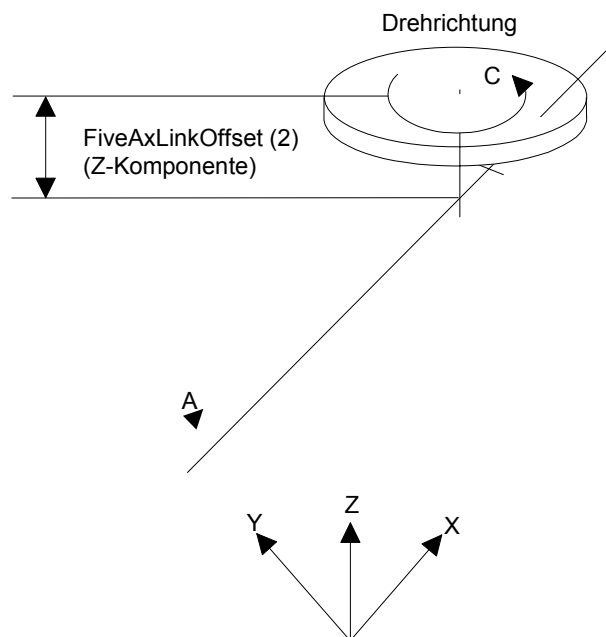
Beispiel 2:

1. Rundachse dreht das Werkstück um Z (C-Achse).
 2. Rundachse dreht das Werkzeug um X (A-Achse)
- FiveAxRoundAxesConfig = 4.



Beispiel 3:

- Werkstück bzw. Tisch ist drehbar (FiveAxMachineTyp >1).
4. Achse bzw. 1. Rundachse dreht um X (A-Achse)
 5. Achse bzw. 2 Rundachse dreht um Z (C-Achse)
- d. h. FiveAxRoundAxesConfig = 1.



5.3 Transformation für Nutatorachse

Unter der Nutatorachse t versteht man eine Rundachse, die unter einem beliebigen Winkel α (= Maschinenparameter `FiveAxNuratorAngle`) gegenüber der Z-Achse geneigt ist. Einschränkend gilt dabei, daß t entweder in der Z-X-Ebene liegt, dann wird die Maschine als CA oder BA appliziert (`FiveAxRoundAxesConfig` = 4 oder 1), oder in der Z-Y-Ebene, dann wird die Maschine als CB oder AB appliziert (`YACHSFOLGE` = 5 oder 0).

Der Nutzen bei der Nutatortransformation besteht darin, daß sich die Maschine bei aktiver Transformation für den Bediener so verhält, wie eine CA-, BA- bzw. CB-, AB- Kinematik.

In den nächsten Abbildungen sieht man ein Beispiel für eine CB-Maschine. Wie man im ersten Bild sehen kann, gibt es für A bzw. B einen maximalen Winkel, nämlich dann, wenn t sich um 180° gedreht hat. Dieser Winkel beträgt 2α (in negativer Richtung -2α) und kann von A bzw. B nicht überschritten werden. Weiter muß beachtet werden, daß die Ausgleichsbewegungen der C-Achse bei Änderung von A bzw. B an diesem kritischen Winkel immer schneller werden und möglicherweise einen Servofehler der C-Achse auslösen. Das Erreichen oder Überschreiten des kritischen Winkels wird im Augenblick nicht überwacht. Eine Möglichkeit der Überwachung wäre eine entsprechende Applizierung der Softwarelimits für A bzw. B. Dies hat den Nachteil, daß im nichttransformierten Betrieb die t -Achse unnötigerweise auf diesen Bereich beschränkt bleibt. Eine andere Möglichkeit wäre, mit der Aktivierung der Transformation eine entsprechende Arbeitsfeldbegrenzung zu programmieren. Die Nutatortransformation wird mit **`FiveAxNuratorType`** = FF appliziert. Das Applikationsdatum **`FiveAxNuratorAngle`** gibt den Neigungswinkel in Grad an

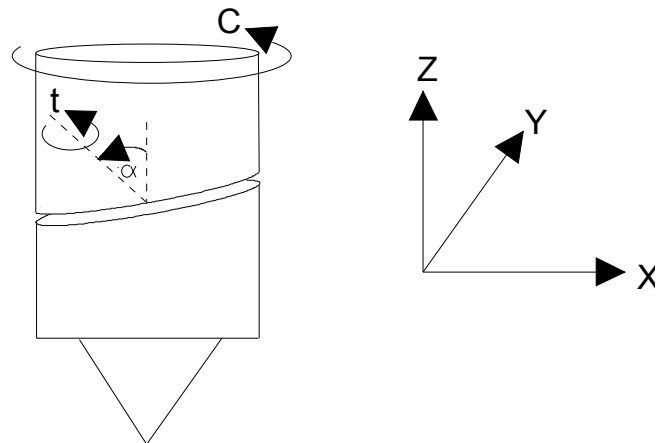
FiveAxNutatorType = FF

FiveAxMachineType = 0

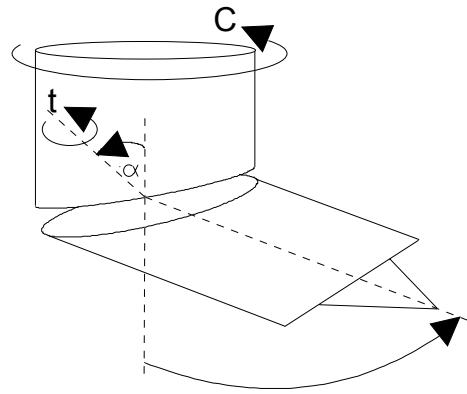
4. Achse bzw. 1. Rundachse dreht um Z (C-Achse)

5. Achse bzw. 2. Rundachse dreht scheinbar um X (A-Achse)

d.h. FiveAxRoundAxesConfig = 4

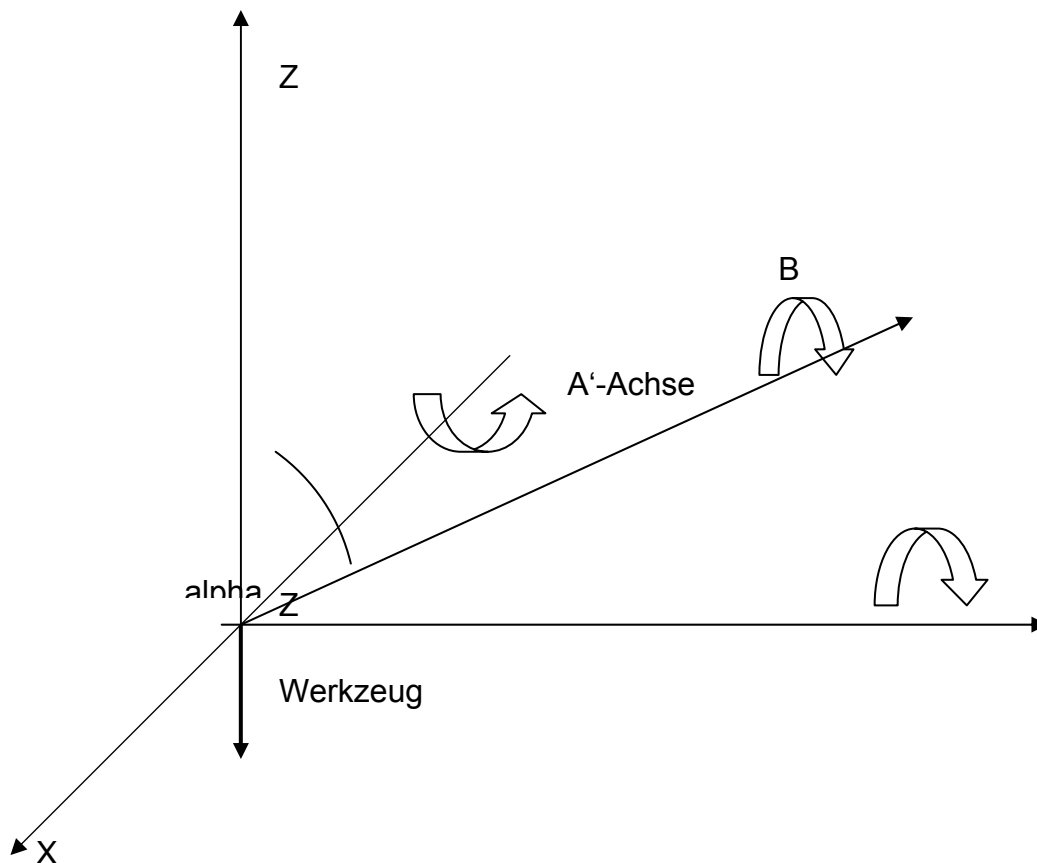


Die t-Achse wurde um 180° gedreht



Grenzwinkel 2α

Die folgende Abbildung zeigt eine AB-Maschine



Der Programmierer programmiert die A-Achse und die virtuelle B' - Achse, mit 90° Neigung gegenüber der Z – Achse. Die größte B' Position, welche erreicht werden kann ist $-\alpha < B' < +\alpha$.

5.4 Wegoptimierung bei der Richtungsvektorprogrammierung

Die Funktion "Wegoptimierung bei der Richtungsvektorprogrammierung" führt bei Richtungsvektorprogrammierung eine Wegoptimierung bezüglich der beiden Rundachsen durch. Eine Wegoptimierung ist durch die Zweideutigkeit der Richtungsvektorprogrammierung in den Endpunkten möglich. Die Gewichtung der Rundachsen wird mit **FiveAxPathFactor** appliziert. Bei Linearinterpolation der Rundachsen (G120) wird immer eine Wegoptimierung vorgenommen. In diesem Fall sind beide Wege dynamisch beherrschbar.

Bei der Großkreisinterpolation (G121) ist eine Wegoptimierung nicht möglich, da nur ein Weg dynamisch beherrschbar ist.

Eine Wegoptimierung ist deshalb im allgemeinen nur durch Umschalten auf Linearinterpolation möglich. Mit der Umschaltung auf Linearinterpolation ist aber ein Bahnfehler verbunden. Der Bahnfehler ist um so kleiner, je näher der Weg am Pol vorbeiführt. Geht der Weg genau durch den Pol so ist der Bahnfehler Null. Bei aktiver Großkreisinterpolation (G121) erfolgt deshalb die Wegoptimierung nur für Wege, die nahe am Pol vorbeiführen. Die erlaubte Abweichung vom Pol wird durch **FiveAxPolAppl** appliziert.

5.5 Maschinenparameter Tabelle

5.5.1 Allgemeiner Hinweis zu 3-Achs-Maschinen

Bei einigen Applikationsdaten ist bei 3-Achs-Maschinen (d.h. nur zwei Linearachsen) auf die Reihenfolge der applizierten Werte zu achten. Der erste Wert entspricht in diesen Fällen immer der X-, der zweite der Y- und der dritte der Z-Komponente. Dies gilt auch dann, wenn eine der genannten Komponenten nicht vorhanden ist. (z. b. Achsfolge 0, d. h. A ist Rundachse und Y und Z Linearachsen). In diesem Fall ist der erste Wert für die X-Komponente immer auf Null zu setzen. Der zweite Wert ist der ersten applizierten Achse (Y-Achse) zuzuordnen, der dritte Wert der zweiten Achse. Diese abweichende Vorgehensweise ist nur bei 3-Achs-Maschinen zu beachten und nur bei folgenden Applikationsdaten:

FiveAxToolSign
FiveAxToolLengthAppl
FiveAxLinkOffset
FiveAxOffsetAppl

5.5.2 ParameterTabelle

FiveAxAccelFactor
FiveAxAngleOffset
FiveAxCompensationAppl
FiveAxCornerG09Appl
FiveAxCornerG09Corner
FiveAxFeedFactor
FiveAxFeedLimitAppl
FiveAxFeedMaxAppl
FiveAxFeedMinAppl
FiveAxFeedReduceFactor
FiveAxHProgAppl

FiveAxEncrPerRev
FiveAxEncIndex
FiveAxEncMask
FiveAxEncOffset
FiveAxEncMachineType
FiveAxEncNutatorAngle
FiveAxEncNutatorType
FiveAxEncOffsetAppl
FiveAxEncOffsetMode
FiveAxEncOrientationGCode
FiveAxEncOutIndex
FiveAxEncOutMask
FiveAxEncPathFactor
FiveAxEncPlaneSignalTime
FiveAxEncPolAppl
FiveAxEncRefOrientationGCode
FiveAxEncRoundAxesConfig
FiveAxEncRoundAxisSign
FiveAxEncRoundProgGCode
FiveAxEncRTCCornerAppl
FiveAxEncRTCGCodeLeft
FiveAxEncRTCGCodeOff
FiveAxEncRTCGCodeRight
FiveAxEncStartMark
FiveAxEncTestAngle
FiveAxEncToolDepthGCode
FiveAxEncToolLengthAppl
FiveAxEncToolSign
FiveAxEncTransGCode