

A close-up photograph of a CNC milling tool in operation. The tool is a multi-fluted end mill, and it is cutting a metal workpiece. The image is heavily blurred, showing motion and the bright sparks of the cutting process. The lighting is warm, with a strong orange and yellow glow. The background is a soft, out-of-focus blue and white.

# Fräsen mit SINUMERIK

Formenbau von 3- bis 5-Achsen Simultanfräsen

Handbuch

SINUMERIK

**SIEMENS**



## Fräsen mit SINUMERIK

Formenbau von 3- bis 5-Achsen Simultanfräsen

Handbuch

Gültig für:

Steuerung

SINUMERIK 828D  
SINUMERIK 840D sl

Ausgabe 09/2011

Dokbestnr. 6FC5095-0AB10-0AP2

<b>Basisinformationen</b>	<b>1</b>
<b>Allgemeines zur Werkstückfertigung</b>	<b>2</b>
<b>Wichtige Funktionen für die 5-Achsbearbeitung</b>	<b>3</b>
<b>Aerospace, Strukturteile</b>	<b>4</b>
<b>Turbinen- und Triebwerkskomponenten</b>	<b>5</b>
<b>Komplexe Freiformflächen</b>	<b>6</b>
<b>Beispielwerkstück</b>	<b>7</b>
<b>Nachschlagen</b>	<b>8</b>

## SINUMERIK® -Dokumentation

### Auflagenschlüssel, Marken

Die nachfolgend aufgeführten Ausgaben sind bis zur vorliegenden Ausgabe erschienen. In der Spalte „Bemerkung“ ist durch Buchstaben gekennzeichnet, welchen Status die bisher erschienenen Ausgaben besitzen.

Kennzeichnung des Status in der Spalte „Bemerkung“:

- A** .... Neue Dokumentation.
- B** .... Unveränderter Nachdruck mit neuer Bestell-Nummer.
- C** .... Überarbeitete Version mit neuem Ausgabestand.

Ausgabe	Bestell-Nr.	Bemerkung
09.2011	6FC5095-0AB10-0AP2	C
05.2009	6FC5095-0AB10-0AP1	A

### Marken

SIMATIC, SIMATIC HMI, SIMATIC NET, SIROTEC, SINUMERIK, SIMODRIVE und SINAMICS sind eingetragene Marken der Siemens AG. Die übrigen Bezeichnungen in dieser Druckschrift können Marken sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen können.

Weitere Informationen finden Sie im Internet unter:  
<http://www.siemens.com/sinumerik>

Die Erstellung dieser Unterlage erfolgte mit mehreren Layout- und Grafiktools.

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts ist nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden.  
 Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere für den Fall der Patenterteilung oder GM-Eintragung.

© Siemens AG 1995 - 2011. All rights reserved.

Es können weitere, in dieser Dokumentation nicht beschriebene Funktionen in der Steuerung lauffähig sein. Es besteht jedoch kein Anspruch auf diese Funktionen bei Neulieferung bzw. im Servicefall.

Wir haben den Inhalt der Druckschrift auf Übereinstimmung mit der beschriebenen Hard- und Software geprüft. Dennoch können Abweichungen nicht ausgeschlossen werden, so dass wir für die vollständige Übereinstimmung keine Gewähr übernehmen. Die Angaben in dieser Druckschrift werden jedoch regelmäßig überprüft, und notwendige Korrekturen sind in den nachfolgenden Auflagen enthalten. Für Verbesserungsvorschläge sind wir dankbar.

Technische Änderungen vorbehalten.

Bestell-Nr. 6FC5095-0AB10-0AP2

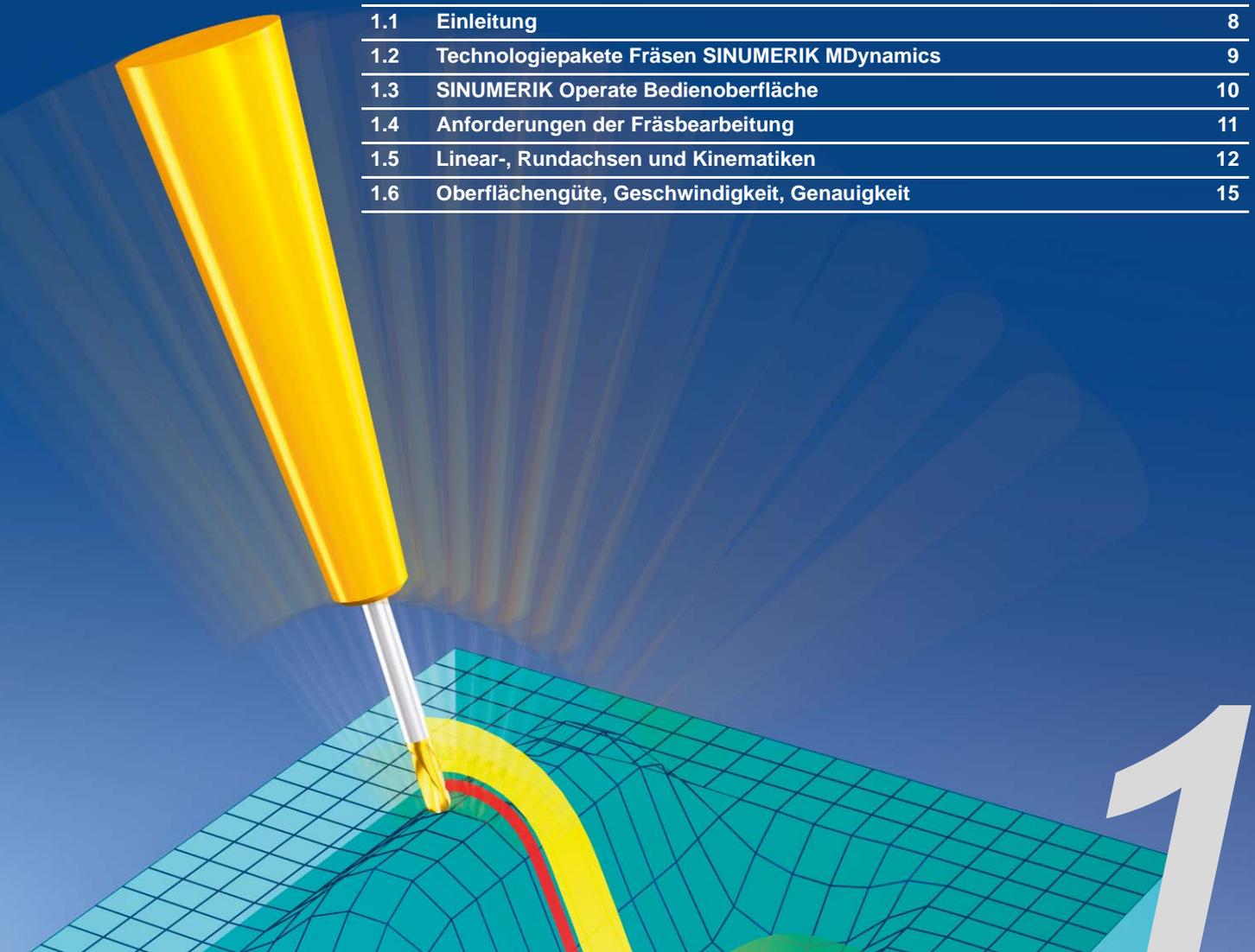
Siemens-Aktiengesellschaft

	<b>Seite</b>
<b>1 Basisinformationen .....</b>	<b>7</b>
1.1 Einleitung .....	8
1.2 Technologiepakete Fräsen SINUMERIK MDynamics .....	9
1.3 SINUMERIK Operate Bedienoberfläche .....	10
1.4 Anforderungen der Fräsbearbeitung .....	11
1.5 Linear-, Rundachsen und Kinematiken .....	12
1.6 Oberflächengüte, Geschwindigkeit, Genauigkeit .....	15
<b>2 Allgemeines zur Werkstückfertigung .....</b>	<b>17</b>
2.1 Prozesskette für die Fertigung von 3- bis 5-Achs-Werkstücken .....	18
2.2 CAM Systeme .....	19
2.3 Programmstruktur für die Fräsbearbeitung .....	21
2.4 Programmablage/Datenübertragung .....	23
2.5 Nullpunktverschiebungen .....	25
2.6 Werkzeugverwaltung .....	26
2.7 Messen in JOG und AUTOMATIK .....	27
2.8 Werkstück messen in JOG .....	28
2.9 Werkzeug messen in JOG .....	30
2.10 Werkstück messen in AUTOMATIK - Prozessmessen .....	33
2.11 Werkzeug messen in AUTOMATIK - Prozessmessen .....	35
2.12 Maschine prüfen/vermessen mit dem Kinematikmesszyklus CYCLE996 .....	37
2.13 Werkstückvisualisierung .....	39
<b>3 Wichtige Funktionen 3- bis 5-Achs-Bearbeitung .....</b>	<b>41</b>
3.1 Einleitung .....	42
3.2 Begriffserklärung Schwenken, Frames und TRAORI .....	43
3.3 Koordinatensysteme transformieren - Frames .....	44
3.4 Schwenken - CYCLE800 .....	45
3.5 5-Achs-Transformation TRAORI .....	51
3.6 High Speed Settings - CYCLE832 Advanced Surface .....	66
3.7 Advanced Surface - NC-Befehle .....	69
3.8 3D-Werkzeugradiuskorrekturen .....	79
3.9 Volumetric Compensation System (VCS) .....	82
3.10 VNCK - Virtuelle Maschine .....	83
<b>4 Aerospace, Strukturteile .....</b>	<b>85</b>
4.1 Spezielle Funktionen für Strukturteile .....	86
4.2 Programmierbeispiel für die Tasche eines Strukturteils .....	87

	<b>Seite</b>
<b>5 Triebwerks- und Turbinenkomponenten</b> .....	<b>91</b>
5.1 Spezielle Funktionen für Triebwerks- und Turbinenkomponenten .....	92
5.2 Beispiel Schaufelblatt .....	93
<b>6 Komplexe Freiformflächen</b> .....	<b>97</b>
6.1 Spezielle Funktionen für Freiformflächen .....	98
6.2 Beispiel Fräsen eines Mantarochens .....	99
<b>7 Beispielwerkstück</b> .....	<b>103</b>
7.1 Beispielwerkstück gefräst von 3- bis 3+2-Achs .....	104
7.2 Beispiel mit 3 Achsen gefräst .....	106
7.3 Beispiel mit 3+1 Achsen gefräst .....	107
7.4 Beispiel mit 3+2 Achsen gefräst .....	108
7.5 Vergleich der drei Varianten .....	109
<b>8 Nachschlagen</b> .....	<b>111</b>
8.1 Höherwertige Funktionen im Überblick .....	112
8.2 Weitere Informationen/Dokumentationen .....	122
8.3 Stichwortverzeichnis .....	124

# Basisinformationen

Inhalt	Seite
1.1 Einleitung	8
1.2 Technologiepakete Fräsen SINUMERIK MDynamics	9
1.3 SINUMERIK Operate Bedienoberfläche	10
1.4 Anforderungen der Fräsbearbeitung	11
1.5 Linear-, Rundachsen und Kinematiken	12
1.6 Oberflächengüte, Geschwindigkeit, Genauigkeit	15



## 1.1 Einleitung

Perfekte Oberflächenqualität, Präzision und Geschwindigkeit ohne Nacharbeit sind die Hauptziele beim Formenbau. Die Prozesskette CAD-CAM-CNC ist dabei der typische Arbeitsablauf. Siemens bietet angefangen vom CAD-System bis zur Steuerung, der SINUMERIK, eine durchgängige Lösung für diese Anforderungen.

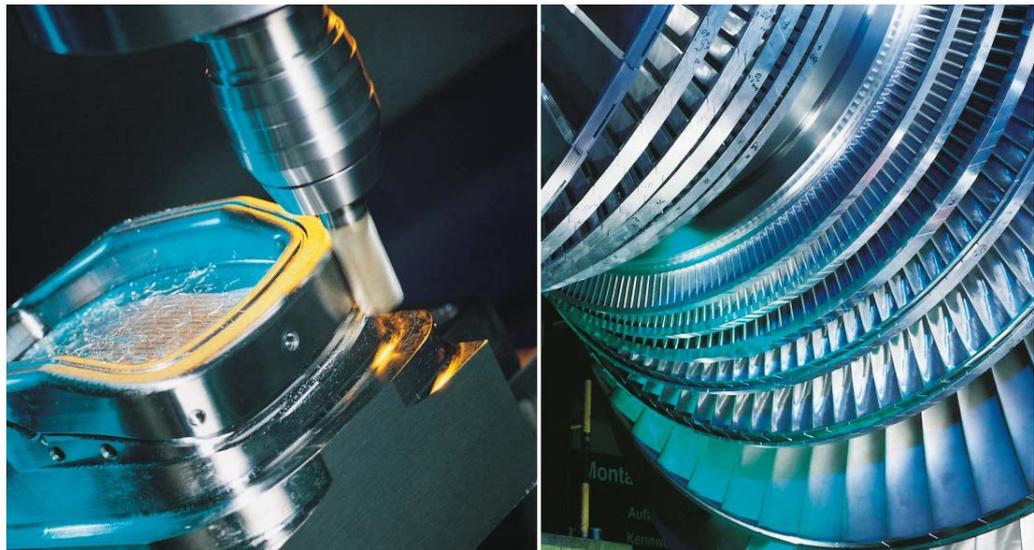
Die SINUMERIK Steuerungen verfügen über leistungsfähige, hoch entwickelte Funktionen, durch deren intelligente Nutzung der gesamte Ablauf der Programmierung und Fräsbearbeitung wesentlich vereinfacht, und das Produktionsergebnis verbessert wird.

Das Handbuch bietet in kompakter Form Fachleuten aus der Zerspanungstechnik einen Einstieg in die wichtigsten Grundlagen der Fräsbearbeitung. Darauf aufbauend gibt es dem Anwender an der Maschine praktische Hinweise für eine effiziente Arbeitsgestaltung und dem Programmierer einen Einblick in die Funktionen der Steuerung und des CAD-CAM Systems.

Für die verschiedenen Einsatzbereiche der Bearbeitung werden die speziell dafür entwickelten Funktionen kurz vorgestellt und im Zusammenhang betrachtet.

Viele Aspekte können in diesem Handbuch nur kurz dargestellt werden. Weitergehende Informationen finden Sie in den entsprechenden Sinumerik-Dokumentation und der einschlägigen Literatur (Siehe "Weitere Informationen/Dokumentationen" auf Seite 122.)

### *Spannweite der Fräsbearbeitung*



## 1.2 Technologiepakete Fräsen SINUMERIK MDynamics

SINUMERIK MDynamics bündelt die CNC-Hardware SINUMERIK, intelligente CNC-Funktionen und eine einzigartige CAD/CAM/CNC-Prozesskette in Technologiepaketen für das 3-Achs- und 5-Achs-Fräsen. Die Fräspakete SINUMERIK MDynamics 3-Achsen/5-Achsen stehen für die CNC-Systeme SINUMERIK 828D und SINUMERIK 840D sl zur Verfügung.

### SINUMERIK 828D



Die SINUMERIK 828D integriert das Fräspaket für 3-Achsen. Der Grundumfang kann über optionale Funktionen erweitert werden (siehe auch dazu das Fräspaket 3-Achsen für die SINUMERIK 840D sl)

#### Grundumfang (auszugsweise):

- Advanced Surface
- Anwenderspeichererweiterung auf User CF-Card

### SINUMERIK 840D sl



Für die SINUMERIK 840D sl können Sie zwischen zwei Fräspaketen für die 3- und 5-Achs-Bearbeitung wählen. Im Grundumfang der Pakete sind alle notwendigen Funktionen für die jeweilige Bearbeitungen enthalten und können erweitert werden.

#### Grundumfang 3-Achsen (auszugsweise):

- Advanced Surface
- High Speed Settings CYCLE832
- Spline-Interpolation
- Transmit und Mantelflächentransformation
- Prozessmessen
- 3-D-Simulation
- Restmaterialerkennung
- ShopMill Arbeitsschrittprogrammierung...

#### Das 5-Achs Paket beinhaltet zusätzlich:

- Bearbeitungspaket 5 Achsen
- 3-D-Werkzeugradiuskorrektur
- Kinematik vermessen CYCLE996

## 1.3 SINUMERIK Operate Bedienoberfläche

Die neue Bedienoberfläche SINUMERIK Operate ist übersichtlich und intuitiv zu bedienen. Sie vereint das bekannte HMI Advanced, ShopMill und ShopTurn unter einer durchgängigen, innovativen Bedien- und Programmieroberfläche. Dies ermöglicht die Verbindung von Arbeitsschritt- und Hochsprachenprogrammierung und damit eine rationelle und intuitive NC-Programmierung und Arbeitsvorbereitung.

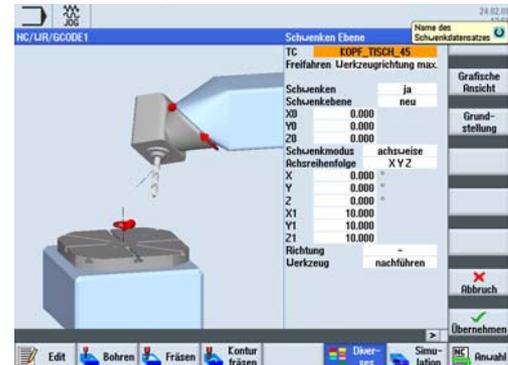
### Hohe Bedienfreundlichkeit und erweiterte Einrichtefunktionen

Das Einrichten einer Maschine wird mittels grafischer Unterstützung anschaulich und übersichtlich dargestellt. Komplexe Werkstücke können durch einfaches und schnelles Handling in einer Aufspannung gefertigt werden. Unterschiedliche Kinematiken sind leicht einzurichten.

#### Vielfältige Funktionen beim Einrichten



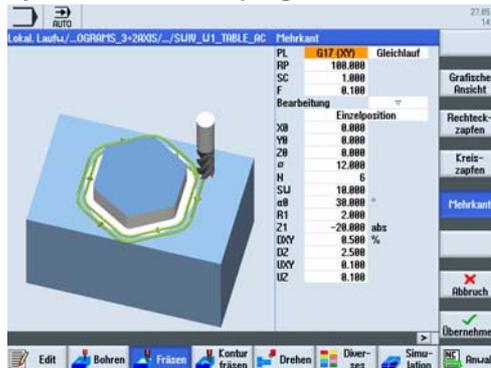
#### Unterstützung von vielen Kinematiken



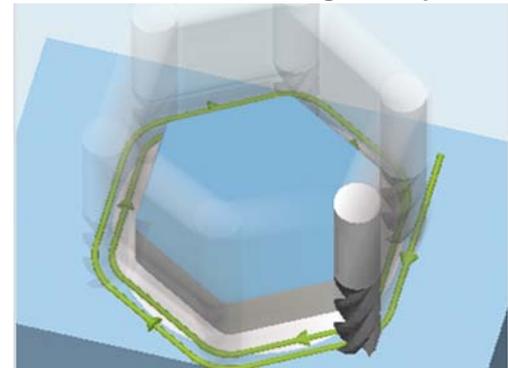
### Animierte Elemente z. B. bei der Programmierung erklären die Parameter

Durch animierte Elemente erreicht die CNC-Steuerung SINUMERIK einen einzigartigen Komfort in Bedienung und Programmierung - auch bei technologischen Zyklen.

#### Zyklus Mehrkant im programGUIDE



#### Animated Elements - Bewegtbildsequenz



## 1.4 Anforderungen der Fräsbearbeitung

### Freiformflächen Formenbau



Der Anspruch an das Design in sämtlichen Anwendungsbereichen steigt ständig. Ergonomie, cw-Wert oder einfach nur Ästhetik verlangen komplexere Oberflächegeometrien in kürzerer Zeit und mit höherer Präzision. Das Design kommt überwiegend aus CAD-Systemen, die Bearbeitungsprogramme von CAM-Stationen.

### Triebwerks- und Turbinenkomponenten z. B. Impeller



Mit der SINUMERIK bietet Siemens CNC-Steuerungen, die genau auf die Ansprüche der 3- bis 5-Achs-Bearbeitung und auch dem HSC-Bereich zugeschnitten sind:

- gute Bedienbarkeit
- komfortable Programmierung an der Maschine
- optimale Leistungsfähigkeit in der Prozesskette CAD - CAM - CNC
- optimierte 5-Achs-Funktionen

### Strukturteile Flugzeugindustrie



Entsprechend dem Einsatzzweck werden unterschiedliche Anforderungen an die Steuerung definiert und verschiedenste Funktionen gefordert.

Die Fräsbearbeitung kann dabei in drei große Bereiche eingeteilt werden:

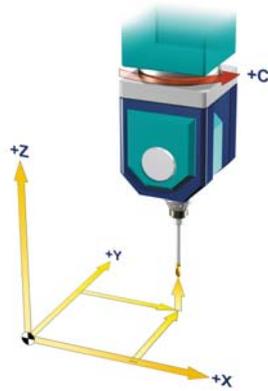
- Freiformflächen (Formenbau)
- Turbinen- und Triebwerkskomponenten (Impeller, Blik)
- Strukturteile (Flugzeugindustrie)

Für jeden dieser Bereiche bietet die SINUMERIK optimale Unterstützung.

## 1.5 Linear-, Rundachsen und Kinematiken

### 1.5.1 Achsen und Programmierung

**Bewegung  
Werkzeugschneidspitze**



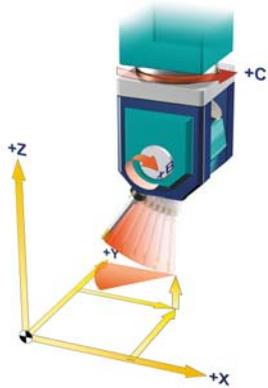
#### 3-Achs-Bereich

Mit den Linearachsen X, Y und Z wird die Werkzeugposition im Raum angefahren. Die Werkzeugschneidspitze kann damit jede beliebige Position einnehmen.

Bei der 3-Achs-Bearbeitung erfolgt die Bearbeitung durch Programmierung der drei Linearachsen. Die Kontur wird zeilenweise durch die Bewegung der drei Linearachsen gefräst.

Soll das Werkzeug noch in einem Winkel angestellt werden, müssen Rundachsen vorhanden sein.

**Anstellen des  
Werkzeugs**



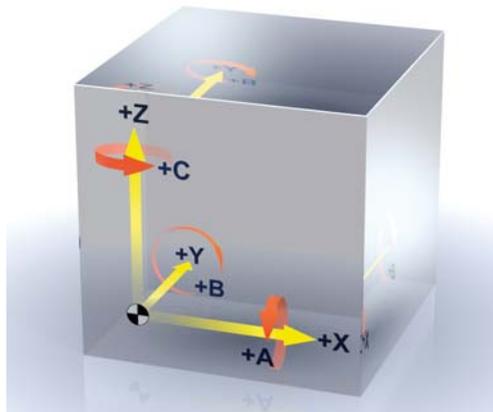
#### 5-Achs-Bereich

Mit zwei Drehachsen, z. B. B und C wird die Anstellung des Werkzeugs, d. h. die Werkzeugorientierung verändert.

Dies ist notwendig, wenn das Werkzeug zur Bearbeitungsfläche ausgerichtet werden soll oder auch, um z. B. beim Umfangsfräsen eine Tasche mit schrägen Wänden zu fräsen.

Mit drei Linearachsen und zwei Rundachsen ist theoretisch jeder Punkt im Raum mit jeder beliebigen Werkzeugorientierung anfahrbar. Dies ist die Grundlage für die 5-Achsbearbeitung.

**Linear- und Rundachsen**

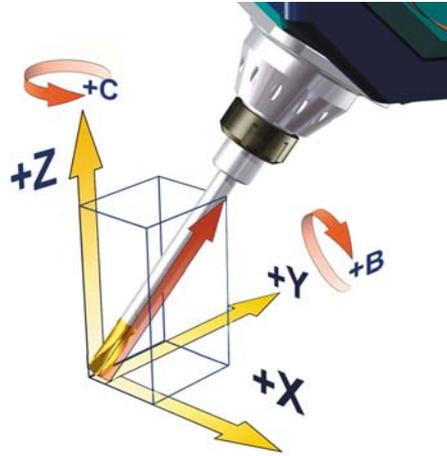


#### 5-Achs-Simultan

Für Bearbeitungsfälle mit angestellten Werkzeugen, oder um beliebig im Raum liegende Geometrien zu fräsen, sind die drei Linearachsen X, Y und Z und noch zwei Rundachsen A, B oder C erforderlich. Die Achsen müssen simultan angesteuert werden können.

## Möglichkeiten der CNC-Programmierung im 5-Achs-Bereich

### Programmierung Rundachsen



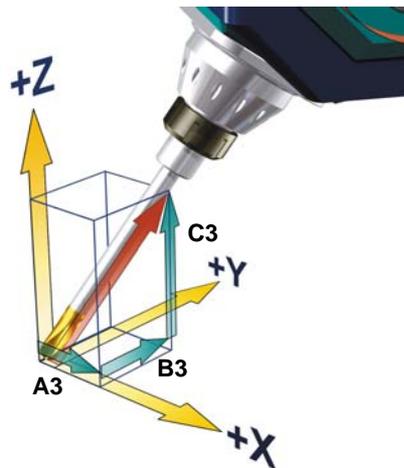
Für die 5-Achs-Bearbeitung muss zusätzlich zur Sollposition des Bearbeitungspunkts, die Orientierung des Werkzeugs beschrieben werden. Die Sollposition wird im CNC Programm durch die Koordinatenachsen X, Y und Z beschrieben.

Die Werkzeugorientierung kann als Angabe über die Rundachsenpositionen erfolgen. Damit wird die Sollposition und die Orientierung des Werkzeugs eindeutig beschrieben.

Im folgendem Beispiel steht die Werkzeugspitze in der Position (0,0,0) und der Werkzeugschaft ist die Diagonale eines Würfels (35,26° zur X-Y-Ebene).

**N100 G1 X0 Y0 Z0 B=54,73561 C=45**

### Programmierung Richtungsvektor



Zur Beschreibung der Werkzeugorientierung empfiehlt sich auch die Angabe des Richtungsvektor A3, B3 und C3, um die Orientierung unabhängig von der Maschinenkinematik zu programmieren.

Die Programmierung des oben aufgeführten Beispiels würde unter den Angaben der Rundachsenpositionen wie folgt lauten:

**N100 G1 X0 Y0 Z0 A3=1 B3=1 C3=1**

## TIPP

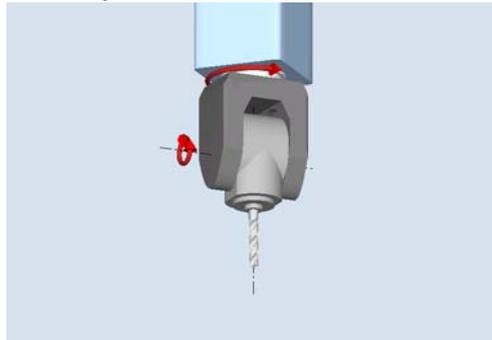
Neben dem Richtungsvektor und den Rundachsenpositionen sind noch weitere Varianten der Winkelprogrammierung üblich. Dies sind z. B. die mit Euler- bzw. RPY-Winkel. Weitere Informationen darüber finden Sie im Kapitel "Werkzeugorientierung" auf Seite 54

## 1.5.2 Kinematiken von 5-Achs-Bearbeitungszentren

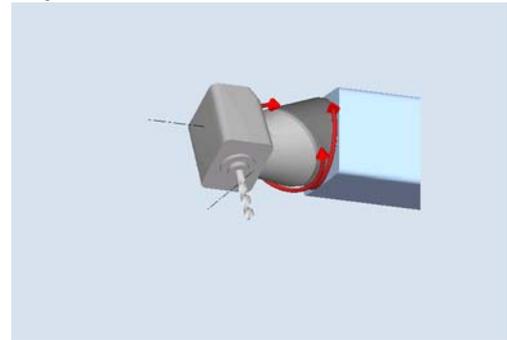
Eine 5-Achs-Maschine kann Werkzeugbewegungen in 5 Achsen steuern. Das sind die drei bekannten Linearachsen und zusätzlich zwei Rundachsen. Für die beiden Rundachsen gibt es unterschiedliche Kinematiklösungen. Die Gebräuchlichsten stellen wir schematisch vor. Mit SINUMERIK Steuerungen sind wir in der Lage auf Grund der integrierten, kinematischen Transformation auch Sonderkinematiken zu steuern. Sonderfälle wie Hexapoden o. Ä. werden hier nicht näher betrachtet.

### Zwei Rundachsen im Kopf

#### Gabelkopf

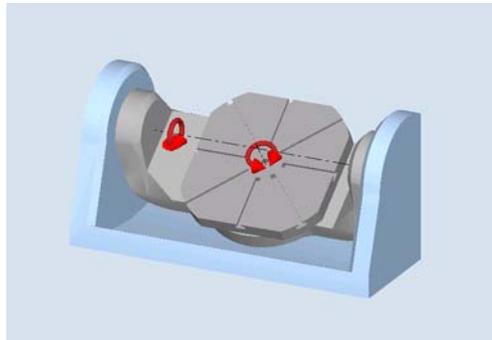


#### Kopfkinematik nutiert \*

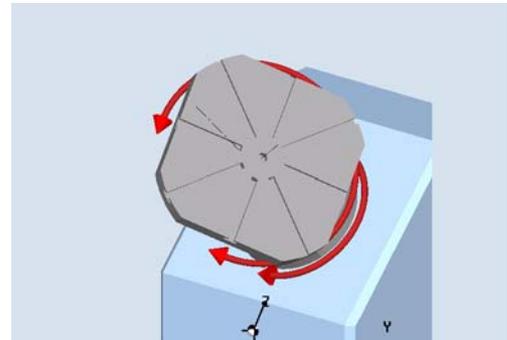


### Zwei Rundachsen im Tisch

#### Dreh/Schwenktisch

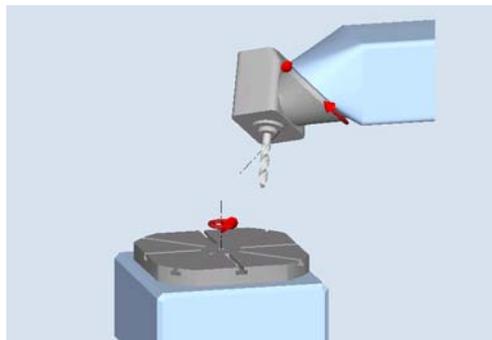


#### Dreh/Schwenktisch nutiert \*



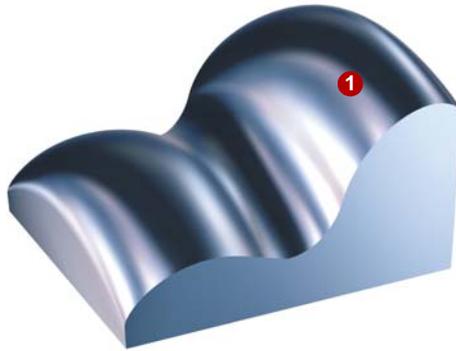
\*: Steht die Drehachse nicht senkrecht auf einer Linearachse, spricht man von einer "nutierten" Achse.

### Gemischte Kinematik



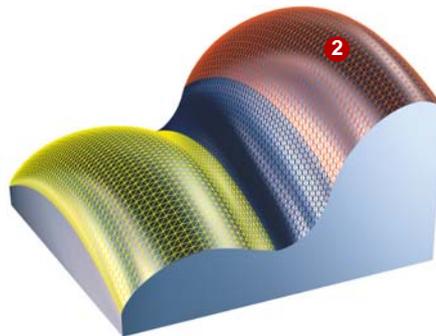
## 1.6 Oberflächengüte, Geschwindigkeit, Genauigkeit

Der Prozesskette **CAD -> CAM -> (Postprozessor) -> CNC** ist bei der Bearbeitung von dreidimensionalen Geometrien z. B. Freiformflächen besondere Beachtung zu schenken. NC-Programme für die Freiformflächenbearbeitung kommen aus CAM-Systemen. Das CAM-System bekommt die Werkstückgeometrie aus einem CAD-System. Die CNC-Maschine muss die erzeugten NC-Daten verarbeiten und in Achsbewegungen umsetzen.



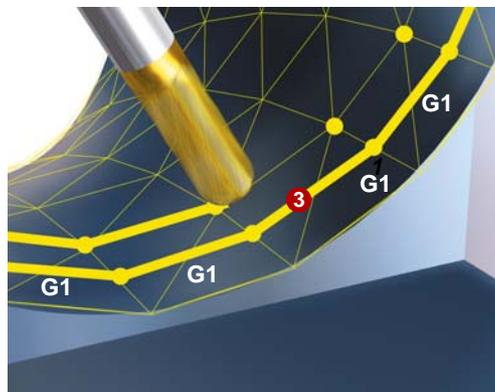
In CAD-Systemen werden Flächen **1** höheren Grades konstruiert (Freiform).

Um z. B. flächenübergreifend fräsen zu können oder um Kollisionsbetrachtungen durchzuführen, erzeugt das CAM-System aus der CAD-Freiform i. d. R. ein Polyeder.



D. h., die glatte Konstruktionsfläche wird durch viele kleine Ebenen **2** angenähert.

Dabei entstehen Abweichungen von der ursprünglichen Freiform.

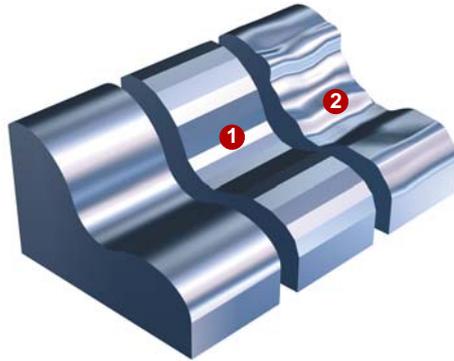


Der CAM-Programmierer legt auf diesen Polyeder Werkzeugbahnen. Der Postprozessor erzeugt daraus NC-Sätze innerhalb der vorgegebenen Fehlertoleranzen. Das sind i. d. R. viele kleine Geradenstückchen, G1 X Y Z. **3**

Das Bearbeitungsergebnis ist daher keine Freiformfläche mehr, sondern ein Polyeder. Die kleinen Ebenen des Polyeders können sich sichtbar auf der Oberfläche abbilden.

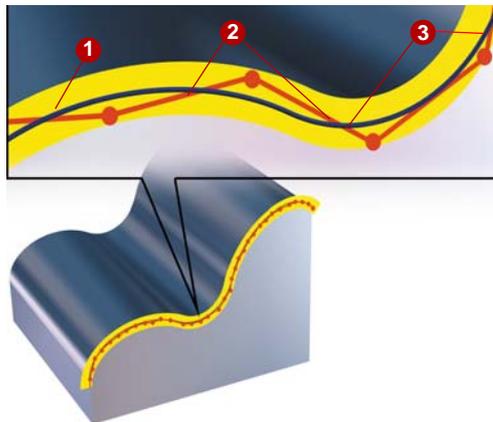
Dies kann zu einer unerwünschten Nachbearbeitung führen.

Um die Nachbearbeitung zu vermeiden, bieten SINUMERIK Steuerungen verschiedene Funktionen:



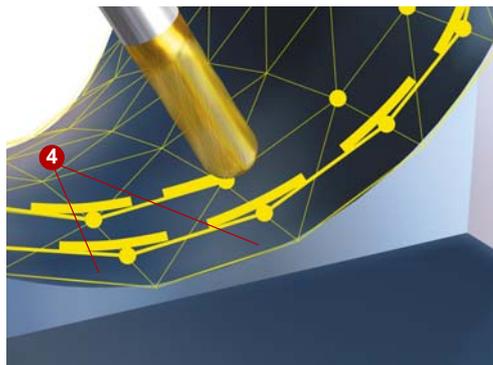
### Kompressor-Funktion (COMPCAD)

Die Linearinterpolation führt an den Satzübergängen zu Geschwindigkeitssprüngen in den Maschinenachsen, was wiederum zur Anregung von Resonanzen in den Maschinenelementen führen kann und sich letztendlich als Facettierungsmuster **1** oder als Auswirkungen der Vibrationen **2** auf der Werkstückoberfläche bemerkbar macht.



Der Kompressor fasst entsprechend des eingestellten Toleranzbandes **1** eine Sequenz von G1-Befehlen **2** zusammen und komprimiert diese zu einem Spline **3**, der direkt von der Steuerung ausführbar ist.

Der Kompressor erzeugt glatte und krümmungsstetige Bahnen. Durch die Krümmungsstetigkeit wird ein stetiger Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf erreicht und daher können an der Maschine höhere Geschwindigkeiten gefahren werden, die die Produktivität erhöhen.

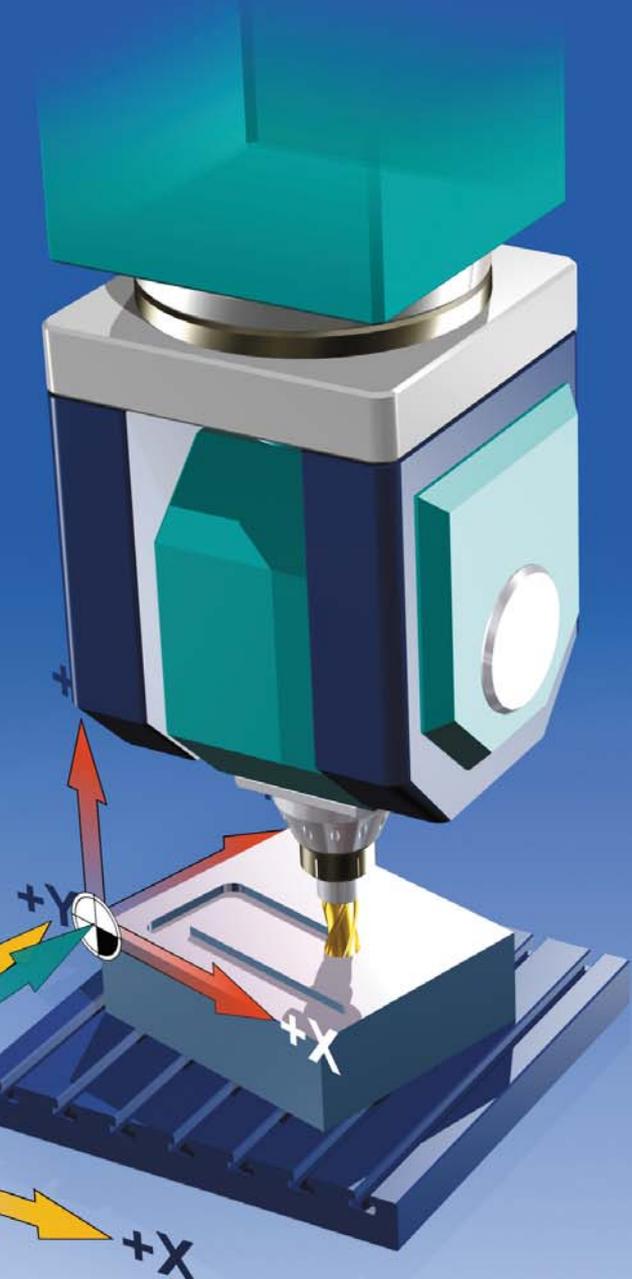


### Programmierbares Überschleifen (G645)

Unstetige Satzübergänge können mit der Funktion Überschleifen in stetige Verläufe geglättet werden. Dabei werden an den Ecken (Satzübergängen) Geometrielemente **4** eingefügt.

Die Toleranz dieser Geometrielemente ist einstellbar.

# Allgemeines zur Werkstückfertigung



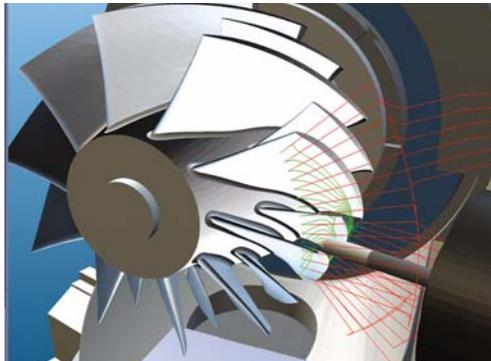
Inhalt	Seite
2.1 Prozesskette für die Fertigung von 3- bis 5-Achs-Werkstücken	18
2.2 CAM Systeme	19
2.3 Programmstruktur für die Fräsbearbeitung	21
2.4 Programmablage/Datenübertragung	23
2.5 Nullpunktverschiebungen	25
2.6 Werkzeugverwaltung	26
2.7 Messen in JOG und AUTOMATIK	27
2.8 Werkstück messen in JOG	28
2.9 Werkzeug messen in JOG	30
2.10 Werkstück messen in AUTOMATIK - Prozessmessen	33
2.11 Werkzeug messen in AUTOMATIK - Prozessmessen	35
2.12 Maschine prüfen/vermessen mit dem Kinematikmesszyklus CYCLE996	37
2.13 Werkstückvisualisierung	39

# 2

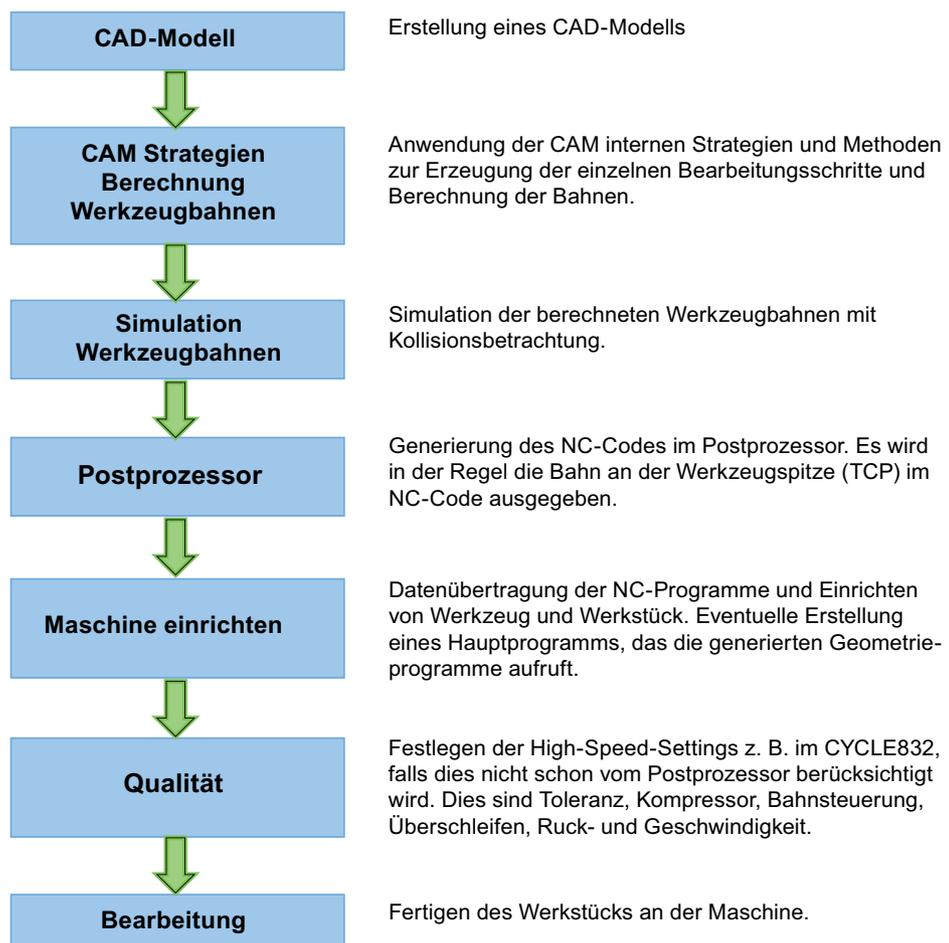
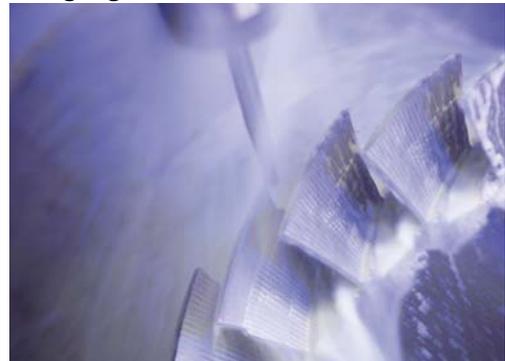
## 2.1 Prozesskette für die Fertigung von 3- bis 5-Achs-Werkstücken

Die Prozesskette bei der Fertigung beginnt in der Regel mit der Konstruktion des Werkstücks. Basierend auf diesen Daten erfolgt die Weiterbearbeitung und letztendlich die Fertigung.

CAD/CAM



Fertigung

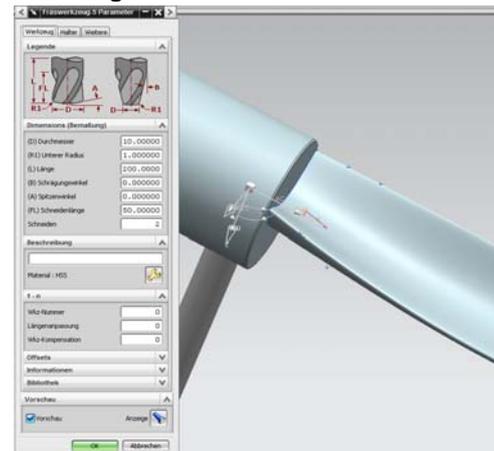


## 2.2 CAM Systeme

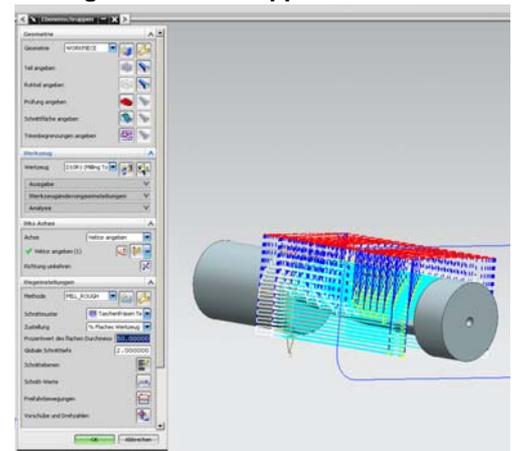
Dem CAM-System obliegt bei der Verfahrenskette die wichtige Aufgabe der Generierung der NC-Programme. Die Qualität dieser Daten beeinflusst maßgeblich das Ergebnis bei der Fertigung des Werkstücks.

In diesem Kapitel ist die Vorgehensweise bei der Erstellung der NC-Programme skizziert. Aufgrund der Vielfalt der auf dem Markt befindlichen Systeme ist dies nur eine kurze Zusammenfassung.

### Werkzeugdefinition



### Strategie Ebene schrumpfen



### Vorgehensweise beim Arbeiten mit einem CAM-System:

- ▶ **CAD-Daten**  
Einlesen der CAD-Daten in das CAM-System. Beim Einlesen sollte geprüft werden, ob die Flächengeometrien nicht fehlerhaft sind, d. h. ohne Absätze, Sprünge. Diese Fehlerstellen sind im fertigen Werkstück an der Oberfläche sichtbar.
- ▶ **Spannsituation**  
Festlegen der Spannsituation und welche Geometrie in einer Aufspannung frei bearbeitet werden kann. Definieren der Geometrien wie z. B. Nullpunkt.
- ▶ **Werkzeuge festlegen**  
Definieren der notwendigen Werkzeuge aufgrund der vorliegenden Bearbeitung und eintragen der Technologiedaten. In der Regel können CAM-Systeme die Daten aus Werkzeugdatenbanken einlesen. Die Werkzeuge legen u. a. die möglichen weiteren Bearbeitungsstrategien fest wie z. B. Tauchschnitt mit dem Werkzeug möglich.
- ▶ **Bearbeitungsstrategien festlegen**  
Definieren der Bearbeitung für die unterschiedlichen Geometrien des Werkstücks mit den dazu geeigneten Strategien. Zuerst werden Schruppstrategien angewendet wie z. B. Schruppen in Z-Ebene oder äquidistant zur Flächengeometrie. CAM-Systeme bieten dabei Möglichkeiten von der 2 1/2-Achs bis zur 5-Achs-Bearbeitung.  
Die Werkzeugwege können automatisch erzeugt oder manuell festgelegt werden, dazu gehören z. B. auch Anfahrts- und Abfahrtsstrategien oder spezielle Frässtrategien wie z. B. Trochoidales Fräsen. Schrittweise werden in dieser Vorgehensweise die Bearbeitungsstrategien aufgebaut und z. B. durch automatische Restmaterialerkennung unterstützt.

► **Berechnung und Simulation**

Bei der Simulation der berechneten Werkzeugbahnen bzw. Maschinenbewegungen können unterschiedliche Qualitäten gerechnet werden. Angefangen von der einfachen Simulation der Werkzeugwege bis zur kompletten Simulation des G- und M-Codes unter Berücksichtigung aller maschinen- und steuerungsspezifischen Daten. Dabei werden z. B. Kollisionen erkannt und vermieden und maximale Achsverfahrenbereiche der Maschine berücksichtigt.

► **Ausgabe des NC-Codes mit dem Postprozessor**

Der Postprozessor setzt die Arbeitsschritte in NC-Programme unter Berücksichtigung der steuerungsspezifischen Syntax und speziellen Funktionen der Steuerung um. CAM-Systeme nutzen dabei Universal-Postprozessoren oder spezielle Postprozessor, die für die SINUMERIK optimiert wurden. Herstellerspezifische Funktionen wie z. B. gesonderte Kühlmittelstrategien müssen in Zusammenarbeit mit dem Maschinenhersteller im Postprozessor umgesetzt werden.

### Wichtige Parameter

Beim Arbeiten mit CAD/CAM-Systeme sind einige Toleranzen und Genauigkeiten zu beachten die Einfluss auf die spätere Bearbeitung haben.

**Toleranz** Das CAM-System erzeugt aus der CAD-Fläche(Spline) eine Kontur aus linearen Verfahrssätzen (Geradenstücke). Die Abweichung der linearen Kontur zur realen Kontur aus dem CAD ist der Sehnenfehler, auch Sehnentoleranz genannt. Diese Toleranz ist abhängig von der Strategie und ist bei Schruppstrategien größer als bei Schlichtstrategien. Beim Abarbeiten der NC-Programme an der Maschine wird die Toleranz vom CAM-System beim CYCLE832 angegeben, um optimale Ergebnisse bezüglich Oberflächengüte und Konturtreue zu erhalten.

**Genauigkeit** Bei der Ausgabe der NC-Sätze aus dem CAM kann die Anzahl der Nachkommastellen festgelegt werden. Die notwendige Genauigkeit ist abhängig von der Interpolationsart. Bei Linearachsen (X, Y, Z) sollte diese bei 3-Achs-Programmen mind. 3 Nachkommastellen betragen.

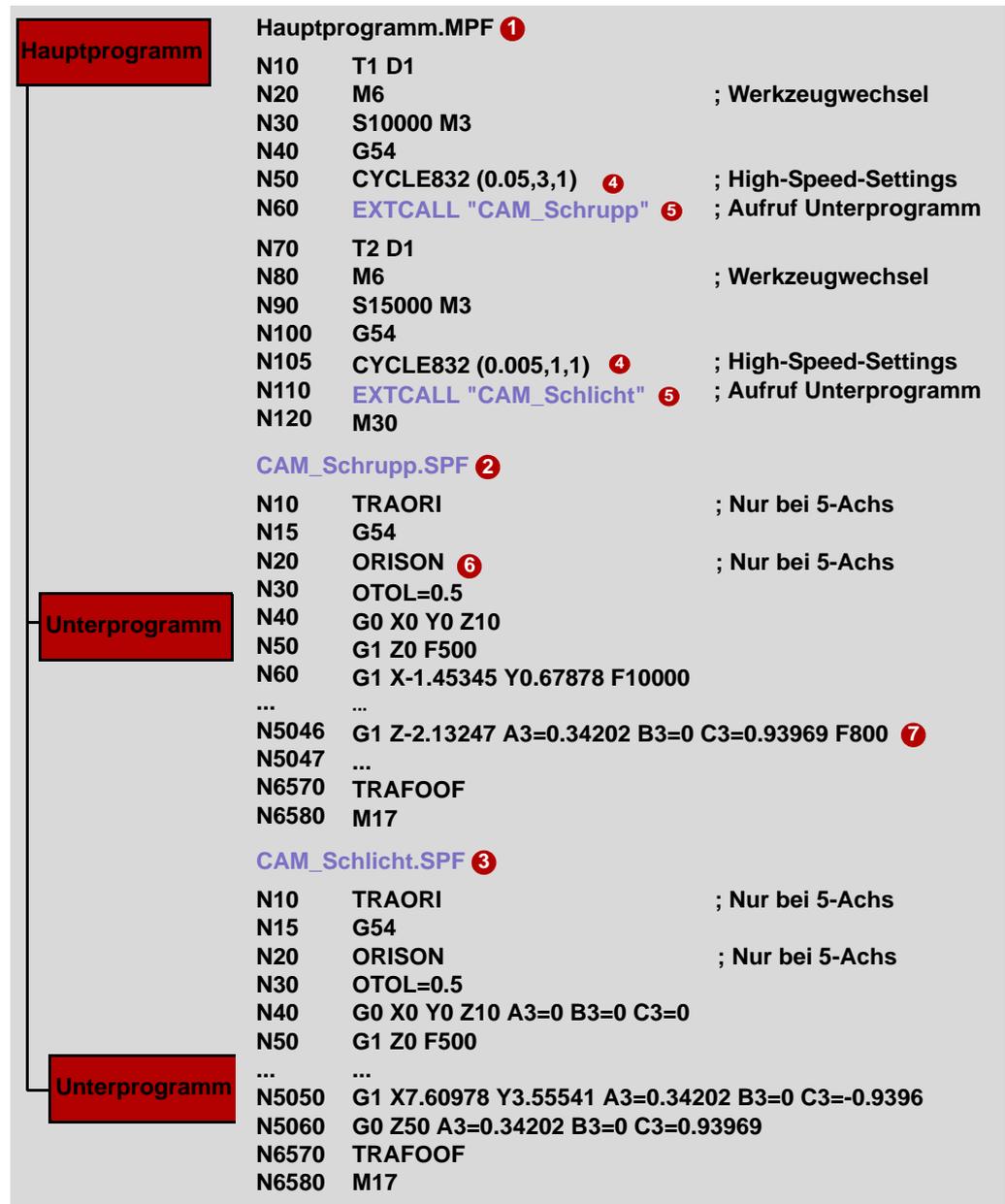
Bei der Ausgabe als Rundachspalten sollte bei 5-Achs-Programmen die Genauigkeit 5 Nachkommastellen in den Linear- und Rundachsen für beste Oberflächengüte betragen. Erfolgt die Ausgabe als Richtungsvektor empfehlen wir 5 Nachkommastellen in den Linearachsen und mind. 6 Nachkommastellen bei den Richtungsvektoren.

## 2.3 Programmstruktur für die Fräsbearbeitung

### Vorschlag für eine sinnvolle Programmstruktur mit CYCLE832

Für die Bearbeitung erstellt man ein Hauptprogramm **1**, das alle Technologiedaten enthält. Das Hauptprogramm ruft ein oder mehrere Unterprogramme **2**, **3** auf, die die Geometriedaten des Werkstücks enthalten. Die Aufteilung in die Unterprogramme wird durch den Werkzeugwechsel bestimmt.

#### Beispiel



**Hauptprogramm:** Das Hauptprogramm enthält die beiden für das Fräsen wichtigen Funktionen, CYCLE832 **4** und EXTCALL **5**.

**CYCLE832 **4**** : Der CYCLE832 wurde speziell für die dargestellte Programmstruktur mit Trennung in Technologie- und Geometriedaten angepasst. Er fasst alle wichtigen Befehle zusammen und aktiviert Steuerungsfunktionen. Im CYCLE832 definiert man die Bearbeitungstechnologie für das Fräsen. Für das Schruppprogramm "CAM\_Schrupp" mit T1 wurden im CYCLE832 die Parameter in Richtung hohe Geschwindigkeit gesetzt. Für das Schlichtprogramm "CAM\_Schlicht" wurden die Parameter in Richtung hohe Oberflächengüte und Genauigkeit gesetzt.

TRAORI wird für die Mehrachstransformation benötigt. Zum CYCLE832 erfahren Sie mehr im Kapitel Siehe "High Speed Settings - CYCLE832 Advanced Surface" auf Seite 66.

**EXTCALL **5**** : Da CAM-Programme i. d. R. sehr groß sind, werden sie auf einem externen Speicher ausgelagert. Der EXTCALL-Befehl ruft die Unterprogramme u. a. auch von externen Speichern auf. Alle Programme sollten im gleichen Verzeichnis liegen. Ist dies nicht der Fall, müssen die Pfade beim Aufruf mit angegeben werden.

**ORISON/OTOL **6**** : Der NC-Befehl ORISON ist eine speziell für den 5-Achsbereich entwickelte Funktion zur Vektorglättung. Mit der Funktion werden Schwankungen der Orientierung über mehrere Sätze hinweg geglättet. Dadurch wird ein glatter Verlauf der Orientierung und ein harmonischeres Verfahren der Achsen erzielt. Da dieser Befehl nicht Teil des CYCLE832 ist, empfiehlt es sich ORISON nach dem CYCLE832 zu programmieren.

Mit dem Befehl OTOL kann die Orientierungstoleranz für die Vektorglättung mit ORISON bestimmt werden. Der Wert wird in Grad eingegeben. Empfohlener Wert ist hier 0.5 Grad.

**Unterprogramm:** Im Unterprogramm folgen nach der ORISON Programmierung sofort die Geometriesätze. In unserem Beispiel sind dies zunächst Sätze für das 3-Achsfräsen bevor die Sätze für das 5-Achs-Simultanfräsen **7** folgen. Diese sind durch A3, B3 und C3 gekennzeichnet.

## 2.4 Programmablage/Datenübertragung

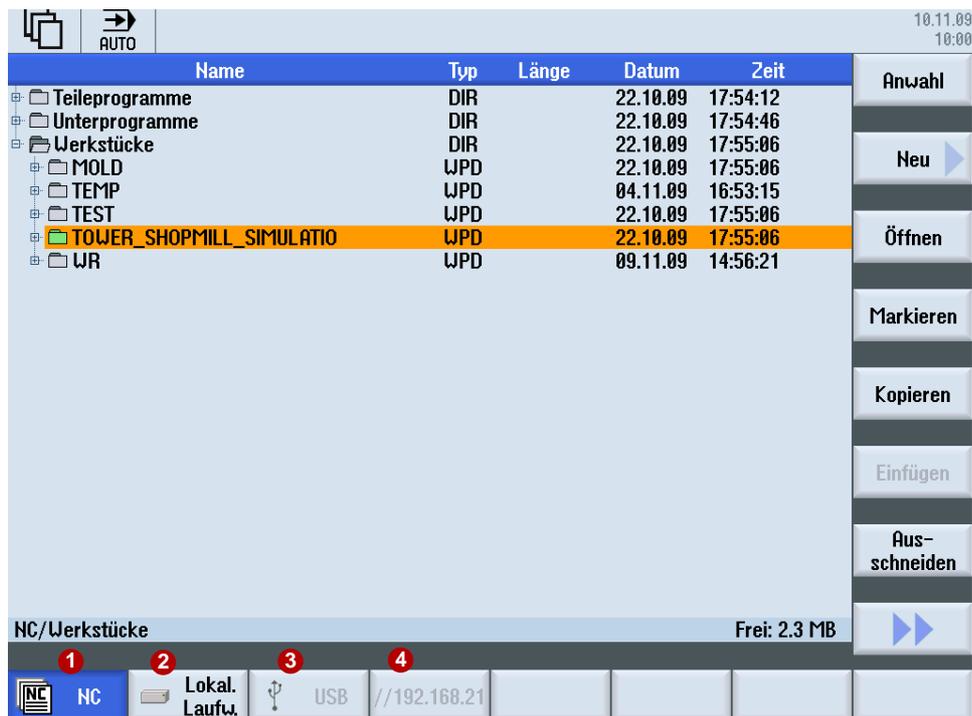
### 2.4.1 Programmmanager

Der Programmmanager bietet Ihnen eine optimale Übersichtlichkeit der Verzeichnisse und Programme und ein sehr komfortables Dateihandling. Er unterstützt Klartextnamen für Verzeichnisse und Dateien mit bis zu 24 Zeichen. Auf den externen Speichermedien wie CF-Karte und USB-Stick bei der SINUMERIK 828D und auf der NC können auch Unterverzeichnisse verwaltet werden.

Alle Speichermedien einschließlich der Netzlaufwerke sind im Programmmanager sichtbar. Die Teileprogramme können Sie auf allen Medien editieren. Über die horizontale Softkeyleiste können Sie Programme erstellen, einfügen, kopieren, löschen und ausschneiden.

**TIPP**

Im Programmmanager können Sie wie gewohnt die Windows Shortcuts wie z. B. STRG+C, STRG+X und STRG+V verwenden.



**Mögliche Ablageorte für Programme sind:**

1. NC
2. Lokales Laufwerk (CF Card oder Festplatte)
3. USB-Laufwerke
4. Netzlaufwerke

## 2.4.2 Externe Speichermedien - Datenübergabe

NC-Programme werden auf der Steuerung gespeichert, gegebenenfalls in den NCK Arbeitsspeicher geladen und auf der Maschine abgearbeitet.

Formenbauprogrammen sind oft für den NC-Speicher zu groß, bzw. können nicht abgearbeitet werden. Daher werden diese auf externe Speicher ausgelagert und sukzessive abgearbeitet. Im Hauptprogramm wird ein EXTCALL-Befehl programmiert, der das ausgelagerte Programm entsprechend dem Netzwerkpfad auf dem Server, der USB-Schnittstelle, Festplatte usw. aufruft.

### Vorgehensweise beim Aufruf des Geometrieprogramms mit EXTCALL

- ▶ Programmieren Sie den Geometrieprogrammaufruf z. B. SAMPLE im Hauptprogramm. Abhängig von der Steuerung und des Ablageorts, unterscheidet sich der Aufruf.
  - Unterprogramm liegt auf der Festplatte (NC)  
EXTCALL "SAMPLE"
  - Unterprogramm liegt im Verzeichnis auf der CompactFlash-Card  
EXTCALL "CF\_CARD:/PROGRAMS/SAMPLE.SPF"
  - Unterprogramm liegt auf einem lokalem Laufwerk  
EXTCALL "LOCAL\_DRIVE:/PROGRAMS/SAMPLE.SPF"
  - Unterprogramm liegt auf einem USB-Stick  
EXTCALL "USB:/MOLD\_DIE/CAM\_SCHRUPP.SPF"
  - Mit Ethernet verbundenes Netzwerk und Pfad im Maschinendatum SD 42700 z. B. auf einem Server "//R4711/workpieces/subprograms". Die Voreinstellung ist optional. Die Angabe des Verzeichnisses kann auch erst beim Aufruf mit EXTCALL angegeben werden.  
EXTCALL "SAMPLE.SPF"

### Abarbeiten von USB-Stick/CF-Card

Bei der Steuerung befindet sich auf der Vorder-, und bei der SINUMERIK 828D zusätzlich auf der Rückseite ein Steckplatz für einen USB-Stick. Der Steckplatz für eine CompactFlash-Card befindet sich bei der SINUMERIK 828D auf der Vorderseite und bei der SINUMERIK 840D sl auf der Rückseite.

- Das Stecken und Ziehen der Speichermedien im laufenden Betrieb möglich, d. h. die Maschine muss nicht neu gestartet werden damit das Speichermedium erkannt wird
- Laden, Editieren und Abarbeiten von Teileprogrammen vom Speichermedium.
- Bei Abarbeiten von Teileprogrammen vom Speichermedium entsteht kein Geschwindigkeitsverlust (DNC-Betrieb), wobei das Abarbeiten von CF-Karte empfohlen wird.
- Keine besondere Software zum Lesen bzw. Schreiben vom bzw. auf das Speichermedium am PC nötig.



**Ein direktes Abarbeiten von einem USB-FlashDrive wird nicht empfohlen. Das Trennen der Verbindung während der Bearbeitung führt zum Stopp und unter Umständen zum Werkstückschaden.**

## 2.5 Nullpunktverschiebungen

Die Istwertanzeige der Achskoordinaten bezieht sich nach dem Referenzpunktfahren auf den Maschinennullpunkt (M) des **Maschinenkoordinatensystems (MKS)**. Das Programm zur Abarbeitung des Werkstücks bezieht sich dagegen auf den Werkstücknullpunkt (W) des **Werkstückkoordinatensystems (WKS)**. Maschinennullpunkt und Werkstücknullpunkt müssen nicht identisch sein. Abhängig von der Art und der Aufspannung des Werkstücks kann die Distanz zwischen Maschinennullpunkt und Werkstücknullpunkt variieren. Diese Nullpunktverschiebung wird bei der Programmbearbeitung berücksichtigt und kann sich aus verschiedenen Verschiebungen zusammensetzen.

Beim Einrichten des Werkstücks setzen Sie den Werkstücknullpunkt als Nullpunktverschiebung z. B. G54. Über den Softkey **Nullpunktverschiebungen** öffnen Sie die Liste und können verschiedene Ansichten mit den vertikalen Softkeys wählen.

- **Aktiv**  
Nullpunktverschiebungen, für die aktive Verschiebungen enthalten, bzw. für die Werte eingetragen sind, einstellbare Nullpunktverschiebungen und Gesamt-Nullpunktverschiebung
- **Übersicht**  
Es werden für alle eingerichteten Achsen die aktiven Verschiebungen, bzw. Systemverschiebungen angezeigt. Neben der Verschiebung (grob und fein) wird auch die darüber definierte Drehung, Skalierung und Spiegelung angezeigt.
- **Basis**  
Es werden für alle eingerichteten Achsen die definierten kanalspezifischen und globalen Basisverschiebungen, aufgeteilt in Grob- und Feinverschiebung, angezeigt.
- **G54..G57**  
Es werden alle einstellbaren Verschiebungen, aufgeteilt in Grob- und Feinverschiebung, angezeigt sowohl Drehungen, Skalierung und Spiegelung.

09.11.09  
15:17

Nullpunktverschiebung - Übersicht [mm]

	X	Y	Z	A	C	
DRF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Rundtischbezug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Aktiv
Basisbezug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Gesamt Basis NPV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
G54	100.000	200.000	150.000	0.000	0.000	Übersicht
Werkzeugbezug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Werkstückbezug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Programmierte NPV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Basis
Zyklenbezug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Gesamt NPV	100.000	200.000	150.000	0.000	0.000	
						G54... G57
						Details

Werkz. liste    Werkz. versch.    Maga-zin    Nullp. versch.    R Anwen. variable    SD Setting-daten

## 2.6 Werkzeugverwaltung

SINUMERIK Operate bietet Ihnen zur Werkzeugverwaltung die Werkzeugliste (1), die Werkzeugverschleißliste (2) und das Magazin (3) an. In der Werkzeugliste werden alle relevanten Werkzeugdaten angezeigt. Sie können die Werkzeuge per Softkey (4) anlegen, löschen, laden oder entladen, direkt in das Programm einwechseln. Über den Werkzeugkatalog (5), der beim Anlegen neuer Werkzeuge angezeigt wird, können Sie schnell mit Hilfe der vordefinierten Werkzeugtypen Werkzeuge anlegen.

Oberhalb der Werkzeugliste werden schematische Darstellungen der Werkzeuge angezeigt. Die Anzeige der Bilder kann per Maschinendatum konfiguriert werden.

Für die automatische Werkzeugüberwachung können Sie die Verschleißgrenzen und Standzeiten festlegen. Der Bereitstellungszeitpunkt für neues Werkzeuge bzw. ein sperren des verschlissenen Werkzeugs erfolgt automatisch anhand der angegebenen Verschleißwerte. Im Magazin werden magazinbezogene Daten angezeigt. Hier können Sie z. B. Plätze sperren oder Werkzeuge Plätzen zuordnen.

Platz	Typ	Werkzeugname	ST	D	Länge	ø	N	↺	↻	↻
13		DRILL_1001	1	1	100.000	25.000		1	☑	☐
14		THREAD CUTTER	1	1	100.000	20.000		1	☑	☐
15		THREADCUTTER M10	1	1	110.000	10.000	1.500		☑	☐
16		GESENKFR_KEG	1	1	100.000	6.000		2	☑	☐
17		3D_TASTER	1	1	100.000	6.000			☒	☐
18		KUGELKOPF_ZYL	2	1	100.000	8.000		2	☑	☐
19		PLANFRAESER	1	1	110.000	60.000		3	☑	☐
20		FRAESER_KEG	1	1	110.000	10.000		2	☑	☐

Typ	Bezeichner	Werkzeuglage
	120 - Schaffräser	
	140 - Planfräser	
	200 - Spiralbohrer	
	220 - Zentrierer	
	240 - Gewindebohrer	
	710 - 3D-Meßtaster Fräsen	
	711 - Kantentaster	
	110 - Kugelkopf zylindr.	
	111 - Kugelkopf kegelig	
	121 - Schaffräser Eckenverr.	
	155 - Kegelstumpfräser	
	156 - Kegelstumpfräs. Eck.	
	157 - Kegeliges Gesenkfräs.	
	Multi-tool	

## 2.7 Messen in JOG und AUTOMATIK

### Messen in JOG

Beim **Messen in JOG** (Einrichten) wird die Maschine für die Bearbeitung vorbereitet. Dies heißt, dass die noch unbekannt Maße des Werkstücks und des Werkzeugs erfasst werden.

- Manuelles Messen dient zur Vorbereitung der Maschine für die Bearbeitung.
- Manuelles Messen dient zur Ermittlung von unbekanntem Werkstück- oder Werkzeuggeometrien.
- Die Messung erfolgt als interaktive Bedienung im manuellen Betrieb der Maschine.

Der Bezugspunkt bei der Programmierung eines Werkstücks ist immer der Werkstücknullpunkt. Durch Einrichten eines aufgespannten Werkstückes wird dieser Werkstücknullpunkt bestimmt. An den Werkstück-Elementen Kante, Ecke, Tasche/Bohrung, Zapfen, Ebene kann das Einrichten erfolgen. Am Schluss wird der Werkstücknullpunkt als Ergebnis der ermittelten linearen und rotatorischen Korrekturen des Koordinatensystems definiert.

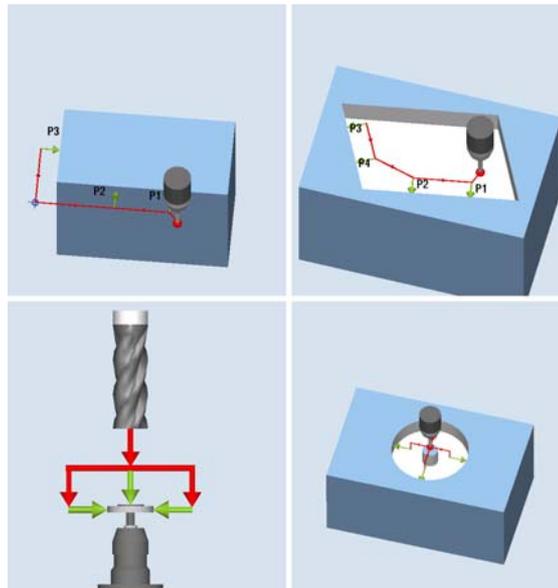
### Prozessmessen (Messen in AUTOMATIK)

Beim **Prozessmessen** werden Werkstücktoleranzen im Fertigungsprozess ermittelt und die Werkzeugparameter überwacht. Die Sollmaße des Werkzeugs und Werkstücks sind bereits bekannt.

- Prozessmessen dient zur Kontrolle der Maßhaltigkeit der Werkstücke.
- Prozessmessen dient zur Korrektur von bekannten Werkstück- oder Werkzeuggeometrien.
- Die Messung erfolgt durch den Aufruf eines Messzyklus im Bearbeitungsprogramm.

### Messzyklen für alle Messaufgaben

*Beispiele von  
Messzyklen*



Die SINUMERIK besitzt für die Messaufgaben in JOG und im AUTOMATIK einen reichhaltigen Vorrat praxistgerechter Messzyklen. Mit diesen Messzyklen können Sie grafisch unterstützt Werkstücke und Werkzeuge messen.

Die Messaufgaben werden mit schaltenden Messtastern und Messdosen oder Lasermesssystemen durchgeführt.

Beim Messen in JOG können die Messzyklen auch mit Kantentastern bzw. auch Werkzeugen mit bekannten Maßen genutzt werden. Dabei werden die Messpunkte manuell angefahren und die aktuelle Position per Softkey im Messzyklus gespeichert.

## 2.8 Werkstück messen in JOG

Nachdem die Maschine eingeschaltet und der Referenzpunkt angefahren wurde, beziehen sich die Achspositionen auf das Maschinenkoordinatensystem. Die Lage des Werkstücks im Maschinenkoordinatensystem wird der Steuerung durch die Nullpunktverschiebung mitgeteilt.

### 2.8.1 Messzyklen in JOG

Bei dem halbautomatischen "Messen in JOG" wird die gewünschte Messfunktion über Softkeys an der Steuerung ausgewählt. Die Parametrierung der Funktion erfolgt über die angezeigten Eingabemasken. Sie müssen das Werkzeug oder den Messtaster in eine zulässige Startposition für die jeweilige Messaufgabe bringen, z. B. mittels Verfahrstasten oder Handrad (manuell Verfahren).

Die **Messzyklen** ermöglichen folgende Funktionen:

- Messtaster kalibrieren (abgleichen)
- Maße und Lage von Werkstückgeometrien erfassen, um z. B. das Werkstück einzurichten.

#### Voraussetzungen für den Einsatz der Zyklen

- Messtaster ist kalibriert und aktiv; Werkzeugkorrektur ist aktiviert.

Für das Messen stehen Ihnen praxiserichte Messzyklen zur Verfügung

#### Messzyklen in JOG

The screenshot displays the Siemens JOG control interface. On the left, the main screen shows the 'SIEMENS' logo and 'Abgleich Messtaster' (Calibrate probe) function. Below it, there are several softkeys with icons and labels: 'Kante messen' (Edge measure), 'Kante ausrichten; Ecke messen' (Align edge; measure corner), 'Tasche/Bohrung messen' (Pocket/drill measure), 'Zapfen/Bohrung messen' (Pin/drill measure), 'Ebene ausrichten' (Align plane), and 'Zurück' (Back). On the right, a dropdown menu is open, listing various measurement cycles: 'Kante ausrichten' (Align edge), 'Kante ausrichten' (Align edge), 'Abstand 2 Kanten' (Distance 2 edges), 'Rechtwinklige Ecke' (Right-angled corner), 'Beliebige Ecke' (Arbitrary corner), 'Rechtecktasche' (Rectangular pocket), '1 Bohrung' (1 hole), '2 Bohrungen' (2 holes), '3 Bohrungen' (3 holes), '4 Bohrungen' (4 holes), 'Rechteckzapfen' (Rectangular pin), '1 Kreiszapfen' (1 circular pin), '2 Kreiszapfen' (2 circular pins), '3 Kreiszapfen' (3 circular pins), '4 Kreiszapfen' (4 circular pins), and 'Ebene ausrichten' (Align plane).

Die Messzyklen können direkt über die Softkeys ausgewählt werden. Die Belegung der Softkeys ist ab dem dritten Softkey frei belegbar und richtet sich nach den zuletzt gewählten Zyklen. Nach Auswahl eines Messzyklus können Sie über eine Auswahlliste noch weitere Messzyklen wählen (siehe auch Bild rechts).

## 2.8.2 Beispiel eines Messvorgangs

Mit dem Messzyklus **Rechtwinklige Ecke** soll das Werkstück eingerichtet werden. Die Korrektur soll in der Nullpunktverschiebung G54 erfolgen.

- ▶ Wählen Sie den Softkey **Rechtwinklige Ecke**. Den Zyklus können Sie auch über die Auswahlliste wählen (1).
- ▶ Fahren Sie den Messtaster an den Messpunkt **P1** heran.
- ▶ Wählen Sie die Nullpunktverschiebung z. B. **G54** (2)
- ▶ Mit "NC-Start" wird der jeweilige Messpunkt P1, P2 und P3 (3), ausgehend von der manuell eingenommenen Vorposition, automatisch angefahren. D. h. der Messtaster fährt das Werkstück an, löst aus und zieht auf die Startposition zurück.
- ▶ Nachdem alle Messpunkte angefahren wurden, drücken Sie **NPV setzen** (4).

The screenshot shows the Siemens TNC control interface during a measurement cycle. The main display area shows the current tool position in millimeters (X: -4.750, Y: 0.000, Z: 82.000) and tool data (T: 3D\_TASTER, F: 0.000, S1: 0). The 'Werte NPV' table shows X, Y, Z, and Z0 values as 0.000. The 'Messwerte' table shows X0 and Y0 as 0.000. The 'Nullpunktversch.' (G54) is set to 'Außenecke Lage 1'. The 'NPV setzen' button is highlighted in orange. A red box highlights the 'P3 gespeichert' button on the right side of the screen.

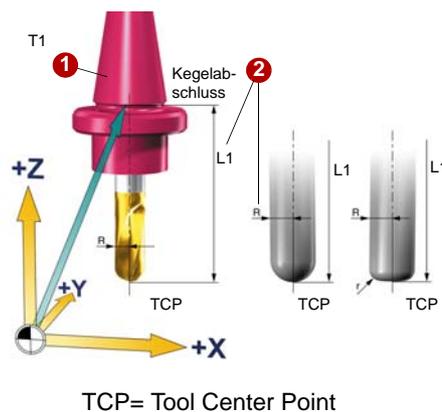
- ▶ Der Eckpunkt entspricht nun der Sollposition. Die berechnete Verschiebung wird in der Nullpunktverschiebung gespeichert.

## 2.9 Werkzeug messen in JOG

Bei der Abarbeitung eines Programms müssen die unterschiedlichen Werkzeuggeometrien berücksichtigt werden. Diese sind als Werkzeugkorrekturdaten in der Werkzeugliste hinterlegt. Beim Aufruf des Werkzeugs berücksichtigt die Steuerung dann die Werkzeugkorrekturdaten.

Die Werkzeugkorrekturdaten, d.h. Länge und Radius bzw. Durchmesser können Sie entweder über speziellen Werkzeugvoreinstellgeräten mit Hilfe der Messzyklen an der Maschine ermitteln.

### 2.9.1 Werkzeugbezugspunkt



Bei der Erstellung des Geometrieprogramms berücksichtigt das CAM-System normalerweise den Werkzeugdurchmesser. Die berechnete Werkzeugbahn bezieht sich in der Regel auf den Fräsermittelpunkt (Mittelpunktsbahn).

D.h. wenn Sie die Länge Ihrer Werkzeuge vermessen, müssen Sie den gleichen Bezugspunkt (TCP) verwenden wie das CAM-System. Prüfen Sie für die Werkzeuglänge unbedingt, welchen Bezugspunkt der CAM-Programmierer mit L1 bemaßt hat. Der TCP kann entweder auf der Werkzeugschulter oder weiter oben im Fräswerkzeug liegen z. B. bei Radiusfräsern im Mittelpunkt des Radius.

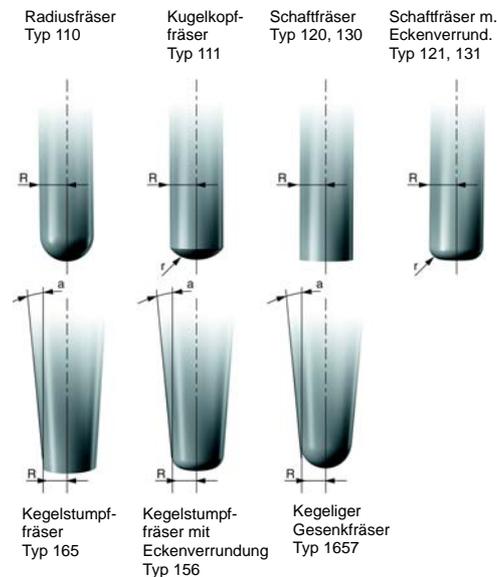
Neues Werkzeug - Favoriten		
Typ	Bezeichner	Werkzeuglage
120	- Schafffräser	
140	- Planfräser	
200	- Spiralbohrer	
220	- Zentrierer	
240	- Gewindebohrer	
710	- 3D-Meßtaster Fräsen	
711	- Kantentaster	
110	- Kugelkopf zylindr.	
111	- Kugelkopf kegelig	
121	- Schafffräser Eckenverr.	
155	- Kegelstumpffräser	
156	- Kegelstumpffräs. Eck.	
157	- Kegeliges Gesenckfräs.	

Wie gewohnt wird das Werkzeugmagazin bestückt, die Werkzeugnummern (T1...) bzw. die Klartextnamen (MILLING\_12...) der Werkzeuge 1 in die Werkzeuggesteuerung eingegeben und den Werkzeugen eine Werkzeugkorrektur D 2, bestehend aus Radius "R" und Länge "L1", zugewiesen.

Im Werkzeugkatalog stehen die typischen Fräswerkzeuge als Auswahl zur Verfügung. Diese müssen Sie nur einfügen und die notwendigen Korrekturdaten eintragen.

**TIPP**

Die Lage des TCP wird abhängig von der Werkzeugform von CAM-Systemen unterschiedlich festgelegt. In der Regel wird davon ausgegangen, dass der TCP auf der Werkzeugschulter liegt. Gibt das CAM-System eine andere Lage des TCP vor, muss diese Differenz bei der Angabe der Werkzeuglänge berücksichtigt werden.



Je nach Werkzeugtyp (z. B. kegelige Werkzeuge) geben Sie weitere Werkzeugdaten an.

Bei einem NC-Programm führt die Steuerung an Hand dieser Daten und der im Programm angegebenen Bahnkorrekturen G41, G42 die erforderlichen Bahn- und Längenkorrekturen aus.

## 2.9.2 Beispiel Werkzeug messen in JOG

### Funktion

Die Funktion **“Werkzeug messen”** ermöglicht folgende Funktionen:

- Messdose kalibrieren (abgleichen)
- die Werkzeuglänge oder den Radius von Fräswerkzeugen, oder die Werkzeuglänge von Bohrern ermitteln und im Werkzeugkorrekturspeicher eintragen.

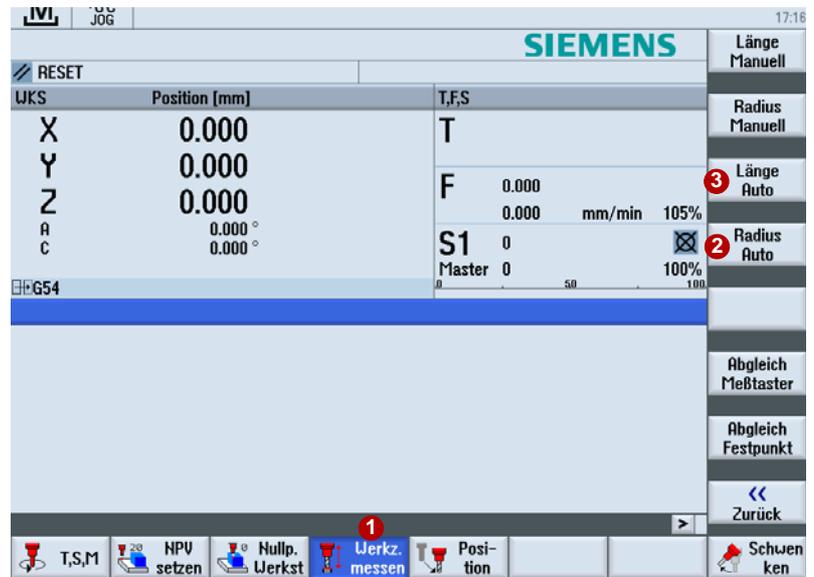
### Voraussetzungen für den Einsatz der Zyklen

- Werkzeug ist eingewechselt.
- Messdose ist kalibriert und aktiv.

### Vorgehensweise

- ▶ Wählen Sie in der Betriebsart JOG den Softkey **Messen Werkzeug 1**. In der horizontalen Softkeyleiste wählen Sie, ob Sie automatisch oder manuell messen wollen.
- ▶ Klicken Sie auf den entsprechenden Softkey **Radius Auto 2** oder **Länge Auto 3** und tragen Sie bei besonderen Werkzeugen, z. B. mit verrundeten Schneiden, den Versatz ein.
- ▶ Klicken Sie auf **NC-Start**, der Messvorgang wird gestartet und die Werkzeugkorrekturen für Radius und Länge 1 werden in die aktiven Werkzeugkorrekturdaten eingetragen.

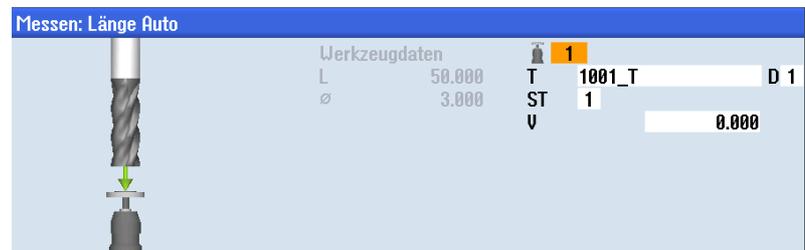
Messzyklen  
Werkzeug  
messen in JOG



Radius messen



Länge messen



## 2.10 Werkstück messen in AUTOMATIK - Prozessmessen

Beim Prozessmessen in der Betriebsart Automatik werden, spezifisch zur Messaufgabe Messzyklen parametrierbar. Die Parametrierung wird durch Eingabemasken des Programmeditors unterstützt. Die anzufahrenden Messpunkte und die Messaufgabe werden automatisch entsprechend dem Messprogramm realisiert.

Die Werkstückmessung dient der Ermittlung von Werkstücktoleranzen im Fertigungsprozess. Als Ergebnis der Werkstückmessung können Sie abhängig vom verwendeten Messzyklus folgende Optionen wählen:

- Nur Messung ohne Korrekturen (Erfassung Ist-Wert)
- Nullpunktverschiebungs-Korrektur (Abweichung Soll-Ist korrigieren)
- Werkzeugdaten-Korrektur (Abweichung Soll-Ist korrigieren)

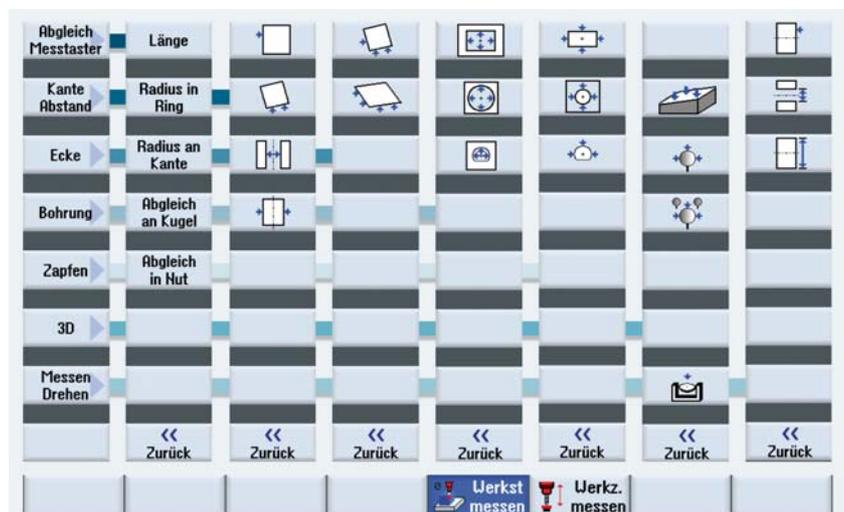
### 2.10.1 Messzyklen in AUTOMATIK

Für das Prozessmessen stehen Ihnen praxisgerechte Messzyklen zur Verfügung.

- ▶ Die Messzyklen können Sie innerhalb des NC-Programms über die Softkeys **Messen Fräsen** > **Werkstück messen** anwählen.

#### Messzyklen in AUTOMATIK

- Abgleich Messtaster
- Kante, Abstand messen
- Ecke messen
- Bohrung messen
- Zapfen messen
- Ebene, Kinematik messen
- Messen Drehen (Multitasking-Maschinen)



## 2.10.2 Beispiel eines Messvorgangs in AUTOMATIK

Am Beispiel **Tasche messen** wird Ihnen der Ablauf exemplarisch dargestellt. Der Zyklus vermisst automatisch die Rechtecktasche und trägt die Werte in die Nullpunktverschiebung ein.

### Voraussetzungen für den Einsatz der Zyklen

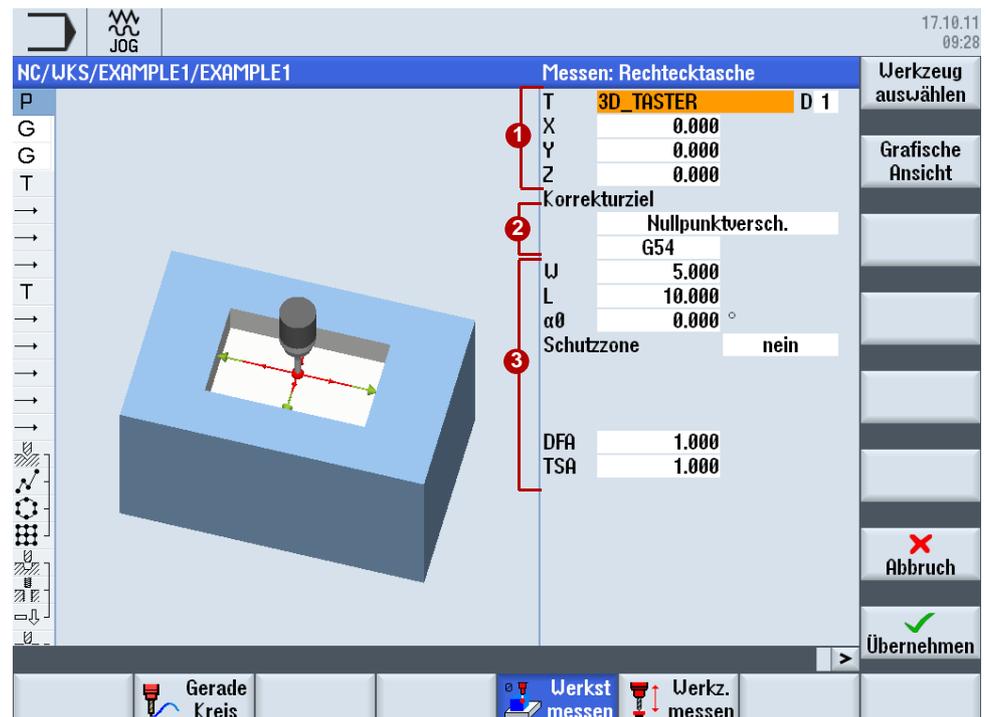
- Messtaster ist kalibriert und aktiv; Werkzeugkorrektur ist aktiviert.

### NPV über Rechtecktasche messen ermitteln:

- ▶ Erstellen Sie ein neues Programm für das Messen des Werkstücks oder editieren Sie ein bestehendes.
- ▶ Wählen Sie in der erweiterten Softkeyleiste die Softkeys **Werkstück messen > Bohrung > Rechtecktasche** an.
- ▶ Wählen Sie die das Werkzeug (3D-Taster) und tragen Sie die den Startpunkt der Messung ein. ( **1** ).
- ▶ Sie können festlegen, ob das Ergebnis der Messung eine Korrektur oder nur ein Messvorgang sein soll ( **2** ).
  - Korrektur in die Nullpunktverschiebung mit Angabe der NPV
  - Korrektur in die Werkzeugkorrekturdaten
  - Nur Messung

Da Sie hier das Werkstück einrichten, erfolgt die Korrektur in die NPV.

- ▶ Tragen Sie die Sollwerte der Rechtecktasche ein und parametrieren Sie weitere Zyklusparameter ( **3** ).  
Nach der Messung werden die Messwerte im aktiven Frame der Nullpunktverschiebung korrigiert.



## 2.11 Werkzeug messen in AUTOMATIK - Prozessmessen

Für das Prozessmessen von Werkzeugen steht Ihnen ein praxisgerechter Messzyklus zur Verfügung. Der Zyklus ermittelt die Länge und den Durchmesser des Werkzeugs mit Hilfe einer kalibrierten Messdose.

- ▶ Die Messzyklen können Sie innerhalb des NC-Programms in der erweiterten Softkeyleiste über die Softkeys **Messen Fräsen > Werkzeug messen** anwählen.

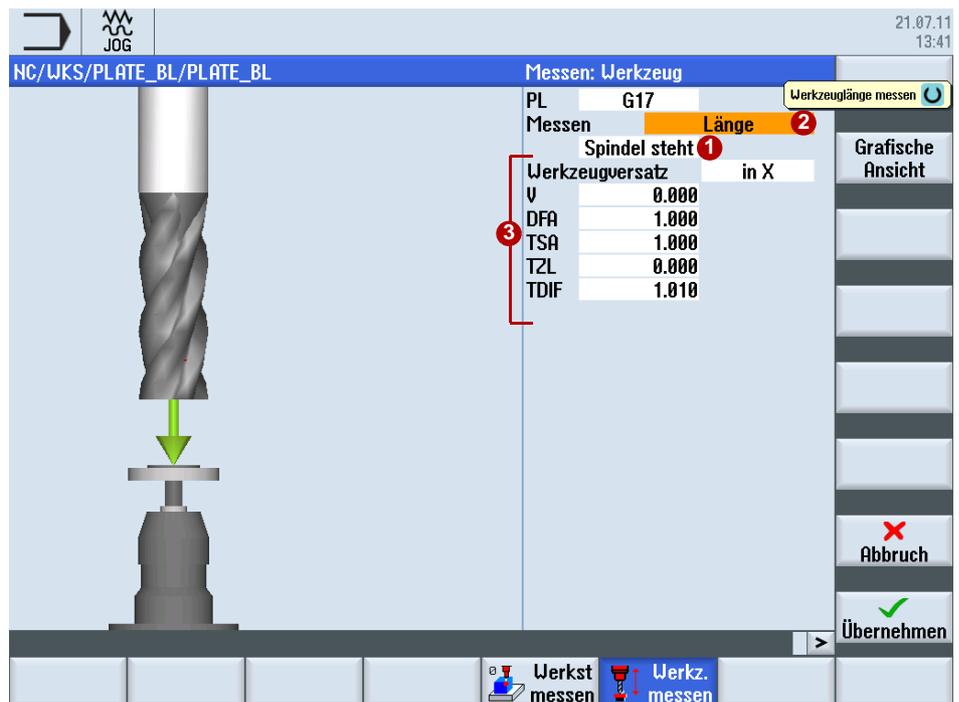
### Voraussetzungen

- Messdose ist kalibriert
- Werkzeug ist eingespannt

Im Automatikbetrieb können Sie die Werkzeugdaten automatisch messen oder als Werkzeugkorrektur eintragen. Im folgenden Beispiel erstellen Sie ein Programm, das die Werkzeuglänge und den Radius ermittelt und in die Werkzeugkorrektur einträgt.

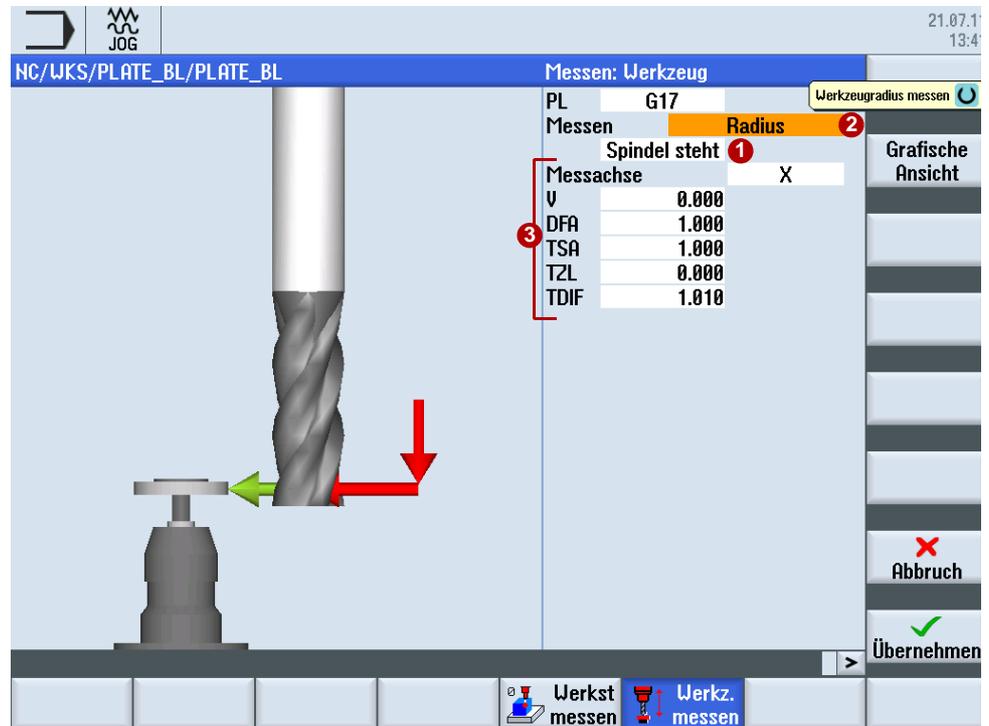
### Ermitteln der Werkzeuglänge:

- ▶ Erstellen Sie ein neues Programm für das Messen des Werkzeugs.
- ▶ Wählen Sie den Messzyklus **Werkzeug messen**.
- ▶ Der Messvorgang erfolgt bei stehender Spindel und die Messwerte werden in die Werkzeuggeometriekomponente eingetragen ( **1** ).
- ▶ Wählen Sie die Länge als Messwert ( **2** ).
- ▶ Parametrieren Sie den Messvorgang ( **3** ).



**Ermitteln des Werkzeugradius:**

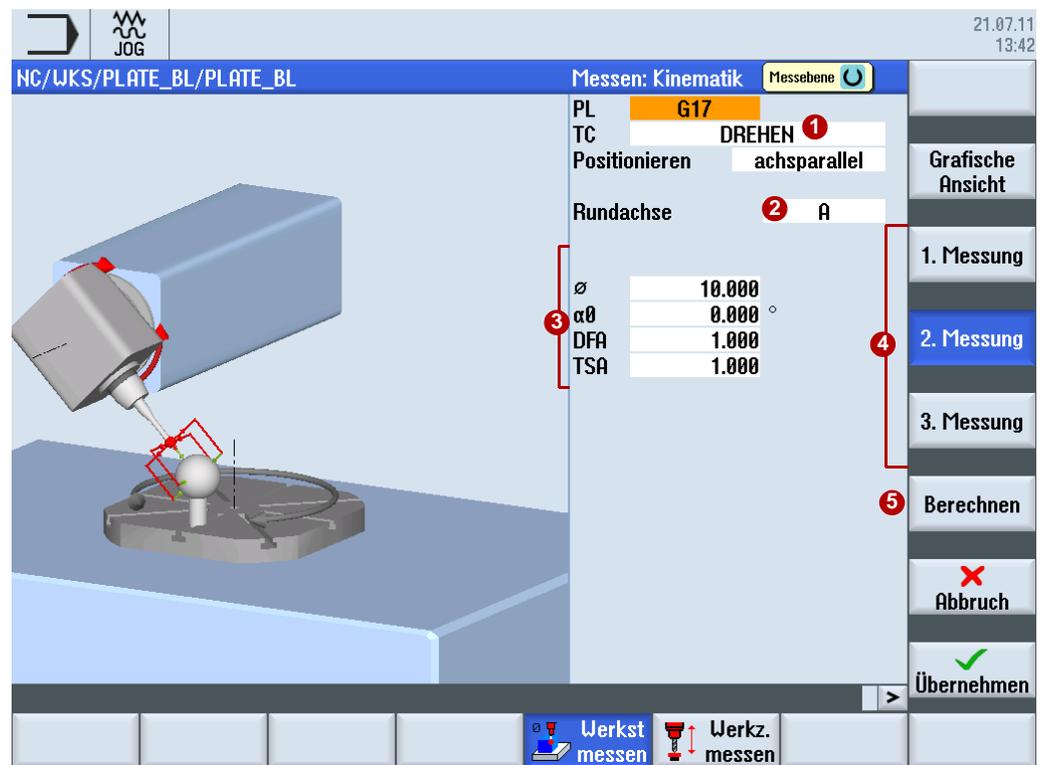
- ▶ Der Messvorgang erfolgt bei drehender Spindel und die Soll/Ist-Differenz wird optional in den Verschleiß des Radius eingetragen ( ❶ ).
- ▶ Wählen Sie den Radius als Messwert ( ❷ ).
- ▶ Parametrieren Sie den Messvorgang ( ❸ ).



## 2.12 Maschine prüfen/vermessen mit dem Kinematikmesszyklus CYCLE996

Nur mit genauen Maschinen sind die Anforderungen bei der 5-Achs-Bearbeitung zu erfüllen. Für die kinematische Transformation müssen daher die Vektoren für NC-gesteuerte oder manuell ausrichtbare Rundachsen bestimmt und in die Steuerung eingetragen werden. Mit dem Messzyklus CYCLE996 steht für diese Anwendung ein spezieller Zyklus zur Verfügung, der mit Hilfe einer Kalibrierkugel und einem kalibrierten Messtaster die Rundachsvektoren automatisch vermisst. In der Praxis erleichtert der Zyklus die Kontrolle und erhöht die Prozessgüte, da Korrekturen der Rundachsvektoren z. B. aufgrund von Temperaturschwankungen oder anderen Einflussfaktoren automatisiert überprüft werden können.

Zum Vermessen wird eine Kalibrierkugel auf den Tisch montiert. In jeweils drei Schwenkpositionen der Rundachse wird die Kugel mit dem Messtaster vermessen und diese Werte abgelegt. Pro Rundachse muss der CYLCE996 dreimal mit unterschiedlichen Rundachspositionen aufgerufen werden. Die vollständige Berechnung der Kinematik wird durchgeführt wenn alle Rundachsen vermessen wurden.

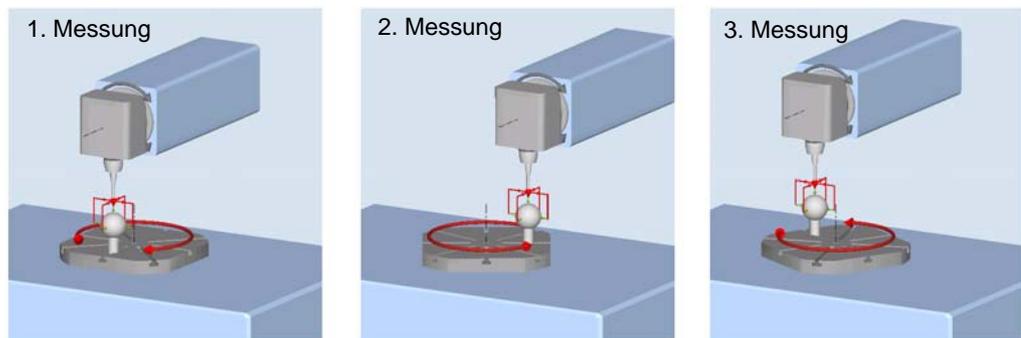


**Maschine prüfen mit CYCLE996:**

- ▶ Erstellen Sie ein neues Programm für das Vermessen der Kinematik.
- ▶ Wählen Sie im Bedienbereich Programme im Teileprogrammeditor die Softkeys > > **MESSEN FRÄSEN > WERKSTÜCK MESSEN > 3D > KINEMATIK**.
- ▶ Erstellen Sie einen neuen Schwenkdatensatz, in diesem wird die Rundachse geschwenkt ( **1** ). Die Schwenkpositionen sollten im Idealfall ein gleichseitiges Dreieck aufspannen, d. h. geschwenkt wird jeweils um  $120^\circ$ .
- ▶ Wählen Sie die zu vermessende Rundachse ( **2** ).
- ▶ Parametrieren Sie den Messvorgang ( **3** ) für die 1.-3.Messung ( **4** ).  
Drücken Sie die Softkey **Berechnen**, nachdem alle Rundachsen vermessen wurden ( **5** ).

Nach dem Drücken des Softkeys wird der Dialog **Kinematik berechnen** geöffnet. Das Ergebnis der Messung kann jetzt wie folgt genutzt werden:

- nur Messen (Messen und Vektoren berechnen)
- eintragen (Messen, Vektoren berechnen und in Schwenkdatensatz zur Korrektur eintragen)



**Vorsicht beim Ändern der Schwenkdaten. Diese wirken direkt auf die Kinematik und können unter Umständen bei falscher Korrektur zu Schäden an der Maschine im Betrieb führen.**

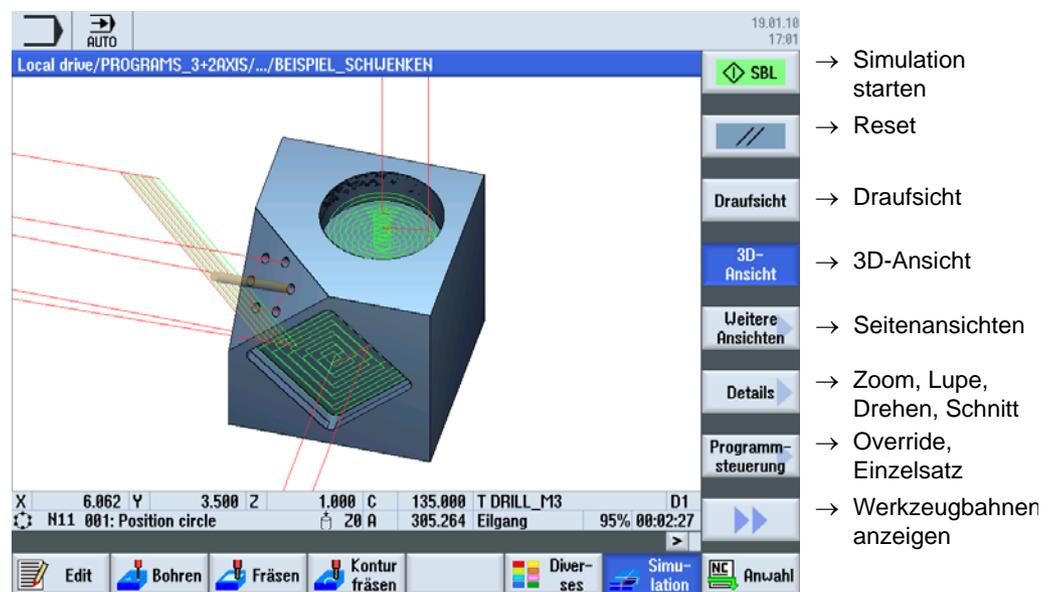
## 2.13 Werkstückvisualisierung

### 2.13.1 Simulation

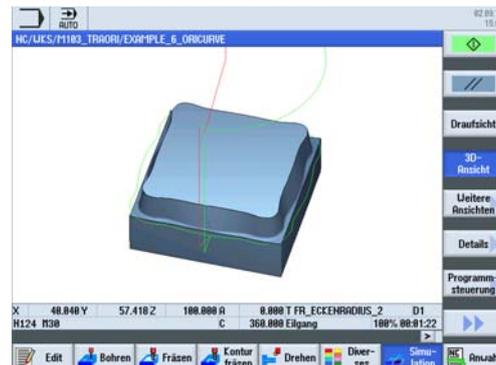
Durch die Fertigteilsimulation als 3-D-Volumenmodell oder als 3-Ebenen-Ansicht können Sie schon vor der Fertigung eventuelle Programmierfehler erkennen. Mit der vollständigen 3D-Simulation, auch auf geschwenkten Ebenen und 5-Achs-Simultan, simulieren Sie die Programme vor der Fertigung.

#### Simulation öffnen:

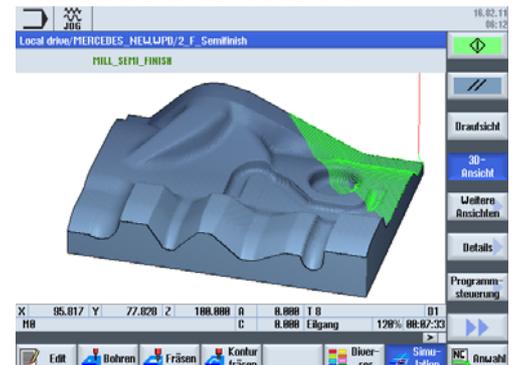
- ▶ Öffnen Sie das NC-Programm im Programm-Editor.
- ▶ Drücken Sie den Softkey **Simulation**. Die Bearbeitung des NC-Programms wird simuliert.
- ▶ Während der Simulation können Sie die Anzeige ändern, drehen und zoomen. Für die bessere Darstellung können Sie Schnitte in das Werkstück legen.
- ▶ Über die Shortcuts SHIFT+[Cursor-Tasten] können Sie die Darstellung verschieben, rotieren bzw. den Ausschnitt verschieben und mit STRG+[Cursor-Tasten] den Override regeln.



#### Simulation 5-Achs-Simultan



#### Simulation 3-Achs-Werkstück



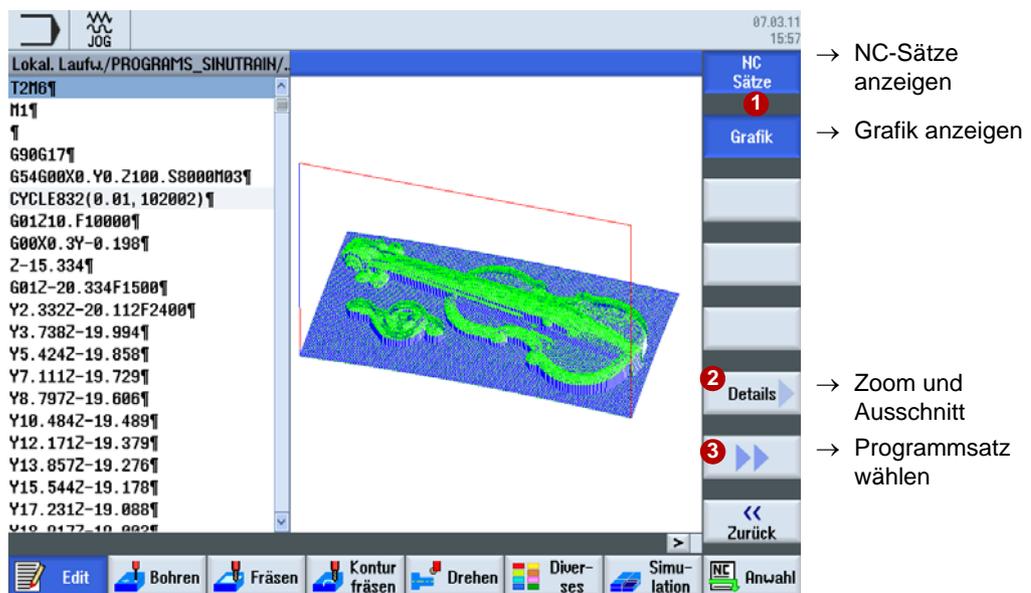
## 2.13.2 Formenbauschnellansicht - Quick Viewer

Die Formenbauschnellansicht erlaubt die Visualisierung der Bearbeitungsbahnen von großen Teileprogrammen z. B. aus CAM-Systemen. Durch die Schnellansicht können Sie sich einen schnellen Überblick über das Programm verschaffen z. B. die Werkstückform oder Verfahrensfehler bzw. An- und Abfahrwege überprüfen.

Die Formenbauansicht unterstützt u. a. Sätze mit G0, G1, G2 und G3, Polynome und B-Splines sowie die Vektor- und Rundachsprogrammierung. Nichtinterpretierbare NC-Sätze werden überlesen und nicht in der Grafik angezeigt.

### Formenbauansicht öffnen:

- ▶ Öffnen Sie das NC-Programm im Programm-Editor.
- ▶ Drücken Sie die Softkeys >> und dann **Formenbauansicht**. Das NC-Programm und die Grafik wird parallel angezeigt.
- ▶ Durch Drücken der Softkeys **NC-Sätze** oder **Grafik** ① können Sie die Ansichten Ein- und Ausblenden.



### Zoom und Ausschnitt:

- ▶ Drücken Sie den Softkey **Details** ② und dann **Zoom+** bzw. **Zoom-**, um die Ansicht zu zoomen.
- ▶ Drücken Sie den Softkey **Details** ② und dann **Lupe+** bzw. **Lupe-**, um den Ausschnitt zu vergrößern bzw. zu verkleinern. Mit den Cursor-Tasten verschieben Sie den Ausschnitt.

### Fehlerhaften NC-Satz anwählen:

Bei Fehler in der Grafik können Sie direkt den NC-Satz im Programm anwählen.

- ▶ Drücken Sie den Softkey >> ③ und dann **Punkt wählen**.
- ▶ Verschieben Sie das eingblendete Fadenkreuz mit den Cursor-Tasten auf den fraglichen Punkt in der Grafik.
- ▶ Drücken Sie den Softkey NC-Satz anwählen. Der fehlerhafte NC-Satz wird im Editor markiert.



## *Wichtige Funktionen 3- bis 5-Achs- Bearbeitung*

Inhalt	Seite
3.1 Einleitung	42
3.2 Begriffserklärung Schwenken, Frames und TRAORI	43
3.3 Koordinatensysteme transformieren - Frames	44
3.4 Schwenken - CYCLE800	45
3.5 5-Achs-Transformation TRAORI	51
3.6 High Speed Settings - CYCLE832 Advanced Surface	66
3.7 Advanced Surface - NC-Befehle	69
3.8 3D-Werkzeugradiuskorrekturen	79
3.9 Volumetric Compensation System (VCS)	82
3.10 VNCK - Virtuelle Maschine	83

3

### 3.1 Einleitung

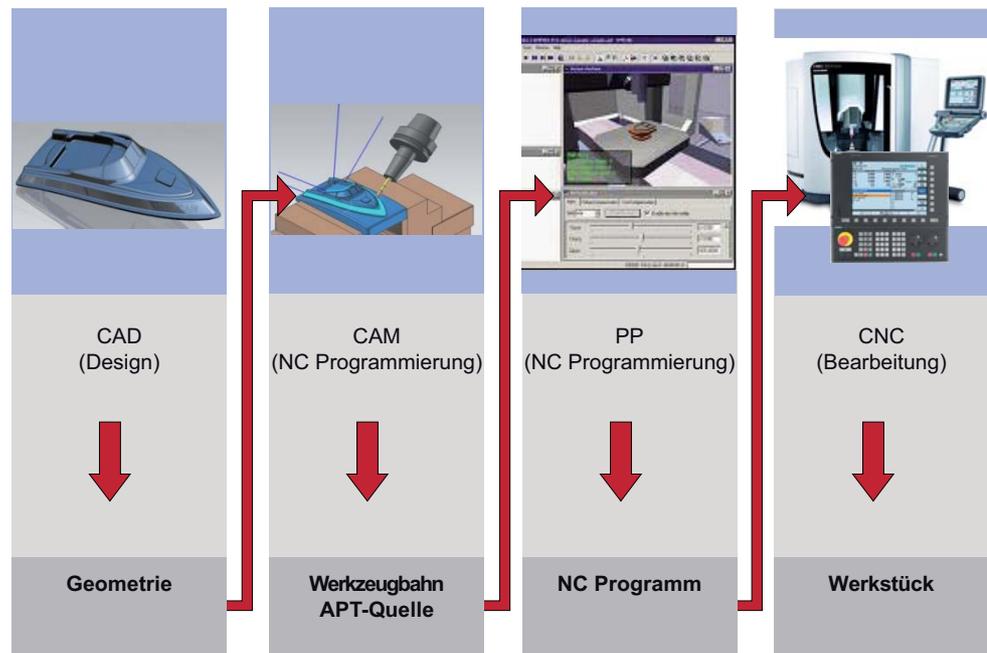
Speziell im Rahmen der Formenbau-Bearbeitung ist die gesamte CAD/CAM/CNC-Verfahrenskette wichtig für optimale Ergebnisse an der Maschine.

Das CAD-System erzeugt die Geometrie des gewünschten Werkstücks. Auf Basis dieses Geometrie-Files generiert das CAM-System die entsprechende Bearbeitungsstrategie mit dazu gehörigen Technologie-Informationen.

Das Ausgangsdatenformat des CAM-Systems ist meistens ein APT- oder CL-Data-File, das im Postprozessor in einen ausführbaren NC-Code gewandelt wird.

Um die Leistungsfähigkeit von SINUMERIK Steuerungen in optimaler Weise zu nutzen, muss der vorgeschaltete Postprozessor besonders berücksichtigt werden.

Der Postprozessor sollte sicherstellen, dass die in diesem Kapitel beschriebenen, höherwertigen Funktionen von SINUMERIK Steuerungen in idealer Weise aktiviert werden. Eine Übersicht aller höherwertigen SINUMERIK-Funktionen ist den nächsten Kapiteln zu entnehmen.



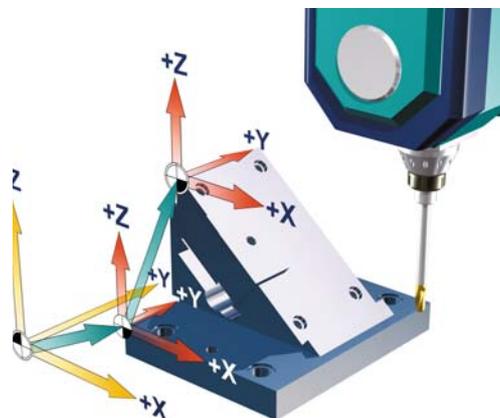
## 3.2 Begriffserklärung Schwenken, Frames und TRAORI

Mit Schwenken (CYCLE800), Frames und TRAORI können Rundachsen angesteuert und das Werkzeug zur Bearbeitungsfläche angestellt werden. Beim Schwenken werden die Rundachsen einmal positioniert und die Linearachsen XYZ bewegen sich bei der Bearbeitung. Das Werkzeug wird von einer Anfangsposition zu einer Endposition orientiert und arbeitet dann nur noch mit den drei Linearachsen, es wird statisch zur Fläche ausgerichtet.

Im Gegensatz dazu ist TRAORI ein dynamisches Verfahren. Die Rund- und Linearachsen können simultan während der Bearbeitung verfahren. Das Werkzeug kann kontinuierlich beim Fräsen zur Fläche ausgerichtet werden. Alle Achsen (Rund- und Linearachsen) werden gleichzeitig interpoliert.

Frames wirken nur auf das Koordinatensystem, es wird nur das Koordinatensystem geändert z.B. gedreht, skaliert oder verschoben. Der CYCLE800 berücksichtigt beim Schwenken die Kinematik der Maschine, d. h. Werkzeugkorrekturen und Nullpunkte werden verrechnet. Bei Frames z. B. ROT müssen diese vom Anwender mit verrechnet werden.

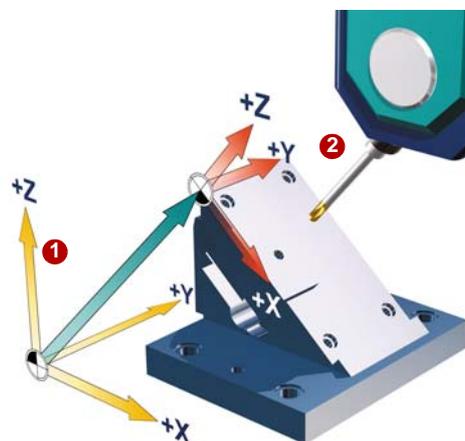
### Frames



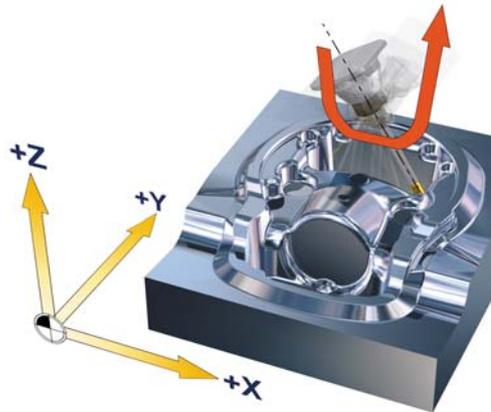
Der Frame ist eine in sich geschlossene Rechenvorschrift, die ein kartesisches Koordinatensystem in ein anderes kartesisches Koordinatensystem überführt.

Im Beispiel wird das Koordinatensystem zweimal translatorisch verschoben. Dies ist z.B. der Fall, wenn Sie die per Nullpunktverschiebung den Nullpunkt an die Ecke des Werkstücks setzen.

### Schwenken



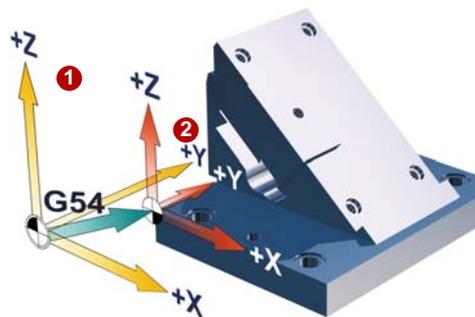
Das Werkzeug wird durch Bewegen der Rundachsen zur Bearbeitungsfläche ausgerichtet. Im Beispiel erfolgt eine Drehung der Rundachse B **1** und das Werkzeug wird angestellt zur XY-Ebene **2**. Die Bearbeitung erfolgt dann in dieser Ebene.

**TRAORI**

Das Werkzeug wird dynamisch während des Fräsvorgangs durch Interpolation von Linear- und Rundachsen zur Bearbeitungsfläche ausgerichtet. Die Werkzeuglänge wird berücksichtigt und die kinematischen Ausgleichsbewegungen werden bei der Drehung der Rundachsen durch die TRAORI-Funktion initiiert.

### 3.3 Koordinatensysteme transformieren - Frames

#### Koordinatensysteme



Maschinenkoordinatensystem **1** mit Referenzpunkt und Nullpunktverschiebung (G54, G55, ...) sind bekannte Begriffe.

Mittels Frames lassen sich die Koordinatensysteme so verschieben, drehen, spiegeln und skalieren, dass diese zur Werkstückfläche ausgerichtet sind. Dadurch lässt sich der Programmieraufwand auf ein Minimum reduzieren.

Mit Frames beschreibt man, ausgehend vom aktuellen Werkstückkoordinatensystem **2**, durch Angabe von Koordinaten und Winkeln, die Lage eines Zielkoordinatensystems.

#### Mögliche Frames sind

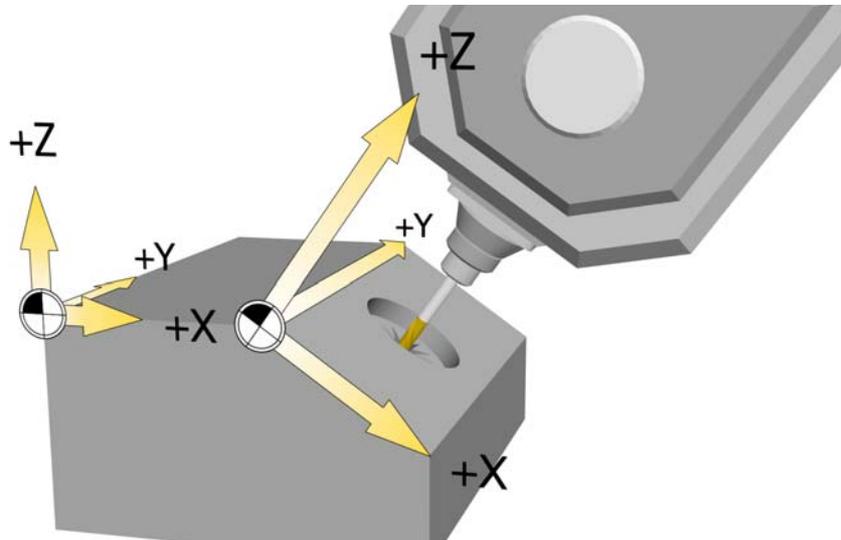
- Basisframe (Basisverschiebung, G500)
- einstellbare Frames (G54, G55...)
- programmierbare Frames (TRANS, ROT...)

Mit einer 5-Achs-Maschine ist es möglich auf Flächen zu arbeiten, die beliebig im Raum verschoben und verdreht sind. Das Werkstückkoordinatensystem muss nur über Frames verschoben und per Rotation in die schräge Fläche gelegt werden.

Genau dazu braucht man **FRAMES**. Alle nachfolgenden Verfahrkommandos beziehen sich jetzt auf das neue, mit Frames verschobene Werkstückkoordinatensystem.

### 3.4 Schwenken - CYCLE800

**Funktion**

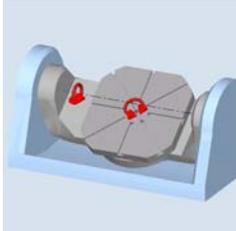
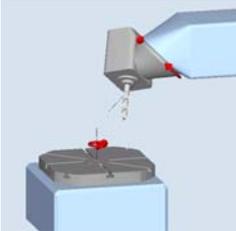


Mit Hilfe von Schwenkköpfen oder Schwenktischen können Sie schräge Ebenen bearbeiten und einrichten. Das Schwenken ist sowohl in der Betriebsart JOG wie auch im AUTOMATIK möglich. Bei der Parametrierung bzw. Programmierung des Schwenkens werden Sie durch die übersichtliche grafische Darstellung unterstützt. Dabei können Sie alle Schwenkachsen direkt an der Maschine (A, B, C) programmieren oder Sie können einfach die Drehungen um die Geometrieachsen (X, Y, Z) des Werkstückkoordinatensystems angeben, wie in der jeweiligen Werkstückzeichnung beschrieben. Die Drehung des Werkstückkoordinatensystems im Programm wird dann automatisch bei der Bearbeitung des Werkstücks in Drehungen der jeweiligen Schwenkachsen der Maschine umgerechnet.

Die Schwenkachsen werden dabei immer so eingedreht, dass die Bearbeitungsebene bei der anschließenden Bearbeitung senkrecht zur Werkzeugachse liegt. Während der Bearbeitung steht die Bearbeitungsebene dann fest.

Beim Schwenken der Achsen werden die aktiven Nullpunkte und Werkzeugkorrekturen automatisch für den geschwenkten Zustand umgerechnet und es entsteht ein neues Koordinatensystem.

**Maschinenkinematiken**

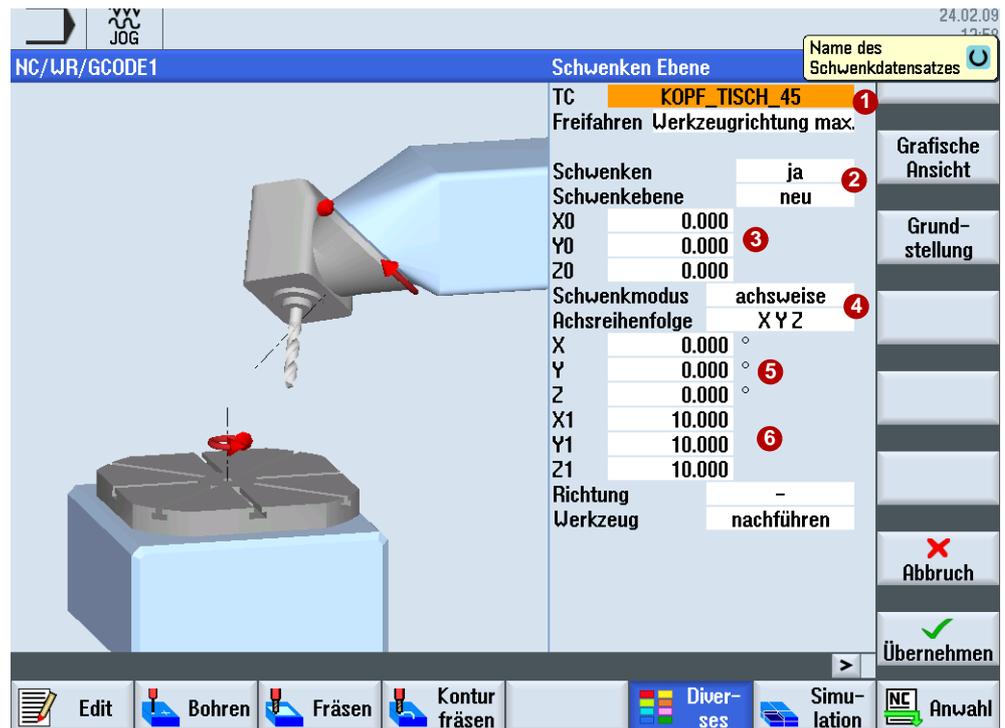
Schwenkkopf (Typ T)	Schwenktisch (Typ P)	Schwenkkopf + Schwenktisch (Typ M)
Schwenkbarer Werkzeugträger	Schwenkbarer Werkstückträger	Gemischte Kinematik
		

### Vorgehensweise bei der Programmierung des Schwenkens und nachfolgender Bearbeitung:

- ▶ Koordinatensystem in die zu bearbeitende Ebene schwenken.
- ▶ Bearbeitung wie gewohnt in der X-/Y- Ebene programmieren.
- ▶ Koordinatensystem wieder zurück schwenken.

### Grundsätzliche Vorgehensweise beim Einsatz des Schwenkzyklus

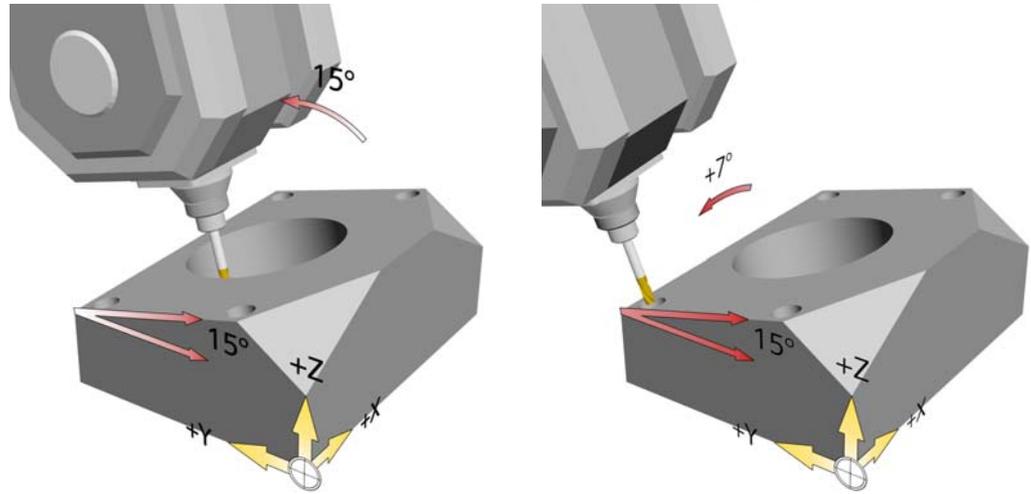
- ▶ Rufen Sie die Funktion **Schwenken** im Programm auf.
- ▶ Wählen Sie den Namen des Schwenkdatensatzes **1**.
- ▶ Wählen Sie für Schwenken ja, wenn Sie eine Schwenkbewegung machen wollen. Wählen Sie als Schwenkbewegung neu, wenn Sie eine neue Schwenkbewegung machen wollen, oder additiv, wenn Sie auf einer vorherigen Schwenkbewegung aufsetzen wollen **2**.
- ▶ Legen Sie den Bezugspunkt vor der Drehung fest (X0, Y0, Z0) **3**.
- ▶ Wählen Sie Schwenkmodus Achsweise, direkt oder über den Projektionswinkel **4**.
- ▶ Tragen Sie den Winkel ein, um den geschwenkt werden soll. Bei Achsweise können Sie für jede Achse den Winkel angeben **5**.
- ▶ Verschieben Sie den Nullpunkt auf der geschwenkten Ebene **6**.



**Beispielprogramm Schwenken in programGUIDE**

Im folgenden Beispiel werden Standard Fräs- und Bohrzyklen auf geschwenkten Arbeitsflächen angewendet.

- ▶ Planfräsen des Werkstücks.
- ▶ Schwenken der Bearbeitungsebene um X=-15 Grad und Fräsen einer Kreistasche.
- ▶ Schwenken um Y=-7 bzw. +7 Grad, Planstechen mit Fräser für die Bohrungen und erstellen von zwei Bohrungen unter den Winkeln +7 Grad und zwei Bohrungen unter -7 Grad.



```

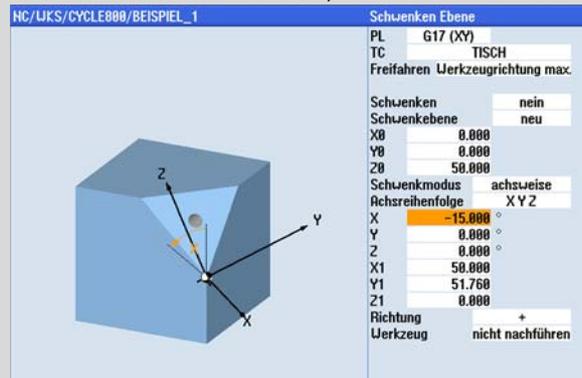
N100 ; Schwenken der Ebene in die Grundstellung
N110 CYCLE800(4,"TISCH",200000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,1,,1)
N120 ; Rohteildefinition für die Simulation
N130 G54)
N130 WORKPIECE(,,,"BOX",112,0,51,-80,-2.5,-2.5,102.5,102.5)
N140 T10 D1; T="FRAESER_D32"
N150 M06
N160 S5000 M03
N170 G0 G54 X0 Y0
N180 TRANS Z50 ;Verschieben des Nullpunkts in Z Werkstück Oberkante
N190 ;Planfräsen Werkstück in Grundstellung
N200 CYCLE61(10,1,5,0,0,0,100,100,1,20,0,2000,32,0,1,0)
N210 ;Schwenken in die Ebene_1 X=-15 GRAD
N220 CYCLE800(4,"TISCH",200000,57,0,0,50,-15,0,0,0,0,1,,1)
    
```

NC/LKS/CYCLE000/BEISPIEL_1		Schwenken Ebene
PL	G17 (XY)	
TC	TISCH	
Freifahren Werkzeugrichtung max.		
Schwenken	<input checked="" type="checkbox"/>	ja
Schwenkebene	<input type="checkbox"/>	neu
X0	0.000	
Y0	0.000	
Z0	50.000	
Schwenkmodus	achsweise	
Achsreihenfolge	X Y Z	
X	-15.000 °	
Y	0.000 °	
Z	0.000 °	
X1	0.000	
Y1	0.000	
Z1	0.000	
Richtung	<input checked="" type="checkbox"/>	+
Werkzeug	<input type="checkbox"/>	nicht nachführen

```

N230 ;Planfräsen Werkstück in Ebene_1
N240 CYCLE61(35,25.8,5,0,0,0,100,103.6,5,20,0.2,2000,31,0,1,0)
N250 T11 D1; T="FRAESER_D16"
N260 M06
N270 S8000 M03
N280 G54 X50 Y51.76 M08; Auf Taschenmitte vorpositionieren
N290 ; Kreistasche Schruppen und Schlichten Ebene_1
N300 POCKET4(10,0,2,-
15,40,50,51.76,5,0.1,0.1,2000,2000,0,21,80,0,,10,2.5,0,,10100,111,10)
N310 POCKET4(10,0,2,-
15,40,50,51.76,15,0.1,0.1,1000,1000,0,22,80,0,,5,2.5,0,,10100,111,10)
N320 T12 D1; T="FRAESER_D10"
N330 M06
N340 S6000 M03 F500
N350 G54 X0 Y0 M08
N360 ; Schwenken Ebene_1 mit neuem Mittelpunkt X1, Y1 berechnen X=-15 Grad
N370 CYCLE800(4,"TISCH",220000,57,0,0,50,-15,0,0,50,51.76,0,0,,1)

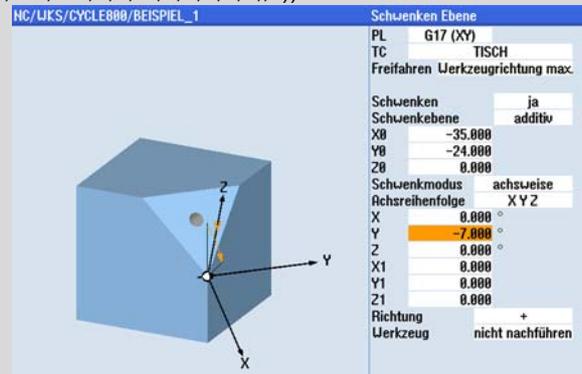
```



```

N380 ; Schwenken Ebene_1 additiv Y=-7 Grad
N390 CYCLE800(4,"TISCH",200001,57,-35,-24,0,0,-7,0,0,0,0,1,,1)

```



```

N400 ; Fläche -7 Grad mit Fräser Planstechen, damit der Bohrer später senkrecht eintaucht
N410 MCALL CYCLE82(10,0,5,-3,,1,0,1,12)
N420 G0 X0 Y0 M8
N430 X0 Y60
N440 MCALL
N450 ; Schwenken Ebene_1 mit neuem Mittelpunkt X1, Y1 berechnen X=-15 Grad

```

N460 N141 CYCLE800(4,"TISCH",220000,57,0,0,50,-15,0,0,50,51.76,0,0,,1)

NC/LKS/CYCLE800/BEISPIEL_1		Schwenken Ebene	
PL	G17 (XY)		
TC	TISCH		
Freifahren Werkzeugrichtung max.			
Schwenken	nein		
Schwenkebene	neu		
X0	0.000		
Y0	0.000		
Z0	50.000		
Schwenkmodus	achsweise		
Achsreihenfolge	X Y Z		
X	-15.000 °		
Y	0.000 °		
Z	0.000 °		
X1	50.000		
Y1	51.760		
Z1	0.000		
Richtung	+		
Werkzeug	nicht nachführen		

N465 ; Schwenken Ebene\_1 additiv Y=+7 Grad

N470 CYCLE800(4,"TISCH",200001,30,35,-24,0,7,0,0,0,0,1,,1)

NC/LKS/CYCLE800/BEISPIEL_1		Schwenken Ebene	
PL	G17 (XY)		
TC	TISCH		
Freifahren Werkzeugrichtung max.			
Schwenken	ja		
Schwenkebene	additiv		
X0	35.000		
Y0	-24.000		
Z0	0.000		
Schwenkmodus	achsweise		
Achsreihenfolge	Y Z X		
Y	7.000 °		
Z	0.000 °		
X	0.000 °		
X1	0.000		
Y1	0.000		
Z1	0.000		
Richtung	+		
Werkzeug	nicht nachführen		

N480 ; Fläche +7 Grad mit Fräser Planstechen, damit der Bohrer später senkrecht eintaucht

N490 MCALL CYCLE82(10,0,5,-3,,1,0,1,12)

N500 G0 X0 Y0 M8

N510 X0 Y60

N520 MCALL

N530 T13 D1; T="BOHRER\_D8.5"

N540 M6

N550 S4000 M3 F500 D1

N560 G54 G0 X0 Y0 M8

N570 ; Tieflochbohren D8.5 Y=+7 Grad

N580 MCALL CYCLE83(10,0,2,-20,-5,,054,0,100,0,0,4,1,0,0,0,1,11121112)

N590 G0 X0 Y0

N600 X0 Y60

N610 MCALL

N615 ; Schwenken Ebene\_1 mit neuem Mittelpunkt X1, Y1 berechnen X=-15 Grad

N620 CYCLE800(4,"TISCH",220000,57,0,0,50,-15,0,0,50,51.76,0,0,,1)

NC/LKS/CYCLE800/BEISPIEL_1	
PL	G17 (XY)
TC	TISCH
Freifahren	Werkzeugrichtung max.
Schwenken	nein
Schwenkebene	neu
X0	0.000
Y0	0.000
Z0	50.000
Schwenkmodus	achsweise
Achsreihenfolge	XYZ
X	-15.000 °
Y	0.000 °
Z	0.000 °
X1	50.000
Y1	51.760
Z1	0.000
Richtung	+
Werkzeug	nicht nachführen

N625 ; Schwenken Ebene\_1 additiv Y=-7 Grad

N630 CYCLE800(4,"TISCH",200001,54,-35,-24,0,-7,0,0,0,0,0,1,,1)

NC/LKS/CYCLE800/BEISPIEL_1	
PL	G17 (XY)
TC	TISCH
Freifahren	Werkzeugrichtung max.
Schwenken	ja
Schwenkebene	additiv
X0	-35.000
Y0	-24.000
Z0	0.000
Schwenkmodus	achsweise
Achsreihenfolge	YXZ
Y	-7.000 °
X	0.000 °
Z	0.000 °
X1	0.000
Y1	0.000
Z1	0.000
Richtung	+
Werkzeug	nicht nachführen

N640 ; Tieflochbohren D8.5 mit -7 Grad

N650 MCALL CYCLE83(10,0,2,-20,-,5,,054,0,100,0,0,4,1,0,0,0,1,11121112)

N660 G0 X0 Y0

N670 X0 Y60

N680 MCALL

N690 , Schwenken der Ebene in die Grundstellung

N700 CYCLE800(2,"TISCH",200000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,,1)

NC/LKS/CYCLE800/BEISPIEL_1	
PL	G17 (XY)
TC	TISCH
Freifahren	Festpunkt 2
Schwenken	ja
Schwenkebene	neu
X0	0.000
Y0	0.000
Z0	0.000
Schwenkmodus	achsweise
Achsreihenfolge	XYZ
X	0.000 °
Y	0.000 °
Z	0.000 °
X1	0.000
Y1	0.000
Z1	0.000
Richtung	+
Werkzeug	nicht nachführen

N710 ; Abwahl CYCLE800

N720 CYCLE800(0,"0",110000,57,,,,,0,0,0,,,,,0,,0)

N730 M30; Programmende

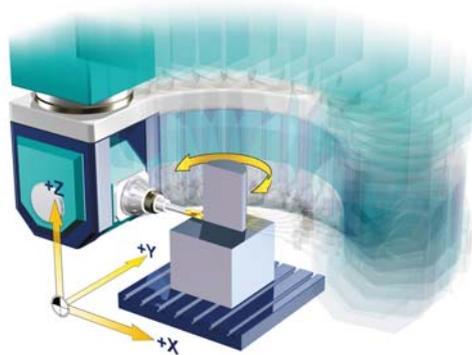
## 3.5 5-Achs-Transformation TRAORI

### 3.5.1 Kinematische 5-Achs-Transformation

Vergleicht man unterschiedliche Kinematiken untereinander, wird sofort klar, dass für die Bearbeitung von derselben Fläche unterschiedliche Maschinenbewegungen erforderlich sind und daher auch unterschiedliche NC-Programme erstellt werden müssten. Im Beispiel soll eine Zylindermantelfläche bearbeitet werden

#### Auswirkung der Kinematik auf die Maschinenbewegung

**Bewegungsablauf bei Kopf/Kopf Kinematik**      **Bewegungsablauf bei Tisch/Tisch**



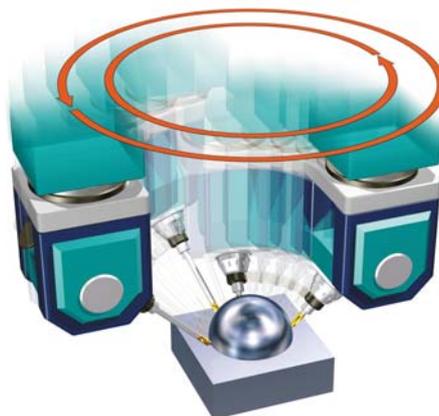
Für einen Umlauf muss in X/Y ein Halbkreis beschrieben werden und gleichzeitig das Werkzeug eine Drehung um Z, damit das Werkzeug immer senkrecht auf der Fläche steht.



Für einen Umlauf schwenkt der Tisch 90° um die A-Achse. Die C-Achse dreht jeweils um von +90° auf -90° und das Werkzeug verfährt in der Y-Achse.

#### Auswirkung der Werkzeuglänge auf die Maschinenbewegung

##### Unterschiedliche Werkzeuglänge



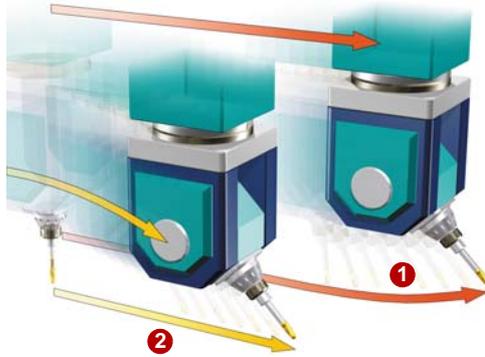
Im Beispiel sieht man, dass mit längerem Werkzeug sich die Ausgleichsbewegungen der Kinematik vergrößern.

Wurde das Programm mit einem CAM-System erzeugt, müsste mit jeder Änderung der Werkzeuglänge das Programm nochmals neu berechnet werden.

Von der Steuerung wird daher verlangt, dass ein berechnetes NC-Programm für alle Werkzeuglängen einsetzbar ist. Diese aktive Werkzeuglängekorrektur ist bei der SINUMERIK integriert und muss beim Programmieren nicht berücksichtigt werden.

### Auswirkung von Orientierungsänderungen des Werkzeugs

Änderung  
Werkzeugorientierung



Durch simultane Änderung der Werkzeugorientierung bei der Verfahrbewegung z. B. Anstellwinkel, beschreibt die Werkzeugspitze eine komplexe Kurvenbewegung und keine lineare Bewegung mehr ( 1 ).

Damit trotzdem eine Gerade gefräst werden kann, muss die Kinematik diese Kurve kompensieren, damit die Werkzeugspitze die gewünschte Bewegung ausführt ( 2 ).

Beim Beispiel mit den gelben Verfahrbewegungen ( 2 ) ist die Kompensation wirksam, die mit TRAORI bezeichnet wird.

Damit alle diese Anforderungen berücksichtigt werden, ist eine Transformation nötig, die kinematikunabhängige Programme auf die Steuerung transformiert und die Werkzeugkorrekturen und die Orientierung berücksichtigt - TRAORI von SINUMERIK.

### Vom Werkstückprogramm zur Maschinenbewegung

Üblicherweise werden NC-Programme bezogen auf das Werkstück erstellt, d. h. alle Werkzeugpositionen beziehen sich auf das Werkstückkoordinatensystem (WKS). Damit so ein NC-Programm auf der Maschine abgearbeitet werden kann, müssen die Positionen in Achsbewegungen transformiert d. h. auf das Maschinenkoordinatensystem (MKS) umgerechnet werden. Für diese Transformation besitzt die SINUMERIK die Funktion TRAORI.

### Was macht TRAORI

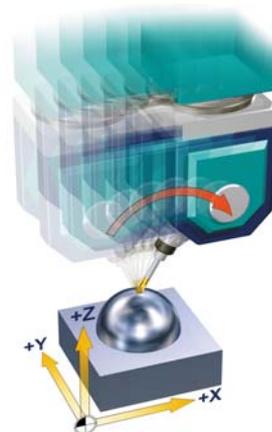
- Bei einer Orientierungsänderung des Werkzeugs mit ortsfester Werkzeugspitze (nur Rundachsen verfahren), werden die nötigen Ausgleichsbewegung in X, Y und Z errechnet
- Berücksichtigung der Werkzeuglängen und beziehen des Vorschubs auf die Werkzeugspitze

#### Ohne TRAORI



im NC-Programm wird eine Orientierungsänderung der B-Achse ohne Verfahrbewegung der Werkzeugspitze programmiert. Die Steuerung dreht einfach die Achse, die Werkzeugspitze bleibt **nicht ortsfest**.

#### Mit TRAORI



Die Steuerung erkennt, dass nur eine Orientierungsänderung programmiert wurde und lässt die Werkzeugspitze **ortsfest** und schwenkt die B-Achse.

## 3.5.2 Programmierung TRAORI

Die Programmierung von TRAORI hat mehrere Vorteile. Das Programm ist unabhängig von der Werkzeuglänge und der Maschinenkinematik, der Vorschub bezieht sich auf die Werkzeugspitze und es werden automatisch Ausgleichsbewegungen zur Kompensation der Rundachsbewegungen durchgeführt.

Um optimale Schnittbedingungen beim Bearbeiten räumlich gekrümmter Flächen zu erzielen, muss der Anstellwinkel des Werkzeugs veränderbar sein. Dazu sind zu den drei Linearachsen X, Y, Z noch mindestens eine oder zwei Rundachsen erforderlich. Die NC-Sätze werden durch die Orientierungsinformation z. B. A3, B3, C3 oder A, B und C erweitert.

Nach dem Einschalten der Transformation beziehen sich Positionsangaben (X, Y, Z) immer auf die Spitze des Werkzeugs, TCP. Änderung der Positionen der an der Transformation beteiligten Rundachsen führen zu solchen Ausgleichsbewegungen der übrigen Maschinenachsen, so dass die Position der Werkzeugspitze unverändert bleibt.

### Programmierung

TRAORI(n) ; Transformation ein  
TRAFOOF ; Transformation aus

### Erläuterung der Befehle

TRAORI	Aktiviert die erste projektierte Orientierungstransformation.
TRAORI(n)	Aktiviert die mit n projektierte Orientierungstransformation.
n	Nummer der Transformation (n = 1 oder 2), TRAORI(1) entspricht TRAORI.
TRAFOOF	Transformation ausschalten

### TIPP

TRAORI kann projektierungsabhängig (abhängig vom Maschinenhersteller) die aktive Nullpunktverschiebung (z. B. G54) und Werkzeugschneidenkorrektur (D1) zurücksetzen. Deshalb ist es empfehlenswert die Nullpunktverschiebung und die Werkzeugschneidenkorrektur nach dem Aufruf von TRAORI nochmals zu aktivieren.

### 3.5.3 Werkzeugorientierung

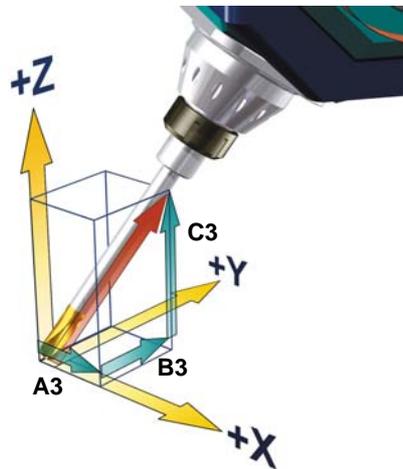
Für die 5-Achs-Simultan-Bearbeitung muss zusätzlich zur Sollposition des Bearbeitungspunkts, die Orientierung des Werkzeugs beschrieben werden. Zur Beschreibung der Werkzeugorientierung sind verschiedene Varianten üblich. In der Regel werden 5-Achs-Programme mit dem CAM-System erzeugt und der Postprozessor legt fest, welches Orientierungsverfahren verwendet wird. Die gebräuchlichsten Interpolationen sind hier kurz beschrieben.

#### Richtungsvektor (A3= B3= C3=)

#### Erläuterung der Befehle

**G1 X Y Z A3= B3= C3=** Programmierung des Richtungsvektors (empfohlen).

#### Programmierung Richtungsvektor



Die Komponenten des Richtungsvektors werden mit A3, B3, C3 programmiert. Der Vektor zeigt in Richtung Werkzeugaufnahme; die Länge des Vektors ist dabei ohne Bedeutung. Nicht programmierte Vektorkomponenten werden gleich Null gesetzt.

```
N020 TRAORI
N035 G54
N040 G1 X0 Y0 Z0 A3=1 B3=1 C3=1 F10000
...
```

Im Beispiel steht die Werkzeugspitze in der Position (0,0,0) und der Werkzeugschaft ist die Diagonale eines Würfels (35,26° zur X-Y-Ebene).

#### TIPP

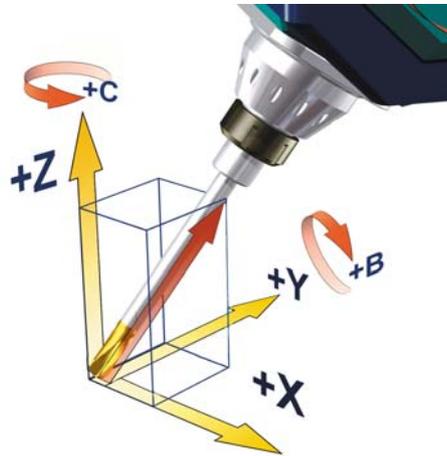
Es wird die Verwendung des Richtungsvektors empfohlen. Die Genauigkeit sollte dabei möglichst hoch gewählt werden. Die Praxis zeigt, dass bei 5-Achs-Programmen 5 Nachkommstellen bei den Linearachsen und 6 Stellen beim Richtungsvektor gute Ergebnisse liefern.

#### TIPP

Wenn Sie C3=1 programmieren richtet sich das Werkzeug entlang der Z-Achse aus. Dies kann z. B. hilfreich sein, um ein Werkzeug in Z-Richtung abzuheben bzw. aus einer Bohrung zurückzuziehen.

**Rundachspositionen (A= B= C=)****G1 X Y Z A B C**

Direkte Programmierung der Bewegung der Rundachsen A, B oder C. Die Rundachsen werden synchron zur Werkzeugbahn verfahren.

**Programmierung  
Rundachsen**

Die gleiche Position mit Werkzeugorientierung kann auch als Angabe über die Rundachsenpositionen erfolgen.

Die Position wie im obigen Beispiel würde wie folgt aussehen:

**N020 TRAORI****N035 G54****N040 G1 X0 Y0 Z0 B=54,73561 C=45 F10000**

...

Im Beispiel steht die Werkzeugspitze in der Position (0,0,0) und der Werkzeugschaft ist die Diagonale eines Würfels (35,26° zur X-Y-Ebene).

**TIPP**

Für die Genauigkeit der Rundachspositionen kann die gleiche Auflösung wie bei den Linearachsen verwendet werden. Eine höhere Anzahl der Nachkommastellen ist nicht nötig.

## ORIEULER/ORIRPY (A2 = B2= C2=)

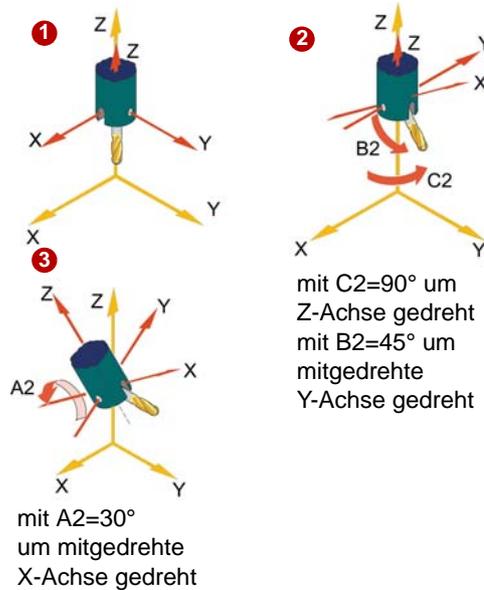
**ORIEULER**  
**ORIRPY**

Orientierungsprogrammierung über Euler-Winkel (Standard)  
ORIRPY Orientierungsprogrammierung über RPY-Winkel.

**G1 X Y Z A2= B2= C2=**

Programmierung über Eulerwinkel oder RPY-Winkel (Roll Pitch Yaw) oder G-Code. Über Maschinendatum wird die Interpretation festgelegt. Programmierung in Euler- oder RPY-Winkeln über A2, B2, C2 oder Programmierung des Richtungsvektors. Der Richtungsvektor zeigt von der Werkzeugspitze in Richtung Werkzeugaufnahme.

### Programmierung RPY-Winkel



Die bei der Orientierungsprogrammierung mit A2, B2, C2 programmierten Werte werden als RPY-Winkel (in Grad) interpretiert.

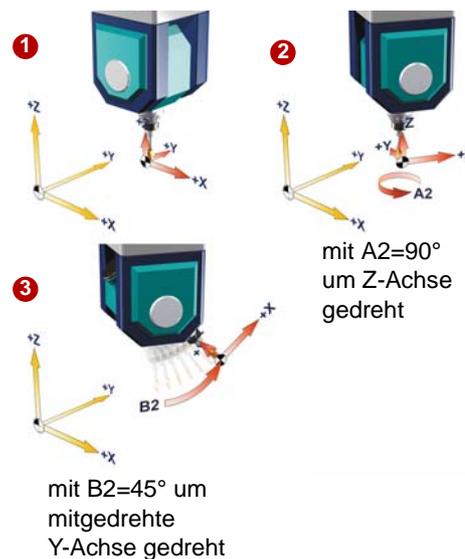
#### Von der Grundstellung 1 ausgehend:

Der Orientierungsvektor ergibt sich, indem ein Vektor in Z-Richtung zunächst mit C2 um die Z-Achse 2, dann mit B2 um die neue Y-Achse 3 und zuletzt mit A2 um die neue X-Achse gedreht wird (Z, Y', X''). Im Gegensatz zur Eulerwinkel-Programmierung haben hier alle drei Werte Einfluss auf den Orientierungsvektor.

#### Beispiel:

```
N020 TRAORI
N030 G54
N040 G0 X0 Y0 Z0
N050 C2=0 B2=0 A2=0 F10000
N060 C2=90 B2=45 A2=30
N070 ...
```

### Programmierung Eulerwinkel



Die bei der Orientierungsprogrammierung mit A2, B2, C2 programmierten Werte werden als Eulerwinkel (in Grad) interpretiert.

#### Von der Grundstellung 1 ausgehend:

Der Orientierungsvektor ergibt sich, indem ein Vektor in Z-Richtung zunächst mit A2 um die Z-Achse 2, dann mit B2 um die neue X-Achse 3 und zuletzt mit C2 um die neue Z-Achse gedreht wird (Z, X', Z'').

#### Beispiel:

```
N020 TRAORI
N030 G54
N040 G0 X0 Y0 Z0
N050 G1 A2=90 B2=45
N060 G1 A2=90 B2=45
N070 ...
```

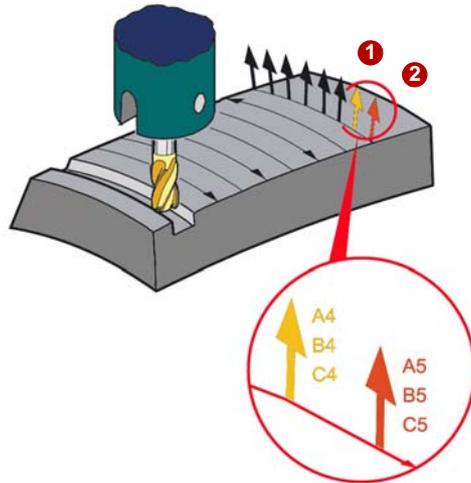
In diesem Fall ist der Wert von C2 (Drehung um die Z-Achse) bedeutungslos und muss nicht programmiert werden.

## Flächennormalenvektor (A4= B4= C4=) (A5= B5= C5=)

### Erläuterung der Befehle

<b>G1 X Y Z A4= B4= C4=</b>	<p>Programmierung des Flächennormalenvektors am Satzanfang.</p> <p>Diese Information wird unter anderem von CUT3DF für die 5-Achsbearbeitung verwendet.</p> <p>Im Zusammenhang mit LEAD und TILT ist damit eine weitere Möglichkeit zur Programmierung der Werkzeugorientierung gegeben. Dabei bezieht sich der LEAD- und TILT-Winkel auf den Normalenvektor A4 B4 C4. Die Orientierungsvektoren werden bei ORIPATH mit LEAD und TILT relativ zu den Normalenvektoren programmiert.</p>
<b>G1 X Y Z A5= B5= C5=</b>	<p>Programmierung des Flächennormalenvektors am Satzende.</p>

### Flächennormalenvektor



Der Flächennormalenvektor steht senkrecht zur Bearbeitungsfläche. Es wird die Bahnkrümmung beschrieben. Er ist notwendig für die Werkzeugausrichtung mit ORIPATH (LEAD, TILT) und für die Stirnradiuskorrektur mit CUT3DF.

Wird in einem Satz nur der Startvektor programmiert (A4, B4, C4) ①, so bedeutet das, dass der programmierte Flächennormalenvektor während des ganzen Satzes konstant bleibt.

Wird nur der Endvektor programmiert (A5, B5, C5) ②, so wird vom Endwert des vorherigen Satzes mittels Großkreisinterpolation zum programmierten Endwert interpoliert.

Sind sowohl Start- als auch Endvektor programmiert, so wird zwischen beiden Richtungen ebenfalls mittels Großkreisinterpolation interpoliert.

## LEAD/TILT

## Erläuterung der Befehle

**LEAD**

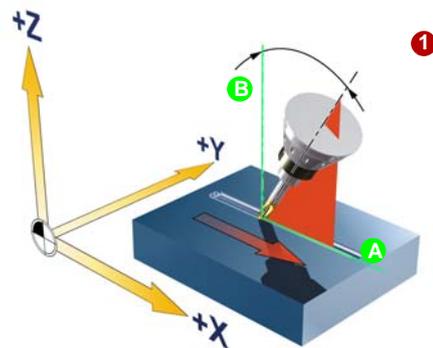
**Voreilwinkel** für die Programmierung der Werkzeugorientierung.

Winkel relativ zum Flächennormalenvektor, in der von Bahntangente und Flächennormalenvektor aufgespannten Ebene.

**TILT**

**Seitwärtswinkel** für die Programmierung der Werkzeugorientierung.

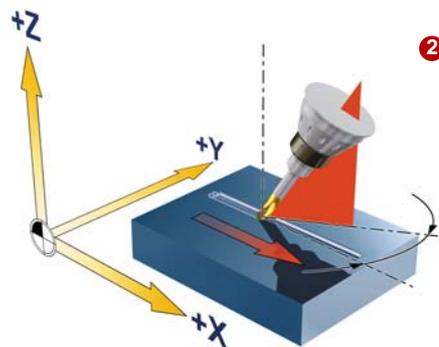
Der Winkel TILT beschreibt die Drehung des Leadwinkels um den Flächennormalenvektor

**LEAD und TILT**

Programmierung der Werkzeugorientierung mit LEAD und TILT in Verbindung mit ORIPATH.

Die resultierende Werkzeugorientierung wird ermittelt aus:

- Bahntangente **A**
- Flächennormalenvektor **B**
- Voreilwinkel LEAD **1**
- Seitwärtswinkel TILT am Satzende **2**



LEAD beschreibt den Winkel zwischen Flächennormalen zur neuen Werkzeugorientierung, in Richtung Bahntangente. Wird das Werkzeug aus dieser Stellung zusätzlich um die Flächennormale gedreht, entspricht dies dem Winkel TILT.

LEAD und TILT wird auch programmiert, wenn das Werkzeug einen festen Anstellwinkel zur Bearbeitungsrichtung einnehmen soll, z. B. damit die Bearbeitung nicht im Fräsermittelpunkt bei Schnittgeschwindigkeit=0 erfolgt.

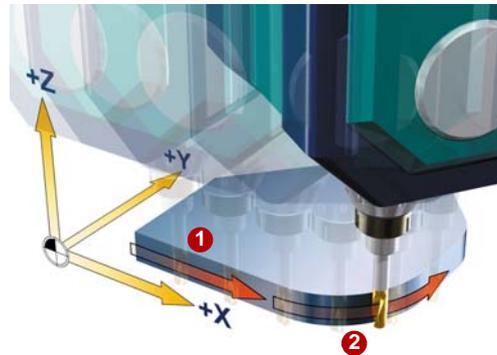
```

N10 TRAORI
N15 G54
N20 ORIWKS
N30 ORIPATH
N40 CUT3DF
N50 ANFANG: ROT X=R20
N60 G0 X=260 Y0 A3=1 B3=0 C3=0
N70 G1 Z0 LEAD=5 TILT=10
N80 G41 X240.000 Y0.000 A5=1 B5=0.000
C5=0.000
  
```

### 3.5.4 Orientierungsinterpolation und Orientierungsbezug

Eine 5-Achs-Maschine kann das Werkzeug in beliebiger Orientierung zum Werkstück stellen. Um von einer Orientierung zu einer anderen zu kommen, müssen Zwischenpositionen interpoliert werden, da diese im NC-Programm nicht angegeben werden. Mit diesen Zwischenpositionen wird der Weg von der Start- zur Endorientierung beschrieben.

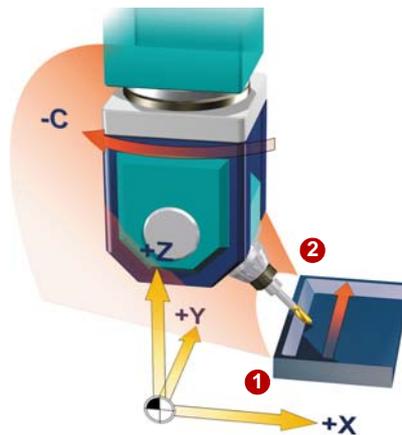
#### Orientierung im 2-D-Bereich



Im 2-D-Bereich werden, um von einer Position zu einer anderen zu gelangen, die bekannten Interpolationsarten verwendet:

- Gerade G1 ①
- Kreis G2, G3 ②
- Polynom, B-Spline (o. Abb.)

#### Orientierung im 3-D-Bereich



Im 3-D-Bereich finden unterschiedliche Interpolationsarten Verwendung. Im Beispiel verfährt das Werkzeug beim Fräsen einer 45°-Schräge einer Taschenwand von Position ① nach ②. A- und C-Achse drehen sich harmonisch während der Bewegung damit das Werkzeug entlang der Taschenkanten orientiert wird.

Diese Interpolation wird Großkreisinterpolation oder auch Vektorinterpolation genannt.

Die gebräuchlichsten Interpolationsarten finden Sie in den folgenden Ausführungen.

### Orientierungsbezug des Koordinatensystem (ORIMKS, ORIWKS)

Der Bezug für die Rundachsinterpolation wird mit den G-Code Befehlen ORIMKS/ORIWKS festgelegt.

#### **ORIMKS** Werkzeugorientierung im Maschinen-Koordinatensystem.

Bei **ORIMKS** bezieht sich die programmierte Orientierung auf das Koordinatensystem, das durch die Maschinenachsen definiert ist. Drehung des Frames werden hier nicht berücksichtigt.

Es werden dabei die tatsächlichen Bewegungen der Maschinenachsen programmiert, z.B. um Kollisionen mit Vorrichtungen zu vermeiden, oder aus Gründen der Maschinensimulation am CAM. Die Bewegung des Werkzeugs ist hier abhängig von der Maschinenkinematik.

Die Interpolation bei Orientierungsänderungen muss hier ORIAXES sein und wird über ein Maschinendatum festgelegt. Die tatsächliche programmierten Achsen bestimmen hier den Bewegungsablauf der Maschine und hängen somit von der Maschinenkinematik ab.

#### **ORIWKS** Werkzeugorientierung im Werkstück-Koordinatensystem.

Bei **ORIWKS** bezieht sich die programmierte Orientierung auf das Werkstück-Koordinatensystem, das über ein Frame gegenüber dem Maschinen-Koordinatensystem verdreht sein kann.

Wird verwendet bei der Programmierung im Werkstück-Koordinatensystem mit:

- ▶ Euler oder RPY Winkeln oder
- ▶ Orientierungsvektor

Hier wird die relative Position und Orientierung der Werkzeugspitze im Bezug auf das Werkstück programmiert. Die Bewegung des Werkzeugs ist hier unabhängig von der Maschinenkinematik. Wie die Orientierungsänderungen interpoliert werden (ORIVECT oder ORIAXES), wird über ein Maschinendatum festgelegt. Welche Bewegungen die Maschine dann tatsächlich ausführt, hängt von der Maschinenkinematik ab.

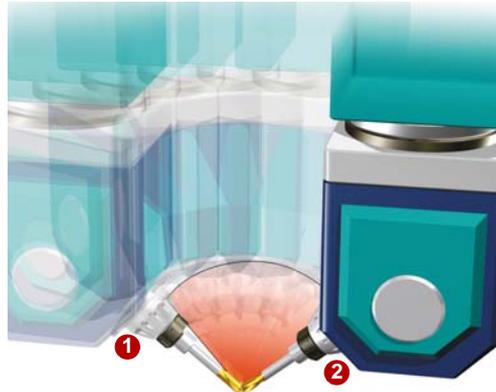
Ist bei einem 5-Achs-Programm nicht von vornherein klar, auf welcher Maschine es ablaufen soll, so ist grundsätzlich ORIWKS zu wählen. Welche Bewegungen die Maschine tatsächlich ausführt, hängt von der Maschinenkinematik ab.

Orientierungsbezug	
<b>ORIMKS</b>	Bezugssystem für den Orientierungsvektor ist das Maschinenkoordinatensystem.
<b>ORIWKS</b> (empfohlen)	Bezugssystem für den Orientierungsvektor ist das Werkstückkoordinatensystem. Die genaue Wirkung wird über ein Maschinendatum eingestellt.

**Orientierungsinterpolationen der Achsen**

**Linearinterpolation (ORIXES)**

*Linearinterpolation  
(ORIXES)*



Bei der Linearinterpolation von einer ① Start- zu einer ② Endorientierung werden die erforderlichen Rundachsbewegungen in äquidistante Abschnitte unterteilt. Dies führt dazu, dass z. B. beim Umfangsfräsen von schrägen Wänden keine ebene Wandfläche entsteht. Durch den Einsatz von hinreichend kleinen Interpolationsschritten versuchen CAM-Systemen diesen Effekt zu kompensieren. Für beste Ergebnisse sollte für solche Anwendungsfälle eine andere Interpolationsart z. B. die Vektorinterpolation verwendet werden. ORIXES wird beim Programmieren am CAM-System bei der Bearbeitung von Freiformflächen im Werkzeug- und Formenbau empfohlen

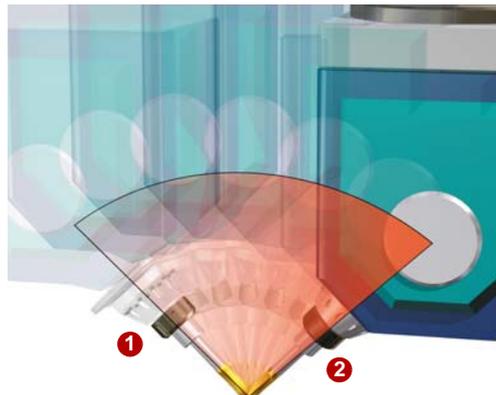
**Achs-/Linearinterpolation**

**ORIXES**  
(empfohlen)

Lineare Interpolation der Maschinenachsen bzw. Interpolation der Rundachsen mittels Polynomen (bei aktivem POLY)

**Vektorinterpolation (ORIVECT/ORIPLANE)**

*Vektorinterpolation  
Großkreisinterpolation  
(ORIVECT/ORIPLANE)*



Bei der Vektorinterpolation von einer Start- zu einer Endorientierung wird der Weg so interpoliert, dass der Orientierungsvektor in einer Ebene verläuft, die vom Anfangs- und Endvektor aufgespannt wird.

Der Winkel zwischen Start- und Endvektor wird bei konstanter Geschwindigkeit in äquidistante Schritte aufgeteilt. Mit Hilfe dieser Orientierungsinterpolation können beispielsweise geneigte, ebene Wände in einem Satz exakt bearbeitet werden.

**Anwendungsgebiete:**

- Strukturbauteile in der Flugzeugindustrie
- Stirnfräsen von Formenbauanwendungen

**Vektorinterpolation**

**ORIVECT**

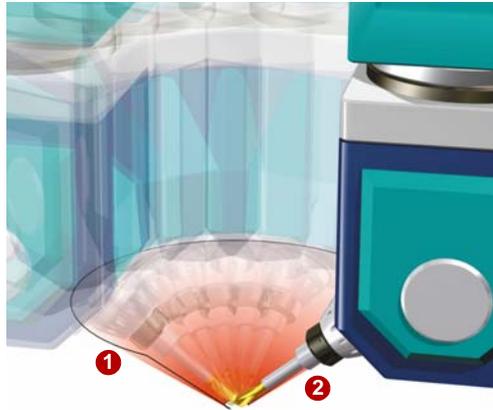
Interpolation des Orientierungsvektors in einer Ebene (Großkreisinterpolation)

**ORIPLANE**

Interpolation in einer Ebene (Großkreisinterpolation), identisch zu ORIVECT

## Kegelmantelinterpolation (ORICONxx)

**Kegelmantel-  
interpolation  
(ORICONCW)**

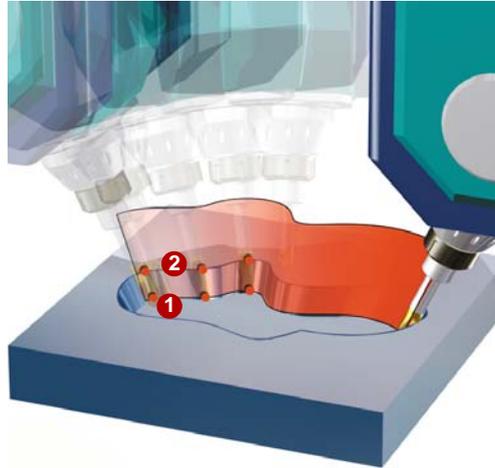


Bei der Kegelmantelinterpolation bewegt sich das Werkzeug bei der Umlagerung auf einer programmierbaren, beliebig im Raum befindlichen Kegelmantelfläche.

Vektorinterpolation	
<b>ORICONCW</b>	<p>Interpolation auf einer Kegelmantelfläche im Uhrzeigersinn</p> <p>Programmierung:            Kreisendpunkt mit Radius: G2 X.. Y.. Z.. CR=            Endorientierung Vektor: A3= B3= C3= or A2= B2= C2=            Vektor der Drehachse des Kegels: A6= B6= C6=            Öffnungswinkel des Kegels (PSI) Wert 0 -180 Grad: NUT=</p>
<b>ORICONCCW</b>	<p>Interpolation auf einer Kegelmantelfläche gegen den Uhrzeigersinn</p> <p>Programmierung:            Kreisendpunkt mit Radius: G3 X.. Y.. Z.. CR=            Endorientierung Vektor: A3= B3= C3= or A2= B2= C2=            Vektor der Drehachse des Kegels: A6= B6= C6=            Öffnungswinkel des Kegels (PSI) Wert 0 -180 Grad: NUT=</p>
<b>ORICONIO</b>	<p>Zwischenorientierung über A7=... B7=..., C7=....</p> <p>Programmierung:            Kreisendpunkt: CIP X.. Y.. Z..            Kreis Zwischenpunkt: I1=.. J2=.. K1=..            Zwischenorientierung Vektor: A7=.. B7=.. C7=..            Endorientierung Vektor: A3= B3= C3= or A2= B2= C2=</p>
<b>ORICONT0</b>	<p>Interpolation auf einer Kegelmantelfläche mit tangentialem Übergang.</p> <p>Programmierung:            Kreisendpunkt: CT X.. Y.. Z..            Endorientierung Vektor: A3= B3= C3= or A2= B2= C2=</p>

### Spline-Interpolation (Doppelspline ORICURVE)

#### Spline-Interpolation Kubeninterpolation (ORICURVE)



Bei der Spline-Interpolation wird die Bewegung des Orientierungsvektors durch die Bahn der Werkzeugspitze **1** und die Bahn eines zweiten Punktes auf dem Werkzeug **2** beschrieben.

Soll z. B. durch Umfangsfräsen eine Schräge Fläche erzeugt werden, würde man die Fläche, auf der sich der Fräser bewegen soll, durch die zwei Splinekurven am oberen und unteren Ende des Werkzeugs definierten (**1**, **2**).

Dies hat den Vorteil, dass eine große Vielfalt von Flächen die bearbeitet werden sollen, exakt beschrieben werden können.

Die Spline-Interpolation ist die beste aber auch die aufwändigste Interpolationsvariante und benötigt eine spezielle Syntax im NC-Programm, die vom CAM-System unterstützt werden muss.

#### Spline-/Doppelspline-Interpolation

##### ORICURVE

Orientierungsinterpolation mit Vorgabe der Bewegung der Werkzeugspitze und eines zweiten Punktes auf dem Werkzeug. Die Bahn des zweiten Punktes wird über XH=... YH=... ZH=... definiert, in Verbindung mit BSPLINE als Kontrollpolygon mit POLY als Polynom:

PO[XH] = (xe, x2, x3, x4, x5)

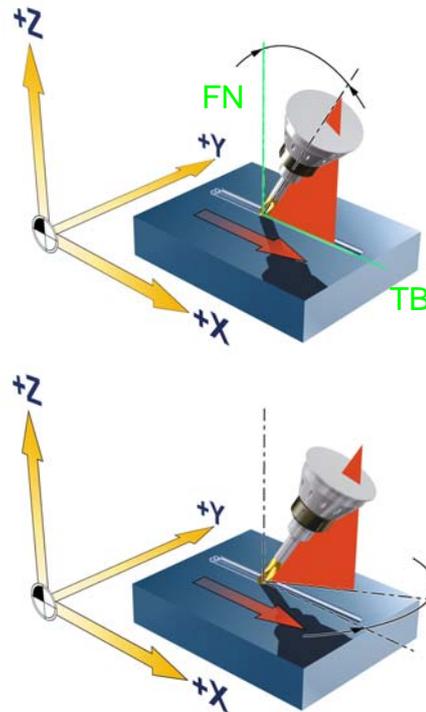
PO[YH] = (ye, y2, y3, y4, y5)

PO[ZH] = (ze, z2, z3, z4, z5)

Ohne Zusatzinfo BSPLINE oder POLY erfolgt einfach Linearinterpolation entsprechend von Start- zur Endorientierung.

### Bahnrelative Interpolation (ORIPATH)

**Bahnrelative  
Interpolation**



Bei ORIPATH wird eine Werkzeugorientierung mit den Befehlen LEAD und TILT bezogen auf die Bahntangente (TB) mit Angabe der Flächennormalen (FN) programmiert. Dies hat den Vorteil, dass bei Anwendung einer 3D-Werkzeugradiuskorrektur mit CUT3DF zusätzlich für Werkzeuge, die vom Normwerkzeug abweichen, durch die Steuerung kompensiert werden kann. Anwendung dafür wäre z.B. Aufmaß beim Stirnfräsen von Freiformflächen. Sind sowohl Start- als auch Endvektor programmiert, so wird zwischen beiden Richtungen eine Fläche aufgespannt und mittels Großkreisinterpolation interpoliert. Dies verbessert die Werkzeugführung und führt somit zu besseren Oberflächen bei der Bearbeitung.

Die Orientierungsinterpolation mit ORIPATH wird beim Programmieren am CAM-System bei der Bearbeitung von Freiformflächen im Werkzeug- und Formenbau empfohlen. Voraussetzung dafür ist die Unterstützung der Ausgabe von Flächennormalen Ihres CAM-Systems.

#### Bahnrelative Interpolation

##### ORIPATH

Werkzeugorientierung bezogen auf die Bahn.

Wird in Verbindung mit den Befehlen LEAD und TILT und Angabe der Flächennormalen mit A4, B4, C4 und A5, B5, C5 verwendet.

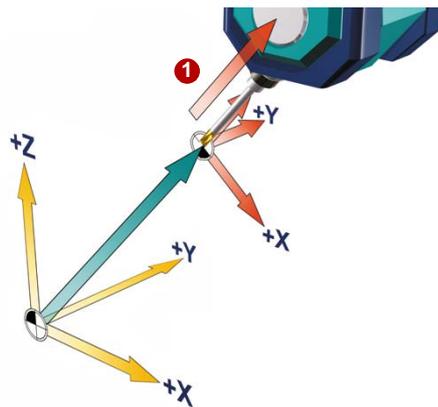
### 3.5.5 Beispiel zur Anwendung von TRAORI und Frames

#### Beispiel TOROT - Freifahren aus schräger Bohrung

TOROT erzeugt bei aktiver 5-Achstransformation einen Frame, dessen Z-Achse mit der aktuellen Werkzeugausrichtung übereinstimmt. Damit kann z. B. nach einem Werkzeugbruch bei einem 5-Achsprogramm kollisionsfrei freigefahren werden, indem man die Z-Achse zurückzieht. Nach einer Werkzeugausrichtung mit TOROT beziehen sich alle programmierten Geometrieachsbewegungen auf den dadurch erzeugten Frame.

#### TOROT im MDA programmieren

N110	TRAORI	; TRAFO einschalten
N120	TOROT	; Errechnen und Auswählen Rückzugsframe
N130	G1 G91 Z50 F500	; Gerade Rückzugsbewegung in Z-Richtung um 50mm
N140	M17	; Unterpogrammende



Es wird ein Frame erzeugt, in dem die aktuelle Werkzeugausrichtung in Z-Richtung liegt **1**. im JOG-Betrieb kann dann das Werkzeug in Z-Richtung vom Werkstück zurückgezogen werden.

Wenn nicht inkremental in MDA-Mode verfahren wird, kann alternativ in Betriebsart JOG per Richtungstaste in Werkzeugrichtung zurückgezogen werden.

#### Achtung:

Für Rückzug in Betriebsart JOG muss die Maschine entsprechend konfiguriert sein (Z-Achse ist Geometrieachse).

#### TOROT nach Bearbeitungsebene

TOROT bei G17

TOROTY bei G18 -> Werkzeugachse Y

TOROTX bei G19 -> Werkzeugachse X

**TIPP**

Vor dem nächsten Programmstart ist TOROT abzuwählen: TOROTOF.

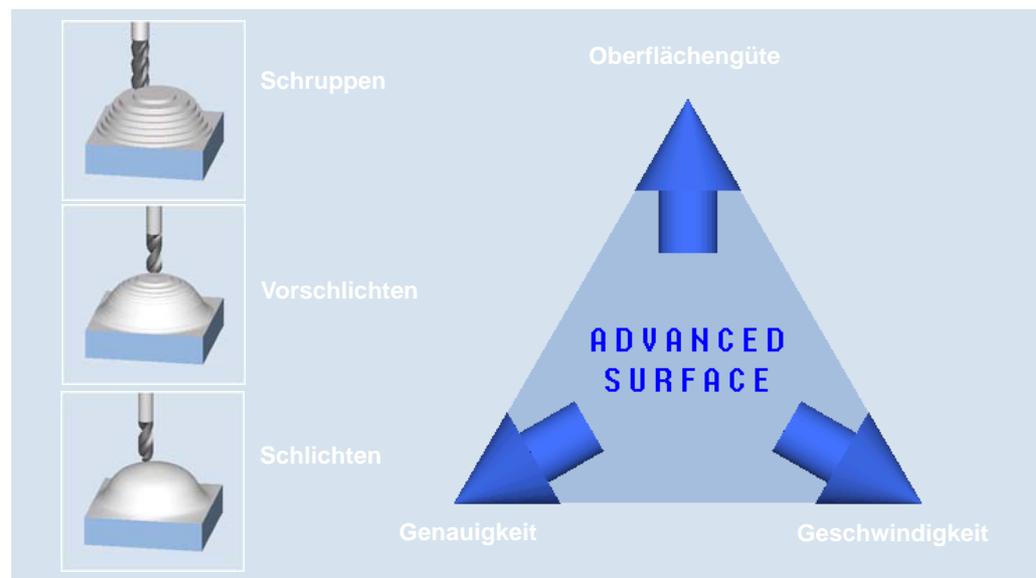
## 3.6 High Speed Settings - CYCLE832 Advanced Surface

### Anwendung

Mit dem CYCLE832 der SINUMERIK können Sie den Ablauf von NC-Programmen beeinflussen. Er dient zur technologischen Unterstützung bei der 3- und 5-Achs-Bearbeitung im Hochgeschwindigkeitsbearbeitungsbereich (High Speed Cutting - HSC). Im CYCLE832 kann zwischen den vier verschiedenen Bearbeitungsarten der Technologiegruppe Dynamik G-Gruppe 59 gewählt und deren Dynamikparameter aktiviert werden.

Der CYCLE832 kann sowohl vom Bediener an der Maschine als auch bei der Generierung der NC-Programme vom Postprozessor bzw. vom Programmierer gesetzt werden. Dynamik Werte und NC-Befehle können anwenderspezifisch angepasst werden und sind von den Einstellungen der Maschinendaten abhängig (Maschinenhersteller).

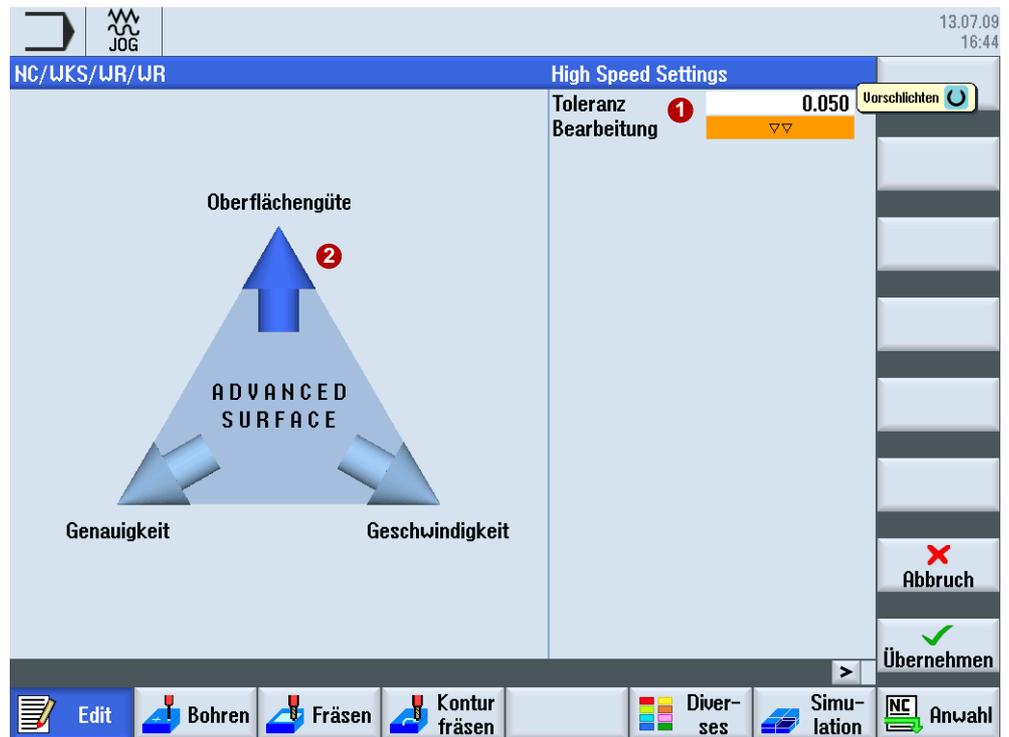
Zur individuellen Anpassung steht der Herstellerzyklus CUST\_832 zur Verfügung. Dieser wird entsprechend der Maschine individuell vom Maschinenhersteller angepasst. Im CUST\_832 werden auch die NC-Befehle für Advanced Surface eingestellt.



Beim Abarbeiten von CAM-Programmen mit kürzesten NC-Sätzen im HSC-Bereich müssen von der Steuerung hohe Bearbeitungsvorschübe von >10 m/min erzielt werden. Durch verschiedene Bearbeitungsstrategien können Sie mit Hilfe des CYCLE832 das Programm feinstabstimmen.

- Bei der **Schruppbearbeitung** wird durch Überschleifen der Kontur die Gewichtung auf die Geschwindigkeit gelegt.
- Bei der **Schlichtbearbeitung** wird die Gewichtung auf die Oberflächengüte und Genauigkeit gelegt.

In beiden Fällen wird durch Angabe einer Toleranz die Bearbeitungskontur eingehalten, um die gewünschte Oberflächengüte bzw. -genauigkeit zu erreichen. Bei der Schruppbearbeitung wird in der Regel die Toleranz größer als bei der Schlichtbearbeitung gewählt.

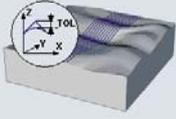


Entsprechend der Parameter-Wahl ① zeigen die blauen Pfeile ② entweder in Richtung "Geschwindigkeit", "Oberflächengüte" oder in Richtung "Genauigkeit".

### Parameter für den High Speed Setting Zyklus

Der Anwender muss im Feld **Bearbeitung** nur zwischen Abwahl, Schlichten, Vorschlichten und Schruppen wählen und im Feld **Toleranz** einen Wert angeben.

#### Parameter CYCLE832

<p><b>Toleranz_Tol.</b></p> 	<p><input checked="" type="checkbox"/> Sehnentoleranz (Sehnentoleranz ist vom CAM-System 1:1 zu übernehmen)</p>	<p>Toleranz der Linearachsen</p>
<p><b>Bearbeitung</b></p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Schlichten (default)  <input type="checkbox"/> Vorschlichten  <input type="checkbox"/> Schruppen  <input type="checkbox"/> Abwahl</p>	<p>Mit dem Aufruf "Abwahl" werden die Werte auf die voreingestellten Werte zurückgesetzt.</p>

**Hinweis**  Der CYCLE832 beruht auf der Verwendung von G1-Sätzen, je nach Maschineneinstellung auch G0, G2 und G3.

### Struktur CYCLE832

Idealerweise programmieren Sie den CYCLE832 im übergeordneten NC-Rahmenprogramm, das das Geometrieprogramm aufruft. Hierdurch können Sie den Zyklus auf die gesamte Geometrie oder, je nach Transparenz des CAM-Programms, auf einzelne Programmabschnitte bzw. Freiformflächen anwenden.

#### CYCLE832(Toleranz, Technologie, Version)

Programmierung des Zyklus:

- Toleranz
- Technologie
  - 0 = Abwahl
  - 1 = Schlichten (Finish)
  - 2 = Vorschlichten (Semifinish)
  - 3 = Schruppen (Rough)
- Version CYCLE832
  - 0 = bis SW 7.5
  - 1 = ab SW 2.6 (SINUMERIK Operate)

#### CYCLE832(0.05,2,1)

CYCLE832 für Vorschlichten mit der Toleranz 0.05.

#### Programmierbeispiel CYCLE832

N10	T1 D1	; TRAFO einschalten
N20	G54	; Wkz-Nullpunkt anwählen
N30	M3 S1200	; Spindeldrehrichtung rechts und Drehzahl
N40	CYCLE832(0.05,3,1)	; <b>Toleranzwert 0.05</b>
N50		; [3] = Schruppen, [1] = ab SW 2.6
N60	EXTCALL „CAM_SCHRUPP“	; Aufruf Unterprogramm CAM_SCHRUPP
N70	CYCLE832(0.005,1,1)	; <b>Toleranzwert 0.005</b>
N80		; [1] = Schlichten, [1]= ab SW 2.6
N90	EXTCALL „CAM_SCHLICHT“	; Aufruf Unterprogramm CAM_SCHLICHT
N100	M30	

In den folgenden Kapiteln finden Sie die relevanten Maschinenfunktionen wie z. B. Kompressor, Look Ahead daher nur kurz zum Verständnis erklärt, da diese durch den CYCLE832 bzw. dem CUST\_832 automatisch mit den optimalen Werten aufgerufen werden.

### Programmierbare Verschleiftoleranz CTOL und OTOL

Mit dem CYCLE832 wurde bisher die Toleranz für Linear- und Rundachsen beim Verschleifen gesetzt. Ab SW 2.7 wird dies über die Funktionen CTOL (Konturtoleranz) und OTOL (Orientierungstoleranz) realisiert. Weitere Informationen dazu finden Sie im nächsten Kapitel Advanced Surface.



**Die Anwendung der hier aufgeführten Funktionen setzen eine ordnungsgemäße Optimierung der CNC-Maschine durch den Maschinenhersteller voraus.**

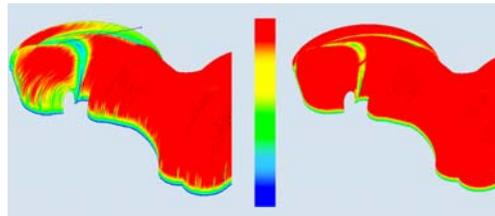
### 3.7 Advanced Surface - NC-Befehle

Unter den Begriff Advanced Surface bündelt die SINUMERIK eine Reihe neuer Funktionen, die in die Steuerung eingeflossen sind. Diese neue, intelligente Bewegungsführung bedeutet für Sie als Anwender eine optimale Werkstückoberfläche bei gleichzeitig höchster Bearbeitungsgeschwindigkeit. Advanced Surface wird automatisch aktiv, wenn Sie mit dem CYCLE832 arbeiten.

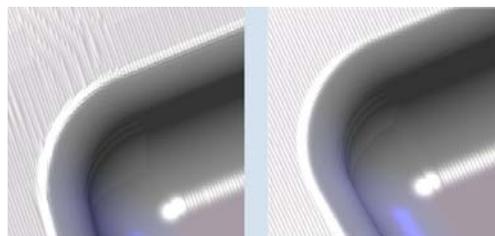
Beim Einsatz der neuen Bewegungsführung trägt ein optimierter „Look Ahead“ zu perfekter Oberflächengüte durch reproduzierbare Ergebnisse in benachbarten Fräsbahnen, Genauigkeit und gesteigerter Geschwindigkeit bei. Der neue, optimierte Kompressor sorgt dabei für exakte Konturgenauigkeit und höchste Bearbeitungsgeschwindigkeiten. Eine intelligente Ruckbegrenzung schont dabei die Mechanik der Maschine. Sie ermöglicht ein bei aller Dynamik sanftes Beschleunigen und Abbremsen der Achsen und verlängert so die Lebensdauer der Maschine.

Ein wesentlicher Fortschritt ist die selbsttätige Harmonisierung der Geschwindigkeitsprofile auf benachbarten Fräsbahnen durch die CNC. Sie wirkt auch beim Vorwärts-/Rückwärts-Abzeilen von Konturen und Freiformflächen und führt unmittelbar zu einer höheren Oberflächenqualität – genauer gesagt: zu perfekten Werkstückoberflächen.

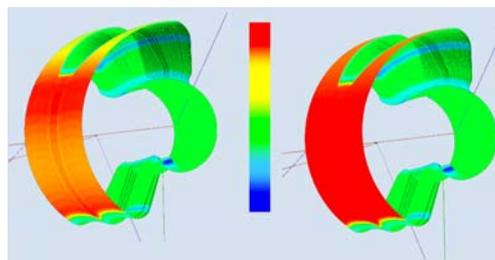
**Ohne**                      **Mit**  
**Advanced Surface**      **Advanced Surface**



Höhere Bearbeitungsgeschwindigkeit durch ein verbessertes Geschwindigkeitsprofil. Die roten Bereiche zeigen die maximale Geschwindigkeit an.



Perfekte Oberflächenqualität durch reproduzierbare Ergebnisse in benachbarten Fräsbahnen. Die Oberfläche ist wesentlich homogener.



Der Kompressor arbeitet nicht nur über G1-Sätze, sondern komprimiert auch Eilgangbewegungen G0 durch Überschleifen. Die Geschwindigkeit ist während der gesamten Bearbeitung gleichbleibend hoch (rote Bereiche).

### NC-Befehle in Verbindung mit Advanced Surface

Die folgenden NC-Code Befehle sind im CUST\_832.SPF voreingestellt und werden bei der Anwahl der Technologiegruppen im CYCLE832 in Verbindung mit der Option „Advanced Surface“ aktiviert:

- DYNNORM, DYNROUGH, DYNSEMIFIN, DYNFINISH (G-Code Gruppe 59).
- COMPCAD ermöglicht, Teileprogramme mit kurzen Linearsätzen (G1), toleranzbehaftet mittels Polynomen zusammenzufassen.
- SOFT (G-Code Gruppe 21) aktiviert die ruckbegrenzte Geschwindigkeitsführung.
- G645 (G-Code Gruppe 10) schalten den Bahnsteuerbetrieb (Look Ahead) ein.
- FIFCTRL (G-Code Gruppe 4) schaltet die automatische Vorlaufspeichersteuerung ein.
- FFWON (G-Code Gruppe 24) schaltet die parametrisierte Vorsteuerung ein (Drehzahl oder Beschleunigungsvorsteuerung).

### Wichtige NC-Befehle für die 5-Achsbearbeitung

Die folgenden NC-Code Befehle können im CUST\_832.SPF vom Maschinenhersteller voreingestellt werden.

- TRAORI schaltet die in den Trafo-Maschinendaten Eingestellte 5-Achstransformation auf und muss allein im Satz programmiert werden.
- UPATH (G-Code-Gruppe 45) schaltet den Bahnparameter ein, der für die 5-Achsinterpolation entwickelt wurde.
- ORIXES (G-Code-Gruppe 51) interpoliert die Orientierungsachsen im Satz linear zum Satzendpunkt hin.
- ORIWKS (G-Code-Gruppe 25) legt als Bezugssystem für die Orientierungsinterpolation das Werkstückkoordinatensystem fest.
- ORISON (G-Code Gruppe 61) aktiviert die Orientierungsglättung bei 5-Achsbearbeitung mit aktiver 5-Achstransformation (TRAORI).

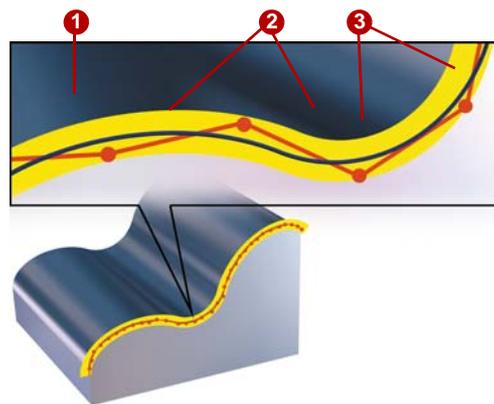
### 3.7.1 Kompressor – COMPCAD

Der Kompressor wird im CYCLE832 aufgerufen. Soll er separat programmiert werden, ist wie nachfolgend beschrieben vorzugehen. Gemeinsames Ziel der Kompressor-Funktionen ist eine Optimierung der Oberflächengüte und Bearbeitungsgeschwindigkeit durch stetige Satzübergänge und Vergrößerung der Bahnlänge pro Satz. Per Maschinendatum kann eingestellt werden, ob nur G1-Sätze oder auch G2/G3- bzw. G0-Sätze mit komprimiert werden sollen.

#### Erläuterung der Befehle

<b>COMPOF</b>	Kompressor aus
<b>COMPCAD (empfohlen)</b>	Kompressor ein, weitere Optimierung bezüglich Oberflächengüte und Geschwindigkeit. COMPCAD glättet den Punktverlauf vor der Approximation (B-Spline) und bietet bei hoher Bahngeschwindigkeit höchste Genauigkeit mit beschleunigungsstetigen Übergängen.  Vorzugsweise für das Fräsen von <b>Freiformflächen (empfohlen)</b> .
<b>COMPCURV</b>	Kompressor ein.  Sätze werden durch ein Polynom angenähert. Die Satzübergänge sind ruckstetig. Vorzugsweise für das <b>Umfangsfräsen</b> .

#### Wirkungsweise Kompressor



Der Kompressor fasst entsprechend des eingestellten Toleranzbandes **1** eine Sequenz von G1-Befehlen **2** zusammen und komprimiert diese zu einem Spline **3**, der direkt von der Steuerung ausführbar ist. Es entsteht eine neue Kontur, deren Konturverlauf innerhalb des angegebenen Toleranzschlauches liegt.

Der Kompressor erzeugt glatte und krümmungsstetige Bahnen. Durch die Krümmungsstetigkeit wird ein stetiger Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf erreicht und daher können an der Maschine höhere Geschwindigkeiten gefahren werden, die die Produktivität erhöhen.

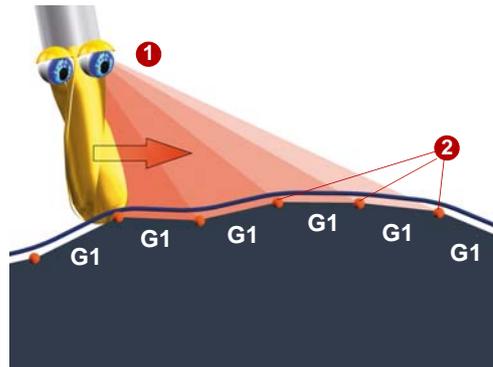
### 3.7.2 Bahnsteuerbetrieb, Look Ahead – G64, G645

Im Bahnsteuerbetrieb wird die Bahngeschwindigkeit am Satzende zum Satzwechsel nicht auf eine Geschwindigkeit abgebremst, die ein Erreichen des Genauhaltkriteriums ermöglicht. Ziel ist dagegen, ein größeres Abbremsen der Bahnachsen am Satzwechsellpunkt zu vermeiden, um mit möglichst gleicher Bahngeschwindigkeit in den nächsten Satz zu wechseln. Um dieses Ziel zu erreichen, wird mit Anwahl des Bahnsteuerbetriebs zusätzlich die Funktion "Look Ahead" aktiviert.

#### Erläuterung der Befehle

<b>G64</b>	Bahnsteuerbetrieb – <b>Look Ahead</b> mit Abbremsen nur an Ecken
<b>G645 (empfohlen)</b>	<p>Bahnsteuerbetrieb mit Überschleifen von Ecken und tangentialer Satzübergänge unter Einhaltung definierter Toleranzen.</p> <p>Die Überschleifbewegung bei G645 wird so festgelegt, dass alle beteiligten Achsen keinen Sprung in der Beschleunigung erfahren und die parametrisierten maximalen Abweichungen zur Originalkontur nicht überschritten werden.</p> <p><b>Im Zusammenhang mit Adanced Surface wird empfohlen nur mit G645 zu arbeiten.</b></p>

#### Anwendung von G64, G645



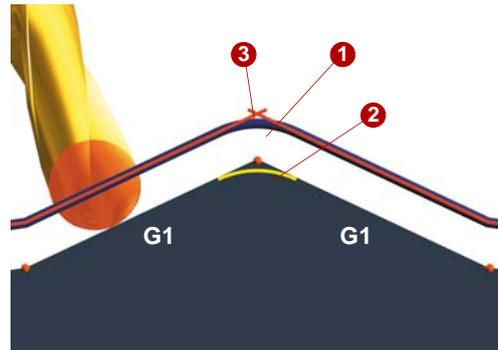
Ziel des Bahnsteuerbetriebs ist die Erhöhung der Geschwindigkeit und die Harmonisierung des Fahrverhaltens. Dies wird durch zwei Funktionen realisiert.

#### **Look Ahead – vorausschauende Geschwindigkeitsführung ①**

Die Steuerung berechnet mehrere NC-Sätze voraus und ermittelt ein satzübergreifendes Geschwindigkeitsprofil. Die Art, wie diese Geschwindigkeitsführung berechnet wird, ist über die Funktionen G64 usw. einstellbar.

#### **Ecken verschleifen ②**

Durch das Vorausschauen ist die Steuerung jetzt auch in der Lage, die erkannten Ecken zu verschleifen. D.h. die programmierten Eckpunkte werden nicht exakt angefahren. Scharfe Ecken können verschliffen werden. Durch diese beiden Funktionen wird die Kontur mit gleichförmigem Bahngeschwindigkeitsprofil erstellt. Dies bewirkt bessere Schnittbedingungen, erhöht die Oberflächenqualität und verringert die Bearbeitungszeit.



Um scharfe Ecken **3** zu verschleifen, bildet z. B. der Bahnsteuerbefehl **G645** Übergangselemente **1**, **2** an den Satzgrenzen. Durch die Art, wie sie diese Übergangselemente bilden, unterscheiden sich die Bahnsteuerbefehle.

Mit **G645** werden auch bei tangentialen Satzübergängen Überschleifsätze gebildet, wenn der Krümmungsverlauf der Originalkontur in mindestens einer Achse einen Sprung aufweist.

**TIPP**

Wir empfehlen bei Freiformflächenanwendungen **G645**.

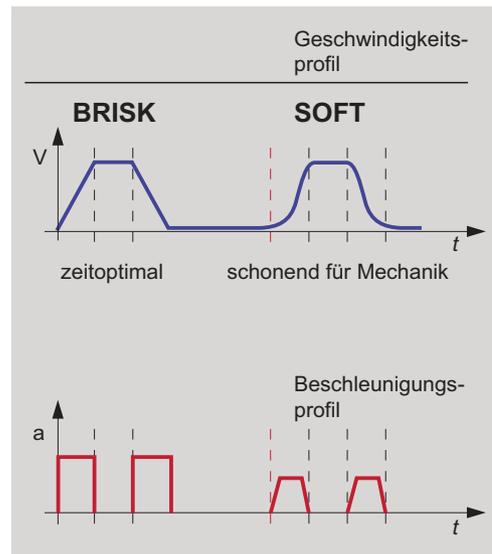
### 3.7.3 Vorsteuerung und Ruckbegrenzung – FFWON, SOFT, ...

Vorsteuerung und Ruckbegrenzung werden im CUST\_832 in Kombination beider Funktionen aufrufen, da gerade in der Kombination ideale Bedingungen für das Freiformflächenfräsen möglich sind. Diese Funktionen werden vom Maschinenhersteller eingestellt.

#### Erläuterung der Befehle

<b>FFWON</b> (empfohlen)	Vorsteuerung "ein"
<b>FFWOF</b>	Vorsteuerung "aus"
<b>BRISK</b> (nicht empfohlen)	<b>Ohne Ruckbegrenzung</b> Sprunghafte Beschleunigung der Bahnachsen
<b>SOFT</b> (empfohlen)	<b>Mit Ruckbegrenzung</b> Ruckbegrenzte Beschleunigung der Bahnachsen Axiale Ruckbegrenzung

#### Funktion Ruckbegrenzung



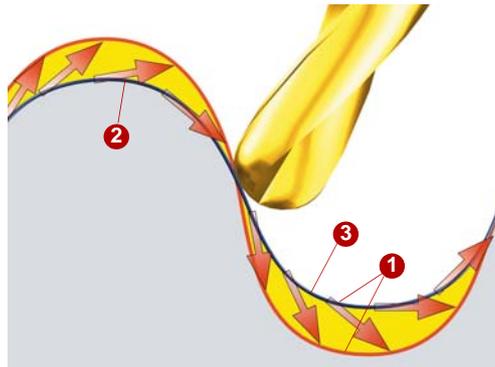
Um Beschleunigungen möglichst maschinenschonend durchzuführen, kann das Beschleunigungsprofil der Achsen über die Kommandos **Soft**, **Brisk** beeinflusst werden. Ist **Soft** aktiviert, ändert sich das Beschleunigungsverhalten nicht sprunghaft, sondern wird über eine lineare Charakteristik erhöht. Dies wirkt maschinenschonend und verbessert die Oberflächenqualität von Werkstücken, da Resonanzen der Maschine weit weniger angeregt werden.

#### **BRISK:**

Beschleunigungsverhalten: sprunghafte Beschleunigung der Bahnachsen entsprechend des eingestellten Maschinendatums. Die Achsschlitten fahren mit maximaler Beschleunigung bis zum Erreichen der Vorschubgeschwindigkeit. BRISK ermöglicht zeitoptimales Arbeiten, allerdings mit Sprüngen im Beschleunigungsverlauf.

#### **SOFT:**

Beschleunigungsverhalten: ruckbegrenzte Beschleunigung der Bahnachsen. Die Achsschlitten fahren mit stetiger Beschleunigung bis zum Erreichen der Vorschubgeschwindigkeit. Durch den ruckfreien Beschleunigungsverlauf ermöglicht **SOFT** höhere Bahngenauigkeit und geringere Maschinenbelastung.



#### Funktion Vorsteuerung.

Der Schleppfehler erzeugt bei nicht vorgesteuerten Achsen eine geschwindigkeitsabhängige Konturverfälschung **1**. Sie äußert sich in der Regel durch eine Radiuseinengung **3** an gekrümmten Konturen. Der Schleppfehler hängt vom eingestellten Kv-Faktor (mechanikabhängig) und der gefahrenen Achsgeschwindigkeit ab.

Durch die Vorsteuerung **FWON** wird der geschwindigkeitsabhängige Schleppfehler beim Bahnfahren gegen Null reduziert. Fahren mit Vorsteuerung ermöglicht höhere Bahn Genauigkeit und damit bessere Fertigungsergebnisse.

### 3.7.4 Verschleiftoleranz CTOL, OTOL, ATOL

Mit dem CYCLE832 wurde bisher die Toleranz für Linear- und Rundachsen beim Verschleifen gesetzt. Ab SW 2.7 wird dies über die Funktionen CTOL (Konturtoleranz), OTOL (Orientierungtoleranz) und ATOL (achsenspezifische Toleranz) realisiert.

Mit den Befehlen CTOL, OTOL und ATOL können die, über Maschinen- und Settingdaten festgelegten Bearbeitungstoleranzen, für die Kompressor-Funktionen (COMPCAD), die Überschleifarten G645 und die Orientierungsglättung ORISON im NC-Programm angepasst werden.

Der Toleranzwert für CTOL wird durch den CYCLE832 gesetzt. OTOL wird im Zyklus berechnet. Da OTOL im Default auch auf ORISON wirkt, ist mit Aktivierung von ORISON im Zyklus (oder von Hand) darauf zu achten, dass die Orientierungstoleranz nicht zu groß wird, da sonst eine zu starke Orientierungsglättung die Folge ist. Meist wird das Überziehen bei Schruppoperationen auftreten.

### 3.7.5 Bahnbezug UPATH/SPATH

Während der Polynominterpolation können zwei unterschiedliche Beziehungen zwischen der Geschwindigkeit bestimmenden FGROU- Achsen und den übrigen Bahnachsen gewünscht sein. Die nicht in der FGROU enthaltenen Bahnachsen sollen entweder synchron zum Bahnweg der FGROU-Achsen oder synchron zum Kurvenparameter geführt werden. Für die nicht in FGROU enthaltenen Achsen gibt es daher zwei Möglichkeiten, der Bahn zu folgen:

- SPATH synchron zum Weg S
- UPATH synchron zum Kurvenparameter

Beide Arten der Bahninterpolation werden für unterschiedliche Anwendungen benötigt und können durch die G-Codes SPATH und UPATH umgeschaltet werden.

**Hinweis** UPATH wird bei der Programmierung mit aktiver 5-Achstransformation (TRAORI) empfohlen und ist im Herstellerzyklus CUST\_832 voreingestellt.

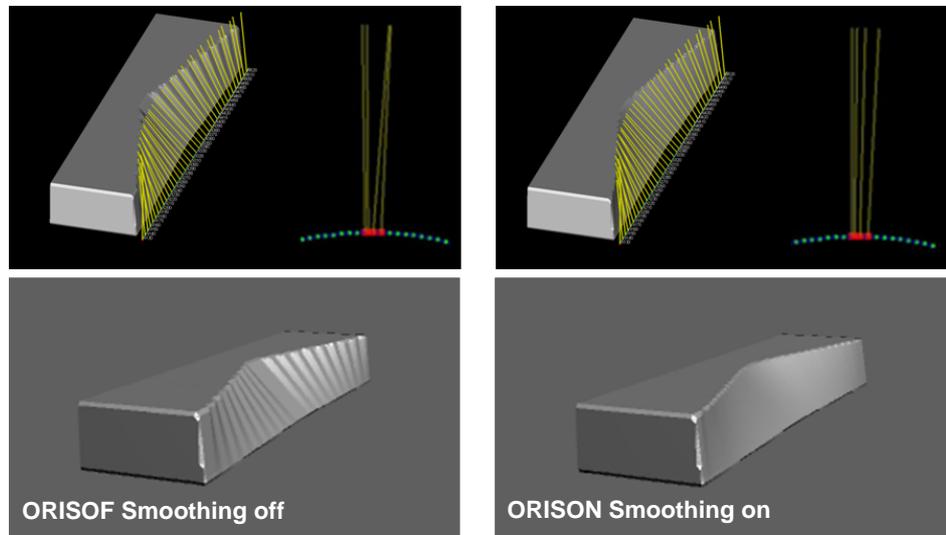
### 3.7.6 Glättung des Orientierungsverlaufs (ORISON, ORISOF)

Mit der Funktion ORISON können Schwankungen der Orientierung über mehrere Sätze hinweg geglättet werden. Dadurch wird ein glatter Verlauf sowohl der Orientierung als auch der Kontur und dadurch ein harmonischeres Verfahren der Achsen erzielt.

Bei von CAD/CAM-Systemen generierten 5-Achsprogrammen, in denen die Fräsbahnen und Richtungsvektoren für das Werkzeug festgelegt sind, enthalten die Programme in der Regel minimale Unstetigkeiten in der Werkzeugausrichtung. Selbst wenn diese Abweichungen nur minimal sind, führen sie zu Ausgleichsbewegungen in den Linearachsen, die sich in einer verlangsamten Bewegung oder sogar im Stopp der Bahnbewegung zeigen. Die Folge sind sichtbare Spuren auf der Werkstückoberfläche und eine höhere Bearbeitungszeit.

Mit ORISON wird die Orientierung unabhängig zur Kontur geglättet damit können höhere Toleranzen in den Rundachsen verwendet werden. Dadurch ergeben sich höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten bzw. geringere Bearbeitungszeiten, da die Rundachsen durch die Toleranzvorgaben weniger abgebremst werden.

**Hinweise** Die Orientierungsglättung ORISON ist nicht Teil des CYCLE832 und muss deshalb separat im NC-Programm im Fall eines 5-Achsprogramms mit Orientierungsinterpolation mit gewünschter Vektorglättung programmiert werden. Soll die Funktion ORISON bei aktiver 5-Achstransformation automatisch aktiviert werden, dann kann diese Einstellung im CUST\_832 vom OEM vorgenommen werden. Der NC-Befehl ORISON wird in Abhängigkeit von der Orientierungstoleranz im Herstellerzyklus CUST\_832 aktiviert.



#### ORISON programmieren

N110	TRAORI	; Einschalten der Orientierungstransformation.
N120	CYCLE832(0.005,1,1)	
N130	ORISON	; Einschalten der Orientierungsglättung
N140	OTOL=0.5	; Toleranz angeben
N150	G1 X10 A3=1 B3=0 C3=1	; Geometrieprogramm
	...	
N990	ORISOF	; Ausschalten der Orientierungsglättung

### 3.7.7 Vorlaufspeichersteuerung FIFOCTRL

Formenbauprogramme werden generell direkt von der Festplatte oder einem externen Speichermedium (z.B. USB-Stick, CF-Karte) abgearbeitet. Die maximale Anzahl der NC-Blöcke die in den NC-Speicher geladen werden, ist in einem Maschinendatum einstellbar.

Bei der Abarbeitung dieser NC-Programmen kann es zu einem Leerlaufen des Interpolationsspeichers kommen. Dabei stoppt die NC, bis dann wieder Daten nachgeladen werden. Um diesem Leerlaufen entgegenzuwirken, wird die Vorlaufspeichersteuerung FIFOCTRL verwendet. Bei sehr geringen Punkteabständen in einem Formenbauprogramm ist es notwendig den Füllstand so hoch wie möglich zu halten, um einen Leerlauf gegen 0% (Interpolationseinbruch) zu vermeiden.

Die Vorlaufspeichersteuerung FIFOCTRL wird von CYCLE832 bzw. CUST\_832 automatisch aufgerufen.

**Den Füllstand des Interpolatorbuffers können Sie so öffnen:**

- Wählen Sie im Menü **Diagnose > Softkey Systemauslastung**.

	Aktuell	Minimum	Maximum
Lageregler	0.083 ms	0.074 ms	0.188 ms
Interpolator	0.375 ms	0.025 ms	0.722 ms
Vorlauf	0.283 ms	0.058 ms	295.886 ms
NC-Belastung durch Lageregler und Interpolator:	13.60 %	6.17 %	28.35 %
Füllstand des Interpolatorpuffers:	100 %		

### 3.7.8 Technologie G-Gruppen

Mittels der G-Gruppe "Technologie" kann für 5 unterschiedliche technologische Bearbeitungen die dazu passende Dynamik an der Maschine aktiviert werden. Die Dynamikwerte und die G-Codes werden vom Maschinenhersteller projektiert und eingestellt.

**Über die G-Code-Gruppe Technologie sind fünf Dynamikeinstellungen verfügbar:**

- DYNORM für Standardeinstellung Dynamik
- DYNPOS für Positionierbetrieb, Gewindebohren
- DYNROUGH für Schruppen
- DYNSEMIFIN für Vorschlichten
- DYNFINISH für Schlichten

Die G-Gruppen werden bei der Anwahl der Bearbeitung z. B. Schlichten oder Schruppen des CYCLE832 bzw. CUST\_832 automatisch geschaltet und sind wirksam.

Mit den Technologie G-Gruppen können Dynamikparameter an den jeweiligen Bearbeitungsvorgang angepasst werden. Mit den Befehlen der Technologie G-Gruppe 59 wird der Wert von Kanal- und achsspezifischen Maschinendaten mit dem entsprechenden Feldindex aktiviert. Dies sind z. B. Ruck- und Beschleunigungswerte.

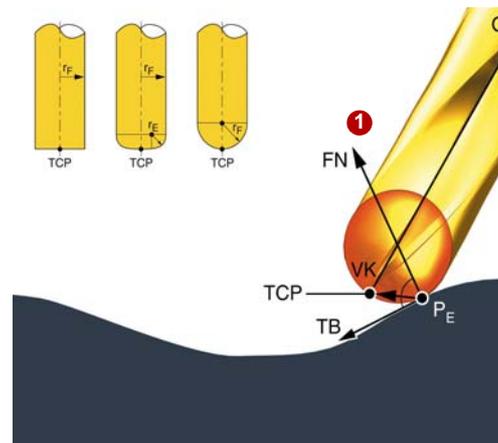
### 3.8 3D-Werkzeugradiuskorrekturen

Mit der Werkzeugkorrektur wird ein CNC-Programm unabhängig vom Werkzeugradius. Die Werkzeugradiuskorrektur ist im 2 ½ D-Bereich bekannt. Im 3D-Bereich, speziell beim 5-Achsfräsen ergeben sich komplexere Zusammenhänge.

#### Einfluss des Werkzeugradius beim Stirnfräsen mit CUT3DF

Für die Radiuskorrektur beim Stirnfräsen mit CUT3DF muss neben der Angabe der Fräsergeometrie noch die Korrekturrichtung bekannt sein. Die Korrekturrichtung wird aus der Flächennormalen, aus der Werkzeugrichtung und der Werkzeuggeometrie berechnet.

#### Korrekturrichtung Kugelfräser



Bei einer Bahn im Raum muss senkrecht zu der Fläche, auf der die Bahn verläuft, korrigiert werden.

D. h., dass die Korrekturrichtung durch den Normalenvektor (FN) ①, der Fläche im Eingriffspunkt beschrieben wird. Im Bild sind die relevanten Geometriedaten eingetragen.

Das CAM muss die Flächennormale mit jedem NC-Satz mitliefern. Mit diesen Angaben kann die Steuerung die Radiuskorrektur durchführen und den Werkzeugeingriffspunkt ( $P_E$ ) berechnen.

**FN** Flächennormale  
**TCP** Tool Center Point  
 **$P_E$**  Eingriffspunkt  
**TB** Bahntangente  
**VK** Korrekturvektor

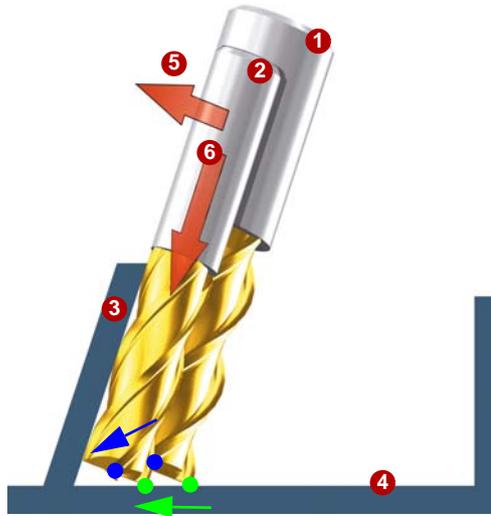
#### TIPP

Generell sind nur kleine Radiusänderungen gegenüber dem Normwerkzeug (Radius, mit dem das CAM-Programm gerechnet hat) korrigierbar. Ein kleinerer Fräseradius, lässt sich problemlos verrechnen, führt aber zu einer veränderten Rauhtiefe. Bei einem größeren Radius besteht Kollisionsgefahr des Werkzeugs mit der Werkstückkontur.

### Einfluss der Werkzeugradiuskorrektur beim 5-achsigen Umfangsfräsen unter Berücksichtigung der Grenzfläche (CUT3DCC)

Eine Tasche soll mit einem kleineren Fräser ausgeräumt werden. Die Seitenwand steht nicht senkrecht auf der Bodenfläche. Die Werkzeugradiuskorrektur mit einem kleineren Werkzeug wird von der Steuerung unterstützt. Eine typische Anwendung für diese Funktion findet man insbesondere bei Strukturbauteilen der Flugzeugindustrie.

#### Umfangsfräsen



- 1 Normwerkzeug (Werkzeug aus CAM)
- 2 Werkzeug mit kleinerem Radius
- 3 Bearbeitungsfläche, Innenfläche
- 4 Begrenzungsfläche Taschenboden
- 5 Korrektur zur Bearbeitungsfläche
- 6 Korrektur zur Begrenzungsfläche

Die Steuerung berücksichtigt, dass nicht nur in Richtung Bearbeitungsfläche **5** korrigiert, sondern auch in Werkzeugrichtung **6** zugestellt werden muss, damit der Eingriffspunkt (grün) auf Höhe des Taschenbodens liegt. Dadurch verschiebt sich der TCP (blau) in Richtung des Taschenbodens.

#### Erläuterung der Befehle

<b>G40</b>	Deaktivierung aller Varianten
<b>G41</b>	Aktivierung bei Umfangfräsen Korrekturrichtung links
<b>G42</b>	Aktivierung bei Umfangfräsen Korrekturrichtung rechts
<b>G450</b>	Kreise an Außenecken (Alle Korrekturtypen)
<b>G451</b>	Schnittpunktverfahren an Außenecken (alle Korrekturtypen)

#### 2 1/2D-Umfangsfräsen

<b>CUT2D</b>	2 1/2D-KORREKTUR mit Korrektorebene durch G17 – G19 bestimmt
<b>CUT2DF</b>	2 1/2D-KORREKTUR mit Korrektorebene durch Frame bestimmt

#### 3D-Umfangsfräsen

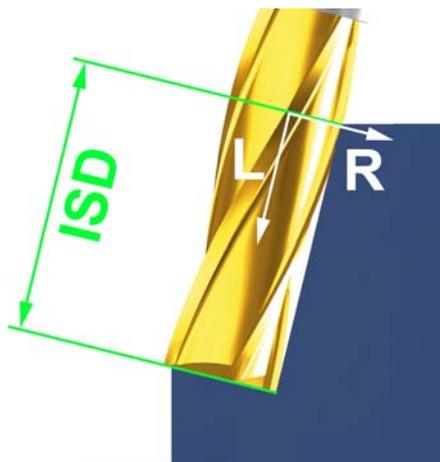
<b>CUT3DC</b>	Korrektur senkrecht zur Bahntangente und zur WZ-Orientierung
---------------	--

<b>ORID</b>	Keine Orientierungsänderungen in eingefügten Kreissätzen an Außenecken. Orientierungsbewegung wird in den Linearsätzen durchgeführt.
<b>ORIC</b>	Verfahrstrecke wird durch Kreise verlängert. Die Orientierungsänderung wird anteilig auch im Kreis ausgeführt.
<b>Stirnfräsen</b>	
<b>CUT3DFS</b>	Konstante Orientierung (3-achsig). Werkzeug zeigt in Z-Richtung des über G17 - G19 definierten Koordinatensystems. Frames haben keinen Einfluss.
<b>CUT3DFF</b>	Konstante Orientierung (3-achsig). Werkzeug in Z-Richtung des aktuell über Frame definierten Koordinatensystems.
<b>CUT3DF</b>	5-achsig mit variabler Werkzeugorientierung
<b>3D-Umfangfräsen mit Begrenzungsfläche (Kombiniertes Umfangs-/Stirnfräsen)</b>	
<b>CUT3DCC</b>	CNC-Programm bezieht sich auf die Kontur an der Bearbeitungsfläche.
<b>CUT3DCCD</b>	Das CNC-Programm bezieht sich auf die Werkzeugmittelpunktsbahn.

### Programmierbeispiel für das Umfangfräsen

Eine Werkstückkontur am Umfang soll gefräst werden. Programmiert werden soll ab der Oberkante Werkstück und die Eintauchtiefe ISD wird verrechnet. Im Beispiel wird rechts korrigiert und mit ISD=20 gearbeitet.

#### Beispiel CUT3DC



```

N10 A0 B0 C0 X0 Y0 Z0 F5000
N15 T1 D1 ISD=20
N20 ; Werkzeugaufruf und Werkzeugkorrektur
N25 TRAORI
N30 ; Transformation einschalten
N35 CUT3DC
N40 ; 3D-Werkzeugradiuskorrektur
N45 G42 X10 Y10 G1
N50 ; Werkzeugradiuskorrektur- und ISD-Anwahl
N55 X60
N60 A3=-1 B3=1 C3=1
N65 Y100
N70 ...
N90 G40
N95 ; Werkzeugradiuskorrektur- und ISD-Abwahl
N100 ...

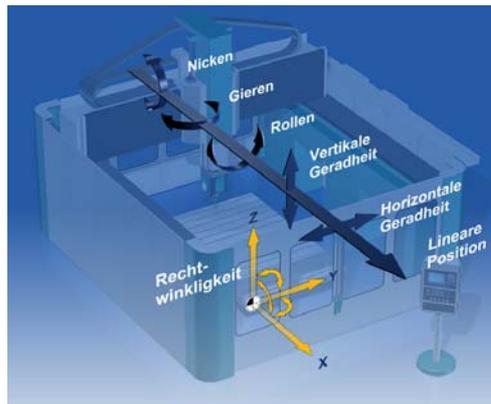
```

### 3.9 Volumetric Compensation System (VCS)

Für die Fertigung großer Werkstücke wie z. B. Strukturteile an Portalfräsmaschinen ist die Positioniergenauigkeit der Maschine aufgrund der großen Abmaße des Arbeitsraums nur schwierig mit ausreichender Genauigkeit zu realisieren. Gerade Fehler aufgrund von Durchhang, Verkrümmung etc. müssen aufwändig mechanisch korrigiert werden.

Mit dem Volumetric Compensation System für die SINUMERIK steht ein Werkzeug zur Korrektur von Geometriefehlern der Maschinenmechanik zur Verfügung, das Auswirkung der Maschinenfehler auf den Arbeitspunkt (TCP) gezielt reduziert und damit die Genauigkeit der Maschine erhöht.

#### Korrekturen VCS



#### Folgende Fehlerquellen können u. a. kompensiert werden:

- Lineare Positionsabweichung
- Geradheit der Achsen
- ungewollte Achsrotationen
- Rollen, Nicken und Gieren
- Rechtwinkligkeit der Achsen zueinander
- Orientierungsfehler des Werkzeugs bei Schwenkköpfen

Dazu werden die Maschinenfehler mit Hilfe von Messungen erfasst und eine Fehlerdatei erstellt. VCS arbeitet automatisch mit diesen Korrekturen. Zur Erhöhung der Genauigkeit kann die Vermessung und der Test mit den Korrekturen iterativ durchgeführt werden. VCS korrigiert automatisch im Zusammenspiel mit TRAORI die ermittelten Fehler.

#### TIPP

**Für die Inbetriebnahme von VCS und Vermessung der Maschine wenden Sie sich an Ihren Maschinenhersteller.**



## 3.10 VNCK - Virtuelle Maschine

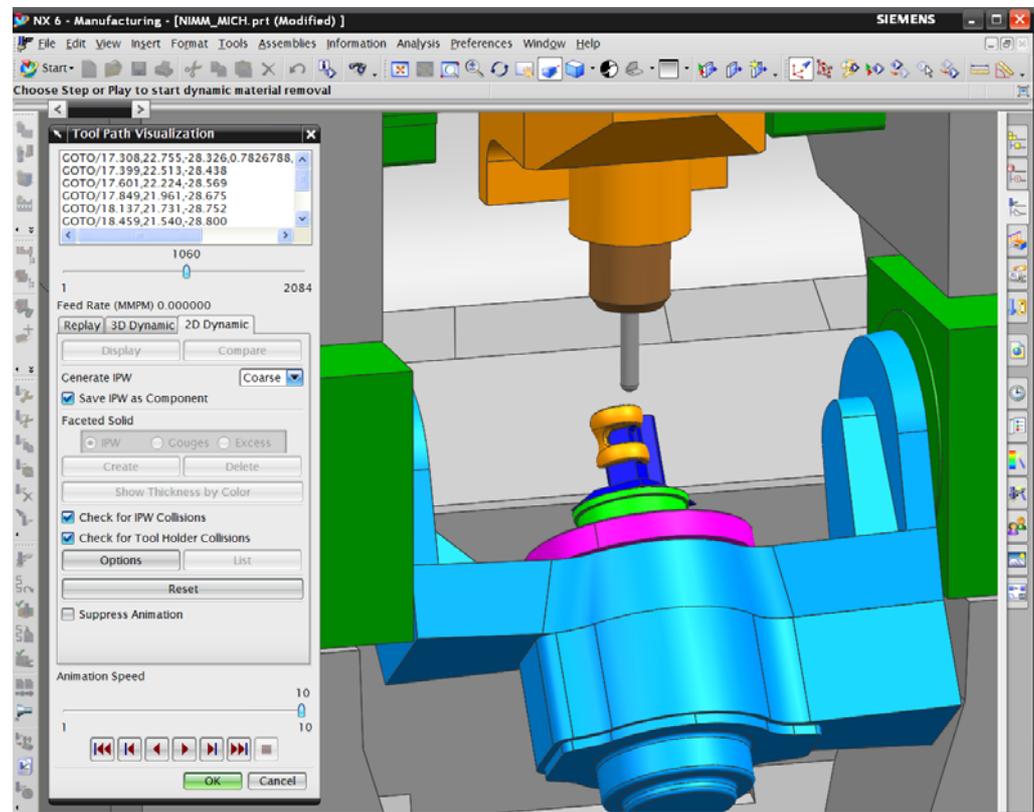
Aufgrund der Komplexität und Bearbeitungsdauer von 5-Achs-Fräswerkstücken wird angestrebt schon vor der ersten realen Fertigung die Programme auf Fehlerfreiheit zu prüfen. Um möglichst realistische Daten zu erhalten, werden Modelle der Maschine und Steuerung virtuell simuliert. Siemens liefert dazu den Grundbaustein:

- den virtuellen NC Kern (VNCK)

Mit diesen Grundbausteinen und weiteren Komponenten wie z. B. den CAD-Daten der realen Maschine, kann der Maschinenhersteller oder der Hersteller von CAM-Systemen, eine virtuelle Maschine erstellen, die die größtmögliche Nähe zur realen Maschine besitzt.

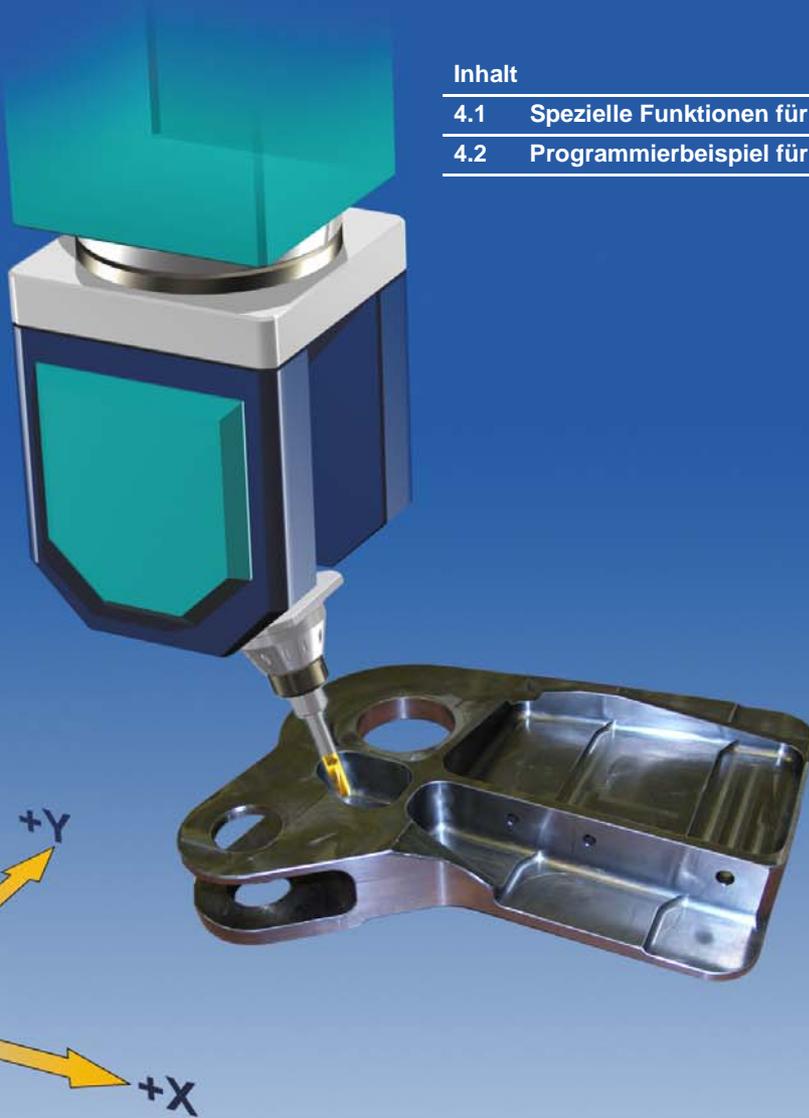
Die Verwendung der virtuellen Maschine im Zusammenspiel mit den SIEMENS VNCK bietet viele Vorteile:

- Programmierfehler werden sofort erkannt.
- Programmsimulation mit realer Zeitberechnung und damit leichtere Abschätzung des Fertigungsaufwands.
- Kollisionsbetrachtungen mit realen Werkzeugen, Spanmitteln und Maschinengeometrien
- Parallel zur laufenden Fertigung kann das Werkstück programmiert, optimiert und danach sofort an der Maschine umgesetzt werden.
- kürzere Rüstzeiten.
- Einsatz in der Schulung und Ausbildung. Gefahrlose Programmierung neuer Maschinen.





# Aerospace, Strukturteile



Inhalt	Seite
4.1 Spezielle Funktionen für Strukturteile	86
4.2 Programmierbeispiel für die Tasche eines Strukturteils	87

## 4.1 Spezielle Funktionen für Strukturteile

Strukturteile werden häufig in der Luftfahrtindustrie verwendet und sind tragende Flugzeugteile z.B. beim Aufbau des Rumpfes oder von Flügeln. Strukturteile zeichnen sich dadurch aus, dass aufgrund ihrer Geometrie wenig Material vorhanden ist aber eine erhöhte tragende Funktion erfüllt wird. Aus Sicherheitsgründen werden Strukturteile aus dem vollen Material gefräst und Zerspanungsraten von bis zu 97% sind keine Seltenheit. Im gesamten Bearbeitungsprozess sind daher besondere Funktionen gefordert.

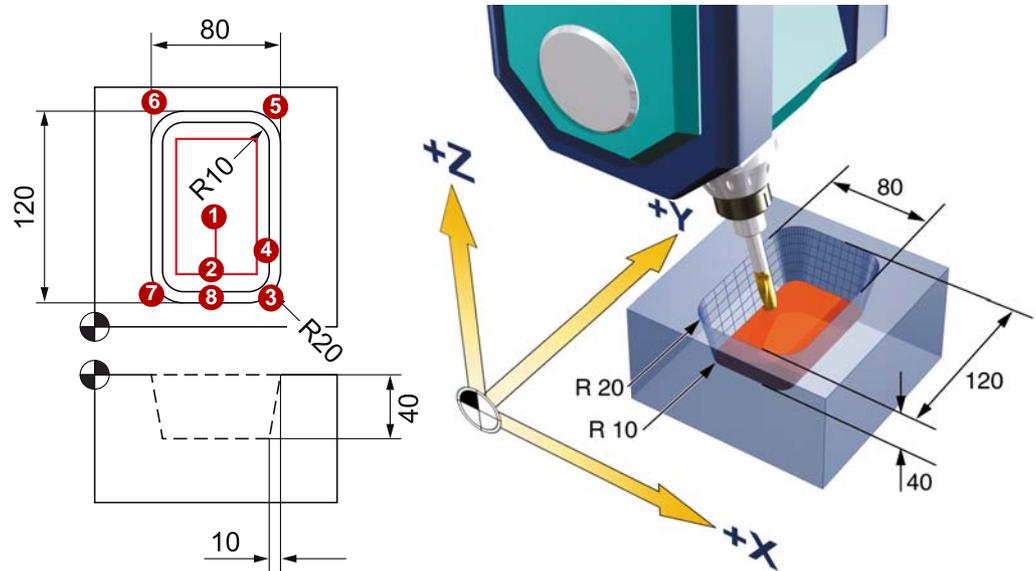
### Wichtige Funktionen für den Bearbeitungsprozess von Strukturteilen:

- VNCK,  
da aufgrund des hohen Materialeinsatzes eine steuerungsidentische Simulation unbedingt notwendig ist.
- VCS,  
da höchste Genauigkeit bei extrem großen Werkstücken gefordert ist.
- CYCLE832  
Einfache Vorwahl der wichtigsten Maschineneinstellungen für Schruppen und Schlichten.
- ORIVECT,  
da nur diese Orientierungsinterpolation die Präzision bei der Herstellung von schrägen Wänden erfüllt.
- 3-D Werkzeugradiuskorrekturen,  
da auch der Einsatz von nachgeschliffenen Werkzeugen möglich ist, ohne das NC-Programm neu zu generieren.
- Durchgängige Prozesskette von der Erstellung im CAD bis zur Abarbeitung an der CNC.



## 4.2 Programmierbeispiel für die Tasche eines Strukturteils

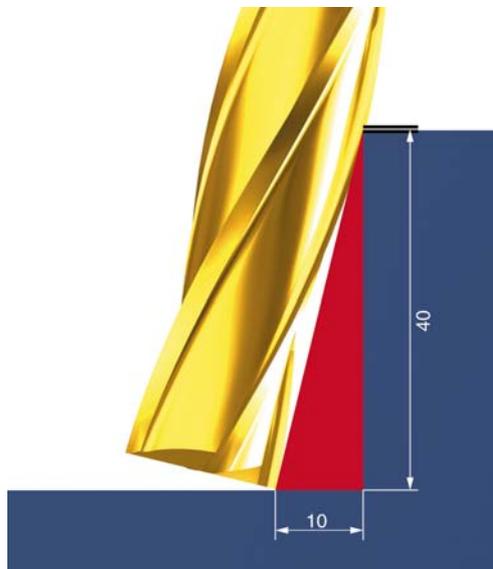
Typisch für Strukturteile sind schräge Innen- oder Außenwände. Diese werden mittels Umfangsfräsen am effektivsten hergestellt. Im folgenden Programmierbeispiel wird eine Tasche mit schrägen Wänden gefräst. Es werden die dafür notwendigen Funktionen wie die Orientierungsinterpolation und die Werkzeugradiuskorrektur praxisnah dargestellt.



N110	TRAORI	; TRAFO einschalten
N120	G54	; Wkz-Nullpunkt anwählen
N130	TRANS X80 Y80	; Wkz-Nullpunkt in Taschenmitte verschieben!
N140	AROT Z	; (bei Bedarf Tasche drehen)
N150	ORIWKS	; Wkz-Orientierung im WKS
N160	ORIVECT	; Großkreisinterpolation der Orientierung
N170	CUT3DC	; 3D-Werkzeugradiuskorrektur (WRK)
N180	ISD=0	; Eintauchtiefe des Werkzeugs = 0
		; Die Kontur wurde am Taschenboden programmiert,
		; nicht an der Werkstückoberfläche
		; (dann ISD = 41,231)
		; (siehe auch Hinweis am Ende des Programms)
N190	G0 X0 Y-40 Z-39	; Anfahrweg
N200	G1 G41 X0 Y-50 Z-40 A3=0 B3= - 10 C3=40	
N205		; Während des Heranfahrens an die Kontur,
		; ändert sich die Orientierung
		; Anwahl WRK und 1. Bearbeitungsposition mit
		; erforderlicher Orientierung anfahren.
		; Die Komponenten des Orientierungsvektors
		; können direkt aus der Zeichnung
		; entnommen werden.
N210	X20	; 1. Bearbeitungsschritt. An die Ecke fahren.

N220	ORICONCCW	; Anwahl der Kegelmantelinterpolation für ; die Orientierungsinterpolation
N230	A6=0 B6=0 C6=1	; Festlegung der Kegelachse (liegt parallel zur ; Z-Achse des WKS). ; Definition, dass der Kegel senkrecht zur ; Z-Achse steht.
N240	G3 X30 Y-40 CR=10	; Rundung der Tasche mit Radiusprogrammierung
N250	ORIVECT	; Großkreisinterpolation
N260	G1 Y40	; ab hier Wiederholung der Bearbeitungsschritte
N270	ORICONCCW	
N280	A6=0 B6=0 C6=1	
N290	G3 X20 Y50 CR=10 A3=0 B3=10 C3=40	
N300	ORIVECT	
N310	G1 X-20	
N320	ORICONCCW	
N330	A6=0 B6=0 C6=1	
N340	G3 X-30 Y40 CR=10 A3= - 10 B3=0 C3=40	
N350	ORIVECT	
N360	G1 Y-40	
N370	ORICONCCW	
N380	A6=0 B6=0 C6=1	
N390	G3 X-20 Y-50 CR=10 A3=0 B3= - 10 C3=40	
N400	ORIVECT	
N410	G1 X0	
N420	G40 Y-40 Z-39 A3=0 B3=0 C3=1	
N425		; Abwahl Werkzeugradiuskorrektur
N430	G0 Z100	; Rückzug
N440	TRAFOOF	; TRAFO ausschalten (falls erforderlich)

### ISD Taschenboden Werkstückoberfläche



Die Programmierung der Kontur der Tasche kann entweder vom Taschenboden erfolgen, dann ist ISD=0.

Erfolgt die Programmierung der Kontur mit Bezug zur Werkstückoberfläche, dann ist die Eintauchtiefe ISD=41,231 (Wandlänge der Tasche). Hierbei sind die Radien anzupassen.

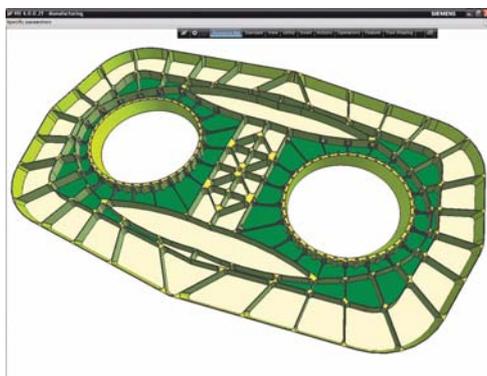
Dies kann über den Satz des Pythagoras berechnet werden.

$$\text{ISD} = \sqrt{40^2 + 10^2} = 41,231$$

### Spezielle Funktionen im CAM-System

CAM-Systeme bieten Unterstützung für spezielle Arbeitsabläufe. Insbesondere bei der 5-Achs-Bearbeitung werden Methoden zur Verfügung gestellt, die den Ansprüchen bei der Programmierung von Strukturteilen gerecht werden und somit eine ideale Voraussetzung für beste Ergebnisse an der Maschine liefern.

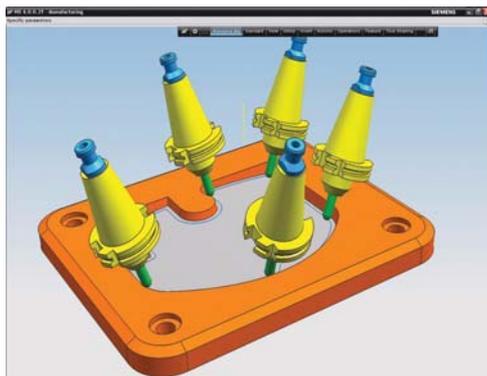
#### *Unterstützung Rippen und Taschen*



CAM-Systeme ermöglichen z. B. ein schnelles, genaues Schruppen und Schlichten der komplexesten Teile, wie sie typisch für die Luftfahrtbranche sind.

Die Geometrieauswahl, wie für häufig vorkommende Taschen und Rippen, wurde für die einfache und schnelle Programmierung hoch automatisiert.

#### *Angestellte Werkzeuge beim Profilfräsen*

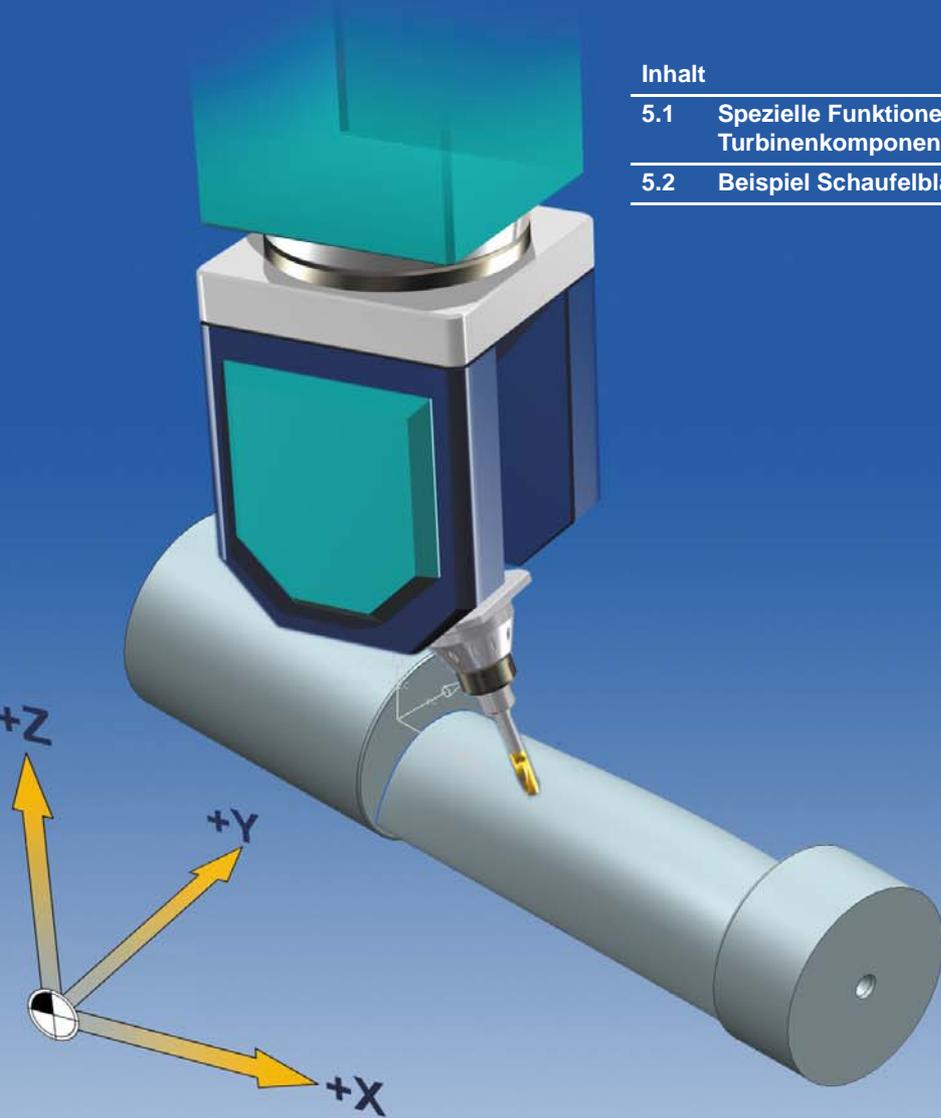


Automatisches Profilfräsen mit variablen Achsen beschleunigt die Programmierung. CAM-Systeme bieten eine Reihe automatischer Einstellungen der Werkzeugposition und der Werkzeugachse für 5-Achsfräsen an Wänden und anderen Profilen.

Die Werkzeugwege können Taschenböden, Kanten von Wänden oder versetzen Flächen (Offsets) folgen.



# Triebwerks- und Turbinenkomponenten



Inhalt	Seite
5.1 Spezielle Funktionen für Triebwerks- und Turbinenkomponenten	92
5.2 Beispiel Schaufelblatt	93

## 5.1 Spezielle Funktionen für Triebwerks- und Turbinenkomponenten

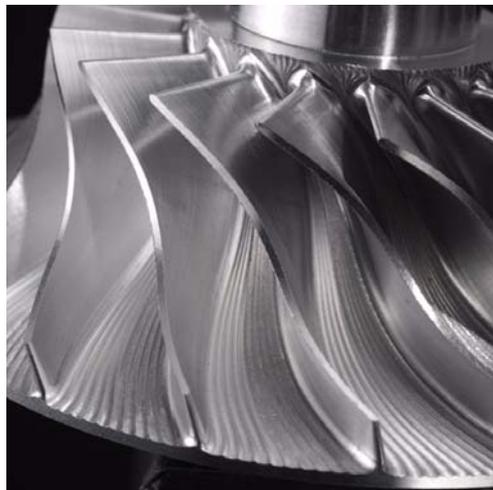
Impeller oder Schaufeln von Turbinen unterliegen höchsten Ansprüchen bezüglich Oberflächengüte und Konturtreue. Die Anforderung an die NC-Steuerung ist deshalb, große Datenmengen in kürzester Zeit zu verarbeiten. Selbst kleinste Brems- und Beschleunigungssprünge können zu Fehlern an der Oberfläche führen (z. B. Rattermarken).

Da häufig Turbinenschaufeln aus hochfesten Nickel-Legierungen oder Titan bestehen, ist hier der Einsatz geeigneten Verfahren notwendig, die die SINUMERIK aufgrund des Gesamtpakets hochdynamischer Antrieb und Steuerung zu einer idealen Lösung machen.

### Wichtige Funktionen für den Bearbeitungsprozess von Teilen der Triebwerks- und Turbinentechnik:

- High Speed Settings CYCLE832, da ideale Datenkompression innerhalb des Toleranzbandes in Kombination mit Vorsteuerung und Ruckbegrenzung zur geforderten Oberflächengüte und Konturtreue führen.
- Spline-Interpolation zum Abwalzen (Stirn-/Umfangsfräsen) von Impeller-Flügeln.
- TRAORI, für die kinematikunabhängige 5-Achs-Transformation.
- Durchgängige Prozesskette von der Erstellung im CAD bis zur Abarbeitung an der CNC.

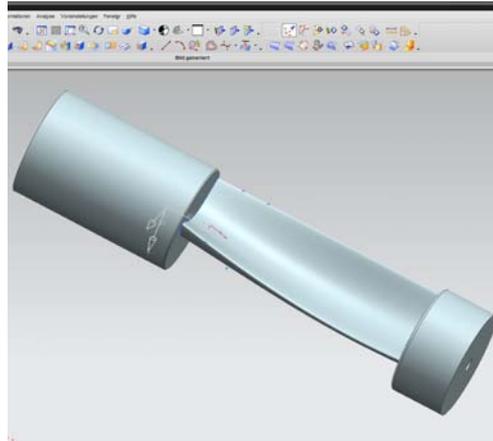
*Impeller*



## 5.2 Beispiel Schaufelblatt

Als Beispiel soll die Schaufel einer Turbine gefräst werden. Die Modellierung erfolgt in einem CAD/CAM-System.

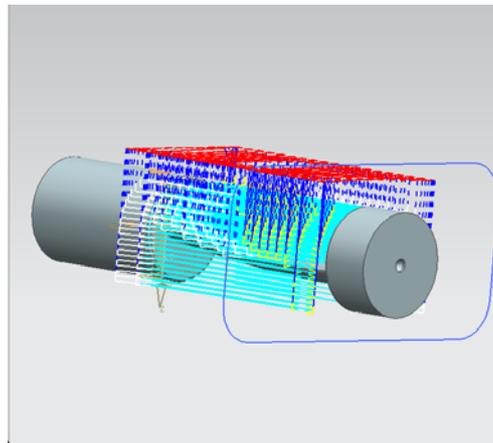
### Schaufelblatt



Bei der Modellierung ist darauf zu achten, dass die Bearbeitungsstrategien, die Aufspannung bei der Fertigung berücksichtigen.

In der Regel werden die Konturen von Schaufelblätter in einer spiralförmigen Bahn gefräst, d. h. es erfolgt eine komplette Rotation um die Z-Achse, die durch eine geeignete Aufspannung realisiert wird.

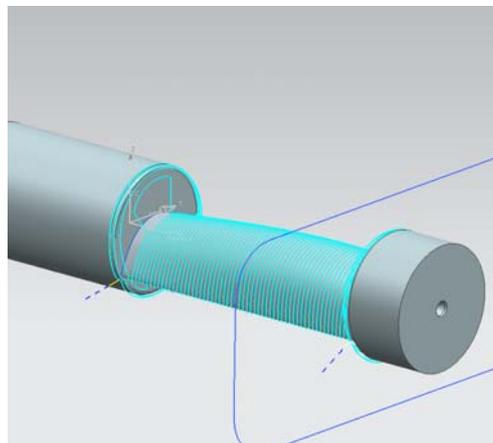
### Ebenenschruppen



Für die Schruppbearbeitung wurde mit der Methode Ebenenschruppen die obere und untere Fläche bearbeitet. Im Bild sind die Werkzeugbahnen der Oberseitenbearbeitung dargestellt.

Für optimale Leistung und Oberflächengüte ist konstantes Z-Ebenenfräsen sehr effektiv und erlaubt eine gute Kontrolle der Werkzeugbelastung.

### 5-Achs-Kopierfräsen Schlichten Stirn



Beim Schlichten wurde die Methode 5-Achs-Kopierfräsen angewendet, die entsprechend der Achsauswahl einen spiralförmigen Schlichtvorgang als Stirnfräsvorgang ermöglicht. Das Werkzeug wird unter einem Voreilwinkel angestellt.



Schaufelblatt bei der Bearbeitung. Umseitiges Stirnfräsen bei Drehung um die X-Achse.

### Beispiel Programm-Code

Die wichtigsten Punkte der Fertigung bei Triebwerks- und Turbinenkomponenten werden am Beispiel des Startprogramms und eines Schlichtprogramms erläutert.

#### Beispiel Startprogramm

Es ist empfehlenswert alle Technologieparameter wie z. B. Vorschub, Drehzahl, HSC Einstellungen (CYCLE832), Vektorglättung (ORISON) und spezielle M-Codes im Hauptprogramm zu definieren. Alle Vorschubwerte sind hier als R Parameter definiert. Dies erlaubt eine höhere Flexibilität bei der Optimierung der Vorschubwerte für den Maschinenbediener.

Das Unterprogramm sollte nur Geometrieinformationen enthalten. Beim Testen des Programms wird empfohlen die Unterprogramme so zu strukturieren, dass diese individuell abgearbeitet werden können. Dazu bietet sich an, im Hauptprogramm Sprungmarken zum Sprung in ein bestimmtes Unterprogramm zu setzen. Dies ist erfahrungsgemäß schneller und effektiver als Satzsuchlauf.

```

N100 GOTO OP_1 ; Sprungmarke zum Bearbeitungsschritt
N105 OP_1:
N110 T="TOROID_D16_R3" ; Werkzeugaufruf
N115 M6 ; Werkzeug einwechseln
N120 S10000 M3
N125 R1=4000 ; Fräsvorschub
N130 R2=4000 ; Anfahrvorschub
N135 G54 G0 X0 Y0 C0 A0 D1
N140 G0 Z100
N145 CYCLE832(0.05,3,1) ; High-Speed-Settings(DYNROUGH)
N150 EXTCALL "SCHRUPPEN_1"
N155 CYCLE832() ; Abwahl High-Speed-Settings
... ....

```

```

N160 OP_5:
N165 T="KUGEL_D6"
N170 M6
N175 M25 ;Klemmung C-Achse lösen (OEM spezifisch)
N180 M27 ;Klemmung B-Achse lösen (OEM spezifisch)
N185 S15000 M3
N190 R1=2000 ;Fräsvorschub
N195 R2=1000 ;Anfahrorschub
N200 G54 G0 X0 Y0 C0 A0 D1
N205 G0 Z100
N210 CYCLE832(0.01,1,1) ;High-Speed-Settings (DYNFINISH)
N215 ORISON
N220 OTOL=0.5
N225 EXTCALL "SCHLICHTEN_1"
N230 CYCLE832() ; Abwahl High-Speed-Settings
N235 SUPA G0 Z0 D0 ; Max. Freifahren in Z (MKS)
N240 SUPA G0 X0 Y0 D1 ; Max. Freifahren in X und Y (MKS)
N245 M30

```

### Beispiel Unterprogramm SCHLICHTEN\_1

Im Unterprogramm sind die NC-Sätze für die Geometrie und die Transformation enthalten.

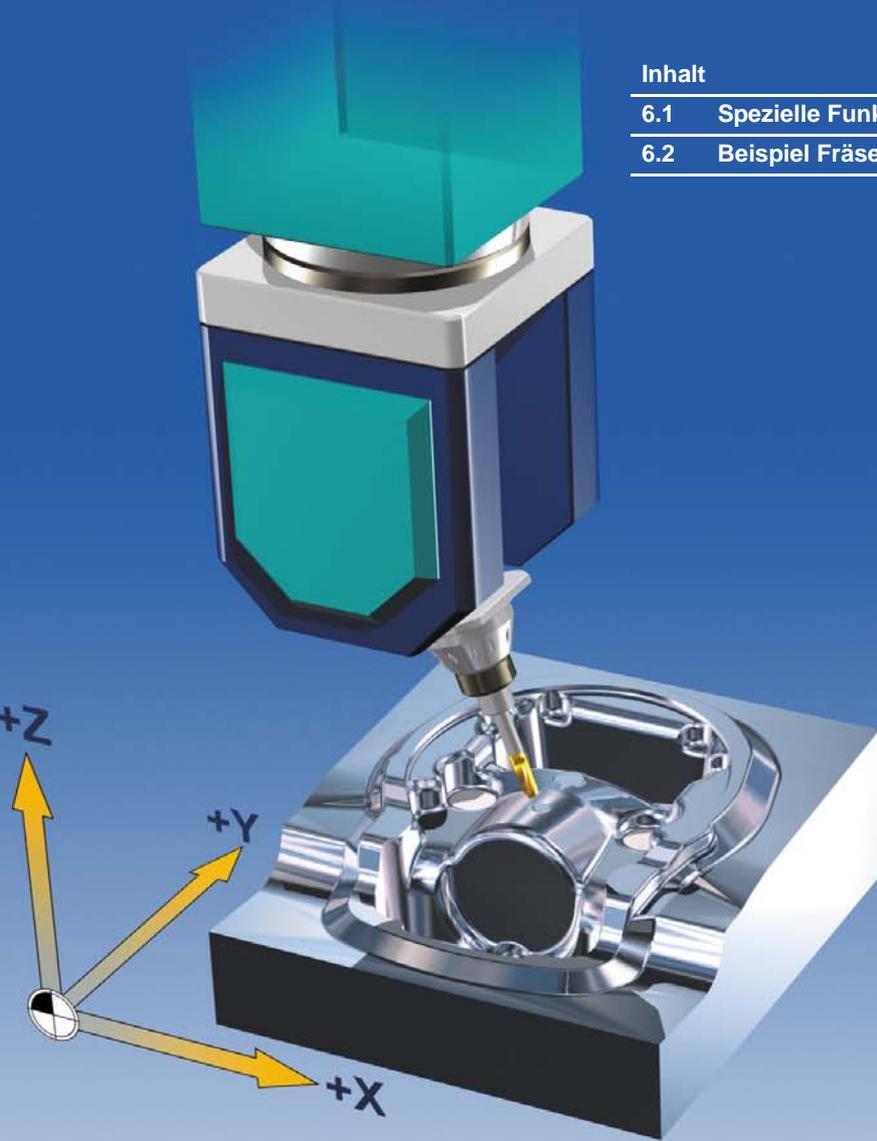
```

N100 TRAORI ; Transformation ein
N105 ORIWKS ;
N110 ORIAXES ;
N115 G54
N120 MSG("SCHLICHTEN")
N125 ;Positionierbewegung
N130 G0 X-52.73538 Y-17.80536 Z31.9 A3=-.39485858 B3=.49800333 C3=.77206177 M3
N135 ; Anfahrbewegung
N140 G1 Z13.37361 A3=-.39485858 B3=.49800333 C3=.77206177 F=R2
N145 X-47.99708 Y-23.7814 Z4.10887 A3=-.39485858 B3=.49800333 C3=.77206177
N150 ; Startbewegung
N155 G1 X-47.84399 Y-23.76942 Z3.80953 A3=-.39485858 B3=.49800333 C3=.77206177
M8 F=R1
N160 X-47.69248 Y-23.71986 Z3.51328 A3=-.39485858 B3=.49800333 C3=.77206177
N165 ...
...
N6555 X-103.02652 Y-5.64791 Z4.55886 A3=.55592652 B3=.22406464 C3=.80046283
N6560 X-102.837 Y-5.70081 Z4.83174 A3=.55592652 B3=.22406464 C3=.80046283
N6565 ;Abfahrbewegung
N6570 X-102.6453 Y-5.71617 Z5.10778 A3=.55592652 B3=.22406464 C3=.80046283
N6575 ;Rückzugsbewegung
N6580 G0 X-95.97418 Y-3.0274 Z14.71333 A3=.55592652 B3=.22406464 C3=.80046283
N6585 Z31.9 A3=.55592652 B3=.22406464 C3=.80046283
N6590 G0 X0 Y0 Z100 A3=0 B3=0 C3=1
N6595 TRAFOOF ; Transformation aus
N6600 SUPA G0 Z0.0 D0 ; Max. Rückzug in Z (MKS)
N6605 SUPA G0 X0.0 Y0.0 A0.0 C0.0 D1 ; Max. Rückzug in XY (MKS)
N6610 ; und Rundachsen in Grundstellung fahren
N6615 M17 ; Unterprogrammende

```



# Komplexe Freiformflächen



## Inhalt

6.1	Spezielle Funktionen für Freiformflächen
6.2	Beispiel Fräsen eines Mantarochens

## Seite

98
99

6

## 6.1 Spezielle Funktionen für Freiformflächen

Oberflächengüte ist die Anforderung mit der höchsten Priorität bei der Bearbeitung von Freiformflächen. Dies bedingt eine entsprechend hohe Genauigkeit der CAM-Daten mit kleinen Toleranzen und hoher Anzahl von Zwischenpunkten.

Die hohe Anzahl von Punkten realisiert eine gleichmäßige Punkteverteilung, und damit eine hohe Genauigkeit sowie eine sehr glatte Oberfläche. Für eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit sorgt der integrierte High-Speed-Setting-Zyklus CYCLE832. Er aktiviert alle für das Fräsen von Freiformflächen benötigten Funktionen. Dazu gehört zum einen die Look-Ahead-Funktion mit Überschleifen und Ruckbegrenzung, die eine einstellbare Zahl von Verfahrssätzen vorausieht und damit die Bearbeitungsgeschwindigkeit optimiert.

Außerdem wurde die Vorsteuerung für eine schleppfehlerfreie Bearbeitung eingesetzt sowie der Online-Kompressor COMPCAD, der speziell für das Fräsen von Freiformflächen empfohlen wird. Er fasst entsprechend der eingestellten Toleranz im CYCLE832 eine Sequenz von G1-Befehlen zusammen und komprimiert diese zu einem Spline, der direkt von der Steuerung ausführbar ist.

### Wichtige Funktionen für den Bearbeitungsprozess von Freiformflächen:

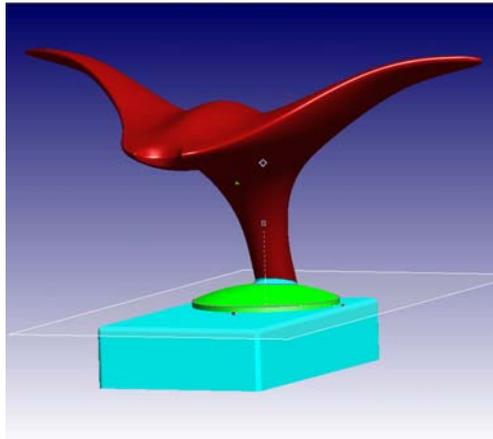
- High Speed Settings CYCLE832, da ideale Datenkompression innerhalb des Toleranzbandes in Kombination mit Vorsteuerung und Ruckbegrenzung zu der geforderten Oberfläche ohne Abweichung der Kontur eingestellt werden kann.
- TRAORI, da integrierte 5-Achs-Transformation für alle Maschinenkinematiken vorhanden ist und damit die ideale Orientierung des Werkzeugs zur Oberfläche ermöglicht, damit keinerlei Kontur- oder Oberflächenverletzung auftreten kann.
- VCS, da höchste Genauigkeit bei extrem großen Werkstücken gefordert ist. Insbesondere bei der Herstellung von Presswerkzeugen und Mustern im Automobilbau.
- Durchgängige Prozesskette von der Erstellung im CAD bis zur Abarbeitung an der CNC.



## 6.2 Beispiel Fräsen eines Mantarochens

Als Beispiel soll ein Freiformflächen-Modell in Form eines Mantarochens gefräst werden. Die Modellierung erfolgt in einem CAD-CAM-System.

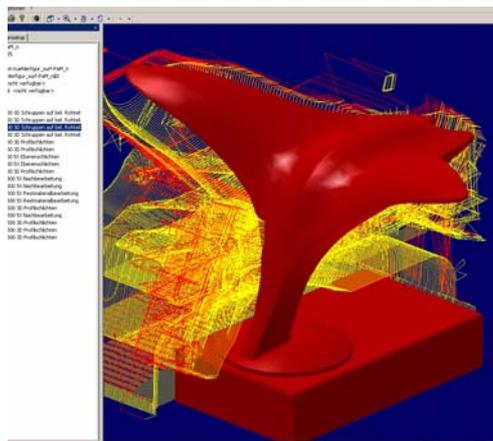
### Mantarochen im CAM



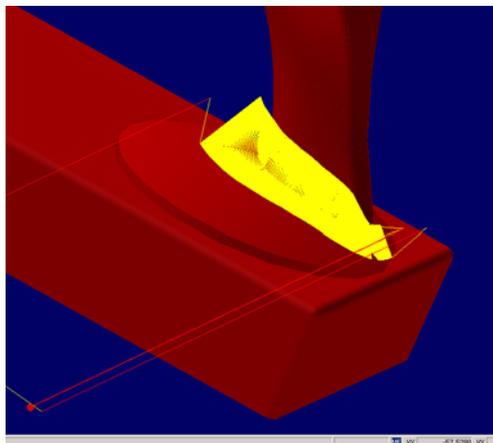
Der Mantarochen wird aus einer digitalisierten Punktwolke im CAM-System als Freiformfläche modelliert. Als Strategien wurden das 3D Schruppen in der Ebene und mehrere 3- und 5-achsige Vorschlicht- und Schlichtbearbeitungen verwendet.

Die Deckfläche wurde z. B. als Schlichtbearbeitung mit fest angestellten Achsen zeilenweise abgearbeitet. Mit diesem Verfahren wurde die beste Oberflächengüte bei der starken Krümmung erzielt.

### Ebenenschruppen mit 3-Achsen



### 5-Achs-Restmaterial-Bearbeitung



Mit Strategien zur 5-Achs-Restmaterialbearbeitung wurde Restmaterial z. B. bei Hinterschnitten ohne Absetzen des Werkzeugs nachbearbeitet.

### Beispiel Programm-Code

Die NC-Programme für die Fertigung des Mantarochen bestehen aus mehreren Schrupp-, Vorschlicht- und Schlichtstrategien. Am Beispiel des Startprogramms und eines Schruppprogramms werden die wichtigen Bestandteile der NC-Programme erläutert.

**Beispiel Startprogramm** Im Startprogramm kann es sich gerade bei der Einzelteillfertigung und für die Testphase anbieten alle Einstellungen in den Geometrie-Unterprogrammen vorzunehmen. Das Startprogramm ruft nur noch die Unterprogramme auf, in denen alle Angaben wie z. B. Werkzeug, CYCLE832 festgelegt sind. Dies ist vor allem hilfreich, wenn der Postprozessor optimal auf die SINUMERIK ausgerichtet ist und schon alle höherwertigen Funktionen integriert. Im Testbetrieb ist es empfehlenswert die Unterprogramme einzeln auszuführen, dazu kann im Startprogramm z. B. mit Sprungmarken jeweils das gewünschte Unterprogramm gestartet werden.

```

N100  G90 G17 G54           ; Absolutmaßangabe, Arbeitsebene und
                                ; Nullpunktverschiebung wählen
N105  ORIWKS ORIXES        ; Werkstückkoordinatensystem, Achsinterpolation
N110  GOTOF _ROUGH_01      ; Sprungmarke zum Unterprogrammaufruf für das
                                ; Schruppen mit dem Programm ROUGH_01.MPF
                                ; Diese Programm wird auf der nächsten Seite näher
                                ; erläutert.
N120  ;GOTOF _ROUGH_02     ; Nicht verwendete Sprungmarken werden für die
                                ; Testphase auskommentiert
                                ;
N210  ...                  ;
N210  ;GOTOF _FINISH_05    ;
N220  _ROUGH_01:           ; Sprungziel von GOTOF
N230  EXTCALL "ROUGH_01"   ; Aufruf des Unterprogramms zum Schruppen 01
N240  STOPRE               ; Vorlaufspeicher in Stopp, d. h. es werden die
                                ; nachfolgenden NC-Sätze erst eingelesen, wenn die
                                ; vorherigen NC-Sätze alle abgearbeitet sind.
N250  M00                  ; Programm Stopp
N280  ...                  ;
N360  _FINISH_05:         ;
N370  EXTCALL "FINISH_05"  ; Unterprogrammaufruf für das letzte Schlichtprogramm
N380  STOPRE               ;
N390  M00                  ;
N400  M30                  ; Programmende

```

**Beispiel Unterprogramm  
Schruppen ROUGH\_01**

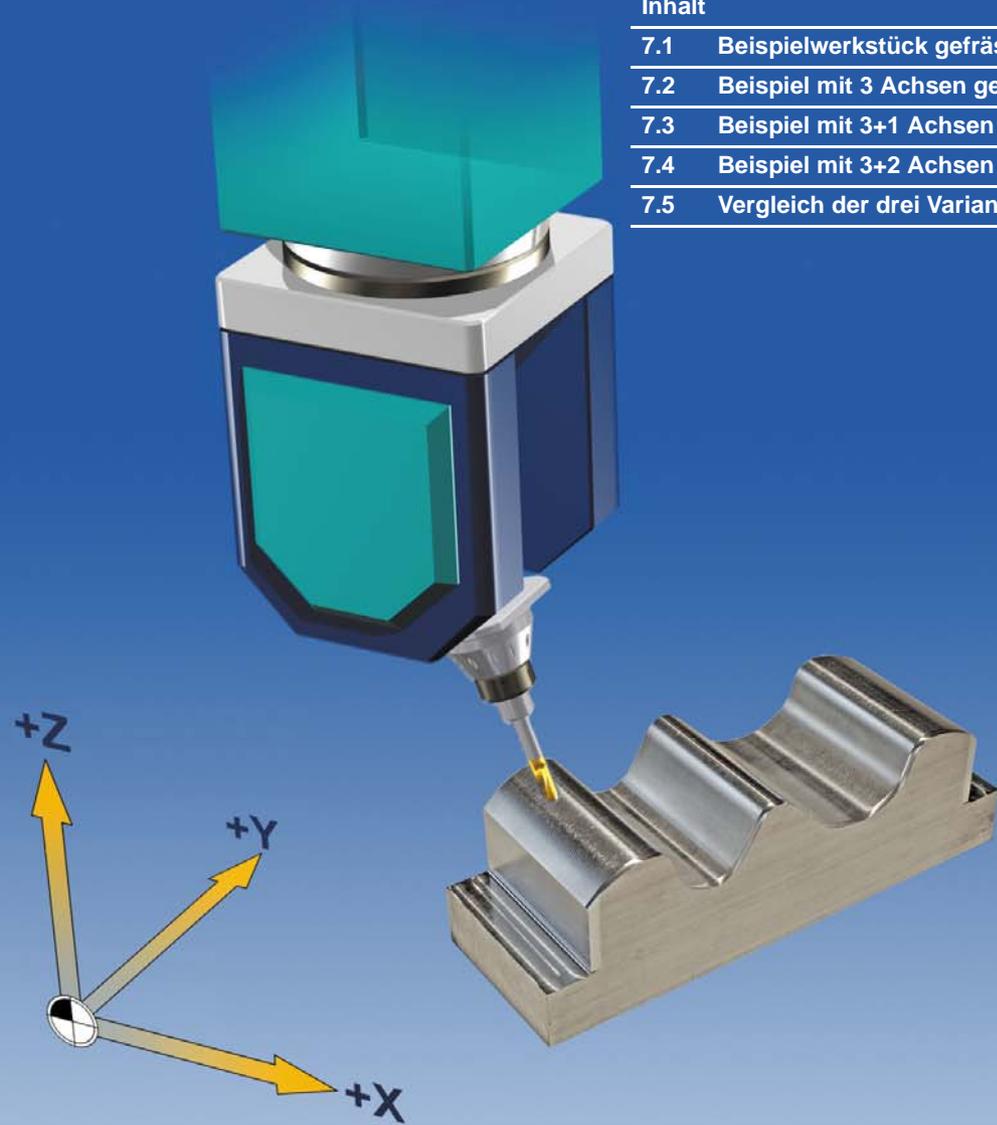
Im Unterprogramm sind die NC-Sätze für die Geometrie und alle für die Fertigung notwendigen Daten enthalten. Bei einem optimierten Postprozessor sollten alle diese Daten im Unterprogramm aufgeführt werden. Alle Unterprogramme besitzen einen ähnlichen Aufbau. Sie unterscheiden sich nur bei den Werkzeug-, Technologiedaten, den Parametern des CYCLE832 und natürlich den NC-Sätzen.

N100	; TOOL	; Angabe des Werkzeugs als Kommentar
N110	; T1-Radiusfräser D32 R2	; Abmaße des Werkzeugs
N120	G90 G17 G54	; Absolutmaßangabe, Arbeitsebene und ; Nullpunktverschiebung wählen
N130	TRAFOOF	; Alle aktiven Transformationen und Frames ausschalten
N140	CYCLE800(1,"TC1",0,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)	
N145		; Schwenken aller Achsen auf Grundstellung
N150	CYLCE800()	; Rücksetzen der geschwenkten Ebenen für definierte ; Ausgangslage
N160	T1	; Werkzeug T1 aufrufen
N170	M6	; Werkzeug in Spindel wechseln
N180	R2=10000	; R2 als Parameter für Vorschub in XY-Ebene ; Vorschub wird im NC-Satz als R2 programmiert. Für die ; Testphase kann so schnell der Vorschubwert geändert ; werden.
N190	R1=10000	; R1 als Vorschub in Z-Richtung
N200	R3=4500	; Reduzierter Vorschub
N210	S10000 M3 M8	; Spindeldrehzahl, Drehrichtung rechts, Kühlung ein
N220	CYCLE800(0,"TC1",0,57,-36,0,-105,0,0,0,0,0,-1)	
N225		; Vorpositionierung des Werkzeugs zum Werkstück. Eine ; feste Position sollte in jedem Unterprogramm zuerst ; angefahren bzw. geschwenkt werden, damit eine defi- ; nierte Ausgangslage zum Start der Bearbeitung ent- ; steht. Bei aktivem TRAORI kann unter Umständen die ; Anfahrtsbewegung zum Werkstück dann variieren. Vor- ; positionieren ohne TRAORI.
N230	CYCLE832(0.13,3,1)	; High-Speed-Settings festlegen mit Toleranz 0.13 für ; Schruppen. ; 3 Schruppen ; 1 ab SW 2.6.
N240	G0 X133.1221 Y1.2413	;
N250	G0 Z125	;
N260	G0 Z108.1501	;
N270	G1 Z103.1501 F=R1	; Hier wird der programmierte Vorschub R1 verwendet
N280	X126.5626 Y1.1611 F=R2	; Hier wird der programmierte Vorschub R2 verwendet
N290	...	; NC-Sätze für Geometrie
...	...	
N4580	G0 Z150	; Rückzug in Z
N4590	CYCLE800(1,"TC1",0,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)	
N4595		; Schwenken in Ausgangslage
N4600	CYCLE832(0.02,0,1)	; CYCLE832 auf Standardwerte setzen
N4610	CYCLE800()	; Rücksetzen der geschwenkten Ebenen
N4620	M17	; Unterprogrammende



# Beispielwerkstück

Inhalt	Seite
7.1 Beispielwerkstück gefräst von 3- bis 3+2-Achs	104
7.2 Beispiel mit 3 Achsen gefräst	106
7.3 Beispiel mit 3+1 Achsen gefräst	107
7.4 Beispiel mit 3+2 Achsen gefräst	108
7.5 Vergleich der drei Varianten	109



7

## 7.1 Beispielwerkstück gefräst von 3- bis 3+2-Achs

Im diesem Kapitel erfahren Sie mehr über die Unterschiede beim Fräsen mit 3- bzw. 5-Achsen. Am Beispiel eines Werkstücks in Wellenform wird die Programmierung mit 3-, 3+1- und 3+2-Achsen analysiert. Anhand von kurzen Programmauszügen werden die Vorgehensweise und die Ergebnisse der unterschiedlichen Fräsbearbeitungen dargestellt.



### Arbeitsablauf Startprogramm, Schruppen und Vorschlichten

Für die Bearbeitung wurde jeweils ein Startprogramm erstellt, das die Geometrieprogramme aufruft. Dies ist für alle vier Varianten identisch. Die Programme für die Schrupp- und Vorschlichtbearbeitung sind für die drei Werkstücke gleich. Unterschiede sind nur in den Schlichtprogrammen.

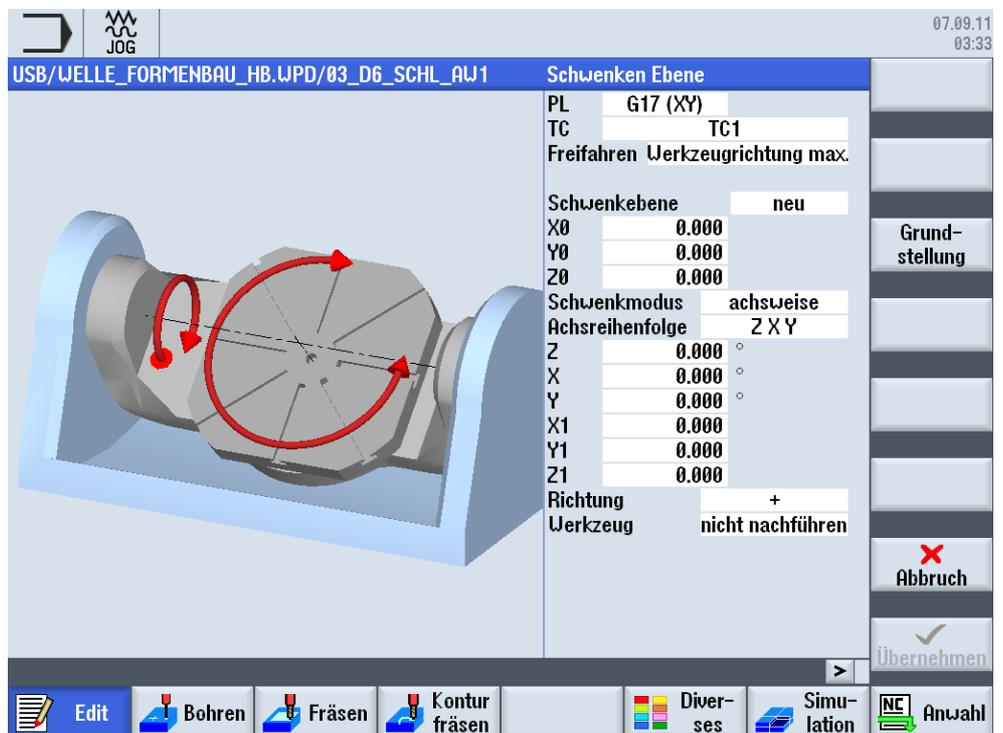
Der Abstand der einzelnen Fräsbahnen in den Schlichtprogrammen wurde bewusst relativ groß eingestellt, damit die Gleichmäßigkeit der einzelnen Bahnen besser beurteilt und Fehler sichtbar werden.

### Vorpositionieren des Fräasers an das Werkstück

In den Geometrieprogrammen sollte der Fräser am Anfang jeweils an das Werkstück vorpositioniert werden, da bei aktivem TRAROI und einer beliebigen Position des Werkzeugs im Fräsmaschineninnenraum eine Kollision mit dem Werkstück oder ein Überfahren der Softwareendschalter nicht ausgeschlossen werden kann, wenn die Orientierung der Rundachsen erfolgt. Sie können entweder über den CYCLE800 oder einen ORIRESET die Rundachsenpositionen festlegen.

### Vorpositionieren mit CYCLE800

```
N100 CYCLE800(4,"TISCH",200000,39,0,0,0,0,0 ; Abwahl CYCLE800, Fahren auf
,0,0,0,0,1,,1) ; Grundstellung
N105 ... ;
```



### Grundstellung der Werkzeugorientierung mit ORIRESET

```
N100 TRAORI ; TRAORI einschalten
N105 ORIRESET (90, 45) ; Beispiel für Maschinenkinematik CA
; (Kanalachsenamen C, A)
; C auf 90 Grad, A auf 45 Grad
```

Durch Programmierung von ORIRESET(A, B, C) werden Orientierungsachsen linear und synchron von ihrer momentanen Position zu der angegebenen Grundstellungsposition gefahren. ORIRESET ist nur bei aktivem TRAORI möglich. Wird für eine Achse keine Grundstellungsposition programmiert, dann wird die definierte Position aus dem dazugehörigen Maschinendatum \$MC\_TRAFO5\_ROT\_AX\_OFFSET\_1/2 verwendet.

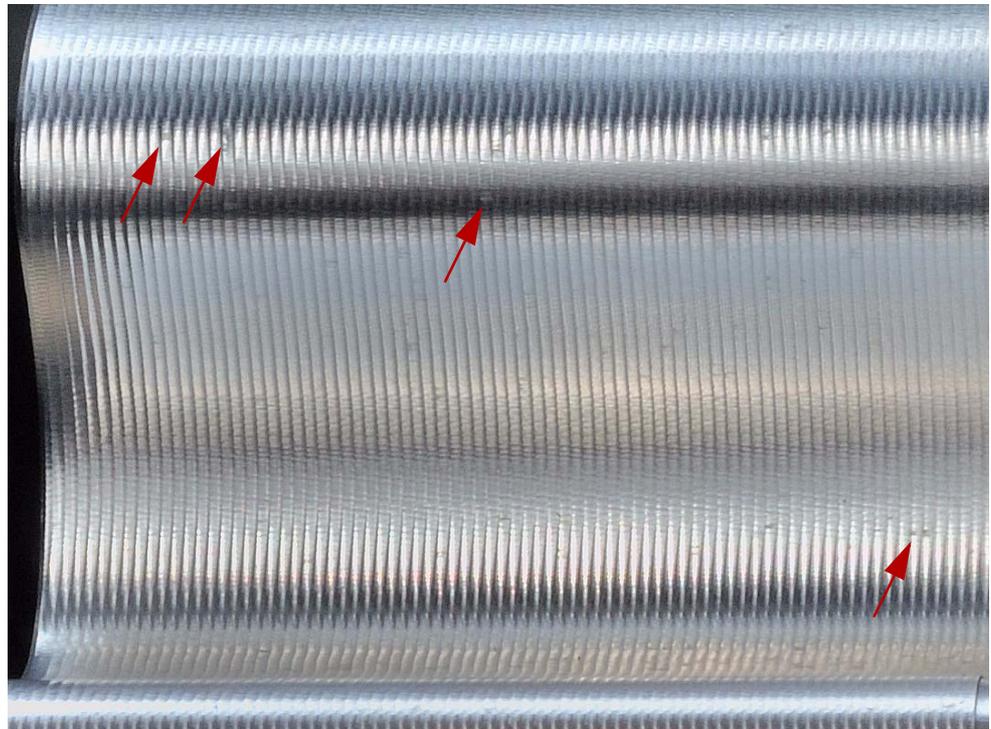
## 7.2 Beispiel mit 3 Achsen gefräst

Im ersten Beispiel wurde die Welle nur mit den drei Linearachsen gefräst.

### Schichten 3-Achs

N100	T="K_D6"	; Anwahl der Werkzeugs Kugelfräser mit D=6
N110	M6	; Einwechseln des Werkzeugs
N120	R1=8000	; R1 bis R3 sind Variablen für die Vorschübe
N130	R2=8000	;
N145	R3=8000	;
N150	S18000	;
N160	M03 M8 G54 G17 G90	;
N170	CYCLE832(0.005,1,1)	; High Speed Settings Schlichten mit Toleranz 0.005
N180	G00 X-3.9247 Y-5.5063 Z10	; Anfahren mit G0
N190	G00 X-3.9247 Y-5.5063 Z-6.7226	;
N200	G01 X-3.9247 Y-5.5063 Z-11.7226 F=R1	; Start der Bearbeitung
N210	G01 X-3.9224 Y-5.503 Z-11.7235 F=R2	;
N290	...	;
N4580	G00 X102.5039 Y46.3472 Z10	;
N4600	CYCLE832(0,0,1)	; High Speed Settings Abwählen
N4610	M5	;
N4620	M30	; Programmende

### Bildauszug des oberen Wellenabschnitts



Die Fräsbahnen verlaufen sehr gleichmäßig. Einzig an engen Kurvenverläufen sind Druckstellen/matte Stellen aufgrund des drückende Schnitts des Kugelfräasers sichtbar. Diese werden dadurch verursacht, dass der Fräser nicht frei schneiden kann und das Material wegdrückt.

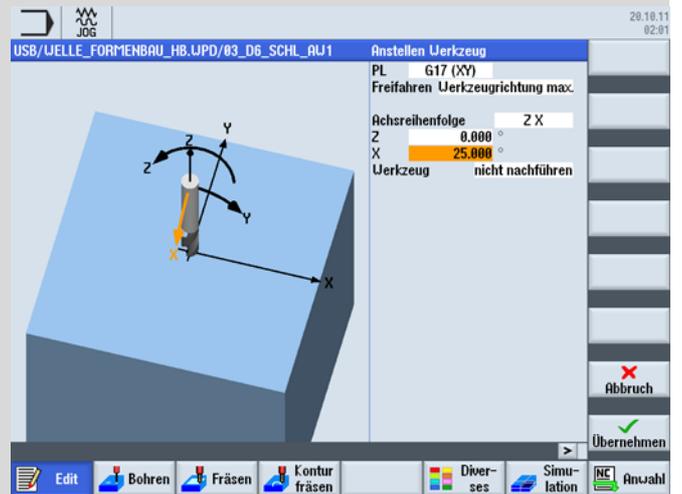
### 7.3 Beispiel mit 3+1 Achsen gefräst

Im zweiten Beispiel wurde die X-Achse um 25° angestellt.

**Schichten 3+1-Achs**

```

N100 T="K_D6" ; Anwahl der Werkzeugs Kugelfräser mit
          D=6
N110 M6 ; Einwechseln des Werkzeugs
N120 R1=8000 ; R1 bis R3 sind Variablen für die Vorschübe
N130 R2=8000 ;
N145 R3=8000 ;
N150 S18000 ;
N160 M03 M8 G54 G17 G90 ;
N170 CYCLE800(4,"TISCH",200000,39,0,0,0, ; Schwenken auf Grundstellung
          0,0,0,0,0,0,1,,1)
N180 CYCLE800(4,"TISCH",101,39,,,,,0,25,,,, ; Um die X-Achse um 25° Schwenken
          -1,100,1)
    
```



```

N190 CYCLE832(0.005,1,1) ; High Speed Settings Schichten mit
          Toleranz 0.005
N200 G00 X-3.9247 Y-5.5063 Z10 ; Anfahren mit G0
N210 G00 X-3.9247 Y-5.5063 Z-6.7226 ;
N220 G01 X-3.9247 Y-5.5063 Z-11.7226 F=R1 ; Start der Bearbeitung
N230 G01 X-3.9224 Y-5.503 Z-11.7235 F=R2 ;
N290 ... ;
N4580 G00 X102.5039 Y46.3472 Z10 ;
N4600 CYCLE832(0,0,1) ; High Speed Settings Abwählen
N4610 CYCLE800(4,"TISCH",110000,39,0,0,0, ; Auf Grundstellung schwenken
          0,0,0,0,0,0,,1)
N4620 CYCLE800(4,"0",220000,39,0,0,0,0,0,0, ; Abwahl Schwenken
          0,0,0,0,,1)
N4630 M5 ;
N4640 M30 ; Programmende
    
```

## 7.4 Beispiel mit 3+2 Achsen gefräst

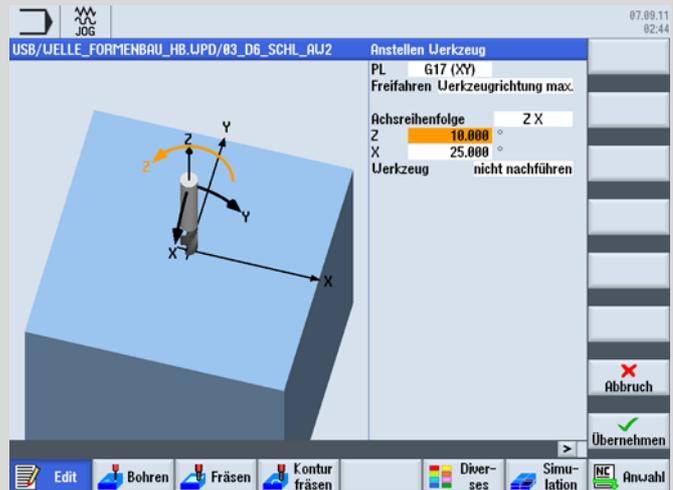
Im dritten Beispiel wurde die X-Achse um 25° und die Z-Achse um 10° angestellt.

### Schichten 3+2-Achs

```

N100 T="K_D6" ; Anwahl der Werkzeugs Kugelfräser mit
           D=6
N110 M6 ; Einwechseln des Werkzeugs
N120 R1=8000 ; R1 bis R3 sind Variablen für die Vorschübe
N130 R2=8000 ;
N145 R3=8000 ;
N150 S18000 ;
N160 M03 M8 G54 G17 G90 ;
N170 CYCLE800(4,"TISCH",200000,39,0,0,0, ; Schwenken auf Grundstellung
      0,0,0,0,0,0,1,,1)
N180 CYCLE800(4,"TISCH",101,39,,,,10,25,,,, ; Um die X-Achse 25° und um die Z-Achse
      ,-1,100,1) ; 10° geschwenkt

```



```

N190 CYCLE832(0.005,1,1) ; High Speed Settings Schichten mit
                           Toleranz 0.005
N200 G00 X-3.9247 Y-5.5063 Z10 ; Anfahren mit G0
N210 G00 X-3.9247 Y-5.5063 Z-6.7226 ;
N220 G01 X-3.9247 Y-5.5063 Z-11.7226 F=R1 ; Start der Bearbeitung
N230 G01 X-3.9224 Y-5.503 Z-11.7235 F=R2 ;
N290 ... ;
N4580 G00 X102.5039 Y46.3472 Z10 ;
N4600 CYCLE832(0,0,1) ; High Speed Settings Abwählen
N4610 CYCLE800(4,"TISCH",110000,39,0,0,0, ; Auf Grundstellung schwenken
      0,0,0,0,0,0,,1)
N4620 CYCLE800(4,"0",220000,39,0,0,0,0,0,0, ; Abwahl Schwenken
      0,0,0,0,,1)
N4630 M5 ;
N4640 M30 ; Programmende

```

## 7.5 Vergleich der drei Varianten

Im folgendem Bild sehen Sie die drei Fräsvarianten in der Gegenüberstellung. Von links nach rechts 3-Achs, 3+1-Achs und 3+2-Achs.

**Fräsvarianten Welle**

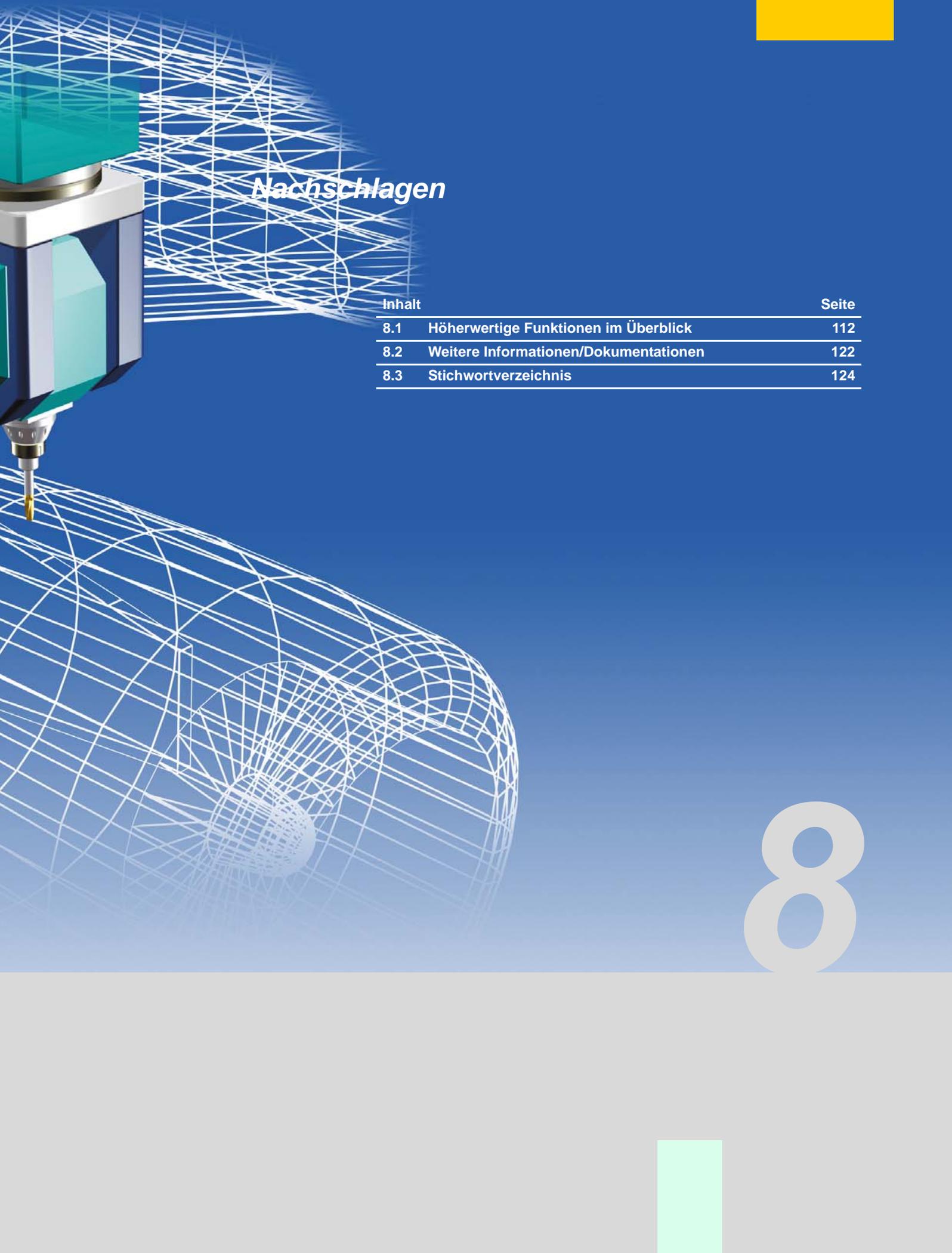


Die Fräsbahnen verlaufen sehr gleichmäßig. Einzig an engen Kurvenverläufen sind Druckstellen/matte Stellen aufgrund des drückende Schnitts des Kugelfräsers sichtbar. Diese werden dadurch verursacht, dass der Fräser nicht frei schneiden kann und das Material wegdrückt.

Fräsbahnen verlaufen sehr gleichmäßig. Es sind kaum mehr Druckstellen/matte Stellen aufgrund des drückende Schnitts des Kugelfräsers sichtbar. Aufgrund der Anstellung kann die Schneide des Kugelfräsers frei schneiden. Durch die Anstellung ist aber Verzerrung der Fräsbahnen sichtbar. Der Schnittpunkt wandert wegen der Anstellung auf dem Kugelfräser. Die Fräsbahnen verlaufen nicht mehr parallel zu den Körperkanten.

Fräsbahnen verlaufen sehr gleichmäßig. Es sind keine Druckstellen/matte Stellen aufgrund des drückende Schnitts des Kugelfräsers mehr sichtbar. Aufgrund der Anstellung kann die Schneide des Kugelfräsers frei schneiden. Durch die Anstellung ist aber auch hier eine noch stärkere Verzerrung der Fräsbahnen sichtbar.





## Nachschlagen

Inhalt	Seite
8.1 Höherwertige Funktionen im Überblick	112
8.2 Weitere Informationen/Dokumentationen	122
8.3 Stichwortverzeichnis	124

## 8.1 Höherwertige Funktionen im Überblick

Auf den folgenden Seiten werden die höherwertigen Funktionen der Steuerung SINUMERIK zusammengefasst. Damit erhalten Sie einen Überblick über diejenigen Befehle, die über das in DIN 66025 festgelegte Maß hinausgehen und signifikante Verbesserungen im Bereich der 5-Achs-Bearbeitung ermöglichen.

### Wegbefehle

#### Sprachelemente mit Kreisinterpolationsprogrammierung

<b>CIP</b>	Kreisinterpolation über Zwischenpunkt CIP X... Y... Z... I1=... J1=... K1=...
<b>CT</b>	Kreis mit tangentialem Übergang CT X... Y... Z...
<b>TURN</b>	Anzahl der zu verfahrenen Vollkreise G3 X... Y... I... J... TURN =
<b>CR=</b>	Zusätzliche Parameter: Kreisradius
<b>I1, J1, K1</b>	Zwischenpunkt in kartesischen Koordinaten (in Richtung X, Y, Z)
<b>AP=</b>	Endpunkt in Polarkoordinaten, Polarwinkel, auch bei Linearinterpolation
<b>RP=</b>	Endpunkt in Polarkoordinaten, Polarradius, auch bei Linearinterpolation
<b>AR=</b>	Öffnungswinkel

#### 840D Splinevarianten

<b>CSPLINE</b>	Aktivierung Kubisch interpolierender Spline
<b>ASPLINE</b>	Aktivierung Akima-Spline
	<b>Anfangs- und Endbedingung</b>
	BNAT / ENAT Krümmung Null
	BTAN / ETAN Übergang tangential
	BAUTO / EAUTO C3-stetig am ersten und letzten Splinesegmentübergang

**BSPLINE** Aktivierung B-Spline  
**SD=...** Ordnung B-Spline (max. 3)  
**PL=...** Intervalllänge (Knoten Vektor), „Nicht Uniformität“  
**PW=...** Gewichte, d.h. Nenner der rationalen B-Splines bei Polynomdarstellung

**Beispiel**

N20 BSPLINE X... Y... SD=... PL=... PW=...

**POLY** Aktivierung Polynominterpolation, B-Spline-Darstellung in Polynomform  
**SD=...** Ordnung B-Spline (max. 5!! -> Unterschied zu BSPLINE)  
**PL= ...** Intervalllänge (Knoten Vektor), "Nicht Uniformität"

**Syntax**

PO[Achse] = (Satzendposition, a2 (quadratischer Koeffizient),  
a3 (kubischer Koeffizient), a4, a5) -> Zählerpolynome  
PO[ ] = (NSatzende, b2, b3, b4, b5) -> Nennerpolynom

**Beispiel**

N10 POLY PO[X] = (0.25,0.5,0) PO[Y] = (0.433,0,0) PO[] = (1,1,0)

**Kompressor**

**COMPCAD** Flächenoptimierter Kompressor (beschleunigungsstetig)  
siehe auch CYCLE832

**COMPCURV** Beschleunigungs- und ruckstetige Übergänge

**COMPON** Geschwindigkeitsstetige Übergänge

**UPATH** Zusätzliche Befehle für Kombination von Bahn- und Synchronachsen  
Parametrierung der Synchronachsen entspricht der Bahnachsen, d.h.,  
für die Bewegung einer Synchronachse A gilt:  $A = f(u)$ , wenn u den  
Bahnparameter für die Bahnbewegung bezeichnet.

**SPATH** Parametrierung der Synchronachsen folgt der Bogenlänge bei den  
Bahnachsen, d.h., für die Bewegung einer Synchronachse A gilt:  $A = f(s)$ ,  
wobei s die Bogenlänge für die Bahnbewegung bezeichnet.

## Dynamisches Verhalten

### Technologie G-Gruppen

<b>DYNNORM</b>	Normale Dynamik wie bisher
<b>DYNPOS</b>	Positionierbetrieb, Gewindebohren
<b>DYNROUGH</b>	Schruppen
<b>DYNSEMIFIN</b>	Schlichten
<b>DYNFINISH</b>	Feinschlichten

### Look Ahead

<b>G64</b>	<b>Überfahren des Satzendes (LOOK AHEAD)</b> <b>Überschleifen</b>
<b>G641</b>	ADIS = ... Überschleifabstand
<b>G642</b>	ADISPOS = ... Überschleifabstand bei G0, geschwindigkeitsstetig Überschleifen mit Einzelachstoleranzen oder ADIS, ADISPOS über Zwischensätze, beschleunigungsstetig
<b>G645</b>	Bahnsteuerbetrieb mit Überschleifen von Ecken und tangentialer Satzübergänge unter Einhaltung definierter Toleranzen
<b>G60, G64, G645</b>	G-Codegruppe 10

### Geschwindigkeitsprogrammierung

	<b>Konventionelle satzweise Geschwindigkeitsprogrammierung über</b>
<b>G94</b>	inch/min bzw. mm/min
<b>G93</b>	inverse Zeit
<b>G95</b>	inch, mm pro Spindelumdrehung
<b>G96</b>	Konstante Schnittgeschwindigkeit

#### Programmierung von Geschwindigkeits-/Vorschubprofilen

Zur flexibleren Vorgabe des Vorschubverlaufs wird die Vorschubprogrammierung nach DIN 66025 um lineare und kubische Verläufe erweitert. Die kubischen Verläufe können direkt oder als interpolierende Splines programmiert werden. Hierdurch lassen sich – abhängig von der Krümmung des zu bearbeitenden Werkstücks – kontinuierlich glatte Geschwindigkeitsverläufe programmieren.

Diese Geschwindigkeitsverläufe ermöglichen begrenzende Beschleunigungsänderungen und hierdurch Fertigung gleichmäßiger Werkstückoberflächen.

<b>FNORM</b>	Grundeinstellung. Der Vorschubwert wird über den Bahnweg des Satzes vorgegeben und gilt danach als modaler Wert.
<b>FLIN</b>	Bahngeschwindigkeitsprofil linear: Der Vorschubwert wird vom aktuellen Wert am Satzanfang bis zum Satzende über den Bahnweg linear eingefahren und gilt danach als modaler Wert.
<b>FCUB</b>	Bahngeschwindigkeitsprofil kubisch: Die satzweise programmierten F-Werte werden – bezogen auf den Satzendpunkt – durch einen Spline verbunden. Der Spline beginnt und endet tangential zur vorhergehenden bzw. nachfolgenden Vorschubangabe. Fehlt in einem Satz die F-Adresse, so wird hierfür der zuletzt programmierte F-Wert verwendet.
<b>F=FPO(..)</b>	Bahngeschwindigkeitsprofil über Polynom: Die F-Adresse bezeichnet den Vorschubverlauf über ein Polynom vom aktuellen Wert bis zum Satzende. Der Endwert gilt danach als modaler Wert.
<b>endfeed</b>	Vorschub am Satzende
<b>quadf</b>	Quadratischer Polynomkoeffizient
<b>ubf</b>	Kubischer Polynomkoeffizient

**Bahnbezug**

**FGROUP(X, Y, Z,...)** Definiert die Bahnachsen bezüglich des Vorschubes, d.h., Gesamtanschub bezieht sich auf die hier definierten Achsen.

Beispiel: FGROUP(X, Y), dann gilt:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

**Ruck**

<b>SOFT</b>	Ruckbegrenzung
<b>BRISK</b>	Beschleunigungsbegrenzung

**Vorsteuerung**

<b>FFWON</b>	Vorsteuerung ein
<b>FWOF</b>	Vorsteuerung aus

## 5-Achs-Funktionalität

### Transformation

<b>TRAORI</b>	Einschalten Transformation 1
<b>TRAORI(1)</b>	Einschalten Transformation 1
<b>TRAORI(2)</b>	Einschalten Transformation 2
<b>TRAORI(1, ..., ..., ...)</b>	Einschalten Transformation 1, generische Transformation, zusätzliche 3 Parameter für Vektor der Grundorientierung
<b>TRAORI(2, ..., ..., ...)</b>	Einschalten Transformation 2, generische Transformation, zusätzliche 3 Parameter für Vektor der Grundorientierung
<b>TRAFOOF</b>	Abschalten Transformation

### Orientierungsprogrammierung

<b>ORIEULER</b>	Orientierungsprogrammierung über Euler-Winkel (Standard)
<b>ORIRPY</b>	Orientierungsprogrammierung über RPY-Winkel
	Ansonsten Festlegung über Maschinendatum.
<b>A2=... B2=... C2=...</b>	Euler- oder RPY-Winkel
<b>A3=... B3=... C3=...</b>	Kartesischer Orientierungsvektor
<b>XH=..., YH=..., ZH=...</b>	Bei ORIVECT oder ORIPLANE synonym zu A3=... etc. Erweiterte Bedeutung in Verbindung mit ORICURVE, hier entweder bei BSPLINE als Kontrollpolygon, oder in Verbindung mit POLY Polynomdefinition, ansonsten Geradeninterpolation für die obere Gerade, geometrisch Großkreis, nicht aber geschwindigkeitsmäßig.
<b>LEAD, TILT</b>	Vorwärts/Seitwärts-Winkel relativ zu Normalenvektoren und Bahntangente. Die Normalenvektoren am Satzanfang und Ende sind durch A4=... B4=... C4=... und A5=... B5=... C5=... definiert.
	Nur in Verbindung mit ORIPATH.

### Orientierungsbezug

<b>ORIMKS</b>	Bezugssystem für den Orientierungsvektor ist das Basiskoordinatensystem.
	Achtung: Verhalten von ORIMKS über Maschinendatum einstellbar.
<b>ORIWKS</b>	Bezugssystem für den Orientierungsvektor ist das Werkstückkoordinatensystem.
	Achtung: Verhalten von ORIWKS über Maschinendatum einstellbar.

## Orientierungsinterpolation

Die folgenden G-Codes sind nur wirksam, wenn das entsprechende Maschinendatum gesetzt ist:

### Achsinterpolation

#### ORIXES

Lineare Interpolation der Maschinenachsen, bzw. Interpolation der Rundachsen mittels Polynomen (bei aktivem POLY)

### Vektorinterpolation

#### ORIVECT

Interpolation des Orientierungsvektors in einer Ebene (Großkreisinterpolation)

#### ORIPANE

Interpolation in einer Ebene (Großkreisinterpolation), Synonym zu ORIVECT

#### ORIPATH

Werkzeugorientierung bezogen auf die Bahn. Dabei wird über Normalenvektor und Bahntangente eine Fläche aufgespannt, die die Bedeutung von LEAD und TILT im Endpunkt definiert. Das heißt, der Bahnbezug gilt nur für die Definition des Endorientierungsvektors. Von der Start- zur Endorientierung wird Großkreisinterpolation durchgeführt. LEAD und TILT haben nicht einfach die Bedeutung von Voreil- und Seitwärtswinkel.

Sie sind folgendermaßen definiert:

LEAD beschreibt die Drehung in der Ebene, die durch Normalenvektor und Bahntangente aufgespannt wird, TILT dann die Drehung um den Normalenvektor. D.h., die beiden haben die Bedeutung von Theta und Phi in einem Kugelkoordinatensystem mit dem Normalenvektor als Z-Achse und der Tangente als X-Achse.

#### ORICONCW

Interpolation auf einer Kegelmantelfläche im Uhrzeigersinn

#### ORICONCCW

Interpolation auf einer Kegelmantelfläche gegen den Uhrzeigersinn

Zusätzlich erforderlich in beiden Fällen:

A3=... B3=... C3=... oder XH=, YH=... , ZH=...

Endorientierung Drehachse des Kegels: A6, B6, C6

Öffnungswinkel: NUT=.

#### ORICONIO

Interpolation auf einer Kegelmantelfläche mit Angabe einer Zwischenorientierung über A7=... B7=... C7=....

Zusätzlich erforderlich:

A3=... B3=... C3=... oder XH=..., YH=..., ZH=... Endorientierung

<b>ORICONTO</b>	<p>Interpolation auf einer Kegelmantelfläche mit tangentialem Übergang Zusätzlich erforderlich: A3=... B3=... C3=... oder XH=..., YH=..., ZH=... Endorientierung</p> <p>Mit POLY kann bei diesen auch PO[PHI] = ..., PO[PSI]=... programmiert werden. Dies ist eine Verallgemeinerung der Großkreisinterpolation, bei der Polynome für Vorwärts- und Seitwärtswinkel programmiert werden. Die Polynome haben bei Kegelinterpolation die gleiche Bedeutung wie bei einer Großkreisinterpolation bei den gegebenen Start- und Endorientierungen. Die Polynome können bei ORIVECT, ORIPLANE, ORICONCW, ORICONCCW, ORICONIO, ORICONTO programmiert werden.</p>
<b>ORICURVE</b>	<p>Orientierungsinterpolation mit Vorgabe der Bewegung der Werkzeuspitze und eines zweiten Punktes auf dem Werkzeug.</p> <p>Die Bahn des zweiten Punktes wird über XH=... YH=... ZH=... definiert, in Verbindung mit BSPLINE als Kontrollpolygon mit POLY als Polynom: PO[XH] = (xe, x2, x3, x4, x5) PO[YH] = (ye, y2, y3, y4, y5) PO[ZH] = (ze, z2, z3, z4, z5)</p> <p>Ohne Zusatzinfo BSPLINE oder POLY erfolgt einfach Linearinterpolation entsprechend von Start- zur Endorientierung.</p>
<b>ORISON</b>	<p>Glättung des Orientierungsverlaufs EIN. Mit der Funktion "Glättung des Orientierungsverlaufs (ORISON)" können Schwankungen der Orientierung über mehrere Sätze hinweg geglättet werden. Dadurch wird ein glatter Verlauf sowohl der Orientierung als auch der Kontur erzielt.</p>
<b>ORISOF</b>	<p>Glättung des Orientierungsverlaufs AUS.</p>

## Werkzeugradiuskorrektur

<b>G40</b>	Deaktivierung aller Varianten
<b>G41</b>	Aktivierung beim Umfangfräsen, Korrekturrichtung links
<b>G42</b>	Aktivierung beim Umfangfräsen, Korrekturrichtung rechts
<b>G450</b>	Kreise an Außenecken (alle Korrekturtypen)
<b>G451</b>	Schnittpunktverfahren an Außenecken (Alle Korrekturtypen)

### 2½-D Umfangsfräsen

<b>CUT2D</b>	2 1/2-D-KORREKTUR mit Korrekturebene durch G17 - G19 bestimmt
<b>CUT2DF</b>	2 1/2-D-KORREKTUR mit Korrekturebene durch Frame bestimmt

### 3-D Umfangsfräsen

<b>CUT3DC</b>	Korrektur senkrecht zur Bahntangente und zur WZ-Orientierung
<b>ORID</b>	Keine Orientierungsänderungen in eingefügten Kreissätzen an Außenecken. Orientierungsbewegung wird in den Linearsätzen durchgeführt.
<b>ORIC</b>	Verfahrstrecke wird durch Kreise verlängert. Die Orientierungsänderung wird anteilig auch im Kreis ausgeführt.

### Stirnfräsen

<b>CUT3DFS</b>	Konstante Orientierung (3-achsig). Werkzeug zeigt in Z-Richtung des über G17-G19 definierten Coordinate systems. Frames haben keinen Einfluss.
<b>CUT3DFF</b>	Konstante Orientierung (3-achsig), Werkzeug in Z-Richtung des aktuell über Frame definierten Koordinatensystems
<b>CUT3DF</b>	5-achsig mit variabler Werkzeugorientierung

### 3D-Umfangfräsen mit Begrenzungsfläche - Kombiniertes Umfang/Stirnfräsen

<b>CUT3DCC</b>	NC-Programm bezieht sich auf die Kontur an der Bearbeitungsfläche.
<b>CUT3DCCD</b>	Das NC-Programm bezieht sich auf die Werkzeugmittelpunktsbahn.

## FRAMES

### Programmierbare Frames

<b>TRANS X... Y... Z...</b>	Absolute Verschiebung
<b>ATRANS X... Y... Z...</b>	Inkrementelle Verschiebung, relativ zu bereits aktivem Frame
<b>ROT X... Y... Z...</b>	Absolute Drehung
<b>AROT X... Y... Z...</b>	Inkrementelle Drehung, relativ zu bereits aktivem Frame
<b>ROTS X... Y...</b>	Absolute Drehung, die durch zwei Winkel beschrieben wird. Die Winkel sind die Winkel der Schnittlinien der schrägen Ebene mit den Hauptebenen gegen die Achsen.
<b>AROTS X... Y...</b>	Inkrementelle Drehung, relativ zu bereits aktivem Frame wie Winkel wie ROTs
<b>RPL=...</b>	Drehung in der Ebene
<b>MIRROR X... Y... Z...</b>	Absolutes Spiegeln
<b>AMIRROR X... Y... Z...</b>	Inkrementelles Spiegeln, relativ zu bereits aktivem Frame
<b>SCALE X... Y... Z...</b>	Absolutes Skalieren
<b>ASCALE X... Y... Z...</b>	Inkrementelles Skalieren, relativ zu bereits aktivem Frame

### Frame-Operatoren

	Über die Frame-Operatoren können Frame-Variable als Verkettung einzelner Frame-Typen definiert werden:
<b>CTRANS (X... Y... Z...)</b>	Absolute Verschiebung
<b>CROT (X... Y... Z...)</b>	Absolute Drehung
<b>CROTS (X... Y... Z...)</b>	Absolute Drehung
<b>CMIRROR (X... Y... Z...)</b>	Absolutes Spiegeln
<b>CSCALE (X... Y... Z...)</b>	Absolutes Skalieren
<b>FRAME = CTRANS(...) : CROT (X... Y... Z...) : CMIRROR (X... Y... Z...)</b>	

### Spezielle Frames

<b>TOFRAME</b>	Toolframe, Koordinatensystem mit Z-Achse in Werkzeugrichtung, Nullpunkt ist die Werkzeugspitze
<b>TOFRAMEX</b>	Toolframe, Koordinatensystem mit X-Achse in Werkzeugrichtung, Nullpunkt ist die Werkzeugspitze
<b>TOFRAMEY</b>	Toolframe, Koordinatensystem mit Y-Achse in Werkzeugrichtung, Nullpunkt ist die Werkzeugspitze
<b>TOFRAMEZ</b>	Toolframe, Koordinatensystem mit Z-Achse in Werkzeugrichtung, Nullpunkt ist die Werkzeugspitze, identisch mit TOFRAME
<b>TOROT</b>	Toolframe, Koordinatensystem mit Z-Achse in Werkzeugrichtung, enthält nur den Drehanteil von TOFRAME. Der Nullpunkt bleibt unverändert.

<b>TOROTX</b>	Toolframe, Koordinatensystem mit X-Achse in Werkzeugrichtung, enthält nur den Drehanteil von TOFRAME. Der Nullpunkt bleibt unverändert.
<b>TOROTY</b>	Toolframe, Koordinatensystem mit Y-Achse in Werkzeugrichtung, enthält nur den Drehanteil von TOFRAME. Der Nullpunkt bleibt unverändert.
<b>TOROTZ</b>	Toolframe, Koordinatensystem mit Z-Achse in Werkzeugrichtung, enthält nur den Drehanteil von TOFRAME. Der Nullpunkt bleibt unverändert.

## 8.2 Weitere Informationen/Dokumentationen

Für die SINUMERIK stehen eine Reihe von Informationsquellen zur Verfügung. Neben der Anwender- und Hersteller-Dokumentation existieren Anwenderforen und Informationen im Internet. Eine Übersicht diese weiteren Informationen finden Sie hier.



### Doconweb

Die komplette SINUMERIK-Dokumentation im Internet per Download. Sie können online nach Begriffen suchen, im Index nachschlagen oder das gewünschte Handbuch als PDF downloaden.

[www.siemens.de/automation/doconweb](http://www.siemens.de/automation/doconweb)



### CNC4you - Portal für Anwender

In diesem Portal finden Sie aktuelle Informationen zu den SINUMERIK-Steuerungen und Beispiele aus der Praxis.

[www.siemens.de/cnc4you](http://www.siemens.de/cnc4you)



### SINUMERIK - Anwenderforum

Im SINUMERIK Anwenderforum können Sie mit anderen SINUMERIK-Nutzern technische Fragen diskutieren. Das Forum wird von erfahrenen Siemens-Technikern moderiert.

[www.siemens.cnc-arena.de](http://www.siemens.cnc-arena.de)



## 8.3 Stichwortverzeichnis

### Number

3- bis 3+2-Achs 104  
5-Achs-Transformation 51

### A

ATOL 75  
Advanced Surface 69  
Animated Elements 10  
Automatikbetrieb 33, 34  
    Messen des Werkstücks 34  
    Werkzeugradius ermitteln 36

### B

BRISK 74  
Bahnsteuerbetrieb 72  
Basisframe 44  
Begriffserklärung  
    Frames 43  
    Schwenken 43  
    TRAORI 43  
Beispielwerkstück 104  
Betriebsart AUTO 33  
Betriebsart JOG 28

### C

CAD-CAM-CNC 8  
CAM System 19  
COMCAD  
    Kompressor-Funktion 16  
COMPCAD 71  
COMPOF 71  
CTOL 68, 75  
CUST\_832 66  
CYCLE800 45  
CYCLE832 22, 66  
    Parameter 67  
CYCLE996 37  
CYCLE997  
    Beispiel 34

### D

DYNFINISH 78  
DYNORM 78  
DYNPOS 78  
DYNROUGH 78  
DYNSEMIFIN 78

Dynamisches Verhalten 114

### E

EXTCALL 22, 24  
Ebene ausrichten 28, 33  
    Beispiel 29  
Ecke messen 28  
Ermitteln der Werkzeuglänge 35, 40  
Externe Speichermedien 24

### F

FFWOF 74  
FFWON 74  
FIFOCTRL 77  
Formenbauansicht 40  
Frame, Frames 120  
    Frame-Operatoren 120  
    Programmierbare Frames 120  
Freiformflächen 98  
    Beispiel 99  
Freiformflächenbearbeitung 15

### G

G645 72  
G-Code Gruppe 59 70  
Gabel 14  
Genauigkeit 15, 20, 66  
Geschwindigkeit 15, 66  
Geschwindigkeitsprogrammierung 114  
Glättung des Orientierungsverlaufs 76

### H

High Speed Settings 66

### J

JOG 31  
    Werkzeug messen 31

### K

Kante messen 28, 33  
Kinematik berechnen 38  
Kinematiken 14  
Kinematikmesszyklus 37  
Kompressor 16, 71, 113  
Kompressor-Funktion 16  
Koordinatensysteme 44

**L**

Linearachsen 12  
 Look Ahead 114  
 Look ahead 72

**M**

MKS 25  
 Maschinenkinematiken 45  
 Messen in JOG und AUTOMATIK 27  
 Messtaster 28, 31, 34  
 Messtaster kalibrieren 28  
 Messzyklen 27, 28, 35  
     anwählen 28  
 Messzyklen in AUTOMATIK 33  
 Messzyklen in JOG 28

**N**

Nullpunktverschiebungen 25

**O**

OIRMKS 60  
 ORIAxes 61  
 ORICONxx 62  
 ORIPATH 64  
 ORISON 22, 76  
 ORIVECT/ORIPLANE 61  
 ORIWKS 60  
 OTOL 68, 75  
 Oberflächengüte 15, 66  
 Oberflächenqualität 8  
 Orientierungsinterpolation 59

**P**

Programmierbares Überschleifen  
     Splineinterpolation 16  
 Programmierung Richtungsvektor 13  
 Programmierung Rundachsen 13  
 Programmmanager 23  
 Programmstruktur 21  
 Prozesskette 8, 18  
     CAD - CAM - CNC 11  
 Prozessmessen 33

**R**

Rechtwinklige Ecke 29  
 Richtungsvektor 13  
 Ruck 115  
 Ruckbegrenzung 74

Rundachsen 12, 14  
 Rundachspositionen 13

**S**

SINUMERIK MDynamics 9  
 SINUMERIK Operate 10  
 SOFT 74  
 SPATH 75  
 Schwenken  
     Cycle800 45  
 Schwenkkopf 45  
 Schwenktisch 45  
 Simulation 39  
 Spline 16  
 Spline-Kompressor 71  
 Strukturteile  
     Beispiel 87  
     Funktionen 86

**T**

TRAORI 51  
     Funktion 52  
     Programmierung 53  
 Tasche messen 34  
 Tasche/Bohrung messen 28  
 Technologie G-Gruppen 78, 114  
 Toleranz 20  
 Toleranz\_Tol. 67  
 Triebwerks- und Turbinenkomponenten 92

**U**

UPATH 75

**V**

VCS 82  
 VNCK - Virtuelle Maschine 83  
 Volumetric Compensation System 82  
 Vorpositionieren mit CYCLE800 105  
 Vorsteuerung 74, 115

**W**

WKS 25  
 Wegbefehle 112  
 Werkstück  
     einrichten 28  
 Werkstück messen in AUTOMATIK 33  
 Werkstückvisualisierung 39  
 Werkzeug

- messen in JOG 31
- Werkzeug messen 35
- Werkzeug messen in AUTOMATIK 35
- Werkzeug messen in JOG 30
- Werkzeugbezugspunkt 30
- Werkzeuge vermessen 30
- Werkzeuggeometrien 30
- Werkzeugliste 26
- Werkzeugorientierung 54
  - Flächennormalenvektor 57
  - LEAD/TILT 58
  - ORIEULER/ORIRPY 56
  - Richtungsvektor 54
  - Rundachspositionen 55
- Werkzeugorientierung und Kinematik 51
- Werkzeugradiuskorrektur 119
- Werkzeugtabelle 30
- Werkzeugtyp
  - Fräserarten 31
- Werkzeugverschleißliste 26
- Werkzeugverwaltung 26

**Z**

- Zapfen messen 33
- Zapfen/Bohrung messen 28
- nutierte Achse 10, 14



## Weitere Informationen

Vertiefende Infos über SINUMERIK finden Sie unter:  
[www.siemens.de/sinumerik](http://www.siemens.de/sinumerik)

Vertiefende technische Dokumentation auf unserem  
Service&Support Portal:  
[www.siemens.com/automation/support](http://www.siemens.com/automation/support)

Für ein persönliches Gespräch finden Sie Ansprechpartner  
in Ihrer Nähe unter:  
[www.siemens.com/automation/partner](http://www.siemens.com/automation/partner)

Mit der Mall können Sie direkt elektronisch im Internet bestellen:  
[www.siemens.com/automation/mall](http://www.siemens.com/automation/mall)

Siemens AG  
Industry Sector  
Drive Technologies  
Motion Control  
Postfach 3180  
91050 Erlangen  
DEUTSCHLAND

[www.siemens.de/sinumerik](http://www.siemens.de/sinumerik)

Änderungen vorbehalten  
6FC5095-0AB10-0AP2  
© Siemens AG 2011