

Fräsen mit SINUMERIK

5-Achs-Bearbeitung

Handbuch



SINUMERIK

SIEMENS

SINUMERIK 5-Achs-Bearbeitung

Handbuch

Gültig für:

Steuerung

SINUMERIK 840D
SINUMERIK 840D sl
SINUMERIK 840Di

Ausgabe 05/2009

Dokbestnr. 6FC5095-0AB10-0AP1

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

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.

Hat sich der auf der Seite dargestellte technische Sachverhalt gegenüber dem vorherigen Ausgabestand geändert, wird dies durch den veränderten Ausgabestand in der Kopfzeile der jeweiligen Seite angezeigt.

Ausgabe	Bestell-Nr.	Bemerkung
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 - 2009. 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.

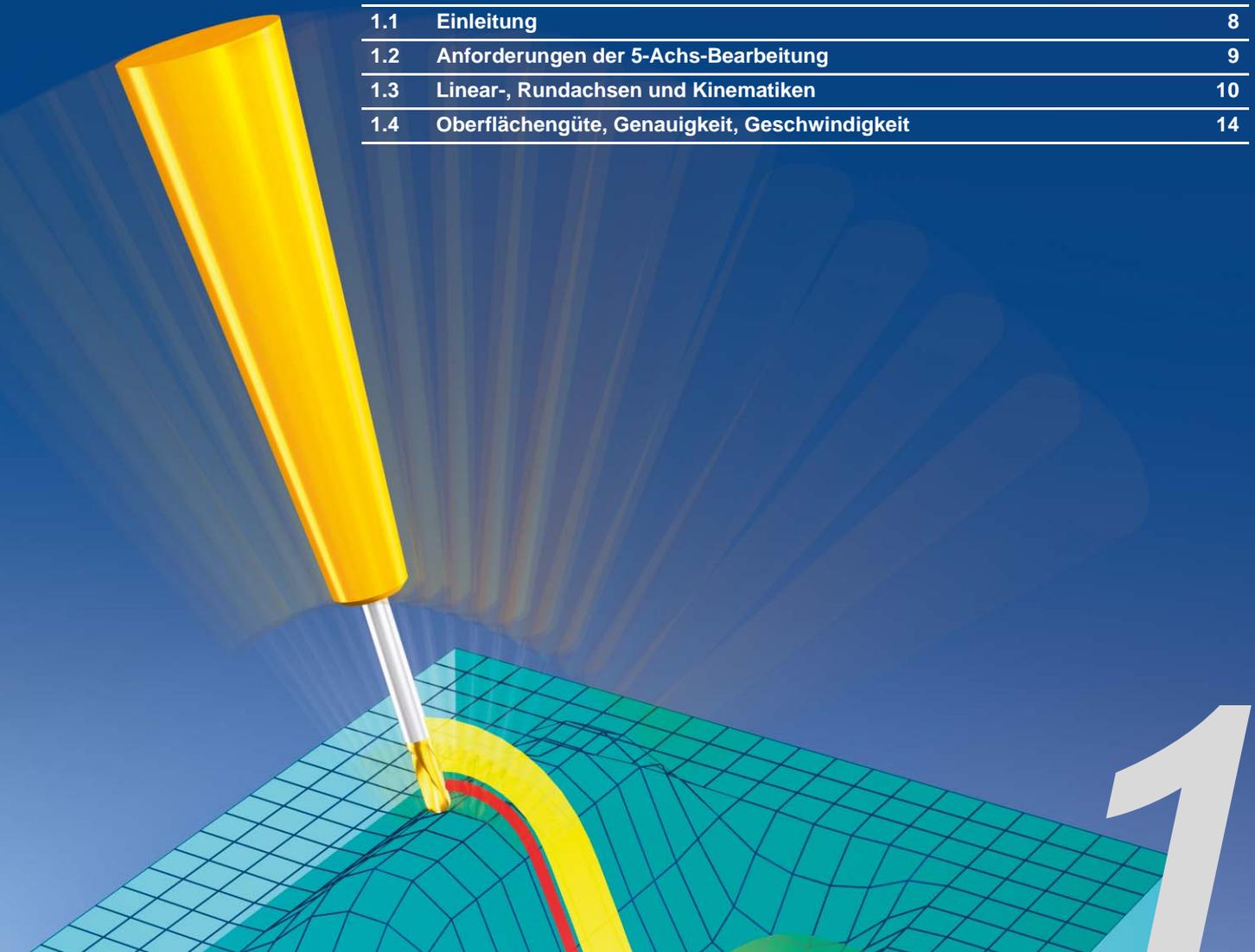
Siemens-Aktiengesellschaft

	Seite
1 Basisinformationen	7
1.1 Einleitung	8
1.2 Anforderungen der 5-Achs-Bearbeitung	9
1.3 Linear-, Rundachsen und Kinematiken	10
1.4 Oberflächengüte, Genauigkeit, Geschwindigkeit	14
2 Allgemeines zur Werkstückfertigung	17
2.1 Prozesskette für die Fertigung von 5-Achs-Werkstücken	18
2.2 CAM System	19
2.3 Programmstruktur für die 5-Achs-Bearbeitung	21
2.4 Einführung - Messen in JOG und AUTOMATIK	23
2.5 Werkstück einrichten und messen in JOG	24
2.6 Werkzeug messen in JOG	27
2.7 Werkstück messen in AUTOMATIK	30
2.8 Werkzeug messen in AUTOMATIK	33
2.9 Maschine prüfen/kalibrieren mit dem Kinematikmesszyklus CYCLE996	35
2.10 Quick View / Schnelldarstellung	37
2.11 ShopMill - Grafische Oberfläche	38
3 Wichtige Funktionen der 5-Achs-Bearbeitung.....	39
3.1 Einleitung	40
3.2 Begriffserklärung Schwenken, Frames und TRAORI	41
3.3 Koordinatensysteme transformieren - Frames	42
3.4 Schwenken - CYCLE800	44
3.5 5-Achs-Transformation TRAORI	46
3.6 High Speed Settings – CYCLE832	63
3.7 Werkzeugradiuskorrekturen CUT3D	73
3.8 Volumetric Compensation System (VCS)	76
3.9 VNCK - Virtuelle Maschine	77
4 Aerospace, Strukturteile	79
4.1 Spezielle Funktionen für Strukturteile	80
4.2 Programmierbeispiel für die Tasche eines Strukturteils	81
5 Triebwerks- und Turbinenkomponenten	85
5.1 Spezielle Funktionen für Triebwerks- und Turbinenkomponenten	86
5.2 Beispiel Schaufelblatt	87
6 Komplexe Freiformflächen	91
6.1 Spezielle Funktionen für Freiformflächen	92
6.2 Beispiel Fräsen eines Mantarochens	93

	Seite
7 Nachschlagen	97
7.1 Höherwertige Funktionen im Überblick	98
7.2 Weitere Informationen/Dokumentationen	108
7.3 Stichwortverzeichnis	110

Basisinformationen

Inhalt	Seite
1.1 Einleitung	8
1.2 Anforderungen der 5-Achs-Bearbeitung	9
1.3 Linear-, Rundachsen und Kinematiken	10
1.4 Oberflächengüte, Genauigkeit, Geschwindigkeit	14



1.1 Einleitung

Perfekte Oberflächenqualität, Präzision und Geschwindigkeit ohne Nacharbeit sind die Hauptziele bei der Mehrachs-Bearbeitung. 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 Mehrachs-Programmierung und -Bearbeitung, speziell der 5-Achs-Bearbeitung, wesentlich vereinfacht, und das Produktionsergebnis verbessert wird.

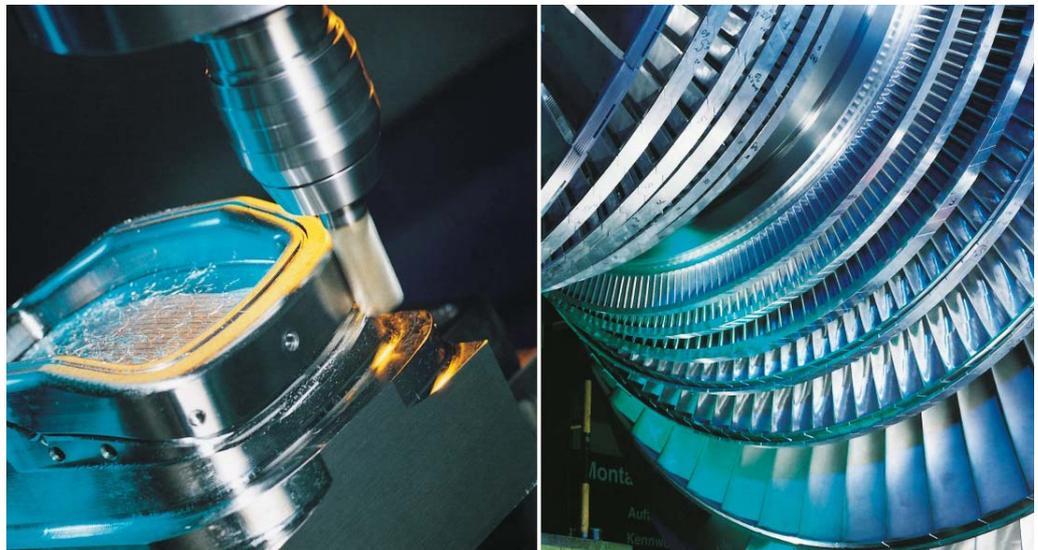
Das Handbuch bietet in kompakter Form Fachleuten aus Industrie und Forschung einen Einstieg in die wichtigsten Grundlagen der Mehrachs-Bearbeitung. Darauf aufbauend gibt es dem Anwender an der Maschine praktische Hinweise für eine effiziente Arbeitsgestaltung und dem Programmierer einen Einblick in die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

Für die verschiedenen Einsatzbereiche der Mehrachs-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 108.)

Dieses Handbuch dient als Ergänzung zum Handbuch Werkzeug- und Formenbau (3-Achs-Handbuch), das sich mit den typischen Funktionen der 3-Achs-Bearbeitung beschäftigt. Zum besseren Verständnis, können Sie sich darin über die Grundlagen und Funktionen informieren.

Spannweite der 5-Achsbearbeitung



1.2 Anforderungen der 5-Achs-Bearbeitung

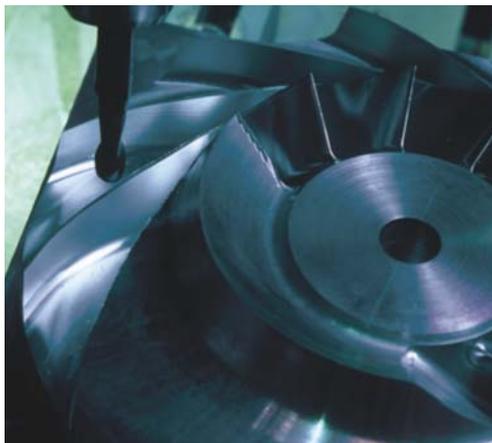
Freiformflächen Formenbau



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.

Trotzdem hat der Spezialist an der Werkzeugmaschine die technologische Verantwortung für die Qualität der Form und des gesamten Werkzeugs.

Triebwerks- und Turbinenkomponenten z. B. Impeller



Mit der SINUMERIK bietet Siemens CNC-Steuerungen, die genau auf die Ansprüche der 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
- maximale Qualitätsbeherrschung an der Maschine
- optimierte 5-Achs-Funktionen

Unterschiedliche Anforderungen je nach Einsatzgebiet

Strukturteile Flugzeugindustrie



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

Die 5-Achs-Bearbeitung kann dabei in drei große Bereiche eingeteilt werden:

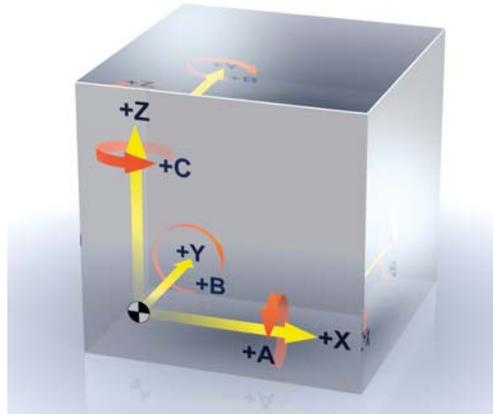
- Freiformflächen (Formenbau)
- Turbinen- und Triebwerkskomponenten (Impeller, Blistk)
- Strukturteile (Flugzeugindustrie)

Für jeden dieser Bereiche bietet die SINUMERIK optimale Unterstützung.

1.3 Linear-, Rundachsen und Kinematiken

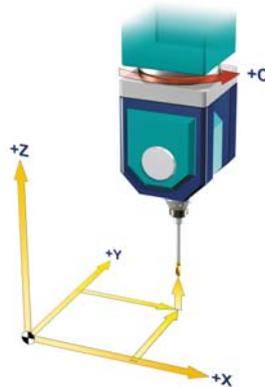
1.3.1 Achsen und Programmierung

Linear- und Rundachsen



Für Bearbeitungsfälle mit angestellten Werkzeugen, oder um beliebig im Raum liegende Geometrien zu fräsen, sind die 3 Linearachsen X, Y und Z und noch zwei Rundachsen A, B oder C erforderlich. Die Achsen müssen simultan angesteuert werden können.

Bewegung Werkzeugschneidspitze



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



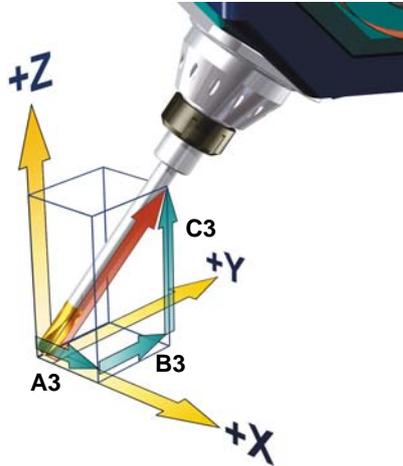
Mit zwei Drehachsen, z. B. B und C wird die Anstellung des Werkzeugs, d. h. die Werkzeugorientierung verändert.

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-Achs-Bearbeitung.

Möglichkeiten der CNC-Programmierung

**Programmierung
Richtungsvektor**



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.

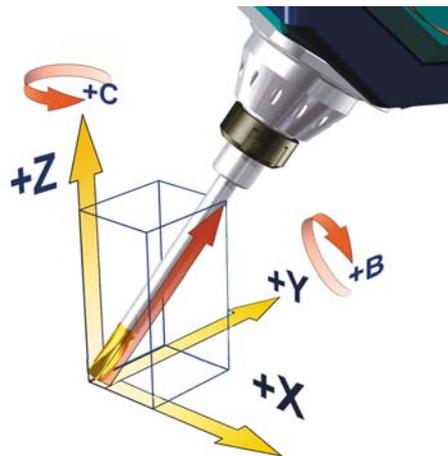
Zur Beschreibung der Werkzeugorientierung empfiehlt sich die Angabe des Richtungsvektor A3, B3 und C3, um die Orientierung unabhängig von der Maschinenkinematik zu programmieren.

Damit wird die Sollposition und die Orientierung des Werkzeugs eindeutig beschrieben.

Im Beispiel steht das Werkzeug in der Position (0,0,0) als Diagonale eines Würfels (35,26° zur X-Y-Ebene).

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

**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:

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

Im Beispiel steht das Werkzeug in der Position (0,0,0) als Diagonale eines Würfels (35,26° zur X-Y-Ebene).

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 50

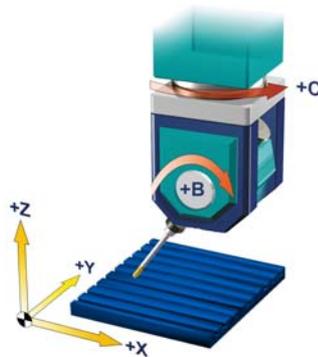
1.3.2 Kinematiken von 5-Achs-Bearbeitungszentren

Eine 5-Achs-Maschine kann Werkzeugbewegungen in 5 Achsen steuern. Das sind die 3 bekannten Linearachsen und zusätzlich 2 Rundachsen. Für die beiden Rundachsen gibt es unterschiedliche Kinematiklösungen. Die Gebräuchlichsten stellen wir schematisch vor. Für verschiedene Anforderungen entwickeln die Hersteller von Werkzeugmaschinen immer wieder neue Kinematiklösungen.

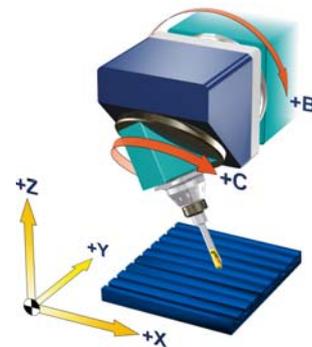
Mit SINUMERIK Steuerungen sind wir in der Lage auf Grund der integrierten, kinematischen Transformation auch Sonderkinematiken zu steuern. Sonderfälle wie Hexapoden o. Ä. werden hier nicht näher betrachtet.

Zwei Rundachsen im Kopf

Gabel

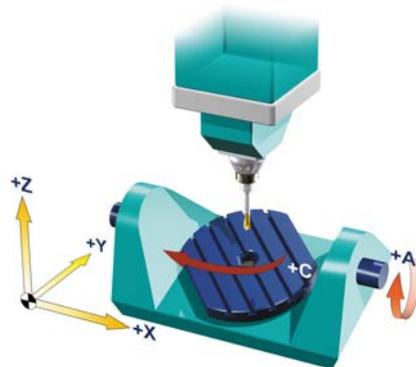


Gabel nutiert *

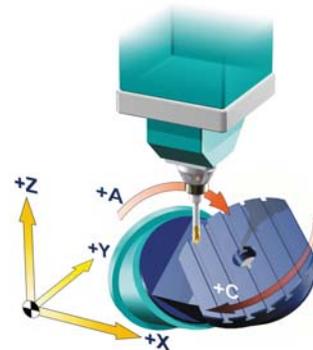


Zwei Rundachsen im Tisch

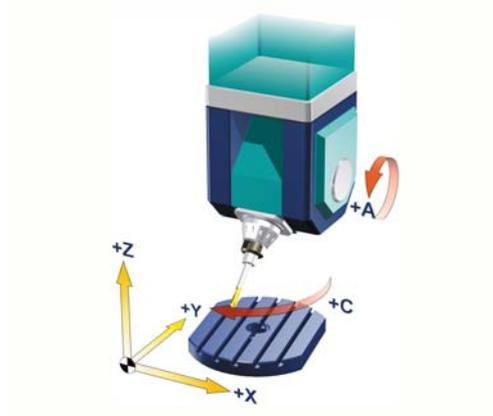
Dreh/Schwenk



Dreh/Schwenk nutiert *

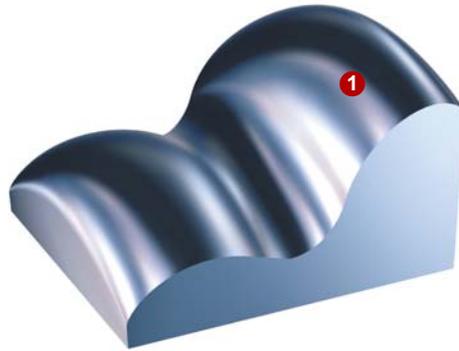


*: Steht die Drehachse nicht senkrecht auf einer Linearachse, spricht man von einer "nutierten" Achse.

Eine Rundachse im Kopf / Eine Rundachse im Tisch

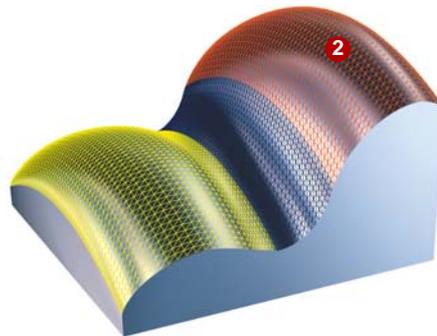
1.4 Oberflächengüte, Genauigkeit, Geschwindigkeit

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.



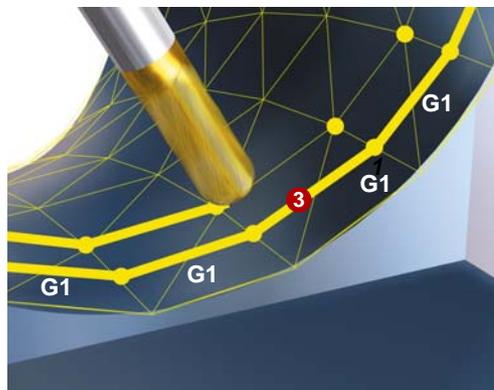
In CAD-Systemen werden Flächen **1** höheren Grades konstruiert (Freiform).

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.

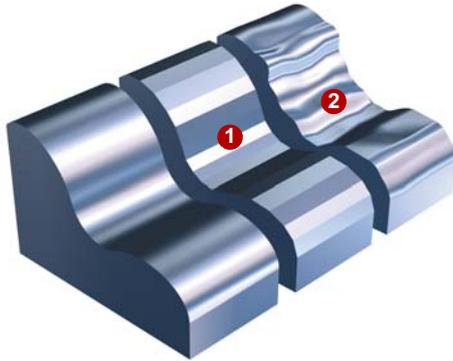


Der CAM-Programmierer legt auf diesen Polyeder Werkzeugbahnen. Der Postprozessor erzeugt daraus NC-Sätze innerhalb der vorgegebenen Fehlertoleranzen. Das sind i. d. R. viele kleine Geradenstückchen, G1 X Y Z . **3**

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

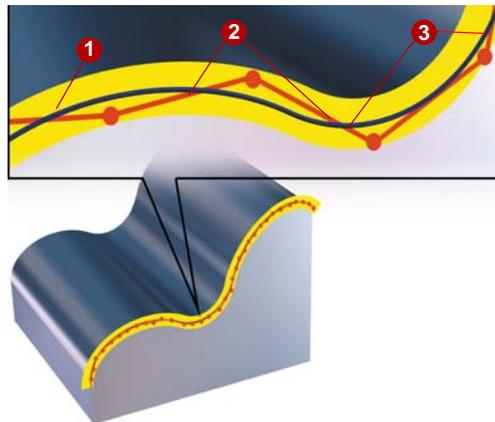
Dies kann zu einer unerwünschten Nachbearbeitung führen.

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



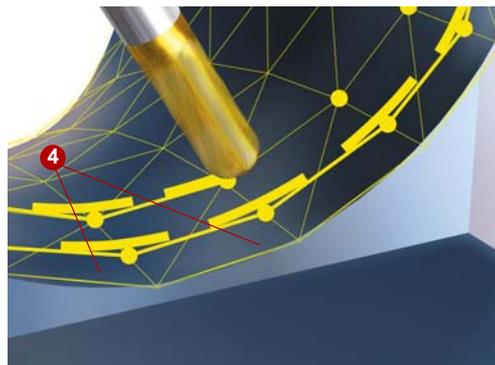
Kompressor-Funktion (COMPCAD)

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.

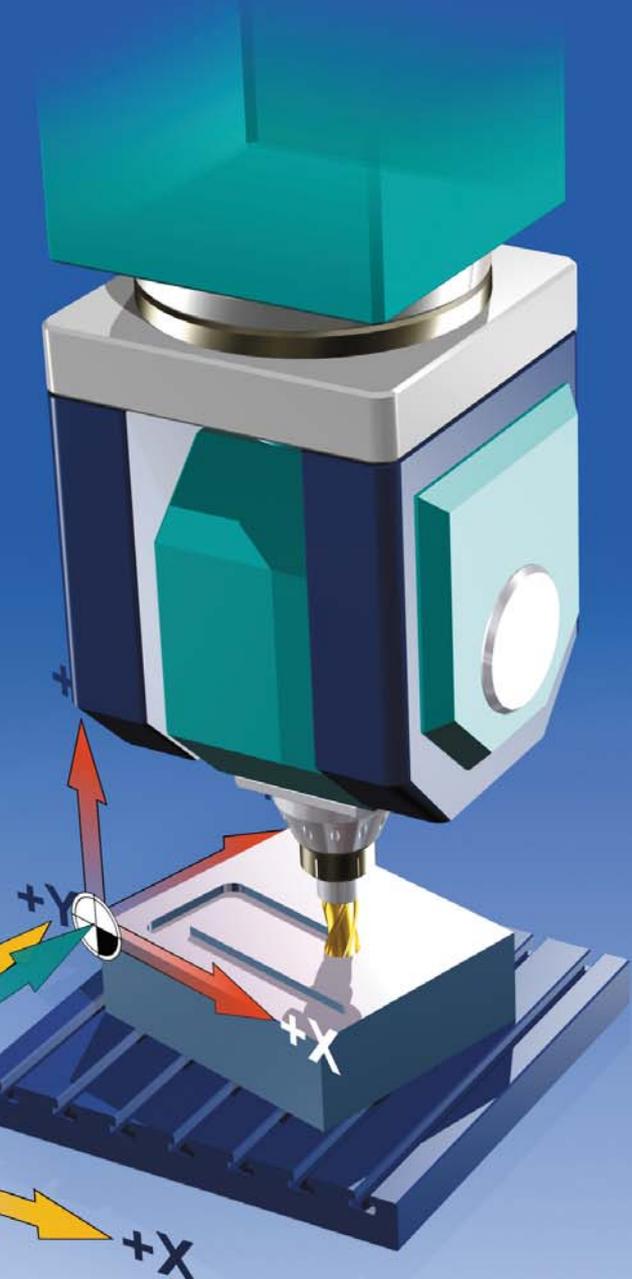


Programmierbares Überschleifen

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 5-Achs-Werkstücken	18
2.2 CAM System	19
2.3 Programmstruktur für die 5-Achs-Bearbeitung	21
2.4 Einführung - Messen in JOG und AUTOMATIK	23
2.5 Werkstück einrichten und messen in JOG	24
2.6 Werkzeug messen in JOG	27
2.7 Werkstück messen in AUTOMATIK	30
2.8 Werkzeug messen in AUTOMATIK	33
2.9 Maschine prüfen/kalibrieren mit dem Kinematikmesszyklus CYCLE996	35
2.10 Quick View / Schnelldarstellung	37
2.11 ShopMill - Grafische Oberfläche	38

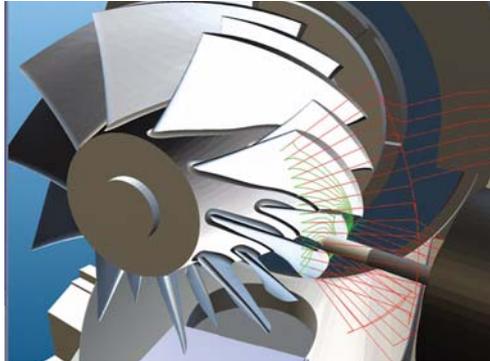
2



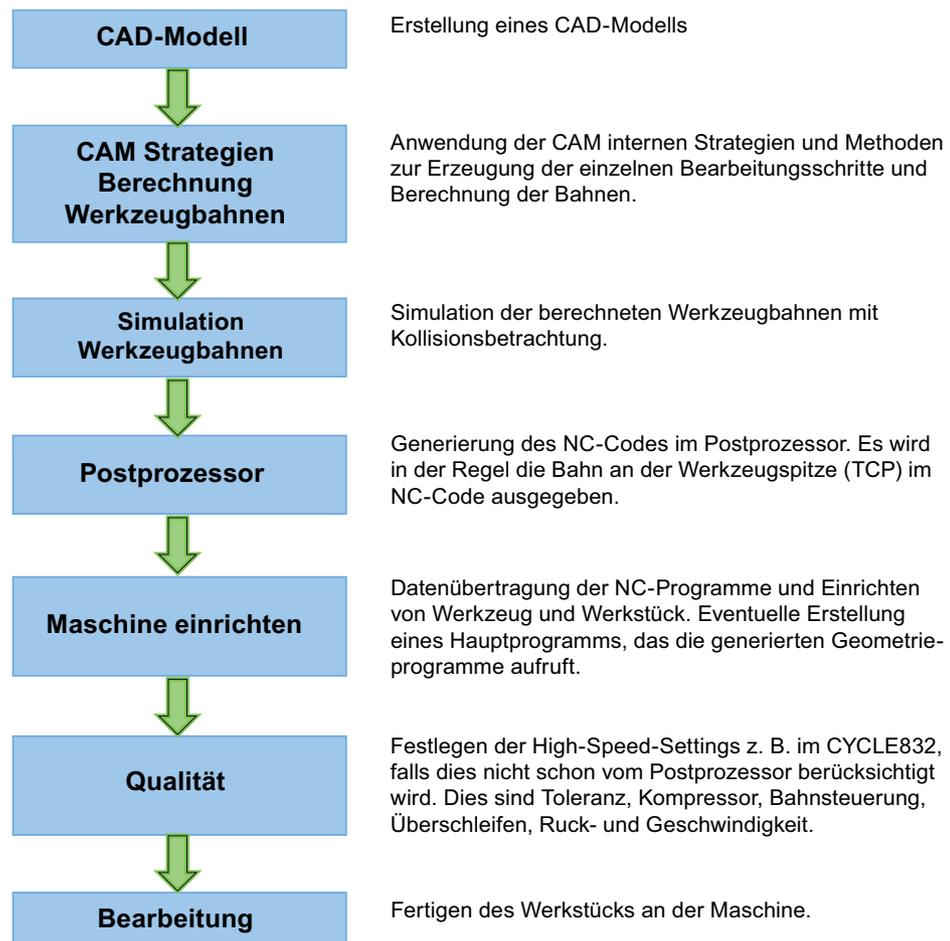
2.1 Prozesskette für die Fertigung von 5-Achs-Werkstücken

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

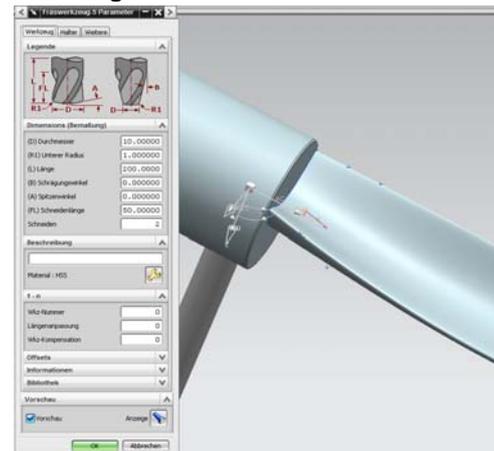


2.2 CAM System

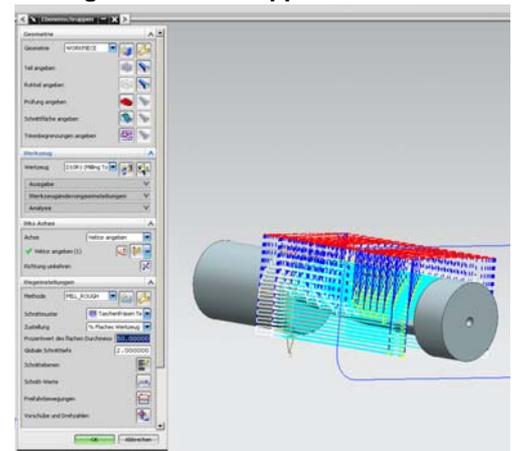
Dem CAM-System obliegt bei der Verfahrenskette die wichtige Aufgabe der Generierung der NC-Programme. Die Qualität dieser Daten beeinflusst maßgeblich das Ergebnis bei der Fertigung des Werkstücks.

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 Flächegeometrien 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 Flächegeometrie. 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 Anfahrs- 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 Postprozessoren, 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.

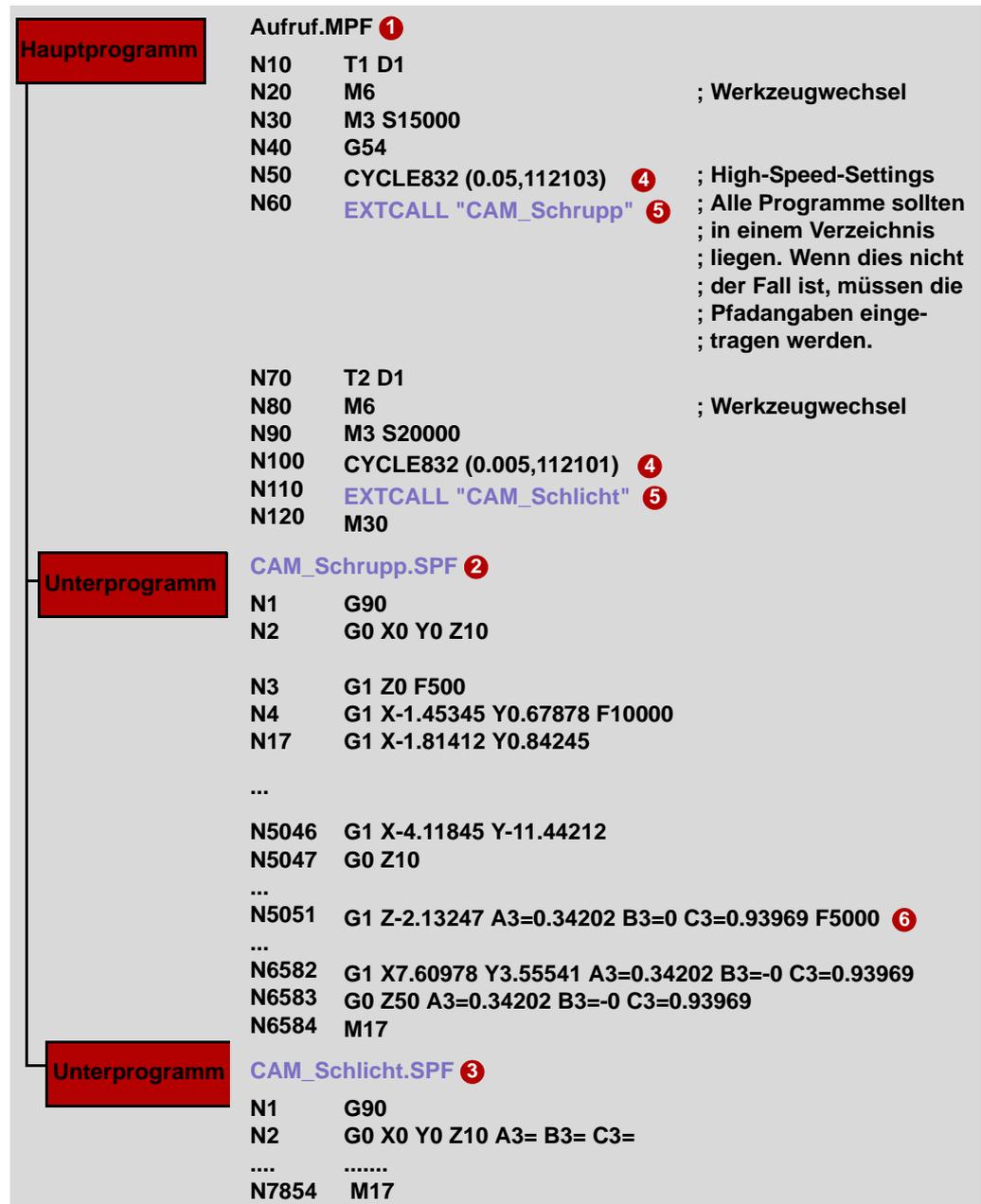
Bei der Ausgabe als Rundachsenpositionen sollte bei 5-Achs-Programmen die Genauigkeit 5 Nachkommastellen in den Linear- und Rundachsen für beste Oberflächengüte betragen. Erfolgt die Ausgabe als Richtungsvektor empfehlen wir 5 Nachkommastellen in den Linearachsen und 6 Nachkommastellen bei den Richtungsvektoren.

2.3 Programmstruktur für die 5-Achs-Bearbeitung

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 entwickelt. 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 Genauigkeit und Oberflächengüte gesetzt.

Im CYCLE832 kann auch TRAORI aufgerufen werden. Die aktuelle Nullpunktverschiebung bleibt erhalten. Zum CYCLE832 erfahren Sie mehr im Kapitel Siehe "High Speed Settings – CYCLE832" auf Seite 63.

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.

Unterprogramm: Im Unterprogramm folgen auf G90 für Absolutprogrammierung sofort die Geometriesätze. In unserem Beispiel sind dies zunächst Sätze für das 3-Achsfräsen bevor die Sätze für das 5-Achs-Simultanfräsen **6** folgen. Diese sind durch A3, B3 und C3 gekennzeichnet.

2.4 Einführung - 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 unbekanntene Maße des Werkstücks und des Werkzeugs erfasst werden.

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

Messen in AUTOMATIK

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

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

Messzyklen für alle Messaufgaben

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

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

Schaltender 3D-Messtaster



Messzyklus Bohrung messen



2.5 Werkstück einrichten und 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.

2.5.1 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. die Maschine einzurichten.



Ist nur ein einziges Werkstück zu bearbeiten, verwendet man Messen in der Betriebsart JOG (wie nachfolgend beschrieben). Sind mehrere ähnliche Teile in der gleichen Vorrichtung zu bearbeiten, verwendet man die Messzyklen in der Betriebsart Automatik (der Nullpunkt muss grob eingerichtet sein).

Für das Messen stehen Ihnen praxisgerechte Messzyklen zur Verfügung

Messzyklen in JOG
für SINUMERIK

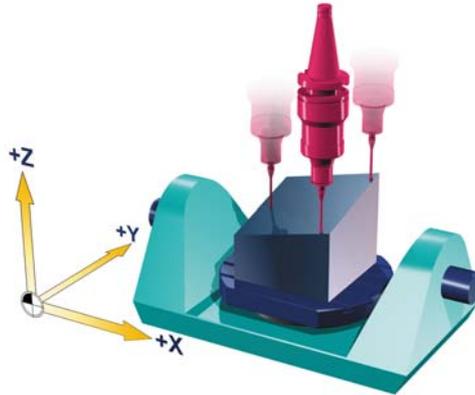
Maschine	FRAES_SUEI_KORR	JOG	MPF.DIR
Kanal RESET			BOHRUNG_C977.MPF
			Programm abgebrochen
ROV			
WKS	Position	Repos-Versch.	Masterspindel S1
X	-0.0300 mm	0.0000	Ist 0.000 U/min
Y	-0.3000 mm	0.0000	Soll 0.000 U/min
Z	-30.0000 mm	0.0000	Pos 0 grad
C	0.0000 grd	0.0000	100.0 %
B	0.0000 grd	0.0000	Leistung 0%

Werkstückmessen	
	→ Kante messen
	→ Ecke messen
	→ Tasche/Bohrung messen
	→ Zapfen/Bohrung messen
	→ Ebene ausrichten
Abgleich Taster	→ Messtaster kalibrieren
	→ zurück (Messen in JOG verlassen)

Schwenken	Messen Werkstück	Messen Werkzeug
-----------	------------------	-----------------

Voraussetzungen für den Einsatz der Zyklen

- Messzyklen sind installiert.
- Werkstück ist aufgespannt.
- Messtaster ist kalibriert und aktiv; Werkzeugkorrektur ist aktiviert.

Beispiele Messzyklen**Ebene ausrichten****Ebene ausrichten (CYCLE998)**

Mit der 3-Punkt-Messung wird die Lage der Ebene im Maschinenkoordinatensystem ermittelt. Ist die Option Schwenken bzw. 5-Achstransformation eingerichtet, wird bei Ermittlung der NPV der Tisch bzw. der Kopf entsprechend der Korrekturwerte ausgerichtet.

TIPP

Im Handbuch *Werkzeug- und Formenbau 3-Achsen* finden Sie ausführliche Beispiele zum Einrichten von Maschinen mit zwei Rundachsen.

2.5.2 Beispiel eines Messvorgangs

Mit dem Messzyklus **Ebene ausrichten** soll die Werkstückebene horizontal ausgerichtet werden. Die Korrektur soll in der Nullpunktverschiebung G54 erfolgen.

- ▶ Wählen Sie den Softkey **Ebene ausrichten**.
- ▶ Fahren Sie den Messtaster an den Messpunkt **P1** heran.
- ▶ Wählen Sie die Nullpunktverschiebung z. B. **G54** (1)
- ▶ Mit "NC-Start" wird der jeweilige Messpunkt P1, P2 und P3 (2), 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 Berechnen (3).

WKS	Position	Repos-Versch.	Masterspindel	S1
X	3.5090 mm	0.0000	Ist	0.000 U/min
Y	22.5930 mm	0.0000	Soll	0.000 U/min
Z	-49.7300 mm	0.0000	Pos	0 grad
SP	0.0000 grad	0.0000	Leistung	100.0 %
C	354.6680 grad	0.0000		0%

- ▶ Die Ebene wird horizontal ausgerichtet. Ist auf der Maschine Schwenken bzw. TRAORI eingerichtet, können Sie das Werkstück sofort zu den Achsen ausrichten. Ist kein Schwenken eingerichtet, können Sie den Messtaster senkrecht zur gemessenen Ebene ausrichten. Die Korrektur erfolgt dann nur in den Koordinatenachsen, ohne ein sichtbares Schwenken des Tisches bzw. Kopfes. (4).

Sie haben in eine nicht akt. NV korrigiert!

Diese Nullpunktverschiebung aktivieren? **ja**

Messtaster senkrecht auf Ebene stellen? **ja**

Ausrichten erfolgt durch Schwenken! **ja**

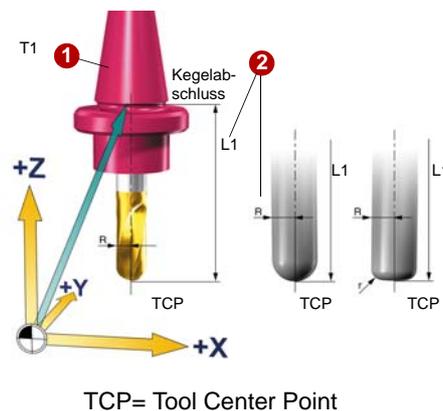
Vor Ausrichten in WZ-Richt. freifahren? **ja**

2.6 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 manuell, halbautomatisch oder automatisch mittels Messdose in der Betriebsart JOG ermitteln.

2.6.1 Werkzeugbezugspunkt



Wie gewohnt wird das Werkzeugmagazin bestückt, die Werkzeugnummern T1, T2 usw.

1 in die Werkzeugtabelle eingegeben und den Werkzeugen eine Werkzeugkorrektur D 2, bestehend aus Radius "R" und Länge "L1", zugewiesen.

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

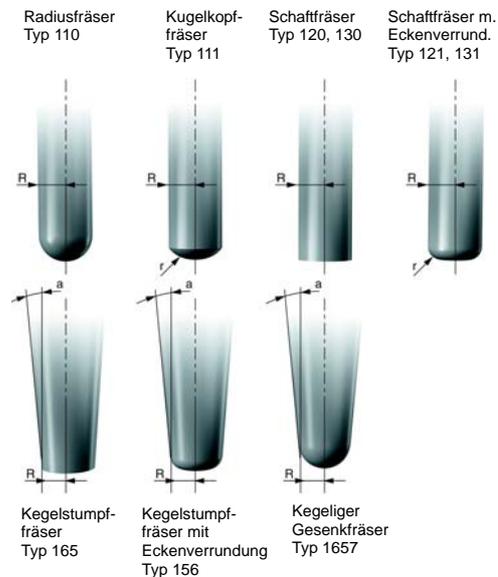
D.h. wenn Sie die Länge Ihrer Werkzeuge vermessen, müssen Sie den gleichen Bezugspunkt (TCP) verwenden wie das CAM-System. Prüfen Sie für die Werkzeuglänge unbedingt, welchen Bezugspunkt der CAM-Programmierer mit L1 bemaßt hat. Der TCP kann entweder auf der Werkzeugschneidkante oder weiter oben im Fräswerkzeug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

TIPP

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

TIPP

Stimmen Sie sich mit dem CAM-Programmierer ab: Zur Vermeidung starker Werkzeugdurchbiegung sollte der CAM-Programmierer die Werkzeuglänge so kurz wie möglich wählen.



Je nach Werkzeugtyp geben Sie weitere Werkzeugdaten für das Stirnfräsen 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.

2.6.2 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.

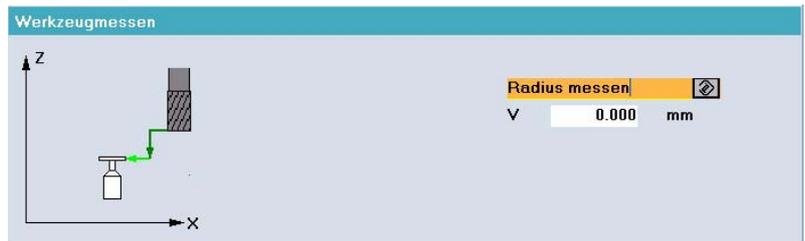
Voraussetzungen für den Einsatz der Zyklen

- Messzyklen sind installiert.
- Werkzeug ist eingewechselt.
- Messdose ist kalibriert und aktiv.

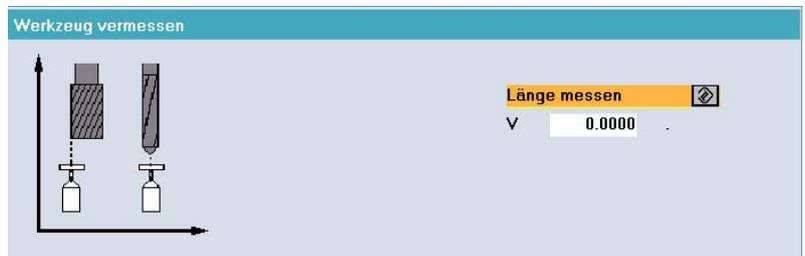
Vorgehensweise

- ▶ Wählen Sie in der Betriebsart JOG den Softkey **Messen Werkzeug**. In der horizontalen Softkeyleiste können Sie nun den Softkey **Radius** bzw. **Länge** oder **Abgleich Messtaster** auswählen.
- ▶ Klicken Sie auf den entsprechenden Softkey **Radius** oder **Länge** 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.

Radius messen



Länge messen



2.7 Werkstück messen in AUTOMATIK

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

Für wiederkehrende Messaufgaben, z. B. Einrichten bei Mehrteilerfertigung, können Sie die NC-Programme einfach ausführen und die Werkstücke werden automatisch vermessen, ausgerichtet bzw. die Werkzeuge korrigiert.

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)

2.7.1 Messzyklen in AUTOMATIK für SINUMERIK

Für das Prozessmessen stehen Ihnen praxisgerechte Messzyklen zur Verfügung.

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

TIPP

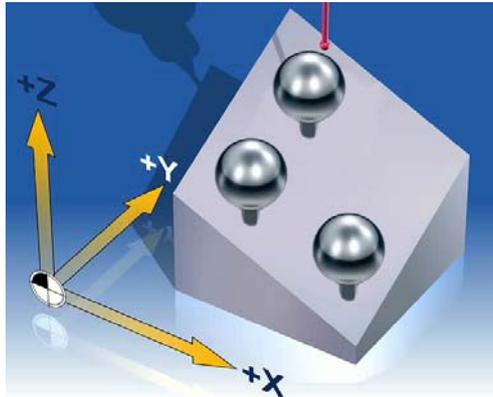
Die Softkeys zum Prozessmessen finden Sie auf der erweiterten Softkeyleiste. Zu dieser Softkeyleiste wechseln Sie, indem Sie den Erweiterungspfeil drücken > (1)

**Messzyklen in
AUTOMATIK**

The screenshot shows the SINUMERIK control interface. At the top, the program name is 'FRAES_SUEL_KORR' and the mode is 'AUTO'. The main display area shows the NC program code for 'BOHRUNG_C977.MPF'. The code includes lines for tool selection (G1, G17, G55, G90, T1, F1250), coordinate setting (Z100, X0, Y0, Z35), and program termination (N95 Z100, N100 M30, =eof=). On the right side, there is an extended softkey menu with the following options and descriptions:

- Bohrung/Welle → Bohrung/Welle messen
- Nut/Steg → Nut/Steg messen
- Fläche → Fläche messen
- Winkel → Winkel messen
- Ecke → Ecke messen
- >> → Weiter zu Kugel und Rechteck messen
- << → zurück

A red circle with the number '1' is placed over the '>' key in the bottom right corner of the interface, indicating the key to press to access the extended softkey menu.

Drei Kugeln messen**Kugel Messen (CYCLE997)**

Mit dem Zyklus Kugel messen können eine oder drei gleichgroße Kugeln vermessen werden. Bei einer Kugel kann die Position und der Durchmesser der Kugel bestimmt oder eine NV-Korrektur durchgeführt werden. Bei drei Kugeln wird zusätzlich die Lage der Kugeln in der Ebene bestimmt.

2.7.2 Beispiel eines Messvorgangs im Automatikbetrieb

Am Beispiel **Kugel messen** und NPV ermitteln (CYCLE997), wird Ihnen der Ablauf exemplarisch dargestellt. Der Zyklus kann eine Kugel oder drei gleichgroße Kugeln vermessen. Bei **3 Kugeln vermessen** werden auch die räumlichen Winkel des Kugelverbundes bestimmt.

Voraussetzungen für den Einsatz der Zyklen

- Messzyklen sind installiert.
- Werkstück ist aufgespannt.
- Messtaster ist kalibriert und aktiv; Werkzeugkorrektur ist aktiviert.

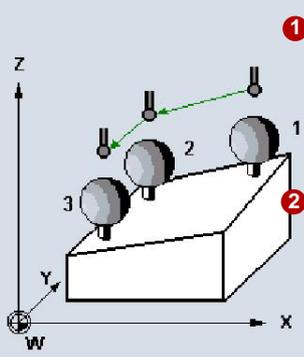
NPV korrigieren mit 3 Kugeln messen:

- ▶ Erstellen Sie ein neues Programm für das Messen des Werkstücks oder editieren Sie ein bestehendes.
- ▶ Wählen Sie zuerst den Softkey >> und dann den Softkey **Kugel messen** an.
- ▶ Wählen Sie die Messung und die Anzahl der Kugeln, im Beispiel 3 Kugeln und achsparalleles Messen (**1**). Der Durchmesser der Kugeln wird bei der Messung bestimmt.
- ▶ 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 Kugeln wie z. B. Durchmesser und Kugelmittelpunkte ein und parametrieren Sie weitere Zyklusparameter (**3**).
Nach der Messung werden die translatorischen und rotatorischen Komponenten im aktiven Frame der Nullpunktverschiebung korrigiert.

PROGRAMM

Kugel messen/CYCLE997 3 Kugeln messen



Messung	achsparallel
Anzahl Kugeln	3 Kugeln
Messpunkte	4-Punkte
Wiederholung	nein
Durchmesser	bestimmen
Korrektur	NV-Korrektur
Nullpunktv.	G54-G57, G585..
Nummer NV	
Sollwert	_SETVAL
Mitte 1.Achse	_SETV[0]
Mitte 2.Achse	_SETV[1]
Mitte 3.Achse	_SETV[2]
Mitte 1.Achse	_SETV[3]
Mitte 2.Achse	_SETV[4]
Mitte 3.Achse	_SETV[5]

2.8 Werkzeug messen in AUTOMATIK

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

- Messzyklen sind installiert
- 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.

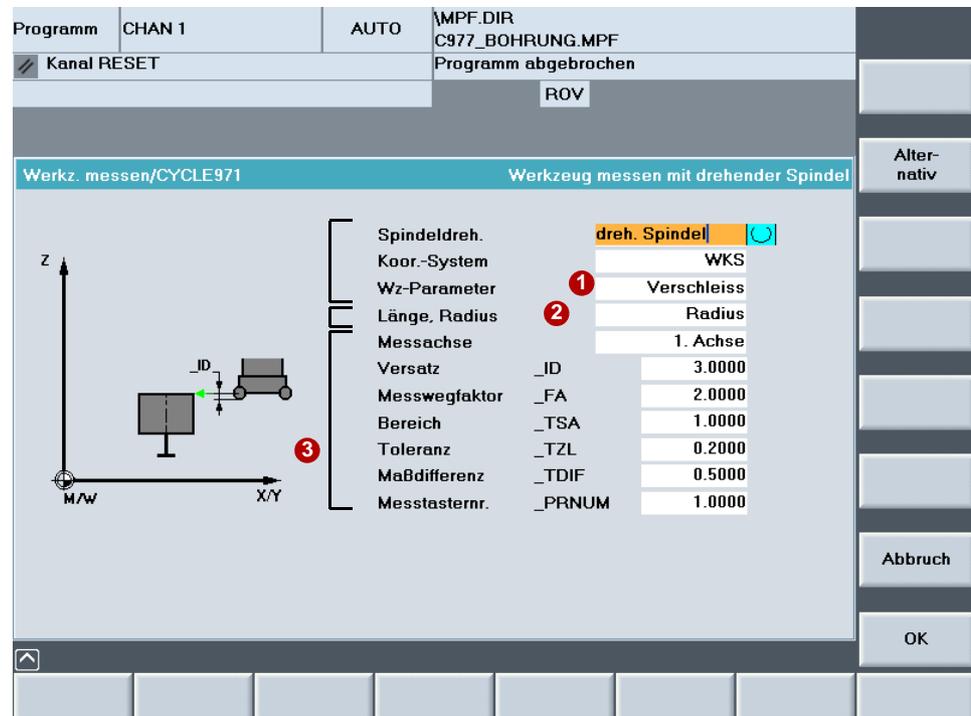
Ermitteln der Werkzeuglänge:

- ▶ 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**).

Parameter	Value
Spindeldreh.	steh. Spindel
Koor.-System	WKS
Wz-Parameter	Geometrie
Länge, Radius	Länge
Versatz Länge	Mittelpunkt
Versatz	_ID 3.0000
Messwegfaktor	_FA 2.0000
Bereich	_TSA 1.0000
Toleranz	_TZL 0.2000
Maßdifferenz	_TDIF 0.5000
Messtastern.	_PRNUM 1.0000

Ermitteln des Werkzeugradius:

- ▶ Der Messvorgang erfolgt bei drehender Spindel und die Soll/Ist-Differenz wird optional in den Verschleiß des Radius eingetragen (**1**).
- ▶ Wählen Sie den Radius als Messwert (**2**).
- ▶ Parametrieren Sie den Messvorgang (**3**).

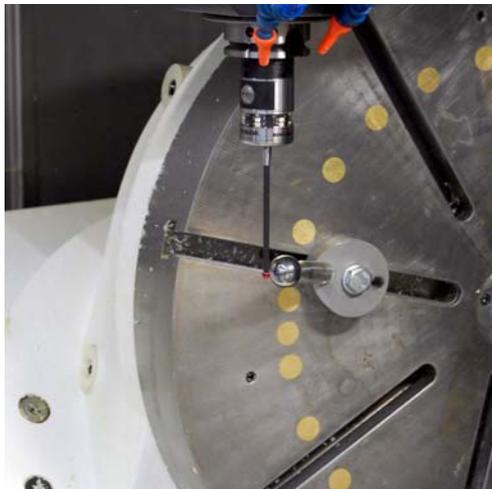


2.9 Maschine prüfen/kalibrieren mit dem Kinematikmesszyklus CYCLE996

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.

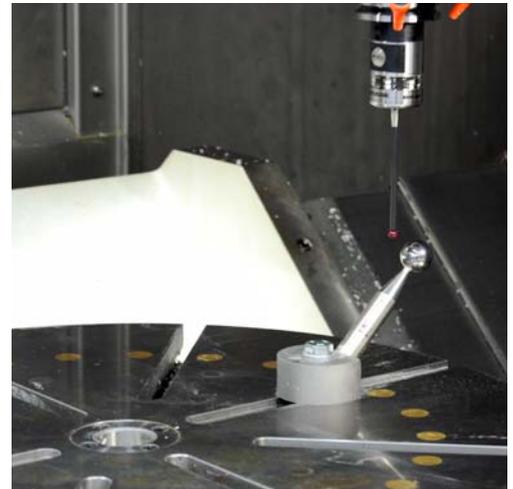
Zum Vermessen wird eine Kalibrierkugel auf den Tisch montiert. In jeweils drei Schwenkpositionen der Rundachse wird die Kugel mit dem Messtaster vermessend und diese Werte abgelegt. Pro Rundachse muss der CYCLE996 dreimal mit unterschiedlichen Schwenkpositionen aufgerufen werden. Die vollständige Berechnung der Kinematik wird durchgeführt wenn alle Rundachsen vermessend wurden.

A-Achse Tischkinematik



Drei Positionen (um ca. 120° versetzt) der Kugel werden für die A-Achse vermessend.

C-Achse Tischkinematik

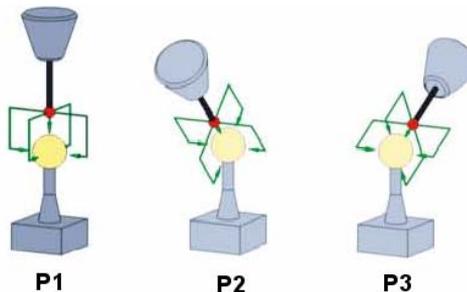


Drei Positionen (um ca. 120° versetzt) der Kugel werden für die C-Achse vermessend.

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** > >> **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°.
- ▶ Wählen Sie die zu vermessende Rundachse (**2**).

- Parametrieren Sie den Messvorgang (3) für die 1.-3.Messung (4).



- Drücken Sie die Softkey Kinematik berechnen, nachdem alle Rundachsen vermessen wurden (5).

PROGRAMM

Kinematik/CYCLE996

		Name des Schwenkdatensatzes		
1	Name	MEAS_KIN		3
2	Rundachse	1	A	
	Kalibrierkugel _SETVAL	25.000		
3	Messwegfaktor _FA	10.000		
	Bereich _TSA	10.000		
	Messtasternr. _PRNUM	1		
	Messvorschub _VMS	300.000		4
	Protokoll	nein		

5

Schwenkdaten

Alternativ

1. Messung P1

2. Messung P2

3. Messung P3

Kinematik berechnen

Abbruch

OK

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)



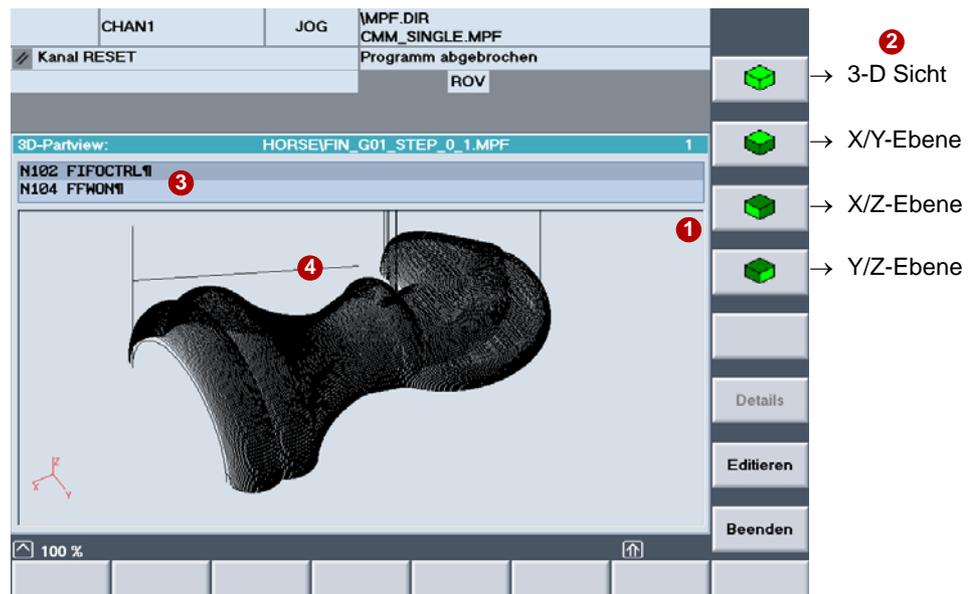
Vorsicht beim Ändern der Schwenkdaten. Diese wirken direkt auf die Kinematik und können unter Umständen bei falscher Korrektur zu Schäden an der Maschine im Betrieb führen.

2.10 Quick View / Schnelldarstellung

Funktion

Quick View der SINUMERIK mit PCU50 erlaubt die Visualisierung von Teileprogrammen, die G01-Sätze enthalten. Programm-Schleifen, Polynome, Transformationen und G02/03 Sätze werden nicht unterstützt. Vier Ansichten **1** stehen zur Verfügung: 3-D Sicht **2**, X/Y-Ebene, X/Z-Ebene, Y/Z-Ebene.

In den zwei Editorzeilen **3** wird der momentan in der Graphik markierte Satz angezeigt. Scrollt man im Editorfenster, so wird automatisch in der Graphik die Position **4** markiert.



Desweiteren stehen folgende Funktionen zur Verfügung

- Suchen eines bestimmten Satzes
- "Vergrößern/Verkleinern" des Bildausschnitts
- Verschieben, Drehen
- Abstands-Messung zwischen zwei Punkten
- Editieren des angezeigten NC-Teileprogramms

Hinweise Die Schnelldarstellung (Quick View) können Sie für die SINUMERIK mit Standardoberfläche und für ShopMill nutzen. Bei Standard finden Sie die Schnelldarstellung im **Programmmanager**, bei ShopMill können Sie die Schnelldarstellung im **Programmeditor** öffnen.

TIPP

Weitere Informationen zu QuickView finden Sie im *Werkzeug- und Formenbauhandbuch 3-Achsen*.

2.11 ShopMill - Grafische Oberfläche

Bei SINUMERIK ist die benutzerfreundliche Bedienoberfläche ShopMill eine echte Alternative zu der universellen SINUMERIK Standard DIN/ISO Bedienoberfläche.

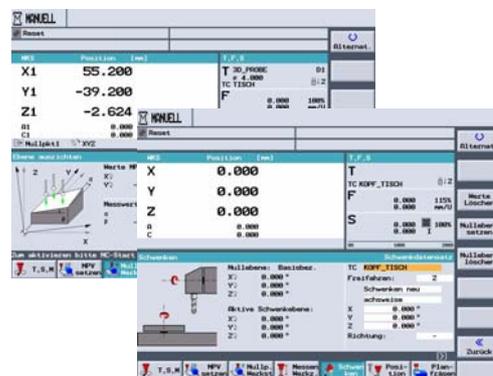
ShopMill in AUTOMATIK



ShopMill wurde um zahlreiche Formenbau- und 5-Achs-Funktionen ergänzt, welche dem Bediener größten Komfort bieten.

Für Anwendungen mit Programmen von externen CAM-Systemen oder wenn vorhandene Programme genutzt werden sollen, besitzt ShopMill auch den kompletten Umfang der DIN/ISO-Programmierung inklusive den Siemens-Standard-Zyklen.

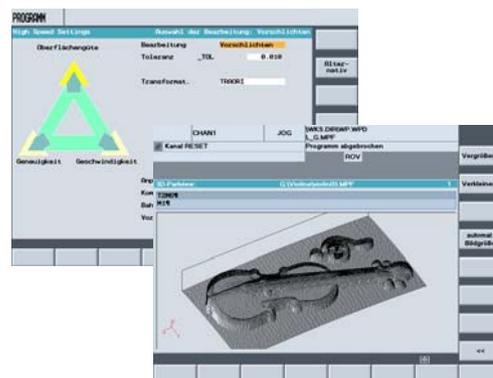
ShopMill Einrichten und Schwenken



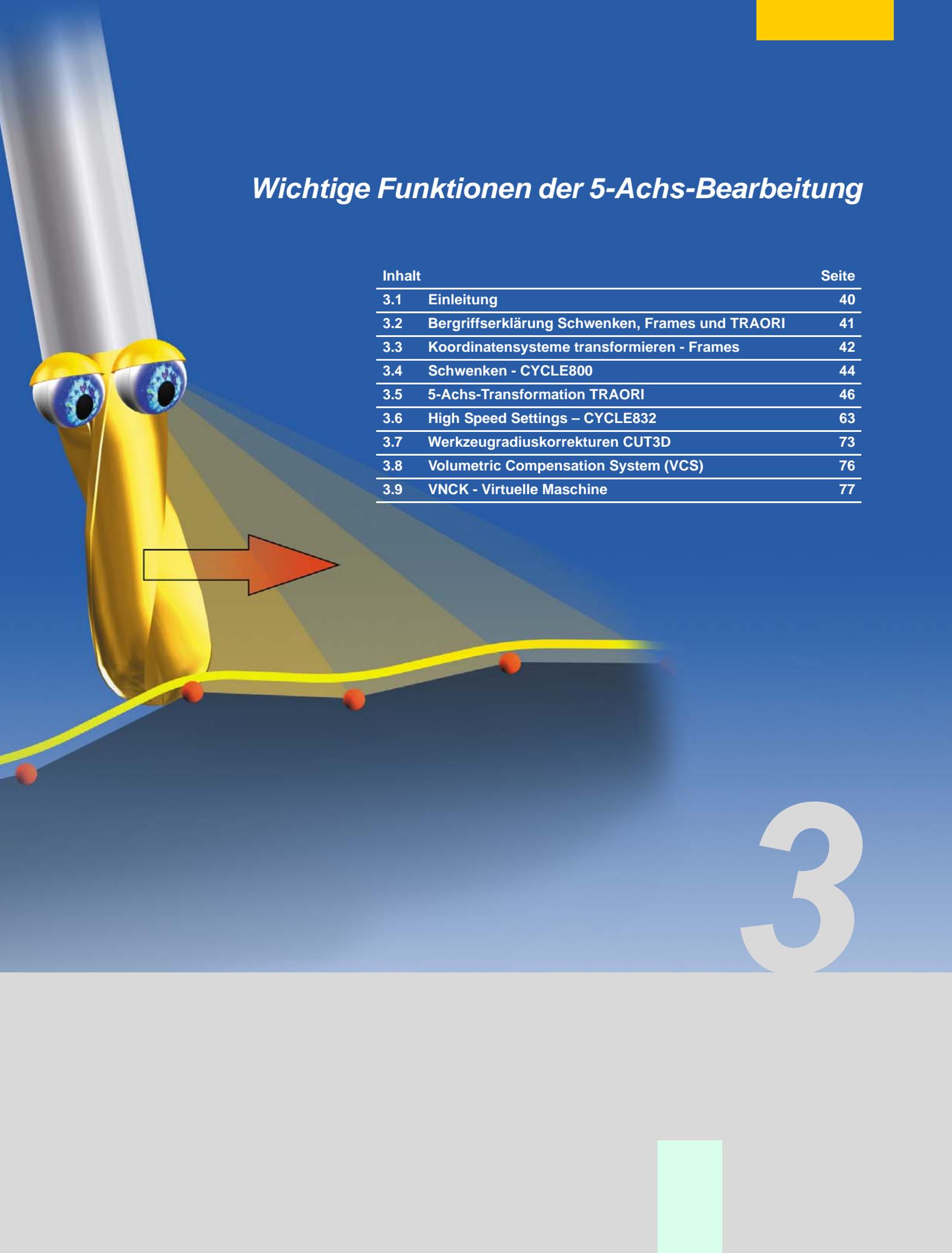
Komplexe Programmierung bei der Mehrachsbearbeitung wird über spezielle Zyklen u.a. CYCLE800 für das Schwenken und die einfache Umsetzung der gedrehten und geschwenkten Koordinatensysteme mit Frames stark vereinfacht.

Beim Einrichten und beim Prozessmessen stehen praxisgerechte Messzyklen zur Verfügung, die Rüstzeiten verkürzen und die Kontrolle der Maßhaltigkeit an der Maschine ermöglichen.

ShopMill Formenbaufunktionen



Damit für die jeweilige Bearbeitung im HSC-Bereich (Schruppen/Schlichten) auch der beste Kompromiss zwischen Geschwindigkeit, Genauigkeit und Oberflächengüte gefunden wird, fasst der CYCLE832 die notwendigen Programmierbefehle bzw. G-Codes zusammen, um optimierte Fräsergebnisse zu erreichen. Eine schnelle graphische Darstellung der Programme in G1-Sätzen ermöglicht der Quick-Viewer.



Wichtige Funktionen der 5-Achs-Bearbeitung

Inhalt	Seite
3.1 Einleitung	40
3.2 Begriffserklärung Schwenken, Frames und TRAORI	41
3.3 Koordinatensysteme transformieren - Frames	42
3.4 Schwenken - CYCLE800	44
3.5 5-Achs-Transformation TRAORI	46
3.6 High Speed Settings – CYCLE832	63
3.7 Werkzeugradiuskorrekturen CUT3D	73
3.8 Volumetric Compensation System (VCS)	76
3.9 VNCK - Virtuelle Maschine	77

3

3.1 Einleitung

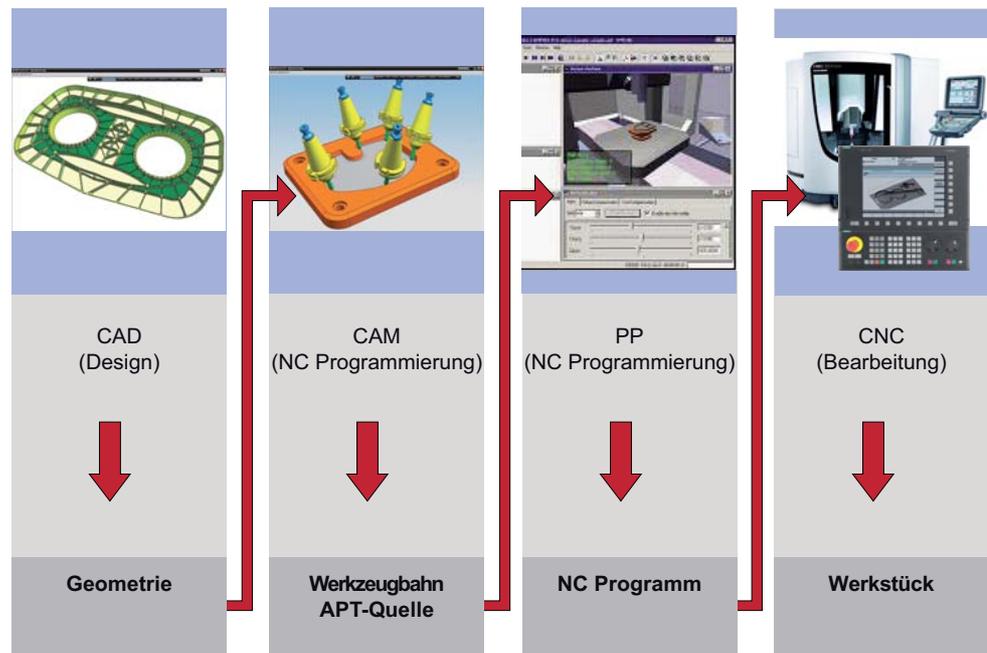
Speziell im Rahmen der 5-Achs-Programmierung ist die gesamte CAD/CAM/CNC-Verfahrenskette wichtig für optimale Ergebnisse an der Maschine.

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.



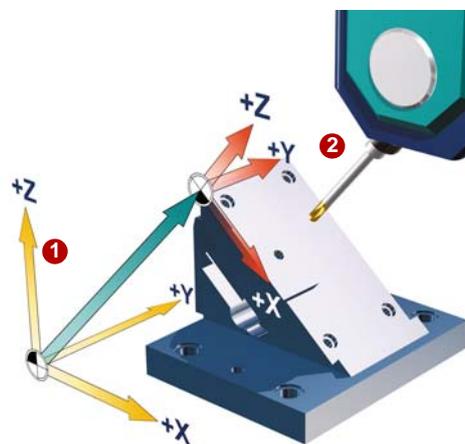
3.2 Begriffserklärung Schwenken, Frames und TRAORI

Mit Schwenken (CYCLE800), Frames und TRAORI können Rundachsen angesteuert und das Werkzeug zur Bearbeitungsfläche angestellt werden. Der Hauptunterschied zwischen diesen Verfahren ist die statische bzw. dynamische Werkzeugorientierung. Bei den Funktionen Schwenken und Frames werden die Rundachsen bewegt ohne, dass das Werkzeug im Eingriff ist. 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 bewegt. Das Werkzeug kann kontinuierlich beim Fräsen zur Fläche ausgerichtet werden. Alle Achsen (Rund- und Linearachsen) werden gleichzeitig interpoliert. TRAORI ist eine Option des 5-Achs-Paketes.

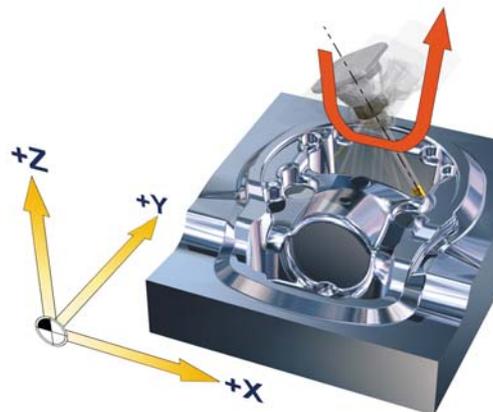
Frames wirken nur auf das Koordinatensystem, es wird nur das Koordinatensystem geändert. Der CYCLE800 berücksichtigt beim Schwenken die Kinematik der Maschine, d. h. Werkzeugkorrekturen und Nullpunkte werden verrechnet. Bei Frames z. B. ROT müssen diese vom Anwender mit verrechnet werden.

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.

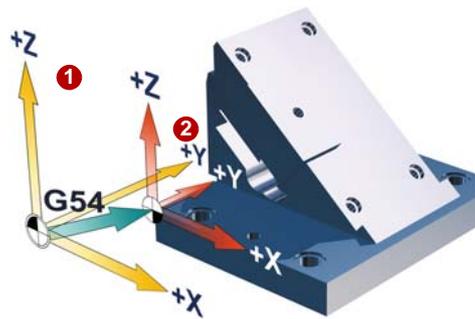
TRAORI



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.

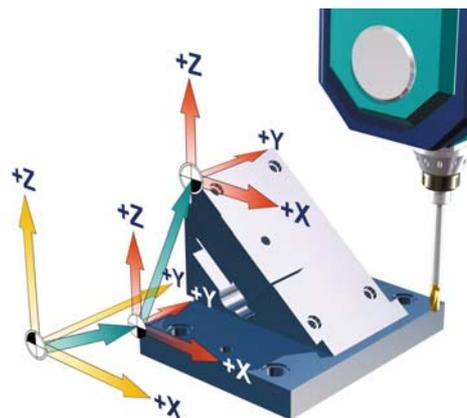
Mittels Frames lassen sich die Koordinatensysteme so verschieben, drehen, spiegeln und skalieren, dass diese zur Werkstückfläche ausgerichtet sind. Dadurch lässt sich der Programmieraufwand auf ein Minimum reduzieren.

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...)

Koordinatensysteme und Fahrbewegungen

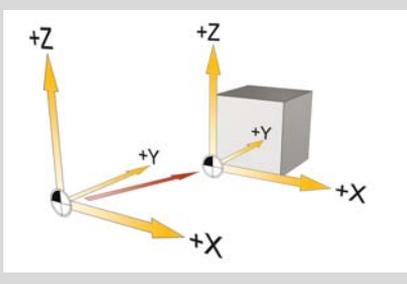
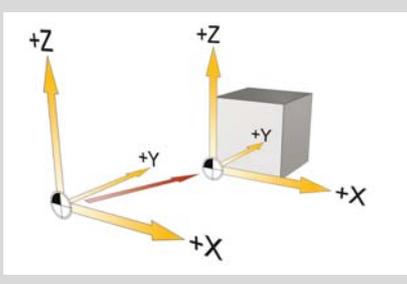
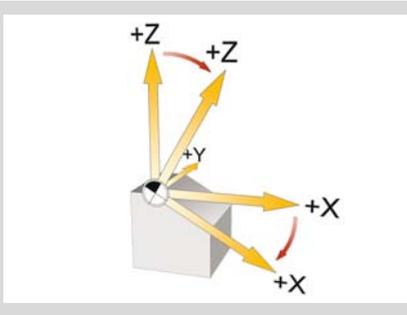
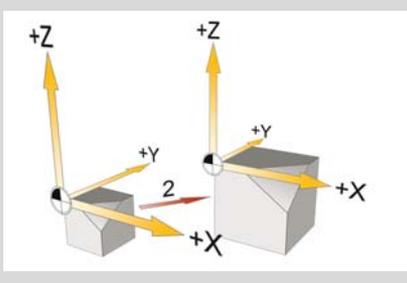
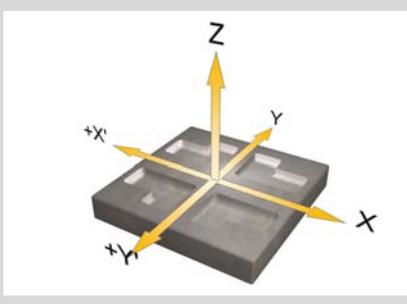


Mit einer 5-Achs-Maschine ist es möglich auf Flächen zu arbeiten, die beliebig im Raum verschoben und verdreht sind.

Das Werkstückkoordinatensystem muss nur über Frames verschoben und per Rotation in die schräge Fläche gelegt werden.

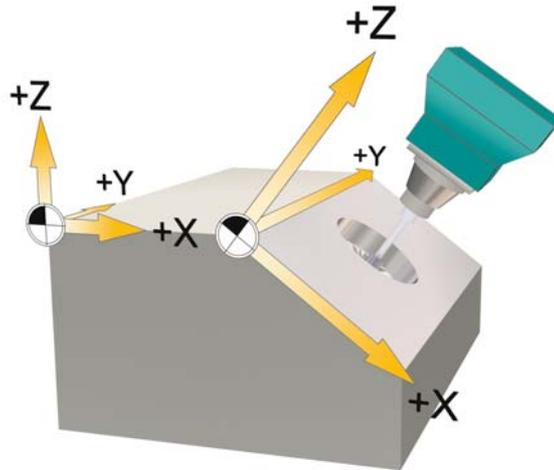
Genau dazu braucht man **FRAMES**. Alle nachfolgenden Verfahrkommandos beziehen sich jetzt auf das neue, mit Frames verschobene Werkstückkoordinatensystem.

Frames - Komponenten für die Programmierung

<p>Verschiebung (Grob)</p>		<p>programmierbar mit</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ TRANS (Absolute Verschiebung) ■ ATRANS (Ink. Verschiebung) ■ CTRANS (Absolute Verschiebung über Frame-Operatoren) <p>Einstellbar mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Frames (G54...G599)
<p>Verschiebung (Fein)</p>		<p>programmierbar mit</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ C-FINE <p>und</p> <p>Einstellbar mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Frames (G54...G599)
<p>Drehung</p>		<p>programmierbar mit</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ROT / ROTS ■ AROT / AROTS <p>und</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ CROTS
<p>Skalierung</p>		<p>programmierbar mit</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ SCALE ■ ASCALE ■ CSCALE
<p>Spiegelung</p>		<p>programmierbar mit</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ MIRROR ■ AMIRROR ■ CMIRROR

3.4 Schwenken - CYCLE800

Funktion

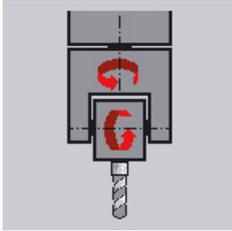
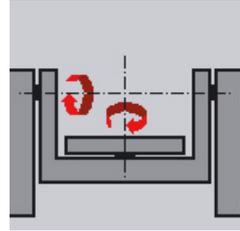
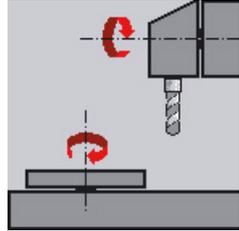


Mit Hilfe von Schwenkköpfen oder Schwenktischen können Sie schräge Ebenen bearbeiten und einrichten. Schwenken ist keine Option und standardmäßig enthalten. Das Schwenken ist sowohl in der Betriebsart JOG wie auch im AUTOMATIK möglich. Bei der Parametrierung bzw. Programmierung des Schwenkens werden 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 über den Projektionswinkel oder den Raumwinkel **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**.

Schwenkzyklus/CYCLE800		Rundachsen schwenken	
		Name: 1	TC_1
		Freifahren:	Z
		Schwenken:	2 ja
		Schwenkebene:	additiv
		Bez.-Punkt:	X0 8.000
			3 Y0 5.000
			Z0 0.000
		Schwenkmodus: 4	achsweise
		Drehung um	X (A) 0.000
			5 Y (B) -8.000
	Z (C) 0.000		
Nullpunkt:	X1 0.000		
	6 Y1 0.000		
	Z1 0.000		
Richtung:	Plus		
Nachführ. WZ:	nein		

TIPP

Sie können mehrere Schwenkbewegungen nacheinander programmieren. Dabei kann eine nachfolgende Schwenkbewegung auf der vorherigen aufsetzen (additiv). Damit können Sie das Schwenken übersichtlich im Programmcode darstellen.

Beachten Sie die Hinweise des Maschinenherstellers. Welche Parameter zur Verfügung stehen, ist im IBN-Menü CYCLE800 einstellbar.

TIPP

Ein ausführliches Beispiel und weitere Informationen zur Programmierung des Schwenkzyklus finden Sie im Handbuch *Werkzeug- und Formenbau 3-Achsen*. Weitere Informationen zum Schwenken entnehmen Sie der weiterführenden Dokumentation (Siehe "Weitere Informationen/Dokumentationen" auf Seite 108.)

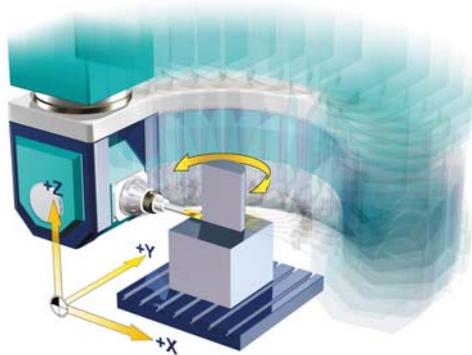
3.5 5-Achs-Transformation TRAORI

3.5.1 Kinematik und Werkzeugorientierung

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.

Bewegungsablauf bei unterschiedlichen Kinematiken.

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.



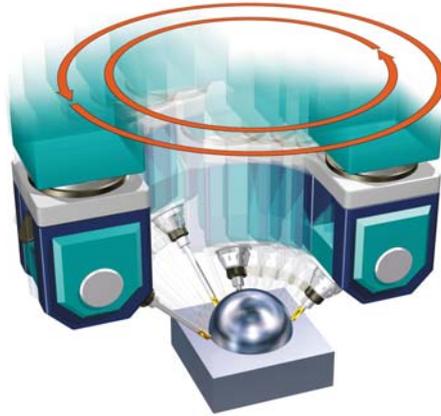
Für einen Umlauf schwenkt der Tisch 90° um die A-Achse. Die C-Achse dreht jeweils um von $+90^\circ$ auf -90° und das Werkzeug verfährt in der Y-Achse.

TIPP

An einer Maschine mit SINUMERIK müssen Sie sich um die Maschinenkinematik bei der Programmierung in der Regel nicht kümmern. Sie betrachten nur die relative Bewegung zwischen Werkzeug und Werkstück. Den Rest erledigt die Steuerung.

Auswirkung der Werkzeuglänge auf die Maschinenbewegung

**Unterschiedliche
Werkzeuglänge**



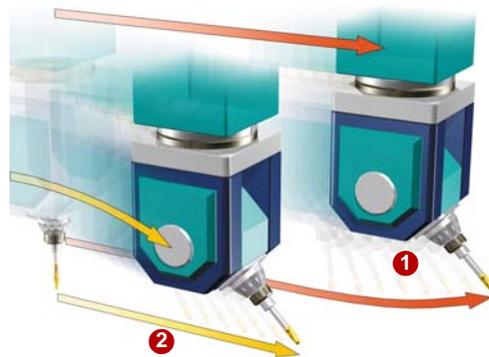
Im Beispiel sieht man, dass mit längerem Werkzeug sich die Ausgleichsbewegungen der Kinematik vergrößern.

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 der Werkzeughalter 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 5-Achs-Transformation nötig, die kinematikunabhängige Programme auf die Steuerung transformiert und sowohl die Werkzeugkorrekturen und die Orientierung berücksichtigt. Dies wird mit der Funktion TRAORI der SINUMERIK erreicht.

3.5.2 5-Achs-Transformation - 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
- Beziehen des programmierten Vorschubs auf die Werkzeugspitze

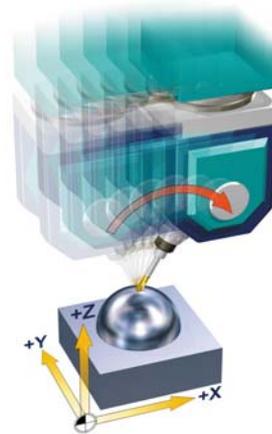
Beispiel mit TRAORI

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



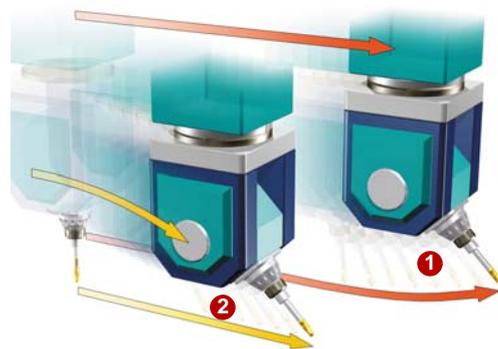
Die Steuerung erkennt, dass nur eine Orientierungsänderung programmiert wurde und lässt die Werkzeugspitze **ortsfest** und schwenkt die B-Achse.

3.5.3 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

aktiver TRAORI



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, dass die Position der Werkzeugspitze unverändert bleibt.

- 1 ohne 5-Achs-Transformation
- 2 mit 5-Achs-Transformation

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



TRAORI kann projektierungsabhängig die aktive Nullpunktverschiebung (NPV) zurücksetzen. Programmieren Sie daher sicherheitshalber die Nullpunktverschiebung nach dem TRAORI-Befehl.

3.5.4 Werkzeugorientierung

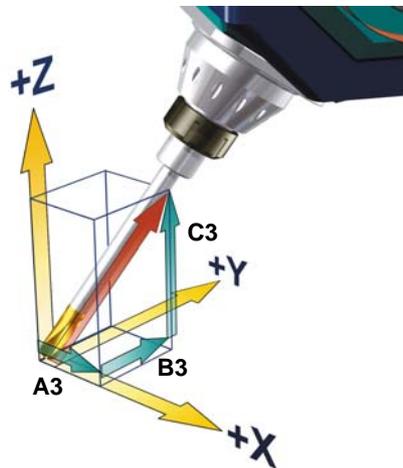
Für die 5-Achs-Simultan-Bearbeitung muss zusätzlich zur Sollposition des Bearbeitungspunkts, die Orientierung des Werkzeugs beschrieben werden. Zur Beschreibung der Werkzeugorientierung sind verschiedene Varianten üblich. In der Regel werden 5-Achs-Programme mit dem CAM-System erzeugt und der Postprozessor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

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 das Werkzeug in der Position (0,0,0) als Diagonale eines Würfels (35,26° zur X-Y-Ebene).

TIPP

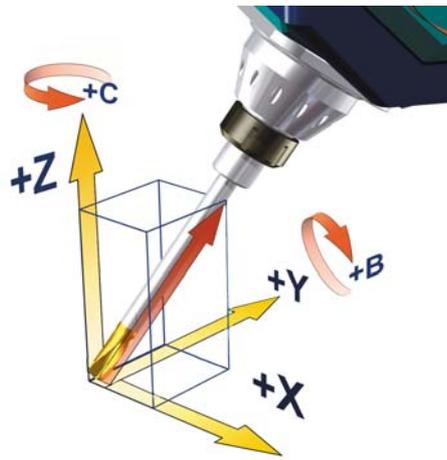
Es wird die Verwendung des Richtungsvektors empfohlen. Die Genauigkeit sollte dabei möglichst hoch gewählt werden. Die Praxis zeigt, dass bei 5-Achs-Programmen 5 Nachkommstellen bei den Linearachsen und 6 Stellen beim Richtungsvektor gute Ergebnisse liefern.

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=)**Erläuterung der Befehle****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 Rundachspositionen 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 das Werkzeug in der Position (0,0,0) als 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=)

Erläuterung der Befehle

ORIEULER
ORIRPY

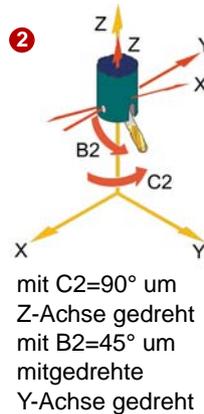
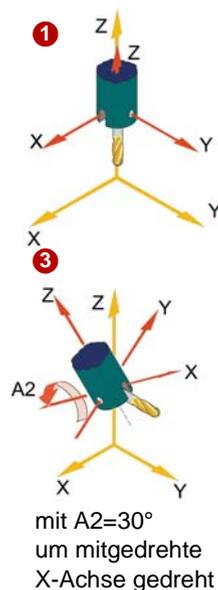
Orientierungsprogrammierung über Euler-Winkel (Standard)
ORIRPY Orientierungsprogrammierung über RPY-Winkel.

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.

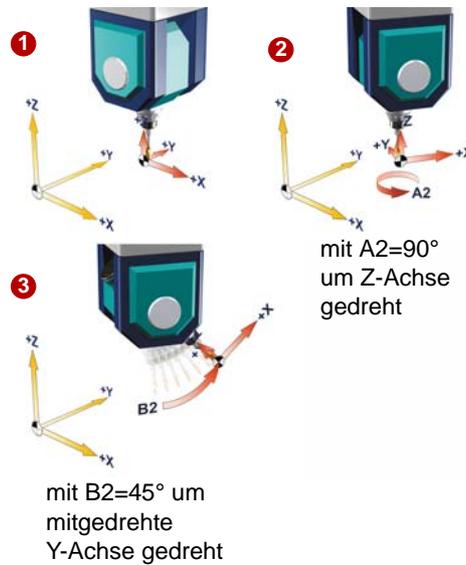
Von der Grundstellung ① ausgehend:

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 G1 X0 Y0 Z0 F10000
N050 A2=0 B2=0 C2=0
N060 A2=30 B2=45 C2=90
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 G1 X0 Y0 Z0 F10000
N050 A2=0 B2=0 C2=0
N060 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

G1 X Y Z A4= B4= C4=

Programmierung des Flächennormalenvektors am Satzanfang.

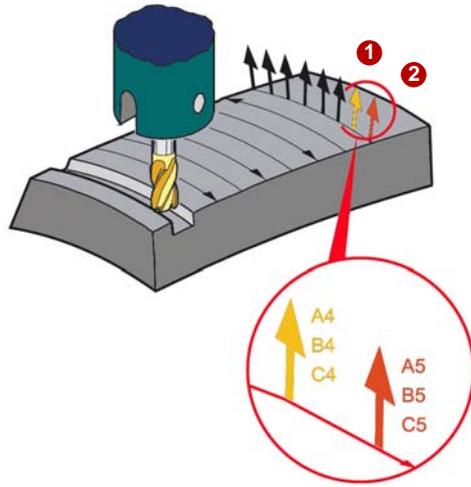
Diese Information wird unter anderem von CUT3DF für die 5-Achsbearbeitung verwendet.

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.

G1 X Y Z A5= B5= C5=

Programmierung des Flächennormalenvektors am Satzende.

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.

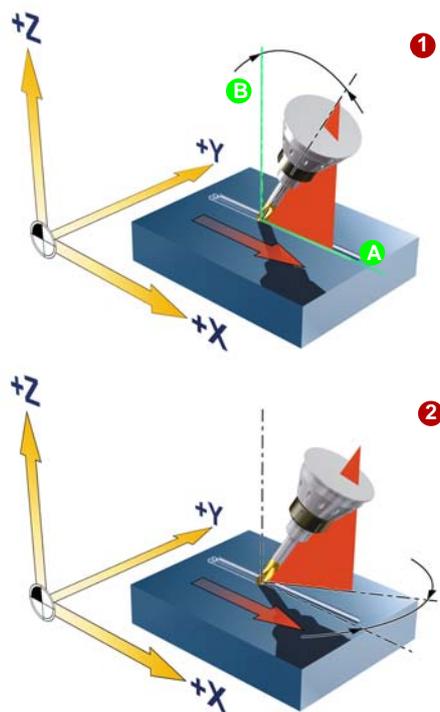
Sind sowohl Start- als auch Endvektor programmiert, so wird zwischen beiden Richtungen ebenfalls mittels Großkreisinterpolation interpoliert.

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.

```

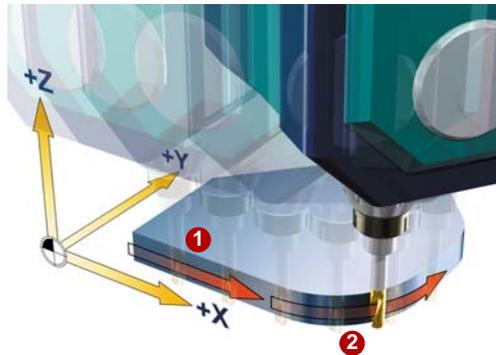
N10 TRAORI
N15 G54
N20 ORIWKS
N30 ORIPATH
N40 CUT3DF
N50 ANFANG: ROT X=R20
N60 G0 X=260 Y0 A3=1 B3=0 C3=0
N70 G1 Z0 LEAD=5 TILT=10
N80 G41 X240.000 Y0.000 A5=1 B5=0.000
C5=0.000

```

3.5.5 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.

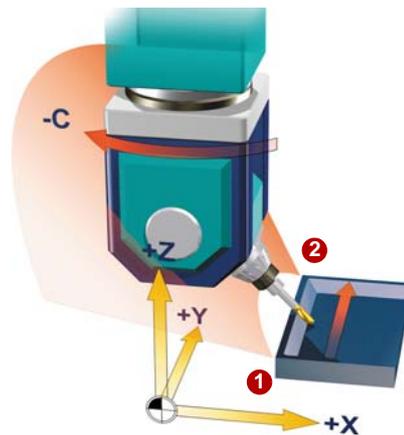
Orientierung im 2-D-Bereich



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.

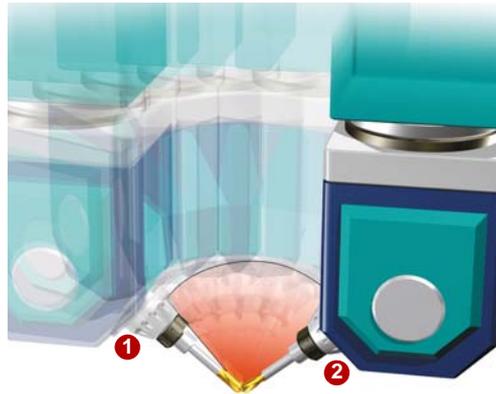
Diese Interpolation wird Großkreisinterpolation oder auch Vektorinterpolation genannt.

Die gebräuchlichsten Interpolationsarten finden Sie in den folgenden Ausführungen.

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.

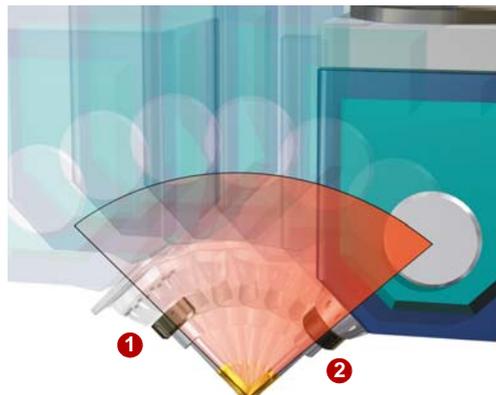
Achs-/Linearinterpolation

ORIXES

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

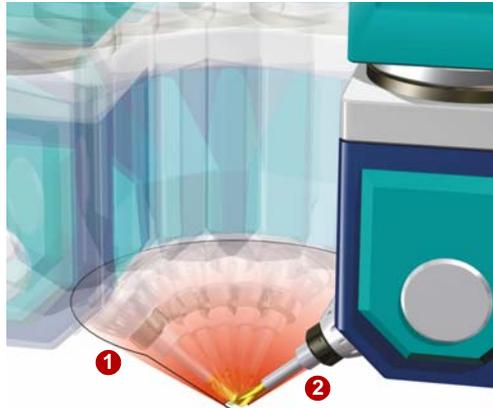
Interpolation des Orientierungsvektors in einer Ebene (Großkreisinterpolation)

ORIPLANE

Interpolation in einer Ebene (Großkreisinterpolation), identisch zu ORIVECT

Kegelmantelinterpolation (ORICONxx)

**Kegelmantel-
interpolation
(ORICONCW)**

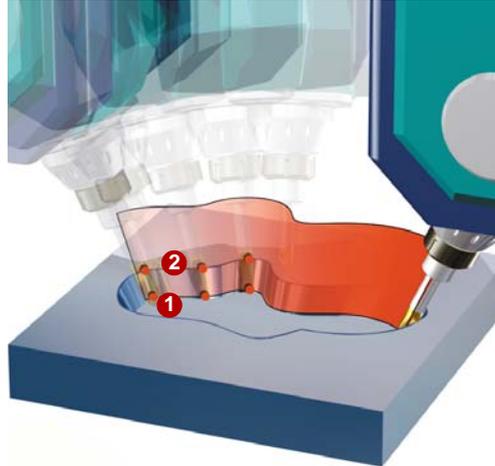


Bei der Kegelmantelinterpolation bewegt sich das Werkzeug bei der Umlagerung auf einer programmierbaren, beliebig im Raum befindlichen Kegelmantelfläche.

Vektorinterpolation	
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
ORICONT0	Interpolation auf einer Kegelmantelfläche mit tangentialen Übergang. Zusätzlich erforderlich: A3=... B3=... C3=... oder XH=..., YH=..., ZH=... Endorientierung 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, ORICONT0 programmiert werden.

Spline-Interpolation

Spline-Interpolation Kruveninterpolation (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.

Orientierungsbezug des Koordinatensystem (OIRMKS, ORIWKS)**ORIMKS** Werkzeugorientierung im Maschinen-Koordinatensystem.

Bei **ORIMKS** bezieht sich die programmierte Orientierung auf das Koordinatensystem, das durch die Maschinenachsen definiert ist. Wie die Orientierungsänderungen interpoliert werden, wird über ein Maschinendatum festgelegt.

ORIWKS Werkzeugorientierung im Werkstück-Koordinatensystem.

Bei **ORIWKS** bezieht sich die programmierte Orientierung auf das Werkstückkoordinatensystem, das über ein Frame gegenüber dem Maschinenkoordinatensystem verdreht sein kann. Wie die Orientierungsänderungen interpoliert werden, wird über ein Maschinendatum festgelegt.

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	
ORIMKS	Bezugssystem für den Orientierungsvektor ist das Maschinenkoordinatensystem.
ORIWKS	Bezugssystem für den Orientierungsvektor ist das Werkstückkoordinatensystem. Die genaue Wirkung wird über ein Maschinendatum eingestellt.

Weitere Interpolationen

Bahnrelative Interpolation	
ORIPATH	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>TIPP: Wenn die Bahn Ecken hat, besitzt die Bahntangente zwangsläufig Knicke. Diese Knicke werden 1:1 in der Orientierung abgebildet!</p>

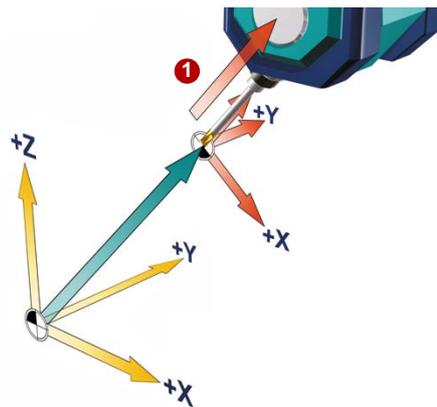
3.5.6 Beispiel zur Anwendung von TRAORI und Frames

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).

TIPP

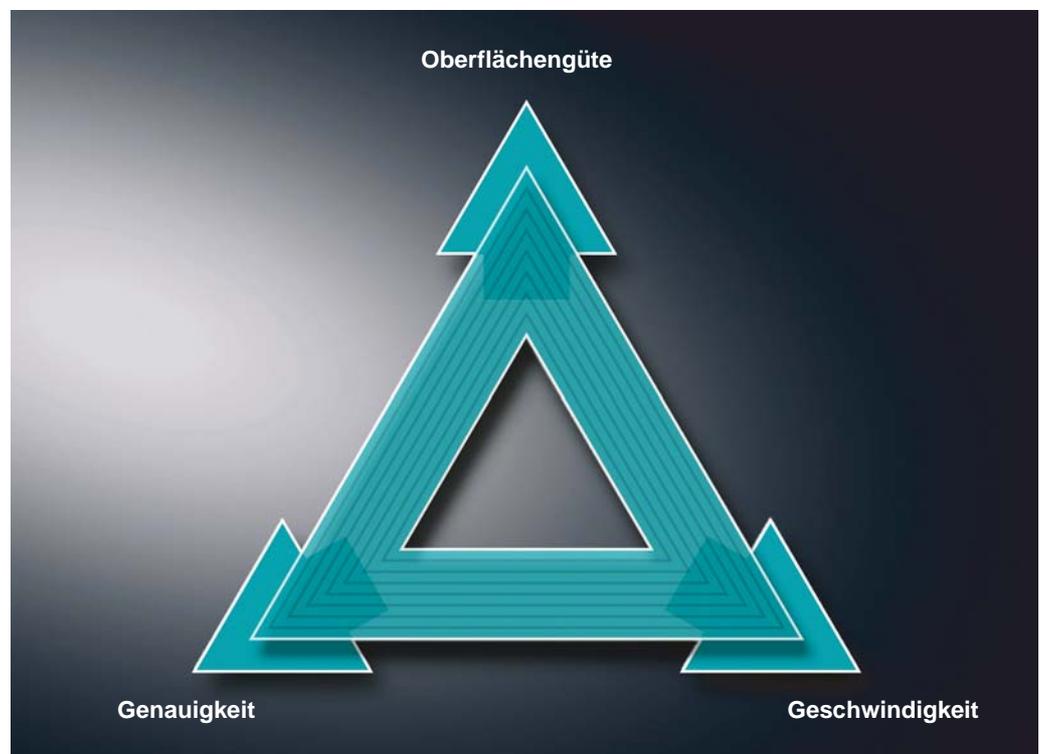
Vor dem nächsten Programmstart ist TOROT abzuwählen: TOROTOF.

3.6 High Speed Settings – CYCLE832

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). Der CYCLE832 fasst die wesentlichen Programmierbefehle bzw. G-Codes zusammen, die zur HSC-Bearbeitung erforderlich sind.

Der CYCLE832 kann sowohl vom Bediener an der Maschine als auch bei der Generierung der NC-Programme vom Postprozessor bzw. vom Programmierer gesetzt werden. An der Maschine hat der Bediener durch Ändern von bestimmten Parametern noch Einfluss bei der Abarbeitung.



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 gelben Pfeile ② entweder in Richtung "Geschwindigkeit", "Oberflächengüte" oder in Richtung "Genauigkeit".

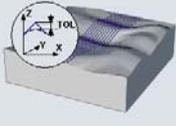
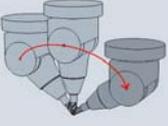
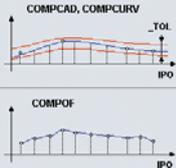
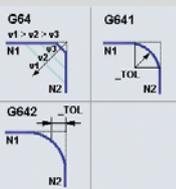
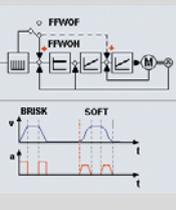
Bei der Simultanbearbeitung kann TRAORI eingeschaltet sein ③, außer das CAM-Programm wurde mit aufgelösten Rundachspalten berechnet.

Die weiteren Optionen ④ werden vom Maschinenhersteller freigeschaltet und sind mit Passwort geschützt.

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. Die Angaben in allen anderen Feldern werden bereits vom Maschinenhersteller eingetragen. Über das Feld **Anpassung** kann der Maschinenhersteller die weiteren Felder freigeben (Passwortschutz).

Parameter CYCLE832

<p>Bearbeitung</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schlichten (default) ■ Vorschlichten ■ Schruppen ■ Abwahl 	<p>Mit dem Aufruf "Abwahl" werden die geänderten Maschinen-/Settingdaten auf den vom Maschinenhersteller generierten Wert zurückgestellt</p>
<p>Toleranz_Tol.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sehnentoleranz <p>(Sehnentoleranz ist vom CAM-System zu übernehmen bzw. mit Faktor 1,0 ... 1,5 zu gewichten)</p>	<p>Toleranz der Linear-/Rundachsen, Defaulteinstellungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> → 0.01 mm/ 0.08° (Schlichten) → 0.05 mm/ 0.4° (Vorschlichten) → 0.1 mm/ 0.8° (Schruppen) → 0.1 mm/ 0.1° (Abwahl)
<p>Transformation</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ TRAORI ■ TRAORI(2) ■ nein (default) 	<ul style="list-style-type: none"> → 5-Achstransformation einschalten → Maschinenherstellerspezifische 5-Achstransformation einschalten (optional) → Transformation ausschalten. Es werden CAM-Programme mit aufgelösten Rundachspositionen unterstützt.
<p>Anpassung</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ ja ■ nein (default) 	<ul style="list-style-type: none"> → Nachfolgende Felder sind änderbar → Nachfolgende Felder sind nicht sichtbar. Freischaltung erfolgt über Maschinenhersteller
<p>Kompression</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ COMPOF (default) ■ COMPCAD ■ COMPCURV ■ B-SPLINE 	<ul style="list-style-type: none"> → Kompressor aus → Kompressor ein, beschleunigungsstetig für die Freiformflächen → Ruckstetig für das Umfangsfräsen → Spline-Interpolation
<p>Bahnsteuerung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ G642 (default) ■ G641 ■ G64 	<ul style="list-style-type: none"> → Überschleifen mit Einzelachstoleranzen → Programmierbarer Überschleifabstand → Bahnsteuerbetrieb <p>Bei NC-Satz Kompressor mit COMPCAD, ist immer G642 fest ausgewählt.</p>
<p>Vorsteuerung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ FFWOF SOFT (default) ■ FFWON-SOFT ■ FFWOF-BRISK 	<ul style="list-style-type: none"> → Ohne Vorsteuerung, mit Ruckbegrenzung → Mit Vorsteuerung, mit Ruckbegrenzung → Ohne Vorsteuerung, ohne Ruckbegrenzung <p>Die Auswahl der Vorsteuerung (FFWON) und der Ruckbegrenzung (SOFT) setzt die Optimierung der Steuerung bzw. der Bearbeitungsachsen durch den Maschinenhersteller voraus.</p>

- Hinweise**
- Der CYCLE832 beruht auf der Verwendung von G1-Sätzen.
 - Bei Änderungen, sollte man sich nach dem Toleranzwert, der im CAM-Programm angegeben ist richten. Kleinere Toleranzen als dort angegeben sind nicht sinnvoll.

Programmierung 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(0.01,112103)

Programmierung des Zyklus mit Toleranz z. B. 0.01 und Transformations-Parametern.

CYCLE832()

Verkürzter Programmaufruf. Entspricht der Auswahl der Eingabemaske "Bearbeitung" "Abwahl".

CYCLE832(0.01)

Verkürzter Programmaufruf. Eingabe des Toleranzwertes. Die aktiven G-Befehle werden im Zyklus nicht verändert.

Programmierbeispiel CYCLE832

```

N10 T1 D1 ; TRAF0 einschalten
N20 G54 ; Wkz-Nullpunkt anwählen
N30 M3 S1200 ; Spindeldrehrichtung rechts und Drehzahl
N40 CYCLE832(0.05,112103) ; Toleranzwert 0.05
; von rechts nach links
; (Tol,Dezimalstellen 76543210)
; 0 [3] = Schruppen, 1 [0]= keine Funktion
; 2 [1] = TRAORI, 3 [2] = G642
; 4 [1] = FFWON SOFT, 5 [1] = COMPCAD
; 6 und 7 nicht verwendet
N50 EXTCALL „CAM_SCHRUPP“ ; Aufruf Unterprogramm CAM_SCHRUPP
N60 CYCLE832(0.005,112101) ; Toleranzwert 0.005
; von rechts nach links
; (Tol,Dezimalstellen 76543210)
; 0 [1] = Schlichten, 1 [0]= keine Funktion
; 2 [1] = TRAORI, 3 [2] = G642
; 4 [1] = FFWON SOFT, 5 [1] = COMPCAD
; 6 und 7 nicht verwendet
N70 EXTCALL „CAM_SCHLICHT“ ; Aufruf Unterprogramm CAM_SCHLICHT
N80 M03

```



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

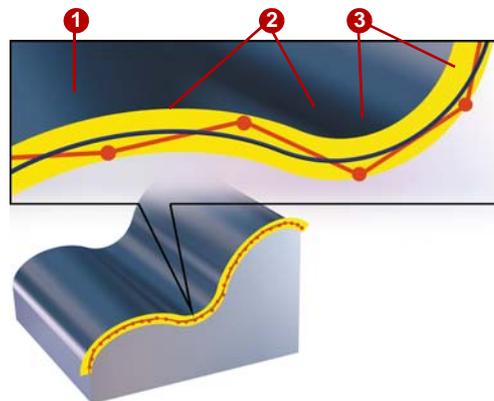
3.6.1 Kompressor – COMPCAD

Der Kompressor wird idealerweise im CYCLE832 aufgerufen. Soll er separat programmiert werden, ist wie nachfolgend beschrieben vorzugehen.

Erläuterung der Befehle

COMPOF	Kompressor aus
COMPCAD	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 Freiformflächen (empfohlen) .
COMPCURV	Kompressor ein. G1-Sätze werden durch ein Polynom angenähert. Die Satzübergänge sind ruckstetig. Vorzugsweise für das Umfangsfräsen .

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.

Programmierung

COMPOF
COMPCAD
COMPCURV

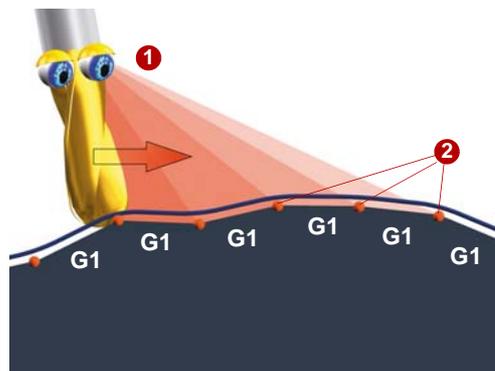
3.6.2 Bahnsteuerbetrieb, Look ahead – G64, G641, G642

Ruft man den Bahnsteuerbetrieb innerhalb des CYCLE832 auf, entspricht z. B. bei G642 der Toleranzwert aus dem CYCLE832 dem Überschleifwert für G642.

Erläuterung der Befehle

G64	Bahnsteuerbetrieb – Look ahead mit Abbremsen nur an Ecken
G642	Überschleifen mit axialer Toleranz (empfohlen) Look ahead mit zusätzlichem Eckenverschleifen entsprechend MD 33100 (Maschinendatum) Für G642 gilt: Es gibt 2 Möglichkeiten der Toleranzvorgabe: 1. Vorgabe von Einzelachsen oder 2. Programmierung des Abhebeabstandes über ADIS Vorzugsweise für das Fräsen von Freiformflächen
G641	Bei G641 fügt die Steuerung an Konturübergängen Übergangselemente ein. Mit ADIS=... bzw. ADISPOS=... können Sie angeben, wie stark die Ecken verschliffen werden.
ADIS=	Überschleifabstand für Bahnfunktionen G1, G2, G3. Ist kein ADIS-Wert festgelegt, verwendet die Steuerung den Toleranzwert aus CYCLE832.
ADISPOS=	Überschleifabstand für Eilgang G0 (nicht für Freiformflächen geeignet)

Anwendung von G64, G642



Ziel des Bahnsteuerbetriebs ist die Erhöhung der Geschwindigkeit und die Harmonisierung des Fahrverhaltens. Dies wird bei den Bahnsteuerfunktionen G64 usw. durch zwei Funktionen realisiert.

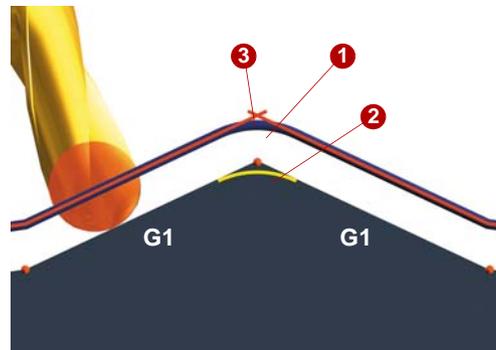
Look ahead – vorausschauende Geschwindigkeitsführung ①

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 Bahn-geschwindigkeitsprofil erstellt. Dies bewirkt bessere Schnittbedingungen, erhöht die Oberflächenqualität und verringert die Bearbeitungszeit.



Um scharfe Ecken ③ zu verschleifen, bildet der Bahnsteuerbefehl **G642** Übergangselemente ①, ② an den Satzgrenzen. Durch die Art, wie sie diese Übergangselemente bilden, unterscheiden sich die Bahnsteuerbefehle.

G642 fügt krümmungsstetige Übergangspolynome ein. Hierdurch werden Beschleunigungssprünge an den Satzgrenzen vermieden. Wir empfehlen bei Freiformflächenanwendungen G642.

TIPP

Wir empfehlen bei Freiformflächenanwendungen G642.

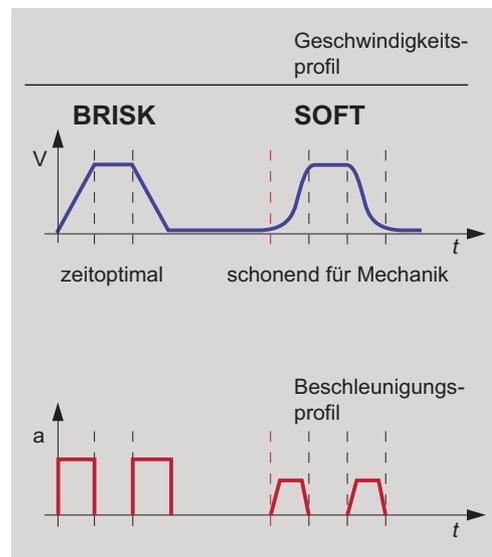
3.6.3 Vorsteuerung und Ruckbegrenzung – FFWON, SOFT, ...

Vorsteuerung und Ruckbegrenzung lassen sich im CYCLE832 nur in einer Kombination beider Funktionen aufrufen, da gerade in der Kombination ideale Bedingungen für das Freiformflächenfräsen möglich sind. Beide Funktionen lassen sich natürlich auch separat programmieren.

Erläuterung der Befehle

FFWON	Vorsteuerung "ein"
FFWOF	Vorsteuerung "aus"
BRISK	Ohne Ruckbegrenzung Sprunghafte Beschleunigung der Bahnachsen
SOFT	Mit Ruckbegrenzung Ruckbegrenzte Beschleunigung der Bahnachsen Axiale Ruckbegrenzung (Maximalruck in Maschinendaten JOG_AND_POS_MAX_JERK (Jog und Positionierung) bzw. MAX_AX_JERK (Bahnbetrieb))

Funktion Ruckbegrenzung



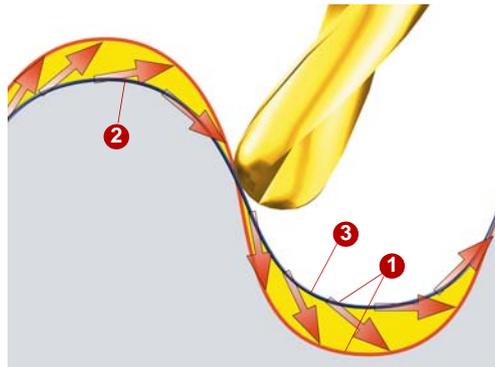
Um Beschleunigungen möglichst maschinenschonend durchzuführen, kann das Beschleunigungsprofil der Achsen über die Kommandos **Soft**, **Brisk** beeinflusst werden. Ist **Soft** aktiviert, ändert sich das Beschleunigungsverhalten nicht sprunghaf, sondern wird über eine lineare Charakteristik erhöht. Dies 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 Rauseinengung **3** an gekrümmten Konturen. Der Schleppfehler hängt vom eingestellten Kv-Faktor (mechanikabhängig) und der gefahrenen Achsgeschwindigkeit ab.

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

Empfehlungen

Der CYCLE832 enthält folgende Kombinationen:

FFWON SOFT

Der Akzent liegt auf hoher Bahntreue. Dies wird durch eine weitgehend schleppfehlerfreie, weiche Geschwindigkeitsführung erreicht.

FFWOF SOFT

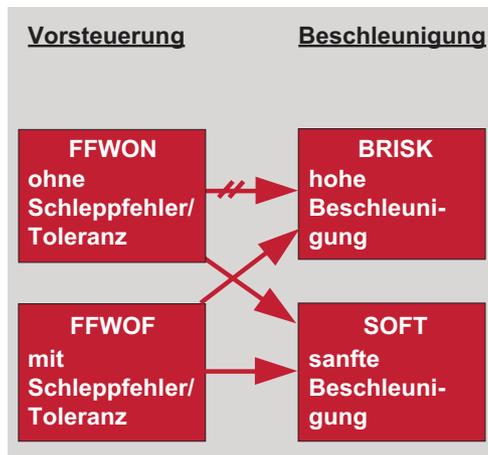
Hohe Bahntreue steht nicht im Vordergrund. Zusätzliches Verschleifen wird über den Schleppfehler erreicht. Verwendung bei älteren Teileprogrammen/Maschinen.

FFWON BRISK

nicht sinnvoll

FFWOF BRISK

Verwendung beim Schruppen und bei maximal geforderter Geschwindigkeit.



Programmierung

FFWON/
FFWOF
BRISK
SOFT

3.6.4 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 Schlichten
- DYNFINISH für Feinschlichten

Die G-Gruppen werden bei der Anwahl der Bearbeitung z. B. Schlichten oder Schruppen des CYCLE832 automatisch geschaltet und sind wirksam. Wenn Sie ohne CYCLE832 arbeiten, können Sie die G-Gruppen auch im Programm gesondert programmieren.

Beispiel Programmabschnitt ohne CYCLE832

```

N100  SOFT                ; Ruckbegrenzung einschalten
N110  COMPCAD            ; Kompressor ein
N120  G642              ; Überschleifen
N130  ; Einstellen der Kompressortoleranz für Linear- und Rundachsen
N140  $MA_COMPRESS_POS_TOL [X] = 0.1
N150  $MA_COMPRESS_POS_TOL [Y] = 0.1
N160  $MA_COMPRESS_POS_TOL [Z] = 0.1
N170  $MA_COMPRESS_POS_TOL [A] = 0.8
N180  $MA_COMPRESS_POS_TOL [B] = 0.8
N190  FIFCTRL          ; Steuerung Vorlaufpuffer
N200  DYNROUGH          ; DYNSEMIFIN oder DYNFINISH
N210  TRAORI           ; TRAORI ein
N220  ORIAXES         ; Orientierungsinterpolation
N230  ORIWKS          ; Werkstückkoordinatensystem
N240  ...

```



Die Dynamikwerte werden bereits in dem Satz wirksam, indem der zugehörige G-Code programmiert wird. Es folgt kein Bearbeitungsstopp.

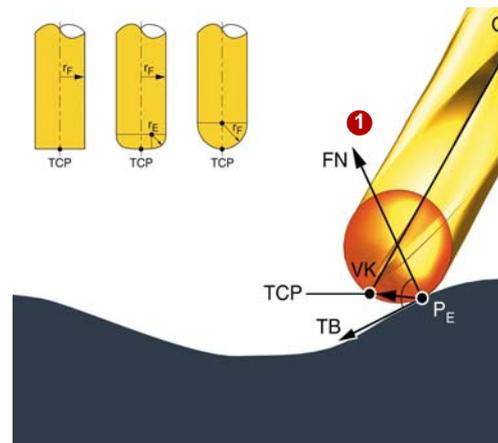
3.7 Werkzeugradiuskorrekturen CUT3D

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

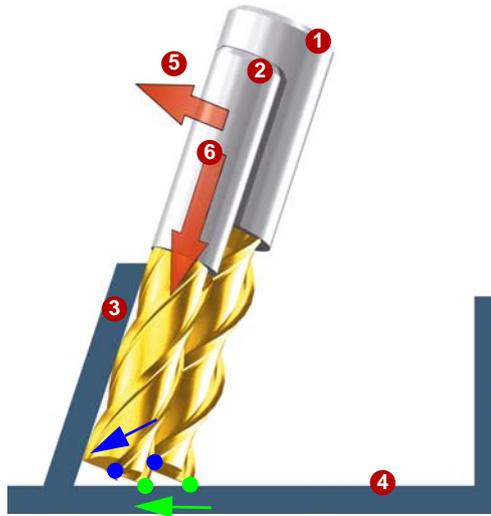
TIPP

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 Umfangfräsen 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.

Umfangfräsen



- 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

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

2 1/2D-Umfangfräsen

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

3D-Umfangfräsen

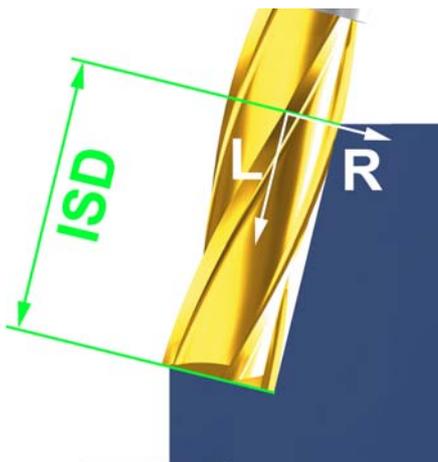
CUT3DC	Korrektur senkrecht zur Bahntangente und zur WZ-Orientierung
---------------	--

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

Programmierbeispiel für das Umfangsfräsen

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 ; Werkzeugaufwurf 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 ...

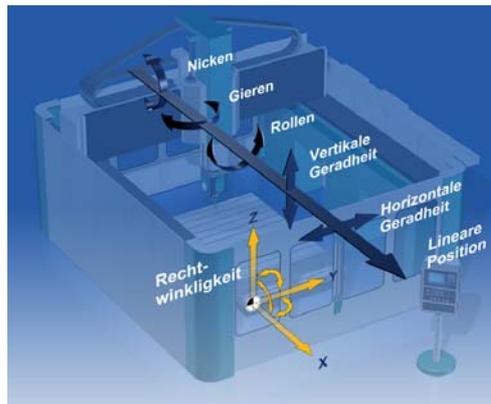
```

3.8 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.



3.9 VNCK - Virtuelle Maschine

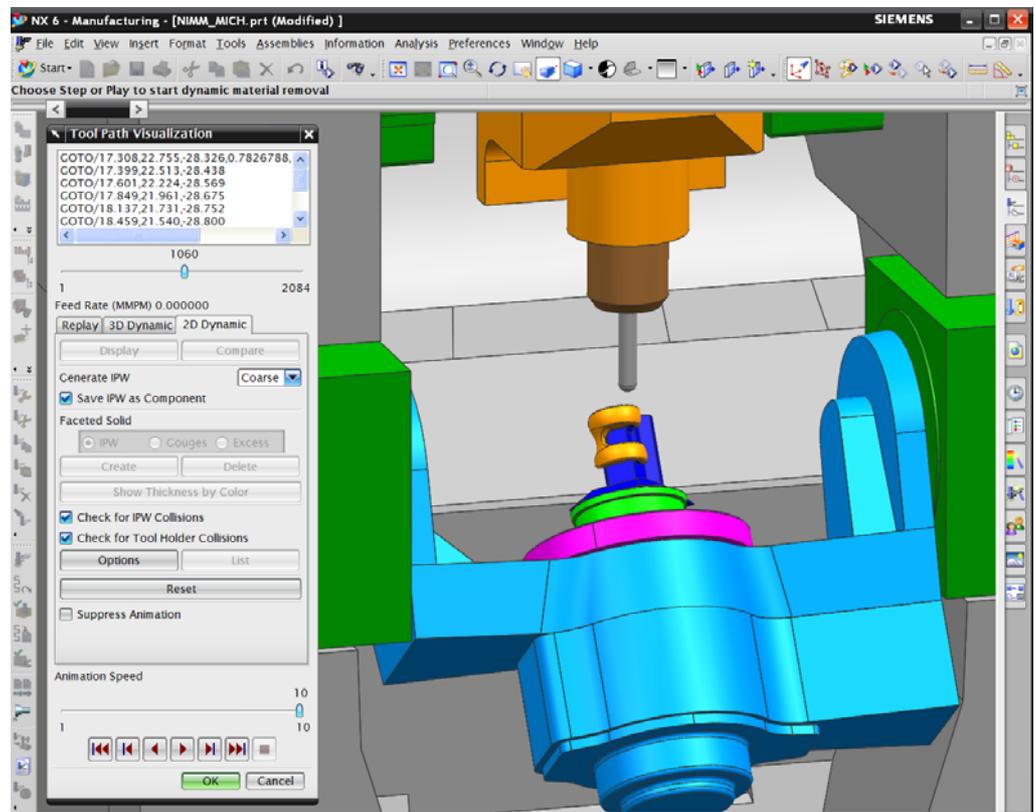
Aufgrund der Komplexität und Bearbeitungsdauer von 5-Achs-Fräswerkstücken wird angestrebt schon vor der ersten realen Fertigung die Programme auf Fehlerfreiheit zu prüfen. Um möglichst realistische Daten zu erhalten, werden Modelle der Maschine und Steuerung virtuell simuliert. Siemens liefert dazu den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

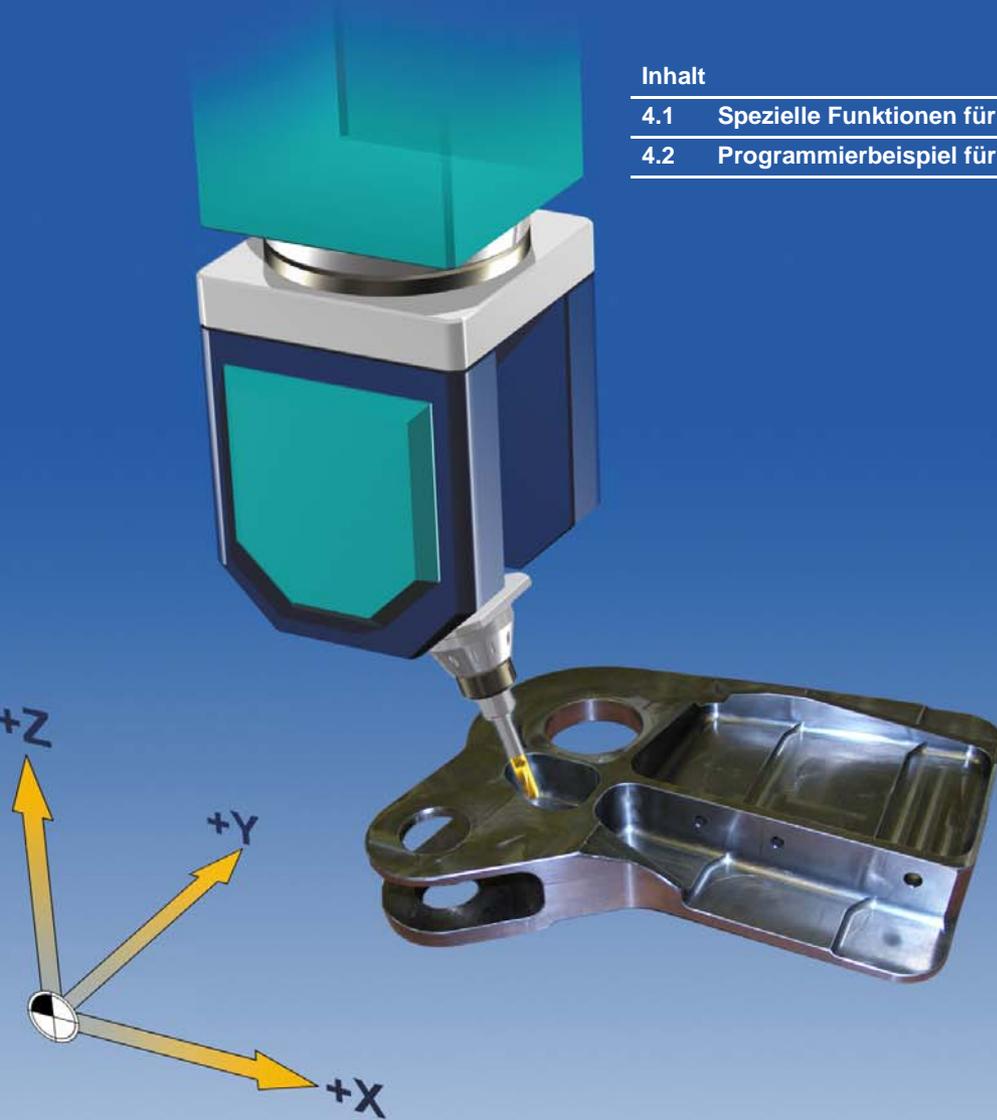
Die Verwendung der virtuellen Maschine im Zusammenspiel mit den SIEMENS VNCK bietet viele Vorteile:

- 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	80
4.2 Programmierbeispiel für die Tasche eines Strukturteils	81



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.

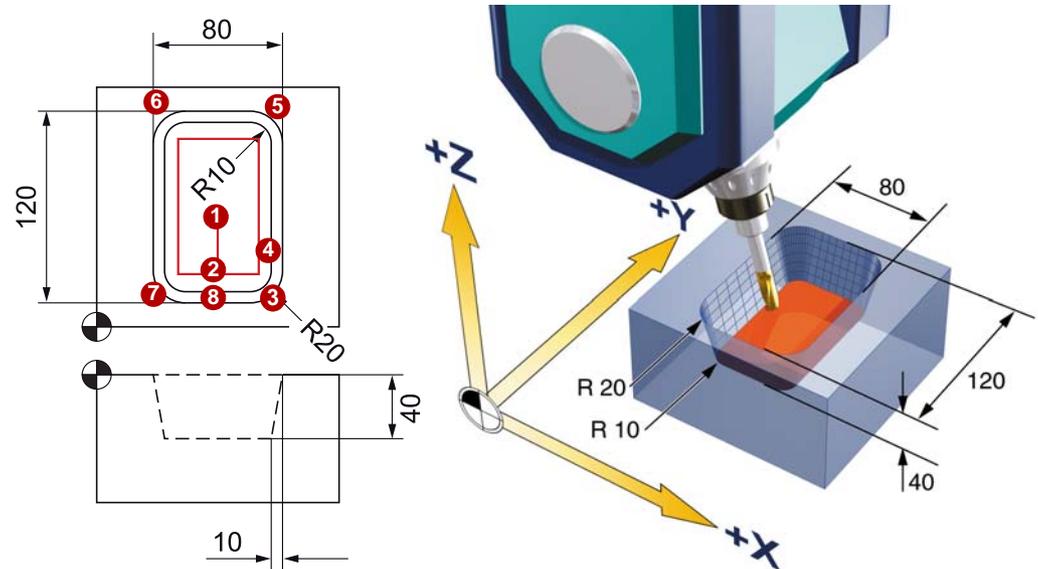
Wichtige Funktionen für den Bearbeitungsprozess von Strukturteilen:

- 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

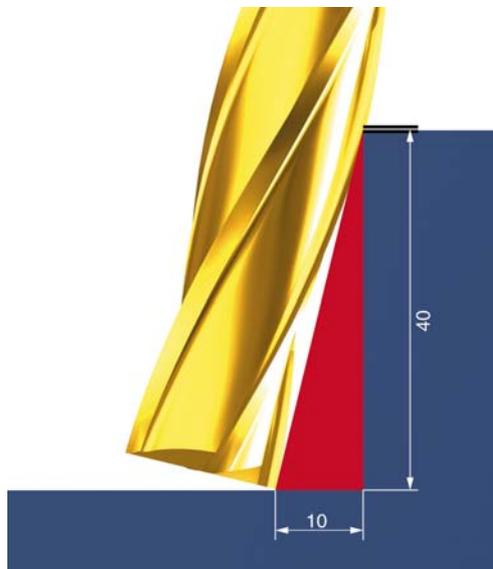
Typisch für Strukturteile sind schräge Innen- oder Außenwände. Diese werden mittels Umfangsfräsen am effektivsten hergestellt. Im folgenden Programmierbeispiel wird eine Tasche mit schrägen Wänden gefräst. Es werden die dafür notwendigen Funktionen wie die Orientierungsinterpolation und die Werkzeugradiuskorrektur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

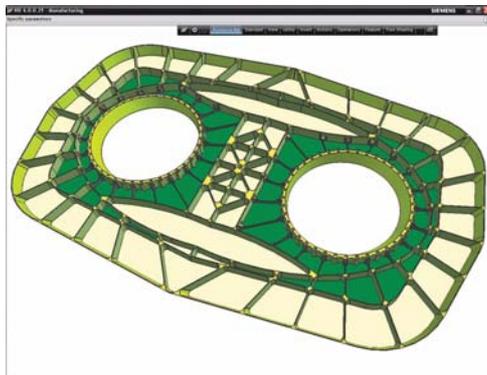
Dies kann über den Satz des Pythagoras berechnet werden.

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

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.

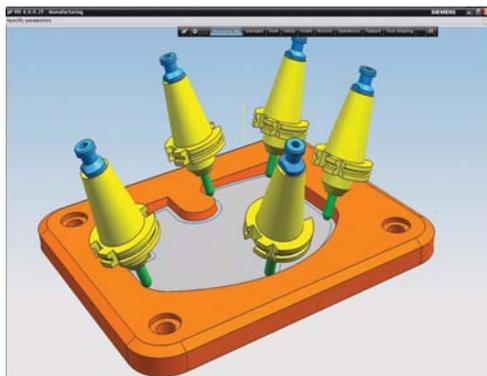
Unterstützung Rippen und Taschen



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.

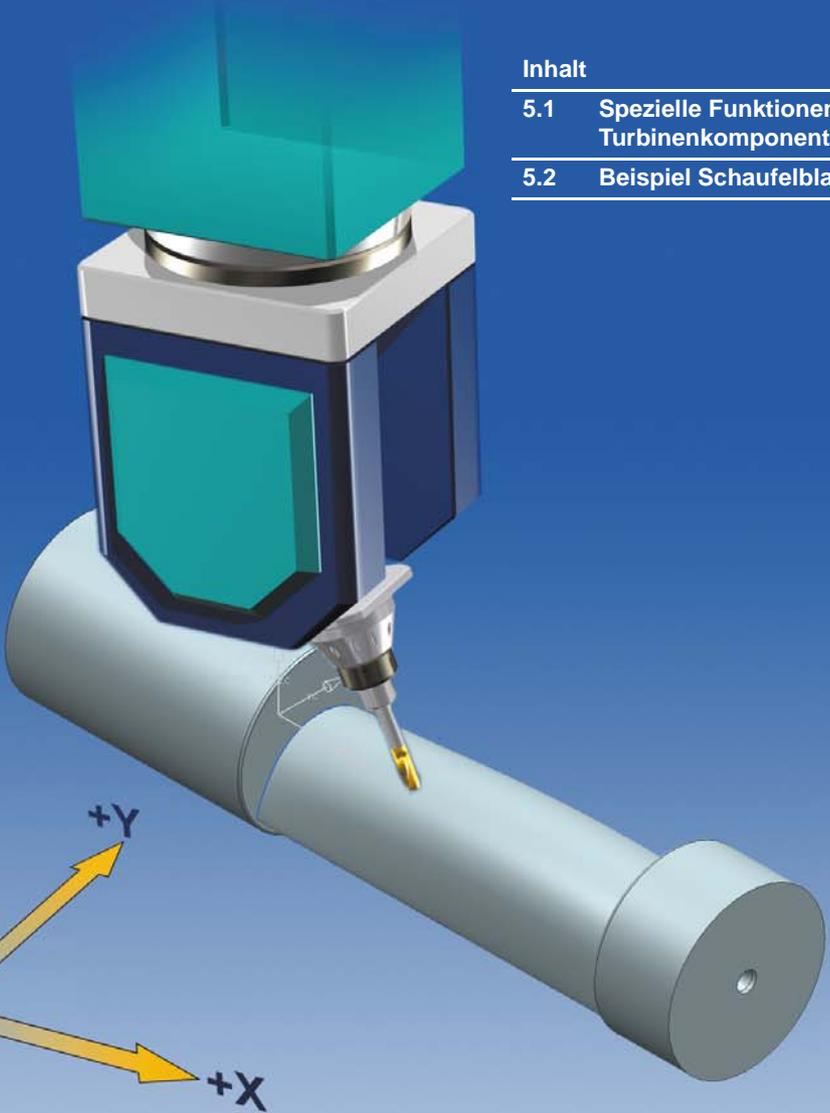
Angestellte Werkzeuge beim Profilfräsen



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	86
5.2 Beispiel Schaufelblatt	87

5.1 Spezielle Funktionen für Triebwerks- und Turbinenkomponenten

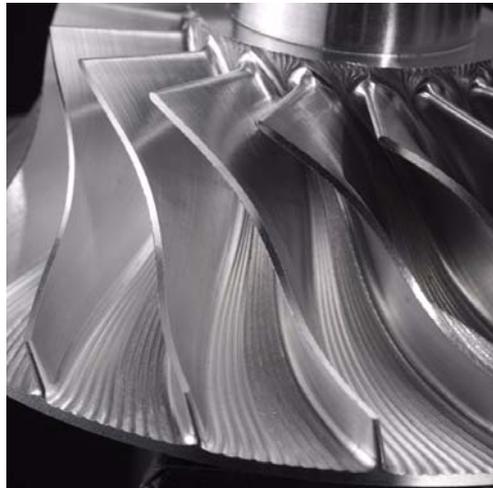
Impeller oder Schaufeln von Turbinen unterliegen höchsten Ansprüchen bezüglich Oberflächengüte und Konturtreue. Die Anforderung an die NC-Steuerung ist deshalb, große Datenmengen in kürzester Zeit zu verarbeiten. Selbst kleinste Brems- und Beschleunigungssprünge können zu Fehlern an der Oberfläche führen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

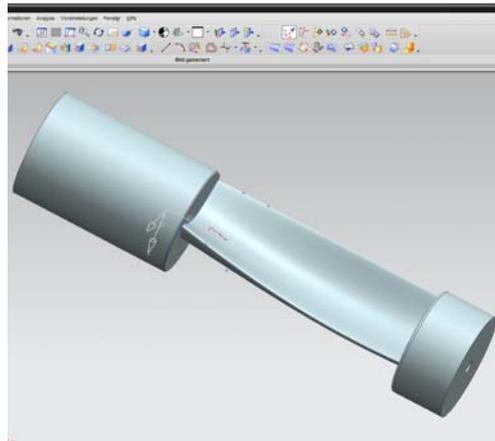
Impeller



5.2 Beispiel Schaufelblatt

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

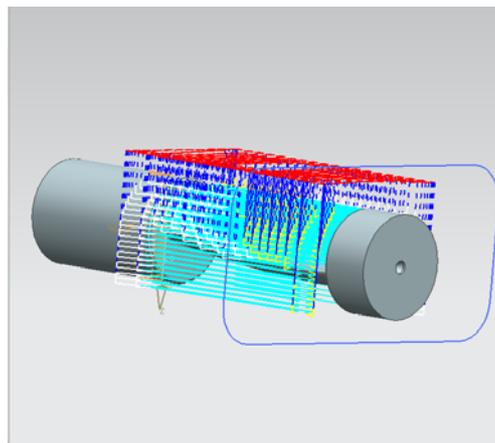
Schaufelblatt



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.

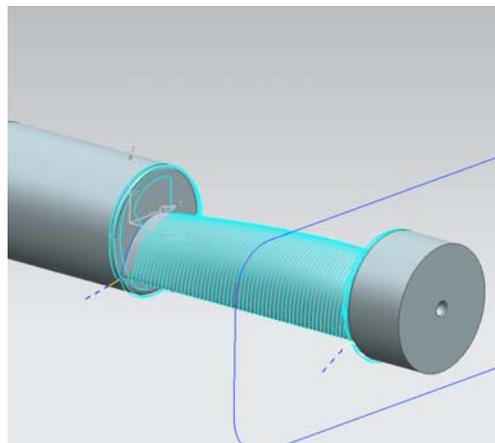
Ebenenschruppen



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 Im Startprogramm werden die einzelnen Unterprogramme aufgerufen. Im Unterprogramm sind alle Werkzeug- und Technologiedaten hinterlegt. Das Startprogramm steuert den Aufruf der mit dem CAM erzeugten NC-Programme.

TIPP

Bei geeignetem Postprozessor (etwa aus PostBuilder) lassen sich sowohl Haupt- als auch Unterprogramme automatisch erzeugen.

```

N100 ; STARTPROGRAM MILL ;
N110 EXTCALL "PROGRAM" ; Aufruf der Schrupp- und Schlichtunterprogramme
N120 M01 ; Weiter mit NC-Start
N130 STOPRE ; Vorlaufspeicher in Stopp, d. h. es werden die
; nachfolgenden NC-Sätze erst eingelesen, wenn die
; vorherigen NC-Sätze alle abgearbeitet sind.
N140 ... ;
N420 EXTCALL "FINISH_04" ; Schlichtprogramm FINISH_04.MPF wird aufgerufen.
; Erklärungen zu diesem Programm siehe nächste Seite
N220 M01 ;
N230 STOPRE ;
N240 M30 ; Programmende

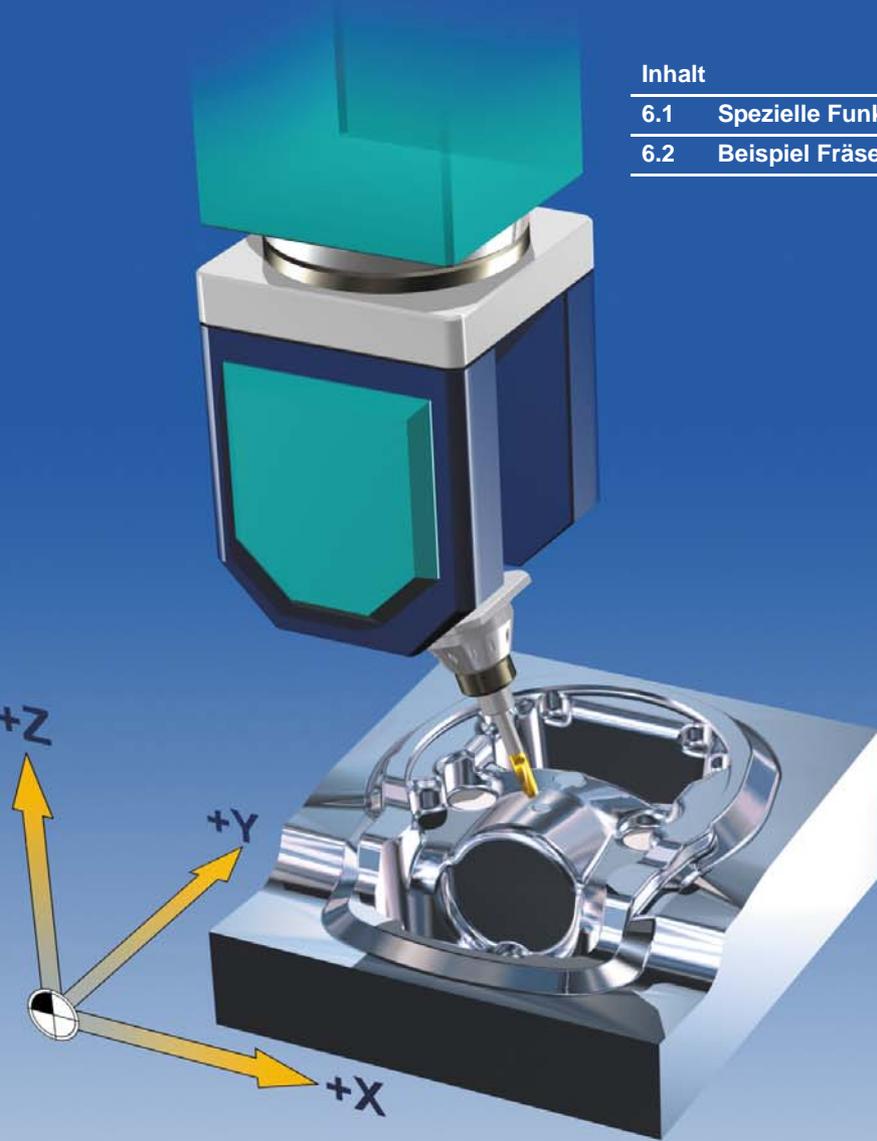
```

**Beispiel Unterprogramm
Schichten FINISH_04**

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-Kugelfräser D8	; Abmaße des Werkzeugs Kugelfräser 8 mm
N115	; Toleranz=0.01	; Toleranzangabe als Kommentar
N120	G40 G17 G710 G94 G90	; Werkzeugradiuskorrektur, Arbeitsebene, Metrisches System, Vorschub in mm/min bezogen auf die Spindel, Absolutmaßangabe
N125	TRAFOOF	; Alle aktiven Transformationen und Frames ausschalten
N130	CYCLE800(1,"K2X10F",0,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)	
N135		; 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	G54	; Nullpunktverschiebung
N190	ORIWKS	; Werkstückkoordinatensystem ist gültig
N200	ORIAXES	; Achsinterpolation
N210	S10000 M3 M8	; Spindeldrehzahl, Drehrichtung rechts, Kühlung ein
N215	CYCLE800(1,"K2X10F",100000,39,0,0,0,90,60,0,0,0,-1,)	
N220		; Vorpositionierung des Werkzeugs zum Werkstück. Eine feste Position sollte in jedem Unterprogramm zuerst angefahren bzw. geschwenkt werden, damit eine definierte Ausgangslage zum Start der Bearbeitung entsteht. Bei aktivem TRAORI kann unter Umständen die Anfahrtbewegung zum Werkstück dann variieren. Vorpositionierung ohne TRAORI.
N225	G0 X0 Y0	
N230	G0 Z100	
N235	CYCLE832(0.01,112001)	
N240		; High-Speed-Settings festlegen, 0.01 Toleranz. Von rechts nach links: 1 Schichten ein, 0 nicht belegt, 0 TRAORI aus, 2 G642, 1 FFWON SOFT, 1 COMPCAD.
N245	TRAORI	; TRAORI einschalten
N250	G54	; Nullpunktverschiebung erneut aktivieren nach TRAORI
N260	G0 X46.84229 Y48.25858 Z30.5 A3=.89140864 B3=.45320044 C3=0.0 S25000 M3	
N270		; Eilgang zu Position, Spindeldrehzahl und Drehrichtung festlegen
N275	G1 X21.95965 Y29.38587 A3=.89140864 B3=.45320044 C3=0.0 M8 F6000	
N280		; Erste Position mit Vorschub anfahren, Kühlmittel an
N290	...	; NC-Sätze für Geometrie
...	...	
N4580	G0 Z150	; Rückzug in Z
N4590	TRAFOOF	; Transformation ausschalten
N4600	CYCLE832(0.02,10000)	; CYCLE832 auf Standardwerte setzen
N4610	CYCLE800()	; Rücksetzen der geschwenkten Ebenen
N4620	M5	; Spindel halt
N4630	M17	; Unterprogrammende

Komplexe Freiformflächen



Inhalt

6.1	Spezielle Funktionen für Freiformflächen
6.2	Beispiel Fräsen eines Mantarochens

Seite

92
93

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:

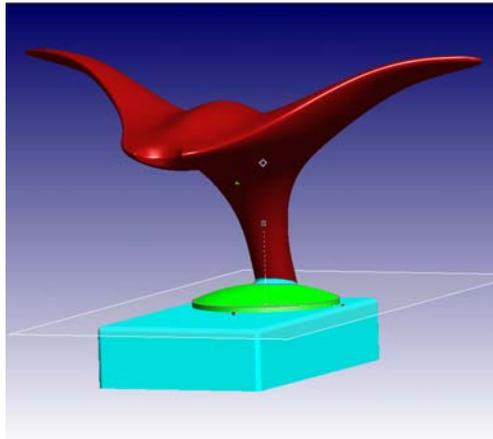
- High Speed Settings CYCLE832, da ideale Datenkompression innerhalb des Toleranzbandes in Kombination mit Vorsteuerung und Ruckbegrenzung zu der geforderten Oberfläche ohne Abweichung der Kontur eingestellt werden kann.
- TRAORI, da integrierte 5-Achs-Transformation für alle Maschinenkinematiken vorhanden 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.

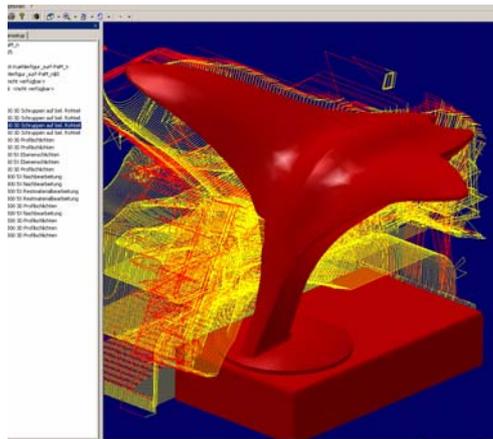
Mantarochen im CAM



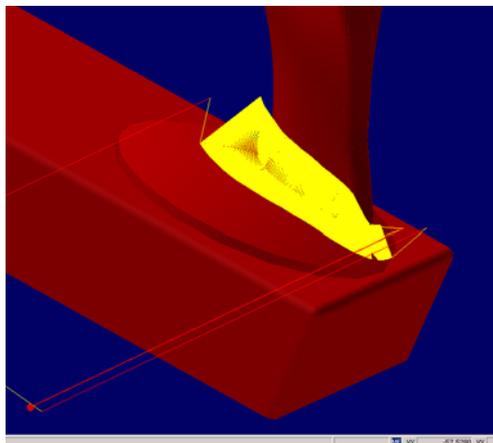
Der Mantarochen wird aus einer digitalisierten Punktwolke im CAM-System als Freiformfläche modelliert. Als Strategien wurden das 3D Schruppen in der Ebene und mehrere 3- und 5-achsige Vorschicht- und Schlichtbearbeitungen verwendet.

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.

```

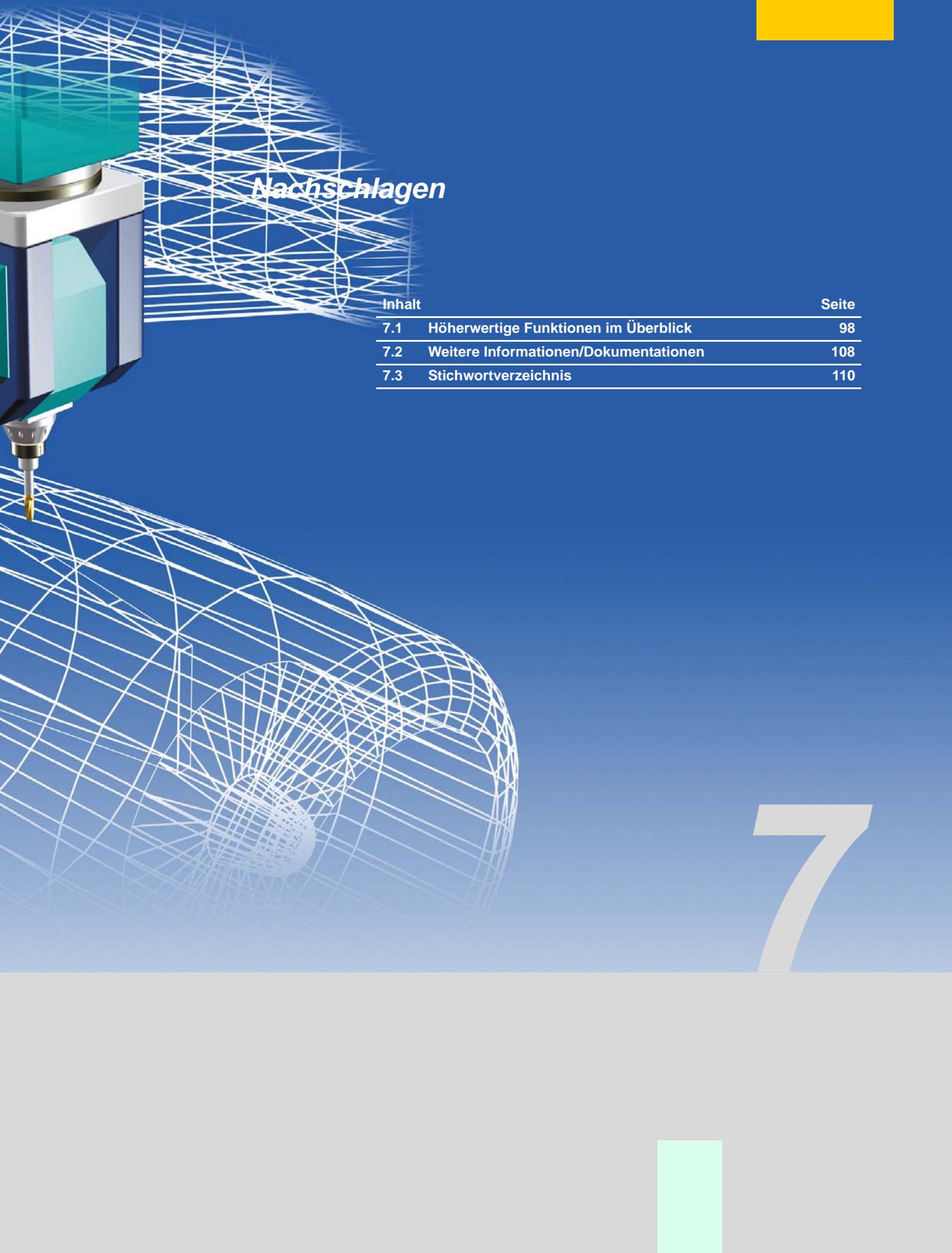
N100  G90 G17 G54           ; Absolutmaßangabe, Arbeitsebene und
                                ; Nullpunktverschiebung wählen
N105  ORIWKS ORIXES        ; Werkstückkoordinatensystem, Achsinterpolation
N110  GOTOF _ROUGH_01      ; Sprungmarke zum Unterprogrammaufruf für das
                                ; 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,"K2X10F",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,"K2X10F",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(0.13,112003)	; High-Speed-Settings festlegen mit Toleranz 0.13 für ; Schruppen. Von rechts nach links: 3 Schruppen, 0 nicht ; belegt, 0 kein TRAORI, da nur 3-achsiges Schruppen, 2 ; G642, 1 FFWON SOFT, 1 COMPCAD.
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,"K2X10F",0,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)	
N4595		; Schwenken in Ausgangslage
N4600	CYCLE832(0.02,10000)	; CYCLE832 auf Standardwerte setzen
N4610	CYCLE800()	; Rücksetzen der geschwenkten Ebenen
N4620	M17	; Unterprogrammende



Nachschlagen

Inhalt	Seite
7.1 Höherwertige Funktionen im Überblick	98
7.2 Weitere Informationen/Dokumentationen	108
7.3 Stichwortverzeichnis	110

7



7.1 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

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

840D Splinevarianten

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

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)

Mit entsprechenden Einzelachstoleranzen:
\$MA_COMPRESS_POS_TOL[X] = ...
 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

DYNNORM	Normale Dynamik wie bisher
DYNPOS	Positionierbetrieb, Gewindebohren
DYNROUGH	Schruppen
DYNSEMIFIN	Schlichten
DYNFINISH	Feinschlichten

Look Ahead

G60	Genauhalt am Satzende
G601	Satzwechsel bei Erreichen des Feinpositionsfensters
G602	Satzwechsel bei Erreichen des Grobinpositionsfensters
G603	Satzwechsel bei Interpolationsende
G64	Überfahren des Satzendes (LOOK AHEAD)
	Überschleifen
G641	ADIS = ... Überschleifabstand
	ADISPOS = ... Überschleifabstand bei G0, geschwindigkeitsstetig
G642	Überschleifen mit Einzelachstoleranzen (\$MA_COMPRESS_POS_TOL[X] = ...) oder ADIS, ADISPOS über Zwischensätze, beschleunigungsstetig (empfohlen)
G60, G64, G641, G642	G-Codegruppe 10
G601 – G603	Eigene G-Codegruppe (Gruppe 12)

Geschwindigkeitsprogrammierung

	Konventionelle satzweise Geschwindigkeitsprogrammierung über
G94	inch/min bzw. mm/min
G93	inverse Zeit
G95	inch, mm pro Spindelumdrehung
G96	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.

FNORM	Grundeinstellung. Der Vorschubwert wird über den Bahnweg des Satzes vorgegeben und gilt danach als modaler Wert.
FLIN	Bahngeschwindigkeitsprofil linear: Der Vorschubwert wird vom aktuellen Wert am Satzanfang bis zum Satzende über den Bahnweg linear eingefahren und gilt danach als modaler Wert.
FCUB	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.
F=FPO(..)	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.
endfeed	Vorschub am Satzende
quadf	Quadratischer Polynomkoeffizient
ubf	Kubischer Polynomkoeffizient
Bahnbezug	
FGROUP(X, Y, Z,...)	Definiert die Bahnachsen bezüglich des Vorschubes, d.h., Gesamtvorschub bezieht sich auf die hier definierten Achsen. Beispiel: FGROUP(X, Y), dann gilt:

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

Ruck

SOFT	Ruckbegrenzung
BRISK	Beschleunigungsbegrenzung

Vorsteuerung

FFWON	Vorsteuerung ein
FWOF	Vorsteuerung aus

5-Achs-Funktionalität

Transformation

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

Orientierungsprogrammierung

ORIEULER	Orientierungsprogrammierung über Euler-Winkel (Standard)
ORIRPY	Orientierungsprogrammierung über RPY-Winkel
	Beide sind nur wirksam, wenn \$MC_ORI_DEF_WITH_G_CODE = 1 gesetzt ist. Ansonsten Festlegung über Maschinendatum. In älteren Systemen Unterscheidung nur durch Maschinendatum \$MC_ORIENTATION_IS_EULER.
A2=... B2=... C2=...	Euler- oder RPY-Winkel
A3=... B3=... C3=...	Kartesischer Orientierungsvektor
XH=..., YH=..., ZH=...	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.
LEAD, TILT	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

ORIMKS	Bezugssystem für den Orientierungsvektor ist das Basiskoordinatensystem. Bei \$MC_ORI_IPO_WITH_G_CODE = 0 zugleich identisch mit ORIAxes.
ORIWKS	Bezugssystem für den Orientierungsvektor ist das Werkstückkoordinatensystem. Bei \$MC_ORI_IPO_WITH_G_CODE = 0 zugleich identisch mit ORIVECT.

Orientierungsinterpolation

Die folgenden G-Codes sind nur wirksam, wenn
\$MC_ORI_IPO_WITH_G_CODE = 1 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)

ORIPLANE

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

ORICONTO

Interpolation auf einer Kegelmantelfläche mit tangentialem Übergang
Zusätzlich erforderlich:

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

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.

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.

Werkzeugradiuskorrektur

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

2½-D Umfangsfräsen

CUT2D	2 1/2-D-KORREKTUR mit Korrektorebene durch G17 - G19 bestimmt
CUT2DF	2 1/2-D-KORREKTUR mit Korrektorebene durch Frame bestimmt

3-D Umfangsfräsen

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

Stirnfräsen

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

3D-Umfangfräsen mit Begrenzungsfläche - Kombiniertes Umfang/Stirnfräsen

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

FRAMES

Programmierbare Frames

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

Frame-Operatoren

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

Spezielle Frames

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

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

7.2 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



CNC4you - Portal für Anwender

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

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

7.3 Stichwortverzeichnis

Number

5-Achs-Transformation 46

A

Automatikbetrieb 30, 31
 Messen des Werkstücks 31
 Werkzeugradius ermitteln 34

B

BRISK 70
 Bahnsteuerbetrieb 68
 Bahnsteuerung 65
 Basisframe 42
 Begriffserklärung
 Frames 41
 Schwenken 41
 TRAORI 41
 Betriebsart AUTO 30
 Betriebsart JOG 24

C

CAM System 19
 COMCAD
 Kompressor-Funktion 15
 COMPCAD 67
 COMPOF 65, 67
 CYCLE800 44
 CYCLE832 63
 Parameter 64
 CYCLE996 35
 CYCLE997 31
 Beispiel 31

D

DYNFINISH 72
 DYNORM 72
 DYNPOS 72
 DYNROUGH 72
 DYNSEMIFIN 72
 Dynamisches Verhalten 100

E

Ebene ausrichten 24, 26, 30
 Beispiel 26
 Ebene ausrichten (CYCLE998) 25
 Ecke messen 24, 30

Ermitteln der Werkzeuglänge 33

F

FFWOF 70, 71
 FFWON 70, 71
 Fahrbewegungen 42
 Frame, Frames 106
 Frame-Operatoren 106
 Komponenten für die Programmierung 43
 Programmierbare Frames 106
 Freiformflächen 92
 Beispiel 93
 Freiformflächenbearbeitung 14

G

Gabel 12
 Genauigkeit 14, 20, 63
 Geschwindigkeit 14, 63
 Geschwindigkeitsprogrammierung 100

H

High Speed Settings 63

J

JOG 28
 Werkzeug messen 28

K

Kante messen 24, 30
 Kinematik berechnen 36
 Kinematiken 12
 Kinematikmesszyklus 35
 Kompression 65
 Kompressor 15, 67, 99
 Kompressor-Funktion 15
 Koordinatensysteme 42
 Kugel Messen 31

L

Linearachsen 10
 Look Ahead 100
 Look ahead 68

M

Maschinenkinematiken 44
 Messen in JOG und AUTOMATIK 23
 Messtaster 24, 28, 31

- Messtaster kalibrieren 24, 30
- Messzyklen 24, 33
 - anwählen 24
- Messzyklen in AUTOMATIK 30
- Messzyklen in JOG 24
- Messzyklus Kugeln 31
- O**
- OIRMKS 60
- ORIXES 57
- ORICONxx 58
- ORIPATH 61
- ORIVECT/ORIPLANE 57
- ORIWKS 60
- Oberflächengüte 14, 63
- Orientierungsinterpolation 56
- P**
- Programmierbares Überschleifen
 - Splineinterpolation 15
- Programmstruktur 21
- Prozesskette 8, 18
 - CAD - CAM - CNC 9
- Prozessmessen 30
- Q**
- Quick View 37
- R**
- Richtungsvektor 11
- Ruck 101
- Ruckbegrenzung 70
- Rundachsen 10, 12
- Rundachspositionen 11
- S**
- SOFT 70
- Schnelldarstellung 37
- Schwenken
 - Cycle800 44
 - Parameter der Eingabemaske 45
- Schwenkkopf 44
- Schwenktisch 44
- ShopMill 38
- Spline 15
- Spline-Kompressor 67
- Strukturteile
 - Beispiel 81
 - Funktionen 80
- T**
- TRAORI 46
 - Funktion 47
 - Programmierung 49
- Tasche/Bohrung messen 24, 30
- Technologie G-Gruppen 72, 100
- Toleranz 20
- Toleranz_Tol. 65
- Triebwerks- und Turbinenkomponenten 86
- V**
- VCS 76
- VNCK - Virtuelle Maschine 77
- Volumetric Compensation System 76
- Vorsteuerung 65, 70, 101
- W**
- Wegbefehle 98
- Werkstück
 - einrichten 24
- Werkstück messen in AUTOMATIK 30
- Werkzeug
 - messen in JOG 28
- Werkzeug messen in AUTOMATIK 33
- Werkzeug messen in JOG 27
- Werkzeugbezugspunkt 27
- Werkzeuge vermessen 27
- Werkzeuggeometrien 27
- Werkzeugorientierung 50
 - Flächennormalenvektor 54
 - LEAD/TILT 55
 - ORIEULER/ORIRPY 52
 - Richtungsvektor 50
 - Rundachspositionen 51
- Werkzeugorientierung und Kinematik 46
- Werkzeugradiuskorrektur 105
- Werkzeigtabelle 27
- Werkzeugtyp
 - Fräserarten 28
- Z**
- Zapfen messen 30
- Zapfen/Bohrung messen 24
- nutierte Achse 12

Weitere Informationen

Vertiefende Infos über SINUMERIK finden Sie unter:
www.siemens.com/automation/mc

Vertiefende technische Dokumentation auf unserem
Service&Support Portal:
www.siemens.com/automation/support

Für ein persönliches Gespräch finden Sie Ansprechpartner
in Ihrer Nähe unter:
www.siemens.com/automation/partner

Mit der Mall können Sie direkt elektronisch im Internet bestellen:
www.siemens.com/automation/mall

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

Änderungen vorbehalten
6FC5095-0AB10-0AP1
© Siemens AG 2009

www.siemens.com/automation/mc