



SIEMENS



Fräsen mit SINUMERIK

Formenbau von 3- bis 5-Achs-Simultanfräsen

Handbuch

Ausgabe

09/2013

Answers for industry.

Fräsen mit SINUMERIK

Formenbau von 3- bis 5-Achs-Simultanfräsen

Handbuch

Gültig für:

Steuerung

SINUMERIK 828D
SINUMERIK 840D sl

Ausgabe 09/2013

Dokbestnr. 6FC5095-0AB10-0AP3

Basisinformationen	1
Allgemeines zur Werkstückfertigung	2
Wichtige Funktionen 3- bis 5- Achs-Bearbeitung	3
Aerospace, Strukturteile	4
Triebwerks- und Turbinenkomponenten	5
Komplexe Freiformflächen	6
Unterschied 3, 3+2, 5 Achsen	7
Nachschlagen	8

SINUMERIK® -Dokumentation

Auflagenschlüssel, Marken

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

Kennzeichnung des Status in der Spalte „Bemerkung“:

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

Ausgabe	Bestell-Nr.	Bemerkung
09.2013	6FC5095-0AB10-0AP3	C
09.2011	6FC5095-0AB10-0AP2	C
05.2009	6FC5095-0AB10-0AP1	A

Marken

Alle Erzeugnisbezeichnungen können Marken oder Erzeugnisnamen der Siemens AG oder anderer, zuliefernder Unternehmen sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen kann.

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 2009 - 2013. All rights reserved.

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

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

Technische Änderungen vorbehalten.

Bestell-Nr. 6FC5095-0AB10-0AP3

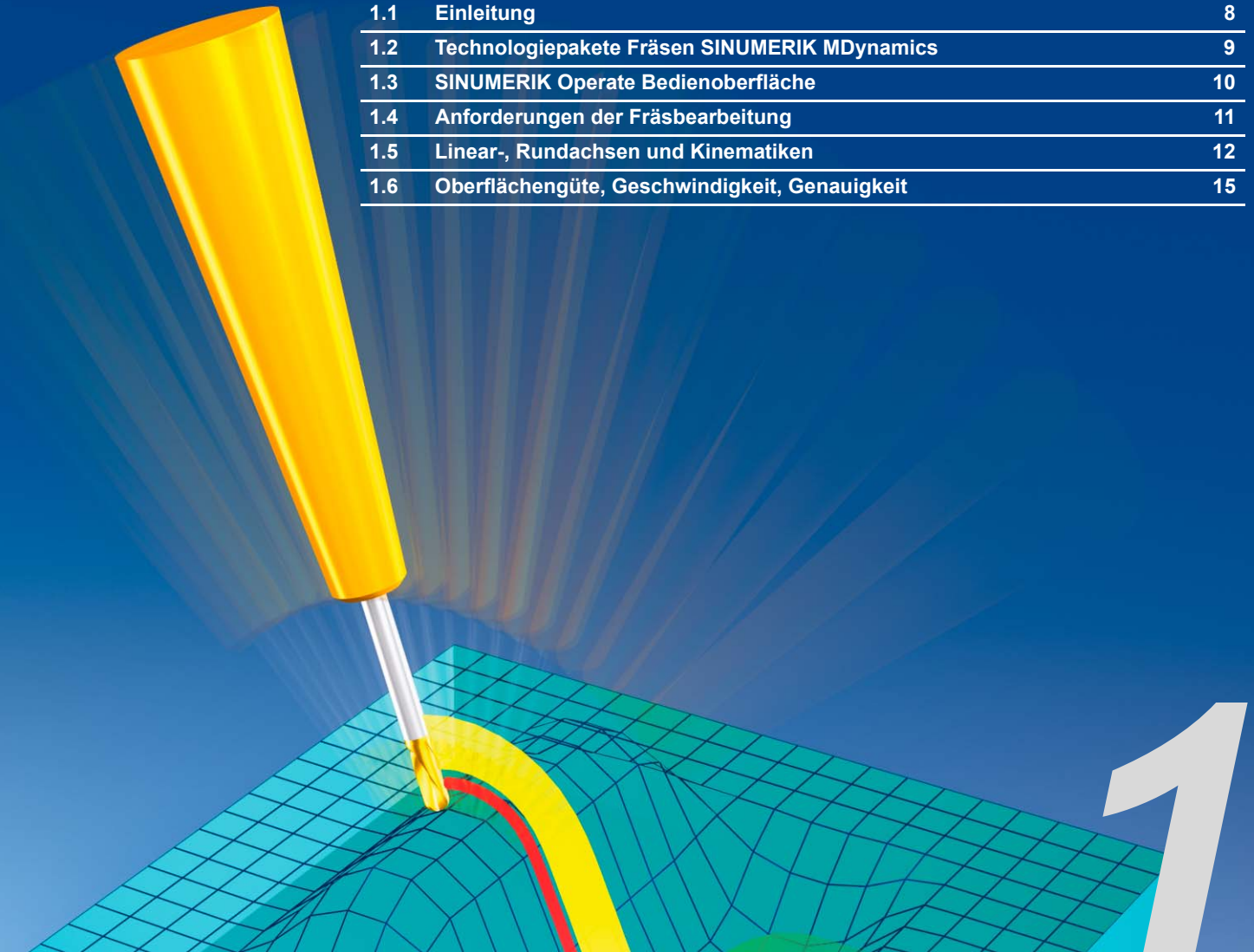
Siemens-Aktiengesellschaft

	Seite
1 Basisinformationen	7
1.1 Einleitung	8
1.2 Technologiepakete Fräsen SINUMERIK MDynamics	9
1.3 SINUMERIK Operate Bedienoberfläche	10
1.4 Anforderungen der Fräsbearbeitung	11
1.5 Linear-, Rundachsen und Kinematiken	12
1.6 Oberflächengüte, Geschwindigkeit, Genauigkeit	15
2 Allgemeines zur Werkstückfertigung	17
2.1 Prozesskette für die Fertigung von 3- bis 5-Achs-Werkstücken	18
2.2 CAM-Systeme	19
2.3 Programmstruktur für die Fräsbearbeitung	21
2.4 Programmablage/Datenübertragung	24
2.5 Nullpunktverschiebungen	26
2.6 Werkzeugverwaltung	27
2.7 Messen in JOG und AUTOMATIK	28
2.8 Werkstück messen in JOG	29
2.9 Werkzeug messen in JOG	31
2.10 Werkstück messen in AUTOMATIK - Prozessmessen	34
2.11 Werkzeug messen in AUTOMATIK - Prozessmessen	36
2.12 3D-Winkelabweichung Spindel CYCLE995	38
2.13 Maschine prüfen/vermessen mit dem Kinematikmesszyklus CYCLE996	39
2.14 Werkstückvisualisierung	41
2.15 Programme abarbeiten	44
3 Wichtige Funktionen 3- bis 5-Achs-Bearbeitung	45
3.1 Einleitung	46
3.2 Begriffserklärung Schwenken, Frames und TRAORI	47
3.3 Koordinatensysteme transformieren - Frames	48
3.4 Schwenken - CYCLE800	49
3.5 5-Achs-Transformation TRAORI	55
3.6 High Speed Settings - CYCLE832 Advanced Surface	76
3.7 Advanced Surface	81
3.8 Fräserradiuskorrektur	91
3.9 Volumetric Compensation System (VCS)	96
3.10 VNCK - Virtuelle Maschine	97
4 Aerospace, Strukturteile	99
4.1 Spezielle Funktionen für Strukturteile	100
4.2 Programmierbeispiel für die Tasche eines Strukturteils	101

	Seite
5 Triebwerks- und Turbinenkomponenten.....	105
5.1 Spezielle Funktionen für Triebwerks- und Turbinenkomponenten	106
5.2 Beispiel Schaufelblatt	107
6 Komplexe Freiformflächen	111
6.1 Spezielle Funktionen für Freiformflächen	112
6.2 Beispiel Fräsen eines Mantarochens	113
7 Unterschied 3, 3+2, 5 Achsen.....	117
7.1 5-Achs-Simultan oder 3+2-Achsen	118
7.2 Beispielwerkstück gefräst von 3 bis 3+2 Achsen	119
7.3 Beispiel mit 3 Achsen gefräst	121
7.4 Beispiel mit 3+1 Achsen gefräst	122
7.5 Beispiel mit 3+2 Achsen gefräst	123
7.6 Vergleich der drei Varianten	124
8 Nachschlagen	125
8.1 Höherwertige Funktionen im Überblick	126
8.2 Weitere Informationen/Dokumentationen	136
8.3 Stichwortverzeichnis	138

Basisinformationen

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



1.1 Einleitung

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

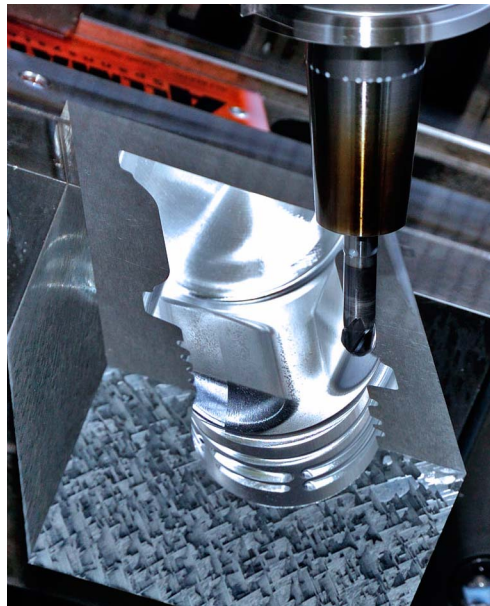
Die SINUMERIK-Steuerungen verfügen über leistungsfähige, hoch entwickelte Funktionen, durch deren intelligente Nutzung der gesamte Ablauf der Programmierung und Fräsbearbeitung wesentlich vereinfacht und das Produktionsergebnis verbessert wird.

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

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

Viele Aspekte können in diesem Handbuch nur kurz dargestellt werden. Weitergehende Informationen finden Sie in den entsprechenden Sinumerik-Dokumentationen und der einschlägigen Literatur, Siehe "Weitere Informationen/Dokumentationen" auf Seite 136.

*Spannweite der
Fräsbearbeitung*



1.2 Technologiepakete Fräsen SINUMERIK MDynamics

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

SINUMERIK 828D



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

Grundumfang 3-Achsen (auszugsweise):

- Advanced Surface
- High Speed Settings CYCLE832
- Anwenderspeichererweiterung auf User CF-Card

SINUMERIK 840D sl



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

Grundumfang 3 Achsen (auszugsweise):

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

Das 5-Achs-Paket beinhaltet zusätzlich:

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

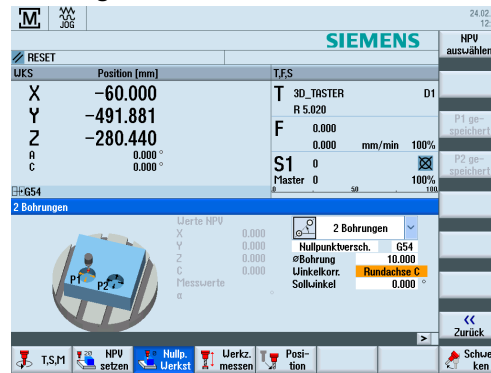
1.3 SINUMERIK Operate Bedienoberfläche

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

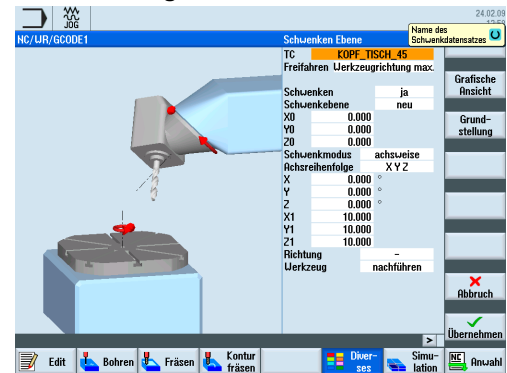
Hohe Bedienfreundlichkeit und erweiterte Einrichtefunktionen

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

Vielfältige Funktionen beim Einrichten



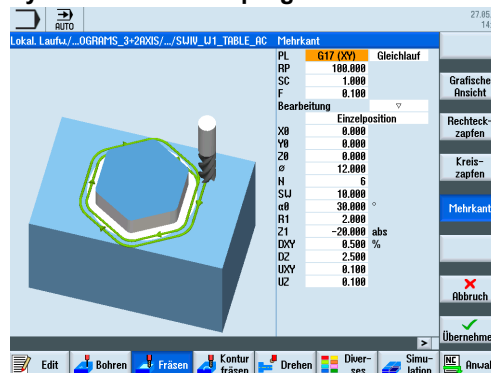
Unterstützung von vielen Kinematiken



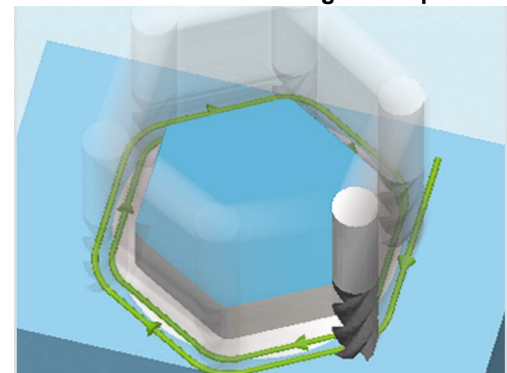
Animierte Elemente z. B. bei der Programmierung erklären die Parameter

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

Zyklus Mehrkant im programGUIDE



Animated Elements - Bewegtbildsequenz



1.4 Anforderungen der Fräsbearbeitung

Freiformflächen Formenbau



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

Triebwerks- und Turbinenkomponenten z. B. Impeller



Mit der SINUMERIK bietet Siemens CNC-Steuerungen, die genau auf die Ansprüche der 3- bis 5-Achs-Bearbeitung und auch dem HSC-(High Speed Cutting) und HPC-(High Performance Cutting)Bereich zugeschnitten sind:

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

Strukturteile Flugzeugindustrie



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

Die Fräsbearbeitung kann dabei in drei große Bereiche eingeteilt werden:

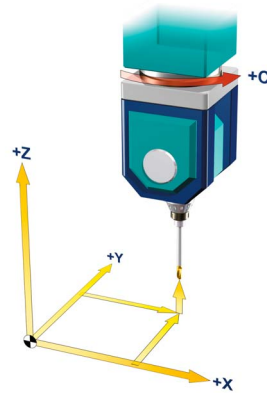
- Freiformflächen (Formenbau)
- Turbinen- und Triebwerkskomponenten (Impeller, Blisk)
- Strukturteile (Flugzeugindustrie)

Für jeden dieser Bereiche bietet die SINUMERIK optimale Unterstützung.

1.5 Linear-, Rundachsen und Kinematiken

1.5.1 Achsen und Programmierung

Bewegung Werkzeugspitze



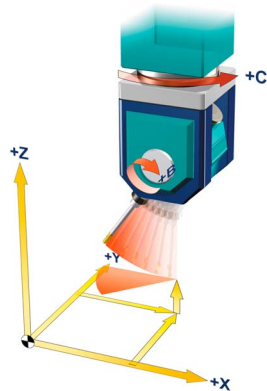
3-Achs-Bereich

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

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

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

Anstellen des Werkzeugs



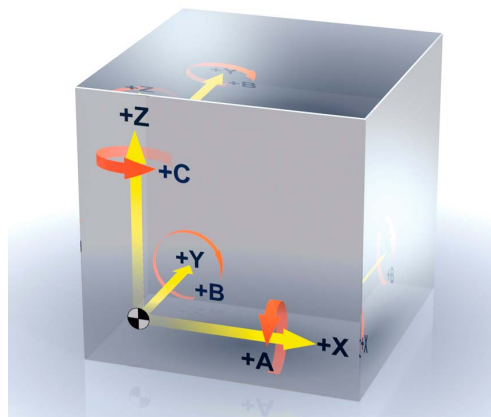
5(3+2)-Achsen-Bereich

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

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

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

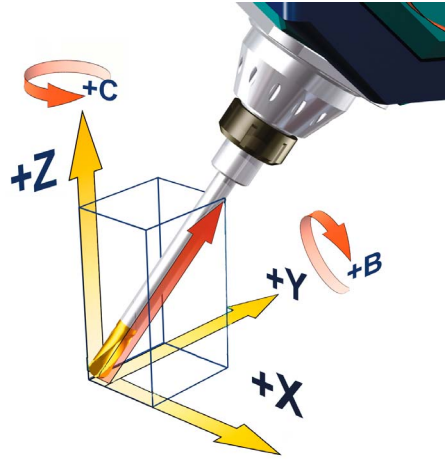
Linear- und Rundachsen



5-Achs-Simultan

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

Möglichkeiten der CNC-Programmierung im 5-Achs-Bereich

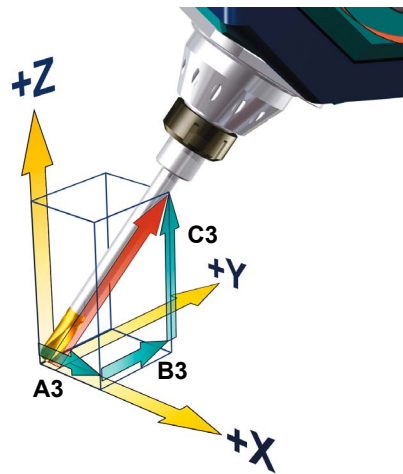
Programmierung
Rundachsen

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

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

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

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

Programmierung
Richtungsvektor

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

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

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

TIPP

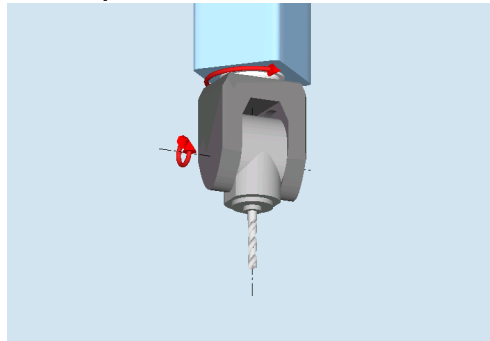
Neben dem Richtungsvektor und den Rundachsenpositionen gibt es noch weitere Varianten der Winkelprogrammierung. Dies sind z. B. die mit Euler- bzw. RPY-Winkel. Weitere Informationen darüber finden Sie im Kapitel "Programmierung der Werkzeugorientierung" auf Seite 60

1.5.2 Kinematiken von 5-Achs-Bearbeitungszentren

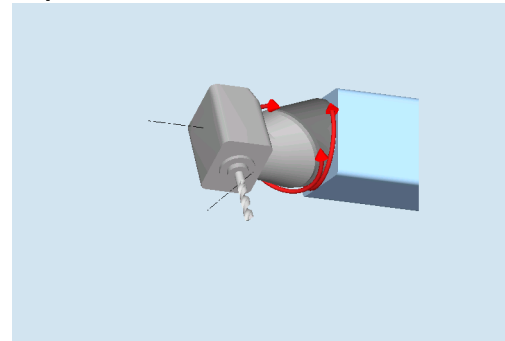
Eine 5-Achs-Maschine kann Werkzeugbewegungen in 5 Achsen steuern. Das sind die drei bekannten Linearachsen und zusätzlich zwei Rundachsen. Für die beiden Rundachsen gibt es unterschiedliche Kinematiklösungen. Die Gebräuchlichsten stellen wir schematisch vor. Mit SINUMERIK Steuerungen sind wir in der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

Zwei Rundachsen im Kopf

Gabelkopf

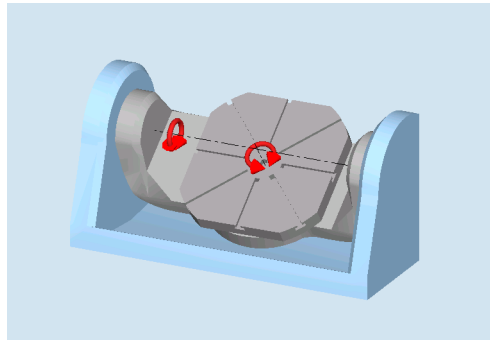


Kopfkinematik nutiert *

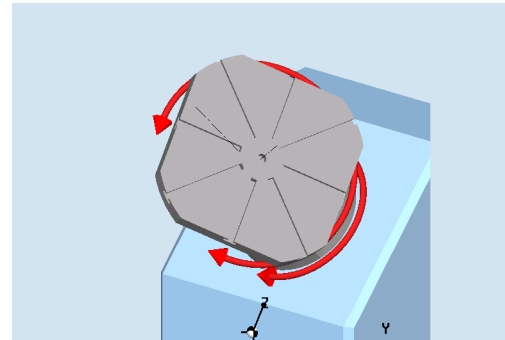


Zwei Rundachsen im Tisch

Dreh/Schwenktisch

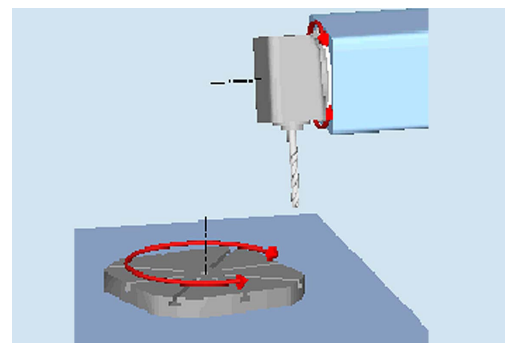
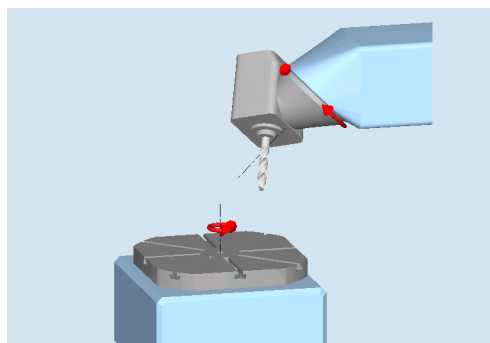


Dreh/Schwenktisch nutiert *



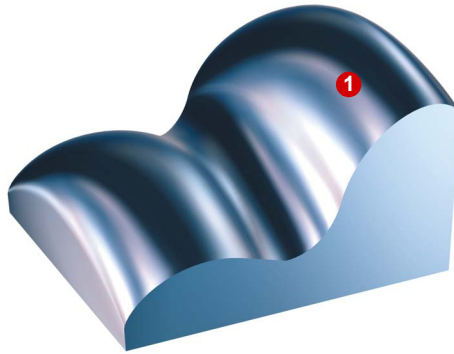
*: Steht die Drehachse nicht senkrecht auf einer Linearachse, spricht man von einer "nutierten" Achse.

Gemischte Kinematik



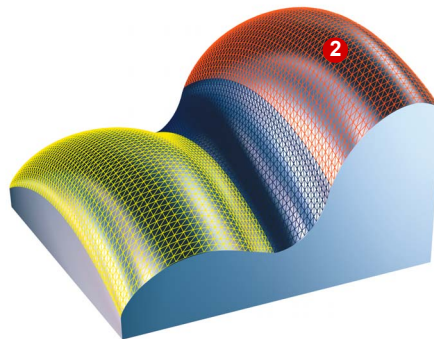
1.6 Oberflächengüte, Geschwindigkeit, Genauigkeit

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



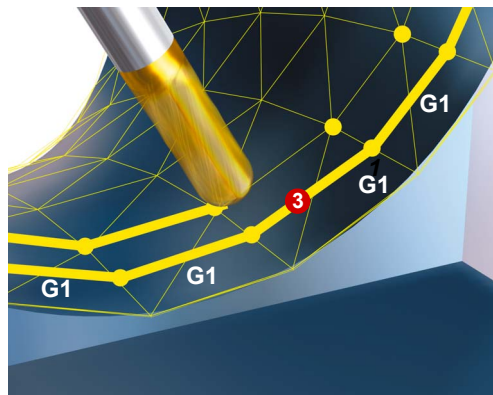
In CAD-Systemen werden Flächen **1** höheren Grades konstruiert (Freiform).

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



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

Dabei entstehen Abweichungen von der ursprünglichen Freiform.

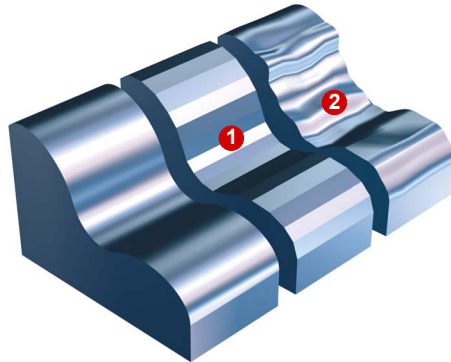


Der CAM-Programmierer legt auf diesen Polyeder Werkzeugbahnen. Der Postprozessor erzeugt daraus NC-Sätze innerhalb der vorgegebenen Fehlertoleranzen. Das sind i. d. R. viele kleine Geradenstückchen, G1 X Y Z. **3**

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

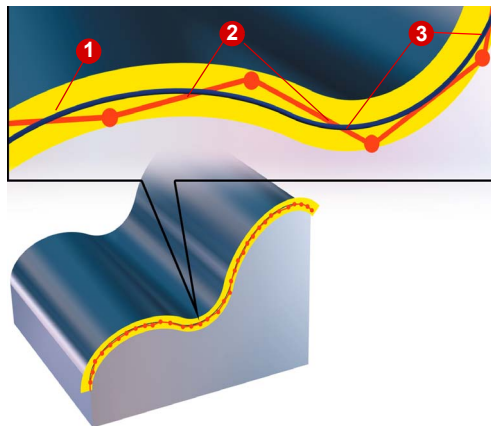
Dies kann zu einer unerwünschten Nachbearbeitung führen.

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



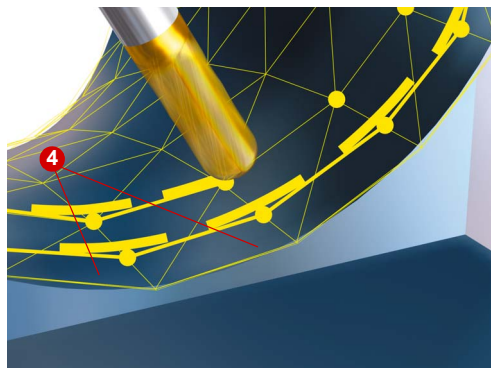
Kompressor-Funktion (COMPCAD)

Die Interpolation 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 NC-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 gleichmäßiger Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf erreicht. Die Oberflächenqualität wird verbessert und es können an der Maschine höhere Geschwindigkeiten gefahren werden, die die Produktivität erhöhen.

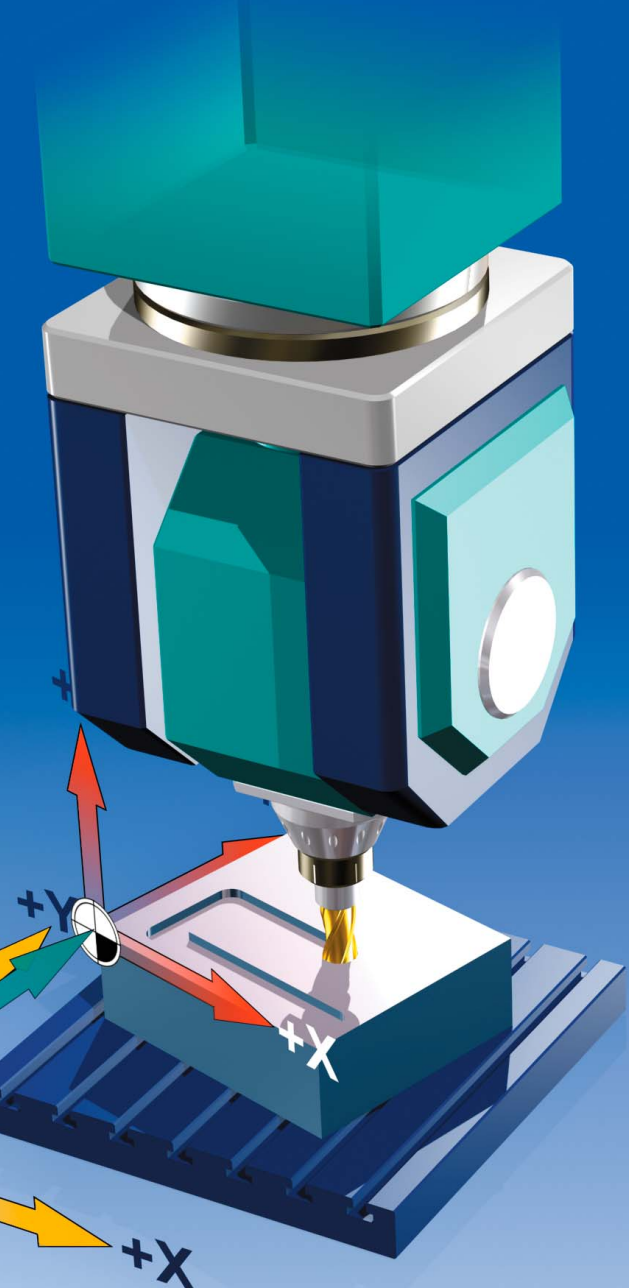


Programmierbares Überschleifen (G645)

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

Die Toleranz dieser Geometrielemente ist einstellbar (siehe auch 3.6).

Allgemeines zur Werkstückfertigung



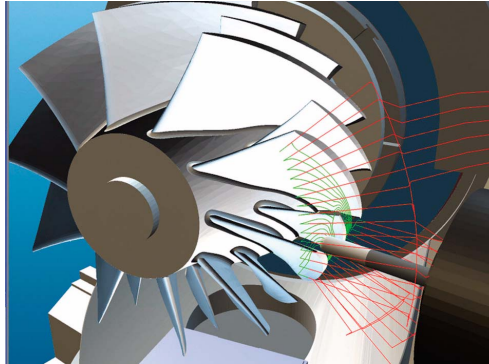
Inhalt	Seite
2.1 Prozesskette für die Fertigung von 3- bis 5-Achs-Werkstücken	18
2.2 CAM-Systeme	19
2.3 Programmstruktur für die Fräsbearbeitung	21
2.4 Programmablage/Datenübertragung	24
2.5 Nullpunktverschiebungen	26
2.6 Werkzeugverwaltung	27
2.7 Messen in JOG und AUTOMATIK	28
2.8 Werkstück messen in JOG	29
2.9 Werkzeug messen in JOG	31
2.10 Werkstück messen in AUTOMATIK - Prozessmessen	34
2.11 Werkzeug messen in AUTOMATIK - Prozessmessen	36
2.12 3D-Winkelabweichung Spindel CYCLE995	38
2.13 Maschine prüfen/vermessen mit dem Kinematikmesszyklus CYCLE996	39
2.14 Werkstückvisualisierung	41
2.15 Programme abarbeiten	44

2

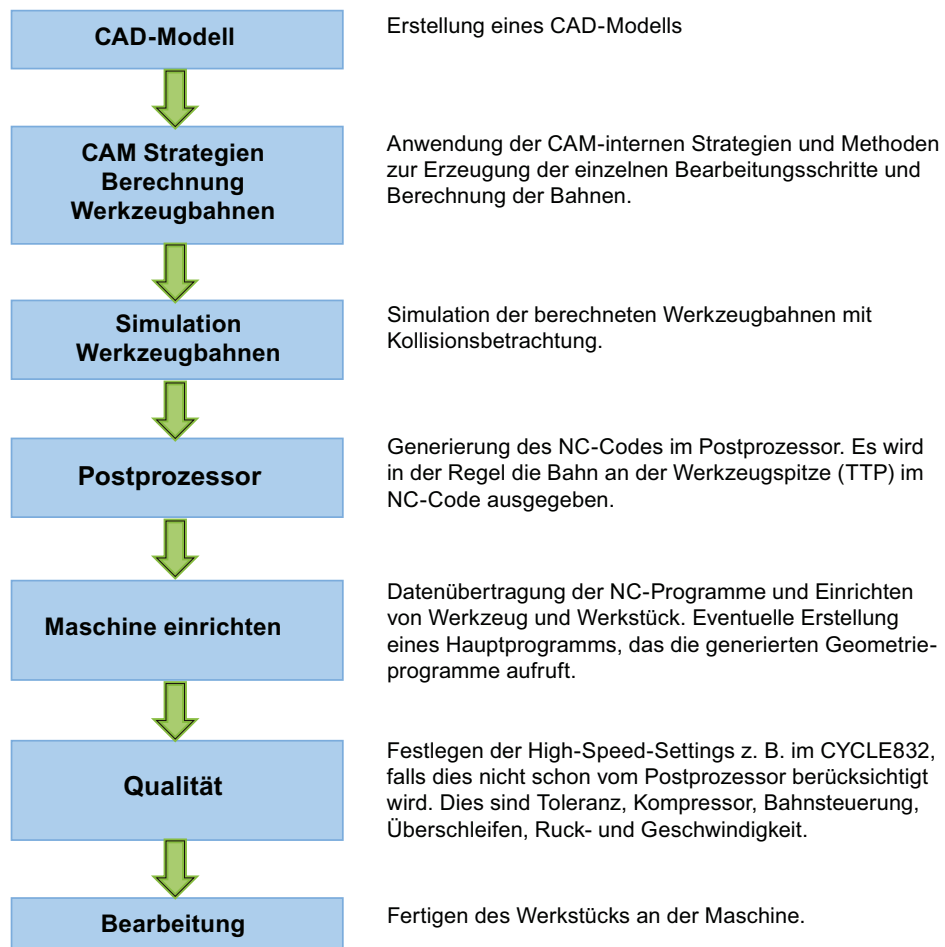
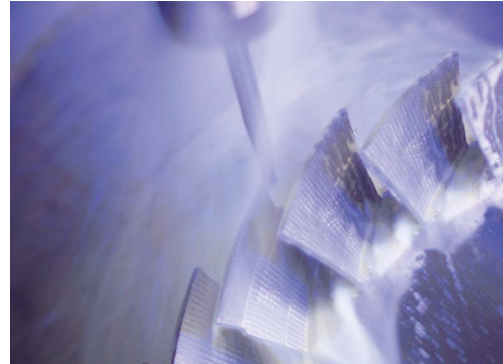
2.1 Prozesskette für die Fertigung von 3- bis 5-Achs-Werkstücken

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

CAD/CAM



Fertigung

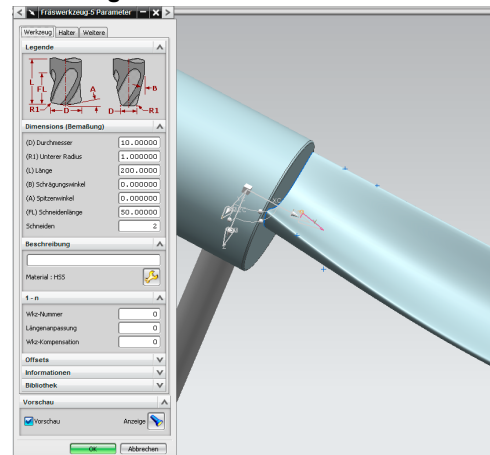


2.2 CAM-Systeme

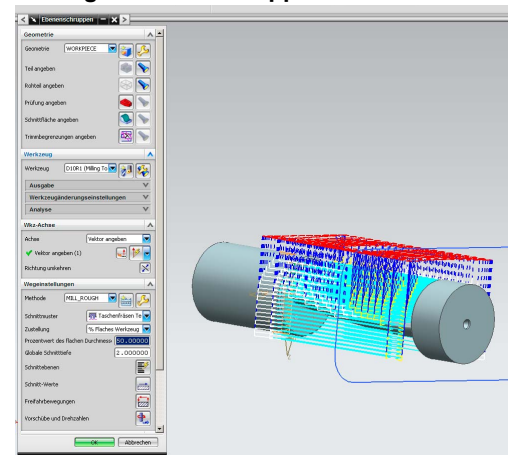
Dem CAM-System obliegt bei der Verfahrenskette die wichtige Aufgabe der Generierung der NC-Programme. Die Qualität dieser Daten beeinflusst maßgeblich das Ergebnis der Fertigung des Werkstücks.

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 Anfahrts- und Abfahrtsstrategien oder spezielle Frässtrategien wie z. B. trochoidales Fräsen. Schrittweise werden in dieser Vorgehensweise die Bearbeitungsstrategien aufgebaut und z. B. durch automatische Restmaterialerkennung unterstützt.

► **Berechnung und Simulation**

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

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

Der Postprozessor setzt die Arbeitsschritte in NC-Programme unter Berücksichtigung der steuerungsspezifischen Syntax und speziellen Funktionen der Steuerung um. CAM-Systeme nutzen dabei Universal-Postprozessoren oder spezielle 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.

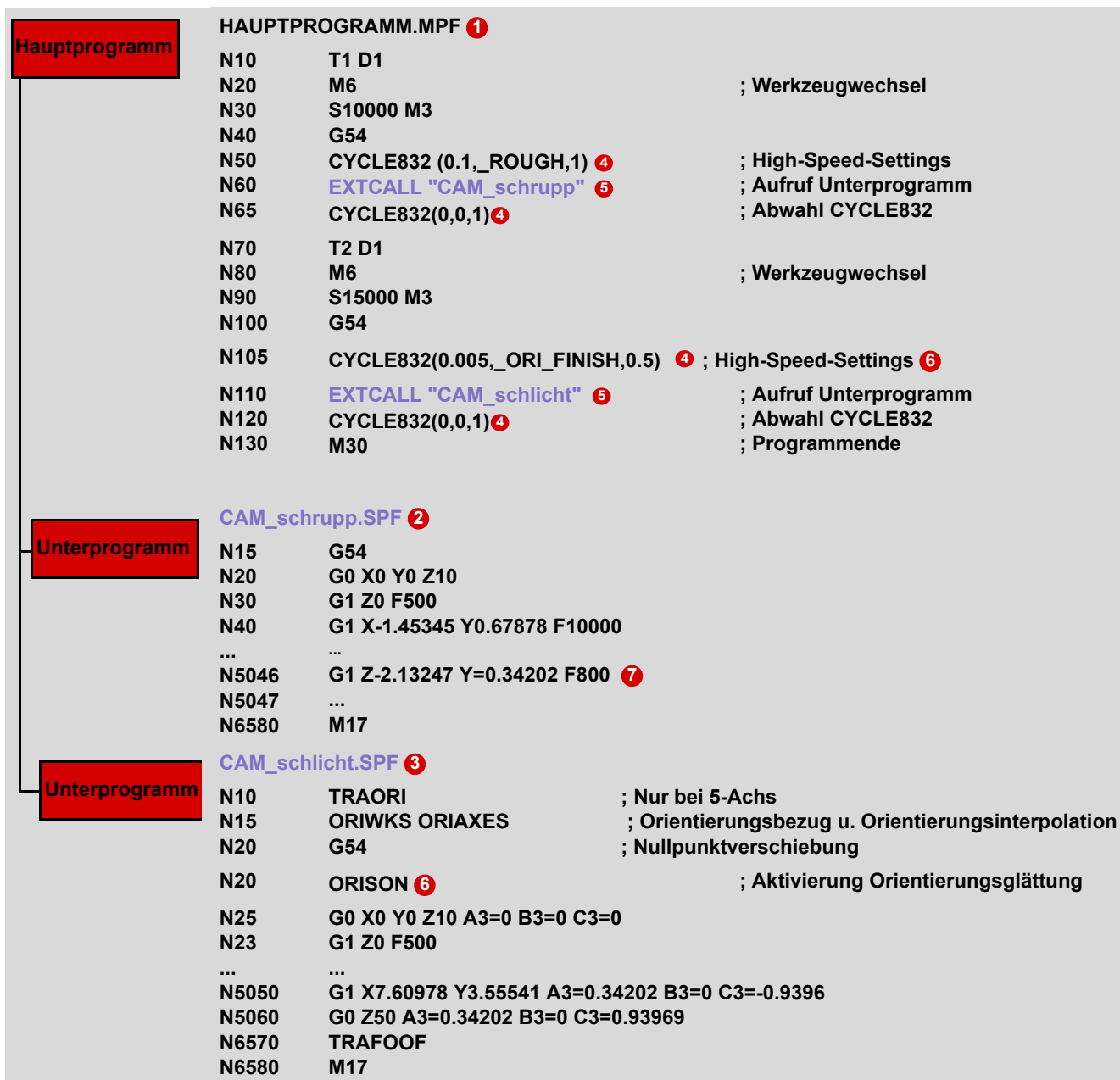
Genauigkeit Bei der Ausgabe der NC-Sätze aus dem CAM kann die Anzahl der Nachkommastellen festgelegt werden. Die notwendige Genauigkeit ist abhängig von der Interpolationsart. Bei Linearachsen (X, Y, Z) sollte diese bei 3-Achs-Programmen mind. 3 Nachkommastellen betragen.

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

2.3 Programmstruktur für die Fräsbearbeitung

Vorschlag für eine sinnvolle Programmstruktur mit CYCLE832 im Hauptprogramm

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.



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

CYCLE832 **4** : Der CYCLE832 wurde speziell für die dargestellte Programmstruktur mit Trennung in Technologie- und Geometriedaten angepasst. Er fasst alle wichtigen Befehle zusammen und aktiviert Steuerungsfunktionen. Im CYCLE832 definiert man die Bearbeitungstechnologie für das Fräsen. Für das Schruppprogramm "CAM_Schrupp" mit T1 wurden im CYCLE832 die Parameter in Richtung hohe Geschwindigkeit gesetzt. Für das Schlichtprogramm "CAM_Schlicht" wurden die Parameter in Richtung hohe Oberflächengüte und Genauigkeit gesetzt. Die Abwahl des CYCLE832 erfolgt nach dem Ende der Geometriesätze. Im Kapitel CYCLE832 erfahren Sie mehr über die einzelnen Parameter (Siehe "High Speed Settings - CYCLE832 Advanced Surface" auf Seite 76.)

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

ORISON/OTOL **6** : Der NC-Befehl ORISON ist eine speziell für den 5-Achsbereich entwickelte Funktion zur Vektorglättung. Mit der Funktion werden Schwankungen der Orientierung über mehrere Sätze hinweg geglättet. Dadurch wird ein glatter Verlauf der Orientierung und ein harmonischeres Verfahren der Achsen erzielt. Dieser Befehl ist ab SW 4.5 Teil des CYCLE832 (_ORI_ROUGH, _ORI_SEMIFIN, _ORI_FINISH). Es empfiehlt sich ORISON bei älteren Softwareständen nach dem CYCLE832 zu programmieren.

Mit dem Befehl OTOL kann die Orientierungstoleranz für die Vektorglättung mit ORISON bestimmt werden. Der Wert wird in Grad eingegeben. Er eingestellte Wert ist bauteilabhängig.

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

Vorschlag für eine sinnvolle Programmstruktur mit CYCLE832 im Unterprogramm

Für die Bearbeitung erstellt man ein Hauptprogramm **1**, das nur als Aufrufprogramm der einzelnen Unterprogramme dient. Das Hauptprogramm ruft ein oder mehrere Unterprogramme **2**, **3** auf, die alle technologischen und geometrischen Daten für die Fertigung des Werkstücks enthalten. Dieser Aufbau der Programmstruktur bietet sich beim Einsatz von CAM-Systemen an, deren Postprozessor die Zyklen von SINUMERIK unterstützen und diese bei der Programmerzeugung schon mit Zyklenaufruf und -abwahl komplett ausgeben. Die Beschreibungen für **4** bis **7** sind identisch (Siehe Seite 22).

Hauptprogramm	HAUPTPROGRAMM.MPF 1		
	N10	CYCLE800(4,"TISCH",200000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,,1)	; Grundstellung schwenken
	N20	CYCLE800()	; Schwenken abwählen
	N30	WORKPIECE(,,,"CYLINDER",0,0,-32,-80,46)	; Rohteil definieren
	N40	EXTCALL "CF_CARD:/PROG/CAM_SCHRUPP.SPF" 5	; Unterprogramm aufrufen
	N50	STOPRE	; Vorlauf stoppen
	N60	EXTCALL "CF_CARD:/PROG/CAM_SCHLICHT.SPF" 5	; Aufruf Unterprogramm
	N65	STOPRE	; Abwahl CYCLE832
	N70	...	; weitere Unterprogramme
	N200	M30	; Programmende
Unterprogramm	CAM_SCHRUPP.SPF 2		
	N10	T1 D1	; Werkzeugaufruf
	N20	M6	; Werkzeugwechsel
	N30	S10000 M3	; Technologische Daten
	N40	G54	; Nullpunktverschiebung
	N50	CYCLE832 (0.1,_ROUGH,1) 4	; CYCLE832 Schruppen
	N60	G0 X0 Y0 Z10	; 3-Achsen
	N70	G1 Z0 F500	
	N80	G1 X-1.45345 Y0.67878 F10000	
	N90	...	
	N6000	CYCLE832(0,0,1)	; Abwahl CYCLE832
N6010	M17	; Unterprogrammende	
Unterprogramm	CAM_SCHLICHT.SPF 3		
	N10	T2 D1	; Werkzeugaufruf
	N20	M6	; Werkzeugwechsel
	N30	S15000 M3	; Technologische Daten
	N40	CYCLE832(0.005,_ORI_FINISH,0.5) 4	; CYCLE832 Schlichten
	N45		; 5-Achsen
	N50	TRAORI	; TRAORI bei 5-Achs ein
	N60	ORIWKS	; Orientierungsbezug
	N70	ORIXES	; Orientierungsinterpolation
	N80	G54	; Nullpunktverschiebung
	N90	ORISON 6	; Aktivierung
	N100	G0 X0 Y0 Z10 A3=0 B3=0 C3=0	; Orientierungsglättung
	N110	G1 Z0 F500	
	N120	G1 X7.60978 Y3.55541 A3=0.34202 B3=0 C3=-0.9396	
	N130	G0 Z50 A3=0.34202 B3=0 C3=0.93969 7	
	N140	...	
	N6000	TRAFOOF	; TRAORI aus
	N6010	CYCLE832(0,0,1)	; Abwahl CYCLE832
N6020	M17	; Unterprogrammende	

2.4 Programmablage/Datenübertragung

2.4.1 Programmmanager

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

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

TIPP

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



Mögliche Ablageorte für Programme sind:

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

2.4.2 Externe Speichermedien - Datenübergabe

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

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

Vorgehensweise beim Aufruf des Geometrieprogramms mit EXTCALL/CALL

- ▶ Programmieren Sie den Geometrieprogrammaufruf z. B. SAMPLE im Hauptprogramm. Abhängig von der Steuerung und des Ablageorts unterscheidet sich der Aufruf.
 - Unterprogramm liegt auf dem HMI-Anwenderspeicher (NC)
CALL "SAMPLE"
 - Unterprogramm liegt im Verzeichnis auf der CompactFlash-Card
EXTCALL "CF_CARD:/PROGRAMS/SAMPLE.SPF"
 - Unterprogramm liegt auf einem lokalem Laufwerk
EXTCALL "LOCAL_DRIVE:/PROGRAMS/SAMPLE.SPF"
 - Unterprogramm liegt auf einem USB-Stick
EXTCALL "USB:/MOLD_DIE/CAM_SCHRUPP.SPF"
 - Mit Ethernet verbundenes Netzwerk und Pfad im Maschinendatum SD 42700 z. B. auf einem Server "//R4711/workpieces/subprograms". Die Voreinstellung ist optional. Die Angabe des Verzeichnisses kann auch erst beim Aufruf mit EXTCALL angegeben werden.
EXTCALL "SAMPLE.SPF"

Abarbeiten von USB-Stick/CF-Card

Der Steckplatz für einen USB-Stick befindet sich bei den Steuerungen auf der Vorder-, und bei der SINUMERIK 828D zusätzlich auf der Rückseite. Der Steckplatz für eine CompactFlash-Card befindet sich bei der SINUMERIK 828D auf der Vorderseite.

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



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

2.5 Nullpunktverschiebungen

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

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

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

Nullpunktverschiebung - Übersicht [mm]							
	X	Y	Z	A	C		
Istwert MKS	0.000	0.000	1000.000	0.000	0.000		
DRF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		Aktiv
Rundtischbezug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Basisbezug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Gesamt Basis NPV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		Übersicht
G54	-85.120	-125.230	96.058	0.000	0.000		
Werkzeugbezug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Werkstückbezug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		Basis
Programmierte NPV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Zyklusbezug	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Gesamt NPV	-85.120	-125.230	96.058	0.000	0.000		G54 ... G519
WKZ: CENTERDRILL 12	0.000	0.000	-120.000	0.000	0.000		
Istwert WKS	85.120	125.230	783.942	0.000	0.000		

2.6 Werkzeugverwaltung

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

Oberhalb der Werkzeugliste werden schematische Darstellungen der Werkzeuge angezeigt. Die Anzeige ist konfigurierbar. Über die erweiterte Softkeyleiste >> > **Einstellungen** können Sie diese an- bzw. abschalten.

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

Platz	Typ	Werkzeugname	ST	D	Länge	Ø	N	🔍	🔄	🗑️	📄
13		DRILL_1001	1	1	100.000	23.000			🔍	🔄	🗑️
14		THREAD CUTTER	1	1	100.000	20.000		1	🔍	🔄	🗑️
15		THREADCUTTER M10	1	1	110.000	10.000	1.500		🔍	🔄	🗑️
16		GESENKFR_KEG	1	1	100.000	6.000		2	🔍	🔄	🗑️
17		3D_TASTER	1	1	100.000	6.000			🔍	🗑️	📄
18		KUGELKOPF_ZYL	2	1	100.000	8.000		2	🔍	🗑️	📄
19		PLANFRAESER	1	1	110.000	60.000		3	🔍	🗑️	📄
20		FRAESER_KEG	1	1	110.000	10.000		2	🔍	🗑️	📄

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

2.7 Messen in JOG und AUTOMATIK

Messen in JOG

Beim **Messen in JOG** (Einrichten) wird die Maschine für die Bearbeitung vorbereitet. Das 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 unbekanntenen Werkstück- oder Werkzeuggeometrien.
- Die Messung erfolgt als interaktive Bedienung im manuellen Betrieb der Maschine.

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

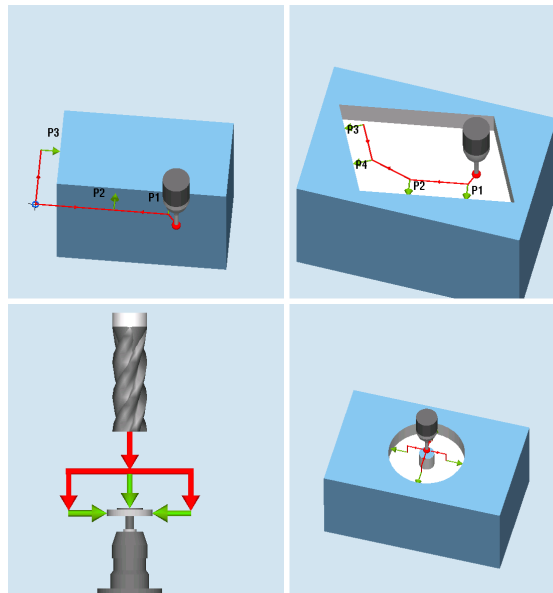
Messen in AUTOMATIK (Prozessmessen)

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

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

Messzyklen/-funktionen für alle Messaufgaben

Beispiele von Messzyklen/-funktionen



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

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

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

2.8 Werkstück messen in JOG

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

2.8.1 Messfunktionen 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 Verfahrtasten oder Handrad (manuell Verfahren).

Die **Messfunktionen** ermöglichen folgende Funktionen:

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

Voraussetzungen für den Einsatz der Messfunktionen

- Messtaster ist kalibriert und aktiv; Werkzeugkorrektur ist aktiviert.

Für das Messen stehen Ihnen praxisgerechte Messfunktionen zur Verfügung

Messfunktionen in JOG

The screenshot shows the Siemens JOG control interface. The main display area shows tool data for '3D_TASTER' with a diameter of $\varnothing 10.030$ and length $L92.015$. Below this, there are fields for 'F' (0.000), 'S1' (0), and 'Master' (0). The right side of the screen features a vertical menu with icons and text labels for various measurement functions. A secondary menu on the far right shows a list of specific measurement tasks, including 'Kante ausrichten', 'Abstand 2 Kanten', 'Rechtwinklige Ecke', 'Beliebige Ecke', 'Rechtecktasche', '1 Bohrung', '2 Bohrungen', '3 Bohrungen', '4 Bohrungen', 'Rechteckzapfen', '1 Kreiszapfen', '2 Kreiszapfen', '3 Kreiszapfen', '4 Kreiszapfen', and 'Ebene ausrichten'.

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

2.8.2 Beispiel eines Messvorgangs

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

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

The screenshot shows the Siemens CNC control interface during a measurement cycle. The main display area is titled 'Messen: Rechtwinklige Ecke'. It shows the current position in millimeters (X: -4.750, Y: 0.000, Z: 82.000) and the tool parameters (T: 3D_TASTER, F: 0.000 mm/min, S1: 0). The 'NPV' (Workpiece Offset) table shows X0: 0.000 and Y0: 0.000. The 'Ecke' (Corner) function is selected, and the 'NPV setzen' (Set NPV) button is highlighted with a red circle 4. The 'Zurück' (Back) button is also visible.

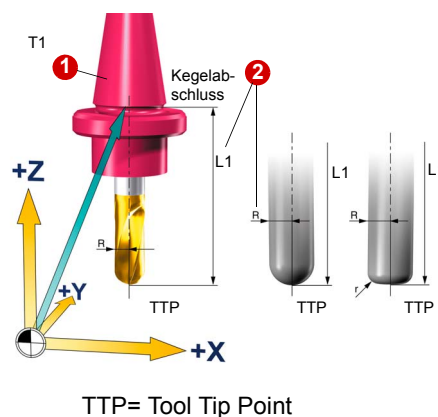
- ▶ Der Eckpunkt entspricht nun der Sollposition. Die berechnete Verschiebung wird in der Nullpunktverschiebung gespeichert.

2.9 Werkzeug messen in JOG

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

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

2.9.1 Werkzeugbezugspunkt



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

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

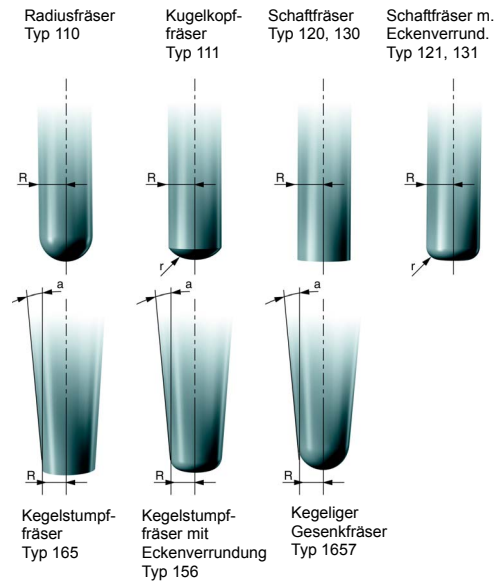
Neues Werkzeug - Favoriten		
Typ	Bezeichner	Werkzeuglage
120	- Schafffräser	
140	- Planfräser	
200	- Spiralbohrer	
220	- Zentrierer	
240	- Gewindebohrer	
710	- 3D-Meßtaster Fräsen	
711	- Kantentaster	
110	- Kugelkopf zylindr.	
111	- Kugelkopf kegelig	
121	- Schafffräser Eckenverr.	
155	- Kegelstumpffräser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

Wie gewohnt wird das Werkzeugmagazin bestückt, die Werkzeugnummern (T1...) bzw. die Klartextnamen (MILLING_12...) der Werkzeuge **1** in die Werkzeugtabelle eingegeben und den Werkzeugen eine Werkzeugkorrektur D **2**, bestehend aus Radius "R" und Länge "L1", zugewiesen.

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

TIPP

Die Lage des Bezugspunkts wird abhängig von der Werkzeugform von CAM-Systemen unterschiedlich festgelegt. In der Regel wird davon ausgegangen, dass sich die ausgegebene Werkzeugbahn auf der Spitze des Fräasers (TTP) bezieht. Gibt das CAM-System eine andere Lage des Bezugspunkts vor, muss diese Differenz bei der Angabe der Werkzeuglänge berücksichtigt werden. Dies können Sie z. B. über den Befehl TOFFL im NC-Programm durchführen.



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

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

Programmierbare Werkzeugkorrektur (TOFFL, TOFFR)

Über die Befehl TOFFL/TOFF bzw. TOFFR können Sie die effektive Werkzeuglänge (TOFFL/TOFF) bzw. den effektiven Radius (TOFFR) im NC-Programm modifizieren, ohne die Werkzeugkorrekturen zu ändern. Weitere Informationen dazu finden Sie in den Programmierhandbüchern.

Werkzeuglängen-Offset:

TOFFL=<Wert>

Werkzeugradius-Offset:

TOFFR=<Wert>

2.9.2 Beispiel Werkzeug messen in JOG

Funktion

Mit "Werkzeug messen" können Sie folgende Funktionen ausführen:

- 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 Messfunktionen

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

Vorgehensweise

- ▶ Wählen Sie in der Betriebsart JOG den Softkey **Messen Werkzeug** ①. In der horizontalen Softkeyleiste wählen Sie, ob Sie automatisch oder manuell messen wollen.
- ▶ Klicken Sie auf den entsprechenden Softkey **Radius Auto** ② oder **Länge Auto** ③ und tragen Sie bei besonderen Werkzeugen, z. B. mit verrundeten Schneiden, den Versatz ein.
- ▶ Ab dem SW 4.5 können Sie gezielt Zähne des Werkzeugs einzeln messen, um z. B. einen Schneidenbruch zu identifizieren. Die Einzelschneidenvermessung kann für das Nachmessen und das erstmalige Vermessen verwendet werden. Es wird geprüft, ob die Messwerte aller Schneiden innerhalb eines definierten Toleranzbereiches liegen.
- ▶ Klicken Sie auf **NC-Start**, der Messvorgang wird gestartet und die Werkzeugkorrekturen für Radius und Länge 1 werden in die aktiven Werkzeugkorrekturdaten eingetragen.

Messfunktion Werkzeug messen in JOG

01.01.94
17:16

SIEMENS

RESET

WKS	Position [mm]	T,F,S
X	0.000	T
Y	0.000	F 0.000
Z	0.000	0.000 mm/min 105%
A	0.000 °	S1 0
C	0.000 °	Master 0

⊞ G54

Abgleich Meßtaster
Abgleich Festpunkt
Zurück
Schwenken

① Werkz. messen

Radius messen

Messen: Durchmesser Auto ②

Abgleichdatensatz 1

Werkzeugdaten	T	D
L 50.000	1001_T	1
ø 3.000	ST 1	
	Zähne einzeln prüfen ④ ja	
	V 0.000	

Länge messen

Messen: Länge Auto ③

Abgleichdatensatz 1

Werkzeugdaten	T	D
L 50.000	1001_T	1
ø 3.000	ST 1	
	Zähne einzeln prüfen ④ ja	
	V 0.000	

2.10 Werkstück messen in AUTOMATIK - Prozessmessen

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

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

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

2.10.1 Messzyklen in AUTOMATIK

Für das Prozessmessen stehen Ihnen praxisingerechte Messzyklen zur Verfügung.

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

Messzyklen in AUTOMATIK

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

Abgleich Messtaster	Länge						
Kante Abstand	Radius in Ring						
Ecke	Radius an Kante						
Bohrung	Abgleich an Kugel						
Zapfen	Abgleich in Nut						
3D							
Messen Drehen							
	<< Zurück	<< Zurück	<< Zurück	<< Zurück	<< Zurück	<< Zurück	<< Zurück
				Werkst messen	Werkz. messen		

2.10.2 Beispiel eines Messvorgangs in AUTOMATIK

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

Voraussetzungen für den Einsatz der Zyklen

- Messtaster ist kalibriert und aktiv; Werkzeugkorrektur ist aktiviert.

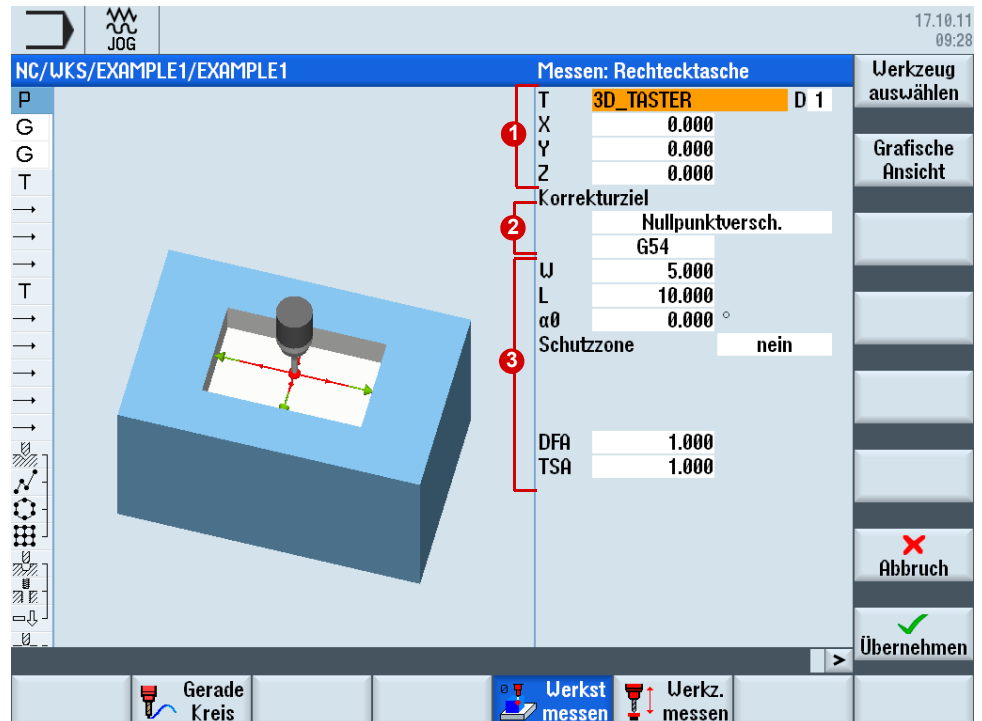
NPV über Rechtecktasche messen ermitteln:

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

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

- ▶ Tragen Sie die Sollwerte der Rechtecktasche ein und parametrieren Sie weitere Zyklusparameter (**3**).

Nach der Messung werden die Messwerte im aktiven Frame der Nullpunktverschiebung korrigiert.



2.11 Werkzeug messen in AUTOMATIK - Prozessmessen

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

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

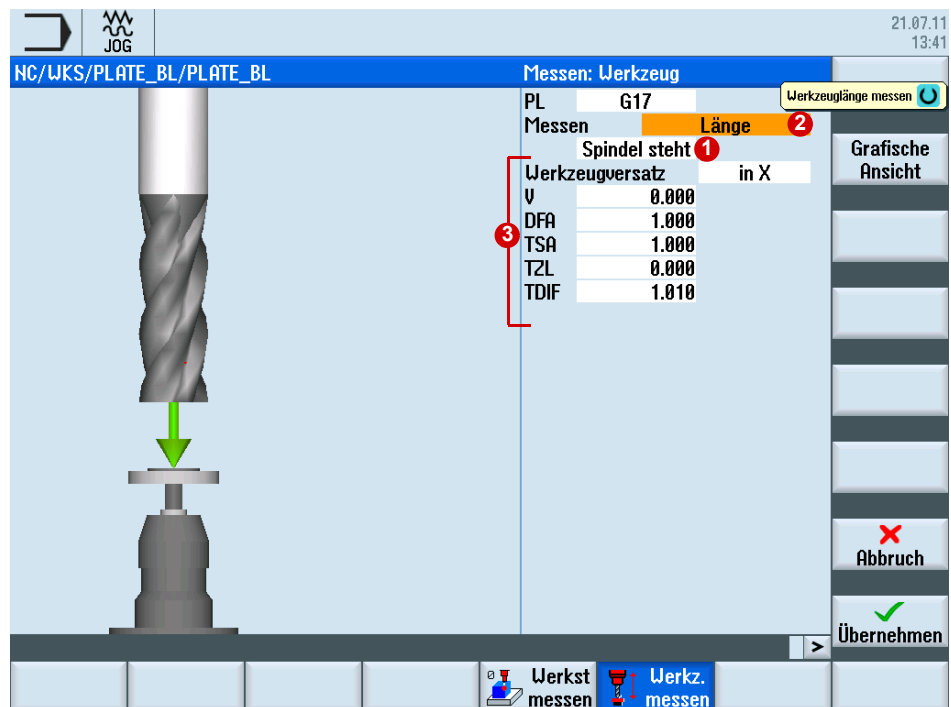
Voraussetzungen

- Messdose ist kalibriert
- Werkzeug ist eingespannt

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

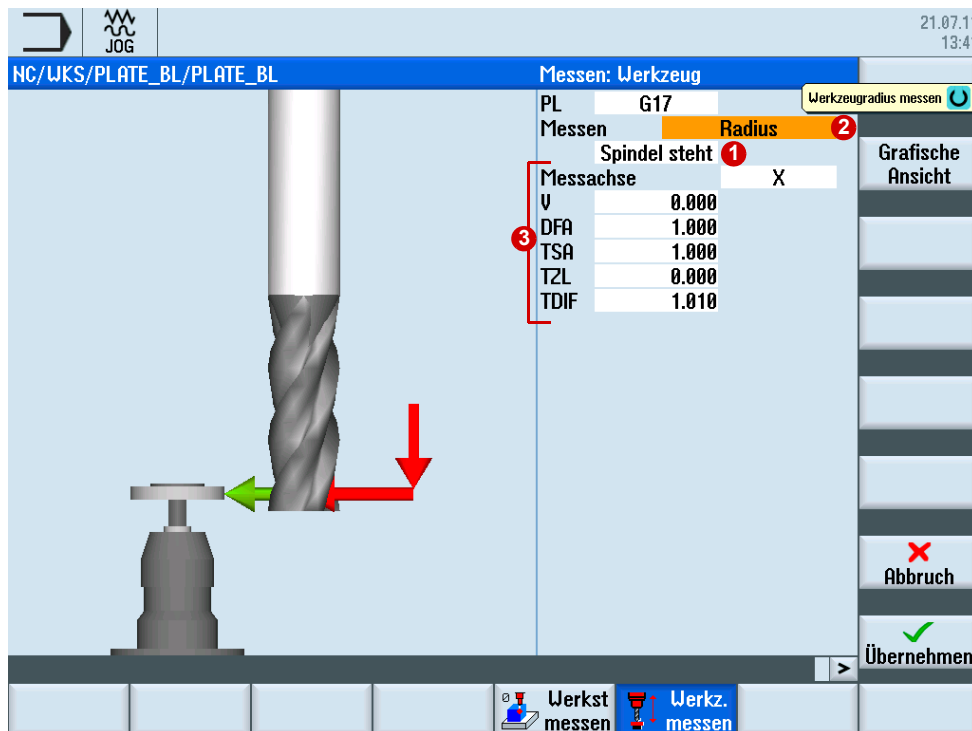
Ermitteln der Werkzeuglänge:

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



Ermitteln des Werkzeugradius:

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

**Einzelschneidenvermessung (ab SW4.5)**

PL	G17
Messen	Länge
Zähne einzeln prüfen	ja 4
Werkzeugversatz	in X
V	0.000
DFA	1.000
TSA	1.000
TZL	0.000
TDIF	1.010

Die Einzelschneidenvermessung (4) kann für das Nachmessen (Korrektur in den Verschleiß) und das erstmalige Vermessen (Korrektur in die Geometrie) verwendet werden. Es können Fräswerkzeuge mit bis zu 100 Schneiden vermessen werden.

Der Zyklus prüft ob die Messwerte aller Schneiden innerhalb eines definierten Toleranzbereiches liegen. Sind die Messwerte außerhalb des Toleranzbereiches, wird ein Alarm ausgegeben.

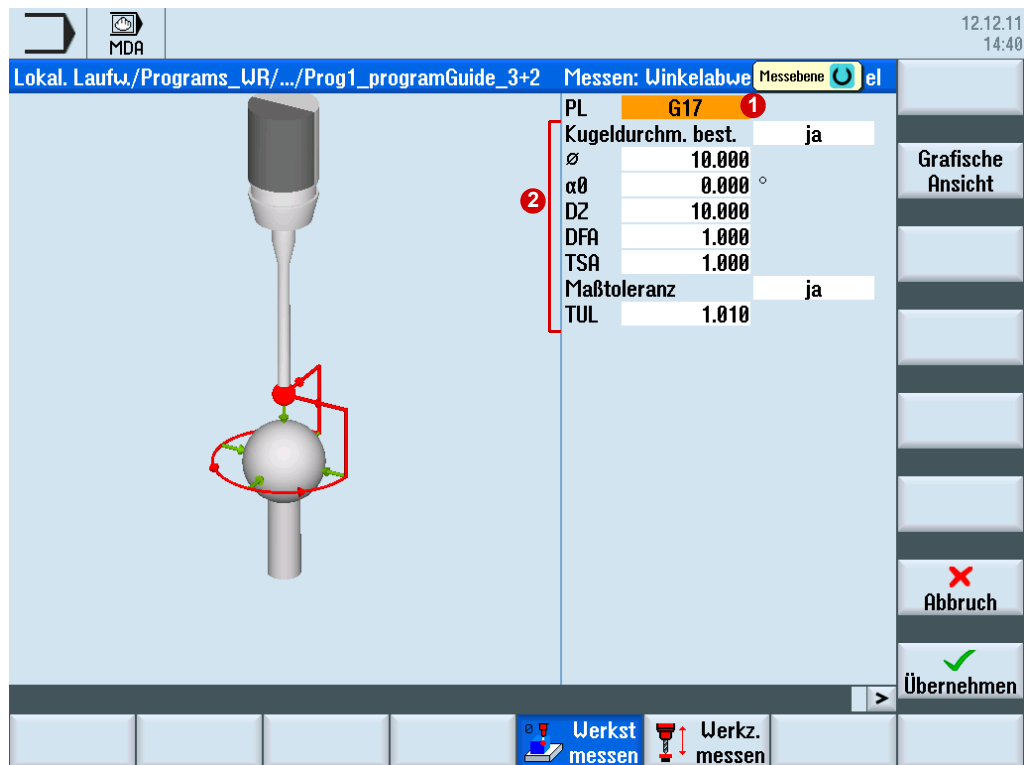
Liegt der Messwert der längsten Schneide innerhalb des Toleranzbereiches, wird dieser in die Werkzeugverwaltung eingetragen.

2.12 3D-Winkelabweichung Spindel CYCLE995

Mit dieser Messvariante wird an einer Kalibrierkugel die Winkligkeit (Parallelität) einer Spindel zur Werkzeugmaschine gemessen. Die Messung erfolgt durch Kombination der Messvarianten **Kugel** CYCLE997 und **Kreissegment außen** CYCLE979.

Anhand der gemessenen Werte wird die Winkelabweichung der Spindel zu den Achsen der Ebene berechnet. Mit den gemessenen Winkelabweichungen kann die Spindel parallel zur Werkzeugachse mechanisch ausgerichtet werden oder die entsprechenden Tabellen zur Durchhangkompensation können aktualisiert werden.

Bei vorhandenen Rundachsen können die ermittelten Winkelangaben zum Ausrichten der Rundachse verwendet werden. Dazu müssen die Ergebnisparameter (`_OVR`) des CYCLE995 verwendet werden.



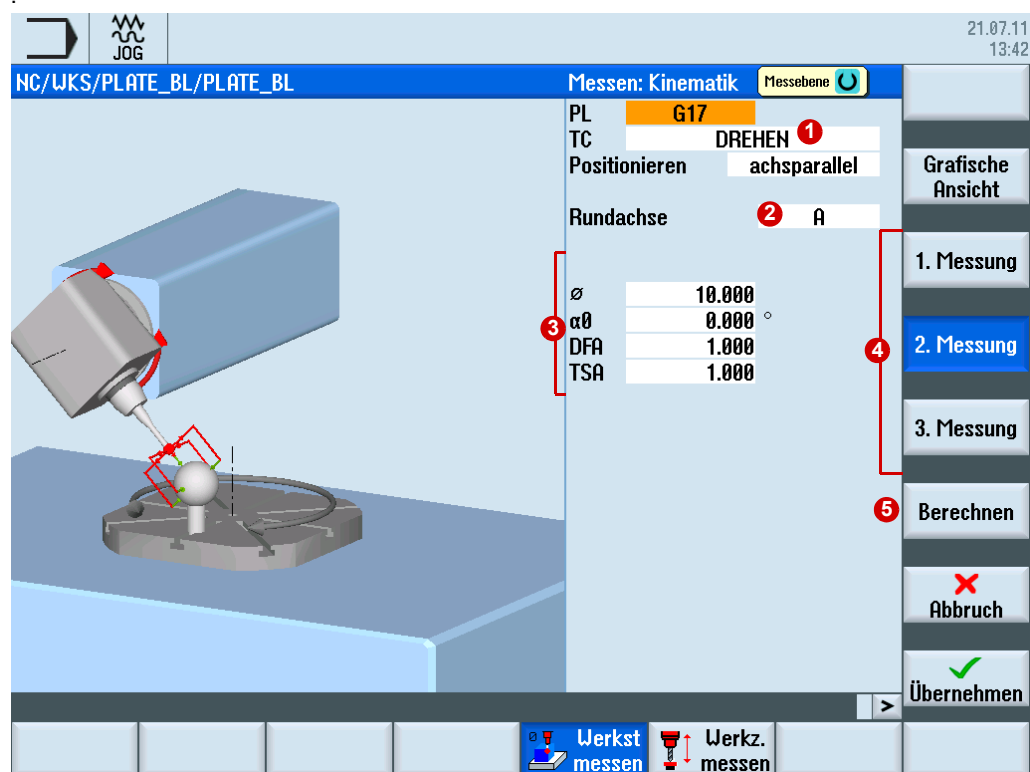
3D-Winkelabweichung prüfen mit CYCLE995

- ▶ Sie wählen die entsprechende Bearbeitungsebene (①) und die Messparameter (②).
- Die 1. Messung der Kalibrierkugel erfolgt mit CYCLE997 und Messwiederholung. Aus 2 Messpunkten am Umfang und einem Messpunkt am "Nordpol" der Kugel (höchster Punkt) wird der Mittelpunkt (Lage der Kugel) bestimmt. Zusätzlich kann der Durchmesser der Kalibrierkugel ermittelt werden.
- Die 2. Messung erfolgt mit CYCLE979 am Schaft des Messtasters im Abstand von DZ. Es wird der Mittelpunkt des Messtaster-Schaftes in der Ebene ermittelt. Die Winkelabweichung in XY wird aus den Ergebnissen der beiden Mittelpunkte in XY und dem Abstand der beiden Messungen in Z (bei G17) berechnet.

2.13 Maschine prüfen/vermessen mit dem Kinematikmesszyklus CYCLE996

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

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

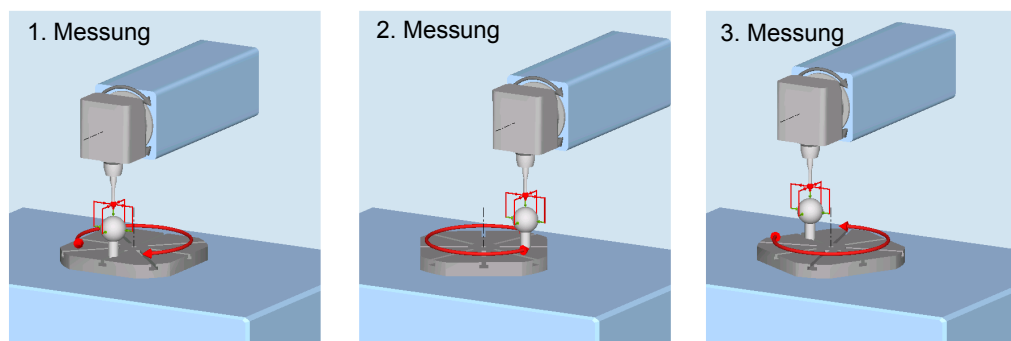


Maschine prüfen mit CYCLE996:

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

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

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



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

2.14 Werkstückvisualisierung

2.14.1 Simulation

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

Simulation öffnen:

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

→ Simulation starten

→ Reset

→ Draufsicht

→ 3D-Ansicht

→ Seitenansichten

→ Zoom, Lupe, Drehen, Schnitt

→ Override, Einzelsatz

→ Werkzeugbahnen anzeigen

Simulation 5-Achs-Simultan

Simulation 3-Achs-Werkstück

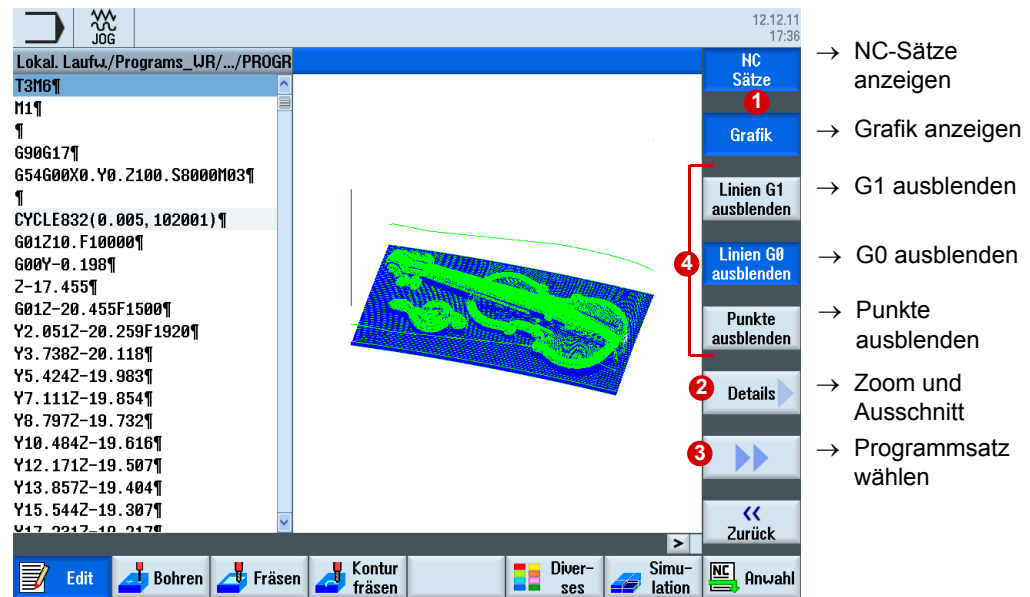
2.14.2 Formenbauschnellansicht - Quick Viewer

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

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

Formenbauansicht öffnen:

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



Zoom und Ausschnitt:

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

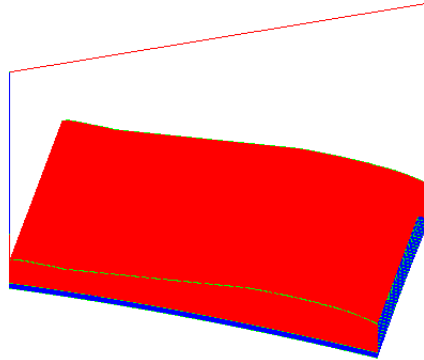
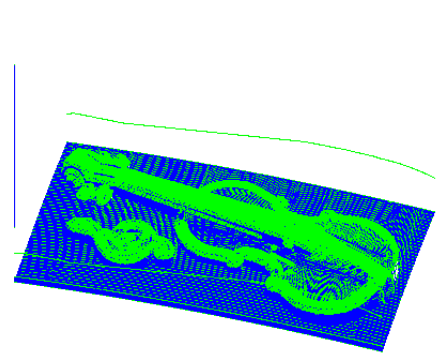
Fehlerhaften NC-Satz anwählen:

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

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

Linien G0, G1 ausblenden:

- Über die Softkeys (**4**) können Sie G0, G1 bzw. Punkte ausblenden, damit die Liniengrafik übersichtlich dargestellt wird. Am Beispiel wurden die Eilgangbewegungen G0 ausgeblendet.

Linien G0 und G1 eingeblendet**Linien G0 ausblenden****2.14.3 Mitzeichnen**

Im Automatik-Betrieb, d. h. während der Abarbeitung des Programms an der Maschine, können die Werkzeugbewegungen in Draufsicht, 3-Seiten-Ansicht und 3D-Ansicht (mit Option 3D-Simulation) mitgezeichnet werden. Diese Option ist insbesondere hilfreich, wenn der Arbeitsbereich der Maschine schlecht einsehbar ist. Beim Mitzeichnen stehen Ihnen ähnliche Funktionen wie bei der Simulation zur Verfügung.

Mitzeichnen aktivieren:

- Drücken Sie vor dem Start des NC-Programms den Softkey **Mitzeichnen** **1**.
- Nach dem Drücken von CYCLE START wird die Abarbeitung des Programms mitgezeichnet. Sie können die Werkzeugbahnen und die Werkstückbearbeitung parallel zur Bearbeitung anzeigen lassen.

25.07.13
11:19

NC/UKS/M102_CYCLE800/EXAMPLE_2_CYCLE800 **SIEMENS**

aktiv

NC/UKS/M102_CYCLE800/PROFIL_2

Draufsicht → Draufsicht

3D-Ansicht → 3D-Ansicht

Weitere Ansichten → Seitenansichten

Details → Zoom, Lupe, Drehen, Schnitt

Werkzeugbahn anzeigen → Werkzeugbahn anzeigen

Zurück

X 90.000 Y 28.453 Z -7.000 A 45.000 T KUGEL_D5 D1
N30 g40 x90 y35 C 0.000 F2500.00/min 100% 00:05:05

Über-speich Prog. Beeinf Satz-suchl. Mit-zeichn. Prog. kor.

2.15 Programme abarbeiten

SINUMERIK Operate bietet bei der Abarbeitung von Formenbauprogrammen Funktionen, die den Arbeitsablauf unterstützen.

The screenshot shows the Siemens SINUMERIK Operate interface. The top bar displays 'MILL_SEMI_FINISH' and 'SIEMENS'. The main area is divided into several sections:

- Position and Restway:** Shows coordinates for X1, Y1, Z1 and their respective restway values.
- Spindle Speed:** Displays 'F 3696.714' and 'S1 5000'.
- G-Funktionen:** A list of G-codes (G1 to G645) with their corresponding values and names.
- Active Functions:** A list of active G-functions (G1 to G10) and their values.
- Basissätze:** A list of basic settings (G17, G40, G54, G645).
- Zeiten / Zähler:** A section for time and counter values.
- Programmebenen:** A section for program levels.
- Istwerte MKS:** A section for actual values.

Arrows on the right side of the screenshot point to these sections with the following labels:

- Aktive G-Funktionen
- M-Funktionen
- Basissätze
- Restlaufzeit
- Programmebenen
- Alle G-Funktionen

Auswahl der verschiedenen Anzeigen während des Abarbeitens:

- Aktiven G- und M-Funktionen von bis zu 16 G-Gruppen.
- Basissätze und Restlaufzeitanzeige des Programms
- Programmebene bei verschachtelten Unterprogrammaufrufen
- Aktuelle Position und Restweganzeige zur Zielposition

Alle relevanten G-Code Funktionen für den Formenbau (Advanced Surface) können über die erweiterte Softkeyleiste mit dem Softkey **Alle G-Funktionen** angezeigt werden. Die G-Funktionen sind farbig markiert z. B. CTOL, OTOL für die Toleranzen.

The screenshot shows the Siemens SINUMERIK Operate interface with the 'G-Funktionen für Formenbau' (G-functions for form building) screen. The screen displays a grid of G-codes and their values:

1: G1	17: NORM1	33: FTCCOF	49: PTPG0	CTOL: 0.035
2:	18: G450	34: OST	50: ORIEULER	OTOL: 0.283
3:	19: BNAT	35: SPOF	51: ORIAxes	STOLF: 1.000
4: FIFCTRL	20: ENAT	36: PDELAYON	52: PAROTOF	
5:	21: SOFT	37: FNORM	53: TOROTOF	
6: G17	22: CUT2DF	38: SPIF1	54: ORIROTA	
7: G40	23: CDOF	39: CPRECOF	55: RTLION	
8: G54	24: FFWON	40: CUTCONOF	56: TOUJST	
9:	25: ORIAJKS	41: LFOF	57: FENDNORM1	
10: G645	26: RMI	42: TCOFR	58: RELIEVEOF	
11:	27: ORIC	43: G140	59: DYNSEMI FIN	
12: G601	28: WALIMON	44: G340	60: WALCS0	
13: G710	29: DIAMOF	45: UPATH	61: ORISOF	
14: G90	30: COMPCAD	46: LFTXT	62:	
15: G94	31: G810	47: G290	63:	
16: CFIN	32: G820	48: G462		

The bottom of the screen shows the current position 'T=8' and spindle speed 'F=2702.797 S1=5000'.



Wichtige Funktionen 3- bis 5-Achs- Bearbeitung

Inhalt	Seite
3.1 Einleitung	46
3.2 Begriffserklärung Schwenken, Frames und TRAORI	47
3.3 Koordinatensysteme transformieren - Frames	48
3.4 Schwenken - CYCLE800	49
3.5 5-Achs-Transformation TRAORI	55
3.6 High Speed Settings - CYCLE832 Advanced Surface	76
3.7 Advanced Surface	81
3.8 Fräserradiuskorrektur	91
3.9 Volumetric Compensation System (VCS)	96
3.10 VNCK - Virtuelle Maschine	97

3

3.1 Einleitung

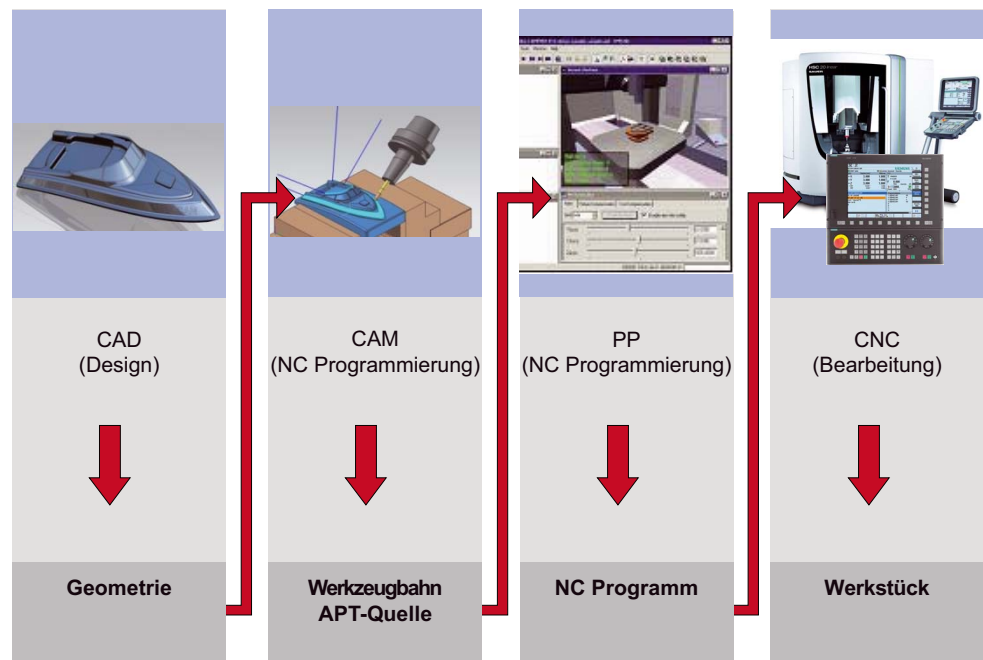
Speziell im Rahmen der Formenbau-Bearbeitung ist die gesamte CAD-CAM-CNC-Verfahrenskette wichtig für optimale Ergebnisse an der Maschine.

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

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

Um die Leistungsfähigkeit von SINUMERIK-Steuerungen in optimaler Weise zu nutzen, muss der vorgeschaltete Postprozessor die programmierbaren Funktionen der SINUMERIK Steuerung unterstützen.

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.



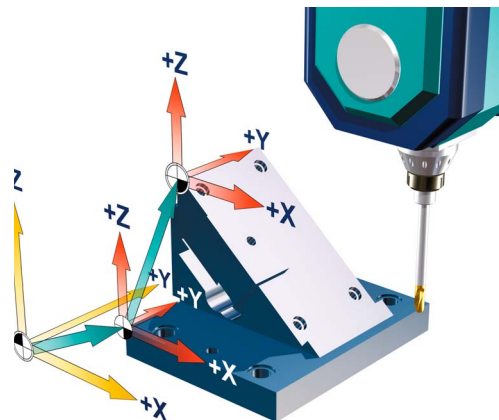
3.2 Begriffserklärung Schwenken, Frames und TRAORI

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

Im Gegensatz zum Schwenken, ist TRAORI ein dynamisches Verfahren. Die Rund- und Linearachsen können simultan während der Bearbeitung verfahren. Die Orientierung des Werkzeugs im Raum kann kontinuierlich verändert werden. Alle Achsen (Rund- und Linearachsen) werden gleichzeitig interpoliert.

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

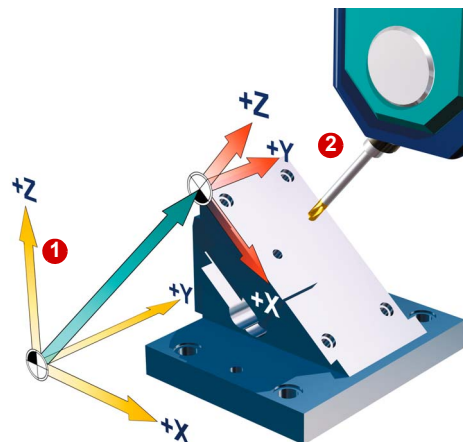
Frames



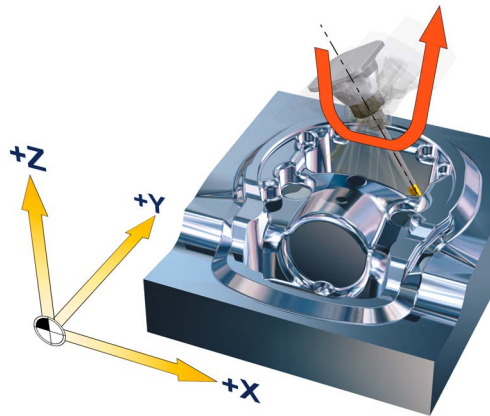
Der Frame ist eine in sich geschlossene Rechenvorschrift, die ein kartesisches Koordinatensystem in ein anderes kartesisches Koordinatensystem überführt.

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

Schwenken



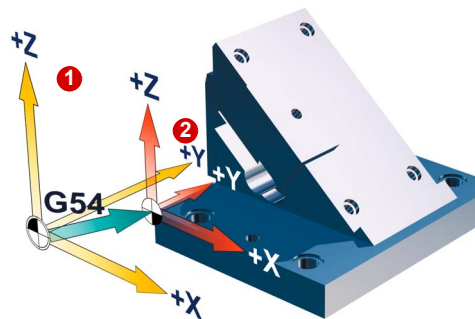
Das Werkzeug wird durch Bewegen der Rundachsen zur Bearbeitungsfläche ausgerichtet. Im Beispiel erfolgt eine Drehung der Rundachse B ① und das Werkzeug wird angestellt zur XY-Ebene ②. Die Bearbeitung erfolgt dann in dieser Ebene.

TRAORI

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

3.3 Koordinatensysteme transformieren - Frames

Koordinatensysteme



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

Mittels Frames lassen sich die Koordinatensysteme so verschieben, drehen, spiegeln und skalieren, dass diese zu einer beliebigen Werkstückfläche ausgerichtet werden können. 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.

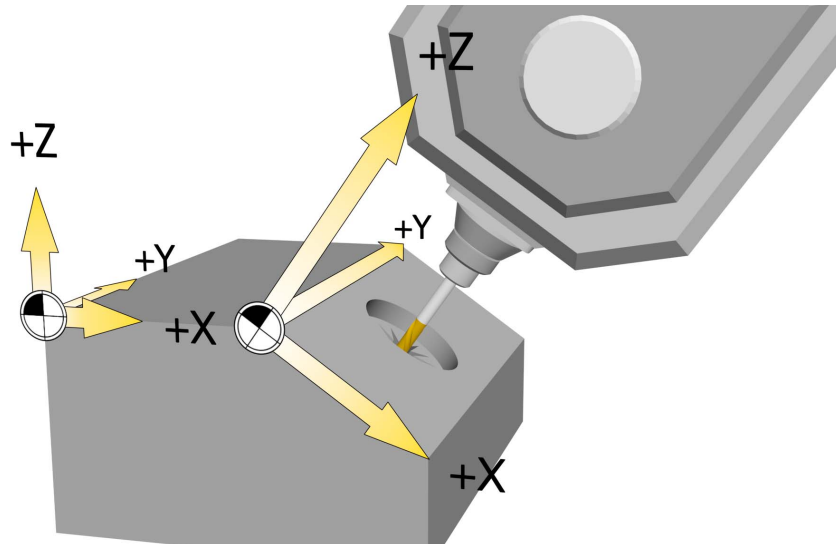
Mögliche Frames sind

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

Frames ermöglichen es, auf Flächen zu arbeiten, die beliebig im Raum verschoben und verdreht sind. Alle nachfolgenden Verfahrkommandos beziehen sich jetzt auf das neue, mit Frames verschobene Werkstückkoordinatensystem.

3.4 Schwenken - CYCLE800

Funktion

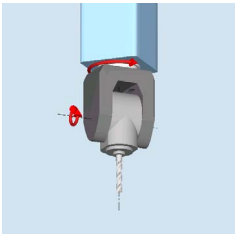
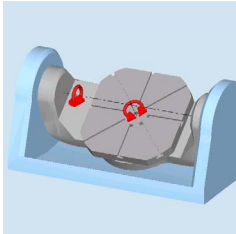
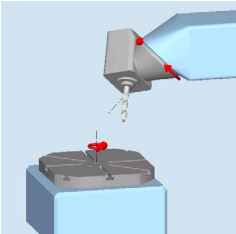


Mit Hilfe von Schwenkköpfen oder Schwenktischen können Sie schräge Ebenen bearbeiten und einrichten. Das Schwenken ist sowohl in der Betriebsart JOG wie auch in AUTOMATIK möglich. Bei der Parametrierung bzw. Programmierung des Schwenkens werden Sie durch die übersichtliche grafische Darstellung unterstützt.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

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

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

Maschinenkinematiken

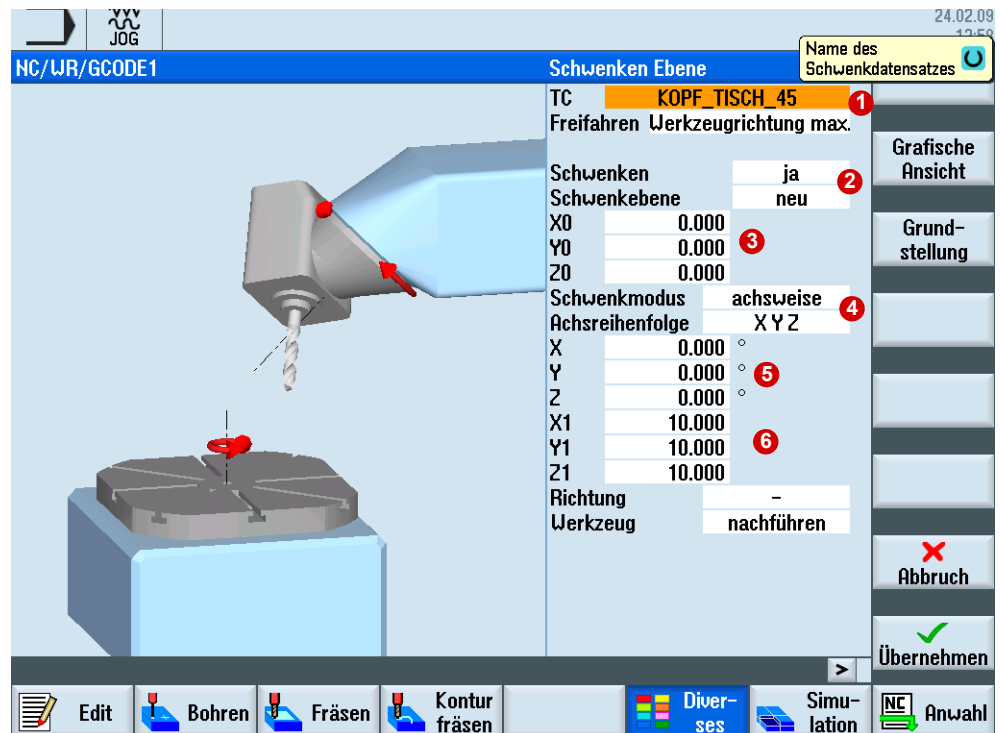
Schwenkkopf (Typ T)	Schwenktisch (Typ P)	Schwenkkopf + Schwenktisch (Typ M)
Schwenkbarer Werkzeugträger	Schwenkbarer Werkstückträger	Gemischte Kinematik
		

Vorgehensweise bei der Programmierung des Schwenkens und nachfolgender Bearbeitung:

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

Grundsätzliche Vorgehensweise beim Einsatz des Schwenkzyklus

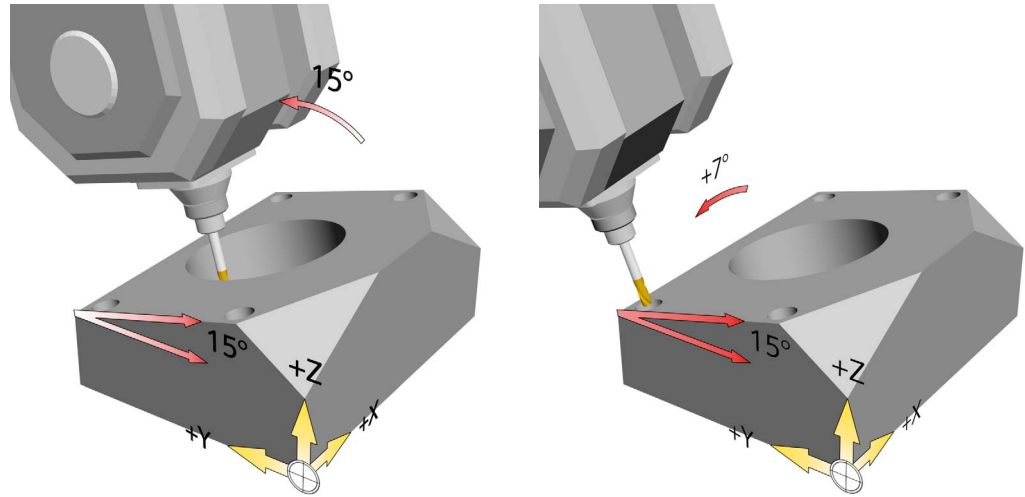
- ▶ Rufen Sie die Funktion **Schwenken** im Programm auf.
- ▶ Wählen Sie den Namen des Schwenkdatensatzes **1**.
- ▶ Wählen Sie für Schwenken ja, wenn Sie eine Schwenkbewegung machen wollen. Wählen Sie als Schwenkbewegung neu, wenn Sie eine neue Schwenkbewegung machen wollen, oder additiv, wenn Sie auf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



Beispielprogramm Schwenken in programGUIDE

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

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



```

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

NC/LKS/CYCLE800/BEISPIEL_1		Schwenken Ebene	
PL	G17 (XY)		
TC	TISCH		
Freifahren Werkzeugrichtung max.			
Schwenken	<input checked="" type="checkbox"/>	ja	
Schwenkebene	<input type="checkbox"/>	neu	
X0	0.000		
Y0	0.000		
Z0	50.000		
Schwenkmodus	achsweise		
Achsreihenfolge	X Y Z		
X	-15.000 °		
Y	0.000 °		
Z	0.000 °		
X1	0.000		
Y1	0.000		
Z1	0.000		
Richtung	<input checked="" type="checkbox"/>	+	
Werkzeug	<input type="checkbox"/>	nicht nachführen	

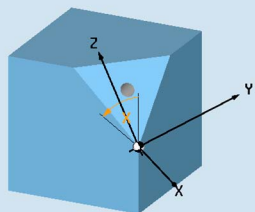
```

N230 ;Planfräsen Werkstück in Ebene_1
    
```

```

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

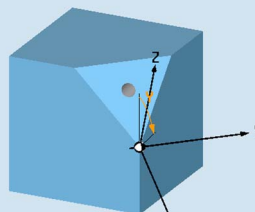
NC/LKS/CYCLE800/BEISPIEL_1		Schwenken Ebene	
PL	G17 (XY)		
TC	TISCH		
Freifahren Werkzeugrichtung max.			
Schwenken	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/>	nein
Schwenkebene	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/>	neu
X0	0.000		
Y0	0.000		
Z0	50.000		
Schwenkmodus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



```

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

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



```

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

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

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

N465 ; Schwenken Ebene_1 additiv Y=+7 Grad

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

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

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

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

N500 G0 X0 Y0 M8

N510 X0 Y60

N520 MCALL

N530 T13 D1; T="BOHRER_D8.5"

N540 M6

N550 S4000 M3 F500 D1

N560 G54 G0 X0 Y0 M8

N570 ; Tieflochbohren D8.5 Y=+7 Grad

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

N590 G0 X0 Y0

N600 X0 Y60

N610 MCALL

N615 ; Schwenken Ebene_1 mit neuem Mittelpunkt X1, Y1 berechnen X=-15 Grad

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

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

N625 ; Schwenken Ebene_1 additiv Y=-7 Grad

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

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

N640 ; Tieflochbohren D8.5 mit -7 Grad

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

N660 G0 X0 Y0

N670 X0 Y60

N680 MCALL

N690 , Schwenken der Ebene in die Grundstellung

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

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

N710 ; Abwahl CYCLE800

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

N730 M30; Programmende

3.5 5-Achs-Transformation TRAORI

Mit Hilfe des CYCLE800 ist es möglich, schräge Ebenen zu bearbeiten. Dabei wird das Werkzeug gegenüber dem Werkstück schräg angestellt, so dass eine schräge Arbeitsfläche bearbeitet werden kann. Die Anstellung erfolgt zu Beginn der Bearbeitung und wird während der Bearbeitung der schrägen Ebene nicht mehr verändert. In vielen Fällen genügt diese statische Schräganstellung nicht. Man benötigt eine sich kontinuierlich ändernde Werkzeugorientierung relativ zum Werkstück. Um dies auf übersichtliche und benutzerfreundliche Art zu ermöglichen, wurde die 5-Achstransformation, die durch den Befehl TRAORI aktiviert wird, eingeführt.

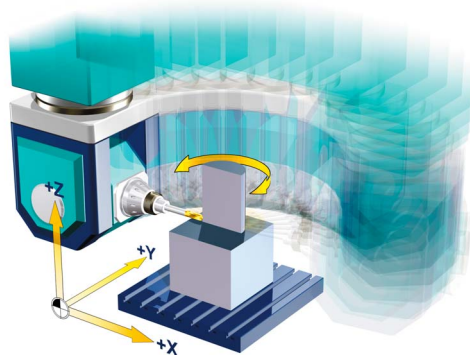
3.5.1 Grundlagen der simultanen 5-Achs-Bearbeitung

In Kapitel 1.5 wurden die verschiedenen Kinematiken von 5-Achsmaschinen vorgestellt. Man unterscheidet im Wesentlichen drei unterschiedliche Grundtypen.

- Maschinen mit drehbarem Werkzeug, bei denen das Werkzeug mittels zweier Rundachsen geschwenkt wird.
- Maschinen mit drehbarem Werkstück, bei denen das Werkstück geschwenkt wird, während die Orientierung des Werkzeugs raumfest bleibt.
- Maschinen des "gemischten" Typs, bei denen eine Rundachse das Werkzeug dreht und die zweite Rundachse das Werkstück schwenkt.

Maschinenkinematik und Maschinenbewegung

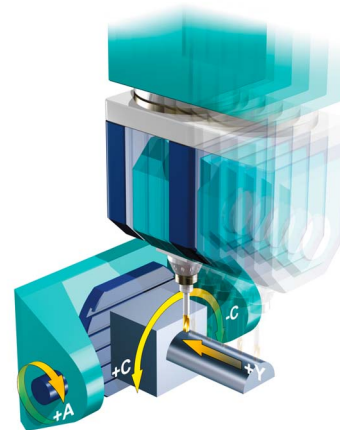
Bewegungsablauf Kopf/Kopf Kinematik



Für einen Umlauf muss in der X/Y-Ebene ein Halbkreis beschrieben werden. Gleichzeitig muss das Werkzeug um 180° um Z gedreht werden, wenn das Werkzeug immer senkrecht auf der Fläche stehen soll. Für die Bearbeitung eines Umlaufs müssen sich also 3 Achsen, nämlich X, Y und C bewegen.

Aus dem Beispiel wird klar ersichtlich, dass völlig unterschiedliche Maschinenbewegungen zum selben Bearbeitungsergebnis führen. Beobachten wir die Bewegungen genauer, so stellen wir fest, dass in beiden Fällen sowohl die Bewegung der Werkzeugspitze auf dem Werkstück als auch die Werkzeugorientierung relativ zur Oberfläche identisch sind.

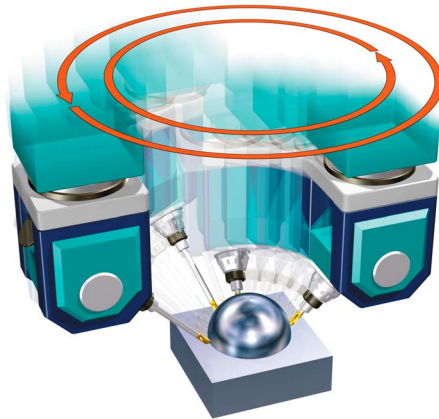
Bewegungsablauf Tisch/Tisch Kinematik



Zu Beginn muss die A-Achse um 90° gedreht werden. Dadurch steht das Werkzeug dann senkrecht auf der Oberfläche. Für einen Umlauf schwenkt die C-Achse jeweils von $+90^\circ$ auf -90° . Während eines Umlaufs (ein Halbkreis) bewegt sich also lediglich die C-Achse.

Auswirkung der Werkzeuglänge auf die Maschinenbewegung

Zur Untersuchung des Einflusses der Werkzeuglänge auf die erforderliche Maschinenbewegung, betrachten wir ein weiteres Beispiel. Dabei soll mit schräg stehendem Werkzeug der Grundkreis der in der Grafik dargestellten Halbkugel bearbeitet werden.



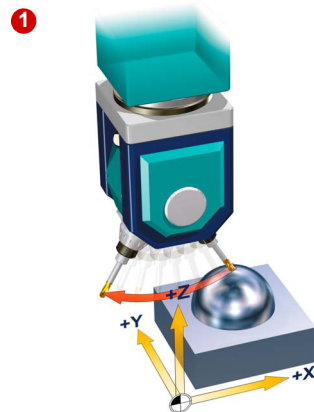
Anhand der Grafik kann man erkennen, dass auch unterschiedliche Werkzeuglängen zu unterschiedlichen Maschinenbewegungen führen. Zur Bearbeitung des Kreises am unteren Ende der Halbkugel muss zum einen ein Kreis in der X-Y-Ebene verfahren werden, zum anderen muss die C-Achse während der Kreisbewegung um 360° gedreht werden. Während der Kreis für die Werkzeugspitze unabhängig von der Werkzeuglänge natürlich immer gleich groß bleibt, wächst der Kreis, den die Maschinenachsen beschreiben mit der Werkzeuglänge. Dies wird durch die beiden roten Kreise, die bei zwei unterschiedlichen Werkzeuglängen entstehen, dargestellt.

Es ist offensichtlich, dass bei der Programmierung von Maschinenachsenpositionen, für jede Werkzeuglänge ein anderes Programm erstellt werden muss, während die Bewegung der Werkzeugspitze immer gleich bleibt.

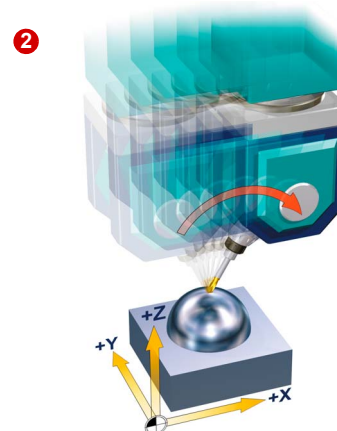
Rundachsbewegung und Werkzeugorientierung

Die Rundachsen in 5-Achsmaschinen dienen dazu, unterschiedliche Orientierungen des Werkzeugs relativ zum Werkstück zu ermöglichen. Die Bewegung einer Rundachse ändert normalerweise allerdings nicht nur die Werkzeugorientierung sondern auch die Position der Werkzeugspitze in Relation zur Werkstückoberfläche, wenn dies nicht durch einen geeigneten Mechanismus verhindert wird.

Werkzeugspitze bewegt sich



Werkzeugspitze raumfest

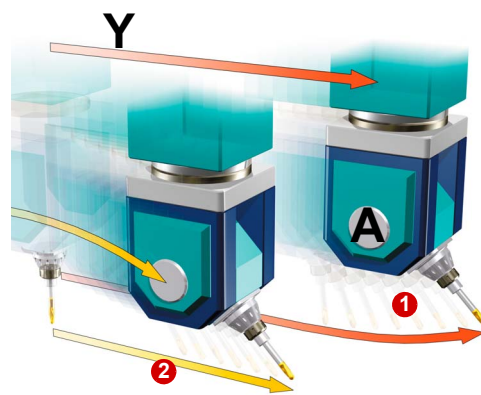


Das Beispiel ① zeigt, dass die Bewegung der A-Achse nicht nur die Werkzeugorientierung gegenüber dem Werkstück ändert. Gleichzeitig bewegt sich auch die Werkzeugspitze im Raum, in unserem Beispiel beschreibt sie eine Kreisbahn in der Z-X-Ebene. Dies ist ein Nebeneffekt, der nicht erwünscht ist.

Im Allgemeinen wird das in ② dargestellte Verhalten gewünscht, bei dem Ausgleichsbewegungen der Linearachsen dafür sorgen, dass bei Rundachsbewegungen die Werkzeugspitze raumfest bleibt.

Gleichzeitige Bewegung Linear-/Rundachsen

Dieser Effekt zeigt sich auch, wenn wir eine gleichzeitige Bewegung von Linear- und Rundachsen vorliegen haben.

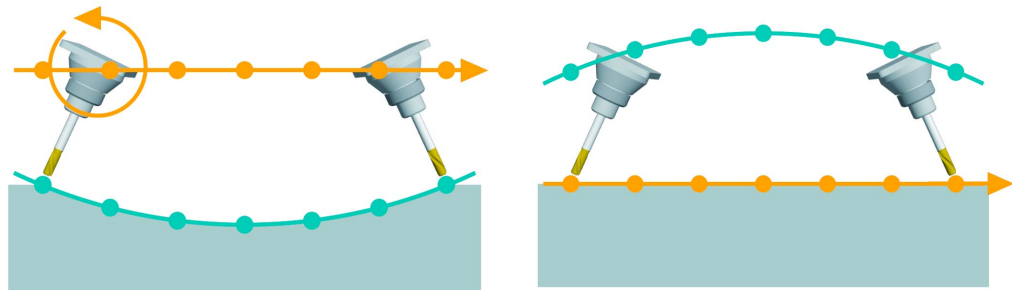


Die Grafik zeigt die gleichzeitige Bewegung der A-Achse und der Y-Achse. In der Situation ① bewegen sich beide Achse synchron, sie werden linear miteinander interpoliert. Es ist eine geradlinige Bahn der Maschinenachsen Y und A programmiert. Ein solcher Verfahrbefehl **G1 Y... A...** erzeugt die rote, gekrümmte Bahn für die Werkzeugspitze.

In aller Regel wünscht man sich aber das Verhalten, das in Situation ② skizziert ist. Man will bei G1-Programmierung eine Gerade bezüglich der Werkzeugspitze, auch wenn sich simultan die A-Achse mitbewegt. In diesem Fall folgt die Maschinenachsbewegung der gekrümmten Bahn. Es bewegt sich zusätzlich die Z-Achse, um die Werkzeugspitze auf einer Geraden zu halten

Sehnenfehler

Die folgende Grafik illustriert den sogenannten Sehnenfehler, der entsteht, wenn Bewegungen, die eigentlich bezüglich der Werkzeugspitze definiert sein sollten, für die Maschinenachsen programmiert werden.



Die Grafik links zeigt wieder das Ergebnis gleichzeitiger Änderung der Werkzeugorientierung durch Bewegung der A-Achse und der Y-Achse durch lineare Interpolation beider Achsen. Die orange Linie ist die programmierte Gerade in Y-Richtung. Bewegt man zusätzlich die A-Achse, so entsteht die grüne Linie für die Bewegung der Werkzeugspitze. Will man also eine bestimmte Bahn für die Werkzeugspitze, im Beispiel auf der rechten Seite, einhalten, so ist es erforderlich, dass Positionsänderungen der Werkzeugspitze, die sich aus Rundachsbewegungen ergeben, kompensiert werden.

Zusammenfassung simultane 5-Achs-Bearbeitung

Die Simultan-5-Achsbearbeitung ermöglicht die Anpassung der Werkzeugorientierung synchron zur Linearbewegung im Raum. Ohne die zusätzliche Steuerungsfunktionalität der 5-Achs-transformation ergeben sich daraus einige unerwünschte Nebeneffekte:

- NC-Programme für identische Werkstücke müssen für jeden Maschinentyp neu erstellt werden.
- Bei Änderungen der Werkzeuglänge muss das NC-Programm angepasst werden.
- Bei Programmierung der Maschinenachsen kommt es zu überlagerten Bewegungen von Rund- und Linearachsen, die für die Bahn der Werkzeugspitze zu einem Linearisierungsfehler, dem Sehnenfehler führen.
- Werkzeugorientierungen werden über die Positionen der Schwenkachsen programmiert und verändert. Eine Orientierungsprogrammierung und -interpolation in Werkstückkoordinaten ist ohne geeignete Steuerungsfunktionalität nicht möglich.
- Technologisch gesehen sollten sich Vorschübe immer auf die Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug beziehen, ohne 5-Achstransformation ist dies nicht der Fall. Die programmierten Vorschübe beziehen sich auf die Geschwindigkeit der Maschinenachsbewegungen.

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.

3.5.2 Der TRAORI-Befehl

Der Befehl TRAORI aktiviert die 5-Achstransformation. Diese ermöglicht die simultane 5-Achs-Bearbeitung, ohne die im vorherigen Kapitel aufgeführten Nachteile. Bei Programmierung von TRAORI ändern sich die Bezugsgrößen im NC-Programm. Die Koordinaten der Linearachsen X, Y, Z beziehen sich jetzt auf die Position der Werkzeugspitze.

Werden zusätzlich zu den Linearpositionen noch Orientierungsänderungen programmiert, so werden die Auswirkungen der Rundachsbewegungen auf die Position der Werkzeugspitze durch Ausgleichsbewegungen der Linearachsen kompensiert.

Zusätzlich zur expliziten Programmierung von Schwenkachspalten, ermöglicht TRAORI die Verwendung werkstückbezogener Orientierungsinformation, die es erlaubt auch die Orientierung kinematikunabhängig zu programmieren und interpolieren.

Bei Verwendung von Werkzeugen mit anderer Länge werden die neuen Werkzeugdaten automatisch aus der Werkzeugtabelle übernommen, verrechnet und der programmierte Vorschub bezieht sich immer auf die Bewegung der Werkzeugspitze relativ zum Werkstück.

Programmierung

TRAORI(n) ; Transformation ein
TRAFOOF ; Transformation aus

Erläuterung der Befehle

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

TIPP

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

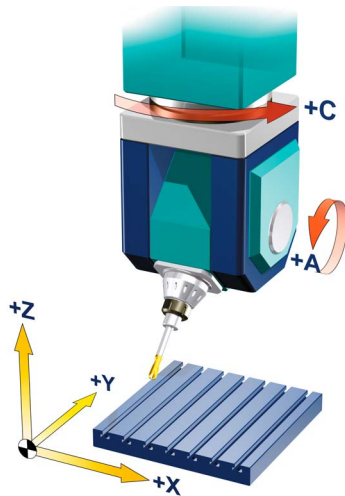
3.5.3 Programmierung der Werkzeugorientierung

Bei aktiver 5-Achstransformation muss zusätzlich zur Position der Werkzeugspitze auch die Orientierung des Werkzeugs relativ zum Werkstück programmiert werden. Dazu werden mehrere Möglichkeiten angeboten.

Rundachspositionen (A=<Wert> B=<Wert> C=<Wert>)

Im einfachsten Falle kann man, wie traditionell üblich, direkt die Positionen der Schwenkachsen programmieren. Dadurch werden immer implizit Werkzeugorientierungen festgelegt, die allerdings direkt von der Maschinenkinematik abhängig sind.

Programmierung Rundachsen



Durch Festlegung der Rundachspositionen für die C- und die A-Achse wird eindeutig eine Werkzeugorientierung im Raum definiert.

Diese hängt allerdings von der Achsanordnung, dem Kinematiktyp, ab.

Das NC-Programm würde folgendermaßen aussehen:

N020 TRAORI

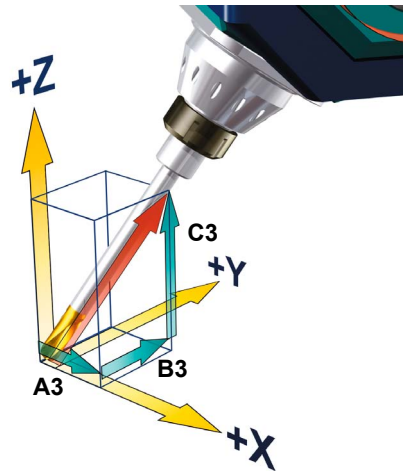
...

N140 G1 A-45 C0

In der Beispielgrafik ist ein sehr geläufiger Maschinentyp abgebildet. Es existieren jedoch andere Grundkinematiken mit C und A-Achse als Tischachsen oder in gemischter Anordnung und in jeder dieser Maschinentypen sind mit einem gegebenen Paar von C- und A-Achspositionen unterschiedliche Werkzeugorientierungen verbunden. Das heißt, man steht bezüglich der Werkzeugorientierung vor dem gleichen Problem wie bei den Linearbewegungen. Dort bestand die Lösung darin, dass TRAORI es ermöglicht, die Position der Werkzeugspitze, die unabhängig von der Maschinenkinematik ist, zu programmieren. In analoger Weise wurden kinematikunabhängige Möglichkeiten zur Programmierung der Werkzeugorientierung eingeführt.

Richtungsvektor (A3=<Wert> B3=<Wert> C3=<Wert>)

Bei der Programmierung von Richtungsvektoren werden die Komponenten eines Vektors im Raum programmiert. Dabei ist mit A3 die X-Komponente, mit B3 die Y-Komponente und mit C3 die Z-Komponente verbunden, die Länge des Vektors spielt keine Rolle. Beispielsweise wird durch A3=1 B3=1 C3=1 ein Vektor mit den Komponenten (1,1,1) definiert, der in Richtung der Raumdiagonalen des Koordinatensystems zeigt.

**Programmierung
Richtungsvektor**

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

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

...

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

Die Vektoren entsprechen eineindeutig den I, J, K, -Vektoren, die in CAM-Systemen verwendet werden. Da aber in der CNC-Norm I, J, K den Kreisparametern vorbehalten sind, werden in der Sinumerik die Adressen A3, B3 und C3 für Vektorkomponenten verwendet.

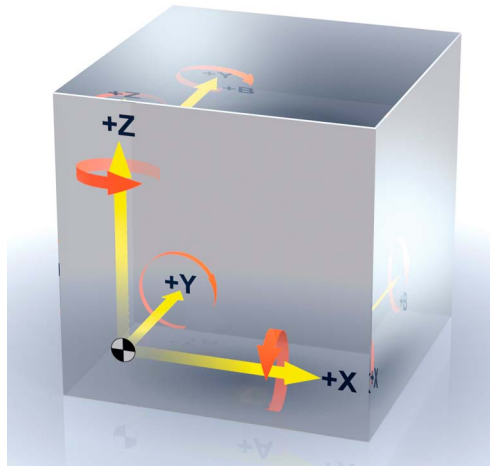
TIPP

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.

Verwendung von Euler- oder RPY-Winkeln (A2=<Wert> B2=<Wert> C2=<Wert>)

Statt der direkten Vektorprogrammierung können auch abstrakte Drehwinkel zur Orientierungsbeschreibung verwendet werden. Normalerweise werden Eulerwinkel oder RPY-Winkel (Roll, pitch, yaw bzw. Rollen, Nicken, Gieren) dazu verwendet, Koordinatensysteme um die Koordinatenachsen zu drehen.

Euler und RPY

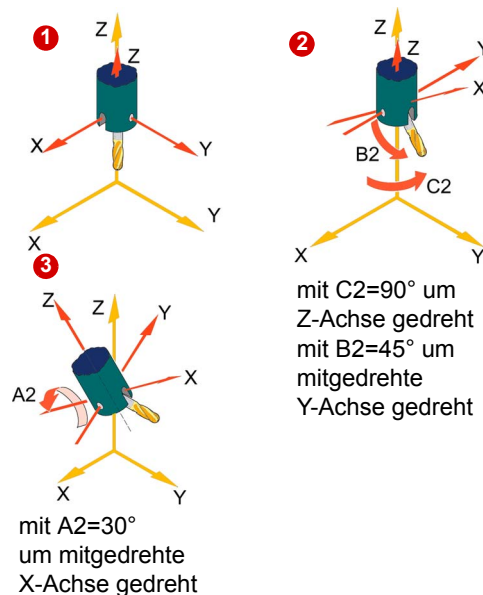


Bei Eulerwinkeln wird dabei zuerst um die Z-Achse, dann um die gedrehte X-Achse und zum Schluss um die resultierende Z-Achse gedreht. Bei RPY-Winkeln gibt es unterschiedliche Definitionen.

In der Sinumerik wird die folgende verwendet: Die erste Drehung erfolgt um die Z-Achse, die zweite um die gedrehte Y-Achse und die dritte um die gedrehte X-Achse.

Sie können aber auch in entsprechender Weise zur Definition eines Vektors verwendet werden. Dabei geht man von einem Vektor in Z-Richtung des Koordinatensystems aus, der mittels Euler- oder RPY-Winkel gedreht wird. Der dabei entstandene Vektor ist der neue Werkzeugvektor. Die Drehwinkel werden über die NC-Adressen A2, B2, C2 programmiert. Die Bedeutung der Winkel, d.h. ob damit Eulerwinkel oder RPY-Winkel gemeint sind, wird über die G-Codes ORIEULER und ORIRPY festgelegt. Im Einzelnen ergeben sich die folgenden Definitionen.

Programmierung RPY-Winkel



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

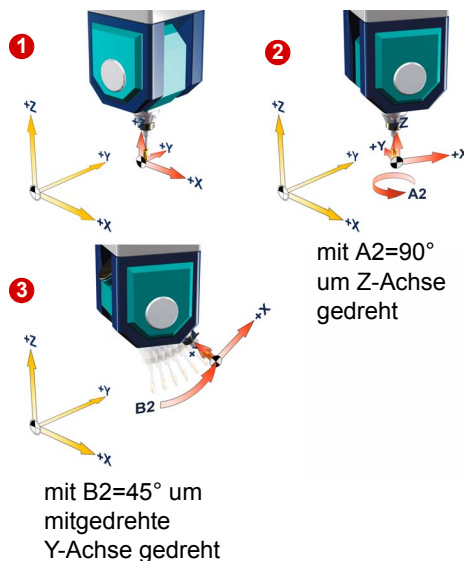
Von der Grundstellung 1 ausgehend:

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

Beispiel:

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

Programmierung Eulerwinkel



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

Von der Grundstellung 1 ausgehend: Der Orientierungsvektor ergibt sich, indem ein Vektor in Z-Richtung zunächst mit A2 um die Z-Achse 2, dann mit B2 um die neue X-Achse 3 und zuletzt mit C2 um die neue Z-Achse gedreht wird (Z, X', Z'').

Beispiel:

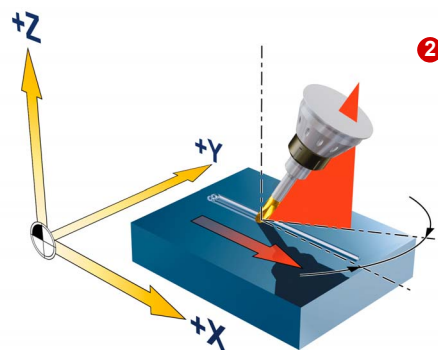
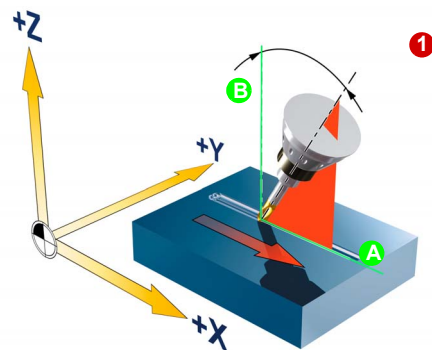
```
N020 TRAORI
N030 G54
N040 G0 X0 Y0 Z0
N050 G1 A2=0 B2=0 F1000
N060 G1 A2=90 B2=45
N070 ...
```

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

Voreil- und Seitwärtswinkel (LEAD/TILT)

In Verbindung mit LEAD und TILT wird die Orientierung über einen Voreilwinkel (LEAD) und einen Seitwärtswinkel programmiert. Dies ist die einzige Orientierungsprogrammierungsvariante, bei der die Art der Orientierungsdefinition an eine bestimmte Orientierungsinterpolation, nämlich ORIPATH, gekoppelt ist.

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

Die resultierende Werkzeugorientierung wird ermittelt aus:

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

LEAD beschreibt den Winkel zwischen der Flächennormalen und der neuen Werkzeugorientierung in der Ebene, die durch die Bahntangente und der Flächennormalen aufgespannt wird **1**.

Der Tilt-Winkel entspricht einer Drehung des Werkzeugs in der Ebene senkrecht zur Flächennormalen **2**.

Der Voreilwinkel LEAD wird oft benutzt, um das Werkzeug in einem festen Anstellwinkel zur Bearbeitungsebene zu orientieren. Damit wird die Schnittleistung erhöht. Beispielsweise berührt ein Kugelfräser bei senkrechter Ausrichtung genau mit der Werkzeugspitze die zu bearbeitende Fläche. An dieser Stelle des Fräasers ist aber die Rotations- und damit auch die Schnittgeschwindigkeit=0.

Die folgende Programmsequenz entspricht ungefähr der Darstellung der Grafik.

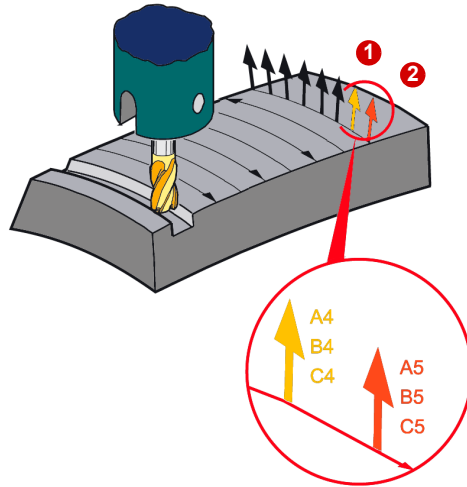
N10 TRAORI

N20 G1 X=0 Y0 A3=0 B3=0 C3=1

N30 ORIPATH

N40 X10 LEAD=30 TILT=10 C5=1

Wie bereits erwähnt, sind Voreil- und Seitwärtswinkel nur in Verbindung mit dem Flächennormalenvektor überhaupt definiert. Dieser wird analog zum Orientierungsvektor durch die Komponenten A4, B4, C4 oder A5, B5, C5 definiert: Erstere bezeichnen den Normalenvektor am Satzanfang, letztere den am Satzende.



Der Flächennormalenvektor steht senkrecht zur Bearbeitungsfläche.

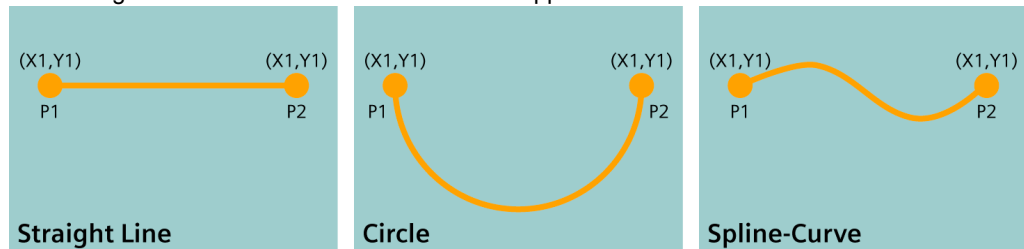
Mit (A4, B4, C4) wird in nur der Startvektor am **Satzanfang**. Mit (A5, B5, C5) der Vektor am **Satzende** programmiert.

3.5.4 Orientierungsinterpolation und -bezug

Im NC-Programm wird durch Vektoren (A3, B3, C3) oder Winkel ((Achspositionen A, B, C), Euler- oder RPY-Winkel (A2, B2, C2) oder LEAD / TILT)) satzweise die Werkzeugorientierung relativ zum Werkstück festgelegt. Bei der 5-Achs-Simultanbearbeitung ändern sich diese normalerweise in jedem Satz. Wenn die Maschine nun gemäß der Vorgaben des NC-Programms bewegt werden soll, so muss die Orientierung synchron zur Bahnbewegung kontinuierlich verändert werden.

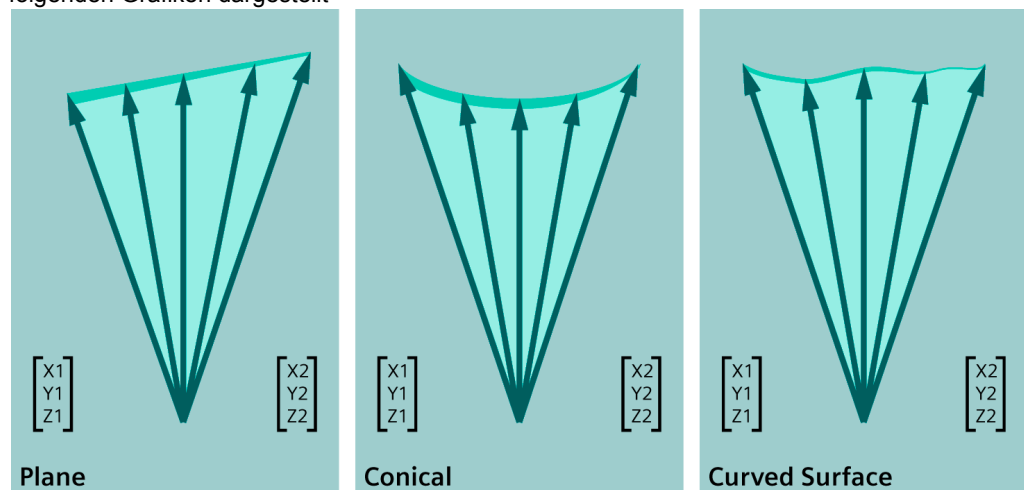
Bewegungsinterpolation im 3-Achsbereich

Hier werden satzweise neue Koordinaten X, Y und Z festgelegt. Es gibt aber offensichtlich viele unterschiedliche Möglichkeiten, das Werkzeug von einer Position zur nächsten zu bewegen. Man kann dies entlang einer Geraden (G1), auf einem Kreisbogen (G2, G3) oder auch auf einer Splinekurve (ASPLINE, BSPLINE, CSPLINE) tun. In jedem Fall ergibt sich eine unterschiedliche Bewegung, obwohl die programmierten Koordinaten identisch sind. Um die gewünschte Bewegung eindeutig zu beschreiben, genügt es also nicht, nur die Koordinaten anzugeben, man muss auch festlegen, auf welche Weise von einer Koordinate zur nächsten verfahren werden soll. Dies geschieht anhand der G-Codes der Gruppe 1.



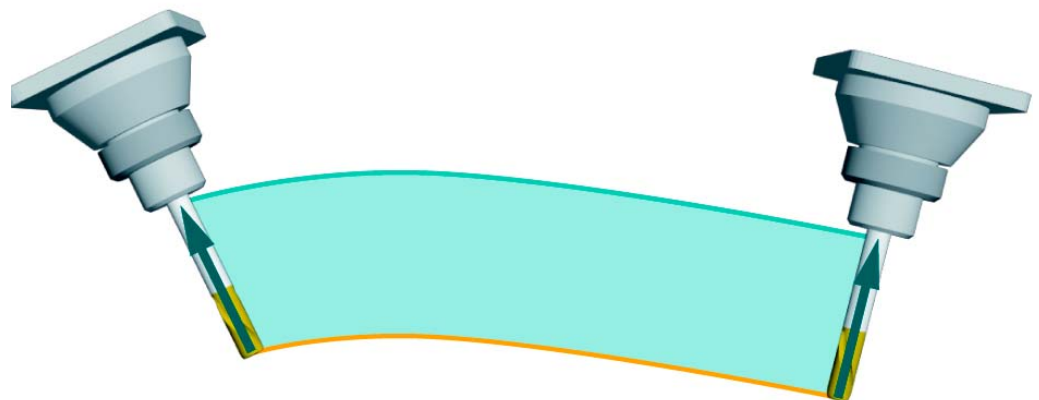
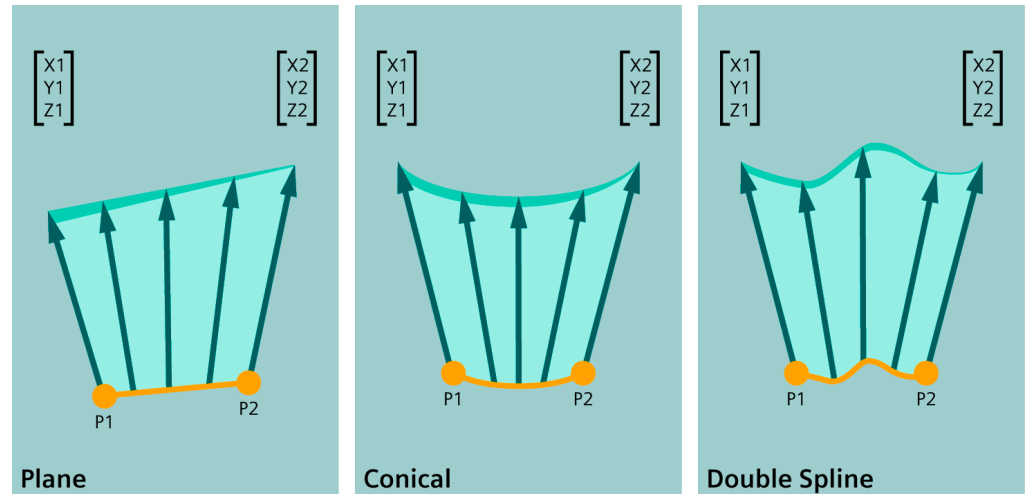
Interpolation der Werkzeugorientierung in einem Punkt

Analog dazu gibt es unendlich viele Möglichkeiten, von einer Werkzeugorientierung (X1, Y1, Z1) zur nächsten (X2, Y2, Z2) zu gelangen. Man kann dies durch Bewegung des Vektors in einer Ebene, auf einer Kegelfläche oder einer anderweitig gekrümmten Fläche tun. Dies ist in den folgenden Grafiken dargestellt



Werkzeugorientierung 5-Achsbereich

Um eine Werkzeugorientierung von der Startorientierung des Startsatzes (X1, Y1, Z1) zu Zielorientierung des nächsten Satzes (X2, Y2, Z2) zu verändern, genügt es ebenfalls nicht, nur die Koordinaten anzugeben. Man muss auch für Vektoren definieren, wie sie sich bewegen sollen. In einer Ebene, auf einer Kegelfläche oder auf einer anderweitig gekrümmten Fläche. Hierzu dienen die G-Codes der Gruppe 51 ORIVECT, ORIAXES, ORICONXX, ORICURVE etc.....

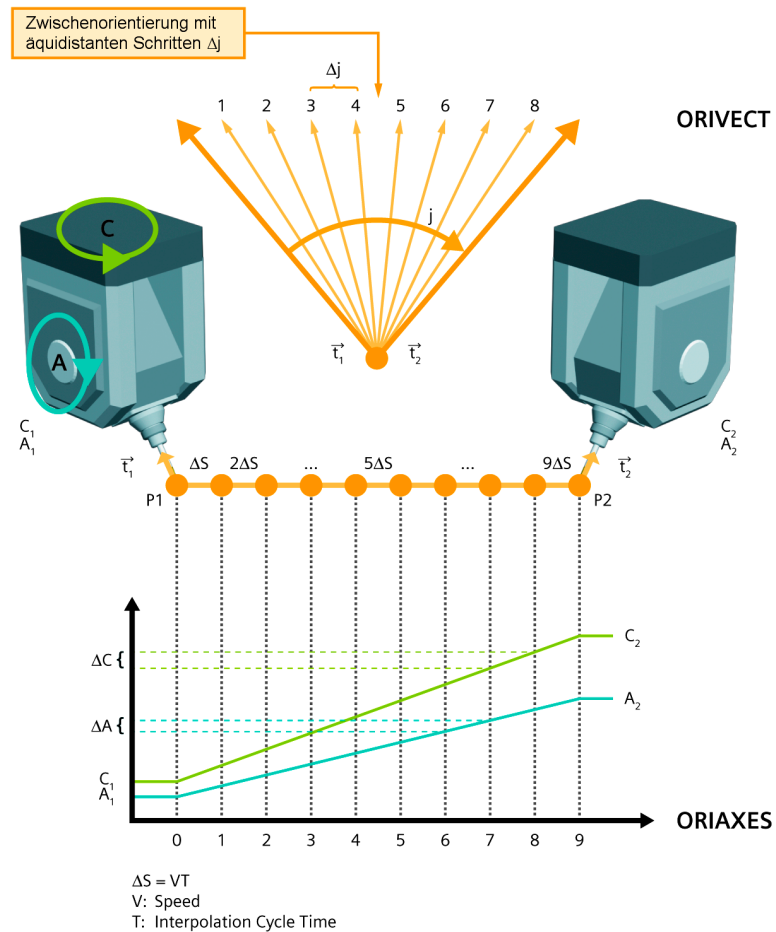


Man erkennt dies am besten, wenn man gleichzeitig die Position der Werkzeugspitze und die Werkzeugorientierung verändert. Dies lässt sich generell durch zwei Kurven beschreiben. Die orange Linie beschreibt die Bewegung der Werkzeugspitze, während die grüne Linie die Bewegung eines zweiten Punktes auf dem Werkzeug definiert. Diese beiden Kurven beschreiben eindeutig die Fläche, auf der sich das Werkzeug bewegt. Dieser Umstand wird bei der 3D-Splineinterpolation ORICURVE benutzt, indem man die orange und die grüne Linie jeweils durch eine Splinekurve darstellt.

ORIVECT und ORIAXES im Vergleich

Um die Unterschiede stärker zu verdeutlichen, betrachten wir die beiden gebräuchlichsten Fälle ORIVECT und ORIAXES. Wie bereits erwähnt, ist ORIAXES die Standardinterpolationsart, die am meisten verbreitet ist. Hier werden synchron zur Bewegung der Werkzeugspitze die Rundachsen jeweils linear interpoliert. Zur Illustration gehen wir von folgender Situation aus.

Im folgenden Bild ist die Bewegung einer Gabelkopfmachine mit C- und A-Achse entlang eines NC-Satzes dargestellt.



Wir beginnen am Anfang des Satzes mit der Position P1, dem Werkzeugvektor t_1 und den entsprechenden Rundachsenpositionen C1 und A1. Die Position, der Werkzeugvektor und die Rundachsenposition am Satzende sind durch P2, t_2 , C2 und A2 gegeben. Bei der Interpolation der Werkzeugspitze mit der programmierten Geschwindigkeit, wird die Distanz zum Endpunkt in gleich große Wegstücke zerlegt, deren Länge ΔS dem Interpolationstakt und dem programmierten Vorschub entsprechen. Die Schrittweite beträgt $\Delta S = VT$ wobei V die Geschwindigkeit und T die Interpolationszykluszeit bezeichnet. Bei konstanter Geschwindigkeit wird die gesamte Verfahrstrecke D zwischen P1 und P2 im obigen Satz in 9 äquidistante Interpolationsschritte aufgeteilt.

Bei ORIAXES wird nun in gleicher Weise die Differenz der Rundachspositionen C2-C1 und A2 - A1 in 9 äquidistante Schritte C und A aufgeteilt. Das heißt der Verlauf der Rundachspositionen folgt linear der Bahnbewegung.

Bei ORIVECT sind die Verhältnisse unterschiedlich. Hier werden nicht die Rundachsen interpoliert sondern der Vektor. Dazu wird der Differenzwinkel J zwischen Startvektor $t1$ und Endvektor $t2$ betrachtet. Dieser wird entsprechend der Bahnbewegung in 9 äquidistante Schritte ΔJ zerlegt. Die dadurch definierten Zwischenvektoren liegen alle in einer Ebene, die durch $t1$ und $t2$ aufgespannt wird. Es wird also eine Fläche in Werkstückkoordinaten, in diesem Falle eine Ebene, definiert, auf der sich der Orientierungsvektor bewegt. Im folgenden Abschnitt stellen wir Ihnen die möglichen Orientierungsinterpolationen vor.

Orientierungsbezug des Koordinatensystem (ORIMKS, ORIWKS)

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

ORIMKS Werkzeugorientierung im Maschinen-Koordinatensystem.

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

ORIWKS Werkzeugorientierung im Werkstück-Koordinatensystem.

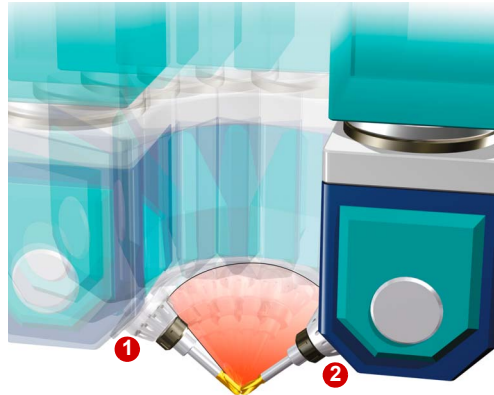
Bei **ORIWKS** bezieht sich die programmierte Orientierung auf das Werkstück-Koordinatensystem, das über einen Frame gegenüber dem Maschinen-Koordinatensystem verdreht sein kann.

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

Orientierungsinterpolationen der Achsen

Linearinterpolation (ORIXES)

**Linearinterpolation
(ORIXES)**



Die Rundachsen werden linear synchron zur Bahnbewegung interpoliert. Bei dieser Interpolationsart ist der Verlauf der Orientierung abhängig von der Maschinenkinematik. Sie kann in allen Fällen verwendet werden, bei denen es nicht erforderlich ist, dass das Werkzeug sich auf einer genau definierten Fläche im Werkstückkoordinatensystem bewegt. Dies ist zum Beispiel im Formenbau der Fall, wenn Kugelfräser verwendet werden.

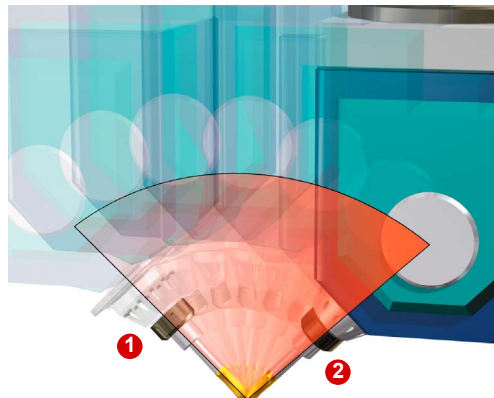
Achs-/Linearinterpolation

**ORIXES
(empfohlen)**

Lineare Interpolation der Maschinenachsen

Vektorinterpolation (ORIVECT/ORIPLANE)

**Vektorinterpolation
Großkreisinterpolation
(ORIVECT/ORIPLANE)**



Der Werkzeugvektor bewegt sich immer in der Ebene, die durch Start- und Endvektor aufgespannt wird. Diese Interpolationsart wird häufig beim Fräsen von Flugzeugstrukturen verwendet, da die Taschen meistens ebene und geneigte Wände haben. Auch bei der Verwendung von Torusfräsern beim Stirnfräsen wird dies empfohlen.

Vektorinterpolation

ORIVECT

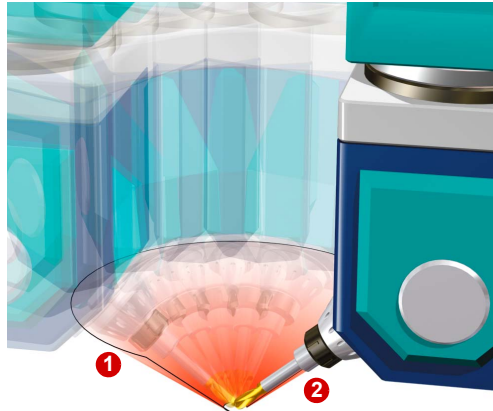
Interpolation des Orientierungsvektors in einer Ebene (Großkreisinterpolation)

ORIPLANE

Interpolation in einer Ebene (Großkreisinterpolation), identisch zu ORIVECT

Kegelmantelinterpolation (ORICONxx)

**Kegelmantel-
interpolation
(ORICONCW)**

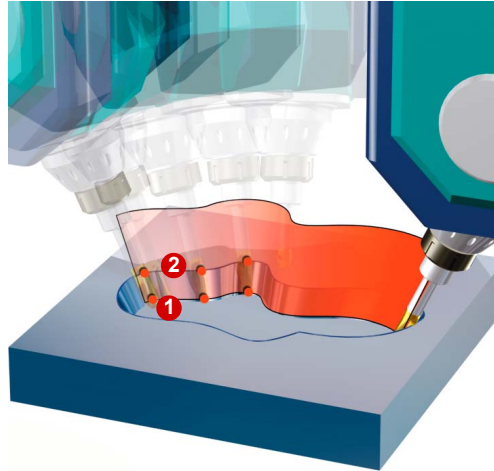


Bei der Kegelmantelinterpolation bewegt sich das Werkzeug bei der Umlagerung auf einer programmierbaren, beliebig im Raum befindlichen Kegelmantelfläche.

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

Spline-Interpolation (Doppelspline ORICURVE)

**Spline-Interpolation
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 definieren (**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

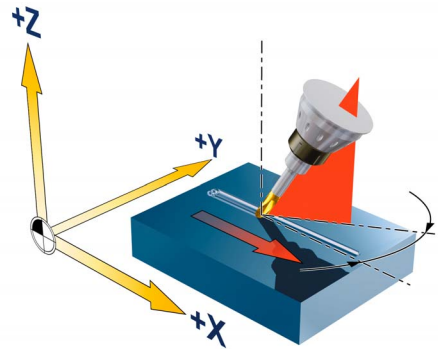
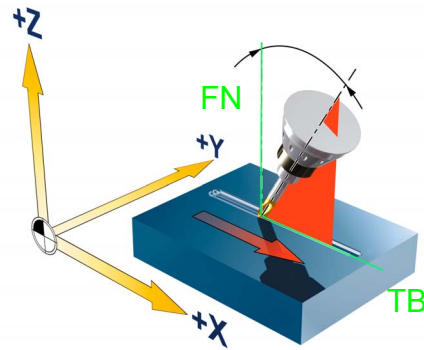
Orientierungsinterpolation mit Vorgabe der Bewegung der Werkzeugspitze und eines zweiten Punktes auf dem Werkzeug. Die Bahn des zweiten Punktes wird über XH=... YH=... ZH=... definiert, in Verbindung mit BSPLINE als Kontrollpolygon mit POLY als Polynom:

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 der Start- zur Endorientierung.

Bahnrelative Interpolation (ORIPATH)**Bahnrelative
Interpolation**

Der Orientierungsvektor wird relativ zur Bahn und zur Flächennormalen eingestellt. Die Programmierung erfolgt über den Voreilwinkel LEAD und den Seitwärtswinkel TILT in Verbindung mit dem Flächennormalenvektor. Dabei beschreibt LEAD eine Drehung um die Richtung senkrecht zur Tangenten und Normalen während TILT eine Drehung der Orientierung um den Flächennormalenvektor beschreibt.

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

Bahnrelative Interpolation**ORIPATH**

Werkzeugorientierung bezogen auf die Bahn.

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

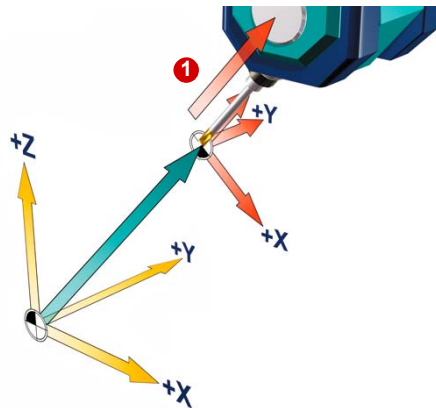
3.5.5 Beispiel zur Anwendung von TRAORI und Frames

Beispiel TOROT - Freifahren aus schräger Bohrung

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

TOROT im MDA programmieren

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



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 der Betriebsart JOG per Richtungstaste in Werkzeugrichtung zurückgezogen werden.

Achtung:

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

TOROT nach Bearbeitungsebene

TOROT bei G17

TOROTY bei G18 -> Werkzeugachse Y

TOROTX bei G19 -> Werkzeugachse X

TIPP

Vor dem nächsten Programmstart ist TOROT abzuwählen: TOROTOF.

TIPP

Im JOG steht Ihnen mit dem Manuellen Freifahren eine ähnliche Funktion zur Verfügung. Sie haben die Möglichkeit, nach einer Unterbrechung einer Gewindebohrbearbeitung (G33/G331/G332) oder allgemein einer Bearbeitung mit Bohrwerkzeug (Werkzeug 200 bis 299) durch Netzausfall oder einen RESET an der Maschinensteuertafel das Werkzeug in Werkzeugrichtung frei zu fahren, ohne das Werkzeug oder das Werkstück zu beschädigen.

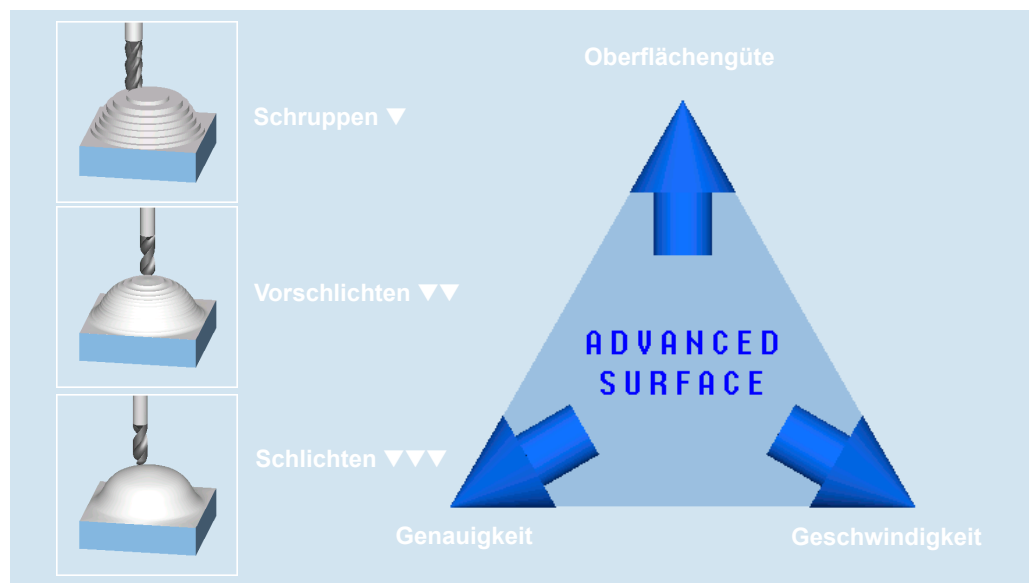
3.6 High Speed Settings - CYCLE832 Advanced Surface

Anwendung

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

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

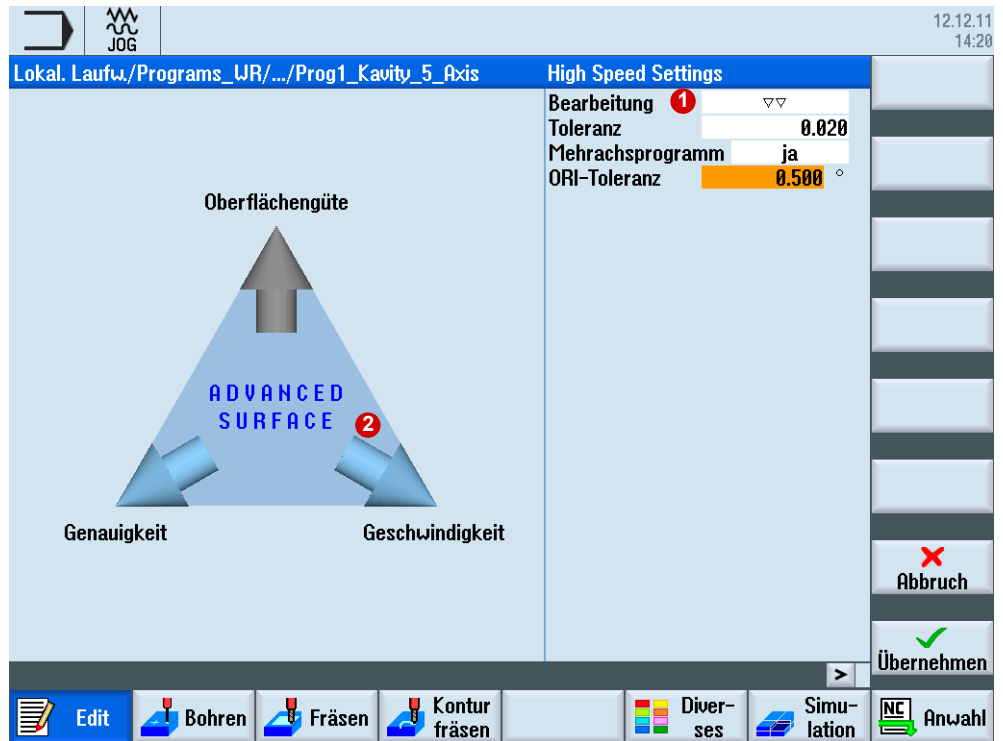
Zur individuellen Anpassung steht der Herstellerzyklus CUST_832 zur Verfügung. Dieser wird entsprechend der Maschine individuell vom Maschinenhersteller angepasst. Im CUST_832 werden auch die NC-Befehle für Advanced Surface eingestellt.



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

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

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



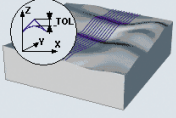
Entsprechend der Parameter-Wahl ① zeigen die blauen Pfeile ② entweder in Richtung **Geschwindigkeit**, **Oberflächengüte** oder in Richtung **Genauigkeit**.

Parameter für den High Speed Setting Zyklus

Der Anwender muss im Feld **Bearbeitung** nur zwischen Abwahl, Schlichten, Vorschlichten und Schruppen wählen und im Feld **Toleranz** einen Wert angeben. Bei Mehrachsprogrammen kann ab SW4.5 im Zyklus die Orientierungsglättung aktiviert und mit einer ORI-Toleranz versehen werden.

Parameter CYCLE832 (ab SW4.5)

Bearbeitung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schlichten (_FINISH) ■ Vorschlichten (_SEMIFIN) ■ Schruppen (_ROUGH) ■ Abwahl (_OFF) 	<p>Auswahl bei 3-Achsprogrammen mit Klartext.</p> <p>Mit dem Aufruf "Abwahl" werden die Werte auf die voreingestellten Werte zurückgesetzt.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schlichten (_ORI_FINISH) ■ Vorschlichten (_ORI_SEMIFIN) ■ Schruppen (_ORI_ROUGH) 	<p>Auswahl bei Mehrachsprogrammen mit Orientierungstoleranz im Klartext.</p>

Toleranz_Tol. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sehnentoleranz, Konturtoleranz <p>(Sehnentoleranz ist vom CAM-System 1:1 zu übernehmen)</p>	Toleranz der Linearachsen
Mehrachsprogramm	<ul style="list-style-type: none"> ■ nein ■ ja 	<p>nein: bei 3-Achsprogrammen ohne Rundachsen. Es wird automatisch der Wert 1 eingetragen.</p> <p>ja: bei Mehrachsprogrammen mit Rundachsen. Es wird die Orientierungsglättung aktiviert, dazu muss noch die ORI-Toleranz > 0° eingetragen werden.</p>
ORI-Toleranz	<ul style="list-style-type: none"> ■ Toleranz OTOL <p>(ca. Faktor 10 der Lineartoleranz)</p>	<p>Hat zwei Bedeutungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Verschleiftoleranz der Rundachsen bei aktiver 5-Achstransformation TRAORI ■ Orientierungstoleranz zur Glättung von Vektoren mit aktivem ORISON

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

Hinweis Bei der Verwendung der ORI-Toleranz muss explizit nach dem Aufruf des CYCLE832 die Aktivierung der Orientierungsglättung mit ORISON programmiert werden.

Struktur CYCLE832

Idealerweise programmieren Sie den CYCLE832 im übergeordneten NC-Rahmenprogramm, welches 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.

Hinweis CAM-Systeme legen häufig über den Postprozessor fest, dass der CYCLE832 direkt im Geometrieprogramm ausgegeben wird. Beachten Sie daher bei Ihrem Startprogramm, dass der CYCLE832 im Geometrieprogramm programmiert ist. Die An- und Abwahl von CYCLE832 erfolgt dann automatisch im Geometrieprogramm. Das Startprogramm enthält nur noch die Aufrufe der Geometrieprogramme.

CYCLE832(Toleranz, Technologie, ORI-Toleranz)

Programmierung des Zyklus:

- Toleranz (Sehntoleranz)
- Technologie
 - 0 = Abwahl
 - 1 = Schlichten (_FINISH)▼▼▼▼
 - 2 = Vorschlichten (_SEMIFIN)▼▼
 - 3 = Schruppen (_ROUGH)▼
 - 11 = Schlichten Mehrachsprogramm (_ORI_FINISH)▼▼▼▼
 - 12 = Vorschlichten Mehrachsprogramm (_ORI_SEMIFIN)▼▼
 - 13 = Schruppen Mehrachsprogramm (_ORI_ROUGH)▼
- ORI-Toleranz
Orientierungstoleranz bzw. Versionskennzeichen CYCLE832.
Wird benötigt bei der Abarbeitung eines HSC-Programms auf Maschinen mit dynamischer Orientierungstransformation (z. B. der 5-Achs-Bearbeitung). Der Parameter S_OTOL muss programmiert werden. Dies gilt auch für Anwendungen auf 3-Achs-Maschinen bei Programmen ohne Orientierung des Werkzeugs (S_OTOL = 1).

CYCLE832(0.05,12,0.5)

CYCLE832 für Vorschlichten mit der Toleranz 0.05 mit Orientierungsglättung und ORI-Toleranz 0.5.

Programmierbeispiel CYCLE832

N10	T1 D1	; Werkzeuganwahl
N20	G54	; Wkz-Nullpunkt anwählen
N30	M3 S1200	; Spindeldrehrichtung rechts und Drehzahl
N40	CYCLE832(0.05,3,1)	; 3-Achsprogramm , Toleranzwert 0.05
N50		; [3] = Schruppen, [1] = Standard ohne ORI
N60	EXTCALL „CAM_SCHRUPP_0“	; Aufruf Unterprogramm CAM_SCHRUPP_0
N65	CYCLE832(0,0,1)	; Abwahl CYCLE832
N70	CYCLE832(0.05,_ROUGH,1)	; 3-Achsprogramm , Toleranzwert 0.05
N80		; [_ROUGH] = Schruppen als Klartext , [1] = Standard ohne ORI
N90	EXTCALL „CAM_SCHRUPP_1“	; Aufruf Unterprogramm CAM_SCHRUPP_1
N95	CYCLE832(0,0,1)	; Abwahl CYCLE832
N100	CYCLE832(0.005,11,0.5)	; 5-Achsprogramm (mit Orientierung), Toleranzwert 0.005
N110		; [11] = Schlichten, [0.5]= ORI-Toleranz 0.5
N120	ORISON	; Aktivierung der Orientierungsglättung
N130	EXTCALL „CAM_SCHLICHT_0“	; Aufruf Unterprogramm CAM_SCHLICHT_0
N135	CYCLE832(0,0,1)	; Abwahl CYCLE832
N140	CYCLE832(0.005,_ORI_FINISH,0.5)	; 5-Achsprogramm (mit Orientierung), Toleranzwert 0.005
N150		; [_ORI_FINISH] = Schlichten als Klartext , [0.5]= ORI-Toleranz 0.5
N160	ORISON	; Aktivierung der Orientierungsglättung
N170	EXTCALL „CAM_SCHLICHT_1“	; Aufruf Unterprogramm CAM_SCHLICHT_1
N180	CYCLE832(0,0,1)	; Abwahl CYCLE832
N200	M30	

In den folgenden Kapiteln finden Sie die relevanten Maschinenfunktionen wie z. B. Kompressor, Look Ahead daher nur kurz zum Verständnis erklärt, da diese durch den CYCLE832 bzw. dem CUST_832 automatisch mit den optimalen Werten aufgerufen werden.

Programmierbare Verschleiftoleranz CTOL und OTOL

Mit dem CYCLE832 wurde bisher die Toleranz für Linear- und Rundachsen beim Verschleifen gesetzt. Ab SW 2.7 wird dies über die Funktionen CTOL (Konturtoleranz) und OTOL (Orientierungstoleranz) realisiert. Mit SW 4.5 kann die Orientierungsglättung auch im CYCLE832 direkt gesetzt werden. Weitere Informationen dazu finden Sie im nächsten Kapitel (Siehe "Advanced Surface" auf Seite 81.)



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

CYCLE832 in älteren Softwareständen

Aufgrund der kontinuierlichen Weiterentwicklung des CYCLE832, unterscheidet sich die Syntax und auch der Funktionsumfang des Zyklus zwischen den Softwareständen. Beachten Sie daher bei der Verwendung von älteren Programmen die neue Syntax von CYCLE832. Über ein Maschinendatum kann ein Kompatibilitätsmodus gesetzt werden. Bei Fragen zur Kompatibilität kontaktieren Sie den Maschinenhersteller.

Softwarestand	NC-Code
SINUMERIK bis SW 7.5	CYCLE832(Toleranz, Technologie) CYCLE832 (0.01, 112101)
SINUMERIK Operate SW2.6	CYCLE832(Toleranz, Bearbeitung, Versionskennung) CYCLE832 (0.1, 3, 1)
SINUMERIK Operate SW2.7 bis SW 4.4	CYCLE832(Toleranz, Bearbeitung, Versionskennung) und ORISON getrennt programmierbar CYCLE832 (0.005, 1, 1) ORISON OTOL=0.05

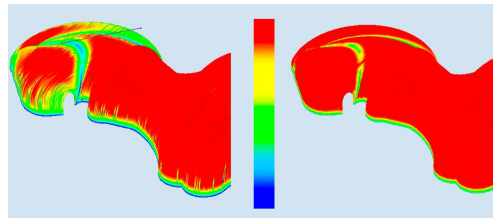
3.7 Advanced Surface

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

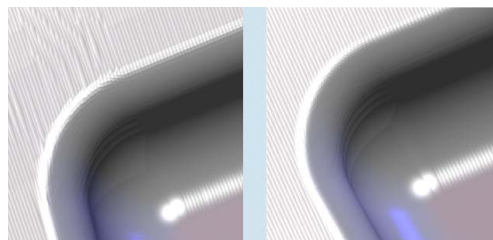
Beim Einsatz der neuen Bewegungsführung trägt ein optimierter **Look Ahead** zu perfekter Oberflächengüte durch reproduzierbare Ergebnisse in benachbarten Fräsbahnen, Genauigkeit und gesteigerter Geschwindigkeit bei. Der neue, optimierte Kompressor sorgt dabei für exakte Konturgenauigkeit und höchste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

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

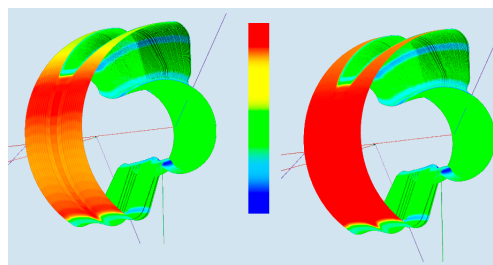
Ohne **Mit**
Advanced Surface **Advanced Surface**



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



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



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

NC-Befehle in Verbindung mit Advanced Surface

Die folgenden NC-Code-Befehle sind im CUST_832.SPF voreingestellt und werden bei der Anwahl der Technologiegruppen im CYCLE832 in Verbindung mit der Option **Advanced Surface** aktiviert:

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

Wichtige NC-Befehle für die 5-Achs-Bearbeitung

Die folgenden NC-Code-Befehle können im CUST_832.SPF vom Maschinenhersteller voreingestellt werden.

- TRAORI schaltet die in den Trafo-Maschinendaten eingestellte 5-Achstransformation ein und muss allein im Satz programmiert werden.
- UPATH (G-Code-Gruppe 45) sorgt bei 5-Achs- Splineinterpolation, wie sie zum Beispiel bei aktivem Kompressor durchgeführt wird, für synchrone Bewegungen der Rund- und Linearachsen.
- ORIAxes (G-Code-Gruppe 51) interpoliert die Orientierungsachsen im Satz linear zum Satzendpunkt hin.
- ORIWKS (G-Code-Gruppe 25) legt als Bezugssystem für die Orientierungsprogrammierung das Werkstückkoordinatensystem fest.
- ORISON (G-Code-Gruppe 61) aktiviert die Orientierungsglättung bei 5-Achs-Bearbeitung mit aktiver 5-Achstransformation (TRAORI).



Welche Funktionen von **Advanced Surface** gerade aktiv sind, können Sie während der Abarbeitung in der Anzeige „Alle G-Funktionen“ sehen. Siehe **“Programme abarbeiten“** auf Seite 44.

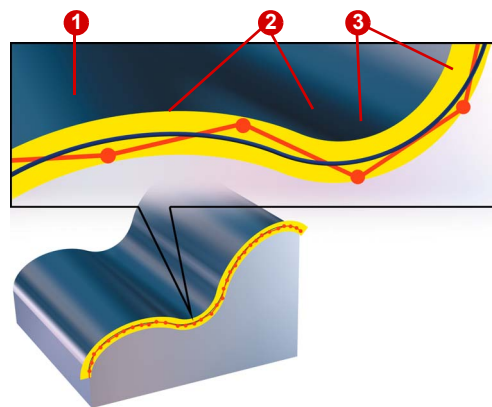
3.7.1 Kompressor – COMPCAD

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

Erläuterung der Befehle

COMPOF	Kompressor aus
COMPCAD (empfohlen)	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. 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.

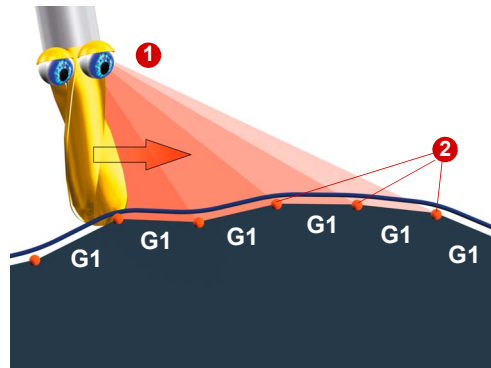
3.7.2 Bahnsteuerbetrieb, Look Ahead – G64, G645

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

Erläuterung der Befehle

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

Anwendung von G64, G645



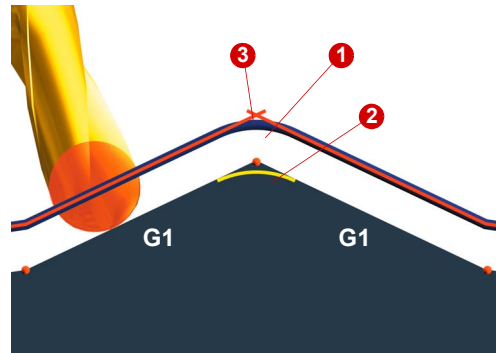
Ziel des Bahnsteuerbetriebs ist die Erhöhung der Geschwindigkeit und die Harmonisierung des Fahrverhaltens. Dies wird durch zwei Funktionen realisiert.

Look Ahead – vorausschauende Geschwindigkeitsführung ①

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

Ecken verschleifen ②

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



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

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

TIPP

Wir empfehlen bei Freiformflächenanwendungen **G645**.

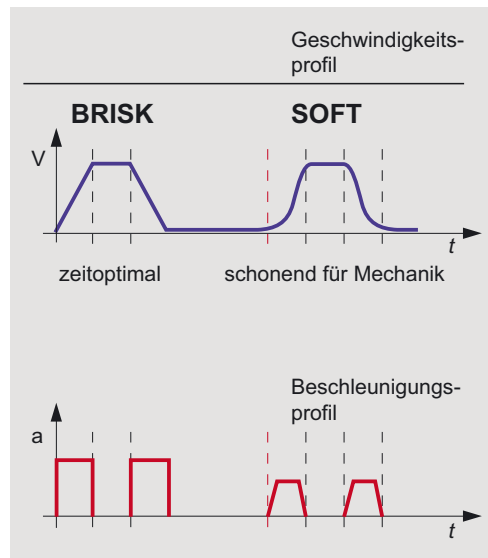
3.7.3 Vorsteuerung und Ruckbegrenzung – FFWON, SOFT, ...

Vorsteuerung und Ruckbegrenzung werden im CUST_832 in Kombination beider Funktionen aufrufen, da gerade in der Kombination ideale Bedingungen für das Freiformflächenfräsen möglich sind. Diese Funktionen werden vom Maschinenhersteller eingestellt.

Erläuterung der Befehle

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

Funktion Ruckbegrenzung



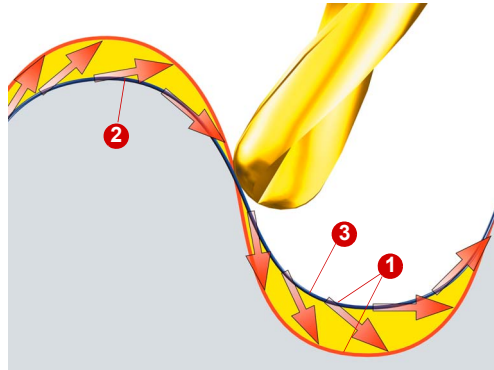
Um Beschleunigungen möglichst maschinenschonend durchzuführen, kann das Beschleunigungsprofil der Achsen über die Kommandos **Soft**, **Brisk** beeinflusst werden. Ist **Soft** aktiviert, ändert sich das Beschleunigungsverhalten nicht sprunghaft, sondern wird über eine lineare Charakteristik erhöht.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

BRISK:

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

SOFT:

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



Funktion Vorsteuerung.

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

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

3.7.4 Verschleiftoleranz CTOL, OTOL, ATOL

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

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

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

3.7.5 Bahnbezug UPATH/SPATH

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

- SPATH synchron zum Weg S
- UPATH synchron zum Kurvenparameter

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

Hinweis UPATH wird bei der Programmierung mit aktiver 5-Achstransformation (TRAORI) empfohlen und ist im Herstellerzyklus CUST_832 voreingestellt.

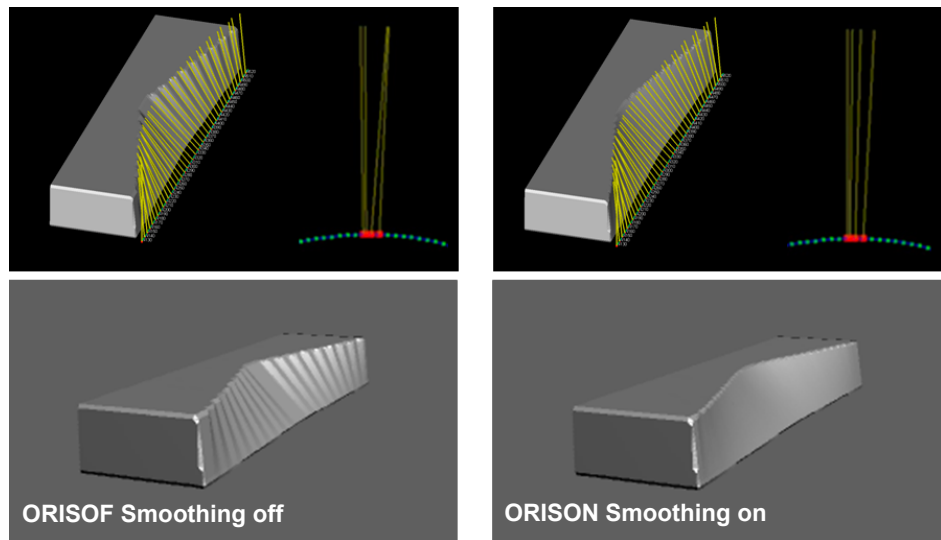
3.7.6 Glättung des Orientierungsverlaufs (ORISON, ORISOF)

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

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

Mit ORISON wird die Orientierung unabhängig zur Kontur geglättet, da die Bewegung von Rundachsen und Linearachsen wesentlich harmonischer aufeinander abgestimmt sind. Dadurch ergeben sich höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten bzw. geringere Bearbeitungszeiten.

Hinweise Die Orientierungsglättung ORISON ist bis SW4.5 nicht Teil des CYCLE832 und muss deshalb separat im NC-Programm im Fall eines 5-Achsprogramms mit Orientierungsinterpolation mit gewünschter Vektorglättung programmiert werden. Soll die Funktion ORISON bei aktiver 5-Achs-Transformation automatisch aktiviert werden, dann kann diese Einstellung im CUST_832 vom OEM vorgenommen werden. Der NC-Befehl ORISON wird in Abhängigkeit von der Orientierungstoleranz im Herstellerzyklus CUST_832 aktiviert und steht dann im CYCLE832 auch als Parameter **Mehrachsprogramm** mit **ORI-Toleranz** zur Verfügung.



ORISON programmieren (ohne CYCLE832)

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

ORISON programmieren (mit CYCLE832)

N110	TRAORI	; Einschalten der Orientierungstransformation.
N120	CYCLE832(0.005,_ORI_FINISH,0.5)	
N130	ORISON	; Aktivierung der Orientierungsglättung
N140	G1 X10 A3=1 B3=0 C3=1	; Geometrieprogramm
	...	
N990	M30	; Programmende

3.7.7 Vorlaufspeichersteuerung FIFOCTRL

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

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

Die Vorlaufspeichersteuerung FIFOCTRL wird von CYCLE832 bzw. CUST_832 automatisch aufgerufen. Mit STARTFIFO erfolgt die Abwahl.

Den Füllstand des Interpolatorbuffers können Sie so öffnen:

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

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

3.7.8 Technologie G-Gruppen

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

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

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

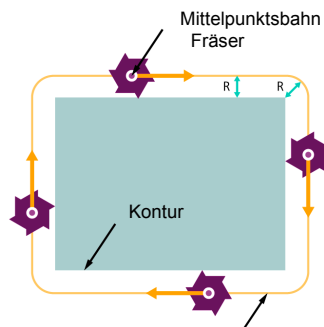
Die G-Gruppen werden bei der Anwahl der Bearbeitung z. B. Schlichten oder Schruppen des CYCLE832 bzw. CUST_832 automatisch geschaltet und sind wirksam.

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

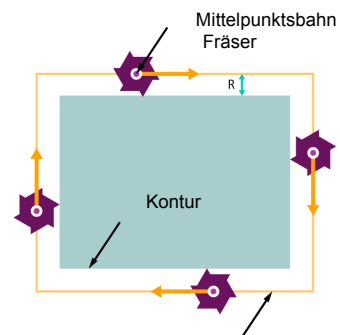
3.8 Fräserradiuskorrektur

Im Folgenden betrachten wir die Erweiterung der konventionellen 2-dimensionalen Fräserradiuskorrektur auf drei Dimensionen. Normalerweise wird die Korrektur durch die G-Codes G41/ G42 (links oder rechts) aktiviert und durch G40 deaktiviert. Nach Aktivierung berechnet die Steuerung eine Versatzkurve mit einem Versatz in Höhe des Fräserradius.

2-dimensionale Fräserradiuskorrektur



G41 / G450



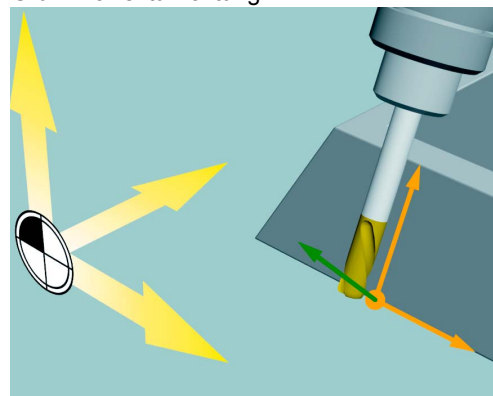
G41 / G451

Im 3-dimensionalen Fall wird die Lage etwas komplizierter. In zwei Dimensionen ist es immer implizit klar, dass das Werkzeug senkrecht zur Korrektur Ebene ausgerichtet ist und deshalb die korrigierte Bahn immer senkrecht zur Bahntangente in der X-Y-Ebene liegt. In drei Dimensionen ändert sich üblicherweise die Werkzeugorientierung kontinuierlich, folglich muss sich auch die Korrekturrichtung ändern. Sie wird nun durch einen Vektor im Raum definiert. Wir müssen jetzt zwei Situationen unterscheiden. Zum einen das Umfangfräsen und zum anderen das Stirnfräsen, das im 2-dimensionalen Fall allenfalls einen konstanten Korrekturwert für die Z-Achse erfordert.

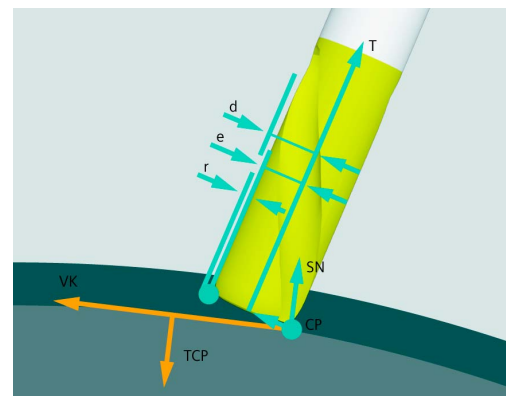
Fräserradiuskorrektur Umfangs- und Stirnfräsen

3-dimensionale Fräserradiuskorrektur

Umfangfräsen CUT3DC, Grün: Korrekturrichtung



Stirnfräsen CUT3DF



Umfangfräsen CUT3DC

Beim Umfangfräsen ist die Korrekturrichtung immer senkrecht zur Ebene, auf der sich der Fräser bewegt. Diese ist immer durch die momentane Bahntangente und den Werkzeugvektor definiert, sie ändert sich normalerweise in jedem Interpolationsschritt. Sie wird durch CUT3DC definiert und durch G41/G42 (links/rechts) aktiviert.

Stirnfräsen CUT3DF

Beim Stirnfräsen wird die Situation ebenfalls komplizierter. Weil das Werkzeug nicht wie in zwei Dimensionen grundsätzlich senkrecht auf der zu bearbeitenden Ebene steht, genügt ein konstanter Versatz nicht mehr. Der Korrekturwert und die Korrekturrichtung sind jetzt abhängig

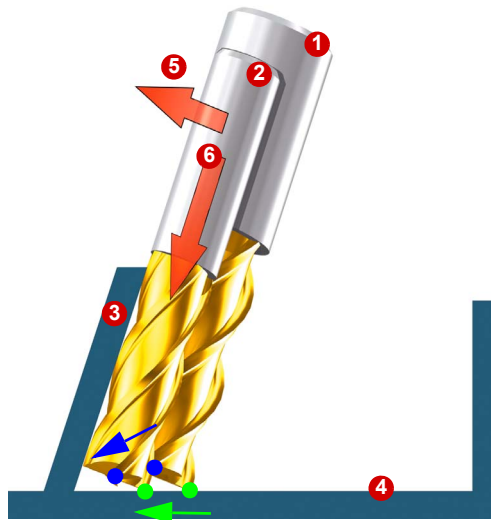
vom Werkzeugradius, dem Verrundungsradius und natürlich von der Werkzeugorientierung relativ zur Werkstückoberfläche. Das heißt, wir benötigen zusätzlich Informationen über die Oberfläche. Diese werden durch Programmierung der Normalenvektoren A4, B4, C4 (Satzanfang) bzw. A5, B5, C5 (Satzende) definiert.

Die Korrektur wird mit CUT3DF definiert und über G41/G42 aktiviert, wobei in diesem Fall kein Unterschied zwischen G41 und G42 besteht.

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

Eine Kombination aus den beiden Methoden ergibt sich bei der Bearbeitung spezieller Strukturteile im Flugzeugbau. Hier bearbeitet man Taschen, deren Wandneigung zum Boden einen spitzen Winkel bildet. Man bearbeitet dann die Wand mittels Umfangsfräsen, berührt aber gleichzeitig den Boden. Wird in dieser Situation ein größerer Fräser verwendet, so muss man gleichzeitig senkrecht zur Wand und entlang der Fräserachse korrigieren, um Konturverletzungen des Bodens zu vermeiden.

Umfangsfräsen mit Grenzflächen



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

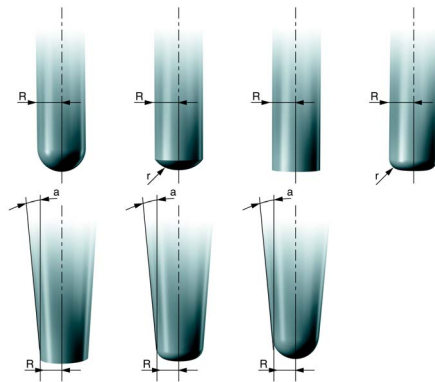
Die Steuerung berücksichtigt, dass nicht nur in Richtung Bearbeitungsfläche **5** korrigiert, sondern auch in Werkzeugrichtung **6** zugestellt werden muss, damit der Eingriffspunkt (grün) auf Höhe des Taschenbodens liegt. Dadurch verschiebt sich die Fräterspitze (blau) in Richtung des Taschenbodens.

Diese Korrekturvariante wird als **Umfangsfräsen mit Grenzflächen** bezeichnet. Diese wird über die Codes CUT3DCC oder CUT3DCCD ausgewählt und wie CUT3DC mit G41/42 aktiviert.

Bei CUT3DCC beziehen sich die Koordinaten im NC-Programm auf die Kontur, folglich wird der vollständige Fräseradius kompensiert. Das ergibt für den Korrekturradius $R = \$TC_DP6$ plus den programmierbaren Offset der durch $OFFN=...$ definiert wird und für das Stirnfräsen am Boden, den Eckenradius $\$TC_DP7$. Insgesamt ergibt sich $R' = \$TC_DP6 + \$TC_DP15 + OFFN$ für die Umfangsfräsenkomponente und $r' = \$TC_DP7 + \TC_DP16 für das Stirnfräsen mit der anderen Fräuserseite.

Bei CUT3DCCD bezieht sich die programmierte Bahn auf ein Normwerkzeug (Nullwerkzeug). Der Korrekturwert ist dann die Differenz zwischen Nullwerkzeug und dem nachgeschliffenen aktuellen Werkzeug, also der Verschleißwert aus der Werkzeugdatentabelle $\$TC_DP15$ plus dem Offset $OFFN=...$

Wie beim Stirnfräsen muss zusätzlich über A4, B4, C4 oder A5, B5, C5 der Normalenvektor der Begrenzungsfläche programmiert werden. Falls kein Normalenvektor programmiert wird, wird wie bei CUT3DF die Z-Richtung des momentanen Koordinatensystems angenommen.



Das folgende Bild zeigt die Werkzeugtypen, die in Verbindung mit den 3D-Korrekturen erlaubt sind. Für das Umfangfräsen (auch mit Begrenzungsfläche) nur zylindrische Typen (obere Reihen), fürs Stirnfräsen auch zusätzlich die kegelförmigen Typen der unteren Reihe.

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 Korrekturebene durch G17 – G19 bestimmt
CUT2DF	2 1/2D-KORREKTUR mit Korrekturebene 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

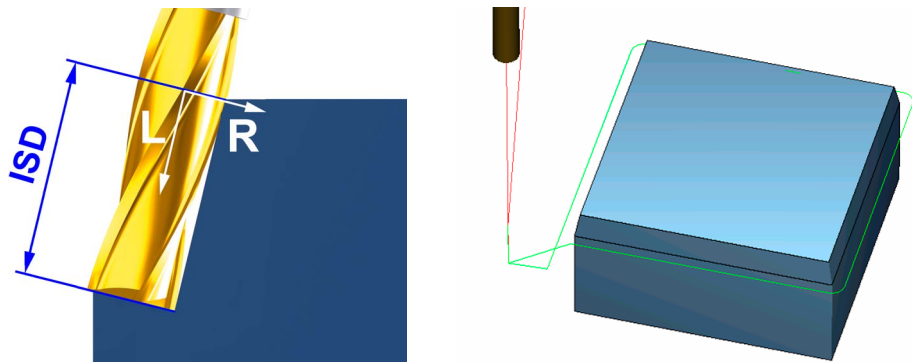
CUT3DFS	Konstante Orientierung (3-achsig). Werkzeug zeigt in Z-Richtung des über G17 - G19 definierten Koordinatensystems. Frames haben keinen Einfluss.
----------------	--

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 Umfangfräsen

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

Beispiel CUT3DC



```

N100 CYCLE800(2,"TABLE",200000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,,1)
N101 CYCLE800()
N102 G54
N103 WORKPIECE(,,"", "BOX", 112,0,-50,-80,0,0,100,100)
N104 T="FRAESER_12"
N105 M6
N106 S6000 M3
N108 TRAORI; 5-Achstransformation einschalten
N109 ORIWKS; Orientierungsbezug ist das WKS
N110 ORIVECT
N111 CUT3DC; 3D Werkzeugradiuskorrektur für Umfangfräsen
N112 G54 G0 X-20 Y-20 D1
N113 G0 Z10
N114 G1 Z-10 F1000 M8
N115 G41 X0 A3=1.7632698 B3=0 C3=10; Werkz.radiuskorrektur rechts von Kontur
      einschalten und anfahren
...

```

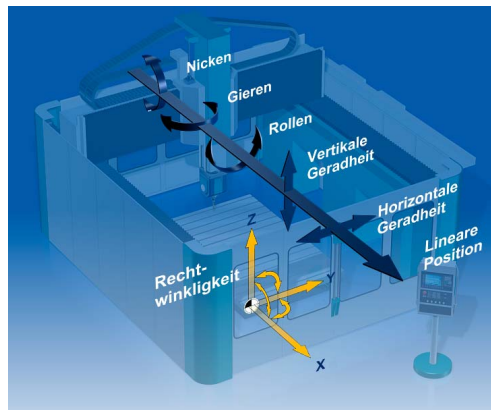
```
N116 G1 Y100
N117 G1 A3=0 B3=-1.7632698 C3=10
N118 G1 X100
N119 G1 A3=-1.7632698 B3=0 C3=10
N120 G1 Y0
N121 G1 A3=0 B3=1.7632698 C3=10
N122 G1 X0
N123 G40 X-20 Y-20 A3=0 B3=0 C3=1; Werkz.radiuskorrektur ausschalten und abfahren
N124 G0 Z100
N125 TRAFOOF
N126 M30
```

3.9 Volumetric Compensation System (VCS)

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

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

Korrekturen VCS



Folgende Fehlerquellen können u. a. kompensiert werden:

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

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

TIPP

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



3.10 VNCK - Virtuelle Maschine

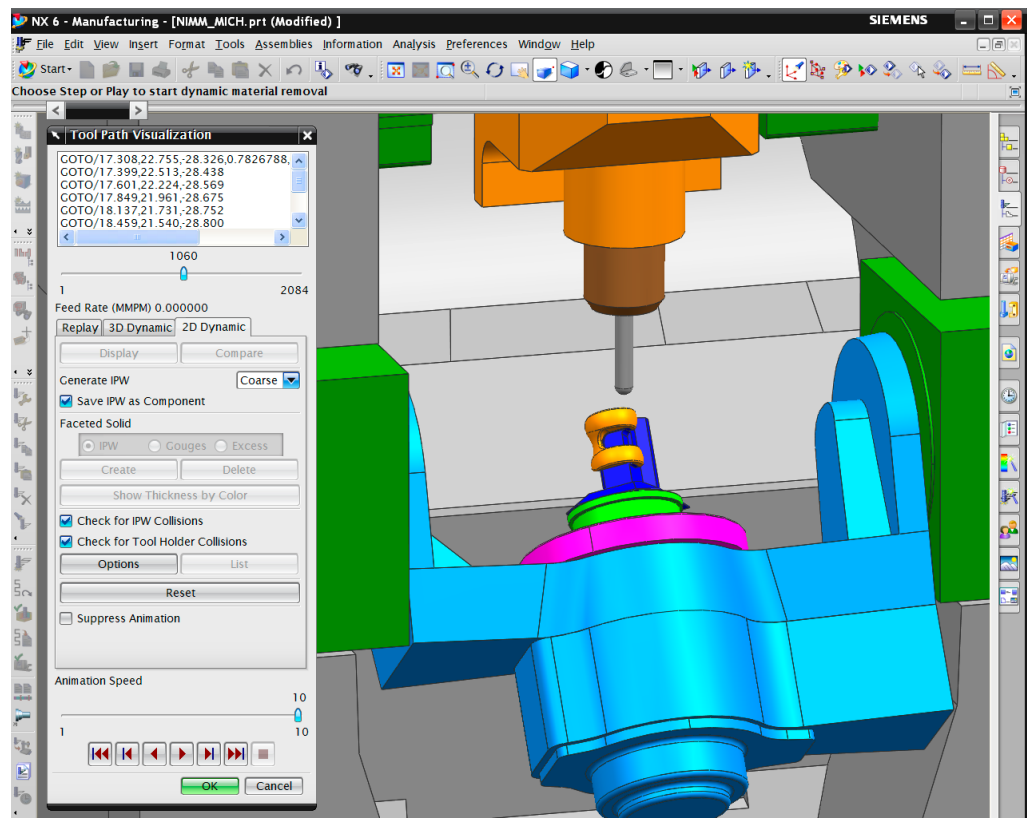
Aufgrund der Komplexität und Bearbeitungsdauer von 5-Achs-Fräswerkstücken wird angestrebt, schon vor der ersten realen Fertigung die Programme auf Fehlerfreiheit zu prüfen. Um möglichst realistische Daten zu erhalten, werden Modelle der Maschine und Steuerung virtuell simuliert. Siemens liefert dazu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

- den virtuellen NC-Kern (VNCK)

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

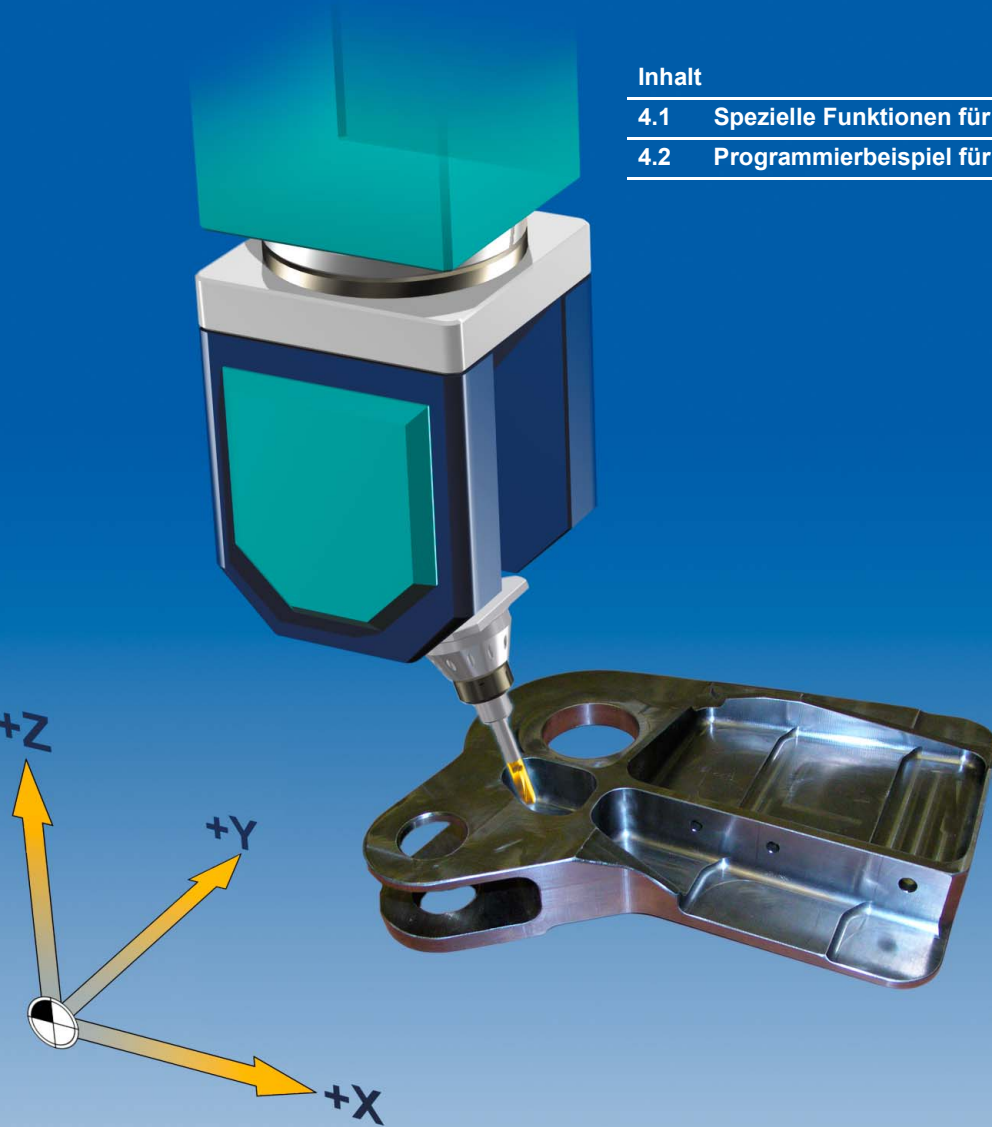
Die Verwendung der virtuellen Maschine im Zusammenspiel mit den SIEMENS VNCK bietet viele Vorteile:

- Programmierfehler werden sofort erkannt.
- Programmsimulation mit realer Zeitberechnung und damit leichtere Abschätzung des Fertigungsaufwands.
- Kollisionsbetrachtungen mit realen Werkzeugen, Spannmitteln 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	100
4.2 Programmierbeispiel für die Tasche eines Strukturteils	101



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.

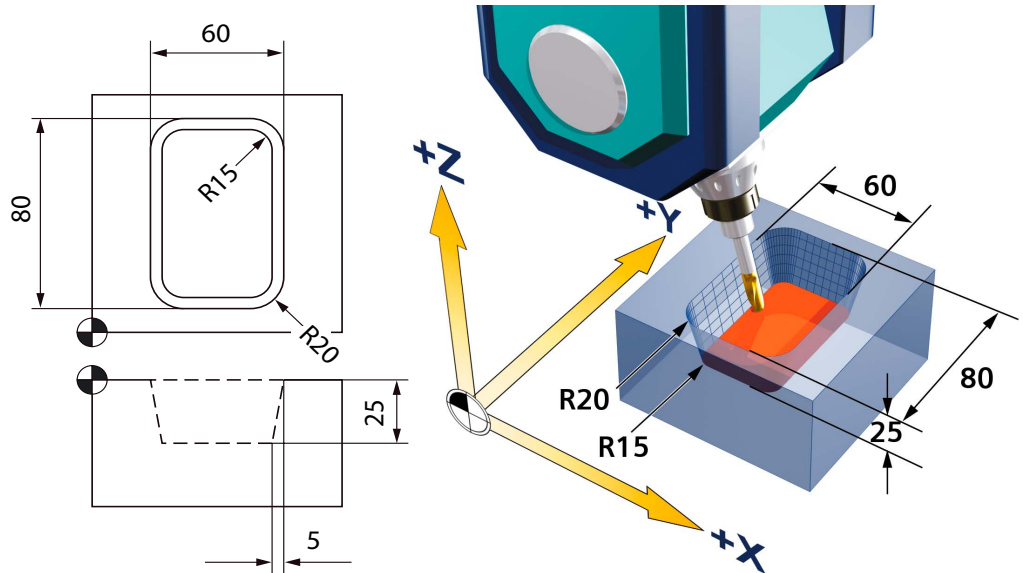
Wichtige Funktionen für den Bearbeitungsprozess von Strukturteilen:

- 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.

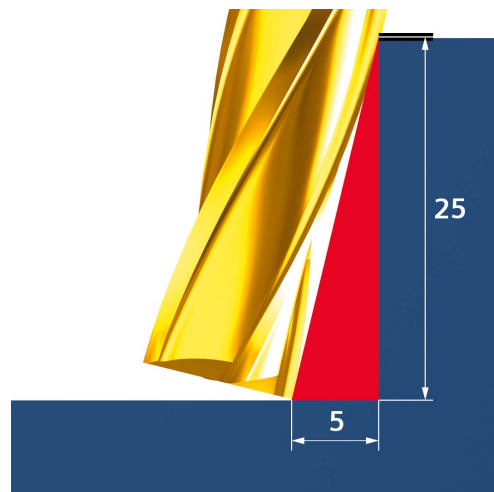


4.2 Programmierbeispiel für die Tasche eines Strukturteils

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.



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 $ISD=25,9807$ (Wandlänge der Tasche). Hierbei sind die Radien anzupassen.

Dies kann über den Satz des Pythagoras berechnet werden.

$$ISD = \sqrt{(25)^2 + (5)^2} = (25,9807)$$

Programmbeispiel mit RPY-Winkel Programmierung

Im Beispiel wird die Tasche geschruppt und die Taschenwände per Umfangsfräsen mit Großkreisinterpolation ORIVECT und ORICONxx gefertigt. Programmiert wird mit RPY-Winkel $A2=,B2=,C2=$ (Oberes Profil) mit automatischer Winkelberechnung und Eintauchtiefe ISD

```

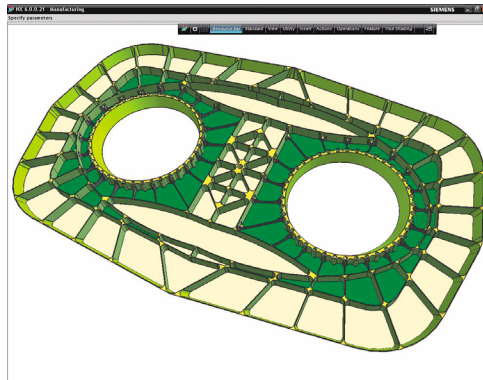
EXAMPLE_4_POCKET_RPY_2.MPF
DEF REAL _VECT1, _VECT2
  _VECT1=5
  _VECT2=25
R10=ATAN2(_VECT1,_VECT2); ISD wird berechnet
;*** 2D TASCHE SCHRUPPEN ***
N100 CYCLE800(0,"TISCH",200000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,,1)
N101 CYCLE800()
N103 G54 G17
N104 WORKPIECE(,,,"BOX",112,0,-50,0,0,0,100,100)
N105 T="FRAESER_D14"
N106 M6
N107 S8000 M3
N108 CYCLE832(0.01,0,1) ; Abwahl HSC-Setting (DYNNORM)
N110 TRANS X50 Y50 Z50 ; NPV in Taschenmitte Werkstück Oberkante
N111 G0 X0 Y0 Z20
N113 CUT2DF ; CUTTER COMP 2D IN ACTIVE FRAME
N114 POCKET3(20,0,2,-25,70,50,15,0,0,90,2,0,0,2000,0.1,0,21
,60,8,3,15,6.5,1,0,1,2,11100,11,110)
;*** 3D UMFANGRAESEN AUF TIEFE ***
N115 CYCLE832(0.01,1,1) ; HSC-Setting Schlichten (DYNFINISH)
N116 TRAORI
N117 ORIWKS
N118 ORIVECT
N119 CUT3DC ; CUTTER COMP 3D CIRCUMFERENTIAL
N120 G54 G0 X0 Y0 Z10
N122 G1 A2=R10 B2=0 C2=0 F1000
N123 ISD=25.9807 ; INSERTION DEPTH (Eintauchtiefe)
N124 G1 Z0
N125 G1 G41 X0 Y-40
N126 G1 X10
N127 ORICONCCW
N128 G3 X30 Y-20 CR=20 A2=0 B2=R10 C2=0 NUT=R10*2 ; NUT=Öffnungswinkel Kegel
N129 ORIVECT
N130 G1 Y20
N131 ORICONCCW
N132 G3 X10 Y40 A2=-R10 B2=0 C2=0 CR=20 NUT=R10*2
N133 ORIVECT
N134 G1 X-10
N135 ORICONCCW
N136 G3 X-30 Y20 A2=-0 B2=-R10 C2=0 CR=20 NUT=R10*2
N137 ORIVECT
N138 G1 Y-20
N139 ORICONCCW
N140 G3 X-10 Y-40 A2=R10 B2=0 C2=0 CR=20 NUT=R10*2
N141 ORIVECT
N142 G1 X0
N143 G40 X0 Y0 Z=IC(1) A2=0 B2=0 C2=0
N144 G0 Z100
N145 TRAF00F
N146 G0 A0 C0
N147 M30

```

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.

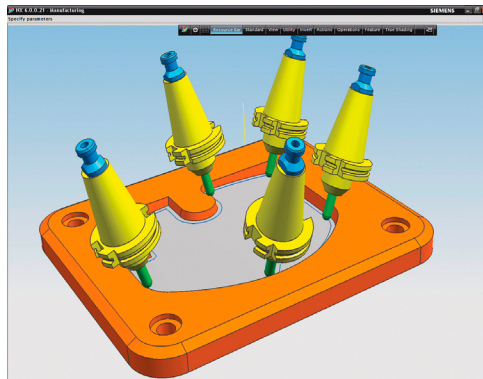
Unterstützung Rippen und Taschen



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

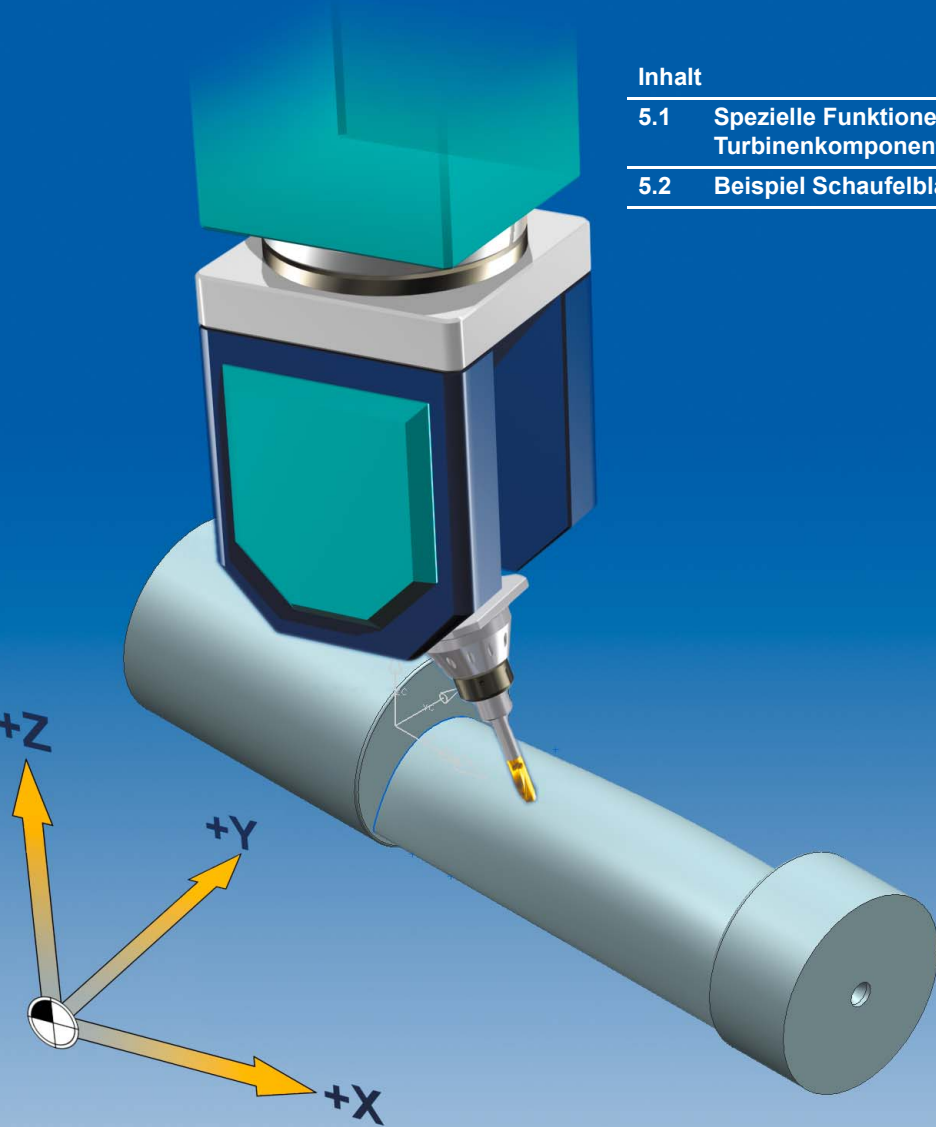


Automatisches Profilfräsen mit variablen Achsen beschleunigt die Programmierung. CAM-Systeme bieten eine Reihe automatischer Einstellungen der Werkzeugposition und der Werkzeugachse für 5-Achsfräsen an Wänden und anderen Profilen.

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	106
5.2 Beispiel Schaufelblatt	107



5

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.

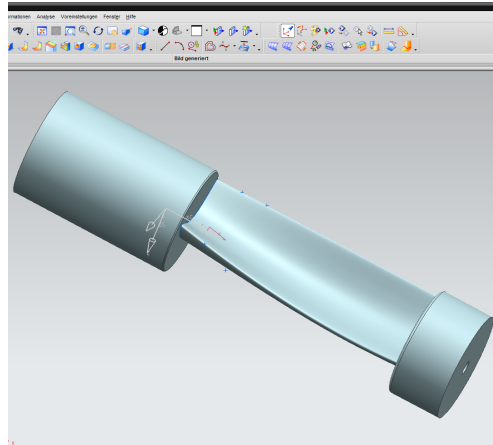
Impeller



5.2 Beispiel Schaufelblatt

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

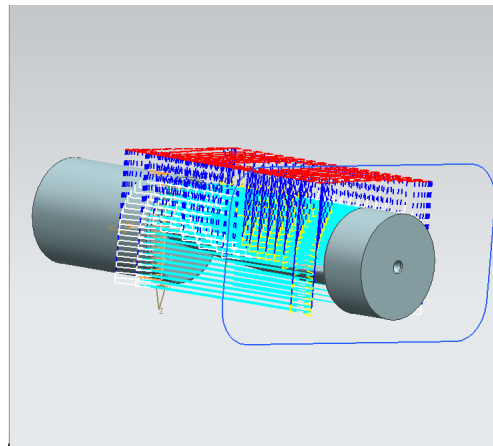
Schaufelblatt



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

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

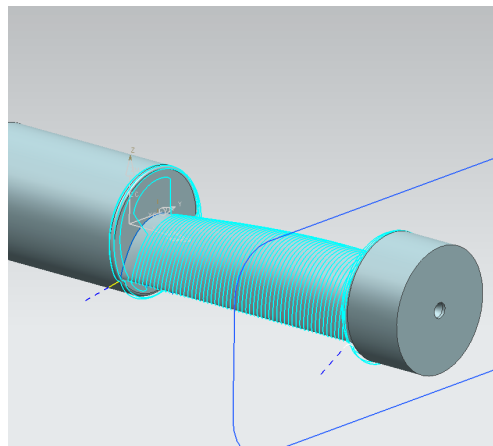
Ebenenschruppen



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

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

5-Achs-Kopierfräsen Schlichten Stirn



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



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

Beispiel Programm-Code

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

Beispiel Startprogramm

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

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

```

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

```



```

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

```

Beispiel Unterprogramm SCHLICHTEN_1

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

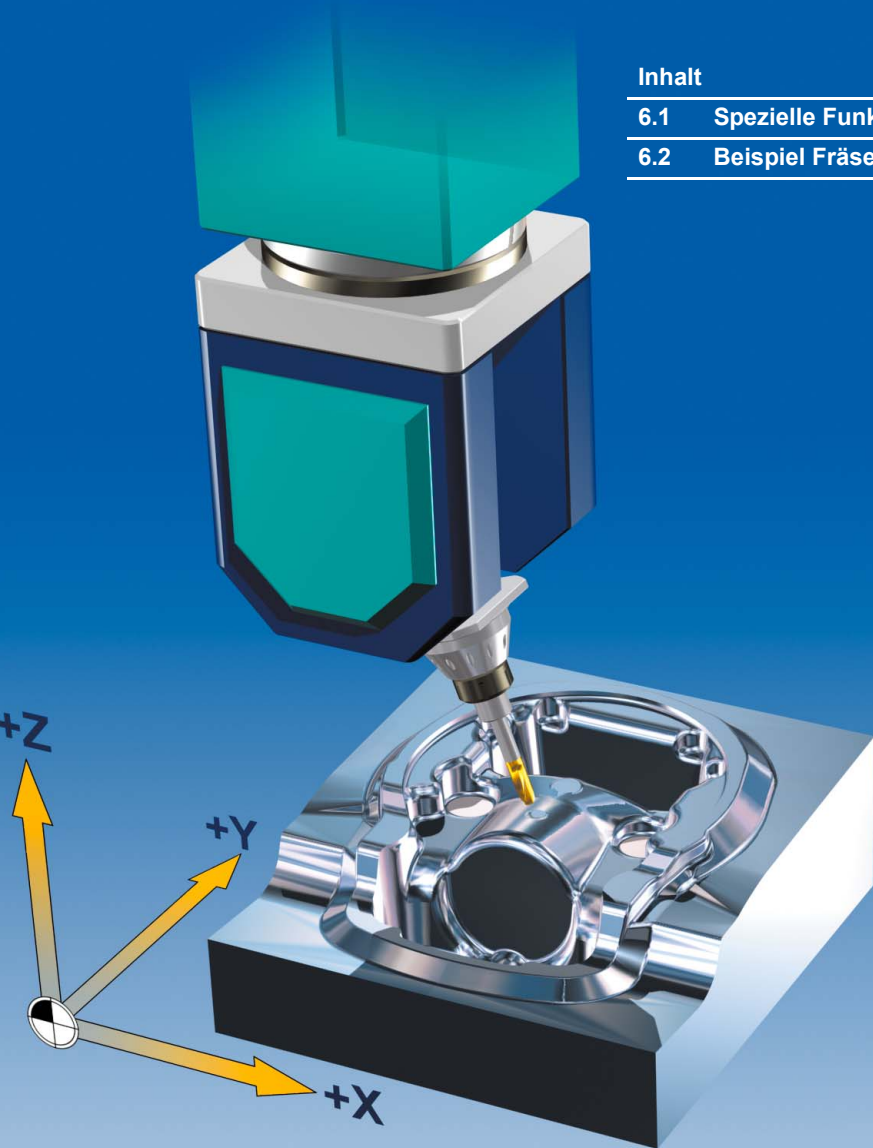
```

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

```


Komplexe Freiformflächen

Inhalt	Seite
6.1 Spezielle Funktionen für Freiformflächen	112
6.2 Beispiel Fräsen eines Mantarochens	113



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 Verfahrstrichen voraussieht und damit die Bearbeitungsgeschwindigkeit optimiert.

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

Wichtige Funktionen für den Bearbeitungsprozess von Freiformflächen:

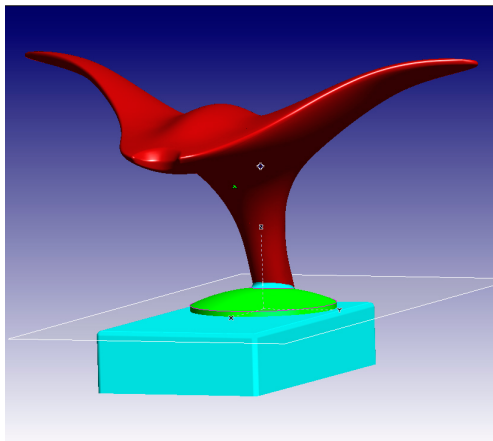
- High Speed Settings CYCLE832, da ideale Datenkompression innerhalb des Toleranzbandes in Kombination mit Vorsteuerung und Ruckbegrenzung zu der geforderten Oberfläche ohne Abweichung der Kontur eingestellt werden kann.
- TRAORI, da integrierte 5-Achs-Transformation für alle Maschinenkinematiken vorhanden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



6.2 Beispiel Fräsen eines Mantarochens

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

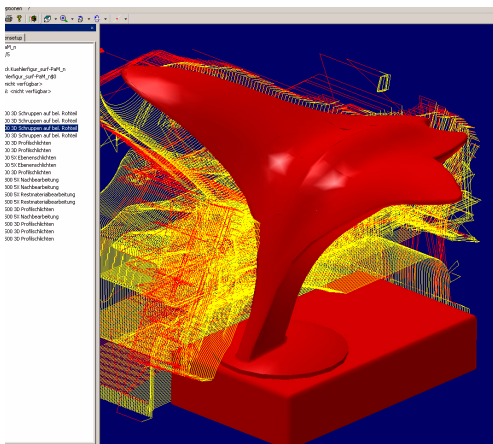
Mantarochen im CAM



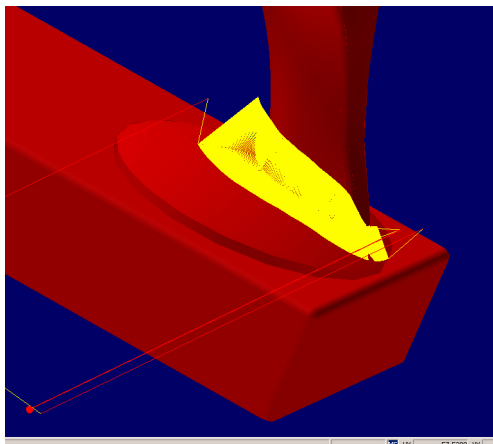
Der Mantarochen wird aus einer digitalisierten Punktwolke im CAM-System als Freiformfläche modelliert. Als Strategien wurden das 3D Schruppen in der Ebene und mehrere 3- und 5-achsige Vorschlicht- und Schlichtbearbeitungen verwendet.

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

Ebenenschruppen mit 3 Achsen



5-Achs-Restmaterial-Bearbeitung



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

Beispiel Programm-Code

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

```

**Beispiel Unterprogramm
Schruppen ROUGH_01**

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

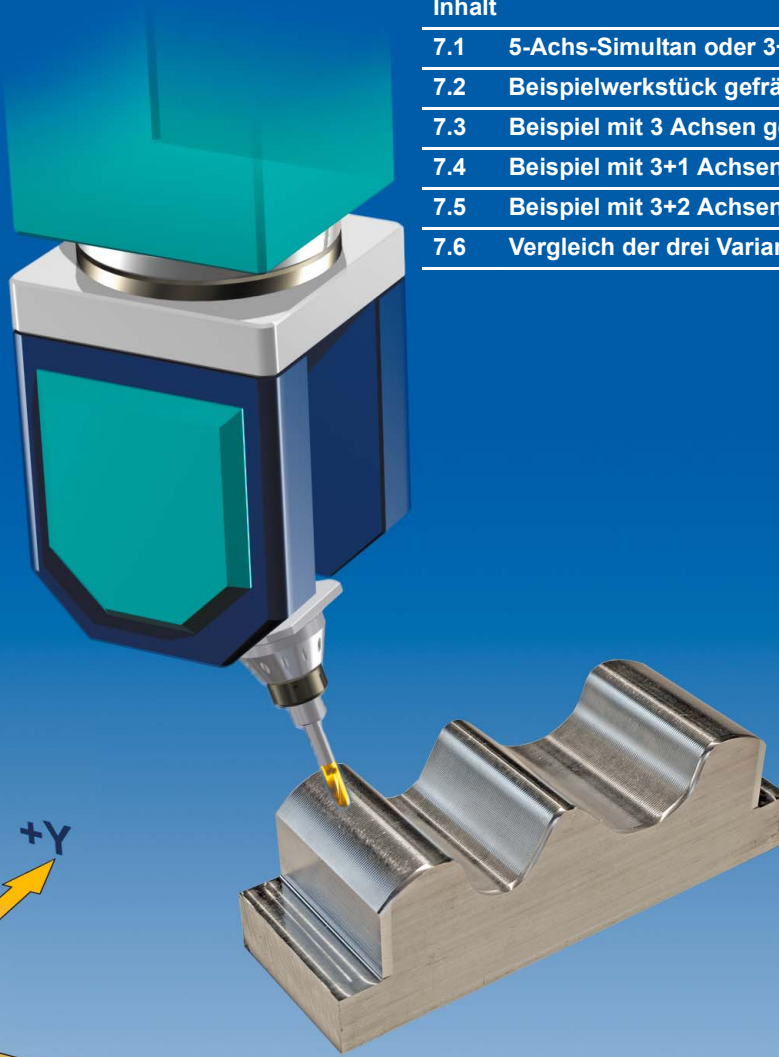
```

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

```


Unterschied 3, 3+2, 5 Achsen

Inhalt	Seite
7.1 5-Achs-Simultan oder 3+2-Achsen	119
7.2 Beispielwerkstück gefräst von 3 bis 3+2 Achsen	119
7.3 Beispiel mit 3 Achsen gefräst	121
7.4 Beispiel mit 3+1 Achsen gefräst	122
7.5 Beispiel mit 3+2 Achsen gefräst	123
7.6 Vergleich der drei Varianten	124



7

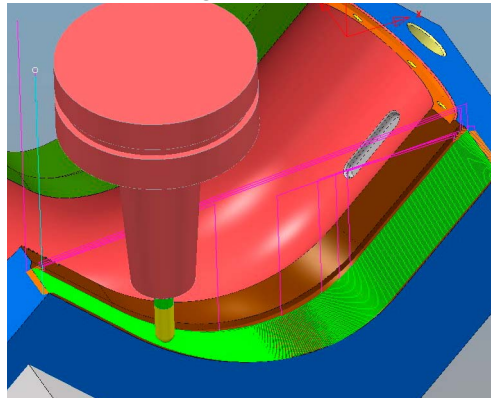
7.1 5-Achs-Simultan oder 3+2-Achsen

In diesem Kapitel erfahren Sie mehr über die Unterschiede beim Fräsen mit 3 bzw. 5 Achsen. Grundsätzlich ist bei der 5-Achsbearbeitung die Wirtschaftlichkeit zu beachten. Dies bedeutet, dass bei der Fertigung folgende Vorgehensweise ratsam ist, falls es die Geometrie des Werkstücks und die Maschinenkinematik erlaubt:

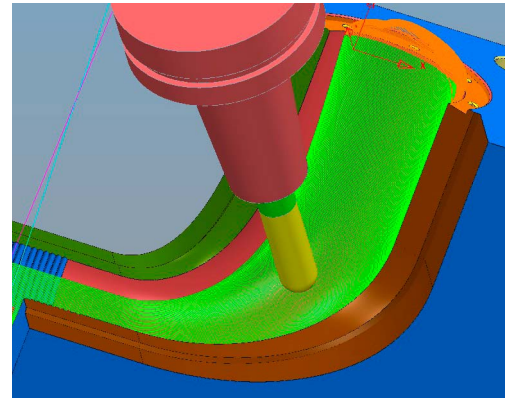
- ▶ soviel wie möglich 3-, 3+1- und 3+2-achsiges (angestelltes) Schruppen/Vorschlichten
- ▶ 5-Achs-Simultanfräsen nur bei der Endbearbeitung und beim Schlichten

In den folgenden Übersichtstabellen sind die Vor- und Nachteile der 3+2 und der 5-Achs-Simultan Bearbeitung kurz gegenübergestellt.

Vorschlichten angestellt 3+2



Schlichten 5-Achs-Simultan



3+2-Achs-Bearbeitung

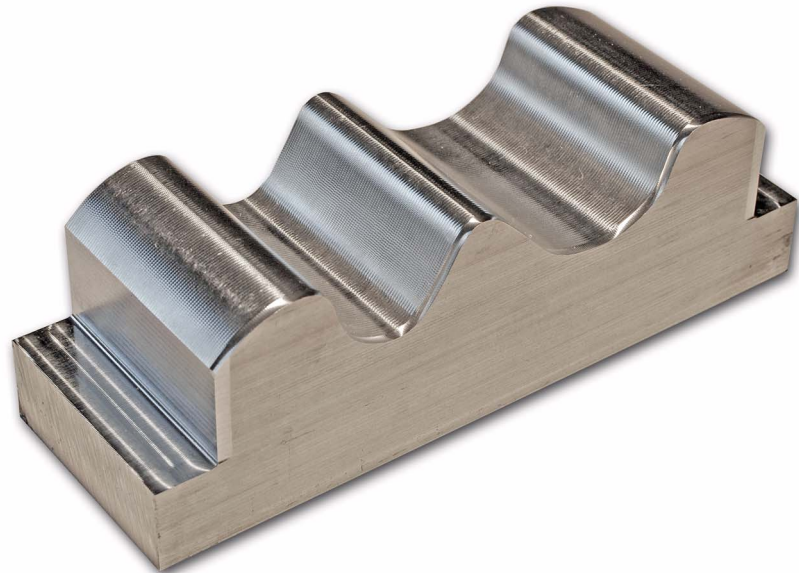
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ■ Geringerer Programmieraufwand ■ Keine Limitierung der Dynamik, da nur Linearachsen im Einsatz ■ Höhere Steifigkeit der bewegten Achsen bei 3+2 Bearbeitung (abhängig vom Maschinenkonzept). Dadurch höhere Werkzeugstandzeit und Oberflächengüte 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Begrenzung der Werkstückgeometrie, z. B. hinterschnittige Kavitäten ■ Eventuell längere Werkzeuge nötig ■ Mehr Anstellpositionen (3+2-Achs) notwendig, eventuell längere Maschinenzeiten und sichtbare Bearbeitungsübergänge

5-Achs-Simultanbearbeitung

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ■ Tiefe Kavitäten und Hinterschnitte in einer Aufspannung herstellbar ■ Kürzere Werkzeuge mit kompakter Aufspannung ■ Gleichmäßigere Oberflächen - keine Übergänge ■ Keine Spezialwerkzeuge notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hoher Programmieraufwand ■ Höhere Kollisionsgefahr ■ Häufig längere Bearbeitungszeiten durch Ausgleichsbewegungen der Kinematik ■ Toleranzen der Kinematik können sich addieren, da mehr Achsen im Einsatz

7.2 Beispielwerkstück gefräst von 3 bis 3+2 Achsen

Am Beispiel eines Werkstücks in Wellenform wird die Programmierung mit 3, 3+1 und 3+2 Achsen analysiert. Anhand von kurzen Programmauszügen werden die Vorgehensweise und die Ergebnisse der unterschiedlichen Fräsbearbeitungen dargestellt.



Arbeitsablauf Startprogramm, Schruppen und Vorschlichten

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

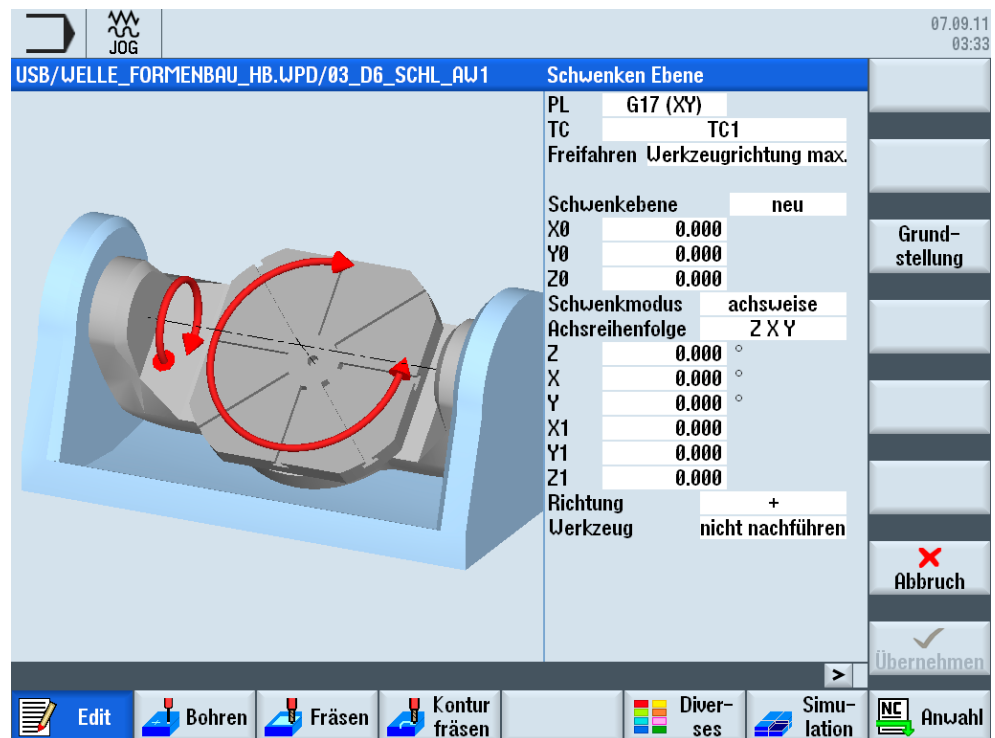
Der Abstand der einzelnen Fräsbahnen in den Schlichtprogrammen wurde bewusst relativ groß eingestellt, damit die Gleichmäßigkeit der einzelnen Bahnen besser beurteilt und Fehler sichtbar werden.

Vorpositionieren des Fräasers an das Werkstück

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

Vorpositionieren mit CYCLE800

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



Grundstellung der Werkzeugorientierung mit ORIRESET

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

Durch Programmierung von ORIRESET(A, B, C) werden Orientierungsachsen linear und synchron von ihrer momentanen Position zu der angegebenen Grundstellungsposition gefahren. ORIRESET ist nur bei aktivem TRAORI möglich. Wird für eine Achse keine Grundstellungsposition programmiert, dann wird die definierte Position aus dem dazugehörigen Maschinendatum \$MC_TRAFO5_ROT_AX_OFFSET_1/2 verwendet.

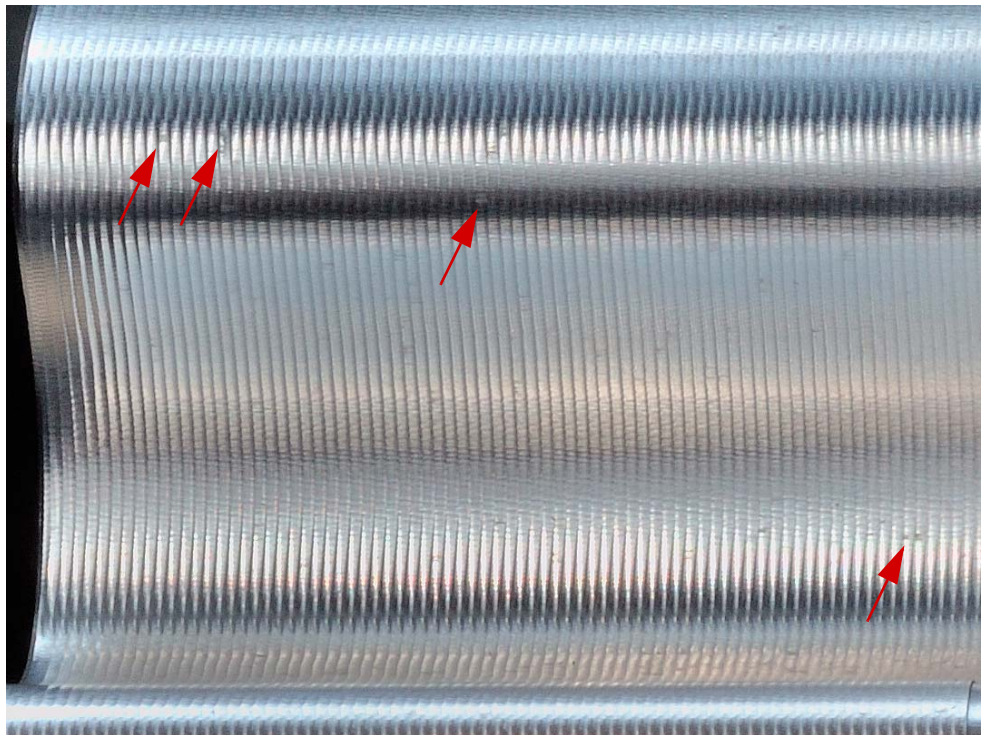
7.3 Beispiel mit 3 Achsen gefräst

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

Schichten 3-Achs

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

Bildauszug des oberen Wellenabschnitts



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

7.4 Beispiel mit 3+1 Achsen gefräst

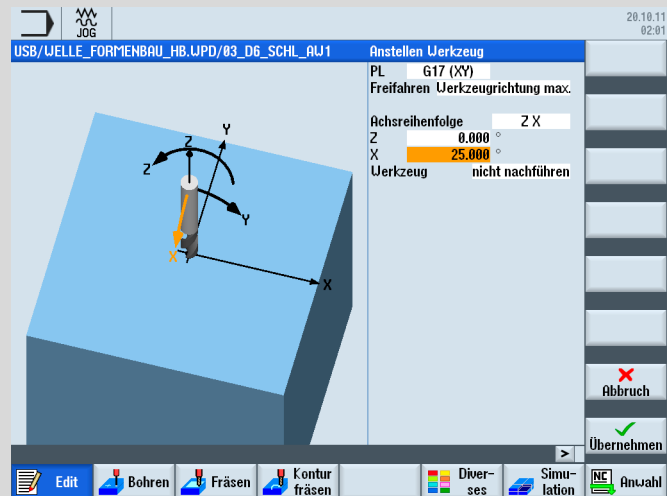
Im zweiten Beispiel wurde die X-Achse um 25° angestellt.

Schichten 3+1-Achs

```

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

```



```

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

```

7.5 Beispiel mit 3+2 Achsen gefräst

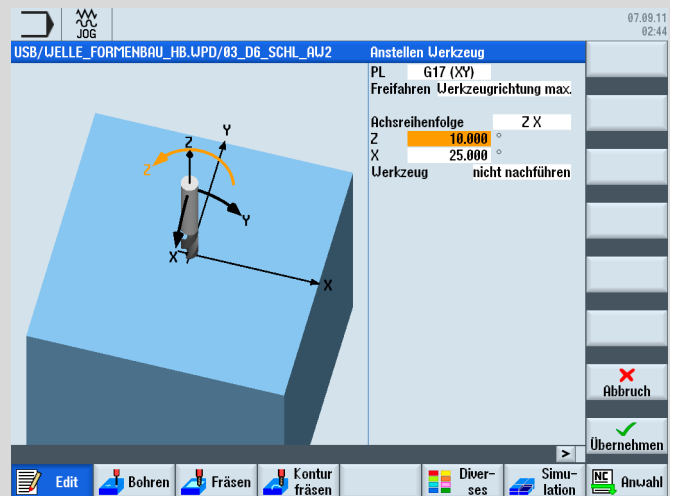
Im dritten Beispiel wurde die X-Achse um 25° und die Z-Achse um 10° angestellt.

Schichten 3+2-Achs

```

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

```



```

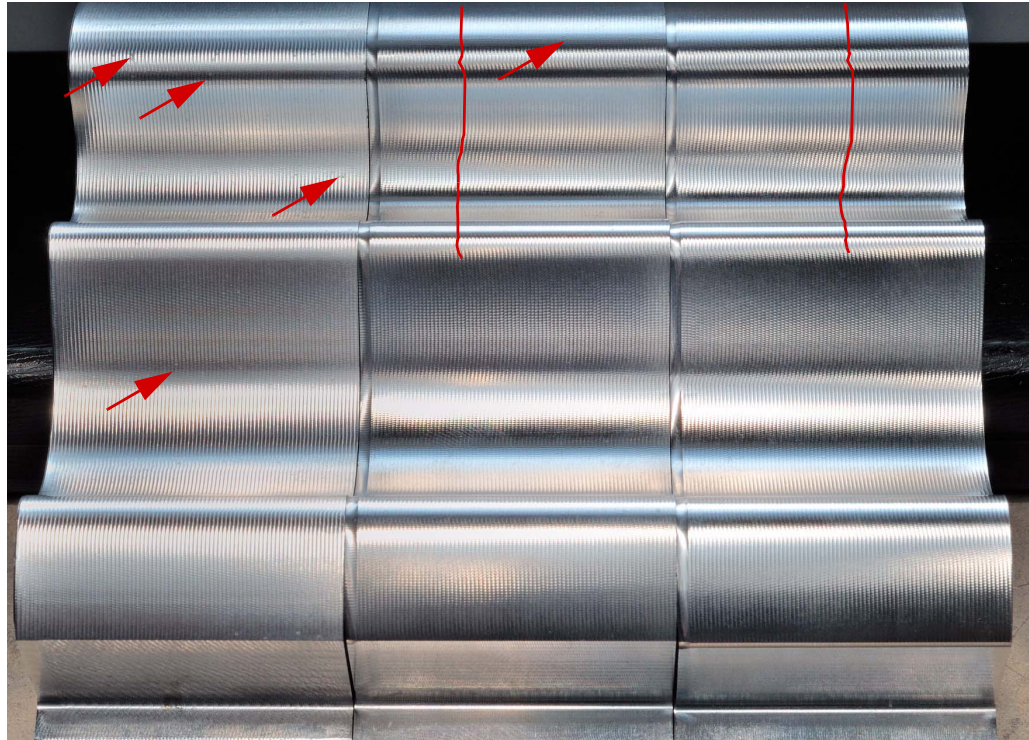
N190 CYCLE832(0.005,1,1) ; High Speed Settings Schichten mit
          Toleranz 0.005
N200 G00 X-3.9247 Y-5.5063 Z10 ; Anfahren mit G0
N210 G00 X-3.9247 Y-5.5063 Z-6.7226 ;
N220 G01 X-3.9247 Y-5.5063 Z-11.7226 F=R1 ; Start der Bearbeitung
N230 G01 X-3.9224 Y-5.503 Z-11.7235 F=R2 ;
N290 ... ;
N4580 G00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

```

7.6 Vergleich der drei Varianten

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

Fräsvarianten Welle



3-Achs

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

3+1-Achs

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

3+2-Achs

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



Nachschlagen

Inhalt	Seite
8.1 Höherwertige Funktionen im Überblick	126
8.2 Weitere Informationen/Dokumentationen	136
8.3 Stichwortverzeichnis	138

8.1 Höherwertige Funktionen im Überblick

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

Wegbefehle

Sprachelemente mit Kreisinterpolationsprogrammierung

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)
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

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

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 Satzende – 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., Gesamtanschub 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
	Ansonsten Festlegung über Maschinendatum.
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.
	Achtung: Verhalten von ORIMKS über Maschinendatum einstellbar.
ORIWKS	Bezugssystem für den Orientierungsvektor ist das Werkstückkoordinatensystem.
	Achtung: Verhalten von ORIWKS über Maschinendatum einstellbar.

Orientierungsinterpolation

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

Achsinterpolation

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

Vektorinterpolation

ORIVECT Interpolation des Orientierungsvektors in einer Ebene (Großkreisinterpolation)

ORIPANE Interpolation in einer Ebene (Großkreisinterpolation), Synonym zu ORIVECT

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

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

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 Korrekturebene durch G17 - G19 bestimmt
CUT2DF	2 1/2-D-KORREKTUR mit Korrekturebene 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 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 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-Variablen 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...)	

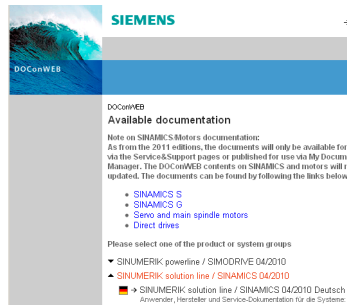
Spezielle Frames

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.

8.2 Weitere Informationen/Dokumentationen

Für die SINUMERIK stehen eine Reihe von Informationsquellen zur Verfügung. Neben der Anwender- und Hersteller-Dokumentation existieren Anwenderforen und Informationen im Internet. Eine Übersicht dieser 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.com

8.3 Stichwortverzeichnis

Number

3- bis 3+2-Achs 119
 3D-Winkelabweichung 38
 5-Achs-Transformation 55

A

ATOL 87
 Advanced Surface 81
 Animated Elements 10
 Automatikbetrieb 34, 35
 Messen des Werkstücks 35
 Werkzeugradius ermitteln 37

B

BRISK 86
 Bahnsteuerbetrieb 84
 Basisframe 48
 Begriffserklärung
 Frames 47
 Schwenken 47
 TRAORI 47
 Beispielwerkstück 119
 Betriebsart AUTO 34
 Betriebsart JOG 29

C

CAD-CAM-CNC 8
 CAM System 19
 COMCAD
 Kompressor-Funktion 16
 COMPCAD 83
 COMPOF 83
 CTOL 80, 87
 CUST_832 76
 CYCLE800 49
 CYCLE832 22, 76
 Parameter 77
 CYCLE995 38
 CYCLE996 39
 CYCLE997
 Beispiel 35

D

DYNFINISH 90
 DYNORM 90
 DYNPOS 90

DYNROUGH 90
 DYNSEMIFIN 90
 Dynamisches Verhalten 128

E

EXTCALL 22, 25
 Ebene ausrichten 29, 34
 Beispiel 30
 Ecke messen 29
 Ermitteln der Werkzeuglänge 36, 42
 Externe Speichermedien 25

F

FFWOF 86
 FFWON 86
 FIFOCTRL 89
 Formenbauansicht 42
 Frame, Frames 134
 Frame-Operatoren 134
 Programmierbare Frames 134
 Freiformflächen 112
 Beispiel 113
 Freiformflächenbearbeitung 15

G

G645 84
 G-Code Gruppe 59 82
 Gabel 14
 Genauigkeit 15, 20, 76
 Geschwindigkeit 15, 76
 Geschwindigkeitsprogrammierung 128
 Glättung des Orientierungsverlaufs 88
 Grundlagen Simultanbearbeitung 55

H

High Speed Settings 76

J

JOG 32
 Werkzeug messen 32

K

Kante messen 29, 34
 Kinematik berechnen 40
 Kinematiken 14
 Kinematikmesszyklus 39
 Kompressor 16, 83, 127

Kompressor-Funktion 16

Koordinatensysteme 48

L

Linearachsen 12

Look Ahead 128

Look ahead 84

M

MKS 26

Maschinenkinematiken 49

Messen in JOG und AUTOMATIK 28

Messtaster 29, 32, 35

Messtaster kalibrieren 29

Messzyklen 28, 29, 36

 anwählen 29

Messzyklen in AUTOMATIK 34

Messzyklen in JOG 29

Mitzeichnen 43

N

Nullpunktverschiebungen 26

O

OIRMKS 70

ORIXES 71

ORICONxx 72

ORIPATH 74

ORISON 22, 88

ORIVECT/ORIPLANE 71

ORIWKS 70

OTOL 80, 87

Oberflächengüte 15, 76

Oberflächenqualität 8

Orientierungsinterpolation 66

P

Programmierbares Überschleifen

 Splineinterpolation 16

Programmierung Richtungsvektor 13

Programmierung Rundachsen 13

Programmmanager 24

Programmstruktur

 CYCLE832 im Hauptprogramm 21

 CYCLE832 im Unterprogramm 23

Prozesskette 8, 18

 CAD - CAM - CNC 11

Prozessmessen 34

R

Rechtwinklige Ecke 30

Richtungsvektor 13

Ruck 129

Ruckbegrenzung 86

Rundachsen 12, 14

Rundachspositionen 13

S

SINUMERIK MDynamics 9

SINUMERIK Operate 10

SOFT 86

SPATH 87

Schwenken

 Cycle800 49

Schwenkkopf 49

Schwenktisch 49

Sehnenfehler 58

Simulation 41

Spline 16

Spline-Kompressor 83

Strukturteile

 Beispiel 101

 Funktionen 100

T

TOFFL 32

TOFFR 32

TRAORI 55

 Programmierung 59

Tasche messen 35

Tasche/Bohrung messen 29

Technologie G-Gruppen 90, 128

Toleranz 20

Toleranz_Tol. 78

Triebwerks- und Turbinenkomponenten 106

U

UPATH 87

V

VCS 96

VNCK - Virtuelle Maschine 97

Volumetric Compensation System 96

Vorpositionieren mit CYCLE800 120

Vorsteuerung 86, 129

W

WKS 26
Wegbefehle 126
Werkstück
 einrichten 29
Werkstück messen in AUTOMATIK 34
Werkstückvisualisierung 41
Werkzeug
 messen in JOG 32
Werkzeug messen 36
Werkzeug messen in AUTOMATIK 36
Werkzeug messen in JOG 31
Werkzeugbezugspunkt 31
Werkzeuge vermessen 31
Werkzeuggeometrien 31
Werkzeugliste 27
Werkzeugorientierung 60
 Flächennormalenvektor 63
 LEAD/TILT 63
 ORIEULER/ORIRPY 62
 Richtungsvektor 61
 Rundachspositionen 60, 62
Werkzeugradiuskorrektur 133
Werkzeugtabelle 31
Werkzeugtyp
 Fräserarten 32
Werkzeugverschleißliste 27
Werkzeugverwaltung 27

Z

Zapfen messen 34
Zapfen/Bohrung messen 29
nutierte Achse 10, 14

Weitere Informationen

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

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
6FC5095-0AB10-0AP3
© Siemens AG 2009-2013