

# SINUMERIK live: Dynamische 5-Achsbearbeitung direkt programmieren in SINUMERIK Operate

Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen

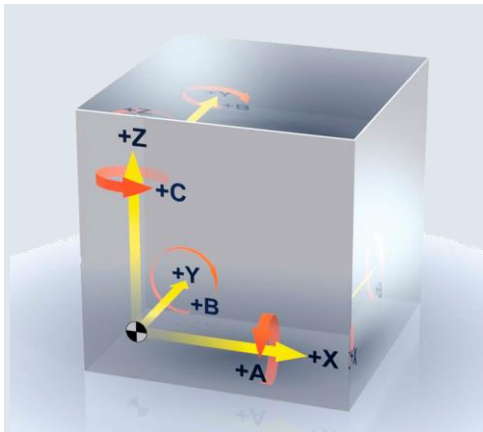
# Dynamische 5-Achsbearbeitung direkt programmieren in SINUMERIK Operate – Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen



- 1 Wiederholung Grundlagen
- 2 5-Achstransformation
- 3 Werkzeugorientierung
- 4 3D-Fräserradiuskorrektur
- 5 Beispielwerkstück live an der Maschine
- 6 Zusammenfassung

# 1 Wiederholung Grundlagen

## Vergleich 3+2 und 5-Achs-Fräsbearbeitung



### Gemeinsamkeit:

3 Linearachsen (X, Y und Z)  
und  
2 Rundachsen (A, B oder C)

### Unterschied:

3+2-Achs: statische Anstellung des Werkzeugs  
5-Achs simultan: dynamische Anstellung des Werkzeugs

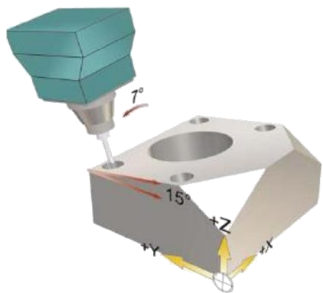
## Wann verwendet man was?

### 3+2-Achs:

Schruppen/Vorschlichten von 3D-Konturen

Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit  
(bei Großteil aller Bauteile am Markt  
ist die 3+2-Bearbeitung ausreichend)

Werkzeug- und Vorrichtungsbau



### 5-Achs simultan:

Endbearbeitung und Schlichten

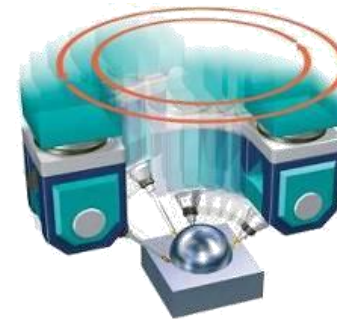
Werkstücke mit tiefen Kavitäten oder  
häufigen Krümmungswechseln

Hohe Oberflächengüte

Freiformflächen (Formenbau)

Turbinen- und Triebwerkskomponenten

Strukturteile (Flugzeugindustrie)

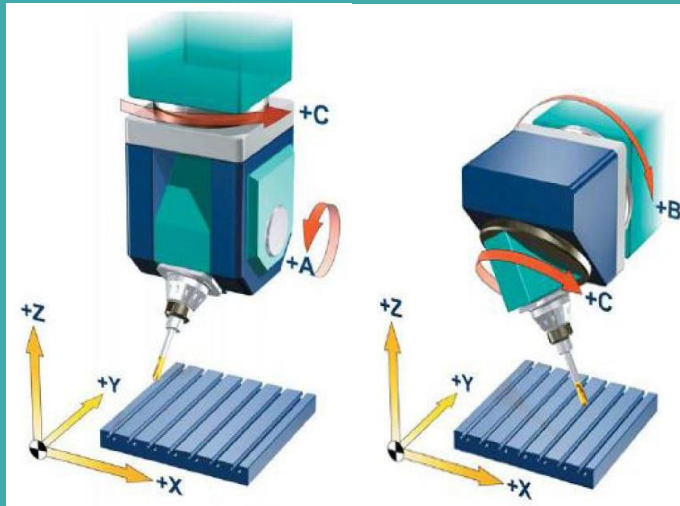


# 1 Wiederholung Grundlagen Mechanischer Aufbau von Fräsmaschinen

Sowohl für die 3+2 Achs als auch für die 5-Achs simultan Bearbeitung benötigt man zur Orientierung des Werkzeuges **zusätzlich zu den drei Linearachsen (X, Y und Z) zwei Drehachsen (A, B oder C)**.

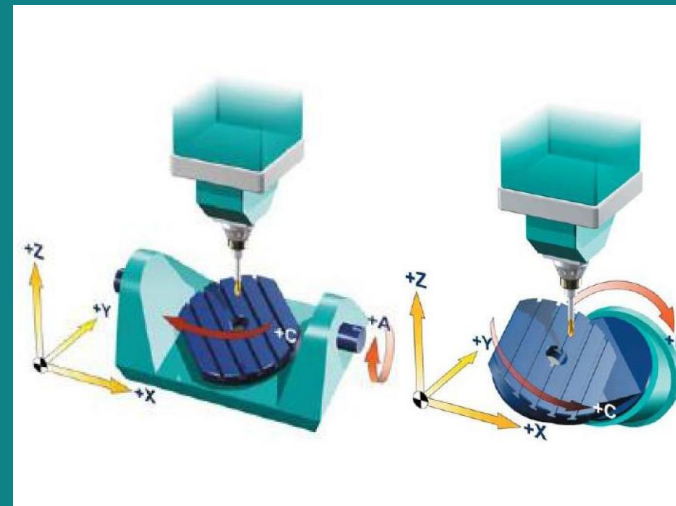
Abhängig von der kinematischen Beschaffenheit der Maschine können diese 2 Achsen durch **einen schwenkbaren Kopf und/oder einen schwenkbaren Tisch** eingestellt werden.

## Kopf-Kopf-Kinematik



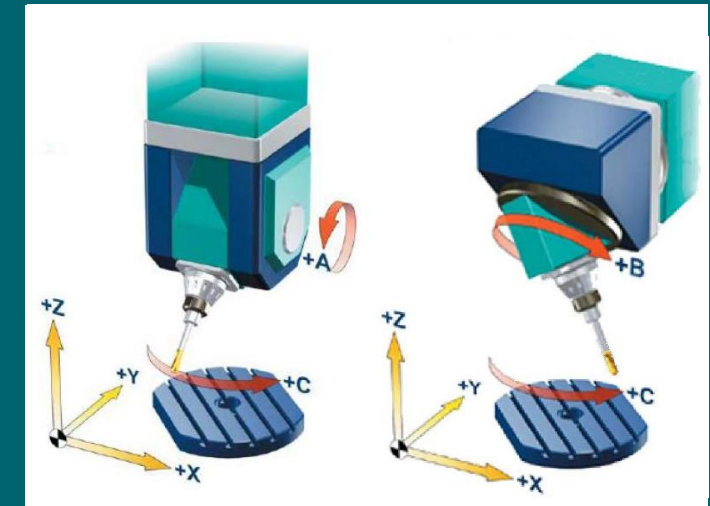
Schwenkbare Kopf

## Tisch-Tisch-Kinematik



Schwenkbare Kopf  
und schwenkbare Rundtisch

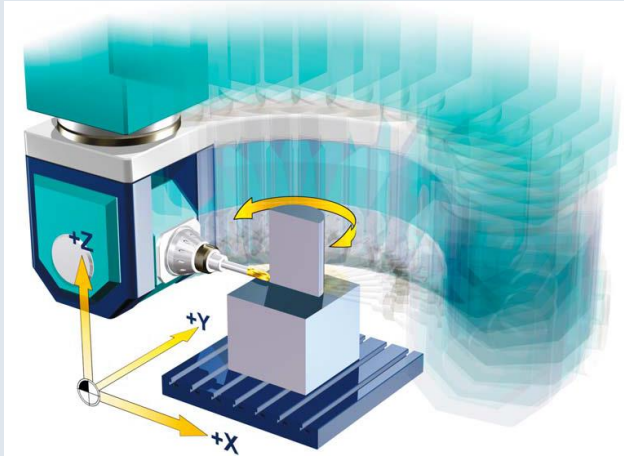
## Gemischte Kinematik



Schwenkrundtisch

# 1 Wiederholung Grundlagen

## Mechanischer Aufbau von Fräsmaschinen – Beispiel

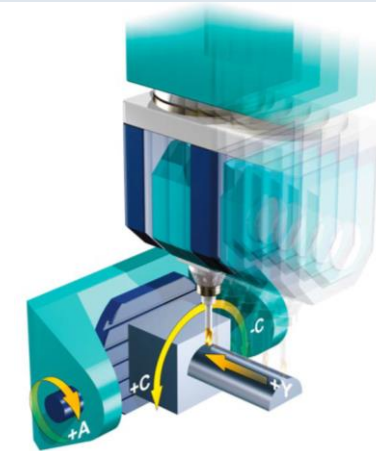


### Bewegungsablauf Kopf/Kopf Kinematik

- Maschinenkinematik mit den Rundachsen A und C im Kopf
- Halbkreis in X/Y-Ebene durch Linearachsen X und Y
- Werkzeug immer senkrecht auf der Werkstückoberfläche durch Drehung des Werkzeugs um  $180^\circ$  um die Z-Achse  $\rightarrow$  C-Achse
- Beschreibung eines Halbkreises (ein Umlauf) durch die Achsen X, Y und C

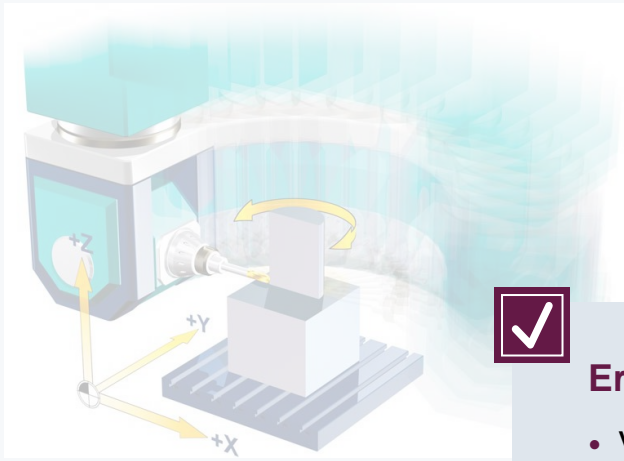
### Bewegungsablauf Tisch/Tisch Kinematik

- Maschinenkinematik mit den Rundachsen A und C im Tisch
- Werkzeug senkrecht zu Werkstückoberfläche  $\rightarrow$  Drehung der A-Achse um  $90^\circ$
- Halbkreis durch Drehen der C-Achse jeweils von  $+90^\circ$  auf  $-90^\circ$
- Beschreibung eines Halbkreises (ein Umlauf) nur durch die C-Achse



# 1 Wiederholung Grundlagen

## Mechanischer Aufbau von Fräsmaschinen – Beispiel



### Bewegungsablauf Kopf/Kopf Kinematik

- Maschinenkinematik mit den Rundachsen A und C im Kopf
- Halbkreis in X/Y-Ebene durch Linearachsen X und Y
- Werkzeug immer senkrecht auf der Werkstückoberfläche durch Drehung des Werkzeugs um 180° um die Z-Achse → C-Achse

### Erkenntnis:

- Völlig unterschiedliche Maschinenbewegungen führen zum selben Ergebnis
- Bewegung der Werkzeugspitze und Werkzeugorientierung relativ zur Oberfläche sind identisch

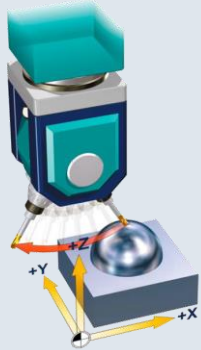
### Bewegungsablauf Tisch/Tisch Kinematik

- Maschinenkinematik mit den
- Werkzeug senkrecht zu Werkstückoberfläche → Drehung der A-Achse um 90°
- Halbkreis durch Drehen der C-Achse jeweils von +90° auf -90°
- Beschreibung eines Halbkreises (ein Umlauf) nur durch die C-Achse



## 2 5-Achstransformation Gleichzeitige Bewegung der Linear- und Rundachsen

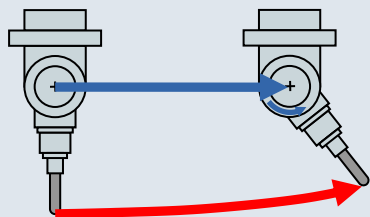
### Werkzeugorientierung:



Bewegung der Rundachse zur Orientierung des Werkzeugs

→ Werkzeugspitze beschreibt Kreisbahn

### Synchrone Bewegung:



Lineare Interpolation der Rund- und Linearachse

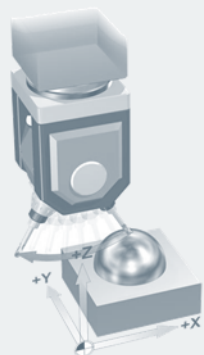
→ Gekrümmte Linie

**Wie lässt sich dieser Effekt bei der simultanen 5-Achsbearbeitung vermeiden?**

→ Komplizierte Verrechnung der Achsbewegung wäre nötig, um diese unerwünschte Bewegung zu vermeiden.

## 2 5-Achstransformation Lösung: TRAORI

### Werkzeugorientierung:



Bewegung der Rundachse zur Orientierung des Werkzeugs

→ Werkzeugspitze beschreibt Kreisbahn

TRAORI



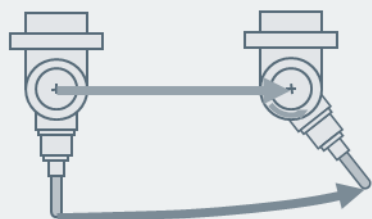
### Werkzeugorientierung:



Bewegung der Rundachse und Ausgleichsbewegungen der Linearachsen zur Orientierung des Werkzeugs

TRAORI ermöglicht eine **komfortable Programmierung der Werkzeugspitze unabhängig vom mechanischen Aufbau der Maschine.**

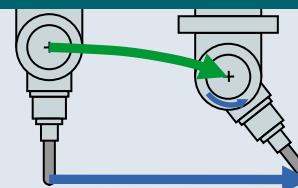
### Synchrone Bewegung:



Lineare Interpolation der Rund- und Linearachse

→ Gekrümmte Linie

TRAORI



→ Gerade Linie



## 2 5-Achstransformation

### Aufgaben der 5-Achstransformation

```
SIEMENS
NC/
N10 G17 G71 G90 G54 G64
N20 T="SF_D16_3SN_VHM_SL"
N30 M6
N40 S12000 M3
G0 Z55
N50 TRAORI
N60
```

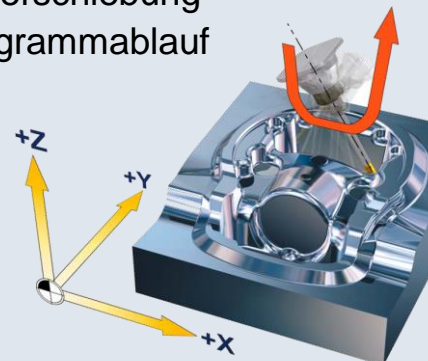
Mit dem Befehl TRAORI wird die 5-Achstransformation eingeschaltet.

Positionsangaben beziehen sich ab jetzt immer auf die Spitze des Werkzeugs.

→ NC Programme beschreiben nur die relative Bewegung zwischen Werkzeug und Werkstück.

#### Was macht TRAORI?

- Transformation der relativen Bewegung zwischen Werkzeug und Werkstück in Maschinenachsbewegung.
- Automatische Berechnung der Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z bei Änderung der WZ-Orientierung
- Alle Achsen werden gleichzeitig interpoliert
- Veränderungen der Werkzeuglänge und Nullpunktverschiebung werden im Programmablauf berücksichtigt.



→ Kinematik- und werkzeugunabhängige NC-Programme.

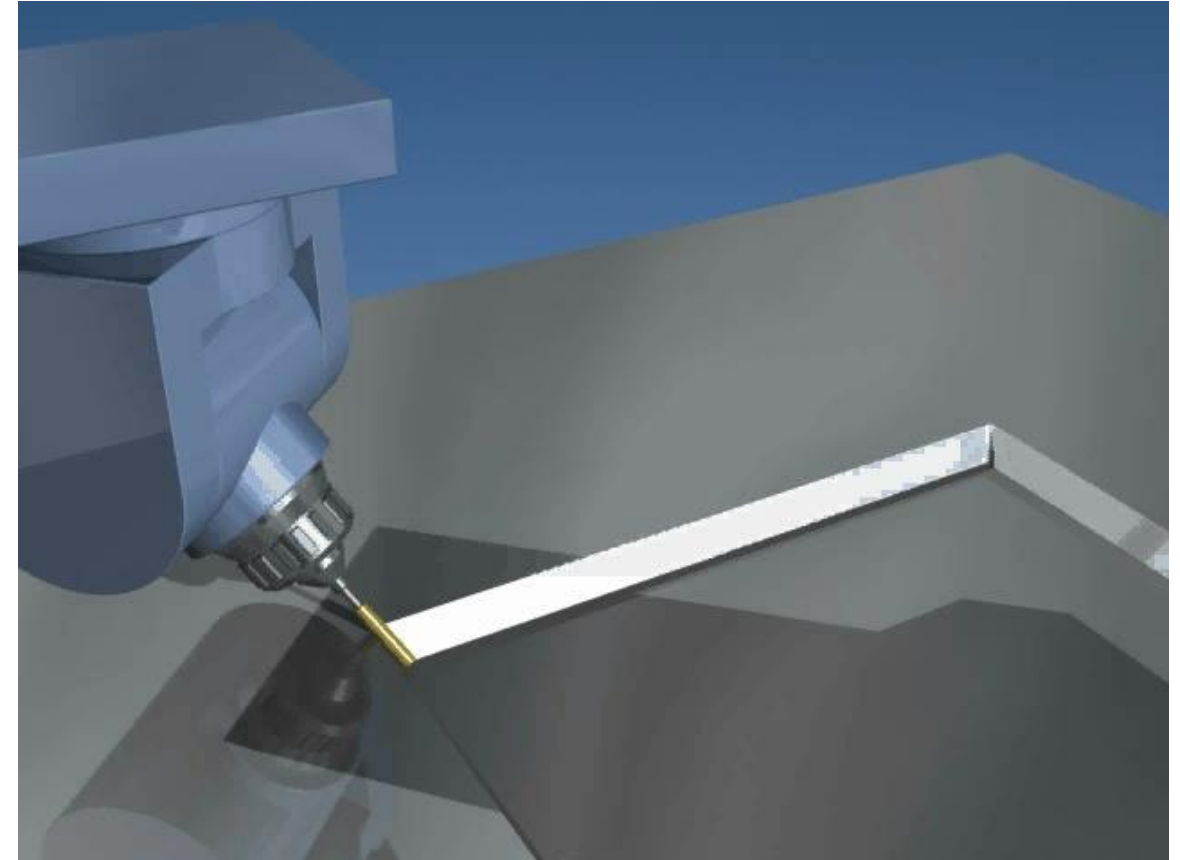
```
SIEMENS
NC/
N200 X20 Y20 A3=0.35 B3=-0.35 C3=1
N210 G40 X0 Y0 Z2 A3=0 B3=0 C3=1
N220 TRAFOOF
N230 M30
```

Mit dem Befehl TRAFOOF wird die 5-Achstransformation ausgeschaltet.

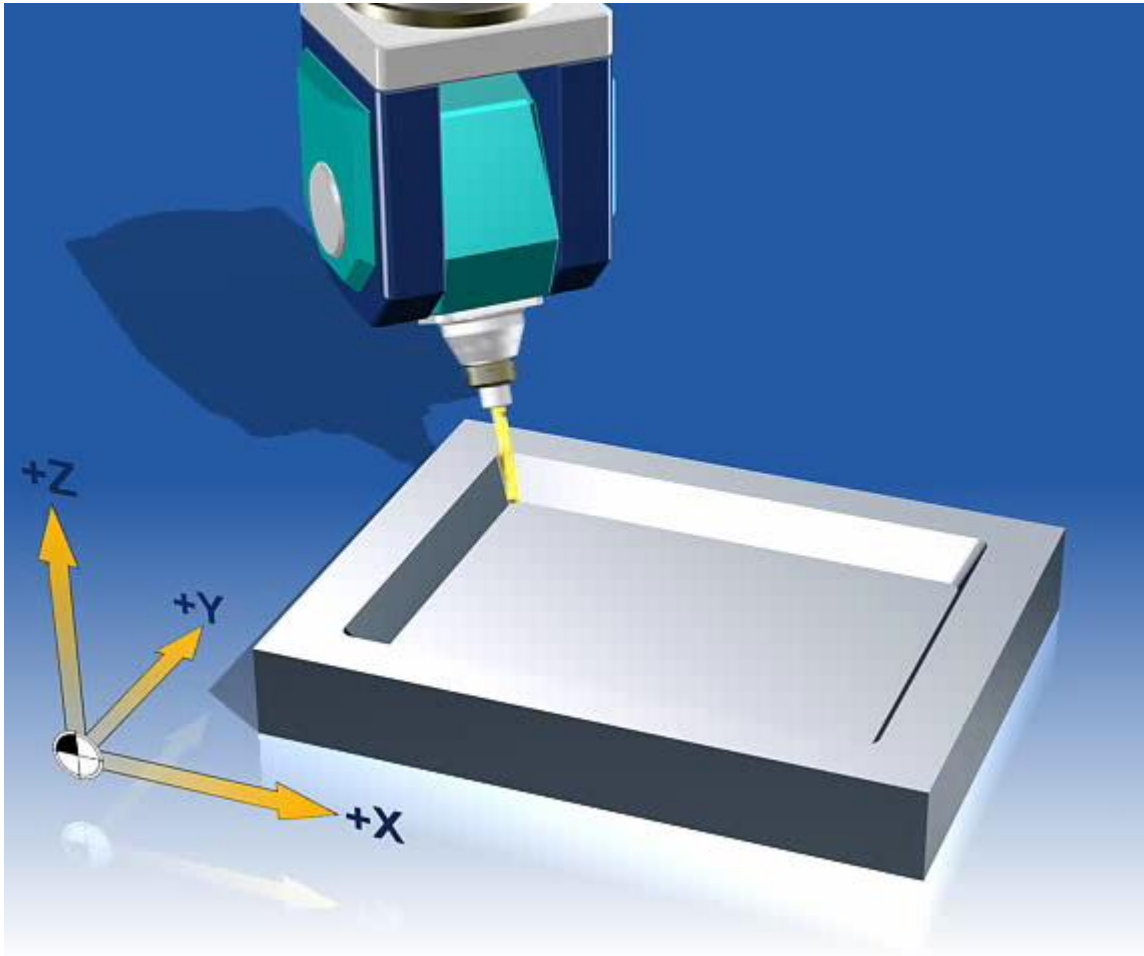
### 3 Werkzeugorientierung Linearinterpolation ORIAxes

#### ORIAxes

- Befehl für Linearinterpolation = Standardinterpolationsart
- Lineare Interpolation der Rundachsen synchron zur Bewegung der Werkzeugspitze
- Verlauf der Orientierung abhängig von Maschinenkinematik
- Verwendbar, wenn nicht erforderlich, dass sich Werkzeug in einer genau definierten Fläche im WKS bewegt (Bsp.: Stirnfräsen mit Kugelfräser)

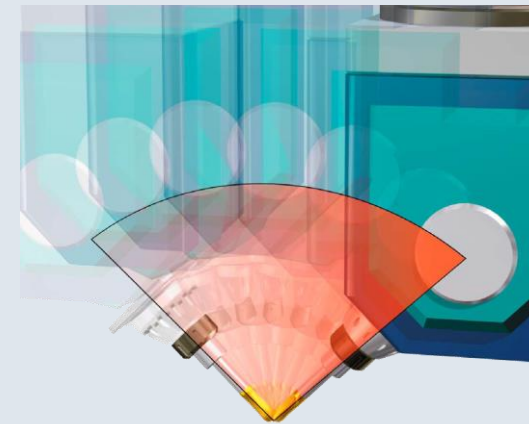


### 3 Werkzeugorientierung Vektorinterpolation ORIVECT



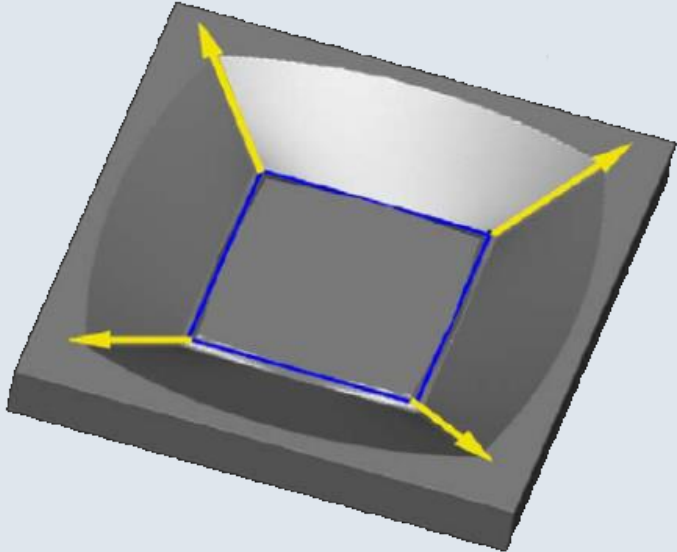
#### ORIVECT

- Befehl für Vektorinterpolation
- Interpolation des Vektors auf Ebene durch Start- und Endvektor aufgespannt
- Orientierungsänderungen durch Verfahren der Rundachsen auf dem kürzesten Weg
- Häufig beim Fräsen von Taschen mit meist ebenen und geneigten Wänden



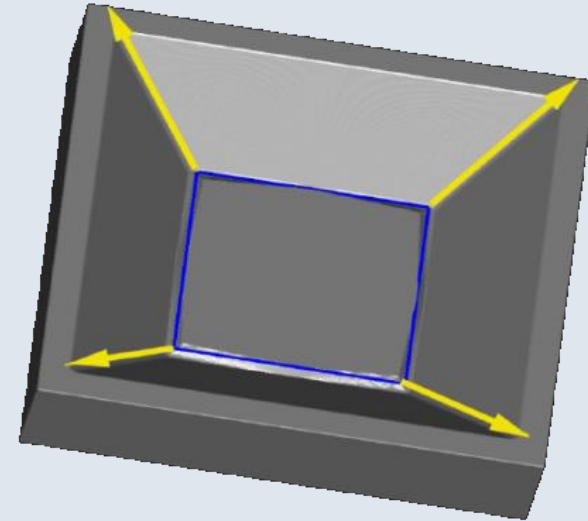
### 3 Werkzeugorientierung Vergleich ORIAXES und ORIVECT

#### ORIAXES



- Start- und Endpunkt der Bewegung sind als Vektoren angegeben (gelb).
- Durch die lineare Interpolation der Linear- und Rundachsen entsteht eine bauchige Kontur an der oberen Fläche.
- Trotz der bauchigen Kontur an der oberen Fläche, hat der Taschenboden gerade Kanten (blau).

#### ORIVECT



- Start- und Endpunkt der Bewegung sind als Vektoren angegeben (gelb).
- Durch die Vektorinterpolation wird mit den Vektoren eine Ebene aufgespannt, auf der der Fräser verfährt.
- Sowohl die Kante an der Oberseite als auch die Kante am Taschenboden (blau) sind gerade.

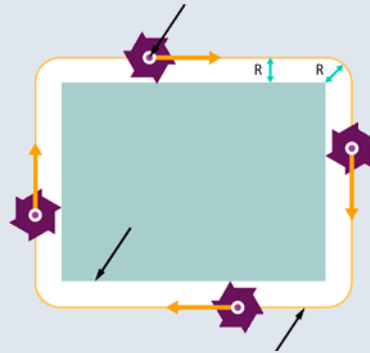
## 4 3D-Fräserradiuskorrektur 2D-Fräserradiuskorrektur zu 3D-Fräserradiuskorrektur

### 2 ½ D-Fräserradiuskorrektur = konventionell

Kontur, Mittelpunktsbahn Fräser

→ 2 ½ D (G41/42)

→ WZ-Orientierung immer gleich



### 3D-Fräserradiuskorrektur = Erweiterung

Kontinuierliche Änderung der WZ-Orientierung

→ Kontinuierliche Änderung der Korrekturrichtung

→ Definition Korrekturrichtung als Vektor im Raum

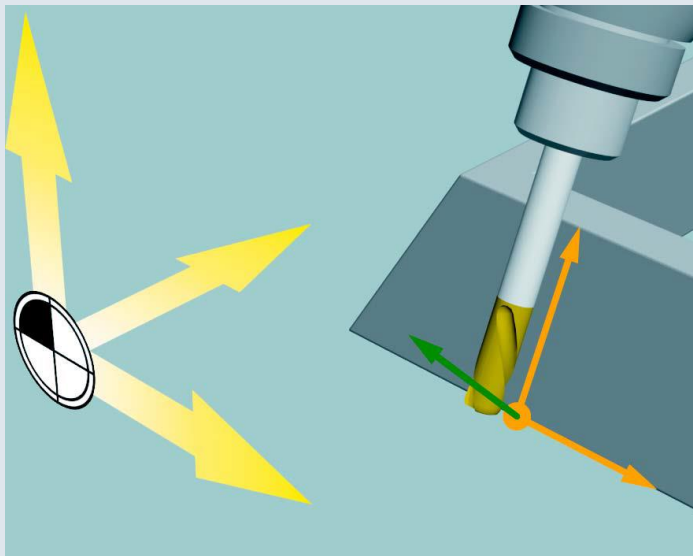
### 3D-Fräserradiuskorrektur

- Aktivierung der 5-Achstransformation → TRAORI
- Aktivierung der 3D-Fräserradiuskorrektur → CUT3DC/DF
- Korrektur von zylindrischen Werkzeuggeometrien:
  - Schafffräser mit und ohne Eckenverrundung
  - Vollradiusfräser
  - zylindr. Gesenkfräser
  - Kegeliges Gesenkfräser
  - Kegelstumpfräser mit und ohne Eckenverrundung

## 4 3D-Fräserradiuskorrektur Unterscheidung beim Umfangs- und Stirnfräsen

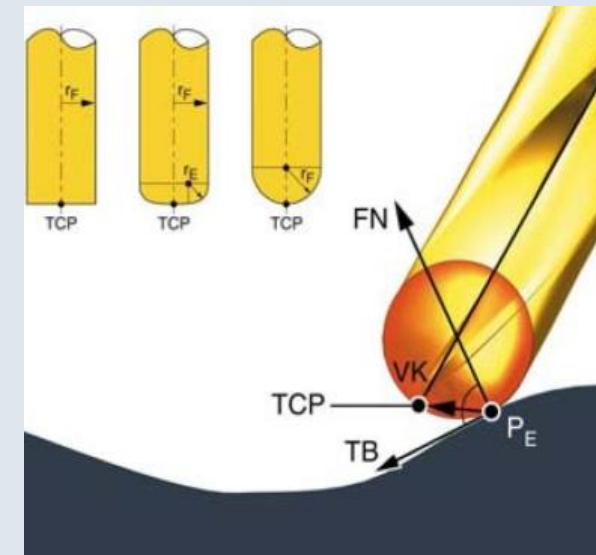
### Umfangsfräsen CUT3DC

- Korrekturrichtung immer senkrecht zur Ebene auf der sich der Fräser bewegt



### Stirnfräsen CUT3DF

- komplexer → Kein konstanter Versatz
- Korrekturwert und -richtung abhängig vom Werkzeugradius und Verrundungsradius
- Werkzeugorientierung relativ zur WS-Oberfläche

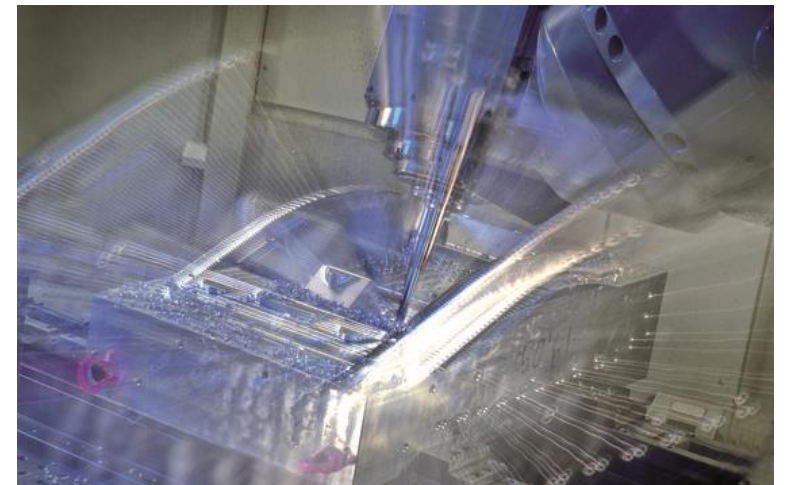
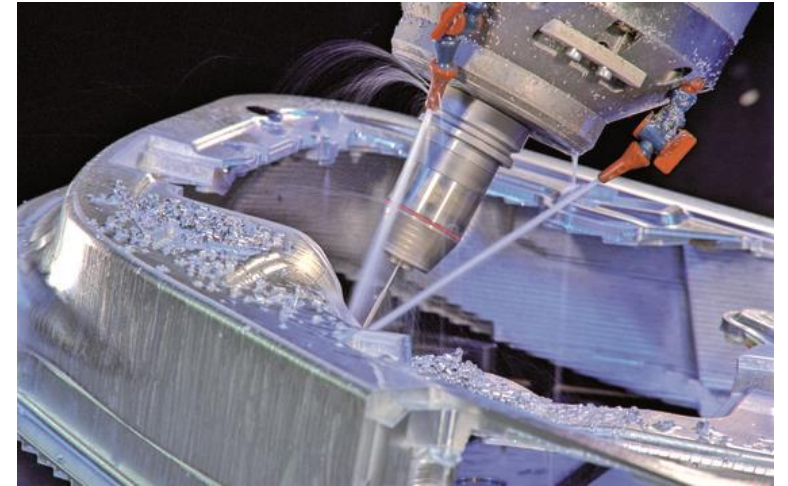


## 6 Zusammenfassung

✓ **Befehl für 5-Achstransformation (TRAORI / TRAF00F):**  
TRAORI ermöglicht eine komfortable Programmierung der Werkzeugspitze, unabhängig von der Kinematik der Maschine.

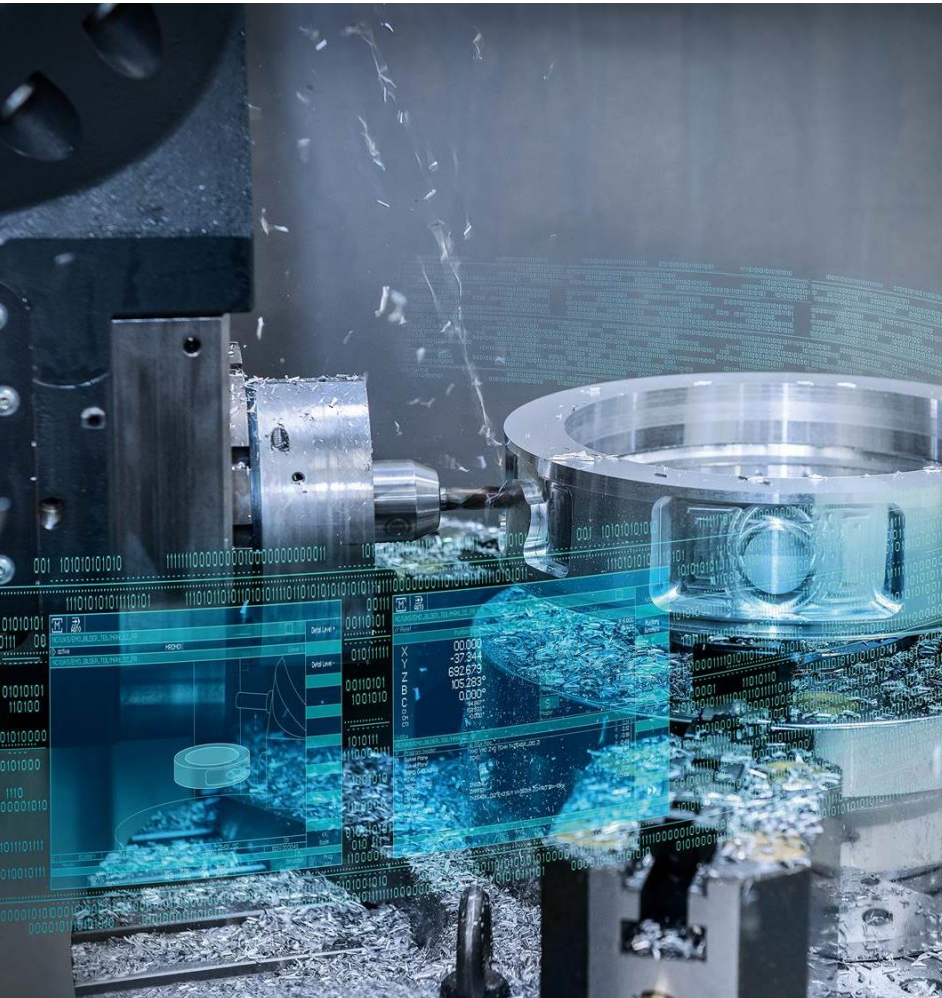
✓ **Orientierungsinterpolationen (ORIXES / ORIVECT):**  
ORIXES ist der Befehl für die Linearinterpolation, ORIVECT der Befehl für die Vektorinterpolation der Werkzeugorientierung.

✓ **3D-Fräserradiuskorrektur (CUT3DC / CUT3DF):**  
Die 3D-Fräserradiuskorrektur berücksichtigt die sich ändernde Bewegung der Werkzeugorientierung.



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**SIEMENS**  
*Ingenuity for life*



**Technologie- und Applikationscenter Erlangen**

**Link zum Video:**

<https://www.youtube.com/playlist?list=PL39653BA860E6182B>

**siemens.de/cnc4you**