

DIGITALE WERKZEUGKISTE FÜR DIE **METALLBRANCHE**

Modul 3: CAD/CAM

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas
Dipl.-Ing. Martin Scharf

DER DIGITAL INNOVATION HUB SÜD ALS
KOSTENLOSES SERVICE FÜR KMU





MODUL 3: CAD / CAM

Partner: TU Graz

Trainer: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas
Dipl.-Ing. Martin Scharf

Datum: 8. November 2024, 9-13 Uhr

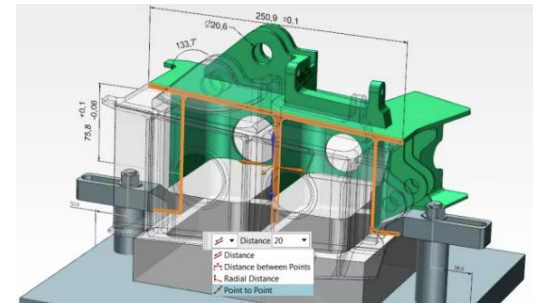
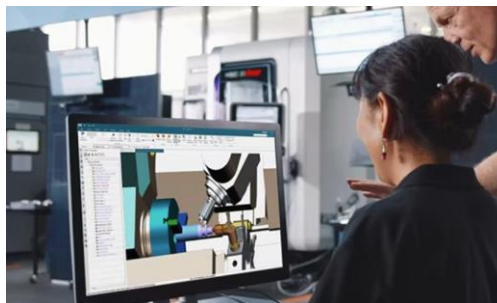
Ort: Campus Technik Lienz, Fachberufsschule Lienz



MODUL 3: CAD / CAM

Kompetenzen:

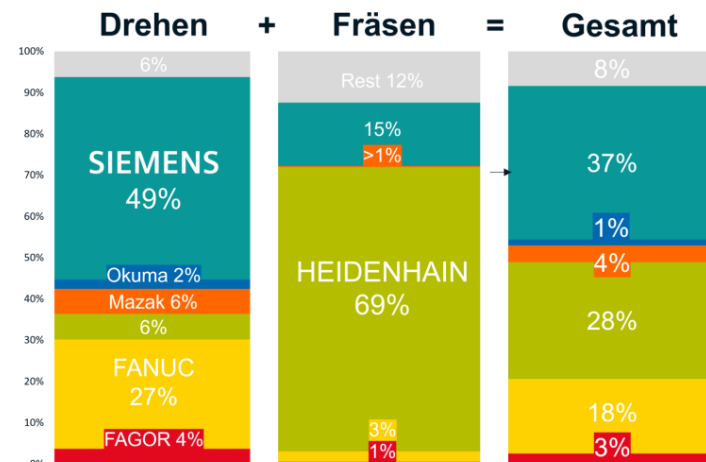
- Was ist CNC wirklich?
- Basics der Zerspanung
- Frässtrategien
- Werkzeugvermessung
- CAM-Programmiersysteme
- DIN-ISO-Programmierung
- Übung 1: Frästasche (Sinutrain)
- Übung 2: Spritzgussform (NX CAM)



Quelle: [NX für die Fertigung | Siemens Software](#)



Quelle: Heidenhain



Quelle: Findus Factory (2023)

Production Lab / Produktionslabor für Zerspanungsforschung

- Forschungs-Schleifmaschine
- CNC-5-Achs-Fräsen mit Ultraschallunterstützung
- CAM-Systeme
- Koordinatenmessmaschine
- CNC-Drehzentren
- Präzisionsfertigung für Prototypen



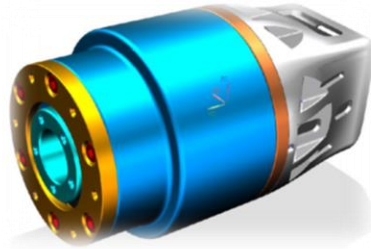
Training Workshop / Neue Lehrwerkstätte seit 2020

- Viel Tradition und didaktisches Know-How in der Werkstattfertigung
- Neue Drehmaschinen mit Zyklusautomatik
- 2 CNC-Fräsmaschinen
- CNC-Unrundschleifen für Höchstpräzision
- Zentrierbohrungsschleifen
- Polymer-3D-Druck



smartfactory@tugraz / Pilotfabrik für Digitale Transformation

- Datendurchgängigkeit von der Konstruktion bis zur Fertigung
- Digitalisierung der Prozesse
- Automation und Robotik
- Security and Safety
- Drahtlos-Kommunikation in Echtzeit
- Datenräume
-



CNC-Steuerungen und Zerspanungstechnik

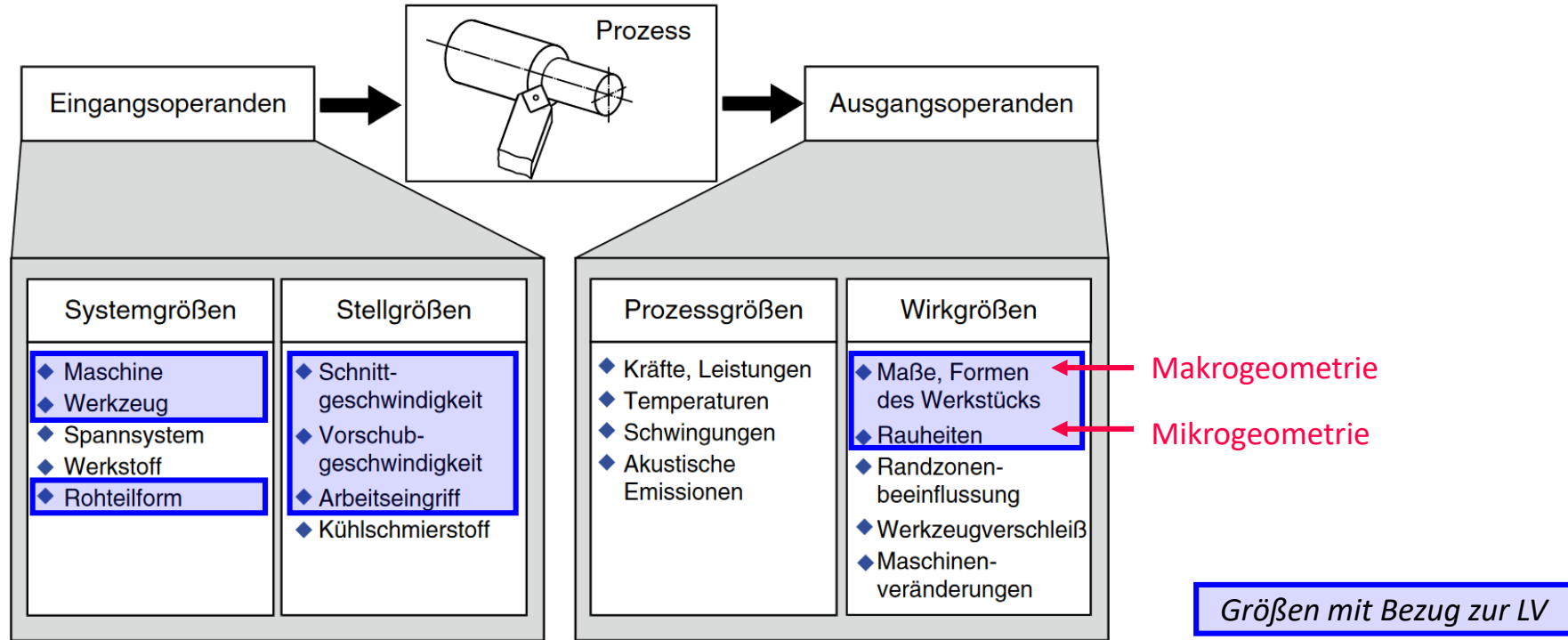
Der Weg zu Computerized Numerical Control

Forderungen an ein neues Steuerungskonzept

- Unbegrenzter **Steuerungsumfang** bezüglich Programmlänge und Bewegungen
- **Keine manuellen** Hilfen durch **Eingriffe** in den Bearbeitungsablauf
- Schnell **austauschbare** und korrigierbare **Ablaufprogramme**
- **Keine Nocken und Endschalter** für unterschiedlich lange Verstellwege
- Definierbare und simultane **3D-Bewegung mehrerer Achsen**
- Schneller **Werkzeugwechsel** inkl. **Vorschubgeschwindigkeiten** und **Drehzahlen**
- Bei Bedarf automatischer **Werkstückwechsel**

Zerspanprozess als System

Quelle: Denkena u. Tönshoff (2011): Spanen: Grundlagen



Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide

Fertigungsverfahren	erreichbare Genauigkeiten																	
	IT-Qualitäten																Rautiefe R_z [μm]	
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0,25	1	2,5	4	10	16
Gießen																		
Sintern																		
Gesenkschmieden																		
Präzisionsschmieden																		
Kaltfließpressen																		
Walzen																		
Schneiden																		
Drehen																		
Bohren																		
Planfräsen																		
Hobeln																		
Räumen																		
Rundschleifen																		

normal erreichbar durch Sondermaßnahmen erreichbar

Quelle: Fritz u. Schmütz (2022): Fertigungstechnik

Theoretische Rautiefe für Fräsen mit Kugelfräser

Theoretische Rautiefe

Eingaben

Durchmesser d [mm]

10

Zeilensprung br [mm]

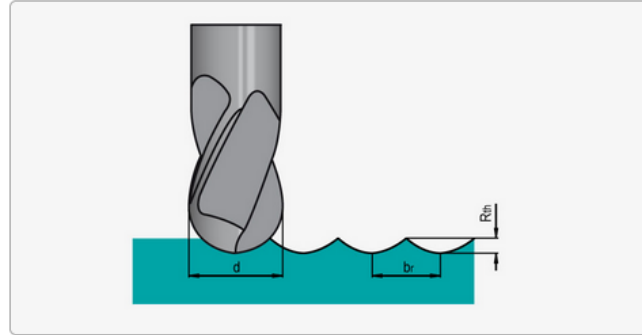
0.2

$$R_{th} = r_{\epsilon} - \sqrt{r_{\epsilon}^2 - \frac{f^2}{4}} \quad R_{th} \approx \frac{f^2}{8r_{\epsilon}}$$

Ergebnis

Rautiefe Rth [mm]

0.001



$$A_w = f \cdot v_c$$

$$A_w = v_c \cdot \sqrt{8 \cdot r_{\epsilon} \cdot R_{th}}$$

Zeitspanfläche abhängig
von theoretischer Rautiefe

$$R_{th} = \frac{d}{2} - \sqrt{\frac{d^2 - br^2}{4}}$$

Quelle: Denkena u. Tönshoff (2011): Spanen: Grundlagen
<https://schnittdaten.meusburger.com/theoretische-rautiefe/>

Berechnungsformeln für allgemeines Drehen

Quelle: Denkena u. Tönshoff (2011): Spanen: Grundlagen

Drehzahl

$$n = \frac{v_c}{D \cdot \pi} \quad \text{min}^{-1}$$

Schnittgeschwindigkeit

$$v_c = D \cdot \pi \cdot n \quad \text{mm/min}$$

Vorschubgeschwindigkeit

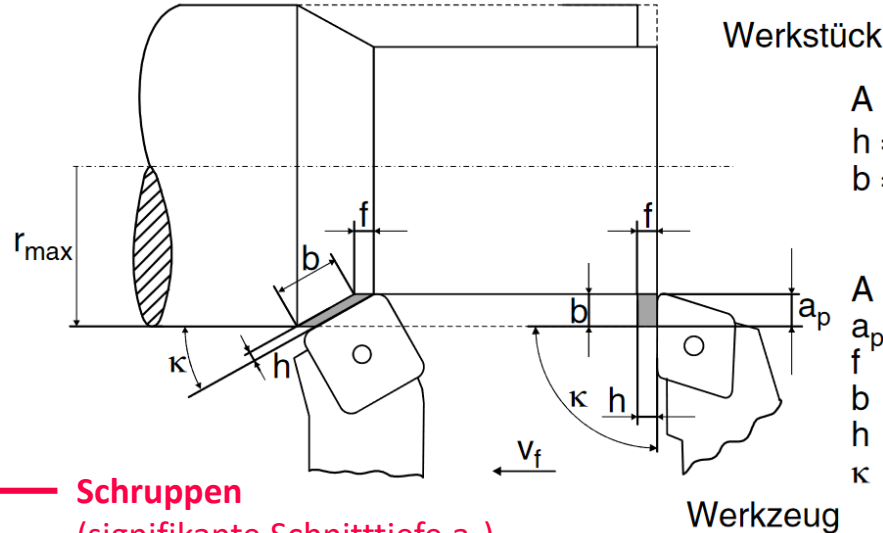
$$v_f = f \cdot n \quad \text{mm/min}$$

Zeitspanvolumen

$$Q_w = a_p \cdot f \cdot v_c \quad \text{mm}^3/\text{min}$$

Zeitspanfläche

$$A_w = f \cdot v_c \quad \text{mm}^2/\text{min}$$



$$A = a_p \cdot f = b \cdot h$$

$$h = f \cdot \sin \kappa$$

$$b = a_p / \sin \kappa$$

A = Spanungsquerschnitt
 a_p = Schnitttiefe
 f = Vorschub
 b = Spanungsbreite
 h = Spanungsdicke
 κ = Einstellwinkel

← **Schruppen**
 (signifikante Schnitttiefe a_p)

← **Schlichten**
 (Schnitttiefe a_p sehr klein)

Theoretische Rautiefe

$$R_{th} \approx \frac{f^2}{8r_\epsilon} \quad \mu\text{m}$$

Berechnungsformeln für Bohren

Drehzahl

$$n = \frac{v_c}{D \cdot \pi} \quad \text{min}^{-1}$$

Vorschubgeschwindigkeit

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad \text{mm/min}$$

Vorschub f mit z = 2 (Standard)

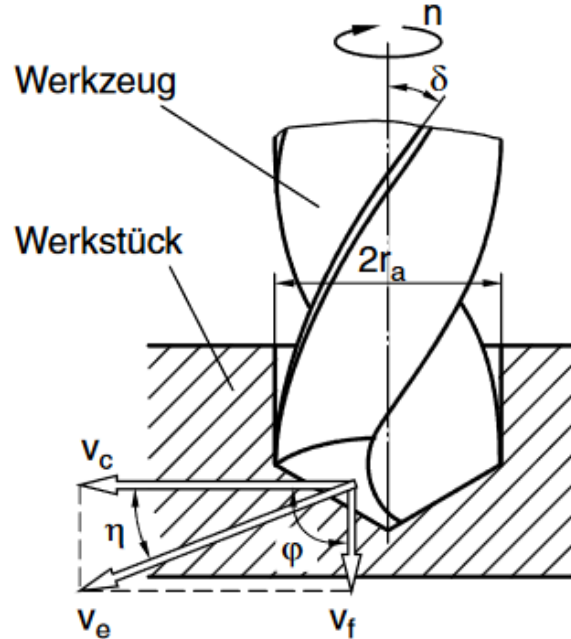
$$f = f_z \cdot z \quad \text{mm}$$

Zeitspanvolumen

$$Q_w = \frac{D}{4} \cdot f \cdot v_c \quad \text{mm}^3/\text{min}$$

Zeitspanfläche

$$A_w = a_e \cdot v_f \quad \text{mm}^2/\text{min}$$



n	Drehzahl	min ⁻¹
D	Schneiddurchmesser	mm
v _c	Schnittgeschwindigkeit	mm/min
v _f	Vorschubgeschwindigkeit	mm/min
f _z	Zahnvorschub	mm
f	Vorschub pro Umdrehung	mm
A	Spanungsquerschnitt	mm ²
Q	Zeitspanvolumen	mm ³ /min

Quelle: Denkena u. Tönshoff (2011): Spanen: Grundlagen

Berechnungsformeln für allgemeines Fräsen

Drehzahl

$$n = \frac{v_c}{D \cdot \pi} \quad \text{min}^{-1}$$

Vorschubgeschwindigkeit

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad \text{mm/min}$$

Zahnvorschub

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad \text{mm/z}$$

Zeitspanvolumen

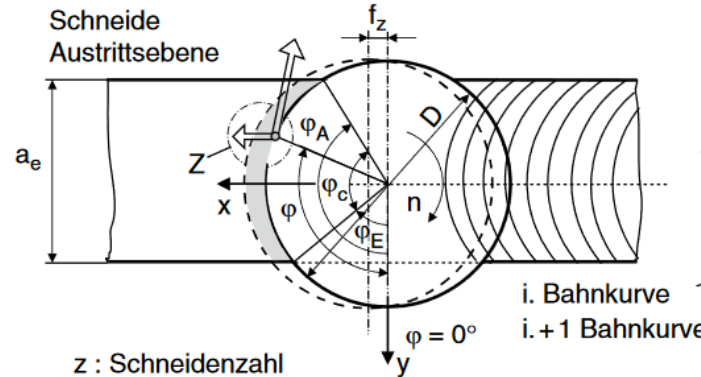
$$Q_w = a_e \cdot a_p \cdot v_f \quad \text{mm}^3/\text{min}$$

Zeitspanfläche

$$A_w = a_e \cdot v_f \quad \text{mm}^2/\text{min}$$

Schnittbreite

$$a_e = \frac{D}{2} (\cos \varphi_A - \cos \varphi_E) \quad \text{mm}$$

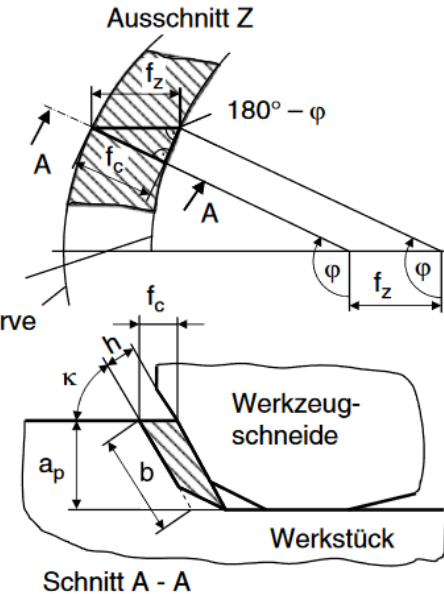


z : Schneidenzahl

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z}$$

$$f_c = f_z \cdot \sin \varphi$$

$$h = f_z \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa$$

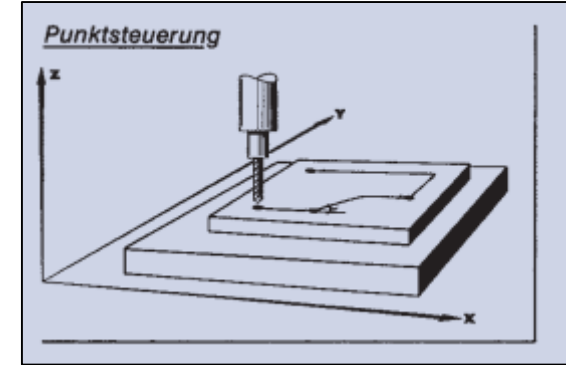


Quelle: Denkena u. Tönshoff (2011): Spanen: Grundlagen

Steuerungsarten

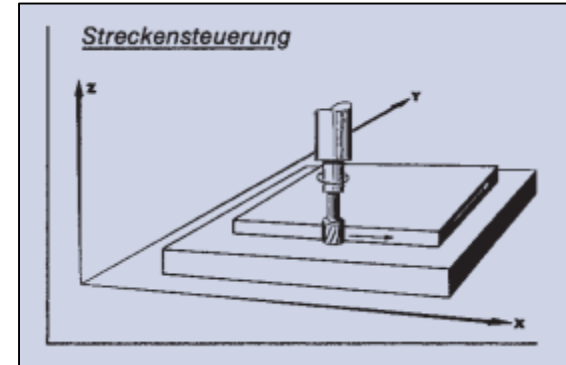
Punktsteuerung

- Nur Positionierbetrieb
- Alle Achsen fahren gleichzeitig im Eilgangvorschub
- Werkzeug ist nicht im Eingriff
Bsp.: Bohr-, Stanz- oder Ablängmaschinen



Streckensteuerung

- Einzelne Achsen fahren nacheinander
- Achsbewegung erfolgt im programmierten Vorschub
- Die Fahrbewegungen sind immer achsparallel
Bsp.: Vorschubsteuerung für Bohrmaschine



Quelle: Kief u. Roschiwal (2020): CNC-Handbuch

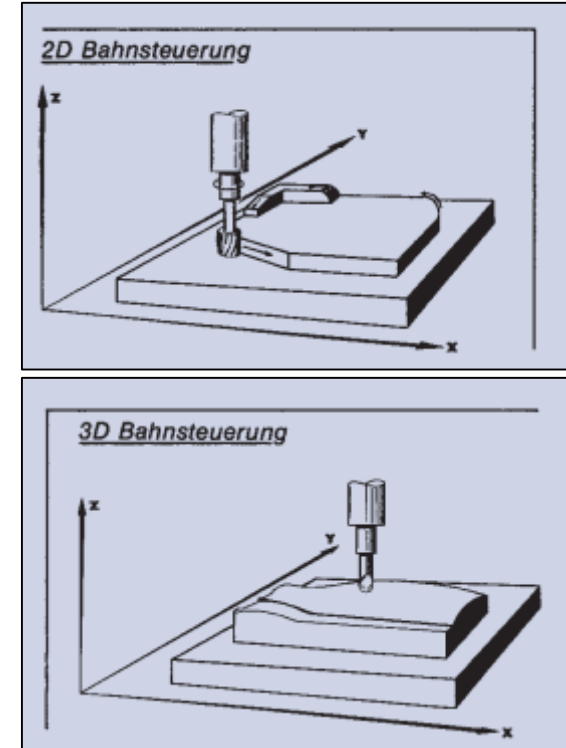
Steuerungsarten

Bahnsteuerung

2 oder mehrere Achsen verfahren interpolierend

- **2D-Bahnsteuerung:** Bearbeitungstiefe z ist konstant
Bsp.: Planfräsen, 2D-Konturfräsen, Nutenfräsen
- **2½D-Bahnsteuerung:** Zustelltiefe z wird variiert („Abzeilen“)
Bsp.: Taschenfräsen, Zapfenfräsen, Gewindefräsen
- **3D-Bahnsteuerung:** Auch Werkzeug wird geschwenkt
Für echtes 3D-Fräsen ist eine 5-Achs-Kinematik erforderlich
 - 3 Achsen für Bahnsteuerung der Werkzeugspitze
 - 2 Achsen für Orientierung der Werkzeugachse
 Bsp.: 3D-Flächen, Freiformflächen

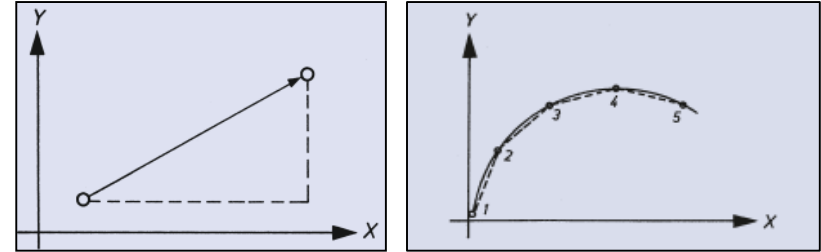
Quelle: Kief u. Roschiwal (2020): CNC-Handbuch



Interpolationsarten

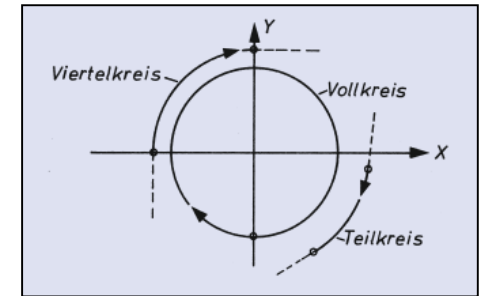
Linear- oder Geradeninterpolation

Werkzeug bewegt sich geradlinig, d.h. linear vom Start- zum Zielpunkt.
Für beliebig viele Achsen (5 sinnvoll)
Durch Polygonzüge sind i.A. alle Profil- und Raumkurven erzeugbar



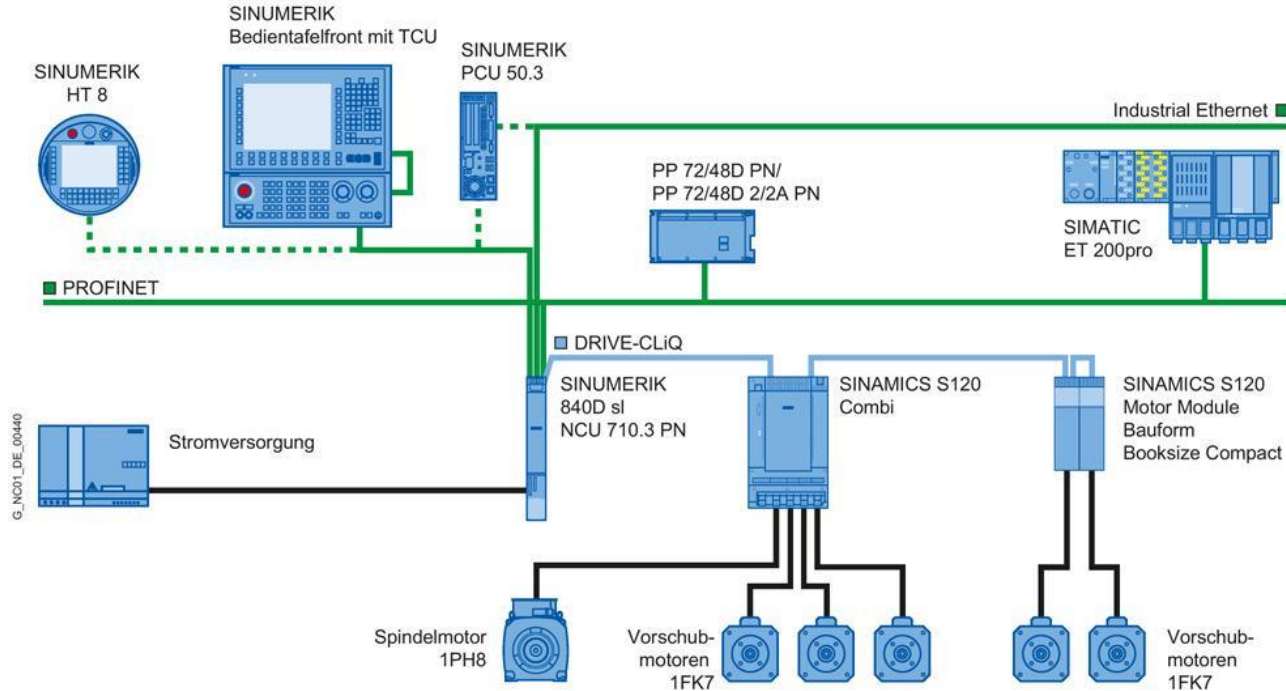
Zirkular- oder Kreisinterpolation

Kreisbewegung erfolgt durch Vorgabe von Mittelpunkt und Endpunkt bzw. Radius -> effizienter als Polygonzug
Auch Parabel- und Spline-Interpolation möglich



Quelle: Kief u. Roschiwal (2020): CNC-Handbuch

Struktur der CNC-Steuerung

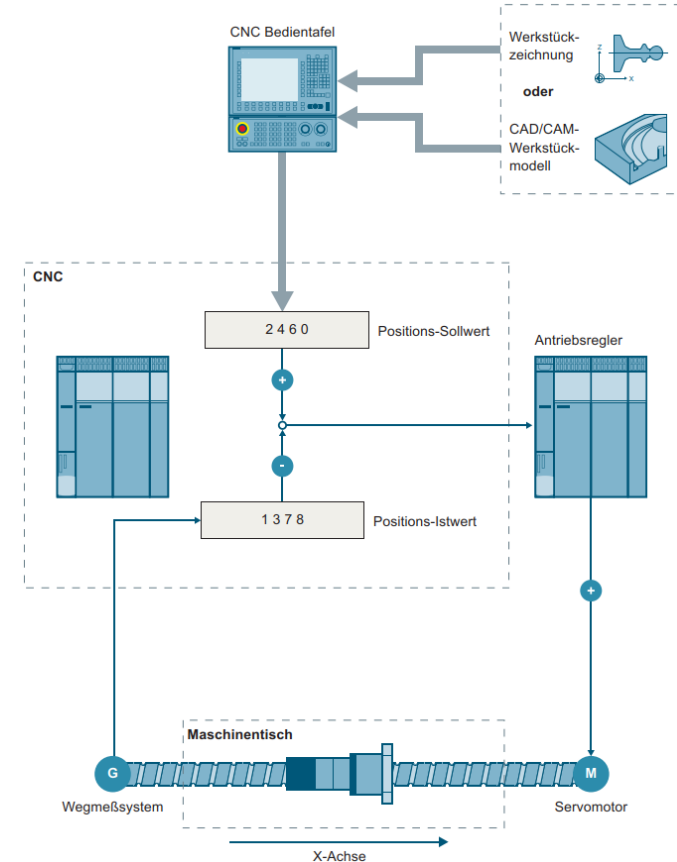


Quelle: SIEMENS (2015): SINUMERIK 840D sl: Inbetriebnahme CNC: NC, PLC, Antrieb

Lageregelkreis einer CNC-Achse

- Geschlossener Wirkungskreis mit ständiger Überprüfung der augenblicklichen Position (Lage) der Maschinenachse.
- Bahnsteuerungen geben fortlaufend neue Positionswerte aus, denen die zu steuernde Achse nachlaufen muss.
- Jede CNC-Achse benötigt demnach:
 - Ein elektronisch auswertbares Wegmesssystem
 - Einen steuerbaren bzw. regelbaren Antrieb

Quelle: Kief u. Roschiwal (2020): CNC-Handbuch

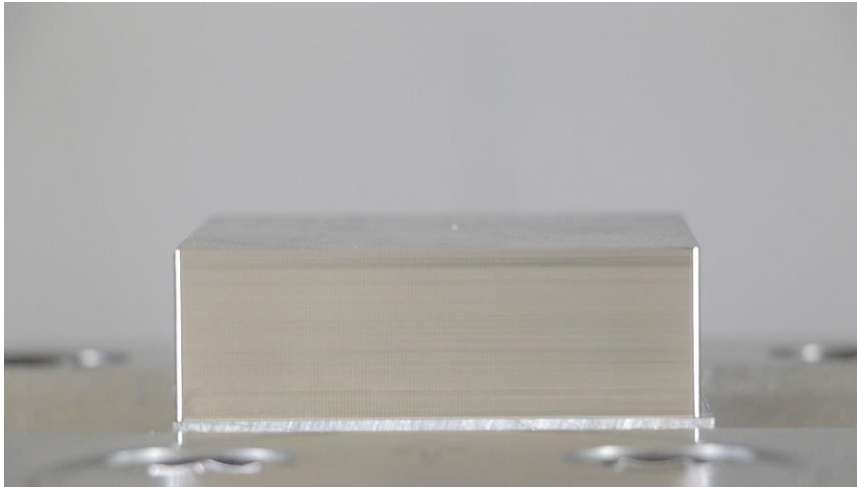


Frässtrategien

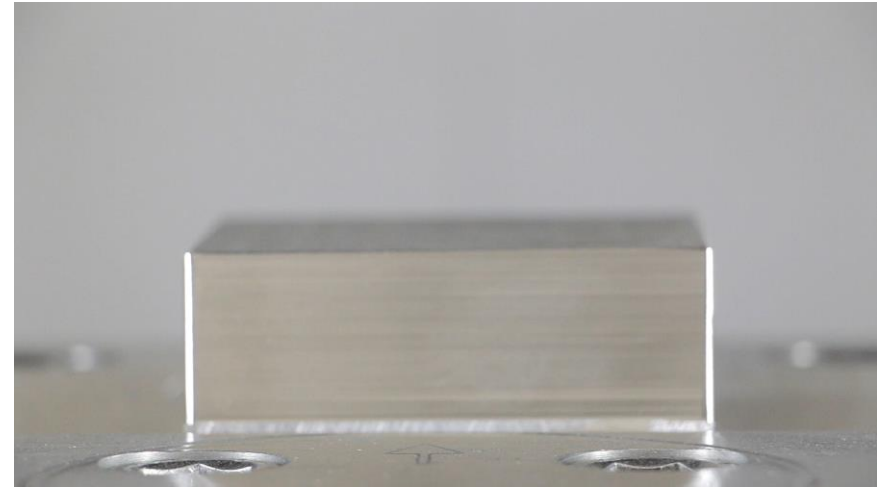
Werkzeug-Vermessung

Umfangsfräsen – Schruppen und Schlichten

Schrubbearbeitung (a_p groß)

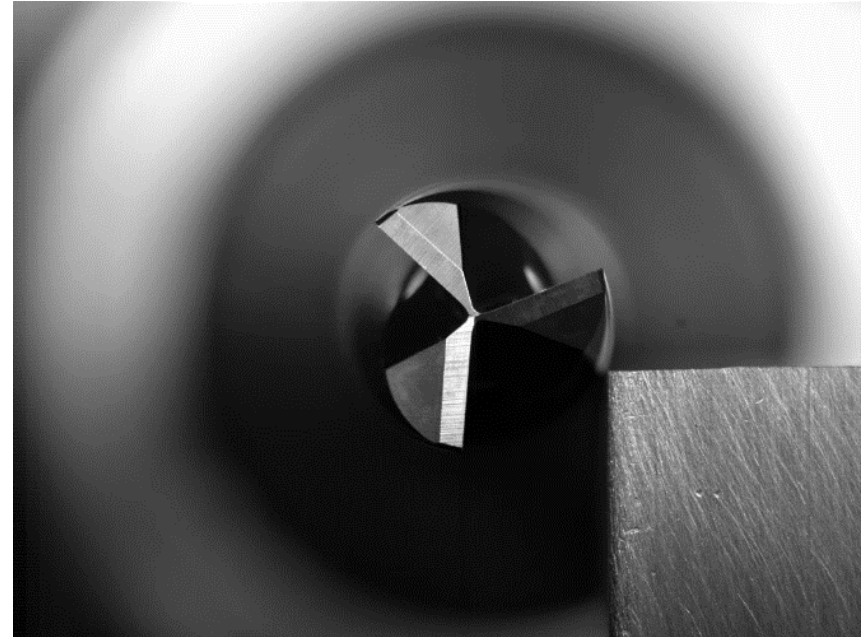
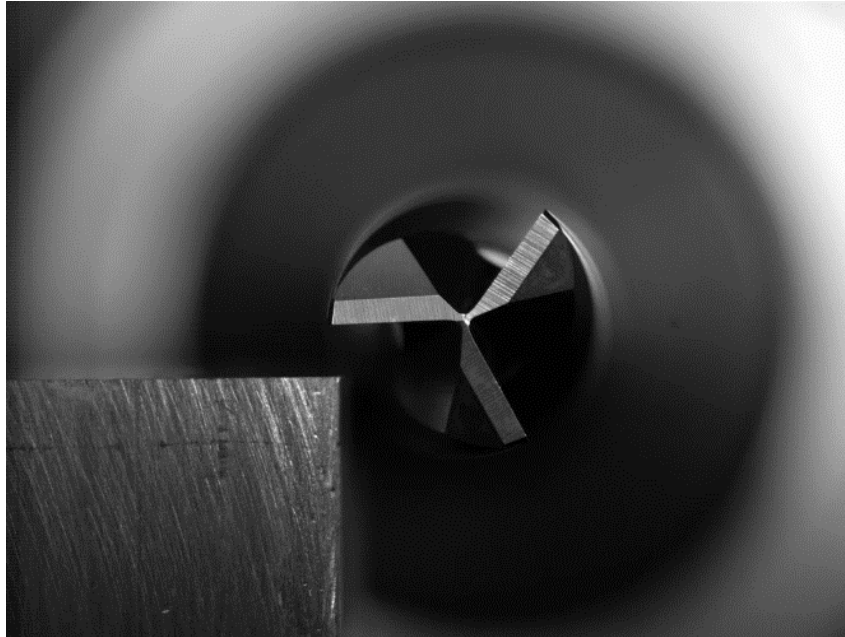


Schlichtbearbeitung (a_p klein)



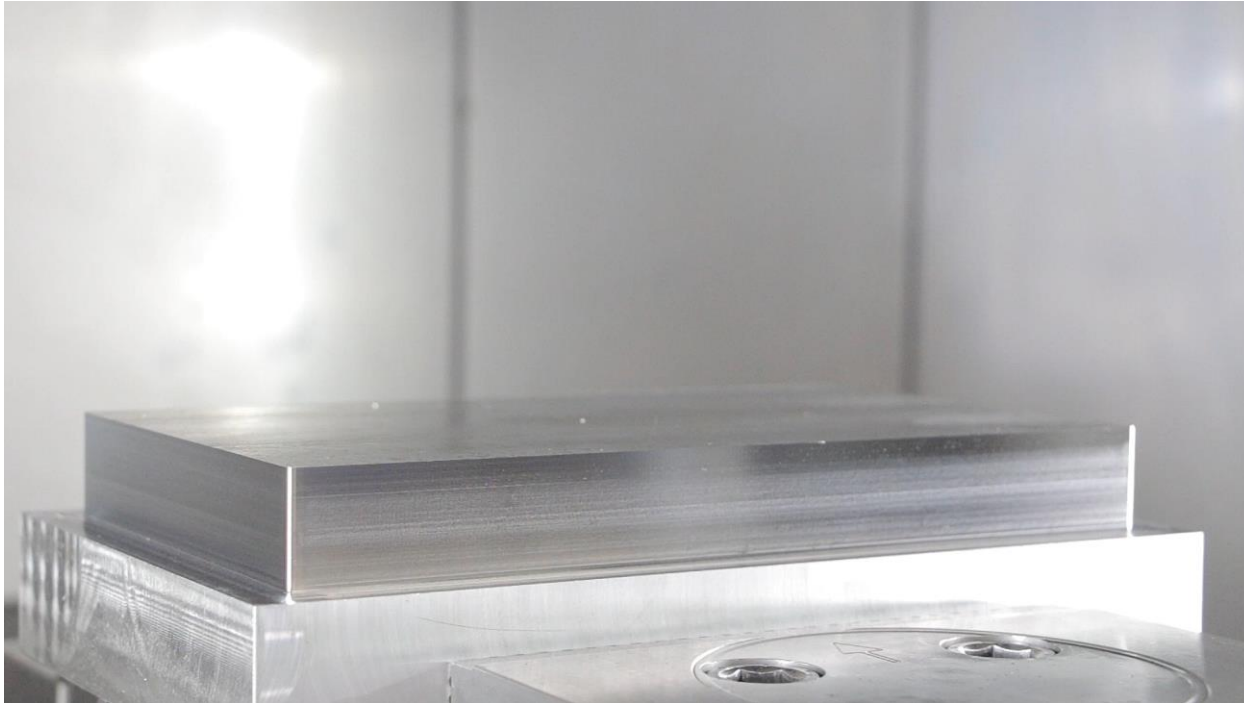
Quelle: Sandvik Coromant (2017): Schulungshandbuch für die Zerspanungstechnologie

Gleich- oder Gegenlaufräsen



Quelle: <https://guehring.com/at/produkte/fraeswerkzeuge/>

Nutenfräsen



Quelle: <https://guehring.com/at/produkte/fraeswerkzeuge/>

Trochoidalfräsen



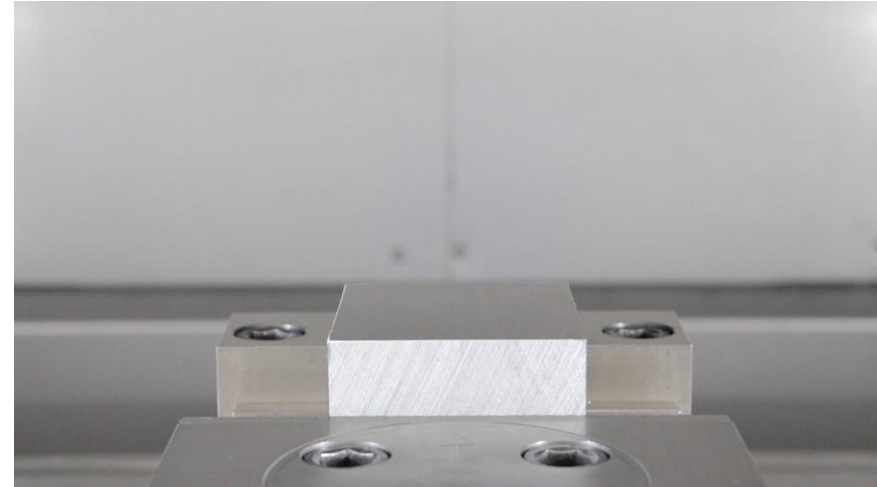
Quelle: Hoffmann Group (<https://www.youtube.com/watch?v=SRCg6jWM3Uw>)

Eintauchstrategien

Eintauchen über Rampe



Eintauchen über Helix

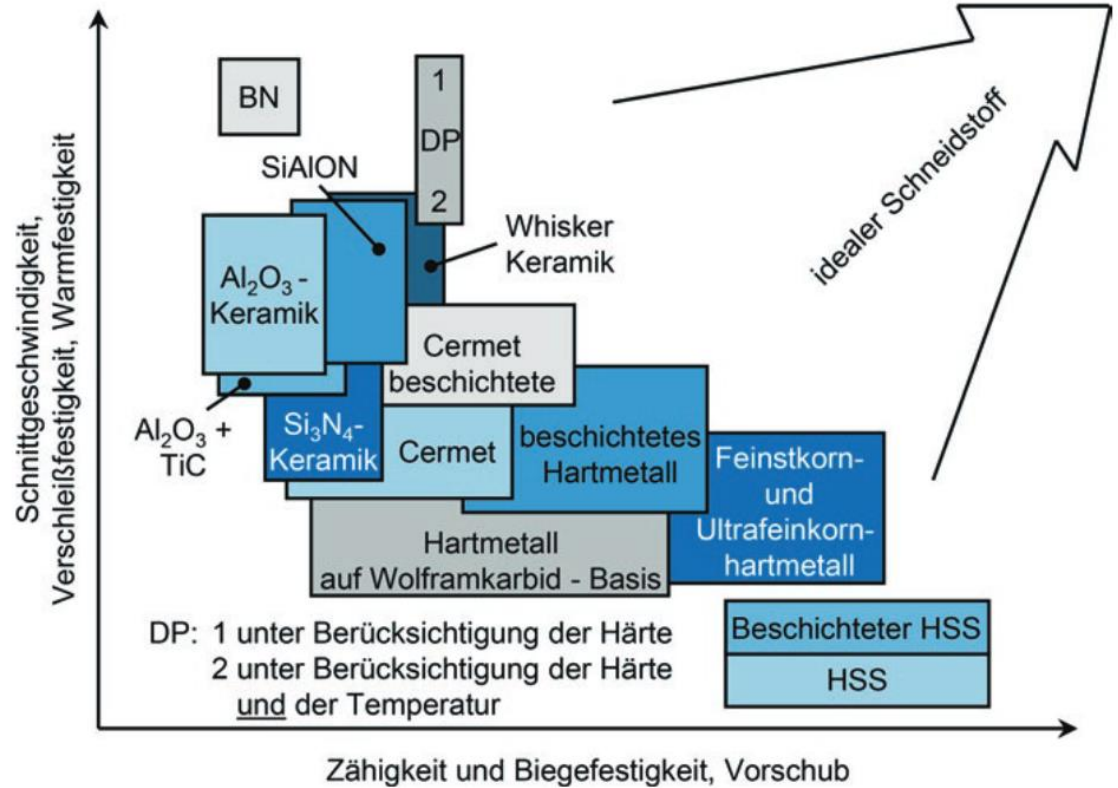


Quelle: <https://guehring.com/at/produkte/fraeswerkzeuge/>

Idealer Schneidstoff



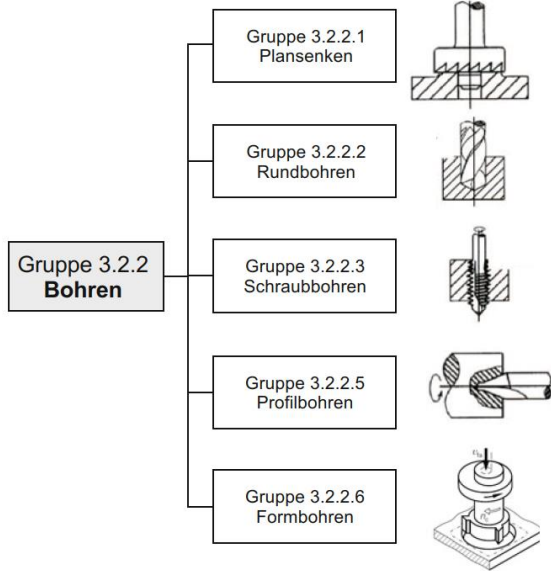
Quelle: Klocke (2018): Fertigungsverfahren 1



Bohren, Senken, Reiben



Reibahle



Zentrierbohrer

Senker

NC-Anbohrer

Tiefbohrer

WSP-Bohrer

Gewindebohrer
Durchgangsloch

Gewindebohrer
Sackloch

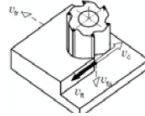
Gewindeformer

Quelle: Computergestützte Fertigung 2011

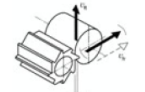
Fräswerkzeuge

Gruppe 3.2.3 Fräsen

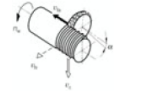
Gruppe 3.2.3.1
Planfräsen



Gruppe 3.2.3.2
Rundfräsen



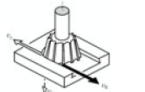
Gruppe 3.2.3.3
Schraubfräsen



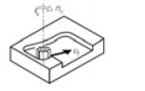
Gruppe 3.2.3.4
Wälzfräsen



Gruppe 3.2.3.5
Profilfräsen



Gruppe 3.2.3.6
Formfräsen



Schaftfräser



Gewinde-Fräser



WSP-Fräser



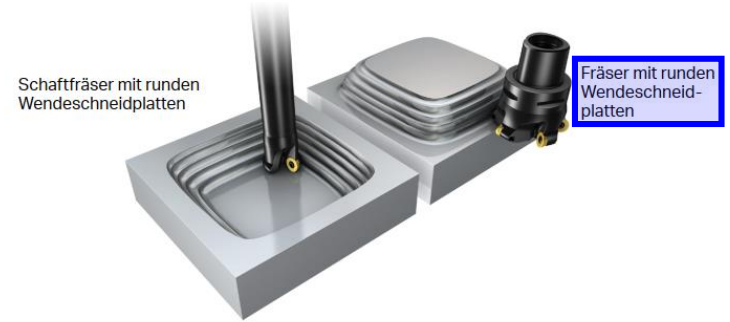
Quelle: Computergestützte Fertigung 2011

Anwendungsspezifische WZG-Empfehlungen

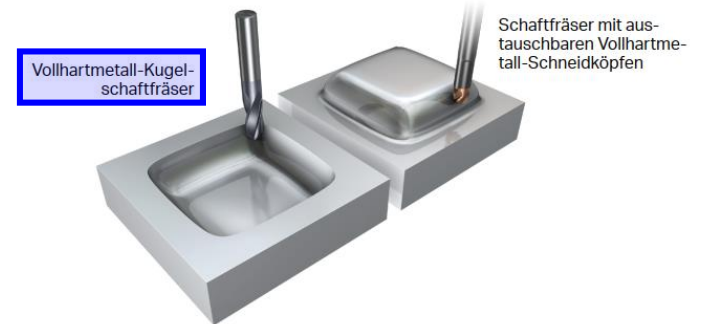
Fräsertyp				
Überlegungen	Runde Wendeschneidplatten	Kugelschaftfräser mit Wendeschneidplatten	Kugelschaftfräser mit austauschbaren Schneidköpfen	Vollhartmetall-Kugelschaftfräser
Maschine/Spindelgröße	ISO 40, 50	ISO 40, 50	ISO 30, 40	ISO 30, 40
Stabilitätsanforderungen	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
Schruppen	Sehr gut	Gut	Akzeptabel	Akzeptabel
Schlichten	Akzeptabel	Akzeptabel	Sehr gut	Sehr gut
Schnitttiefe a_p	Mittel	Mittel	Gering	Gering
Vielseitigkeit	Sehr gut	Sehr gut	Sehr gut	Sehr gut
Produktivität	Sehr gut	Gut	Gut	Gut

Quelle: Sandvik Coromant (2017): Schulungshandbuch für die Zerspanungstechnologie

Fräser für allgemeine Einsatzzwecke – Schruppen

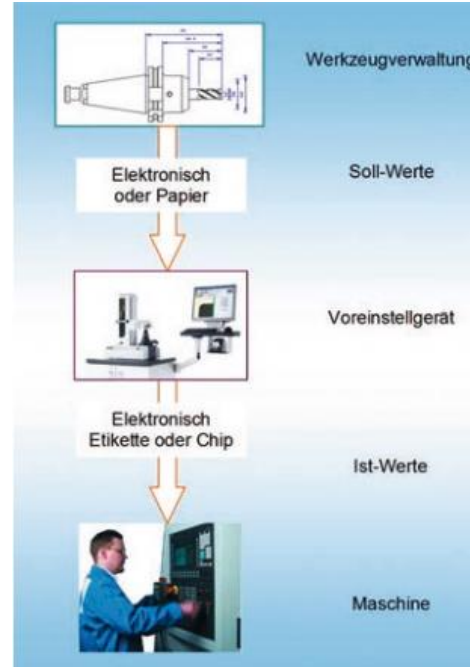


Fräser für allgemeine Einsatzzwecke – Schlichten



Werkzeugverwaltung - Werkzeugvoreinstellung

- Werkzeugverwaltung
- Soll-Werte
- Voreinstellgerät
- Ist-Werte
- Maschine



Quelle: CNC-Handbuch 2013/2014



Quelle: Zoller

Lasergestützte Werkzeugüberwachung

- Werkzeugvermessung
- Bruchüberwachung
- Einzelschneidenkontrolle



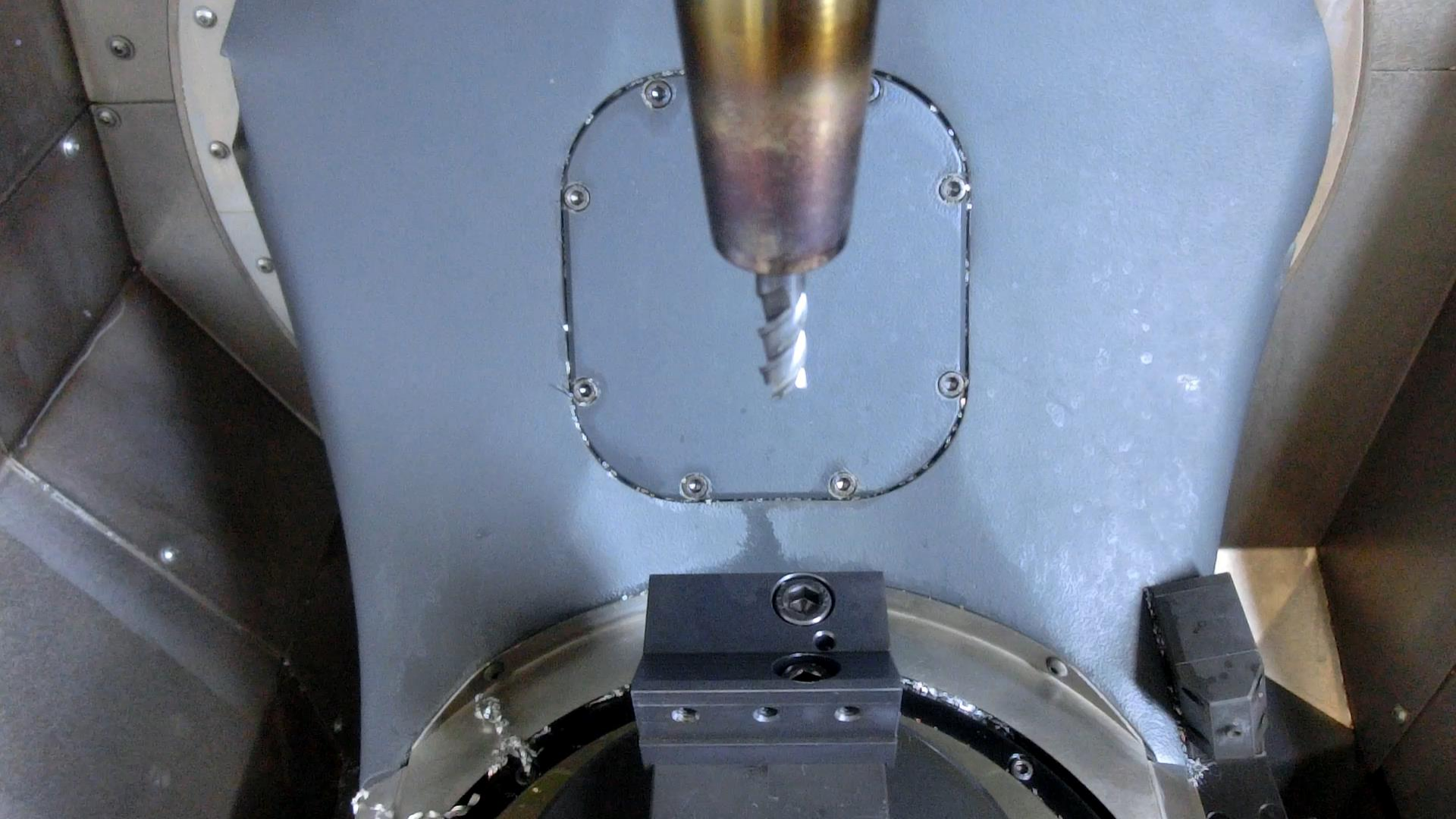
Autom. Messung von Werkzeugradius



Autom. Messung von Werkzeuglänge



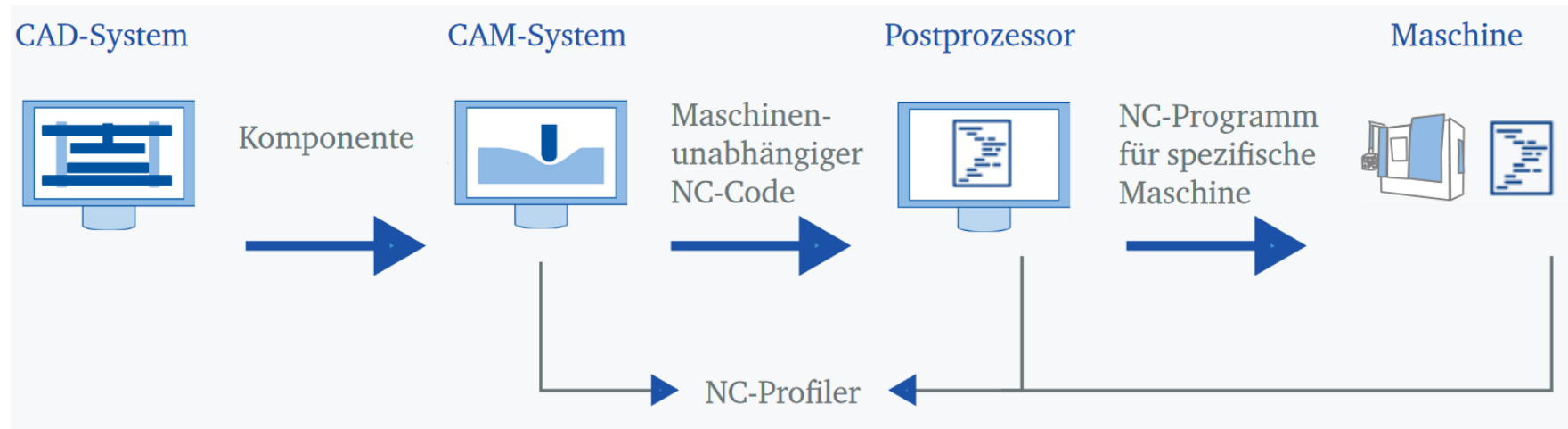
Einzelschneidenkontrolle



CAM-Programmiersysteme

DIN-ISO-Programmierung

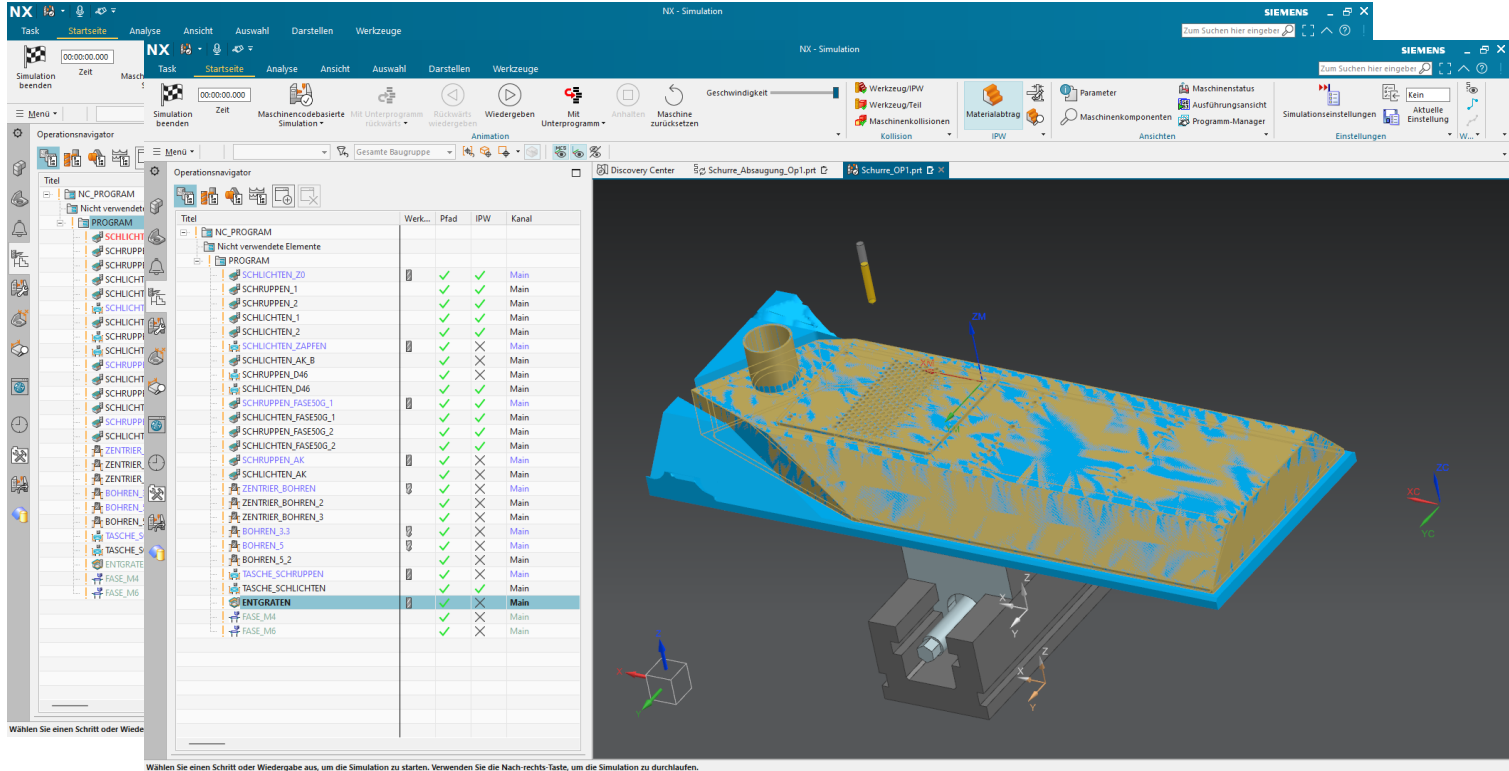
Computer Aided Manufacturing (CAM)



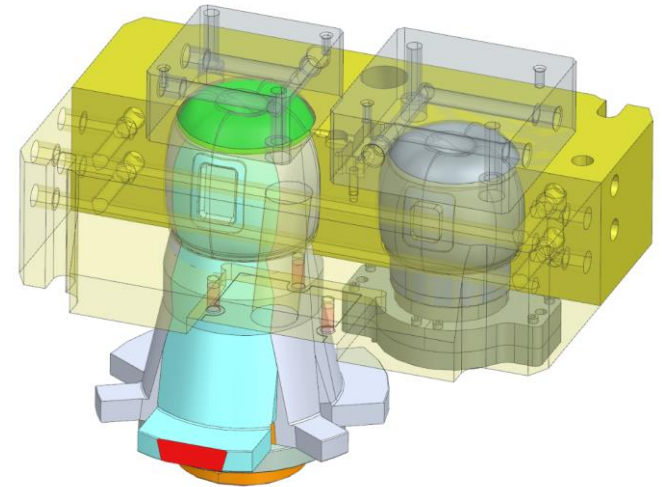
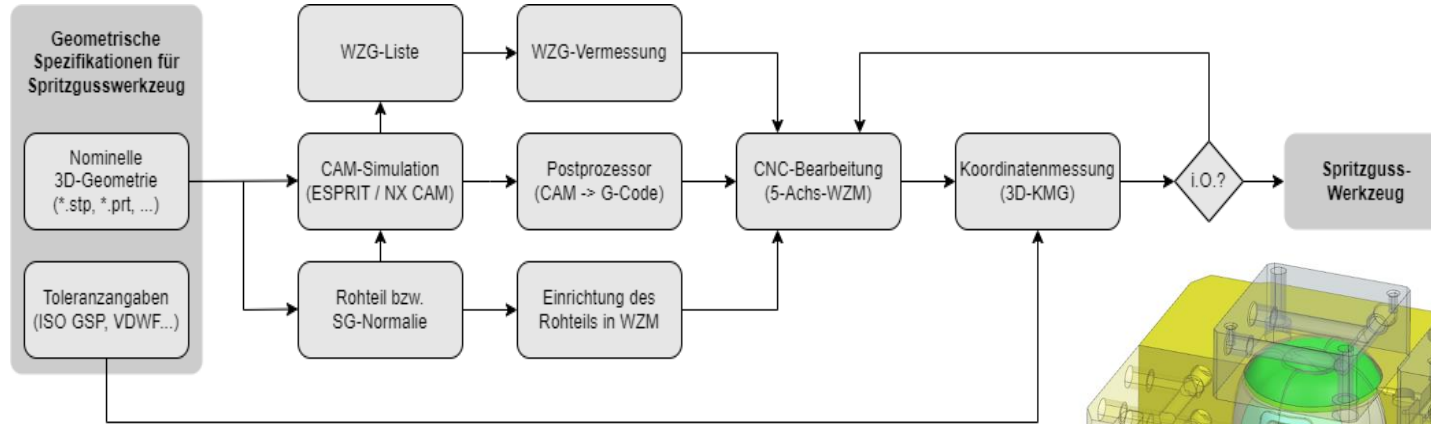
- **CAD-System:** Gestaltung und Spezifikation geometrischer Produktmerkmale.
- **CAM-System:** Programmierung von Werkzeugbewegungen als Werkzeugbahnen.
- **Postprozessor:** Umsetzung von CAM-Programm in maschinenlesbare Bewegungsbefehle (NC-Programm).
- **Maschine:** Zeilenweise Abarbeitung des NC-Programms und Umsetzung in Werkzeugbewegung.

Quelle: Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH (2011): Erfolgreich Fräsen im Werkzeugbau

Einfaches Beispiel



Projekt DiProK (Digitale Prozesskette im Kunststoff-Formenbau)



Handlungsempfehlungen

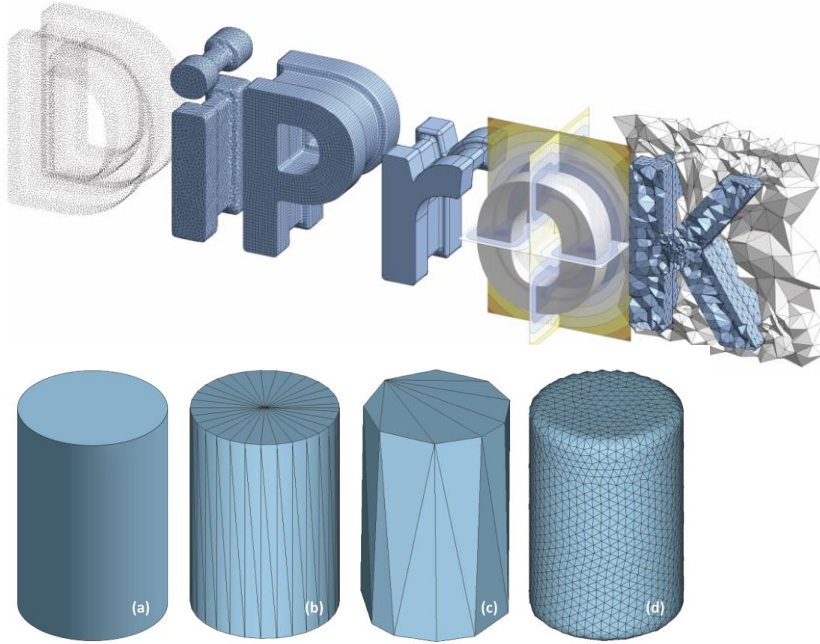
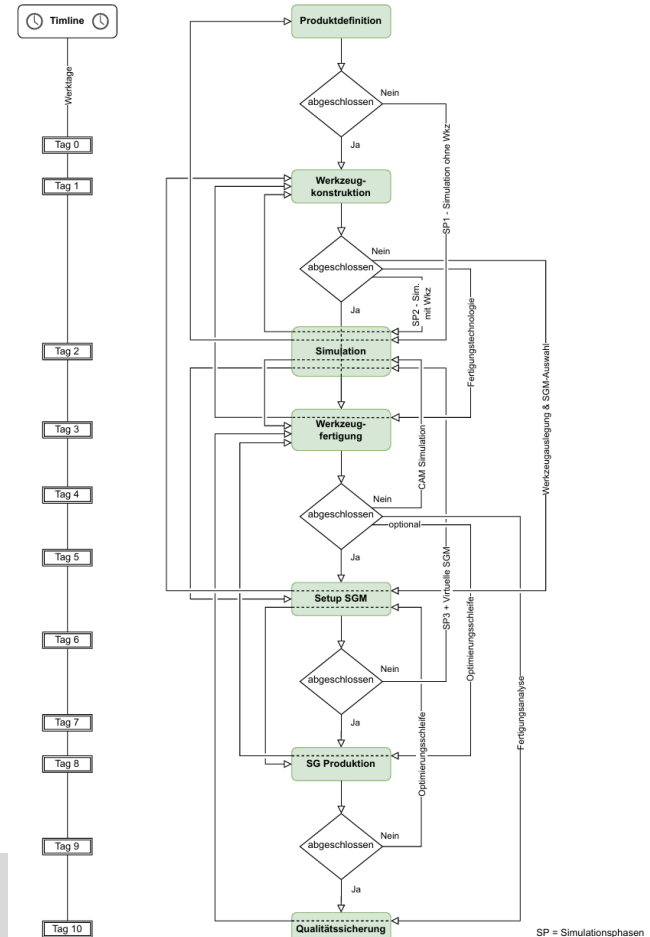
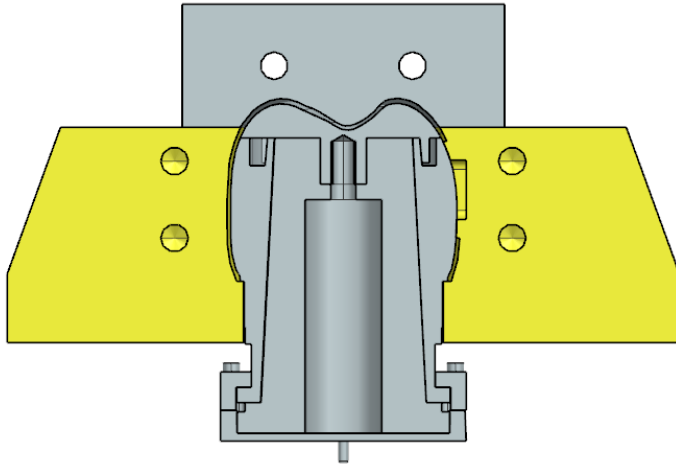


Abbildung 5: Oberflächendiskretisierung. Die Umwandlung eines Begrenzungsflächenmodells (a) in ein Polygonnetz (b) erfordert die Darstellung der mathematisch exakten Geometrie durch ebene Dreiecke (im Falle eines Dreiecknetzes wie hier gezeigt). Dies hat zur Folge, dass runde Flächen facettiert dargestellt werden und runde Kurven mit Linienzüge angenähert werden; was besonders bei einer groben Auflösung (c) offensichtlich wird. Falls die Dreiecksanten nicht den Randlinien der Regelflächen folgen, ist es darüber hinaus möglich, dass die Umwandlung scharfe Kanten verrundet (d).



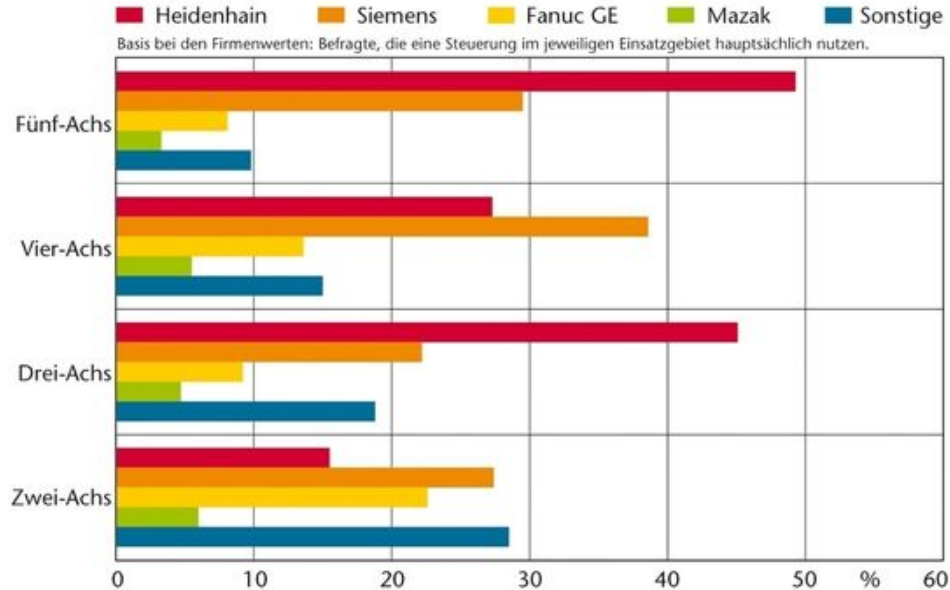
Fertigung des Freiform-Einfallkerns



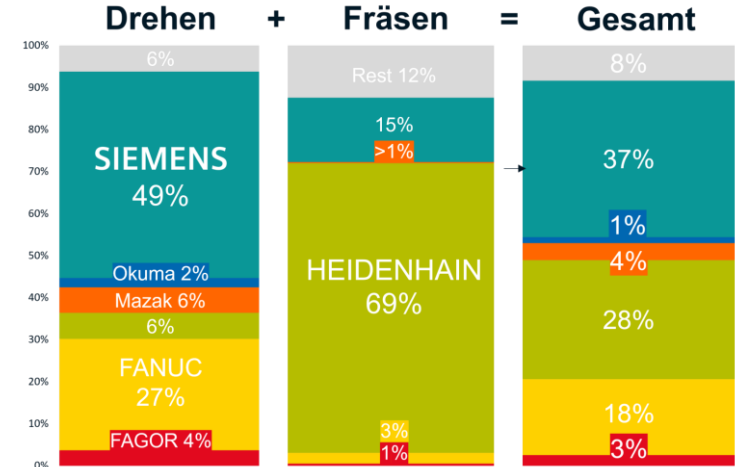
CNC-Programmiersysteme

Marktanteile der Hersteller pro Einsatzgebiet

Für welchen Einsatz verwenden Sie diese Steuerung vorwiegend?
Von welchem Hersteller ist die Steuerung mit der Sie hauptsächlich arbeiten?



Quelle: Maschinenmarkt (2007)



Quelle: Findus Factory (2023)

CNC-Programmiersysteme

Im Allgemeinen bieten Programmiersysteme:

- Herstellerunabhängige Unterstützung für Programmierung nach ISO-G-Code
- Herstellerspezifische Programmiersprachen und Funktionssätze



 **MITSUBISHI**



FANUC



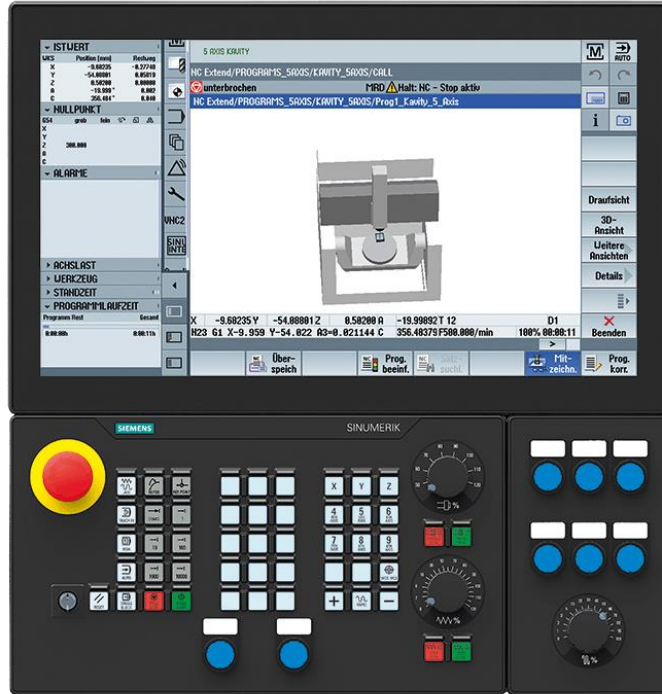
SIEMENS



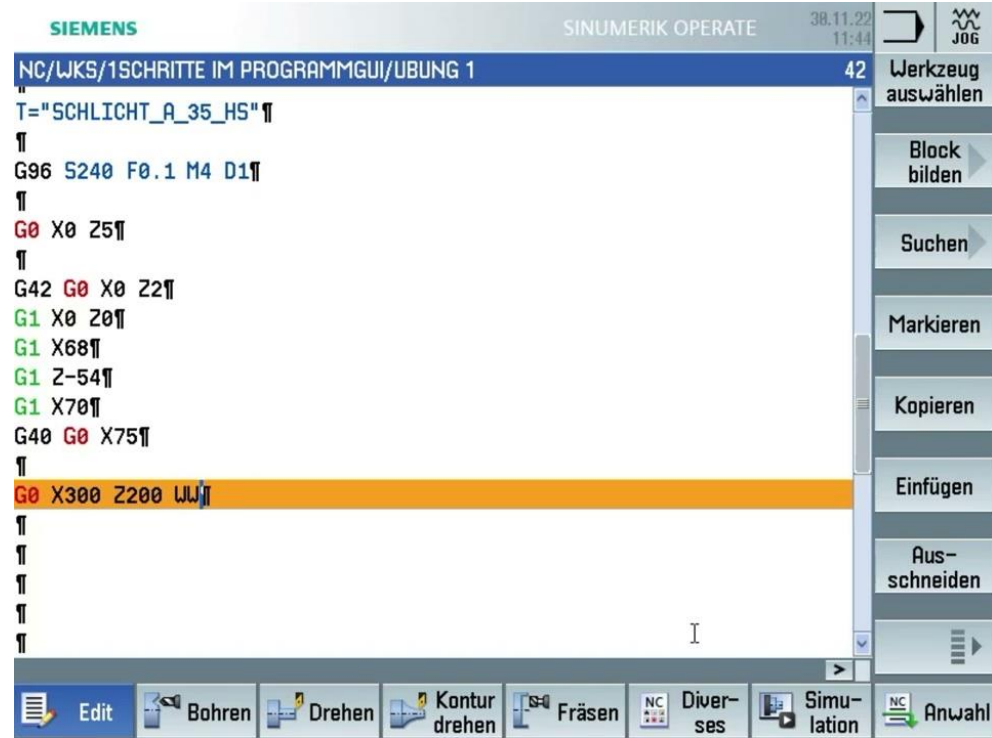
HEIDENHAIN

Quelle: <http://www.sunshine-cnc.com/en/products/detail/89>

SINUMERIK Operate

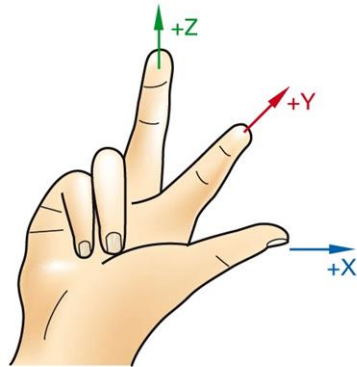


Quelle: Siemens AG

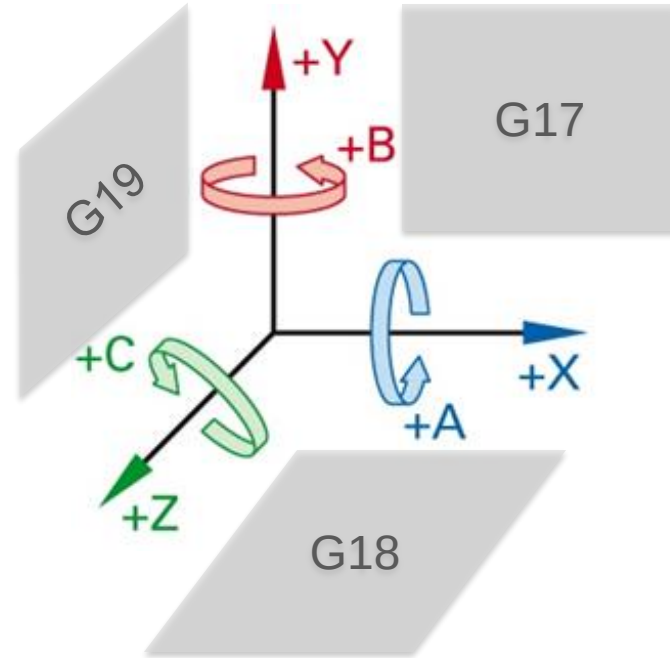


Weginformationen - Achskonventionen

- Translatorische Achsen
X, Y, Z (U, V, W)
- Rotierende Achsen
(A, B, C)

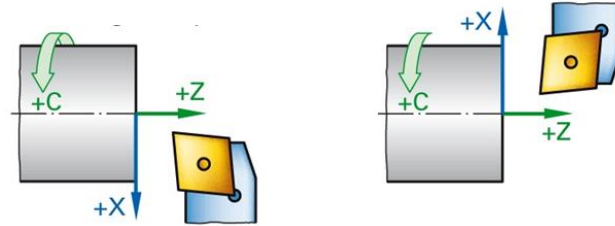


Quelle: Kief u. Roschiwal (2020): CNC-Handbuch

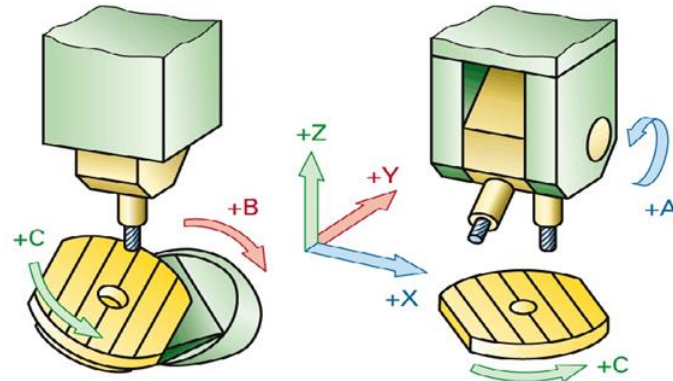


Weginformationen - Achsbezeichnungen

■ Drehbearbeitung



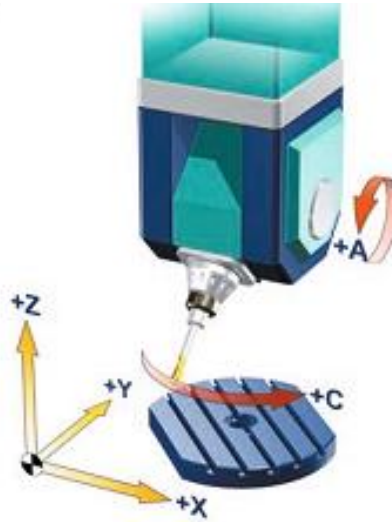
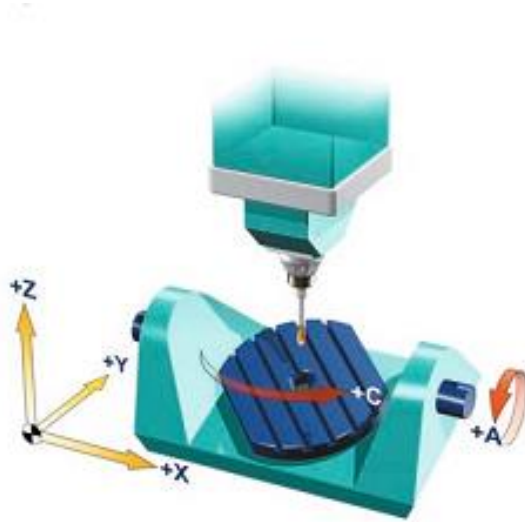
■ Fräsbearbeitung



Quelle: Kief u. Roschiwal (2020): CNC-Handbuch

Ausführungen von 5-Achs-Kinematiken

- 2) feststehende WZ-Achse und zwei Schwenkachsen des WS (links)
- 3) je eine Schwenkachse in WZ-Achse und WS, 90°versetzt (rechts)



Quelle: CNC-Handbuch 2013/2014



Quelle: Spinner Werkzeugmaschinen

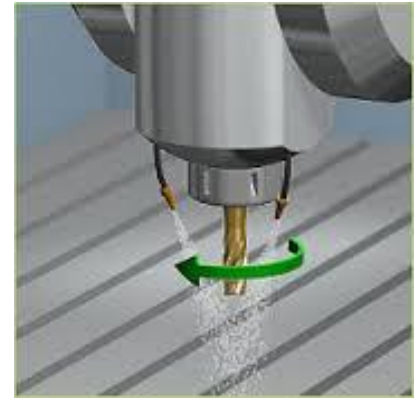
Schaltfunktionen und technologische Daten

- Schaltfunktionen sind genormt und bezeichnet mit M (M00-M9999)
- Werden von der SPS / PLC ausgeführt
- Werden im NC-Programm programmiert
- Können während der Bearbeitung ein- und ausgeschaltet werden

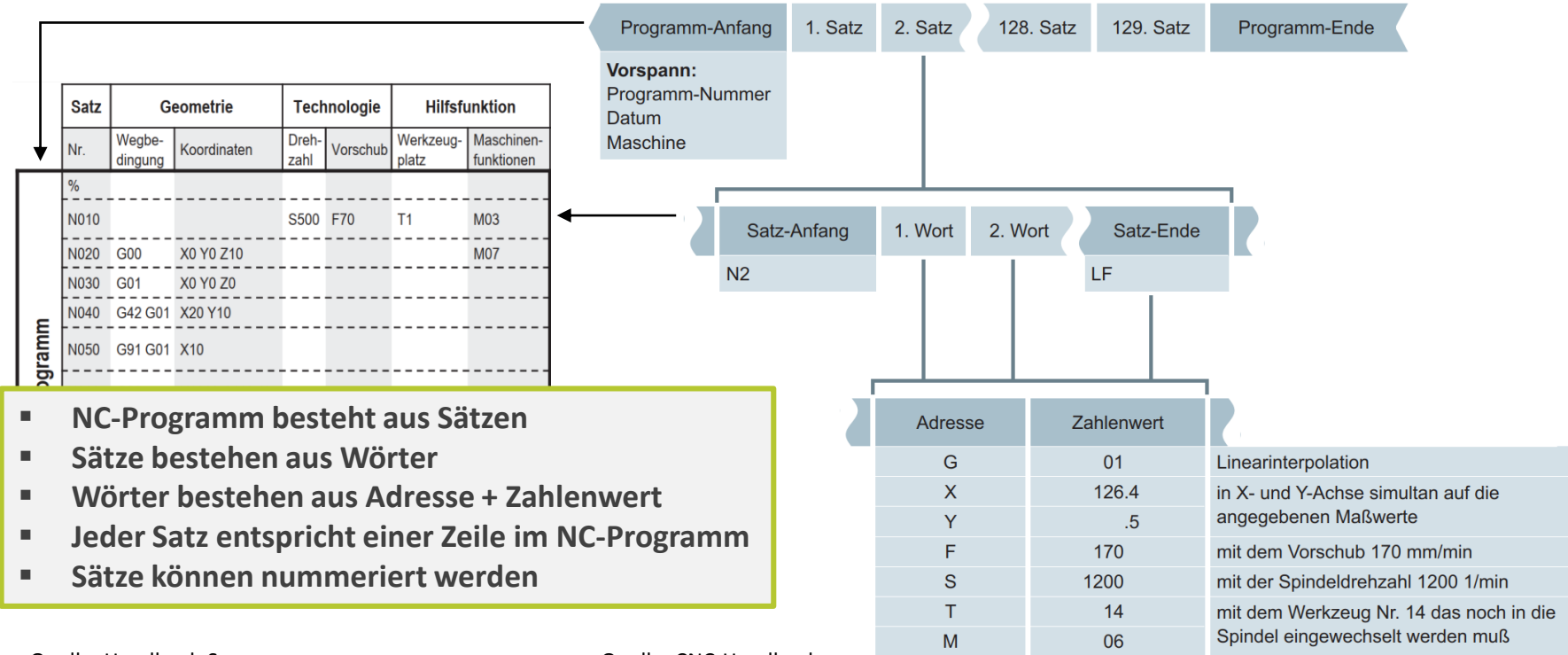
Bsp.: Werkzeugwechsel (M06),
Kühlmittel (M08, M09),
Drehrichtung der Spindel (M03, M04),

- Technologische Daten T, S, F
(Näheres dazu in Kapitel Programmierung)

Quelle: Kief u. Roschiwal (2020): CNC-Handbuch



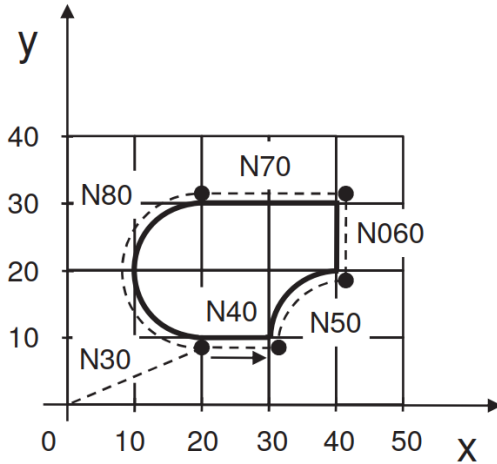
Aufbau eines NC-Programms



Quelle: Handbuch Spanen

Quelle: CNC-Handbuch

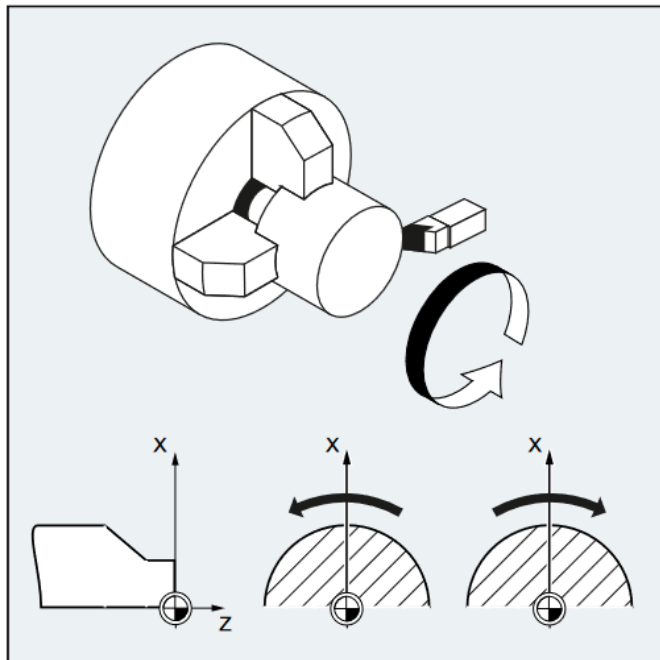
Aufbau eines NC-Programms



Quelle: Handbuch Spanen

	Satz	Geometrie		Technologie		Hilfsfunktion		Kommentar
	Nr.	Wegbe- dingung	Koordinaten	Dreh- zahl	Vorschub	Werkzeug- platz	Maschinen- funktionen	
NC-Programm	%							Programmanfang
	N010			S500	F70	T1	M03	Werkzeug 1, Spindel EIN Rechtslauf, v=70 mm/min, U= 500 n/min
	N020	G00	X0 Y0 Z10				M07	Eilgang {0,0,10}, Kühlschmiermi. EIN
	N030	G01	X0 Y0 Z0					Abs. Maßangabe, Geradeninterpol. {0,0,0}
	N040	G42 G01	X20 Y10					Fräseradiuskorr. re., Geradeninterpol. {20,10,0}
	N050	G91 G01	X10					Inkr. Maßanagabe +10 in X, Geradeninterpol. {30,10,0}
	N060	G02	X10 Y10 I10 J0					Inkr. Maßangabe, Kreisinterpol. i. Uhrzeigersinn, Mittelpkt. {40,10,0}, Endpkt. {40,20,0}
	N070	G90 G01	X40 Y30					Absolute Maßangabe, Geradeninterpol. {40,30,0}
	N080	G01	X20 Y30					Abs. Maßangabe, Geradeninterpol. {20,30,0}
	N090	G03	X20 Y10 I20 J20					Abs. Maßangabe, Kreisinterpol. g. Uhrzeiger- sinn, Mittelpkt. {20,20,0}, Endpkt. {20,10,0}
	N100						M09 M05	Kühlschmiermi. AUS, Spindel AUS,
	N110						M30	Programmende

Spindelbewegung – Drehzahl und Drehrichtung



Funktion: Die Angaben Spindeldrehzahl und -drehrichtung versetzen die Spindel in eine Drehbewegung und schaffen die Voraussetzung für die spanabhebende Bearbeitung.

Syntax:

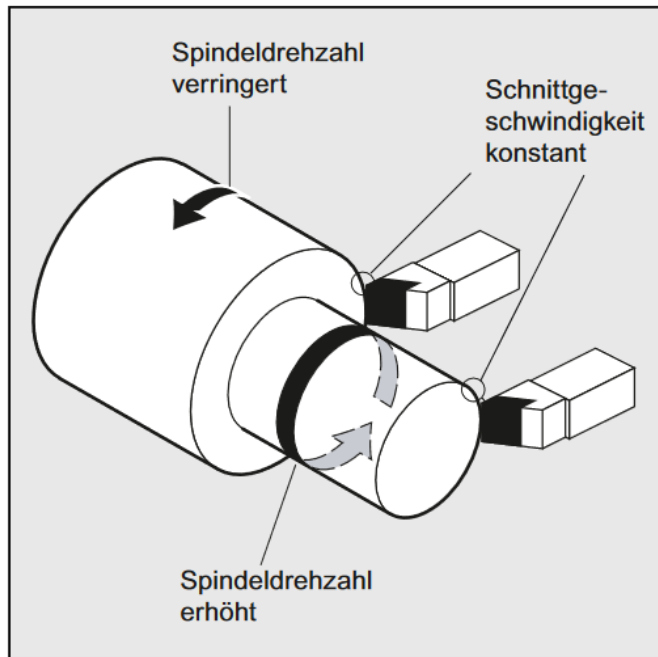
- **S:** Spindeldrehzahl in 1/min für die Masterspindel
- **M3:** Spindeldrehzahl rechts
- **M4:** Spindeldrehzahl links
- **M5:** Spindel-Halt

Beispiel:

`N10 S300 M3` ; Drehzahl 300 1/min und -richtung rechts für Hauptspindel

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Spindelbewegung – Konstante Schnittgeschwindigkeit



Mit Funktion **Konstante Schnittgeschwindigkeit** wird, abhängig vom jeweiligen Werkstückdurchmesser, die Spindeldrehzahl so verändert, dass die Schnittgeschwindigkeit S in m/min bzw. ft/min an der Werkzeugschneide konstant bleibt.

Vorteile:

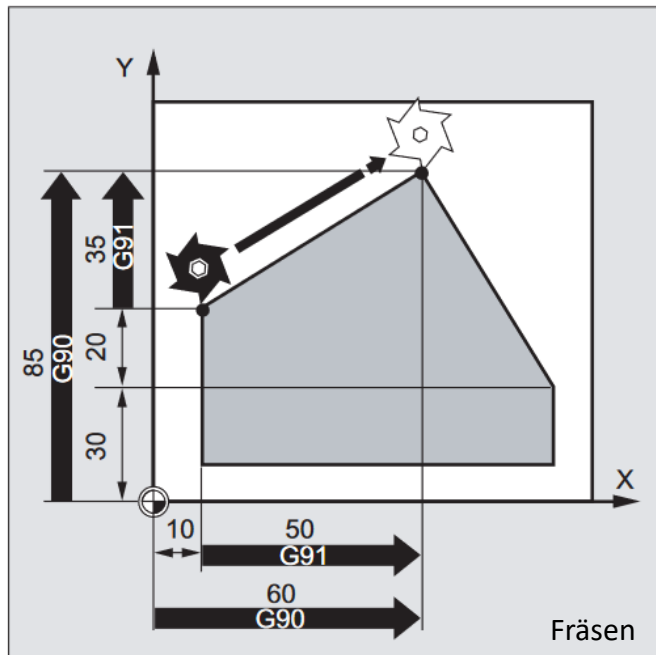
- gleichmäßige Drehbilder und damit hohe Oberflächenqualität
- werkzeugschonende Bearbeitung

Syntax:

- **G96: Konstante Schnittgeschwindigkeit für Masterspindel ein**
- **G97: Konstante Schnittgeschwindigkeit aus**

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Maßangaben – Absolutmaßangabe (G90, AC)



Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Bei der Absolutmaßangabe beziehen sich die Positionsangaben immer auf den Nullpunkt des aktuell gültigen Koordinatensystems, d. h. es wird die absolute Position programmiert, auf die das Werkzeug fahren soll.

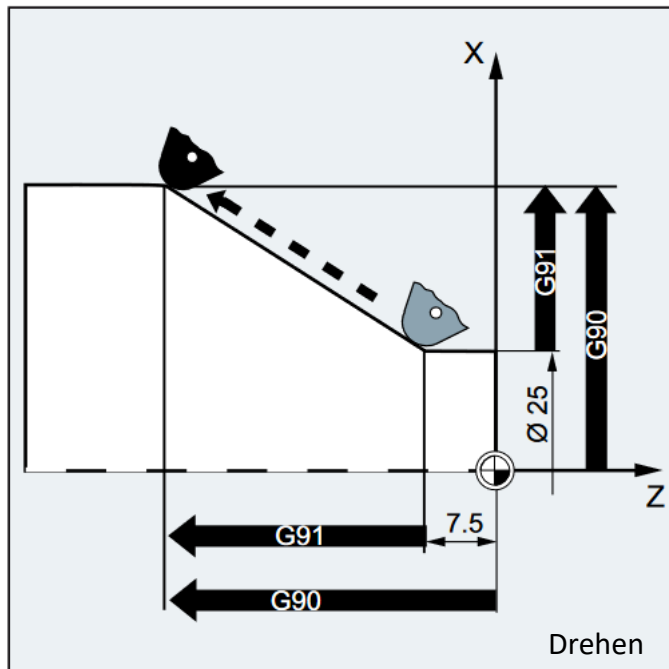
Modal wirksame Absolutmaßangabe

Die modal wirksame Absolutmaßangabe wird aktiviert mit dem **Befehl G90**. Sie ist für alle Achsen wirksam, die in den jeweils folgenden NC-Sätzen programmiert werden.

Satzweise wirksame Absolutmaßeingabe

Bei voreingestelltem Kettenmaß (G91) kann mit Hilfe des **Befehls AC** für einzelne Achsen satzweise Absolutmaßangabe eingestellt werden.

Maßangaben – Kettenmaßangabe (G91, IC)



Bei der Kettenmaßangabe bezieht sich eine Positionsangabe auf den zuletzt angefahrenen Punkt, d. h. die Programmierung im Kettenmaß beschreibt, um wie viel das Werkzeug verfahren soll.

Modal wirksame Kettenmaßangabe

Die modal wirksame Kettenmaßangabe wird aktiviert mit dem **Befehl G91**. Sie ist für alle Achsen wirksam, die in den jeweils folgenden NC-Sätzen programmiert werden.

Satzweise wirksame Kettenmaßangabe

Bei voreingestelltem Absolutmaß (G90) kann mit Hilfe des **Befehls IC** für einzelne Achsen satzweise Kettenmaßangabe eingestellt werden.

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Wegbefehle

Konturelemente

Die programmierte Werkstückkontur kann sich aus folgenden **Konturelementen** zusammensetzen:

- Geraden
- Kreisbögen
- Schraubenlinien (durch Überlagerung von Geraden und Kreisbögen)

Fahrbefehle

Zur Herstellung dieser Konturelemente stehen verschiedene **Fahrbefehle** zur Verfügung:

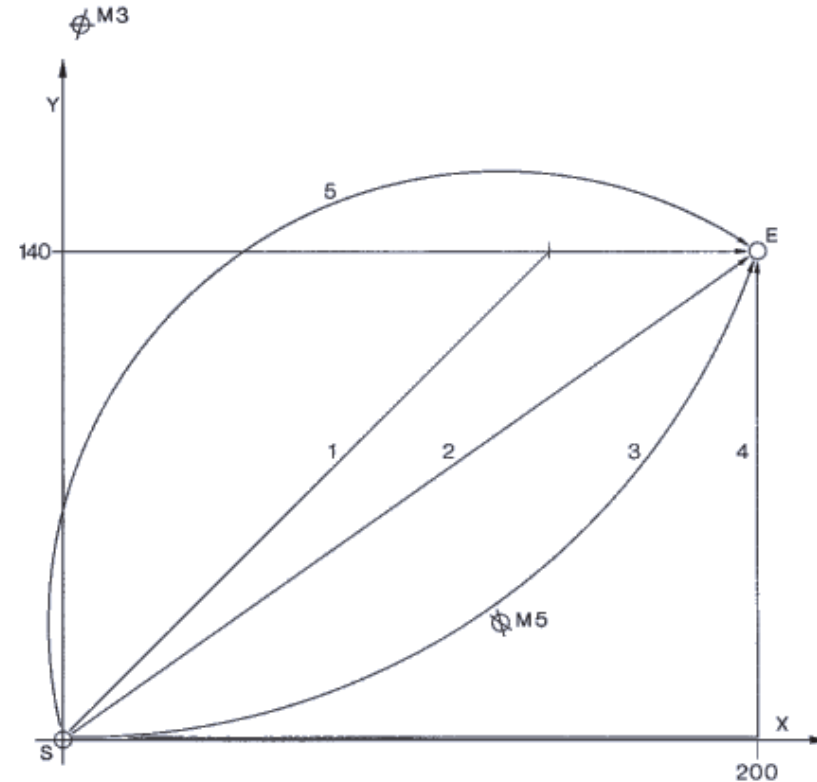
- Eilgangbewegung (G0)
- Geradeninterpolation (G1)
- Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn (G2)
- Kreisinterpolation gegen den Uhrzeigersinn (G3)
- Die Fahrbefehle sind modal wirksam.

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

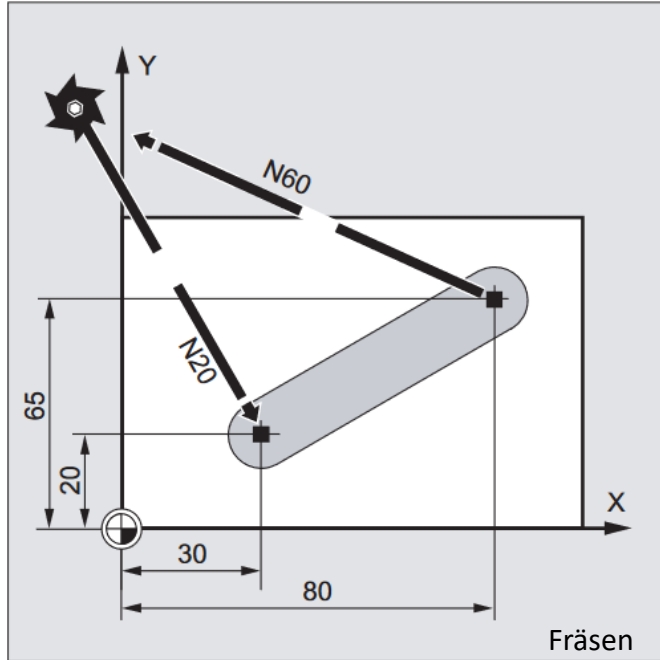
Wegbefehle – Wie von S nach E?

1. **G00 Eilgang**
N10 G00 X200 Y140
2. **G01 Linearinterpolation**
N20 G01 X200 Y140 F400
3. **G03 Kreisbahn linksdrehend**
N30 G03 G17 X200 Y140 R205 F120
4. **G00 achsparalleles Zustellen**
N40 G00 X200
N41 G00 Y140
5. **G02 Kreisbahn rechtsdrehend**
N50 G02 X200 Y140 R-130

Quelle: CNC Handbuch (2020)



Wegbefehle – Eilgangbewegung (G0 bzw. G00)



Eilgangbewegungen werden eingesetzt:

- zum schnellen Positionieren des Werkzeugs
- zum Umfahren des Werkstücks
- zum Anfahren von Werkzeugwechsellpunkten
- zum Freifahren des Werkzeugs

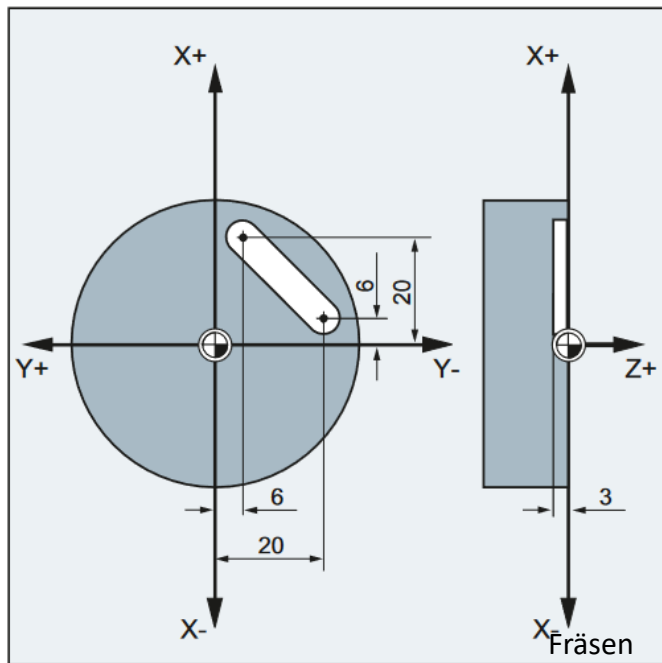
Die Funktion eignet sich nicht zur Werkstückbearbeitung!

Beispiel für Fräsen:

```
N10 G90 S400 M3 ; Absolutmaß, Spindel rechts
N20 G0 X30 Y20 Z2 ; Anfahren der Startposition
N30 G1 Z-5 F1000 ; Zustellen des WZG
N40 G1 X80 Y65 ; Fahren auf einer Geraden
N50 G0 Z2 ; Auf Starthöhe fahren
N60 G0 X-20 Y100 Z100 M30 ; WZG freifahren,
N70 M30 ; Programmende
```

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Wegbefehle – Linearinterpolation (G1 bzw. G01)



Mit G1 fährt das Werkzeug auf achsparallelen, schräg liegenden oder beliebig im Raum liegenden Geraden. Die Geradeninterpolation ermöglicht die Herstellung von 3D-Flächen, Nuten uvm.

Beispiel für Drehen:

N10 G17 S400 M3	; Wahl der Arbeitsebene
N20 G0 X40 Y-6 Z2	; Anfahren der Startposition
N30 G1 Z-3 F40	; Zustellen des Werkzeugs
N40 X12 Y-20	; Fahren auf einer schräg liegenden Geraden
N50 G0 Z100	; Freifahren
N60 M30	; Programmende

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Wegbefehle – Kreisinterpolation (G2, G3 bzw. G02, G03)

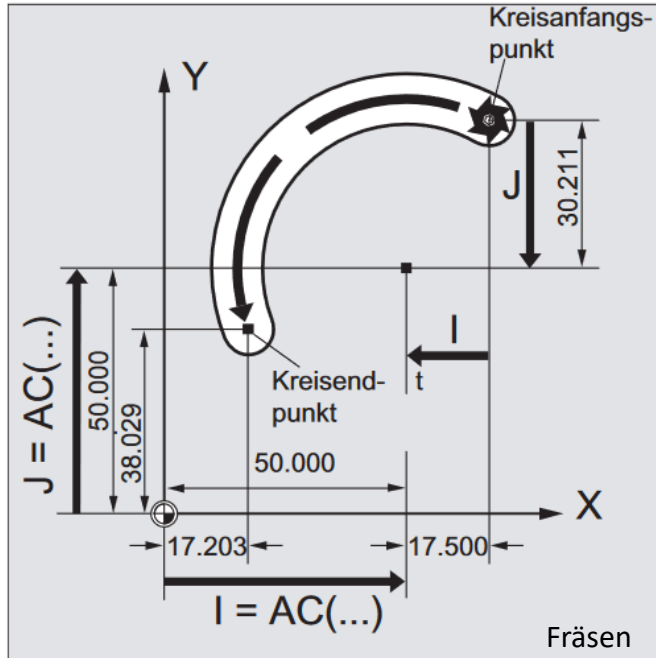
Möglichkeiten Kreisbewegungen zu programmieren

Die Steuerung bietet eine Reihe von verschiedenen Möglichkeiten, Kreisbewegungen zu programmieren. Damit können Sie praktisch jede Art der Zeichnungsbezeichnung direkt umsetzen. Die Kreisbewegung wird beschrieben durch den:

- Mittelpunkt und Endpunkt im Absolut- oder Kettenmaß (standardmäßig)
- Radius und Endpunkt in kartesischen Koordinaten
- Öffnungswinkel und Endpunkt in kartesischen Koordinaten oder Mittelpunkt unter den Adressen
- Polarkoordinaten mit dem Polarwinkel AP= und dem Polarradius RP=
- Zwischen- und Endpunkt
- Endpunkt und Tangentenrichtung im Startpunkt

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Wegbefehle – Kreisinterpolation mit Mittelpunkt und Endpunkt



Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Mittelpunktangabe im Kettenmaß

N10 G0 X67.5 Y80.211

N20 G3 X17.203 Y38.029 I-17.5 J-30.211 F500

Mittelpunktangabe im Absolutmaß

N10 G0 X67.5 Y80.211 N20 G3 X17.203 Y38.029

I=AC(50) J=AC(50)

Die Voreinstellungen G90/G91 Absolut- oder Kettenmaß sind nur für den Kreisendpunkt gültig!

Bedeutung

G2: Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn

G3: Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn

X Y Z : Endpunkt in kartesischen Koordinaten

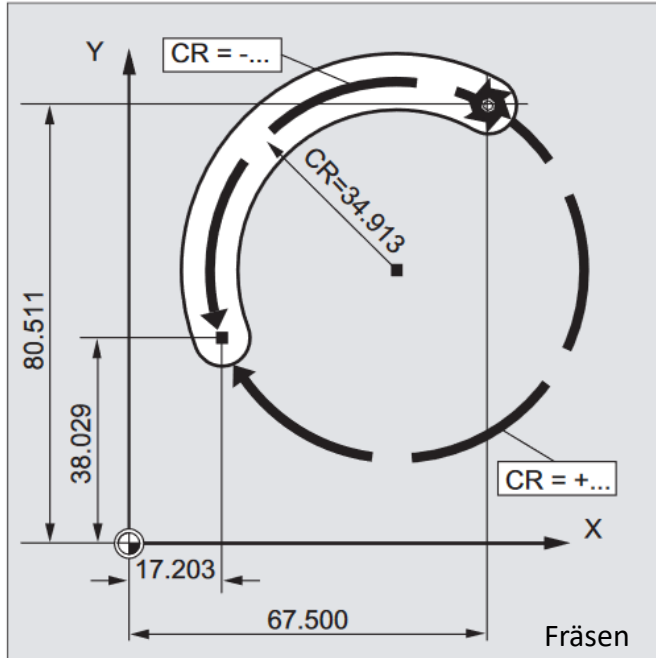
I: Koordinate des Kreismittelpunkt in X-Richtung

J: Koordinate des Kreismittelpunkt in Y-Richtung

K: Koordinate des Kreismittelpunkt in Z-Richtung

=AC(...): Absolutmaßangabe (satzweise wirksam)

Wegbefehle – Kreisinterpolation mit Radius und Endpunkt



Die Kreisbewegung wird beschrieben durch den:

- Kreistradius $CR =$ und
- Endpunkt in kartesischen Koordinaten X, Y, Z.

Beispiel Fräsen:

```
N10 G0 X67.5 Y80.511
```

```
N20 G3 X17.203 Y38.029 CR=34.913 F500
```

Bedeutung:

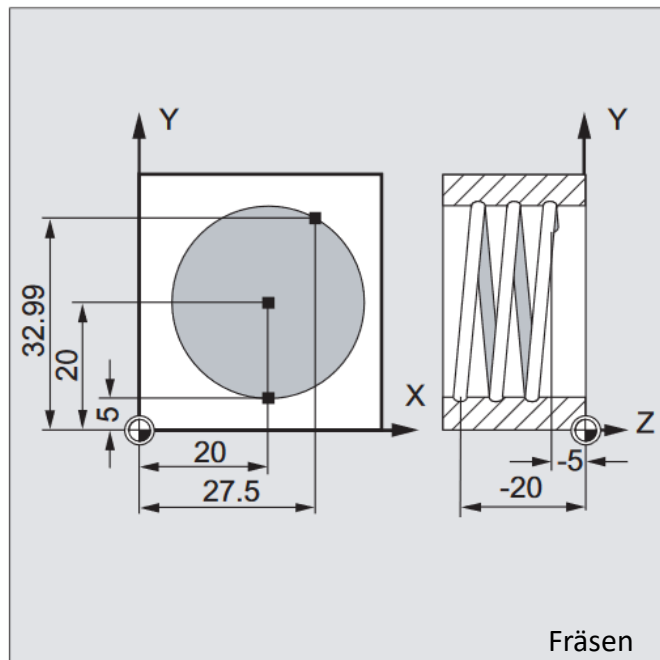
$CR =$: Kreistradius

$CR = +...$: Winkel kleiner oder gleich 180°

$CR = -...$: Winkel größer 180°

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Wegbefehle – Schraubenlinieninterpolation



Bei der Schraubenlinieninterpolation werden zwei Bewegungen überlagert und parallel ausgeführt:

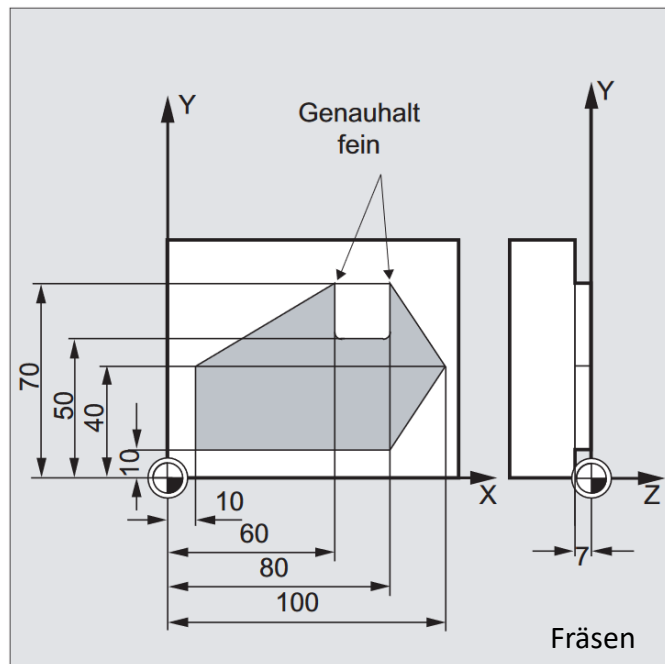
- eine ebene Kreisbewegung, der
- eine senkrechte Linearbewegung überlagert wird.

```
N10 G17 G0 X27.5 Y32.99 Z3 ; Startposition.
N20 G1 Z-5 F50 ; Zustellen des WZG
N30 G3 X20 Y5 Z-20 I=AC(20) J=AC(20) TURN=2
; Schraubenlinie mit den Angaben:
; Ab Startposition 2 Vollkreise ausführen,
; dann Endpunkt anfahren.
N40 M30 ; Programmende.
```

TURN= : Anzahl der zusätzlichen Kreisdurchläufe im Bereich von 0 bis 999

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Genauhalt (G60) und Bahnsteuerbetrieb (G64)



Genauhalt:

- CNC-Steuerung hält das Werkzeug an einer vorgegebenen Position, bevor die nächste Bewegung ausgeführt wird.
- Ideal für punktuelle Arbeiten wie Bohren oder Gewindeschneiden, wenn Position des Werkzeugs wichtig ist.

Bahnsteuerbetrieb:

- Ermöglicht kontinuierliche Bewegungen des Werkzeugs entlang einer vordefinierten Bahn.
- Entscheidend für die Bearbeitung von Konturen und komplexen Formen.

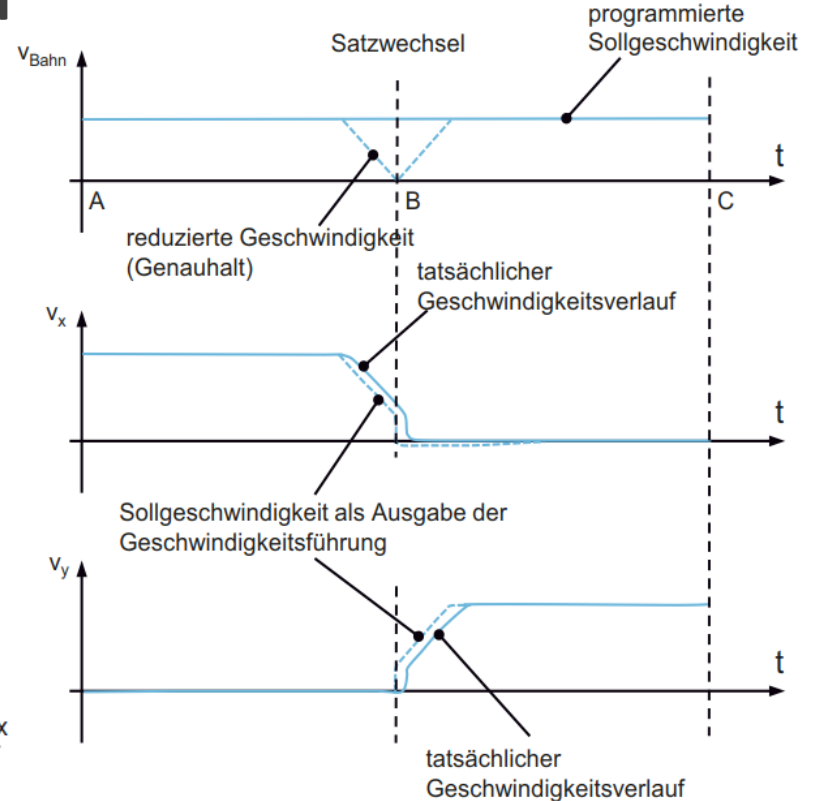
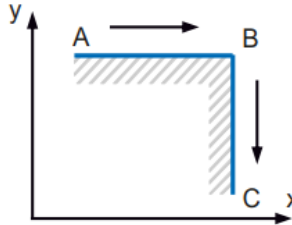
Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Bahninterpolation - Satzwechsel

- Steuerungen bieten die Möglichkeit, zwischeneinem sogenanntem **Genauhalt** und einer **überschleifenden Geschwindigkeitsführung** zu wählen.
- Im ersten Fall wird die Bahngeschwindigkeit gegen Ende des Satzes auf null reduziert.
- Im zweiten Fall erfolgt der Übergang sprungartig auf die Geschwindigkeit des nächsten Satzes.

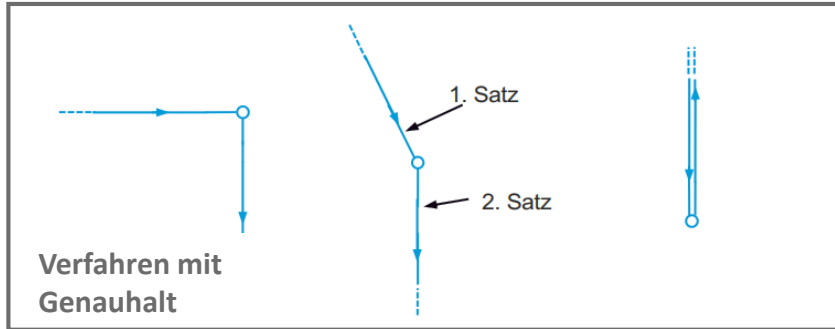
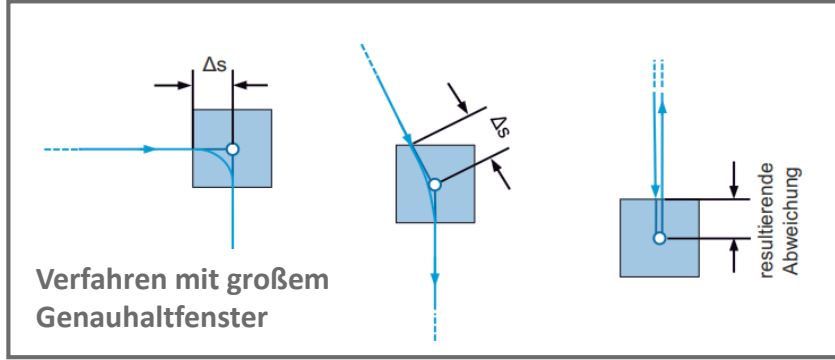
SINUMERIK Syntax:

- Genauhalt: G60
- Bahnsteuerbetrieb: G64



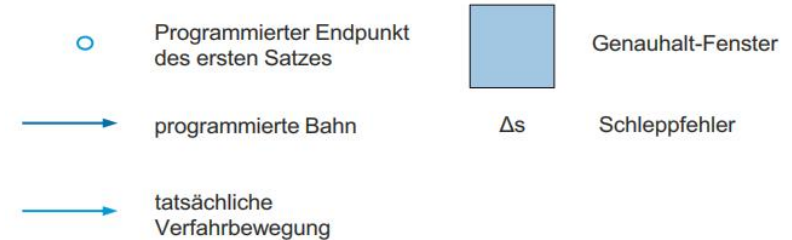
Quelle: Brecher u. Weck (2019): Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 1

Bahninterpolation - Satzwechsel

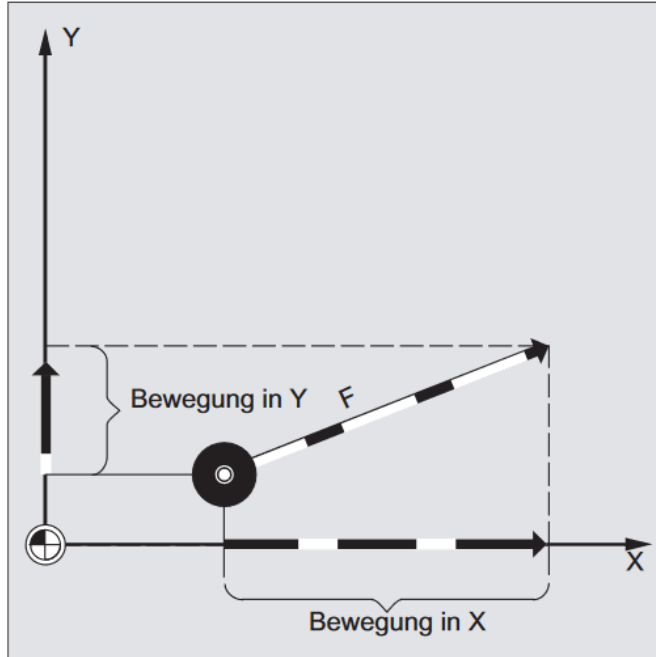


Quelle: Brecher u. Weck (2019): Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 1

Die Höhe der Abweichung an der Ecke ist als Maschinenparameter für die Funktion Genauhalt vorgebar. Im Extremfall einer zugelassenen Abweichung von null ist ein Verweilen des Lagesollwertes in diesem Punkt erforderlich (Genauhalt), bis der Schleppabstand abgebaut ist.



Vorschubregelung – Bahnvorschub F



Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Im Regelfall setzt sich der Bahnvorschub aus den einzelnen Geschwindigkeitskomponenten aller an der Bewegung beteiligten Geometrieachsen zusammen und bezieht sich auf den Fräsermittelpunkt bzw. auf die Werkzeugspitze des Drehstahls.

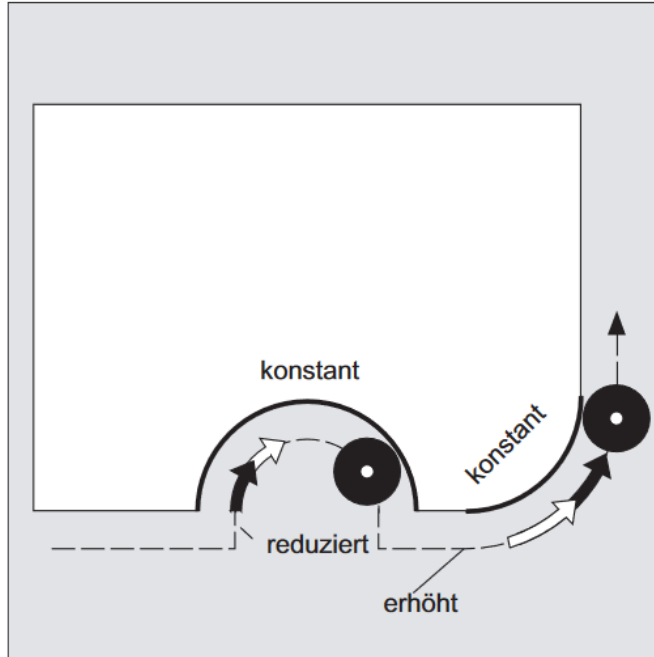
Syntax:

- **G93:** Zeitreziproker Vorschub in 1/min
- **G94:** Linearvorschub in mm/min, inch/min oder Grad/min
- **G95:** Umdrehungsvorschub in mm/U bzw. inch/U (bezieht sich auf Umdrehungen der Masterspindel)
- **F:** Vorschubgeschwindigkeit (Einheit nach G93, G94, G95)

Beispiel:

```
N10 G94 G01 X20 Y5 F50
; mit 50 mm/min linear nach X+20 Y+5
```

Vorschubregelung – Vorschubkorrektur für Konturfräsen



Die Vorschubgeschwindigkeit wird bei Innenradien reduziert, bei Außenradien erhöht. Hierdurch bleibt die Geschwindigkeit an der Werkzeugschneide und damit an der Kontur konstant.

Syntax:

- **CFC: Konstanter Vorschub an der Kontur/Schneide (Standard)**
- **CFTCP: Konstanter Vorschub an der Fräsermittelpunktsbahn**
- **CFIN: Konstanter Vorschub nur an innen gekrümmten Konturen, sonst auf Fräsermittelpunktsbahn**

Beispiel:

CFIN bei Konturfräsen bis auf Fräsgrund um Beschädigung des Fräsgrunds durch zu hohen Vorschub zu verhindern.

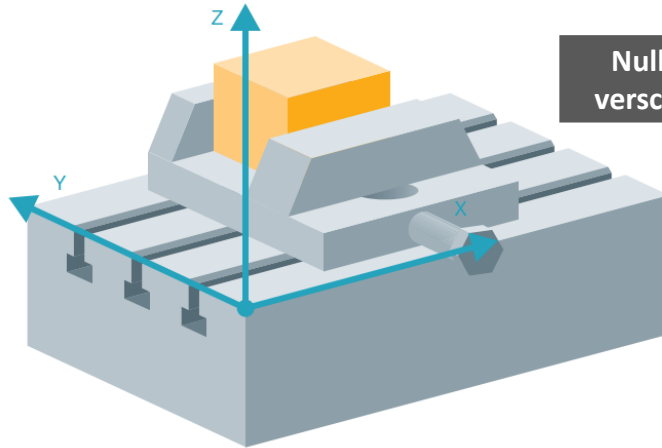
Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Maschinenkoordinaten vs. Werkstückkoordinaten



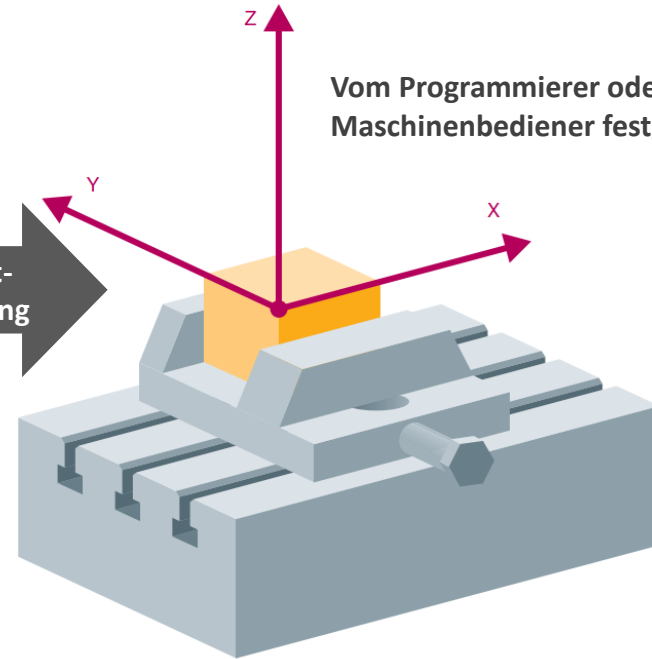
MKS Maschinenkoordinatensystem

Vom Maschinenhersteller definiert;
Kann nicht verändert werden.



WKS Werkstückkoordinatensystem

Vom Programmierer oder
Maschinenbediener festgelegt.



Nullpunkt und Bezugspunkte

Maschinennullpunkt M:

- Ursprung des Maschinenkoordinatensystems
- Unveränderlich fest, nicht verschiebbar

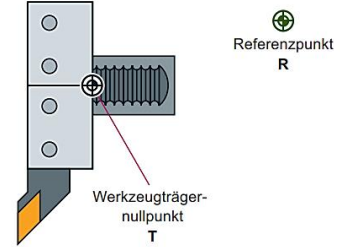
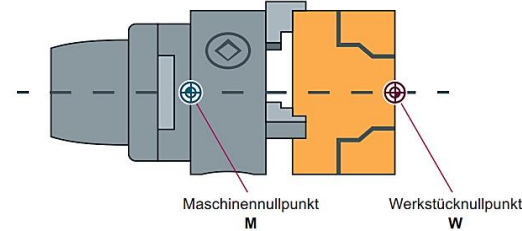
Werkstücknullpunkt W:

- Ursprung des WS-koordinatensystems
- Kann frei gewählt werden
- Bezugspunkt für Werkstück-Geometrie

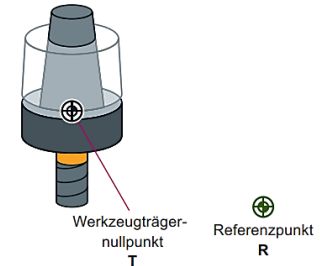
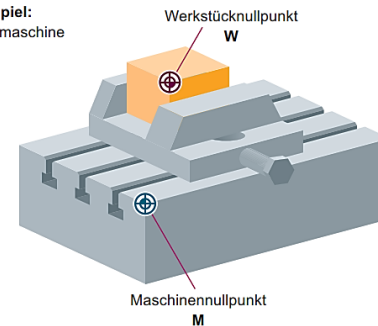
Werkzeugträgerpunkt T:

- Der Werkzeugträgerpunkt T ist für das Einrichten mit voreingestellten Werkzeugen von Bedeutung.
- Der Werkzeugträgerpunkt befindet sich an der Werkzeughalteraufnahme.

Beispiel:
Drehmaschine



Beispiel:
Fräsmaschine



Nullpunktverschiebung

Die **Differenz** zwischen **Maschinennullpunkt M** und **Werkstücknullpunkt T** kann flexibel in eine Nullpunktverschiebung eingetragen werden (G54 – G57).

03.02.14 10:53

Nullpunktverschiebung - Aktiv [mm]

	X	Y	Z	A	C
Istwert MKS	-200.614	701.306	683.946	0.000	0.000
G54	-100.307	500.653	341.973	0.000	0.000
Gesamt NPV	-100.307	500.653	341.973	0.000	0.000
WKZ:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Istwert WKS	-100.307	200.653	341.973	0.000	0.000

Aktiv

Übersicht

Basis

G54 ... G519

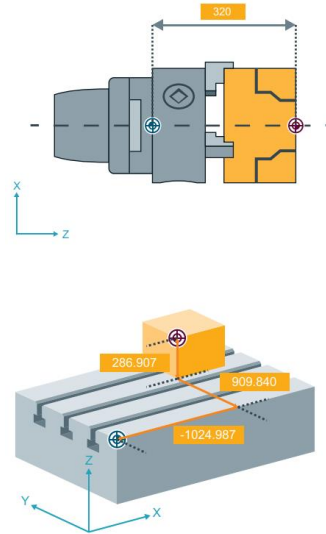
Details

Werkz. liste Werkz. versch. Magazin Nullp. versch. Anwen. variable SD Setting-daten

X
-100.307
-100.307

Y
500.653
500.653

Z
341.973
341.973



10.10.12 08:13

Nullpunktverschiebung - G54 ... G57 [mm]

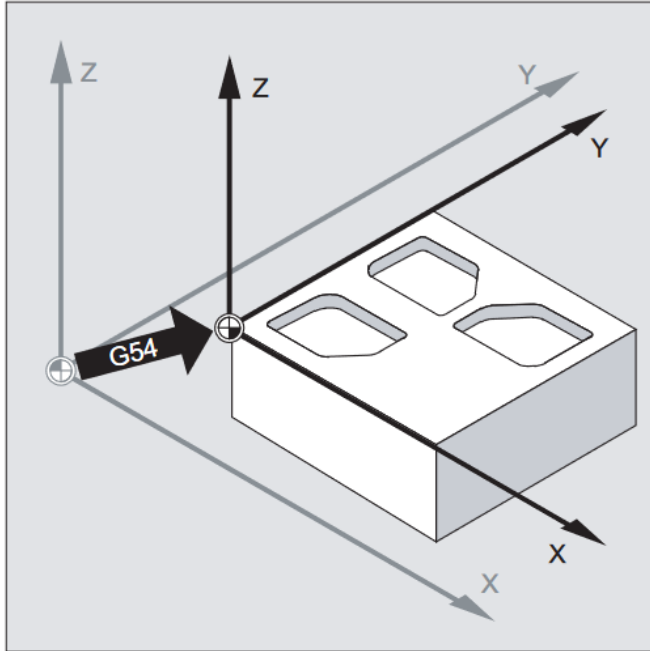
		X	Z	SP1	SP3	In Manuell
G54		0.000	320.000	0.000	0.000	
G55	fein	0.000	0.000	0.000	0.000	Aktiv
G56	fein	0.000	0.000	0.000	0.000	Übersicht
G57	fein	0.000	0.000	0.000	0.000	Basis

10.10.12 08:10

Nullpunktverschiebung - G54 ... G57 [mm]

		X	Y	Z	SP1	Nullpunkt Werkstück
G54		-1024.987	909.840	286.907	0.000	
G55	fein	0.000	0.000	0.000	0.000	Aktiv
G56	fein	0.000	0.000	0.000	0.000	Übersicht
G57	fein	0.000	0.000	0.000	0.000	Basis

Einstellbare Nullpunktverschiebung



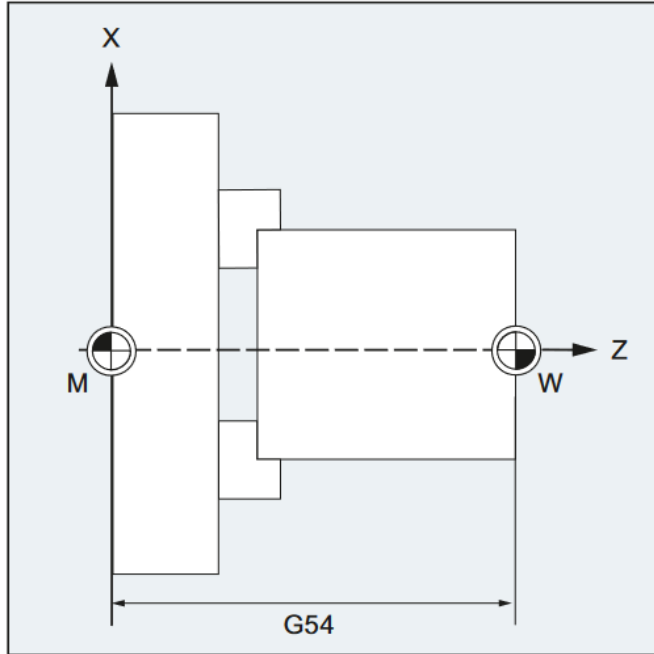
Über die einstellbare Nullpunktverschiebung (NV) wird in allen Achsen der Werkstück-Nullpunkt bezogen auf den Nullpunkt des Basis-Koordinatensystems eingerichtet. Damit ist es möglich, Nullpunkte programmübergreifend per G-Befehl aufzurufen (z. B. für **Vorrichtungen**).

Syntax:

- **G54...G57:** Aufruf der 1. bis 4. einstellbaren NV
- **G505...G599:** Aufruf der 5. bis 99. einstellbaren NV
- **G500:** Ausschalten der aktuellen einstellbaren NV (Nullframe)
- **G53:** Unterdrückung der satzweise einstellbaren NV und programmierbaren NV.

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Einstellbare Nullpunktverschiebung



Über die einstellbare Nullpunktverschiebung (NV) wird in allen Achsen der Werkstück-Nullpunkt bezogen auf den Nullpunkt des Basis-Koordinatensystems eingerichtet. Damit ist es möglich, Nullpunkte programmübergreifend per G-Befehl aufzurufen (z. B. für **Vorrichtungen**).

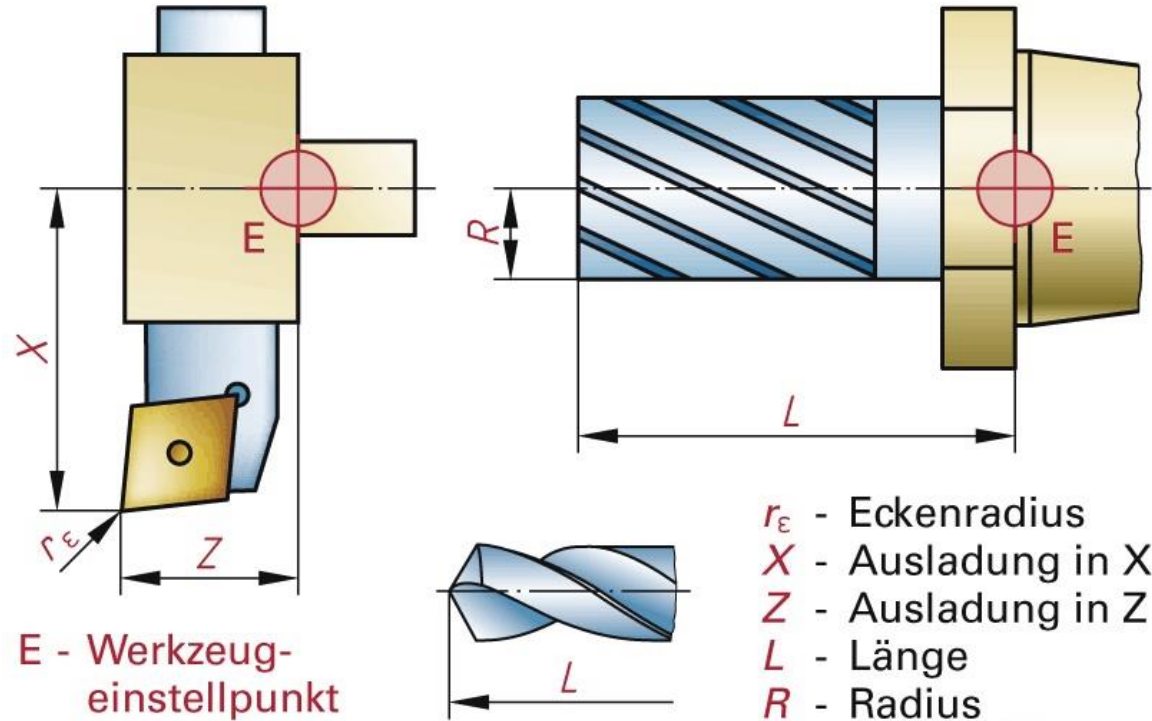
Syntax:

- **G54...G57:** Aufruf der 1. bis 4. einstellbaren NV
- **G505...G599:** Aufruf der 5. bis 99. einstellbaren NV
- **G500:** Ausschalten der aktuellen einstellbaren NV (Nullframe)
- **G53:** Unterdrückung der satzweise einstellbaren NV und programmierbaren NV.

Beim Drehen wird in G54 z. B. der Korrekturwert für Nachdrehen des Spannmittels eingetragen.

Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

Werkzeugkorrekturen



Werkzeuglängenkorrektur:

Als Werkzeuglänge gilt der Abstand zwischen Werkzeugträgerbezugspunkt und Werkzeugspitze.

Werkzeugradiuskorrektur:

verschiebt den Eingriffspunkt des Werkzeuges exakt auf die gewünschte Kontur des Werkstücks.

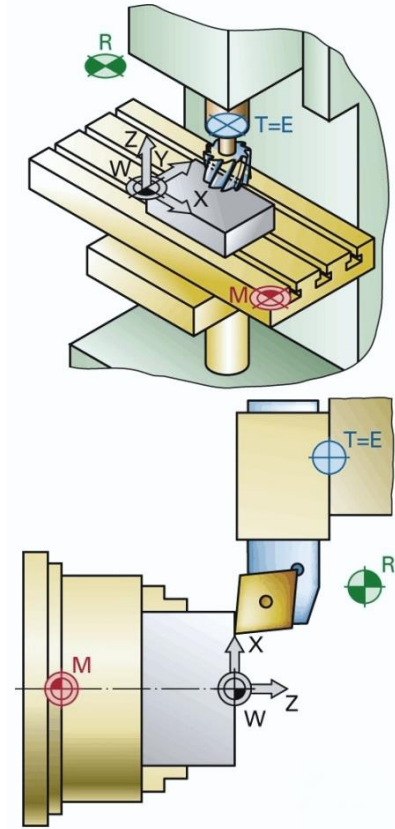
Schneidenradiuskorrektur:

Bahnkorrektur gemäß wanderndem Eingriffspunkt der verrundeten Werkzeugschneide.

Werkzeugkorrekturen

Werkzeugträgerpunkt T:

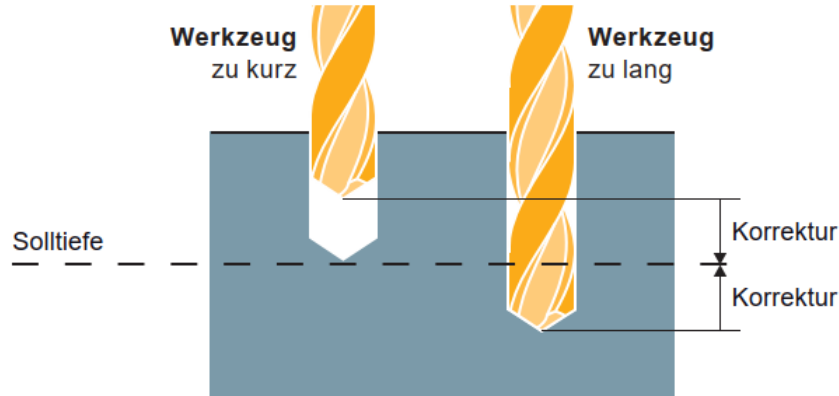
- Wird von der Werkzeugaufnahme gebildet.
- Steuerung bezieht die aktuelle Achsposition auf diesen Punkt.
- Werkzeuge müssen vermessen werden (meist außerhalb der Maschine).



Werkzeugkorrekturen

Werkzeuglängen-Korrektur:

Erfolgt automatisch durch Abrufen der WZG-Geometriedaten aus der WZG-Verwaltung der CNC.



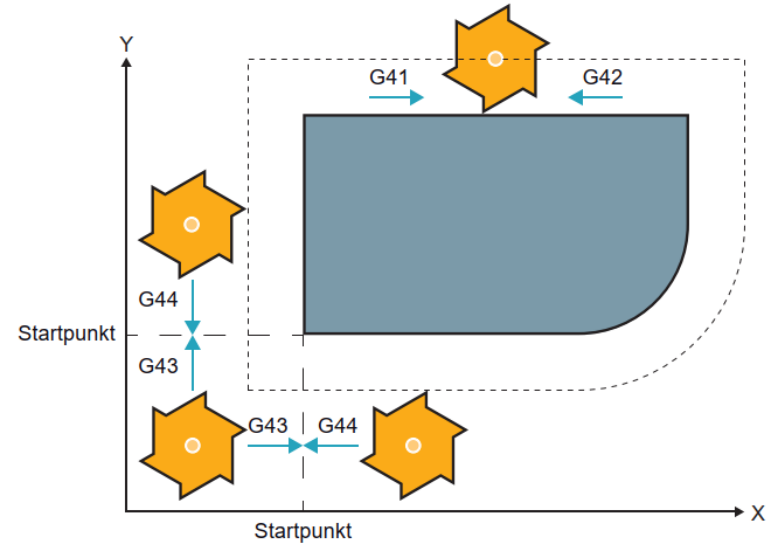
Fräserradius-Korrektur:

Muss bewusst im Programm aufgerufen werden.

G40 ... keine Korrektur

G41 ... Fräswerkzeug links von der Werkstückkontur

G42 ... Fräswerkzeug rechts von der Werkstückkontur

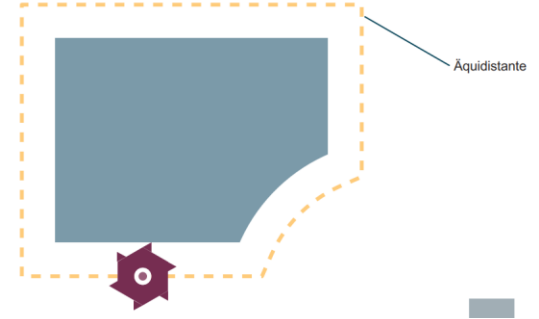


Quelle: CNC Handbuch (2020)

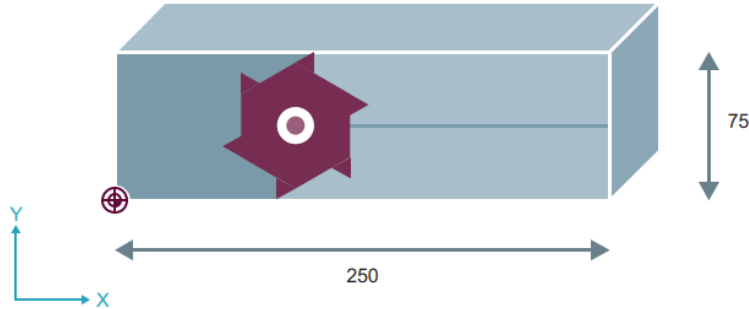
Werkzeugradiuskorrektur

- Korrektur der programmierten Bahn um einen **äquidistanten Versatz** gemäß des Werkzeugradius.
- G-Funktionen G40, G41, G42

Quelle: CNC Handbuch (2020)

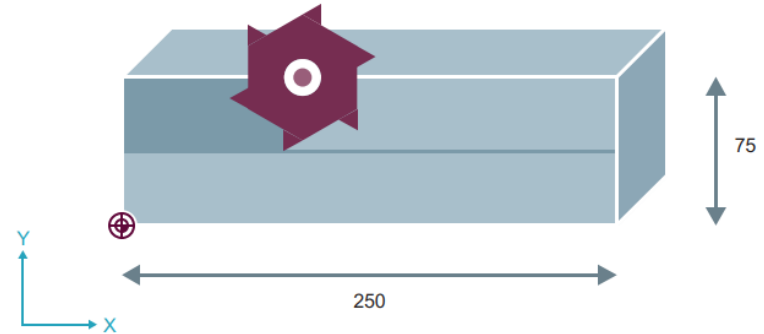


G01 **G40** X250 Y37,5 F2000 S8000 M3



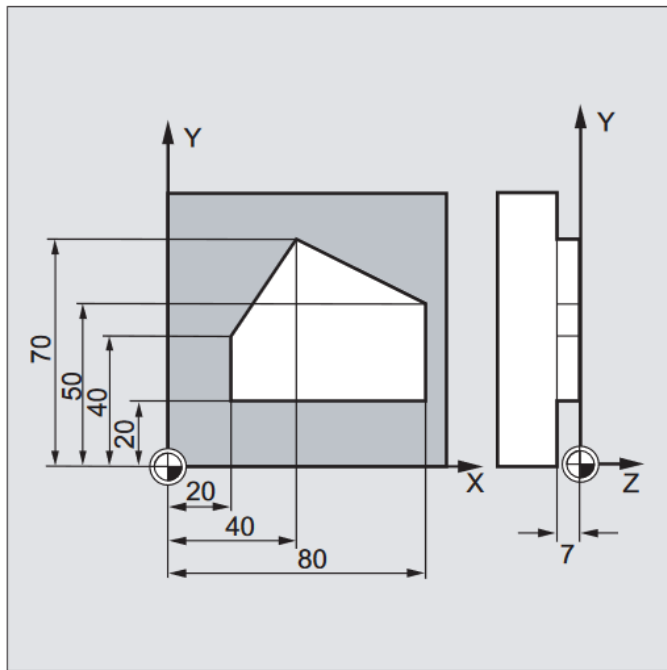
Werkzeugradiuskorrektur aus
Werkzeugradiuskorrektur wird aufgehoben

G01 **G41** X250 Y37,5 F2000 S8000 M3



G41 Werkzeugradiuskorrektur ein, links der Kontur **Gleichlaufbearbeitung**

Werkzeugradiuskorrektur – Beispiel



Quelle: SIEMENS Programmierhandbuch Grundlagen (2010)

```

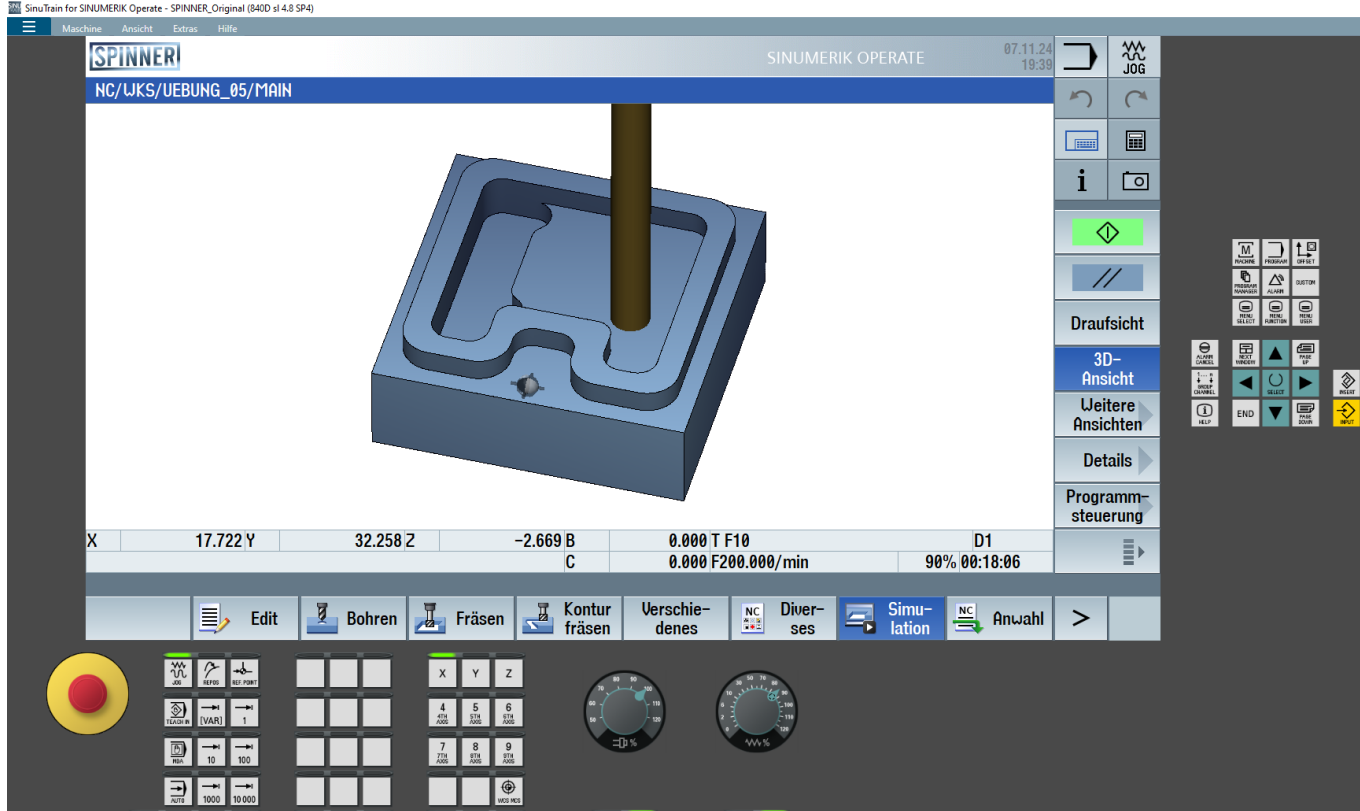
N10 G0 Z100      ; Freifahren zum WZG-Wechsel.
N20 G17 T1 M6    ; WZG-Wechsel
N30 G0 X0 Y0 Z1 M3 S300 D1
                  ; WZG-Korrekturwerte aufrufen,
                  ; Längenkorrektur anwählen.

N40 Z-7 F500     ; WZG zustellen.
N50 G41 X20 Y20  ; Werkzeugradiuskorrektur
                  ; einschalten, Werkzeug arbeitet
                  ; links von der Kontur.

N60 Y40          ; Kontur fräsen.
N70 X40 Y70
N80 X80 Y50
N90 Y20
N100 X20
N110 G40 G0 Z100 ; Werkzeug freifahren
N120 M30         ; Programm-Ende.
    
```

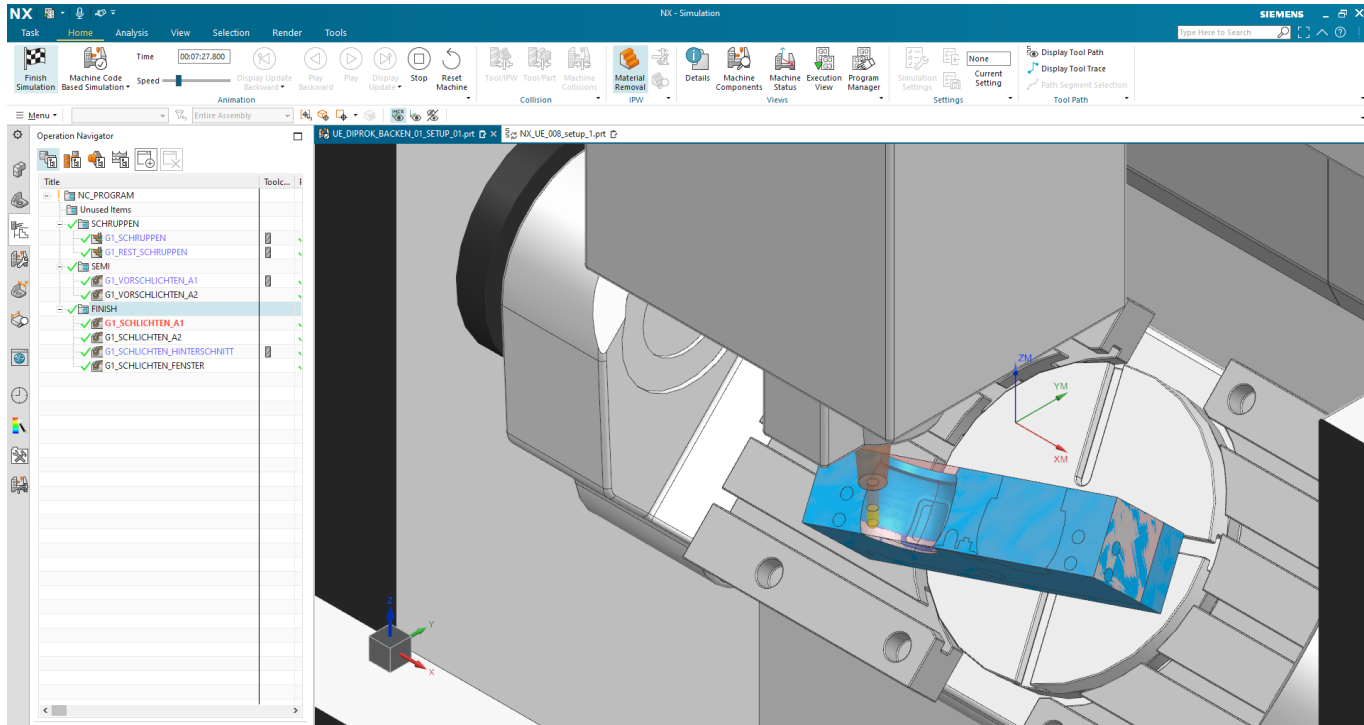
Übung 1:

Sinutrain: Konturtasche mit Insel



Übung 2:

Siemens NX CAM: Spritzgussform



DIGITALE WERKZEUGKISTE FÜR DIE **METALLBRANCHE**

Modul 3: CAD/CAM

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas
Dipl.-Ing. Martin Scharf

DER DIGITAL INNOVATION HUB SÜD ALS
KOSTENLOSES SERVICE FÜR KMU

