Vorlesung: Werkzeugmaschinen/NC

Prof. Dr. Willi Rößner

Werkzeugmaschine für die Laser- und Stanzbearbeitung von Blechwerkstücken (Fa. TRUMPF)

Schrifttum:

1. Weck, M.: Werkzeugmaschinen, Band 1...4, VDI- Verlag

2. Tschätsch, H.: Werkzeugmaschinen, 7 Auflage, Hanser Verlag München, ISBN 3-446-21388-0

3. Conrad, C-J.: Taschenbuch der Werkzeugmaschinen, Fachbuchverlag Leipzig, ISBN 3-446-21859-9

4. Schmid, D.: CIM, Lehrbuch zur Automatisierung der Fertigung, 1. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel, Hann-Gruiten, ISBN 3-8085-5111-9

5. Nist, G.: Steuern und Regeln im Maschinenbau, 9. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel, Hann-Gruiten

6. Handbuch der Metallbearbeitung, 2. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel,

7. Fachkunde Metall, 53. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel, Hann-Gruiten, SBN 3-8085-1153-2

8. Tabellenbuch Metall, 41. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel, Hann-Gruiten, ISBN 3-8085-1721-2

Anmerkung: Das vorliegende Manuskript soll den Schreib- und Zeichenaufwand während der Vorlesung reduzieren. Der Inhalt bedarf einer weiteren Vertiefung in der Vorlesung. Das Skript für sich allein ist weder als Vorlesungsersatz noch als Mittel für die Prüfungsvorbereitung gedacht.

Inhalt:

1 Einführung ... 3
1.1 Definitionen und Einteilung von Werkzeugmaschinen ... 3
1.2 Wirtschaftliche Bedeutung des Werkzeugmaschinenbaus ... 7
1.3 Fertigungsverfahren und Abgrenzung der Werkzeugmaschinen ... 9
2 System Werkzeugmaschine ... 11
2.1 Arbeitssystem ... 12
2.2 Kinematiksystem ... 13
2.3 Werkzeugsystem ... 16
2.4 Werkstücksystem ... 22
2.5 Werkzeughandhabungssystem ... 27
2.6 Werkstückhandhabungssystem ... 29
2.7 Werkzeugmess- und überwachungssystem ... 32
2.8 Werkstückmess- und überwachungssystem ... 35
2.9 Diagnose- und Prozessüberwachungssystem ... 37
3 Steuerungen und Antriebe ... 38
3.1 Allgemeiner Funktionsumfang ... 38
3.2 CNC- Steuerungen ... 39
3.3 Zusammenwirken von CNC, Antrieben und Wegmessystemen ... 40
3.4 Lageregelung und Wegmessung ... 41
3.5 Fallbeispiel: Werkzeugschleifmaschine ... 42
4 Genauigkeit und Abnahme von Werkzeugmaschinen ... 44
5 Automatisierung von Werkzeugmaschinen ... 46
5.1 Überblick und Beispiele ... 46
5.2 Fallbeispiel Fertigungskonzeption (Prüfung WS 99/00) ... 49
6 Fertigungskonzepte ... 50
6.1 Arbeitsgangzuordnung (Einmaschinen- Mehrmaschinenkonzepte) ... 51
6.2 Fallbeispiel Drehmaschine ... 56
7 CNC- Programmierkurs (PAL) ... 57
7.1 Übersicht ... 57
7.2 CNC - Programmierung (DIN 66025) ... 58
7.3 Werkstückkoodinaten und Werkstücknullpunkt ... 59
7.4 Maschinenkoordinaten und Maschinennullpunkt ... 60
7.5 Wegbedingungen G00, G01, G02, G03 ... 61
7.6 Absolut- und Relativprogrammierung ... 63
7.7 Nullpunktverschiebung NPV ... 64
7.8 Werkzeugkorrektur ... 66
7.9 S, F, M- Anweisungen ... 69
7.10 Zyklen ... 70
7.11 Unterprogrammtechnik ... 72
8 Praktikumsaufgaben (PAL) ... 76
8.1 Fräsen ... 76
8.2 Drehen ... 78
9 Drehen mit Mastercam X2 ... 80
10 Fräsen mit Mastercam X2 ... - 98 -

1 Einführung

Werkzeugmaschinen dienen zum Herstellen von Maschinen, Vorrichtungen und Geräten aller Art.
Überwiegend Bearbeitung von Metallen, jedoch auch Holz, Kunst- und Sonderwerkstoffe

1.1 Definitionen und Einteilung von Werkzeugmaschinen

1.1.1 Definition

Eine Werkzeugmaschine ist eine Arbeitsmaschine, die ein Werkzeug am Werkstück unter gegenseitiger Führung zur Wirkung bringt (nach Kienzle)
Das **Wirkpaar Werkzeug←→ Werkstück** erzeugt durch eine **Relativbewegung** die **Werkstückgeometrie**.
Die Relativbewegung ist
einfach, bei Formwerkzeugen, z.B. Gesenkschmieden (Abbildendes Formen),
komplex, bei punktförmigen Werkzeugen, z.B. Drehen (Gesteuertes Formen).

Handwerkzeug ⟷ Werkzeugmaschine

	Handwerkzeug Drillbohrer	mechan. - WZ (handgeführt) Elektrowerkzeug	Werkzeugmasch. Tischbohrmasch.	Automat Bohrautomat
Bereitstellen der Verfahrensenergie	manuell	mechanisch	mechanisch	mechanisch
Ausführen der Relativbewegung	manuell	manuell	mechanisch	mechanisch
Steuern des Verfahrensablaufes	manuell	manuell	manuell	automatisch

© W. Rößner

manuelle Bearbeitung ⟷ mechanische Bearbeitung ⟷ automatische Bearbeitung

Definition von Werkzeugmaschinen

WMMaho1.ppt

Fräsmaschine

1.1.2 Einteilung nach dem Fertigungsverfahren

Die Wirkung zwischen Werkzeug und Werkstück beruht auf unterschiedliche **Fertigungsverfahren** (Vorlesung Fertigungsverfahren). Das Fertigungsverfahren bestimmt in der Regel die Bezeichnung der Werkzeugmaschine (z.B. Drehmaschine abgeleitet von „Drehen“). DIN 69651

Fertigungsverfahren DIN 8580

Urformen	Umformen DIN 8582	Trennen	Fügen DIN 8593	Beschichten	Stoffeigenschaften ändern
Gießereimaschinen (Rapid Prototyping) usw.	Pressen Hämmer Walzmaschinen usw.		Niet- Schweiß- Montagemaschinen usw.	Auftrag- Maschinen PVD/CVD usw.	Härtereimaschinen usw.

Zerteilen DIN 8588	Spanen	Abtragen DIN 8690
Scheren usw.	Drehmaschinen Fräsmaschinen Schleifmaschinen usw.	Laserbearbeitungs- Funkenerosions- Elysiermaschinen usw.

WMEinteilungFV.ppt

Einteilung von WM nach dem Fertigungsverfahren

1.1.3 Einteilung nach allgemeinen Kriterien

Werkstückgrundform (Kubische, plattenförmige, rotatorische Grundformen sind nicht aufgeführt)	Blechbearbeitungsmaschinen z. Bsp. - Trennen Stanzen, Nippeln Lasern usw. - Umformen Biegen, Abkanten Ziehen usw.	Rohrbearbeitungsmaschinen z.Bsp. Biegen Endenbearbeitung usw.	Zahnradbearbeitungsmaschinen Walzen Fräsen Schleifen Schaben Honen	Profilbearbeitungsmaschine Stahlbau Fensterherstellung usw.

Werkstückgröße	Kleinwerkzeugmasch.	Normalwerkzeugmasch.	Großwerkzeugmasch.	
Werkstoff	Metallbearbeitungsmaschinen	Holzbearbeitungsmaschinen	Kunststoffbearbeitungsmaschinen	usw.
Steuerung	konventionell	Zyklensteuerung	CNC- Steuerung	
Automatisierungsgrad	handbedient	teilautomatisiert	vollautomatisiert	
Einsatzbereich	Universalmaschinen	Sondermaschinen		
Systemumfang	Einzelmaschinensysteme	Mehrmaschinensysteme		

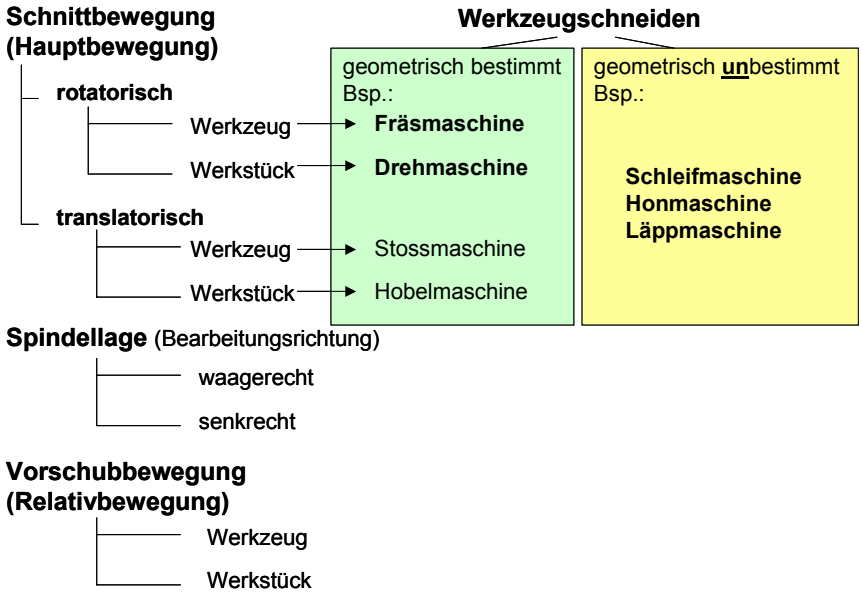
Einteilung von WM nach allgemeinen Kriterien

1.1.4 Einteilung von Werkzeugmaschinen zum Abtragen

<table>
<tr><td colspan="3">Thermisch</td><td>Chemisch</td><td>Mechanisch</td></tr>
<tr><td>Laser</td><td colspan="2">Funkenerosion</td><td>Elektrochemisches Senken</td><td>Ultraschallerosion</td></tr>
<tr><td>kein Medium zwischen Werkzeug und Werkstück</td><td colspan="2">Dielektrikumsflüssigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück</td><td>Elektrolytflüssigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück</td><td>Schleifkorn zwischen Werkzeug und Werkstück</td></tr>
<tr><td></td><td>Senk-erodieren</td><td>Draht-erodieren</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>Stirn-erodieren</td><td>Planetar-erodieren</td><td></td><td></td></tr>
</table>

Einteilung von abtragenden Werkzeugmaschinen

1.1.5 Einteilung von Werkzeugmaschinen zum Spanen



Einteilung von spanenden Werkzeugmaschinen

1.1.6 Anforderungen an Werkzeugmaschinen

Technisch
- Genauigkeit: Maßtoleranzen, Form und Lagegenauigkeit, Oberflächengüte.
- Fertigungsleistung: Messgrößen sind z. B. Stückzahl, Zerspanvolumen, Schnitttiefe usw.
- Geometrie: Geometrische Bearbeitungsfähigkeiten, z.B 3D Bearbeitung von Freiformflächen.

Wirtschaftlich
Stückkostenminimierung: Stückkosten = Kostensatz * Zeit Daraus leitet sich die Notwendigkeit zur Kostenminimierung durch Einsatz von Werkzeugmaschinen mit niedrigem Maschinenstundensatz und zur Zeitminimierung durch optimierte Verfahren, Schnittwerte, spezielle Maschinenkonzeptionen ab.

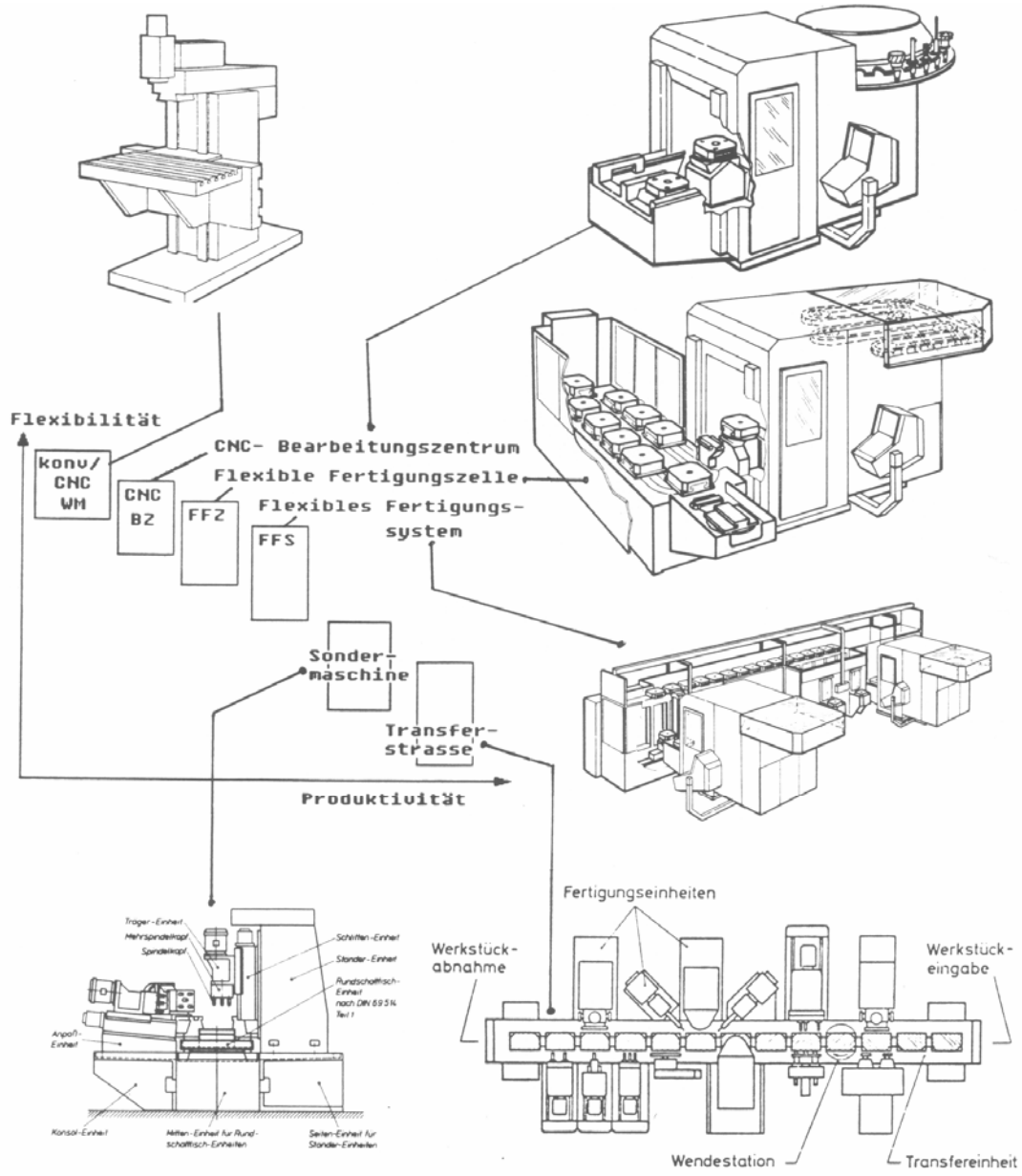
1.1.7 Einsatzbereich und Systemumfang von Werkzeugmaschinen

Eine konkurrenzfähige Fertigung erfordert optimierte Werkzeugmaschinenkonzepte hinsichtlich Einsatzbereich und Systemumfang. Die Maximalforderung nach höchster Produktivität bei gleichzeitiger maximaler Flexibilität ist nicht erreichbar. Daher sind angepasste Konzepte auszuwählen.

Bearbeitungszentrum (BZ): Ein BZ ist eine CNC (NC)- Maschine, die zur Ausführung von mindestens zwei Bearbeitungsoperationen und zu einem automatischen Werkzeugwechsel aus einem Magazin oder ähnlicher Speichereinrichtung entsprechend dem Bearbeitungsprogramm fähig ist (nach CECIMO). **Selbsttätiges Bearbeiten eines Werkstückes.**

Flexible Fertigungszelle (FFZ): Autom. NC- Maschine mit Werkzeug- und Werkstückspeicher sowie Steuerungs- und Überwachungseinrichtungen zum **selbsttätigen Bearbeiten mehrerer Werkstücke bzw. eines Loses.**

Flexibles Fertigungssystem (FFS): Automat. NC- Maschinen, miteinander verkettet durch Transport, Speicher- und Handhabungseinrichtungen für Werkstücke und Werkzeuge. Organisatorische Steuerung durch einen Rechner. **Selbsttätiges Bearbeiten mehrerer Werkstücke bzw. eines Loses.**



Werkzeugmaschinenkonzepte

1.2 Wirtschaftliche Bedeutung des Werkzeugmaschinenbaus

	1987	2002
Produktionswert:	7 Mrd. DM	13,5 Mrd. €
Beschäftigte:	100.000	70.000

Die Produktivitätssteigerung wird am Beispiel der Schnittgeschwindigkeit deutlich. Die Schnittgeschwindigkeit erhöhte sich, bezogen auf 1870 um das 100-fache, entsprechend reduziert sich die Hauptzeit auf 1/100. Weitere Zeitgewinne ermöglicht die Verringerung der Nebenzeiten. Zusammen mit Mehrspindelkonzepten und Mehrfachwerkzeugen ist in diesem Zeitraum die Produktivität bis um das 200 bis 300-fache gesteigert worden. Vereinfachte Aussage: Eine heutiges Maschinenkonzept für die Massenfertigung leistet soviel wie 200 bis 300 Maschinen von damals!

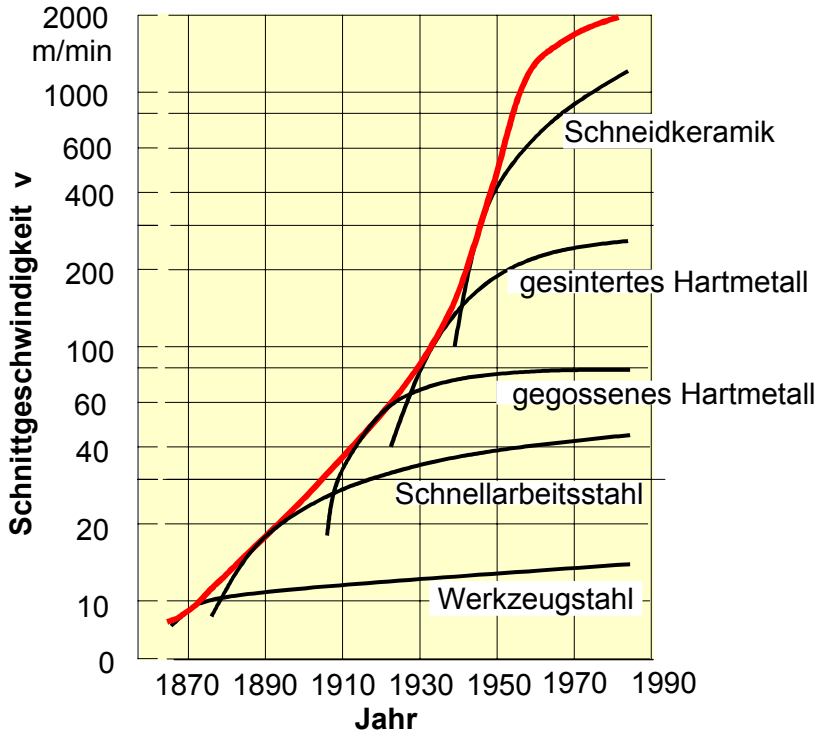
Technische und organisatorische Möglichkeiten zur Produktivitätssteigerung

Verringerung der Hauptzeiten
Nebenzeiten
Rüstzeiten
Brachzeiten

Verlängerung der Laufzeiten (Einsatzstunden/Jahr)

Absenkung der Investitions- und Betriebskosten

1. Welche Produktivitätsreserven lassen sich bei den derzeitigen tarifvertraglichen und gesellschaftlichen Randbedingungen noch ausschöpfen?
2. Wie beeinflusst die Produktivität und die gegebene Lohnkostenstruktur die internationale Konkurrenzfähigkeit?
3. Wie können flexible Arbeitszeitmodelle zum Verlängern der Maschinenlaufzeiten gestaltet werden?

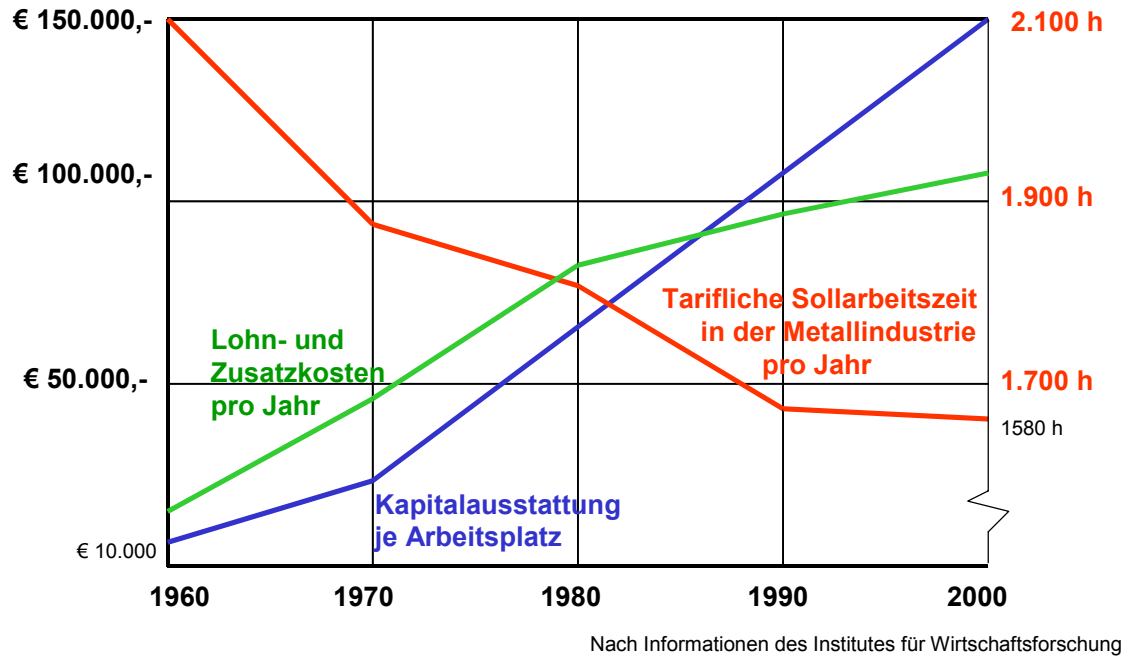


DiaGe.ppt

Entwicklung der Schnittgeschwindigkeit

Der Kapitalaufwand für neue Produkte und Fertigungsprozesse steigt erheblich. Entsprechende technische und organisatorische Maßnahmen zur Kostensenkung müssen gefunden werden.

Weitere Herausforderungen:
Kürzere Auftragszeiten (Just in Time- Fertigung)
Geänderte Führungs- und Organisationsformen (reduzierte Arbeitsteilung, Gruppenorganisation)
Qualifizierung der Mitarbeiter

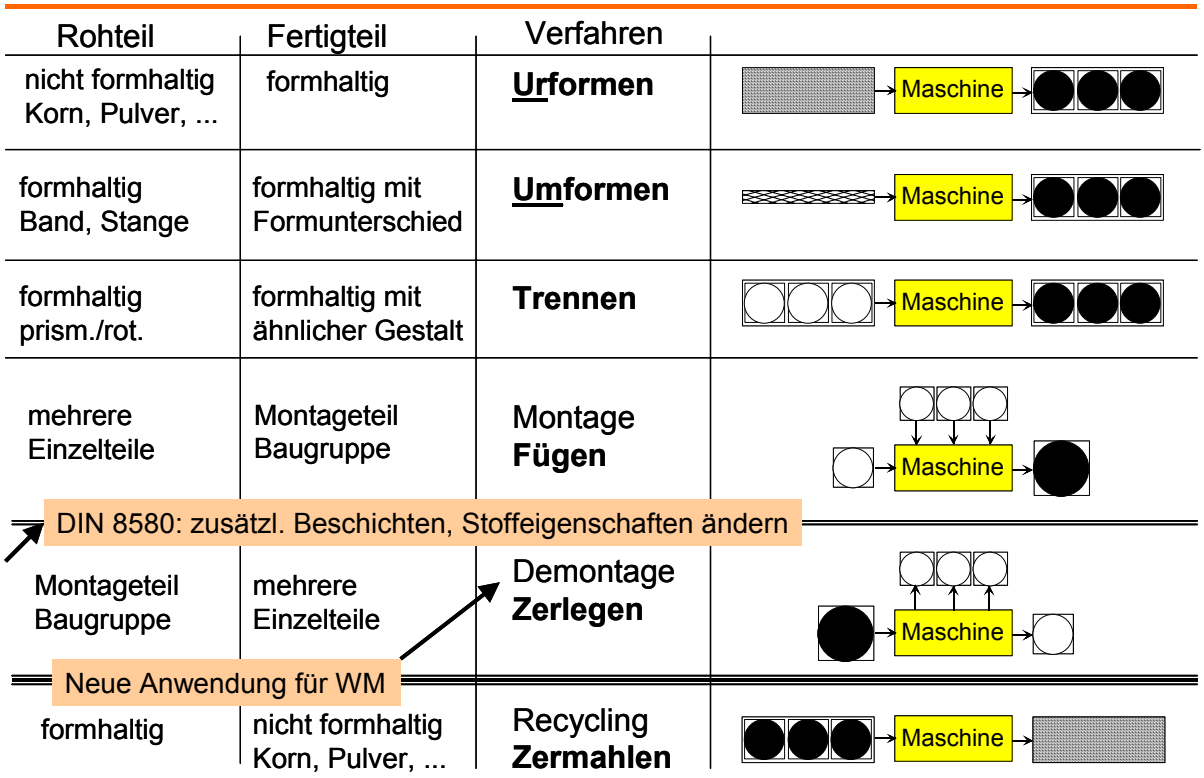


Nach Informationen des Institutes für Wirtschaftsforschung

Lohn- Kapitalkosten und Arbeitszeiten

1.3 Fertigungsverfahren und Abgrenzung der Werkzeugmaschinen

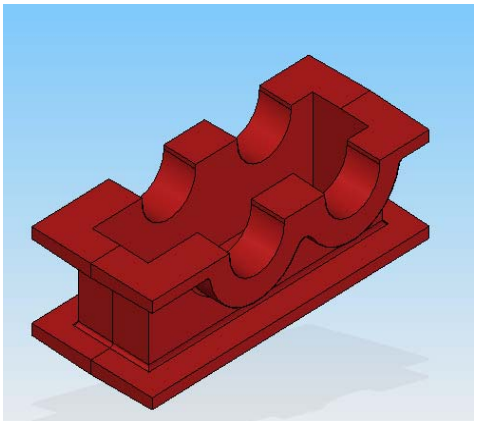
Eine mögliche Abgrenzung der Werkzeugmaschinen erfolgt nach dem Fertigungsverfahren



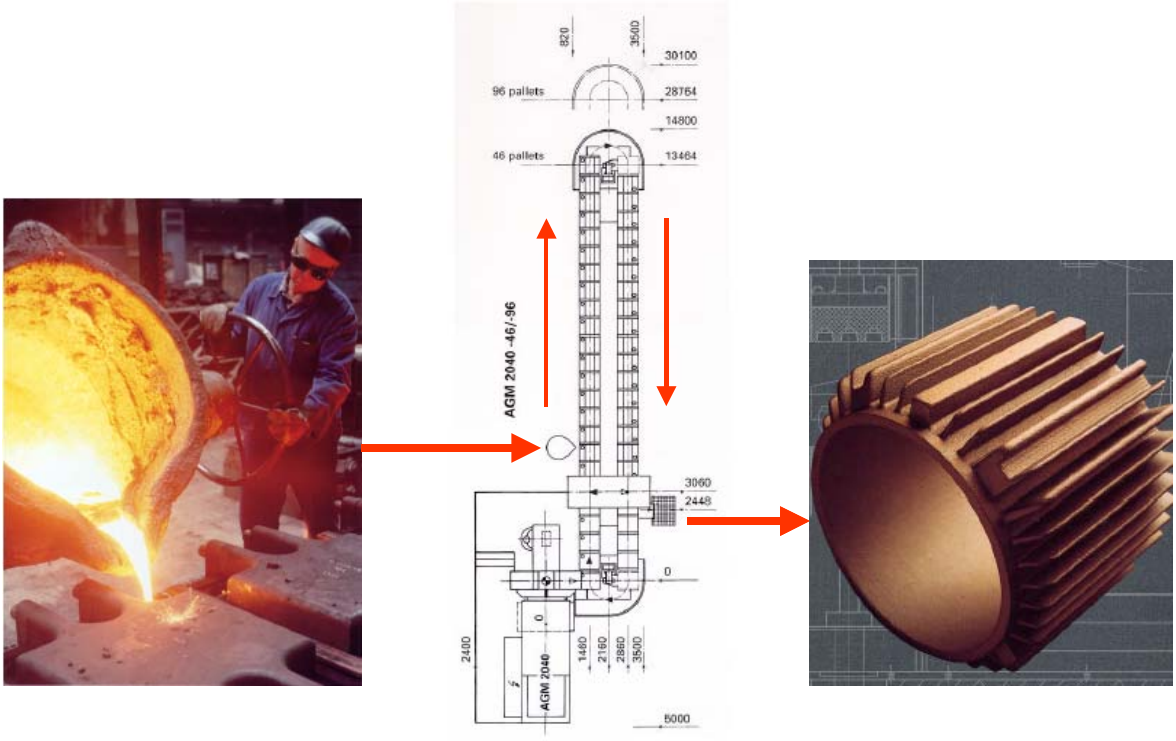
Fertigungsverfahren und Formgebung von Werkstücken (DIN 8580 abgewandelt)

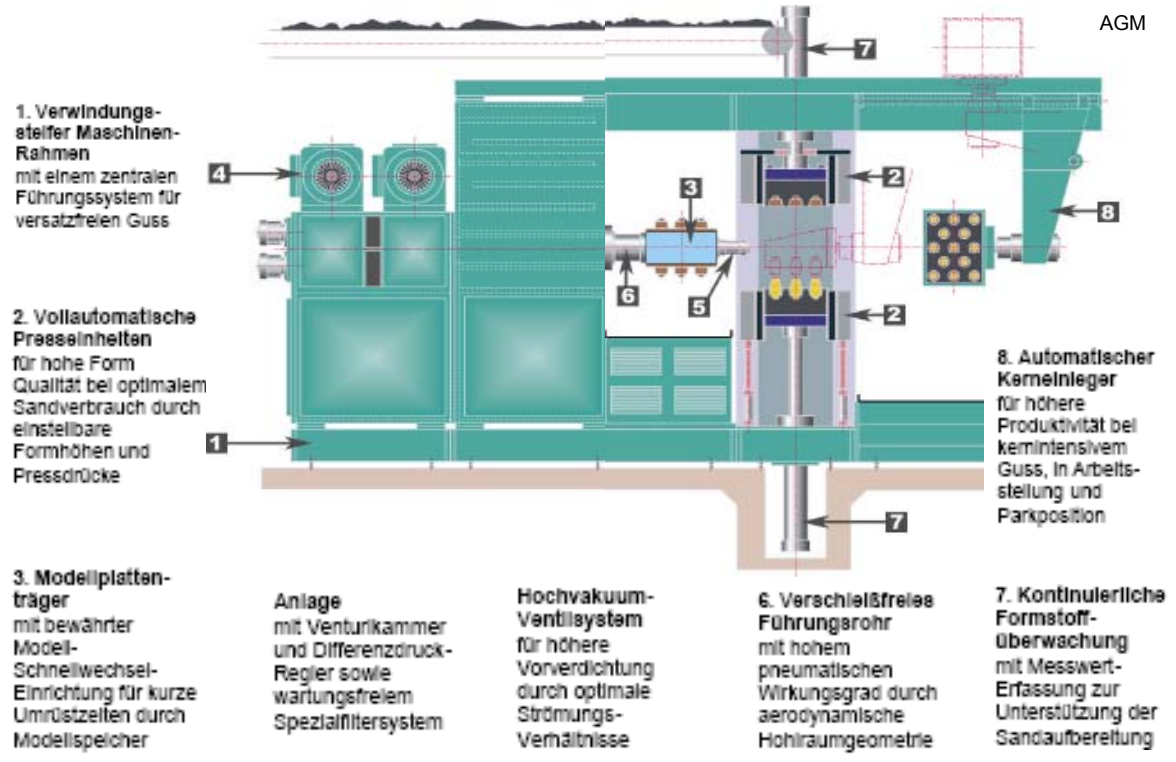
Urformen: Form- und Gießmaschinen, Sinterpressen, Galvanoanlagen
Umformen: Kontinuierlich (Walzmaschinen), Stückgut (Hämmer, Mechanische Pressen, Hydraulische,Pressen), Blech (Biegemaschinen)
Trennen: a) Zerteilen: Blechbearbeitungsmaschinen wie Schermaschinen, Stanzmaschinen
b) Spanen mit geometrisch bestimmter oder unbestimmter Schneide. (Die Vorlesung konzentriert sich auf diese Thematik)
c) Abtragen: Funkenerosionsmaschinen, Elektrochemische Bearbeitungsmaschinen usw.
Fügen: Montagemaschinen, Schweiß- Lötmaschinen, Niet- Schraub- Klebemaschinen usw.
Beschichten und Stoffeigenschaften ändern: Dies sind gemäß DIN 8580 Fertigungsverfahren, die jedoch keine nennenswerte Formänderung hervorrufen. Deshalb im obigen Bild nicht berücksichtigt.
Demontage: In der DIN 8580 ist das „Zerlegen“ unter dem Oberbegriff „Trennen“ eingeordnet. Hier ist dieses Verfahren gesondert aufgeführt, da im Rahmen von Recycling- Aufgaben die Bedeutung zunimmt.
Zermahlen: Kein Fertigungsverfahren nach DIN 8580, sondern der mechanischen Verfahrenstechnik zugeordnet.

Fertigung dieses Getriebeunterteiles? Welche Fertigungsverfahren und Werkzeugmaschinen kommen zum Einsatz?



Beispiel Urformen: Formherstellung und Gießen





Beispiel: Gießen und Vakuum- Formanlage

Schrifttum zu Kapitel 1:

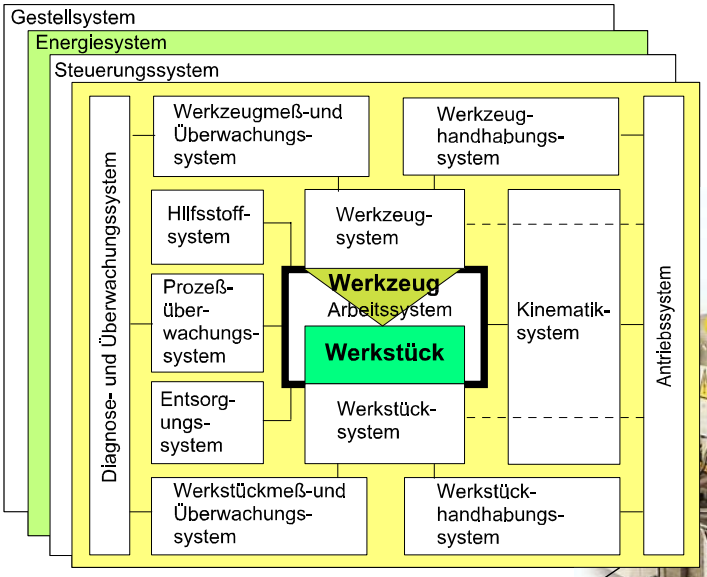
Scheipers, Paul (Herausgeber): Handbuch der Metallbearbeitung, Verlag Europa- Lehrmittel, Haan-Gruiten, ISBN 3-8085-5092-9

2 System Werkzeugmaschine

Systemtechnische Sicht: ⇨ Betrachtung von **Teilfunktionen** (siehe Bild unten).

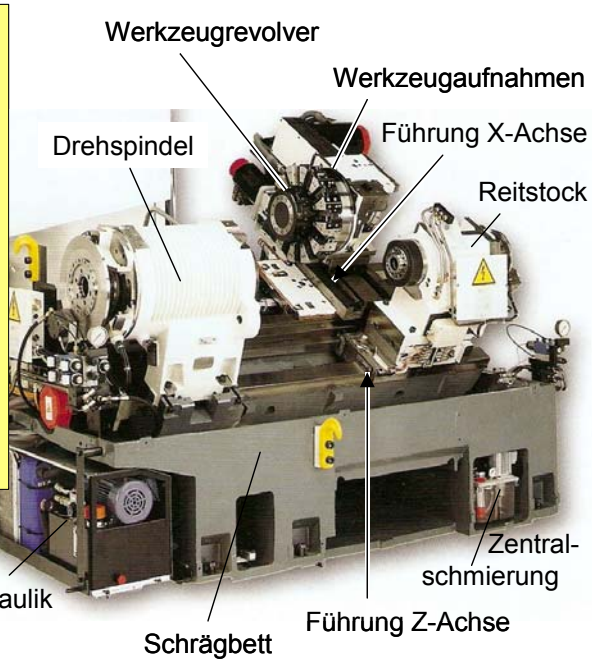
Konstruktive Sicht: ⇨ Betrachtung von **Baugruppen**.
Gestellbauteile: Grundplatte, Bett, Ständer, Querbalken, Säule, Ausleger, Tisch, Gestell, Mitten-, Seiten-, Aufbauteile
Schlitten und Spindeln: Längsführungen, Rundführungen
Werkstück- und Werkzeugträger: WS-/WZ- Aufnahmen, Spanneinrichtungen
Antriebe: Motoren, Getriebe, Kupplungen, Vorschubspindeln
Steuerungen: NC, CNC, SPS, elektr., hydr., pneumat, mech. Steuerungen
Hilfseinrichtungen: Kühlmittelversorgung, Späneentsorgung usw.

Systemtechnische Sicht



Konstruktive Sicht

Bsp. Drehmaschine



Teilsysteme und Baugruppen von Werkzeugmaschinen

©

Systemgrenzen
I Ordnung: Maschine
II Ordnung: Fertigungssystem (mehrere Maschinen für eine Aufgabe zusammengefasst, z.B. FFS)
III Ordnung: Abteilung z. B. Dreherei
IV Ordnung: Produktion insgesamt (alle Fertigungsabteilungen eines Unternehmens)

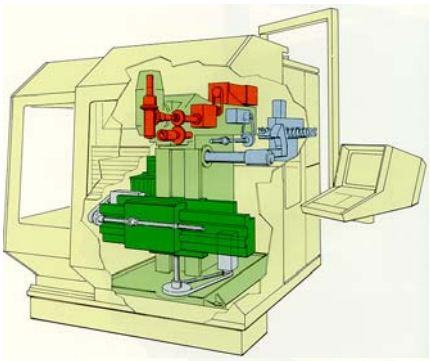
2.1 Arbeitssystem

Im Arbeitssystem läuft das Fertigungsverfahren am **Wirkpaar „Werkstück – Werkzeug“** ab. Hierzu finden im Arbeitsraum die Relativbewegungen zwischen Werkstück (WS) und Werkzeug (WZ) mit entsprechenden Kräften und vorgegebenen Geschwindigkeiten, evtl. unter Einwirkung zusätzlicher physikalischer Effekte z.B. Laserstrahl statt.
Das Arbeitssystem ist der Kern der Werkzeugmaschine. Für die im Arbeitssystem ablaufenden Vorgänge sind weitere Teilsysteme wie Antriebe und Steuerungen, sowie manuelle Tätigkeiten z.B. Einstellen, Bedienen, Überwachen und Prüfen erforderlich. Mit höherem Automatisierungsgrad einer Werkzeugmaschine werden manuelle Tätigkeiten substituiert durch zusätzliche Teilsysteme wie NC-Steuerungen oder Werkzeughandhabungssysteme. Diese Teilsysteme besitzen alle eine Schnittstelle zum Arbeitssystem.

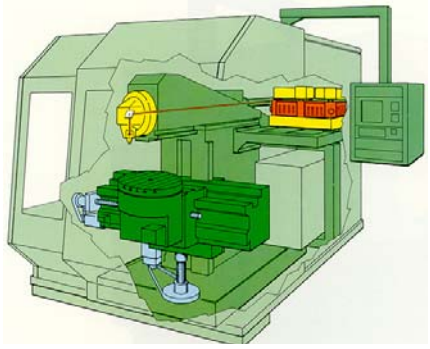
Zum Steuern und Regeln des Verfahrensablaufes müssen Prozessparameter erfasst und gesteuert oder geregelt werden. Dies setzt definierte und erfassbare Parameter voraus. Ferner muss die Bearbeitung mit jeweils vorhandenen Mitteln beherrschbar sein, um die automatisierten Funktionen technisch und wirtschaftlich realisieren zu können.

Das Fertigungsverfahren und somit das Arbeitsystem sind bestimmend für den konstruktiven Aufbau der Werkzeugmaschine. Nach DIN 69 651 liegen folgend Fertigungsverfahren zugrunde:
Urformen: z.B. Spritzgussmaschine
Umformen: z.B. Gesenkschmiedepresse
Trennen: z.B. Drehmaschine, Abtragmaschine (Funkenerosion), Stanzmaschine
Fügen: z.B. Montagemaschine, Nietmaschine
Kombinierte: z.B. Fertigungssysteme mit verschiedenen Verfahren

Bestimmende Größen des Arbeitssystems sind:
Fertigungsverfahren: Fräsen, Lasern, Drehen usw.
Geometrie des Arbeitsraumes: Abmessungen, Form
Kinematik: Verfahrwege und Verfahrgeschwindigkeiten (Eilganggeschw. 15 – 60 m/min ⇨ 100 m/min)
Dynamik: Kräfte und Beschleunigungen (Beschleunigung 6 m/s^2 – 1g ⇨ 2g)



Frässystem



Laserbearbeitungssystem

Quelle: MAHO

WMArbSyst.ppt

Arbeitssysteme in Werkzeugmaschinen

2.2 Kinematiksystem

Kinematikfunktionen:
a) Relativbewegung Werkzeug – Werkstück bei der Bearbeitung **(Hauptachsen)**
b) Hilfsbewegungen z. Bsp. für Werkzeug- und/oder Werkstückwechsel **(Hilfsachsen)**

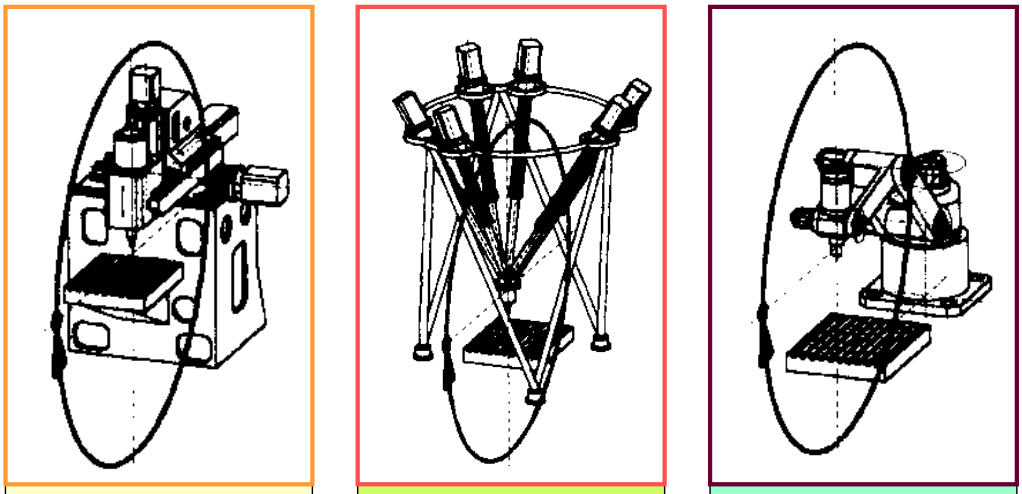
Unterscheidung in **Linearachsen und Drehachsen**

Die Anforderungen an das Kinematiksystem ergeben sich aus:
Bearbeitungskräfte (Spankräfte, Massenkräfte)
Bewegungsgeschwindigkeit (Eilgang, Bearbeitung)
Bewegungsgenauigkeit (Führungsgenauigkeit, Bahngenauigkeit, Positioniergenauigkeit)
Bewegungslänge (Arbeitsraumgröße)

Eingesetzte Konstruktionselemente:
Führungen, Lager, Vorschubantriebe, mech. Kraftübertragung (z.B. Kugelrollspindel), Wegmeßsysteme

Formwerkzeug: einfache Kinematik. Bsp.: Bei einem Formgesenk ist die Werkstückgeometrie im Gesenk enthalten; die Gesenkpresse bewegt sich nur in einer Richtung.
Punktwerkzeug: komplexe Kinematik. Bsp.: Bei einer 3 D- Fräsmaschine enthält das Werkzeug keine Forminformationen; die Maschine bewegt das Werkzeug über mind. 3 Koordinaten.

Drehen: 2- Achsen
Fräsen: 3- Achsen bis 5 Achsen (mit zusätzlichen Hilfsachsen ergeben sich Vielachsenmaschinen)



Orthogonale Linearachsen	**Stab- Gelenk-system**	**Gelenk- Glieder-Kette**
Klassische Werkzeugmaschine	„Hexapod“-System	„Industrieroboter“

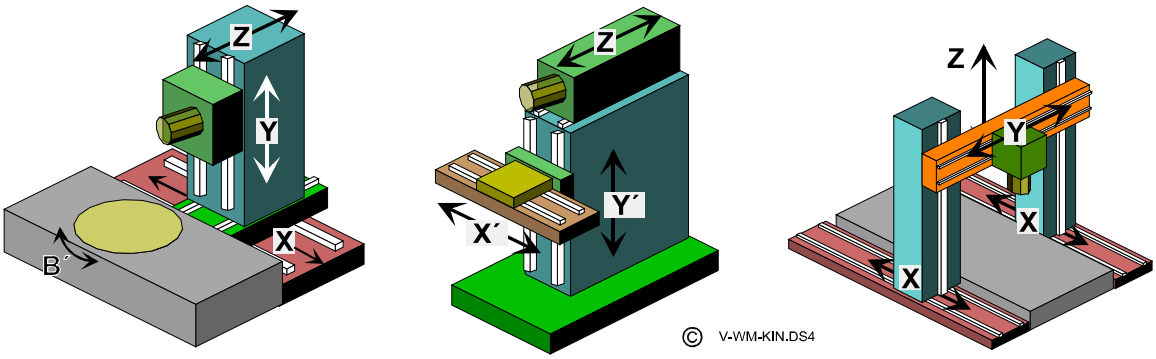
Quelle: Großmann/Arndt

WmKinVar.ppt

Kinematikvarianten

1. Geben Sie einige Beispiele an für die Hilfsbewegungen beim Werkzeug- bzw. Werkstückwechsel!
2. Welche mechanischen und steuerungstechnischen Größen beeinflussen die Positioniergenauigkeit?

Bettbauart Konsolbauart Brückenbauart

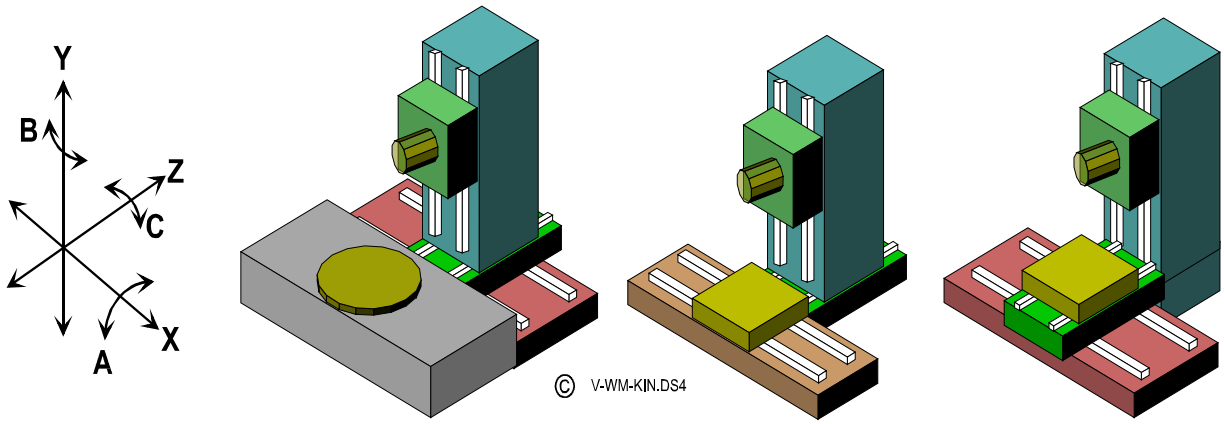


Bauformen und Achsbezeichnungen

Unterscheidung in **Linearachsen und Drehachsen**.
Bei bestimmten Verfahren auch Unterscheidung nach der **Spindellage (waagerecht oder senkrecht)**

Grundregeln für die Achsbezeichnung

- Rechtsdrehendes Koordinatensystem (Rechte Hand Regel)
- Linearachsen haben die Bezeichnung X,Y,Z; weitere gleichgerichtete Achsen X1,Y1,Z1; bzw. U,V,W
- Z- Achse parallel zur Spindelachse (Z- Achse = Spindelachse)
- X- Achse parallel zum Aufspanntisch
- Y- Achse ergibt sich aus rechtsdrehendem Koordinatensystem
- Der Koordinatenursprung des Maschinenkoordinatensystems ist vom Hersteller festgelegt
- Mit zunehmenden Koordinatenwert, vergrößert sich das Maß am Werkstück
- Drehachsen haben die Bezeichnung A, B, C; A- Achse dreht sich um X, B- Achse um Y usw.
- Bewegt sich das Werkstück, wird bei Verwechselungsgefahr die Achsbezeichnung mit ´ ergänzt.



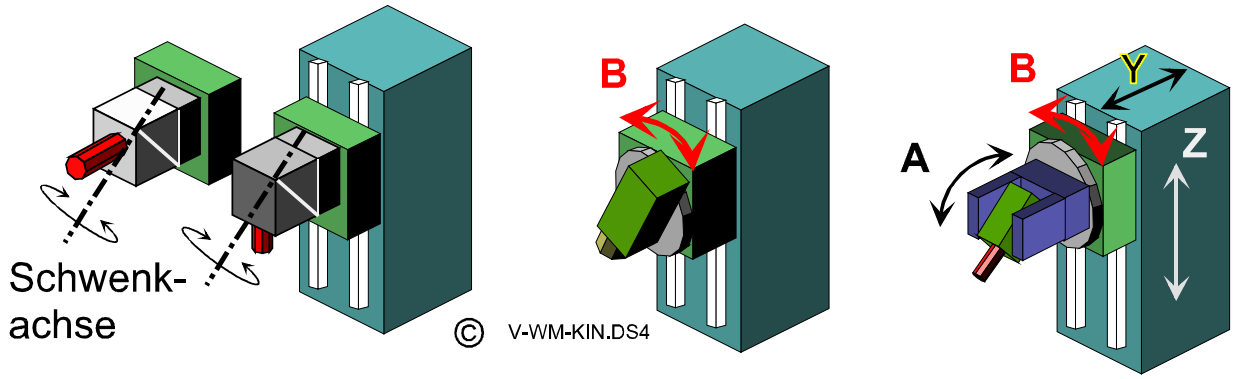
X – Y – Z – B`** **X` - Y – Z **X` - Y – Z`**

Zuordnung der Bewegung Werkzeug - Werkstück

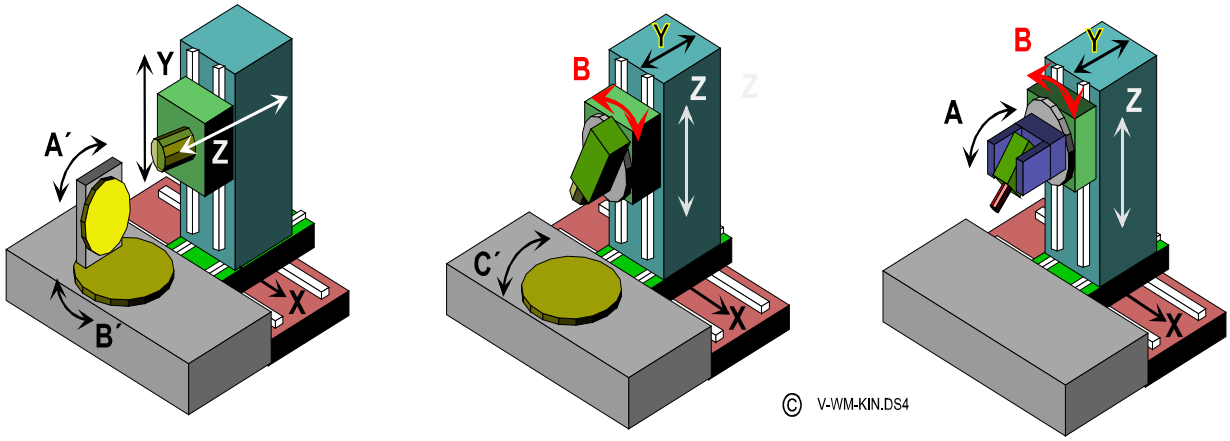
Welche Kinematiken sind den folgenden 3 Fällen zuzuordnen?

	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Werkstückgröße-masse	Feinmechanik	Getriebegehäuse	Großdieselmotor
Bearbeitete Seiten	eine	4	5
Zerspanungsintensität	klein	mittel	groß

Wie sind die Achsbezeichnungen bei einer Senkrechtfräsmaschine und bei einer Drehmaschine festzulegen?



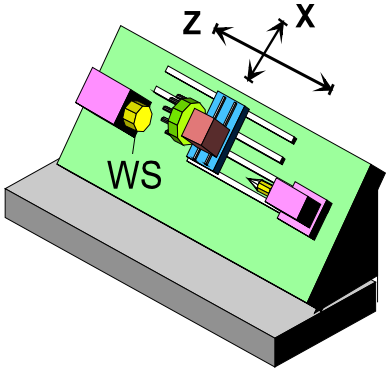
Schwenkfräsköpfe



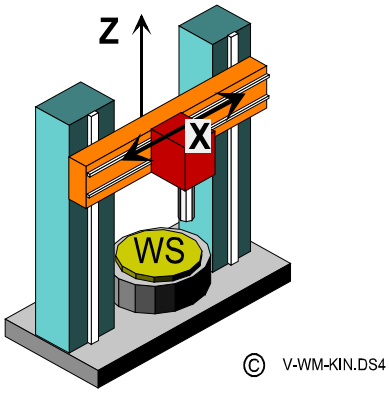
waagerechte Z- Achse | senkrechte Z- Achse | senkrechte Z- Achse

5- Achsen- Bearbeitung

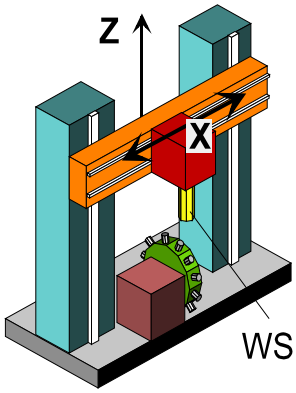
Schrägbett-
- Spindel waagerecht



Karussell
- Spindel senkrecht
- Spindel stehend



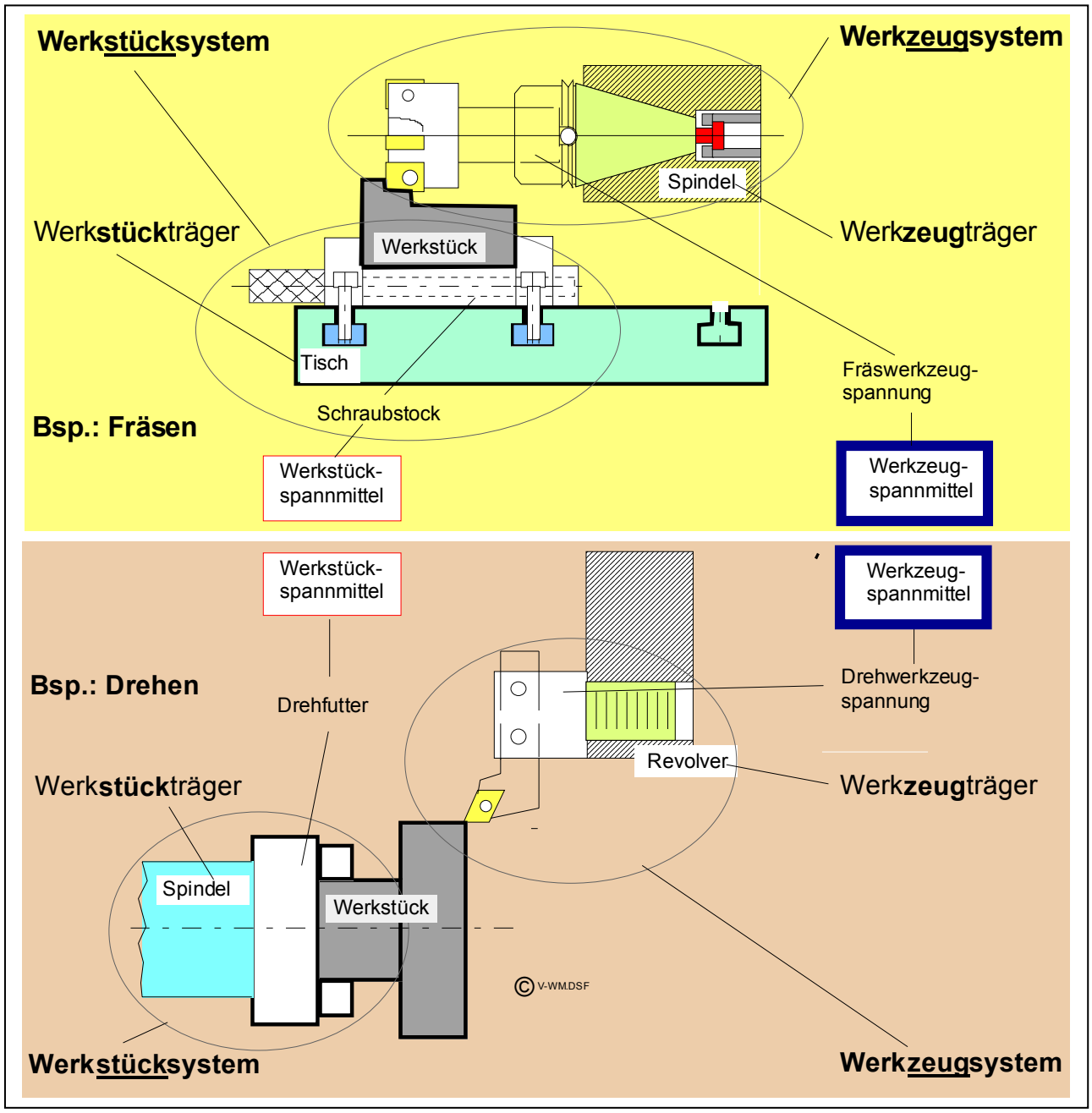
"Pick- Up"
- Spindel senkrecht
- Spindel hängend



Bauformen und Achsbezeichnungen bei Drehmaschinen

2.3 Werkzeugsystem

Abhängig vom physikalischen Verfahren (Spanend, Erosiv, Laser usw.) unterscheiden sich die Werkzeuge und die zugehörigen Spannmittel.



Werkzeug-/Werkstücksystem in spanenden Werkzeugmaschinen

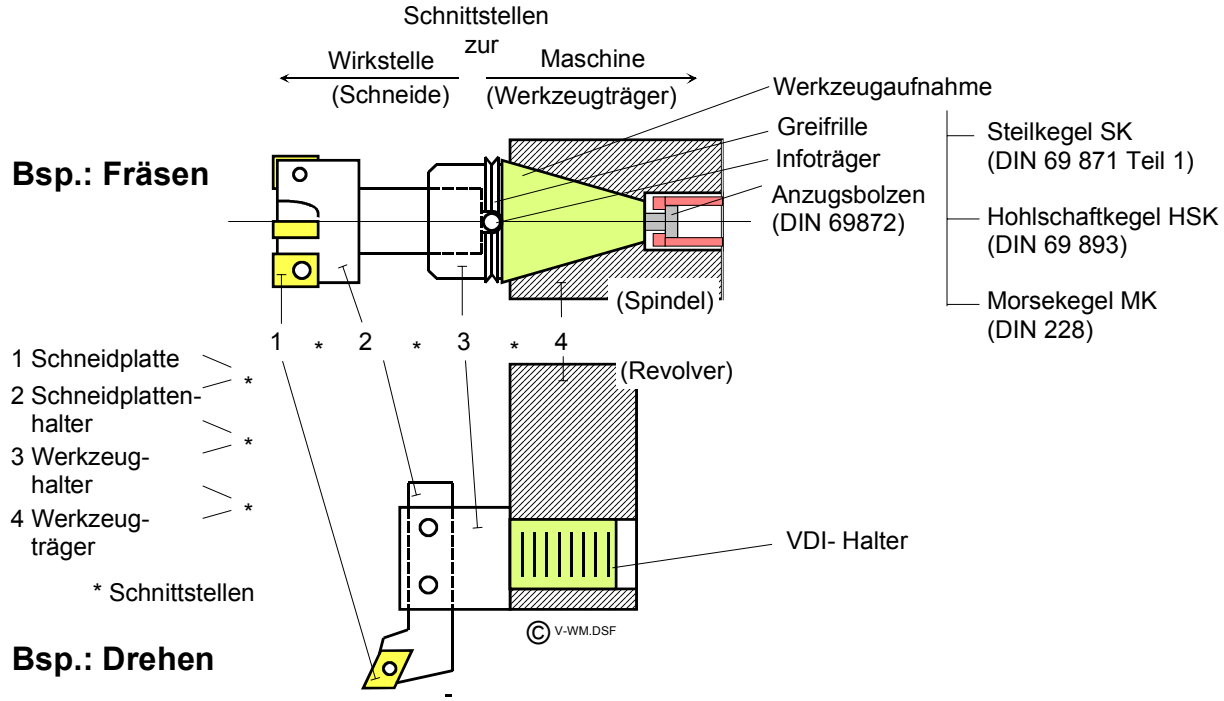
Zusatzelemente in Werkzeugen

- **Kupplung zur Maschine** (Schnittstellenüberbrückung)
  a) Schneidplatte - Schneidplattenhalter
  b) Schneidplattenhalterhalter – Werkzeughalter
  c) Werkzeughalter – Werkzeugträger (Spindel oder Revolver)
- **Aufnahmeelemente** für Werkzeugwechselgreifer (Greifrille)
- **Elemente zur Voreinstellung und Verstellung** (Maßkorrektur)
- I**nformationsspeicherung und –übertragung**, Kodierung
- **Brucherkennung, Verschleißüberwachung, Überlastschutz**
- **Kühlschmierstoffzufuhr**
- **Bewegungselemente** z.B. Ausklappen von Schneiden
- **Dämpfungselemente** z.B. Bleischrotfüllung
- **Antriebselemente** z.B. für angetriebene Werkzeuge bei Drehmaschinen
- **Energie- und Signalübertragung** z.B. bei Meßköpfen

Sensorische und aktorische Einbauten in Werkzeuge
Beispiele für Sensoren: Schnittkrafterfassung, Schneidenbruch
Beispiele für Aktoren: Schneidenverstellung, Signal- Energieübertragung

Werkzeugwechsel- und speichersysteme
Werkzeugwechsel mit eigener Kinematik oder mit Maschinenkinematik
Revolverbauformen: Trommelrevolver, Sternrevolver, Kronenrevolver

Werkzeugfluss- und Logistik
Gestaltung des Werkzeugkreislaufs mit Infoträgern.

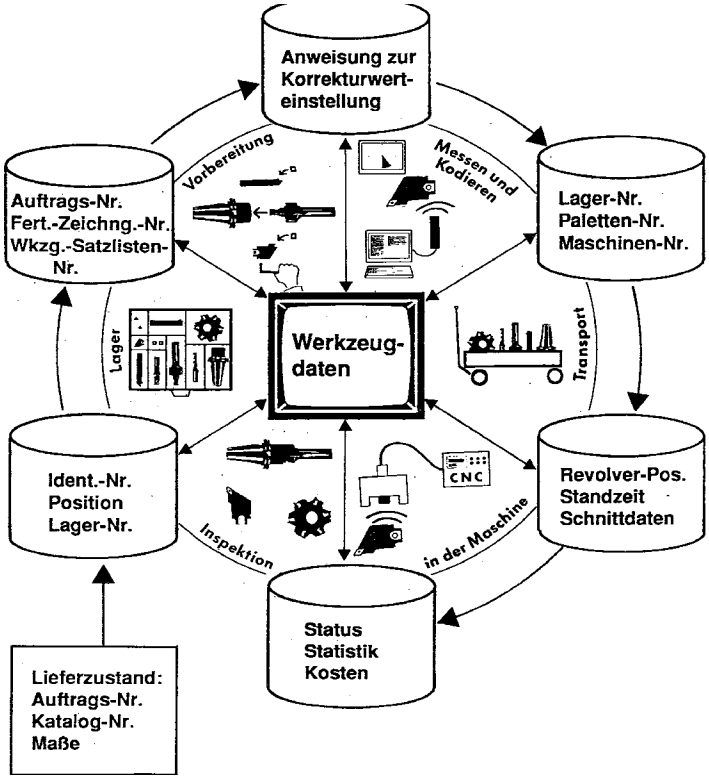


Werkzeugaufbau

Identifikationssysteme (RFID)

Unterscheidung zwischen fest codierten und frei beschreibbaren Datenträgern. Die Datenübertragung erfolgt berührungslos in der Regel induktiv.
Die Einsatzgründe liegen in der einfachen Datenhaltung und –übertragung.

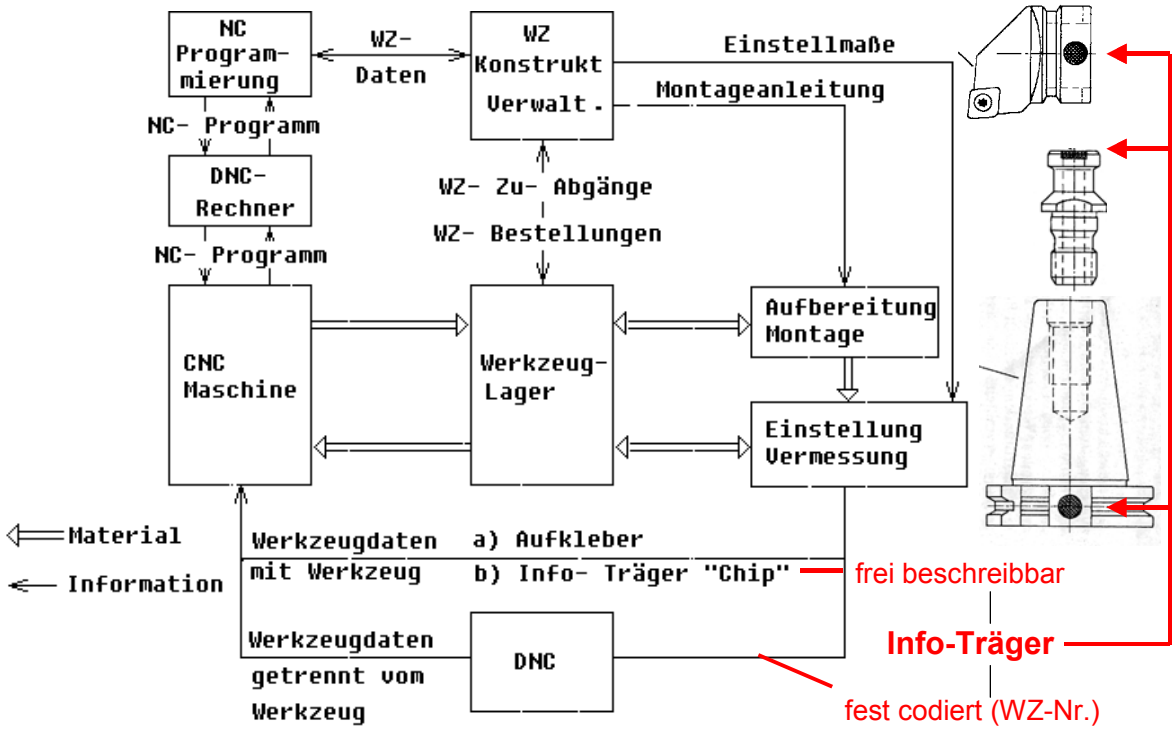
RFID- Systeme erweitern die Möglichkeiten der rechnergestützte Werkzeugverwaltung.
Einsatz von Werkzeugdatenbanken möglich mit Anwendung in der Lagerverwaltung, Auftragsverwaltung, Wiederbeschaffung, Betriebsdatenerfassung und in PPS (Produktionsplanungs- und Steuerungssystem).
Die montierten Werkzeuge bestehen aus verschiedenen Einzelteilen. Es lassen sich die Stücklisten und Montageinformationen ebenfalls speichern.
Wie im nachfolgenden Bild erkennbar ist lassen sich Vergangenheit, aktueller Zustand und Zukunft des Werkzeuges elektronisch dokumentieren.



Einsetzbar für:
Werkzeuge
Vorrichtungen
Spannmittel
Mess-/Prüfmittel
Ladeeinheiten
Materialfluss
Handhabungseinrichtungen
usw.

Nach SANDVIK

Speicherinhalt von frei beschreibbaren Infoträgern



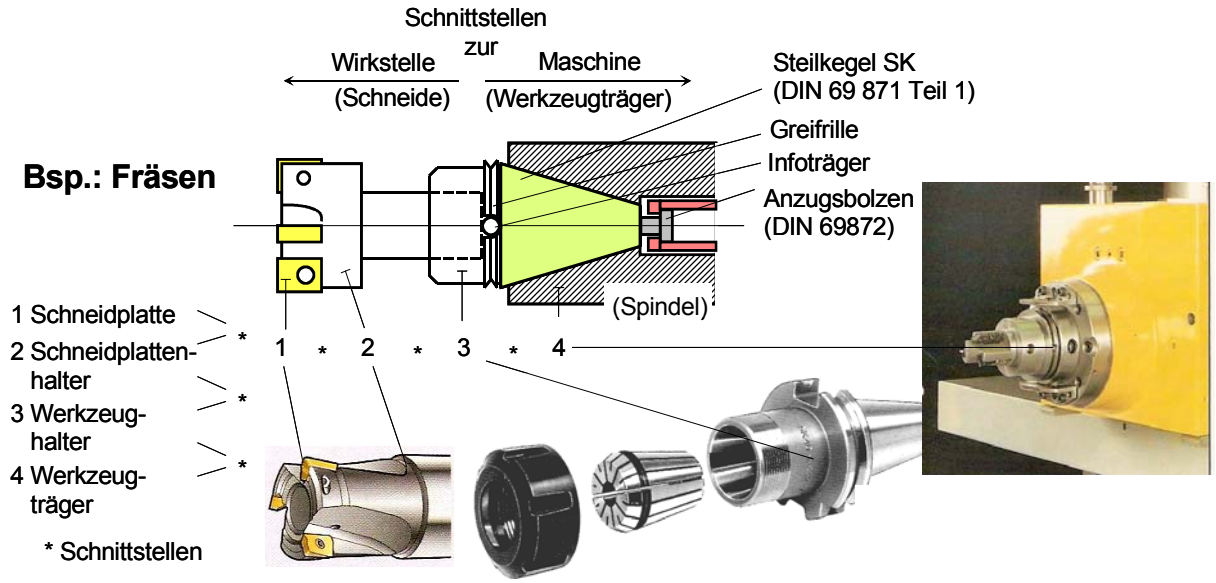
Werkzeug- und Datenfluss unter Einsatz von WZ-Identifikationssystemen

Bezeichnung	Wertebereich	Beispiele, Erklärung
Name	Text	Planfräser, Gewindeschneider
Ident-Nummer	0 … 99999999	einzelne Identifikationsnummer
Nenndurchmesser	0 … 999,9 mm	z. B. 12,0 mm
Duplo-Nummer	1 … 10	Nummer für Schwesterwerkzeuge
Durchmesser	0 … 999,999 mm	Korrekturwert
Länge	0 … 999,999 mm	Korrekturwert
Winkel-Radius	0 … 999,9 mm	kleinster zu bearbeitender Winkel
Vorschubkoeffizient	0 … 255 %	Wert für Vorschubkraft
Leistungskoeffizient	0 … 255 %	Wert für Spindelleistung
Standzeit	0 … 599940 s	in 10-s-Schritten
Nutzzeit	0 … 599940 s	aktuelle Nutzungsdauer
Standzeitmarkierung	0 oder 1	„1“, wenn Standzeit abgelaufen
Verschleißmarkierung	0 oder 1	„1“, wenn Werkzeug verschlissen
Bruchmarkierung	0 oder 1	„1“, wenn Werkzeug gebrochen
Interferenz	0 … 4	Platzbedarf im Werkzeug-Magazin
Tool-Nummer	0 … 99999999	Werkzeugnummer im NC-Programm

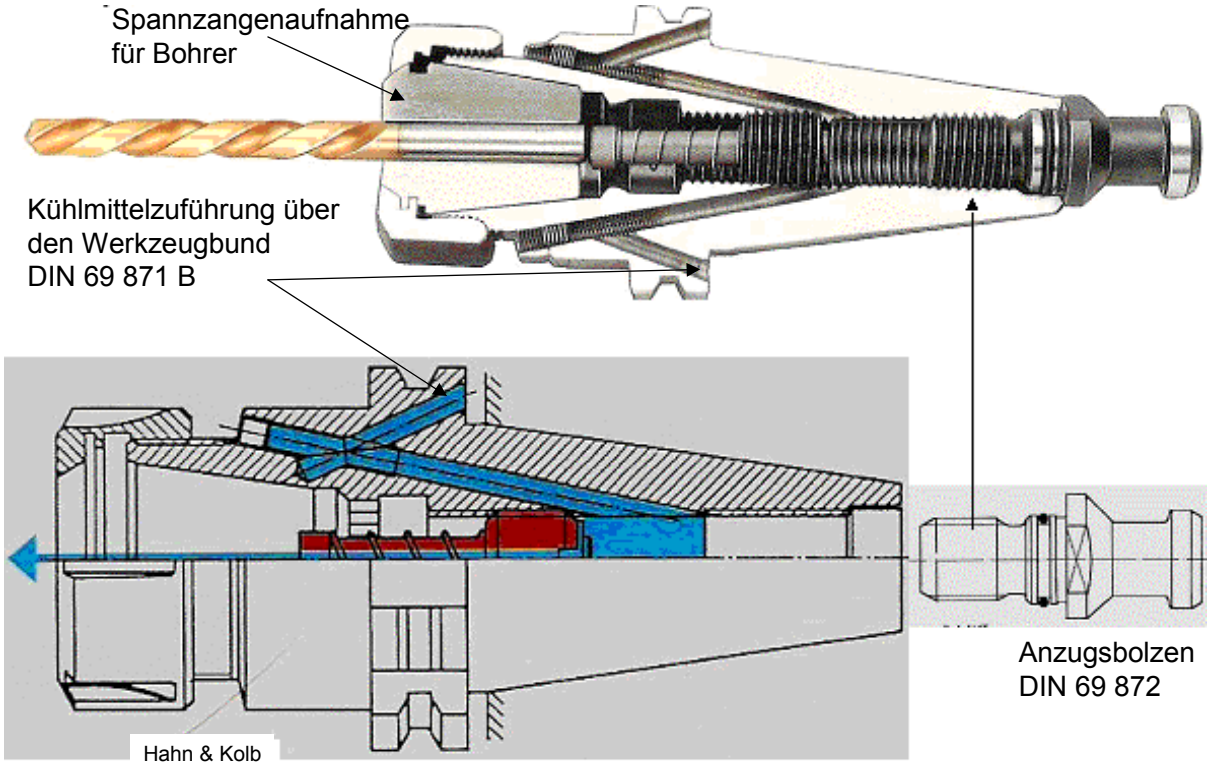
Nach Pepperl & Fuchs, Mannheim

Typischer Datensatz zur Werkzeugverwaltung

2.3.1 Werkzeugsystem für drehende Werkzeuge

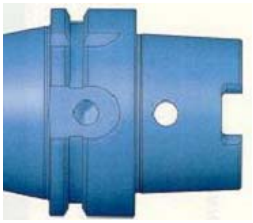


Werkzeugsystem bei Fräsmaschinen

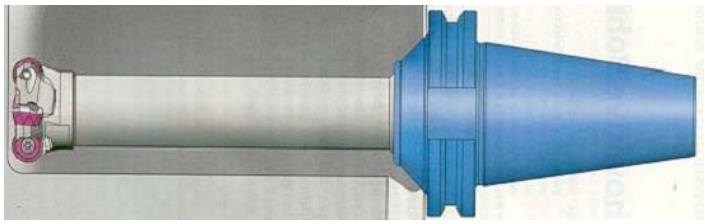


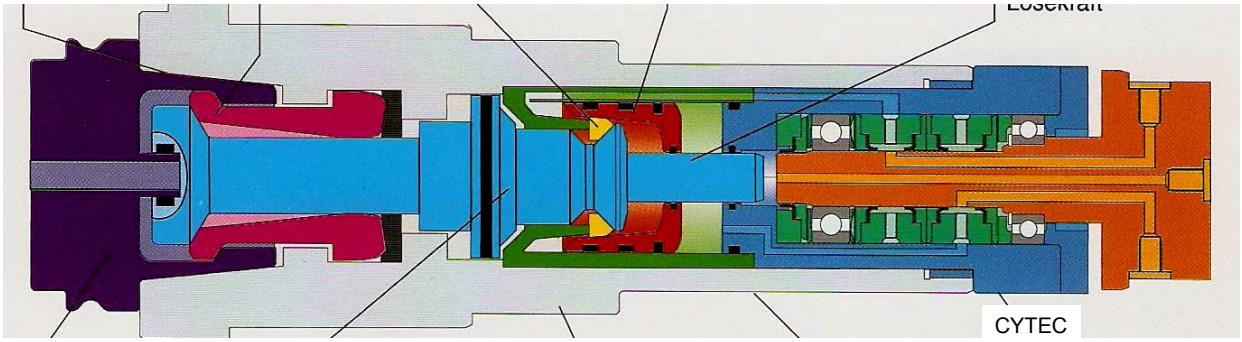
Steilkegel mit innerer Kühlmittelzuführung

Hohlspannkegel HSK



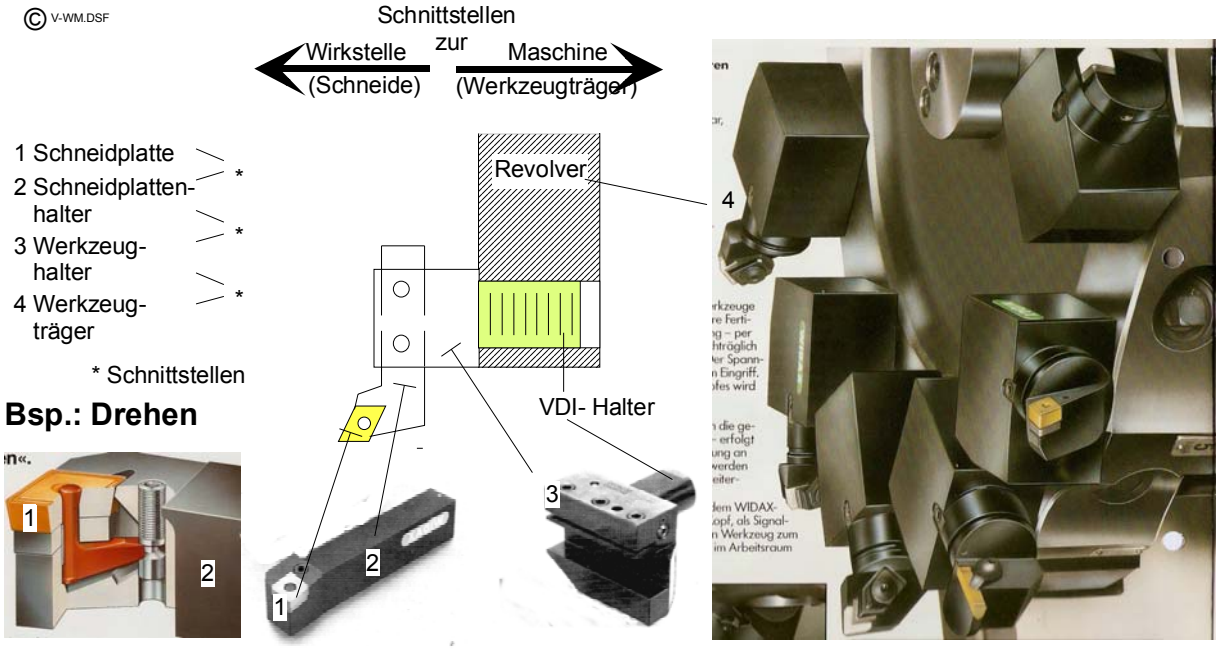
ISO-Steilkegel SK





Werkzeugspannung in Spindel

2.3.2 Werkzeugsystem für stehende Werkzeuge



Werkzeugsystem bei Drehmaschinen

2.4 Werkstücksystem

Funktion: Bestimmen **und** Spannen **des Werkstückes**

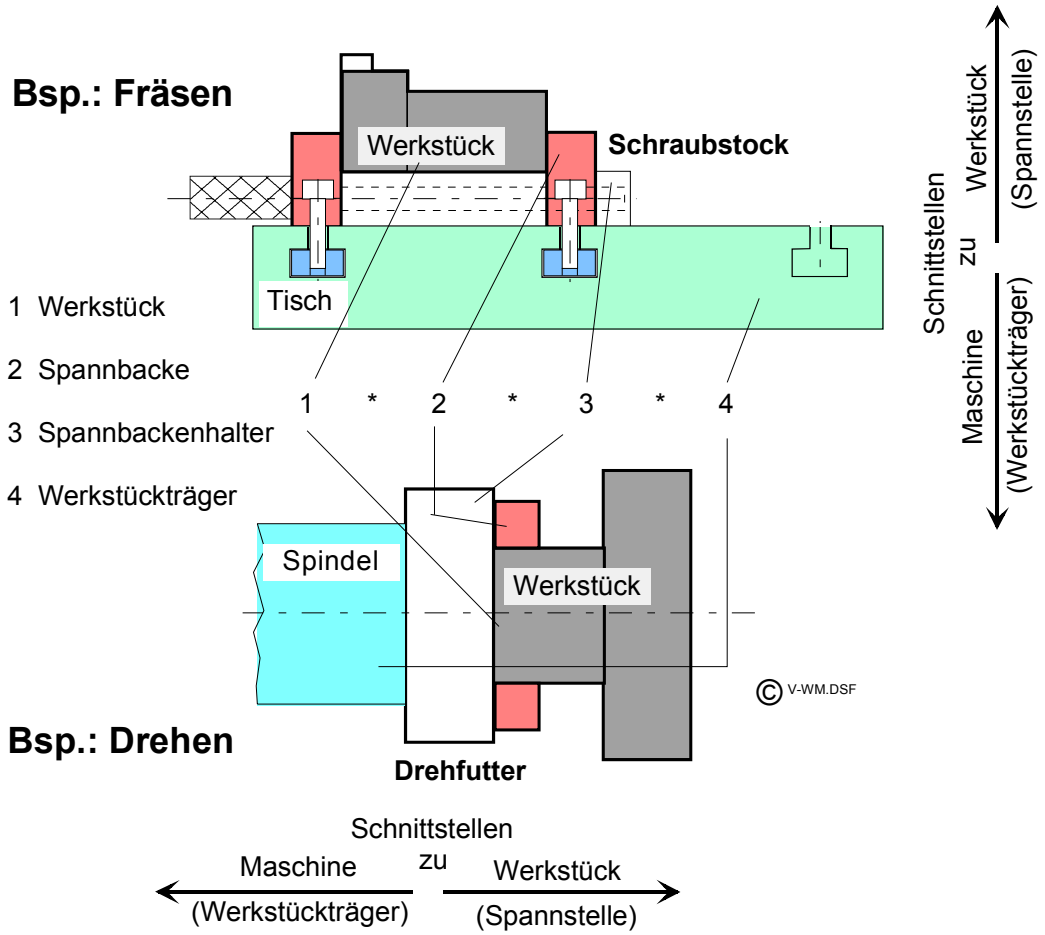
Einteilung:

Werkstückform	rotatorisch prismatisch
Hauptbewegung	Drehfutter Schraubstock
Verfahren	spanend (Kräfte) abtragend (stromleitend) usw.
Automatisierung	Handspannmittel autom. Kraftspannmittel
Werkstückanzahl	Einfachspannvorrichtung Mehrspannvorrichtung
Beweglichkeit	stationäre Spannvorrichtung bewegliche Spannvorrichtung (z. B. Werkstückträgerpalette)

Schnittstellen:

zur Maschine:	Drehspindelköpfe T- Nuten
zum Werkstück:	Spannbacken Spannpratzen
zum Informationsfluss:	Codeträger Strichcode

Besonderheiten beim Spannen: Ausrichten und Ausmitteln von Bearbeitungszugaben ⇒ Anreißen
Einfluss von Stabilität und Verformungen,
Umschlagfehler



Spannmittelaufbau

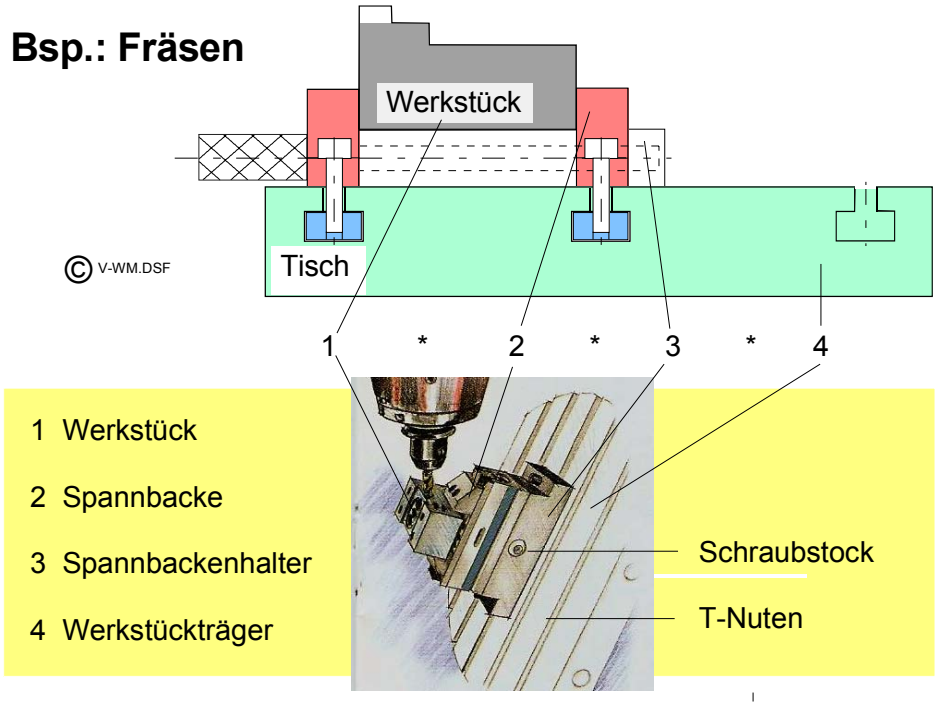
2.4.1 Spannmittel für prismatische Werkstücke

Untergliederung in

Spannpratzen zum direkten Aufspannen auf den Maschinentisch
Baukastenspannvorrichtungen (bestehend aus Spannpratzen, Hebelspanner, Anschlagklötze usw.)
Sonderspannvorrichtungen
Schraubstöcke

Weitere Untergliederung in manuelle und mechanisierte Spannmittel. Letztere sind z.B. hydraulisch betätigt und eignen sich für den automatisierten Werkstückwechsel.

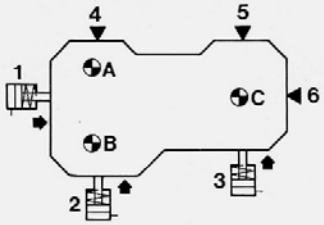
Ferner unterscheidet man zwischen Einfach- und Mehrfachaufspannung.



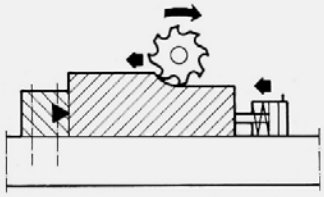
Werkstückspannung für prismatische Werkstücke

Spannvorrichtung für ein Getriebegehäuse

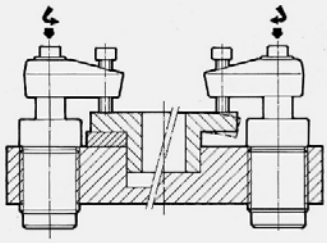
Alternativ: Ausrichtbohrungen



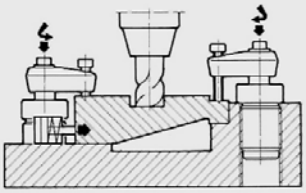
A, B, C: feste Stützpunkte
1, 2, 3: Ausrichtkräfte
4, 5, 6: feste Bezugspunkte



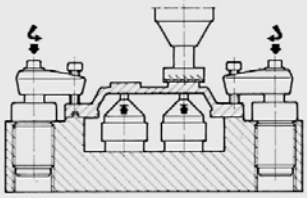
Spankraft gegen fest abgestützte oder starre Teile der Vorrichtung



Fluss der Spannkraft so kurz wie möglich.



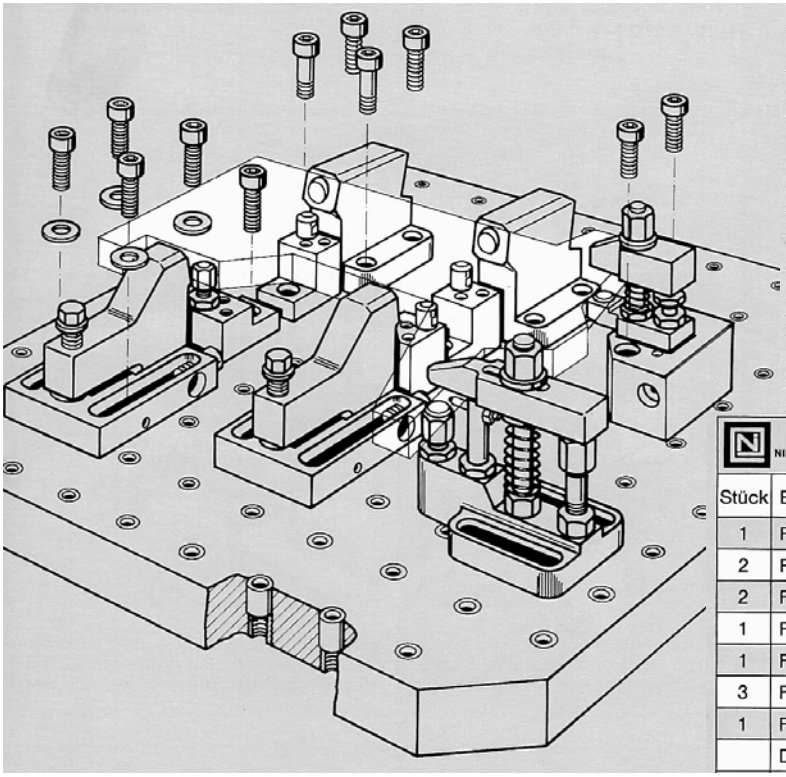
Hydraulische Schwenkspanner



Hydraulische Schwenkspanner mit Stützzylinder.

ENERPAC

Spanngrundsätze

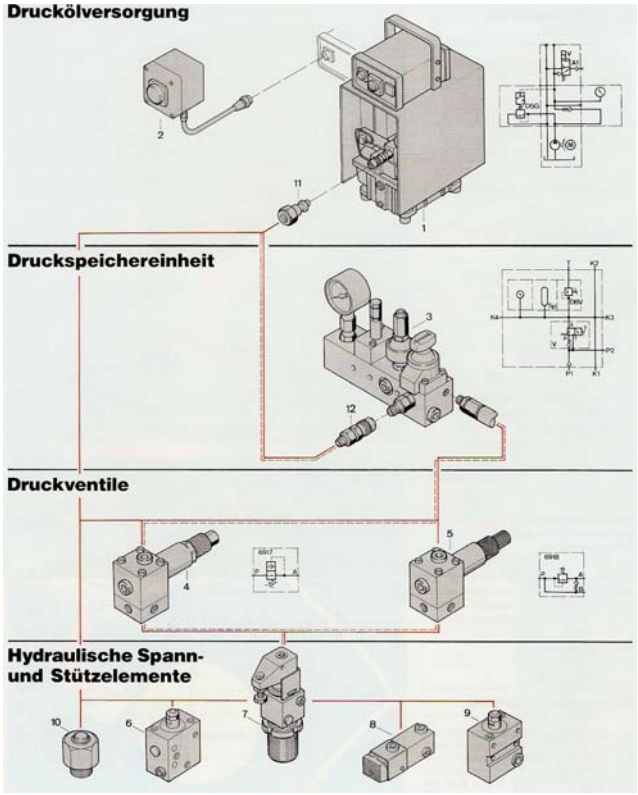


Zum Bestimmen und Spannen von Rohteilen wie z. B. Plattenmaterialien in der zweiten und dritten Ebene dienen die horizontalen FBS-Einheiten.
Zum Bestimmen der ersten Ebene werden Auflageeinheiten eingesetzt. Zusätzliche Stütz- und Spanneinheiten vermeiden während der Bearbeitung Deformationen und Vibrationen und ermöglichen höchste Zerspanleistungen.

NIEDECKER GMBH Stückliste

Stück	Benennung	Bestell-nummer
1	F.B.S-Rasterplatte 630 x 500 x 50	80 039
2	F.B.S.-Horizontale Anlagen	88 586
2	F.B.S.-Spanneinheiten, horizontal	88 588
1	F.B.S.-Bestimm- und Spanneinheit	88 540
1	F.B.S.-Stütz- und Spanneinheit	88 505
3	F.B.S.-Auflagen	88 591
1	F.B.S.-Auflage, verstellbar	88 592
	Div. Kleinteile	

Beispiel: Mechanisches Aufspannen



Pos.-Nr.	1	Pumpenaggregat
Pos.-Nr.	2	Bedienpult für Fernbedienung
Pos.-Nr.	3	Druckspeicherschalteinheit
Pos.-Nr.	4	Schließventil für Druckreduzierung
Pos.-Nr.	5	Vorspannventil für Folgesteuerung
Pos.-Nr.	6	Abstützelement

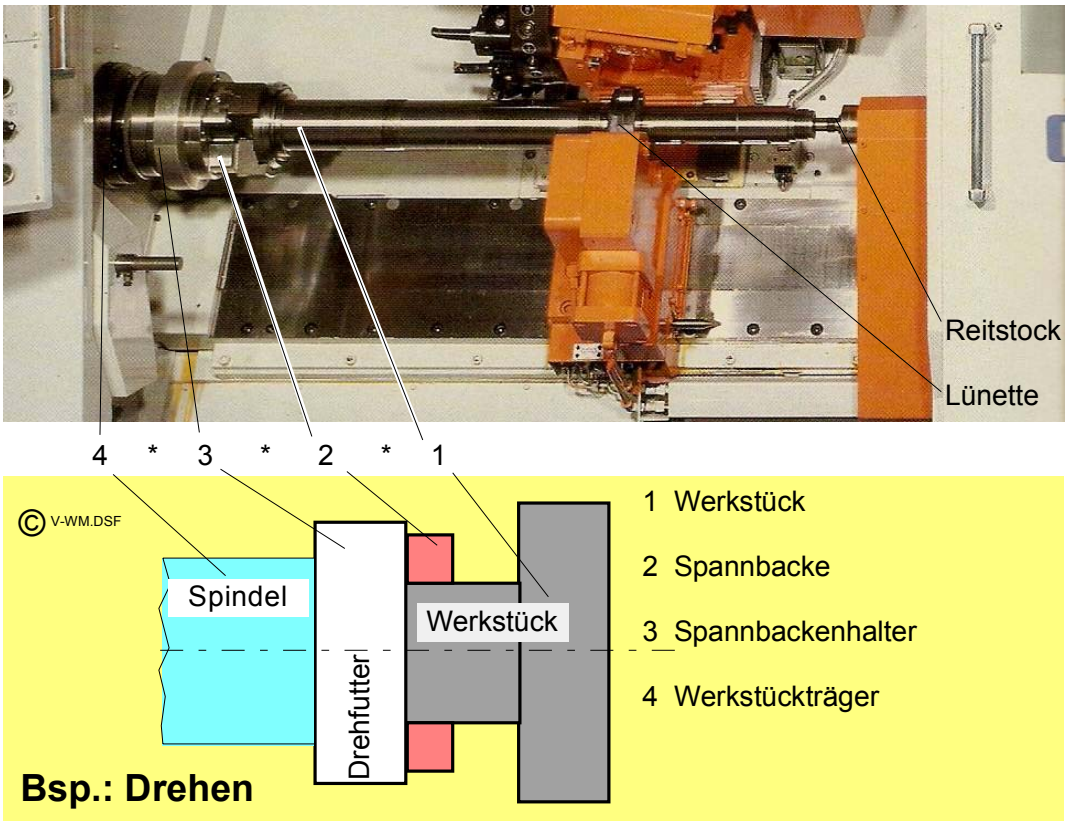
Pos.-Nr.	7	Schwenkspanner
Pos.-Nr.	8	Niederzugspanner
Pos.-Nr.	9	Blockzylinder
Pos.-Nr.	10	Einschraubzylinder
Pos.-Nr.	11	Kupplungsstecker
Pos.-Nr.	12	Kupplungsmuffe

AMF

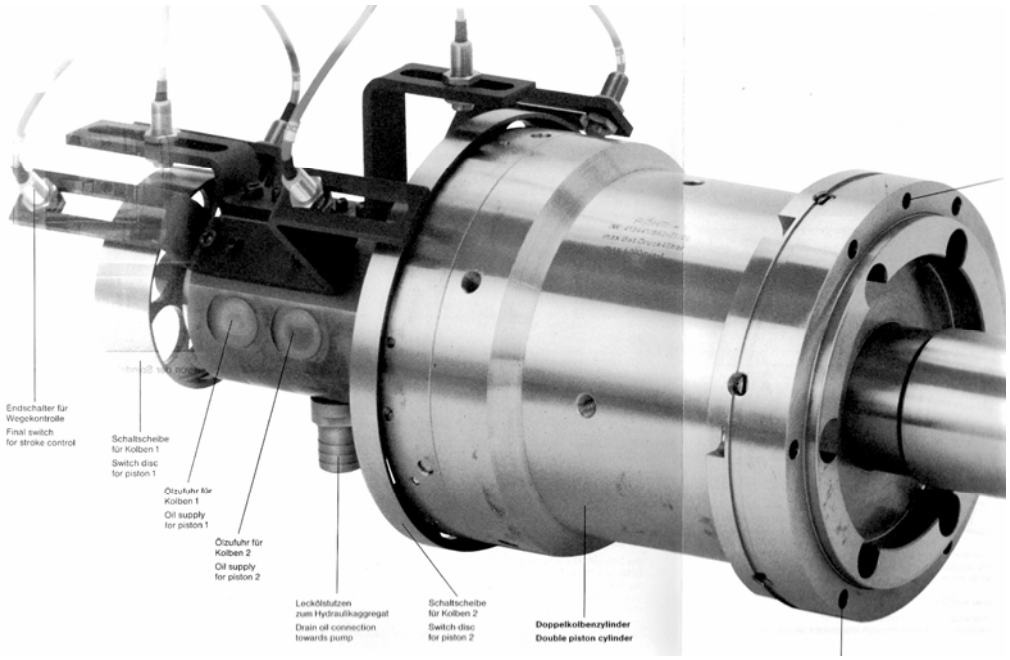
Hydraulisches Spannen

Werkstückwechsel mit Industrieroboter

2.4.2 Spannmittel für rotatorische Werkstücke



Werkstückspannung für rotatorische Werkstücke



Hydraulische Spannfutterbetätigung (RÖHM)

2.5 Werkzeughandhabungssystem

Funktionen:
Werkzeugwechsel und -speicherung in der Maschine mit Schnittstellen zu Diagnose-/Überwachungs- und Einstellfunktionen
Werkzeugtransport zwischen Maschine und Zentrallager, sowie Speicherung im Zentrallager
Werkzeugvorbereitung, -aufbereitung und –einstellung an einem Einrichteplatz

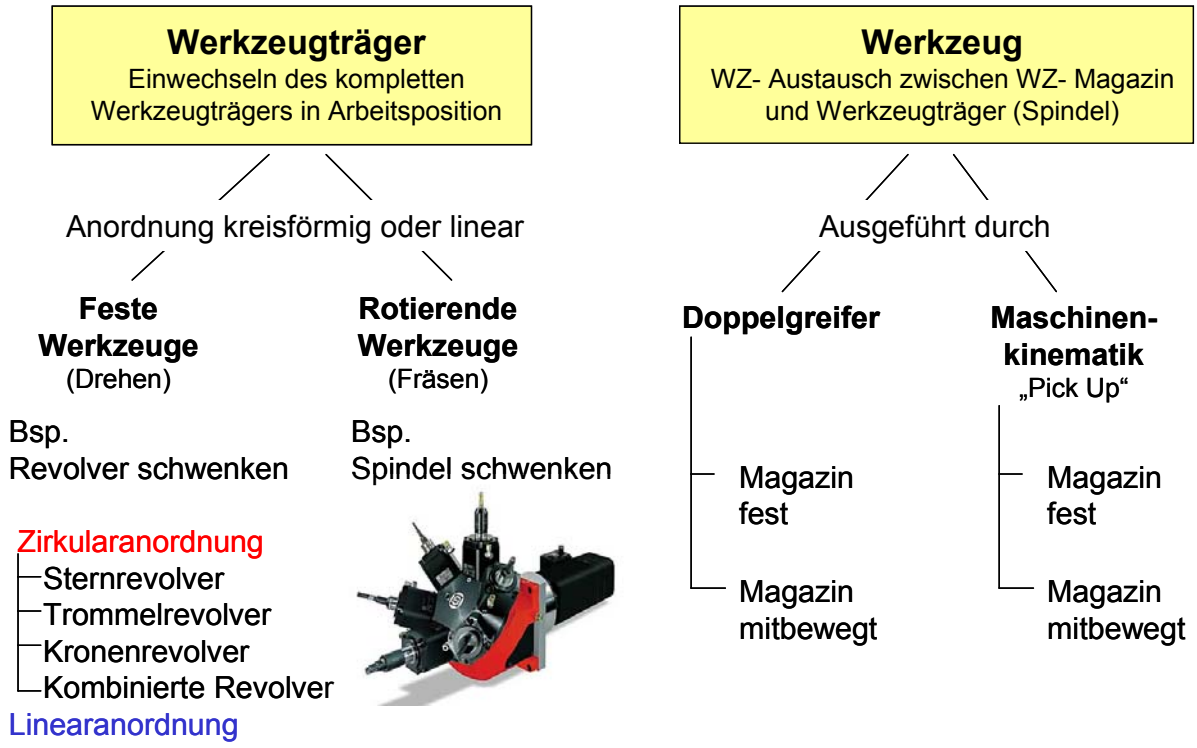
Beispiele zur Verwendung von Werkzeugwechseleinrichtungen:

Urformmaschinen	Wechsel von Spritzgussformen in Kunststoffspritzgießmaschinen
Umformmaschinen	Gesenkwechsel in Kalt- oder Warmformpressen
Zerteilende WM	Wechsel von Stanzwerkzeugen
Spanende WM	Werkzeugwechsel in CNC- Werkzeugmaschine
Abtragende WM	Elektrodenwechsel in Funkenerosionsmaschine
Montagemaschine	Wechsel von Schraubersätzen für unterschiedliche Schrauben
Mess- und Prüfmaschinen	Tasterwechsel in 3-D-CNC-Koordinatenmessmaschinen
Handhabungsgeräte	Greiferwechsel bei Industrierobotern

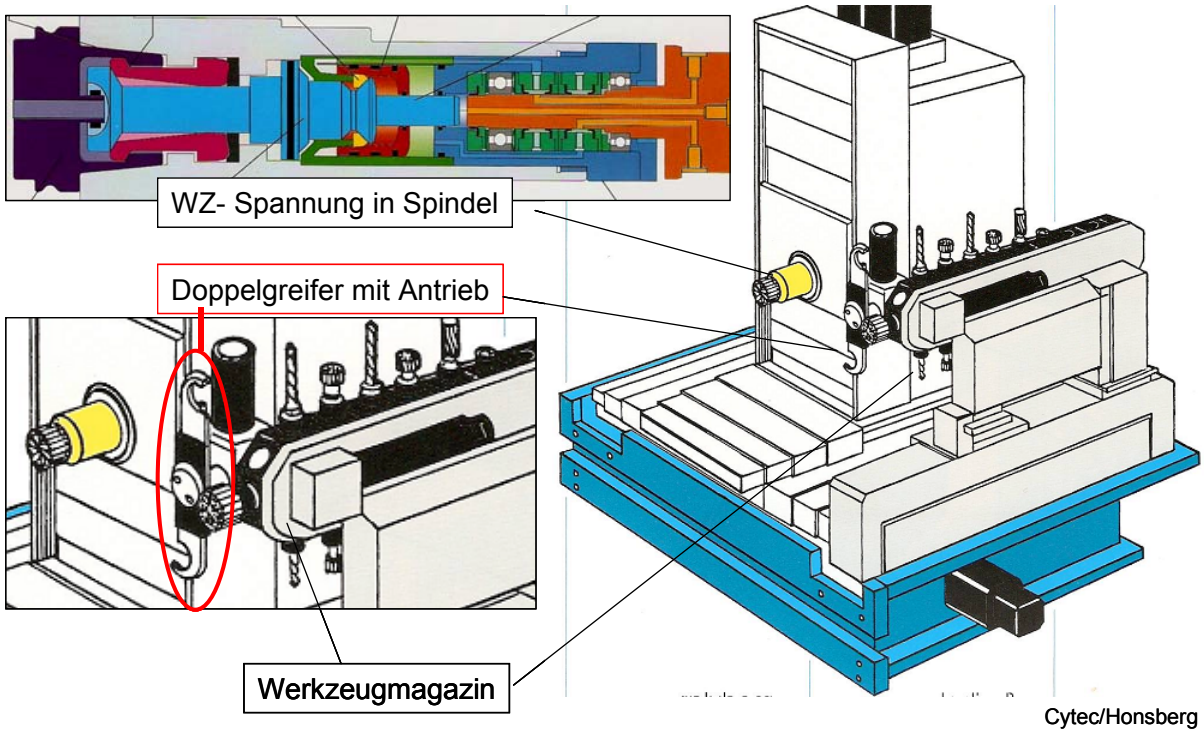
Werkzeugwechsel in der Maschine notwendig durch:
a) Folgearbeitsgänge (mehrmals je Werkstück)
b) Umrüstvorgänge (einmal je Los)
c) Nachwechselvorgänge (mehrmals je Los): Wechsel von verschlissenen oder gebrochenen Werkzeugen gegen gebrauchsfähige, gleichartige Werkzeuge (Schwesterwerkzeuge)
In Ausnahmefällen erfolgt der Wechsel auch mehrmals je Arbeitsgang bei großen Zerspanvolumen z. B. Integralteile für Flugzeugbau

Werkzeugwechselzeit: Die Werkzeugwechselzeit ist eine Nebenzeit mit großem Einfluss auf die Ausbringung (Stückleistung) der Werkzeugmaschine. Bei Fräsmaschinen z. B. min 1 bis 5 Sek. .

Span- zu Spanzeit (Definition nach VDI 2852): Zeit zwischen dem Beginn des Wegführens eines auszuwechselnden Werkzeuges aus einer repräsentativen Bearbeitungsposition und dem Ende des Heranführens eines folgenden, gleichlangen Werkzeuges in die gleiche Bearbeitungsposition.

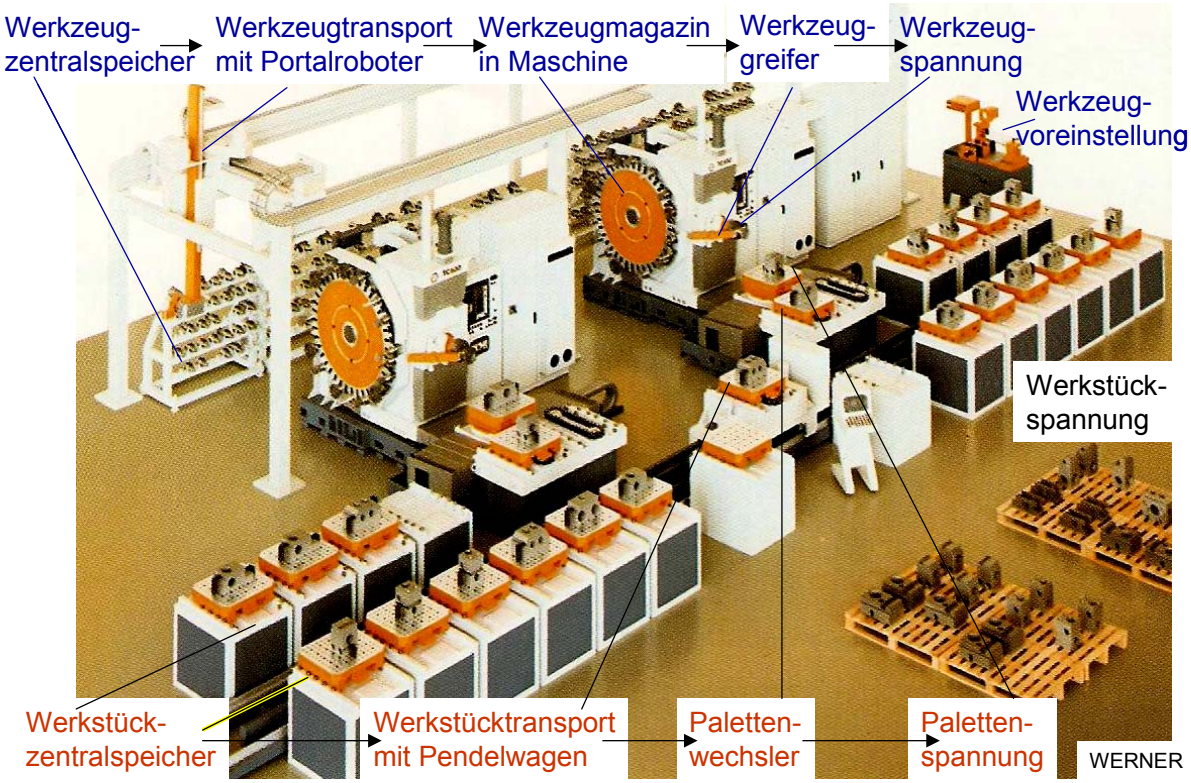


Werkzeugwechselprinzipien (Werkzeugträger- oder Werkzeug)



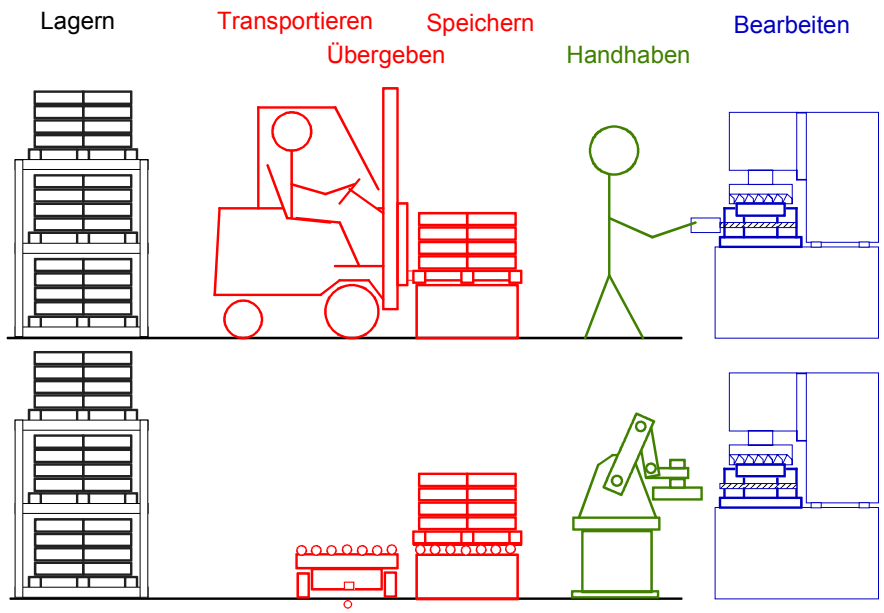
Cytec/Honsberg

Komponenten eines WZ-Handhabungssystems (Spannen, Wechseln, Speichern)

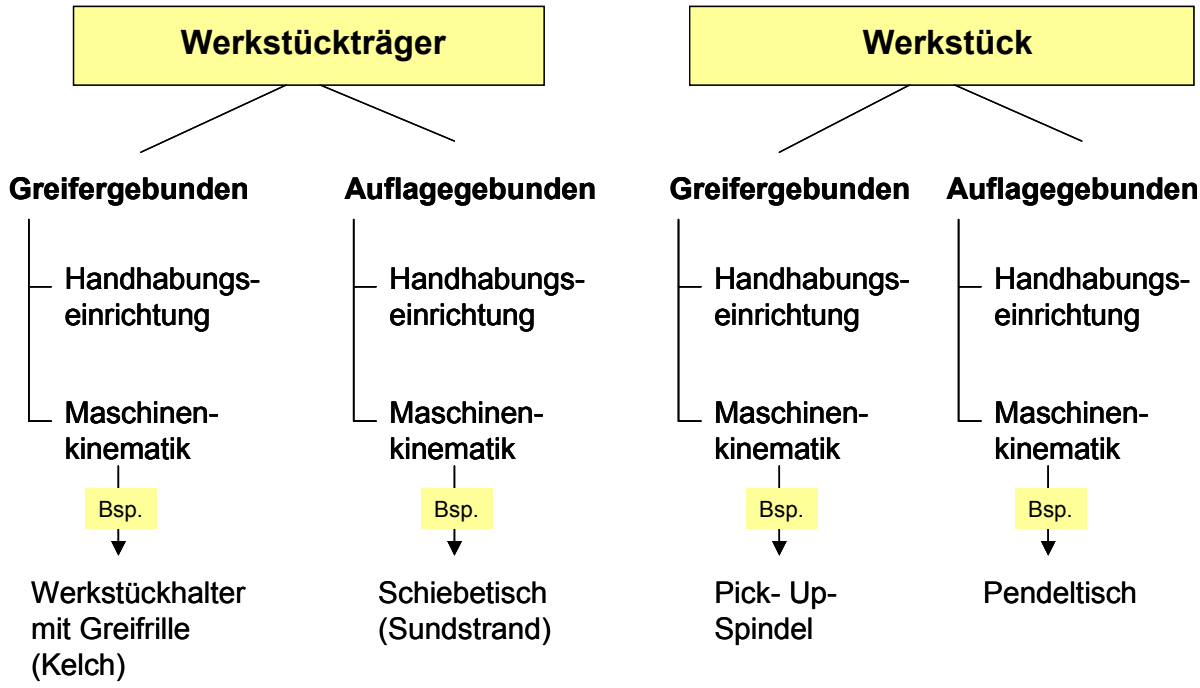


Werkzeug- Werkstückfluss in FFS (Flexibles Fertigungssystem)

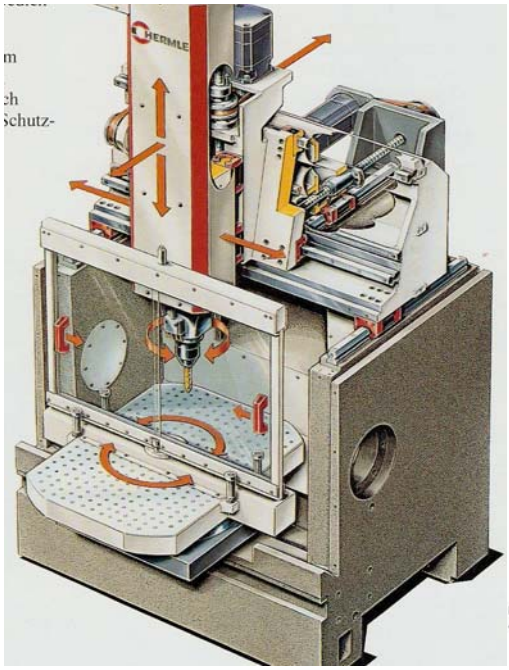
2.6 Werkstückhandhabungssystem

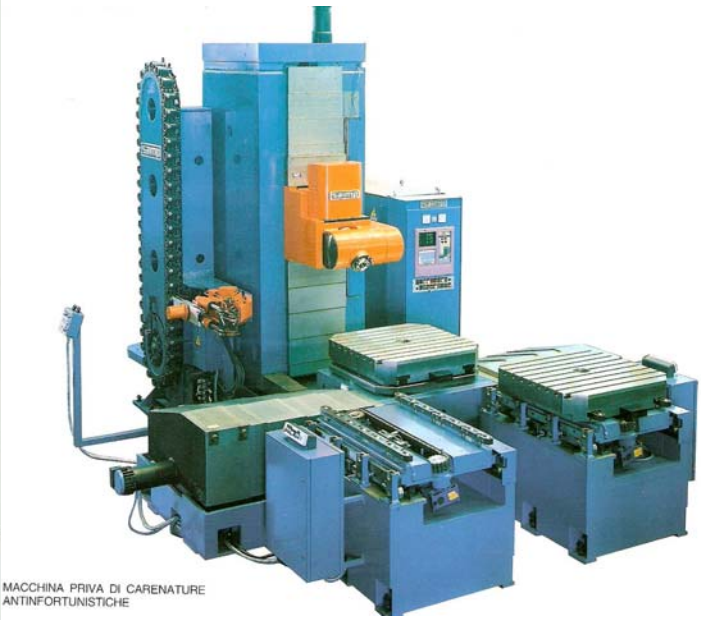


Werkstückfluss bei Werkzeugmaschinen (oben: manuell; unten: automatisiert)



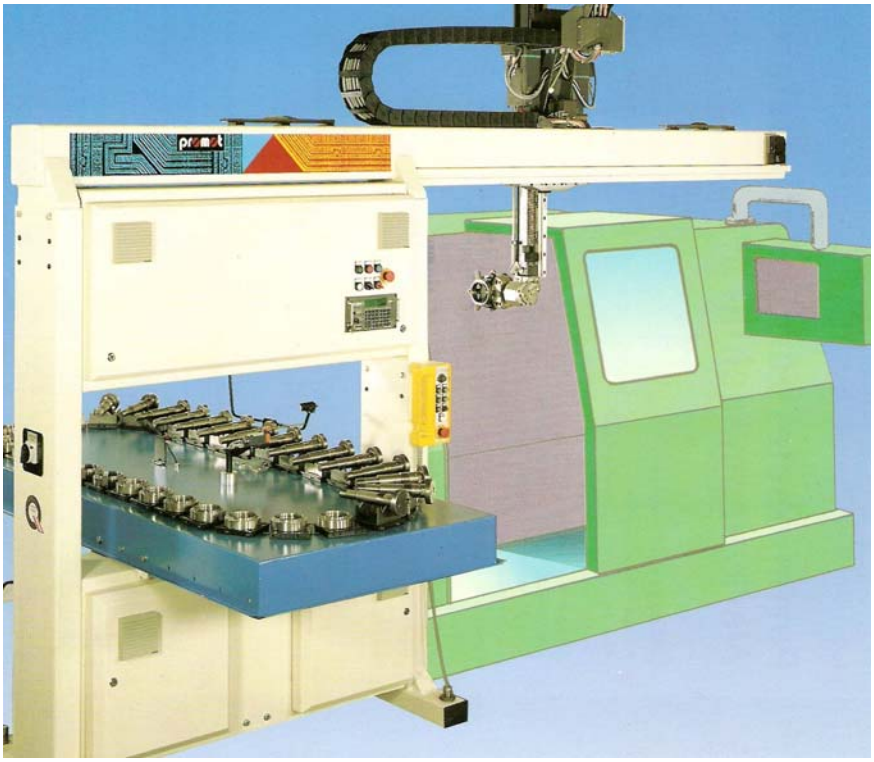
Werkstückwechselprinzipien

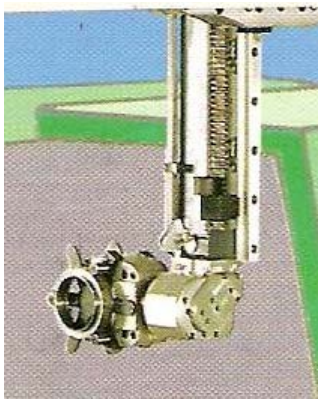




HERMLE/SAIMP

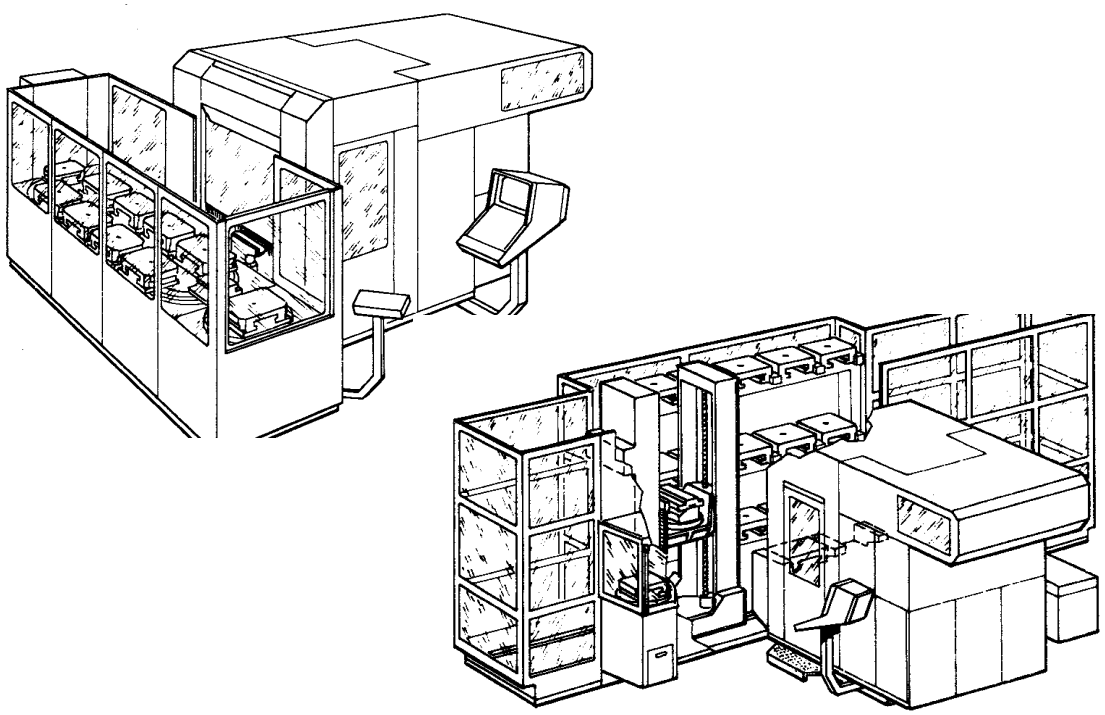
Werkstückwechsel mittels Pendeltisch und Werkstückträger („Palette“)





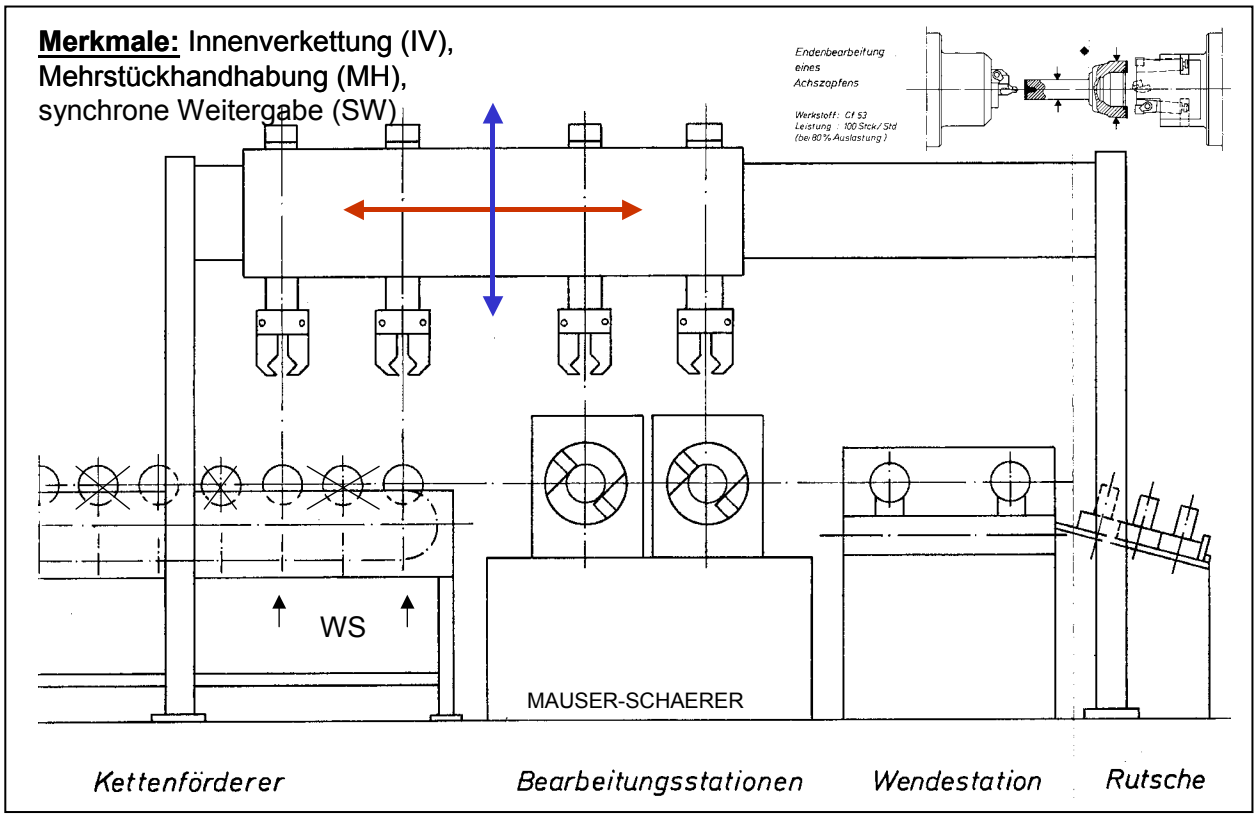
PROMOT

Werkstückwechsel mit Doppelgreifer



MAHO

Werkstückspeicher als Umlauf- und Regalspeicher



Werkstückwechsel (IV, MH, SW)

2.7 Werkzeugmess- und überwachungssystem

Zweck dieser Einrichtungen ist das Vermeiden von Ausschuss und der Schutz der Maschine. Beim Überschreiten eines Grenzwertes oder bei Werkzeugbruch soll ein Signal ausgegeben oder ein Schwesterwerkzeug eingewechselt werden. Die Ausgabe eines Signals soll den Maschinenbediener warnen und/oder weitere Aktionen in der Steuerung veranlassen z.B. Vorschubreduzierung bis der Schnitt beendet ist.

Werkzeug messen

Istmaß ermitteln für CNC- Steuerung
- Maßkompensation
- Verschleißerkennung und -kompensation

Werkzeug überwachen

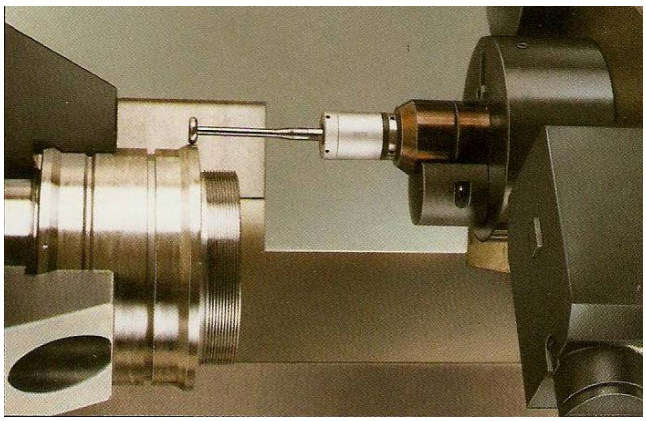
Standzeitüberwachung	**Verschleißüberwachung**	**Bruchüberwachung**
Messen der Einsatzzeit eines Werkzeuges	Erfassen von Grenzwert-überschreitungen z.B. Schnittkraft Geräuschanalyse Messen des Werkzeuges Indirekt über Messen des Werkstückes	Überprüfen der WZ- Länge Indirekt durch - Erfassen von sprungartigen Kraftänderungen beim Bearbeiten - Werkstücküberwachung z.B. falsche Maße oder fehlende Bohrungen.

Messen und Überwachen von Werkzeugen bei Zerspanung in CNC- Maschinen

2.7.1 Werkzeug messen

Werkzeugmessung

Messtaster feststehend im Arbeitsraum



Werkstückmessung

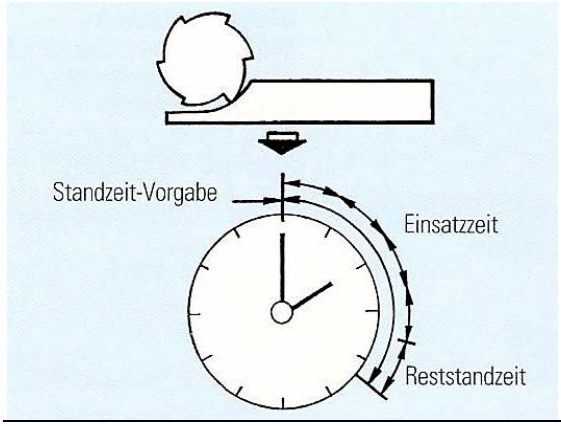
Messtaster im Werkzeugrevolver

Werkzeug- Werkstückmessung im Arbeitsraum einer CNC- Maschine (WIDIA)

2.7.2 Werkzeug überwachen

2.7.2.1 Standzeitüberwachung

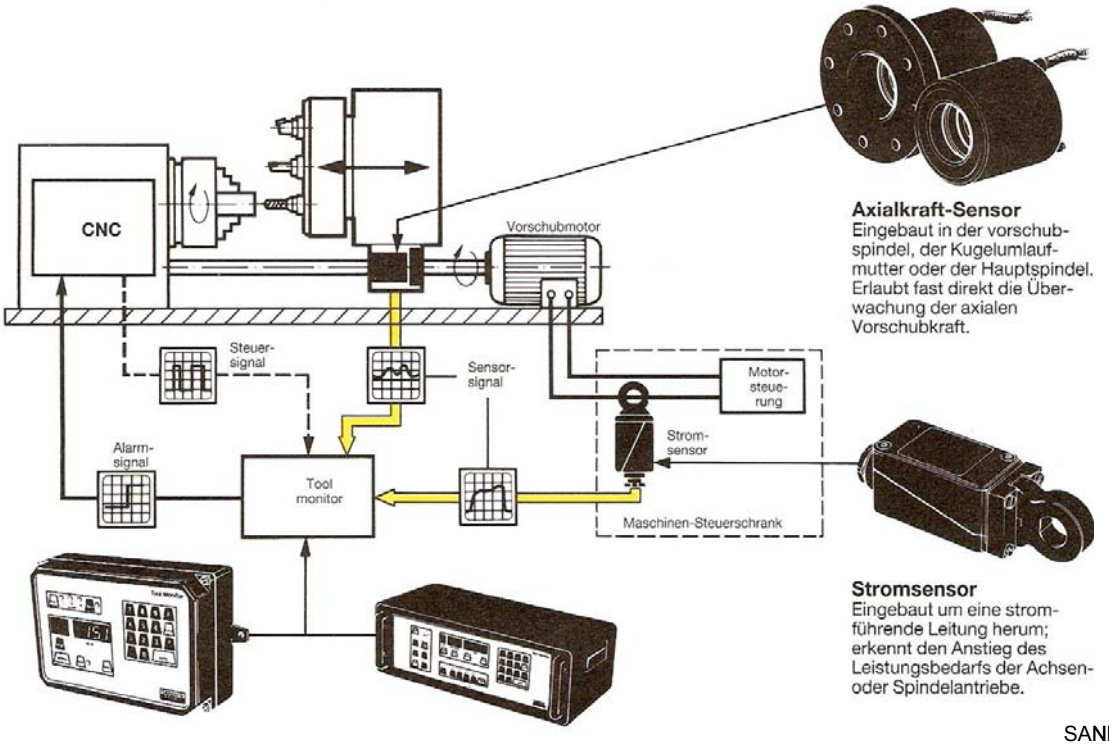
Einsatzzeit eines Werkzeuges wird gemessen. Beim Überschreiten einer programmierten Zeit wird das „Standzeitende“ erkannt und ein Signal ausgegeben oder Schwesterwerkzeug eingewechselt. Es wird eine empirisch ermittelte Standzeit vorgegeben; der tatsächliche Verschleiß bleibt unberücksichtigt.



Standzeitüberwachung (nach SCHARMANN)

2.7.2.2 Verschleißüberwachung

Überschreiten die Schnittparameter eine definierte Grenze wird ein Signal ausgegeben oder Schwesterwerkzeug eingewechselt. Schnittparameter wie Schnittkraft, Schnittleistung, Vorschub- Passivkraft, Schwingamplituden, Schall werden über Sensoren ermittelt. Der Verschleißzustand kann auch über das Vermessen der Werkzeugschneide oder indirekt über das Vermessen des Werkstückes ermittelt werden.

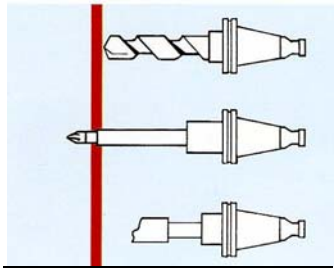


SANDVIK

Werkzeugüberwachung (Axialkraft, Stromsensor)

2.7.2.3 Bruchüberwachung

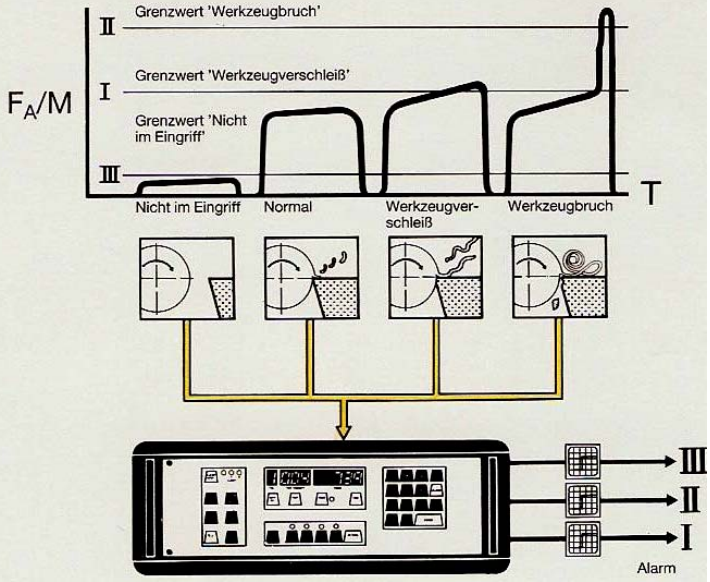
Verschleiß kleiner Werkzeuge mit geringen Schnittkräften nicht über Sensoren erfassbar. Brucherkennung durch Erfassen großer Sprünge der Schnittparameter bei entsprechend großen Werkzeugen. Direkte Kontrolle durch Abtasten des Werkzeuges oder indirekt durch Abtasten des Werkstückes z.B. nach fehlenden Bohrungen.



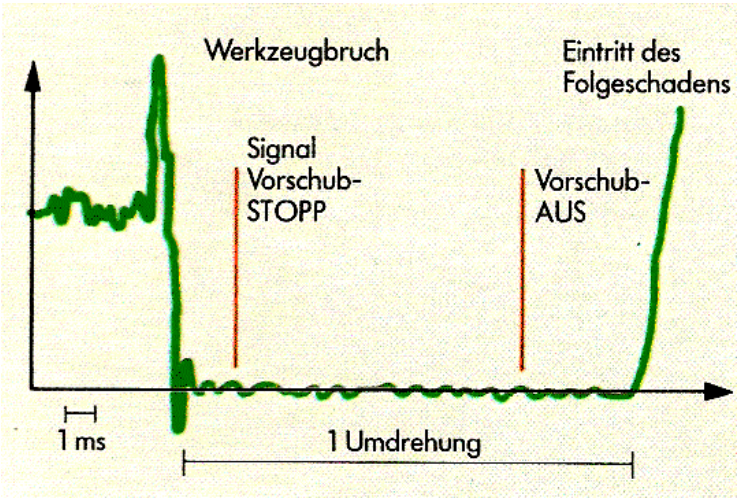
Direktes Abtasten

Das System sollte ständig vier Grenzwerte überwachen:

- Grenzwert I für den Werkzeugverschleiß. Dieser Alarm kann benutzt werden, um nach Beendigung der Operation einen Werkzeugwechsel einzuleiten.
- Grenzwert II für den Werkzeugbruch. Dieser Alarm sollte verwendet werden, um bei einem Werkzeugbruch die Maschine sofort zu stoppen.
- Grenzwert III zur Schnitterkennung. Dieser Alarm wird verwendet, um zu erkennen, ob das Werkzeug im Eingriff ist oder nicht. Er kann Hinweise auf ein fehlendes Werkzeug oder Werkstück liefern.
- Grenzwert IV zum Schutz vor Kollisionen. Dieser Alarm sollte, ähnlich wie Grenzwert II, die Maschine sofort stillsetzen. Er wird zum Schutz der Maschine verwendet.



Werkzeugüberwachung (Überwachungsparameter) nach SANDVIK



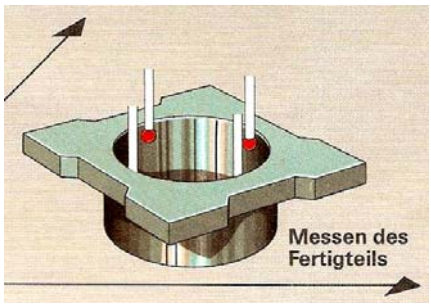
WIDIA

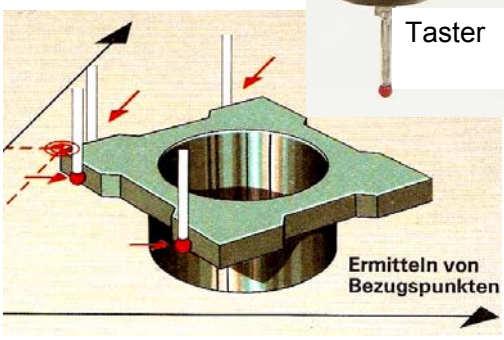
Werkzeugbruchüberwachung indirekt über Kraftverlauf

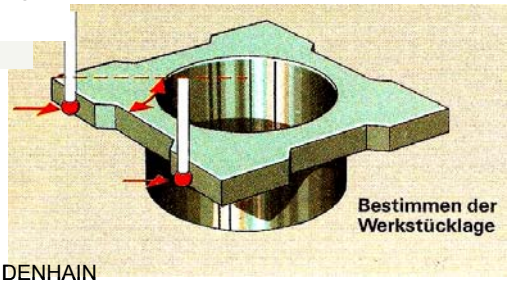
2.8 Werkstückmess- und überwachungssystem

Messobjekt Werkstück:
Neben dem **Werkstück** als Messobjekt können auch **Werkzeuge oder Maschinenparameter** (z.B. Wärmedehnung) vermessen werden.
Die Messung erfolgt zum Sicherstellen der geforderten WS- Qualität und/oder zur indirekten Vorbereitung und Überwachung des Fertigungsablaufes. Toleranzüberschreitung beruht z.B. auf Werkzeugverschleiß .
Messort und Zeitpunkt:
In- Process: Das Werkstück wird noch im Arbeitsraum gemessen, entweder ständig während der Bearbeitung (kontinuierlich) oder zwischen den Arbeitsschritten (intermittierend).
Post- Process: Die Messung erfolgt nach dem Bearbeitungsende in der Regel außerhalb des Arbeitsraumes.
Messwerterfassung:
Bei der maschinenabhängigen Messung wird das Wegmeßsystem der NC- Maschine benutzt. Es wird z.B. ein eingewechselter Messtaster verwendet. Systematische Fehler im Wegmeßsystem der Maschine werden nicht erkannt!
Die maschinenunabhängige Messung arbeitet ohne Fehlereinfluss der Maschine.
Stellgröße:
Werkzeugmaß, Zustellung/Position, Vorschub
Ein Beispiel für das Verstellen des Werkzeugmaßes ist die Bohrungsbearbeitung mit Verstellwerkzeugen. Die Zustellung wird z.B. über die NC- Steuerung justiert wenn beim Drehen ein Durchmesser nicht stimmt. Der Vorschub wird insbesondere verändert bei Abweichungen der Ist- Oberfläche von der Soll-Oberfläche.
Messwert- Rückführung:
Die manuelle Rückführung bedeutet, dass die Bedienperson die notwendigen Maschineneingriffe vornimmt. Bei der automatischen Rückführung werden Maschinenverstellungen über eine Maßregelung (in der Werkstattsprache „Messsteuerung“ genannt) ausgeführt.

Taster Sende- Empfangs-einheit

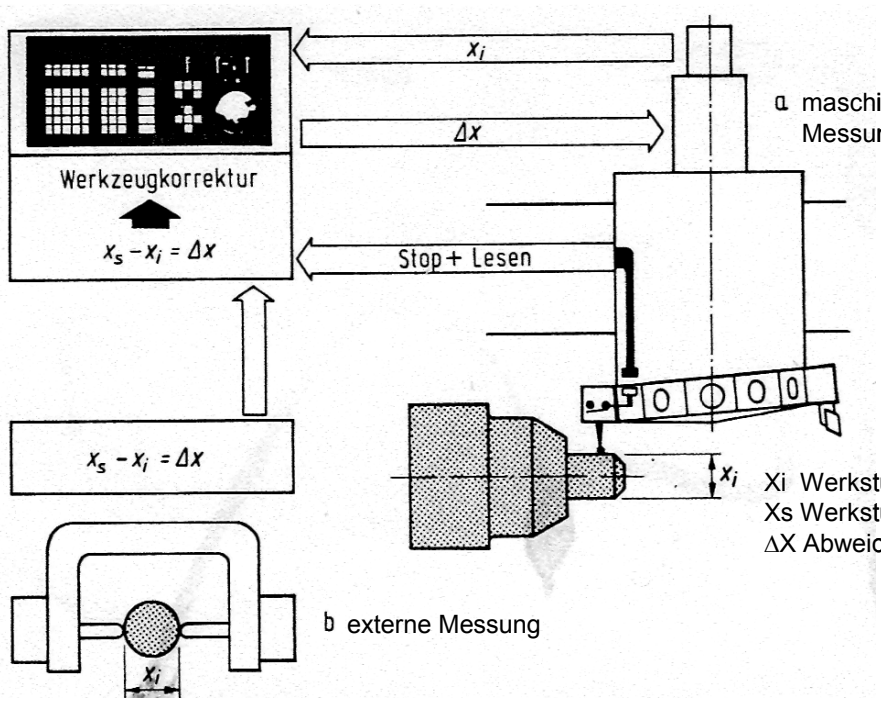






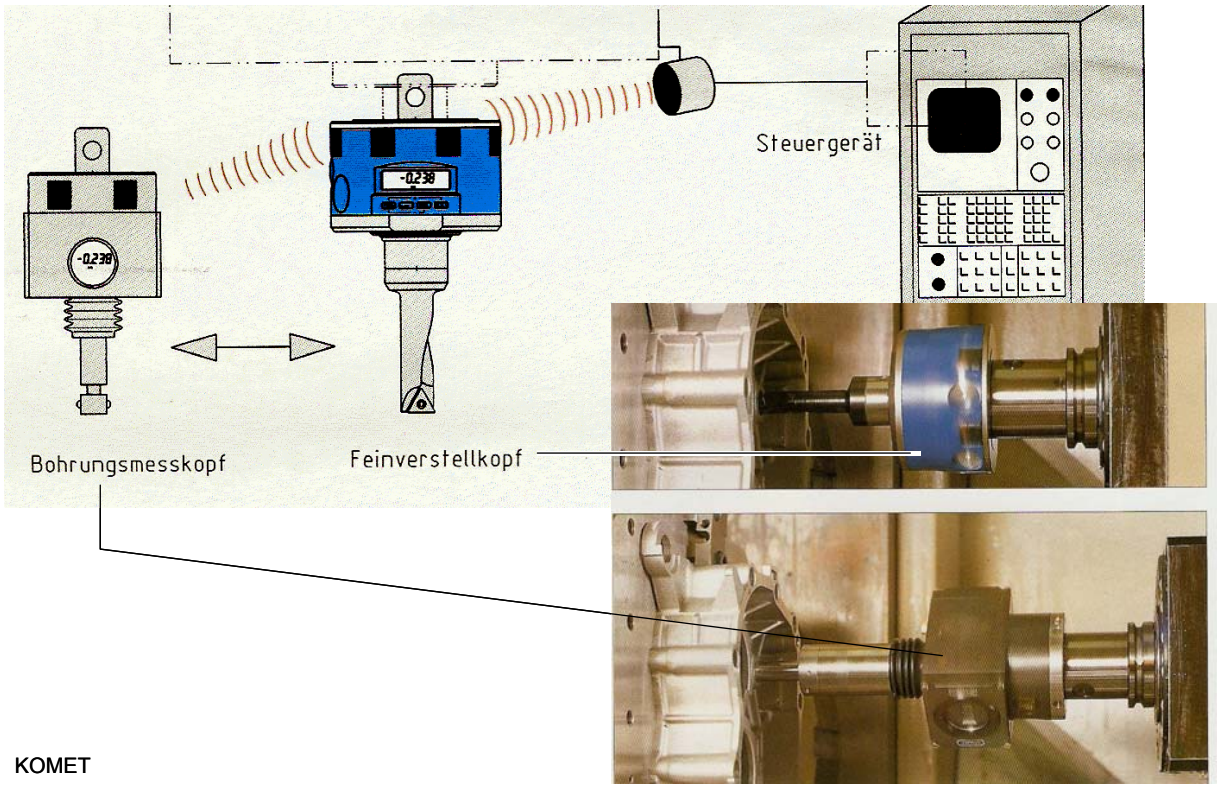
HEIDENHAIN

Messtaster mit Anwendungen



Nach Wiesner

Maßüberwachung und Maßkorrektur



KOMET

Maßgeregelte Bohrungs-Feinbearbeitung

2.9 Diagnose- und Prozessüberwachungssystem

Das Diagnose- und Überwachungssystem ist für den Gesamtzustand der Maschine zuständig. Das Prozessüberwachungssystem bleibt auf den eigentlichen Bearbeitungsprozess konzentriert. Wechselwirkungen mit dem Werkzeug- und Werkstücküberwachungssystem sind in die Gesamtüberwachung mit einzubeziehen.
Die Fertigungsvorgänge unterliegen einer großen Zahl von innerer und äußerer Störeinflüsse.
Die Anwendung der Fehlerfrühdiagnose beginnt im Gegensatz zur Fehlerdiagnose bereits vor Eintritt eines Störungsfalles. Beispielsweise wird versucht, eine Zustandsverschlechterung anhand des Driftverhaltens von ausgewählten Kennwerten im Zeit- und Fertigungsablauf so frühzeitig zu erkennen, dass eine mögliche Qualitätsminderung oder eine Maschinenstörung vermieden werden kann.

„Condition Monitoring“ bezogen auf Werkzeugmaschinen:

1 Erkennen von Schädigungen an relativ zueinander bewegten Maschinenteilen
- Schwingungs- und Schallmessungen; Messung periodischer Schwingungen mit Frequenzanalyse, Spektrum, Schallemission, Stoßimpulsmessung, usw.
- Bestimmen von Fremdstoffen in Betriebsmedien: Öl-/Schmierstoffanalysen, Magnetstopfen, Filter.
- Temperaturmessung (Lager)
- Abstands- und Dickenmessung (Spiel, Abrieb)

2 Erkennen von Veränderungen in der Funktionsfähigkeit der Maschine
- Messung von Parametern wie Druck, Temperatur, Durchsatz, Drehzahl, Kraft, Leistungsaufnahme.
- Bestimmung von abgeleiteten Größen wie z.B. Wirkungsgrad.
- Aufnahme von Kennlinien.
- Taktzeitanalyse
- Wegmessung (Endschalter)

3 Erkennen von Veränderungen am Verfahrensablauf
- Werkzeugverschleiß oder -bruch
- Temperaturmessung am Werkzeug
- Spanform
- Schwingungen, Temparaturen, Emissionen (z.B. Staubgehalt) usw.

4 Erkennen von Veränderungen am Verfahrensergebnis (Werkstück)
- Überschreiten von Maß- Form- und Lagetoleranzen
- Fehlende Bearbeitungsschritte, z.B. Bohrungen fehlen
- Oberflächengüte

promicron

Condition Monitoring in Arbeitsspindel

3 Steuerungen und Antriebe

3.1 Allgemeiner Funktionsumfang

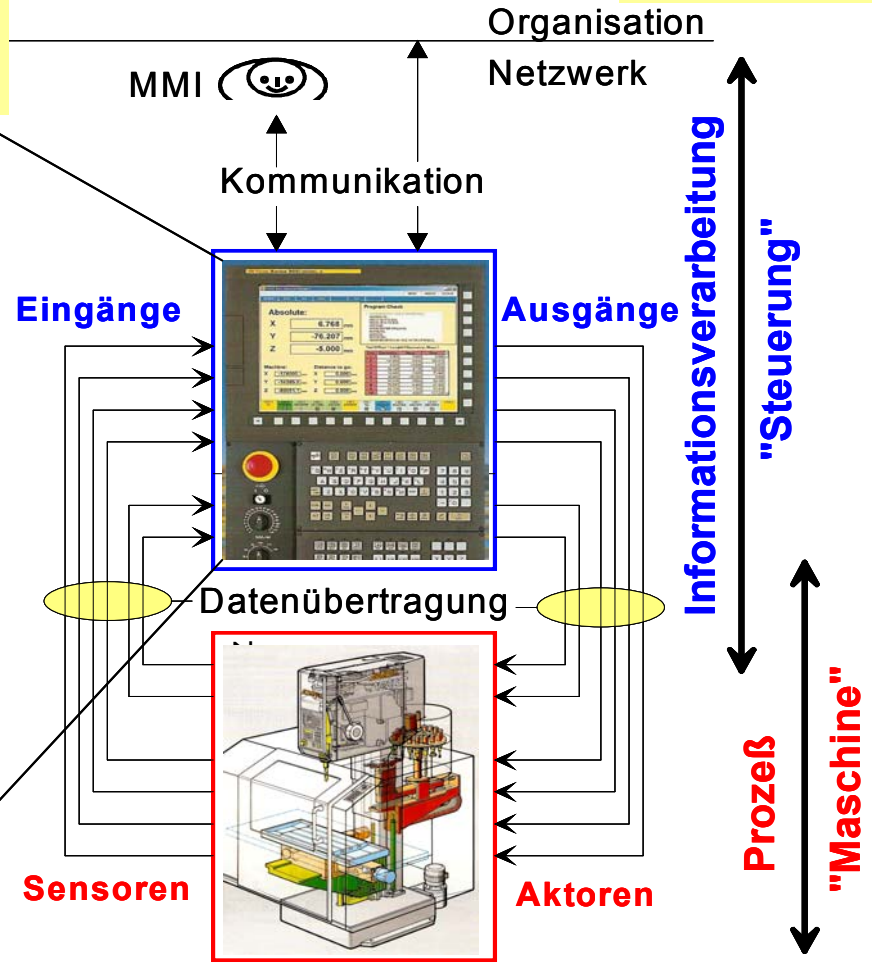
Kommunikation
Teleservice
Remote- Control
Ferndiagnose

Netzwerk
Ethernet
RS 232
usw.

Eingänge Ausgänge
Anschlusstechnik
Steckernormen
DESINA

Organisation
Programmverwaltung
Werkzeugverwaltung
Qualitätssicherung
Auftragsverwaltung
BDE

MMI
Mensch-Maschine-Interface
Bildschirm
Tastatur



Datenverarbeitung
Mehrprozessverarbeitung
Multiachsenfunktion
Achsinterpolation
Mehrkanalbearbeitung
Diagnosefunktionen
Werkzeugdaten
Programmverwaltung
Geometrieverarbeitung

Überwachung
Maschinenüberwachung
Werkzeugüberwachung
Prozessüberwachung

Steuerung
SPS – Funktionen als Anpasssteuerung

Regelung
Lageregelung der Achsen
Prozessregelung

Datenübertragung
Berührend
- Punkt – Punkt
  - Einzelverdrahtung
  - Verkabelungssystem
- Bus
  - Datenbus
    - Interbus
    - AS- Bus
    - Profibus
    - usw.
  - Energiebus (Hybrid)
    - Ecofast (Siemens)
    - L – force (Lenze)

Berührungslos
- RFID
- Lichtwellen
- WLAN
- WISA

Sensoren
Schalter (binäre Funktion)
Analog/Digital- Wandler
Wegmesssysteme
Kraft-
Drehzahl-
Druck-
Temperatur-
Schwingungen-
Anwesenheit-
Licht-
Schall-

Aktoren
Frequenzumrichter
- Servomotoren
- Linearmotoren

Binäre Schalter
- Schütze
- Relais

Schaltventile (binär)
Proportionalventile
Servoventile
Elektromagnete
Fluidik

WISA: Wireless Interface for Sensors and Actuators

Steuerungsstruktur

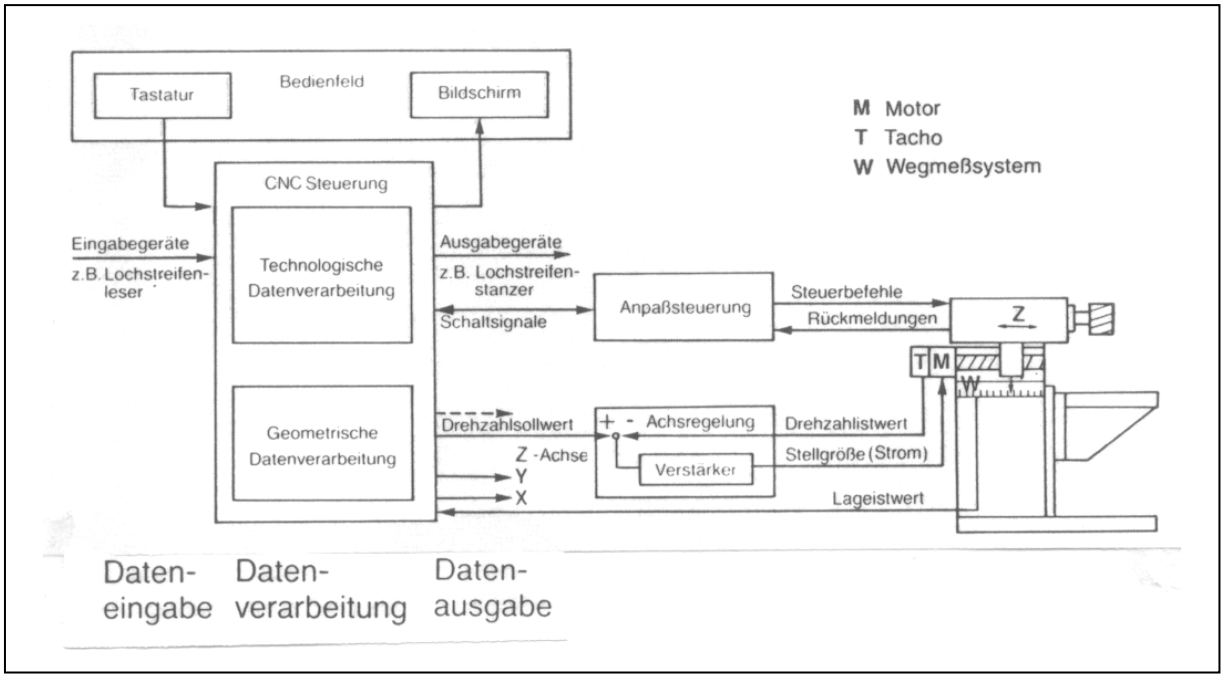
3.2 CNC- Steuerungen

NC Numerical Control (Zahlenverarbeitende Steuerung)
CNC Computer Numerical Control)

Über die normale binäre Signalverarbeitung hinausgehend, können diese Steuerungen Zahlenwerte verarbeiten.

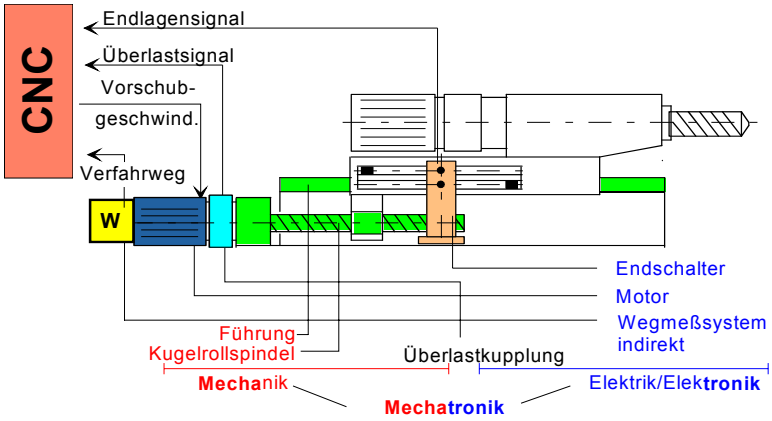
Das eingegebene Programm und die Korrekturdaten (z.B. Werkzeuglänge) werden in der Steuerung dekodiert und als geometrische und technologische Informationen weiterverarbeitet. Die Geometrieinformationen enthalten alle Angaben über die Werkzeugwege, die zur gewünschten Werkstückkontur führen. Die Technologieinformationen bestimmen den Bearbeitungsprozess durch Vorgabe von Schnittgeschwindigkeiten, Spindeldrehzahlen, Vorschubgeschwindigkeiten usw. Zusätzlich sind Schaltsignale an die Maschine auszugeben, z.B. Kühlmittelzufuhr einschalten, oder Drehrichtungswechsel. Ebenso sind Rückmeldesignale von der Maschine auszuwerten, z.B. Spindeldrehzahl erreicht, Programmsatz ausgeführt usw.
Die Position eines Werkzeugmaschinenschlittens wird mittels Lageregelkreis geregelt. Aus den Geometrieinformationen bildet die geometrische Datenverarbeitung die Sollwerte für die Achsantriebe. (Im Bild am Beispiel der Z- Achse gezeigt.) Bei Lageregelkreisen wird dieser Lagesollwert mit dem in der Maschine durch ein Wegmesssystem ermittelten Lageistwert verglichen und aus der Abweichung die Stellgröße, hier die Motordrehzahl, bestimmt.
Abhängig von der Drehzahlabweichung des Motors wird dann der Strom als Stellgröße an den Antriebsmotor geleitet. Weitere unterlagerte Regelkreise z.B. für Beschleunigung, Drehmoment, und Motorstrom können bei erhöhter Regelgüte noch vorhanden sein.

Die Schaltinformationen werden ebenfalls gemäß dem Programm über eine Anpasssteuerung in Maschinenfunktionen umgesetzt. Hierbei werden die vom Programm stammenden Schaltinformationen mit den von der Maschine zurückkommenden Rückmeldesignalen zu Schaltsignalen verknüpft.

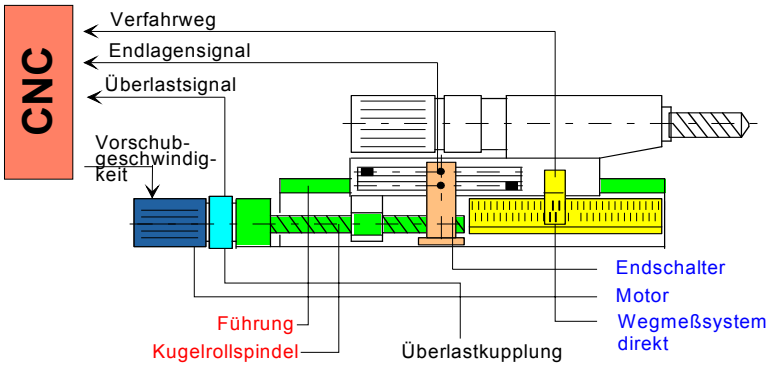


Prinzip der CNC- Steuerung für Werkzeugmaschinen

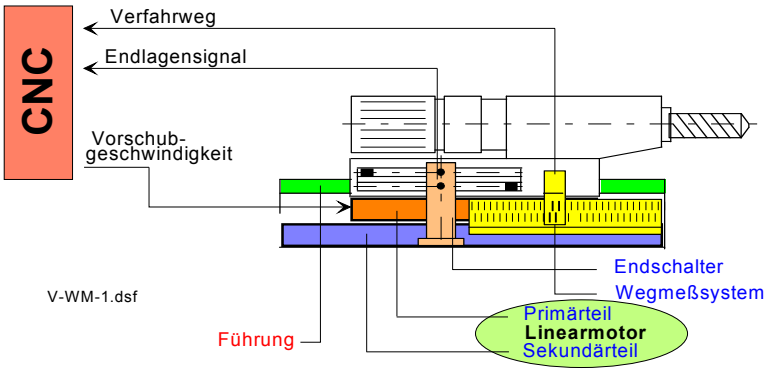
3.3 Zusammenwirken von CNC, Antrieben und Wegmessystemen



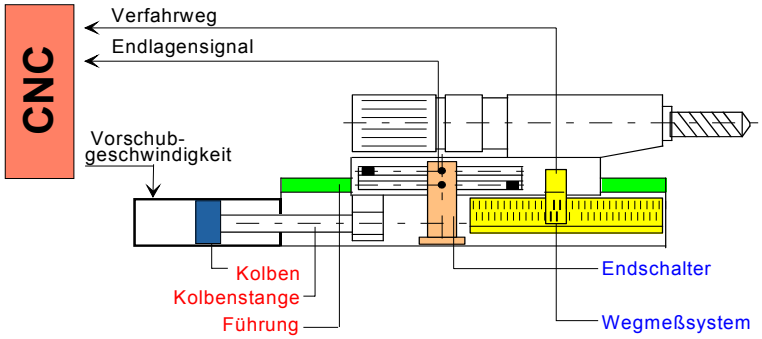
Antrieb: Elektrischer Servomotor
Wegmessung: Koaxial angeflanschter Drehgeber (indirektes Wegmesssystem)
Drehzahlmessung: elektronische Wegdifferentation oder über zusätzlich an Motor angeflanschtem, im Bild nicht gezeigten, Tachogenerator



Antrieb: Elektrischer Servomotor
Wegmessung: Getrennt angeordneter Längenmassstab (direktes Wegmesssystem)
Drehzahlmessung: elektronische Wegdifferentation, oder über zusätzlich an Motor angeflanschten, im Bild nicht gezeigten, Tachogenerator



Antrieb: Elektrischer Linearmotor
Wegmessung: Getrennt angeordneter Längenmassstab (direktes Wegmesssystem)
Drehzahlmessung: elektronische Wegdifferentation.

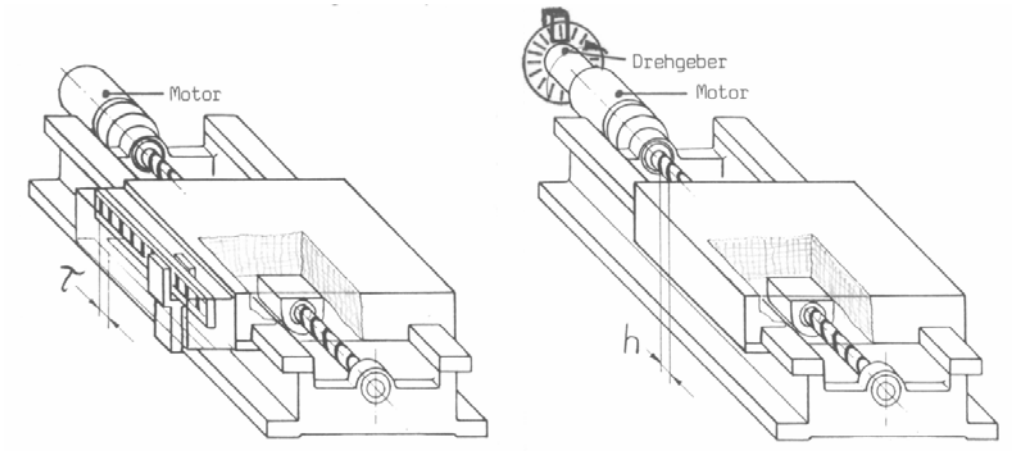


Antrieb: Fluidischer Linearmotor (Hydraulikkolben)
Wegmessung: Getrennt angeordneter Längenmassstab (direktes Wegmesssystem)
Drehzahlmessung: elektronische Wegdifferentation.

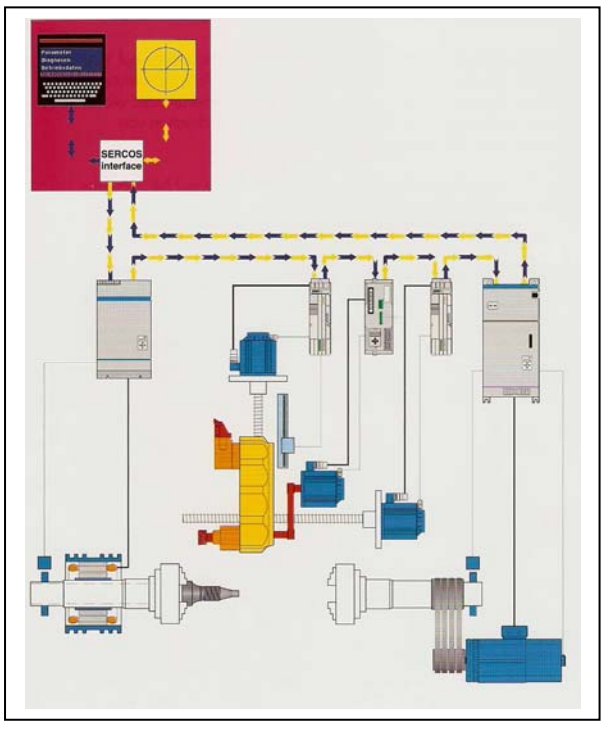
Antriebs- und Wegmesskombinationen

3.4 Lageregelung und Wegmessung

Die Achsbewegung bei numerisch gesteuerten Maschinen erfolgt mittels Lageregelung. Bei sehr geringen Anforderungen werden auch einfachere Schrittmotorantriebe eingesetzt.



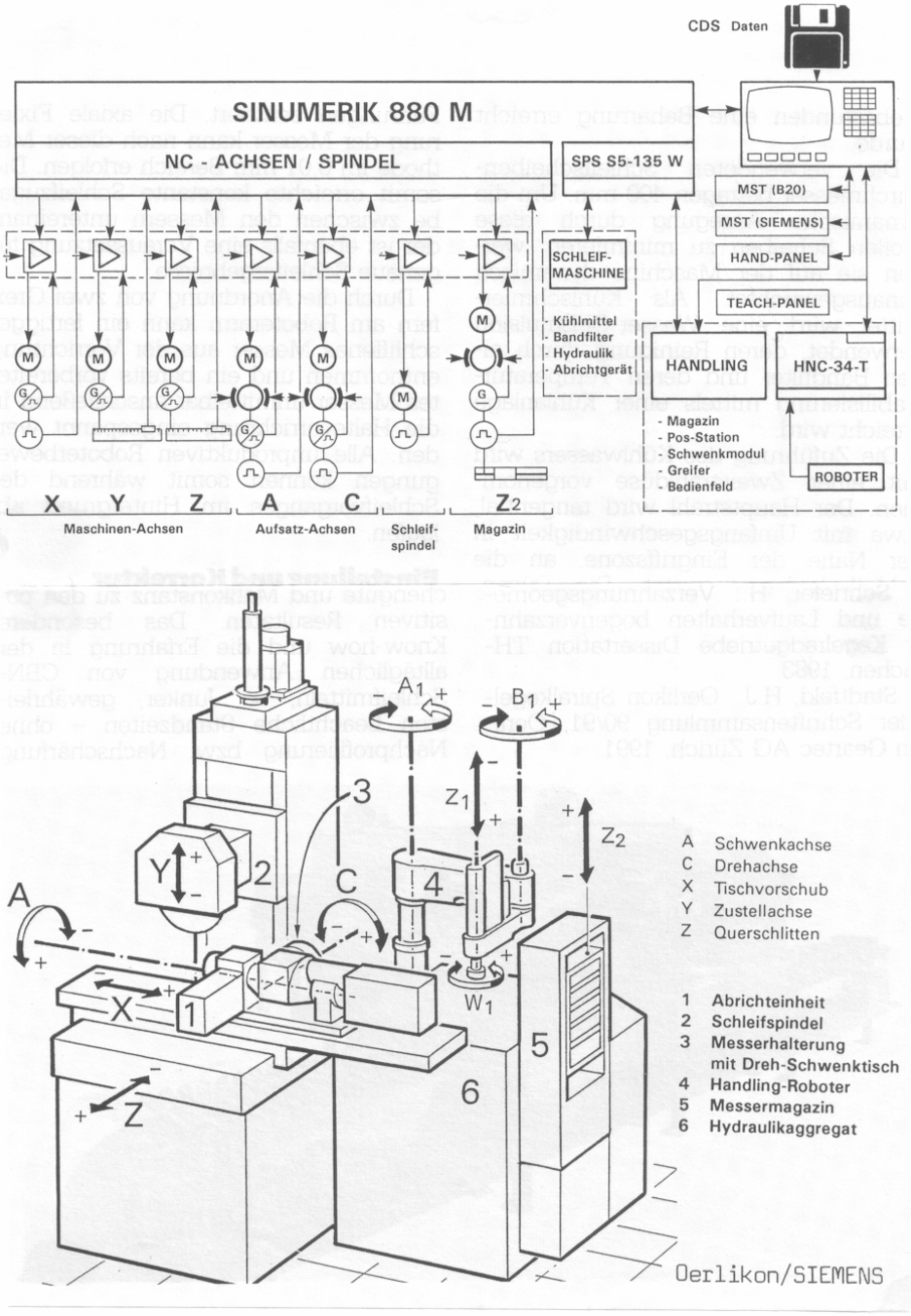
Direkte und indirekte Wegmessfunktion bei einem Längsschlitten



Anwendungsbeispiel: Drehmaschine für Komplettbearbeitung

3.5 Fallbeispiel: Werkzeugschleifmaschine

Werkstückspannung in Dreh- Schwenktisch. X,Y,Z- Achsen interpoliert. A,C,- Achsen bei Bearbeitung geklemmt (Verstellachsen). Z2- Achse Positioniersteuerung für Werkstückmagazin. Drehzahlsollwert für Schleifspindel. Speicherprogrammierbare Steuerung SPS für Hilfsfunktionen mit binärer Signalverarbeitung und Werkstückhandhabung (Handling). Roboter für Werkstückhandhabung (Messer) mit eigener Steuerung. Die CNC- Steuerung wäre in der Lage mit Zusatzkarten weitere Achsen z.B. die Roboterachsen zu steuern.



Steuerungskonzeption einer automatisierten Werkzeugschleifmaschine

Abkürzungen und Normen:

Funkschnittstellen für Sensoranschluss im lizenzfreien 2,4 GHz- ISM- Band:

WISA: Wireless Interface for Sensors and Actuators Fa. ABB
SAI- Bluetooth- Modul: Kabellose Datenübertragung, IEEE 802.15.1, Fa. Weidmüller,
Zykluszeit 15 ms

Berührungslose Datenschnittstellen

RFID: Radio- Frequenz- Identification- Decoder

Standardisiertes Installationskonzept für Werkzeugmaschinen

DESINA: DEzentrale und Standardisierte INstAllationstechnik
Einheitliche Installationsnorm der Firmen Alcatel, Balluff, Brinkmann, Euchner, Harting, Helukabel, Mannesmann Rexroth, Murrelektronik, Parker Hannifin, Siemens, Wika

Digitale Schnittstelle zur Kommunikation zwischen Steuerungen und Antriebe in NC- Maschinen

SERCOS: SERielles Echtzeit COmmunikations- System

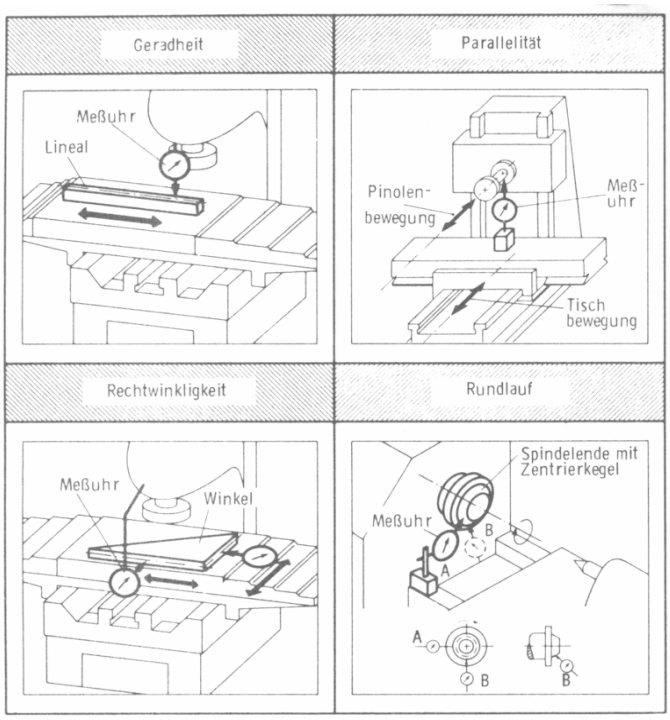
DNC (Distributed Numerical Control)

Local DNC:
Die DNC- Funktionen werden vom Maschinenbediener veranlasst und beendet. Dies ist bei Einzelmaschinen der Fall.
Remote DNC:
Die DNC- Funktionen werden vom DNC- Rechner aus ferngesteuert. Ebenso kann der DNC- Rechner Maschinenfunktionen fernsteuern wie z.B. „Maschine Start“ oder „Maschine Stop“. Die „Remote DNC“- Betriebsart ist in flexiblen Fertigungssystemen notwendig, da kein Maschinenbediener anwesend ist. Neben der Fernsteuerung ist der Datenaustausch zwischen CNC- Steuerung und DNC- Rechner, in diesem Fall auch Leitrechner genannt, eine Basisfunktion.
Datenaustausch
Betriebszustände: Status der Maschine, Störmeldungen usw.
Werkzeugmagazindaten: Aktuelle Magazinbelegung, Reststandzeiten usw.
Palettendaten: Palettennummer, Werkstück-/Programmnummer, Nullpunktverschiebungen usw.
Messwerte: aktuelle Werte, Trendmeldungen usw.

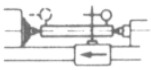
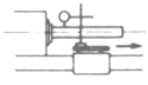
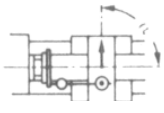
Schrifttum:

Kief, Hans B.; Roschiwal, Helmut A: NC/CNC Handbuch, München 2007, Carl Hanser Verlag, ISBN: 978-3-446-40943-9

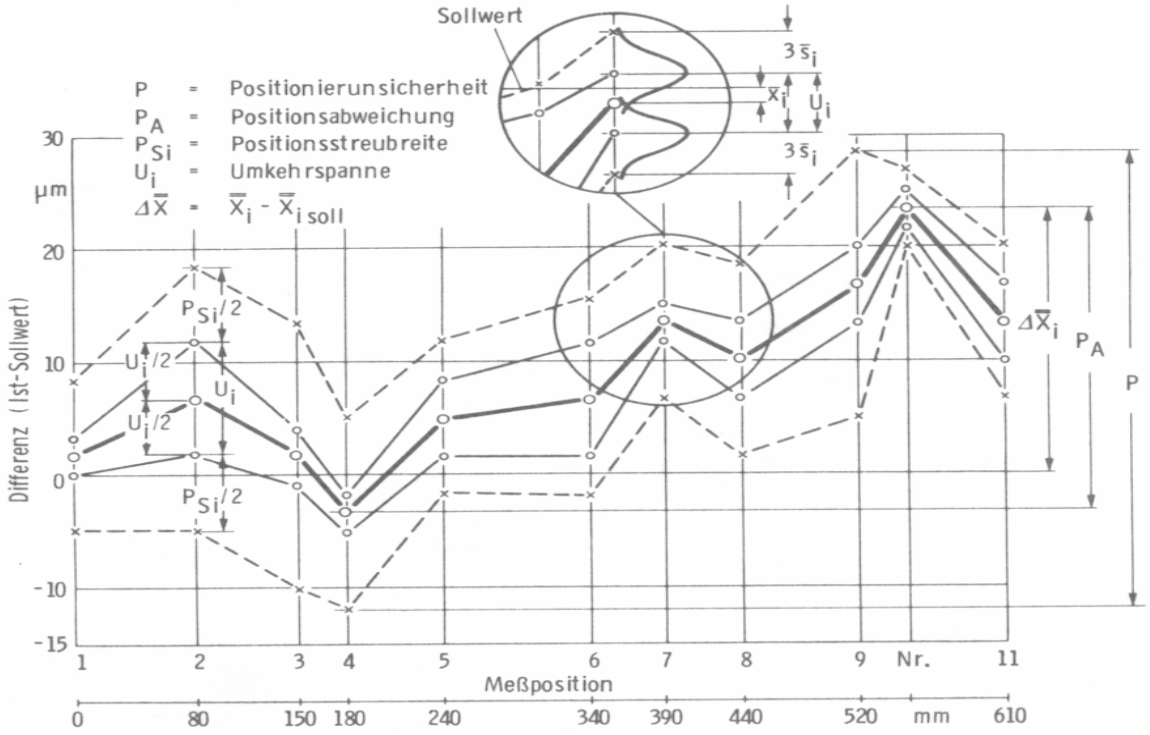
4 Genauigkeit und Abnahme von Werkzeugmaschinen



Beispiele für Geometrieparameter bewegter Maschinenachsen (nach König)

Nr.	Gegenstand der Prüfung	Bild	Prüf-mittel	Prüfanleitung	Abweichungen zulässig	Abweichungen gemessen
G9	Abstands-gleichheit der beiden Zentrier-spitzen zur Bezugs-ebene		Feinzeiger nach DIN 879 Prüfdorn zur Auf-nahme zwischen Spitzen	Reitstock und Reitstockpinole geklemmt. Mit Feinzeiger obere Mantellinie des Prüfdornes abtasten. Messung an beiden Enden des Prüfdornes 3.2.2 5.4.2.2.3	0,04 mm (Reitstock-spitze höher)	
G 10	Parallelität der Arbeits-spindelachse zur Längs-bewegung des Ober-schlittens		Feinzeiger nach DIN 879 Prüfdorn mit kege-ligem Aufnahme-schaft	Führung des Oberschlittens in der Waagerecht-Ebene parallel zur Spindelachse ausrichten. Bettschlitten klemmen. Prüfdorn im Innenkegel auf Mittenstellung der Rundlaufabweichung bringen. Oberschlitten mit daran befestig-tem Feinzeiger längs des Prüf-dornes entsprechend dem Verstell-weg verschieben. 5.4.2.2.3	0,04 mm auf 300 mm	
G 11	Rechtwink-ligkeit der Arbeitsspin-delachse zur Bewegung des Quer-		Feinzeiger nach DIN 879 Prüf-scheibe	Feinzeiger am Querschlitten befe-stigt. Prüfscheibe oder Lineal an Arbeits-spindel befestigt. Querschlitten bis 300 mm ver-	0,02 mm auf 300 mm Fehler-richtung 90°	

Abnahmebedingungen für Drehmaschinen, Auszug aus der Norm DIN 8606.



Statistische Genauigkeitsgrößen einer gewählten Prüfachse (nach König)

Aus Fachliteratur und Herstellerprospekten entnommene Angaben:

Positionierunsicherheit	P	µm	8...15
Positionsstreubreite	Ps	µm	3...8
Positionsabweichung	Pa	µm	5
Wiederholgenauigkeit	Ps	µm	3...4
Umkehrspanne	U	µm	0,4...0,7
Oberfläche (Drehen)	Rz	µm	2...6
Rundlaufgenauigkeit		µm	3...10
Genauigkeit			IT 5
Teileabweichung		µm	30
Teil zu Teil		µm	5

z.B. Härteschwankungen von Teil zu Teil

Abnahme von Werkzeugmaschinen:

Genauigkeit (DIN ISO 230-2)

Geometrische Prüfung

Mechanik DIN 86.....

Steuerung (Positionierung) VDI/DGQ

Praktische Prüfung

Probeteil (DIN) oder vereinbart

Abnahmeläufe (Inbetriebnahmezeit, Optimierungszeit, usw.)

Fertigungsleistung

Stück- (Taktzeit),Eilgang, WZ/WS-Wechselzeit, Haupt- Nebenzeit

Zerspanleistung usw.

Allg. Kriterien

Vertragliche Vereinbarungen

Liefervorschriften

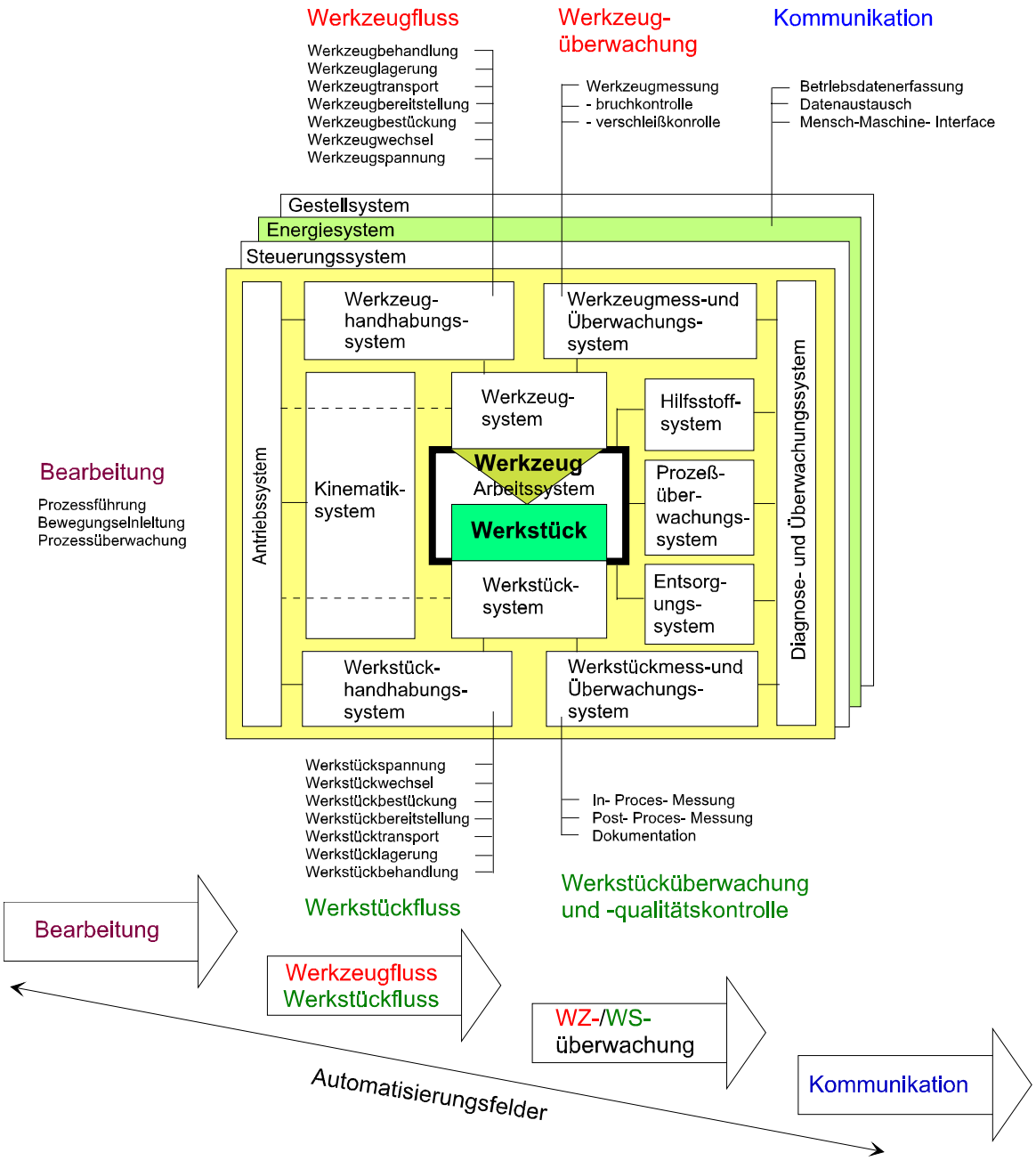
Unfall- Umweltschutz

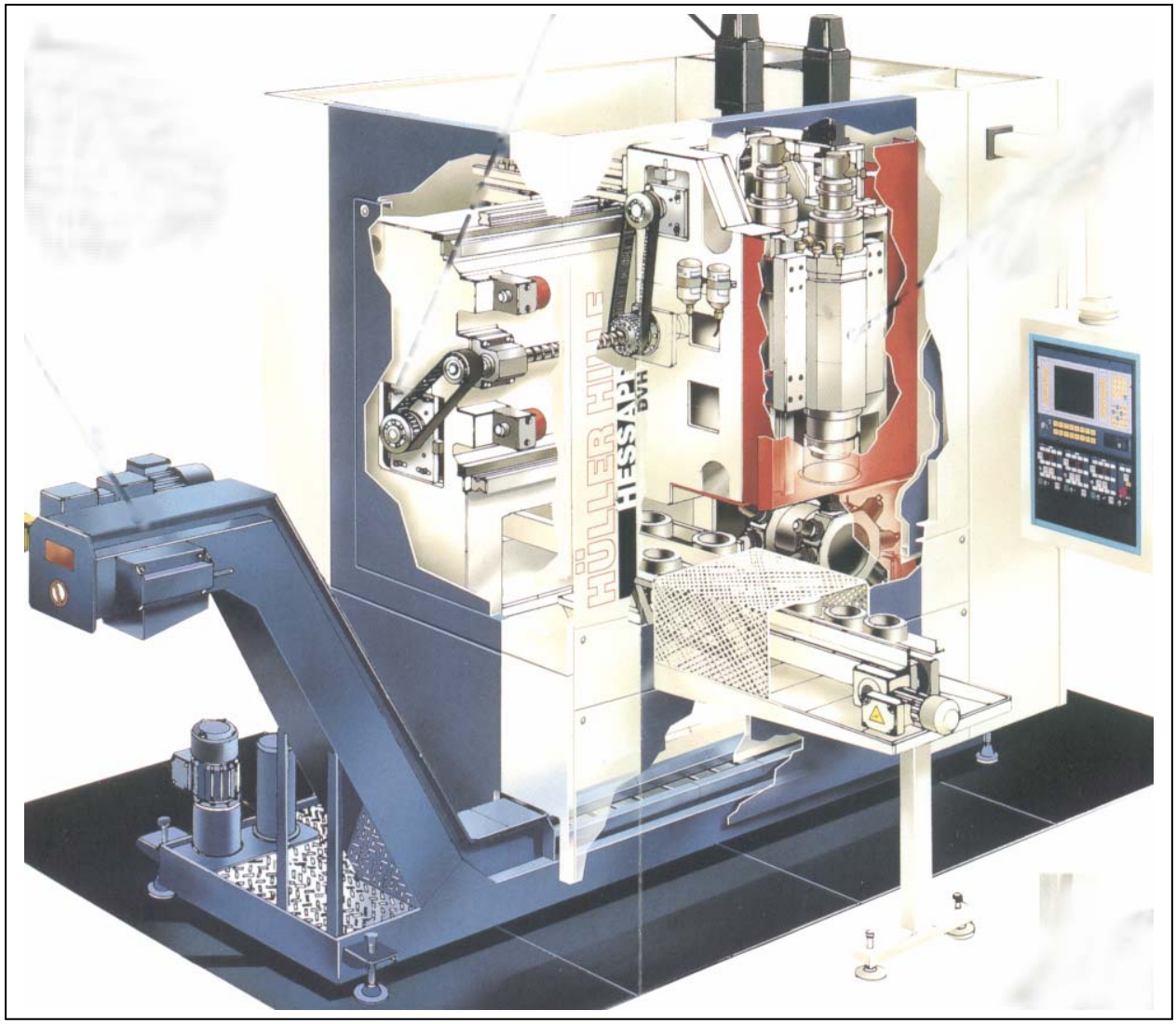
Geräuschprüfung

5 Automatisierung von Werkzeugmaschinen

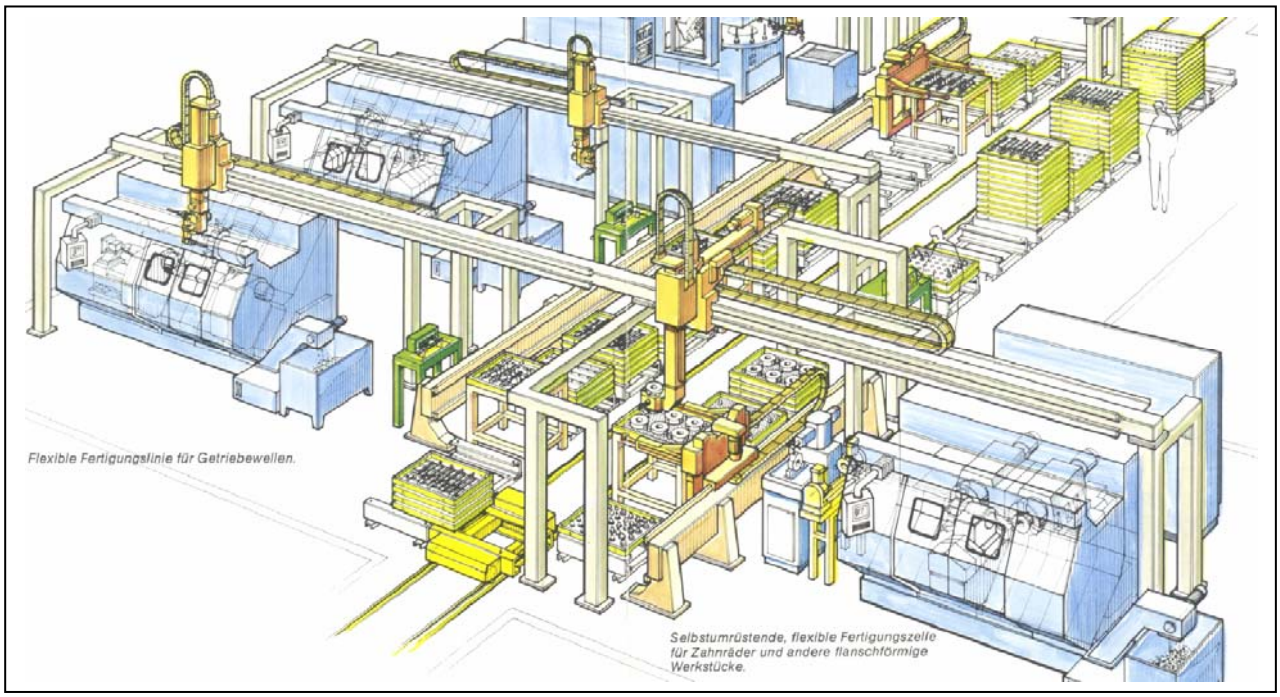
5.1 Überblick und Beispiele

Gründe für die Automatisierung:
Kostensenkung z.B. geringere Lohnkosten, längere Laufzeiten durch Nacht- und Pausenbetrieb.
Produktionserhöhung z.B. geringere Taktzeiten.
Qualitätsverbesserung
Arbeitskräftemangel für niederwertige Arbeiten
Humanisierung durch Abbau und Erleichterung von taktgebundenen, schmutzigen und schweren Arbeiten

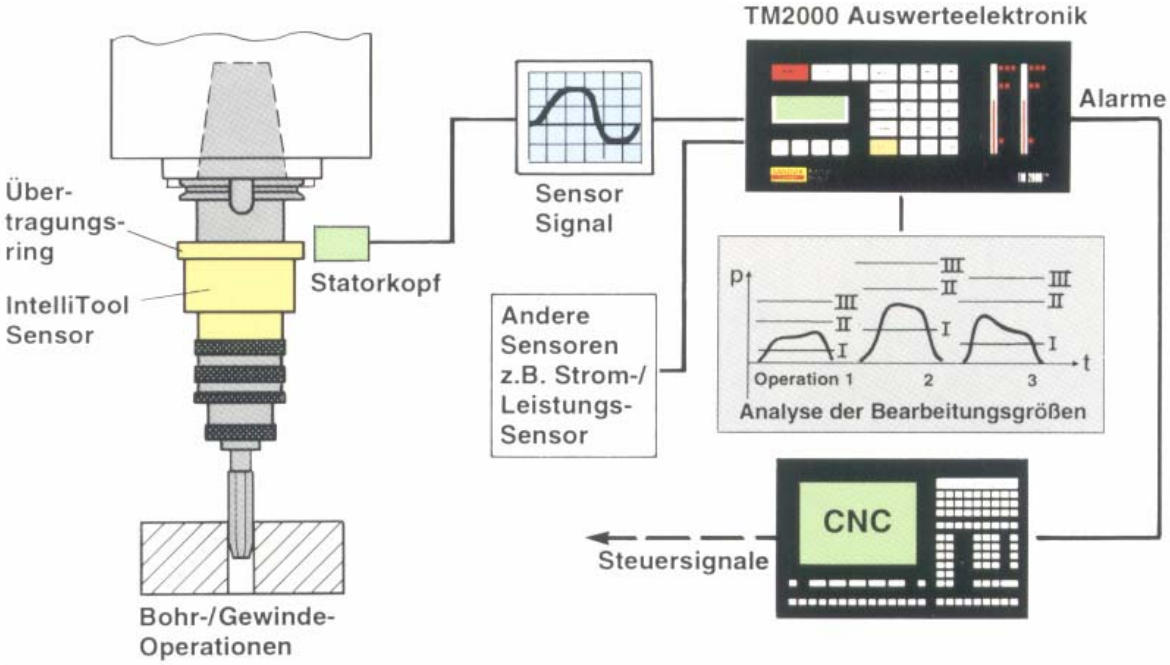




Hüller Hille



EMAG

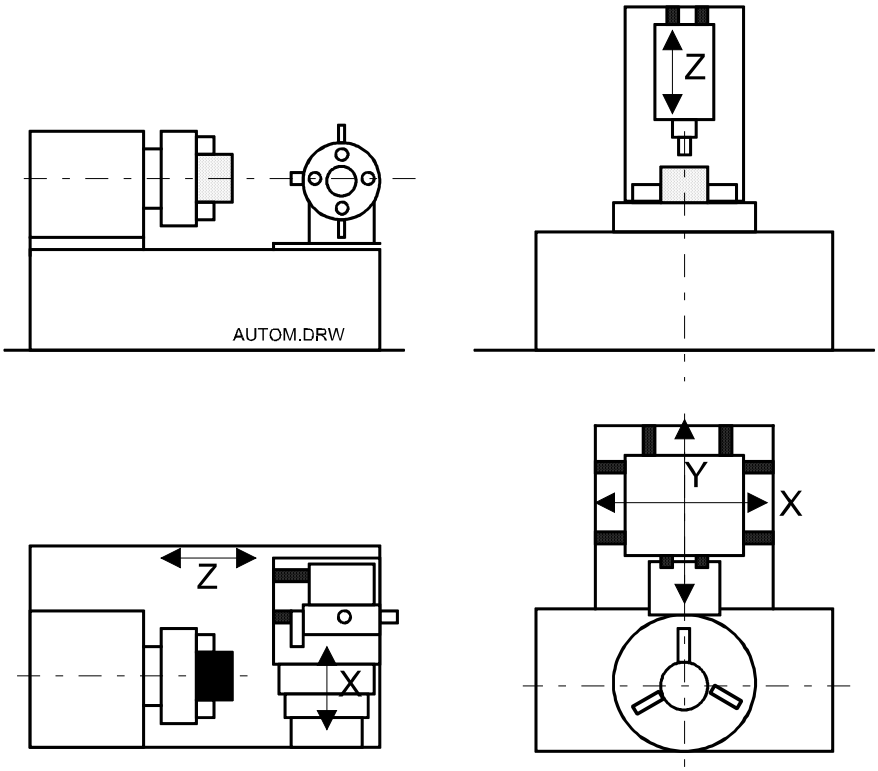


Bearbeitungsgrößen (Axial- Radialkraft und Drehmoment) werden vom IntelliTool drahtlos digital induktiv über den Statorkopf zum TM2000 übertragen. Diese wertet die Daten nach speziellen Kriterien aus und gibt bei Verschleiß, Bruch oder Kollision entsprechende Signale an die Maschinensteuerung. Darüber hinaus wird auch das Fehlen von Werkzeugen bzw. Werkstücken erkannt. Das gleiche Grundgerät TM2000 kann auch noch weitere Signale verarbeiten, z.B. Signale von der Leistungsmessung des Antriebmotors.

Werkzeugüberwachung

Werkstücküberwachung mittels Messtaster

5.2 Fallbeispiel Fertigungskonzeption (Prüfung WS 99/00)

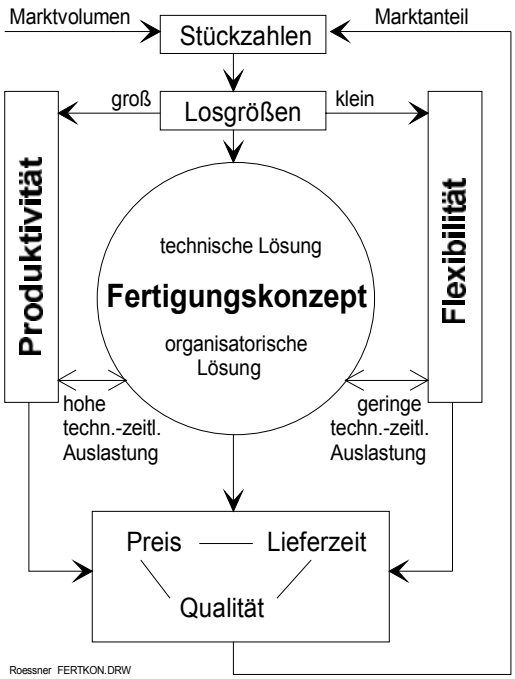


Vorbearbeitete Armaturenteile (D200, L120) sind zunächst zu Drehen. Anschließend sind Bohr- und Fräsarbeiten durchzuführen.
Arbeitsgang 1: Drehen (te = 3 min)
Arbeitsgang 2: Bohren/Fräsen (te = 3min)
Die Teile sind so vorbearbeitet, dass sie jeweils von einer Seite fertigbearbeitet werden können.
Die verwendeten Maschinen sind oben skizziert.

Weitere Aufgabenparameter werden in der Vorlesung definiert.

6 Fertigungskonzepte

Gestaltung und Optimierung der Fertigung unter technischen und organisatorischen Aspekten.
Produktivität = Ertrag/Aufwand (Kapital-, Arbeits-, Maschinenproduktivität
Flexibilität = Anpassungsfähigkeit an bekannte bzw. noch unbekannte Bearbeitungsaufgaben.



Vorbereitungskosten
K_{VO}

Programmierkosten
Vorrichtungskosten ...

Auftragswiederhol-kosten

$K_{AW} = K_{rA} + K_{rB}$

Rüstkost. außerhalb Maschine

$K_{rA} = K_L * t_{rA}$

Rüstkosten an der Maschine

$K_{rB} = K_{AH} * t_{rB}$

Einzelkosten
$K_E = K_{AH} * t_{eB}$

Arbeitsplatzkostensatz

$K_{AH} = K_M + K_L$

Maschinenzeit
$t_{eB} = t_{gB} + t_{vB}$
$t_{eB} = t_h + t_n + t_b + t_{vB}$

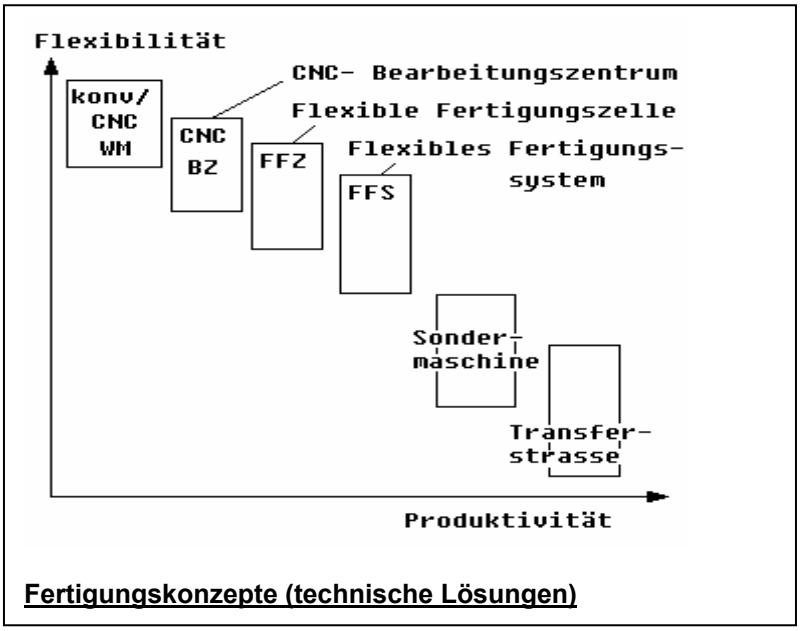
Folgekosten
K_{FO}

Lagerkosten
Nacharbeitskosten....

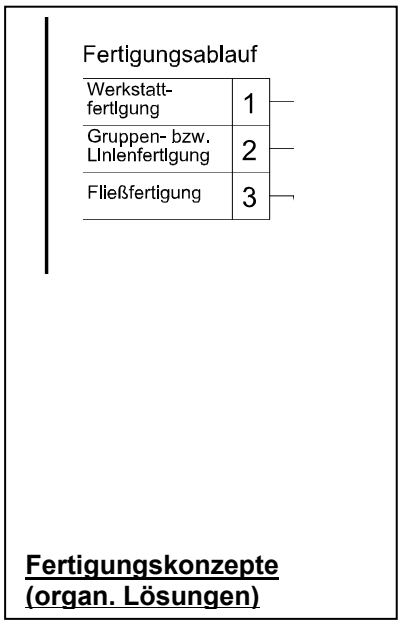
t_{rA} Rüstz. außerh. Masch.
t_{rB} Rüstzeit an der Masch.
t_h Hauptnutzungszeit
t_n Nebennutzungszeit

K_M Maschinenstundensatz
t_{gB} Maschinengrundzeit
t_{vB} Maschinenverteilzeit
t_b Brachzeit

Einflüsse auf das Fertigungskonzept



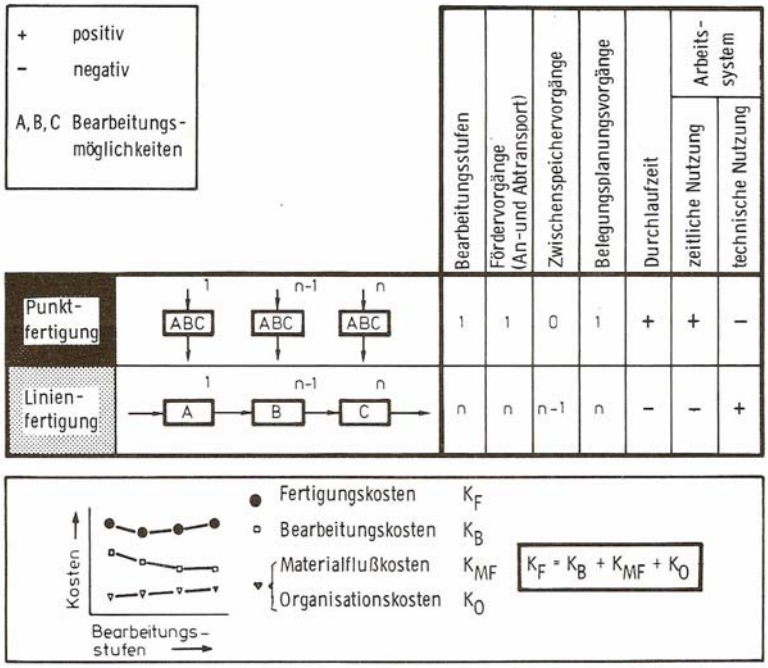
Fertigungskonzepte (technische Lösungen)



Fertigungskonzepte (organ. Lösungen)

6.1 Arbeitsgangzuordnung (Einmaschinen- Mehrmaschinenkonzepte)

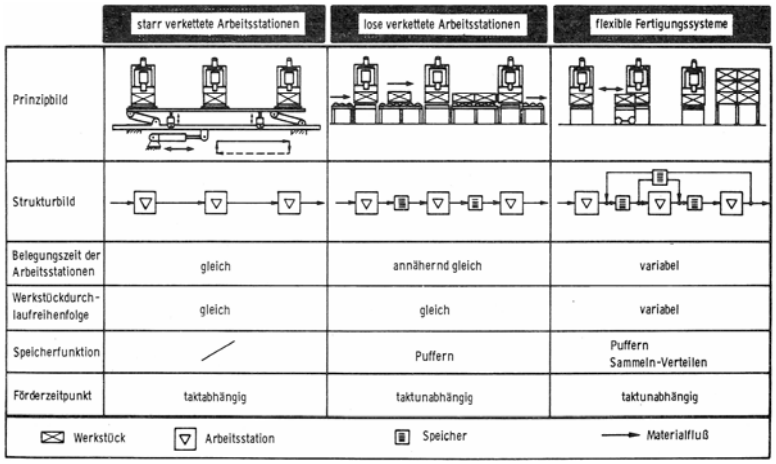
Punktfertigung: Technische Konzentration von Arbeitsverfahren auf eine zentrale Maschine. (Komplettfertigung)
Bsp.: Drehen und Fräsen auf eine kombinierte Maschine konzentriert.
Linienfertigung: Zuordnung der Arbeitsverfahren zu einzelnen, verfahrensspezifische Maschinen.
Bsp.: Drehen auf Drehmaschine und Fräsen auf Fräsmaschine.

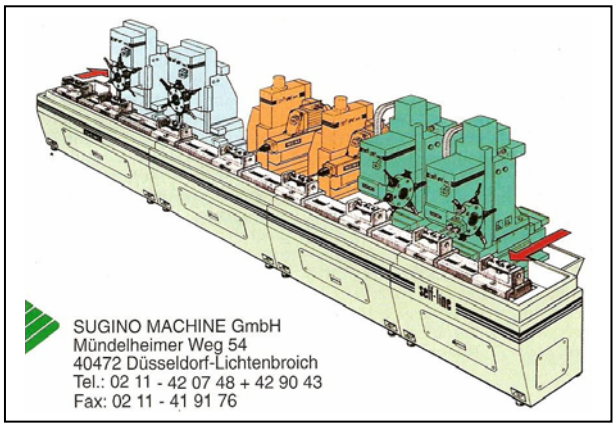


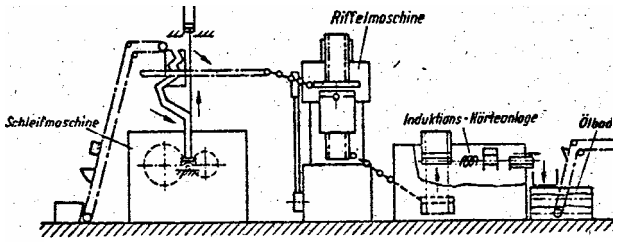
6.1.1 Linienfertigung

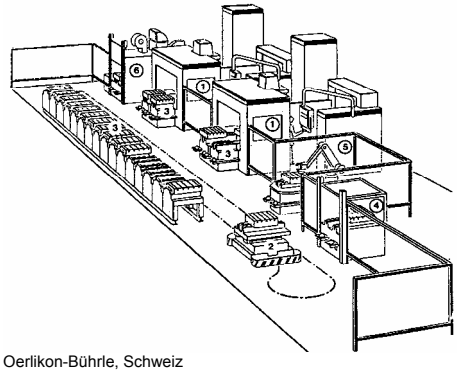
a) unverkettet
Einzelstehende Maschinen ohne Materialflussautomatisierung; die Werkstücke werden mit werkstattüblichen Fördermitteln transportiert.

b) verkettet
Mehrere Maschinen sind materialflussmäßig so verbunden, dass Sie nach außen wieder als eine Maschine erscheinen.
Diese Gruppe bildet gegenüber dem betrieblichen Materialfluss eine Quelle bzw. Senke.
(Mehrmaschinenkombination)
Verkettungsstrukturen:
- starre Verkettung
- lose Verkettung
- flexible Verkettung







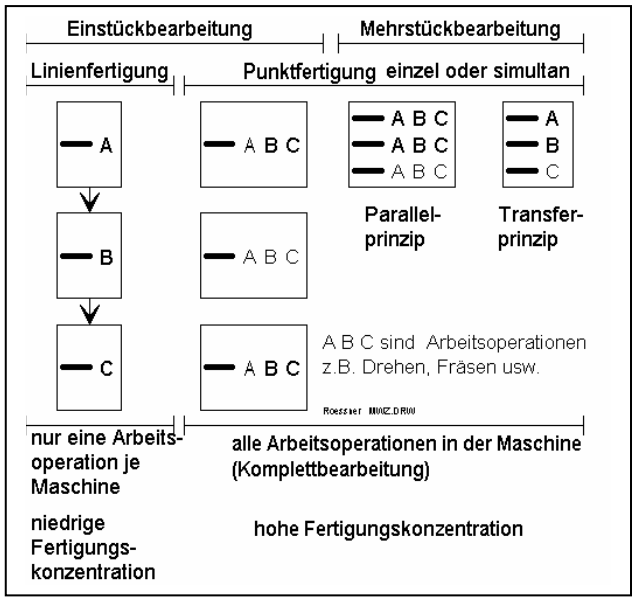


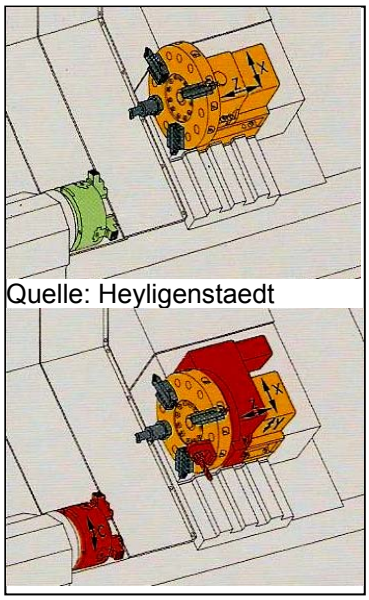
Oerlikon-Bührle, Schweiz

Bilder:
oben: Flexible Transferstraße (starre Verkettung)
oben rechts: Maschinenlinie (lose Verkettung)
(nach VDI 3240)
rechts: Flexibles Fertigungssystem mit fahrerlosem Transportsystem FTS (flexible Verkettung)

6.1.2 Punktfertigung- Verfahrenskonzentration von Arbeitsverfahren in einer Maschine

In die Maschine sind mindestens zwei unterschiedliche Arbeitsverfahren integriert (Punktfertigung) Sie unterscheiden sich durch die
Verfahrensphysik .z. B Stanzen als mechanisches Verfahren und Laserschneiden als thermisches Verfahren und/oder durch die Verfahrenskinematik z.B. Drehen und Fräsen





Quelle: Heyligenstaedt

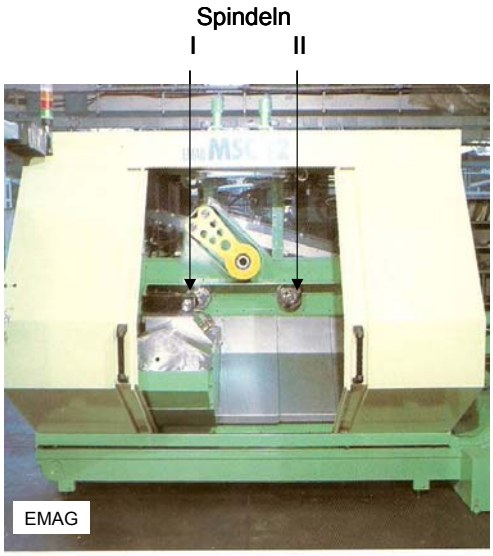
2 Achsen: X/Z Drehbearbeitung

3 Achsen: X/Z/C optional: Y-Achse

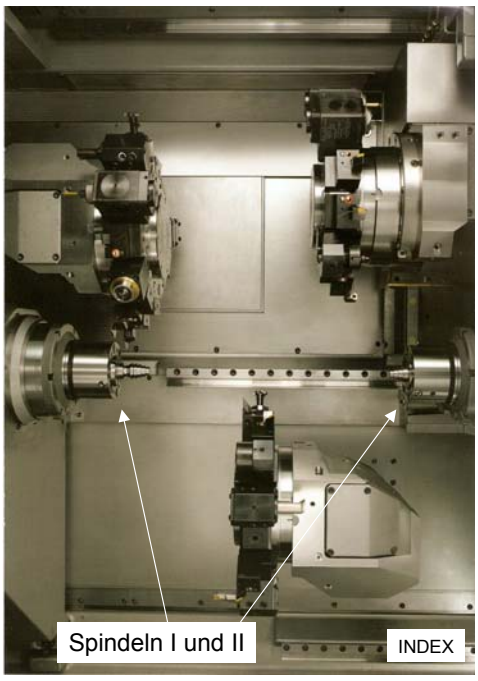
Angetriebene Werkzeuge im Revolver Komplett-bearbeitung Drehen, Fräsen, Bohren

Fertigungskonzentration (Beispiel für Punktfertigung Drehen und Fräsen)

6.1.3 Werkstückkonzentration (Einstück- Mehrstückbearbeitung)



Parallele Spindeln



Koaxiale Spindeln

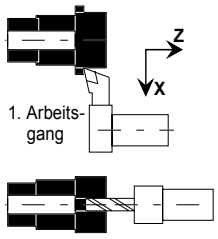
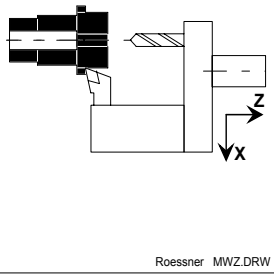
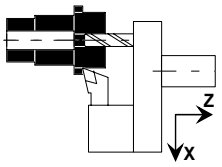
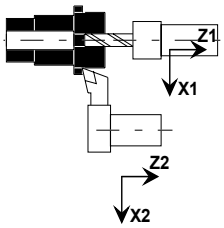
Mehrstückbearbeitung mit Doppelspindel- Drehmaschinen

6.1.4 Mehrstückbearbeitung

Die Mehrstückbearbeitung ist definiert als die gleichzeitige Bearbeitung mehrere Werkstücke. Die Maschine ist mit zwei oder mehreren Werkstückaufnahmen (Wirkorten) ausgestattet.
Parallele (synchrone) Bearbeitung: An allen Werkstücken laufen zur gleichzeitig die gleichen Arbeitsgänge ab.
Serielle (Transfer-) Bearbeitung: An den einzelnen Werkstücken laufen gleichzeitig unterschiedliche Arbeitsgänge ab.
a) Werkstücktransfer
b) Werkzeugtransfer

6.1.5 Mehrschnitt- und Mehrachsenbearbeitung

Unterscheidung hinsichtlich zeitlichem Ablauf und kinematischer Kopplung der Relativbewegungen.

Einzelbearbeitung		Simultanbearbeitung	
Einfachwerkzeug	Mehrfachwerkzeug	Mehrfachwerkzeug	Einfachwerkzeug
			
Bearbeitung nacheinander	Bearbeitung nacheinander	Bearbeitung gleichzeitig	Bearbeitung gleichzeitig
WZ kinematisch getrennt	WZ kinematisch gekoppelt	WZ kinematisch gekoppelt	WZ kinematisch getrennt
Hauptzeiten und Nebenzeit addieren sich	Zeiteinsparung: Nebenzeit	Zeiteinsparung: Hauptzeit Nebenzeit	Zeiteinsparung: Hauptzeit Nebenzeit
volle Flexibilität	m. E. volle Flexibilität	keine Flexibilität	volle Flexibilität
	Zusatzaufwand: Sonderwerkzeug	Zusatzaufwand: Sonderwerkzeug	Zusatzaufwand: zwei NC-Achsen

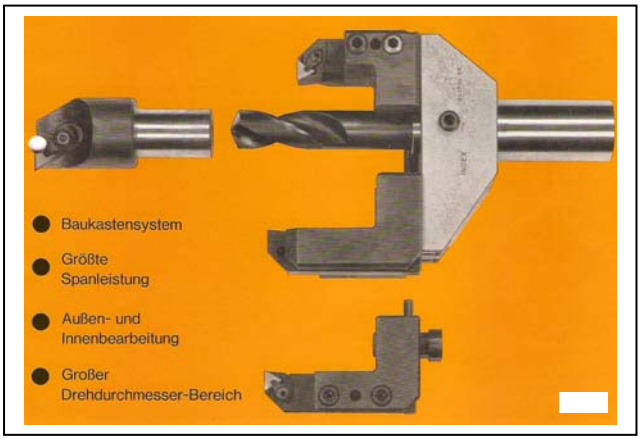
Einzel-Simultanbearbeitung und Wechselwirkung zw. Produktivität u. Flexibilität

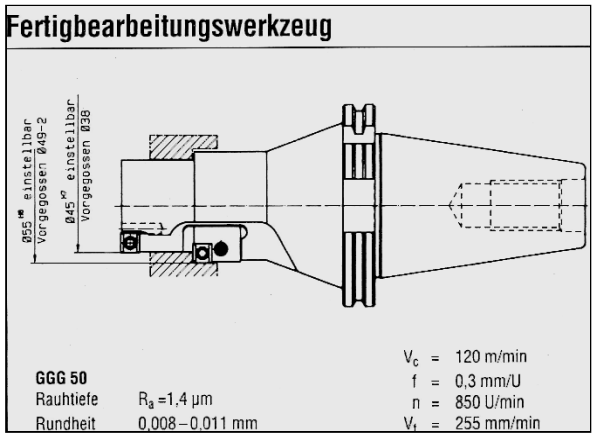
Spalte 1 und Spalte 2 zeigen eine Bearbeitung in nacheinanderfolgenden Schritten. Kein Unterschied in der Bearbeitungsreihenfolge. Jedoch ist in Spalte 2 kein Werkzeugwechsel notwendig. Man fährt z.B. mit dem NC- Programm mit der anderen Schneide an das Werkstück. Flexibilität nur eingeschränkt durch evtl. Kollisionsmöglichkeiten zwischen Werkstück und gerade nicht genutztem Werkstück.

Spalte 2 und Spalte 3 haben das gleiche Werkzeughalterprinzip. Bearbeitung gleichzeitig. Drehdurchmesser und zugehörige Bohrung durch Werkzeug festgelegt. Keine äußere Einflussmöglichkeit; daher keine Flexibilität. Bei Maßänderungen muss Mehrfachwerkzeug umgerüstet werden.

Spalte 1 und Spalte 4 beruhen auf Einzelwerkzeuge. In Spalte 4 jedoch gleichzeitige Bearbeitung. Da jedes Werkzeug für sich mit einem NC- Schlitten verbunden ist. Die Lösung in Spalte 4 kombiniert die Produktivität von Spalte 3 mit der Flexibilität von Spalte 1; sie benötigt aber einen erhöhten Aufwand für die zusätzlichen 2 NC- Achsen.

1. Für welche Einsatzbedingungen (Losgrößen, Werkstückunterschiede usw.) sind die in den Spalten 1 bis 4 gezeigten Fertigungsmöglichkeiten geeignet?
2. Welche analogen Beispiele lassen sich am Beispiel "Fräsen" zeigen?

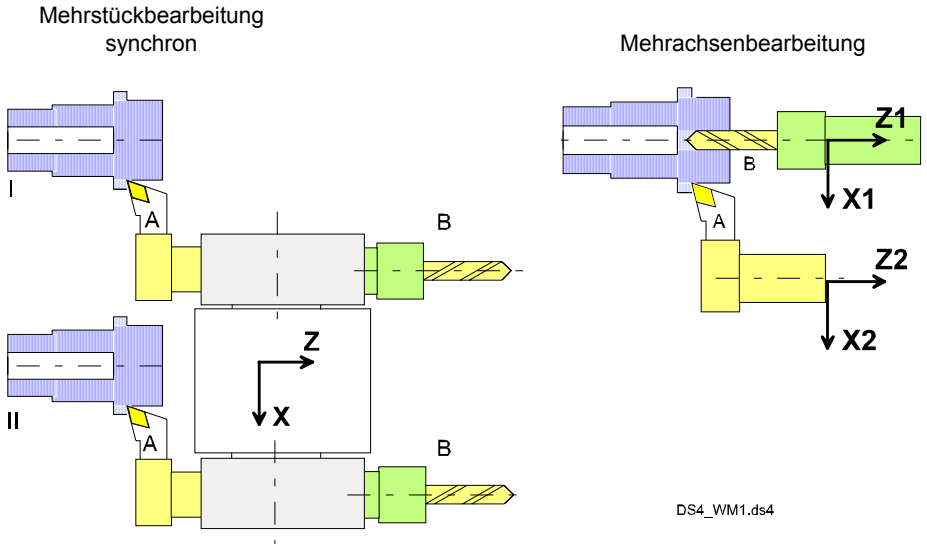




Mehrere Schneiden sind über den Werkzeughalter miteinander kinematisch gekoppelt. Die Schneiden kommen gleichzeitig zum Einsatz (Mehrschnittbearbeitung) oder nacheinander (Folgebearbeitung).

Mehrfachwerkzeugkombinationen

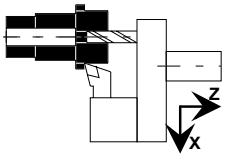
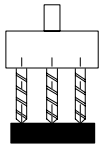
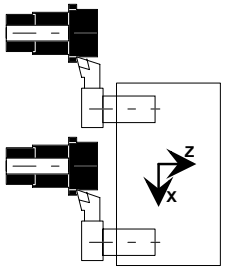
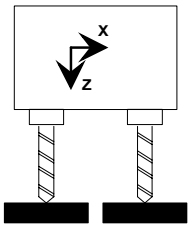
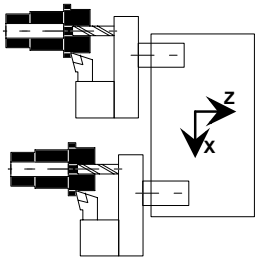
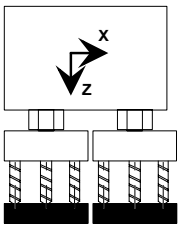
6.1.6 Mehrstück- Mehrachsenbearbeitung



Mehrstück- Mehrachsenbearbeitung

Wie sieht eine Linienfertigung, kombiniert mit Mehrstückbearbeitung aus?
Was bedeuten bei „Punktfertigung“ die Begriffe „seriell“ oder „parallel“?

6.1.7 Mehrschnitt- Mehrstückbearbeitung

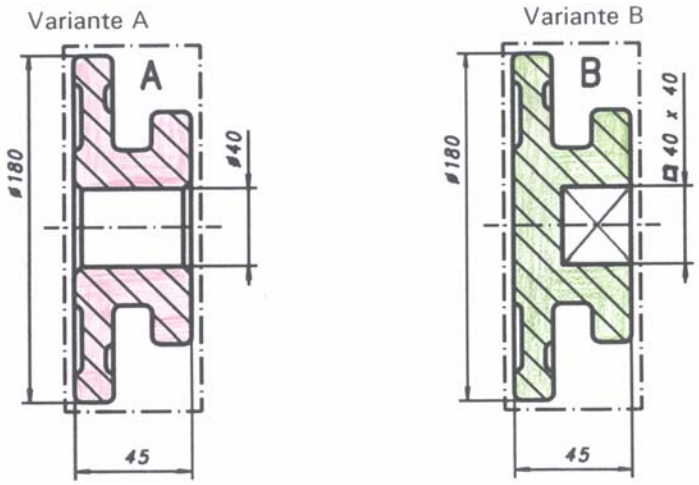
	Drehen	Bohren
Mehrschnittbearbeitung - mehrere Werkzeuge gleichzeitig am Werkstück		
Mehrstückbearbeitung - mehrere Werkstücke gleichzeitig in Bearbeitung		
Kombination		

Roessner MWZ.DRW

Erhöhen der Produktivität durch Mehrschnitt- und Mehrstückbearbeitung

Beispiel zur Maschinenauswahl:

Auswahl einer Werkzeugmaschine zum Herstellen eines Stirnrades nach Skizze.
Losgröße 10; 2 Lose pro Jahr; Werkstoff 20 Cr Mo 5.



Werkstückgeometrie: rotatorisch ➔ Verfahren: Drehen ➔ Drehmaschine
Werkstückabmessungen: (Skizze) ➔ Arbeitsraumgröße: ca. Durchm. 200 mm, Länge ca. 100 mm
Spanmenge: Schruppbearbeitung ➔ Antriebsleistung: mind. 10 kW (für Drehen)
Für Werkstück A ist natürlich sofort erkennbar, dass eine Drehmaschine benötigt wird.
Welche Maschinen werden für Variante B benötigt?

6.2 Fallbeispiel Drehmaschine

Das nebenstehende Bild zeigt einen Revolverdrehautomaten mit Revolverschlitten und zwei Seitenschlitten. Im günstigsten Fall können alle drei Schlitten gleichzeitig arbeiten.

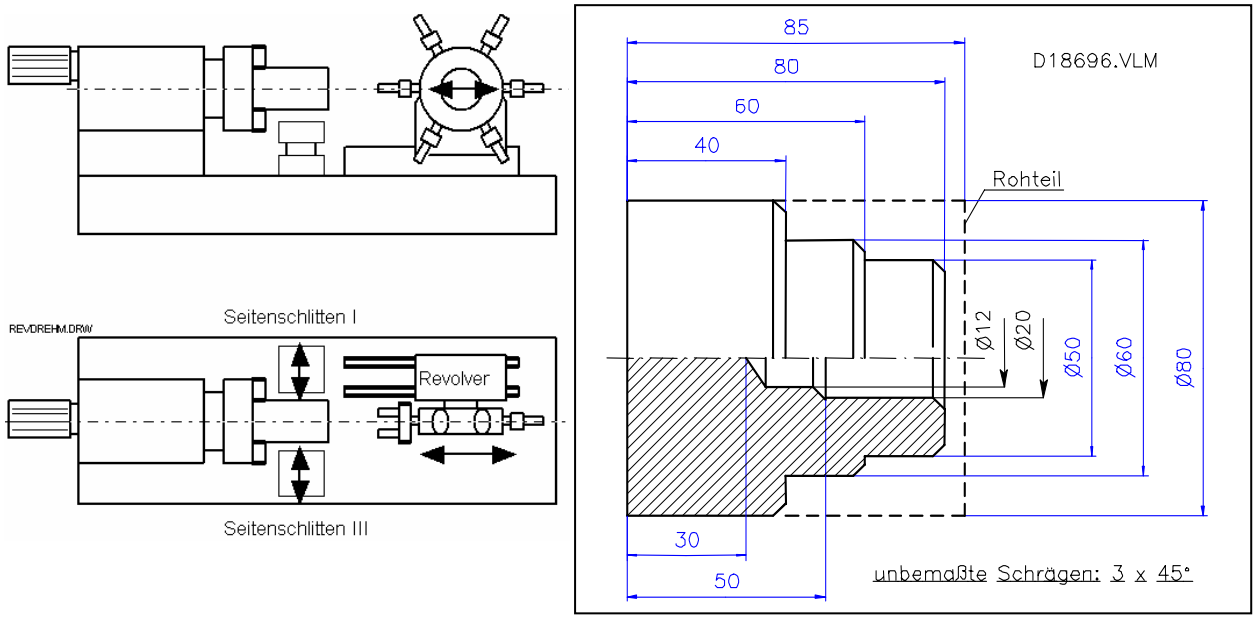
Für das skizzierte Kunststoff- Drehteil ist ein Fertigungsplan zu erstellen. (Prüfung SS 99)
Verfügbar ist ein Einspindeldrehautomat mit Revolver (6 Werkzeugplätze) und zwei Seitenschlitten.
Es müssen nicht alle Revolverplätze bzw. Seitenschlitten benutzt werden!

Mehrschnittbearbeitung ist mit folgenden Bedingungen ist weitestgehend anzuwenden:
a) max. Schnitttiefe: 5 mm
b) max. 2 Werkzeuge (bzw. Schneiden) gleichzeitig im Eingriff

Der Werkstückwechsel muss von Ihnen nicht berücksichtigt werden. Hier wird nicht von einer Stange abgestochen, sondern ein Rohteil eingelegt und nach Bearbeitung wieder entnommen. Der Werkstückwechsel ist automatisiert.

Soweit hier keine Angaben für Ihre spezielle Lösung vorhanden sind, können Sie Annahmen treffen.

Setzen Sie bitte detailliert die Arbeitschritte mit jeweiligen Werkzeugen (Werkzeugskizze) in das Formblatt ein.



Übungsaufgabe

AG (Arbeitsgangnummer)

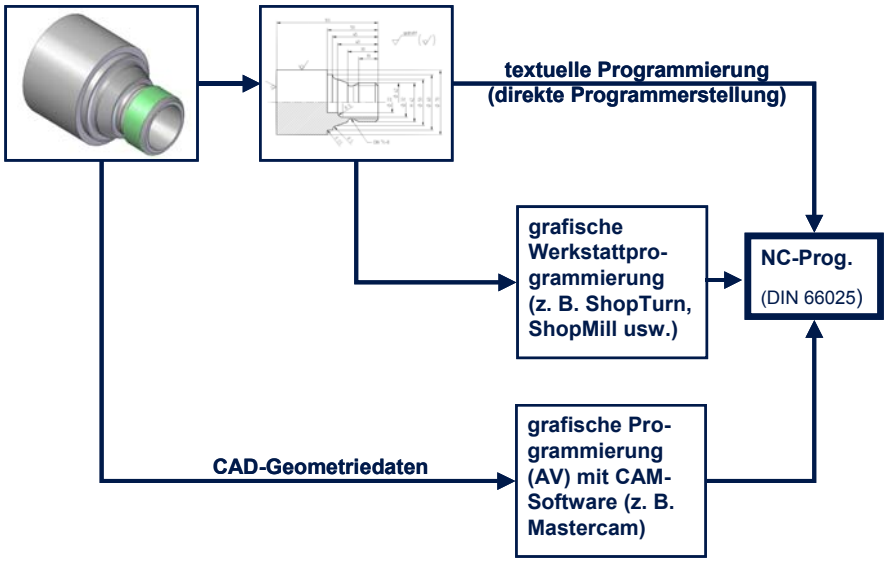
AG	Skizze	Arbeitsgangbezeichnung Revolverplatz - Nr bzw. Seitenschlitten

7 CNC- Programmierkurs (PAL)

7.1 Übersicht

NC ist die Abkürzung für Numerical Control. Dies bedeutet zahlenmäßige Steuerung.
CNC steht für Computer Numerical Control. Hier soll besonders herausgestellt werden, dass die Werkzeugmaschine mit einem "Computer" ausgestattet ist. Entscheidend ist allein die numerische Steuerungsmöglichkeit; deswegen werden nachfolgend die Kürzel NC und CNC synonym verwendet, da keine praktische Unterscheidungsnotwendigkeit vorhanden ist.

Die Bearbeitungsparameter, wie Verfahrwege, Spindeldrehzahlen, Vorschübe usw. werden mittels NC-Programm definiert. Dieses Programm setzt die (C)NC- Steuerung in Maschinenfunktionen um.
Die Programmiersprache ist nach DIN 66025 genormt. Sie lässt jedoch Abweichungen der Steuerungshersteller zu, so dass sich letztlich die "DIN-Programme" geringfügig unterscheiden.



Projektarbeit: Alexander Zechel, Manuel Pelzhause, Stefan Braun, Helge Tollmann, Roland Schlichthärle, Markus Tyroller

CNC- Programmiermöglichkeiten

Nach dem Bild unterscheidet man die "textuelle" und die "grafische" Programmierung.
Textuelle Programmierung: Das NC- Programm wird als Text formuliert und an einem PC oder direkt an der CNC- Maschine eingegeben.
Grafische Werkstattprogrammierung: Das NC- Programm wird grafisch erarbeitet (Werkstückkonturen) und mit Technologieangaben ergänzt. Die Ausführung erfolgt ebenfalls an einem PC oder direkt an der Werkzeugmaschine mit steuerungsspezifischer Bedienoberfläche.
Grafische CAM- Programmierung: Die geometrischen Daten werden direkt von einem CAD- Modell übernommen, mit Technologieangaben ergänzt und mittels Postprozessor für die unterschiedlichen CNC- Steuerungen übersetzt.

Die genannten Programmieralternativen sind Bestandteile der NC- Organisation, die den gesamten Ablauf der NC- Fertigung im Betrieb umfasst.

Welche Vor- und Nachteile bestehen zwischen der textuellen und den grafischen NC-Programmierverfahren?

Programm:

N10 T1 S800 M4
N20 G0 X50 Z2
N30 G1 Z-40 F0,2 → Satz: **N30 G1 Z-40 F0,2**
N40 G1 X60
N50 G0 X100 Z100
N60 M30

Wort: **G 1**
Adresse, Ziffer

Bedeutung des Satzes:

N30 G1 Z-40 F0,2

Satz Nr. 30
Gerade (mit Vorschub)
Zielkoordinate
Vorschub (0,2 mm/U)

NCPRSA.DOC

Syntax eines NC-Programmes (DIN 66025)

7.2 CNC - Programmierung (DIN 66025)

Die Bearbeitungsschritte für ein Werkstück werden in einem NC - Programm festgelegt.
Das Programm setzt sich aus Sätzen zusammen, die jeweils die einzelnen Arbeitsabläufe beschreiben.
Jeder Satz besteht wieder aus Teilanweisungen, die als Wörter bezeichnet werden.
Ein Wort besteht aus einem Adressbuchstaben und einer angehängten Ziffer.

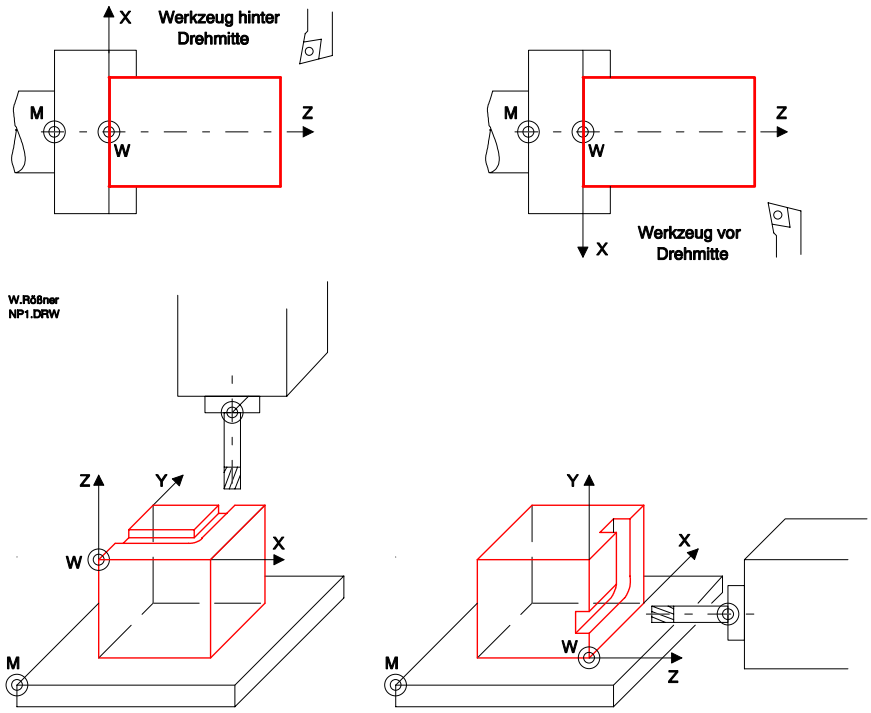
Aufzählung der wichtigsten Adressen und Wörter mit Beispielen:

Beispiele für Adressen		Beispiele für Wörter	
Adr.	Bedeutung	Wort	Bedeutung
N	Satz- Nr.	N10	Satz- Nr. 10
G	Weg-(Geometrie-)bedingung	G00	Verfahre im Eilgang
		G01	Verfahre auf einer Geraden ⇨
		G02	Verfahre auf einem Radius ⇗
		G03	Verfahre auf einem Radius ⇖
X	Weginformation (X- Koordinate)	X100	X- Koordinate (Wert 100)
F	Vorschub (Feed)	F120	Vorschub 120 mm/min (Fräsen)
		F0,2	Vorschub 0,2 mm/U (Drehen)
S	Spindeldrehzahl (Speed)	S800	Spindeldrehzahl 800/min
T	Werkzeug- Nr. (Tool)	T01	Werkzeug- Nr. 1
M	Hilfsfunktion (Miscellaneous)	M03	Spindelrechtslauf
		M04	Spindellinkslauf
		M30	Programmende © W.R

NCTAB.DOC

Befehlsvorrat und Satzformat unterscheiden sich geringfügig bei den Steuerungsherstellern.
Hier werden behandelt:
a) PAL – Befehlssatz (T01 G01)
b) MAHO/GRAZIANO Befehlssatz (T1 G1)

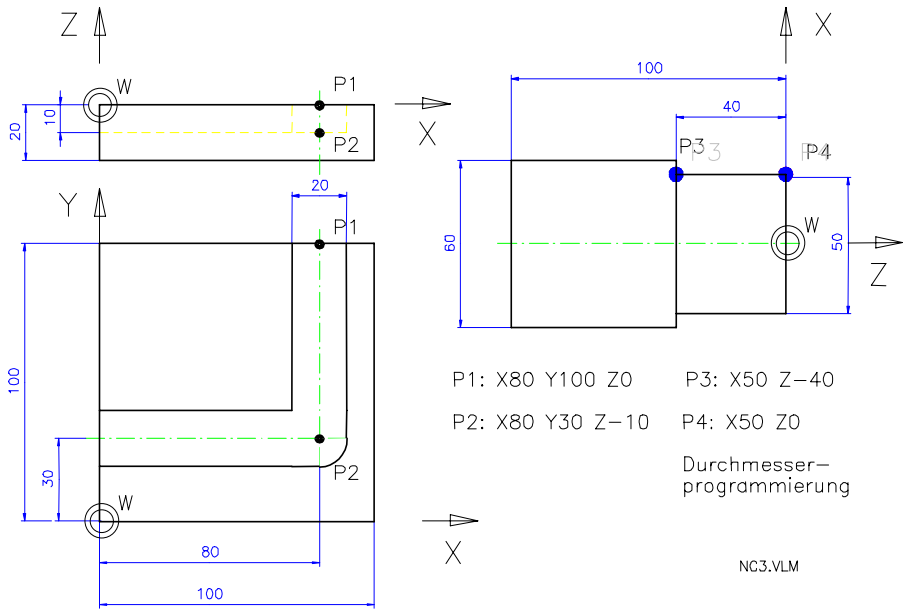
Welche Bedeutung haben die Sätze	N40 G0 X120 Z140 N50 T2 S1000 M3



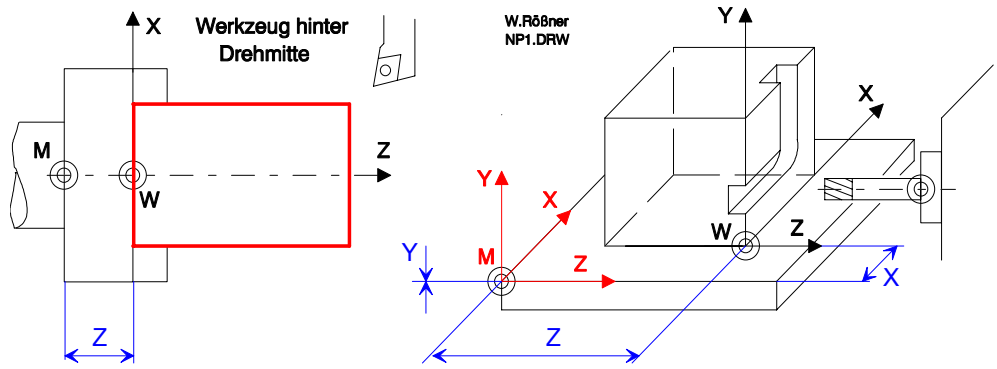
Werkstückkoordinaten und Werkstücknullpunkt

7.3 Werkstückkoodinaten und Werkstücknullpunkt

M Maschinennullpunkt im Maschinenkoordinatensystem (vom Hersteller festgelegt)
W Werkstücknullpunkt im Werkstückkoordinatensystem (vom Programmierer festgelegt)
Regeln:
1. Koordinatenbezeichnung entsprechend "Rechte Hand Regel".
2. Es wird immer so programmiert, dass sich das Werkzeug am Werkstück entlang bewegt.
3. Die Spindelachse ist immer die Z- Achse
4. Mit zunehmendem Koordinatenwert, wird auch das Maß am Werkstück größer.



Beispiele für Werkstückkoordinaten

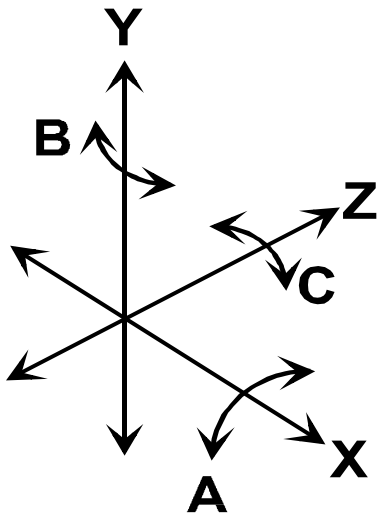


Lage des Werkstücknullpunktes angeben:

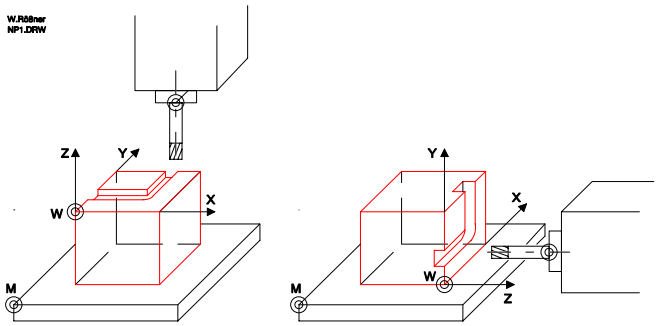
N... G54 X... Z... N... G54 X... Y... Z...

Maschinen- und Werkstückkoordinatensystem

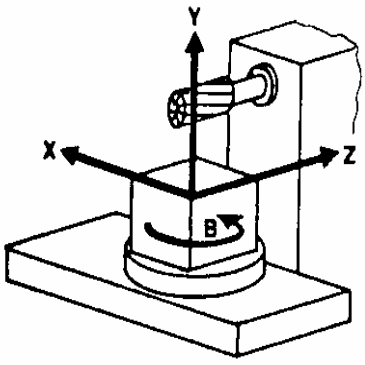
7.4 Maschinenkoordinaten und Maschinennullpunkt



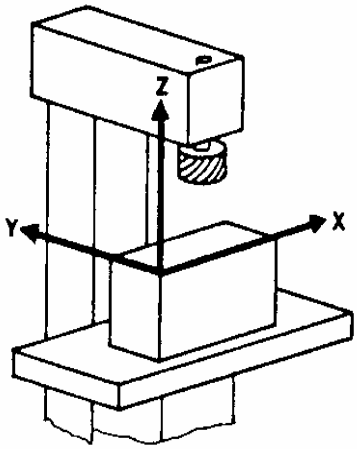
Linear- und Drehachsen



Maschinenkoordinaten?



Waagerechtfräsmaschine



Senkrechtfräsmaschine

7.5 Wegbedingungen G00, G01, G02, G03

(links Fräsen, rechts Drehen)

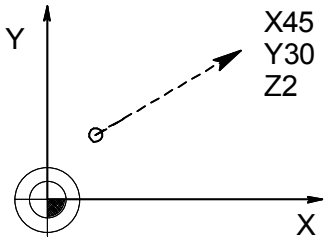
Adressbuchstabe G mit angehängter Ziffer, die jeweils die Werkzeugbewegung beschreibt.

Das Ziel der Werkzeugbewegung wird mit den Werkstückkoordinaten X, Y und Z definiert.
(Drehen X und Z)

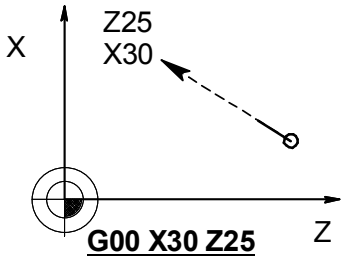
Es muss nur der Zielpunkt definiert werden, da der Startpunkt der Steuerung bekannt ist.

Koordinaten, die sich nicht ändern, müssen nicht angegeben werden (modale Größen).

Eilgang G00



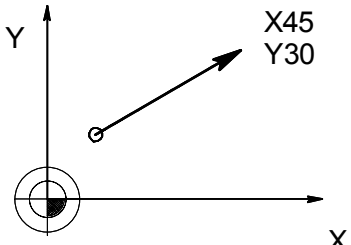
G00 X45 Y30 Z2



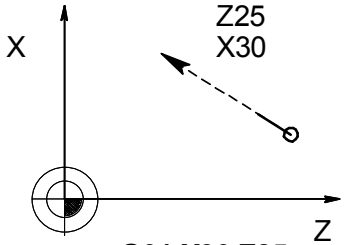
G00 X30 Z25

(X bezieht sich auf ø)

Gerade im Arbeitsgang G01

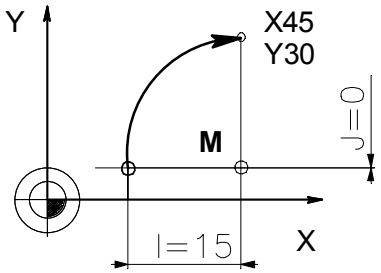


G01 X45 Y30

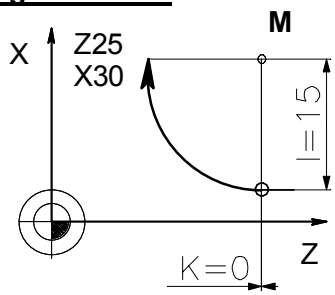


G01 X30 Z25

Kreisbogen im Uhrzeigersinn G02

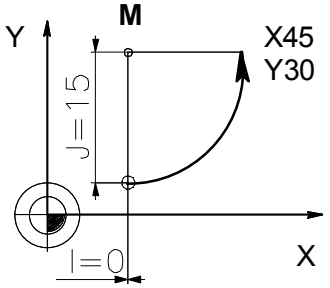


G02 X45 Y30 I15 J0



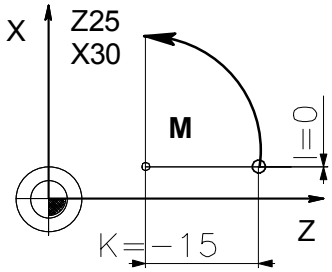
G02 X30 Z25 I15 K0

Kreisbogen im Gegenuhrzeigersinn G03

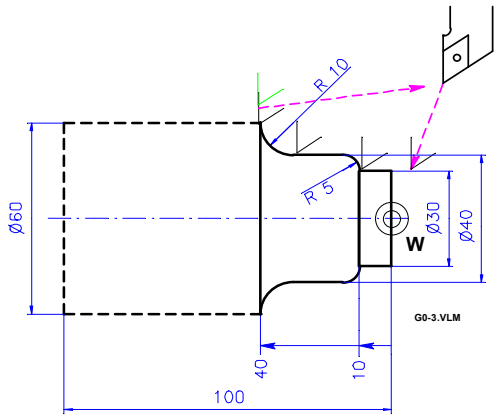


G03 X45 Y30 I0 J15

G0G1G2G3.VLM



G03 X30 Z25 K-15 I0



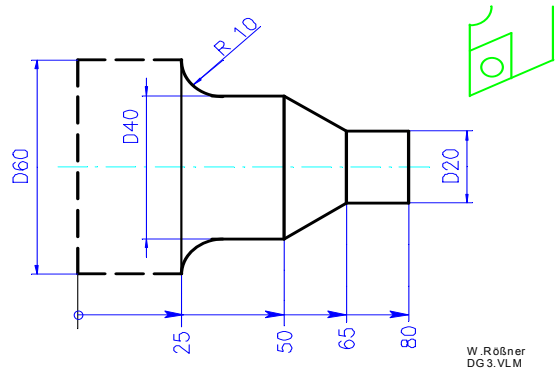
PAL:

N10	G54	X0	Z160		
N20	T0101				
N30	S1000	M04	F0,2		
N40	G00	X30	Z5		
N50	G01	Z-10			
N60	G03	X40	Z-15	I0	K-5
N70	G01		Z-30		
N80	G02	X60	Z-40	I10	K0
N90	G01	X65			
N100	G00	X90	Z30		
N110	M30				

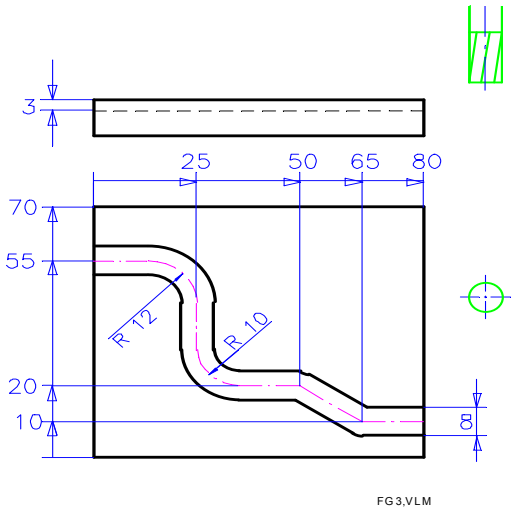
Programmbeispiel für G00, G01, G02 und G03

Übung: Programm für Frästeil mit L-Nut. (Skizze drei Seiten vorher)
Übungen mit G00 ... G03
Werkstücknullpunkt? Werkstückkoordinaten?

1. Kontur des Drehteiles nachfahren (Teil ist vorgedreht)

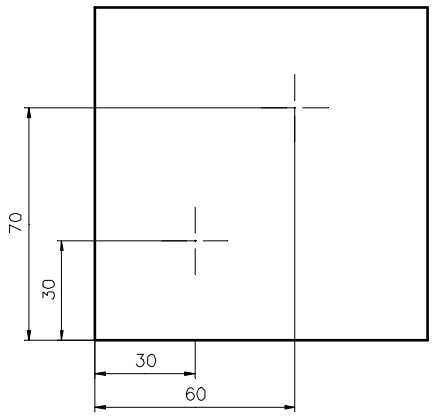


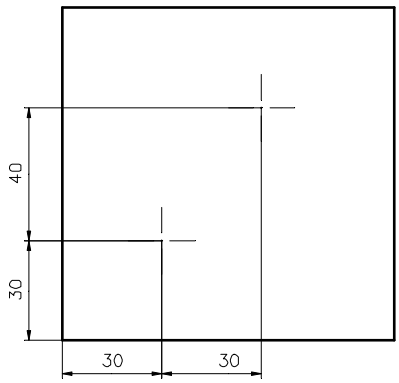
2. Nut fräsen



N10	G54	X0	Z...
N20	T0101		
N30	S1000	M04	F0.15
N40	G00		

N10	G54	X...	Y...	Z...
N20	T01	M06		
N30	S1200	M03	F120	
N40	G00			





Absolut-/Relativprogrammierung G90/G91

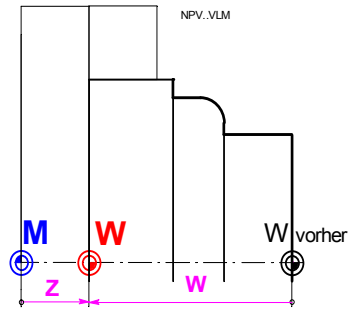
7.6 Absolut- und Relativprogrammierung

Absolutprogrammierung oder Bezugsmaßprogrammierung	Lage des Zielpunktes wird programmiert	Wohin verfährt das Werkzeug?
Relativprogrammierung oder Kettenmaßprogrammierung	Verfahrweg des Werkzeuges wird programmiert	Um welchen Weg verfährt das Werkzeug?

Die Befehlswahl erfolgt bei bestimmten Steuerungen durch Aufruf einer G- Funktion G90 bzw. G91 und bei anderen Steuerungen durch die Koordinatenbezeichnungen X Y Z bzw. U V W.

	Steuerungen A	Steuerungen B
	Wahl durch G-Funktion Koordinatenbezeichnung X Y Z wird beibehalten	Wahl durch Koordinatenbezeichnung ohne Angabe von G 90 bzw G 91
Absolutprogrammierung (Bezugsmaßprogrammierung)	G 90 (Einschaltzustand)	X Y Z
Relativprogrammierung (Kettenmaßprogrammierung)	G 91	U V W
	z. Bsp. PAL-Fräsen/Drehen MAHO-Fräsen	z. Bsp. GRAZIANO-Drehen TRAUB

Wie unterscheiden sich Absolut-/Relativprogrammierung?
Wie wird dies bei der Maho- Fräsmaschine, bei der Graziano- Drehmaschine und bei PAL programmiert?



Beispiel Z=40; W=180

NPV absolut:
N... G54 X0 Z40

NPV relativ:
N... G59 X0 Z-180

Nullpunktverschiebung G54/G59

7.7 Nullpunktverschiebung NPV

Nullpunktverschiebung im Programm	
absolut	relativ

Gespeicherte Nullpunktverschiebung	Nullpunktverschiebung in der Maschine
G54 ... G59	G52 "Reset Axis"
Ausführung durch Maschinenbediener	

7.7.1 Nullpunktverschiebung im Programm G54/59

Die Nullpunktverschiebung wird eingesetzt:
1. Zur Lagedefinition des Werkstücknullpunktes in der Maschine.
2. Zum Vereinfachen des Programmierens.

	Absolute Nullpunktverschiebung bezieht sich auf den Maschinennullpunkt	Relative Nullpunktverschiebung bezieht sich auf den momentanen Nullpunkt
PAL-Fräsen/Drehen FESTO	G54 X...Y...Z... /(X…Z…)	G59 X...Y...Z... /(X…Z…)
MAHO	G93 X...Y...Z...	G92 X...Y...Z...
GRAZIANO	G92 X...Z...	G92 U...W...

7.7.2 Nullpunktverschiebung mittels Nullpunktspeicher

Diese Möglichkeiten bieten CNC- Maschinen ebenfalls.
Nachfolgend ein Beispiel für MAHO- Fräsen.
Im Programm wird hier nur der Name des Nullpunktspeichers angegeben. Die zugehörigen Koordinaten gibt der Maschinenbediener in den Nullpunktspeicher der Maschine ein.

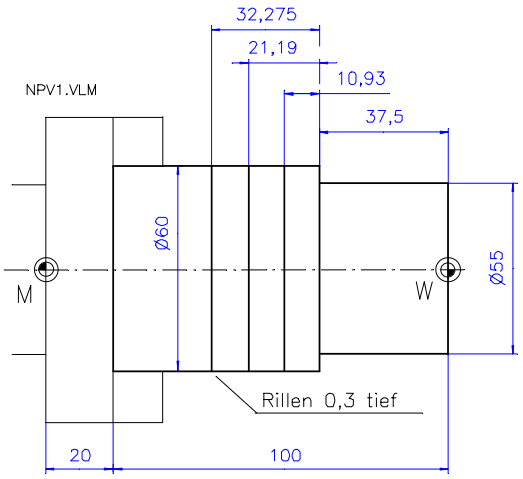
Programmspeicher
N10 G56
N20 T1 S1200 M4
N30 G0 Z100
N40 ...

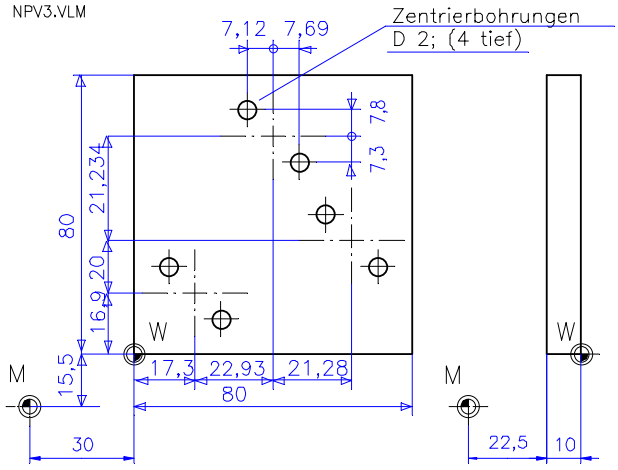
Nullpunktspeicher
G54 X10 Y50 Z32
G55 X15 Y81 Z40,5
G56 X22 Y31 Z15
G57 X0 Y0 Z0

7.7.3 Nullpunktverschiebung in der Maschine

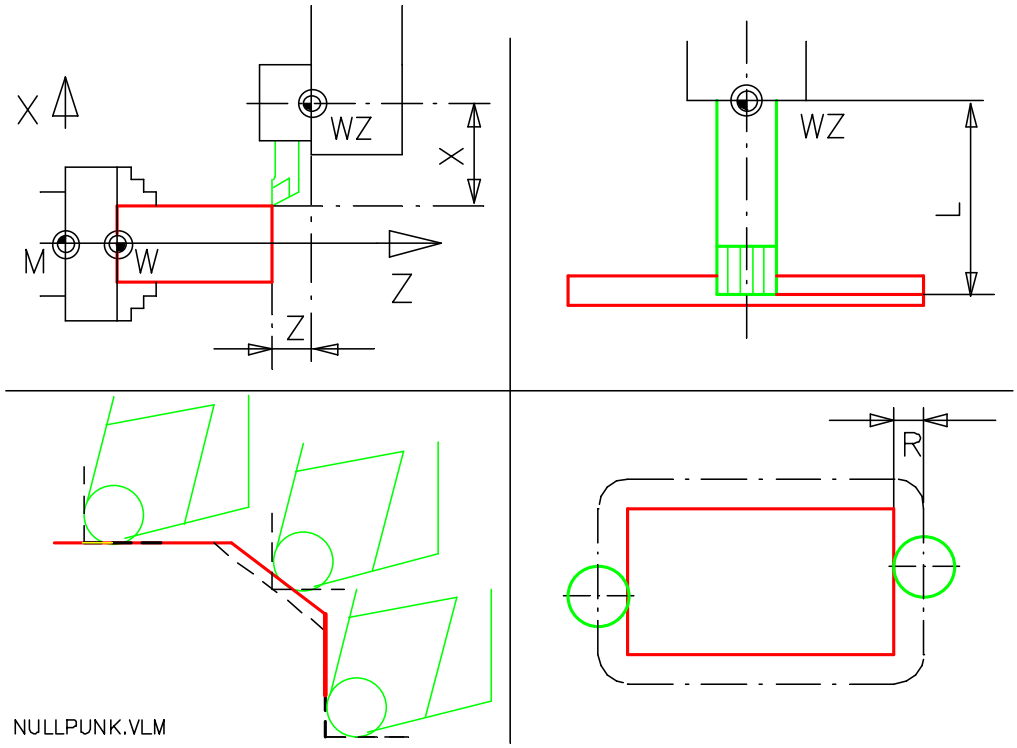
Anfahren an die Position
Eingeben der Position in den Nullpunktspeicher G52
Nach Bearbeitung: Aufheben des Nullpunktspeichers mit G51

Beispiele für Nullpunktverschiebung im Programm:





7.8 Werkzeugkorrektur



Werkzeugkorrekturen

Werkzeugkorrektur G40, G41, G42

Die Verfahrbewegungen des Werkzeuges beziehen sich auf den Werkzeugbezugspunkt WZ. Die Werkzeugabmessungen müssen von der Steuerung berücksichtigt werden.
Dies gilt für:
1. Werkzeuglängenkorrektur (obere Bildhälfte)
2. Werkzeugradiuskorrektur (untere Bildhälfte)

Die Werkzeugabmessungen sind im Werkzeugdatenspeicher der Steuerung gespeichert. Sie werden z.B. vom Maschinenbediener ermittelt und in den Werkzeugdatenspeicher eingetippt.

Wekzeuglängenkorrektur:

Die Steuerung berücksichtigt die Werkzeuglängen X und Z beim Drehen (Meißelspitze) bzw. die Werkzeuglänge L beim Fräsen (bezogen auf Fräsermittelachse).

Werkzeugradiuskorrektur:

Für das Bearbeiten von Werkstückkonturen muss der Schneidenradius beim Drehen bzw. .der Fräserradius zusätzlich berücksichtigt. Dies wird im Programm durch die Befehle G 40, G 41, G 42 für die Werkzeugradiuskorrektur durchgeführt.

Funktion der Werkzeugkorrektur am Beispiel Fräsen.

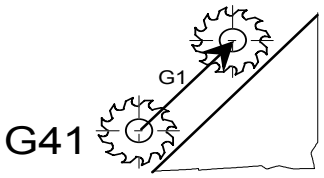
Programmspeicher				
N10	G54	X40	Y30	Z20
N20	T01		M06	
N30	S1000	M03	F160	
N40	G00	X7	Y-7	Z2
N50	G00			Z-3
N60	**G41**			
N70	G01	X5	Y0	
N80	G01		Y100	
N90	G01	X120		
N100	**G40**			
N110	G00			Z120
N120	T04		M06	
	usw.			

Werkzeugdatenspeicher		
T01	L99,545	D10,001
T02	L88,376	D0,000
T03	L76,391	D11,999
T04	L92,257	D8,000
T05	L120,383	D16,001

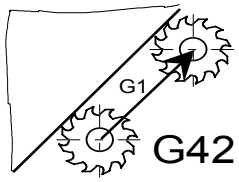
Programmbeispiel mit Zuordnung zum Werkzeugdatenspeicher

G40 "Aus" Einschaltzustand
G41, G42, G43 und G44 sind modal wirksam und werden nach erfolgter Bearbeitung mit G40 ausgeschaltet.

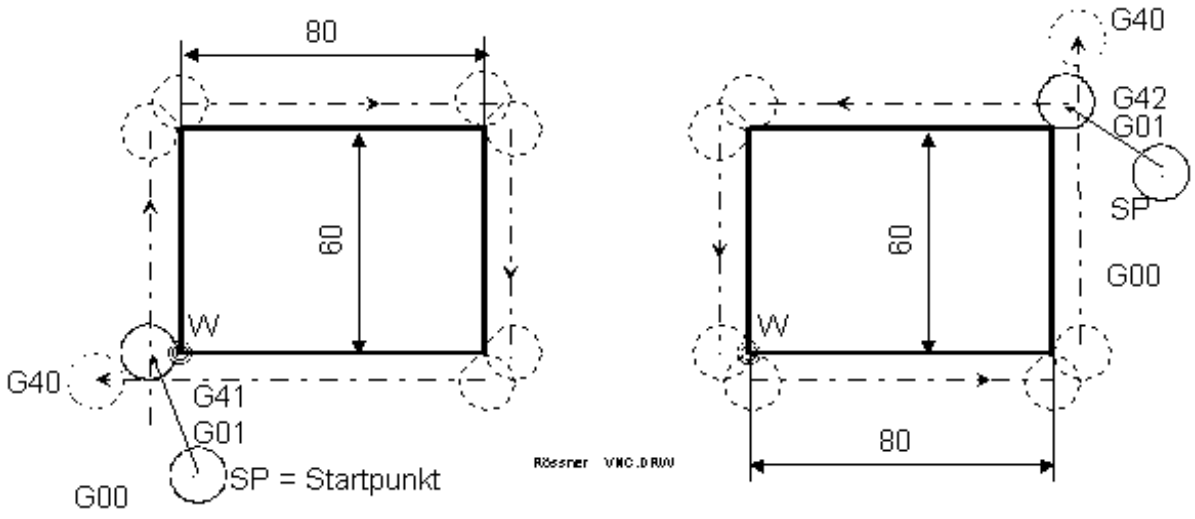
G41 "Links" Werkzeug verfährt links von der Kontur



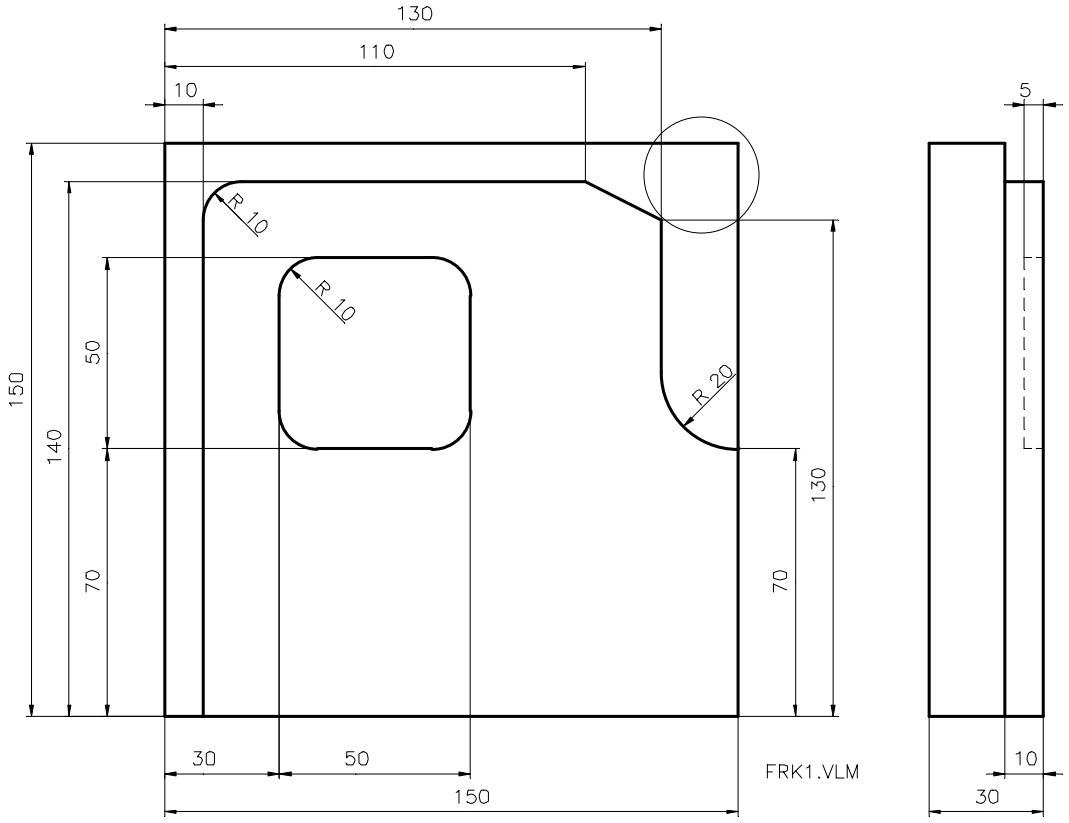
G42 "Rechts" Werkzeug verfährt rechts von der Kontur



Befehle zur Werkzeugradiuskorrektur beim Fräsen



Konturanfahren mit Fräserradiuskorrektur



Beispiel zur Fräserradiuskorrektur

7.9 S, F, M- Anweisungen

S ... Spindeldrehzahl

Beim Drehen sind zwei alternative Angaben möglich:

G 97 Einschaltzustand!

S .... programmiert die Spindeldrehzahl in 1/min.
(G 97 ist Einschaltzustand und muss nicht gesondert am Programmanfang angegeben werden.)

G 96

S .... programmiert die Schnittgeschwindigkeit in m/min
(G 96 wird mit G 97 wieder zurückgesetzt.

Beispiel:

G 97	G 96
S 100	S 100
Spindeldrehzahl = 100 /min	Schnittgeschwindigkeit = 100 m/min Die Maschine errechnet mit Drehdurchmesser selbst die Drehzahl.

F ... Vorschub

Beim Drehen und Fräsen sind zwei alternative Angaben sind möglich:

G 94 Einschaltzustand beim Fräsen!

F .... programmiert den Vorschub in mm/min
(G 94 ist Einschaltzustand beim Fräsen, da hier Vorschubangabe in mm/min üblich ist)

G 95 Einschaltzustand beim Drehen!

F .... programmiert den Vorschub in mm/U
(G 95 ist Einschaltzustand beim Drehen, da hier Vorschubangabe in mm/U üblich ist)

Beispiel:

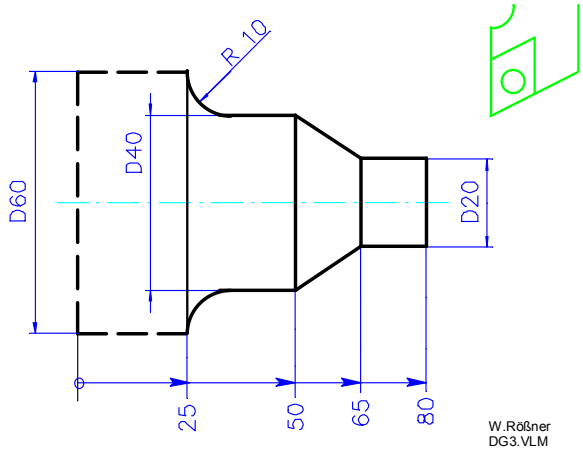
G 94	G 95
F 100	F 0,2
(Vorschub = 100 mm/min)	(Vorschub = 0,2 mm/U)

M- Anweisungen:

M00	Programmierter Halt
M03	Arbeitsspindel Rechtslauf
M04	Arbeitsspindel Linkslauf
M05	Arbeitsspindel Halt
M06	Werkzeugwechsel
M08	Kühlmittel Ein
M09	Kühlmittel Aus
M17	Unterprogrammende
M30	Programmende

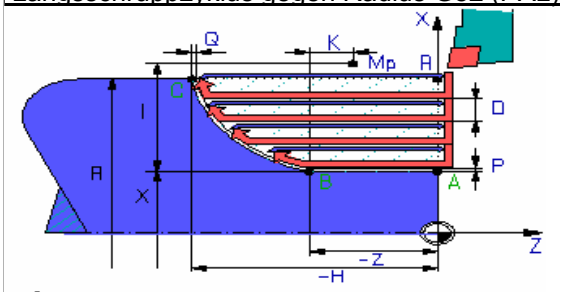
7.10 Zyklen

Vom Steuerungshersteller erstellte Unterprogramme zum Vereinfachen der Programmierung. Befehlsformat herstellerabhängig! Daher hier Beschränkung auf wichtige Zyklen (PAL- System). Bei Einarbeitung in einen bestimmten Steuerungstyp muss das Programmierhandbuch herangezogen werden.



Beispielsprogramm: Drehen aus Vollmaterial D60 x 80 und Bohren D8, 30 tief.

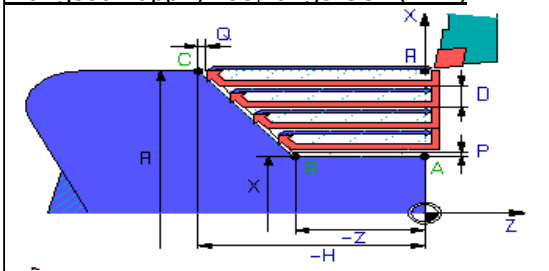
Längsschruppzyklus gegen Radius **G82** (PAL)



G82 X.. Z.. H.. I.. K.. D.. R.. P.. Q..

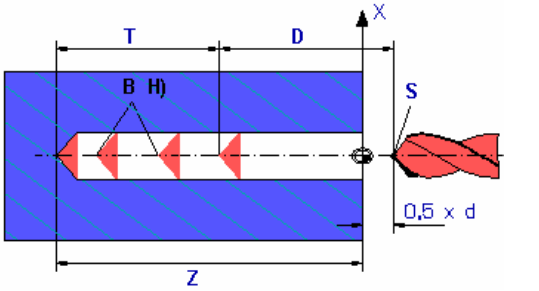
X Durchmesser Konturreckpunkt (B)
Z Z-Wert Konturreckpunkt (B)
H Z-Wert Konturendpunkt (C)
I Kreismittelpunkt inkremental in X
K Kreismittelpunkt inkremental in Z
D Zustellung pro Schnitt
R Startposition (Anfangsdurchmesser)
P Bearbeitungszugabe in X
Q Bearbeitungszugabe in Z

Längsschruppzyklus, längs **G81** (PAL)



G81 X.. Z.. D.. H.. R.. P.. Q..

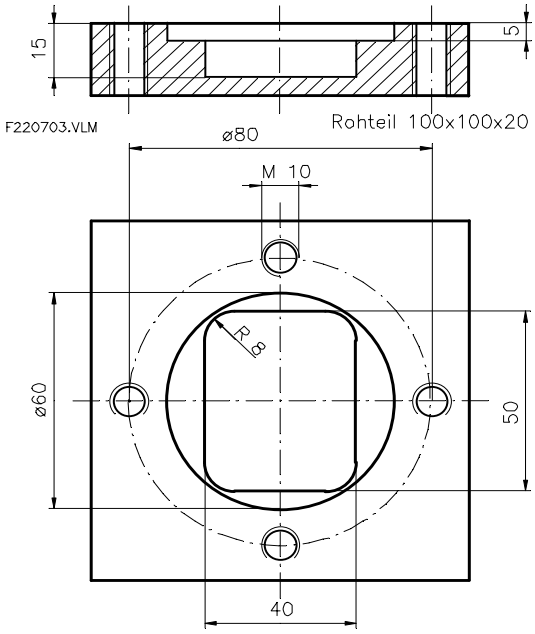
Bohrzyklus mit Spanentleerung **G84** (PAL)



G84 Z.. D.. H.. F..

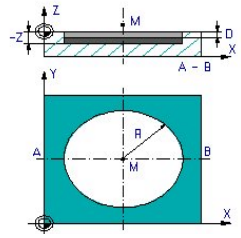
Z Bohrtiefe (bez. Werkzeug-Nullpunkt)
D 1. Bohrtiefe (= -2 * d)
H Anzahl Spanentleerungen (= Restbohrtiefe/d)
F Vorschub

Beispiel Fräs-Bohrbearbeitung:



Maße gelten immer absolut!

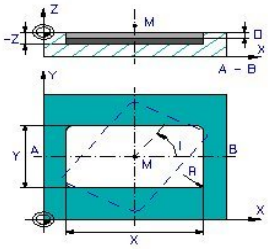
Kreistaschenfräszyklus **G87** (PAL)



G87 R.. Z.. D..

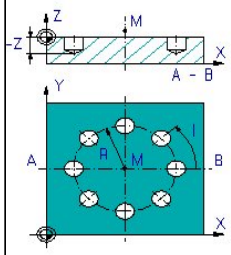
R Kreistaschenradius
X Länge der Tasche
Y Breite der Tasche
Z Tiefe der Tasche **(bez. Werkstück-Nullpunkt!)**
D Einzelschnittiefe
I Drehwinkel um M bez. X-Achse

Rechtecktaschenfräszyklus **G86** (PAL)



G86 X.. Y.. Z.. D.. I..

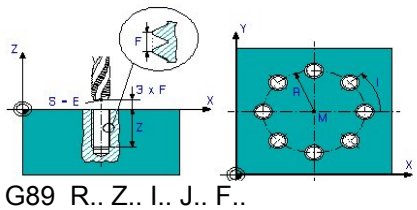
Teilkreisbohrzyklus **G85** (PAL)



G85 R.. Z.. I.. J..

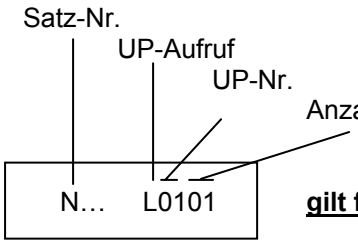
R Teilkreisradius
Z Tiefe der Bohrung (bez. Werkstück-Nullpunkt)
Z Nutzbare Gewindetiefe (bez. Werkstück-Nullpunkt)
I Startwinkel (bez. auf die X-Achse)
J Anzahl der Bohrungen
F Gewindesteigung

Teilkreis- Gewindebohrzyklus **G89** (PAL)



G89 R.. Z.. I.. J.. F..

7.11 Unterprogrammtechnik



gilt für PAL-MIL-TURN- Software und für FESTO- Fräsmaschine!

```
Hauptprogramm

N10    G54    X…     Y...    Z...
N20    T03           M06
N30    S1100  F110   M03
N40    G00    X10    Y-6     Z20
N50    G00                   Z0
N60    L0101
N70    G00    X30    Y40     Z2
N80    L0303
N90    G00    X83    Y55     Z2
N100   L0201
N110   G00                   Z100
N120   M30
```

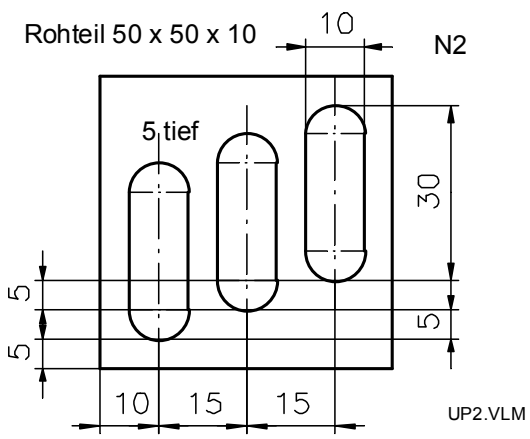
```
Unterprogramm 01

N10    G91
N20    G01                   Z-3     F110
N30    G01    X20
.....
N80    G90
N90    M17
```

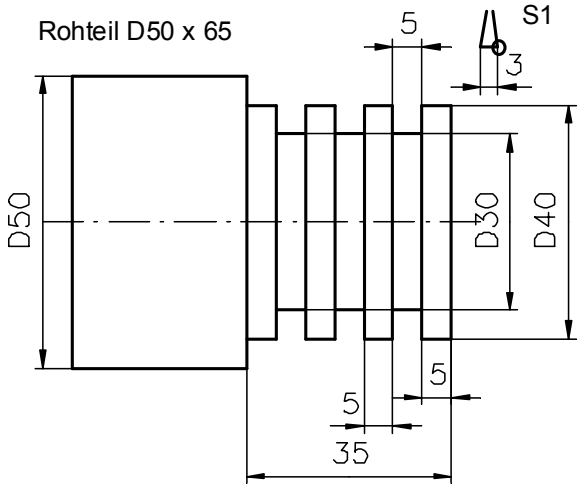
```
Unterprogramm 02

N10    G91
N20    G01    Y...    .....
.....
N100   G90
N110   M17
```

```
Unterprogramm 03

N10    G91
N20    G00    X31    Y67
N30    L0201
N40    G00    X60
N50    G00                   Z-4
.....
N170   G90
N180   M17
```

Unterprogrammaufruf nach PAL 2007:

N… G 22 ..... **gilt für MAHO- Fräsmaschine und Graziano- Drehmaschine!**





Beispiele zur Unterprogrammtechnik

PAL-Funktionen bei Drehmaschinen

G-Funktionen

Interpolationsarten

G0	Verfahren im Eilgang
G1	Linearinterpolation im Arbeitsgang
G2	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
G3	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn
G4	Verweildauer
G9	Genauhalt
G14	Konfigurierten Wechselpunkt anfahren
G61	Linearinterpolation für Konturzüge
G62	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge
G63	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge

Nullpunkte

G50	Aufheben der inkrementalen Nullpunkt-verschiebungen und Drehungen
G53	Alle Nullpunktverschiebungen und Drehungen aufheben
G54... ...G57	Einstellbare absolute Nullpunkte
G59	Inkrementale Nullpunktverschiebung kartesisch und Drehung

Bearbeitungsebenen und Umspannen

G18	Drehebenenanwahl
G17	Stirnseiten-Bearbeitungsebenen
G19	Mantelflächen-/Sehnenflächen-Bearbeitungs-ebenen
G30	Umspannen/GegenspindelÜbernahme

Maßangaben

G70	Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (inch)
G71	Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)
G90	Absolute Maßeingaben
G91	Kettenmaßeingabe

Werkzeugkorrekturen

G40	Abwahl der Schneidenradiuskorrektur SRK
G41	Schneidenradiuskorrektur SRK links von der programmierten Kontur
G42	Schneidenradiuskorrektur SRK rechts von der programmierten Kontur

Vorschübe und Drehzahlen

G92	Drehzahlbegrenzung
G94	Vorschub in mm pro Minute
G95	Vorschub in mm pro Umdrehung
G96	Konstante Schnittgeschwindigkeit
G97	Konstante Drehzahl

Programmtechniken

G22	Unterprogrammaufruf
G23	Programmteilwiederholung
G29	Bedingte Programmsprünge

Zyklen

G31	Gewindezyklus
G32	Gewindebohrzyklus
G33	Gewindestrehlgang
G80	Abschluss einer Bearbeitungszyklus-Kontur-beschreibung
G81	Längsschruppzyklus
G82	Planschruppzyklus
G83	Konturparalleler Schruppzyklus
G84	Bohrzyklus
G85	Freistichzyklus
G86	Radialer Einstechzyklus
G87	Radialer Konturstechzyklus
G88	Axialer Einstechzyklus
G89	Axialer Konturstechzyklus

Quelle: „Automatisierungstechnik“ Europa- Verlag

Vollständiger Befehlssatz für Drehmaschinen (PAL 2007)

Programmaufbau bei CNC-Maschinen nach PAL

PAL-Funktionen bei Fräsmaschinen

G-Funktionen

Interpolationsarten, Konturen

G0	Verfahren im Eilgang
G1	Linearinterpolation im Arbeitsgang
G2	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
G3	Kreisinterpolation gegen den Uhrzeigersinn
G4	Verweildauer
G9	Genauhalt
G10	Verfahren im Eilgang in Polarkoordinaten
G11	Linearinterpolation mit Polarkoordinaten
G12	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn mit Polarkoordinaten
G13	Kreisinterpolation gegen den Uhrzeigersinn mit Polarkoordinaten
G45	Lineares tangentiales Anfahren an eine Kontur
G46	Lineares tangentiales Wegfahren von der Kontur
G47	Tangentiales Anfahren an eine Kontur im ¼-Kreis
G48	Tangentiales Wegfahren an eine Kontur im ¼-Kreis
G61	Linearinterpolation für Konturzüge
G62	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge
G63	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge

Nullpunkte, Drehen, Spiegeln, Skalieren

G50	Aufheben der inkrementalen Nullpunktverschiebungen und Drehungen
G53	Alle Nullpunktverschiebungen und Drehungen aufheben
G54 .. G57	Einstellbare absolute Nullpunkte
G58	Inkrementale Nullpunktverschiebung, Polar und Drehung
G59	Inkrementale Nullpunktverschiebung kartesisch und Drehung
G66	Spiegeln an der X- und oder Y-Achse, Spiegelung aufheben
G67	Skalieren (Vergrößern bzw. Verkleinern oder Aufheben)

Ebenenanwahl, Maßangaben

G17 .. G19	Ebenenanwahl, 2½ D-Bearbeitung
G70	Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)
G71	Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)
G90	Absolute Maßeingaben
G91	Kettenmaßeingabe

Werkzeugkorrekturen

G40	Abwahl der Fräserradiuskorrektur
G41 .. .. G42	Anwahl der Fräserradiuskorrektur

Vorschübe und Drehzahlen

G94	Vorschub in mm pro Minute
G95	Vorschub in mm pro Umdrehung
G96	Konstante Schnittgeschwindigkeit
G97	Konstante Drehzahl

Programmtechniken

G22	Unterprogrammaufruf
G23	Programmteilwiederholung
G29	Bedingte Programmsprünge

Zyklen

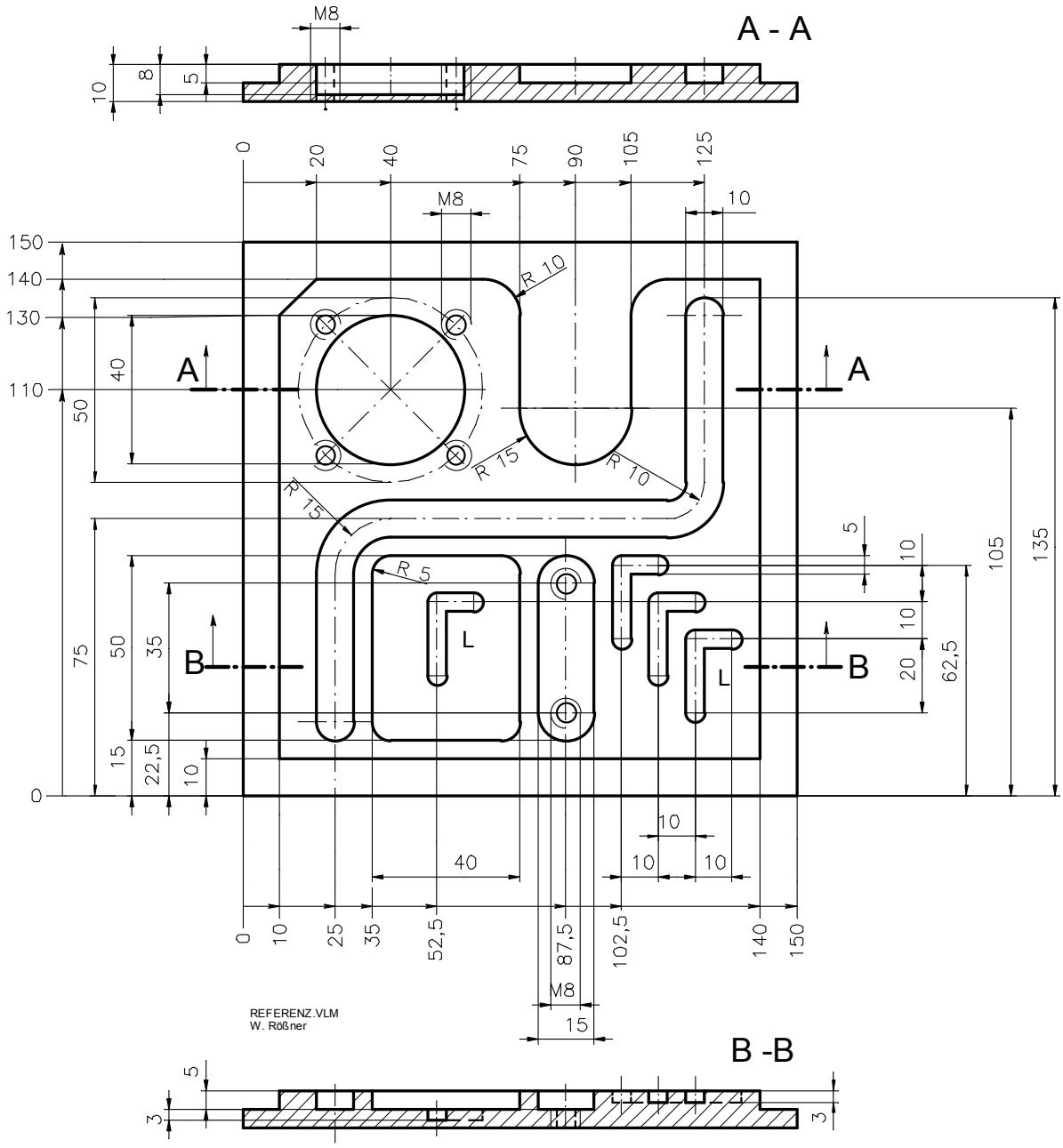
G34	Eröffnung des Konturtaschenzyklus
G35	Schruppteschnologie des Konturtaschenzyklus
G36	Restmaterial-Technologie des Konturtaschenzyklus
G37	Schlichttechnologie des Konturtaschenzyklus
G38	Konturbeschreibung des Konturtaschenzyklus
G80	Abschluss des G38-Zyklus
G39	Aufruf des Konturtaschenzyklus mit konturparalleler oder mäanderförmiger Ausräumstrategie
G72	Rechtecktaschenfräszyklus
G73	Kreistaschen- und Zapfenfräszyklus
G74	Nutenfräszyklus
G75	Kreisbogennut-Fräszyklus
G81	Bohrzyklus
G82	Tiefbohrzyklus mit Spanbruch
G83	Tiefbohrzyklus mit Spanbruch und Entspanen
G84	Gewindebohrzyklus
G85	Reibzyklus
G86	Ausdrehzyklus
G87	Bohrfräszyklus
G88	Innengewindefräszyklus
G89	Außengewindefräszyklus
G76	Mehrfachzyklusaufruf auf einer Geraden (Lochreihe)
G77	Mehrfachzyklusaufruf auf einem Teilkreis (Lochreihe)
G78	Zyklusaufruf an einem Punkt (Polarkoordinaten)
G79	Zyklusaufruf an einem Punkt (kartesische Koordinaten)

Quelle: „Automatisierungstechnik“ Europa- Verlag

Vollständiger Befehlssatz für Fräsmaschinen (PAL 2007)

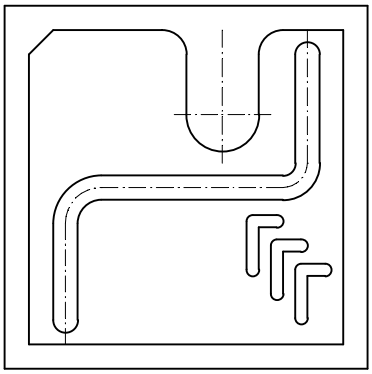
8 Praktikumsaufgaben (PAL)

8.1 Fräsen



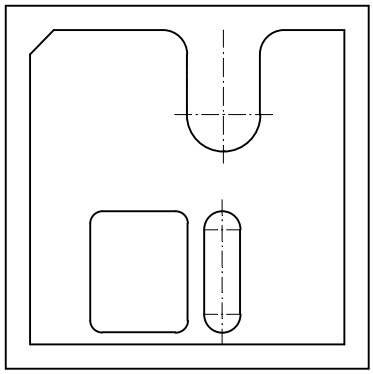
Fräsen - Übungsteil

Aufgabe 1: Mittelpunktsbahn
Rohteil? Nullpunkt?
absolute/relative Programmierung,
Werkzeugwechsel.
Drehzahlen? Vorschub?
Maße wie im Übungsteil angeben.



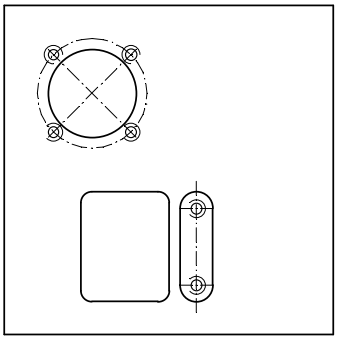
a) Z- Nut (Absolutprogrammierung)
b) L- Nuten (L) (Relativprogrammierung)

Aufgabe 2: Fräserradiuskorrektur
Nullpunkt?
absolute/relative Programmierung,
Werkzeugwechsel.
Drehzahlen? Vorschub?
Maße wie im Übungsteil angeben.

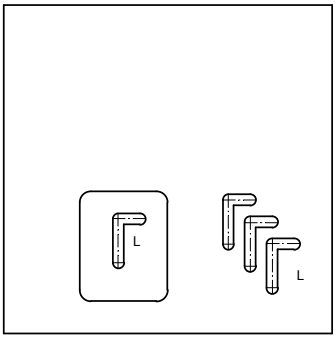


a) Umfangskontur (Fräserradiuskorrektur)
b) Nut
c) Tasche

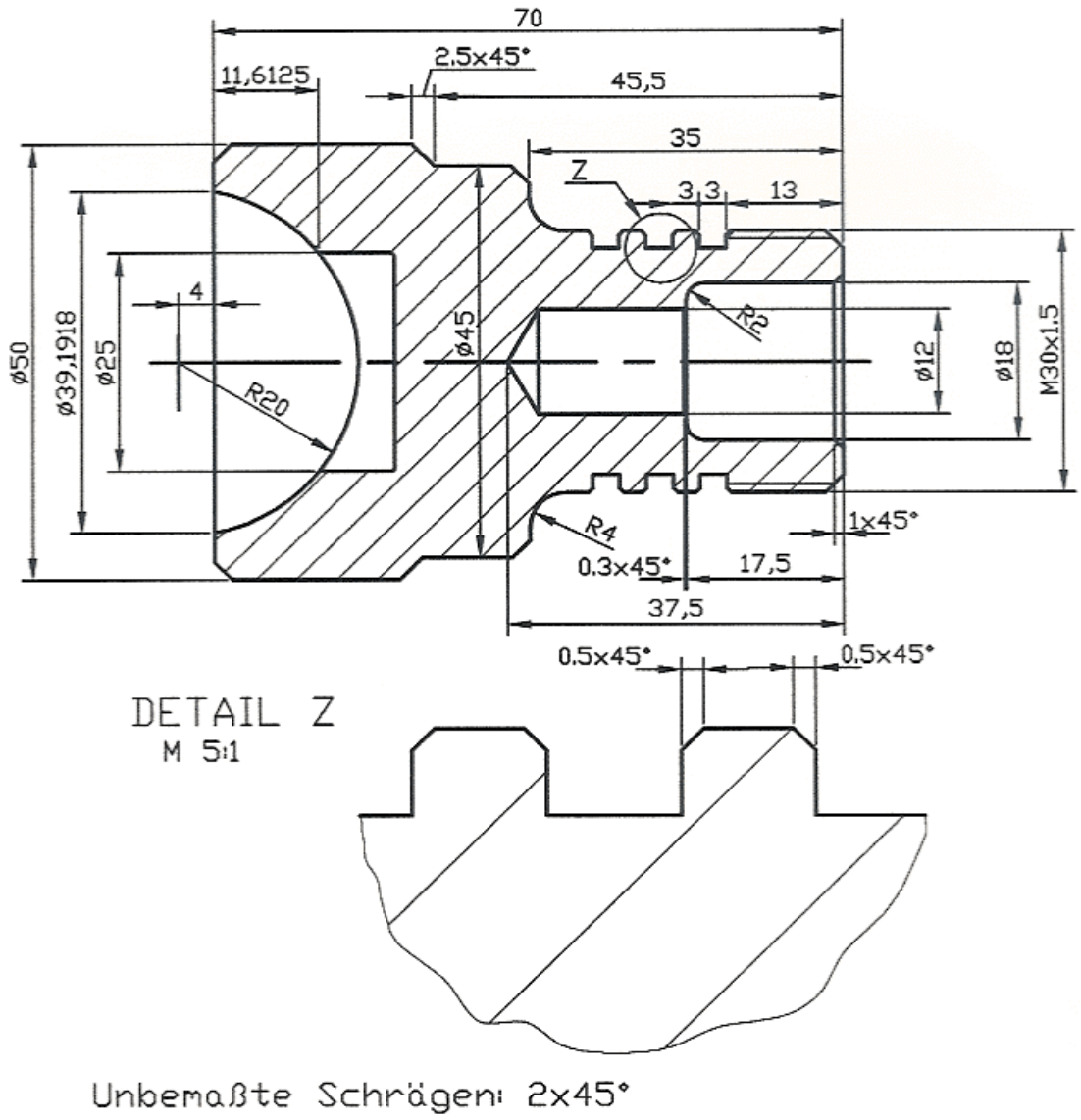
Aufgabe 3: Zyklen



Aufgabe 4: Unterprogrammtechnik



8.2 Drehen



Drehen - Übungsteil

Nachfolgende Aufgaben gelten für Aufspannung wie dargestellt. (Linke Planfläche ist eingespannt)

Rohteil: D50 x 72, Einstich 3 tief.

Aufgabe 1: Plan- Längsdrehen, Bohren
Nullpunkt?
absolute/relative Programmierung,
Werkzeugwechsel.
Drehzahlen? Vorschub?
Maße wie im Übungsteil angeben.

a) Plandrehen (Maß?)
b) Längsdrehen (D46)
c) Bohrung D12; 37,5 tief

Aufgabe 2: Schneidenradiuskompensation (SRK)
Nullpunkt?
absolute/relative Programmierung,
Werkzeugwechsel.
Drehzahlen? Vorschub?
Maße wie im Übungsteil angeben.

a) Längsdrehen (D45) mit SRK
b) Ausdrehen D18; 17,5 tief

Aufgabe 3: Zyklen

a) Längsschruppzyklen (Aufteilung?)
b) Bohrzyklus
c) Gewindezyklus G33 (Mit Hilfefunktion selbst erarbeiten!)

Aufgabe 4: Unterprogrammtechnik

a) Unterprogramm für Einstiche
b) Werkstück umspannen und Restbearbeitung

9 Drehen mit Mastercam X2

Die grafische Programmierung erleichtert das Erstellen eines NC-Programms bei Teilen mit mittlerer bis hoher Komplexität erheblich, weil die Geometrieinformationen eines CAD-Modells direkt übernommen werden können. Zur Erzeugung eines NC-Programms müssen nur noch die technologischen Informationen ergänzt werden.

Sind sämtliche Bearbeitungsschritte in der CAM-Software abgebildet, wird durch einen Übersetzungslauf mittels eines geeigneten Postprozessors das, für die jeweilige Maschinen-steuerung passende, NC-Programm erzeugt.

Einen einheitlichen Aufbau bzw. ein einheitliches Bedienungskonzept bei den zahlreichen in der Industrie im Einsatz befindlichen CAM-Systemen gibt es nicht, jedoch erleichtert die Kenntnis eines Systems den Umstieg auf ein anderes. Im Rahmen des Werkzeugmaschinenpraktikums wird die CAD-CAM-Verfahrenskette Solid Edge V18 - Mastercam X eingesetzt.

Hinweise:

Wird im nachfolgendem Text von einem „Klick“ oder „klicken“ gesprochen, ist damit ein einmaliges drücken der linken Maustaste gemeint. Wird ein Rechtsklick verlangt, so ist dies ausdrücklich durch „Rechtsklick“ bzw. „rechtsklicken“ gekennzeichnet.

Ist nichts anderes explizit angegeben, ist mit „bestätigen“, „übernehmen“ o. ä. das klicken auf nachfolgend dargestellte Schaltfläche gemeint:

Bitte beachten: Die Eingabe von Nachkommastellen muss mit einem Punkt (anstelle des in Europa üblichen Kommas) erfolgen, da die amerikanische Software ansonsten eine Fehlermeldung liefert.

9.1 Geometrie des Drehteils

Bild 1: Gerendertes 3D-Modell aus Solid Edge V18

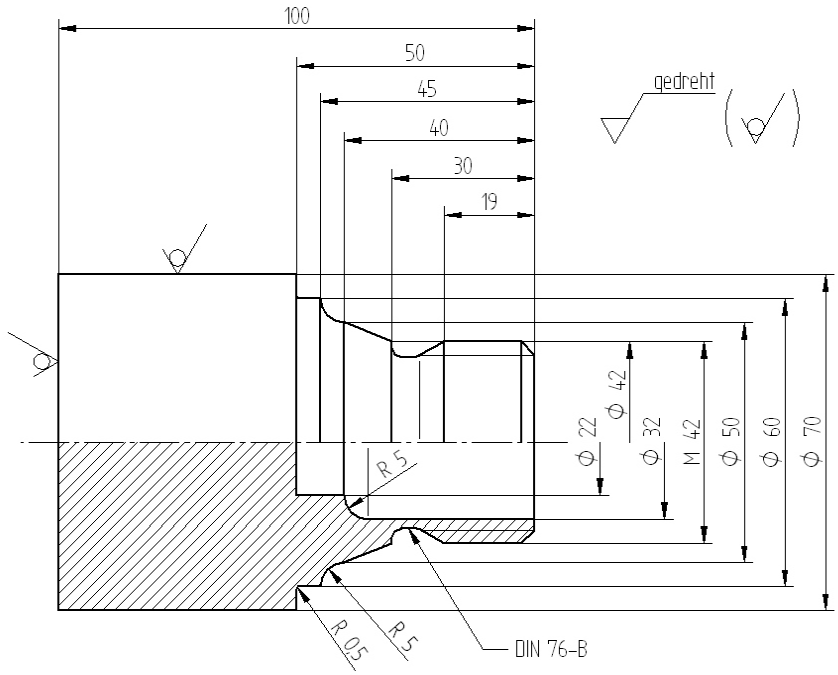


Bild 2: Technische Zeichnung des Drehteils aus Solid Edge V18

9.2 Übergabe der CAD-Daten an Mastercam X

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Informationen des CAD-Modells in die CAM-Software zu übertragen. Zunächst stehen die für CAD-CAM-Anwendungen üblichen Dateiaustausch-formate (z. B. IGES, STEP, PARASOLID etc.) zur Verfügung. Um diese zu nutzen, wird das erstellte 3D-Modell in der CAD-Software im entsprechenden Format abgespeichert und kann anschließend mit Mastercam eingelesen werden.
Des Weiteren besteht die Möglichkeit, mittels eines Plug-In-Buttons, welcher nach der Installation von Mastercam in der Solid Edge-Programmumgebung Part verfügbar ist, die Geometrieinformationen des 3D-Modells direkt zu konvertieren. Nach einem Klick auf den Button erscheint ein Menü, in dem weitere Einstellungen vorgenommen werden können. Nach Auswahl und Bestätigung mit OK werden die Modellinformationen konvertiert und Mastercam startet mit einer neuen Datei, welche die Modellgeometrie enthält.

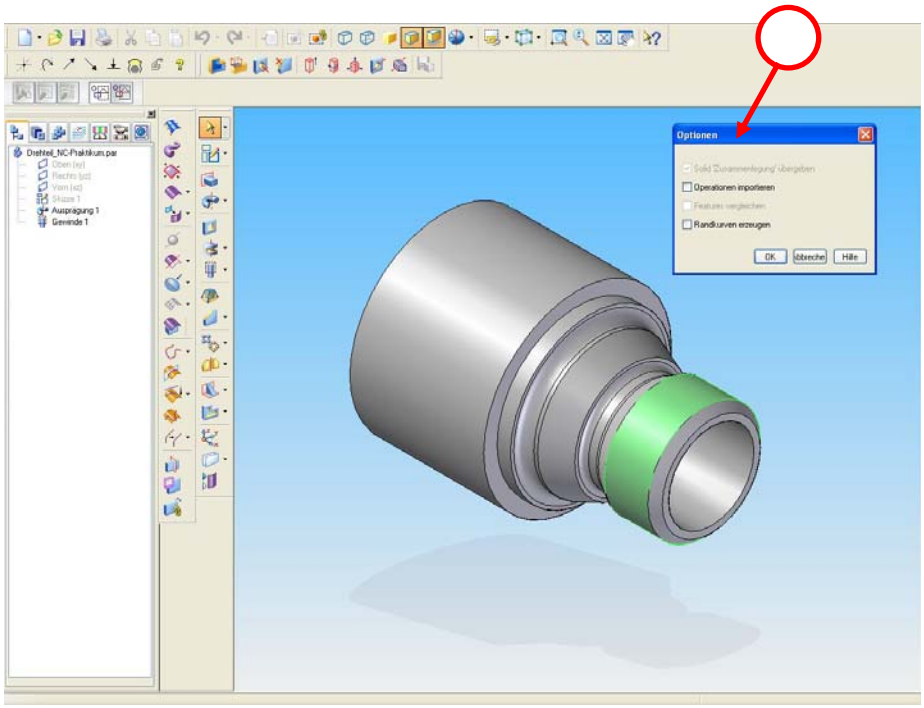


Bild 3: Konvertierung mittels Plug-In in Solid Edge V18

Hinweis:

Die in Bild 3 dargestellte Möglichkeit der Direkt-übertragung ist nur mit der Vollversion von Mastercam möglich.

Eine der komfortabelsten Möglichkeit besteht darin, Mastercam zu starten, auf

Datei → Öffnen

zu klicken, bei **Dateityp** Parasolid (*.X_T, *.X_B, *.XMT_TXT) auszuwählen und das 3D-Modell mit einem Klick auf direkt zu öffnen (Bild 4).

Da der Fachhochschule nur wenige Lizenzen der Vollversion von Mastercam zur Verfügung stehen, werden Übungen vorwiegend mit einer Demonstrationsversion der Software durchgeführt. Versuche haben gezeigt, dass die Demo-Version mit dem Einlesen von Parasolid-Daten am stabilsten läuft. Sollte ein Wechsel des Dateiformates gewünscht sein, wird ein Neustart von Mastercam empfohlen. Dies gilt leider auch für die Vollversion, da das Programm dazu neigt, die Eingabe von Nachkommastellen zu verweigern.

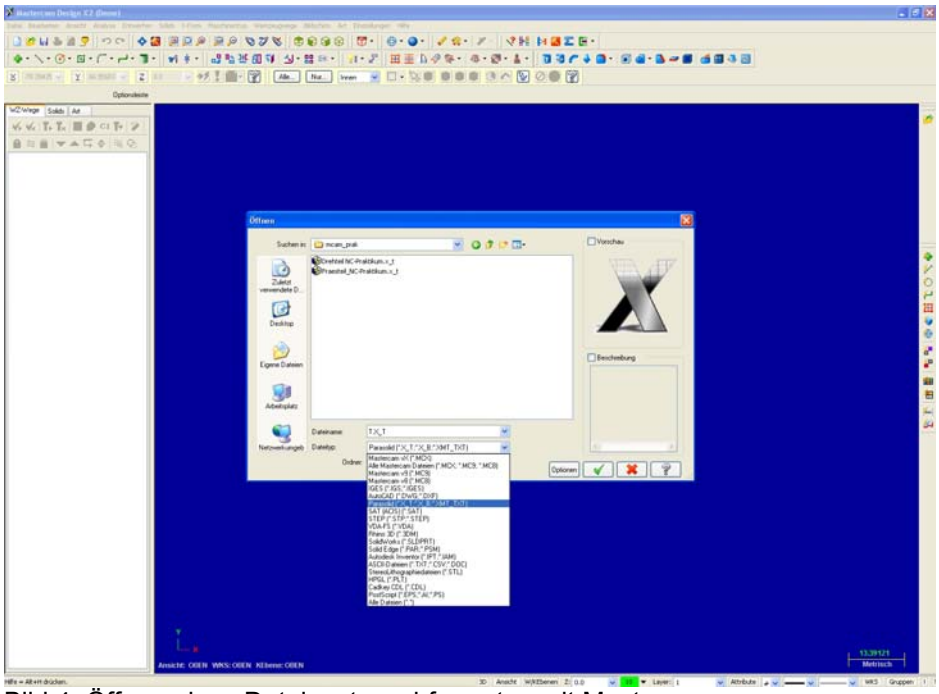


Bild 4: Öffnen eines Dateiaustauschformates mit Mastercam

Es wird empfohlen, im Rahmen des Praktikums, die zuletzt genannte Variante zu verwenden, da das parallele Arbeiten mit Solid Edge und Mastercam auf älteren Rechnern zu größeren Zeitverzögerungen führen kann.

Das in den Bildern 1 und 2 gezeigte Drehteil finden Sie unter folgendem Pfad:

T:\M\CNC\Mastercam\Mcam X\Drehteil_NC-Praktikum.X_T

Nach der Umstellung von einem Drahtmodell auf ein schattiertes 3D-Modell mit Alt + S und dem Einpassen auf die Fenstergröße mit Alt + F1 ergibt sich eine Mastercam-Darstellung gemäß Bild 6. Mittels der Statusleiste am unteren Bildrand (Bild 5) kann sehr komfortabel die Ansicht über die gleichnamige Schaltfläche geändert werden. In Bild 6 ist eine Seitenansicht ausgewählt.

Bild 5: Die Statusleiste in Mastercam

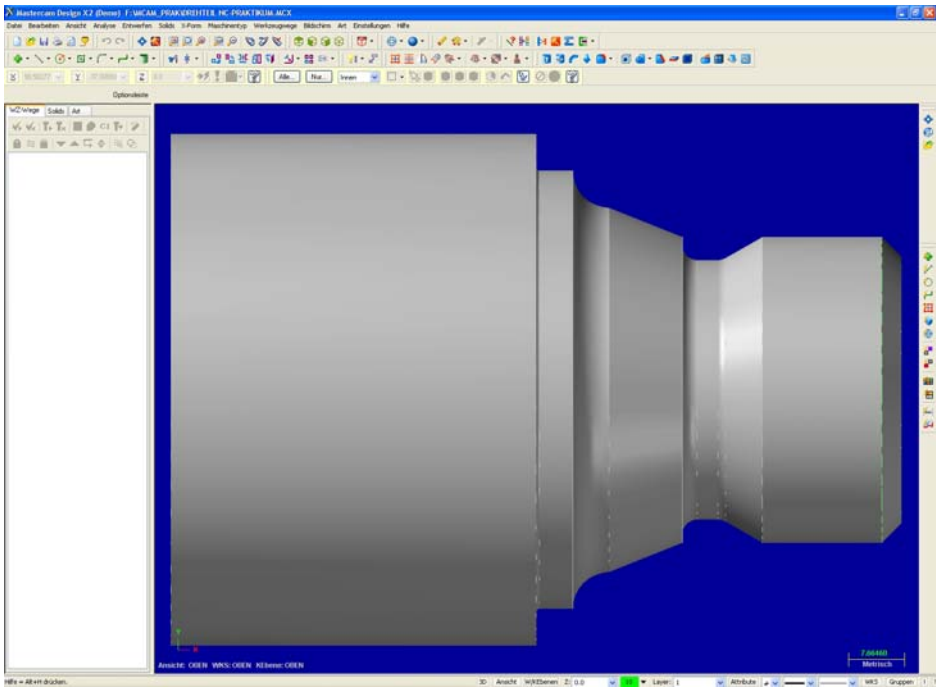


Bild 6: Importiertes CAD-Modell in Mastercam

9.3 Auswählen der Maschinendefinition

Abhängig vom Fertigungsverfahren (Drehen, Fräsen, Drahterodieren) muss zunächst ein Maschinentyp und anschließend eine Maschinendefinition ausgewählt werden (Bild 7). Hiermit wird der CAM-Software mitgeteilt, welche Funktionalitäten an der realen Maschine zur Verfügung stehen. Dazu zählen beispielsweise die Anzahl und Anordnung der Achsen und Spindeln, sowie Informationen über die Spannmittel (z. B. Dreibackenfutter), die Abmessungen des Bearbeitungsraumes und die Werkzeugwechseleinrichtung.

Maschinentyp → Drehen → 1 \...\Lathe Default MM.LMD

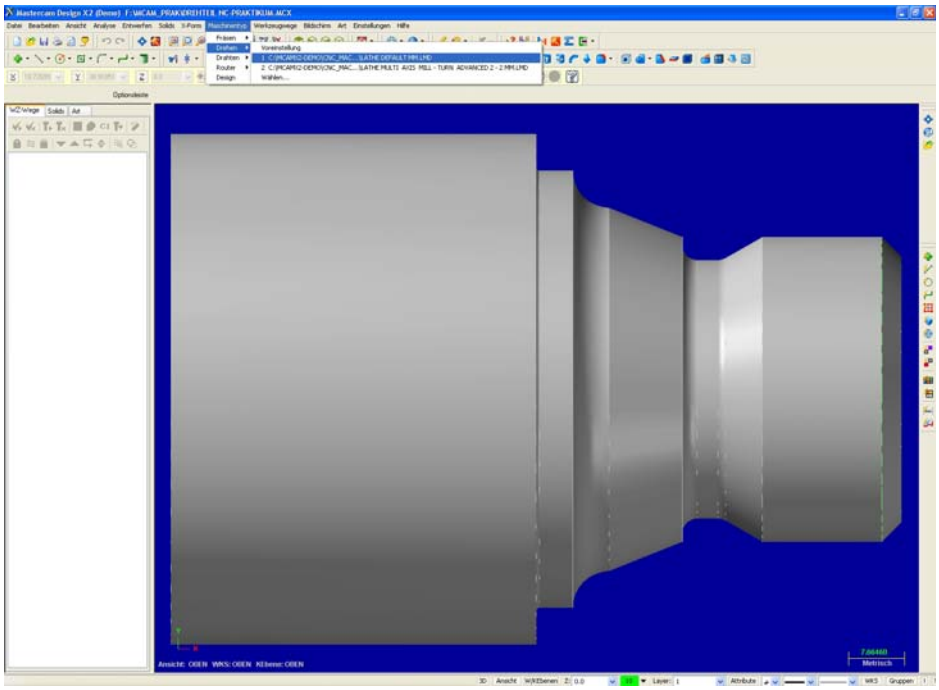


Bild 7: Auswählen der Maschinendefinition

Die ausgewählte Maschinengruppe wird nun im **Werkzeugwegemanager (WZ-Wege-Manager)** angezeigt (Bild 8).

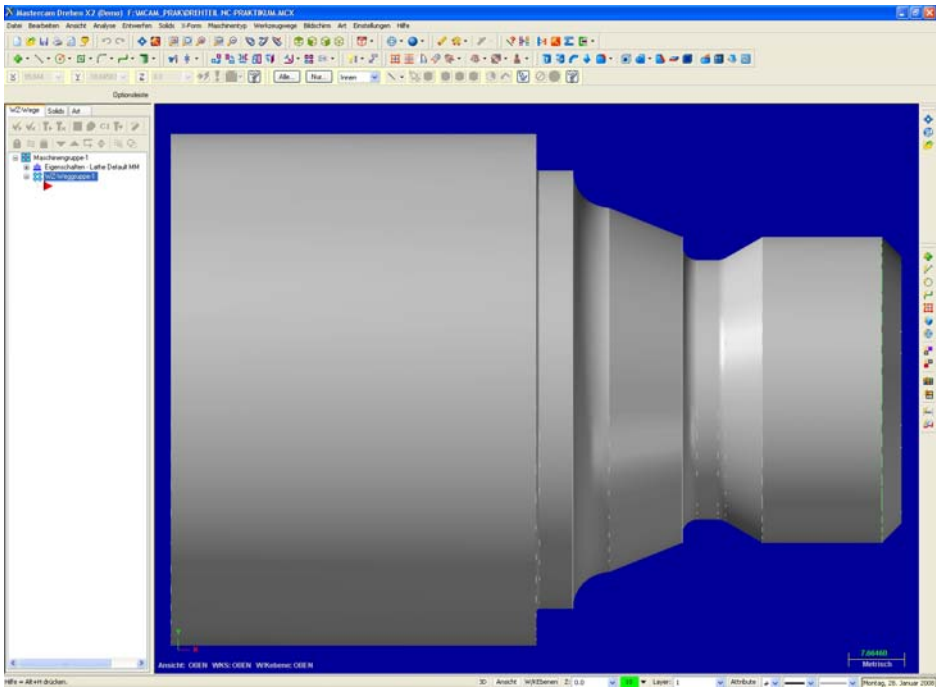


Bild 8: Maschinengruppe im WZ-Wege-Manager

9.4 Definition von Rohteil und Spannmittel

Eigenschaften Lathe Default MM → + → Dateien (Bild 9) → Register Rohteilein-stellungen

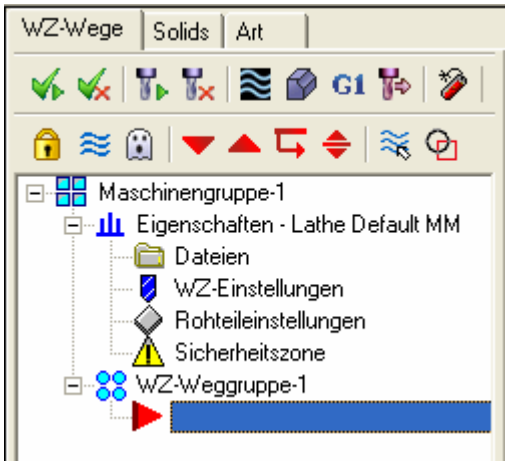


Bild 9: Eigenschaften Lathe Default MM

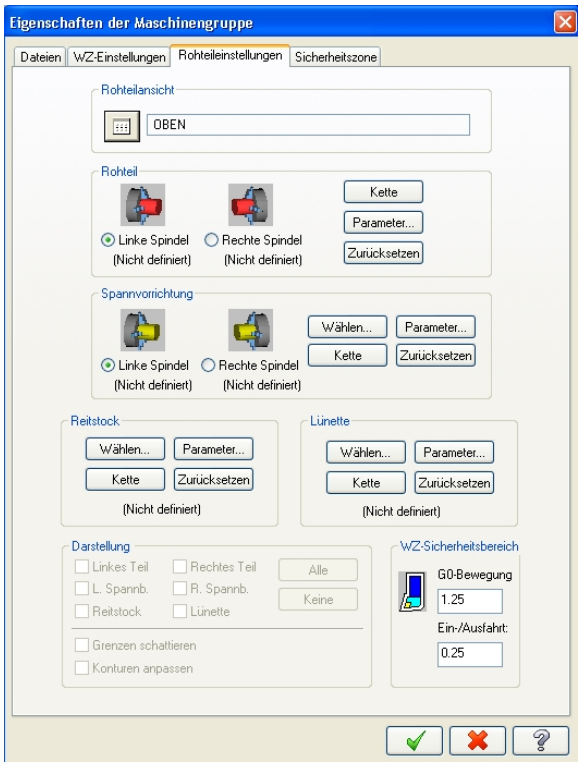


Bild 10: Maschinengruppe Rohteileinstellungen

Einstellungen wie in Bild 10 → Schaltfläche Parameter (unter Rohteil) → Maße von Bild 11 übernehmen.

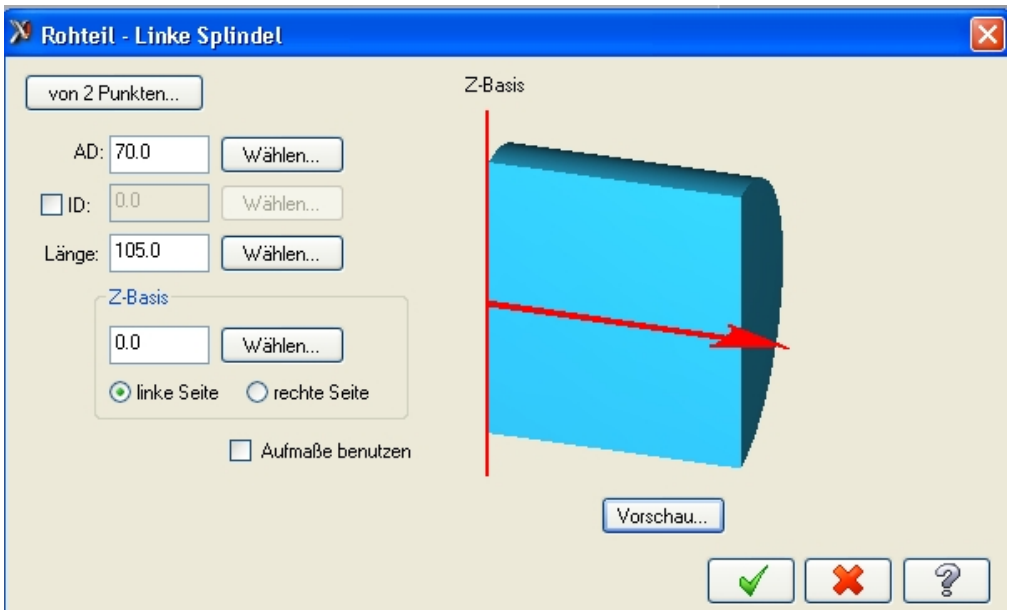


Bild 11: Rohteilabmessungen

Das Rohteil wird nun grau dargestellt.

Schaltfläche Parameter (unter Spannvorrichtung) → Maße von Bild 12 übernehmen

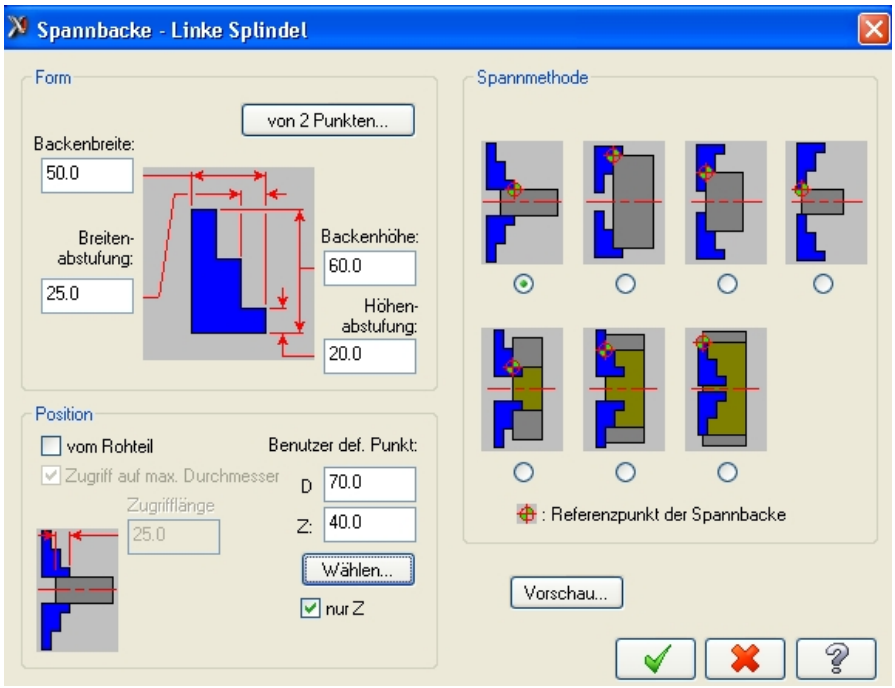


Bild 12: Spannbackenabmessungen

Die Spannbacken werden nun ebenfalls grau angezeigt.

Durch drücken der Taste **F2** kann schrittweise aus der Darstellung herausgezoomt werden.

Das Ergebnis der bisherigen Einstellungen sollte nun wie in Bild 13 aussehen.

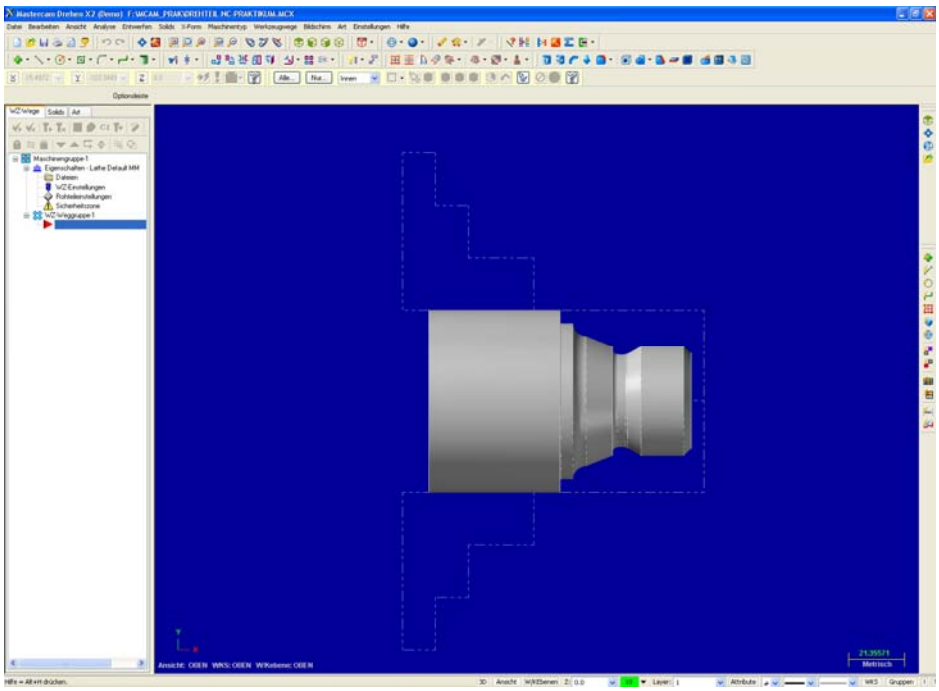


Bild 13:Werkstück mit Rohteilabmessungen und Einspannung

9.5 Werkzeugwege erstellen

9.5.1 Plandrehen

Werkzeugwege → Planen → Register Werkzeuge

Eine eventuelle Abfrage nach einer neuen Bezeichnung für die NC-Datei bestätigen.

Wählen Sie aus der Werkzeug-Bibliothek (Voreinstellung: Lathe_mm.Tools) das Werkzeug
T0707 R0.8 ROUGH FACE RIGHT - 80 DEG.

Einstellungen von Bild 14 übernehmen → WZ-Wechselposition Benutzerdefiniert → Definieren → X250 und Z250

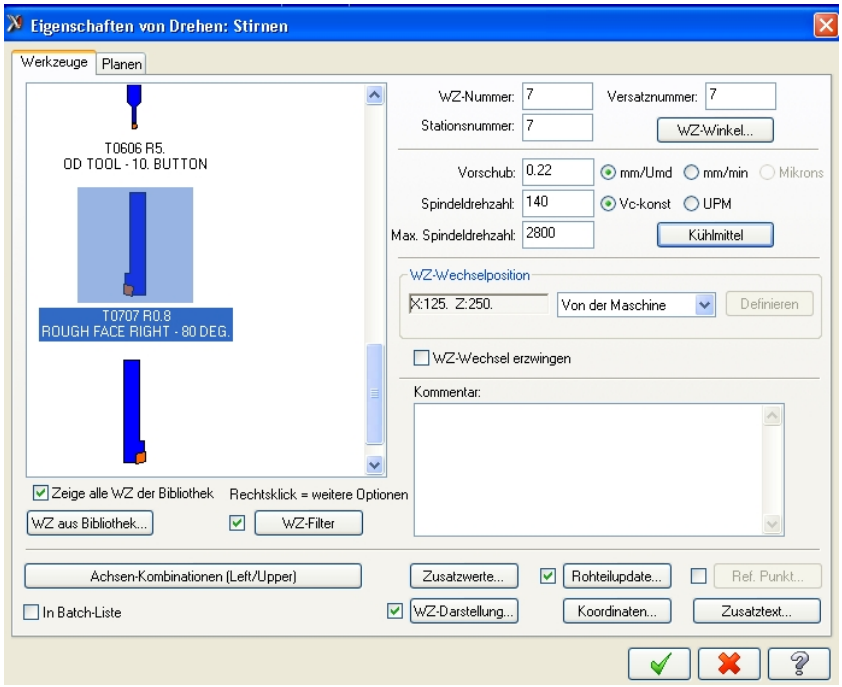


Bild 14: Werkzeugeinstellungen und Technologieparameter zum Planen

Die Kühlmittelzufuhr kann unter Kühlmittel eingestellt werden, findet jedoch im Rahmen des Praktikums keine Verwendung.

Register Planen → Werte und Einstellungen von Bild 15 übernehmen → Funktion Schruppzustellung aktivieren, sonst wird das Material in einem Schnitt entfernt!

Ein zusätzlicher Überschnitt der X-Achse ist nicht notwendig, da der Schneidenradius des Werkzeugs bereits von Mastercam verrechnet wird.

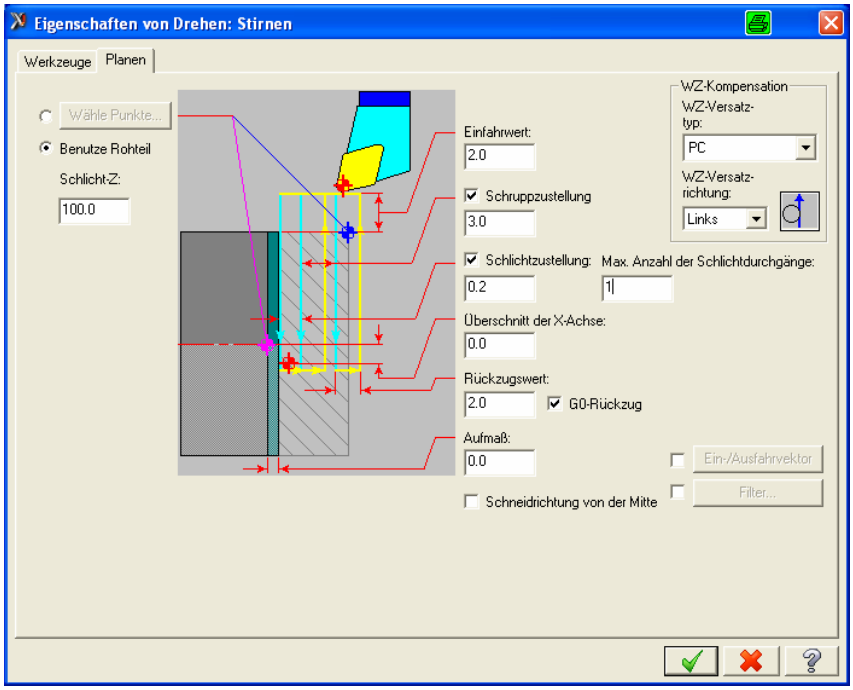


Bild 15: Parameter zum Plandrehen

Bestätigen Sie mit

Im Graphikfenster sehen Sie nun den Werkzeugweg für die Plandrehoperation und das aktualisierte Rohteil. Im **WZ-Wege-Manager** erscheint eine neue **Werkzeugweggruppe (WZ-Weggruppe)**,

welche die Parameter des Plandrehvorgangs enthält (Bild 16). Mit einem Klick auf das entsprechende Symbol in der geöffneten Baumstruktur gelangen Sie zu den jeweiligen Einstellungen (Parameter etc.), um sie zu ändern oder zu überprüfen.
Haben Sie Änderungen an einem WZ-Weg vorgenommen, erscheint dieser im WZ-Wege-Manager durchgestrichen und muss neu berechnet werden. Klicken Sie dazu auf den WZ-Weg und bestätigen Sie einfach das nachfolgende Fenster.

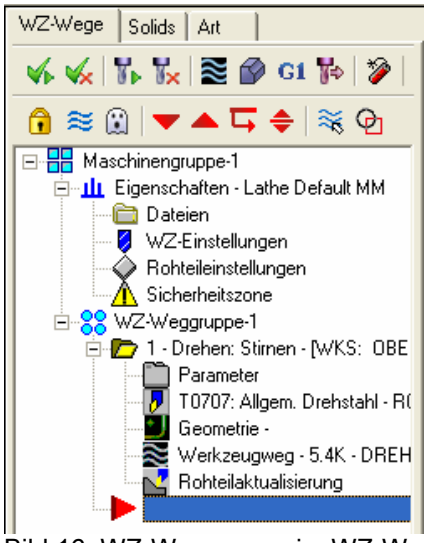


Bild 16: WZ-Weggruppe im WZ-Wege-Manager

Simulation des erstellten WZ-Weges

Um den Plandrehvorgang zu simulieren, wählen Sie zunächst den Eintrag Werkzeugweg unter der neuen Plandrehoperation aus dem WZ-Wege-Manager, es werden die Voreinstellungen zur Simulation angezeigt. Aktivieren Sie die Schaltflächen, analog zu Bild 17. Schieben Sie den Mauszeiger über die jeweilige Schaltfläche um eine Kurzbeschreibung ihrer Funktion zu erhalten.

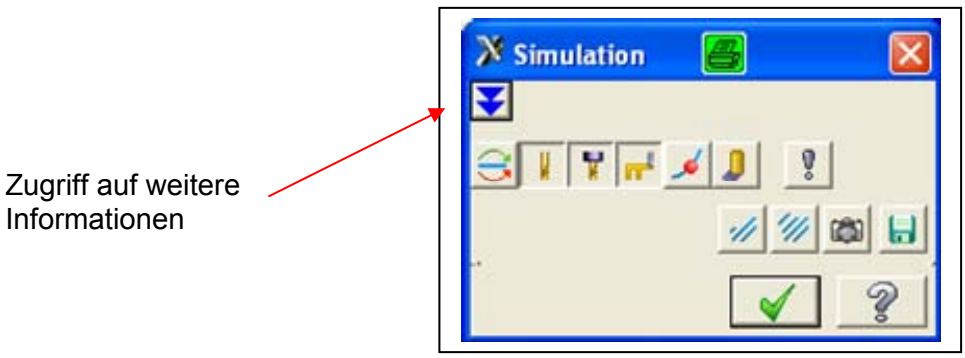


Bild 17: Voreinstellungen zu Simulation

In der Funktions-Optionsleiste oberhalb des Grafikfensters erscheint folgende Symbolleiste:

Wie z. B. bei einem CD-Player können Sie hier die Simulation bedienen. Ist die Simulation beendet, verlassen Sie das Menü durch anklicken von

Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen können Werkzeugwege ein- bzw. ausgeblendet werden. Um einen Werkzeugweg auszublenden selektieren Sie den Ordner des Plandrehvorgangs im WZ-Wege-Manager und drücken **Alt + T**, nochmaliges drücken blendet den WZ-Weg wieder ein.

9.5.2 Außenkontur Schruppen

Werkzeugwege → Schruppen → Solids → **Außenkontur auswählen**

Markieren Sie im Grafikfenster oberhalb der Mittelachse des Drehteils den unteren rechten Punkt der Fase um ihn als Startpunkt des Werkzeugweges auszuwählen. Selektieren Sie als Endpunkt der Verkettung den Schnittpunkt zwischen der Planfläche und dem Außendurch-messer des Rohmaterials. Um die Auswahl der Punkte zu erleichtern, können Sie nach dem Drücken von **F1** mit der linken Maustaste ein Zoomfenster aufziehen. Mit **Alt + F1** können Sie die Ansicht erneut in das Grafikfenster einpassen.
Nach erfolgreicher Definition der Außenkontur wird der Startpunkt in Bearbeitungsrichtung mit einem grünen Pfeil, der Endpunkt mit einem roten Pfeil und die Kontur als gelbe Linie dargestellt (Bild 18).

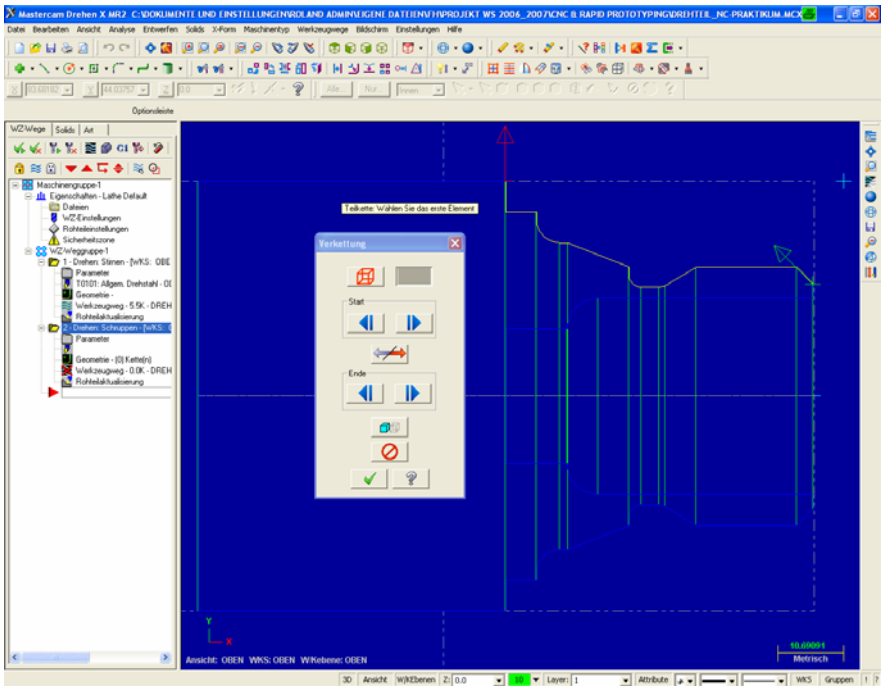


Bild 18: Auswahl der Außenkontur zum Schruppen

Nachdem Sie die gewählte Kontur mit bestätigt haben, erscheinen die bereits vom Plandrehen bekannten Register **Werkzeuge und Schruppen**.

Wie beim Plandrehen können Sie hier nun die Einstellungen für das Werkzeug und den Schruppzyklus vornehmen.

Wählen Sie das Werkzeug **T0101 R0.8 OD ROUGH RIGHT - 80 DEG.**

Register Werkzeuge → Werte für Vorschub, Schnittgeschwindigkeit und maximale Drehzahl von Bild 14 übernehmen

F-Vorschub bezeichnet den Vorschubwert bei fallender Kontur. Er sollte deutlich kleiner sein als der Vorschub zum reinen Längsdrehen, übernehmen Sie daher den vorgeschlagenen Wert.

Register Schruppen → Werte aus Bild 19 eingeben

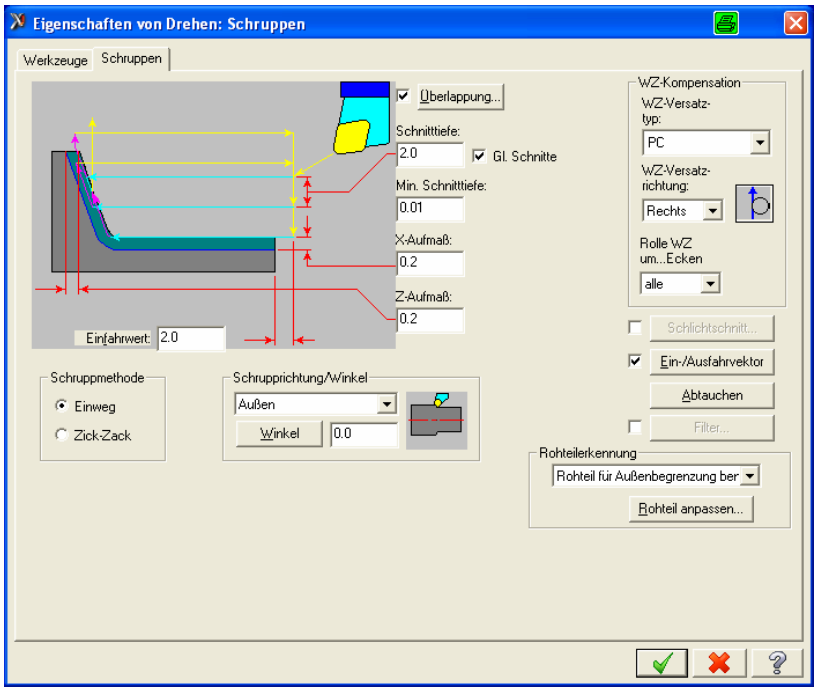


Bild 19: Parameter zum Schruppen der Außenkontur

Klicken Sie auf die Schaltfläche **Abtauchen.** Hier können Sie einstellen, ob bei abfallender Kontur (z. B. Freistiche) bereits beim Schruppen Material abgenommen werden soll bzw. wie und wo. Wir wollen beim Schruppen noch nicht abtauchen, sondern diese Möglichkeit erst beim Schlichtdrehen wahrnehmen, belassen Sie deshalb die Voreinstellung (nicht Abtauchen) und verlassen Sie das Menü.

Die Simulation des Schruppzyklus erfolgt analog zum Plandrehen.

9.5.3 Außenkontur Schlichten

Werkzeugwege → Schlichten → Solids → Außenkontur auswählen

Wählen Sie als Werkzeug T0303 R0.8 OD FINISH RIGHT - 35 DEG.

Register Werkzeuge → Parameter von Bild 14 übernehmen

Register Schlichten → Werte von Bild 20 eingeben → Schaltfläche Abtauchen → Einstellung analog Bild 21 → 2x

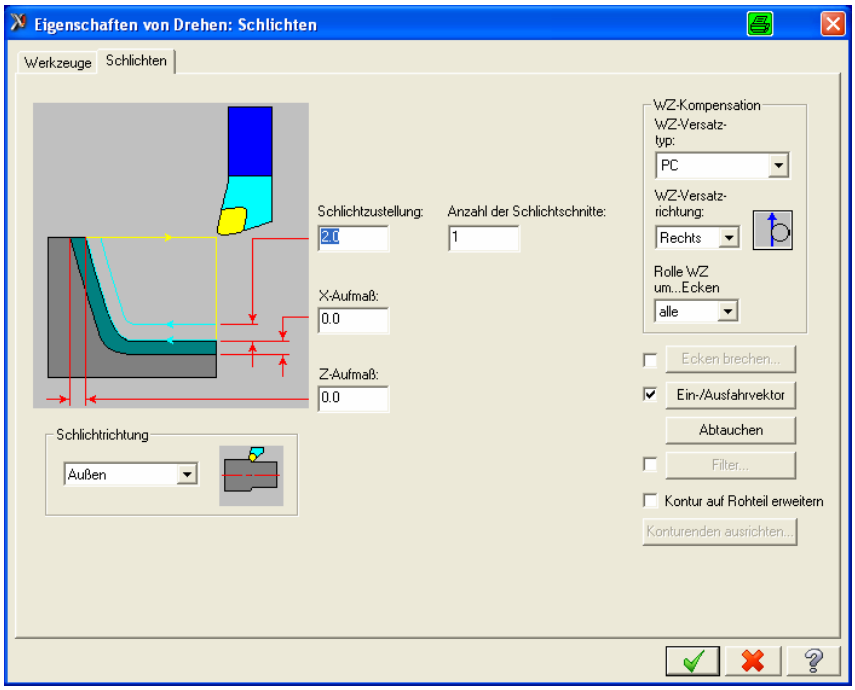


Bild 20: Parameter zum Schlichten der Außenkontur

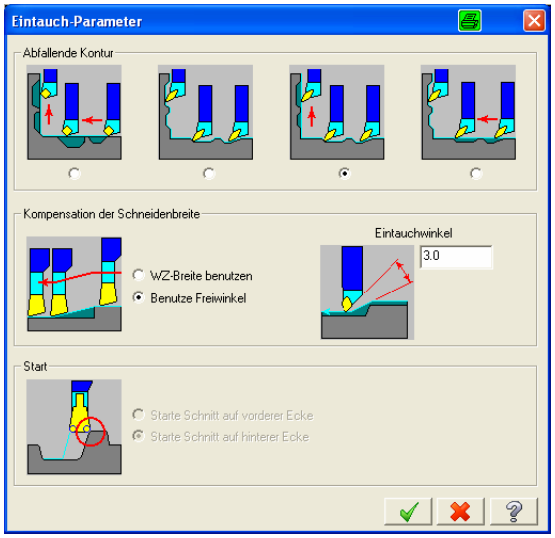


Bild 21: Eintauchparameter

9.5.4 Außengewindedrehen

Werkzeugwege → Gewindeschneiden → Register Werkzeuge

Wählen Sie als Werkzeug **T0202 R 0.108 OD THREAD RIGHT – MEDIUM**

Register → Gewindeform

Aus Tabelle Wählen → Gewindeform → Metrisches ISO Gewinde DIN 13 → Nenn-durchmesser 42, Anfahrt 2,0 (entspricht der Steigung p des Regelgewindes) auswählen

Startposition → Wert 100 → Endposition Wert 75→ Register Werkzeuge → Drehzahl 250 UPM → Tabulatortaste

Start-/Endposition können, in dieser Reihenfolge, auch durch Anwählen der jeweiligen Schaltfläche und anschließendes selektieren der entsprechenden Punkte am Modell ausgewählt werden.
Wie Sie sehen, errechnet Mastercam aus der Drehzahl und der Gewindesteigung nun den Vorschub.

Im Register **Gewinde schneiden** können Sie gegebenenfalls weitere Einstellungen vornehmen, was jedoch für das Praktikum nicht notwendig ist, übernehmen Sie daher die Einstellungen durch Bestätigen.

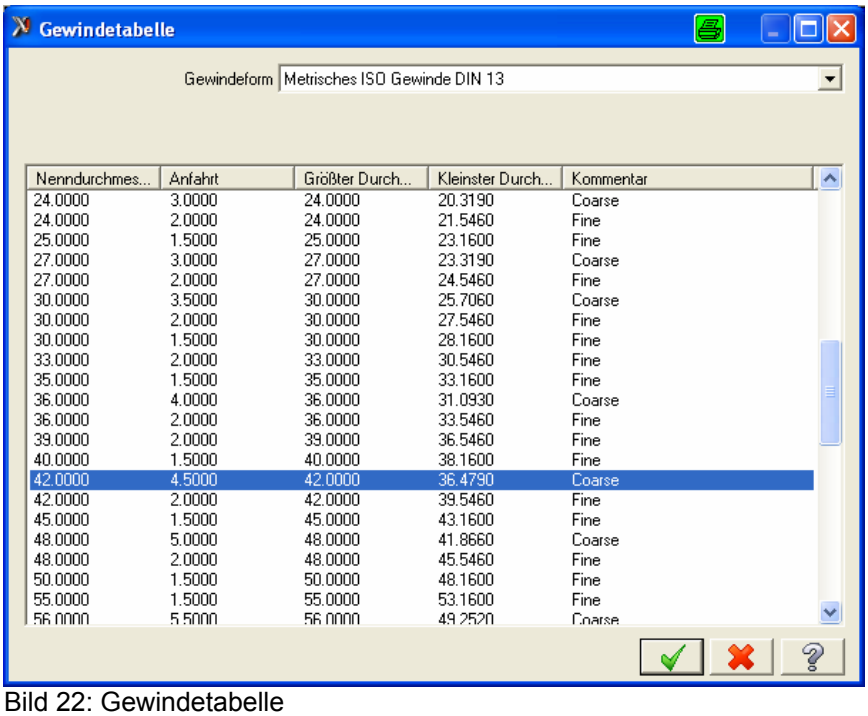


Bild 22: Gewindetabelle

Der WZ-Weg zum Gewindeschneiden wird nun angezeigt, und kann simuliert werden.

9.5.5 Bohren

Werkzeugwege → Bohren → Register Werkzeuge

Wählen Sie aus der Werkzeugbibliothek **T6060 20. DM END MILL 20. DIA. - 0.5R.**

Werte gemäß Bild 23 übernehmen

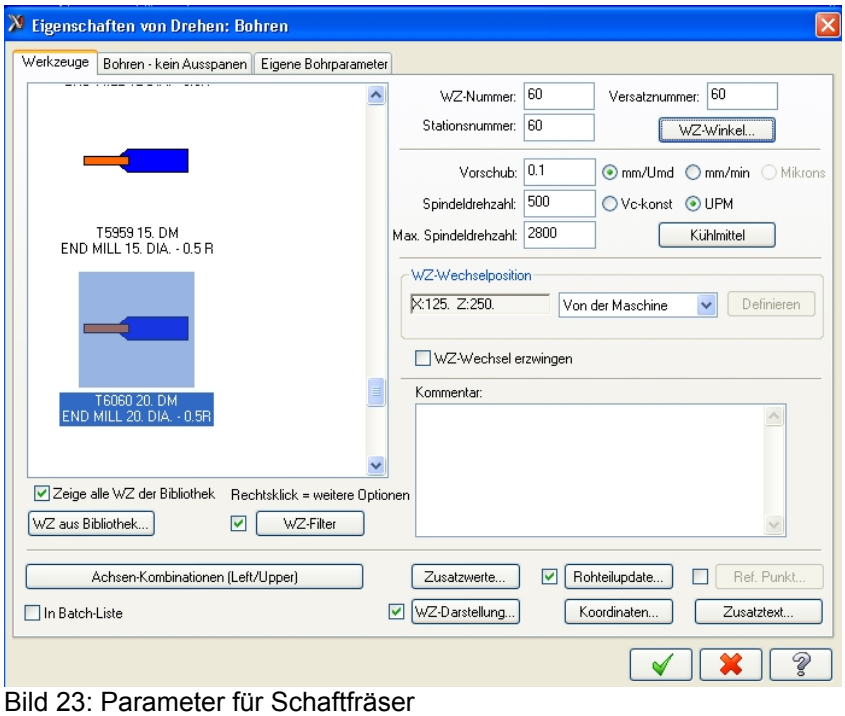


Bild 23: Parameter für Schaftfräser

Register Bohren - kein Ausspanen → Zyklus → Ausspanen

Schaltfläche Bohrpunkt → Mittelpunkt Bohrung an rechter Stirnfläche auswählen

Schaltfläche Tiefe → Mittelpunkt Bohrungsgrund selektieren

Die Werte für Tiefe und Bohrpunkt sollten nun denen aus Bild 24 entsprechen, übernehmen Sie die restlichen Werte von dort und bestätigen Sie Ihre Eingaben.

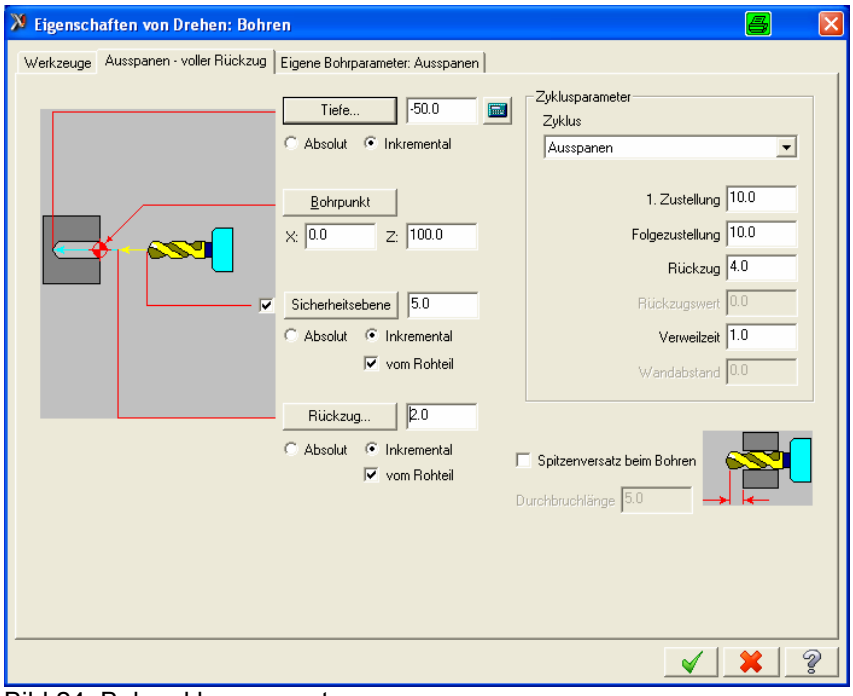


Bild 24: Bohrzyklusparameter

9.5.6 Innenkontur Schruppen

Werkzeugwege → Schruppen → Solids → Innenkontur wählen → Register Werkzeuge

Sollte **Solids** (analog **Außenkontur Schruppen**) nicht mehr aktiv sein, aktivieren Sie die Schaltfläche erneut. Gehen Sie anschließend wie beim Schruppen der Außenkontur vor. Wählen Sie als Startpunkt den Schnittpunkt des größeren Innendurchmessers mit der rechten Stirnfläche und als Endpunkt den Mittelpunkt des Bohrungsgrunds wie in Bild 25 gezeigt.

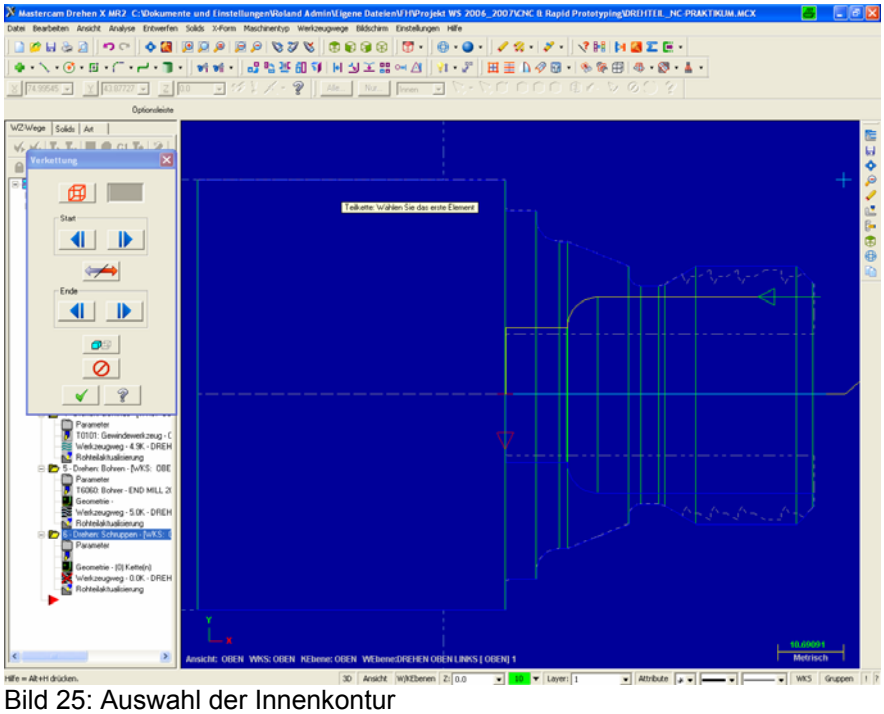


Bild 25: Auswahl der Innenkontur

Wählen Sie im Register **Werkzeuge** das Werkzeug **T1313 R0.4 ID ROUGH MIN. 16. DIA. - 80 DEG.**

Technologieparameter aus Bild 26 übernehmen

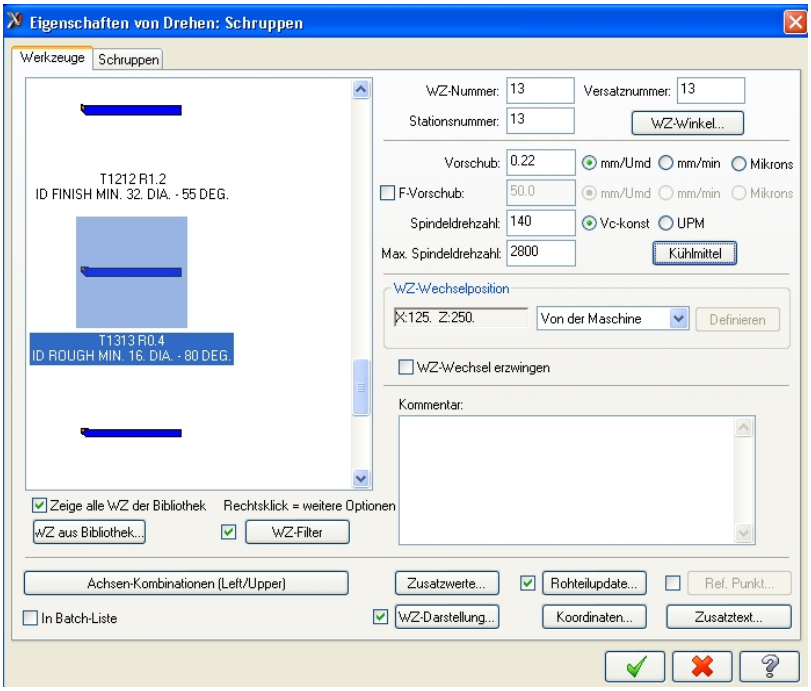


Bild 26: Parameter für das Schruppen der Innenkontur

Register Schruppen → Werte aus Bild 19 übernehmen (Bitte beachten Sie, dass nicht Außen sondern Innen bearbeitet wird, und somit die Werkzeugversatzrichtung nach links angewählt werden muß.

Da als Endpunkt der Kontur der Mittelpunkt des Bohrungsgrundes gewählt wurde, würde die Drehbearbeitung auch bis dorthin ausgeführt werden, was zwangläufig eine Kollision des Werkzeuges mit dem Werkstück zur Folge hätte.

Register Schruppen → Ein-/Ausfahrvektor → Register Ausfahrt → Einstellungen gemäß Bild 27

Bild 27: Einstellungen zum Verkürzen des Ausfahrweges

Um den Unterschied zwischen dem verkürzten und dem unverkürzten Ausfahrweg zu sehen, können Sie die Funktion, beim eben erstellten WZ-Weg, unter

Parameter → Schruppen → Ein-/Ausfahrvektor

deaktivieren. Entfernen Sie dazu einfach den Haken vor Konturende verlängern/verkürzen und sehen Sie sich das Ergebnis an. Setzen Sie den Haken erneut, um die Funktion wieder zu aktivieren und die kollisionsfreie Schruppbearbeitung der Innenkontur zu ermöglichen.

9.5.7 Innenkontur Schlichten

Sie haben nun bereits gelernt, wie man Konturen und Werkzeuge auswählt und die Einstellung der Parameter vornimmt.

Schlichten Sie die Innenkontur mit dem Werkzeug **T0909 R0.4 ID FINISH 16. DIA. - 55 DEG.**

Register Werkzeuge → Parameter gemäß Bild 14

Register Schlichten → Einstellungen wie Bild 20

Vergessen Sie auch hier nicht den Ausfahrvektor zu verkürzen!

9.6 Simulation der gesamten Bearbeitung

Sie haben bereits einzelne Arbeitsgänge simuliert und konnten beobachten, wie das Rohteil nach jedem Arbeitsgang aktualisiert wurde.

Durch Auswahl aller Werkzeugwege über die Schaltfläche oben im WZ-Wege-Manager, können Sie nach Auswahl von Simulieren , ebenfalls oben im WZ-Wege-Manager, alle erstellten WZ-Wege simulieren.
Bei der Simulation werden immer jeweils das Fertigteil, auf der Basis der zu Anfangs eingelesenen Geometrie, und das aktualisierte Rohteil, nach der gegenwärtigen Bearbeitung, angezeigt.

Die Bearbeitungsschritte und ihre Ergebnisse können auch als dreidimensionale Animation dargestellt werden. Wählen Sie hierzu ebenfalls alle WZ-Wege im WZ-Wege-Manager aus und aktivieren Sie anschließend die Funktion Verify

Drücken Sie die Tasten **Alt + 7** um in die isometrische Darstellung zu wechseln und anschließend **Alt + F1** um den Inhalt des Grafikfensters anzupassen. Nehmen Sie die Einstellungen entsprechend Bild 28 vor und starten Sie Verify mit Play

Schieben Sie den Mauszeiger auf die Schaltflächen um eine Kurzbeschreibung ihrer Funktionen zu erhalten.

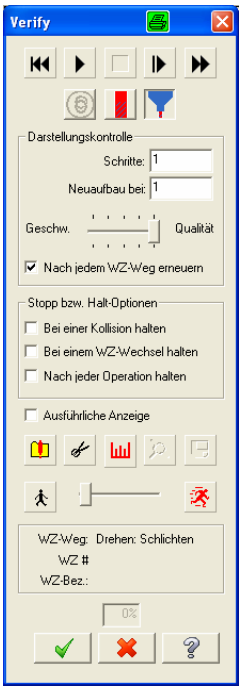


Bild 28: Einstellungen für Verify

Nach Durchlauf aller Bearbeitungsstufen sollte der Inhalt des Grafikfensters wie in Bild 24 aussehen.

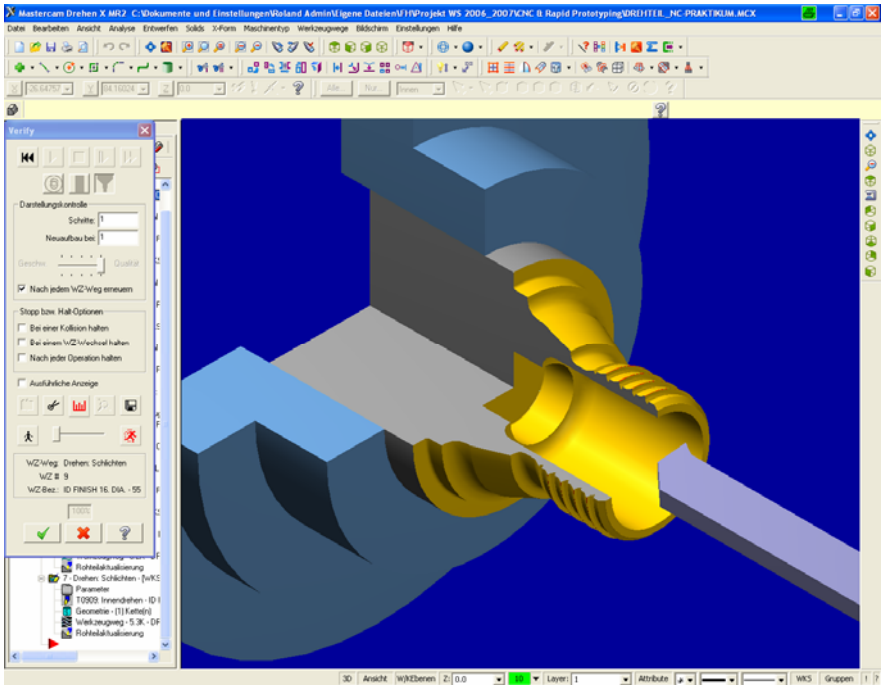


Bild 29: Darstellung nach Durchlauf von Verfy

Die geschnittene Darstellung erreichen Sie durch mehrmaliges Anklicken der Schaltfläche Schnitt nach Ende aller Arbeitsgänge.

9.7 Postprozessorlauf - Erzeugung des NC-Programms

Nachdem Sie Verify verlassen haben, sollten noch immer alle Werkzeugwege ausgewählt sein. Ist dies nicht der Fall, selektieren Sie erneut sämtliche Werkzeugwege.

Klicken Sie zur Erzeugung des NC-Programms auf die Schaltfläche Operationen Posten

Bestätigen Sie das nachfolgende Fenster, ohne daran Änderungen vorzunehmen. Wählen Sie anschließend den Speicherort und Dateinamen für die NC-Datei aus und klicken Sie auf Speichern. Der Postprozessorlauf startet. Ist er beendet, wir automatisch der Editor mit dem erstellten NC-Programm geöffnet, welches hier kontrolliert und gegebenenfalls manuell geändert werden kann.

Erscheint das dargestellte NC-Programm in schwarzer Schrift, sind beim Postprozessorlauf keine Fehler aufgetreten. Wird der NC-Code in verschiedenen Farben dargestellt, überprüfen Sie das Verzeichnis, in dem sich Ihr NC-Programm befindet, auf Error-Logs (Fehlerberichte) und nehmen Sie eventuelle Korrekturen vor.

10 Fräsen mit Mastercam X2

Die grafische Programmierung erleichtert das Erstellen eines NC-Programms bei Teilen mit mittlerer bis hoher Komplexität erheblich, weil die Geometrieinformationen eines CAD-Modells direkt übernommen werden können. Zur Erzeugung eines NC-Programms müssen nur noch die technologischen Informationen ergänzt werden.

Sind sämtliche Bearbeitungsschritte in der CAM-Software abgebildet, wird durch einen Übersetzungslauf mittels eines geeigneten Postprozessors das, für die jeweilige Maschinen-steuerung passende, NC-Programm erzeugt.

Einen einheitlichen Aufbau bzw. ein einheitliches Bedienungskonzept bei den zahlreichen in der Industrie im Einsatz befindlichen CAM-Systemen gibt es nicht, jedoch erleichtert die Kenntnis eines Systems den Umstieg auf ein anderes. Im Rahmen des Werkzeugmaschinen Praktikums wird die CAD-CAM-Verfahrenskette Solid Edge V18 - Mastercam X eingesetzt.

Hinweise:

Wird im nachfolgendem Text von einem „Klick“ oder „klicken“ gesprochen, ist damit ein einmaliges drücken der linken Maustaste gemeint. Wird ein Rechtsklick verlangt, so ist dies ausdrücklich durch „Rechtsklick“ bzw. „rechtsklicken“ gekennzeichnet.

Ist nichts anderes explizit angegeben, ist mit „bestätigen“, „übernehmen“ o. ä. das klicken auf nachfolgend dargestellte Schaltfläche gemeint:

Bitte beachten: Die **Eingabe von Nachkommastellen** muss **mit einem Punkt** (anstelle des in Europa üblichen Kommas) erfolgen, da die amerikanische Software ansonsten eine Fehlermeldung liefert.

10.1 Geometrie des Frästeiles

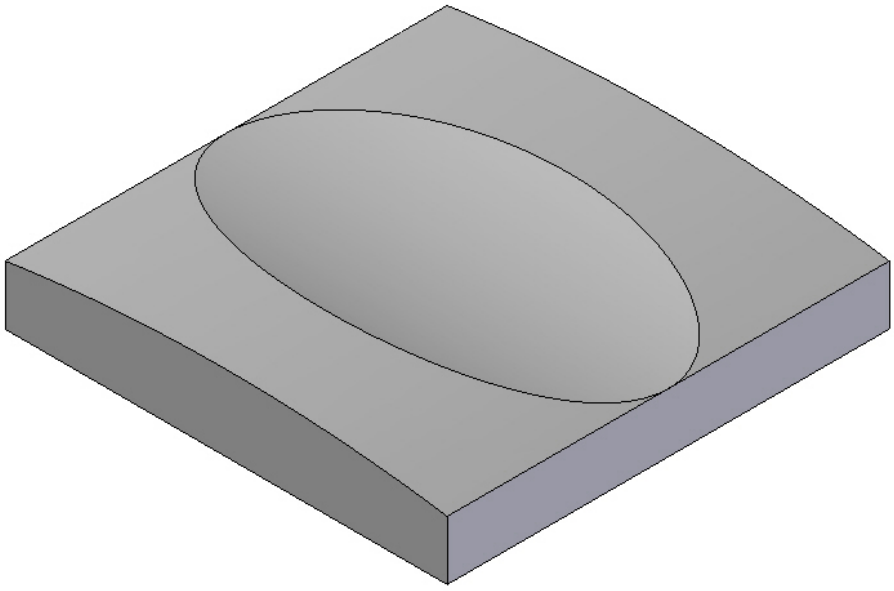


Bild 1: 3D-Modell aus Solid Edge

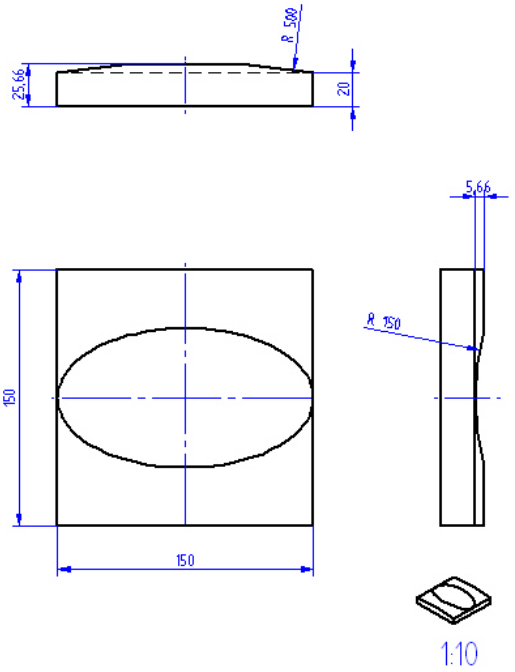


Bild 2: Technische Zeichnung des Frästeils aus Solid Edge

10.2 Übergabe der CAD-Daten an Mastercam X

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Informationen des CAD-Modells in die CAM-Software zu übertragen. Zunächst stehen die für CAD-CAM-Anwendungen üblichen Dateiaustausch-formate (z. B. IGES, STEP, PARASOLID etc.) zur Verfügung. Um diese zu nutzen, wird das erstellte 3D-Modell in der CAD-Software im entsprechenden Format abgespeichert und kann anschließend mit Mastercam eingelesen werden.
Des Weiteren besteht die Möglichkeit, mittels eines Plug-In-Buttons, welcher nach der Installation von Mastercam in der Solid Edge-Programmumgebung Part verfügbar ist, die Geometrieinformationen des 3D-Modells direkt zu konvertieren. Nach einem Klick auf den Button erscheint ein Menü, in dem weitere Einstellungen vorgenommen werden können. Nach Auswahl und Bestätigung mit OK werden die Modellinformationen konvertiert und Mastercam startet mit einer neuen Datei, welche die Modellgeometrie enthält.

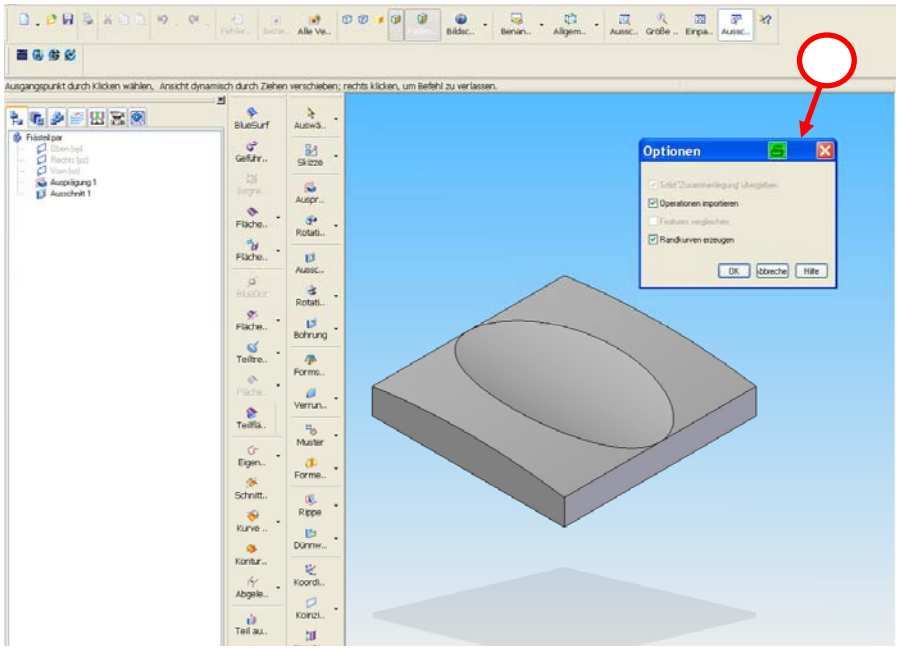


Bild 3: Konvertierung mittels Plug-In in Solid Edge V18

Hinweis:

Die in Bild 3 dargestellte Möglichkeit der Direkt-übertragung ist nur mit der Vollversion von Mastercam möglich.

Die komfortabelste Möglichkeit Mastercam zu starten, besteht darin, auf

Datei → Öffnen

zu klicken, bei Dateityp Parasolid (*.X_T, *.X_B, *.XMT_TXT) auszuwählen und das 3D -Modell mit einem Klick auf direkt zu öffnen (Bild 4).

Da der Fachhochschule nur wenige Lizenzen der Vollversion von Mastercam zur Verfügung stehen, werden Übungen vorwiegend mit einer Demonstrationsversion der Software durchgeführt. Versuche haben gezeigt, dass die Demo-Version mit dem Einlesen von Parasolid-Daten am stabilsten läuft. Sollte ein Wechsel des Dateiformates gewünscht sein, wird ein Neustart von Mastercam empfohlen. Dies gilt leider auch für die Vollversion, da das Programm dazu neigt, die Eingabe von Nachkommastellen zu verweigern.

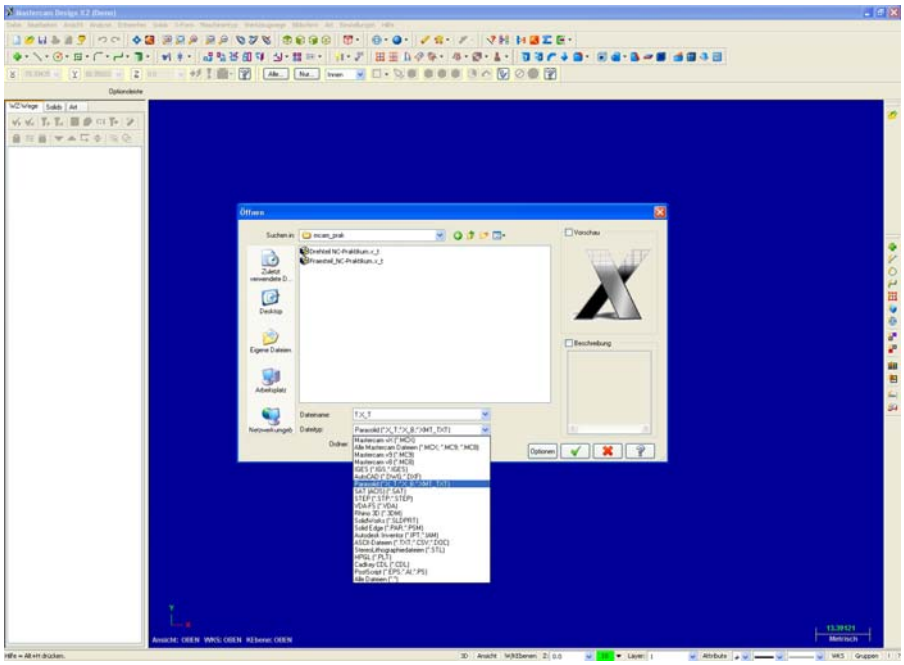


Bild 4: Direktes Öffnen eines programmspezifischen Dateiformats mit Mastercam

Das in den Bildern 1 und 2 gezeigte Bauteil finden Sie unter folgendem Pfad:

T:\M\CNC\Mastercam\Mcam X\Fraesteil_NC-Praktikum.X_T

Es wird empfohlen, im Rahmen des Praktikums, die zuletzt genannte Variante des Datenimportes zu verwenden, da das parallele Arbeiten mit Solid Edge und Mastercam auf älteren Rechnern zu größeren Zeitverzögerungen führen kann.

Nach der Umstellung von einem Drahtmodell auf ein schattiertes 3D-Modell mit **Alt + S** und dem Einpassen auf die Fenstergröße mit **Alt + F1** ergibt sich eine Mastercam-Darstellung gemäß Bild 6. Mittels der **Statusleiste** am unteren Bildrand (Bild 5) kann sehr komfortabel die Ansicht über die gleichnamige Schaltfläche geändert werden. In Bild 6 ist eine Isometrische Ansicht ausgewählt.

Bild 5: Die Statusleiste in Mastercam

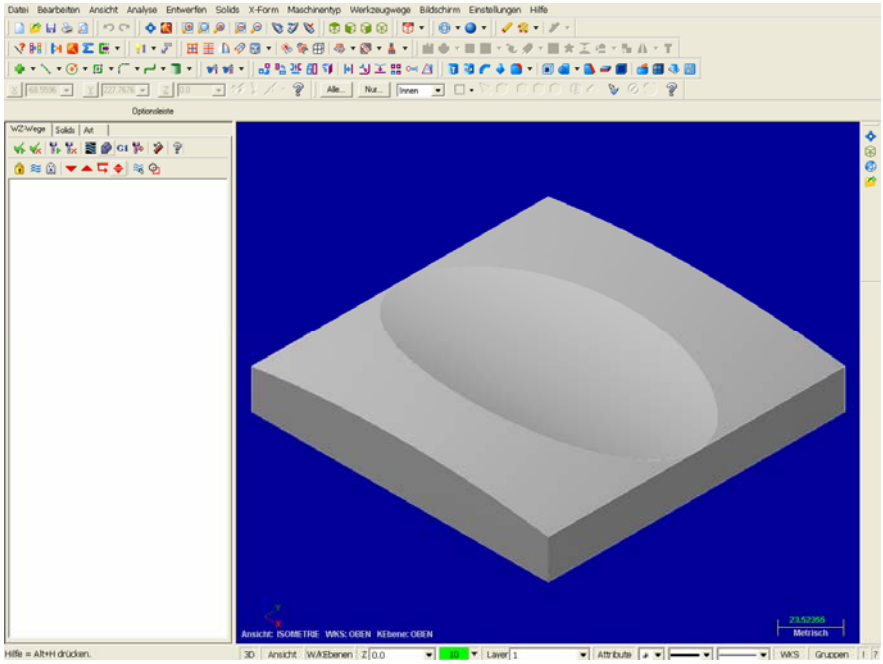


Bild 6: Das importierte CAD-Modell in Mastercam

10.3 Auswählen der Maschinendefinition und Rohteileinstellungen

Abhängig vom Fertigungsverfahren (Drehen, Fräsen, Drahterodieren) muss zunächst ein Maschinentyp und anschließend eine Maschinendefinition ausgewählt werden (Bild 7). Hiermit wird der CAM-Software mitgeteilt, welche Funktionalitäten an der realen Maschine zur Verfügung stehen: Dazu zählen beispielsweise die Anzahl und Anordnung der Achsen und Spindeln, sowie Informationen über die Spannmittel (z. B. Dreibackenfutter), die Abmessungen des Bearbeitungsraumes und die Werkzeugwechseleinrichtung.

Maschinentyp → Fräsen → 2 \...\Mill Default MM.MMD

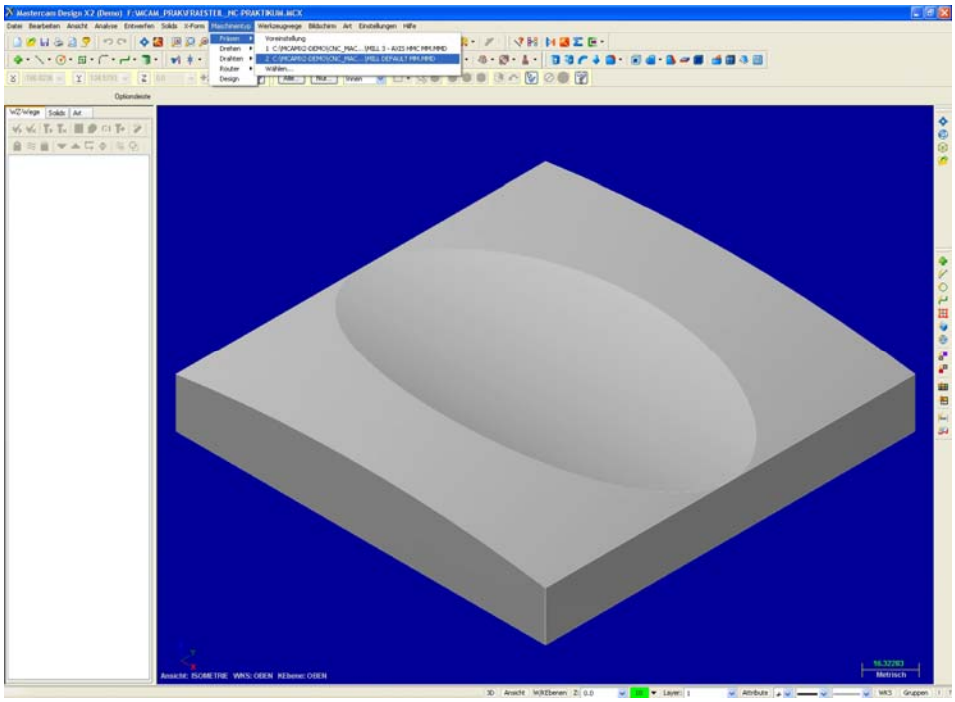


Bild 7: Auswählen der Maschinendefinition

In der Titelleiste wird nun „Mastercam Fräsen X2 (Demo)“ angezeigt und im WZ-Wege-Manager erscheint eine neue Maschinengruppe (Bild 8).

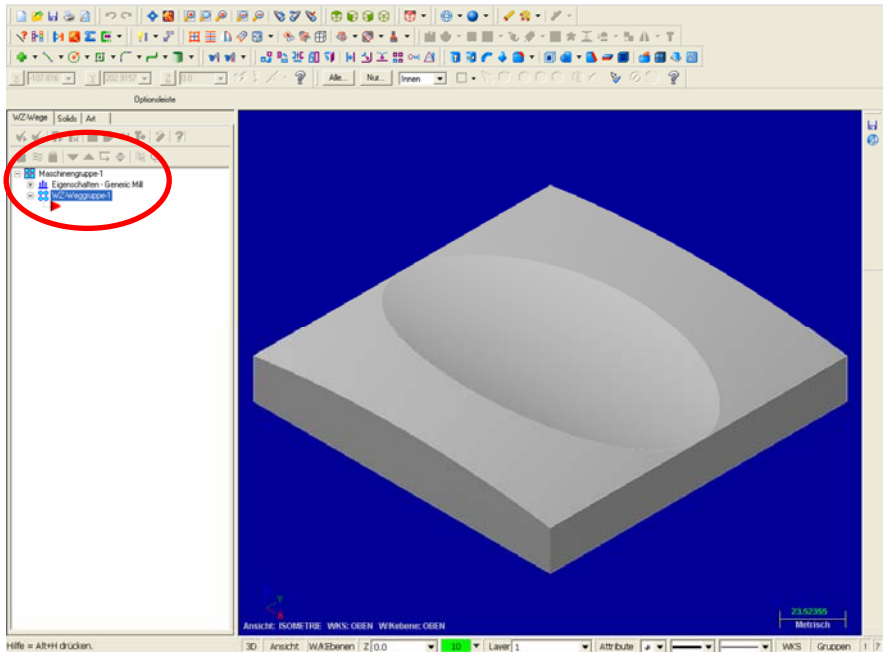
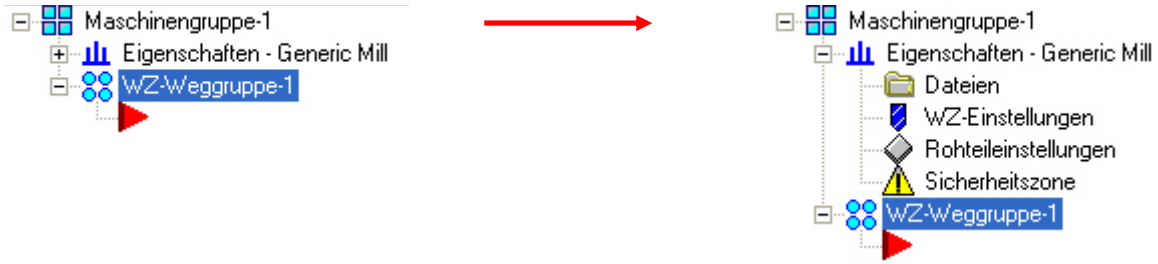


Bild 8: Maschinengruppe im WZ-Wege-Manager

Innerhalb des **Operationsmanagers** am linken Bildrand werden die Maschinengruppen und Werkzeugwege in der Reihenfolge des Erstellens erzeugt. Die Darstellung erfolgt hierbei analog der Windows-Explorer-Baumstruktur. Durch Klicken auf das Plus-Symbol ⊞ wird der entsprechende Zweig geöffnet, bzw. mit ⊟ wieder geschlossen:



Nach öffnen der Baumstruktur „Eigenschaften Generic Mill“ haben Sie Zugriff auf weitere Register:

Eigenschaften Generic Mill → + → Register Rohteileinstellungen

Klicken Sie auf **„Begrenzungsbox“**, bestätigen die nachfolgende Schaltfläche mit und übernehmen die Einstellungen von Bild 9. Das Rohteil wird nun im Graphikfenster rot eingerahmt dargestellt.

Register Werkzeugeinstellungen → „Vorschubberechnung vom Material“

Als Material ist Aluminium vorgesehen (Bild 10), es können jedoch aus der Mastercam-Bibliothek die gängigsten Materialien ausgewählt und gegebenenfalls neu definiert werden.

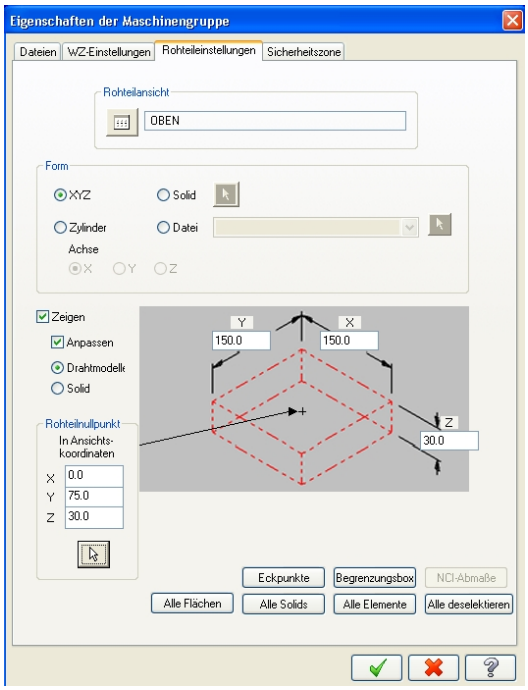


Bild 9: Rohteileinstellungen

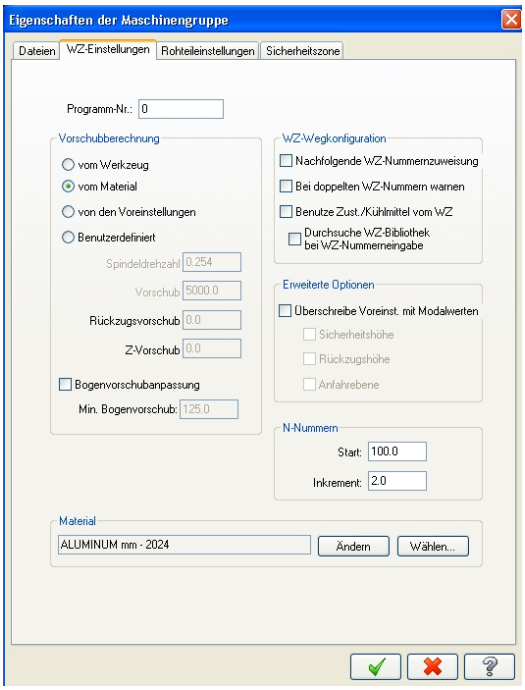


Bild 10: Werkzeugeinstellungen

Da im Maschinenlabor der HS-A die Kontur des Frästeiles auf einem hohen Aluminiumblock entsteht, ist eine Definition der Spannmittel (zur Crash-Vermeidung) nicht notwendig.

10.4 Werkzeugwege erstellen

10.4.1 Planfräsen

Zunächst wird die Oberseite der Kontur mit einem Schaftfräser plangefräst. Dieser Arbeitsschritt dient nur zur Beseitigung vorhergehender Übungsteile auf dem Alublock und könnte bei einer Einzelteilfertigung entfallen. Erzeugen Sie einen neuen Werkzeugweg über

Werkzeugwege → 2D–Planen.

Die nun folgenden Abfragen nach NC-Dateibezeichnung und Verkettung der Geometrie können mit bestätigt werden (Bilder 11 und 12). Mastercam wählt daraufhin das bereits definierte Rohteil automatisch aus.

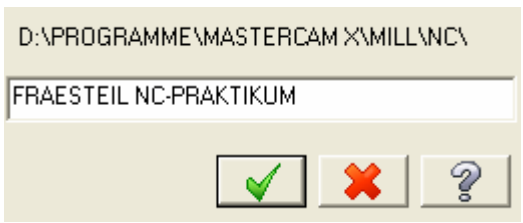


Bild 11:NC-Dateibezeichnung

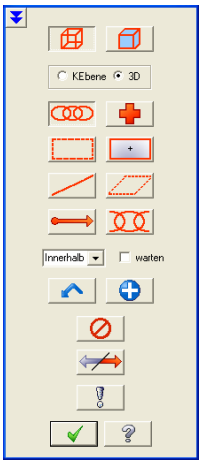


Bild 12: Verkettung

Wählen Sie einen **25mm Schaftfräser** aus der **WZ-Bibliothek** aus. Um aus allen verfügbaren Werkzeugen auswählen zu können, muss der Haken bei **„Filter aktiv“** entfernt werden.

Durch Kenntnis aller wichtigen Daten von Material und Werkzeug und der Vorgabe, alle Vorschübe anhand der Materialdaten zu wählen, berechnet die CAM-Software automatisch alle relevanten Technologiedaten, so dass diese übernommen werden können. Die noch fehlenden Angaben können Sie anhand der folgenden Bilder ersehen:

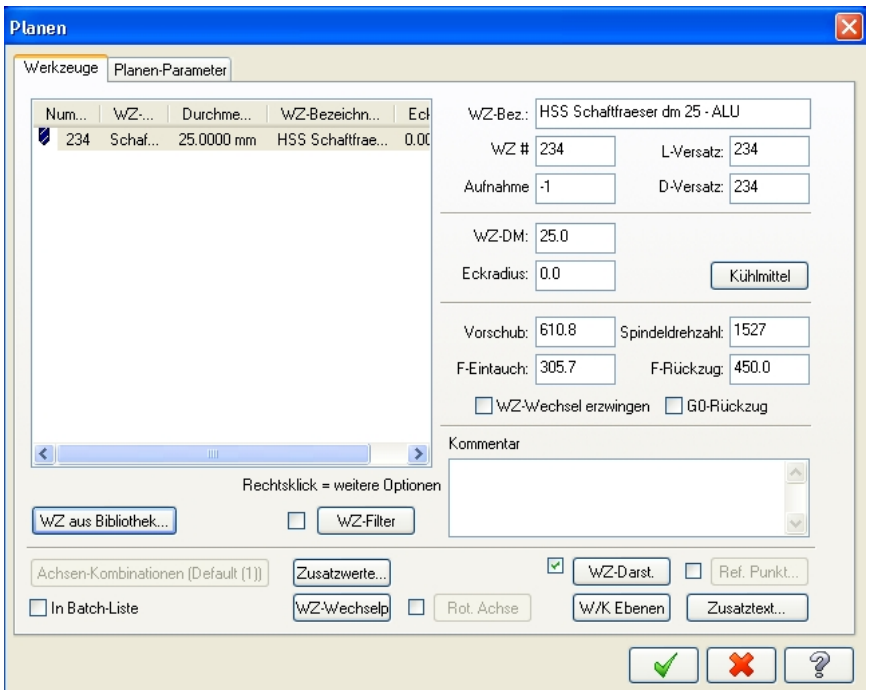


Bild 13: Werkzeugeinstellungen und Technologieparameter

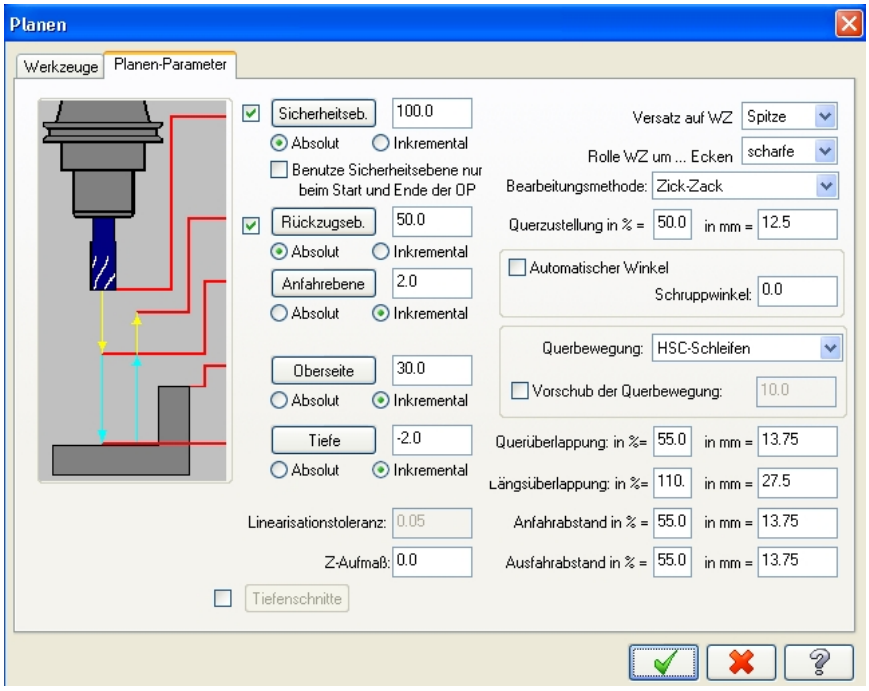


Bild 14: Planen-Parameter

Die Kühlmittelzufuhr kann unter Kühlmittel eingestellt werden, findet jedoch im Rahmen des Praktikums keine Verwendung.

Nach erfolgreicher Eingabe der Daten wird im Operationsmanager eine neue **Werkzeugweggruppe (WZ-Weggruppe)** erzeugt und im Graphikfenster die errechnete Werkzeugbahn angezeigt (Bild 15).

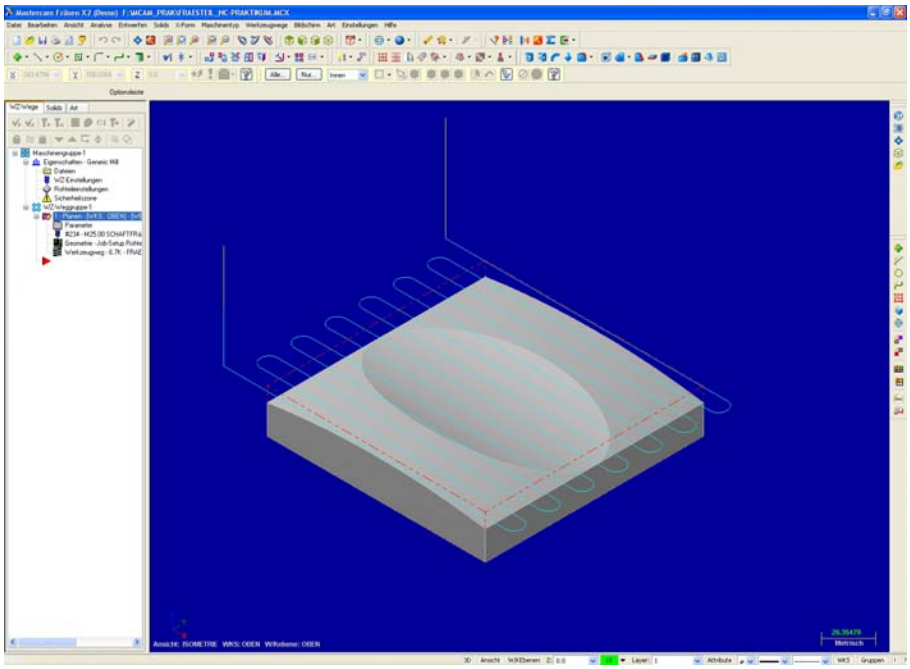


Bild 15: Neuer Werkzeugweg mit Darstellung der Werkzeugwege

Mit einem Klick auf das entsprechende Symbol in der geöffneten Baumstruktur gelangen Sie zu den jeweiligen Einstellungen (Parameter etc.), um sie zu ändern oder zu überprüfen.
Haben Sie Änderungen an einem WZ-Weg vorgenommen, erscheint dieser im WZ-Wege-Manager durchgestrichen und muss neu berechnet werden. Klicken Sie dazu auf den WZ-Weg und anschließend auf .

Simulation des erstellten WZ-Weges

Alle Werkzeugwege können einzeln oder auch in Kombination über das Anwählen von simuliert werden. Beachten Sie, dass immer nur aktive Arbeitschritte bearbeitet werden. Sie sind an einem grünen Haken zu erkennen und können mit den Schaltflächen und aktiviert bzw. deaktiviert werden.

Um den Planfräsvorgang zu simulieren, wählen Sie ihn im Operationsmanager an, klicken auf und es werden die Voreinstellungen zur **Simulation** angezeigt. Aktivieren Sie die Schaltflächen analog zu Bild 16. Schieben Sie den Mauszeiger über die jeweilige Schaltfläche um eine Kurzbeschreibung ihrer Funktion zu erhalten.

Zugriff auf weitere Informationen

Bild 16: Voreinstellungen zu Simulation

In der Funktions-Optionsleiste oberhalb des Grafikfensters erscheint folgende Symbolleiste:

Wie z. B. bei einem CD-Player können Sie hier die Simulation bedienen. Ist die Simulation beendet, verlassen Sie das Menü durch klicken von

Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, können **Werkzeugwege ein- bzw. ausgeblendet** werden. Um einen Werkzeugweg auszublenden selektieren Sie den Ordner des Fräsvorganges im WZ-Wege-Manager und drücken **Alt + T**, nochmaliges drücken blendet den WZ-Weg wieder ein.

10.4.2 Schruppen der Kontur

Werkzeugwege → Mehrflächenschruppen → Parallel

Nach Bestätigung von Bild 17 werden sie zunächst aufgefordert, die zu bearbeitende Geometrie anzugeben. Hierbei ist es notwendig, die **Solid-Selektion** mit zu aktivieren. Anschließend können Sie über sowohl Flächen, als auch Volumenkörper selektieren. Ein Symbol neben dem Mauszeiger informiert den Anwender bei der Bewegung der Maus über das 3D-Modell mit Hilfe von entsprechenden Symbolen:

Ein weißer Würfel für Körper-Auswahl (Solid)
Eine weiße Fläche für Flächenauswahl (Faces)

Wählen Sie die Körper-Auswahl und Klicken auf eine beliebige Linie der Kontur im Graphikfenster. Es wird automatisch die gesamte Kontur ausgewählt und gelb dargestellt. Beenden sie die Auswahl durch Mausklick auf oder alternativ durch drücken der Escape-Taste und bestätigen das folgende Fenster (Bild 18) mit .

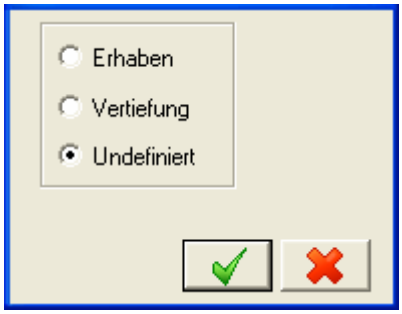


Bild 17: Erhebung der Flächen

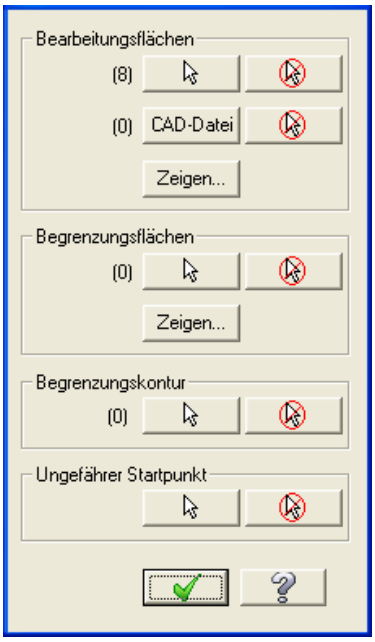


Bild 18: Auswahl der Flächen

Wählen Sie einen **12mm Kugelfräser** aus der WZ-Bibliothek aus und übernehmen wie gewohnt die Einstellungen der folgenden Bilder.

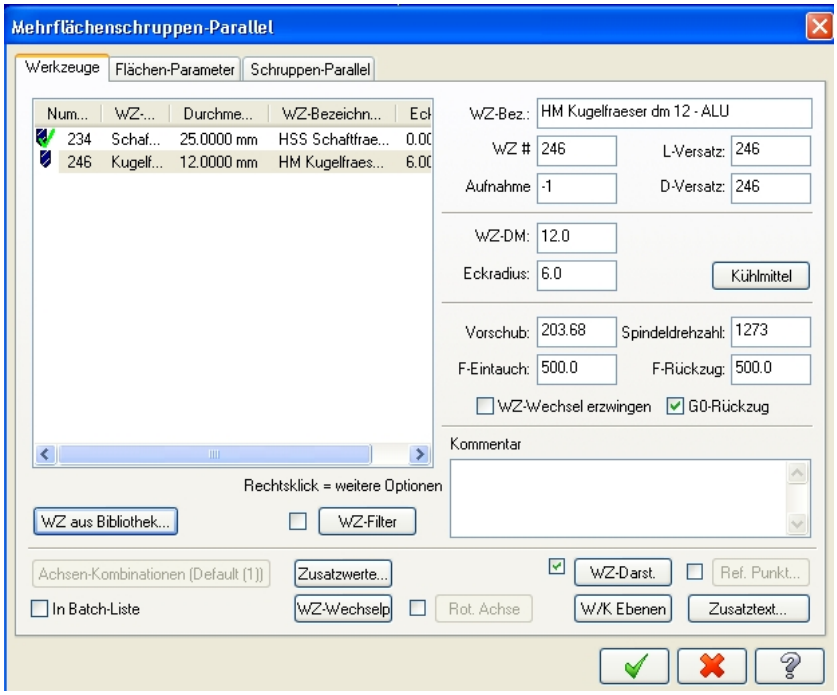


Bild 19: Werkzeugeinstellungen und Technologieparameter

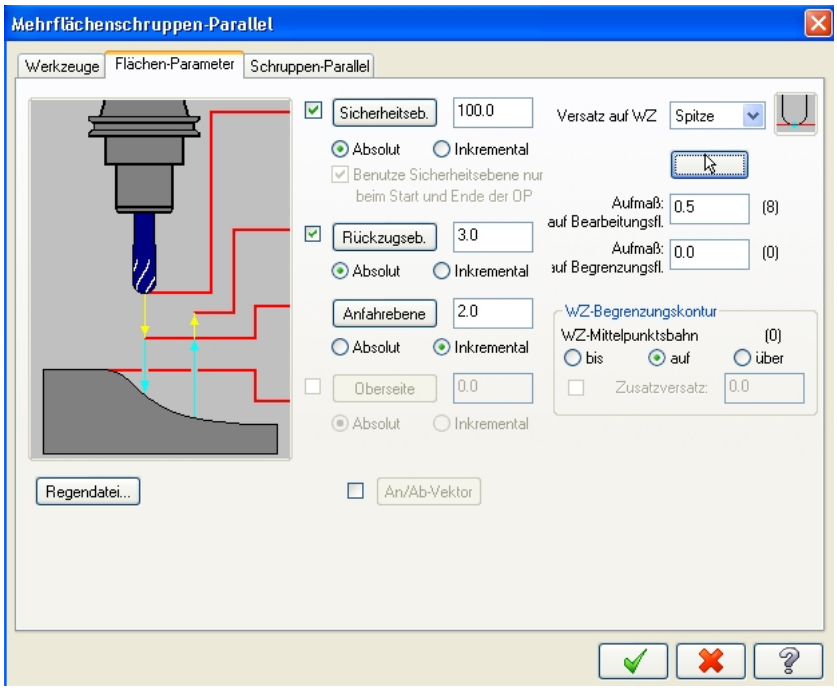


Bild 20: Flächenparameter

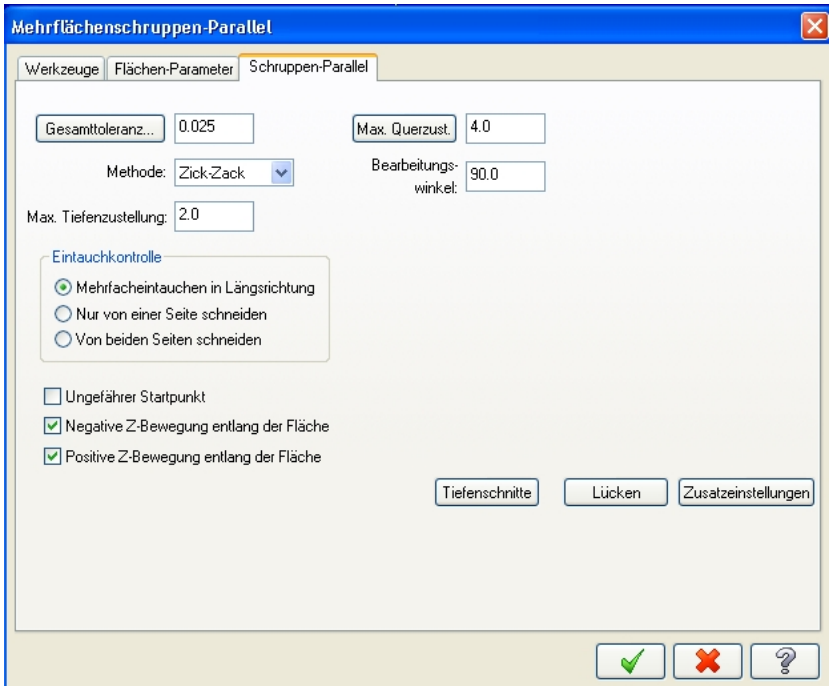


Bild 21: Einstellung der Verfahrwege

10.4.3 Schlichten der Kontur

Werkzeugwege → Mehrflächenschlichten → Parallel

Das Erzeugen des Werkzeugweges zum Schlichten läuft analog zum Schruppen. Der Großteil der Einstellungen kann beibehalten werden. Der größte Unterschied besteht im kleineren Versatz von einer Fräsbahn zur Nächsten. Folglich werden wesentlich mehr Verfahrwege (und somit auch mehr Programmzeilen) erzeugt.

Wählen Sie nach der Geometrieabfrage einen 3mm Kugelfräser aus der **WZ-Bibliothek** aus und übernehmen Sie die Einstellungen der folgenden Bilder:

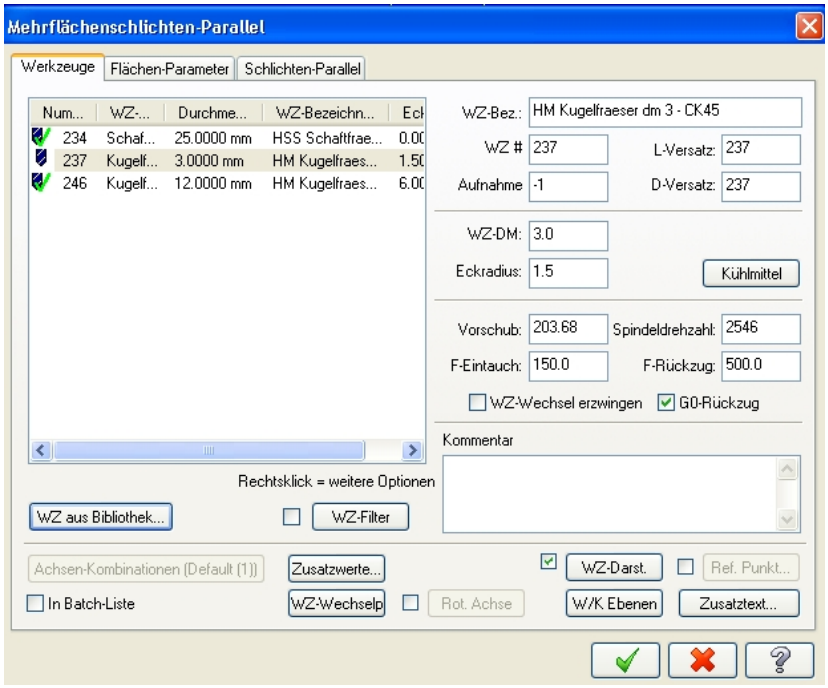


Bild 22: Werkzeugeinstellungen und Technologieparameter

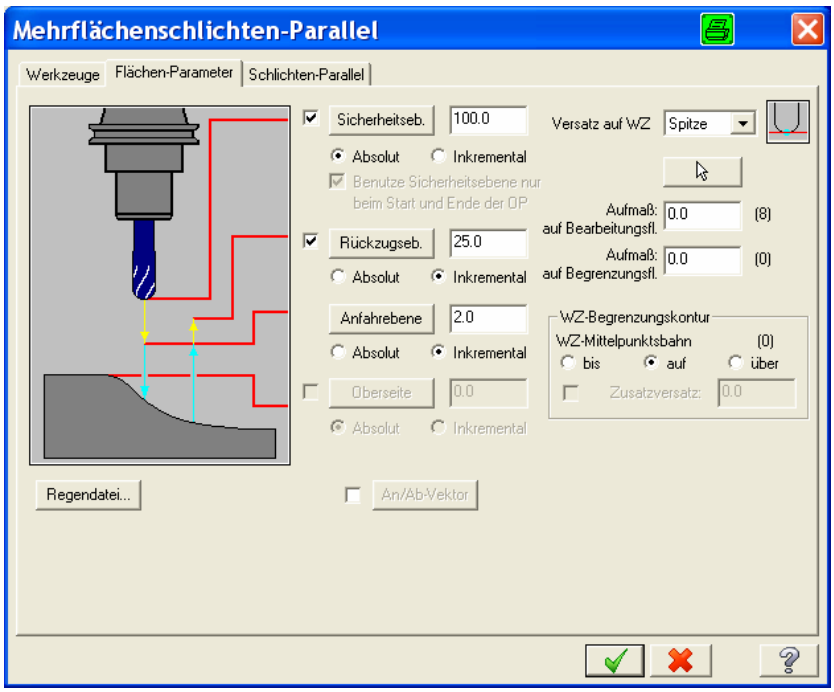


Bild 23: Flächenparameter

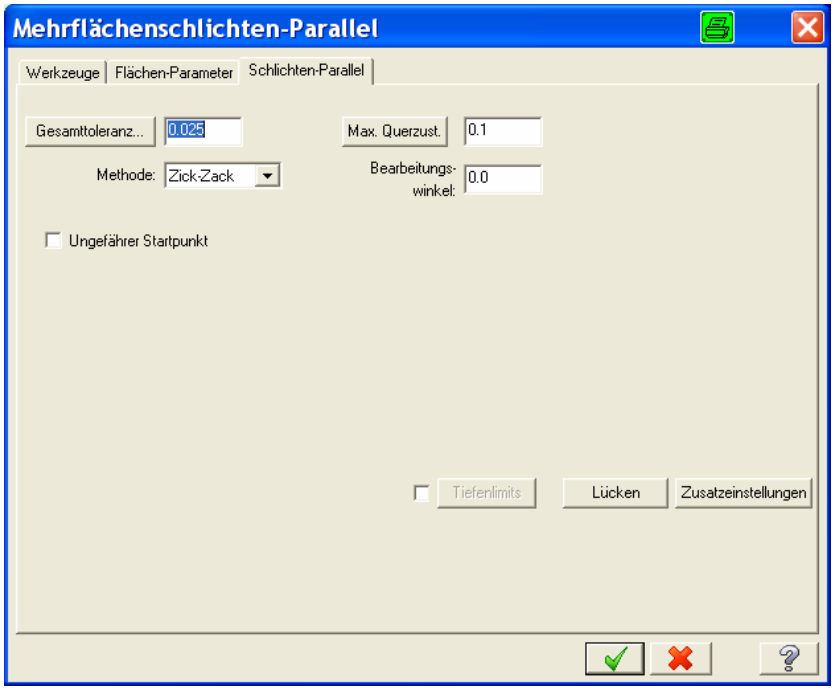


Bild 24: Einstellung der Verfahrwege

10.5 Simulation der gesamten Bearbeitung

Die Bearbeitungsschritte und ihre Ergebnisse können auch als dreidimensionale Animation dargestellt werden. Wählen Sie hierzu ebenfalls alle WZ-Wege im WZ-Wege-Manager aus und aktivieren Sie anschließend die Funktion **Verify**

Auf leistungsschwächeren Rechnern empfiehlt es sich, zugunsten der Geschwindigkeit auf eine hohe Qualitätsstufe zu verzichten. Über einen Schieberegler in der Verify-Umgebung können Sie dies leicht anpassen (Bild 25). Schieben Sie den Mauszeiger auf die Schaltflächen um eine Kurzbeschreibung ihrer Funktionen zu erhalten.

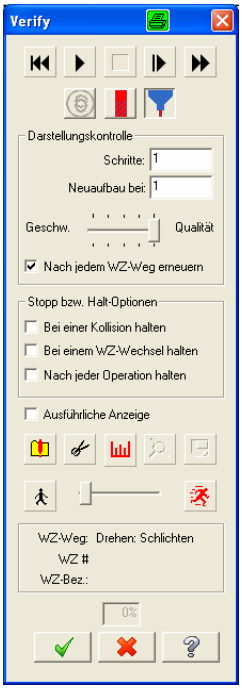


Bild 25: Einstellungen für Verify

10.6 Postprozessorlauf - Erzeugung des NC-Programms

Nachdem Sie Verify verlassen haben, sollten noch immer alle Werkzeugwege ausgewählt sein. Ist dies nicht der Fall, selektieren Sie erneut sämtliche Werkzeugwege.

Klicken Sie zur Erzeugung des NC-Programms auf die Schaltfläche Operationen Posten

Bestätigen Sie das nachfolgende Fenster, ohne daran Änderungen vorzunehmen. Wählen Sie anschließend den Speicherort und Dateinamen für die NC-Datei aus und klicken Sie auf Speichern. Der Postprozessorlauf startet. Ist er beendet, wir automatisch der Editor mit dem erstellten NC-Programm geöffnet, welches hier kontrolliert und gegebenenfalls manuell geändert werden kann.

Erscheint das dargestellte NC-Programm in schwarzer Schrift, sind beim Postprozessorlauf keine Fehler aufgetreten. Wird der NC-Code in verschiedenen Farben dargestellt, überprüfen Sie das Verzeichnis, in dem sich Ihr NC-Programm befindet, auf Error-Logs (Fehlerberichte) und nehmen Sie eventuelle Korrekturen vor.