

# **Praktikum Werkstofftechnologie**

## **2. Semester Masterstudiengang**



### **Versuch WT1**

#### **CNC – Bearbeitung metallischer Werkstoffe**

##### **Versuchsziel und Aufgabenstellung:**

Erarbeitung von Kenntnissen zur prinzipiellen Funktionsweise von CNC –Werkzeugmaschinen und deren Programmierung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Methoden, Anwendung der Erkenntnisse anhand eines einfachen Bearbeitungsbeispiels.

# 1. Grundlagen

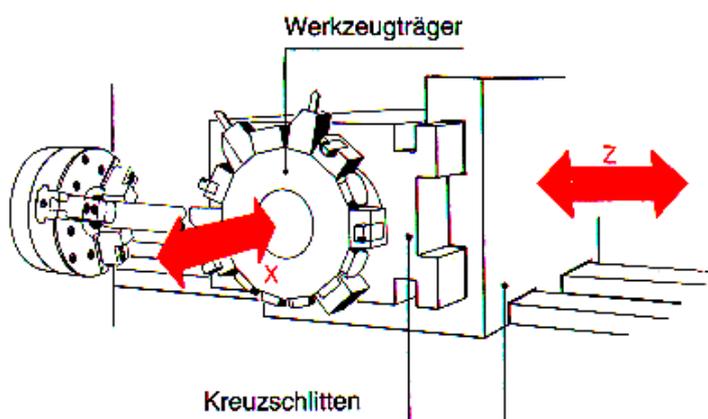
## 1.1 Entwicklung von Steuerungssystemen für Werkzeugmaschinen

Der Übergang von der Mechanisierung zur Automatisierung von Bearbeitungsabläufen hat sich in den letzten etwa 150 Jahren vollzogen. Die Entwicklung ging dabei von der rein mechanischen Kurven-, Hebel- und Nockensteuerung über hydraulische, elektrische und elektrohydraulische Positionier- und Nachformsteuerungen hin zur elektronischen Steuerung.

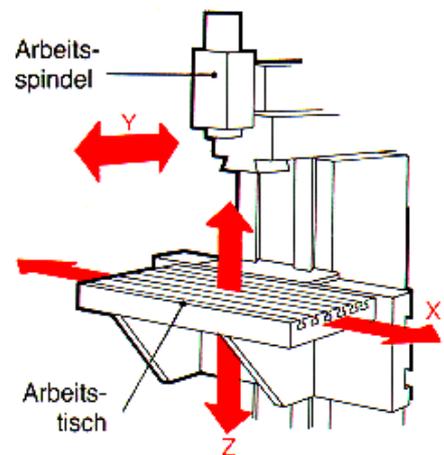
Seit 1960 kommen numerische Steuerungen (NC von Numerical Control) und seit 1970 speicherprogrammierbare und rechnergeführte Steuerungen (CNC von Computerized Numerical Control) zur Anwendung. Die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der numerischen Maschinensteuerungen in den letzten Jahren wurde insbesondere durch die immense Zunahme der Leistungsfähigkeit elektronischer Bauelemente begünstigt. [1].

## 1.2 Grundprinzip von CNC-Systemen

Grundlage für die CNC – Steuerung von Werkzeugmaschinen sind festgelegte „Achsen“, d.h. Bewegungsrichtungen von motorisch verfahrbaren Maschinenteilen (Arbeitstisch, Arbeitsspindel, Werkzeugträger etc.), die automatisch bewegt werden können und über ein integriertes Meßsystem ständig ihre aktuelle Position an die Steuerung zurückmelden.



2-Achsen – Drehmaschine



3-Achsen – Fräsmaschine

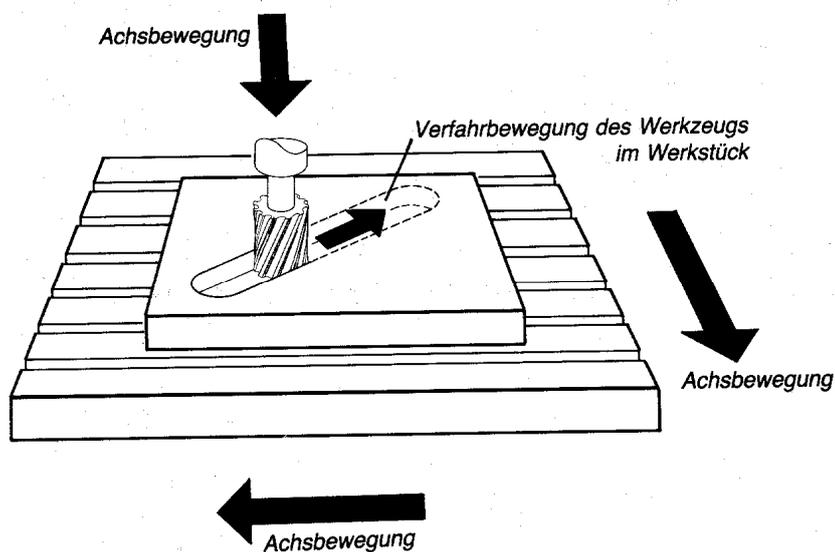
### **Bild 1: Koordinatenachsen von CNC-Werkzeugmaschinen**

Richtung und Bezeichnung der Achsen einer CNC – Maschine sind in der Norm DIN 66217 „Koordinatenachsen und Bewegungsrichtungen für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen“ festgelegt. Beispiele für eine 2- bzw. 3-Achsenmaschine sind in **Bild 1** dargestellt.

Bei den Meßsystemen unterscheidet man die direkte und die indirekte Positionsmessung, die wiederum absolut (codierte Messskala mit den realen Positionswerten) oder inkremental (Strichmaßstab, aus der Anzahl der überfahrenen Hell – Dunkel - Übergänge wird die verfahrene Strecke relativ zur letzten Position oder bezogen auf einen Referenzpunkt ermittelt) arbeiten können. Weitergehende Informationen dazu in [2].

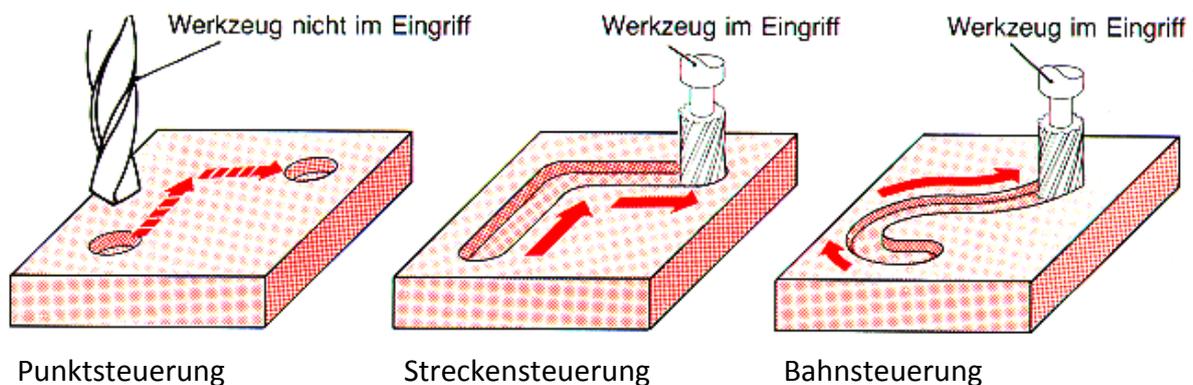
Üblicherweise werden in modernen CNC-Werkzeugmaschinen direkte inkrementale Wegmeßsysteme eingesetzt, die eine hohe Genauigkeit und eine gute Flexibilität bezüglich der Festsetzung verschiedener Koordinatenursprünge aufweisen.

Das Zusammenspiel der über die Steuerung koordinierten Achsbewegungen führt zu Verfahrbewegungen des Werkzeuges am oder im Werkstück und in Verbindung mit der Schnittbewegung zur Erzeugung einer bestimmten, vorgegebenen Werkstückkontur (**Bild 2**).



**Bild 2: Erzeugung der Werkzeugverfahrbewegung**

Bezogen auf die unterschiedliche Fähigkeit von Steuerungen, verschiedene Achsbewegungen zu überlagern, spricht man von einer Punkt-, Strecken- oder Bahnsteuerung (Bild 3).



**Bild 3: Steuerungsarten**

## **1.3. Programmierung**

### **1.3.1. Koordinatensysteme**

Voraussetzung für die Programmierung von Werkstückkonturen ist die Vereinbarung von Koordinatensystemen innerhalb der Maschine unter Berücksichtigung der vorhandenen Achsen.

Das Maschinenkoordinatensystem mit dem Maschinennullpunkt als Ursprung wird vom Hersteller festgelegt und ist aufgrund der konstruktiven Gegebenheiten unveränderlich. Innerhalb dieses Systems wird bei Maschinen mit inkrementellen Maßstäben ein Referenzpunkt für jede Achse festgelegt, der nach dem Einschalten der Maschine jeweils anzufahren ist. Dadurch erfolgt der Abgleich zwischen dem festgelegten Maschinenkoordinatensystem und dem frei verschiebbaren Werkstückkoordinatensystem, dessen Ursprung (Werkstücknullpunkt) entsprechend des zu fertigenden Werkstückes vom Programmierer festgelegt wird. [1]

### **1.3.2. Datenaufbereitung für die CNC - Steuerung**

Die Steuerinformationen werden aus einer Vielzahl von Eingangsdaten gewonnen. Dazu gehören insbesondere die Werkstückgeometrie (Roh- und Fertigteilabmessungen, Rauheitsforderungen etc.), die Technologiedaten (Werkstoff, Schneidstoff und davon abgeleitet Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit, Reihenfolge der Arbeitsgänge usw.) und die Maschinenparameter (Drehzahl- und Vorschubbereich, Arbeitsraum, Spannmittel, Werkzeuge etc.). Die genannten Informationen müssen entsprechend aufbereitet und in eine maschinenlesbare Form gebracht werden, dabei entsteht das CNC – Programm. [1]

### **1.3.3. Programmaufbau**

Ein CNC - Programm besteht aus Sätzen, wobei jeder Satz eine Programmzeile darstellt, deren Einzelanweisungen durch die Steuerung gelesen und abgearbeitet werden. Sätze müssen immer mit einem Satzendezeichen (LF) abgeschlossen werden und sie können am Anfang eine Satznummer enthalten (manche Steuerungen verlangen in jedem Satz eine Satznummer, bei anderen nummeriert man nur die Sätze, die später wieder angesprungen werden sollen).

Außerdem ist es möglich, aus einem Hauptprogramm Unterprogramme aufzurufen (etwa bei häufig wiederkehrenden Formelementen), wobei Haupt- und Unterprogramme je nach Steuerung auch mehrfach verschachtelt sein können. [1], [2].

Viele Steuerungen bieten inzwischen auch fertige Bearbeitungszyklen an, die als universelle Unterprogramme in der Steuerung abgespeichert sind. Der Programmierer gibt dann nur noch die entsprechenden Parameter für die konkrete Bearbeitung an, die meist im Dialogbetrieb abgefragt werden, und in wenigen Schritten hat man einen relativ komplexen Vorgang programmiert.

Die Einzelanweisungen werden in einem festgelegten Maschinencode beschrieben, der im Wesentlichen durch die DIN 66025 vorgegeben wird. Einige dieser Standardanweisungen sind im Folgenden aufgelistet und beschrieben.

<b>G00</b> Verfahren im Eilgang	<b>G01</b> Geradeninterpolation
<b>G02</b> Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn	<b>G03</b> Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn
<b>M03</b> Spindel ein Rechtslauf	<b>M04</b> Spindel ein Linkslauf
<b>M00</b> Programmierter Halt, alles aus	<b>M05</b> Spindel stopp
<b>M30</b> Programmende, Rücksprung	<b>M17</b> Unterprogrammende, Rücksprung
<b>D04</b> Werkzeugkorrekturspeicher 4	<b>T04</b> Aufruf Werkzeug 4
<b>S2000</b> Spindeldrehzahl 2000 min <sup>-1</sup>	<b>F0.02</b> Vorschub 0,02 mm/Umdrehung
<b>X25.3</b> Koordinatenangabe X-Achse	<b>Y8.34</b> Koordinatenangabe Y - Achse
<b>Z0.000</b> Koordinatenangabe Z-Achse	<b>LF</b> line feed = Satzende

Viele Steuerungen bieten inzwischen auch fertige Bearbeitungszyklen an, die als universelle Unterprogramme in der Steuerung abgespeichert sind. Der Programmierer gibt dann nur noch die entsprechenden Parameter für die konkrete Bearbeitung an, die meist im Dialogbetrieb abgefragt werden, und in wenigen Schritten hat man einen relativ komplexen Vorgang programmiert.

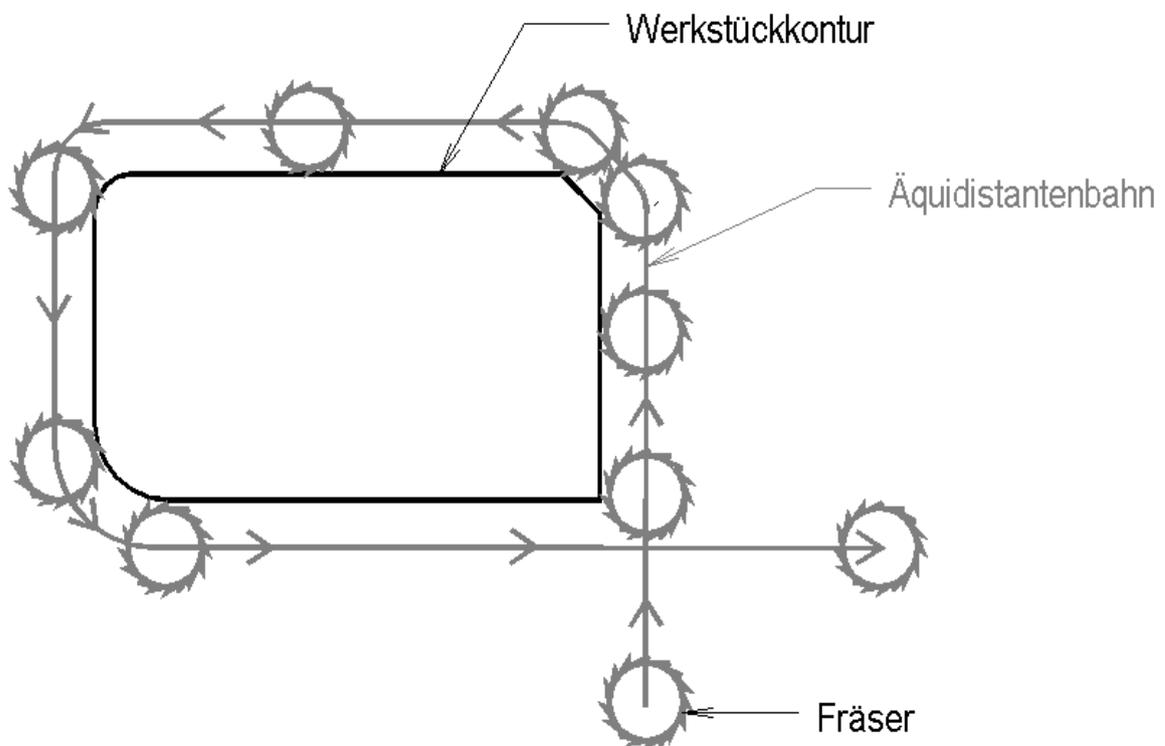
#### **1.3.4. Automatische Werkzeug-Radienkorrektur**

Wenn zum Beispiel die Kontur eines Werkstückes mit einem umfangsschneidenden Fräser hergestellt werden soll, so muss sich der Fräser auf einer Äquidistantenbahn mit dem Abstand des Fräserradius zur gewünschten Kontur bewegen (Bild 4). Die Koordinaten dieser Bahn sind jedoch nicht aus der Werkstückzeichnung zu übernehmen, die Stützpunkte der Fräserbahn müssten einzeln errechnet werden. Um dem Bearbeiter das zu ersparen, verfügen die meisten Steuerungen über eine automatische Radienkorrektur, die anhand der Koordinaten der Werkstückkontur und des einzugebenden Werkzeugradius unter

Auswertung der jeweiligen Bahnrichtung die korrekte Fräserbahn berechnet. Damit das funktioniert müssen jedoch einige Regeln für den Programmaufbau berücksichtigt werden, da die Steuerung zur Ermittlung der Bahnrichtung immer einige Sätze „vorausliest“.

Die Radienkorrektur kommt auch beim Drehen zur Kompensation des Eckenradius des Werkzeuges oder beim Schleifen zur Korrektur der Formabweichung durch den Kantenradius der Schleifscheibe zum Einsatz. [1], [2]

Bezogen auf die DIN-ISO-Programmierung unterscheidet man Anweisungen für 3 Fälle der Radienkorrektur: **G41** – Bahn links von der Kontur, **G42** – Bahn rechts von der Kontur und **G40** – Radienkorrektur ausgeschaltet.



**Bild 4: Prinzip der Radienkorrektur**

Für die in Bild 4 dargestellte Bearbeitung müsste demzufolge im Programm die Anweisung G42 stehen.

### 1.3.5. Möglichkeiten der Programmierung

Neben der bereits erwähnten Bereitstellung fertiger Bearbeitungszyklen innerhalb der Steuerungen sind in den letzten Jahren weitere Werkzeuge und Verfahren entwickelt worden, die der Minimierung des Programmieraufwandes dienen.

Eine der Möglichkeiten ist die sogenannte Dialogprogrammierung, die sich insbesondere für die werkstatorientierte Fertigung von Einzelteilen oder kleineren Serien bewährt hat. Dabei werden direkt an der Maschine entsprechende Bahnelemente aus der Werkstückzeichnung eingegeben, deren spezifische Parameter durch die Steuerung im Dialog erfragt werden. Eine ähnlich gelagerte Variante stellt das sogenannte „Pictogramming“ dar, bei dem bestimmte Bearbeitungszyklen durch Symbole dargestellt werden und entsprechend der aktuellen Arbeitsaufgabe auf dem Display aneinandergereiht und mit aktuellen Parametern versehen werden können.

Die höchste Stufe stellen dann die CAD/CAM – Systeme dar, bei denen aus der am Computer erstellten Werkstückdarstellung über sogenannte Postprozessoren im Rechner direkt die CNC – Programme für die Fertigung der Teile erstellt werden. Inzwischen existieren richtige „Expertensysteme“, die neben den geometrischen Daten auch gleich die technologischen Parameter automatisch ermitteln und so den gesamten Fertigungsablauf steuern.

## **2. Versuchseinrichtungen**

### **2.2. CNC – Drehmaschine „Spinner SB-CNC“ (Fa. Spinner)**

Dies ist eine Drehmaschine kleinerer Bauart in Schrägbettausführung mit 8-fach Revolverkopf für die Herstellung von Futterteilen. Als Steuerung kommt der Typ 810T (SIEMENS) zum Einsatz. Die Programmierung erfolgt entsprechend DIN-ISO 66025.

Es sind verschiedene Bearbeitungszyklen möglich, die in der Lage sind, eine automatische Schnittaufteilung vorzunehmen. Mittels einer einfachen grafischen Simulation kann die Lauffähigkeit von Programmen und zum Teil die Kollisionsfreiheit vor der Bearbeitung überprüft werden.

### **2.1. 5-Achs- CNC – Fräsmaschine Ultrasonic 20 (DMG, Fa. Sauer)**

Dies ist ein modernes Hochgeschwindigkeits-5-Achs-Bearbeitungszentrum kleinerer Bauart. Der Bearbeitungsraum umfasst 200 x 200 x 300 mm. Auf dieser Maschine können verschiedene Fräs- Bohr- und Gewindefräsoptionen sowie konventionelle und/oder ultraschallunterstützte Schleifverfahren zur Bearbeitung harter Materialien durchgeführt werden. Durch die 2 Schwenkachsen ist eine 5-Seitenbearbeitung komplexer Werkstücke möglich. Die Programmierung erfolgt manuell über die Steuerung oder per Rechnersteuerung und CAD – CAM – Software über eine Netzwerkanbindung.

### **3. Versuchsdurchführung**

#### **3.1. Drehen**

- Einweisung in die Bedienung der Steuerung SIEMENS 810T durch den Versuchsbetreuer
- Erarbeitung eines DIN-ISO-Programmes zur Bearbeitung eines Drehteiles (siehe beiliegende Zeichnungen) mit folgenden Schritten:
  - Festlegung des Werkstück-Nullpunktes
  - Erstellung der Koordinaten- Tabelle für wichtige Stützpunkte
  - Programmieren der Kontur
  - Einbeziehung der Schnittaufteilung und der Werkzeug-Radienkorrektur
  - Nutzung der angebotenen Bearbeitungszyklen
  - Programmtest durch Simulation
  - Bearbeitung des Werkstückes mit dem aufgestellten CNC-Programm im Automatikmodus

#### **3.2. Fräsen**

In Abhängigkeit von der nach dem CNC-Drehen verbliebenen Zeit erfolgt eine kurze Vorstellung des 5-Achs-Bearbeitungszentrums und die Demonstration eines fertigen Bearbeitungsprogramms.

### **4. Auswertung**

Die Auswertung des Praktikumsversuchs erfolgt in Form eines Protokolls. Darin sollten die erlernten Grundlagen in einem kurzen Überblick zusammengefasst werden. Anhand des eigenen CNC-Programms werden die einzelnen Bearbeitungsschritte erläutert (Kommentare zu den Bearbeitungsschritten und CNC-Sätzen)

### **5. Literatur**

/1/ N.N. CNC-Ausbildung für die betriebliche Praxis, Teil 1: Grundlagen,  
Hrsg. Institut für angewandte Organisationsforschung  
Carl Hanser Verlag München Wien 1985

- /2/ N.N. CNC-Ausbildung für die betriebliche Praxis, Teil 3: Drehen,  
Hrsg. Institut für angewandte Organisationsforschung  
Carl Hanser Verlag München Wien 1985
- /3/ N.N. CNC-Ausbildung für die betriebliche Praxis, Teil 4: Fräsen,  
Hrsg. Institut für angewandte Organisationsforschung  
Carl Hanser Verlag München Wien 1985
- /4/ Weck, M. Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme, Band 1,  
Maschinenarten, Bauformen und Anwendungsbereiche  
VDI Verlag Düsseldorf 1991
- /5/ Weck, M. Werkzeugmaschinen, Band 3, Automatisierung und Steuerungstechnik  
VDI Verlag Düsseldorf 1991
- /6/ N.N. DIN 66217: Koordinatenachsen und Bewegungsrichtungen  
für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen
- /7/ N.N. DIN 66025: Programmaufbau für numerisch gesteuerte  
Arbeitsmaschinen
- /8/ Internet: wikipedia, google etc.