

MATHEMATISCH TECHNISCHE
SOFTWARE-ENTWICKLUNG GMBH

CNC-Grundlagen

MTS TeachWare Student's Book

CNC-Grundlagen
MTS TeachWare Student's Book

© MTS Mathematisch Technische Software-Entwicklung GmbH

Kaiserin-Augusta-Allee 101 • D-10553 Berlin

Phone: +49 / 30 / 349 960 - 0

Fax: +49 / 30 / 349 960 - 25

eMail: mts@mts-cnc.com

World Wide Web: <http://www.mts-cnc.com>

Created by Bernd Koch & Bernd Mrosko, 1998.

Inhalt

1 Einführung in die CNC-Technik.....	7
1.1 Geschichtliche Entwicklung der CNC-Technik	7
Phasen der Entwicklung von konventionellen Werkzeugmaschinen bis zum Computer Integrated Manufacturing (CIM)	7
1.2 Vergleich von konventionellen und CNC-Werkzeugmaschinen	8
Aufbau	8
Funktion	9
Wirtschaftlichkeit.....	10
1.3 Konstruktionsmerkmale moderner CNC-Werkzeugmaschinen.....	11
Steuerbare Vorschub- und Drehachsen	11
Wegmeßsysteme.....	13
Hauptantrieb und Arbeitsspindeln.....	15
Werkstückspannmittel	16
Werkzeugwechseleinrichtungen	16
Arbeitsschutz an CNC-Werkzeugmaschinen	18
Kenntnistest „CNC-Grundlagen“	19
2 Geometrische Grundlagen für die CNC-Bearbeitung	21
2.1 Koordinatensysteme an CNC-Werkzeugmaschinen	21
Arten von Koordinatensystemen.....	21
kartesisches Koordinatensystem	21
Polarkoordinatensystem	23
Maschinen- bzw. Werkstückbezogene Definition eines Koordinatensystems.....	24
Vorschub- und Drehachsen an CNC-Werkzeugmaschinen	28
Lage und Bezeichnung der NC-Achsen.....	28
Bewegungsrichtungen an CNC-Werkzeugmaschinen	29
NC-gerechte Bemaßung.....	29
CNC-Demo	31
Werkstatt.....	32
2.2 NC-Mathematik	33
Grundlagen der Koordinatenberechnung	33
Kenngrößen eines Dreiecks	33
Winkel am Dreieck.....	33
Rechtwinkliges Dreieck.....	34
Trigonometrische Funktionen	35
Berechnung von NC-Koordinaten	36
2.3 Null- und Bezugspunkte an CNC-Werkzeugmaschinen	38
Arten von Null- und Bezugspunkten	38
Setzen des Werkstücknullpunktes W an einer CNC-Drehmaschine	41
Setzen des Werkstücknullpunktes W an einer CNC-Fräsmaschine	42

2.4 Numerische Steuerungen an CNC-Werkzeugmaschinen	53
Steuerkette und Regelkreis.....	53
CNC-Steuerung.....	53
Aufbau und Funktion	53
Dateneingabe und Datenverarbeitung	53
Arten von CNC-Steuerungen	56
DNC-Betrieb.....	59
Merkmale des DNC-Betriebs	59
Dateneingabe und Datenverarbeitung im DNC-Betrieb	59
Vorteile des DNC-Betriebs	60
2.5 Werkzeugkorrekturen für die CNC-Bearbeitung	61
Sinn und Zweck der Arbeit mit Werkzeugkorrekturwerten	61
Werkzeuglängenkorrektur beim Fräsen und Drehen.....	61
Werkzeugradiuskorrekturen.....	62
Fräserradiuskorrektur (Fräsen)	62
Schneidenradiuskorrektur (Drehen).....	64
Werkzeugmessung und -einstellung mit einem Einstellgerät	68
Aufbau und Funktion eines Werkzeugvoreinstellgerätes.....	68
Vorgehen bei Werkzeugmessung und -einstellung	69
Werkzeugmessung und -einstellung mit Hilfe der CNC-Maschine.....	70
Direkte Werkzeugvermessung an der CNC-Drehmaschine	70
Ermittlung von Soll-Ist-Abweichungen mit verschiedenen technischen Hilfsmitteln	70
2.6 Wegmeßsysteme	74
Vorschübe, Lagesteuerung und Lageregelung der NC-Achsen	74
Wegmeßverfahren	74
Absolute und inkrementale Wegmessung	74
Kenntnistest „Geometrische Grundlagen“	84
3 Technologische Grundlagen für die CNC-Bearbeitung	85
3.1 CNC-Werkzeugsysteme für das Drehen und Fräsen	85
Werkzeugaufnahmen.....	85
Werkzeughalter	85
Hartmetall-Wendeschneidplatten.....	86
3.2 Aufbau und Einsatz von Drehwerkzeugen für die CNC-Bearbeitung	90
Arten von Drehwerkzeugen und ihre ISO-Kurzbezeichnung	90
Schneidstoffe	91
Diamant.....	92
Schneidengeometrie	93
Verschleiß und Standzeit	94
Schnittwerte	95
Beispiele zur Berechnung technologischer Werte für die CNC-Bearbeitung.....	97

3.3 Aufbau und Einsatz von Fräswerkzeugen für die CNC-Bearbeitung	102
Fräsen und Fräsverfahren	102
Arten von Fräswerkzeugen und ihre ISO-Kurzbezeichnung.....	104
Schneidstoffe	105
Diamant.....	105
Schneidengeometrie.....	106
Schnittwerte	108
Beispiele zur Berechnung technologischer Werte für die CNC-Bearbeitung	110
3.4 Berechnung technologischer Werte für die CNC-Bearbeitung	115
Beispiele zur Berechnung technologischer Werte für die CNC-Drehbearbeitung	115
Beispiele zur Berechnung technologischer Werte für die CNC-Fräsbearbeitung.....	123
3.5 CNC-Spannsysteme	128
Arten von Spannsystemen	128
Arten und Bezeichnung von Spannmitteln zum Drehen	131
Arten und Bezeichnung von Spannmitteln zum Fräsen.....	140
Kenntnistest „Technologische Grundlagen“	151
4 Einführung in die NC-Programmierung	153
4.1 Arbeitsorganisation und -ablauf bei der manuellen NC-Programmierung	153
Gegenüberstellung der Vorgehensweise bei konventioneller und CNC-Arbeitsvorbereitung	153
Organisatorische Zuordnung der NC-Programmierung.....	154
Programmerstellung in der Arbeitsvorbereitung	154
Programmerstellung im Werkstattbereich	155
Unterschied zwischen manueller und maschinelle Programmierung	155
Prinzipielles Vorgehen bei der manuellen NC-Programmierung an einem Programmierplatz.....	157
Qualitätssicherung in der CNC-Fertigung.....	159
4.2 Grundlagen der NC-Programmierung	160
Normung der NC-Programmierung	160
Aufbau eines NC-Programms.....	160
Struktur eines Programmsatzes	161
Struktur eines Programmwortes	161
Vergleichende Darstellung der NC-Programmierschlüssel verschiedener CNC-Steuerungen....	163
4.3 Einführung in die manuelle NC-Programmierung	168
Vorgehensweise bei der manuellen NC-Programmierung	168
Analyse von Werkstattzeichnungen.....	168
Festlegung von Arbeitsplänen	169
Auswahl von Spannmitteln und den benötigten Werkzeugen	170
Erstellung des NC-Programmes	170
Manuelle NC-Programmierung Drehen	171
Manuelle NC-Programmierung Fräsen.....	191
Kenntnistest „Einführung in die NC-Programmierung“	206
Anhang	
Lösungen	207
Antworten zu den Kenntnistests.....	211

1 Einführung in die CNC-Technik

1.1 Geschichtliche Entwicklung der CNC-Technik

Phasen der Entwicklung von konventionellen Werkzeugmaschinen bis zum Computer Integrated Manufacturing (CIM)

Der Gedanke zur Entwicklung einer numerischen Steuerung für Werkzeugmaschinen (engl. numerical control = NC) entstand 1949/50 am MIT (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA). Aufgrund eines Auftrages der US Air Force sollten wichtige Teile von Großflugzeugen nicht mehr als Niet- und Schweißverbindungen gefertigt, sondern aus dem Vollen gefertigt werden.

Die für ein Formfräsen notwendigen Schablonen und Modelle waren jedoch hochkompliziert und mit herkömmlicher Technik nur sehr zeit- und kostenaufwendig zu fertigen. Da sich die Konturen der großen Werkstücke jedoch leicht durch mathematische Funktionen beschreiben ließen, faßte man den Entschluß, eine Steuerung zu entwickeln, die eine Fräsmaschine auf dieser Grundlage steuern kann.

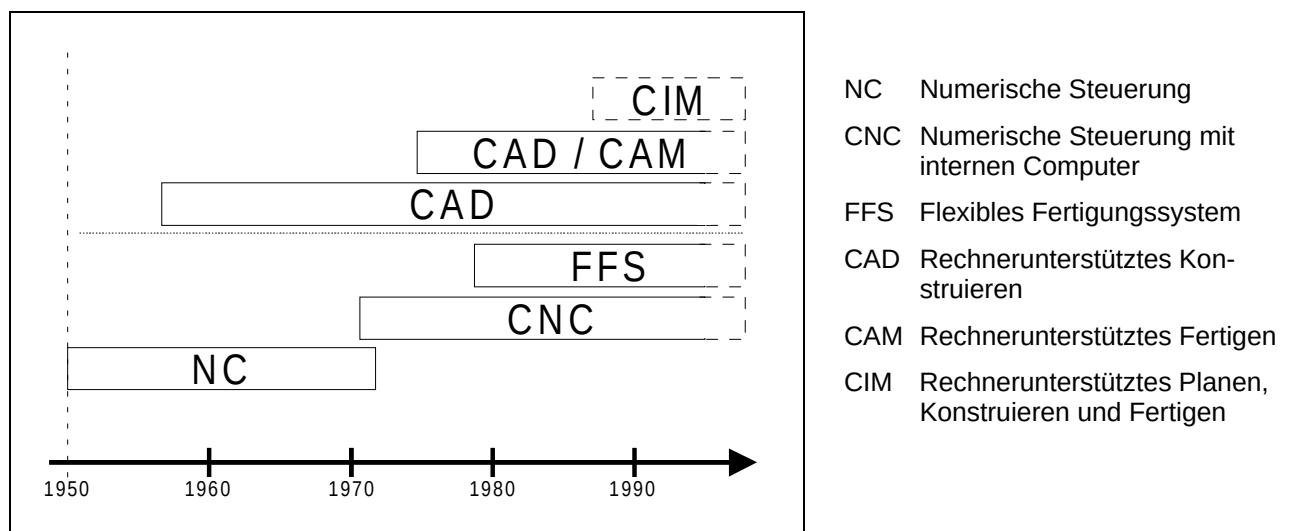


Abbildung 1
Entwicklung zur CIM-Technik

Die technologische Verwirklichung dieses Gedankens erforderte eine Steuerung, die binär und digital formulierte Eingangsgrößen für Wege und Schaltungen so umsetzt, daß diese von einer Fräsmaschine verstanden und verarbeitet werden können. Damit war der Grundgedanke für eine generelle Anwendung von numerischen Steuerungen an Werkzeugmaschinen gelegt. Seine Verwirklichung war angesichts der damals forcierten Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung reale Möglichkeit.

Es wurde zunächst eine entsprechende NC-Steuerung für eine Senkrechtfräsmaschine entwickelt, der die für die Fertigung erforderlichen Weg- und Schaltinformationen über Lochkarten eingegeben wurden. Dabei kam es darauf an, die Vorschubachsen der Fräsmaschine so zu steuern, daß die gewünschten Achsverschiebungen des Werkstückträgers durch getrennt arbeitende Motoren herbeigeführt werden konnte. Die Folge der Weg- und Schaltinformationen in Form von Kennbuchstaben und Kennzahlen nannte man „NC-Programm“.

Diese erste NC-Werkzeugmaschine wies bereits alle charakteristischen Merkmale der später entwickelten NC-Maschinen auf:

- Eingabeeinheit mit numerischen Eingangsgrößen für die Weg- und Schaltinformation über Lochkarten oder Lochstreifen
- Rechner in der Steuerung für die Verarbeitung der Weg- und Schaltinformation
- Einzelantrieb für jede Vorschubachse und Spindel zur Steuerung der Bewegungen der Werkzeug- und Werkstückträger
- Meß- und Kontrollsysteme zur Rückmeldung der Werkzeugpositionen an den Rechner in der Steuerung

Mitte der 50er Jahre begannen fast alle Werkzeugmaschinenhersteller in den Industrieländern mit der Entwicklung und Herstellung numerisch gesteuerter Fräsmaschinen, denen bald auch die Herstellung von NC-

Drehmaschinen folgten. Mit der schnellen Entwicklung neuer mikroelektronischer Bausteine, wie Mikroprozessoren und Mikrocomputern begann in den 70er Jahren die Weiterentwicklung der NC-Steuerungen zu CNC-Steuerungen (engl.: computerized numerical control = CNC).

Mit dem verstärkten Einsatz immer leistungsfähigerer Mikroprozessoren konnten die Funktionen computer-gesteuerter Werkzeugmaschinen schnell erweitert werden. Mit den heutigen Mikrocomputern und CNC-Steuerungen sowie der SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) in den Werkzeugmaschinen ist die NC-Programmierung wesentlich leistungsfähiger geworden. Die Konturgenauigkeit und Bearbeitungsgeschwindigkeit der Werkzeugbewegungen sowie die Zerspanungsleistungen sind kontinuierlich gestiegen. Moderne CNC-Steuerungen bieten zudem meist eine Vielzahl von zusätzlichen Leistungsmerkmalen. So ist es z.B. möglich geworden, komplexe Werkstückgeometrien ohne Zuhilfenahme mathematischer Berechnungen direkt zu programmieren.

Die ständige Weiterentwicklung der CNC-Werkzeugmaschinen vollzieht sich in einem wechselseitigem Innovationsschub von Herstellern mikroelektronischer Bauelemente, CNC-Steuerungen, Werkzeugen und Werkzeugmaschinen. In diesem Prozeß fordert auch der Anwender ein stets wachsendes Entwicklungstempo heraus, indem er den Herstellern mit immer höheren Forderungen ständig neue und bessere Lösungen abverlangt. CNC-Bearbeitungszentren, flexible Fertigungssysteme (FFS) und hochautomatisierte Fabriken (CIM) markieren wichtige Etappen dieser in den 50er Jahren begonnenen Entwicklung.

Die folgende Aufzählung markiert einige der gegenwärtigen Forderungen von der Anwenderseite:

- leistungsfähigere Schnittstellen für die immer schnellere Übertragung immer größerer Mengen an Daten
- Komplettbearbeitungszentren mit höchster Genauigkeit, z.B. CNC-Drehmaschinen mit 7-32 NC-Achsen, mehreren Bearbeitungsspindeln und angetriebenen Fräswerkzeugen beim CNC-Drehen
- Hochgeschwindigkeitsbearbeitung beim Drehen, Fräsen und Bohren mit höchsten dynamischen Bahnge-nauigkeiten
- Entwicklung von Servoantrieben, deren zeitliche Abtastrate für das Regeln der Fertigungsmaße immer kleiner werden (Schon heute betragen die Abtastraten weniger als 1ms.)
- Minimierung des Programmieraufwandes für die einzelnen Fertigungsaufgaben
- einfache und leistungsfähige NC-Programmiersysteme mit dynamisch-interaktiver Simulation der Bear-beitungsprozesse
- graphisch unterstützte Fehlerdiagnose der CNC-Werkzeugmaschine bzw. des gesamten Fertigungssy-stems

1.2 Vergleich von konventionellen und CNC-Werkzeugmaschinen

Aufbau

CNC-Werkzeugmaschinen gleichen in ihrem Grundaufbau den konventionellen Werkzeugmaschinen. Das besondere ist, daß die zur Dreh- und Fräsbearbeitung wirksamen Maschinenbauteile durch Computer steuerbar sind.

Die Bewegungsrichtungen der Bauteile einer CNC-gesteuerten Werkzeugmaschine werden nach einem Ko-ordinatensystem bestimmt, welches sich auf das zu bearbeitende Werkstück bezieht und Achsen aufweist, die parallel zu den linearen Hauptbewegungen der Maschine liegen. Die für die Bearbeitung notwendigen Bewegungen der einzelnen Werkzeugmaschinenbaugruppen (Tisch, Werkzeugschlitten, u.a.) werden vom internen Computer berechnet, gesteuert und kontrolliert. Dazu ist für jede Bewegungsrichtung ein getrenntes Meßsystem vorhanden, das die jeweilige Position der Werkzeugmaschinenbaugruppen erfaßt und dem in-ternen Computer zur Kontrolle meldet.

Funktion

In der folgenden Übersicht werden herkömmliche Werkzeugmaschinen, NC-Maschinen und CNC-Maschinen in ihrer grundlegenden Funktionsweise einander gegenübergestellt.

Herkömmliche Werkzeugmaschinen	NC-Maschinen	CNC-Maschinen
Eingabe: Der Facharbeiter richtet anhand des Arbeitsauftrages und der Zeichnung die Maschine von Hand ein, spannt das Rohteil sowie die Werkzeuge ein und richtet sie aus.	Eingabe: Das NC-Programm wird in die NC-Steuerung mit Hilfe oder Lochstreifen eingegeben.	Eingabe: Der CNC-Steuerung können NC-Programme über eine Tastatur, Disketten oder Datenschnittstellen (seriell, Bus) eingegeben werden. Mehrere NC-Programme werden in einen internen Speicher abgelegt, wobei moderne Steuerungen zusätzlich auch über Festplatten verfügen.
Handsteuerung: Der Facharbeiter stellt die Arbeitswerte (Drehzahl, Vorschub) von Hand ein und steuert die Bearbeitungen manuell mit Hilfe von Handrädern.	NC-Steuerung: Die NC-Steuerung verarbeitet die Weg- und Schaltinformationen des NC-Programms und gibt die entsprechenden Steuersignale an die einzelnen Bestandteile der NC-Maschine ab.	CNC-Steuerung: Der in der CNC-Steuerung integrierte Mikrocomputer und die zugehörige Software übernehmen alle Steuerungs- bzw. Regelungsfunktionen der CNC-Maschine. Dabei werden interne Speicher für Programme und Unterprogramme, Maschinendaten, Werkzeug- und Korrekturmaße sowie feste und freie Zyklen genutzt. Oftmals ist auch eine Fehlerdiagnosesoftware in die CNC-Steuerung integriert.
Prüfen: Der Facharbeiter mißt und prüft das Werkstück von Hand auf seine Maßhaltigkeit und muß gegebenenfalls eine nochmalige Bearbeitung vornehmen.	NC-Maschine: Die NC-Maschine sorgt durch ständige Rückmeldungen des Meßsystems und der Stellmotoren bereits während der Bearbeitung für die Maßhaltigkeit des Werkstücks.	CNC-Maschine: Die CNC-Maschine sorgt durch ständige Rückmeldungen des Meßsystems und drehzahl geregelter Stellmotoren während der Bearbeitung für die Maßhaltigkeit des Werkstücks. Durch integrierte Meßtaster ist eine Kontrolle der Maße während der Bearbeitung möglich. Gleichzeitig kann zu einer aktiven Bearbeitung weiterhin an der CNC-Steuerung gearbeitet werden, um beispielsweise neue NC-Programme zu testen und zu optimieren.

Wirtschaftlichkeit

Vorteile der CNC-Werkzeugmaschine

1. Mit CNC-Werkzeugmaschinen wird durch höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten sowie geringere Grund-, Hilfs-, Vorbereitungs- und Abschlußzeiten an der Maschine eine höhere Arbeitsproduktivität erreicht. Darauf wirken sich insbesondere die folgenden Einflußfaktoren aus:
 - Programmieren direkt an der Werkzeugmaschine durch die Handeingabemöglichkeiten
 - verlagerte Verantwortung in eine produktionsvorbereitende Abteilung für Programmierung, Material und Werkzeugbereitstellung und termingerechte Einspeisung am CNC-Arbeitsplatz
 - Speichern wiederkehrender Bearbeitungsfälle der werkstückspezifischen Programme in Form von Unterprogrammen
 - Optimieren von NC-Programmen an der Steuerung
 - Beschreiben von zu bearbeitenden Werkstückformen durch einfache Geometrieeingabe
 - automatisches Zustellen des Werkzeuges bis zum Erreichen des geforderten Maßes
 - automatisches Einleiten aller Funktionen der Maschine und direktes Eingreifen beim Erkennen von Fehlern und Störungen
 - automatisches Überwachen der Fertigung durch die CNC-Steuerung selbst (Messen, Prüfen automatisch)
 - universeller Einsatz von Werkzeugen in Werkzeugspannsystemen
 - Möglichkeit der Voreinstellung der Werkzeuge außerhalb der Werkzeugmaschine ohne Beeinflussung der Maschinenlaufzeit
2. Gleichbleibende Qualität der Werkstücke und geringerem Ausschuß
3. Höhere Genauigkeit am Werkstück durch hohe Grundgenauigkeit der Werkzeugmaschine (1/1000 mm Meßgenauigkeit)
4. Geringe Durchlaufzeiten durch bessere Produktorganisation und Zusammenführung zersplitterter Arbeitsfolgen
5. Erhöhtem Auslastungsgrad durch Maschinenbedienung
6. Verbesserte Produktionsflexibilität durch Bearbeitungssysteme und damit rationelle Fertigung von kleinen Losgrößen bzw. Einzelwerkstücken mit hoher Komplexität

Durch die genannten Vorteile haben sich die CNC-Werkzeugmaschinen in der spanenden Fertigung weitgehend durchgesetzt. Bestechendes Merkmal ist die große Anwendungsbreite (vgl. Abbildung 2) der CNC-Werkzeugmaschinen.

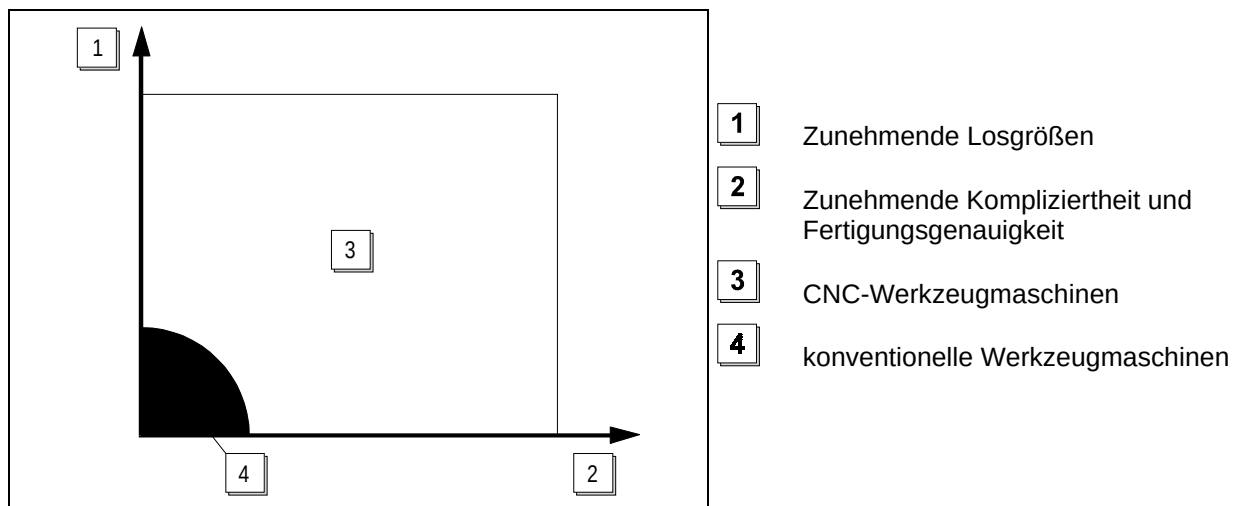


Abbildung 2
Anwendungsbreite der CNC-Werkzeugmaschinen

Voraussetzung zum Einsatz von CNC-Werkzeugmaschinen

Zur Bedienung und zur Programmierung der CNC-Werkzeugmaschine ist eine höhere Qualifikation des Maschinenbedieners notwendig. Die Erfahrungen aus der konventionellen Bearbeitung sind wegen der viel höheren Schnittgeschwindigkeit nicht ohne weiteres übertragbar.

1.3 Konstruktionsmerkmale moderner CNC-Werkzeugmaschinen

Steuerbare Vorschub- und Drehachsen

Die Werkstückbearbeitung auf CNC-Werkzeugmaschinen erfordert steuer- bzw. regelbare Vorschubachsen, die von Stellmotoren unabhängig voneinander angetrieben werden. Die bei konventionellen Maschinen üblichen Handräder werden damit an modernen Werkzeugmaschinen überflüssig.

CNC-Drehmaschinen (vgl. Abbildung 3) besitzen mindestens 2 steuer- bzw. regelbare Vorschubachsen, die mit X und Z bezeichnet werden.

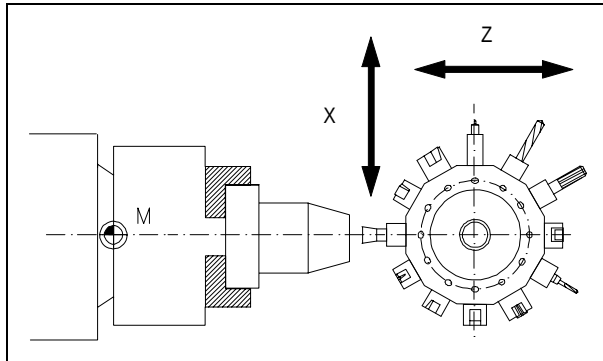


Abbildung 3
Steuerbare NC-Achsen an einer Drehmaschine

CNC-Fräsmaschinen (vgl. Abbildung 4) hingegen verfügen über mindestens 3 steuer- bzw. regelbare Vorschubachsen mit den Bezeichnungen X, Y, Z.

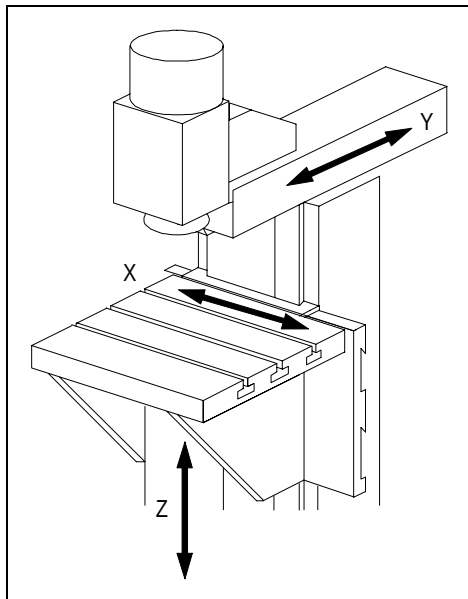


Abbildung 4
Steuerbare NC-Achsen an einer Fräsmaschine

Zusätzlich zu den linearen Bewegungen längs der Achsen X, Y und Z gibt es steuerbare Drehbewegungen um diese Achsen.

Diese steuerbaren Drehachsen werden mit A, B und C bezeichnet (vgl. Abbildung 5).

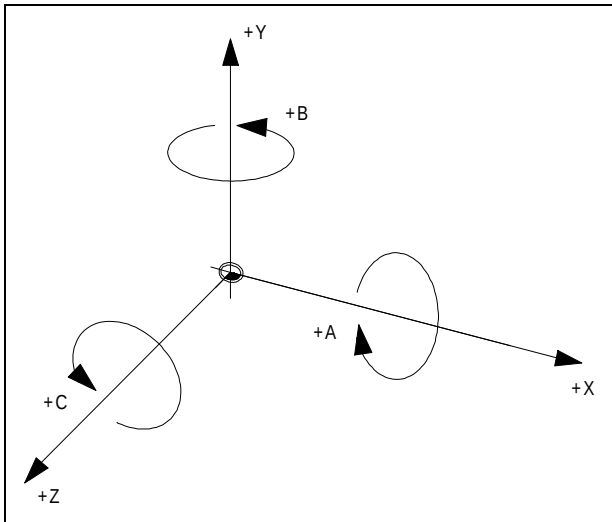


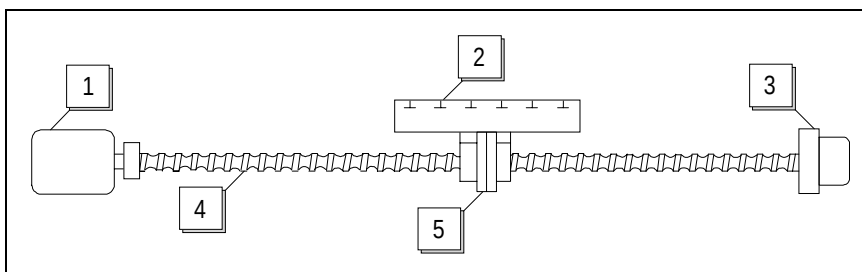
Abbildung 5
Vorschub- und Drehachsen
im kartesischen Koordinatensystem

Oft sind weitere steuerbare Vorschubachsen erforderlich, dann werden diese mit U, V, W gekennzeichnet. Dazu kommen die stellbaren Drehachsen, um die sich der Arbeitstisch, der Spindelstock und der Werkzeugträger unabhängig von den Vorschubachsen drehen können. Sie werden mit A, B und C bezeichnet.

Die geforderten Werkzeug- und Werkstückschlitten werden bei der Bearbeitung durch Vorschubantriebe bewegt. Wegen der hohen Genauigkeit und Wiederholgenauigkeit werden an die Vorschubantriebe höchste Anforderungen gestellt. So müssen die einzelnen Achsbewegungen bei hoher Vorschubgeschwindigkeit und geringer Positionierzeit ausgeführt werden. Um diese Forderungen zu erfüllen, besteht ein moderner Vorschubantrieb (vgl. Abbildung 6) aus folgenden Baugruppen:

- Motor, mechanische Kupplung gegen Überlastung sowie die elektronische Ansteuerung
- Kugelgewindetrieb zur spielfreien Kraftübertragung
- Meßgeber als Wegmeßsystem, meist angebracht am freien Achsenende
- Leistungsverstärker mit analogen oder digitalen Schnittstellen zur CNC-Steuerung

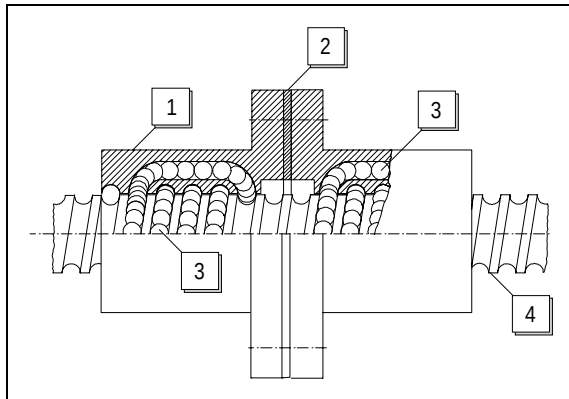
Für eine genaue Positions-messung werden Vorschubantriebe mit einer Meßeinrichtung gekoppelt. Jede steuerbare Achse einer CNC-Maschine benötigt ein Wegmeßsystem mit automatischer Auswertung des Meßsignales. Die meistverwendeten Auflösungen bei der Längenmessung beträgt 0.001 mm, nur bei der X-Achse an Drehmaschinen (Durchmessermaß) ist 0.0005 und bei Präzisionsschleifmaschinen bis 0.0001 gebräuchlich.



- | | |
|---|--------------------|
| 1 | Vorschubmotor |
| 2 | Arbeitstisch |
| 3 | Meßsystem |
| 4 | Kugelumlaufspindel |
| 5 | Kugelgewindemutter |

Abbildung 6
Vorschubantrieb für Schlitten mit Kugelgewindeantrieb

Die Maßverkörperung bildet meist eine Kugelumlaufspindel. Wird die Spindel durch den Motor in Bewegung gesetzt, dann bewegt sich die nahezu spielfrei arbeitende Kugelgewindemutter in Längsrichtung und schiebt den jeweiligen Werkzeug- oder Werkstückträgerschlitten entlang dem Schlittenbett (vgl. Abbildung 7). Die reibungsarme Kraftübertragung von der Spindel auf den Schlitten wird durch ein System von Kugeln erreicht. Um ein möglichst geringes Gewindenspiel zu gewährleisten, werden die beiden Hälften der Kugelgewindemutter gegeneinander vorgespannt, damit eine hohe und wiederholbare Maßhaltigkeit bei der Fertigung erzielt werden kann. Mögliche Steigungsfehler der Kugelumlaufspindel können von der CNC-Steuerung durch die Spindelsteigungsfehler-Kompensation automatisch ausgeglichen werden. Andere mechanische Möglichkeiten sind z. B. Zahnstange/Ritzel und Spindel/Mutter. Für geringere Genauigkeiten werden auch hydraulische Antriebe benutzt.



- 1** Kugelgewindemutter
- 2** Vorspannring
- 3** Kugeln
- 4** Antriebsspindel (Kugelumlaufspindel)

Abbildung 7
Kugelgewindetrieb mit spielfreier Doppelmutter

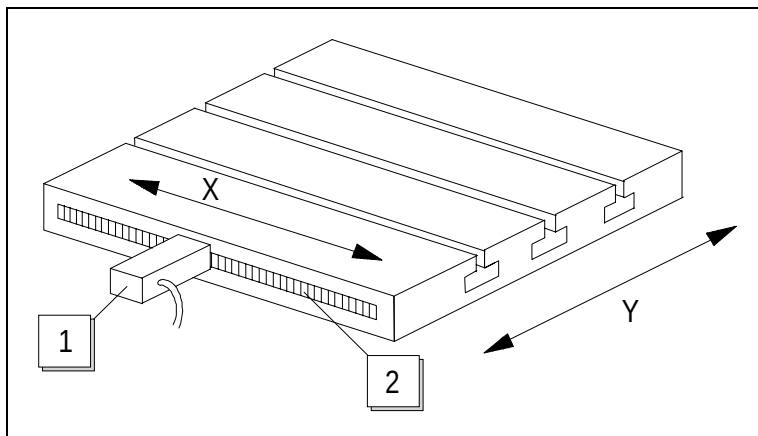
Die bei der Fertigung der Kugelumlaufspindeln entstehenden Fertigungstoleranzen können bei modernen CNC-Steuerungen mit Hilfe des Spindelsteigungsfehlerausgleichs korrigiert werden. Dazu werden die Toleranzen mit Lasermeßsystemen erfaßt und in die CNC-Steuerung eingespeichert.

Wegmeßsysteme

Je nach der Art der verwendeten Meßeinrichtung bzw. der Meßskala wird zwischen direkter und indirekter Positionsmessung sowie zwischen absoluter und inkrementaler Positionsmessung unterschieden. Direkt messende Maßstäbe erbringen die genauesten Meßwerte.

Bei der **direkten Positionsmessung** (vgl. Abbildung 8) ist die Meßskala am Schlitten bzw. am Maschinentisch angebracht, so daß Ungenauigkeiten an Spindeln und Antriebskopplung keinen Einfluß auf den Meßwert haben.

Die Meßwerte werden von einem Meßwertgeber optisch auf einer Rastereinteilung der Meßskala erfaßt. Der Meßwertgeber verwandelt die so bestimmten Meßwerte in elektrische Signale und gibt sie an die Steuerung weiter.



- 1** Meßwertgeber
- 2** Glaslineal mit Maßstab

Abbildung 8
Direkte Positionsmessung

Bei der **indirekten Positionsmessung** (vgl. Abbildung 9) wird die Verfahrbewegung aus der Drehung der Kugelgewindespindel gewonnen, die mit einer Impulsscheibe als Meßskala versehen ist. Von einem Drehgeber wird die Drehbewegung der Impulsscheibe registriert und als Signale an die Steuerung weitergegeben. Die Steuerung errechnet dann aus den Drehimpulsen die genauen Schlittenbewegungen bzw. ihre momentanen Positionen.

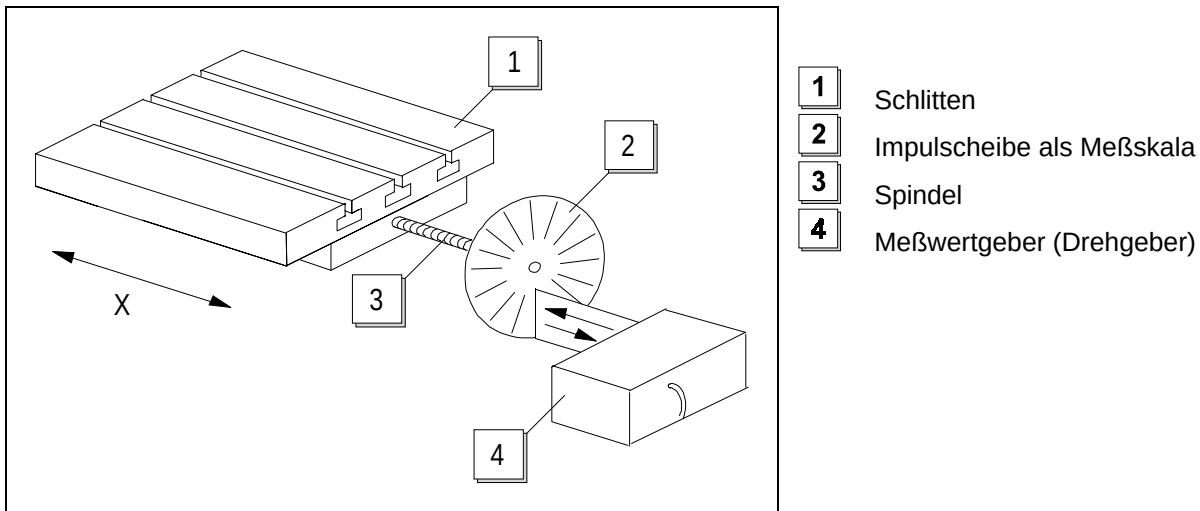


Abbildung 9
Indirekte Positionsmessung

Bei der **absoluten Positionsmessung** (vgl. Abbildung 10) zeigt eine codierte Meßskala unmittelbar die Position des Schlittens an, bezogen auf einen festen Orientierungspunkt an der Maschine. Dieser Punkt ist der Maschinennullpunkt, der vom Maschinenhersteller festgelegt ist. Bedingung ist, daß der Ablesebereich der Meßskala so groß wie der Arbeitsbereich ist und die Codierung an der Meßskala binär ausgeführt ist, damit die Steuerung jeder abgelesenen Position einen Zahlenwert zuordnen kann.

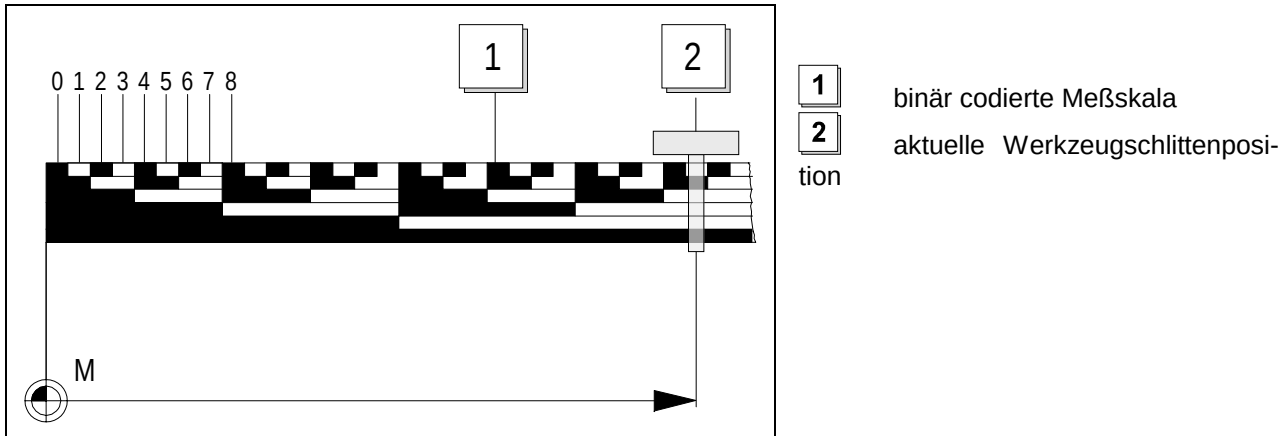


Abbildung 10
Absolute Positionsmessung

Bei der **inkrementalen Positionsmessung** (vgl. Abbildung 11) wird eine Meßskala mit einem einfachen Strichgitter, das aus Hell- und Dunkelfeldern besteht, angewendet. Bei der Vorschubbewegung an einem Meßgeber vorbei, zählt dieser die Anzahl der Hell- und Dunkelfelder und berechnet so die momentane Schlittenposition aus der Differenz zur letzten Schlittenposition.

Der Steuerung muß einmal eine absolute Position bekannt sein, von der aus sie die momentanen Schlittenpositionen mit Hilfe der inkrementalen Positionsmessung errechnen kann. Daher ist es notwendig, diese absolute Position, an der Maschine mit Referenzpunkt bezeichnet, nach dem Einschalten der Steuerung einmal anzufahren. Jede Bewegung einer Achse, auch beim Verfahren von Hand über Handrad oder Tiptasten muß von der Steuerung erfaßt werden.

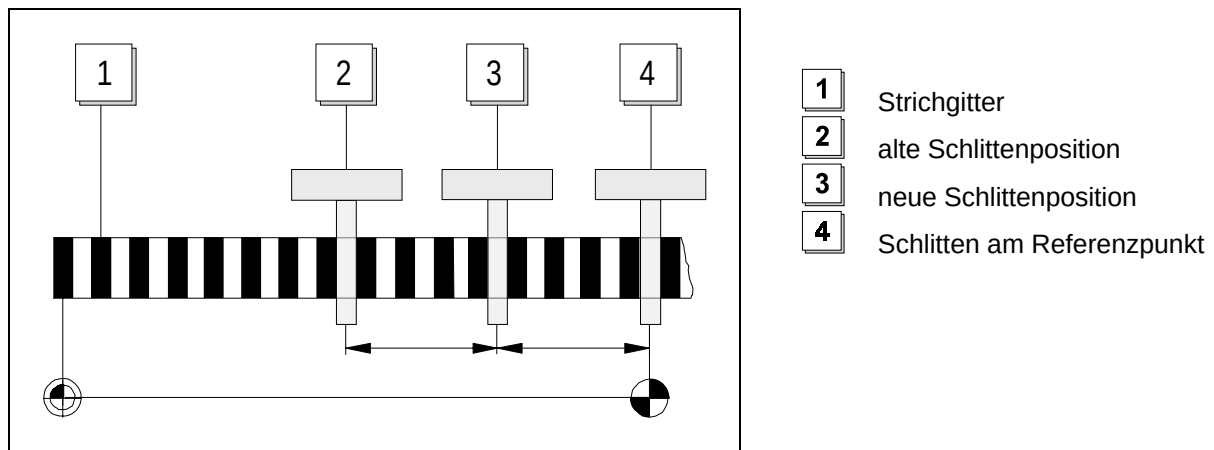


Abbildung 11
Inkrementale Positionsmessung

Da die Steuerung beim Ausschalten die Kontrolle über mechanische Bewegungen verliert, muß beim Einschalten erneut der Referenzpunkt angefahren werden.

Hauptantrieb und Arbeitsspindeln

Der Hauptantrieb einer CNC-Maschine muß über entsprechende Antriebsmotoren die erforderliche Zerspansungsleistung zur Bearbeitung des jeweiligen Werkstückes über die Arbeitsspindel abgeben. Dazu kommen die Reibungsverluste, die in den mechanischen Bereichen der Maschine auftreten und den Wirkungsgrad der CNC-Maschine maßgebend bestimmen. Erforderlich ist eine hohe Steifigkeit des Antriebs, d.h. das Drehmoment muß so sein, daß trotz hoher Bearbeitungskräfte die jeweilige Position festgehalten werden kann. Außerdem muß der Antrieb eine ausreichende Dynamik besitzen, damit er Geschwindigkeitsänderungen schnell und ohne Überschwingungen ausführen kann.

Die Arbeitsspindel und die evtl. vorhandene Gegenspindel wurden früher bei CNC-Werkzeugmaschinen von Gleichstrommotoren angetrieben. Zum Konstanthalten der Schnittgeschwindigkeiten wird im allgemeinen gefordert, daß die Drehzahl dieser Motoren, z.B. für das Drehen unterschiedlicher Durchmesser, über einen weiten Bereich stufenlos reguliert werden kann. Ein Nachteil der Gleichstrommotoren ist der Verschleiß ihrer Kohlebürsten, die in gewissen Abständen überprüft und gegebenenfalls ausgetauscht werden müssen.

Durch die fortschreitende Entwicklung der mikroelektronischen Bauelemente werden heute meist Drehstrommotoren eingesetzt. Deren Nachteil, die komplizierte Drehzahlsteuerung, ist durch die Preisentwicklung bei den elektronischen Ansteuerungen vernachlässigbar geworden.

Es gibt zwei verschiedene Arten von Drehstrommotoren, den Asynchronmotor und den Synchronmotor. Sie haben wesentliche Vorteile gegenüber den Gleichstrommotoren. Bei gleichen Abmessungen werden höhere Drehmomente erreicht. Außerdem sind bis zu dreifach höhere Drehzahlen und wesentlich höhere Leistungen möglich. Diese Motoren arbeiten ohne Kohlebürsten, ohne Kollektoren oder Schleifringe und sind daher wartungsfrei.

Damit eine möglichst hohe Austauschbarkeit bei der Verwendung der vielfältigen Spannmittel gesichert ist, unterliegt der Spindelkopf der Arbeitsspindel Normen. Bei CNC-Maschinen ist die Arbeitsspindel, wie viele andere Teile auch, wegen der wesentlich höheren Beschleunigungen (10 bis 40m/s²) und größeren Zerspansungsleistungen stärker dimensioniert als bei herkömmlichen Werkzeugmaschinen.

Werkstückspannmittel

Werkstück-Spannmittel dienen zum lagerichtigen und -genauen Festhalten des Werkstückes an der Arbeitspindel beim Drehen bzw. auf dem Arbeitstisch beim Fräsen. Die Werkstückspannung muß so erfolgen, daß das Werkstück absolut spielfrei, lagerichtig und lagesicher den Bearbeitungskräften widersteht. Es gibt eine Vielfalt von Werkstück-Spannmitteln.

Beim Drehen soll zukünftig die Zuführung und die Entnahme der Werkstücke möglichst automatisch mit Beschickungsrobotern (vgl. den MTS- Robin- Simulator) erfolgen. Für das Drehen werden daher meist steuerbare Backenfutter verschiedener Bauarten verwendet. Diese Drehfutter sind so konstruiert, daß ein pneumatisch oder hydraulisch gesteuertes automatisches Zu- und Auffahren der Spannbacken gewährleistet ist. Die Spannkraften sind einstellbar. Je nach Gewicht, Werkstoff, Längen-/Durchmesser Verhältnis, Spanntiefe und anderer Zerspanungsbedingungen müssen die Spannkraften höher oder niedriger eingestellt werden.

Spannfutter für hohe Drehzahlen besitzen einen Fliehkraftausgleich, damit die Spannkraft durch die entgegengesetzte Fliehkraft nicht abnimmt. Dieser Fliehkraftausgleich wird z.B. durch Ausgleichsgewichte realisiert, die über einen Hebel mit den Spannbacken verbunden sind. Die Fliehkraft des Ausgleichsgewichtes wirkt dann entgegen der Fliehkraft der Spannbacke. Die Spannkraft wird durch diese Kompensation weitgehend konstant gehalten. Für Arbeiten zwischen Spitzen werden meist Mitnehmerfutter, Stirnmitnehmer und steuerbare mitlaufende Reitstockspitzen angewendet. Für das Spannen von Kleinteilen sind steuerbare Spannzangensysteme üblich.

Beim CNC-Fräsen ist die Hauptfunktion der Werkstück-Spannmittel das lagerichtige Positionieren der Werkstücke. Die Werkstückspannung soll einen möglichst schnellen, leicht zugänglichen lagerichtigen und -genauen, wiederholbaren Werkstückwechsel gestatten. Für einfache Fräsarbeiten reichen oft steuerbare, hydraulisch wirkende Backenspannzeuge aus. Bei allseitig zu bearbeitenden Frästeilen soll die Komplettbearbeitung mit möglichst wenig Aufspannungen erfolgen. Bei komplizierten Frästeilen werden Fräsvorrichtungen - auch mit automatischer Wendemöglichkeit - hergestellt oder aus vorhandenen Baukastensystemen zusammengestellt, so daß eine Komplettbearbeitung möglichst ohne Umspannen erreicht wird. Der Einsatz von Werkstückpaletten, die während des Fräsens außerhalb des Arbeitsraumes vom Bediener mit dem nächsten Frästeil bestückt werden und dann automatisch in die richtige Bearbeitungslage gefahren werden können, wird zunehmend angewendet.

Werkzeugwechseleinrichtungen

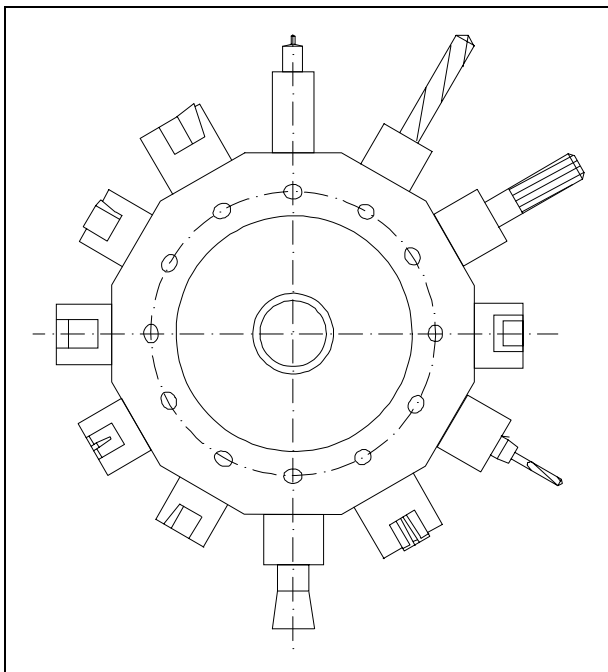


Abbildung 12
Beispiel eines Werkzeugrevolvers

CNC-Werkzeugmaschinen sind mit steuerbaren, automatischen Werkzeugwechseleinrichtungen ausgestattet. Je nach Bauart und Anwendungsbereich können diese Werkzeugwechseleinrichtungen unterschiedlich viele Werkzeuge gleichzeitig aufnehmen und das vom NC-Programm jeweils aufgerufene Werkzeug in Start- und Arbeitstellung bringen. Die gebräuchlichsten Bauarten sind:

- der Werkzeugrevolverkopf
- das Werkzeugmagazin.

Der Werkzeugrevolver (vgl. Abbildung 12) wird vorwiegend bei Drehmaschinen und das Werkzeugmagazin überwiegend bei Fräsmaschinen eingesetzt.

Wird im NC-Programm ein neues Werkzeug aufgerufen, dann dreht sich der Werkzeugrevolver so lange, bis sich das gewünschte Werkzeug in Arbeitstellung befindet. Ein solcher automatischer Werkzeugwechsel dauert heute nur Bruchteile von Sekunden.

Je nach Bauart und Größe haben Werkzeugrevolver für CNC-Drehmaschinen 8 bis 16 Werkzeugaufnahmepplätze. Bei größeren Drehbearbeitungszentren werden bis zu 3 Werkzeugrevolver gleichzeitig eingesetzt. Werden mehr als 48 Werkzeuge in solchen Bearbeitungszentren benötigt, dann werden Werkzeugmagazine verschiedener Bauart verwendet, die bis zu 100 und mehr Werkzeuge aufnehmen können. So gibt es Längs-, Ring-, Teller-, Ketten- (vgl. Abbildung 13) und Kassettenmagazine.

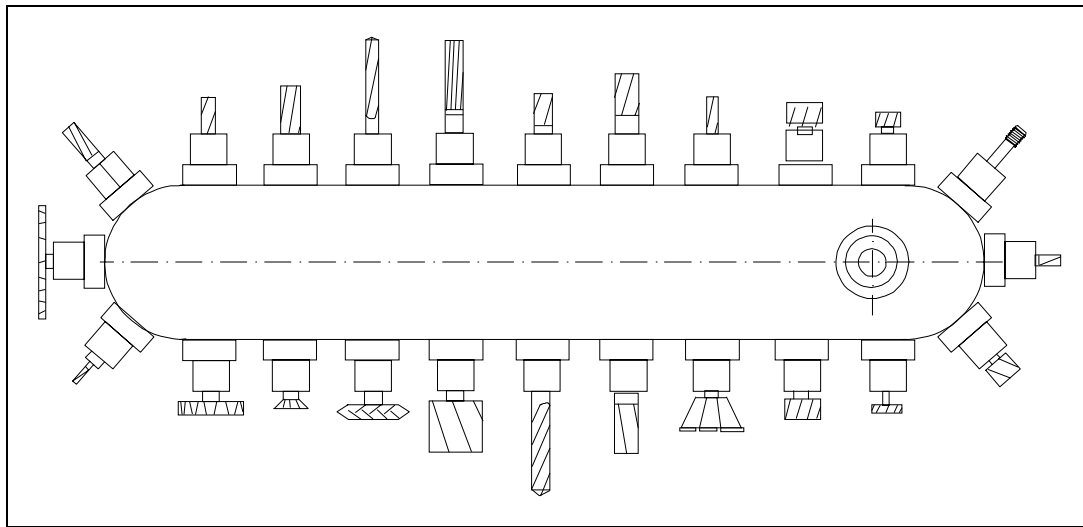
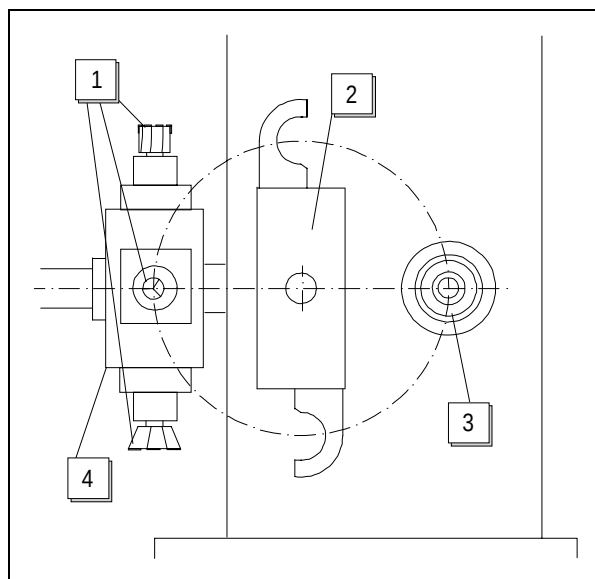


Abbildung 13
Beispiel eines Kettenmagazins



- | | |
|----------|------------------------------------|
| 1 | Fräswerkzeuge |
| 2 | Werkzeuggreifer (Werkzeugwechsler) |
| 3 | Arbeitsspindel |
| 4 | Werkzeugmagazin |

Abbildung 14
Automatische Werkzeugwechseleinrichtung

Der Werkzeugwechsel bei einem Werkzeugmagazin erfolgt mit Hilfe eines Greifersystems, auch Werkzeugwechsler (vgl. Abbildung 14) genannt. Der Wechsel erfolgt mit einem doppelarmigen Greifer nach Aufruf eines neuen Werkzeugs im NC-Programm wie folgt:

- Positionieren des gewünschten Werkzeugs im Magazin in die Werkzeugwechselposition
- Arbeitsspindel in Wechselposition fahren
- Schwenken des Werkzeuggreifers zum alten Werkzeug in der Spindel und zum neuen Werkzeug im Magazin
- Entnehmen der Werkzeuge in Spindel und Magazin und Schwenken des Werkzeuggreifers
- Einsetzen der Werkzeuge in Spindelkegel bzw. in Magazin
- Schwenken des Greifers in Ruhestellung

Die Werkzeugwechselzeiten liegen bei 6 bis 15 Sekunden, wobei die schnellsten Werkzeugwechsler heute Zeiten von einer Sekunde erreichen.

Arbeitsschutz an CNC-Werkzeugmaschinen

Durch den Arbeitsschutz sollen am Arbeitsplatz Menschen, Maschinen und Einrichtungen vor Schaden bewahrt bleiben!

Grundsätzlich gelten für die Arbeit an CNC-Werkzeugmaschinen die gleichen sicherheitstechnischen Bedingungen, wie beim Arbeiten an konventionellen Werkzeugmaschinen. Sie können in drei Kategorie eingeteilt werden.

- Gefahren beseitigen
Mängel an Maschinen und allen zur Arbeit notwendigen Geräte müssen sofort gemeldet werden.
Fluchtwege müssen freigehalten werden.
Keine scharfen Gegenstände in der Kleidung tragen
Uhren und Ringe ablegen.
- Gefahrenstellen abschirmen und kennzeichnen
Alle Sicherheitseinrichtungen und Hinweisschilder dürfen nicht entfernt oder lahmgelegt werden.
Bewegte oder ineinandergreifende Teile müssen abgeschirmt werden.
- Gefährdungen verhindern
Bei möglichen Funken und Strahlen müssen Schutzkleidungen getragen werden.
Zum Schutz der Augen sind Schutzbrillen oder Schutzschilder zu verwenden.
Beschädigte elektrische Kabel dürfen nicht benutzt werden.

Beim Einrichten und Bedienen von CNC-Werkzeugmaschinen ist besonders zu beachten, daß

- Einrichtarbeiten grundsätzlich bei ausgeschalteter Maschine durchzuführen sind, mit Ausnahme von Arbeiten die den Betrieb der Maschine erfordern, wie beispielsweise das Nullen vom Werkstück mit Werkzeugen.
- sich der Bediener nicht im Schwenk- bzw. Arbeitsbereich der Maschine aufhält, da die Maschine automatisch den Revolverkopf schwenken oder den Werkzeugschlitten verfahren kann.
- die speziellen sicherheitstechnischen Vorschriften des Maschinenherstellers eingehalten werden müssen.

Weiterhin sind die folgenden sicherheitstechnischen Forderungen zu berücksichtigen.

- Die Verriegelung gegen das Bearbeiten von unbefestigten oder falsch angeordneten Werkstücken, gegen selbsttätiges Bewegen beweglicher Elemente und gegen die Ausführung eines automatischen Arbeitsganges bevor die Einrichtarbeit abgeschlossen wird,
- Die Verriegelung der Werkstückspanneinrichtung bei CNC-Maschinen mit Handbeschickung,
- Einhalten des Sicherheitsabstandes zwischen den am weitesten hervorragenden Teilen benachbarter CNC-Maschinen in einem CNC-Verbundsystem und
- Schutz gegen Späne sowie gegen das Verspritzen von Kühlschmiermittel.
- Das Absaugen der Maschinenraumluft.

Werkstatt

Erläuterung der einzelnen Bestandteile von CNC-Maschinen in der CNC-Werkstatt

An vorhandenen Werkzeugmaschinen sollen deren einzelne Bauteile gezeigt und erklärt werden. Insbesondere sind die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede zwischen konventionellen Werkzeugmaschinen und CNC-Werkzeugmaschinen zu betonen.

Kenntnistest „CNC-Grundlagen“

1.	Erläutern Sie die wesentlichen Unterschiede zwischen einer CNC-Werkzeugmaschine und einer konventionellen Werkzeugmaschine.
2.	Welche charakteristischen Merkmale kennzeichnen die numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen?
3.	Welche Vorteile haben CNC-Maschinen gegenüber herkömmlichen Maschinen?
4.	Warum müssen die Vorschubachsen an CNC-Maschinen regelbar sein?
5.	Aus welchen Baugruppen besteht ein moderner Vorschubantrieb?
6.	Wieviel Vorschubachsen muß eine CNC-Drehmaschine mindestens besitzen ?
7.	Wie werden die Vorschubachsen bezeichnet?
8.	Wieviel Vorschubachsen muß eine CNC-Fräsmaschine mindestens besitzen?
9.	Wie werden die Vorschubachsen bezeichnet?
10.	Nennen Sie Beispiele für steuerbare Drehachsen an CNC-Werkzeugmaschinen!
11.	Welche Möglichkeiten ergeben sich durch steuerbare Drehachsen an CNC-Drehmaschinen?
12.	Welche Möglichkeiten ergeben sich durch steuerbare Drehachsen an CNC-Fräsmaschinen?
13.	Erläutere die Bedeutung und die Wirkungsweise einer Kugelumlaufspindel!
14.	Worin liegt der wesentliche Unterschied zwischen einer direkten und einer indirekten Positionsmessung?
15.	Wie unterscheiden sich die absolute von der inkrementalen Positionsmessung?
16.	Welche Vorteile bringen drehzahlregelbare Hauptantriebsmotoren?
17.	Welche automatischen Werkzeugwechseleinrichtungen gibt es bei CNC-Werkzeugmaschinen?
18.	Welche Arten von Werkzeugmagazinen gibt es an CNC-Fräsmaschinen?

2 Geometrische Grundlagen für die CNC-Bearbeitung

2.1 Koordinatensysteme an CNC-Werkzeugmaschinen

Arten von Koordinatensystemen

Koordinatensysteme ermöglichen die genaue Beschreibung sämtlicher Punkte in einer Arbeitsebene bzw. im Raum. Grundsätzlich werden sie in

- kartesische Koordinatensysteme und
- Polarkoordinatensysteme

eingeteilt.

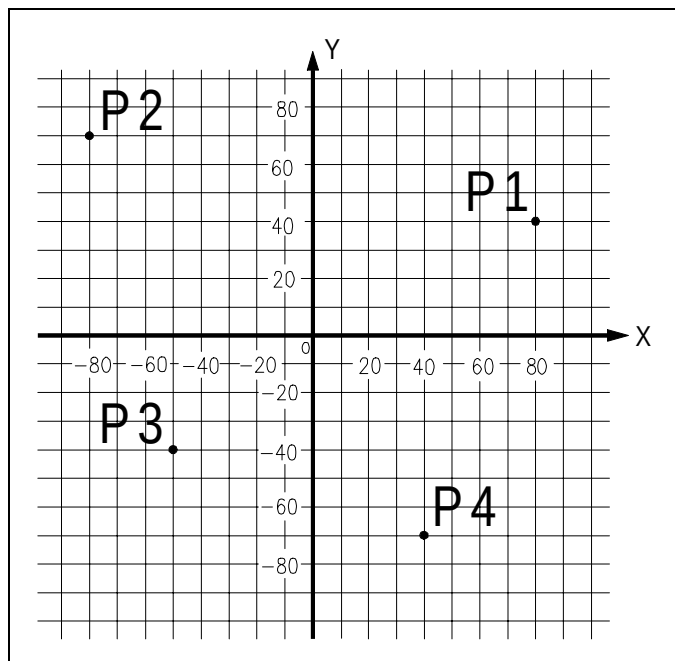
kartesisches Koordinatensystem

Ein kartesisches Koordinatensystem, auch rechtwinkliges Koordinatensystem genannt, besitzt zur genauen Beschreibung der Punkte

- zwei Koordinatenachsen (ebenes kartesisches Koordinatensystem) oder auch
- drei Koordinatenachsen (räumliches kartesisches Koordinatensystem),

die senkrecht zueinander stehen.

Im ebenen kartesischen Koordinatensystem, z.B. im X,Y-Koordinatensystem, wird jeder Punkt in der Ebene durch die Angabe eines Koordinatenpaares (X,Y) eindeutig festgelegt (vgl. Abbildung 15). Die Entfernung von der Y-Achse bezeichnet man als X-Koordinate und die Entfernung von der X-Achse als Y-Koordinate. Dabei können diese Koordinaten positive oder auch negative Vorzeichen besitzen (s. Beispiel Abbildung 15)



Beispiel:

P1	X= 80	Y= 40
P2	X= -80	Y= 70
P3	X= -50	Y= -40
P4	X= 40	Y= -70

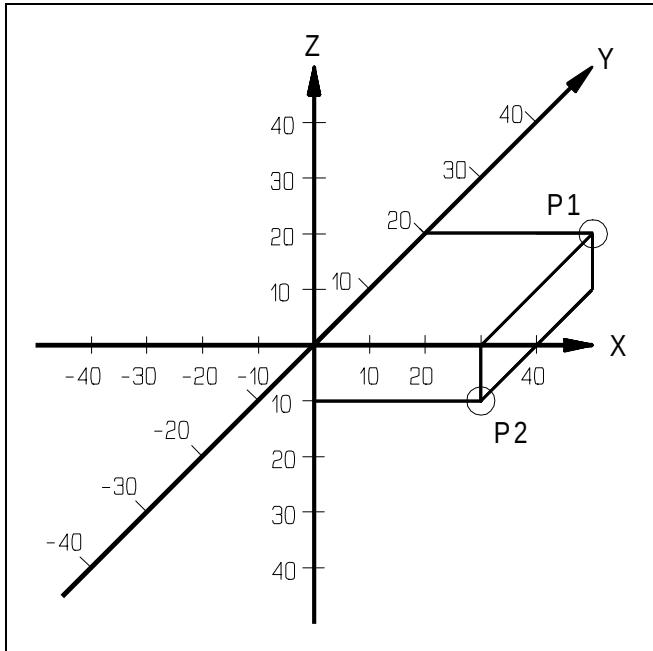
Abbildung 15

Kartesisches Koordinatensystem mit 2 Achsen (X;Y)

Legt man eine Werkstückzeichnung in dieses Koordinatensystem, dann lassen sich alle wichtigen Arbeitspunkte ablesen. Je nachdem, wo man den Nullpunkt des Werkstücks hinlegt, kann man mit nur positiven oder auch mit negativen Koordinaten die Lage von Punkten genau bestimmen.

Das räumliche kartesische Koordinatensystem ist für die Darstellung und Lagebestimmung von räumlichen Werkstücken, z.B. Frästeilen erforderlich. Zur eindeutigen Beschreibung eines Punktes im Raum werden drei Koordinaten benötigt, die nach den entsprechenden Achsen als X-, Y- oder Z-Koordinate benannt werden (vgl. Abbildung 16).

Solche 3-dimensionalen Koordinatensysteme mit positiven und negativen Bereichen der Koordinatenachsen ermöglichen die genaue Beschreibung aller Lagepunkte, z.B. im Arbeitsraum einer Fräsmaschine, unabhängig davon, wohin der Nullpunkt des Werkstückes gelegt wird.



Beispiel:

P1 X= 30 Y= 20 Z= 0

P2 X= 30 Y= 0 Z= -10

Abbildung 16
Kartesisches Koordinatensystem mit 3 Achsen (X,Y;Z)

Die Bezeichnungen der drei Achsen und damit auch der drei Koordinaten wird als sogenanntes Rechtssystem gewählt und erfolgt nach der Rechte-Hand-Regel (vgl. Abbildung 17). Die Finger dieser rechten Hand zeigen dabei immer in die positive Richtung der jeweiligen Achse.

Das System wird auch rechtsdrehendes Koordinatensystem genannt.

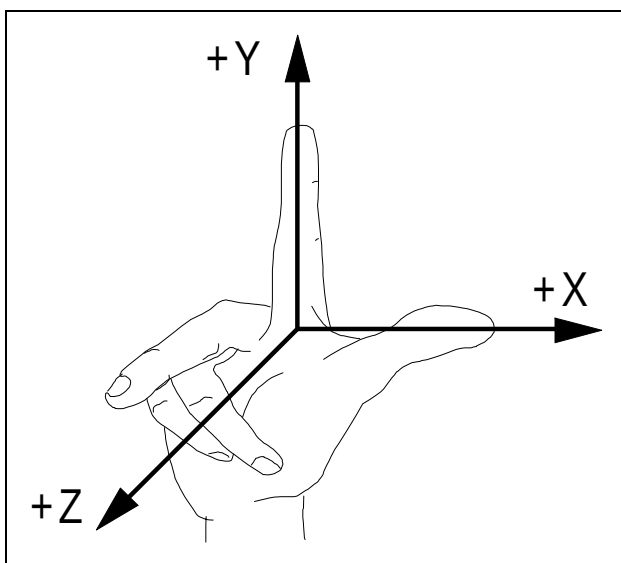


Abbildung 17
Rechte-Hand-Regel

Polarkoordinatensystem

Im kartesischen Koordinatensystem wird ein Punkt z.B. durch seine X- und Y-Koordinate beschrieben. Bei rotationssymmetrischen Konturen, z.B. kreisförmigen Bohrbildern sind die benötigten Koordinaten nur mit erheblichen Aufwand zu berechnen.

Im Polarkoordinatensystem wird ein Punkt durch seinen Abstand (Radius r) zum Ursprungspunkt und seinem Winkel (α) zu einer definierten Achse beschrieben. Der Winkel (α) bezieht sich im X,Y-Koordinatensystem auf die X-Achse. Der Winkel ist dann positiv, wenn er gegen den Uhrzeigersinn von der positiven X-Achse aus gemessen wird (vgl. Abbildung 18). In der Gegenrichtung ist er negativ (vgl. Abbildung 19).

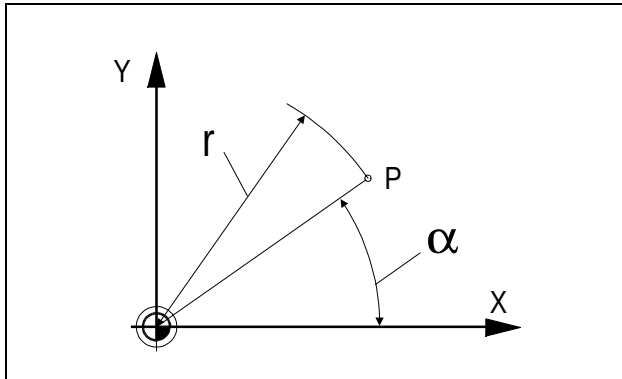


Abbildung 18
Polarkoordinatensystem (positiver Winkel α)

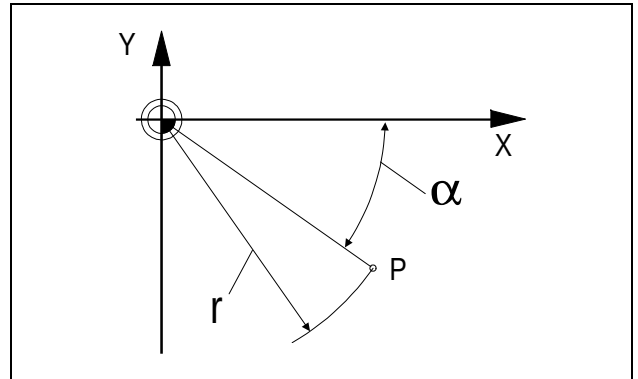


Abbildung 19
Polarkoordinatensystem (negativer Winkel α)

Achsendrehwinkel

Zu jeder der 3 Hauptachsen X, Y und Z gibt es auch rotatorische Achsen, die sich um die jeweilige Achse drehen. Diese Achsendrehwinkel werden mit A, B, C bezeichnet, wobei sich A um die X-Achse, B um die Y-Achse und C um die Z-Achse dreht (vgl. Abbildung 20).

Die Drehrichtung ist dann positiv, wenn vom Koordinatennullpunkt aus, in Richtung der positiven Koordinatenrichtung gesehen, die Drehung im Uhrzeigersinn verläuft (entspricht der Bewegung einer Schraube mit Rechtsgewinde oder der Drehrichtung eines Korkenziehers).

Die Bezeichnung der Winkel A, B und C bei Polarkoordinaten kann man aus der Abbildung 20 herleiten. Liegt der anzufahrende Punkt in der X/Y-Ebene des Koordinatensystems, dann entspricht der Polarkoordinatenwinkel dem Drehwinkel um die Z-Achse, also C. In der Y/Z-Ebene entspricht der Polarkoordinatenwinkel dem Drehwinkel um die X-Achse, also A. In der X/Z-Achse entspricht er dem Drehwinkel um die Y-Achse, also B.

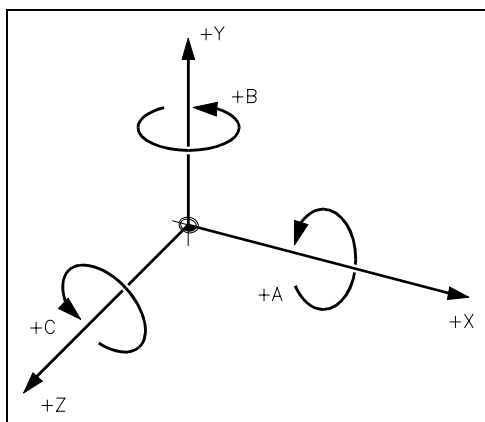


Abbildung 20
Achsendrehwinkel mit der Drehrichtung

Maschinen- bzw. Werkstückbezogene Definition eines Koordinatensystems

Maschinenkoordinatensystem

Das Maschinenkoordinatensystem der CNC-Werkzeugmaschine wird vom Hersteller festgelegt. Es ist unveränderbar. Der Ursprungspunkt für dieses Maschinenkoordinatensystem, auch Maschinennullpunkt M genannt, ist in seiner Position nicht verschiebbar (vgl. Abbildung 21).

Werkstückkoordinatensystem

Das Werkstückkoordinatensystem wird vom Programmierer festgelegt. Es ist veränderbar. Die Lage des Ursprungspunktes für dieses Werkstückkoordinatensystem, auch Werkstücknullpunkt genannt, ist grundsätzlich beliebig (vgl. Abbildung 22).

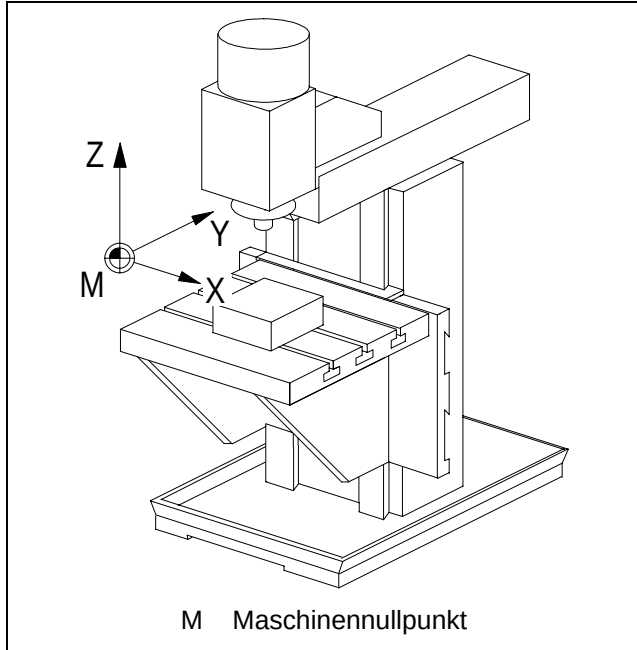


Abbildung 21
Maschinenkoordinatensystem

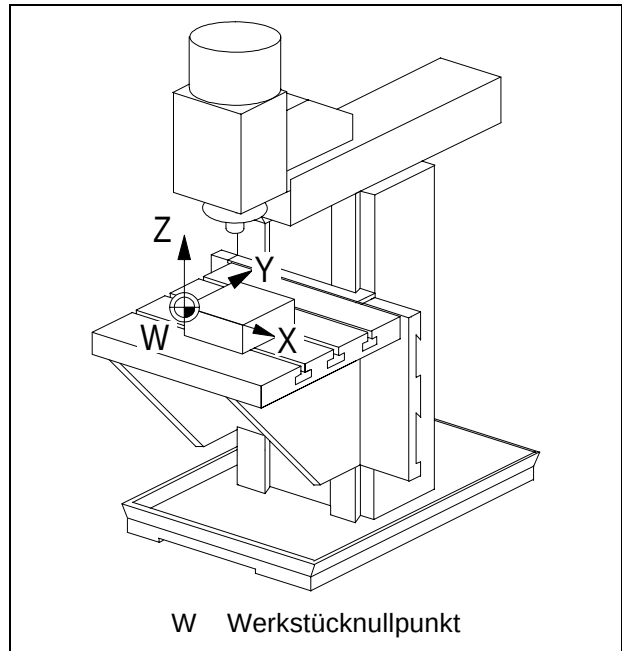


Abbildung 22
Werkstückkoordinatensystem

CNC-Fräsmaschine

Aus dem Aufbau einer CNC-Maschine resultiert die Definition des jeweiligen Koordinatensystems. So ist bei CNC-Fräsmaschinen die Arbeitsspindel (Werkzeugträger) als Z-Achse festgelegt (vgl. Abbildung 23), wobei die positive Z-Richtung vom Werkstück nach oben zum Werkzeug hin verläuft.

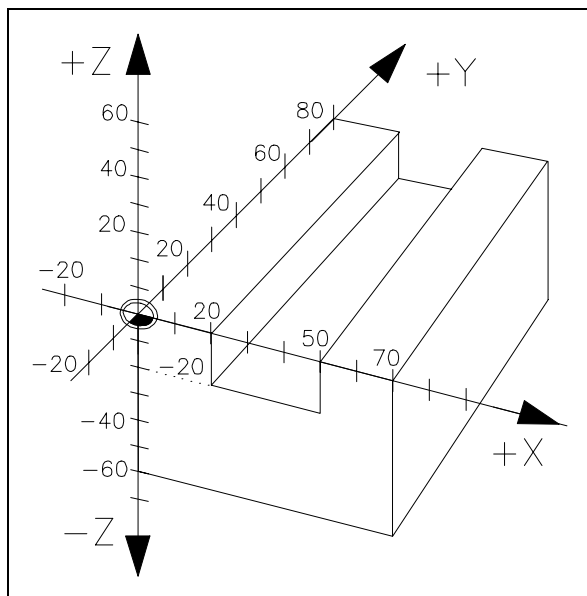


Abbildung 23
Frästeil im räumlichen kartesischen Koordinatensystem

Die X-Achse und die Y-Achse liegen in der Regel parallel zur Aufspannfläche des Werkstücks.

Steht man vor der Maschine, dann verläuft die positive X-Richtung nach rechts und die Y-Achse vom Betrachter weg.

Der Nullpunkt des Koordinatensystems wird vorzugsweise in eine Außenkante des Werkstücks gelegt,

Zur einfacheren Berechnung der für Programmierung benötigten Punkte sind dabei die Außenkanten der oberen Fläche (vgl. Abbildung 24) bzw. der unteren Fläche (vgl. Abbildung 25) zu bevorzugen.

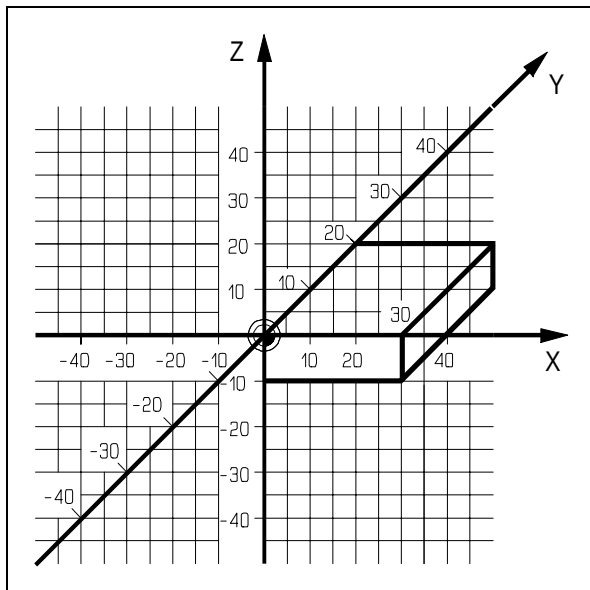


Abbildung 24
Werkstücknullpunkt an der linken oberen Außenkante

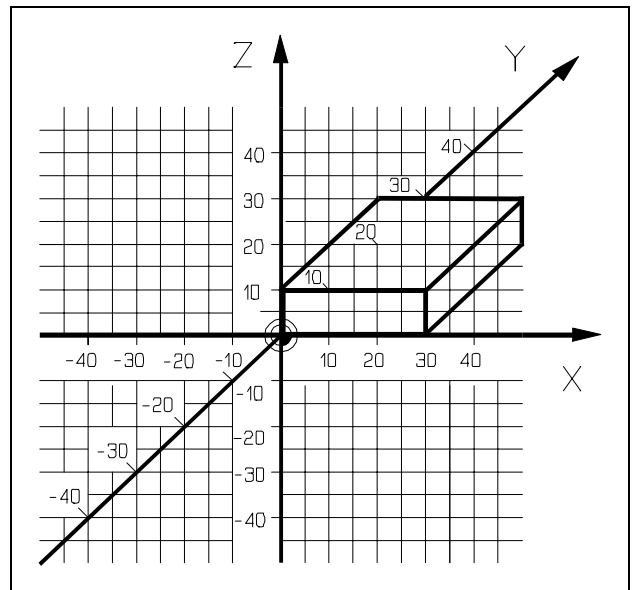


Abbildung 25
Werkstücknullpunkt an der linken unteren Außenkante

CNC-Drehmaschine

Bei den CNC-Drehmaschinen ist die Arbeitsspindel (Werkstückträger) als Z-Achse festgelegt. Das heißt, die Z-Achse fällt mit der Drehachse zusammen (vgl. Abbildung 26 und 27). Die Richtung der Z-Achse ist so festgelegt, daß sich das Werkzeug vom Werkstück wegbewegt, wenn es in positiver Achsrichtung verfährt.

Auf der Z-Achse steht senkrecht die X-Achse. Deren Richtung ist jedoch davon abhängig, ob das Werkzeug vor (vgl. Abbildung 26) oder hinter (vgl. Abbildung 27) der Drehmitte liegt.

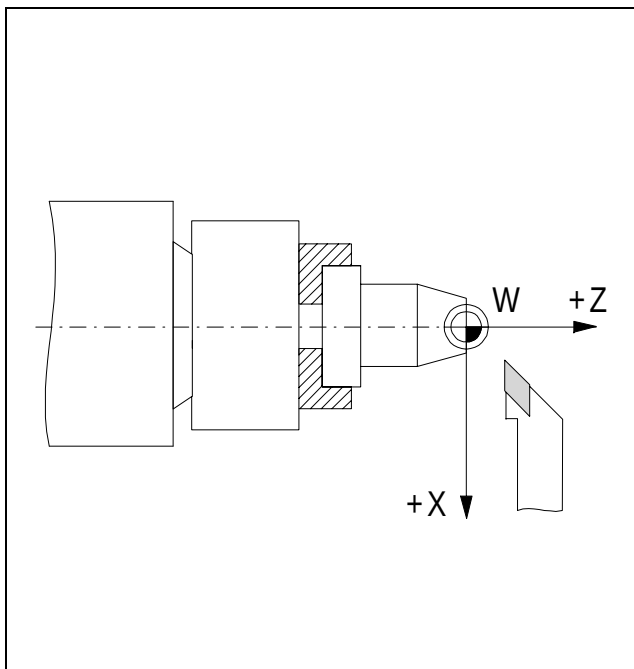


Abbildung 26
Drehteil im kartesischen Koordinatensystem mit 2 Achsen Werkzeug vor der Drehmitte

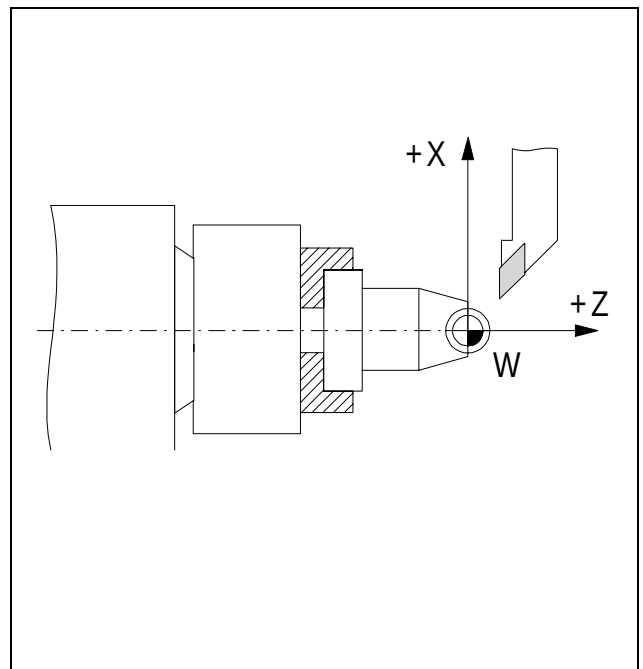
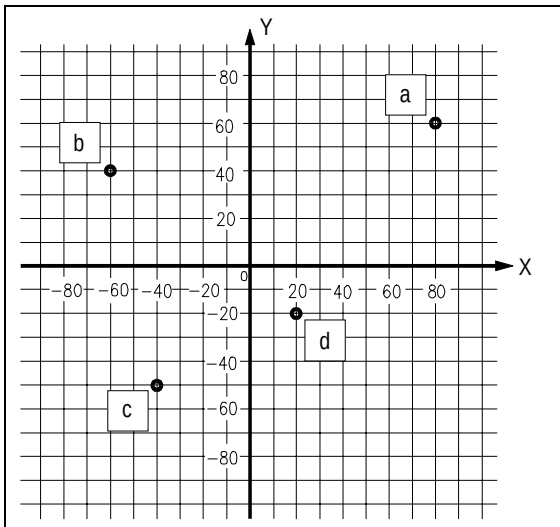


Abbildung 27
Drehteil im kartesischen Koordinatensystem mit 2 Achsen Werkzeug hinter der Drehmitte

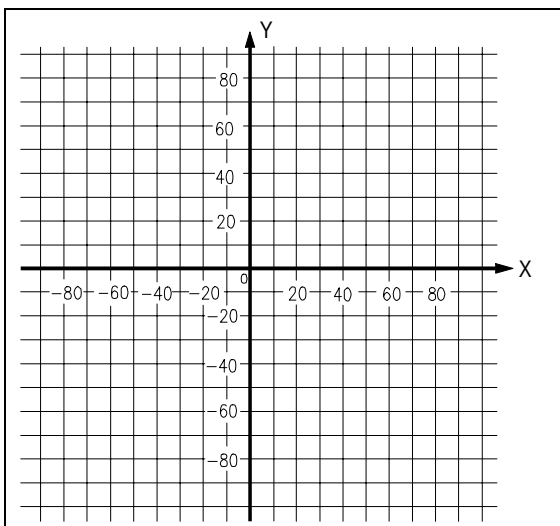
CNC-Übung

Arbeit mit verschiedenen Koordinatensystemen



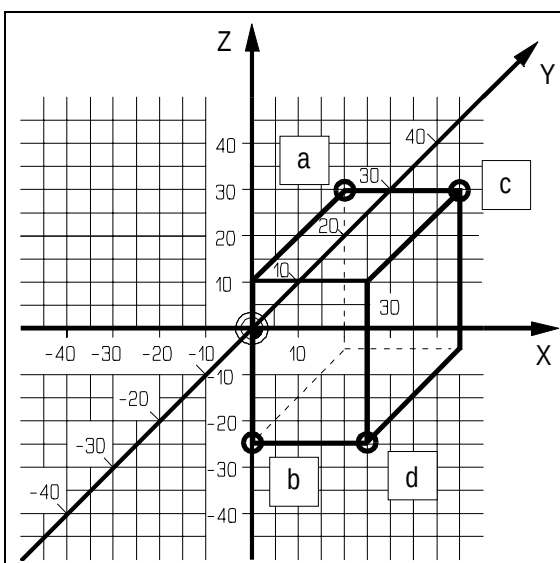
Tragen Sie die Koordinaten der Punkte in die Tabelle ein.

	X	Y
a		
b		
c		
d		



Tragen Sie die folgenden Punkte in das Diagramm ein.

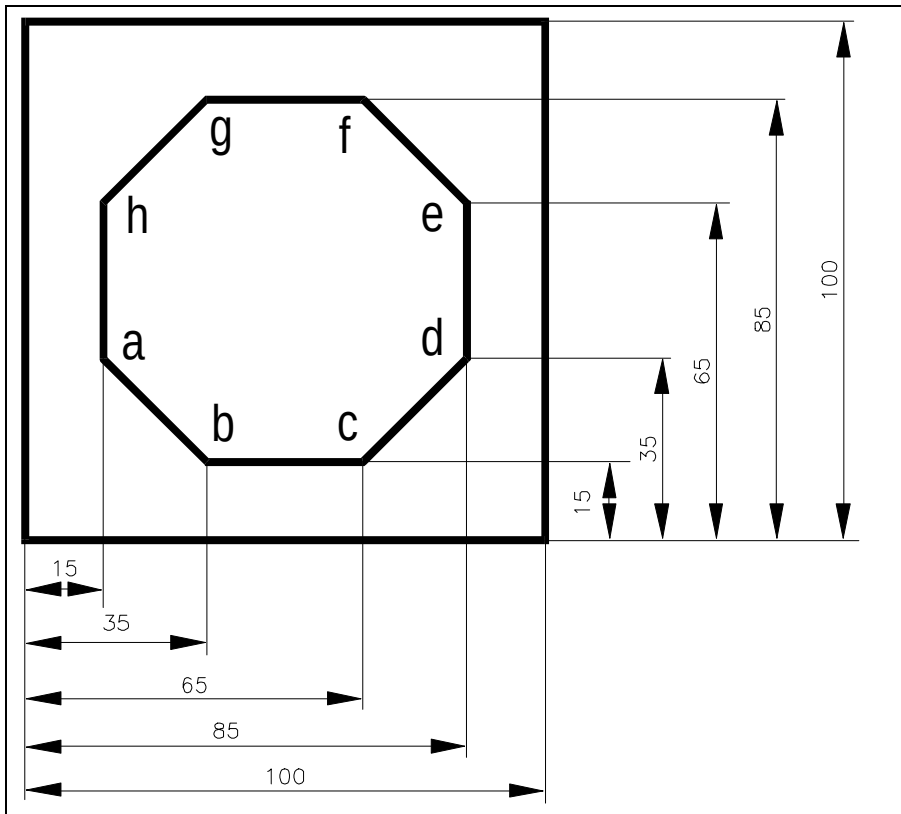
	X	Y
a	10	20
b	-80	-30
c	40	-70
d	-30	50



Tragen Sie die kartesischen Koordinaten der Punkte a bis d in die Tabelle ein.

	X	Y	Z
a			
b			
c			
d			

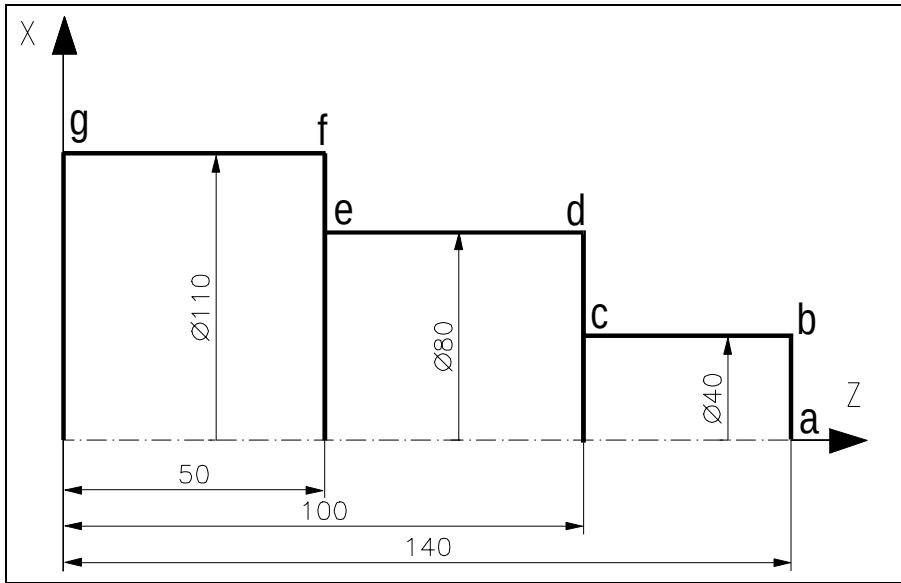
Tragen Sie die kartesischen Koordinaten der Punkte a bis h in die Tabelle ein.



	X	Y
a		
b		
c		
d		
e		
f		
g		
h		

Drehteile sind in der Zeichnung durch die Angabe des Durchmessers bemaßt. Bei der Programmierung werden deshalb auch die Durchmesser eingegeben.

Tragen Sie die kartesischen Koordinaten der Punkte a bis g in die Tabelle ein.
Geben Sie für die X-Koordinaten die jeweiligen Durchmesserwerte an!



	X	Z
a		
b		
c		
d		
e		
f		
g		

Vorschub- und Drehachsen an CNC-Werkzeugmaschinen

Lage und Bezeichnung der NC-Achsen

CNC-Fräsmaschinen unterscheiden sich in ihrem Aufbau hinsichtlich der Arbeitsspindelanordnung und der Lage der NC-Achsen (vgl. Abbildung 28 und 29). Die Z-Achse ist identisch mit der Drehachse der Arbeitsspindel. Die positive Z-Richtung ist so definiert, daß sie vom Werkstück zum Werkzeug hin verläuft. Da bei CNC-Fräsmaschinen ein räumliches kartesisches Koordinatensystem verwendet wird, ergeben sich die anderen zwei Koordinatenachsen mit Hilfe der Rechte-Hand-Regel.

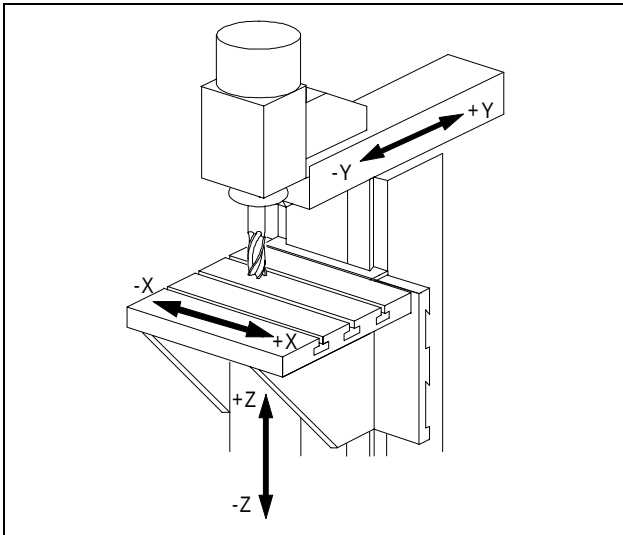


Abbildung 28
Achsen an der Vertikalfräsmaschine

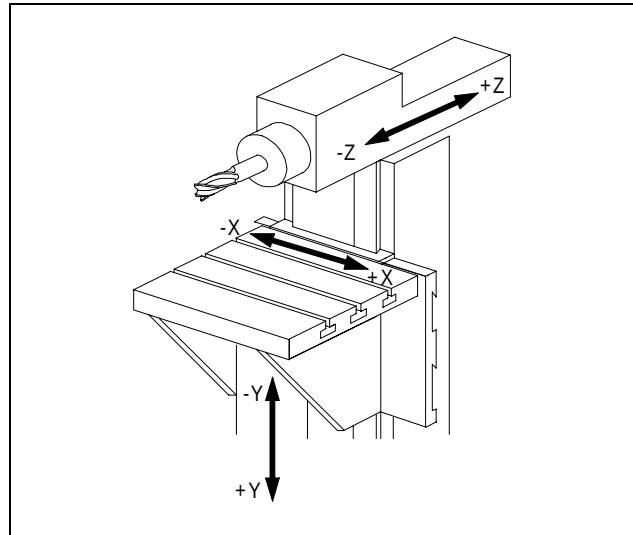


Abbildung 29
Achsen an der Horizontalfräsmaschine

Bei einer CNC-Drehmaschine ist die Arbeitsspindel als Z-Achse festgelegt (vgl. Abbildung 30). Die positive Z-Richtung verläuft vom Werkstück zum Werkzeug hin. Auf der Z-Achse steht senkrecht die X-Achse, deren positive Richtung hier nach hinten geht (Werkzeug hinter der Drehmmittle). Wenn die Arbeitsspindel angesteuert wird, steht eine Drehachse, die C-Achse zur Verfügung.

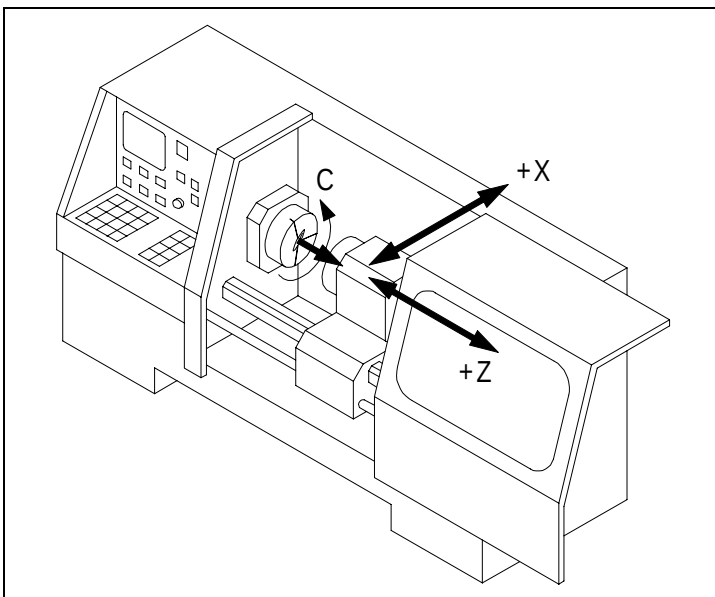


Abbildung 30
Achsen an der Drehmaschine

Bewegungsrichtungen an CNC-Werkzeugmaschinen

Beim Bearbeiten müssen Relativbewegungen zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug in den zur Verfügung stehenden Achsen ausgeführt werden. Die Achsbezeichnungen bei CNC-Werkzeugmaschinen sind durch deren Aufbau vorgegeben (vgl. Abschnitt Lage und Bezeichnung der NC-Achsen). Sie beziehen sich auf das Werkstück, wobei ein räumliches kartesisches Koordinatensystem verwendet wird. Es wird immer angenommen, daß sich nur das Werkzeug bewegt, obwohl z.B. bei der unten abgebildeten Vertikalfräsmaschine der Werkstückträger die Bewegungen in der X- und in der Z-Achse ausführt (vgl. Abbildung 31).

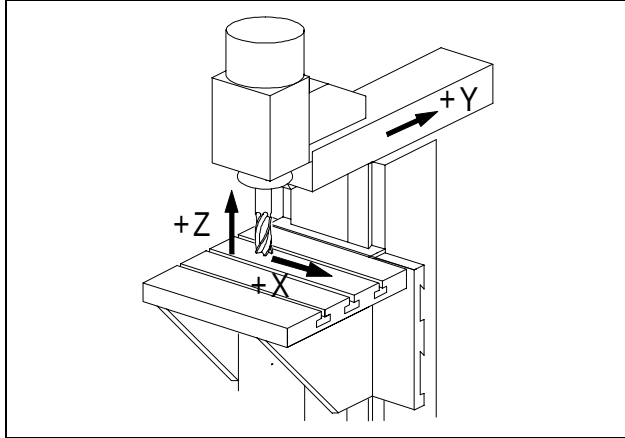


Abbildung 31
Bewegungsrichtungen an der Fräsmaschine

Um maschinenunabhängig programmieren zu können, wird deshalb die folgende Definition eingeführt.

Beim Programmieren wird immer angenommen, daß sich das Werkzeug bewegt.
Das Koordinatensystem bezieht sich immer auf das Werkstück.

Mit Hilfe dieser Definition können zur Erstellung des NC-Programmes immer die Werkstückkoordinaten verwendet werden.

NC-gerechte Bemaßung

Bei der NC-Programmierung wird mit zwei verschiedenen Bemaßungsarten gearbeitet:

- der Absolutbemaßung und
- der Inkrementalbemaßung (Kettenmaß).

Die Absolutbemaßung bezieht sich immer auf den Werkstücknullpunkt, das heißt, es werden Bezugsmaße verwendet (vgl. Abbildung 32). Dagegen benutzt die inkrementale Bemaßung die sogenannten Kettenmaße, die immer vom momentan erreichten Punkt bis zum nächsten Punkt gehen (vgl. Abbildung 33).

Beim Drehen ist zu beachten, daß bei der Absolutbemaßung die X-Werte Durchmesserangaben sind.

Bei der Inkrementalbemaßung sind die X-Werte auf den Radius bezogen.

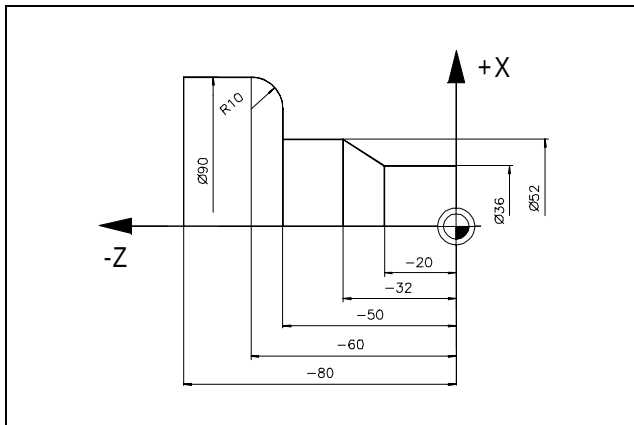


Abbildung 32
Beispiel für Absolutbemaßung

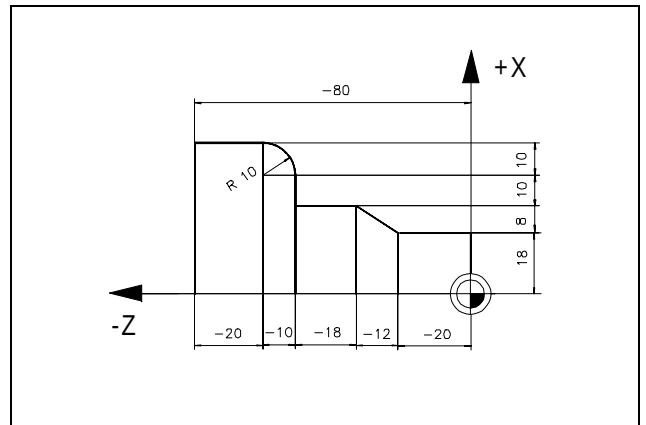


Abbildung 33
Beispiel für Inkrementalbemaßung

Bei der Programmierung ist die Absolutmaßbemaßung vorzuziehen, da deren Vorteile gegenüber der Inkrementalbemaßung überwiegen:

- Maßtoleranzen addieren sich nicht,
- Veränderungen einzelner Maße müssen keine Auswirkungen auf die folgenden haben,
- einzelne falsche Maße führen nicht zu Folgefehlern,
- Absolutkoordinaten geben den momentan vom Werkzeug zurückgelegten Weg an, so daß die einzelnen Programmschritte besser verfolgt werden können.

NC-gerechte Zeichnungen sollten daher Kettenmaße vermeiden und mit Koordinatenwerten von einem Bezugspunkt ausgehend, erstellt werden.

Trotz dieser Vorteile kann nicht immer auf die Inkrementalmaßprogrammierung verzichtet werden. Zum Beispiel ist sie vorteilhaft, wenn mehrere gleiche Konturteile, wie Einstiche u.ä. nacheinander zu fertigen sind.

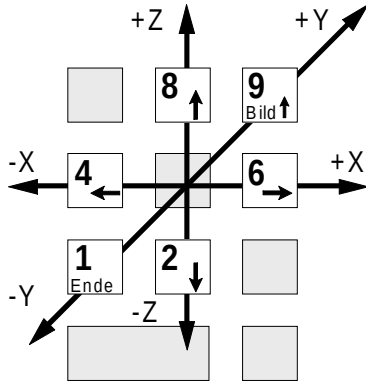
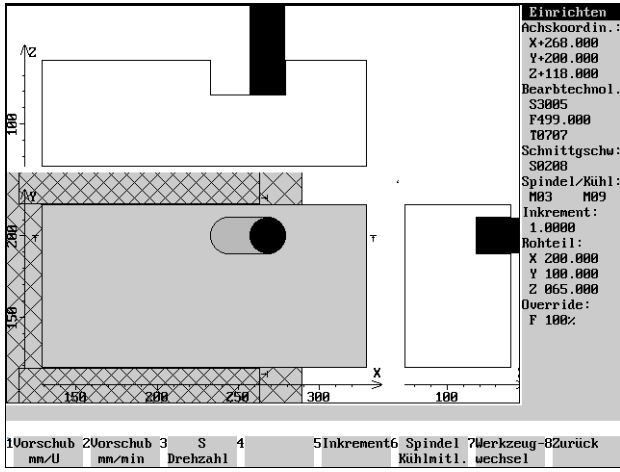
CNC-Demo

Steuerbare NC-Achsen am CNC-Simulator

Wie an der realen CNC-Werkzeugmaschine kann man im CNC-Simulator die NC-Achsen manuell verfahren. Nachfolgend ist die Beschreibung der dazu notwendigen Bedienungsschritte am CNC-Simulator aufgelistet.

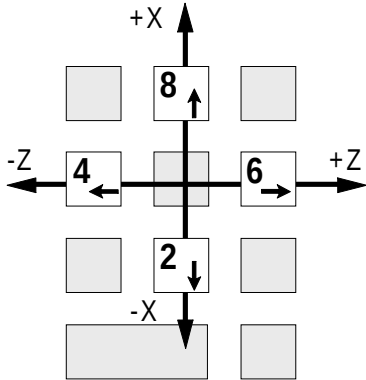
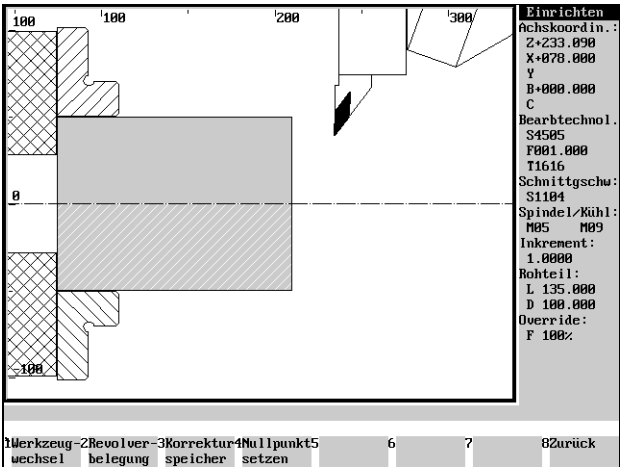
Bei der Eingabe sind nur die angegebenen Tasten (z.B. entspricht **F5** der Funktionstaste F5) zu drücken.

CNC-Fräsen

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Fräsen im Hauptmenü aufrufen.	F2 (Fräsen)
2.	Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Die X, Y oder Z-Achse verfahren und den Verfahrweg kontrollieren. 	Auf der Nummerntastatur die jeweilige Taste drücken. Mögliche Bewegungsrichtungen: 6 → (+ X - Richtung) 4 ← (- X - Richtung) 9 Bild ↑ (+ Y - Richtung) 1 Ende (- Y - Richtung) 8 ↑ (+ Z - Richtung) 2 ↓ (- Z - Richtung)
		Der Verfahrweg kann anhand der angezeigten Achskoordinaten kontrolliert werden.
4.	Menü Einrichtbetrieb verlassen	F8 (Zurück)

Übung: Jeder Auszubildende übt einmal das Verfahren der NC-Achsen am CNC-Simulator.

CNC-Drehen

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Drehen im Hauptmenü aufrufen.	F1 (Drehen)
2.	Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Die X oder Z-Achse verfahren und den Verfahrweg kontrollieren. 	<u>Auf der Nummerntastatur</u> die jeweilige Taste drücken. Mögliche Bewegungsrichtungen: 6 → (+ Z - Richtung) 4 ← (- Z - Richtung) 8 ↑ (+ X - Richtung) 2 ↓ (- X - Richtung)
	 Der Verfahrweg kann anhand der angezeigten Achskoordinaten kontrolliert werden.	
4.	Menü Einrichtbetrieb verlassen.	F8 (Zurück)

Übung: Jeder Auszubildende übt einmal das Verfahren der NC-Achsen im CNC-Simulator.

Werkstatt

An den vorhandenen CNC-Maschinen sollen die steuerbaren NC-Achsen verfahren werden. Dabei ist entsprechend den jeweiligen Bedienungsanleitungen vorzugehen.

Übung: Jeder Auszubildende übt einmal das Verfahren der NC-Achsen an der CNC-Werkzeugmaschine.

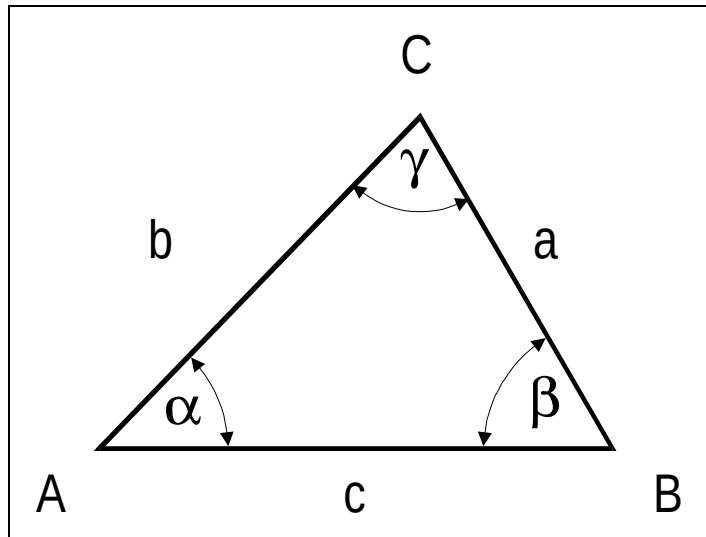
2.2 NC-Mathematik

Grundlagen der Koordinatenberechnung

Bei der CNC-Programmierung müssen die jeweiligen Punkte der zu fertigenden Kontur eingegeben werden. Meist ist eine direkte Übernahme dieser Konturpunkte aus der Zeichnung möglich, sofern sie NC-gerecht bemäht ist. In einigen Fällen ist jedoch eine Koordinatenberechnung notwendig.

Kenngößen eines Dreiecks

Zur Berechnung der fehlenden Koordinaten sind die am Dreieck geltenden Beziehungen sehr hilfreich. Es gibt mehrere Möglichkeiten ein Dreieck zu beschreiben. Dazu werden einige der folgenden Kenngößen, das heißt Ecken, Winkel oder Seiten benutzt (vgl. Abbildung 34).



Ecken

A, B und C kennzeichnen die drei **Ecken** eines Dreiecks.

Winkel

α , β und γ sind die zugehörigen **Winkel** in den Ecken des Dreiecks.

Seiten

a, b und c bezeichnen die **Seiten** des Dreiecks gegenüber den Ecken A, B und C.

Die Bezeichnung der einzelnen Bestandteile eines Dreiecks erfolgt immer entgegen dem Uhrzeigersinn.

Abbildung 34
Kenngößen eines Dreiecks

Winkel am Dreieck

Die Winkel am Dreieck bestimmen den Dreieckstyp. Je nach der Größe der einzelnen Winkel unterscheidet man spitz-, stumpf- oder rechtwinklige Dreiecke (vgl. Abbildung 35 - 37).

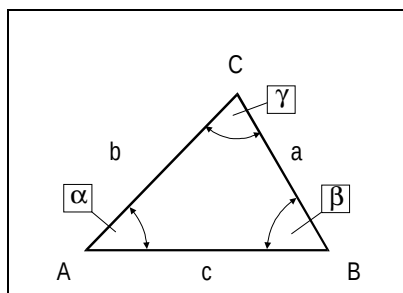


Abbildung 35
Spitzwinkliges Dreieck
Alle Winkel sind kleiner als 90° .

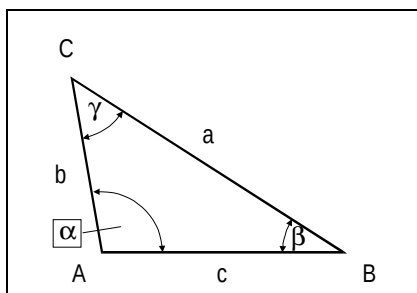


Abbildung 36
Stumpfwinkliges Dreieck
Ein Winkel ist größer als 90° .

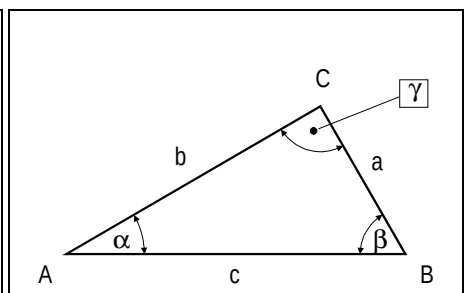


Abbildung 37
Rechtwinkliges Dreieck
Ein Winkel ist gleich 90° .

Am Dreieck gilt die Beziehung: die **Summe der Winkel** α , β und γ in einem Dreieck beträgt immer 180° .

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$$

Mit deren Hilfe ist es möglich, bei zwei bekannten Winkeln den dritten unbekannten Winkel zu bestimmen.

Rechtwinkliges Dreieck

Das rechtwinklige Dreieck (vgl. Abbildung 38) hat eine besondere Bedeutung in der analytischen Geometrie, da die Seiten eines solchen Dreiecks in einem bestimmten mathematischen Verhältnis zueinander stehen. Am rechtwinkligen Dreieck werden die einzelnen Seiten besonders bezeichnet.

- Die längste Seite liegt gegenüber dem rechten Winkel und heißt **Hypotenuse**.
- Die beiden Seiten des Dreiecks, die den rechten Winkel bilden, heißen **Katheten**.
Die dem Winkel α gegenüberliegende Seite heißt **Gegenkathete**.
Die dem Winkel α anliegende Seite heißt **Ankathete**.

Am rechtwinkligen Dreieck wird der rechte Winkel (vgl. Abbildung 38) durch einen im Winkel liegenden Viertelkreis und einen Punkt dargestellt.

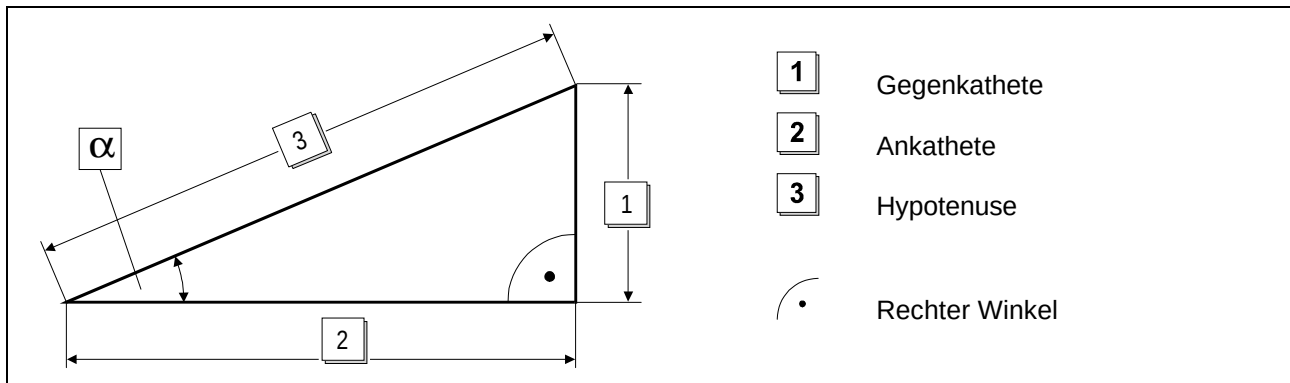


Abbildung 38
Rechtwinkliges Dreieck

Im rechtwinkligen Dreieck gilt:

Am rechtwinkligen Dreieck lässt sich die Länge einer fehlenden Seite berechnen, wenn die anderen beiden Seitenlängen bekannt sind. Dazu wird der Satz des Pythagoras (vgl. Abbildung 39) verwendet.

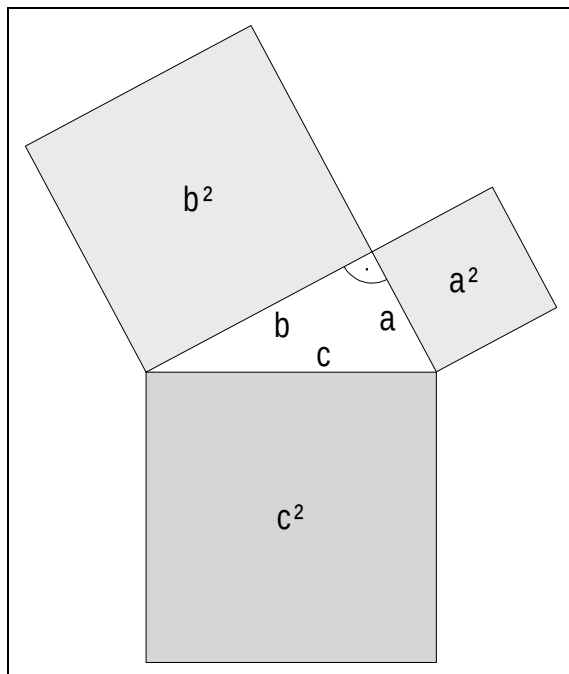


Abbildung 39
Satz des Pythagoras

Der Grieche Pythagoras (ca. 580 - 496 vor Christus) bewies als Erster die folgende mathematische Beziehung, die nach ihm als

Satz des Pythagoras

bezeichnet wird.

Die Summe der Kathetenquadrate ist gleich dem Hypotenusenquadrat

oder ausgedrückt in einer Gleichung:

$$a^2 + b^2 = c^2$$

Durch entsprechende Umformungen lassen sich die jeweiligen Seiten berechnen:

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Trigonometrische Funktionen

Die trigonometrischen Funktionen beschreiben die Beziehungen zwischen den Winkeln und den Seiten am rechtwinkligen Dreieck. Mit Hilfe dieser trigonometrischen Funktionen ist es möglich, unbekannte Seitenlängen mit einem bekannten Winkel und einer bekannten Seite zu errechnen. Die Auswahl der geeigneten trigonometrischen Funktion, das heißt der Sinusfunktion (vgl. Abbildung 40), der Cosinusfunktion (vgl. Abbildung 41) oder der Tangensfunktion (vgl. Abbildung 42) hängt davon ab, welche Seite und welcher Winkel bekannt ist.

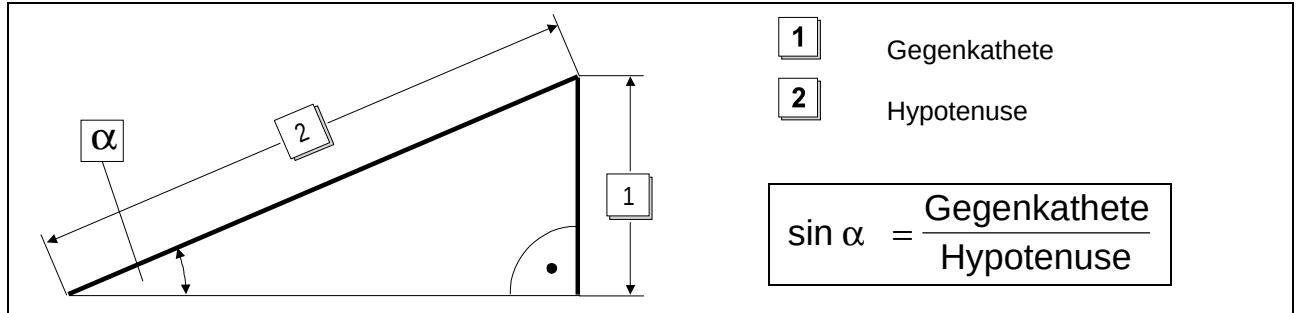


Abbildung 40
Sinusfunktion

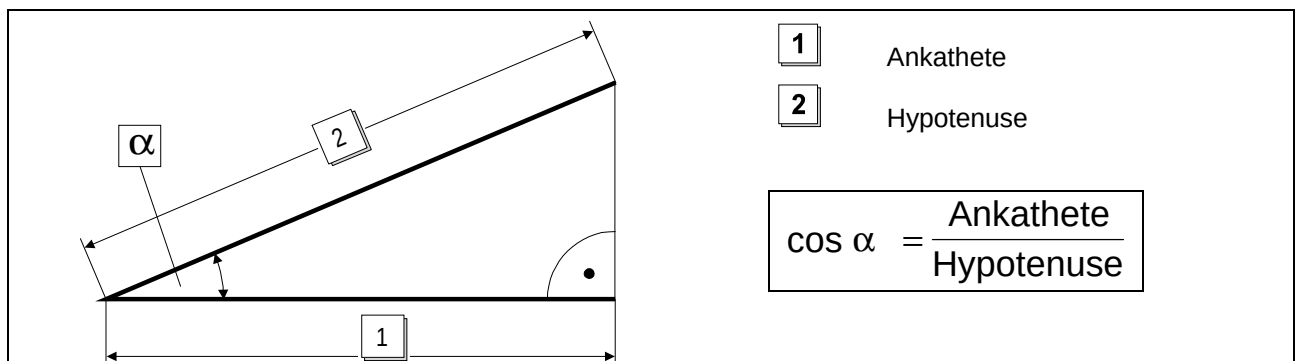


Abbildung 41
Cosinusfunktion

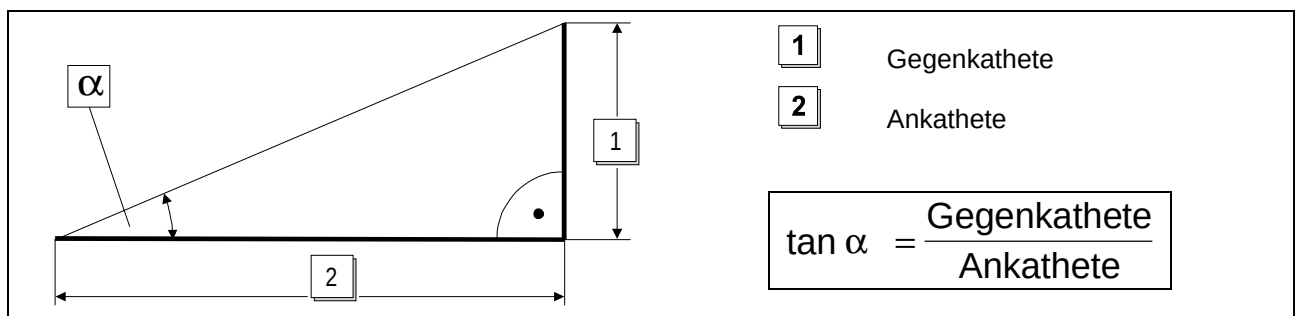


Abbildung 42
Tangensfunktion

Bei der Berechnung von unbekannten Seiten müssen die entsprechenden Gleichungen wie im folgenden Beispiel umgeformt werden:

Bekannt sind: der Winkel und die Länge der Ankathete

Gesucht ist: die Länge der Gegenkathete

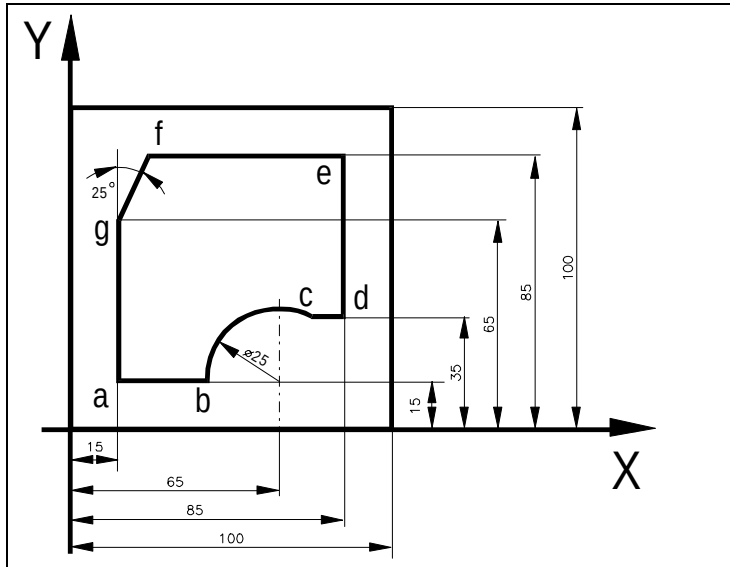
Es gilt: $\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$ (vgl. Abbildung 42), daraus ergibt sich:

$$\text{Gegenkathete} = \text{Ankathete} \cdot \tan \alpha$$

Berechnung von NC-Koordinaten

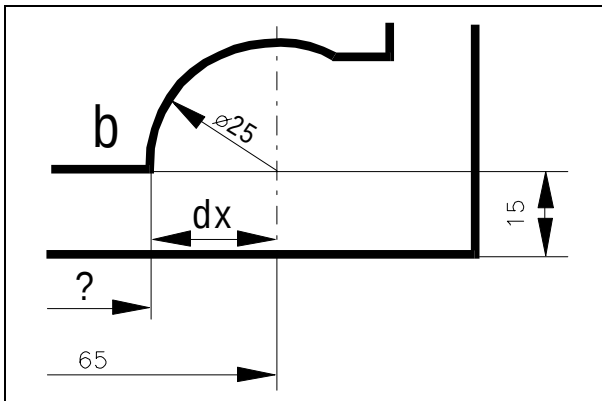
Viele Werkstückzeichnungen sind nicht NC-gerecht bemaßt. Neben der Verwendung der Inkrementalbemaßung kommen in Zeichnungen oft Bemaßungen über die Angabe eines Winkels vor. Der Programmierer muß deshalb bei der manuellen Programmierung die fehlenden kartesischen Koordinaten von zu programmierenden Punkten berechnen.

In der folgenden Zeichnung müssen die Koordinaten der Punkte b, c und f berechnet werden. Die anderen Punkte sind direkt bemaßt.



	X	Y
a	15	15
b	?	15
c	?	35
d	85	35
e	85	85
f	?	85
g	15	65

Berechnung des Punktes b:



Gegeben : x vom Mittelpunkt = 65 mm

Gesucht : x vom Punkt b = ?

Lösung : $x = 65 \text{ mm} - dx$

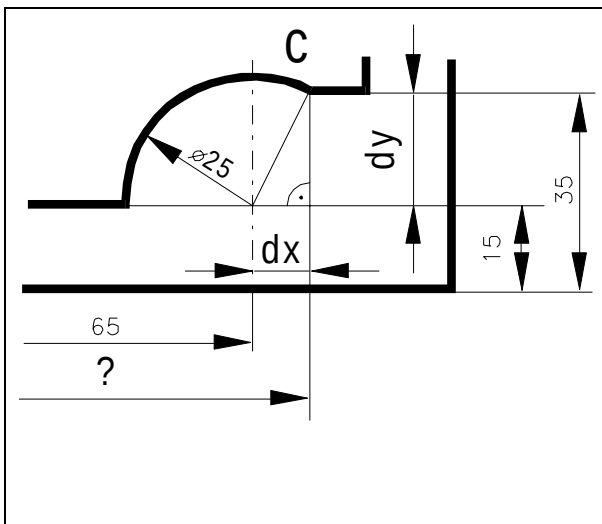
$dx = \text{Radius des Kreisbogen}$

$dx = 25 \text{ mm}$

$x = 65 \text{ mm} - 25 \text{ mm}$

$x = 40 \text{ mm}$

Berechnung des Punktes c:



Gegeben : x vom Mittelpunkt = 65 mm

Radius des Kreisbogen $r = 25 \text{ mm}$

$dy = 35 \text{ mm} - 15 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$

Gesucht : x vom Punkt c = ?

Lösung : $x = 65 \text{ mm} + dx$

Es gilt: $dx = \sqrt{r^2 - dy^2}$

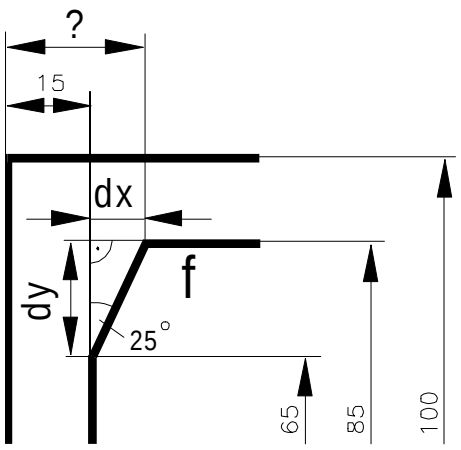
$dx = \sqrt{(25 \text{ mm})^2 - (20 \text{ mm})^2}$

$dx = \sqrt{225 \text{ mm}^2}$

$dx = 15 \text{ mm}$

$x = 65 \text{ mm} + 15 \text{ mm}$

$x = 80 \text{ mm}$



Gegeben : x vom Anfang der Schrägen = 15 mm

Winkel der Schrägen $\alpha = 25^\circ$

$dy = 85 \text{ mm} - 65 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$

Gesucht : x vom Punkt f = ?

Lösung : $x = 15 \text{ mm} + dx$

Es gilt: Gegenkathete = Ankathete * $\tan \alpha$

$dx = 20 \text{ mm} * \tan 25^\circ$

$dx = 20 \text{ mm} * 0,4663$

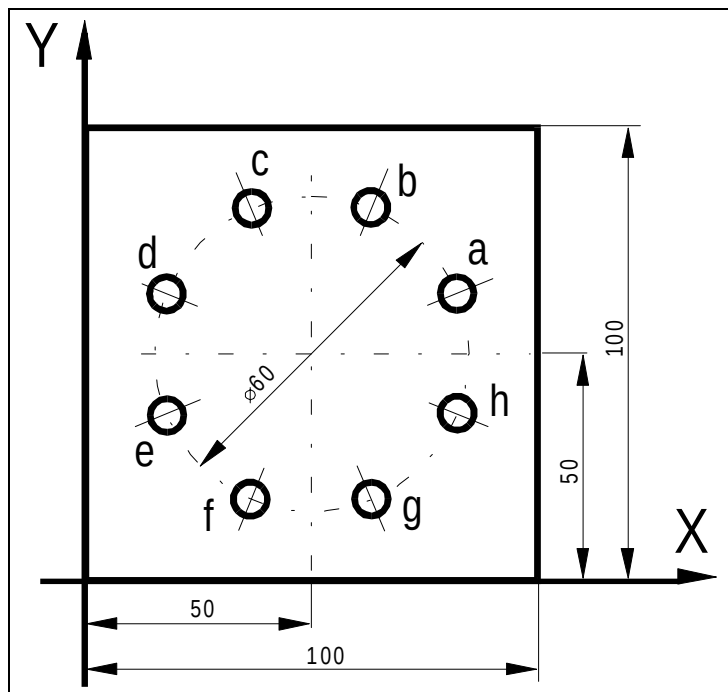
$dx = 9,326 \text{ mm}$

$x = 15 \text{ mm} + 9,326 \text{ mm}$

$x = 24,326 \text{ mm}$

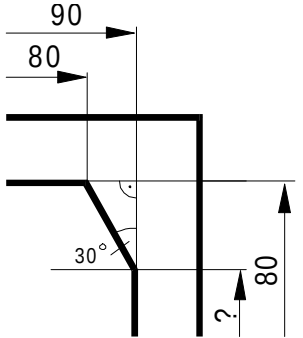
CNC-Übung

Tragen Sie die kartesischen Koordinaten von den Mittelpunkten der Bohrungen a bis h in die Tabelle ein. Geben Sie alle Werte auf drei Stellen nach dem Komma gerundet an.

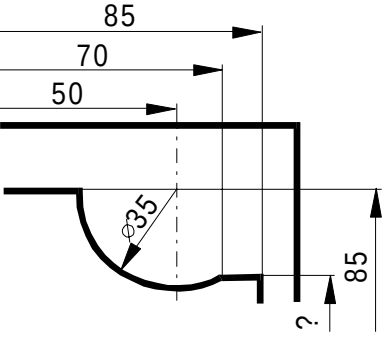


	X	Y
a		
b		
c		
d		
e		
f		
g		
h		

Berechnen sie die fehlenden Koordinaten in den folgenden Beispielen.



Gesucht: Y-Koordinate



Gesucht: Y-Koordinate

2.3 Null- und Bezugspunkte an CNC-Werkzeugmaschinen

Arten von Null- und Bezugspunkten

	M	Maschinennullpunkt
	W	Werkstücknullpunkt
	R	Referenzpunkt
	E	Werkzeugbezugspunkt
	B	Werkzeugeinstellpunkt
	A	Werkzeugaufnahmepunkt
	N	Werkzeugwechsellpunkt

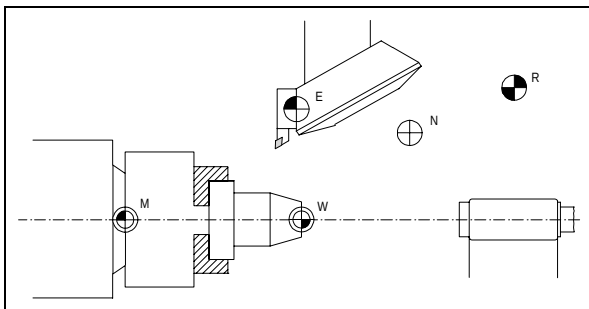


Abbildung 43
Lage der Null- und Bezugspunkte beim Drehen

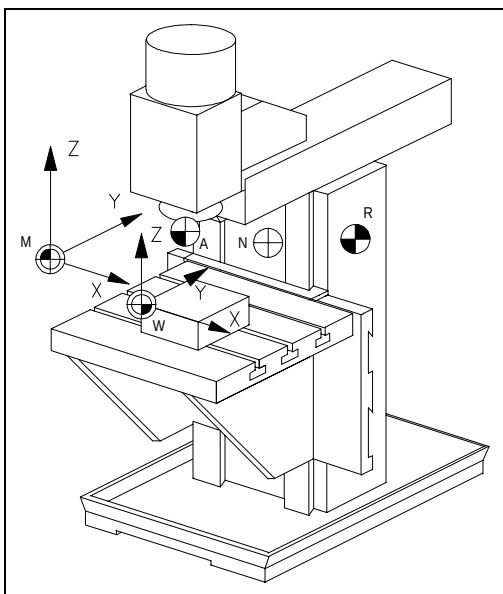


Abbildung 44
Lage der Null- und Bezugspunkte beim Fräsen

Maschinennullpunkt M

Jede numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine arbeitet mit einem Maschinenkoordinatensystem. Der Maschinennullpunkt ist der Ursprung des maschinenbezogenen Koordinatensystems. Seine Lage ist unveränderlich und wird durch den Maschinenhersteller festgelegt. In der Regel liegt der Maschinennullpunkt M bei CNC-Drehmaschinen auf der Mitte der Arbeitspinnelnase und bei CNC-Senkrechtfräsmaschinen über der linken Eckenkante des Werkstückschlittens.

Referenzpunkt R

Eine CNC-Werkzeugmaschine mit inkrementalem Wegmeßsystem benötigt darüber hinaus einen Eichpunkt, der zugleich zur Kontrolle der Werkzeug- und Werkstückbewegungen dient. Dieser Eichpunkt wird als Referenzpunkt R bezeichnet. Seine Lage ist in jeder Verfahrachse durch Endschalter genau festgelegt. Die Koordinaten des Referenzpunktes haben, bezogen auf den Maschinennullpunkt, immer den gleichen Zahlenwert. Dieser ist in der CNC-Steuerung fest eingestellt. Nach dem Einschalten der Maschine muß zuerst in allen Achsen der Referenzpunkt zur Eichung des inkrementalen Wegmeßsystems angefahren werden.

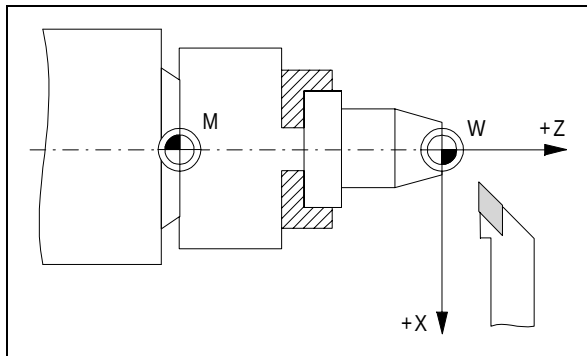
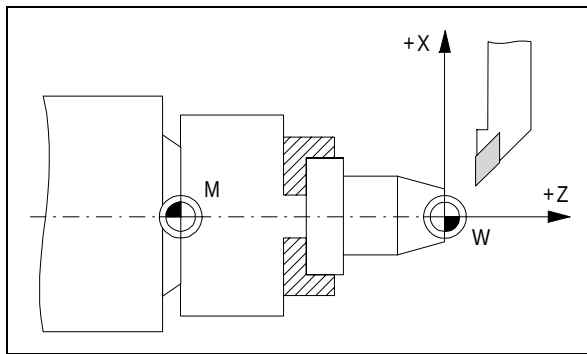


Abbildung 45
Werkstücknullpunkt eines Drehteils

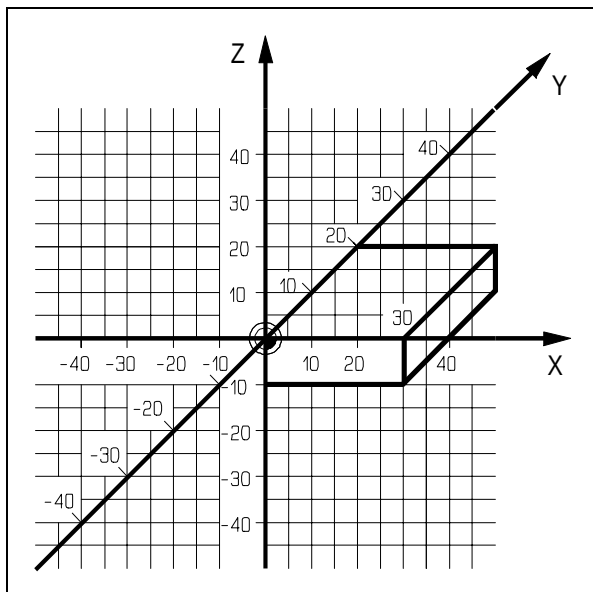


Abbildung 46
Werkstücknullpunkt eines Frästeils

Werkstücknullpunkt W

Der Werkstücknullpunkt W ist der Ursprung des werkstückbezogenen Koordinatensystems. Seine Lage wird vom Programmierer nach praktischen Gesichtspunkten festgelegt. Am günstigsten wird er so gelegt, daß die Maßangaben aus der Zeichnung für das Programmieren direkt übernommen werden können. Bei Drehteilen ist der Werkstücknullpunkt in der Regel in die Mitte der rechten oder linken Seite des Fertigteiles zu legen, je nachdem von welcher Seite aus bemaßt wurde.

Der Werkstücknullpunkt kann im NC-Programm verschoben werden, z.B. wenn ein Drehteil von 2 Seiten zwischen Spitzen fertigbearbeitet werden soll. In diesem Fall ist es zweckmäßig, den Werkstücknullpunkt wechselseitig auf die rechte oder linke Seite des Fertigteiles zu verschieben.

Bei Frästeilen wird meist ein äußerer Eckpunkt als Werkstücknullpunkt gewählt, je nachdem welcher Eckpunkt beim Bemaßen des Werkstückes als Bezugspunkt gewählt wurde.

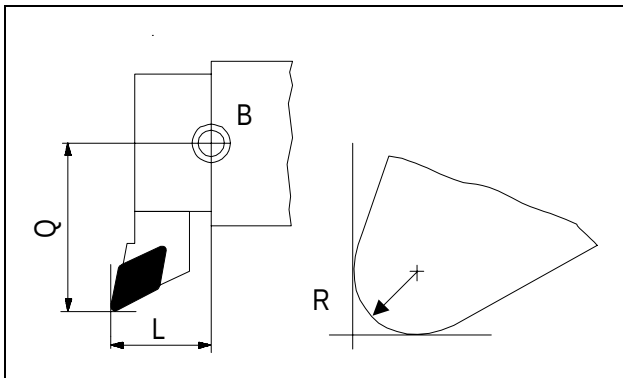
Werkzeugbezugspunkt E

Ein weiterer wichtiger Punkt im Arbeitsraum der Maschine ist der Werkzeugbezugspunkt E. Der Werkzeugbezugspunkt einer CNC-Drehmaschine ist ein fester Punkt an ihrem Werkzeugschlitten. Bei CNC-Fräsmaschinen befindet sich der Werkzeugbezugspunkt E an der Werkzeugspindel.

Die CNC-Steuerung bezieht alle Zielpunktkoordinaten zunächst auf den Werkzeugbezugspunkt. Beim Programmieren der Zielkoordinaten bezieht man sich jedoch auf die Werkzeugspitze des Drehwerkzeugs oder auf den Mittelpunkt des Fräswerkzeuges. Damit die Werkzeugspitze beim Drehen bzw. die Werkzeuge beim Fräsen genau den gewünschten Bearbeitungsweg entlang gesteuert werden können, müssen sie exakt vermessen werden. Die Werkzeuge können einerseits außerhalb der Maschine mit einem Voreinstellgerät oder andererseits mit Hilfe einer speziellen Optik direkt an der CNC-Maschine vermessen werden. Die ermittelten Werte werden beim Vermessen mit einer Optik direkt in den Speicher der Maschine eingegeben. Nutzt man

dagegen ein Voreinstellgerät, so müssen die ermittelten Werte für jedes Werkzeug anschließend von Hand in den entsprechenden Korrekturwertspeicher der Steuerung eingetragen werden.

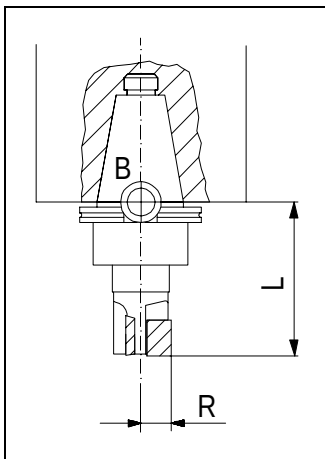
Um die Werkzeugvoreinstellung außerhalb der CNC-Maschine vornehmen zu können benötigt man zwei weitere Punkte. Dies sind der Werkzeugeinstellpunkt B sowie der Werkzeugaufnahmepunkt A.



Lage des Werkzeugeinstellpunktes B bei einem Drehwerkzeug

- B Werkzeugeinstellpunkt
- L Länge = Abstand der Schneidenspitze zum Werkzeugeinstellpunkt in X
- Q Querablage = Abstand der Schneidenspitze zum Werkzeugeinstellpunkt in Z
- R Schneidenradius

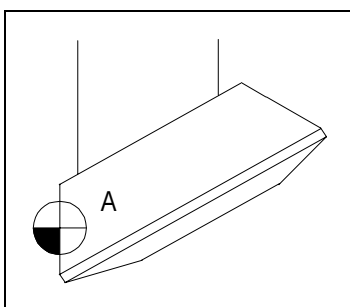
Abbildung 47
Werkzeugeinstellpunkt bei einem Drehwerkzeug



Lage des Werkzeugeinstellpunktes bei B einem Fräswerkzeug

- B Werkzeugeinstellpunkt
- L Länge = Abstand der Schneidenspitze zum Werkzeugeinstellpunkt in Z
- R Radius des Fräswerkzeugs

Abbildung 48
Werkzeugeinstellpunkt bei einem Fräswerkzeug



Lage des Werkzeugaufnahmepunktes A an einem Werkzeugrevolver

- A Werkzeugaufnahmepunkt

Abbildung 49
Werkzeugaufnahmepunkt am Werkzeugrevolver

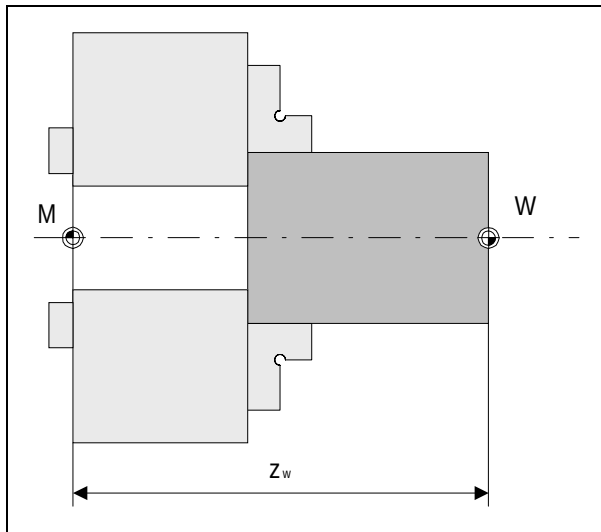
Wenn das Werkzeugsystem (Werkzeughalter mit Werkzeug) in den Werkzeugträger (z.B. einen Revolver) eingesetzt wird, dann fallen der Werkzeugeinstellpunkt B und der Werkzeugaufnahmepunkt A zusammen und bilden den Werkzeugbezugspunkt E.

Werkzeugwechselpunkt N

Der Werkzeugwechselpunkt N ist derjenige Punkt im Arbeitsraum der CNC-Maschine, an dem die Werkzeuge kollisionsfrei gewechselt werden können. In den meisten CNC-Steuerungen ist die Lage des Werkzeugwechselpunktes konfigurierbar.

Setzen des Werkstücknullpunktes W an einer CNC-Drehmaschine

Durch das Setzen des Werkstücknullpunktes W soll erreicht werden, daß der Werkstücknullpunkt dem Zeichnungsnullpunkt entspricht. Damit können die Zeichnungsmaße direkt zum Programmieren benutzt werden.



Die Festlegung der Lage des Werkstücknullpunktes erfolgt in Bezug auf den Maschinennullpunkt M der CNC-Maschine.

Der Maschinennullpunkt liegt bei Drehmaschinen im allgemeinen auf der Drehachse der Hauptspindel an der Planfläche des Spindelflansches, an dem das Backenfutter angeflanscht wird (vgl. Abbildung 50).

Mit Hilfe der im folgenden beschriebenen Bedienhandlungen wird der Abstand zwischen dem Maschinennullpunkt M und dem Werkstücknullpunkt W ermittelt. Dieser Wert z_w , auch Nullpunktverschiebung genannt, wird der CNC-Steuerung anschließend mitgeteilt.

Abbildung 50
Setzen des Werkstücknullpunktes an einer CNC-Drehmaschine

Vorgehensweise

Voraussetzung: Alle Bearbeitungswerkzeuge sind im Revolverkopf vorhanden und vermessen.
Das Spannmittel ist vorbereitet und das Werkstück korrekt eingespannt.

1. Die Spindel (Linkslauf) einschalten.
2. Das Werkzeug für die Bestimmung des Werkstücknullpunktes einwechseln, d. h. Schwenken des Revolverkopfes auf die entsprechende Stellung, z. B. T02.
Achtung: Der Schwenkbereich des Revolvers muß zuvor überprüft werden, damit beim Schwenken keine Kollision auftritt.
3. Ankratzen der vorderen Planfläche des Werkstückes:
vorsichtiges Verfahren des Werkzeuges mit dem Handrad
oder den entsprechenden Richtungstasten der Tastatur der CNC-Steuerung
bis die Schneide eine Markierung am Werkstück hervorruft.
4. Eingabe des gewünschten Planflächenaufmaßes (z. B. 0,5 mm) an der CNC-Steuerung.
Anschließendes Betätigen der Nullungstaste.
(Das Aufmaß wird benutzt, um die Stirnseite bei $z=0$ planzudrehen)
5. Daraufhin speichert die CNC-Steuerung den Wert der Nullpunktverschiebung z_w .
Der Werkstücknullpunkt W ist somit eindeutig definiert, da die X-Koordinate Null in der Drehachse liegt.
6. Durch ein eventuelles Aufmaß muß die Stirnseite plangedreht werden. Dies ist beim Erstellen des NC-Programmes zu berücksichtigen.

Setzen des Werkstücknullpunktes W an einer CNC-Fräsmaschine

Wie bei der CNC-Drehmaschine soll auch bei der CNC-Fräsmaschine durch das Setzen des Werkstücknullpunktes W erreicht werden, daß der Werkstücknullpunkt dem Zeichnungsnullpunkt entspricht. Damit können die Zeichnungsmaße direkt zum Programmieren benutzt werden.

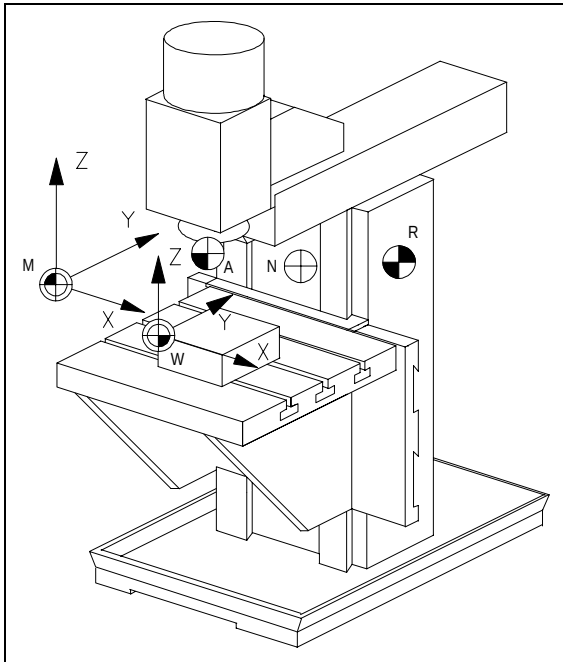


Abbildung 51
Setzen des Werkstücknullpunktes an einer CNC-Fräsmaschine

Die Festlegung der Lage des Werkstücknullpunktes erfolgt in Bezug auf den Maschinennullpunkt M. Der Maschinennullpunkt liegt bei CNC-Senkrechtfräsmaschinen meist über der linken Eckkante des Maschinentisches (vgl. Abbildung 51).

Mit Hilfe der im folgenden beschriebenen Bedienhandlungen wird der Abstand zwischen dem Maschinennullpunkt M und dem Werkstücknullpunkt W in den drei Koordinaten X, Y und Z ermittelt. Diese Werte werden der CNC-Steuerung anschließend mitgeteilt.

Vorgehensweise

Voraussetzung:

Das Werkstück ist ausgerichtet und fest auf den Maschinentisch gespannt. Alle Werkzeuge sind exakt zueinander vermessen. Die jeweiligen Korrekturwerte wurden in die CNC-Steuerung eingetragen. Das Nullungswerkzeug ist eingespannt und die Spindel läuft.

1. Durchführung der Nullung in Z-Richtung

Der Maschinentisch mit dem aufgespannten Werkstück wird unter die Arbeitsspindel mit dem Nullungswerkzeug verfahren (in X und Y).

Nun wird das Werkzeug bei laufender Spindel in Z-Richtung auf die Oberfläche des Werkstückes (X,Y-Ebene) abgesenkt (vgl. Abbildung 52), bis eine kleine Markierung am Werkstück entsteht (ankratzen).

An dieser Stelle wird die Z-Achse auf Null gesetzt und der Z-Wert des Werkstücknullpunktes W mit Hilfe der Taste IST-Wertübernahme in die CNC-Steuerung übertragen und gespeichert.

2. Durchführung der Nullung in X-Richtung

Das Werkzeug wird wieder angehoben und in die neue Nullungsposition für die X-Achse verfahren. Bei laufender Spindel wird es in X-Richtung an die Seitenfläche des Werkstückes (Y,Z-Ebene) verfahren (vgl. Abbildung 53), bis eine kleine Markierung am Werkstück entsteht (ankratzen).

Beim Ankratzen in X muß der Radius des verwendeten Fräswerkzeuges bei der Eingabe des Wertes für die IST-Wertübernahme beachtet werden, da bei der NC-Programmierung immer die Mittelpunktskoordinaten des Werkzeuges verwendet werden.

Hat der Fräser in der nebenstehenden Abbildung z. B. einen Radius von 15 mm, so muß $X = -15$ an der CNC-Steuerung eingegeben und dann die Taste für die IST-Wertübernahme betätigt werden.

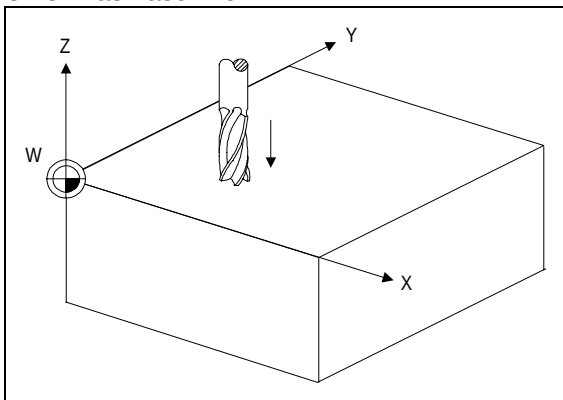


Abbildung 52
Nullung in Z

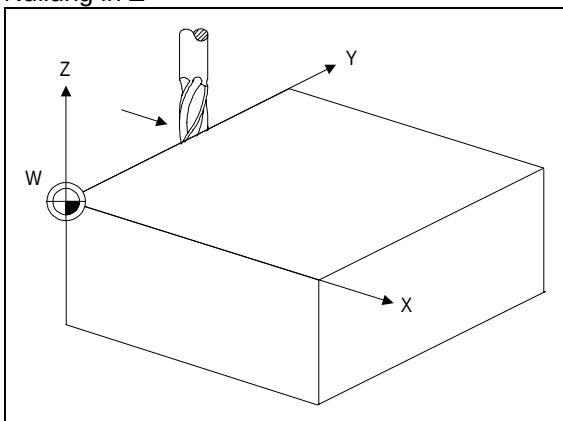


Abbildung 53
Nullung in X

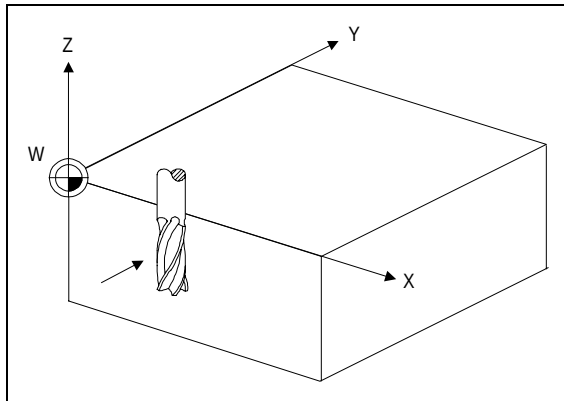


Abbildung 54
Nullung in Y

3. Durchführung der Nullung in Y-Richtung

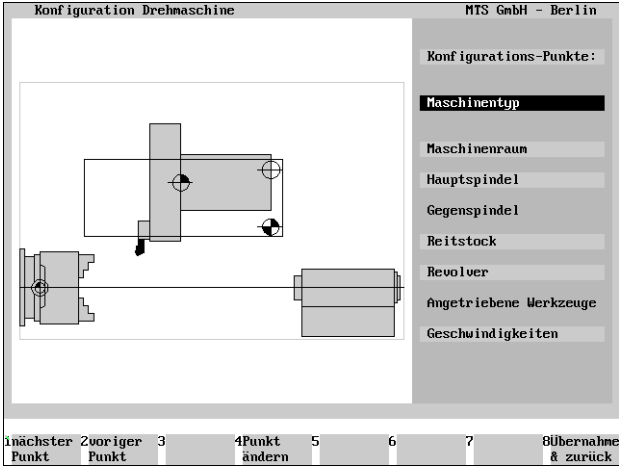
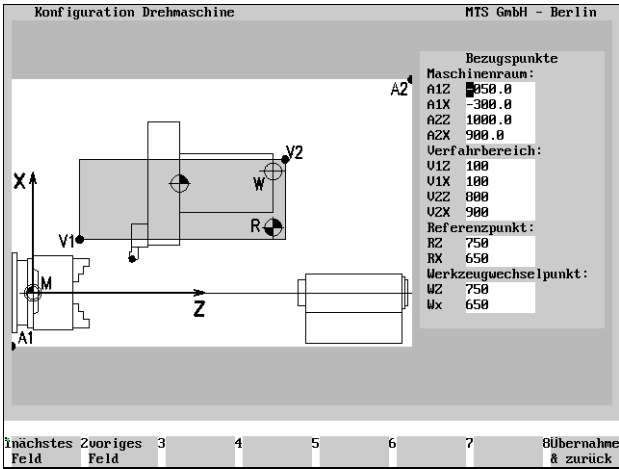
Im letzten Schritt wird das Werkzeug in die Nullungsposition für die Y-Achse verfahren. Bei laufender Spindel wird es in Y-Richtung an die Seitenfläche des Werkstückes (X, Z-Ebene) verfahren (vgl. Abbildung 54), bis eine kleine Markierung am Werkstück entsteht (ankratzen).

Auch beim Ankratzen in Y muß der Radius des verwendeten Fräswerkzeuges bei der Eingabe des Wertes für die IST-Wertübernahme beachtet werden, da bei der NC-Programmierung immer die Mittelpunktskordinaten des Werkzeuges verwendet werden.

Hat der Fräser in der nebenstehenden Abbildung z. B. einen Radius von 15 mm, so muß $Y=-15$ an der CNC-Steuerung eingegeben und dann die Taste für die IST-Wertübernahme betätigt werden.

CNC-Übung

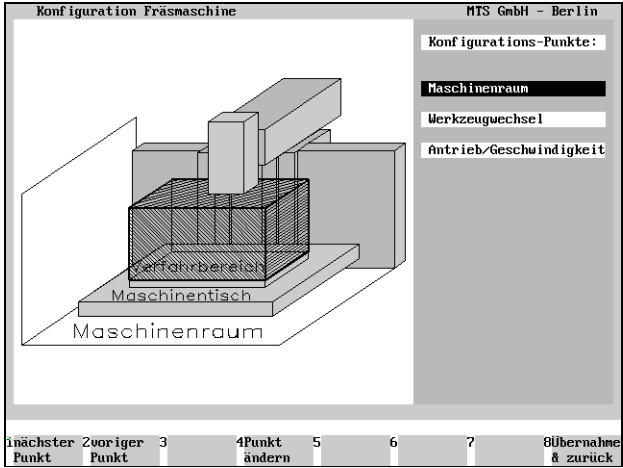
Erzeugen des Maschinenraumes einer CNC-Drehmaschine

	Beschreibung	Eingaben
1.	Die Konfiguration im Hauptmenu aufrufen.	F5 (Konfiguration)
2.	Die MTS-Drehmaschine anwählen.	F1 oder F2 anwählen
3.	Die Konfigurationsverwaltung aufrufen.	F5 (Konfig verwalten)
4.	Erzeugen einer neuer Konfiguration.	F1 (Erzeugen)
5.	Neuen Namen eingeben, z.B. DS2.	Mit der Tastatur Namen „DS2“ schreiben F8 (Erzeugen)
6.	Vorgabedaten wählen, z.B. Okuma LB15-IIC	↑ oder ↓ auswählen F8 (Vorgeben)
		
7.	Den Konfigurationspunkt „Maschinenraum“ anwählen.	F1 oder F2 anwählen
8.	Die Maschinenraumdaten ändern.	F4 (Punkt ändern)
		

9.	Die Maschinenraumdaten schreiben.	F1 oder F2 anwählen der einzelnen Punkte mit der Tastatur die Werte schreiben F8 (Übernahme & zurück)
10.	Menü Konfiguration Drehmaschine verlassen	F8 (Übernahme & zurück)
11.	Hauptmenü Konfiguration verlassen	F8 (Übernahme & Beenden)

CNC-Übung

Erzeugen des Maschinenraumes einer CNC-Fräsmaschine

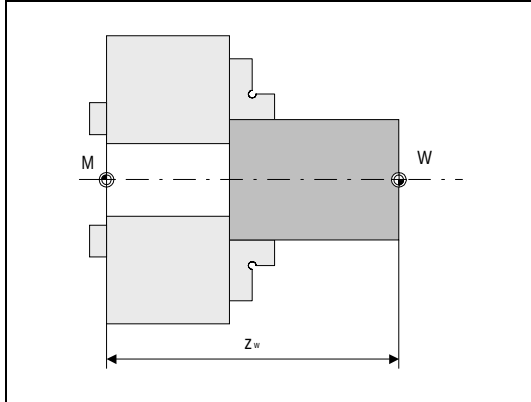
	Beschreibung	Eingaben
1.	Die Konfiguration im Hauptmenu aufrufen.	F5 (Konfiguration)
2.	Die MTS-Fräsmaschine anwählen.	F1 oder F2 anwählen
3.	Die Konfigurationsverwaltung aufrufen.	F5 (Konfig verwalten)
4.	Erzeugen einer neuer Konfiguration.	F1 (Erzeugen)
5.	Neuen Namen eingeben, z.B. FS2.	Mit der Tastatur Namen „FS2“ schreiben. F8 (Erzeugen)
6.	Vorgabedaten wählen, z.B. MAKINO FX 650	↑ oder ↓ auswählen F8 (Vorgeben)
		
7.	Den Konfigurationspunkt „Maschinenraum“ anwählen.	F1 oder F2 anwählen
8.	Die Maschinenraumdaten ändern.	F4 (Punkt ändern)

9.	Die Maschinenraumdaten schreiben.	F1 oder F2 anwählen der einzelnen Punkte mit der Tastatur die Werte schreiben F8 (Übernahme & weiter)
10.	Die Daten für die Bezugspunkte schreiben.	F1 oder F2 anwählen der einzelnen Punkte mit der Tastatur Werte schreiben F8 (Übernahme & zurück)
11.	Menü Konfiguration Fräsmaschine verlassen	F8 (Übernahme & zurück)
12.	Hauptmenü Konfiguration verlassen	F8 (Übernahme & Beenden)

CNC-Übung**Setzen des Werkstücknullpunktes W im CNC-Simulator Drehen**

Durch das Setzen des Werkstücknullpunktes W soll der Zusammenhang zwischen dem maschinenbezogenen und dem werkstückbezogenen Koordinatensystem hergestellt werden. Der Werkstücknullpunkt entspricht dem Zeichnungsnullpunkt. Damit können beim Programmieren die Zeichnungsmaße verwendet werden.

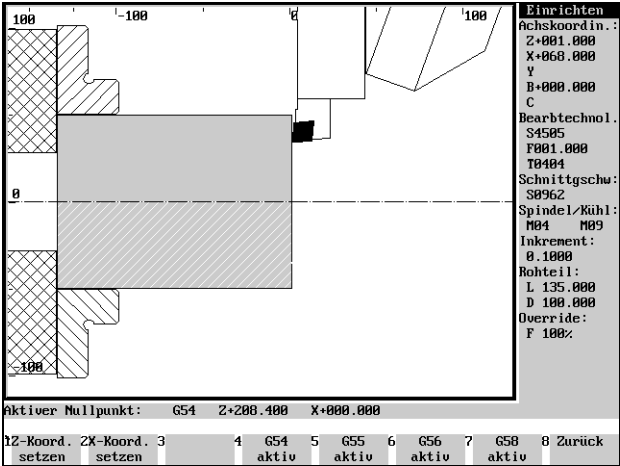
Mit Hilfe der nachfolgend beschriebenen Bedienschritte wird der Abstand zwischen dem Maschinennullpunkt M und dem Werkstücknullpunkt W ermittelt. Dieser ermittelte Z-Wert wird auch Nullpunktverschiebung z_w genannt.



Voraussetzungen:

- Alle Bearbeitungswerkzeuge sind im Revolverkopf vorhanden und vermessen.
- Das Werkstück ist eindeutig im Backenfutter gespannt.
- Der Werkstücknullpunkt soll an der vorderen Planfläche liegen, wobei ein Aufmaß von 1mm berücksichtigt wird.

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Drehen im Hauptmenü aufrufen.	[F1] (Drehen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	[F3] (Einrichtbetrieb)
3.	Die Spindel im Linkslauf einschalten.	Mit der Tastatur „M04“ schreiben und mit bestätigen.
4.	Das Werkzeug für die Bestimmung des Werkstücknullpunktes einwechseln.	Mit der Tastatur „T0404“ schreiben und mit bestätigen.
5.	Den Drehmeißel im Eilgang ca. 5mm vor die vordere Planfläche fahren.	<u>Auf der Nummerntastatur</u> die jeweilige Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken: + 4 für Eilgang in -Z + 2 für Eilgang in -X
		Weitere mögliche Bewegungsrichtungen: 6 (+ Z - Richtung) 4 (- Z - Richtung) 8 (+ X - Richtung) 2 (- X - Richtung)

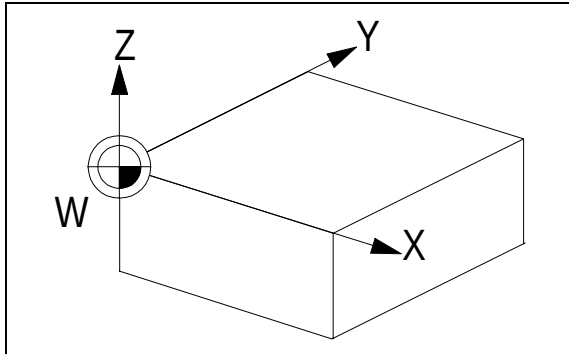
6.	Zum weiteren Verfahren das Inkrement von 1mm auf 0,1mm oder 0,01 mm umschalten.	F3 (Technologie) F5 (Inkrement) F2 (Inkrement 0.1)
7	Den Drehmeißel in negativer Z-Richtung verfahren, bis er die Planfläche des Werkstückes berührt (Ankratzen).	Auf der Nummerntastatur die Richtungstaste 4 ← drücken. Anschließend ESC und F8 (Zurück) drücken.
8.	Den Werkstücknullpunkt in Z setzen.	F4 (Werkzeug, Nullpunkt) F4 (Nullpunkt setzen) F1 (Z-Koord. setzen) Mit der Tastatur „z+1“ schreiben und mit F8 bestätigen (Aufmaß von 1mm).
	 Einrichten Achskoordin.: Z+001.000 X+060.000 Y B+000.000 C Bearbtechnol.: S4505 F001.000 T0404 Schnittschw.: S0962 Spindel/Kühl: M04 M09 Inkrement: 0.1000 Rohteil: L 135.000 D 100.000 Override: F 100% Aktiver Nullpunkt: G54 Z+200.100 X+000.000 12-Koord. 2X-Koord. 3 4 G54 5 G55 6 G56 7 G58 8 Zurück setzen setzen aktiv aktiv aktiv aktiv	Der Z-Wert kann anhand der angezeigten Koordinaten für den aktuellen Nullpunkt kontrolliert werden.
9.	Das Werkzeug in +Z-Richtung und in +X-Richtung freifahren.	Auf der Nummerntastatur die Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken: ↑ + 6 → für Eilgang in +Z ↑ + 8 ↑ für Eilgang in +X
10.	Menü Einrichtbetrieb verlassen	F8 (Zurück) F8 (Zurück) F8 (Zurück)

Setzen des Werkstücknullpunktes W im CNC-Simulator Fräsen

Wie beim Drehen soll auch beim Fräsen durch das Setzen des Werkstücknullpunktes W erreicht werden, daß der Werkstücknullpunkt dem Zeichnungsnullpunkt entspricht.

Zu berücksichtigen ist, daß sich im MTS-Simulator nur das Werkzeug bewegt!

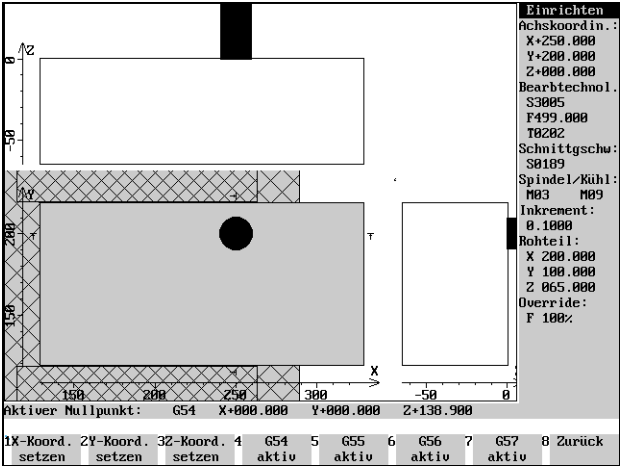
Mit Hilfe der nachfolgend beschriebenen Bedienschritte wird der Abstand zwischen dem Maschinennullpunkt M und dem Werkstücknullpunkt W in den drei Koordinaten X, Y und Z ermittelt.

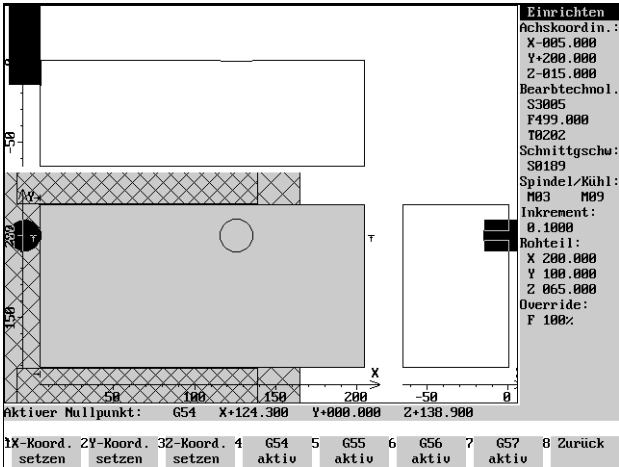


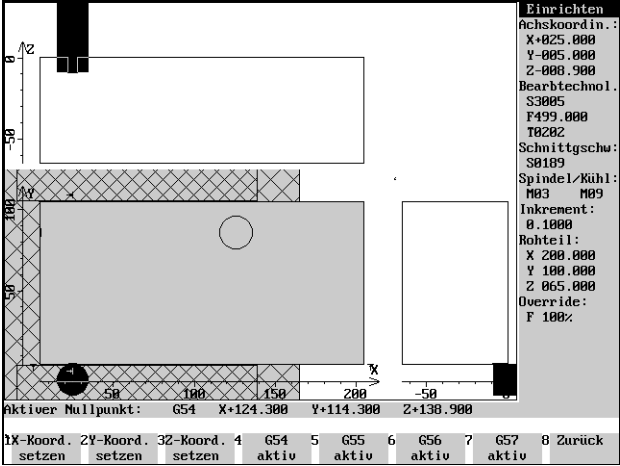
Voraussetzungen:

- Alle Bearbeitungswerkzeuge sind im Magazin vorhanden und vermessen.
- Das Werkstück ist ausgerichtet und fest auf dem Maschinentisch im Simulator gespannt.
- Die Lage des Werkstücknullpunktes soll die linke obere Ecke des Werkstückes sein.

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Fräsen im Hauptmenü aufrufen.	F2 (Fräsen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Die Spindel im Rechtslauf einschalten.	Mit der Tastatur „M03“ schreiben und mit bestätigen.
4.	Das Werkzeug für die Bestimmung des Werkstücknullpunktes einwechseln.	Mit der Tastatur „T0202“ schreiben und mit bestätigen.
5.	Durchführung der Nullung in Z-Richtung Das Werkzeug im Eilgang ca. 5mm über die Werkstückoberfläche fahren.	<u>Auf der Nummerntastatur</u> die jeweilige Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken: Bsp.: + für Eilgang in -Z
		Weitere mögliche Bewegungsrichtungen: (+ X - Richtung) (- X - Richtung) (+ Y - Richtung) (- Y - Richtung) (+ Z - Richtung) (- Z - Richtung)

6.	Zum weiteren Verfahren das Inkrement von 1mm auf 0,1mm oder 0,01 mm umschalten.	F3 (Technologie) F5 (Inkrement) F2 (Inkrement 0.1)
7	Das Werkzeug in negativer Z-Richtung verfahren, bis es die Oberfläche des Werkstückes berührt (Ankratzen).	Auf der Nummerntastatur die Richtungstaste 2↓ drücken. Anschließend ESC und F8 (Zurück) drücken.
8.	Den Werkstücknullpunkt in Z setzen.	F4 (Werkzeug, Nullpunkt) F4 (Nullpunkt setzen) F3 (Z-Koord. setzen) Mit der Tastatur „0“ schreiben und mit F8 bestätigen.
	 Einrichten Achskoordin.: X+250.000 Y+200.000 Z+000.000 Bearbtechnol.: S3005 F499.000 T0202 Schnittschw.: S0189 Spindel/Kühl: M03 M09 Inkrement: 0.1000 Rohteil: X 200.000 Y 100.000 Z 065.000 Override: F 100% Der Z-Wert kann anhand der angezeigten Koordinaten für den aktuellen Nullpunkt kontrolliert werden.	
9.	Durchführung der Nullung in X-Richtung Das Werkzeug in +Z-Richtung freifahren	Auf der Nummerntastatur die Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken: ⇧ + 8⇧ für Eilgang in +Z
10.	Das Werkzeug im Eilgang in die neue Nullungsposition ca. 5 mm neben die Seitenfläche verfahren.	Auf der Nummerntastatur die jeweilige Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken: 1) in -X-Richtung ⇧ + 4⇐ für Eilgang in -X 2) in -Z-Richtung ⇧ + 2⇓ für Eilgang in -Z

11.	Das Werkzeug in positiver X-Richtung verfahren, bis es die linke Seitenfläche des Werkstückes berührt (Ankratzen).	Auf der Nummerntastatur die Richtungstaste  drücken. Anschließend  und  (Zurück) drücken.
12.	Den Werkstücknullpunkt in X setzen. Dabei den Werkzeugradius berücksichtigen! Also für die X-Koordinate den negativen Wert vom Radius des verwendeten Werkzeuges, z.B. -5, eingeben.	 (Werkzeug, Nullpunkt)  (Nullpunkt setzen)  (X-Koord. setzen) Mit der Tastatur „-5“ schreiben und mit  bestätigen.
	 Der X-Wert kann anhand der angezeigten Koordinaten für den aktuellen Nullpunkt kontrolliert werden.	
13.	Durchführung der Nullung in Y-Richtung Das Werkzeug in -X-Richtung und dann in +Z-Richtung freifahren.	Auf der Nummerntastatur die Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken:  +  für Eilgang in -X, anschließend  +  für Eilgang in +Z
14.	Das Werkzeug im Eilgang in die neue Nullungsposition ca. 5 mm vor die Vorderseite verfahren.	Auf der Nummerntastatur die jeweilige Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken: 1) in +X-Richtung  +  für Eilgang in +X 2) in -Y-Richtung  +  für Eilgang in -Y 3) in -Z-Richtung  +  für Eilgang in -Z

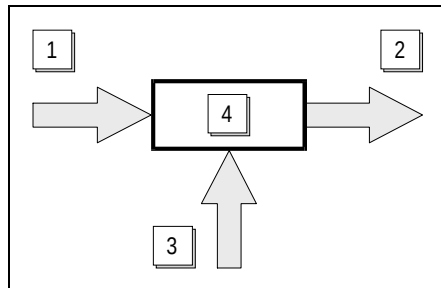
15.	Das Werkzeug in positiver Y-Richtung verfahren, bis es die vordere Seitenfläche des Werkstückes berührt (Ankratzen).	Auf der Nummerntastatur die Richtungstaste 9 Bild ↑ drücken. Anschließend ESC und F8 (Zurück) drücken.
16.	Den Werkstücknullpunkt in Y setzen. Dabei den Werkzeugradius berücksichtigen. Also für die Y-Koordinate den negativen Wert vom Radius, z.B. -5 eingeben.	F4 (Werkzeug, Nullpunkt) F4 (Nullpunkt setzen) F2 (Y-Koord. setzen) Mit der Tastatur „-5“ schreiben und mit F8 bestätigen.
		Der Y-Wert kann anhand der angezeigten Koordinaten für den aktuellen Nullpunkt kontrolliert werden.
17.	Das Werkzeug in -Y-Richtung und dann in +Z-Richtung freifahren.	Auf der Nummerntastatur die Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken:  + 1 Ende für Eilgang in -Y, anschließend  + 8 ↑ für Eilgang in +Z
18.		F8 (Zurück)
19.	Menü Einrichtbetrieb verlassen	F8 (Zurück)

2.4 Numerische Steuerungen an CNC-Werkzeugmaschinen

Steuerkette und Regelkreis

Die heutigen Steuerungen an numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen werden als CNC-Steuerungen ausgeführt. Charakteristisch für das Steuern ist ein offener Wirkungsweg (vgl. Abbildung 55). Die Steuerung gibt die Sollwerte an die Werkzeugmaschine ohne sie direkt zu kontrollieren.

Man spricht von einer Steuerkette.

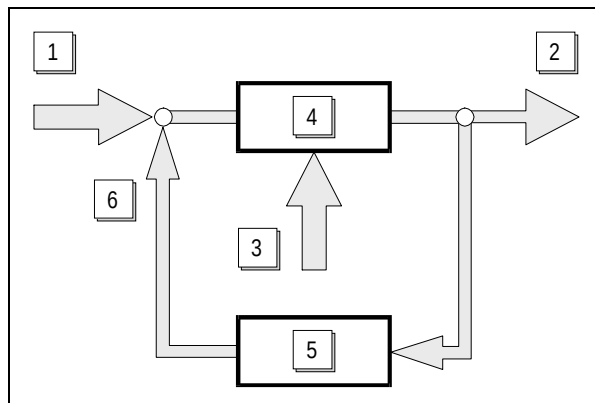


- 1** Einganggröße (Sollwert)
- 2** Ausgangsgröße (Istwert)
- 3** Störgröße
- 4** Steuerstrecke

Abbildung 55
Prinzip einer Steuerkette

Da eine solche Steuerkette fehlerhafte Ausgangsgrößen liefert, wird eine Regelung nachgeschaltet. Die Regelung ist ein Wirkungsvorgang, bei dem die zu regelnde Sollgröße ständig erfaßt und so eingestellt wird, daß sie sich einem geforderten Wert angleicht.

Dieser in sich geschlossene Wirkungskreis wird Regelkreis genannt (vgl. Abbildung 56).



- 1** Einganggröße (Sollwert)
- 2** Ausgangsgröße (Istwert)
- 3** Störgröße
- 4** Regelstrecke
- 5** Meßeinrichtung
- 6** Ausgangsgröße (Istwert)

Abbildung 56
Prinzip des Regelkreises

An der CNC-Werkzeugmaschine findet das Prinzip des Regelkreises Anwendung als Lageregelung für die einzelnen Achsen.

CNC-Steuerung

Aufbau und Funktion

Die CNC-Steuerung hat die Aufgabe, ein NC-Programm zu dekodieren und als geometrische und technologische Informationen weiter zu verarbeiten. Mit deren Hilfe werden die entsprechenden Bauteile der CNC-Werkzeugmaschine so gesteuert bzw. geregelt, daß das gewünschte Werkstück entsteht. Die einzelnen Funktionen der CNC-Steuerung lassen sich der Dateneingabe, der Datenverarbeitung oder der Datenausgabe zuordnen (vgl. Abbildung 57).

Dateneingabe und Datenverarbeitung

Bei einer CNC-Steuerung erfolgt die Dateneingabe hauptsächlich über deren Bedienfeld, das aus einer Tastatur und einem Bildschirm besteht. Hier können NC-Programme erstellt und verwaltet, Daten eingegeben

oder Programmsimulationen aufgerufen werden. Die NC-Programme lassen sich auch mittels externer Datenträger, wie z.B. Datenkassetten oder früher auch Lochstreifen einlesen bzw. abspeichern. Ebenso ist eine externe Datenverbindung über serielle Schnittstellen oder Netzwerkanschlüsse zu einem Rechner (DNC-Betrieb) möglich, auf dem extern NC-Programme erstellt (MTS-System) und verwaltet werden können.

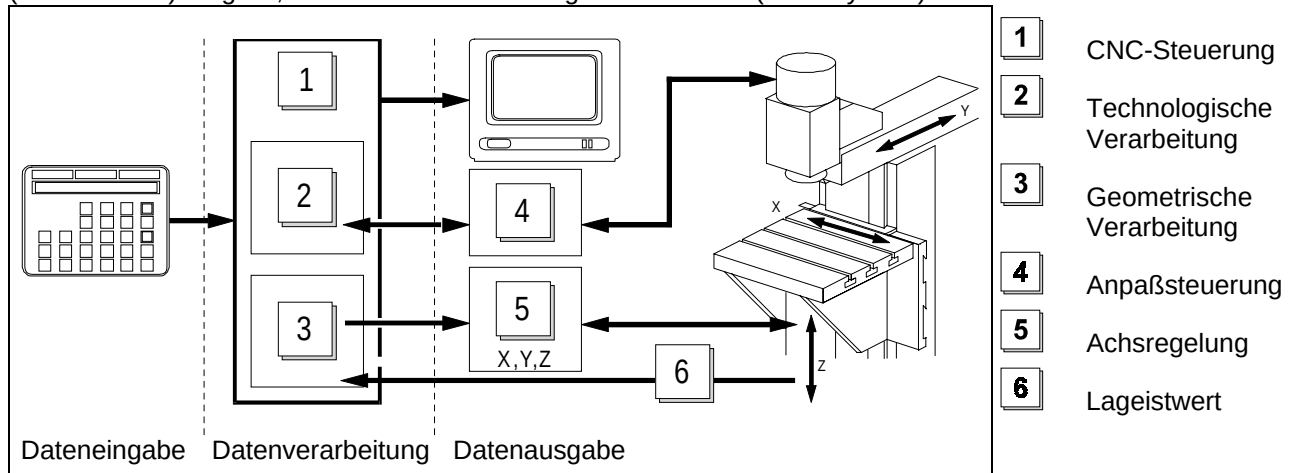


Abbildung 57
Aufbau einer CNC-Steuerung

Die Datenverarbeitung der CNC-Steuerung hat die Aufgabe, aus dem NC-Programm die Daten zu erzeugen, die zum Betrieb der CNC-Werkzeugmaschine und zur Herstellung eines Werkstücks benötigt werden.

Die technologischen Daten dienen z.B. zur Anwahl von Werkzeugen, zur Einstellung der Spindeldrehzahlen, zur Wahl der Spindeldrehrichtung oder zum Ein- und Ausschalten der Kühlmittelzufuhr. Sie werden durch die Anpaßsteuerung an die entsprechenden Bauteile der CNC-Werkzeugmaschine weitergeleitet.

Die geometrischen Informationen eines NC-Programmes werden unter Berücksichtigung der Vorschübe von der CNC-Steuerung in Sollwerte für die einzelnen Achsantriebe übersetzt. Die dadurch entstehenden Verfahrbewegungen werden kontinuierlich durch die Lageregelkreise der Verfahrachsen kontrolliert.

Verwirklichung der Verfahrbewegungen durch Interpolation

Die in der Technik vorkommenden Konturen lassen sich fast durchweg auf Geraden - und Kreiselemente zurückführen. Daher sind fast alle heute hergestellten CNC-Steuerungen lediglich mit Geraden- und mit Kreisinterpolationen ausgerüstet. In unseren CNC-Steuerungen gibt es auch Interpolationen von Parabeln 2. und 3. Grades, Schraubenlinieninterpolationen und Splineinterpolationen.

Wenn ein Werkzeug von einem Startpunkt aus geradlinig einen nicht achsparallelen Zielpunkt anfährt, dann ist das eine Geradeninterpolation. Um eine gerade Werkzeugbahn zu erreichen, müssen die Verfahrbewegungen der beteiligten Achsen entsprechend aufeinander abgestimmt sein. Das Verhältnis der einzelnen Achsvorschübe legt dann die Geradenrichtung fest (vgl. Abbildung 58 und 59).

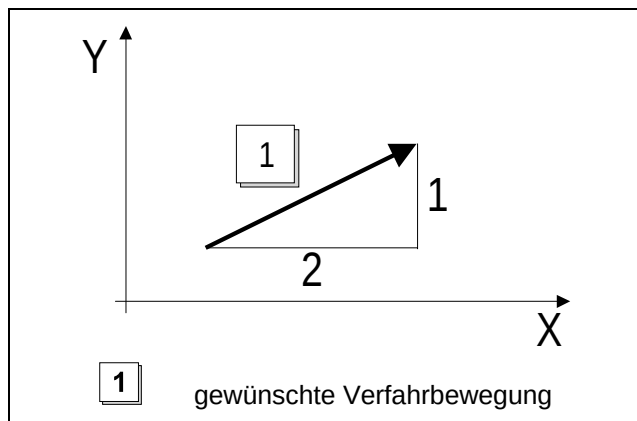


Abbildung 58
Verhältnis der Achsvorschübe

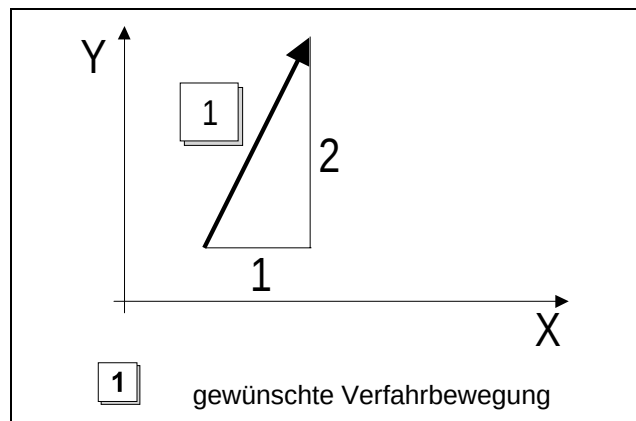


Abbildung 59
Verhältnis der Achsvorschübe

Das Prinzip des Verfahrens eines Werkzeuges längs Kurven, Strecken und Kreisbögen in einer Ebene verdeutlicht man sich am besten an einem Plotter mit Schrittmotoren. Ein Schrittmotor wird durch Stromimpulse angesteuert. Durch einen positiven oder negativen Stromimpuls dreht sich die Welle des Schrittmotors ruckartig um einen bestimmten Winkel nach rechts oder links. Das hat zur Folge, daß jede der beiden Plotterachsen nur bestimmte Achswerte erreichen kann. Dadurch kann der Plotter nur die Punkte eines dichten Gitters seiner Zeichenfläche anfahren. Wie am Bildschirm eines PCs entsteht eine schräge Linie durch achsparallele Bewegungen des Plotterstiftes (vgl. Abbildung 60).

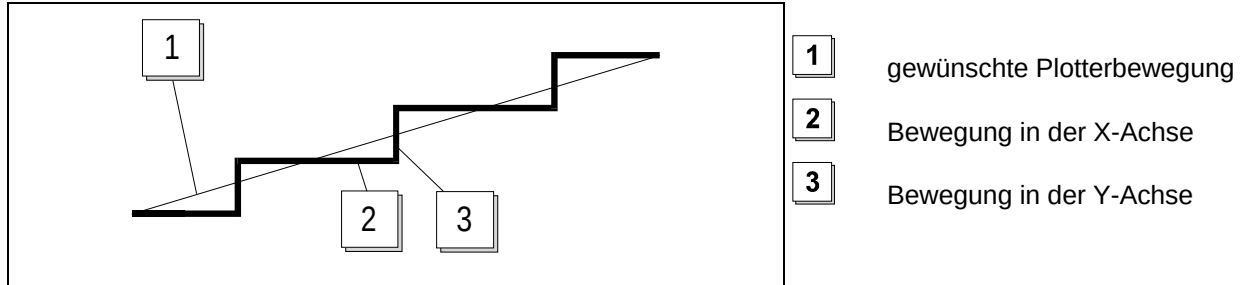
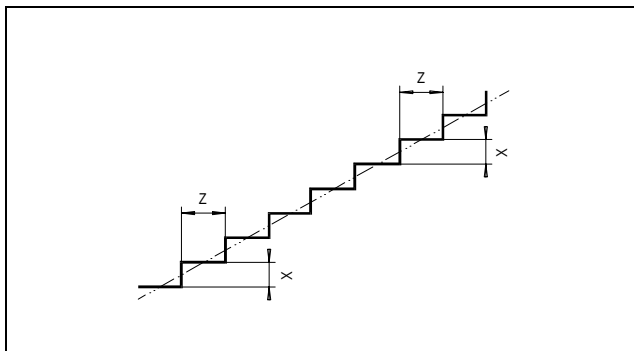


Abbildung 60
Verfahrwege eines Plotterstiftes

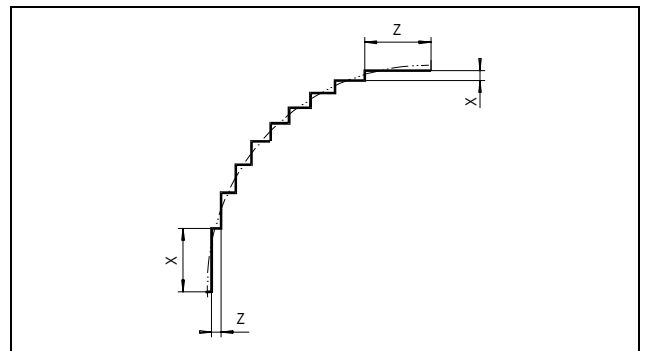
In der gleichen Weise wird durch den Interpolator einer CNC-Steuerung verfahren. Er berechnet die für eine Interpolation notwendigen Zwischenwerte und übergibt sie als Sollwerte den Lageregelkreisen.

Bei der Geradeninterpolation verfahren zwei oder drei Achsen gleichzeitig (vgl. Abbildung 61), wobei deren Verfahrbewegungen in einem bestimmten Verhältnis aufeinander abgestimmt sind.

Eine Kreisinterpolation (vgl. Abbildung 62) liegt vor, wenn das Werkzeug von einem Startpunkt aus auf einer kreisförmigen Bahn verfährt. Die Werkzeugbewegung kann dabei im Uhrzeigersinn oder gegen dem Uhrzeigersinn verlaufen. Um eine kreisförmige Werkzeugbahn zu erreichen, müssen die Verfahrbewegungen beider Achsen, auch in Abhängigkeit vom schon verfahrenen Weg, aufeinander abgestimmt sein. Die einzelnen Achsen bewegen sich sinus- bzw. cosinusförmig. Aus der Überlagerung beider Achsen ergibt sich der Kreisbogen.



Verfahrbewegung eines Plotterstiftes



Verfahrbewegung eines Plotterstiftes

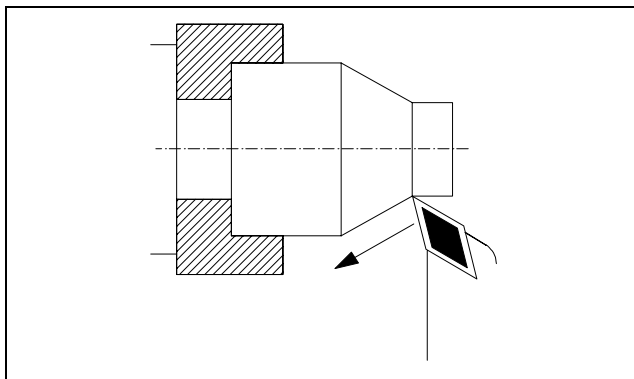


Abbildung 61
Geradeninterpolation

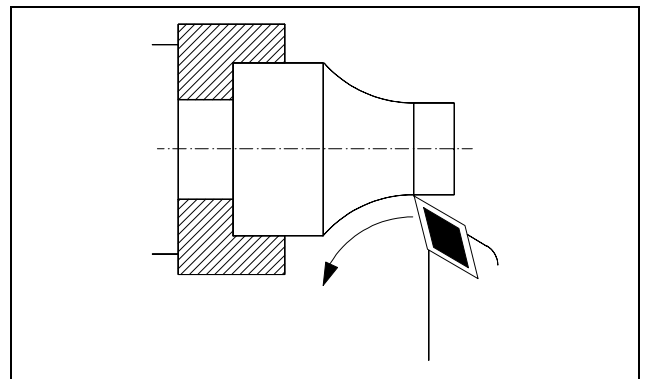


Abbildung 62
Kreisinterpolation

Arten von CNC-Steuerungen

Die einzelnen Achsen der CNC-Werkzeugmaschinen erhalten ihre Bewegungssignale (-befehle) von der CNC-Steuerung. Diese Signale sind codiert und beruhen auf dem eingegebenem NC-Programm. Sie werden von der Steuerung ausgewertet und an die Vorschubmotoren weitergeleitet. Die Verfahrwege der Werkzeuge sind im NC-Programm genau vorgegeben. Je nach Art der Verfahrwege unterscheidet man die folgenden Steuerungsarten in:

- Punktsteuerungen
- Streckensteuerungen
- Bahnsteuerungen:
 - 2D-Bahnsteuerung
 - 2½ D-Bahnsteuerung
 - 3D-Bahnsteuerung

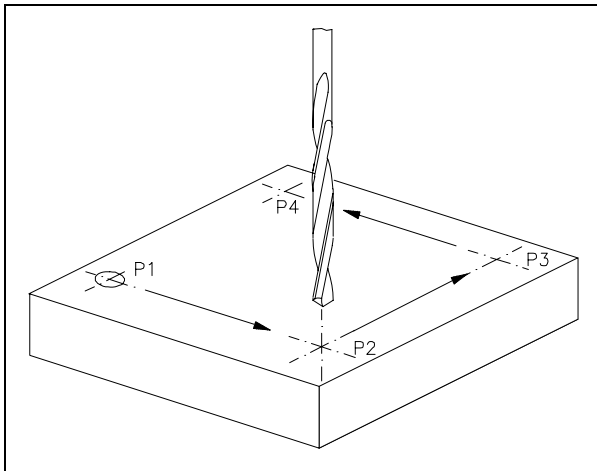


Abbildung 63
Punktsteuerung

Punktsteuerung

Sie ist die einfachste Steuerungsart. Bei Punktsteuerungen wird im Eilgang ein bestimmter Zielpunkt und dort ein Bearbeitungsvorgang ausgeführt (vgl. Abbildung 63). Auf diese Weise können nacheinander weitere Zielpunkte angesteuert und bearbeitet werden.

Die Punktsteuerung ist bei Werkstücken anwendbar, bei denen nur an bestimmten Punkten eine Bearbeitung erfolgen soll, z.B. für das Bearbeiten ebener Flächen durch Bohren, Reiben, Senken, Gewindebohren, Punktschweißen, Stanzen.

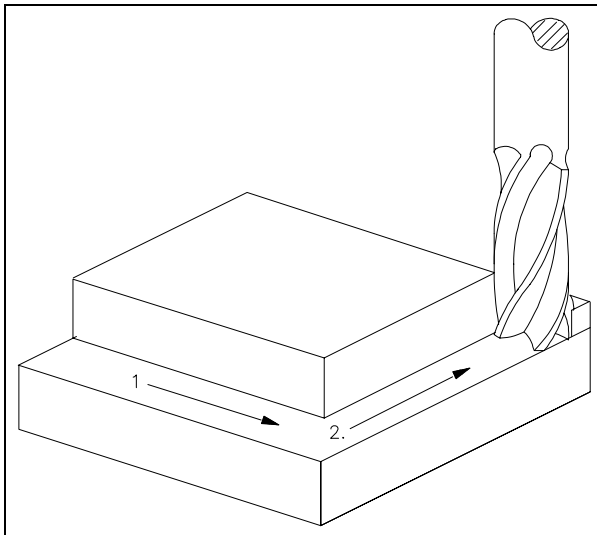


Abbildung 64
Streckensteuerung

Streckensteuerung

Mit einer Streckensteuerung können nur achsparallele Verfahrwege des Werkzeugs mit programmierten Vorschüben gesteuert werden (vgl. Abbildung 64).

Die erzeugten Werkstückkonturen können nur achsparallel sein.

Anwendbar ist die Streckensteuerung in den Fällen, bei denen eine Bearbeitung nur in Ebenen parallel zu den Führungsbahnen der Maschine erfolgen soll, wie z. B. bei einfachen Plan- oder Längsdrehen, bei planparallelen Fräsarbeiten oder Durchbrüchen, bei denen die Bearbeitung gleichzeitig nur in einer Richtung erfolgt.

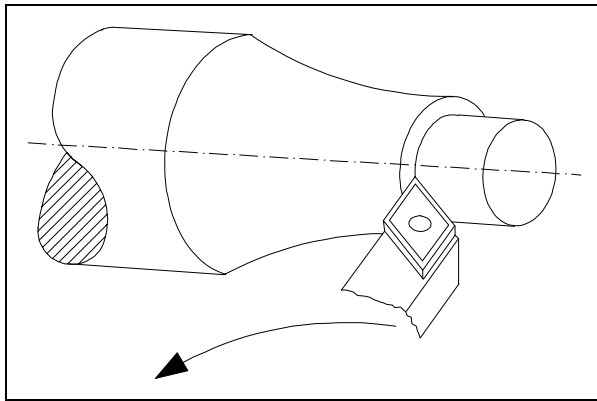


Abbildung 65
Bahnsteuerung an einer CNC-Maschine

Bahnsteuerung

Mit Bahnsteuerungen können in Ebenen oder im Raum beliebige Verfahrwege (Geraden, Schrägen, Kreisbögen, Splines) des Werkzeugs im Eingriff gesteuert werden.

Beliebige Konturen können durch das gesteuerte Zusammenwirken von zwei oder mehreren Vorschubmotoren erzielt werden (vgl. Abbildung 65).

Um die Bewegungen in den einzelnen Maschinenachsen gleichzeitig ausführen zu können, müssen vorher von der CNC-Steuerung alle Zwischenwerte, die auf einer mathematisch definierten Kurve vom Start- bis zum Zielpunkt liegen, berechnet werden.

Bahnsteuerungen werden je nach der Anzahl der gleichzeitig steuerbaren Achsen weiter unterteilt:

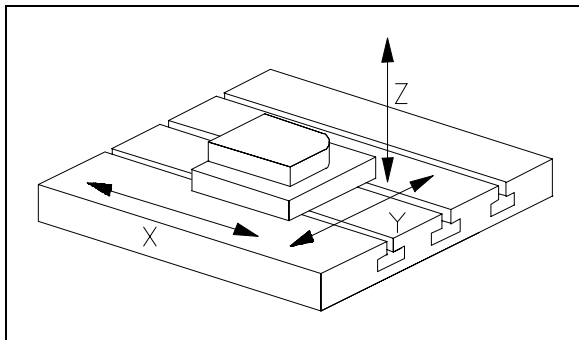


Abbildung 66
2D-Bahnsteuerung

2 D-Bahnsteuerungen

Mit der älteren 2 D-Bahnsteuerung können gleichzeitig zwei Achsen gesteuert werden, so können gerade und kreisförmige Werkzeugbewegungen in einer Ebene ausgeführt werden (vgl. Abbildung 65).

Besitzt z.B. eine 3-achsige CNC-Fräsmaschine eine 2 D-Bahnsteuerung, dann bedeutet das, daß mit zwei Achsen Konturen gefräst werden können. Die dritte Achse muß unabhängig davon gesondert zugestellt werden.

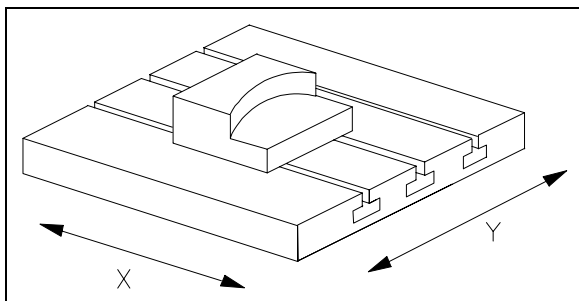


Abbildung 67
2½D-Bahnsteuerung (X/Y - Ebene)

2 ½ D-Bahnsteuerung

Die 2½ D-Bahnsteuerung ermöglicht Werkzeugbewegungen in mehreren Ebenen, indem die Interpolation jeweils in eine der drei Hauptebenen umgeschaltet wird.

Bei der 2½ D-Bahnsteuerung sind alle drei Achsen steuerbar, jedoch in jeder Ebene immer nur zwei Achsen gleichzeitig. Die dritte Achse ist die sogenannte Zustellachse.

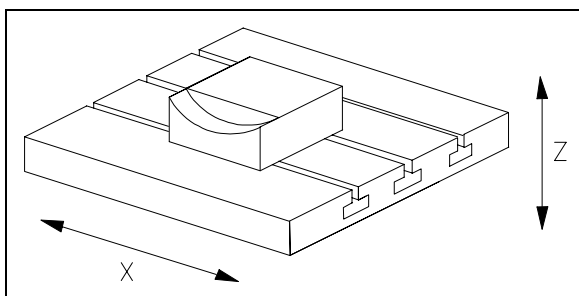


Abbildung 68
2½D-Bahnsteuerung (X/Z - Ebene)

Je nach gewählter Bearbeitungsebene sind unterschiedliche Achsen gleichzeitig steuerbar, so daß Bewegungen in den folgenden Ebenen möglich sind:

- X/Y - Ebene(vgl. Abbildung 67),
- X/Z - Ebene(vgl. Abbildung 68),
- Y/Z - Ebene(vgl. Abbildung 69).

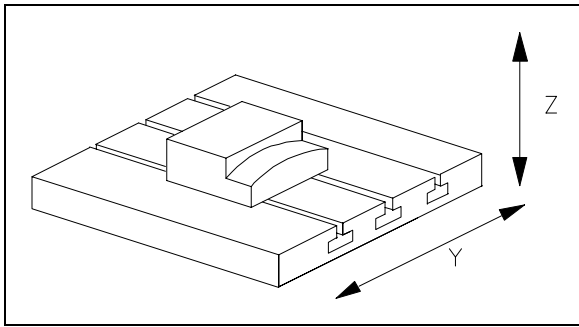


Abbildung 69
2½D-Bahnsteuerung (Y/Z - Ebene)

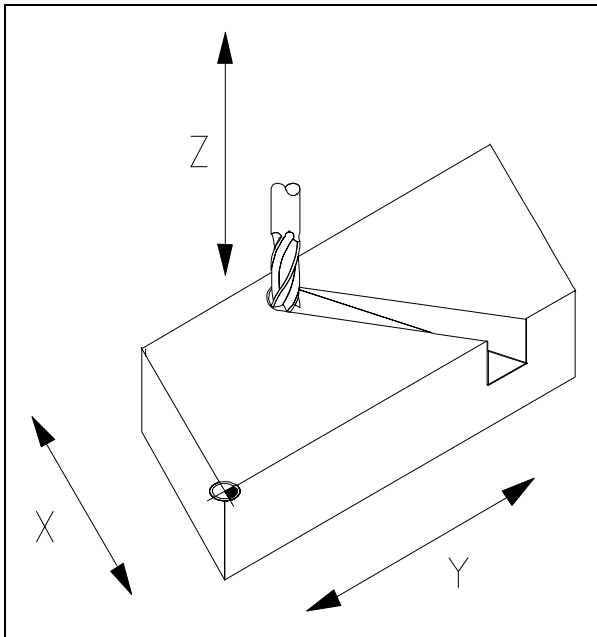


Abbildung 70
3D-Bahnsteuerung

3 D-Bahnsteuerung

Bei 3 D-Bahnsteuerungen werden drei Achsen gleichzeitig interpoliert. Hierdurch lassen sich räumliche, dreidimensionale Werkzeugbewegungen ausführen (vgl. Abbildung 70).

Damit wird es möglich, die oftmals sehr komplizierten Konturen, z.B. im Werkzeugbau, speziell im Preßformenbau, in einer Aufspannung herzustellen.

Heute werden bei fast allen CNC-Werkzeugmaschinen 3 D-Bahnsteuerungen eingesetzt.

DNC-Betrieb

Merkmale des DNC-Betriebs

DNC ist die Abkürzung für *direkt numerical control* und bezeichnet eine Betriebsart, bei der mehrere NC- und CNC-Maschinen sowie weitere Geräte miteinander verbunden sind. Zu diesen Geräten können beispielsweise Werkzeugvoreinstellgeräte, Meßmaschinen, Programmierarbeitsplätze und eine zentrale Material- und Werkzeugverwaltung gehören (vgl. Abbildung 71).

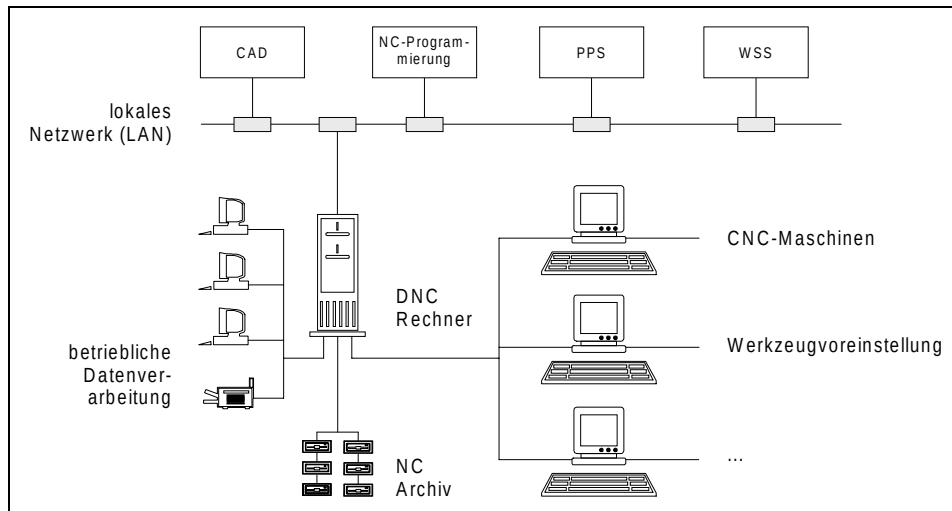


Abbildung 71
Struktur eines DNC-Systems

Die Verbindung zwischen den einzelnen Bestandteilen eines DNC-Systems wird über einen Datenbus realisiert. Durch diese direkte Datenübertragung entfallen die sonst üblichen Datenträger wie Lochstreifen, Magnetbänder, Disketten sowie die dafür erforderlichen speziellen Schreib- und Lesegeräte.

Das wesentliche Merkmal vom DNC-Betrieb ist die Verwaltung und zeitgerechte Verteilung von Informationen. Um diese Informationen gezielt ermitteln und verteilen zu können, werden spezielle Schnittstellen benötigt, über die alle angeschlossenen Teile des DNC-Netzes mit dem Leitrechner verbunden werden. Der Leitrechner kann Maschinen- und Fertigungsdaten ermitteln, Betriebsarten umschalten, Speicherplätze gezielt ansprechen, lesen und schreiben sowie die den Maschinen vorgeschalteten Computer automatisch fernsteuern.

Dateneingabe und Datenverarbeitung im DNC-Betrieb

Durch die Struktur eines DNC-Systems (vgl. Abbildung 71) ist die Eingabe von Daten an unterschiedlichen Geräten möglich. Diese können weit voneinander entfernt aufgestellt sein.

Kleinere NC-Programme können direkt an der CNC-Werkzeugmaschine geschrieben werden. Zur Erstellung umfangreicherer oder komplizierterer NC-Programme ist der externe Programmierplatz zu bevorzugen.

Ein DNC-System verfügt im allgemeinen über die folgenden Grundfunktionen.

- Speicherung und Verwaltung von NC-Programmen
- zeitgerechte Verteilung der NC-Programme zu den Maschinen
- Rückübertragung korrigierter oder optimierter NC-Programme von den Maschinen zu den zentralen Datenspeichern

Zu diesem Zweck ist im DNC-System eine zentrale Verwaltung der NC-Programme vorhanden. Die erstellten oder optimierten NC-Programme werden über die Datenleitungen an den entsprechenden Rechner übertragen. Sollte die CNC-Werkzeugmaschine nicht mit einem speziellen DNC-Anschluß ausgerüstet sein, regelt ein DNC-Terminal die Organisation der Datenübertragung zwischen der CNC-Steuerung und dem Leitrechner.

Je nach Ausbaustand eines DNC-Systems können die noch folgenden Zusatzfunktionen vorhanden sein.

- zentrale Verwaltung von Werkzeugen und Werkzeugkorrekturdaten
- Anschluß von Werkzeugvoreinstellgeräten
- Paletten und Werkstückverwaltung
- zeitliche Vorgabe und Einteilung von Bearbeitungsfolgen
- Steuerung des Materialflusses
- zentrale Sicherung der aktuellen Datenbestände
- zentrale Betriebsdaten- und Maschinendatenerfassung (BDE, MDE) mit graphischer Auswertung
- NC-Programmierung mit Postprozessorübersetzung
- graphische Simulation mit Darstellung der Werkzeug-, Spannmittel- und Werkstückkontur

Vorteile des DNC-Betriebs

Der Einsatz eines DNC-Betriebs hat gegenüber der Lösung mit einzelnen CNC-Werkzeugmaschinen die folgenden Vorteile:

- Verbesserung der betrieblichen Organisation
- schnelle Zugriffsmöglichkeit auf Programme und zusätzliche Informationen
- Verringerung der Stillstandzeiten der CNC-Maschinen durch die kontinuierliche Bereitstellung von NC-Programmen, Werkzeugen und Material
- Reduzierung von Dateneingabefehlern
- Betriebsdaten- und Maschinendatenerfassung (BDE, MDE) ermöglichen dem Anwender eine ständige Überwachung und Dokumentation von Produktionsdaten (Maschinenlaufzeiten, Ausfallzeiten, Nebenzeiten usw.), Wartungshinweisen und Hinweise auf Ausfallursachen

Werkstatt

An vorhandenen CNC-Werkzeugmaschinen sollen die unterschiedlichen CNC-Steuerungsarten demonstriert werden.

Sollten für die Punkt- oder Streckensteuerung keine CNC-Werkzeugmaschinen zur Verfügung stehen, können mit Hilfe entsprechender Werkstücke die CNC-Steuerungsarten simuliert werden.

Beispiele:

- Punktsteuerung
Fräsmaschine: Anfahren von Bohrungen
- Streckensteuerung
Fräsmaschine: Achsparalleles Verfahren
Drehmaschine: Achsparalleles Verfahren
- 2D-Bahnsteuerung
Fräsmaschine: Lineares Verfahren in zwei Achsen
Fräsmaschine: Verfahren in einer Kreisbewegung
Drehmaschine: Drehen eines Kegels oder von Rundungen
- 2½ D-Bahnsteuerung
Fräsmaschine: Lineares Verfahren in unterschiedlichen Ebenen
Fräsmaschine: Verfahren in einer Kreisbewegung in unterschiedlichen Ebenen
- 3 D-Bahnsteuerung
Fräsmaschine: Lineares Verfahren in zwei Achsen
Fräsmaschine: Verfahren in einer Kreisbewegung im Raum

2.5 Werkzeugkorrekturen für die CNC-Bearbeitung

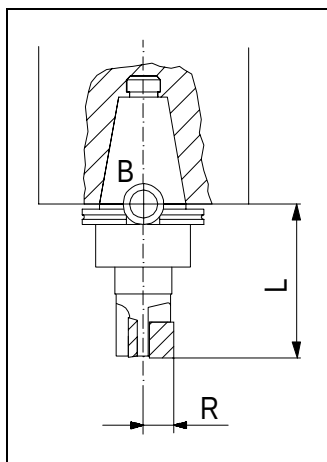
Sinn und Zweck der Arbeit mit Werkzeugkorrekturwerten

Mit Hilfe der Werkzeugkorrekturen läßt sich ein Werkstück sehr einfach ohne Berücksichtigung der später tatsächlich zur Anwendung kommenden Werkzeuglängen oder Werkzeugradien programmieren. Die vorhandenen Zeichnungsmaße des Werkstücks können direkt zum Programmieren genutzt werden. Die Werkzeugmaße, ob Längen oder Fräser- bzw. Wendeschneidplattenradien werden von der CNC-Steuerung automatisch berücksichtigt.

Werkzeuglängenkorrektur beim Fräsen und Drehen

Eine Werkzeuglängenkorrektur, bezogen auf einen Bezugspunkt, ermöglicht den Ausgleich zwischen der vorgegebenen und der tatsächlichen Werkzeuglänge, wie sie z.B. durch das Nachschleifen des Werkzeuges entsteht. Diese Länge des Werkzeuges muß der Steuerung bekannt sein. Dazu ist es notwendig die Länge L , das heißt den Abstand zwischen dem Werkzeugeinstellpunkt B und der Schneidenspitze zu vermessen und in die Steuerung einzugeben (vgl. Abschnitt über die Werkzeugvermessung S.68 ff.).

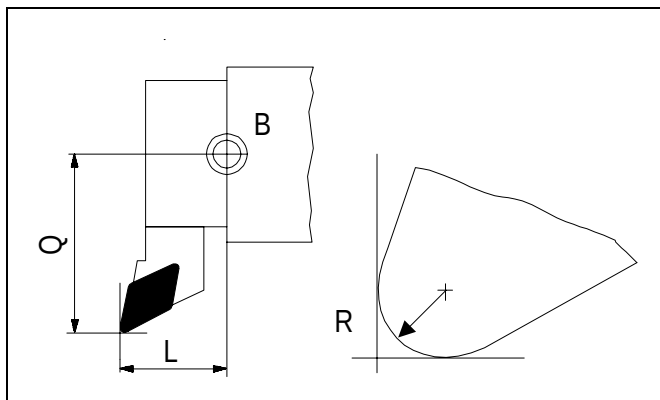
Bei Fräswerkzeugen wird die Länge L in der Z-Richtung bestimmt (vgl. Abbildung 72).



- B Werkzeugeinstellpunkt
- L Länge = Abstand der Schneidenspitze zum Werkzeugeinstellpunkt in Z
- R Radius des Fräswerkzeugs

Abbildung 72
Werkzeugkorrekturwerte am Fräswerkzeug

Bei Drehwerkzeugen wird die Länge L in der Z-Richtung bestimmt (vgl. Abbildung 73).



- B Werkzeugeinstellpunkt
- L Länge = Abstand der Schneidenspitze zum Werkzeugeinstellpunkt in Z
- Q Querablage = Abstand der Schneidenspitze zum Werkzeugeinstellpunkt in X
- R Schneidenradius

Abbildung 73
Werkzeugkorrekturwerte am Drehwerkzeug

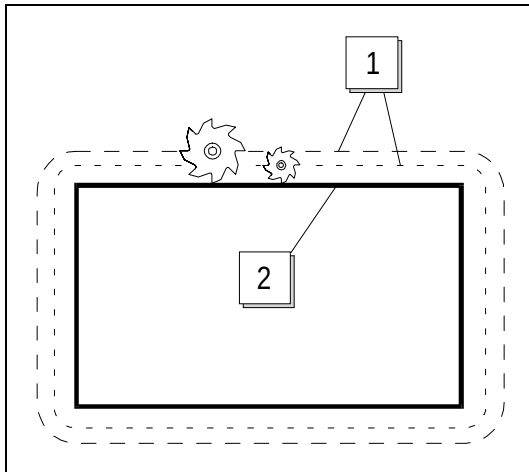
In der CNC-Steuerung werden diese Werkzeugkorrekturwerte im Korrekturspeicher abgelegt, wobei es in den meisten CNC-Steuerungen möglich ist, bis zu 99 Werkzeuge zu beschreiben. Während der Bearbeitung müssen diese Werte aktiviert werden. Der Aufruf erfolgt innerhalb des NC-Programmes z.B. mit der Adresse H oder durch entsprechend dafür vorgesehene Stellen im T-Wort.

Werkzeugradiuskorrekturen

CNC-Steuerungen besitzen die Möglichkeit der Fräserradiuskorrektur bei Fräsmaschinen bzw. der Schneidenradiuskorrektur bei Drehmaschinen. Mit deren Hilfe kann bei der Erstellung eines NC-Programmes die Fertigteilkontur des Werkstückes direkt programmiert werden.

Fräserradiuskorrektur (Fräsen)

Damit ein Werkzeug mit hoher Genauigkeit die programmierte Kontur erzeugt, muß sich der Werkzeugmittelpunkt auf einer Bahn bewegen, die parallel zur programmierten Bahn verläuft. Diese Werkzeugmittelpunktsbahn bezeichnet man als Äquidistante (vgl. Abbildung 74).



- 1** Fräsermittelpunktsbahnen (Äquidistanten)
- 2** Werkstückkontur

Abbildung 74
Fräsermittelpunktsbahnen (Äquidistanten)

Eine Äquidistante ist die Werkzeugmittelpunktsbahn, die im konstanten Abstand zur programmierten Bahn (Kontur) des Werkstücks verläuft. An un stetigen Bahnübergängen, das heißt an Innen- oder Außenecken (vgl. Abbildung 75 und 76), werden nach steuerungsspezifischen Regeln die Übergänge äquidistant, z.B. durch Einfügen von Kreisbögen, ausgebildet.

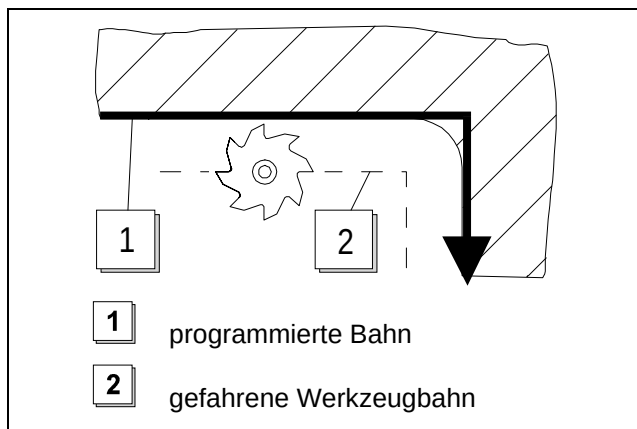


Abbildung 75
Innenecke beim Fräsen

Bei Innenecken entsteht ein Bogen, der dem Radius des Fräasers entspricht.

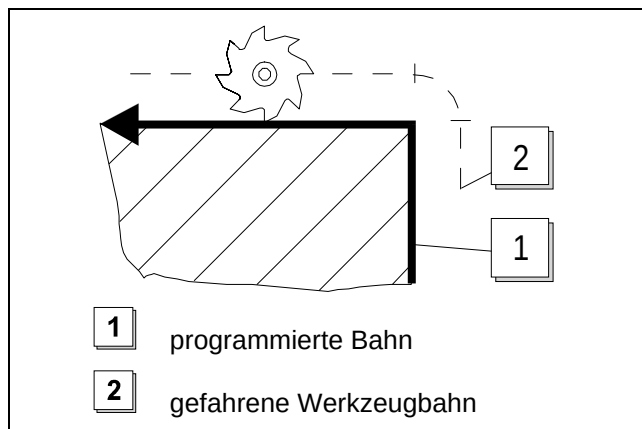
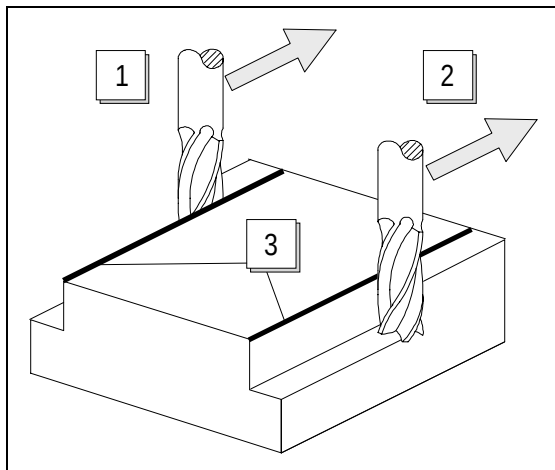


Abbildung 76
Außenecke beim Fräsen

Bei Außenecken führt der Fräser einen Ausgleichsbogen aus.

Die CNC-Steuerung übernimmt die Berechnung der für die Bearbeitung erforderlichen konturparallelen Fräsermittelpunktsbahn. Den Berechnungen liegt der im Werkzeugkorrekturspeicher abgelegte Radius des jeweiligen Fräserwerkzeuges zugrunde. Im NC-Programm selbst wird der Radiuswert nicht angegeben, sondern es wird nur der entsprechende Korrekturschalter aufgerufen.

Da es es zwei Möglichkeiten der Bearbeitungslage gibt, muß der NC-Steuerung mitgeteilt werden, ob die Bearbeitung links oder rechts von der programmierten Kontur (vgl. Abbildung 77) erfolgen soll.



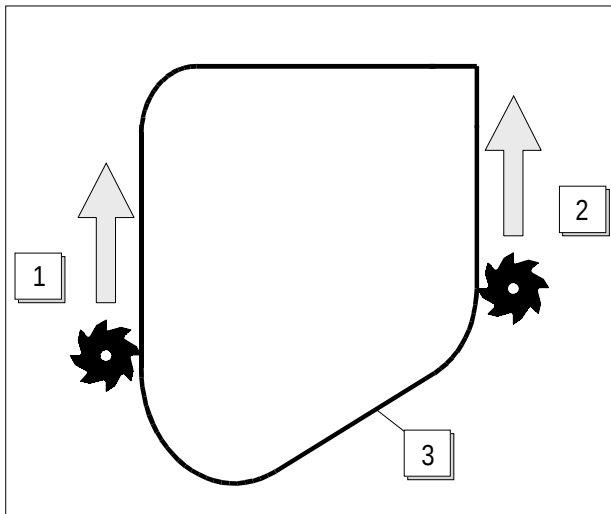
- 1** links von der Kontur
- 2** rechts von der Kontur
- 3** programmierte Konturen

Abbildung 77
Bearbeitungsrichtungen bei der Fräserradiuskorrektur

In den folgenden Abbildungen ist die Anwahl der Fräserradiuskorrektur in Abhängigkeit von der Lage des Werkzeugs in bezug auf die zu fertigende Kontur bei der

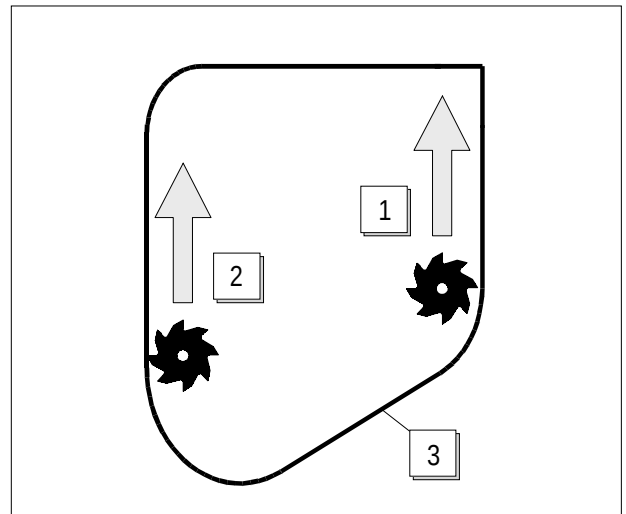
Außenbearbeitung (vgl. Abbildung 78) und bei der
Innenbearbeitung (vgl. Abbildung 79)

dargestellt.



- 1** links von der Kontur
- 2** rechts von der Kontur
- 3** programmierte Kontur

Abbildung 78
Fräserradiuskorrektur bei der Außenbearbeitung



- 1** links von der Kontur
- 2** rechts von der Kontur
- 3** programmierte Kontur

Abbildung 79
Fräserradiuskorrektur bei der Innenbearbeitung

Sollen anschließend Bewegungen ohne Fräserradiuskorrektur ausgeführt werden, z.B. bei Bohrungen, muß dies der CNC-Steuerung über den entsprechenden Befehl mitgeteilt werden.

Schneidenradiuskorrektur (Drehen)

Beim Drehen ist statt des Fräserradius der Schneidenradius zu korrigieren, da die Steuerung bei der Berechnung der Verfahrwege von einer theoretischen Schneidenspitze ausgeht. Diese theoretische Schneidenspitze bewegt sich entlang der programmierten Bahn.

Da die wirklichen Werkzeugabmessungen, das heißt der Schneidenradius bei Drehwerkzeugen, dann nicht berücksichtigt wird, entstehen Fehler beim Drehen. So bleiben in Konturinnenecken grundsätzlich Rundungen stehen (vgl. Abbildung 80).

Bei Werkzeugbewegungen, die nicht parallel zur X- oder Z-Achse verlaufen, entstehen erhebliche Maß- und Formabweichungen (vgl. Abbildung 81). Dieser Fehler wird von der CNC-Steuerung durch die Schneidenradiuskorrektur, auch Schneidenradiuskompensation genannt, vermieden.

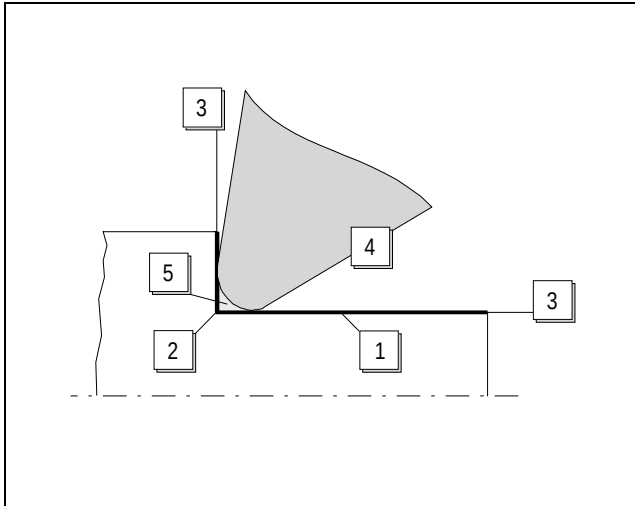


Abbildung 80
Unvermeidbarer Fehler beim Drehen:
Konturinnenecke bleibt stehen

- 1** programmierte Kontur
- 2** theoretischer Schneidenpunkt
- 3** theoretische Werkzeugschneide
- 4** tatsächliche Werkzeugschneide
- 5** Konturecke, die aufgrund des Schneidenradius nicht bearbeitet wird

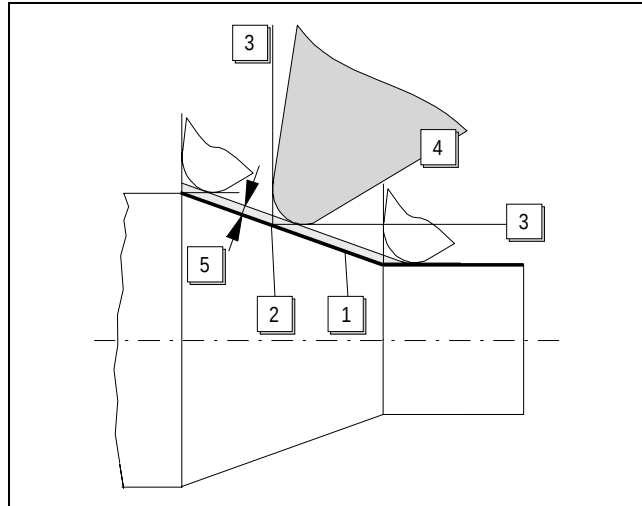


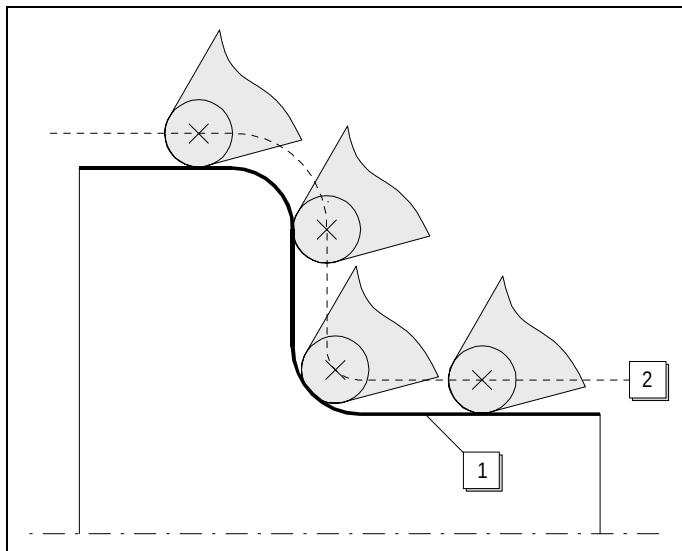
Abbildung 81
Fehler beim Drehen: Kegel nicht maßhaltig
entsprechend der programmierten Kontur

- 1** programmierte Kontur
- 2** theoretischer Schneidenpunkt
- 3** theoretische Werkzeugschneide
- 4** tatsächliche Werkzeugschneide
- 5** fehlerhafte Abweichung von der programmierten Kontur

Die Lage der tatsächlich zu verfahrenen Werkzeugbahnen (Äquidistanten vgl. Abbildung 82) werden von modernen CNC-Steuerungen durch die Schneidenradiuskorrektur automatisch berechnet.

Dies setzt drei wesentliche Dinge voraus:

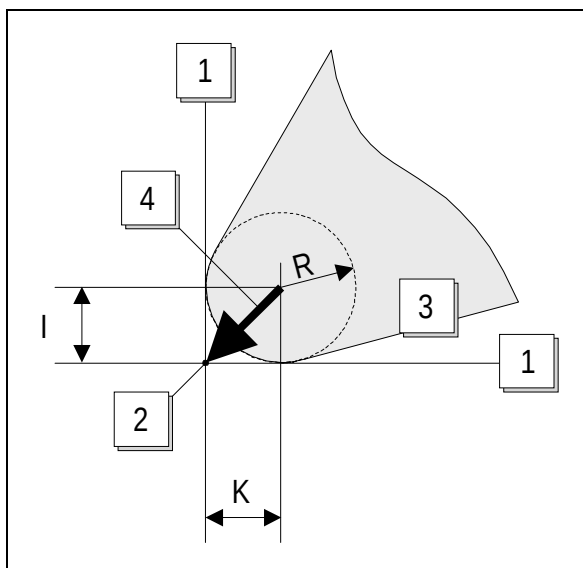
1. Der Radius der Werkzeugschneide muß im Korrekturwertspeicher der CNC-Steuerung abgelegt sein.
2. Die Lage der Werkzeugschneide (Schneidenradiuskorrekturwertvektor) muß der CNC-Steuerung bekannt sein.
3. Die Bearbeitungsrichtung des Werkzeuges in bezug auf die Kontur muß bei der NC-Programmierung entsprechend programmiert werden.



- 1** programmierter Konturverlauf
- 2** von der CNC-Steuerung errechnete Mittelpunktsbahn (Äquidistante), auf der das Werkzeug bei der Bearbeitung verfahren wird

Abbildung 82
Äquidistante beim Drehen

Damit die Steuerung den jeweils realen Schneidenpunkt bei der Bearbeitung richtig verrechnen kann, wird die sogenannte Schneidenecke für jedes Werkzeug über den Schneidenradiuskorrekturwertvektor (SRK-Vektor) beschrieben. Dabei gibt der SRK-Vektor die Position der Schneidenecke in I und K (X- und Y-Richtung) in bezug auf den Schneidenmittelpunkt an (vgl. Abbildung 83). Der SRK-Vektor ist vorab in der Werkzeugverwaltung des MTS-CNC-Simulators für jedes Werkzeug festgelegt.



- 1** theoretische Schneide
- 2** theoretischer Schneidenpunkt
- 3** tatsächliche Schneide
- 4** Schneidenradiuskorrekturwertvektor
- R** Schneidenradius

Abbildung 83
Schneidenradiuskorrekturwertvektor

Je nachdem, in welchem Arbeitsquadranten die Schneiden des verwendeten Drehmeißels liegen, muß ein anderer Schneidenradiuskorrekturwertvektor in die Steuerung eingegeben werden (vgl. Abbildung 84). Bei der Eingabe der Korrekturwerte I und K sind die daraus entstehenden Vorzeichen zu berücksichtigen.

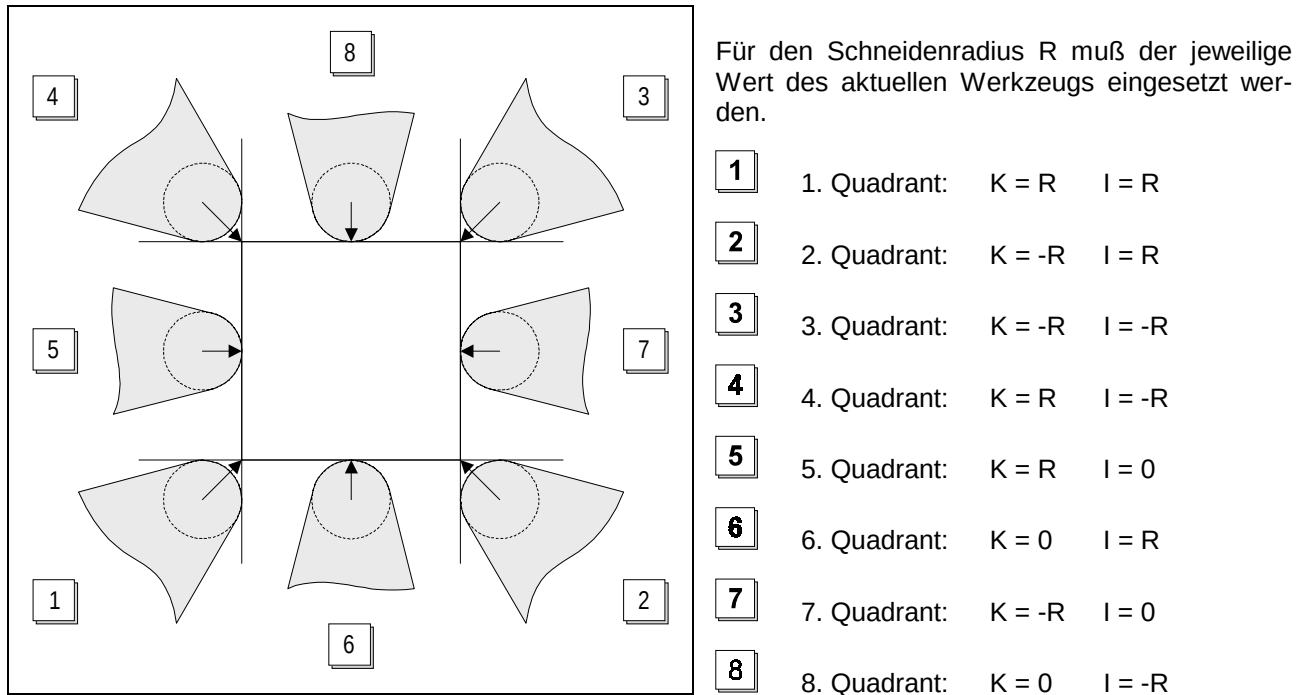


Abbildung 84
Werte für den Schneidenradiuskorrekturwertvektor in Abhängigkeit vom Arbeitsquadranten des Werkzeugs

Nachstehend ist ein Beispiel zur Bestimmung der Korrekturwerte I und K aufgeführt (vgl. Abbildung 85).

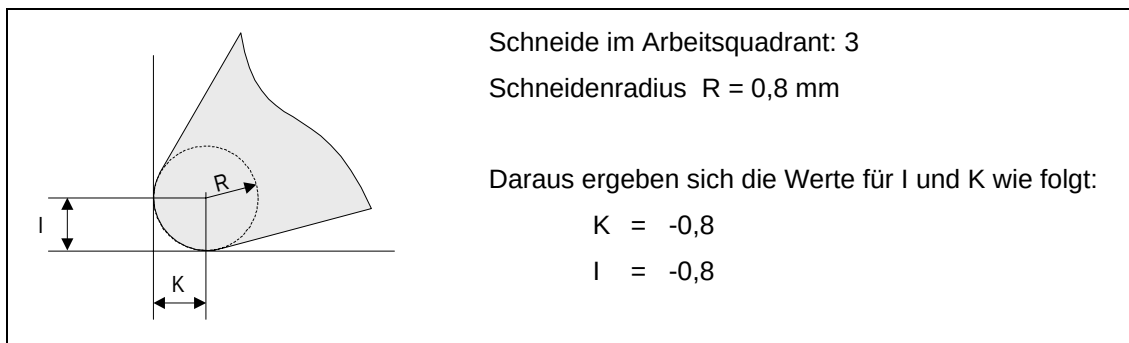


Abbildung 85
Beispiel: Schneidenradiuskorrekturwerte

Beim Aufruf der Schneidenradiuskompensation im Programm muß der CNC-Steuerung die Lage des Drehmeißels in Bewegungsrichtung durch die entsprechenden Befehle mitgeteilt werden:

Drehmeißel befindet sich in Verfahrrichtung gesehen links von der Kontur bzw.

Drehmeißel befindet sich in Verfahrrichtung gesehen rechts von der Kontur

angegeben. In den folgenden Abbildungen ist die Programmierung der Schneidenradiuskorrektur in Abhängigkeit von der Lage des Werkzeugs in bezug auf die zu fertigende Kontur bei der

Außenbearbeitung (vgl. Abbildung 86 und Abbildung 87) und bei der
Innenbearbeitung (vgl. Abbildung 88 und Abbildung 89)

dargestellt.

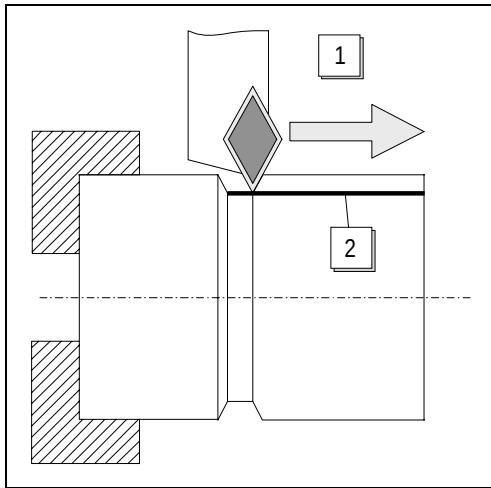


Abbildung 86
Schneidenradiuskorrektur beim Außendrehen links von der Kontur

- 1** Bearbeitungsrichtung des Werkzeugs links von der Kontur
- 2** programmierte Kontur

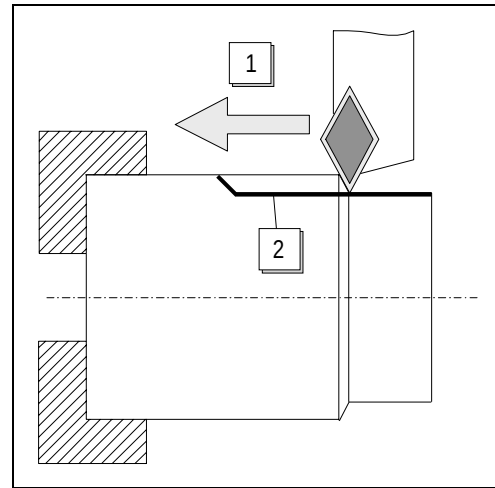


Abbildung 87
Schneidenradiuskorrektur beim Außendrehen rechts von der Kontur

- 1** Bearbeitungsrichtung des Werkzeugs rechts von der Kontur
- 2** programmierte Kontur

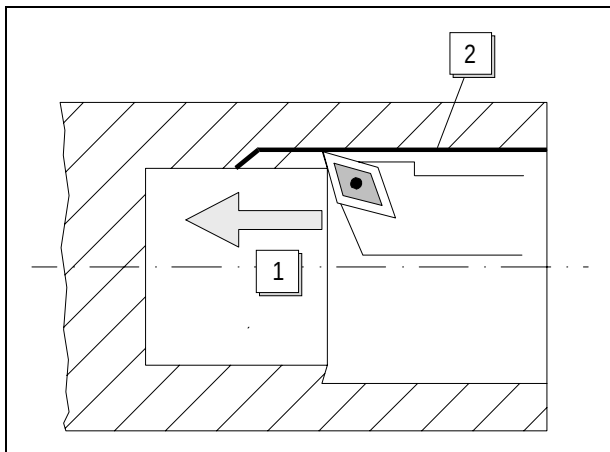


Abbildung 88
Schneidenradiuskorrektur bei Innendreharbeiten links von der Kontur

- 1** Bearbeitungsrichtung des Werkzeugs links von der Kontur
- 2** programmierte Kontur

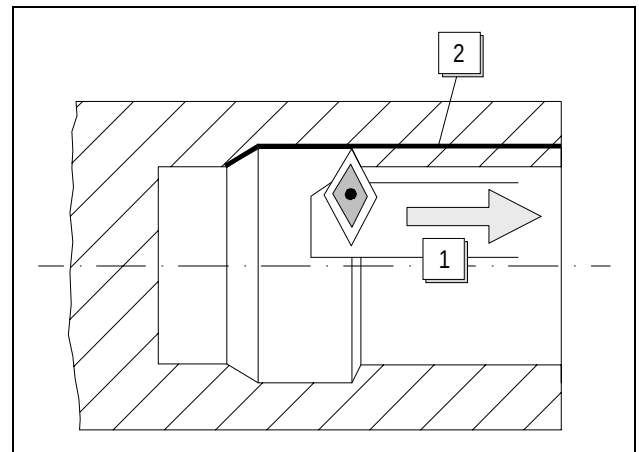


Abbildung 89
Schneidenradiuskorrektur bei Innendreharbeiten rechts von der Kontur

- 1** Bearbeitungsrichtung des Werkzeugs rechts von der Kontur
- 2** programmierte Kontur

Somit kann, wie beim Programmieren eines Frästeils, die zu fertigende Kontur ohne Umrechnungen direkt aus der Werkstückzeichnung programmiert werden. Auch bei der Drehbearbeitung muß die gewählte Schneidenradiuskompensation wieder mit den entsprechenden Befehl abgewählt werden.

Werkzeugmessung und -einstellung mit einem Einstellgerät

Um eine CNC-Maschine effizient auszulasten, wird die Werkzeugvermessung (Werkzeugvoreinstellung) in der Regel außerhalb der CNC-Maschine vorgenommen. Dabei benutzt man ein Universal-Werkzeugmeß- und Voreinstellgerät. Die Bezeichnung „Universal“ leitet sich daraus ab, daß man Drehmeißel und Fräswerkzeuge mit verschiedenen Aufnahmen vermessen und die entsprechenden Einstellwerte ermitteln kann. Bei modernen Varianten der Werkzeugmeß- und Voreinstellgeräte können die ermittelten Daten direkt zur CNC-Steuerung der Maschine via DNC übermittelt bzw. auf anderen Datenträgern oder einem Drucker ausgegeben werden.

Aufbau und Funktion eines Werkzeugvoreinstellgerätes

Ein Werkzeugvoreinstellgerät dient zur Bestimmung der Werkzeugkorrekturwerte von Dreh- bzw. Fräs Werkzeugen, ohne die eine sinnvolle Programmierung einer Werkstückkontur nicht möglich ist (vgl. Abschnitt über die Fräserradiuskorrektur S.62 ff. bzw. die Schneidenradiuskorrektur S. 64 ff).



Abbildung 90
Werkzeugmeß- und Voreinstellgerät ZOLLER H 420

Ein Werkzeugvoreinstellgerät besteht im allgemeinen aus vier Hauptkomponenten:

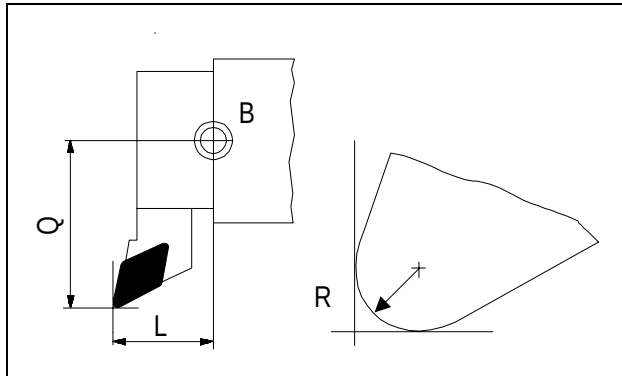
- der Grundplatte,
- dem Kreuzschlitten,
- dem Projektträger und der
- Werkzeugaufnahme.

Weiterhin sind zur Messung der Werkzeugkorrekturwerte eine elektronische Meßeinrichtung und eine Speichereinrichtung zur Abspeicherung der Daten, z.B. der Fräserradius R und die Länge L vorhanden.

Vorgehen bei Werkzeugmessung und -einstellung

Im folgenden wird die Vorgehensweise beim Vermessen eines Drehmeißels mit Hilfe eines Werkzeugvoreinstellgerätes dargestellt.

Ziel dieser Tätigkeit ist es, die Länge L und die Querablage Q des Drehmeißels (vgl. Abbildung 91) exakt zu ermitteln, um der CNC-Steuerung die entsprechenden Korrekturwerte in X und Z mitteilen zu können.



- B Werkzeugeinstellpunkt
- L Länge = Abstand der Schneidenspitze zum Werkzeugeinstellpunkt in Z
- Q Querablage = Abstand der Schneidenspitze zum Werkzeugeinstellpunkt in X

Abbildung 91
Vermessen eines Drehmeißels

- Einspannen des zu vermessenenden Drehmeißels in die dem Werkzeugrevolver entsprechende Werkzeugaufnahme
- Einschalten und Eichen des Werkzeugmeß- und Voreinstellgerät
- Vermessen des Drehmeißels
Mit Hilfe des Bedienerpultes des Werkzeugvoreinstellgerätes wird der Kreuzschlitten mit dem zu vermessenenden Drehmeißel in X und Z verfahren (vgl. Abbildung 92).

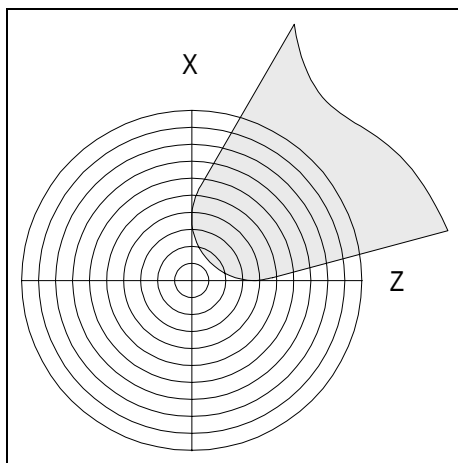


Abbildung 92
Fadenkreuz der Optik eines Werkzeugvoreinstellgerätes
bei exakter Positionierung der Spitze eines Drehmeißels

Ziel dieser Verfahrbewegung ist es, die Werkzeugschneide exakt so auszurichten, daß sie genau im Fadenkreuz der Optik des Meßgerätes liegt.

Nun können die Länge L und die Querablage Q des Drehmeißels an der Anzeige des Werkzeugvoreinstellgerätes abgelesen werden.

Diese Werte entsprechen den Korrekturwerten des eingespannten Drehmeißels in X und Z

- Sichern der gemessenen Korrekturwerte
Die Korrekturwerte werden nun entweder manuell in Listen erfaßt, um sie später an der CNC-Maschine einzugeben. Oder aber es erfolgt eine direkte Übernahme der Werte mittels einer Datenleitung zwischen dem Werkzeugvoreinstellgerät und der CNC-Steuerung im DNC-Betrieb.
- Entfernen des Drehmeißels
Der Drehmeißel kann nun wieder aus dem Voreinstellgerät entfernt werden um ein weiteres Werkzeug vermessen zu können.

Werkzeugmessung und -einstellung mit Hilfe der CNC-Maschine

Direkte Werkzeugvermessung an der CNC-Drehmaschine

Ein direktes Vermessen der Werkzeuge in der CNC-Werkzeugmaschine ist bisher nur für CNC-Drehmaschinen gebräuchlich.

Bei einer direkten Werkzeugvermessung wird ein Werkstück mit einem Werkzeug in beliebiger Einspannung bearbeitet (z.B. Drehen eines Zylinders). Das Werkstück wird danach in bezug auf den Maschinennullpunkt M vermessen. Die gemessenen Werte werden in den Werkzeugkorrekturspeicher der CNC-Steuerung eingegeben.

Anschließend wird das zweite Werkzeug eingespannt, der Werkzeugschlitten in dieselbe Position wie beim ersten Werkzeug gebracht und die gedrehte Werkstückkontur wieder abgefahren. Die Steuerung errechnet dann aus der neuen Ist-Lage des Werkzeugschlittens die Korrekturwerte für das zweite Werkzeug.

Die direkte Werkzeugvermessung ist sehr zeitintensiv, erfordert aber keinen weiteren materiellen Aufwand.

Ermittlung von Soll-Ist-Abweichungen mit verschiedenen technischen Hilfsmitteln

Werkzeugvermessung über sogenannte Nullwerkzeuge an der CNC-Fräsmaschine

Eine gängige Methode der Werkzeugvermessung an CNC-Fräsmaschinen ist die Ermittlung der unterschiedlichen Längen der Fräserwerkzeuge mit Hilfe eines Nullwerkzeuges. Die Radiuskorrekturen aller Werkzeuge sind schon vorher ermittelt und in die CNC-Steuerung eingegeben worden.

Vorgehensweise

Mit dem ersten Werkzeug, auch Nullwerkzeug genannt, wird eine Fläche auf dem eingespannten Werkstück angefräst. Für dieses Werkzeug wird der gemessene Z-Wert auf Null gesetzt.

Das nächste Werkzeug wird eingespannt und anschließend so verfahren, daß eine kleine Markierung am Werkstück entsteht (ankratzen). Die aktuelle Z-Position kann nun mit dem Vorzeichen in den Korrekturspeicher eingegeben werden. Damit werden die Werkzeuglängenkorrekturwerte zu Abweichungswerten von der Länge des Nullwerkzeugs.

Dieser Vorgang wird für jedes weiteres Werkzeug erneut durchgeführt.

Werkzeugvermessung über eine Optik in einer CNC-Drehmaschine

Im Arbeitsraum einiger CNC-Drehmaschinen ist eine Optik an einem festen Punkt installiert, deren Position der Maschine bekannt ist. Diese Koordinaten sind in der CNC-Steuerung als Parameter gespeichert.

Die zu vermessenden Werkzeuge sind im Revolver beliebig eingespannt und werden dann nacheinander mit Hilfe des elektronischen Handrads in die Mitte des Fadenkreuzes der Optik gefahren. Die Steuerung errechnet dann ohne weitere Angaben die Querablage Q sowie die Länge L und speichert diese im Werkzeugkorrekturspeicher ab.

Vor- und Nachteile der direkten Werkzeugvermessung in der CNC-Maschine

Vorteile	Nachteile
• größere Flexibilität • attraktivere Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen • Kosteneinsparung durch das Wegfallen von - Werkzeugvoreinstellgeräten - aufwendigen Werkzeughaltersystemen	• Maschinenstillstand während der Vermessung • hohe Genauigkeiten sind nicht zu erzielen

CNC-Übung**Arbeit mit Werkzeugkorrekturwerten in der MTS-Simulation**

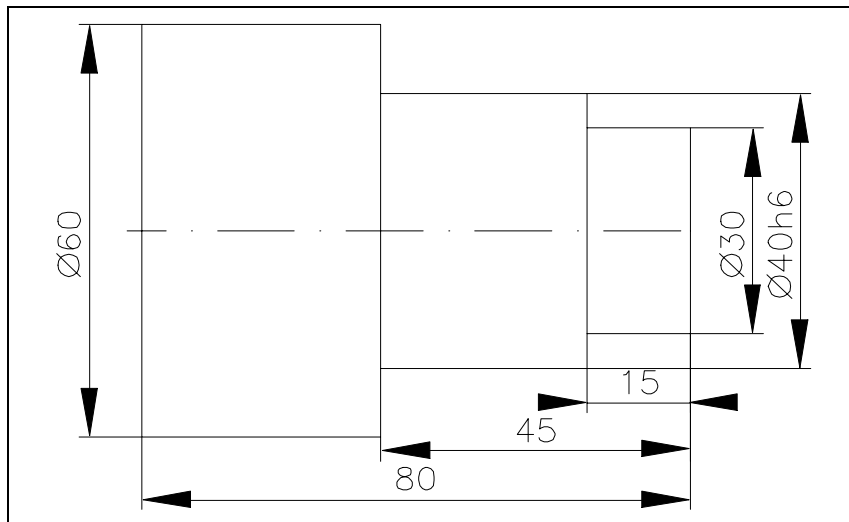
In der MTS-Software kann man wie an der realen CNC-Werkzeugmaschine jedem Werkzeug einen oder mehrere Korrekturschalter zuordnen. Damit werden die Werkzeugkorrekturwerte des Werkzeuges aufgerufen.

Aufgabe:

Das folgende Drehteil soll mit einem linken Eckdrehmeißel mit Hilfe von gesetzten Korrekturschaltern vor- und fertiggedreht werden. Verwendet wird der Drehmeißel

T05 ECKDREHMEISSEL LINKS CL-SDJCL-2020/L/1204 ISO30

dessen Einstellwerte für die Querablage Q und die Länge L in den Korrekturwertspeicher D25 eingegeben werden müssen.

**Voraussetzung:**

Einrichten des MTS-Simulator nach den folgenden Einrichtedaten:

KONFIGURATION

MASCHINE MTS 6 Drehen: Maschine
STEUERUNG MTS 6 Drehen: Steuerung

WERKSTUECK

ZYLINDER D060.000 L082.000
MATERIAL C 45 W-Nr: 1.0503
MATERIALDICHT 007.90

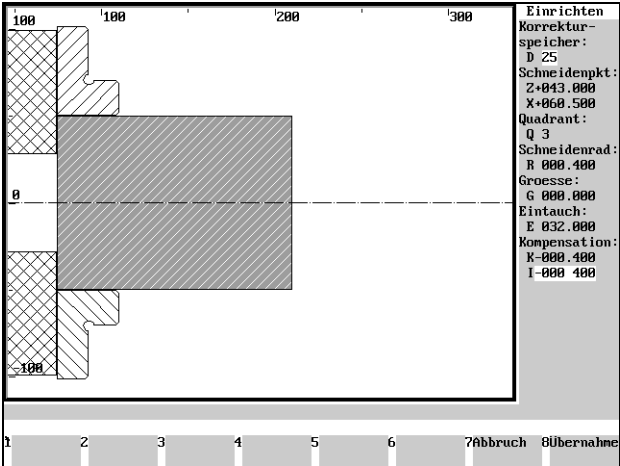
HAUPTSPINDEL MIT WERKSTUECK

DREHFUTTER SP 200-52 3
STUFENBACKE SP-GSBS 200
EINSPANNTIEFE E32.000
Rechte Fläche des Werkstückes: Z+209.500

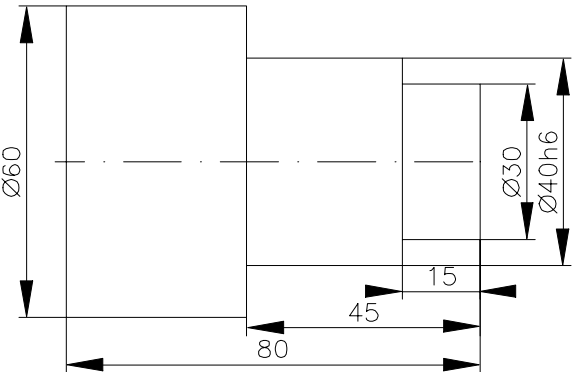
WERKZEUGE

T05 ECKDREHMEISSEL LINKS CL-SDJCL-2020/L/1204 ISO30

Vorgehensweise:

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Drehen im Hauptmenü aufrufen.	F1 (Drehen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Das Menü für die Korrekturspeicher anwählen.	F4 (Werkzeug, Nullpunkt) F3 (Korrekturspeicher)
4.	Den zusätzlichen Korrekturspeicher Nr. 25 setzen.	Mit der Tastatur „25“ schreiben und mit F1 (Werte ändern) bestätigen.
		Schneidenpunkt: Z: +43.0 X: +60.5 Schneidenradius: R: 0.4 Groesse: G: 0.0 Eintauchwinkel: E: 32.0 Kompensation: K: -0.4 I: -0.4 Der Quadrant Q3 wird von MTS automatisch gesetzt, wenn nach dem Eingeben der Werte noch einmal die Pfeiltaste ↓ oder die ↩ Tabulatortaste betätigt wird! Erst dann ist eine Übernahme mit F8 möglich!
5.	Die Daten für den Korrekturspeicher Nr. 25 eingeben.	mit der Tastatur die Daten schreiben, mit ↑ oder ↓ die einzelnen Eingaben anwählen.
6.	Das Menü für die Korrekturspeicher verlassen.	F8 (Übernahme) F8 (Zurück) F8 (Zurück) F8 (Zurück)

Anschließend kann das NC-Programm „BOLZEN“ im Einzel- oder Automatiklauf simuliert werden.

Zeichnung	NC-Programm: BOLZEN
	<pre> N010 G90 N015 G54 X+000.000 Z+207.500 N020 F000.300 T0101 M04 N025 G96 S0180 N030 G92 S3000 N035 G00 X+062.000 Z+000.000 N040 G01 X-001.000 M08 N045 Z+002.000 N050 G00 X+120.000 Z+040.000 M09 N055 F000.300 T0525 M04 N060 G00 X+050.000 Z+002.000 N065 G01 Z-044.800 M08 N070 X+061.000 N075 G00 Z+002.000 N080 X+040.000 N085 G01 Z-044.800 N090 X+051.000 N095 G00 Z+002.000 N100 X+030.000 N105 G01 Z-014.800 N110 X+042.000 N115 G00 Z+002.000 N120 T0505 M04 F000.160 N125 G00 X+030.000 N130 G01 Z-015.000 N135 X+040.000 N140 Z-045.000 N145 X+062.000 N150 G00 X+120.000 Z+040.000 M05 M09 N155 M30 </pre>

Werkstatt

Arbeit mit Werkzeugvoreinstellgeräten

Die Schüler sollen selbständig am realen Werkzeugvoreinstellgerät die Korrekturwerte von Werkzeugen bestimmen.

Dazu sind die notwendigen Bedienschritte der Bedienungsanleitung des vorhandenen Werkzeugvoreinstellgerätes zu entnehmen.

Optisches Vermessen von Werkzeugen an der CNC-Maschine

Direkte Maßbestimmung mit Hilfe der CNC-Maschine

An den vorhandenen CNC-Werkzeugmaschinen sollen die Schüler selbständig Dreh- und Fräswerkzeuge vermessen.

Zur grundsätzlichen Vorgehensweise kann auf den Abschnitt „Werkzeugmessung und -einstellung mit Hilfe der CNC-Maschine“ zurückgegriffen werden. Die Bedienschritte zur Durchführung an der CNC-Werkzeugmaschine sind der jeweiligen Bedienungsanleitung zu entnehmen.

2.6 Wegmeßsysteme

Vorschübe, Lagesteuerung und Lageregelung der NC-Achsen

Die CNC-Steuerung hat die Aufgabe, an Hand der Befehle des NC-Programms, die Bewegungen des Werkzeug- oder des Werkstückträgers zu veranlassen. Dabei müssen die programmierten Koordinaten auf einer vorgegebenen Bahn (Lage) und mit vorgeschriebener Geschwindigkeit (Vorschub) in höchster Genauigkeit in den Achsen angefahren werden.

Die exakte räumliche Lage der steuerbaren beweglichen Maschinenteile muß der CNC-Steuerung dabei zu jedem Zeitpunkt rückgemeldet werden. Dies geschieht über die Positionsmeßwertgeber, deren Daten in den Lageregelkreis eingespeist werden (vgl. Abbildung 93).

An CNC-Werkzeugmaschinen werden die Werkzeugträgerpositionen ständig gemessen. Aus der zeitlichen Veränderung des Weges wird durch die CNC-Steuerung die aktuelle Bahnposition (Istwert) sowie die Bahngeschwindigkeit berechnet und mit der programmierten Bahn verglichen (Sollwert).

Einflußfaktoren auf den Regelkreis sind z.B. die Bearbeitungskräfte sowie die Reibung und Spiele in den Führungen. Sie werden Störgrößen genannt und sind von der Regelung (CNC-Steuerung) zu kompensieren.

Die Steuerung gibt etwa jede Millisekunde an den Lageregelkreis einen neuen Lagesollwert, den dieser anzusteuern versucht. Bei der hohen Taktfrequenz erhält er im allgemeinen bereits einen neuen Sollwert, bevor der alte Sollwert erreicht wurde. Dies durch physikalische Bedingungen (z.B. zu hoher Vorschub) verursachte Verhalten der Lageregelung bewirkt den sogenannten Schleppfehler.

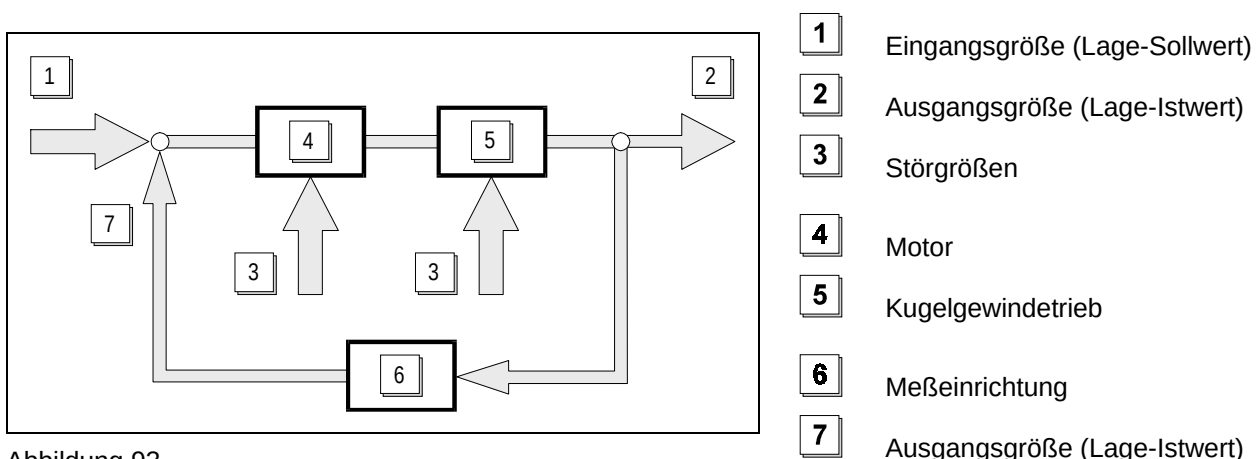


Abbildung 93
Lageregelkreis

Wegmeßverfahren

Zur Bestimmung der aktuellen Werkzeugträgerposition (Istwert des Lageregelkreises) ist für jede Verfahrachse der CNC-Werkzeugmaschine ein Wegmeßsystem vorhanden. Je nach den speziellen Anforderungen an die jeweiligen Verfahrachsen werden unterschiedliche Wegmeßverfahren verwendet.

Absolute und inkrementale Wegmessung

Bei der absoluten Wegmessung (vgl. Abbildung 94) zeigt jeder Teilungsschritt der binär codierten Meßskala einen exakten Zahlenwert an. Dieser Wert entspricht einer genauen Position des Werkzeugschlittens gegenüber dem Maschinennullpunkt M, das heißt, der CNC-Steuerung kann jederzeit die aktuelle Werkzeugschlittenposition direkt übergeben werden. Nachteilig ist, daß der Ablesebereich der Meßskala so groß wie der Arbeitsbereich sein muß. Das führt, verbunden mit der binären Codierung, zu sehr großen, technisch aufwendigen Meßskalen.

Bei der inkrementalen Wegmessung (vgl. Abbildung 95) ergeben sich bei einer Verfahrbewegung aus dem Wechsel von Hell- und Dunkelfeldern des Strichgitters Zählimpulse, die von der CNC-Steuerung laufend addiert bzw. subtrahiert werden. Die aktuelle Werkzeugschlittenposition ergibt sich aus der Differenz zur

letzten Position. Daher muß nach dem Einschalten der CNC-Steuerung der Schlitten einmal einen absoluten Punkt, den Referenzpunkt, anfahren, damit die CNC-Steuerung die absoluten Koordinaten errechnen kann.

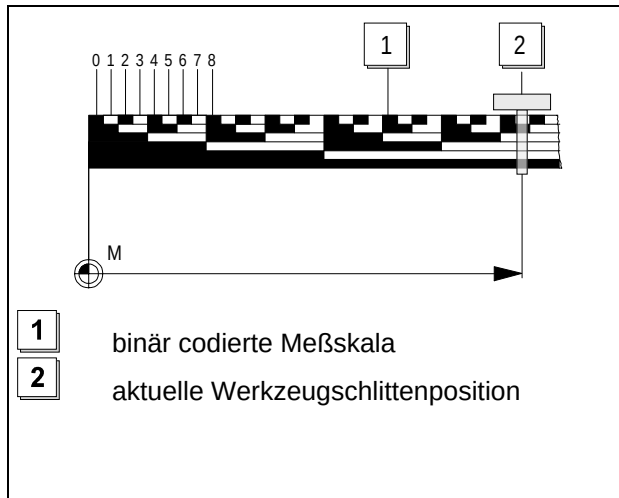


Abbildung 94
absolute Wegmessung

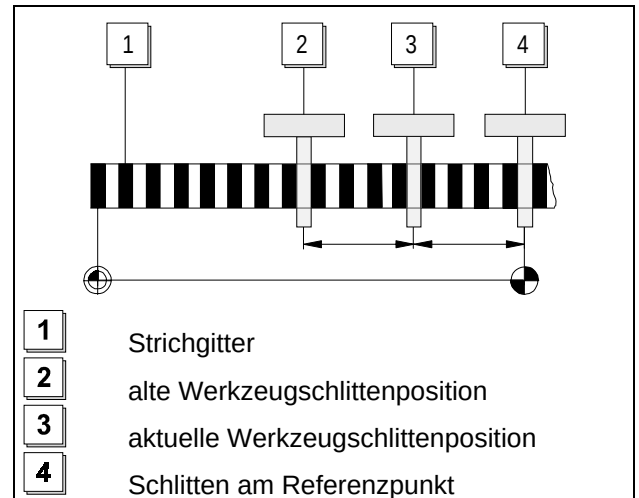


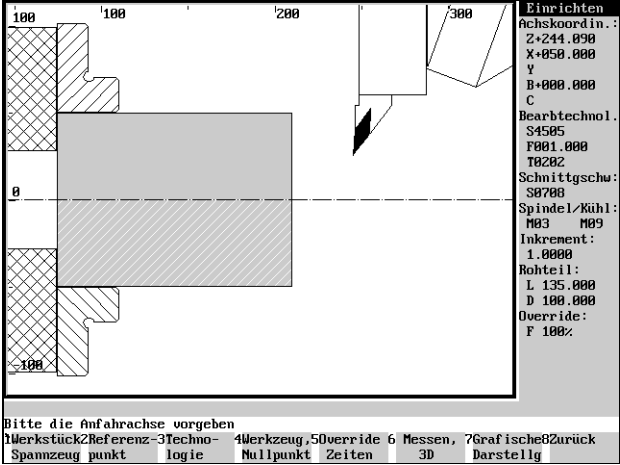
Abbildung 95
inkrementale Wegmessung

Bei CNC-Werkzeugmaschinen werden im allgemeinen nur inkrementale Wegmeßverfahren verwendet, da bei ihnen das Anfahren des Referenzpunktes jederzeit möglich ist.

Hingegen können bei Robotern in Schweißstraßen beim Anfahren eines Referenzpunktes Kollisionen mit dem Werkstück auftreten, daher sind hier absolute Wegmeßverfahren erforderlich.

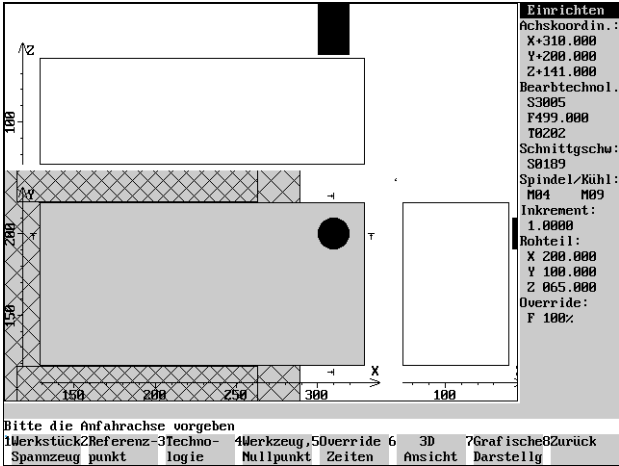
CNC-Übungen**Anfahren des Referenzpunktes.****CNC-Drehen**

Vorgehensweise:

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Drehen im Hauptmenü aufrufen.	F1 (Drehen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Anfahren des Referenzpunktes anwählen. Meldung: Bitte die Verfahrachse vorgeben	F2 (Referenzpunkt)
4.	Die Reihenfolge der Verfahrachsen wählen.	X (erst die X- dann die Z-Achse) oder Z (erst die Z- dann die X-Achse) bestätigen.
	 Der Referenzpunkt wird automatisch in beiden Achsen angefahren. Die Position kann anhand der angezeigten Achskoordinaten abgelesen werden.	
5.	Das Menü Einrichtbetrieb verlassen.	F8 (Zurück)

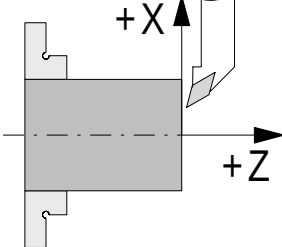
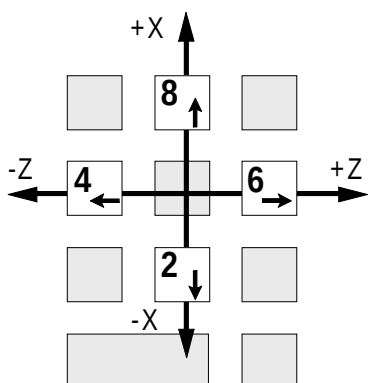
Anfahren des Referenzpunktes.**CNC-Fräsen**

Vorgehensweise:

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Fräsen im Hauptmenü aufrufen.	F2 (Fräsen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Anfahren des Referenzpunktes anwählen. Meldung: Bitte die Verfahrachse vorgeben	F2 (Referenzpunkt)
4.	Die Reihenfolge der Verfahrachsen wählen.	X (1. die X- , 2. die Y- dann die Z-Achse) oder Y (1. die Y- , 2. die X- dann die Z-Achse) oder Z (1. die Z- , 2. die X- dann die Y-Achse).
	 Der Referenzpunkt wird automatisch in allen Achsen angefahren. Die Position kann anhand der angezeigten Achskoordinaten abgelesen werden.	
5.	Das Menü Einrichtbetrieb verlassen	F8 (Zurück)

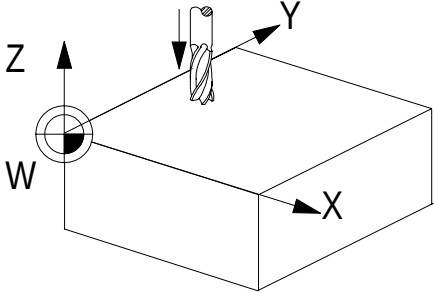
Den Drehmeißel an der Planfläche ankratzen

Vorgehensweise:

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Drehen im Hauptmenü aufrufen.	F1 (Drehen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Die Spindel im Linkslauf einschalten.	 Mit der Tastatur „M04“ schreiben und mit bestätigen.
4.	Das Werkzeug einwechseln.	 Mit der Tastatur „T0404“ schreiben und mit bestätigen.
5.	Den Drehmeißel im Eilgang ca. 5mm vor die vordere Planfläche fahren. 	<u>Auf der Nummerntastatur die jeweilige Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken:</u>  +  für Eilgang in -Z  +  für Eilgang in -X
		Weitere mögliche Bewegungsrichtungen:  (+ Z - Richtung)  (- Z - Richtung)  (+ X - Richtung)  (- X - Richtung)
6.	Zum weiteren Verfahren das Inkrement von 1mm auf 0,1mm oder 0,01 mm umschalten.	F3 (Technologie) F5 (Inkrement) F2 (Inkrement 0.1) oder F3 (Inkrement 0.01)
7.	Den Drehmeißel in negativer Z-Richtung verfahren, bis er die Planfläche des Werkstückes berührt (Ankratzen).	<u>Auf der Nummerntastatur die Richtungstaste</u>  drücken. Anschließend ESC und F8 (Zurück) drücken.
8.	Das Menü Einrichtbetrieb verlassen	F8 (Zurück)

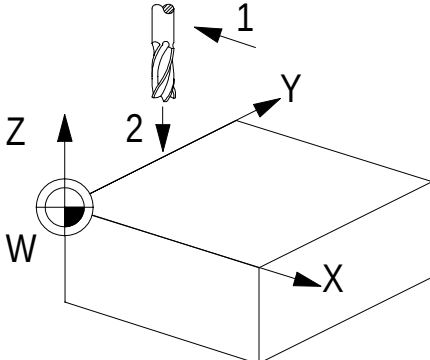
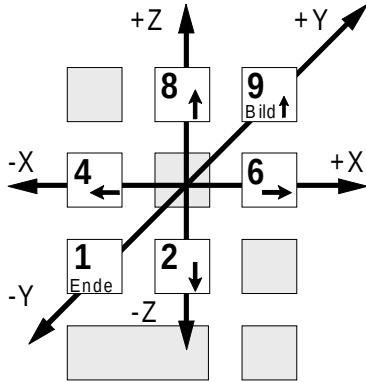
Das Fräswerkzeug an der Oberseite ankratzen

Vorgehensweise:

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Fräsen im Hauptmenü aufrufen.	F2 (Fräsen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Die Spindel im Rechtslauf einschalten.	 Mit der Tastatur „M03“ schreiben und mit bestätigen.
4.	Das Werkzeug einwechseln.	 Mit der Tastatur „T0202“ schreiben und mit bestätigen.
5.	Das Werkzeug im Eilgang ca. 5mm über die Oberseite fahren.	<u>Auf der Nummerntastatur</u> die jeweilige Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken: Bsp.:  + 2↓ für Eilgang in -Z
		Weitere mögliche Bewegungsrichtungen: 6→ (+ X - Richtung) 4← (- X - Richtung) 9Bild↑ (+ Y - Richtung) 1Ende (- Y - Richtung) 8↑ (+ Z - Richtung) 2↓ (- Z - Richtung)
6.	Zum weiteren Verfahren das Inkrement von 1mm auf 0,1mm oder 0,01mm umschalten.	F3 (Technologie) F5 (Inkrement) F2 (Inkrement 0.1) oder F3 (Inkrement 0.01)
7.	Das Werkzeug in negativer Z-Richtung verfahren, bis es die Oberfläche des Werkstückes berührt (Ankratzen).	<u>Auf der Nummerntastatur</u> die Richtungstaste 2↓ drücken. Anschließend ESC und F8 (Zurück) drücken.
8.	Das Menü Einrichtbetrieb verlassen	F8 (Zurück)

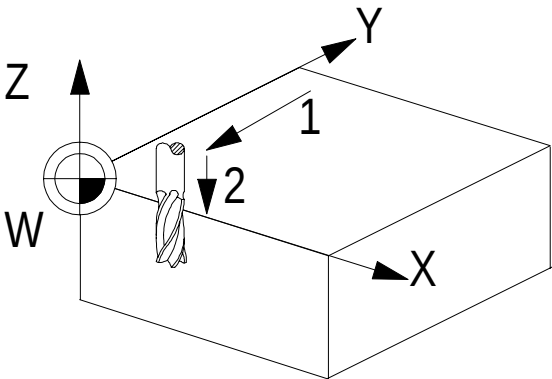
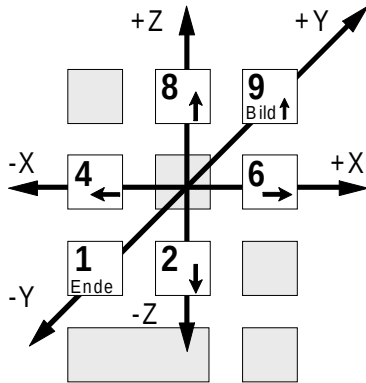
Das Fräswerkzeug an der Seitenfläche ankratzen

Vorgehensweise:

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Fräsen im Hauptmenü aufrufen.	F2 (Fräsen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Die Spindel im Rechtslauf einschalten.	Mit der Tastatur „M03“ schreiben und mit  bestätigen.
4.	Das Werkzeug einwechseln.	Mit der Tastatur „T0202“ schreiben und mit  bestätigen.
5.	Das Werkzeug im Eilgang ca. 5mm neben die Seitenfläche verfahren. 	<u>Auf der Nummerntastatur</u> die jeweilige Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken: 1) in -X-Richtung  +  für Eilgang in -X 2) in -Z-Richtung  +  für Eilgang in -Z
		Weitere mögliche Bewegungsrichtungen:  (+ X - Richtung)  (- X - Richtung)  (+ Y - Richtung)  (- Y - Richtung)  (+ Z - Richtung)  (- Z - Richtung)
6.	Zum weiteren Verfahren das Inkrement von 1mm auf 0,1mm oder 0,01mm umschalten.	F3 (Technologie) F5 (Inkrement) F2 (Inkrement 0.1) oder F3 (Inkrement 0.01)
7.	Das Werkzeug in positiver X-Richtung verfahren, bis es die links Seitenfläche des Werkstückes berührt (Ankratzen).	<u>Auf der Nummerntastatur</u> die Richtungstaste  drücken. Anschließend ESC und F8 (Zurück) drücken.
8.	Menü Einrichtbetrieb verlassen	F8 (Zurück)

Das Fräswerkzeug an der Vorderseite ankratzen

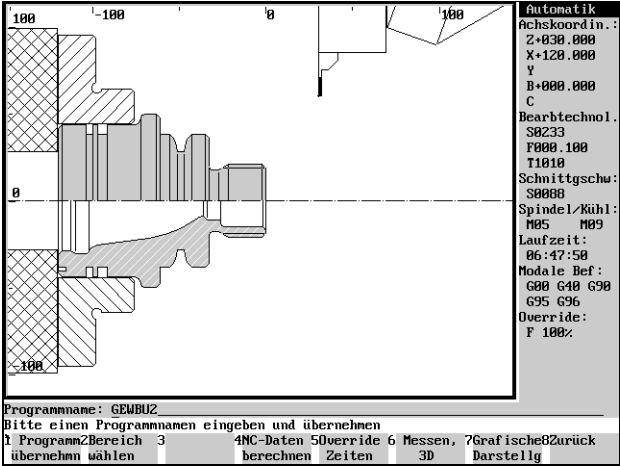
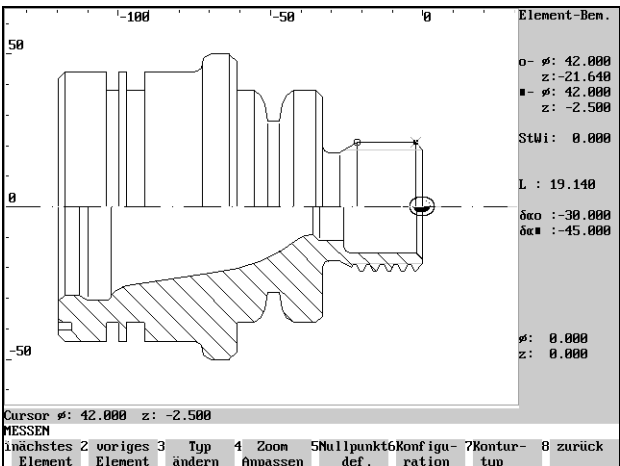
Vorgehensweise:

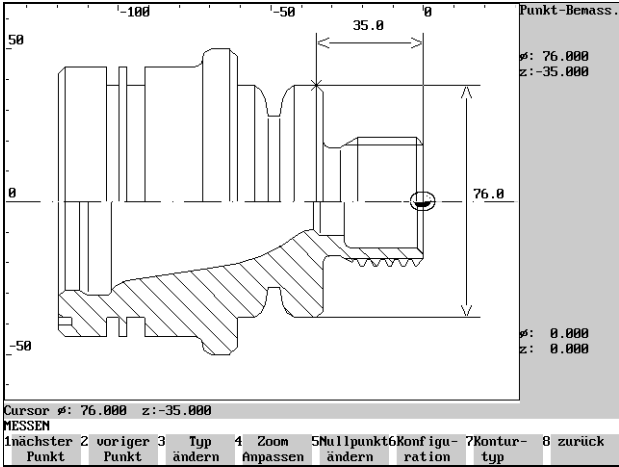
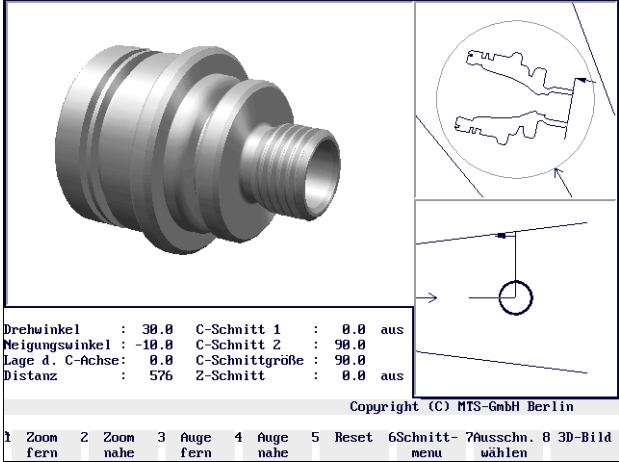
	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Fräsen im Hauptmenü aufrufen.	F2 (Fräsen)
2.	Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Die Spindel im Rechtslauf einschalten.	Mit der Tastatur „M03“ schreiben und mit bestätigen.
4.	Das Werkzeug einwechseln.	Mit der Tastatur „T0202“ schreiben und mit bestätigen.
5.	Das Werkzeug im Eilgang ca. 5 mm vor die Vorderseite verfahren. 	<u>Auf der Nummerntastatur</u> die jeweilige Richtungstaste zusammen mit der Shifttaste drücken: 1) in -Y-Richtung + 1 _{Ende} für Eilgang in -Y 2) in -Z-Richtung + 2 _↓ für Eilgang in -Z
		Weitere mögliche Bewegungsrichtungen: 6 _→ (+ X - Richtung) 4 _← (- X - Richtung) 9 _{Bild↑} (+ Y - Richtung) 1 _{Ende} (- Y - Richtung) 8 _↑ (+ Z - Richtung) 2 _↓ (- Z - Richtung)
6.	Zum weiteren Verfahren das Inkrement von 1mm auf 0,1mm oder 0,01mm umschalten.	F3 (Technologie) F5 (Inkrement) F2 (Inkrement 0.1) oder F3 (Inkrement 0.01)
7.	Das Werkzeug in positiver Y-Richtung verfahren, bis es die vordere Seitenfläche des Werkstückes berührt (Ankratzen).	<u>Auf der Nummerntastatur</u> die Richtungstaste 9 _{Bild↑} drücken. Anschließend ESC und F8 (Zurück) drücken.
8.	Das Menü Einrichtbetrieb verlassen	F8 (Zurück)

Vermessen eines Werkstückes

Ein Werkstück kann nach der Bearbeitung (Automatiklauf) oder während der Bearbeitung nach jedem Bearbeitungsschritt (Einzelsatz) vermessen werden.

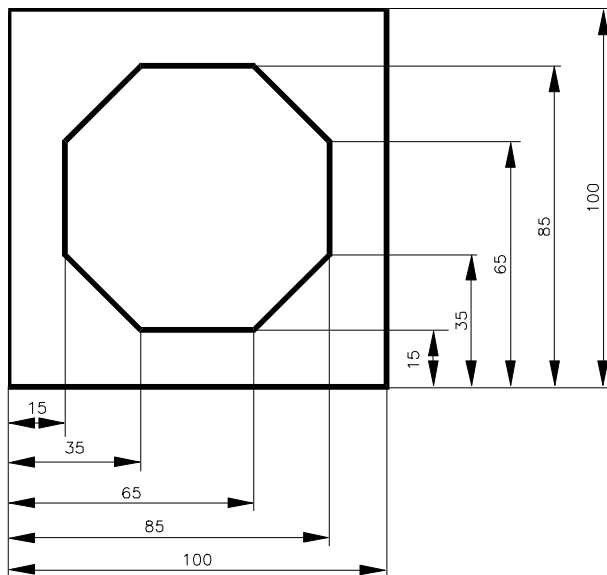
Vorgehensweise:

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Drehen im Hauptmenü aufrufen.	F1 (Drehen)
2.	Den Automatikbetrieb anwählen.	F2 (Automatikbetrieb)
3.	Ein vorhandenes NC-Programm aufrufen, z.B. GEWBU2.	Mit der Tastatur „GEWBU2“ schreiben und bestätigen.
4.	Die Simulationsart Automatiklauf anwählen.	F1 (Automatiklauf)
	 Die Bearbeitung wird am Bildschirm simuliert	
5.	Das Vermessungsmenü anwählen.	F6 (Messen 3D)
6.	Das Menü zur Elementbemaßung anwählen.	F6 (Elementbemaßung)
7.	Das zu vermessende Element anwählen.	F1 (nächstes Element) oder F2 (voriges Element)
	 Die Daten für das angewählte Element werden jeweils angezeigt.	
8.	Das Menü zur Elementbemaßung verlassen.	F8 (Zurück)

9.	Das Menü zur Punktbemaßung anwählen.	F7 (Punktbemaßung)
10.	Den zu vermessenden Punkt anwählen.	F1 (nächster Punkt) oder F2 (voriger Punkt)
	 Die Daten für den angewählten Punkt werden jeweils angezeigt.	
11.	Das Menü zur Punktbemaßung verlassen.	F8 (Zurück)
12.	Das Menü zur 3D-Darstellung anwählen.	F1 (3D Darst.)
13.	Das 3D-Bild erzeugen.	F8 (3D Bild.)
		
14.	Das Menü zur 3D-Darstellung verlassen.	ESC ESC
15.	Das Vermessungsmenü verlassen.	F8 (Zurück)
16.	Die Simulationsart Automatiklauf verlassen.	F8 (Zurück)

Kenntnistest „Geometrische Grundlagen“

1. Kennzeichne die möglichen Verfabrbewegungen beim Drehen in einem Koordinatensystem.
2. Kennzeichne die möglichen Verfabrbewegungen beim Fräsen in einem Koordinatensystem.
3. Bei welchen Anwendungen ist das Polarkoordinatensystem beim Fräsen sinnvoll?
4. Nenne zwei Beispiele für Steuerungsarten an CNC-Fräsmaschinen.
5. Welche Arten von 2 ½ D-Bahnsteuerungen sind bei CNC-Fräsmaschinen zu unterscheiden?
6. Woraus erklären sich die verschiedenen Möglichkeiten bei der 2 ½ D-Bahnsteuerungen?
7. Begründe die Null- und Bezugspunkte an numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen.
8. Wo sollte der vom Anwender festzulegende Werkstücknullpunkt liegen?
9. Worin liegen die Vorteile der Absolutprogrammierung?
10. Warum ist die Inkrementalprogrammierung manchmal notwendig?
11. Bemaße das in Absolutbemaßung skizzierte Frästeil inkremental:



12. Worin liegt der wesentliche Unterschied zwischen dem Prinzip einer Steuerkette und dem eines Regelkreises?
13. Erläutere die Regelung als Wirkungsvorgang.
14. Warum ist beim Fräsen eine Fräserradiuskorrektur erforderlich ?
15. Welche Werte werden bei der Werkzeugkorrektur beim Fräsen berücksichtigt?
16. Warum ist beim Drehen eine Scheidenradiuskorrektur erforderlich ?
17. Welche Werte werden bei der Werkzeugkorrektur beim Drehen berücksichtigt?
18. Welche Bedeutung haben dabei die Arbeitsquadranten der Drehmeißelschneide ?
19. Nennen sie verschiedene Arten der Werkzeugvermessung.

3 Technologische Grundlagen für die CNC-Bearbeitung

3.1 CNC-Werkzeugsysteme für das Drehen und Fräsen

Im Gegensatz zu den konventionellen Werkzeugmaschinen kommen bei CNC-Werkzeugmaschinen spezielle NC-Werkzeuge zum Einsatz, die die folgenden Kriterien erfüllen.

- höhere Zerspanungsleistungen bei gleichzeitig hohen Standzeiten
- kürzere Wechsel- und Einrichtzeiten, damit eine wirtschaftliche Fertigung immer kleinerer Losgrößen ermöglicht wird
- Einführung von Werkzeugstandards und Werkzeugrationalisierung
- Verbesserung der Möglichkeiten der Werkzeugverwaltung und einer flexiblen Fertigung

Die NC-Werkzeuge sind entweder einteilig oder aus dem Schneidenträger und dem Werkzeughalter zusammengesetzt. Um einen schnellen Werkzeugwechsel durchführen und eine gute Austauschbarkeit der NC-Werkzeuge gewährleisten zu können, sind die Werkzeugaufnahmen genormt.

Werkzeugaufnahmen

Bei den Werkzeugaufnahmen haben sich spezielle Formen durchgesetzt. Sie unterscheiden sich nach dem jeweiligen Bearbeitungsverfahren. Bei Drehwerkzeugen wird hauptsächlich der Zylinderschaft mit Verzahnung (vgl. Abbildung 96) und bei Fräswerkzeugen der Steilkegel (vgl. Abbildung 97) verwendet. Mit beiden Werkzeugaufnahmen ist sowohl ein automatischer als auch ein schneller manueller Werkzeugwechsel möglich.

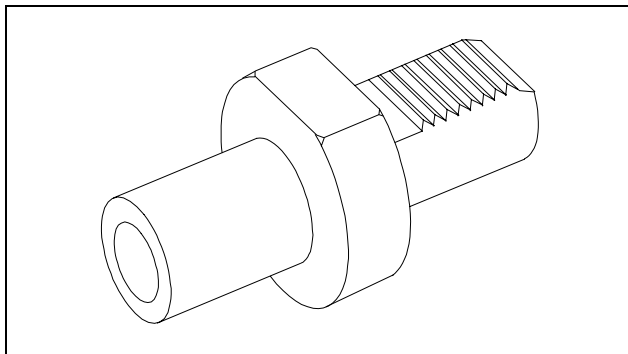


Abbildung 96
Zylinderschaft mit Verzahnung

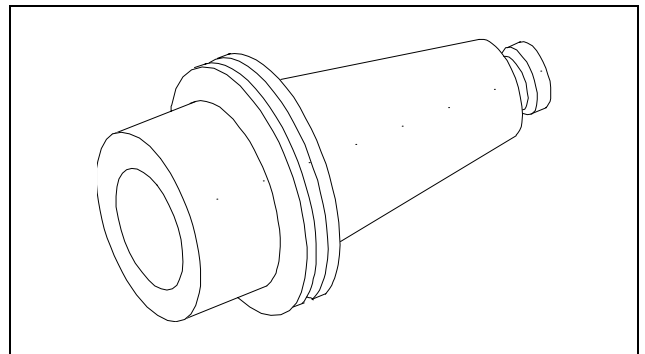


Abbildung 97
Steilkegel

Werkzeughalter

Viele Dreh- und Fräswerkzeuge sind aus mehreren Komponenten zusammengesetzt. Zum Einsatz kommen Wendeschneidplatten, die z.B. mit Klemmhaltern befestigt werden (vgl. Abbildung 98).

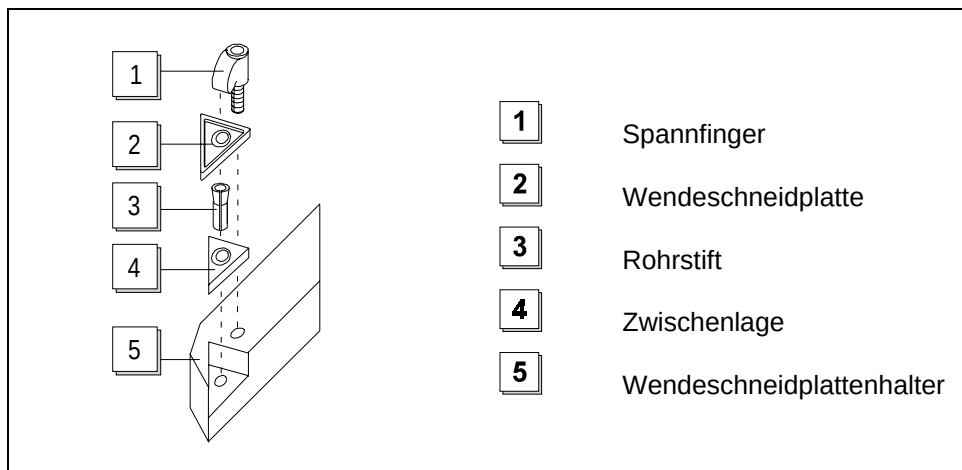


Abbildung 98
Beispiel eines Spannfingersystems

Die Hauptelemente eines modernen Drehwerkzeuges sind der Klemmhalter bzw. Wendeschneidplattenhalter, die Wendeschneidplatte und deren Spannsystem. Der Sitz für die Wendeschneidplatten ist im Halter mit zwei Stützkanten ausgelegt und mit einer Zwischenlage versehen. Die Zwischenlage dient zur Aufnahme größerer Schnittkräfte und zum Schutz des Halters vor Beschädigung bei einem möglichen Bruch der Wendeschneidplatte.

Durch die Kräfte beim Zerspanen und durch die beim Fräsen entstehenden Fliehkräfte besteht die Gefahr, daß die Wendeschneidplatten aus der Halterung reißen oder im Werkzeug verrutschen. Zur Befestigung und zur genauen Positionierung der Wendeschneidplatten werden Klemm- oder Schraubsysteme verwendet.

Die Klemmhalter und die Wendeschneidplatten sind weitgehend genormt (DIN Taschenbuch 40, 5. Auflage 1989 sowie in den einschlägigen ISO-Normen vgl. Abbildung 101 auf Seite 87).

Hartmetall-Wendeschneidplatten

In der CNC-Technik werden verstärkt Wendeschneidplatten eingesetzt, da sie sehr hohe Standzeiten erreichen und leicht auszuwechseln sind. Wendeschneidplatten besitzen mehrere Schneidkanten. Daher besteht die Möglichkeit, beim Stumpfwerden einer Schneidkante die Platte zu drehen oder zu wenden.

Wendeschneidplatten bestehen aus Hartmetall oder Schneidkeramik (vgl. Abs. Schneidstoffe S.91 ff.). Sie werden durch Sintern hergestellt. Durch dieses Herstellungsverfahren, bei dem Metallpulver in Formen gepreßt und anschließend wärmebehandelt wird, lassen sich preisgünstig Wendeschneidplatten in verschiedenen Ausführungen herstellen (vgl. Abbildung 99).

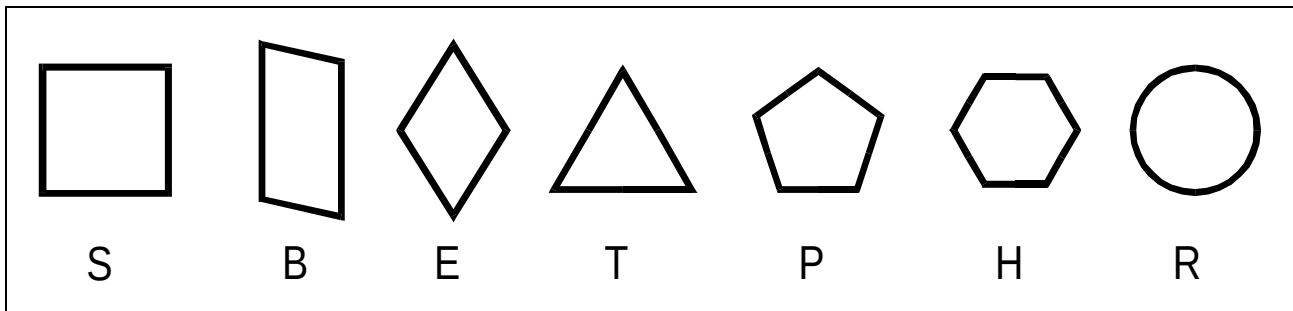


Abbildung 99
Formen von Wendeschneidplatten

Wendeschneidplatten werden nach ihrer Grundform, den Winkeln, der Schneidenecke, der Toleranzklasse sowie nach der Befestigung und den Hauptmaßen eingeteilt. Im folgenden wird an einem Beispiel (vgl. Abbildung 100) die Normbezeichnung einer Wendeschneidplatte nach den Normblättern ISO 1832 / DIN-4987 veranschaulicht.

Schneidplatte ISO 1832 - ECMT 09 T3 08 FR - P10	
Benennung	Beispiel
Norm-Hauptnummer	DIN 4987
1) Grundform	E = rhombisch 75°
2) Normal-Freiwinkel	C = 7°
3) Toleranzklasse	M
4) Ausführung der Spanflächen und Befestigungsmerkmale	T = Senkbohrung 60° auf einer Spanfläche
5) Plattengröße	Seitenlänge: 9,52 mm
6) Plattendicke	s = 3,97mm
7) Ausführung der Schneidenecke	r = 0,8mm
8) Schneidenausführung	F = scharfkantig
9) Schneidenrichtung	R = rechts
10) Schneidstoff	Hartmetall P10

Abbildung 100
Bezeichnung einer Wendeschneidplatte

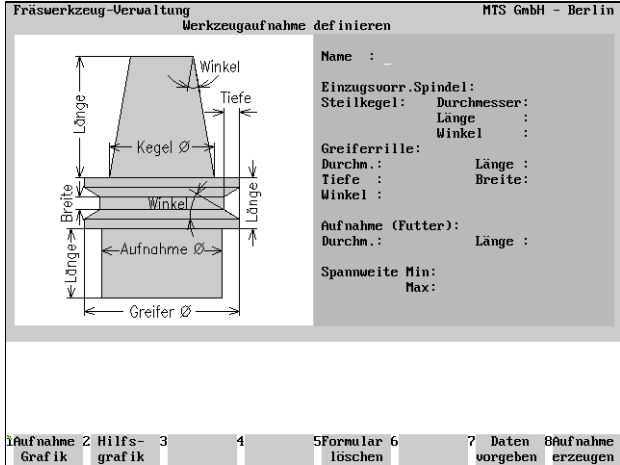
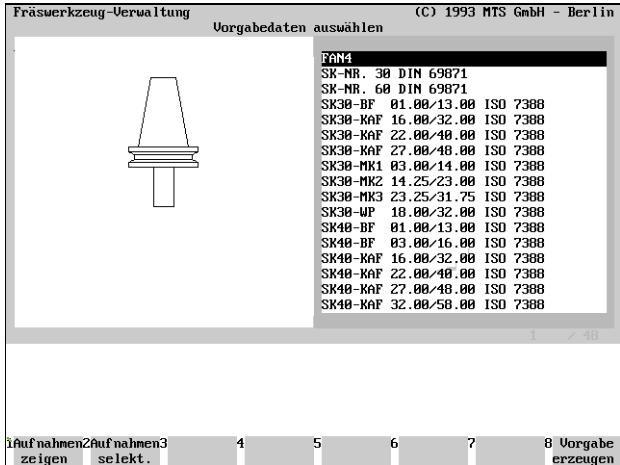
ISO-Nr.	Beziehung zu DIN	Titel	Erscheinungsjahr
883	4968	Wendeschnidplatten aus Hartmetall mit Eckenrundung, ohne Bohrung; Maße	1985
1832	4987 T1/T2	Wendeschnidplatten für Zerspanwerkzeuge; Bezeichnung	1985
3364	4988	Wendeschnidplatten aus Hartmetall mit Eckenrundung, mit zylindrischer Bohrung; Maße	1985
5608	4983	Klemmhalter und Kurzklemmhalter für Wendeschnidplatten; Bezeichnung; Bezeichnungssystem	1980
5609	8025 T1/5	Klemmhalter für Innendrehen, mit Zylinderschaft, für Wendeschnidplatten; Maße	1985
5610	4984 T1/13	Klemmhalter für Wendeschnidplatten, Maße	1985
5611	4985 T1/12	Kurzklemmhalter für Wendeschnidplatten; Maße	1981
5611/AAD1	E 4985 T1A1	Kurzklemmhalter Typ A, für Wendeschnidplatten; Maße, Ergänzung 1; Erweiterung für Kurzklemmhalter mit Maß h = 8mm	1986
6281	8024	Klemmhalter mit Zylinderschaft, zum Innendrehen, für Wendeschnidplatten; Bezeichnung	1984
6287/1	4967 T1	Wendeschnidplatten aus Hartmetall mit Eckenrundung und Senkbohrung; Teil 1; Maße der Wendeschnidplatten mit Normal-Freiwinkel 7°	1983
DIS 6987/2	E 4967 T2	Wendeschnidplatten aus Hartmetall mit Eckenrundung und Senkbohrung; Teil 2; Maße der Wendeschnidplatten mit Normal-Freiwinkel 11°	1986

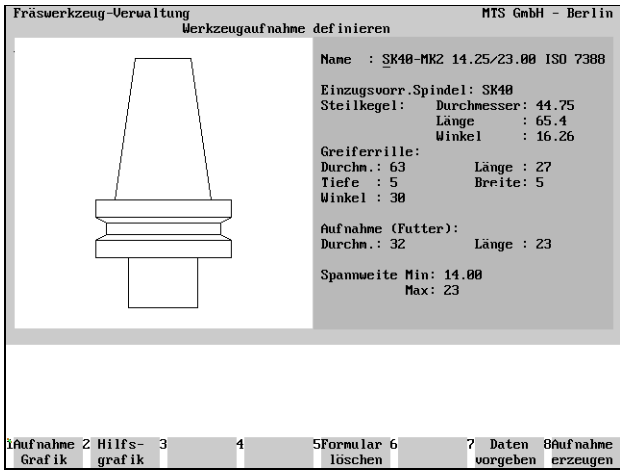
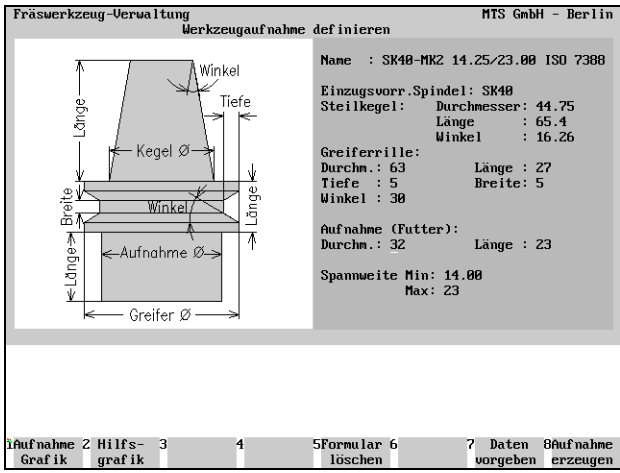
Abbildung 101

Übersicht über einschlägige Normen für Wendeplatten -Drehwerkzeuge

CNC-Übung

Erzeugen einer Werkzeugaufnahme (Steilkegel)

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Fräsen im Hauptmenü aufrufen.	F2 (Fräsen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Das Menü Werkzeug, Nullpunkt anwählen.	F4 (Werkzeug, Nullpunkt)
4.	Das Menü Magazin anwählen.	F2 (Magazinbelegung)
5.	Das Verwaltungsmenü anwählen.	F2 (Verwaltung)
6.	Das Menü Aufnahme definieren anwählen.	F5 (Aufnahme erzeugen)
		
7.	Das Menü Vorgabedaten anwählen.	F7 (Daten vorgeben)
		
8.	Schon vorhandene Vorgabedaten auswählen, z.B. SK40-MK2.	↑ oder ↓ auswählen, eventuell mit F1 (Aufnahmen zeigen), mit F1 (Aufnahmen auflisten) weiter auswählen, mit F8 (Vorgabe erzeugen) die Auswahl übernehmen

		
9.	Die Hilfsgrafik aufrufen	F2 (Hilfsgrafik)
		
	Die Angaben zur Aufnahme eintragen.	mit der Tastatur Namen und Daten der Aufnahme schreiben  mit der Tabulatortaste die einzelnen Eingaben anwählen
10.	Aufnahme erzeugen	F8 (Aufnahme erzeugen)
11.	Das Menü Aufnahme definieren verlassen.	F8 (Zurück) F8 (Zurück) F8 (Zurück) F8 (Zurück)

3.2 Aufbau und Einsatz von Drehwerkzeugen für die CNC-Bearbeitung

Arten von Drehwerkzeugen und ihre ISO-Kurzbezeichnung

Die Drehwerkzeuge, auch Drehmeißel genannt, können nach den folgenden Kriterien eingeteilt werden.

- nach dem Schneidstoff in
 - Drehmeißel mit Schneiden aus Schnellarbeitsstahl,
 - Drehmeißel mit Schneiden aus Hartmetall,
 - Drehmeißel mit Schneiden aus Keramik oder
 - Drehmeißel mit Schneiden aus Diamant;
- nach der Lage der Eingriffsstelle in
 - Drehmeißel für die Außenbearbeitung oder
 - Drehmeißel für die Innenbearbeitung;
- nach ihrer Form in
 - gerade Drehmeißel,
 - abgesetzte Drehmeißel,
 - gebogene Drehmeißel,
 - spitze Drehmeißel oder
 - breite Drehmeißel;
- nach der Lage der Hauptschneide in
 - linke Drehmeißel,
 - rechte Drehmeißel oder
 - neutrale Drehmeißel;
- nach dem Verwendungszweck in z.B.
 - Stechdrehmeißel,
 - Eckdrehmeißel oder
 - Gewindedrehmeißel.

Im einzelnen sind die Drehmeißel in den entsprechenden Normen (DIN 4951 - 4965 und DIN 4971 - 4982 oder ISO 243, 504 bzw. 514) dargestellt und beschrieben.

Ein Auswahl von gebräuchlichen Drehwerkzeugen ist in der Abbildung 102 nach Einsatzbereichen geordnet. Die genannten Drehwerkzeuge sind in der Werkzeugverwaltung des MTS- Drehsimulators mit allen ihren Maßen enthalten. Zur Simulation im MTS Drehsimulator können sie von dort aufgerufen werden.

	Drehmeißel	Gewindedrehmeißel	Stechdrehmeißel	Bohrwerkzeug
Außen	Eckdrehmeißel (rechtsschneidend)	Außengewindemeißel (rechtsschneidend)	Außeneinstechmeißel	
	Eckdrehmeißel (linksschneidend)	Außengewindemeißel (linksschneidend)		
	Kopierdrehmeißel			
	Außendrehmeißel (runde Schneidplatte)			
Innen	Innendrehmeißel (vormittig)	Innengewindemeißel (vormittig)	Inneneinstechmeißel (vormittig)	
	Innendrehmeißel (nachmittig)	Innengewindemeißel (nachmittig)	Inneneinstechmeißel (nachmittig)	
Axial			Axialer Einstechmeißel	Zentrierbohrer
				Spiralbohrer
				Wendeplatten- Vollbohrer

Abbildung 102
Einteilung von Drehmeißeln

Schneidstoffe

Als Schneidstoffe für Drehwerkzeuge werden vor allem Hartmetalle eingesetzt. Für bestimmte Dreharbeiten finden noch HSS-Stähle Anwendung, deren Schneidflächen meist beschichtet sind. Für besondere Fälle werden keramische Werkstoffe (Schneidkeramik) in Wendeschneidplattenformen angewendet und in Sonderfällen auch Industriediamanten.

Schnellarbeitsstahl

Ein Schnellarbeitsstahl ist ein hochlegierter Werkzeugstahl (HSS = Hochleistungs-Schnellschnitt-Stahl). Er besitzt eine hohe Zähigkeit und kann daher gut Stoßbelastungen aufnehmen. Die Schnittgeschwindigkeit liegt wesentlich niedriger als bei Hartmetallen oder Schneidkeramiken.

Eingesetzt wird er bei Werkzeugen, die aufgrund ihrer Form, z.B. Bohrer oder Reibahlen, die Verwendung von Wendeschneidplatten nicht zulassen sowie zur Bearbeitung von thermoplastischen Kunststoffen und Leichtmetallen. Oft werden Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl mit einer Hartstoffschicht aus Titannitrid TiN beschichtet. Diese sehr harte, goldfarbene Beschichtung erhöht die Verschleißfestigkeit und ermöglicht höhere Schnittgeschwindigkeiten.

Hartmetalle

Hartmetalle sind Werkstoffe, die unter Verwendung von Hartstoffen und einem Bindemittel in Form von Wendeschneidplatten gesintert werden. Die Hartstoffe sind meist Wolfram-, Titan- oder Tantalcarbid. Als Bindemittel wird Kobalt verwendet.

Hartmetalle sind wesentlich härter als Schnellarbeitsstähle. Sie sind sehr verschleißfest und lassen sehr hohe Arbeitstemperaturen zu. Sie vertragen aber Temperaturschwankungen und Stoßbelastungen wesentlich schlechter als Schnellarbeitsstähle.

Die Hartmetalle können nach den Zerspanungshauptgruppen und nach den Zerspanungs-Anwendungsgruppen eingeteilt (DIN 4990 bzw. ISO/R513) werden (vgl. Abbildung 103).

Zerspanungs-Hauptgruppen	Kurzzeichen	Werkstoffe	Zerspanungs-Anwendungsgruppen Anwendungen	
P blau	P01	Stahl Stahlguß langspanender Temperguß	Feinstbearbeitung, hohe Oberflächengüte	Hohe Verschleiß-Festigkeit hohe Schnittgeschwindigkeit ↕ Hohe Zähigkeit hohe Vorschübe
	P10		Feinbearbeitung hohe Schnittgeschwindigkeit	
	P20			
	P30		mittlere Schnittgeschwindigkeit	
	P40			
	P50		Grobbearbeitung unterbrochener Schnitt	
M gelb	M10	Stahl	Feinbearbeitung hohe Schnittgeschwindigkeit	Hohe Verschleiß-Festigkeit hohe Schnittgeschwindigkeit ↕ Hohe Zähigkeit hohe Vorschübe
	M20	Hartstahl	mittlere Schnittgeschwindigkeit	
	M30	Gußeisen		
	M40	Nichteisen-Metalle	Grobbearbeitung unterbrochener Schnitt	
K rot	K01	Hartguß	Feinbearbeitung	Hohe Verschleiß-Festigkeit hohe Schnittgeschwindigkeit ↕ Hohe Zähigkeit hohe Vorschübe
	K10	Gußeisen		
	K20	kurzspanender Temperguß		
	K30	Kunststoffe		
	K40	Holz	Grobbearbeitung unterbrochener Schnitt	

Abbildung 103
Anwendungsbereiche von Hartmetallen

Die Verschleißfestigkeit der Hartmetalle kann durch das Beschichten noch erhöht werden. Als Beschichtung wird Titannitrid, Titankarbid und Aluminiumoxid im Vakuum bei einer Temperatur von 1000° in mehreren Lagen aufgebracht.

Schneidkeramik

Bei der Schneidkeramik kommen keramische Werkstoffe zur Anwendung, die noch härter als Hartmetall sind. Die Schneidkeramik läßt eine Arbeitstemperatur von bis zu 1200°C zu. Sie ist sehr spröde und empfindlich gegen schwankende Schnittkräfte. Schneidkeramiken werden als Wendeschneitplatten hergestellt und wie die Hartmetalle in Werkzeughalter geklemmt.

Eingesetzt wird die Schneidkeramik bei gleichmäßigen Schnittbedingungen, ohne eine Kühlung zu verwenden. Gegenüber den Hartmetallen ist die Schnittgeschwindigkeit noch höher. Beonders geeignet ist sie für die Zerspanung von Eisenwerkstoffen, da sie keine Aufbauschneiden bildet. Ungeeignet ist sie für Aluminiumlegierungen.

Die zur Anwendung kommenden Schneidkeramiken können den folgenden drei Gruppen zugeordnet werden.

- Oxidkeramik
- Mischkeramik
- Nitridkeramik

Schneidkeramiken aus reinem Al_2O_3 werden als Oxidkeramiken bezeichnet. Sie haben keine metallische Bindung. Besonders sind sie für die Zerspanung von Eisenwerkstoffen geeignet, da sie ihnen gegenüber eine hohe Verschleißfestigkeit haben.

Bei den Mischkeramiken werden dem Al_2O_3 Hartstoffe wie z.B. Titankarbid beigefügt. Mischkeramiken werden zum Schlichten von Grauguß oder Stahl sowie zur Zerspanung von gehärteten Eisenwerkstoffen verwendet.

Nitridkeramik wird auf der Basis von Siliziumnitrid Si_3N_4 hergestellt. Dieser nichtoxidische Schneidstoff besitzt eine hohe Bruchzähigkeit und eine geringe Empfindlichkeit gegen Temperaturschwankungen. Nachteilig ist der höhere Verschleiß bei der Stahlzerspanung. Angewendet wird die Nitridkeramik bei der Bearbeitung von Grauguß.

Diamant

Diamanten besitzen die größte Härte aller Stoffe. Sie sind extrem stoßempfindlich, bilden beim Zerspanen aber keine Aufbauschneiden.

Eingesetzt werden sie bei der Zerspanung von Nichteisen-Metallen und ihren Legierungen, sowie von Verbundwerkstoffen (GFK,CFK), Hartmetall, Gas und Keramiken.

Ungeeignet ist der Diamant zur Zerspanung von Stahl. Hierbei verschleißt er sehr schnell, da die Kohlenstoffatome des Diamanten an das Eisen abgegeben werden (Diffusionsverschleiß).

Schneidengeometrie

Jeder Zerspanungsfall benötigt eine optimale Schneidengeometrie. Nur dadurch werden kurze optimale Fertigungszeiten, lange Standzeiten und hohe Oberflächengüten erreicht. Die Winkel an der Werkzeugschneide haben dafür entscheidende Bedeutung (vgl. Abbildung 104).

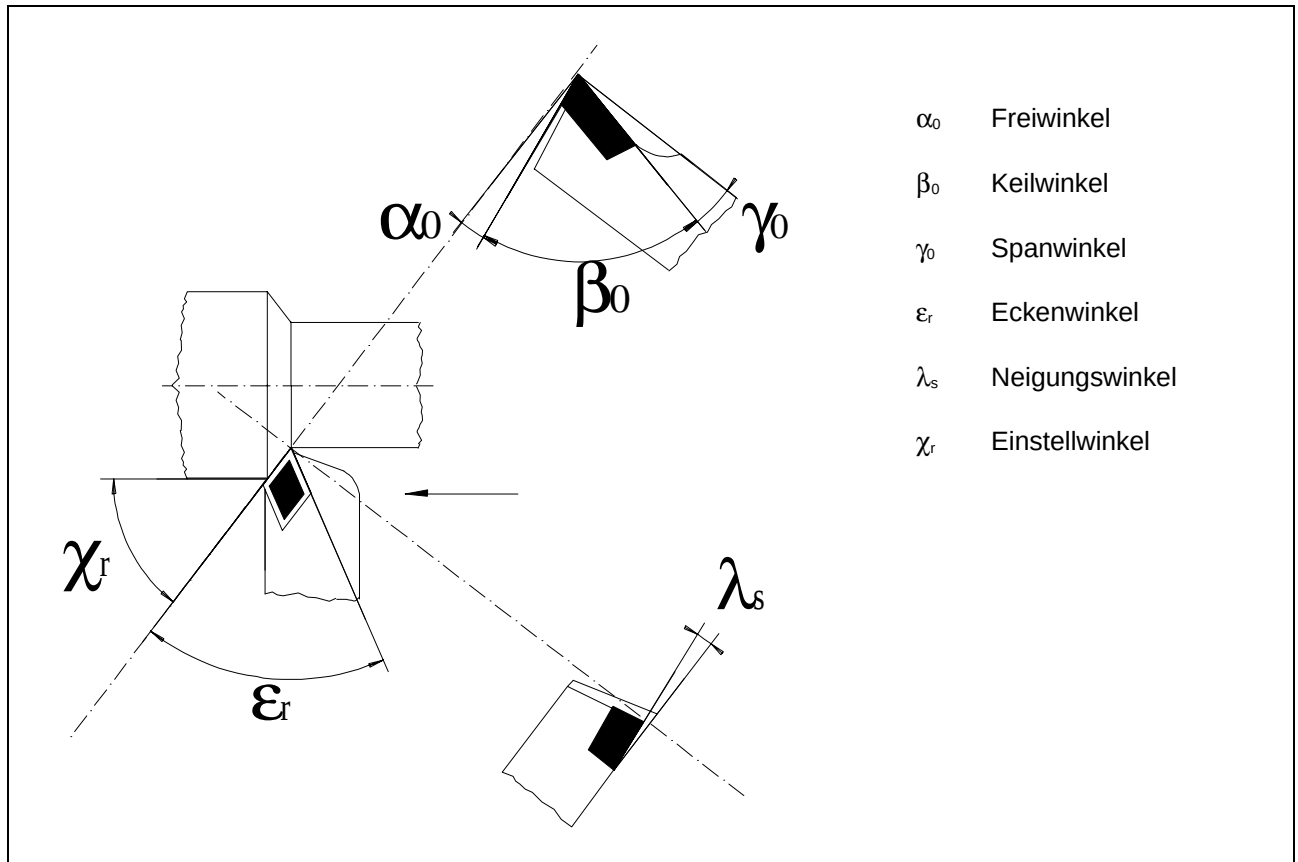


Abbildung 104
Schneidengeometrie beim Drehen

- | | |
|---|--|
| Freiwinkel α: | Der Freiwinkel soll die Reibung und damit die Erwärmung der Schneide und des Werkstücks verringern. |
| Keilwinkel β: | Die Größe des Keilwinkels hängt von der Härte und Festigkeit des Werkstücks ab. Je kleiner der Keilwinkel, desto leichter die Zerspanung, aber um so größer der Schneidenschleiß und um so geringer die Standzeit der Schneide. |
| Spanwinkel γ: | Der Spanwinkel beeinflusst die Spanbildung und die Schnittkräfte. Je größer der Spanwinkel, desto kleiner die Schnittkräfte, aber die Bruchgefahr und der Verschleiß der Schneide durch Auskolkung erhöhen sich. Feste, mittelharte Werkstoffe benötigen einen Spanwinkel von etwa 10°. Harte und spröde Werkstoffe erfordern dagegen kleine oder sogar negative Spanwinkel. |
| Einstellwinkel χ: | Der Einstellwinkel beeinflusst vor allem die Vorschubkraft, die Kräfte gegen die Werkstückspannung und das Werkstück sowie die Spanungsbreite und -dicke. Bei stabilen Spanverhältnissen wird ein Einstellwinkel von 30 bis 60° gewählt. Nur bei dünnen Wellen oder rechtwinkligen Absätzen wird mit 90° gearbeitet. |
| Neigungswinkel λ: | Beim Schlichten verwendet man meistens positive, beim Schruppen oft negative Neigungswinkel. Bei negativen Spanwinkeln wird die Schneidenspitze weniger belastet. Bei positiven Neigungswinkel wird der Spanfluß vom Werkstück weggeleitet. |
| Spitzenwinkel ϵ: | Je größer der Spitzenwinkel, desto stabiler die Werkzeugschneide und um so besser die Wärmeabfuhr. |

Verschleiß und Standzeit

Die Werkzeuge unterliegen bei der Zerspaltung einer Abnutzung, auch Verschleiß genannt. Ursachen sind die bei der Bearbeitung entstehende Reibung, die Diffusion bei hohen Temperaturen sowie die Einwirkung der abfließenden Späne.

Durch die hohe Temperatur an der Werkzeugschneide können sich an der Spanfläche kleine Werkstoffteilchen fest anschweißen. Dabei kann sich eine Aufbauschneide bilden (vgl. Abbildung 106).

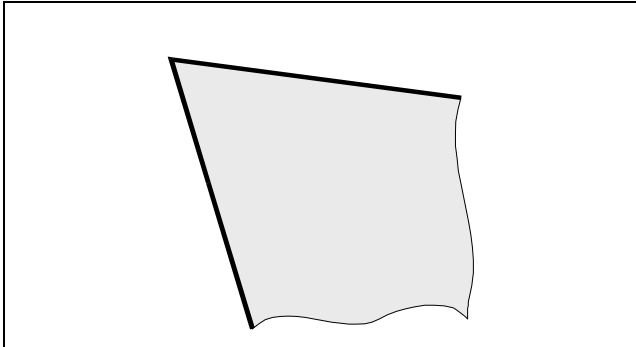


Abbildung 105
Neuer Drehmeißel

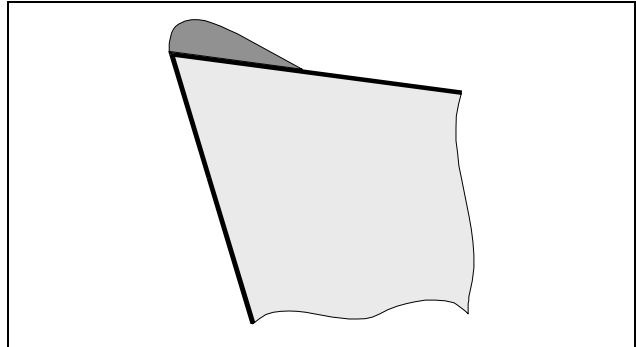


Abbildung 106
Aufbauschneide

Während des Zerspaltungsvorganges brechen am Drehmeißel ständig Werkstoffteilchen aus. Dadurch verändert sich mit der Zeit die Geometrie der Werkzeugschneiden. Je nach der Wahl der Werkzeugschneidenwinkel können unterschiedliche Verschleißformen auftreten (vgl. Abbildung 107 bis 110).

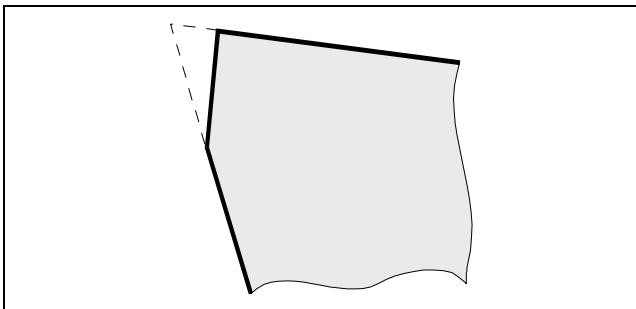


Abbildung 107
Freiflächenverschleiß

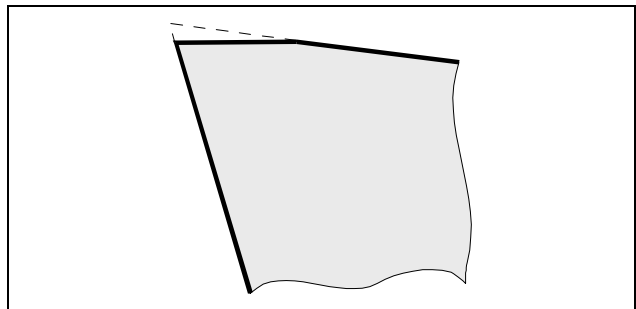


Abbildung 108
Spanflächenverschleiß

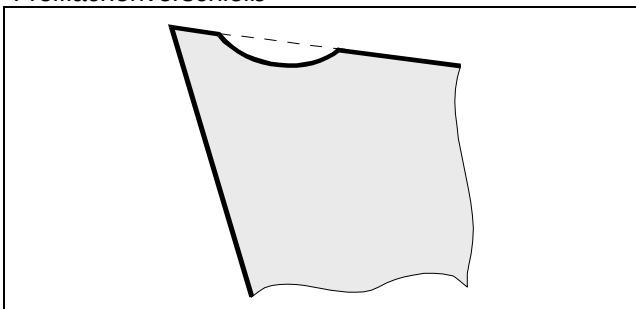


Abbildung 109
Kolkverschleiß

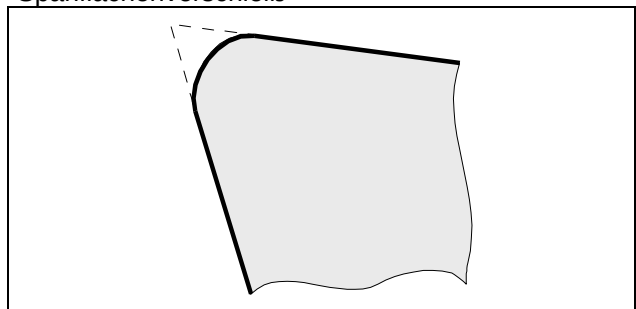


Abbildung 110
Kantenabrundung

Durch diesen Verschleiß am Werkzeug verringert sich mit der Zeit die erzeugte Oberflächengüte und die Maßhaltigkeit des Werkstücks. Sobald die geforderte Oberflächengüte oder die geforderte Maßtoleranz nicht mehr eingehalten wird, ist die Standzeit des Werkzeugs erreicht.

Die Standzeit ist die Zeit, in der die Schneide spanend im Eingriff ist und die folgenden Anforderungen erfüllt.

- Erzeugung der gewünschten Oberflächengüte
- Maßhaltigkeit in der geforderten Toleranz

Beim Erreichen der Standzeit ist ein Austausch bzw. Nachschliff des Werkzeuges erforderlich. Bei der Verwendung von Wendschneidplatten kann die Schneidplatte gedreht oder ausgetauscht werden. Vor dem erneuten Einsatz dieses Werkzeug ist eine Werkzeugvermessung durchzuführen.

Schnittwerte

Drehen ist ein spanendes Fertigungsverfahren mit einer kreisförmiger Schnittbewegung und einer Vorschubbewegung, die beliebig zur Schnittrichtung liegen kann. Meist wird die Schnittbewegung durch die Drehung des Werkstücks und die Vorschubbewegung vom Werkzeug ausgeführt (vgl. Abbildung 111). Die

- Schnittgeschwindigkeit v_c und die
- Vorschubgeschwindigkeit v_f

überlagern sich und führen zu einem kontinuierlichen Zerspanungsvorgang.

Schnittgeschwindigkeit v_c

Die Schnittbewegung ist die Bewegung zwischen Werkzeug und Werkstück, die ohne Vorschubbewegung nur eine einmalige Spanabnahme während einer Umdrehung bewirkt. Die Schnittgeschwindigkeit wird mit v_c abgekürzt und in m/min angegeben.

Allgemein gibt eine Geschwindigkeit den zurückgelegten Weg s innerhalb einer bestimmten Zeiteinheit t an. Sie wird wie folgt berechnet:

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{in Weg/Zeit}$$

Der zurückgelegte Weg s für eine Werkstückumdrehung kann beim Drehen mit Hilfe des Werkstückdurchmessers d an der Schneidenspitze und der Konstanten π errechnet werden:

$$s = \pi * d \quad \text{in m}$$

Für die Berechnung der Schnittgeschwindigkeit geht man nun von einer Zeiteinheit von $t = 1$ min aus. Damit ergibt sich für die Schnittgeschwindigkeit v_c :

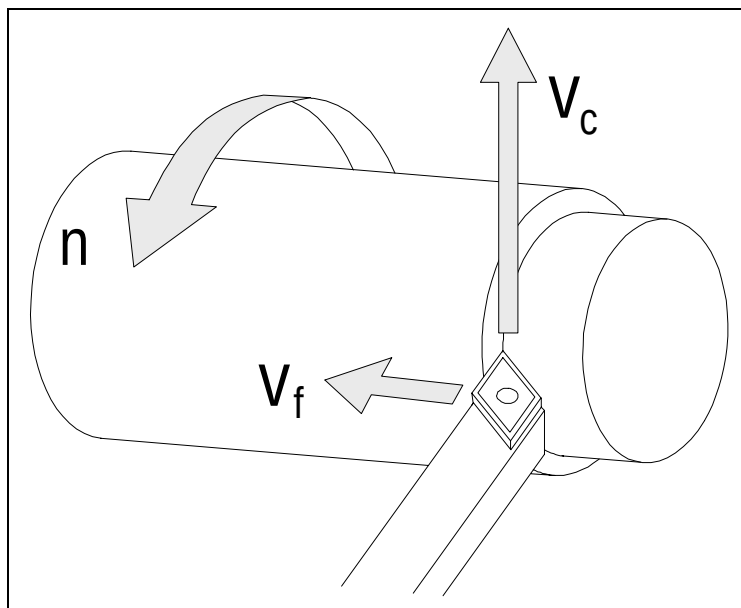
$$v_c = \frac{\pi * d}{t} \quad \text{in m/min}$$

Die Anzahl der Werkstückumdrehungen innerhalb einer Minute wird durch die Drehzahl n (in Umdrehungen pro Minute) angegeben. Die Zeit t für eine Umdrehung wird wie folgt ausgedrückt:

$$t = \frac{1}{n} \quad \text{in min}$$

Berücksichtigt man diese Zusammenhänge, so ergibt sich daraus die folgende Formel für die Berechnung der Schnittgeschwindigkeit v_c :

$$v_c = \pi * d * n \quad \text{in m/min}$$



n	Drehzahl	in U/min
v_f	Vorschubgeschwindigkeit	in mm/
v_c	Schnittgeschwindigkeit	in m/min
v_c	$= \pi * d * n$	

Abbildung 111
Schnittwerte beim Drehen

Vorschubgeschwindigkeit v_f

Die Vorschubbewegung ermöglicht zusammen mit der Schnittbewegung eine stetige Spanabnahme während mehrerer Umdrehungen. Die Vorschubgeschwindigkeit v_f wird in mm/min angegeben.

Üblich ist auch die Angabe des Vorschubes f in mm pro Umdrehung. Der Vorschub f ist der Weg, den ein Drehmeißel in Vorschubrichtung während einer Spindelumdrehung zurücklegt. Zwischen beiden Formen besteht der folgende Zusammenhang:

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

Für jede Drehbearbeitung ist ein bestimmter Vorschub erforderlich. Er bestimmt im Zusammenhang mit der Spindeldrehzahl n die Fertigungszeit für jeden Verfahrensweg. Seine Größe hat maßgeblichen Einfluß auf eine optimale Schnittkraft und auf die Oberflächengüte der gedrehten Oberfläche.

Spanungsgrößen

Der Spanungsquerschnitt A beschreibt den Werkstoffquerschnitt, der mit einem Schnitt abgespannt wird (vgl. Abbildung 112). Seine Größe beeinflusst entscheidend die entstehende Schnittkraft.

Der Spanungsquerschnitt A setzt sich unter Vernachlässigung des Schneidenradius aus dem Produkt der Schnitttiefe a und dem Vorschub f zusammen. Er wird in mm^2 angegeben. Die Schnitttiefe a , das heißt die Tiefe des Werkzeugeingriffes, ist der Wert, der von Schnitt zu Schnitt zugestellt wird.

$$A = a * f \quad \text{in mm}^2$$

Mit Hilfe des Einstellwinkels κ lassen sich die Breite b und die Dicke h des entstehenden Spanes berechnen.

$$h = f * \sin \kappa \quad \text{in mm}$$

$$b = \frac{a}{\sin \kappa} \quad \text{in mm}$$

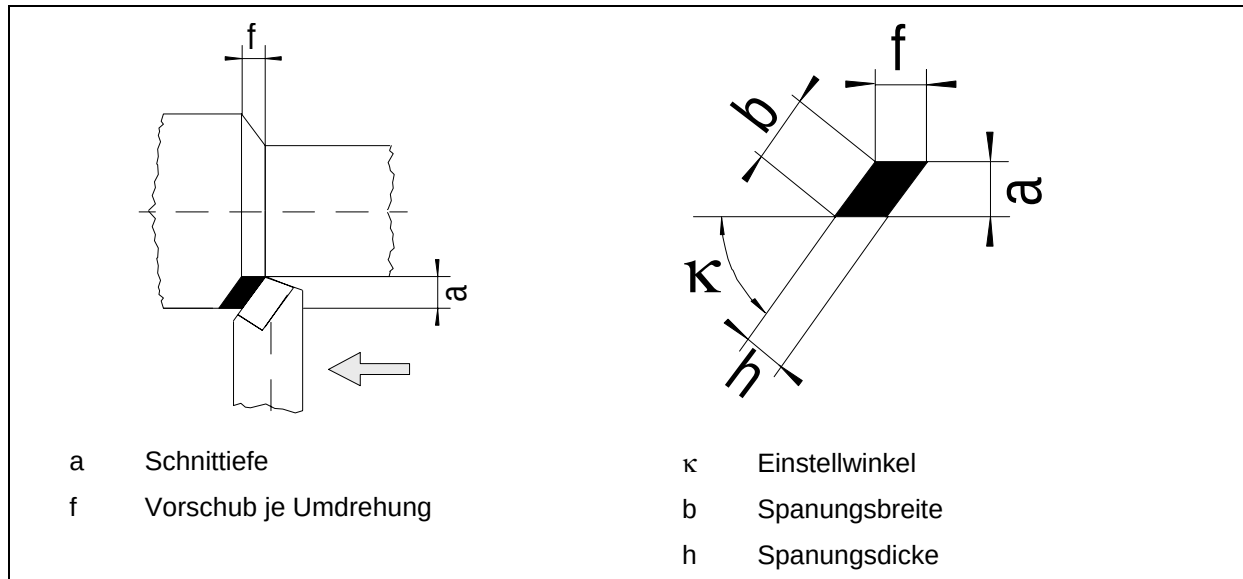


Abbildung 112
Spanungsgrößen

Die folgenden Schnittwerte müssen je nach dem speziellen Anwendungsfall unterschiedlich gewählt und an der Drehmaschine eingestellt werden.

- Schnittgeschwindigkeit v_c
- Vorschub f
- Schnitttiefe a

Dies erfordert sehr viel Erfahrung. Zur Unterstützung stehen deshalb Richtwerttabellen zur Verfügung, die in Abhängigkeit vom zerspanenden Werkstoff und dem Schneidenwerkstoff die Schnittwerte enthalten.

Beispiele zur Berechnung technologischer Werte für die CNC-Bearbeitung

Schnittgeschwindigkeit v_c

$$v_c = \pi * d * n \quad \text{in m/min}$$

1. Beispiel:

Wie hoch ist die Schnittgeschwindigkeit beim Längsdrehen, wenn der Schnitt bei einem Durchmesser von 60 mm mit der Drehzahl 1500 1/min erfolgt?

Gegeben:	$d = 60 \text{ mm}$ $n = 1500 \text{ 1/min}$
Gesucht:	v_c in m/min
Es gilt :	$v_c = \pi * d * n$ $v_c = \pi * 0,06 \cdot \text{m} \cdot 1500 \frac{1}{\text{min}}$
Lösung:	$v_c = 283 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

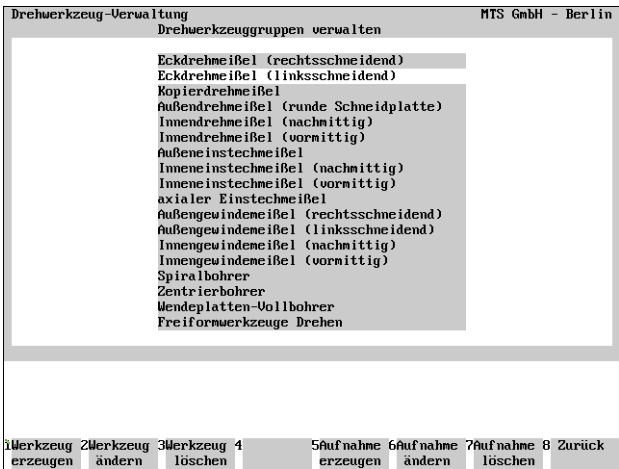
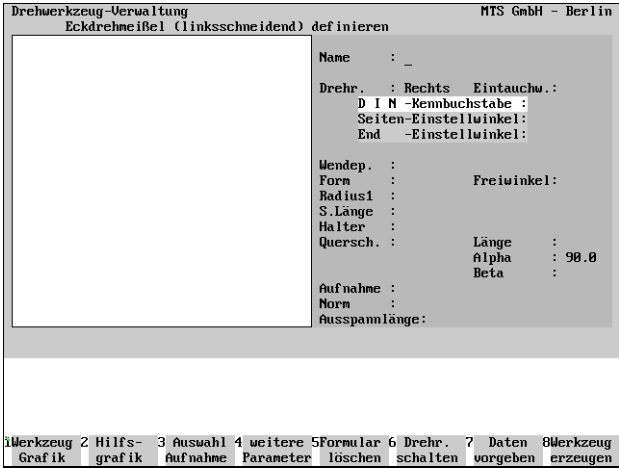
2. Beispiel:

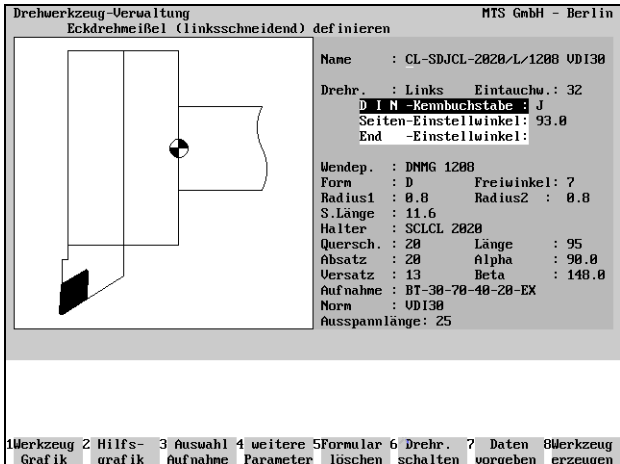
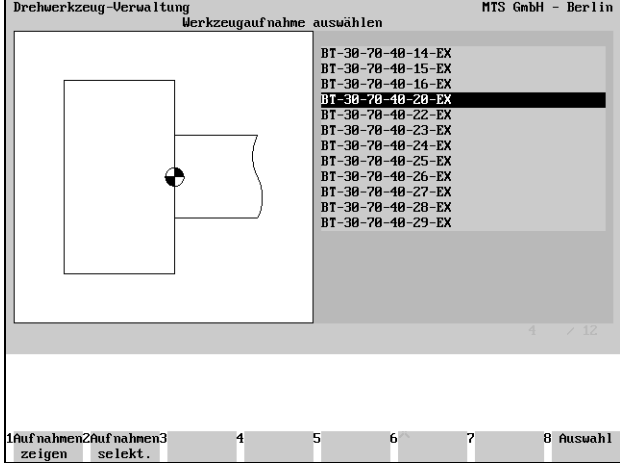
Wie hoch müßte die Drehzahl werden, wenn mit dieser Schnittgeschwindigkeit am gleichen Werkstück der kleinste zu drehende Durchmesser 12mm beträgt?

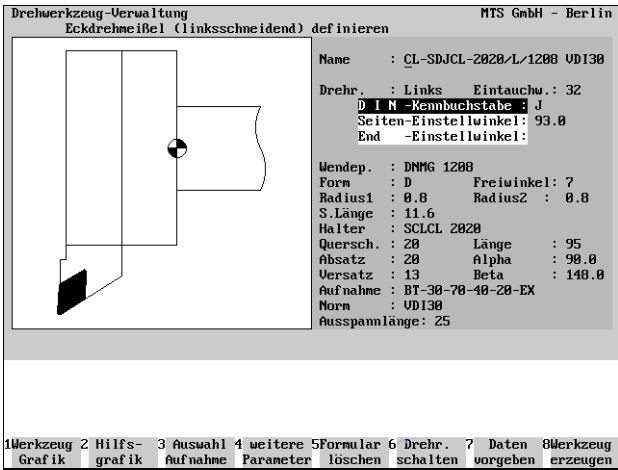
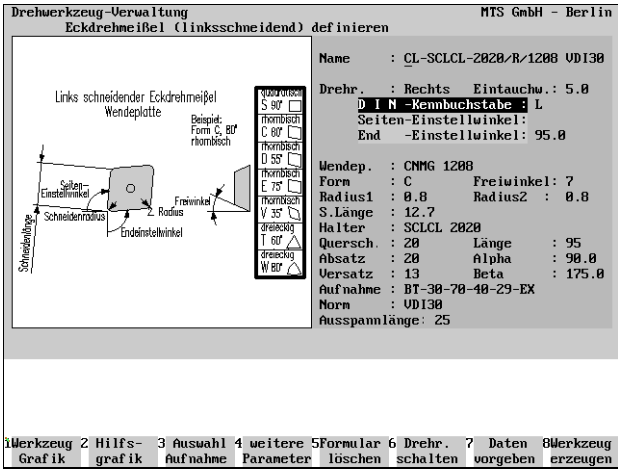
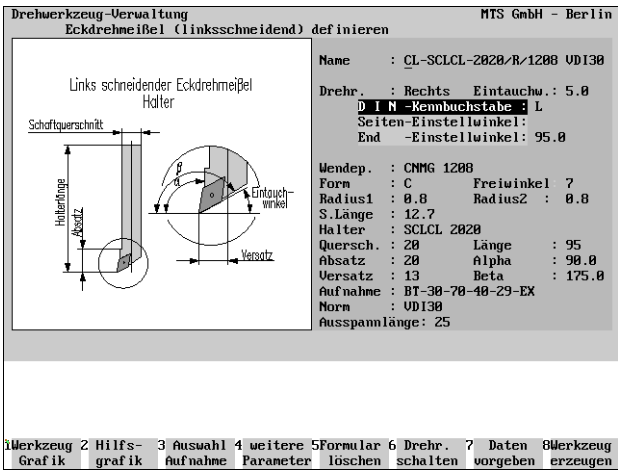
Gegeben:	$v_c = 283 \text{ m/min}$ $d = 12 \text{ mm}$
Gesucht:	n in 1/min
Es gilt :	$v_c = \pi * d * n$, oder $n = \frac{v_c}{\pi * d}$ $n = \frac{283 \text{m}}{\pi * \text{min} * 0,012 \text{m}}$
Lösung:	$n = 7511 \frac{1}{\text{min}}$

CNC-Übung

Erzeugen eines links schneidenden Eckdrehmeißels

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Drehen im Hauptmenü aufrufen.	F1 (Drehen)
2.	Das Menü Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Das Menü Revolverbelegung anwählen.	F4 (Werkzeug, Nullpunkt) F2 (Revolverbelegung)
4.	Das Verwaltungsmenü anwählen	F2 (Verwaltung)
	 Drehwerkzeug-Verwaltung MTS GmbH - Berlin Drehwerkzeuggruppen verwalten - Eckdrehmeißel (rechtsschneidend) - Eckdrehmeißel (linksschneidend) - Kopierdrehmeißel - Außendrehmeißel (runde Schneidplatte) - Innendrehmeißel (nachmittig) - Innendrehmeißel (vornmittig) - Außeneinstechmeißel - Inneneinstechmeißel (nachmittig) - Inneneinstechmeißel (vornmittig) - axialer Einstechmeißel - Außengewindemeißel (rechtsschneidend) - Außengewindemeißel (linksschneidend) - Innengewindemeißel (nachmittig) - Innengewindemeißel (vornmittig) - Spiralbohrer - Zentrierbohrer - Wendplatten-Vollbohrer - Freiformwerkzeuge Drehen 1Werkzeug 2Werkzeug 3Werkzeug 4 5Aufnahme 6Aufnahme 7Aufnahme 8 Zurück erzeugen ändern löschen erzeugen ändern löschen	
5.	Den Werkzeugtyp auswählen: z.B. Eckdrehmeißel (linksschneidend).	↑ oder ↓ auswählen, mit F1 (Werkzeug erzeugen) die Auswahl übernehmen
	 Drehwerkzeug-Verwaltung MTS GmbH - Berlin Eckdrehmeißel (linksschneidend) definieren Name : _ Dreh. : Rechts Eintauchw. : D I M -Kennbuchstabe : Seiten-Einstellwinkel : End -Einstellwinkel : Wendep. : Form : Freiwinkel : Radius1 : S.Länge : Halter : Quersch. : Länge : Alpha : 90.0 Beta : Aufnahme : Morn : Ausspamlänge : 1Werkzeug 2 Hilfs- 3 Auswahl 4 weitere 5Formular 6 Dreh. 7 Daten 8Werkzeug Grafik grafik Aufnahme Parameter löschen schalten vorgeben erzeugen	

6.	Schon vorhandene Vorgabedaten auswählen z.B. CL-SDJCL-2020/L/1208 VDI30.	F7 (Daten vorgeben) ↑ oder ↓ auswählen, eventuell mit F1 (Werkzeuge zeigen), mit F1 (Werkzeuge auflisten) weiter auswählen, mit F8 (Vorgabe erzeugen) die Auswahl übernehmen
		
7.	Die richtigen Daten für den zu erzeugenden Drehmeißel eintragen.	mit der Tastatur neuen Namen und Daten des neuen Werkzeuges schreiben ↩ mit der Tabulatortaste die einzelnen Eingaben anwählen
8.	Das Menü Werkzeugaufnahme anwählen.	F3 (Auswahl Aufnahme)
		
9.	Die Werkzeugaufnahme auswählen z.B. BT - 30 - 70 - 40 - 20 - EX.	↑ oder ↓ auswählen, eventuell mit F1 (Aufnahmen zeigen), mit F1 (Aufnahmen auflisten) weiter auswählen, mit F8 (Auswahl) die Aufnahme übernehmen.

	
11.	Eventuell noch weitere Informationen zum Drehmeißel ansehen. 1) Wendeschneidplatten: F2 (Hilfsgrafik)
	
12.	2) Werkzeughalter: F2 (Hilfsgrafik)
	
13.	3) Werkzeugaufnahme: F2 (Hilfsgrafik)

12.	Das Werkzeug erzeugen.	F8 (Werkzeug erzeugen)
13.	Das Menü Drehwerkzeug-Verwaltung verlassen.	F8 (Zurück) F8 (Zurück) F8 (Zurück) F8 (Zurück)

Ändern eines Drehmeißels

Die Arbeitsschritte zur Änderung eines vorhandenen Werkzeugs sind bis auf den fünften Schritt dieselben wie die zur Erzeugung eines neuen Werkzeugs.

Im Schritt 5 muß **F2** (Werkzeug ändern) gedrückt werden.

3.3 Aufbau und Einsatz von Fräs Werkzeugen für die CNC-Bearbeitung

Fräsen und Fräsverfahren

Das Fräsen ist ein spanabhebendes Bearbeitungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide, bei dem das Werkzeug die drehende Hauptbewegung ausführt und die Vorschub- sowie die Zustellbewegung im Regelfall meist vom Werkstück ausgeführt wird (vgl. Abbildung 113).

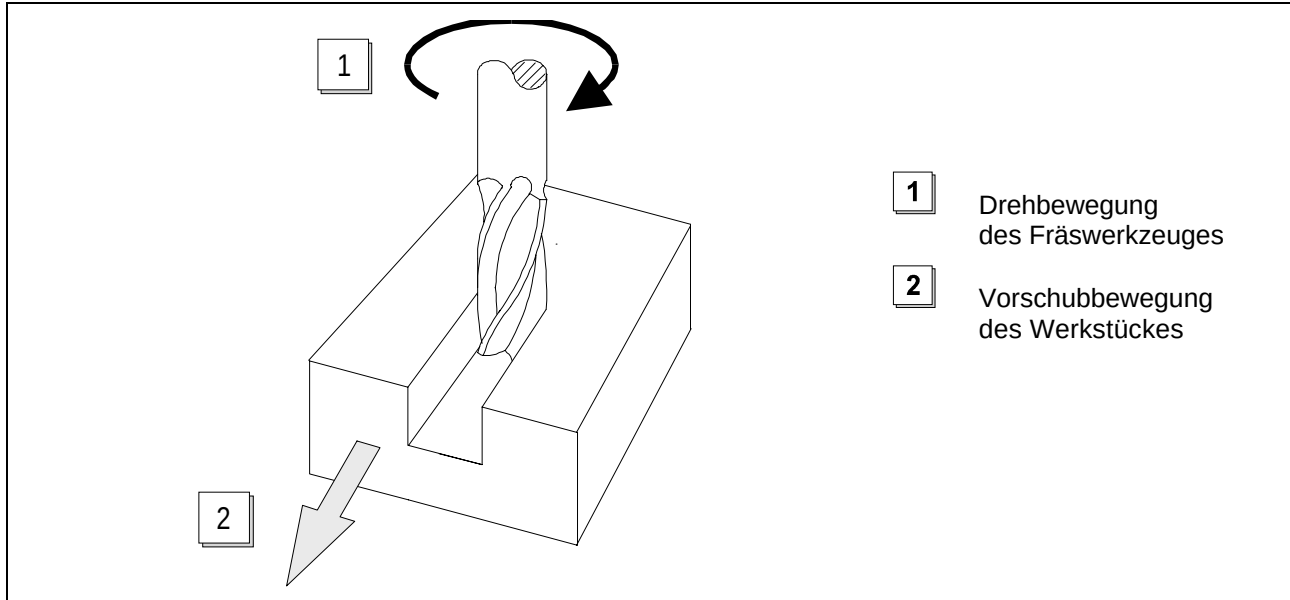


Abbildung 113
Fräsen

Fräsverfahren teilt man nach der Lage der Fräserachse zum Werkstück ein, das heißt zwischen Stirn- und Umfangfräsen.

Beim **Stirnfräsen** steht die Fräserachse senkrecht zur Bearbeitungsfläche (vgl. Abbildung 114). Die Werkstückoberfläche wird von den Hauptschneiden erzeugt. Mit den Nebenschneiden erfolgt ein zusätzliches Glätten der Werkstückoberfläche.

Beim **Umfangsfräsen** liegt die Fräserachse parallel zur Bearbeitungsachse (vgl. Abbildung 115). Der Fräser schneidet mit den Hauptschneiden (die Umfangsschneiden) die Werkstückoberfläche. Zusätzlich muß bei diesem Fräsverfahren zwischen Gleich- und Gegenlaufräsen unterschieden werden.

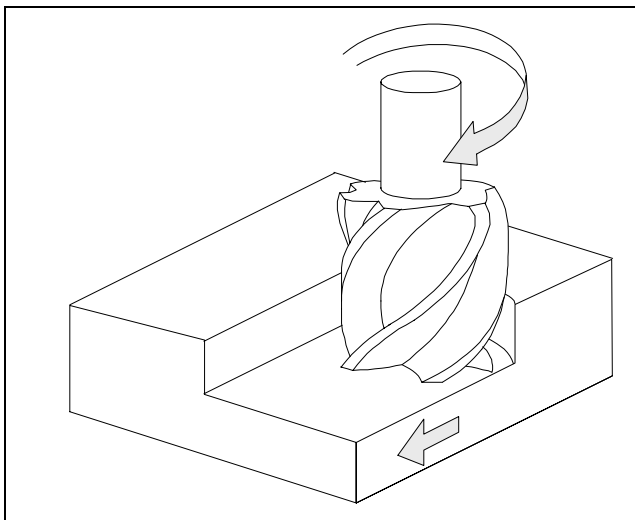


Abbildung 114
Stirnfräsen

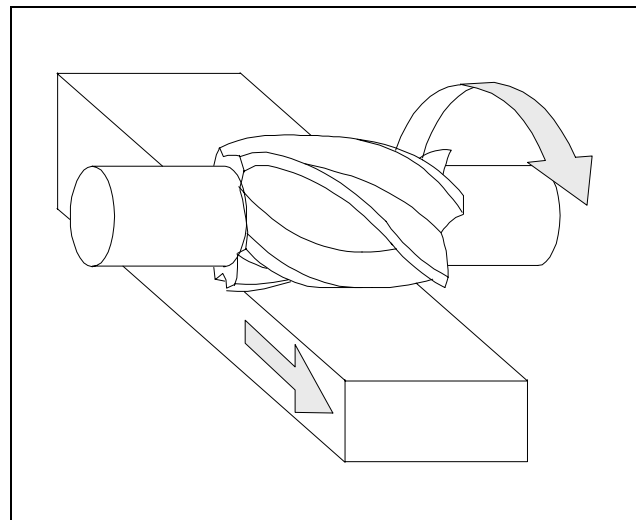


Abbildung 115
Walzenfräsen

Zusätzlich muß zwischen Gegen- und Gleichlaufräsen (vgl. Abbildung 116 und 117) unterschieden werden.

Beim **Gegenlaufräsen** ist die Drehrichtung des Fräasers entgegengesetzt der Vorschubrichtung des Werkstücks (vgl. Abbildung 116).

Der Anschnitt des Fräasers beginnt mit der Spandicke Null. Vor dem Spananschnitt gleitet die Fräuserschneide solange bis die für die Spanbildung erforderliche Mindestspandicke gegeben ist.

Durch die beim Gleiten entstehende Reibung erfolgt ein starker Verschleiß der Freifläche vom Werkzeug und eine Verfestigung der Werkstückoberfläche. Das führt zur Standzeitverkürzung des Werkzeuges gegenüber des GleichlaufräSENS.

Das Gegenlaufräsen ist beim Bearbeiten von Werkstücken mit einer harten Oberfläche (Gußstücke) von Vorteil, da die harte Oberfläche von innen her aufgeschnitten wird.

Beim **Gleichlaufräsen** sind die Drehbewegung des Fräasers und die Vorschubbewegung des Werkstückes in ihrer Richtung gleichlaufend (vgl. Abbildung 117).

Der Fräserzahn dringt bei größter Spanungsdicke sofort in den Werkstoff ein. Da die Fräuserschneide einer Schlagbeanspruchung ausgesetzt ist, muß der Vorschubantrieb spielfrei ausgebildet sein. Es sollten stets mehrere Schneiden im Eingriff stehen.

Die Oberfläche wird beim Gleichlaufräsen ebener und matt. Gegenüber dem Gegenlaufräsen sind hier höhere Vorschübe und vor allem höhere Schnittgeschwindigkeiten bei gleicher Standzeit möglich.

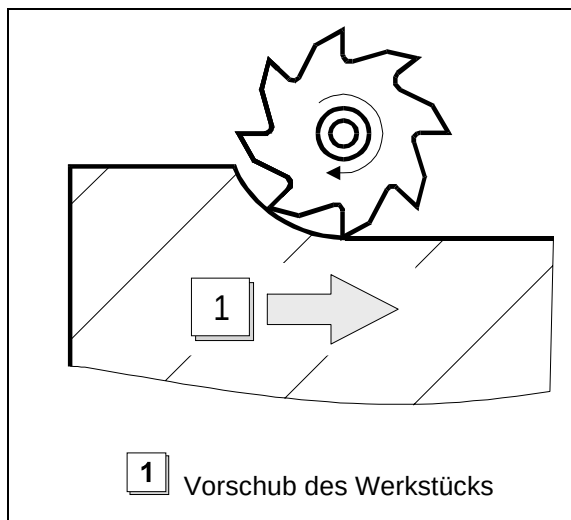


Abbildung 116
Gegenlaufräsen

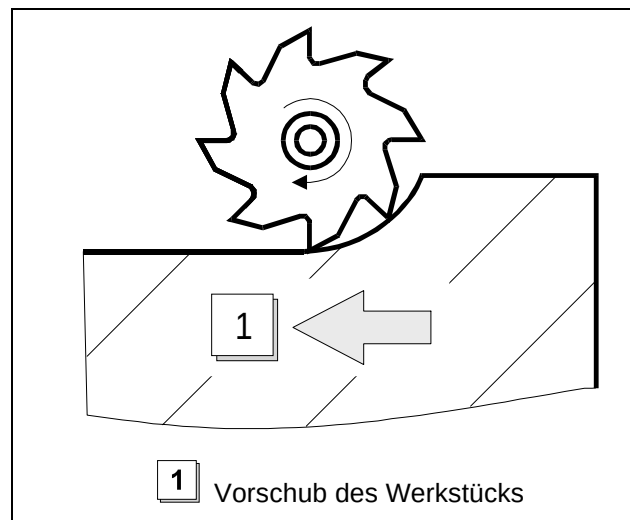


Abbildung 117
Gleichlaufräsen

Bei allen Fräsverfahren unterliegt die Werkzeugschneide ständigen Schnittunterbrechungen. Bedingt durch den Schnittpfad entstehen dabei kommaförmige Späne mit sich ändernder Spandicke (vgl. Abbildung 118).

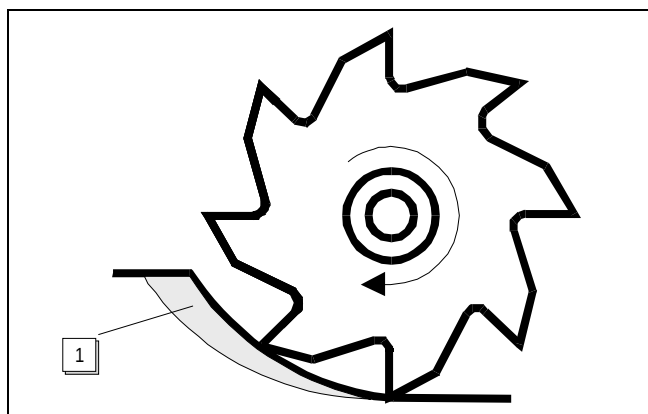


Abbildung 118
Frässpän

Arten von Fräswerkzeugen und ihre ISO-Kurzbezeichnung

Fräswerkzeuge können nach den folgenden Kriterien eingeteilt werden.

- nach der Art des zu spanenden Werkstoffs in
 - Werkzeugtyp N (für normale Stähle),
 - Werkzeugtyp H (für weiche, langspanende Werkstoffe),
 - Werkzeugtyp W (für harte, kurzspanende Werkstoffe),
- nach dem Schneidstoff in
 - Fräser mit Schneiden aus Schnellarbeitsstahl,
 - Fräser mit Schneiden aus Hartmetall,
 - Fräser mit Schneiden aus Keramik oder
 - Fräser mit Schneiden aus Diamant;
- nach der Art der Aufnahme in
 - Aufsteckfräser oder;
 - Schaftfräser;
- nach der Fräserform in z.B.
 - T-Nutenfräser;
 - Walzenfräser;
 - Scheibenfräser oder
 - Formfräser;
- nach der Zahnform in
 - spitzgezahnte Fräser oder
 - hinterdrehte Fräser

Im einzelnen sind die Fräswerkzeuge in den Herstellerkatalogen und in den entsprechenden Normen (DIN oder ISO) dargestellt und beschrieben.

Ein Auswahl von gebräuchlichen Fräswerkzeugen ist in der Abbildung 119 nach Einsatzbereichen geordnet.

	Schaftfräser		
Standardformen	Walzenstirnfräser		
	Planmesserkopf		
	Senker	Bohrer	Gewindebohrer
Bohrer		Wendeplattenbohrer	Reibahle
		Stufenbohrer	
	Radiusfräser	Winkelfräser (Form A)	Konkavfräser
Spezialformen	T-Nutenfräser	Winkelfräser (Form B)	Scheibenfräser

Abbildung 119

Einteilung von Fräswerkzeugen

Die genannten Fräswerkzeuge sind in der Werkzeugverwaltung des MTS- CNC- Frässimulators mit allen ihren Maßen enthalten. Zur Simulation im MTS-Frässimulators können sie von dort aufgerufen werden. Nach Bedarf können diese Werkzeuge geändert oder auch erweitert werden.

Schneidstoffe

Beim Fräsen sind die Schneiden nicht ständig im Einsatz. Es findet, im Gegensatz zum Drehen, ein unterbrochener Schnitt mit einem ungleichmäßigen Spanungsquerschnitt statt. Dadurch ist die Schneide einer hohen Stoßbelastung ausgesetzt. Der Schneidstoff muß eine große Zähigkeit und Temperaturfestigkeit aufweisen.

Heute werden auch für Fräsarbeiten an CNC-Fräsmaschinen vorwiegend Fräswerkzeuge mit Hartmetall-Wendeschnidplatten angewendet. Lediglich für kleine Fräser werden gelötete Hartmetallschneiden, aus Schnellarbeitsstahl gefertigte oder auch beschichtete HSS-Werkzeuge eingesetzt.

Schnellarbeitsstahl

Ein Schnellarbeitsstahl ist ein hochlegierter Werkzeugstahl (HSS = Hochleistungs-Schnellschnitt-Stahl). Er besitzt eine hohe Zähigkeit und kann daher gut Stoßbelastungen aufnehmen. Die Schnittgeschwindigkeit liegt wesentlich niedriger als bei Hartmetallen oder Schneidkeramiken.

Eingesetzt wird er bei Bohrern, kleineren Fräsern und kompliziert geformten Fräswerkzeugen (Profilfräser). Fräswerkzeuge aus Schnellarbeitsstahl kommen bei der Zerspanung von Werkstoffen geringerer Festigkeit, beim Profilfräsen und beim Fräsen mit kleiner Schnittgeschwindigkeit zum Einsatz.

Hartmetalle

Hartmetalle sind Werkstoffe, die unter Verwendung von Hartstoffen und einem Bindemittel in Form von Wendeschnidplatten gesintert werden. Durch die Vergrößerung des Bindemittelanteiles beim Herstellen der Hartmetalle kann die Zähigkeit gezielt gesteigert werden. In Verbindung mit der hohen Härte und der hohen Verschleißfestigkeit decken sie den größten Anwendungsbereich beim Fräsen ab. Die Verschleißfestigkeit der Hartmetalle läßt sich durch die Beschichtung mit Titannitrid, Titankarbid oder Aluminiumoxid noch steigern.

Schnidplatten aus Hartmetall werden auf das Fräswerkzeug aufgelötet oder in Form von Wendeschneiplatten aufgeschraubt.

Schneidkeramik

Keramische Schneidstoffe kommen beim Fräsen seltener zum Einsatz, da sie sehr spröde und empfindlich gegen schwankende Schnittkräfte sind. Jedoch wird wegen der hohen Härte Aluminiumoxid bei der Feinbearbeitung von Hartguß und gehärteten Stahl sowie Siliziumnitrid beim Fräsen von Grauguß eingesetzt. Bei beiden Schneidstoffen wird ohne Verwendung von Kühlmittel gefräst.

Schneidkeramiken werden wie die Hartmetalle als Wendeschneitplatten hergestellt.

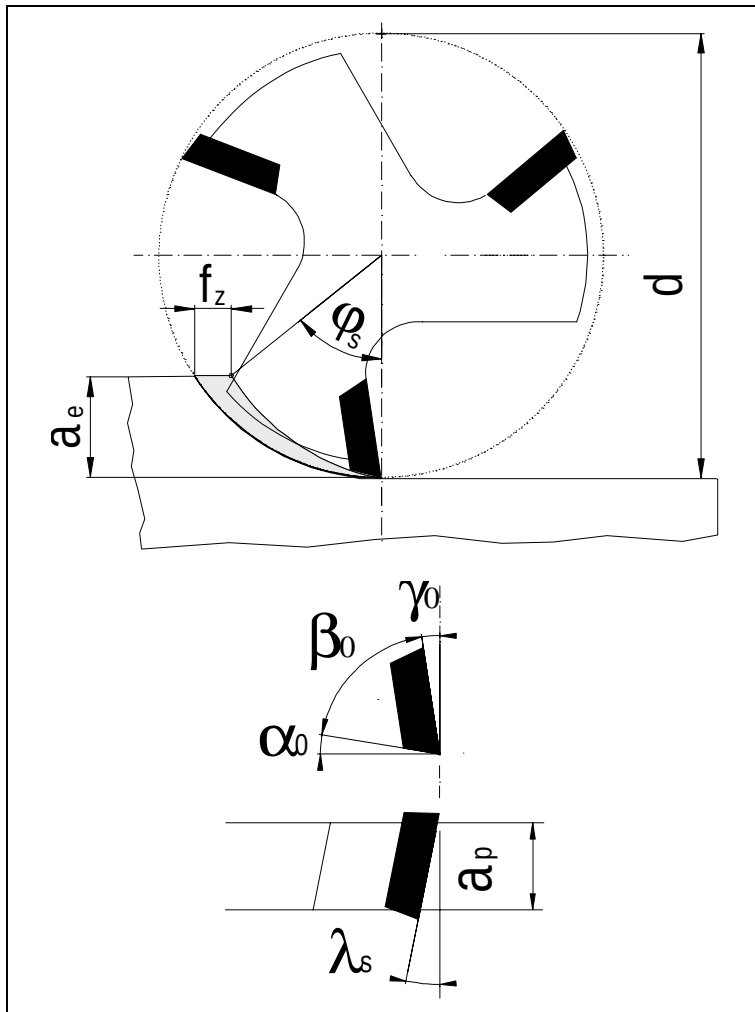
Diamant

Schnidplatten aus polykristallinen Diamant (PKD) werden beim Fräsen von Nichteisen-Metallen und von Verbundwerkstoffen (GFK,CFK) eingesetzt. Durch die große Härte des Diamanten werden gegenüber Werkzeugen mit Hartmetallschneiden doppelt so hohe Schnittgeschwindigkeiten bei mehr als zehnfacher Standzeit erreicht.

Ungeeignet ist der Diamant zur Zerspanung von Stahl. Hierbei verschleißt er sehr schnell, da die Kohlenstoffatome des Diamanten an das Eisen abgegeben werden (Diffusionsverschleiß).

Schneidengeometrie

Im Gegensatz zum Drehmeißel besitzen Fräswerkzeuge mehrere Schneiden (vgl. Abbildung 120). Charakteristisch für das Fräsen ist der unterbrochene Schnitt, da jede Schneide nur vorübergehend im Eingriff ist.



d : Durchmesser des Fräzers

z : Anzahl der Zähne

f_z : Vorschub pro Zahn

a_e : Arbeitseingriff

φ_s : Eingriffswinkel

α_0 : Freiwinkel

β_0 : Keilwinkel

γ_0 : Spanwinkel

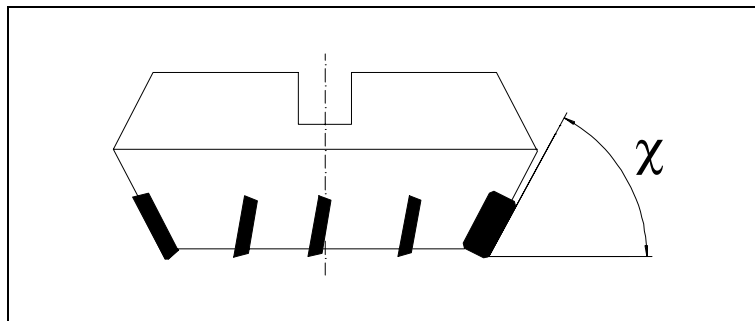
λ_s : Drallwinkel der Schneiden

a_p : Schnittbreite

Abbildung 120
Schneidengeometrie Fräsen

- Freiwinkel α :** Der Freiwinkel soll die Reibung und damit die Erwärmung der Schneide und des Werkstückes verringern.
- Keilwinkel β :** Die Größe des Keilwinkels hängt von der Härte und Festigkeit des Werkstücks ab. Je kleiner der Keilwinkel, desto leichter die Zerspanung, aber um so größer der Schneidenschleiß und um so geringer die Standzeit der Schneide.
- Spanwinkel γ :** Der Spanwinkel beeinflusst die Spanbildung und die Schnittkräfte. Je größer der Spanwinkel, desto kleiner die Schnittkräfte, aber die Bruchgefahr und der Verschleiß der Schneide durch Auskolkung erhöhen sich.
- Eingriffswinkel φ_s :** Der Eingriffswinkel gibt den Eingriffsweg des Werkzeuges bezogen auf den Umfang an. Er ist von der Größe des Arbeitseingriffes abhängig.
- Neigungswinkel λ :** Die Größe des Neigungswinkels beeinflusst den Vorgang des An- und Ausschneidens. Da die geneigten Schneiden allmählich in den Eingriff gehen, erhöht sich die Laufruhe des Fräswerkzeuges.

Von großer Bedeutung beim Fräsen ist die Gestaltung des Einstellwinkels χ (vgl. Abbildung 121). Der Einstellwinkel χ ist der Winkel zwischen der Hauptschneide und der zu zerspanenden Oberfläche.



χ : Einstellwinkel

Abbildung 121
Einstellwinkel χ bei Fräswerkzeugen

Bei der Anwendung eines Einstellwinkels von 90° treten die höchsten radialen Kräfte auf. Diese Wahl ist daher nur bei rechtwinkligen Konturen angebracht. Für allgemeine Fräsarbeiten ist ein Einstellwinkel von 75° oder 60° am günstigsten. Der Einstellwinkel von $\chi = 45^\circ$ ist für langspanende Werkstoffe am geeignetsten.

Bei der vorwiegenden Anwendung von Hartmetallwendeschneidplatten ist zu beachten, daß es zwei Spanwinkel gibt, die mit Hilfe von Bezugslinien gemessen werden.

- radialer Spanwinkel (Bezugslinie durch die Mitte des Fräswerkzeuges)
- axialer Spanwinkel (Bezugslinie parallel zur Fräserachse)

Beim Planfräsen mit einem Planmesserkopf werden hauptsächlich die folgenden Kombinationen eingesetzt (vgl. Abbildung 122).

- doppelt positive Geometrie
- doppelt negative Geometrie
- positiv-negative Geometrie

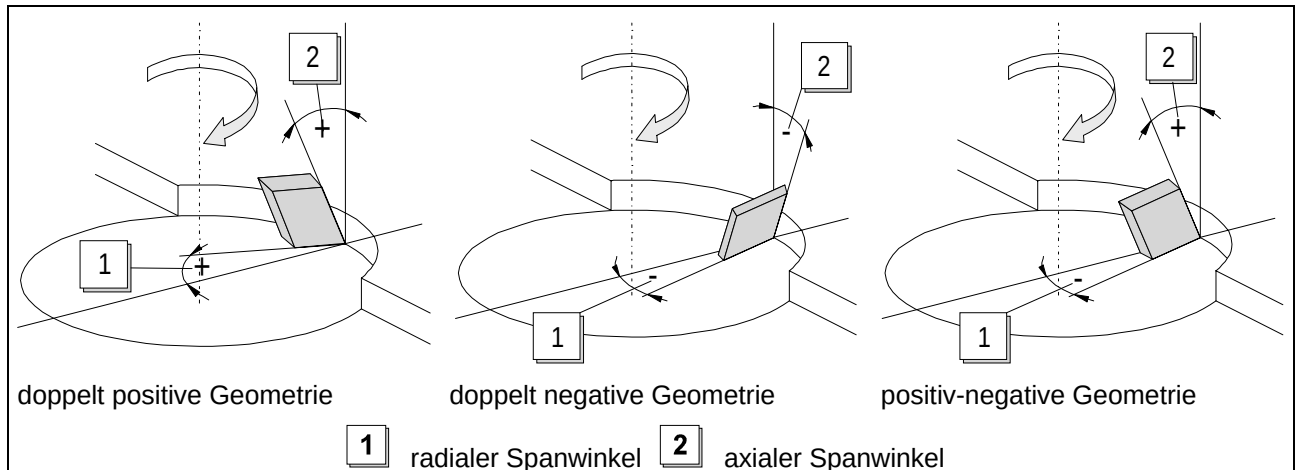


Abbildung 122
Schneidengeometrie am Planmesserkopf

Bei der doppelt positiven Geometrie sind durch die geringen Schnittkräfte die benötigten Antriebsleistungen klein. Auch lassen sich dünnwandige Werkstücke gut bearbeiten. Die wendelförmigen Späne fließen gut aus dem Werkzeug heraus. Bei Werkstoffen, die zur Aufbauschneide neigen, z.B. Aluminium ist diese Geometrie zu bevorzugen.

Die doppelt negative Geometrie wird bei der Bearbeitung von harten Stählen und von Grauguß sowie zur Schruppbearbeitung eingesetzt. Die dabei entstehenden hohen Schnittkräfte setzen eine große Antriebsleistung und Stabilität der Maschine voraus. Durch diese Geometrie rollen sich die Späne im Werkzeug auf. Dies kann bei langspanenden Werkstoffen zu einem Stau der Späne führen.

Die positiv-negative Geometrie ermöglicht große Vorschübe und hohe Schnitttiefen, da der negative radiale Spanwinkel eine hohe Bruchfestigkeit der Wendeschneidplatte bewirkt. Die Spanbildung ist günstig, da die Späne aus dem Werkzeug gut abfließen. Werkzeuge mit einer positiv-negativen Geometrie werden daher vielseitig eingesetzt.

Schnittwerte

Fräsen ist ein spanendes Fertigungsverfahren mit einem rotierenden Werkzeug, bei dem die Schneiden nicht ständig im Eingriff sind. Die Schnittbewegung wird durch die Drehung des Werkzeuges verursacht. Die Vorschubrichtung kann beliebig zur Schnitttrichtung liegen. Sie wird vom Werkzeug oder vom Werkstück oder von beiden ausgeführt (vgl. Abbildung 123). Die

- Schnittgeschwindigkeit v_c und die
- Vorschubgeschwindigkeit v_f

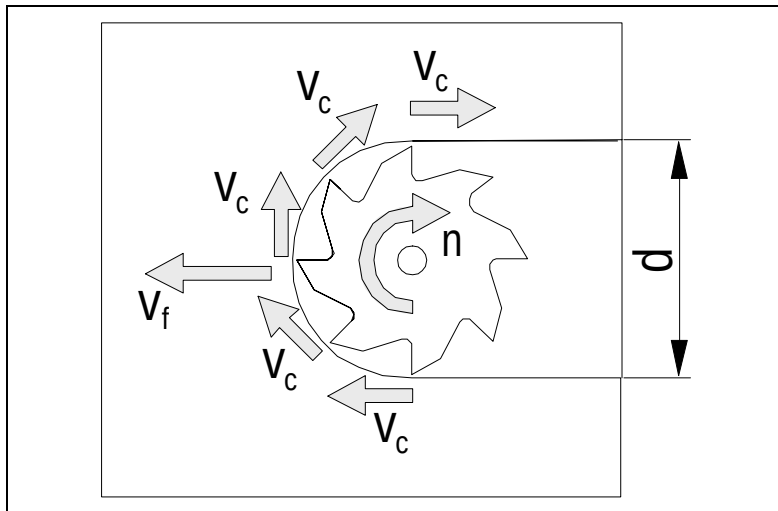
überlagern sich und führen zu einem kontinuierlichen Zerspanungsvorgang.

Schnittgeschwindigkeit v_c

Die Schnittbewegung ist die Bewegung zwischen Werkzeug und Werkstück, die ohne Vorschubbewegung nur eine einmalige Spanabnahme während einer Umdrehung bewirkt. Die Schnittgeschwindigkeit entspricht der Umfangsgeschwindigkeit des Fräasers an der aktiven Fräuserschneide. Sie wird mit v_c abgekürzt und in m/min angegeben. Unter Berücksichtigung der Spindeldrehzahl n ergibt sich die folgende Formel:

$$v_c = \pi * d * n \quad \text{in m/min}$$

Die Höhe der Schnittgeschwindigkeit eines Fräswerkzeuges ist nur von der Drehzahl abhängig. Die Richtung ändert sich jedoch ständig bei der Zerspanung (vgl. Abbildung 123).



- n Drehzahl
- v_f Vorschubgeschwindigkeit
- v_c Schnittgeschwindigkeit
- d Durchmesser des Fräswerkzeuges

Abbildung 123
Schnittwerte beim Fräsen

Vorschubgeschwindigkeit v_f

Die Vorschubbewegung v_f ermöglicht zusammen mit der Schnittbewegung eine ständige Spanabnahme während mehrerer Umdrehungen. Beim Fräsen kann der Vorschub auf drei Arten angegeben werden:

- Vorschubgeschwindigkeit v_f in mm / min
- Vorschub pro Zahn f_z in mm
- Vorschub pro Fräserumdrehung f in mm

Beim Ermitteln der Vorschubgeschwindigkeit v_f wird vom Vorschub f_z , das heißt vom Vorschubweg je Fräserzahn ausgegangen. Unter Berücksichtigung der Drehzahl n und der Anzahl der Zähne z lautet die Formel:

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

Die Vorschubgeschwindigkeit v_f kann man bezogen auf den Vorschub je Fräserumdrehung f auch in der folgenden Formel ausdrücken.

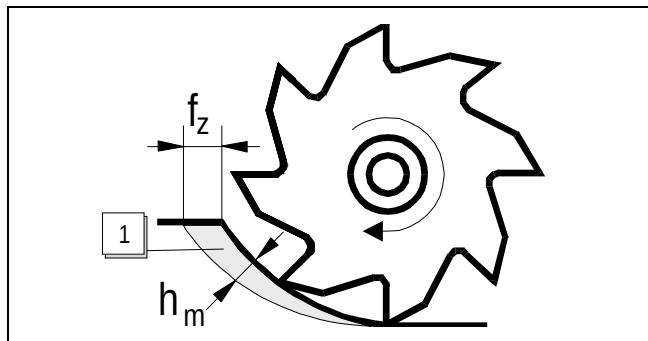
$$v_f = f * n \quad \text{in mm / min}$$

Damit ergibt sich der folgende Zusammenhang:

$$v_f = f * n = f_z * n * z \quad \text{in mm / min}$$

Spanungsgrößen

Im Gegensatz zum Drehen entsteht beim Fräsen ein ungleichförmiger Span (vgl. Abbildung 124). Zur Beschreibung wird deshalb die mittlere Spanungsdicke h_m verwendet.



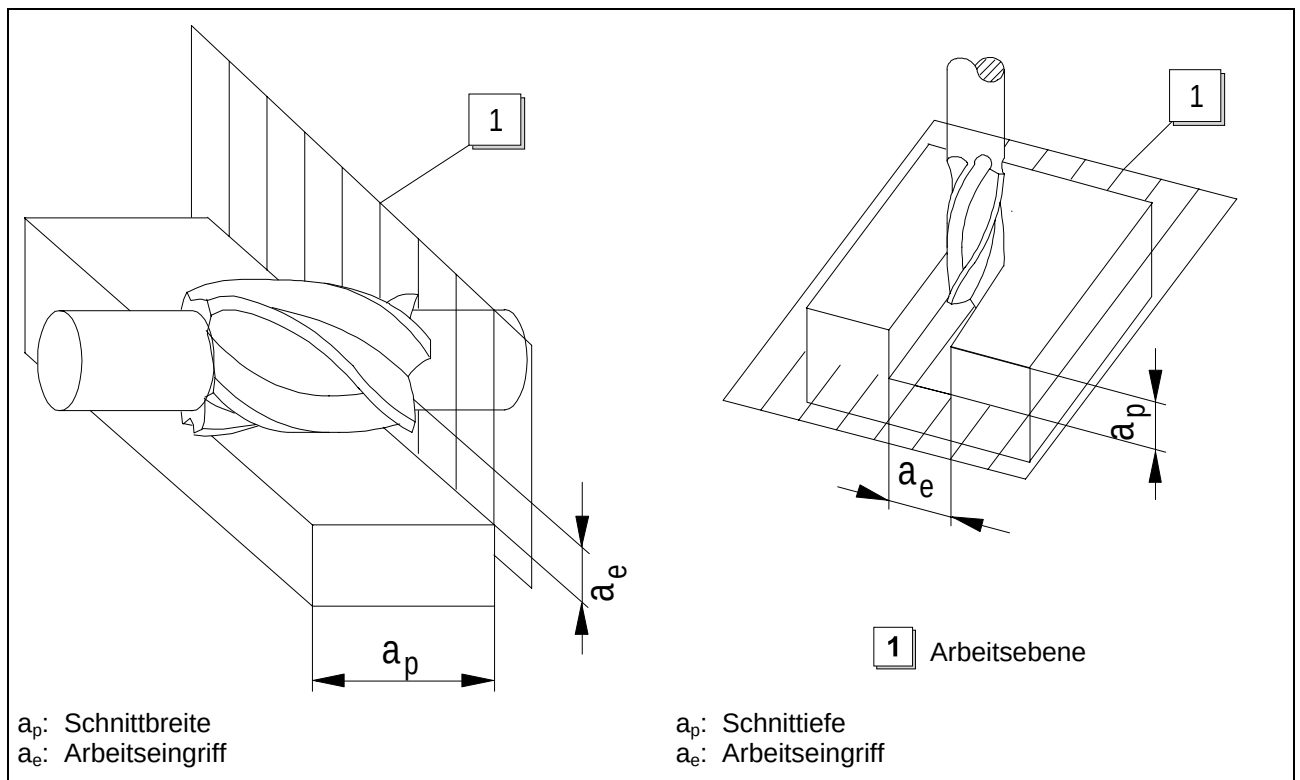
1

entstehender Span

 f_z : Vorschub pro Zahn h_m : Mittlere Spanungsdicke

Abbildung 124
Spanungsdicke

Beim Walzenfräsen ist die Schnittbreite a_p die Breite, mit der das Fräswerkzeug in das Werkzeug eingreift. Der Arbeitseingriff a_e wird in einer gedachten Ebene, der Arbeitsebene gemessen. In der Arbeitsebene liegen die Schnitt- und die Vorschubrichtung (vgl. Abbildung 125).



a_p : Schnittbreite
 a_e : Arbeitseingriff

a_p : Schnitttiefe
 a_e : Arbeitseingriff

Abbildung 125
Eingriffsgrößen beim Fräsen

Beim Stirnfräsen ist a_p die Schnitttiefe, die senkrecht zur Arbeitsebene gemessen wird. Der Arbeitseingriff a_p entspricht der Breite der gefrästen Fläche.

Die folgenden Schnittwerte müssen je nach dem speziellen Anwendungsfall unterschiedlich gewählt und an der Fräsmaschine eingestellt werden.

- Drehzahl n
- Vorschub f
- Arbeitseingriff a_e
- Schnitttiefe bzw. Schnittbreite a_p

Dies erfordert sehr viel Erfahrung. Zur Unterstützung stehen deshalb Richtwerttabellen zur Verfügung, die in Abhängigkeit vom zerspanenden Werkstoff und dem Schneidenwerkstoff die Schnittwerte enthalten.

Beispiele zur Berechnung technologischer Werte für die CNC-Bearbeitung

Schnittgeschwindigkeit v_c

$$v_c = \pi * d * n \quad \text{in m/min}$$

Vorschubgeschwindigkeit v_f

$$v_f = f * n = f_z * n * Z \quad \text{in mm / min}$$

1. Beispiel:

Wie hoch ist die Schnittgeschwindigkeit v_c beim Fräsen, wenn der Fräserdurchmesser $d = 50 \text{ mm}$ und die Drehzahl $n = 520 \text{ 1/min}$ beträgt?

Gegeben:	$d = 50 \text{ mm}$ $n = 520 \text{ 1/min}$
Gesucht:	v_c in m/min
Es gilt :	$v_c = \pi * d * n$ $v_c = \pi * 0,05 \cdot m \cdot 520 \frac{1}{\text{min}}$
Lösung:	$v_c \approx \underline{\underline{82 \frac{m}{\text{min}}}}$

2. Beispiel:

Wie hoch ist die Drehzahl n eines Schaftfräasers mit einem Durchmesser von $\varnothing = 12 \text{ mm}$, der mit einer Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 120 \text{ m/min}$ fräst?

Gegeben:	$d = 12 \text{ mm}$ $v_c = 120 \text{ m/min}$
Gesucht:	n in 1/min
Es gilt :	$v_c = \pi * d * n$, oder $n = \frac{v_c}{\pi * d}$ $n = \frac{120m}{\pi * \text{min} * 0,012m}$
Lösung:	$n = \underline{\underline{3183 \frac{1}{\text{min}}}}$

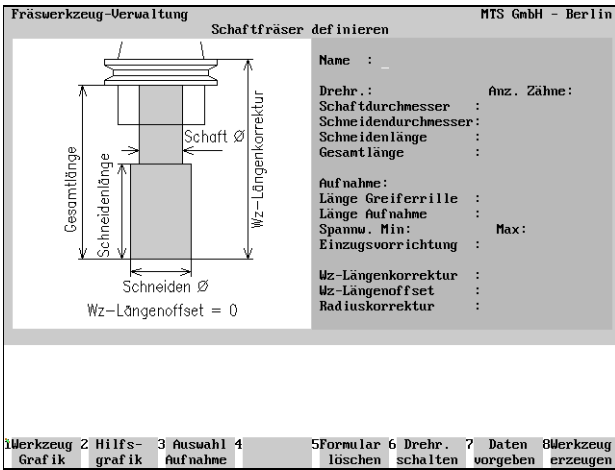
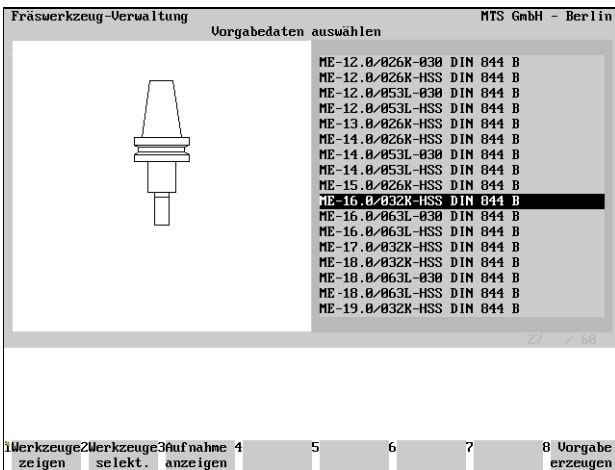
3. Beispiel:

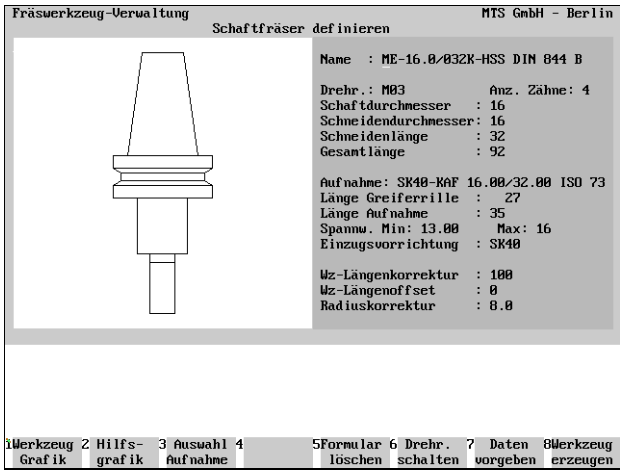
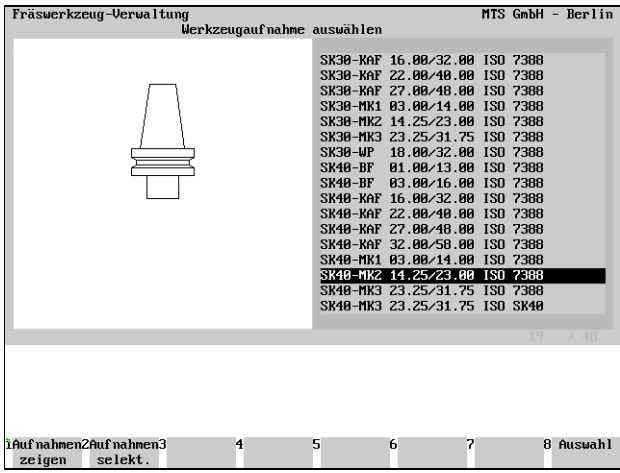
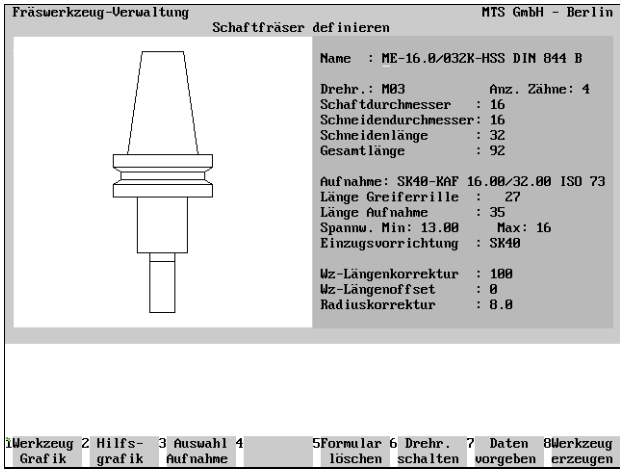
Beim Planfräsen mit einem Planfräskopf ist eine Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 180 \text{ m/min}$ vorgesehen und die Drehzahl soll 400 1/min nicht übersteigen. Welchen Durchmesser d darf der Planfräskopf höchstens haben, damit diese Werte nicht überschritten werden?

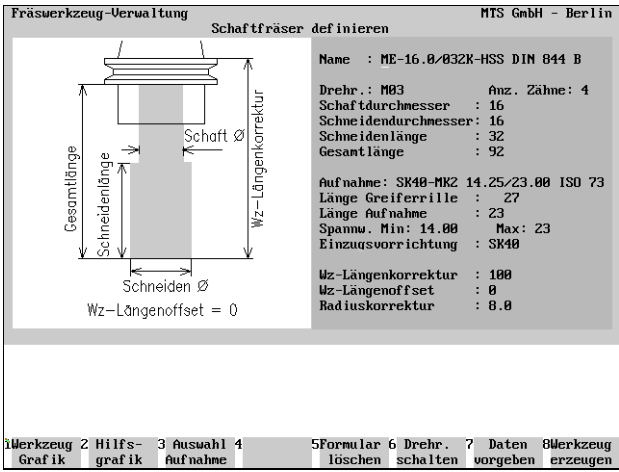
Gegeben:	$n = 400 \text{ 1/min}$ $v_c = 180 \text{ m/min}$
Gesucht:	$d \text{ in mm}$
Es gilt :	$v_c = \pi * d * n \text{ , oder}$ $d = \frac{v_c}{\pi * n}$ $d = \frac{180000 \text{ mm} * \text{min}}{\pi * \text{min} * 400}$
Lösung:	<u><u>$d = 143 \text{ mm}$</u></u>

CNC-Übung

Erzeugen eines Schaftfräasers

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Fräsen im Hauptmenü aufrufen	F2 (Fräsen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Das Menü Magazinbelegung anwählen.	F4 (Werkzeug, Nullpunkt) F2 (Magazinbelegung)
4.	Das Verwaltungsmenü anwählen.	F2 (Verwaltung)
5.	Den Werkzeugtyp auswählen: z.B. Schaftfräser.	↑ oder ↓ auswählen, mit F1 (Werkzeug erzeugen) die Auswahl übernehmen
		
6.	Daten vorgeben anwählen	F7 (Daten vorgeben)
		
7.	Vorgabedaten auswählen, z.B. ME-16.0/032K	↑ oder ↓ auswählen, eventuell mit F1 (Werkzeuge zeigen), mit F1 (Werkzeuge auflisten) weiter auswählen, mit F8 (Vorgabe erzeugen) die Auswahl übernehmen

	
8.	Auswahl Aufnahme anwählen F3 (Auswahl Aufnahme)
	
9.	Aufnahme auswählen, z.B. SK40-MK2 ↑ oder ↓ auswählen, eventuell mit F1 (Aufnahmen zeigen), mit F1 (Aufnahmen auflisten) weiter auswählen, mit F8 (Auswahl) die übernehmen
	
10.	Hilfsgrafik aufrufen F2 (Hilfsgrafik)

		
11.		mit der Tastatur Namen und Daten des Werkzeugs schreiben  mit der Tabulatortaste die einzelnen Eingaben anwählen
12.	Das Werkzeug erzeugen.	 (Werkzeug erzeugen)
13.	Das Menü Fräswerkzeug-Verwaltung verlassen.	 (Zurück)  (Zurück)  (Zurück)  (Zurück)

Ändern eines Schaftfräasers

Die Arbeitsschritte zur Änderung eines vorhandenen Werkzeugs sind bis auf den fünften Schritt dieselben wie die zur Erzeugung eines neuen Werkzeuges.

Im Schritt 5 muß  (Werkzeug ändern) gedrückt werden.

3.4 Berechnung technologischer Werte für die CNC-Bearbeitung

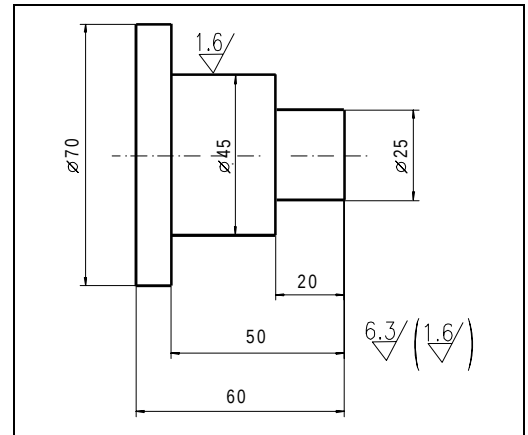
Beispiele zur Berechnung technologischer Werte für die CNC-Drehbearbeitung

1. Beispiel:

Der skizzierte Bolzen soll auf einer CNC-Drehmaschine in vier Schnitten mit Schnitttiefen von 6; 6; 5 und 5 mm und einem Schlichtaufmaß von 0,5 mm geschruppt sowie anschließend geschlichtet werden.

Die Schnittgeschwindigkeiten betragen für das Schrumpfen $v_{cv} = 280$ m/min und für das Schlichten $v_{cf} = 400$ m/min.

Berechnen Sie die Drehzahlen für die einzelnen Schnitte.



Drehzahlberechnung beim Schrumpfen (Schnitt 1-4) und beim Schlichten (Schnitt 5-6)

Gegeben: $v_{cv} = 280$ m/min
 $v_{cf} = 400$ m/min

Gesucht: n in 1/min

Es gilt:
$$n = \frac{v_c}{\pi * d}$$

1. Schnitt $\varnothing = 58\text{mm}$ $v_{cv} = 280$ m/min $n_1 = \frac{280m}{\pi * \text{min} * 0,058m}$ $\underline{\underline{n_1 = 1537 \frac{1}{\text{min}}}}$	2. Schnitt $\varnothing = 46\text{mm}$ $v_{cv} = 280$ m/min $n_2 = \frac{280m}{\pi * \text{min} * 0,046m}$ $\underline{\underline{n_2 = 1938 \frac{1}{\text{min}}}}$
3. Schnitt $\varnothing = 36\text{mm}$ $v_{cv} = 280$ m/min $n_3 = \frac{280m}{\pi * \text{min} * 0,036m}$ $\underline{\underline{n_3 = 2476 \frac{1}{\text{min}}}}$	4. Schnitt $\varnothing = 26\text{mm}$ $v_{cv} = 280$ m/min $n_4 = \frac{280m}{\pi * \text{min} * 0,026m}$ $\underline{\underline{n_4 = 3428 \frac{1}{\text{min}}}}$
5. Schnitt $\varnothing = 25\text{ mm}$ $v_{cf} = 400$ m/min $n_5 = \frac{400m}{\pi * \text{min} * 0,025m}$ $\underline{\underline{n_5 = 5393 \frac{1}{\text{min}}}}$	6. Schnitt $\varnothing = 45\text{ mm}$ $v_{cf} = 400$ m/min $n_6 = \frac{400m}{\pi * \text{min} * 0,045m}$ $\underline{\underline{n_6 = 2830 \frac{1}{\text{min}}}}$

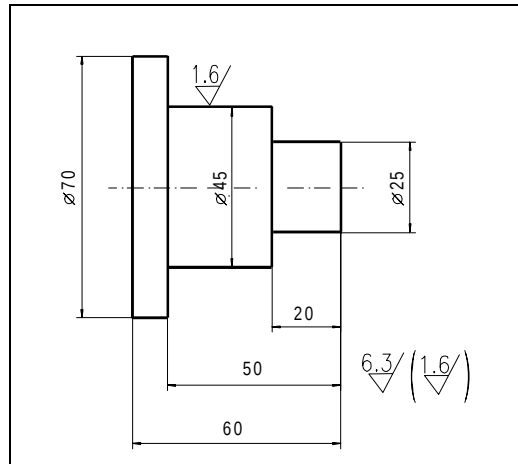
2. Beispiel:

Der skizzierte Bolzen soll auf einer CNC-Drehmaschine in vier Schnitten mit Schnittiefen von 6; 6; 5 und 5 mm mit einem Vorschub $f_v = 0,2$ mm und einem Schlichtaufmaß von 0,5 mm geschruppt werden.

Wegen der festgelegten unterschiedlichen Rauhtiefen wird der $\varnothing 45$ mit einem Vorschub von $f_{f1} = 0.07$ mm und alle übrigen Flächen mit $f_{f2} = 0.12$ mm geschlichtet.

Die An- und Überlaufängen werden mit je 2 mm programmiert.

Zu berechnen die Hauptnutzungszeit t_{huv} für das Schruppen und das Schlichten t_{huf} sowie die gesamte Hauptnutzungszeit t_{hu} .

**Berechnung der Hauptnutzungszeit beim Vordrehen t_{huv} und beim Fertigdrehen t_{huf}**

Die Hauptnutzungszeit beim Drehen wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$t_h = \frac{L * i}{n * f} \quad \text{in min}$$

Die einzelnen Größen sind:

- L Vorschubweg
- i Anzahl der Schnitte
- n Drehzahl
- f Vorschub pro Umdrehung

Der Vorschubweg L berechnet sich aus dem Weg, bei dem die Schneide im Eingriff ist (Länge l = Vorschubbewegung in Z und in X !) und eventuelle An- und Abfahrwege (Länge l_a oder l_u), die im Vorschubverfahren werden.

Unter Berücksichtigung von je 2mm für den An- und Abfahrweg ergeben sich für die einzelnen Schnitte die folgenden Vorschubwege:

1. Schnitt $L = l + l_a + l_u = 50\text{mm} + 6\text{mm} + 2\text{mm} + 2\text{mm} = 60\text{mm}$
2. Schnitt $L = l + l_a + l_u = 50\text{mm} + 12\text{mm} + 2\text{mm} + 2\text{mm} = 66\text{mm}$
3. Schnitt $L = l + l_a + l_u = 20\text{mm} + 5\text{mm} + 2\text{mm} + 2\text{mm} = 29\text{mm}$
4. Schnitt $L = l + l_a + l_u = 20\text{mm} + 10\text{mm} + 2\text{mm} + 2\text{mm} = 34\text{mm}$
5. Schnitt $L = l + l_a + l_u = 20\text{mm} + 1\text{mm} + 2\text{mm} + 2\text{mm} = 25\text{mm}$
6. Schnitt $L = l + l_a + l_u = 30\text{mm} + 12\text{mm} + 2\text{mm} + 2\text{mm} = 46\text{mm}$

Gegeben:	$L = \text{Vorschubweg}$ $i = 1$
Gesucht:	t_h in min
Es gilt :	$t_h = \frac{L * i}{n * f}$

Berechnung der Hauptnutzungszeit beim Vordrehen t_{huv}

1. Schnitt $L = 60\text{mm}$ $f_v = 0.2 \text{ mm}$ $n = 1537 \text{ 1/min}$ $t_h = \frac{L * i}{n * f}$ $t_h = \frac{60\text{mm} * 1\text{min}}{1537 * 0,2\text{mm}}$ $\underline{t_h = 0,195\text{min}}$	2. Schnitt $L = 66\text{mm}$ $f_v = 0.2 \text{ mm}$ $n = 1938 \text{ 1/min}$ $t_h = \frac{L * i}{n * f}$ $t_h = \frac{66\text{mm} * 1\text{min}}{1938 * 0,2\text{mm}}$ $\underline{t_h = 0,172\text{min}}$
3. Schnitt $L = 29\text{mm}$ $f_v = 0.2 \text{ mm}$ $n = 2476 \text{ 1/min}$ $t_h = \frac{L * i}{n * f}$ $t_h = \frac{29\text{mm} * 1\text{min}}{2476 * 0,2\text{mm}}$ $\underline{t_h = 0,059\text{min}}$	4. Schnitt $L = 34\text{mm}$ $f_v = 0.2 \text{ mm}$ $n = 3428 \text{ 1/min}$ $t_h = \frac{L * i}{n * f}$ $t_h = \frac{34\text{mm} * 1\text{min}}{3428 * 0,2\text{mm}}$ $\underline{t_h = 0,050\text{min}}$
$t_{huv} = 0,195\text{min} + 0,172\text{min} + 0,059\text{min} + 0,050\text{min}$ $\underline{t_{huv} = 0,476\text{min}}$	

Berechnung der Hauptnutzungszeit beim Fertigdrehen t_{huf}

5. Schnitt $L = 25\text{mm}$ $f_v = 0.12 \text{ mm}$ $n = 5393 \text{ 1/min}$ $t_h = \frac{L * i}{n * f}$ $t_h = \frac{25\text{mm} * 1\text{min}}{5393 * 0,12\text{mm}}$ $\underline{t_h = 0,039\text{min}}$	6. Schnitt $L = 46\text{mm}$ $f_v = 0.07 \text{ mm}$ $n = 2830 \text{ 1/min}$ $t_h = \frac{L * i}{n * f}$ $t_h = \frac{46\text{mm} * 1\text{min}}{2830 * 0,07\text{mm}}$ $\underline{t_h = 0,232\text{min}}$
$t_{huf} = 0,039\text{min} + 0,232\text{min}$ $\underline{t_{huf} = 0,271\text{min}}$	

Berechnung der gesamten Hauptnutzungszeit t_{hug}

$t_{hug} = t_{huv} + t_{huf}$ $t_{hug} = 0,476\text{min} + 0,271\text{min}$ $\underline{t_{hug} = 0,747\text{min}}$

3. Beispiel:

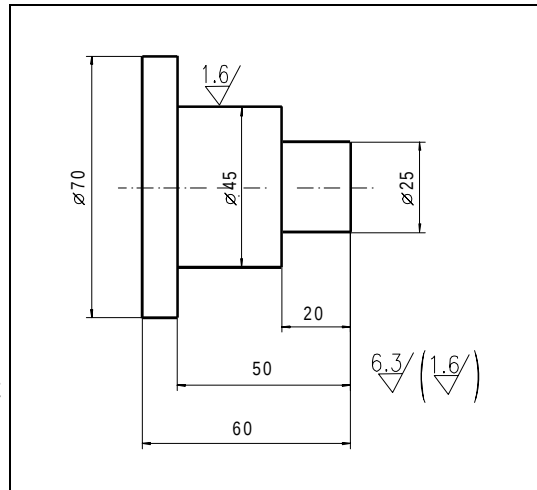
Der skizzierte Bolzen soll auf einer CNC-Drehmaschine in vier Schnitten mit Schnittiefen von 6; 6; 5 und 5 mm mit einem Vorschub $f_v = 0,2$ mm vorgedreht werden.

Wegen der festgelegten unterschiedlichen Rauhtiefen wird der $\varnothing 25$ mit einem Vorschub von $f_{f1} = 0,07$ mm und alle übrigen Flächen mit $f_{f2} = 0,12$ mm fertiggedreht.

Die Schnittgeschwindigkeiten betragen für das Vordrehen $v_{cv} = 280$ m/min und für das Fertigdrehen $v_{cf} = 400$ m/min.

Die Schneidenrundung für den Vordrehmeißel beträgt $r_v = 0,8$ mm und für den Fertigdrehmeißel $r_f = 0,4$ mm.

Die erreichten Rauhtiefen sind zu berechnen.

**Berechnung der erreichten Rauhtiefe R_t**

Die erreichte Rauhtiefe beim Drehen wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r} \quad \text{in mm}$$

Die einzelnen Größen sind:

- f Vorschub pro Umdrehung
- r Schneidenradius

Gegeben:	$f = 0,07$ mm $r = 0,4$ mm	Gegeben:	$f = 0,12$ mm $r = 0,8$ mm
Gesucht:	R_t in mm	Gesucht:	R_t in mm
1. Berechnung der Rauhtiefe $R_{t1,6}$ für die Oberfläche von $\varnothing 45$		2. Berechnung der Rauhtiefe $R_{t6,3}$ für die übrigen Oberflächen	
$R_{t1,6} = \frac{f^2}{8 \cdot r} \left[\frac{\text{mm}^2}{1 \cdot \text{mm}} = \text{mm} \right]$ $R_{t1,6} = \frac{0,07^2}{8 \cdot 0,4}$ $R_{t1,6} = \frac{0,0049}{3,2}$ $R_{t1,6} = 0,00153 \text{ mm}$		$R_{t6,3} = \frac{f^2}{8 \cdot r} \left[\frac{\text{mm}^2}{1 \cdot \text{mm}} = \text{mm} \right]$ $R_{t6,3} = \frac{0,12^2}{8 \cdot 0,8}$ $R_{t6,3} = \frac{0,0144}{8 \cdot 0,8}$ $R_{t6,3} = \frac{0,0144}{6,4} \text{ mm}$ $R_{t6,3} = 0,00225 \text{ mm}$	

Berechnung von Schnittkräften und Motorleistungen

Bedeutsam für den Facharbeiter an CNC-Maschinen ist die Kenntnis über die wesentlichen Zusammenhänge bei den auftretenden Schnittkräften sowie über die Zerspanungsleistungen und die vom Antriebsmotor aufzubringende Motornenn- und -nutzleistung.

Die Vielfalt der Einflußgrößen auf die Schnittkräfte ist so, daß sie mit einer Formel nicht exakt berechnet werden kann. Einige dieser Einflußgrößen sind nur durch Versuche ermittelbar. Dabei zeigt sich, daß z.B. jeder zu spanende Werkstoff andere spezifische Schnittkraftwerte aufweist, ob er weich oder hart, ob er kurz- oder langspanend ist. Dazu kommt das Werkzeug, sein Schneidwerkstoff und dessen Eigenschaften. Wichtig sind auch die programmierten Arbeitswerte, wie z.B. der Vorschub, die Drehzahl, die Schnittgeschwindigkeit, die Spandicke, der Spanungsquerschnitt, das Spanungsverhältnis und nicht zuletzt die Schneidengeometrie, besonders der Spanwinkel und der Einstellwinkel sind für die Schnittkraft von Bedeutung. Aber auch der Verschleiß der Schneide hat seinen Einfluß.

Beispiel:

An eine Welle von $\varnothing 60$ mm ist der skizzierte Zapfen aus Ck 45 mit einem Schnitt vorzudrehen und dann fertigzudrehen.

Es stehen Hartmetall-Eckdrehmeißel mit Wendeschneidplatten zur Verfügung ($\gamma_0=90^\circ$, $\kappa_r=90^\circ$).

Die Vorschübe betragen $f_v = 0.2\text{ mm}$ und $f_f = 0.1\text{ mm}$,

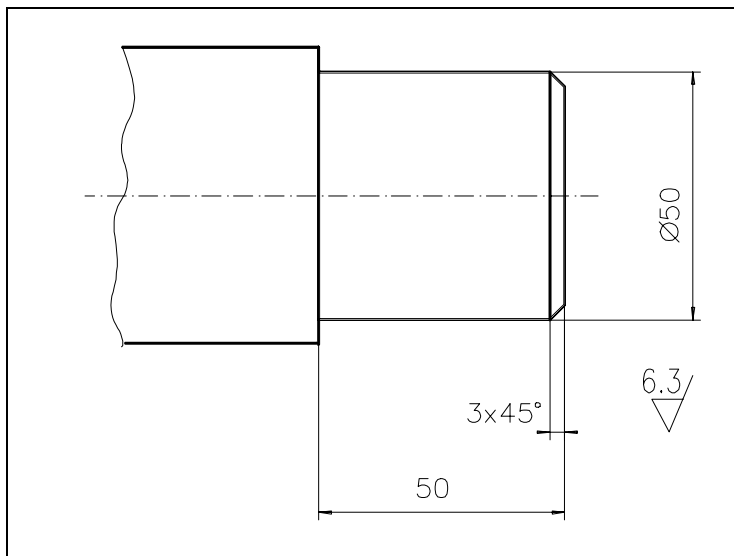
die Schnittgeschwindigkeiten $v_{cv}=200\text{ m/min}$ und $v_c=300\text{ m/min}$.

Das Aufmaß nach dem Vordrehen soll 0.5 mm betragen.

Der Wirkungsgrad des Hauptantriebsmotors beträgt $\eta=0.8$.

Berechnet werden soll die

1. die Schnittkraft F_{cv} ,
2. die Schnittleistung P_{cv} und
3. die notwendige Abgabeleistung des Antriebsmotors P_{ab} .



Gegeben:

- Drehlänge $l = 50$ mm
- Schnitttiefe $a_p = 4.5$ mm
- Vorschub $f_v = 0.20$ mm
- Schnittgeschwindigkeit $v_{cv}=200\text{ m/min}$
- Einstellwinkel $\kappa_r=90^\circ$
- Wirkungsgrad $\eta=0.8$

1. Die Schnittkraft F_c

Die Schnittkraft F_c errechnet sich aus der Formel:

Schnittkraft = Spanungsquerschnitt * spezifische Schnittkraft

$$F_c = b \cdot h \cdot k_c = a_p \cdot f_v \cdot k_c, \text{ (bei } \kappa_r = 90^\circ \text{)}$$

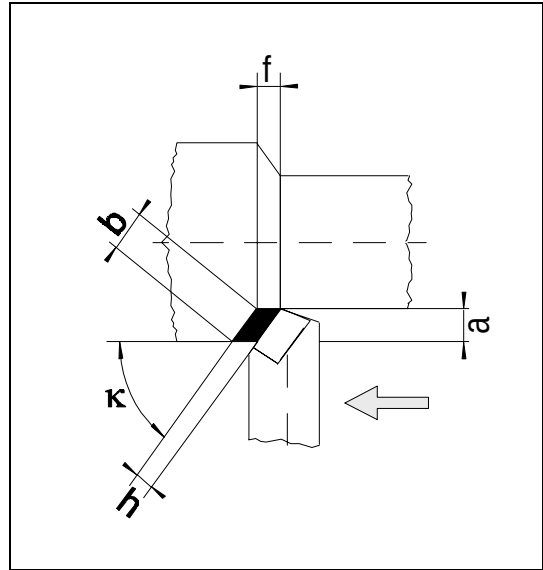
wenn κ_r kleiner als 90° ist, dann errechnet sich b aus

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r},$$

h aus $h = f \cdot \sin \kappa_r$ und

$$k_c = \frac{k_{c11}}{h^{m_c}} \left[\frac{N}{mm^2} \right],$$

darin ist k_{c11} der k_c -Wert bezogen auf die Versuchsbedingung und m_c ein Spanungsdickenexponent k_{c11} und m_c können der folgenden Tabelle entnommen werden.



Werkstoff			spezif. Schnittkraft k_c in N/mm^2 bei Spanungsdicke h in mm							
	m_c	k_{c11}	0.05	0.08	0.1	0.16	0.2	0.315	0.5	0.8
C15	0.22	1820	3520	3170	3020	2720	2590	2350	2120	1910
St37-2, St42-2	0.17	1780	2930	2730	2630	2430	2340	2170	2000	1850
St50-2	0.26	1990	4340	3840	3620	3210	3020	2690	2380	2110
St60-2	0.17	2110	3510	3240	3120	2880	2770	2570	2370	2190
St70-2, 18NiCr6	0.30	2260	5550	4820	4510	3920	3660	3200	2780	2420
C35	0.20	1860	3390	3080	2950	2680	2570	2340	2140	1950
C45k	0.14	2220	3380	3160	3070	2870	2780	2610	2450	2290
Ck60	0.18	2130	3650	3360	3220	2960	2850	2620	2410	2220
15CrMo5	0.17	2290	3810	3520	3390	3130	3010	2790	2580	2380
16MnCr5	0.26	2100	4580	4050	3820	3380	3190	2840	2510	2230
20MnCr5	0.25	2140	4530	4020	3810	3380	3200	2860	2550	2260
50CrV4	0.26	2220	4840	4280	4040	3580	3370	3000	2660	2350
GG15	0.21	950	1780	1610	1540	1400	1330	1210	1100	1000
GG25	0.26	1160	2530	2240	2110	1870	1760	1570	1390	1230
GS45	0.17	1600	2660	2460	2370	2110	2104	1950	1800	1660

Zur Berechnung der Schnittkraft reicht die oben genannte Formel jedoch nicht aus. Es müssen eine Reihe von Korrekturfaktoren mit berücksichtigt werden. Unter Berücksichtigung dieser Korrekturfaktoren sieht dann die praktisch nutzbare Formel wie folgt aus:

$$F_c = a_p \cdot f_v \cdot k_c \cdot K_{\gamma_o} \cdot K_v \cdot K_{sch} \cdot K_{ver} \quad [N]$$

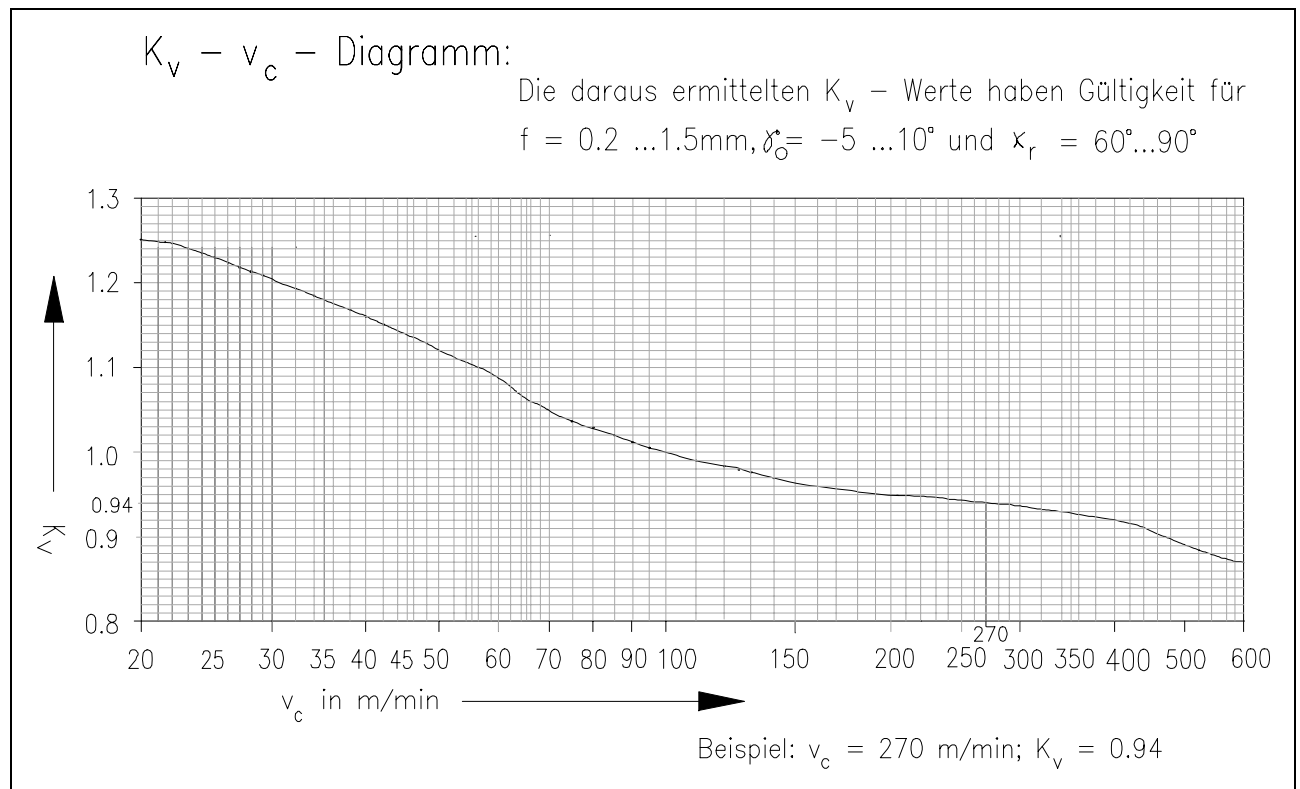
Die Korrekturwerte in der Formel bedeuten:

K_{γ_o} ist der Spanwinkeländerungsfaktor. Er errechnet sich aus

$$K_{\gamma_o} = 1 - \frac{\gamma_o - \gamma_{ok}}{66.7}, \text{ wobei } \gamma_o \text{ der vorhandene Spanwinkel ist und } \gamma_{ok} \text{ der Spanwinkel der bei der}$$

Ermittlung der k_c -Werte verwendet wurde.

K_v ist der Schnittgeschwindigkeitsänderungsfaktor. Die Tabellenwerte gelten nur für den Bereich von $v_c=90\ldots125$ m/min. Er wird dem folgenden K_v - v_c -Diagramm entnommen.



K_{sch} ist der Schneidenwerkstoffänderungsfaktor von Hartmetall auf Schneidkeramik, der bei Hartmetall 1 ist und bei Schneidkeramik mit 0.9....0.95 anzusetzen ist.

K_{ver} ist der Schneidenverschleißfaktor. Er muß angesetzt werden, weil die aus der Tabelle entnommenen k_c -Werte nur für arbeitsscharfe Werkzeuge gelten. Es ist deshalb mit einem K_{ver} -Wert von 1.3...1.5 zu rechnen.

Lösung:

Der Korrekturwert K_{sch} stimmt mit den Tabellenbedingungen überein und kann 1 gesetzt werden. a_p und f_v sind gegeben. Alle anderen Werte müssen erst ermittelt werden:

$$k_c = \frac{k_{c11}}{h^{m_c}} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$k_c = \frac{2220}{0.2^{0.14}}$$

$$k_c = 2781 \frac{N}{mm^2}$$

$$K_{\gamma_o} = 1 - \frac{\gamma_o - \gamma_{ok}}{66.7}$$

$$K_{\gamma_o} = 1 - \frac{10 - 6}{66.7}$$

$$K_{\gamma_o} = 0.94$$

Als Korrekturwerte werden gewählt

$K_{ver}=1.3$ und dem Diagramm entnommen wird

$K_v=0.96$. Für die gesuchte Schnittkraft ergibt sich dann:

$$F_c = a_p \cdot f \cdot k_c \cdot K_{\gamma_o} \cdot K_v \cdot K_{sch} \cdot K_{ver}$$

$$F_{cv} = 4.5 \text{ mm} \cdot 0.2 \text{ mm} \cdot 2781 \text{ N/mm}^2 \cdot 0.96 \cdot 0.94 \cdot 1 \cdot 1.3$$

$$\underline{\underline{F_{cv} = 2936 \text{ N}}}$$

2. Die Schnittleistung P_c

Die Berechnung der Schnittleistung P_c erfolgt nach der Gleichung

$$P_c = F_c \cdot v_c \left[N \cdot \frac{m}{\min} \cdot \frac{1 \min}{60s} = \frac{Nm}{60s} \right], \text{ die Aufgabenwerte eingesetzt ergibt dann}$$

$$P_{cv} = 2936 N \cdot 200 \frac{m}{\min}$$

$$P_{cv} = 9786,7 \frac{Nm}{s}, \text{ da } 1 Nm/s = 1 W \text{ (Watt) ist, sind } 9786,7 Nm/s = 9,787 KW$$

$$\underline{\underline{P_{cv} = 9,787 KW}}$$

3. Die Abgabeleistung des Antriebsmotors P_{ab}

Die Berechnung der Abgabeleistung des Antriebsmotors P_{ab} erfolgt bei bekannter Schnittleistung nach der Formel:

$$P_{ab} = \frac{P_{cv}}{\eta} \left[\frac{KW}{1} = KW \right]$$

$$P_{ab} = \frac{9,787}{0,8}$$

$$\underline{\underline{P_{ab} = 12,23 KW}}$$

Beispiele zur Berechnung technologischer Werte für die CNC-Fräsbearbeitung

Berechnung der Vorschubgeschwindigkeit v_f

Beim Fräsen wird meist mit der Vorschubgeschwindigkeit v_f in mm pro min gerechnet. Der Vorschub pro Fräserzahn f_z ist aber ebenso bedeutsam; denn der Fachmann weiß in erster Linie, welchen Vorschub eine Schneide verträgt. Dieser Vorschub muß unterschieden werden von dem, der bei einer Fräserumdrehung erreicht wird.

- Vorschubgeschwindigkeit v_f v_f in mm / min
- Vorschub pro Zahn f_z f_z in mm
- Vorschub pro Fräserumdrehung f in mm

Zur Berechnung stehen die folgenden Formeln zur Verfügung::

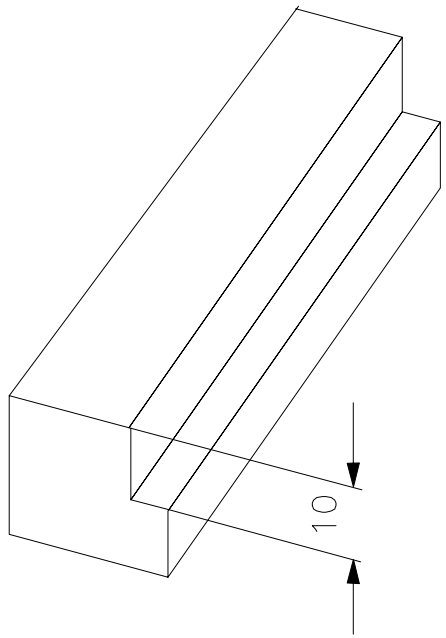
$$v_f = f_z * n * z \quad \text{in mm / min}$$

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

$$v_f = f * n = f_z * n * z \quad \text{in mm / min}$$

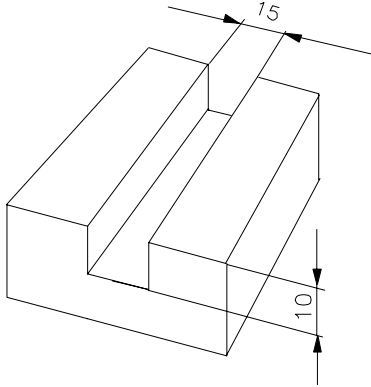
1. Beispiel:

Eine Platte aus C15 soll durch einem Walzenstirnfräser mit Wendeschneidplatten in einem Schnitt abgefräst werden. Die Stufe ist 10 mm hoch. Die Schnittgeschwindigkeit v_c soll 160 m/min und der Vorschub pro Fräterschneide f_z soll 0,18 mm betragen. Der Walzenstirnfräser mit einem Durchmesser von $\varnothing = 63$ mm hat vier Schneiden. Wie groß ist die Vorschubgeschwindigkeit v_f ?

Gegeben:	$v_c = 160 \text{ m/min}$ $d = 63 \text{ mm}$ $f_z = 0,18 \text{ mm}$ $z = 4$	
Gesucht:	v_f in mm/min	
Es gilt :	$v_f = f_z * n * z ,$ $v_c = \pi * d * n \quad \text{oder}$ $n = \frac{v_c}{\pi * d} , \quad \text{daraus folgt:}$ $v_f = \frac{v_c}{\pi * d} * f_z * z$ $v_f = \frac{160000 \text{ mm}}{\pi * \text{min} * 63 \text{ mm}} * 0,18 \text{ mm} * 4$	
Lösung:	<u>$v_f = 582 \text{ mm / min}$</u>	

2. Beispiel:**Berechnung der Vorschubgeschwindigkeit v_f**

Die Nut des skizzierten Werkstücks soll auf einer CNC-Senkrechtfräsmaschine in einem Schnitt mit einem zweischneidigem Bohrnutenfräser von 12mm Ø, einer Drehzahl von $n = 1800 \frac{1}{\text{min}}$ und einem Vorschub f_z von 0.12 mm gefräst werden. Wie hoch ist die Vorschubgeschwindigkeit ?

Gegeben:	$n = 1800 \frac{1}{\text{min}}$ $f_z = 0.12 \text{ mm}$ $z = 2$	
Gesucht:	v_f in mm/min	
Es gilt :	$v_f = f_z \cdot n \cdot z$ $v_f = 0,12 \text{ mm} \cdot 1800 \frac{1}{\text{min}} \cdot 2$	
Lösung:	<u><u>$v_f = 432 \text{ mm} / \text{min}$</u></u>	

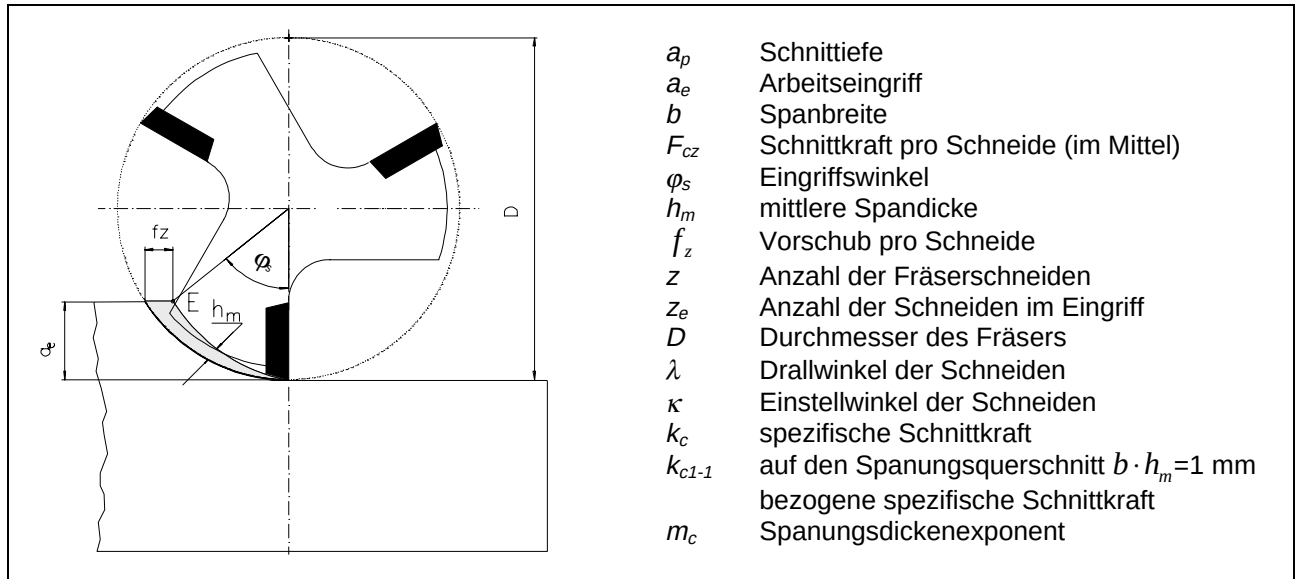
3. Beispiel**Berechnung der Drehzahl n**

Wie hoch müssen die Drehzahlen sein, wenn beim Fräsen der Nut mit einem Bohrvorschub von 0.1 mm je Schneide und einem Längsvorschub von 0.15 bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 200 mm/min gearbeitet wird ?

Gegeben:	$v_f = 200 \text{ mm/min}$ $f_b = 0,10 \text{ mm}$ $z = 2$	Gegeben:	$v_f = 200 \text{ mm/min}$ $f_l = 0,15 \text{ mm}$ $z = 2$
Gesucht:	n_b in $\frac{1}{\text{min}}$	Gesucht:	n_l in $\frac{1}{\text{min}}$
Es gilt :	$n_b = \frac{v_f}{f_b \cdot z} \frac{\text{mm}}{\text{min} \cdot \text{mm}}$ $n_b = \frac{200}{0,1 \cdot 2}$ $n_b = 1000 \frac{1}{\text{min}}$	Es gilt :	$n_l = \frac{v_f}{f_l \cdot z} \frac{\text{mm}}{\text{min} \cdot \text{mm}}$ $n_l = \frac{200}{0,15 \cdot 2} \frac{1}{\text{min}}$ $n_l = 667 \frac{1}{\text{min}}$

Berechnung von Schnittkräften und Motorleistungen

Wie bei der Schnittkraftberechnung beim Drehen werden beim Fräsen die gleichen Korrekturfaktoren verwendet.



Diese werden mit Hilfe eines Tabellenbuches ermittelt oder wie im Falle des Spanwinkeländerungsfaktors durch die bekannte Formel $K_{\gamma_o} = 1 - \frac{\gamma_o - \gamma_{ok}}{66.7}$ berechnet. Für die Schnittkraft beim Fräsen ergibt sich dann:

$$F_c = F_{cz} \cdot z_e [N \cdot 1 = N]. \text{ In dieser Formel ist}$$

$$z_e = \frac{z \cdot \varphi_s}{360^\circ} \text{ und}$$

$$F_{cz} = b \cdot h_m \cdot k_c. \text{ Hierin sind}$$

$$b = \frac{a_e}{\cos \lambda} [mm] \text{ und}$$

$$h_m = f_z \cdot \sin \kappa \cdot \frac{360^\circ \cdot a_e}{d \cdot \pi \cdot \varphi_s} [mm].$$

$$\kappa = 90^\circ - \lambda \text{ für Fräser mit Drallwinkel.}$$

Berücksichtigt man die Korrekturfaktoren, dann läßt sich die Schnittkraft berechnen aus der Formel:

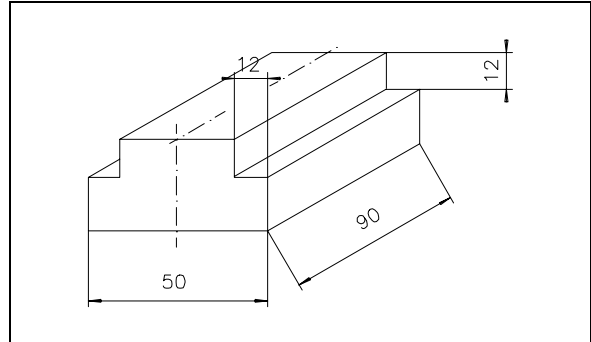
$$F_c = z_e \cdot b \cdot h_m \cdot k_c \cdot K_{\gamma_o} \cdot K_v \cdot K_{ver} \left[mm \cdot mm \cdot \frac{N}{mm^2} = N \right] \text{ und mit } z_e, b, h_m \text{ ergibt sich die Formel}$$

$$F_c = \frac{z \cdot \varphi_s}{360^\circ} \cdot \frac{a_e}{\cos \lambda} \cdot \frac{360^\circ \cdot a_p}{\pi \cdot \varphi_s \cdot d} \cdot f_z \cdot \sin \kappa \cdot k_c \cdot K_{\gamma_o} \cdot K_v \cdot K_{ver}$$

4. Beispiel:

An einer Führungsplatte aus C35 soll, wie im Bild skizziert, die Führungsaussparung mit einem 4 schneidigem Walzenstirnfräser $\varnothing=40$ mm gefräst werden.

Gegeben: Fräserdurchmesser $d = 40\text{ mm}$
 Fräsbreite $a_e = 40\text{ mm}$
 Frästiefe $a_p = 6\text{ mm}$
 Vorschub $f_z = 0.12\text{ mm}$
 Spanwinkel $\gamma_o = 10^\circ$
 Drallwinkel $\lambda = 30^\circ$
 Einstellwinkel $\kappa = 90^\circ$
 Werkstoff C35
 Maschinenwirkungsgrad $\eta_M = 0.82$
 Schnittgeschwindigkeit $v_c = 140\text{ mm/min}$

**Berechnung der Schnittkraft F_c**

$$F_c = \frac{z \cdot \varphi_s}{360^\circ} \cdot \frac{a_e}{\cos \lambda} \cdot \frac{360^\circ \cdot a_p}{\pi \cdot \varphi_s \cdot d} \cdot f_z \cdot \sin \kappa \cdot k_c \cdot K_{\gamma_o} \cdot K_v \cdot K_{ver} \left[1 \cdot \frac{\text{mm}}{1} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{mm}} \cdot \text{mm} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1 = \text{N} \right]$$

$$F_c = \frac{4 \cdot 1}{360^\circ} \cdot \frac{40}{\cos 30^\circ} \cdot \frac{360^\circ \cdot 6}{\pi \cdot 1 \cdot 40} \cdot 0.12 \cdot \sin 90^\circ \cdot k_c \cdot K_{\gamma_o} \cdot K_v \cdot K_{ver};$$

der k_c -Wert kann aus der Tabelle nicht direkt entnommen werden. Er wird wie folgt berechnet:

$$k_c = \frac{k_{c11}}{h_m^{m_c}},$$

k_{c11} kann aus der Tabelle mit 1860 entnommen werden, ebenso m_c mit 0.2. Der h_m -Wert ist wie folgt zu berechnen

$$h_m = \frac{360^\circ \cdot a_p}{\pi \cdot \varphi_s \cdot d} \cdot f_z \cdot \sin \kappa$$

Danach ist

$$h_m = \frac{360 \cdot 6}{\pi \cdot 40 \cdot 1} = 3.87\text{ mm und}$$

$$k_c = \frac{1860}{3.87^{0.2}} = 1420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

$$K_{\gamma_o} = 1 - \frac{\gamma_o - \gamma_{ok}}{66.7} = 1 - \frac{10 - 6}{66.7} = 0.94$$

K_v wird mit 0.97 dem Diagramm entnommen. Für den Schneidverschleißkorrekturwert K_{ver} wird 1.3 gewählt. Damit sind alle Werte für die Schnittkraftberechnung bestimmt. Damit errechnet sich

$$F_c = \frac{4 \cdot 40 \cdot 6 \cdot 0.12 \cdot 1}{0.866 \cdot \pi \cdot 40} \cdot 1420 \cdot 0.94 \cdot 0.97 \cdot 1.3$$

$$\underline{\underline{F_c = 1782\text{ N}}}$$

Berechnung der Schnittleistung P_c

Zur Berechnung der Schnittkraft P_c wird die folgende Formel verwendet:

$$P_c = F_c \cdot v_c$$

$$P_c = 1782\text{ N} \cdot 140 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$P_c = 1782 \cdot 140 \frac{\text{Nm}}{60\text{ s}}$$

$$\underline{\underline{P_c = 415\text{ W}}}$$

Berechnung der notwendigen Motorabgabeleistung P_{ab}

Zur Berechnung der Motorabgabeleistung P_{ab} wird die folgende Formel verwendet:

$$P_{ab} = \frac{P_c}{\eta_{M\ c}}$$

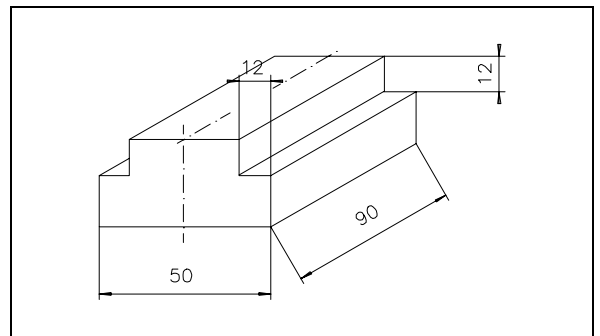
$$P_{ab} = \frac{0,45KW}{0,82}$$

$$\underline{\underline{P_{ab} = 055KW}}$$

Berechnung der Hauptnutzungszeit

Die skizzierte Grundplatte aus ST50 (vgl. Bild 1) soll in den 12 mm Abstufungen mit einem dreischneidigem Schaftfräser von 32 mm $\varnothing$ und 16 mm Schneidkantenlängen in einem Schnitt gefräst werden. Wie lang ist die Hauptnutzungszeit der CNC-Maschine, wenn mit einem Vorschub von 0.12 je Fräaserschneide und einer Schnittgeschwindigkeit von 120 m/mm gefräst werden soll? Die Überlauflänge beträgt 22 mm.

Gegeben: Werkstoff: ST50
 Fräserdurchmesser $d = 32\text{ mm}$
 Vorschub je Schneide $f_z = 0.12\text{ mm}$
 Schnittgeschwindigkeit $v_c = 120 \frac{\text{m}}{\text{min}}$
 An- und Überlauflänge je $l = 22\text{ mm}$
 Schnitttiefe $a_p = 12\text{ mm}$
 Werkstücklänge $L_l = 90\text{ mm}$
 Werkstückbreite $L_b = 50\text{ mm}$



Zur Berechnung der Hauptnutzungszeit t_{nu} wird die folgende Formel verwendet:

$$t_{nu} = \frac{L_{ges} \cdot i}{f_{v_c}} = \left[\frac{\text{mm} \cdot 1}{\frac{\text{mm}}{\text{min}}} = \frac{\text{mm} \cdot \text{min}}{\text{mm}} = \text{min} \right]$$

$$t_{nu} = \frac{(2L_l + 2L_b + 2A\ddot{U})}{f_{v_c}} ; \text{ mit}$$

$$f_{v_c} = f_z \cdot z \cdot \frac{v_c}{d \cdot \pi} = f_{v_c} = \frac{0.12 \cdot 3 \cdot 120}{0.032 \cdot \pi} = f_{v_c} = 501 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \text{ ergibt sich:}$$

$$t_{nu} = \frac{2 \cdot 110 + 2 \cdot 70 + 2 \cdot 22}{501}$$

$$\underline{\underline{t_{nu} = 0.81\text{ min}}}$$

3.5 CNC-Spannsysteme

Arten von Spannsystemen

Ein Spannsystem stellt die Verbindung zwischen dem Werkstück und der Werkzeugmaschine her. Es muß dabei zwei wesentliche Funktionen erfüllen:

1. Die Lage des Werkstückes eindeutig bestimmen.
2. Das Werkstück gegen alle Kräfte festhalten.

Das Festhalten des Werkstückes geschieht überwiegend durch das Anpressen der Spannelemente. Die dazu notwendige Kraft wird als Spannkraft bezeichnet.

Um die Kosten des Spannsystems und die der Fertigung klein zu halten, werden an das Spannsystem noch weitere Anforderungen gestellt:

- Einfache und schnelle Handhabung
- Vielseitige Verwendungsmöglichkeit
- Leichter Austausch der Spannelemente
- Hohe Genauigkeit bei wiederholten Aufspannungen

Erzeugung der Spannkraft

An konventionellen Werkzeugmaschinen erfolgte das Spannen vorwiegend von Hand. Dies erfordert vom Facharbeiter großen Kraftaufwand. Um Hilfszeiten zu senken und dem Facharbeiter das Spannen zu erleichtern, wurden für einzelne Spannmittel spezielle Spannsysteme entwickelt. Zur Erzeugung der Spannkraft kommen dabei unterschiedliche Methoden zum Einsatz:

- mechanische Spannkrafterzeuger
- hydraulische Spannvorrichtungen
- pneumatische Spannvorrichtungen
- Elektrospanner

Mechanische Spannkrafterzeuger werden hauptsächlich in Form von Keilhaken- oder Winkelhebelspannfutter eingesetzt. Diese Arten der Kraftspannfutter finden vorwiegend an Drehautomaten ihre Anwendung.

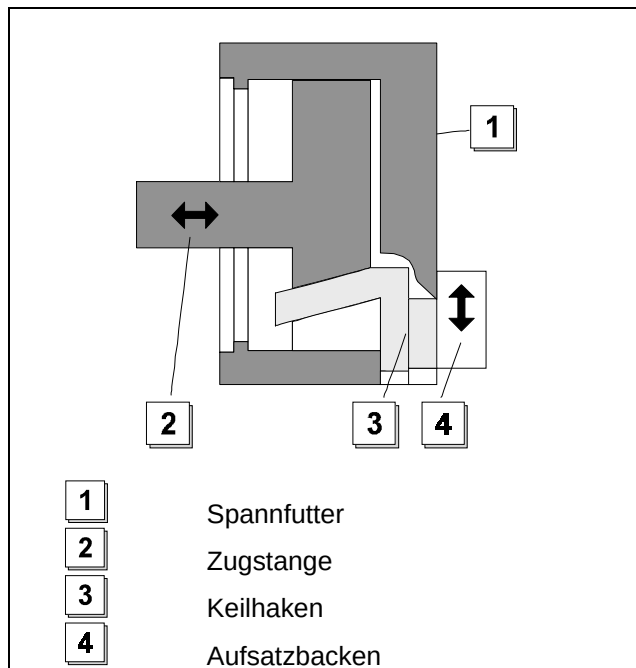


Abbildung 126
Keilhakenspannfutter (mechanisch)

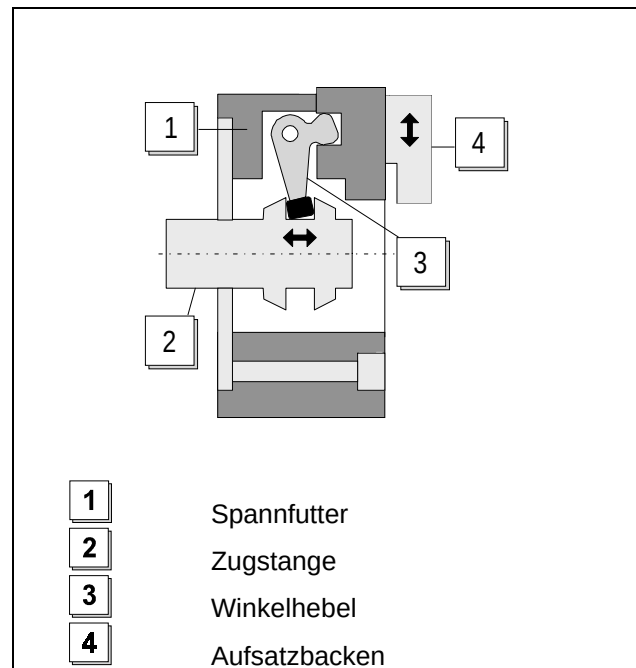


Abbildung 127
Winkelhebelspannfutter (mechanisch)

Hydraulische Spannvorrichtungen erzeugen die zum Spannen erforderlichen Bewegungen und Kräfte mit Hilfe hydraulisch bewegter Kolben. Diese werden meist über handbetätigte Ventile vom Bediener gesteuert. Die Spannkraft ist genau steuerbar und kann auf Anzeigegeräten abgelesen werden. Hydraulische Anlagen erfordern zwar einen sehr hohen technischen Aufwand, sie sind dafür jedoch sehr zuverlässig.

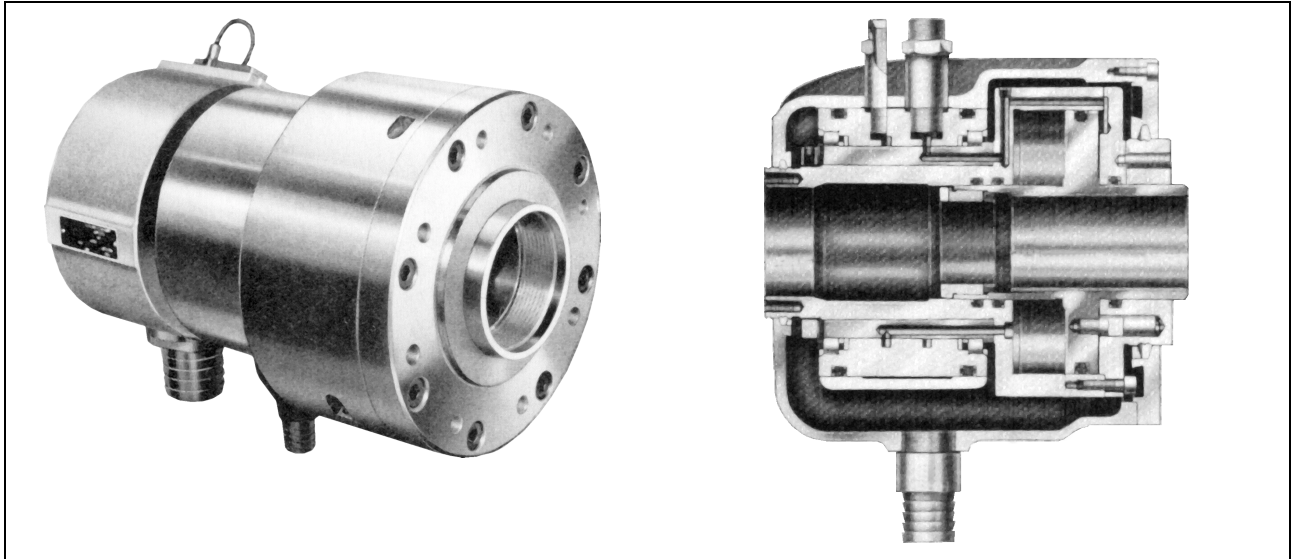


Abbildung 128
Hydraulischer Hohlspannzylinder Röhm SZ

Pneumatische Spannvorrichtungen werden mit Druckluft betrieben. Sie arbeiten ähnlich den Hydraulikspannern. Für die Druckluftherzeugung (Verdichtung) werden Kompressoren genutzt.

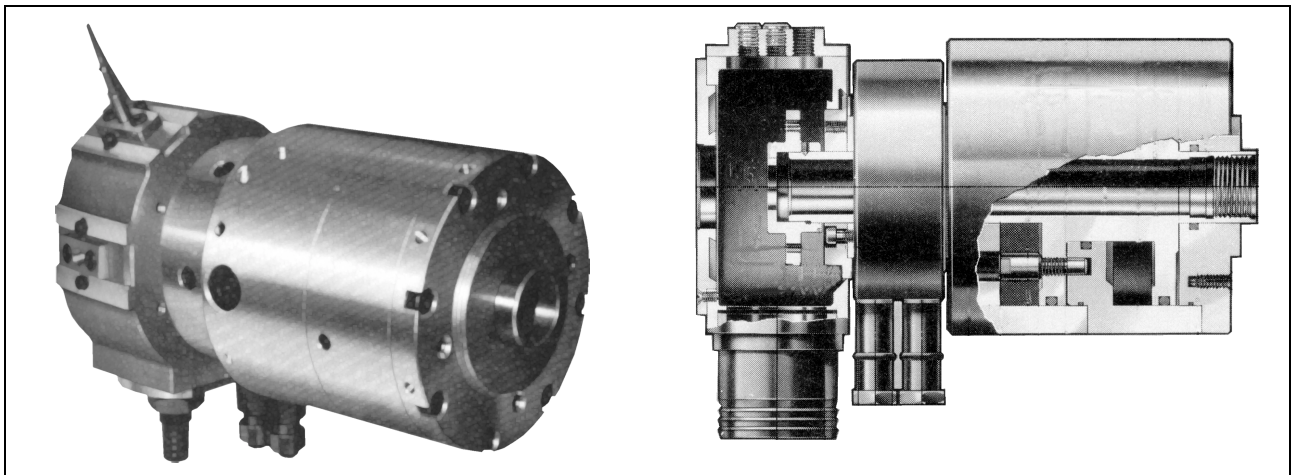


Abbildung 129
Luft-Hohlspannzylinder Röhm LHS

Elektrospanner mit drehender Bewegung werden für Kraftspannfutter mit Spiralringsystemen eingesetzt. Sie ermöglichen eine schnelle Umstellung auf unterschiedliche Durchmesser des Werkstückes.

Durch eine Elektromagnetkupplung im Spanner wird die Drehspindel beim Spann- und Entspannungs Vorgang blockiert, damit das volle Drehmoment des Spanners auf das Kraftspannfutter übertragen wird.

Desweiteren gibt es Elektrospanner mit Hubbewegung. Sie erzeugen eine Hubbewegung zum Betätigen von Spannzeugen und Kraftspannfuttern.

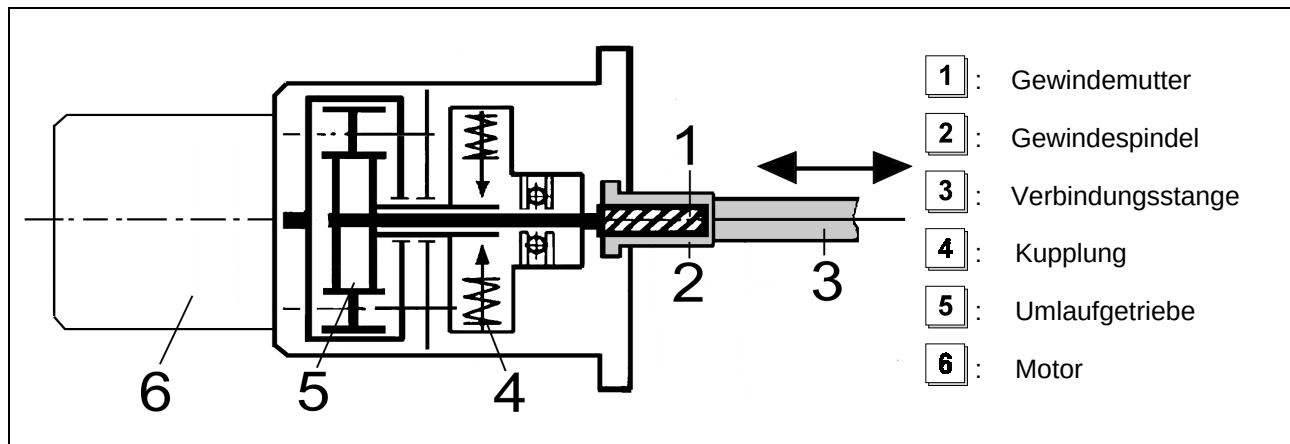


Abbildung 130
Elektrospanner mit Hubbewegung

Arten und Bezeichnung von Spannmitteln zum Drehen

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Möglichkeiten zum Spannen von Werkstücken auf Drehmaschinen dargestellt. Ganz allgemein können die folgenden Spannvarianten voneinander unterschieden werden:

- Spannen im Spannfutter
- Spannen mit Spannzangen
- Spannen zwischen Spitzen
- Spannen auf Dornen
- Spannen auf Planscheiben
- Spannen mit Drehvorrichtungen
- Spannen unter Zuhilfenahme von Setzstöcken

Spannen im Spannfutter

Spannfutter werden anhand der Anzahl der Spannbacken in Zwei-, Drei- und Vierbackenfutter unterschieden. Am häufigsten eingesetzt wird das selbstzentrierende Dreibackenfutter. Es gewährleistet ein schnelles, sicheres und zentrisches Aufnehmen von runden Rohteilen. Ein Vierbackenfutter bietet die Möglichkeit viereckige, achteckige, zwölfkige oder runde Teile zu spannen.

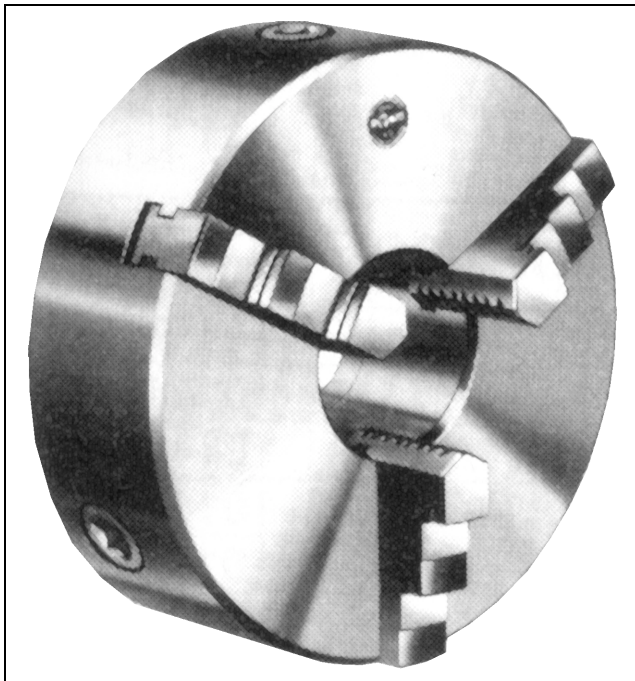


Abbildung 131
Drehfutter Röhms ZG-ZS mit 3 Backen



Abbildung 132
Drehfutter Röhms ZG-ZS mit 4 Backen

Die Spannbacken sind meist gehärtet und mit Stufen versehen. Durch die Einstellmöglichkeit der Spannbacken lassen sich Drehteile mit unterschiedlichen Durchmessern spannen. Durch das Auswechseln der Spannbacken können Drehteile von außen oder von innen gespannt werden.

Zur Überleitung der Spannkraft wird meist das Prinzip des Spiralinges oder das der Keilstange angewendet.

Spannkraftübertragung durch einen Spiralring

Spannfutter mit Spiralringen sind für geringere Spannkräfte vorgesehen. Da die Flächen zwischen dem Spiralringes und den Backen sehr gering sind, können nur geringe Kräfte übertragen werden.

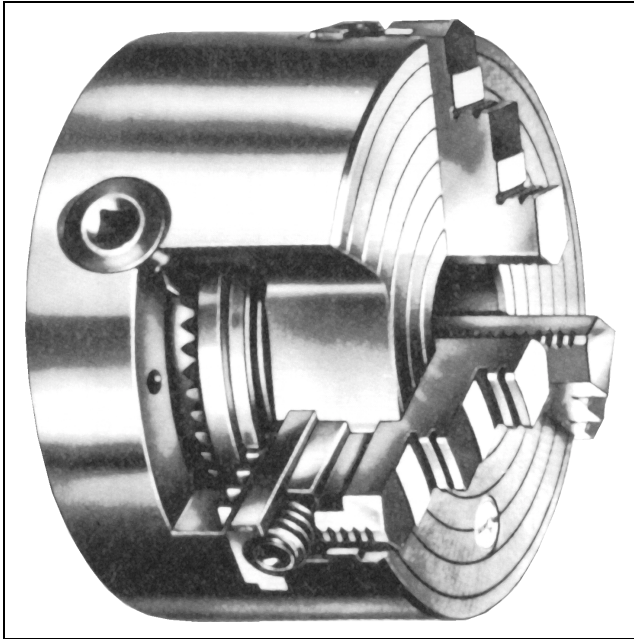


Abbildung 133
Drehfutter mit Spiralring Röhm EG-ES

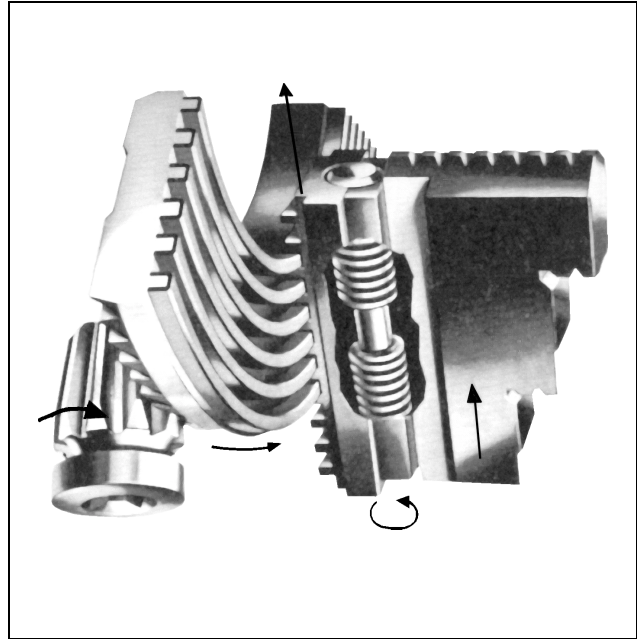


Abbildung 134
System der Spannkraftübertragung

Nachteilig ist bei Spannfuttern mit Spiralringen, daß die Spannbacken zum Wechseln komplett herausgedreht werden müssen.

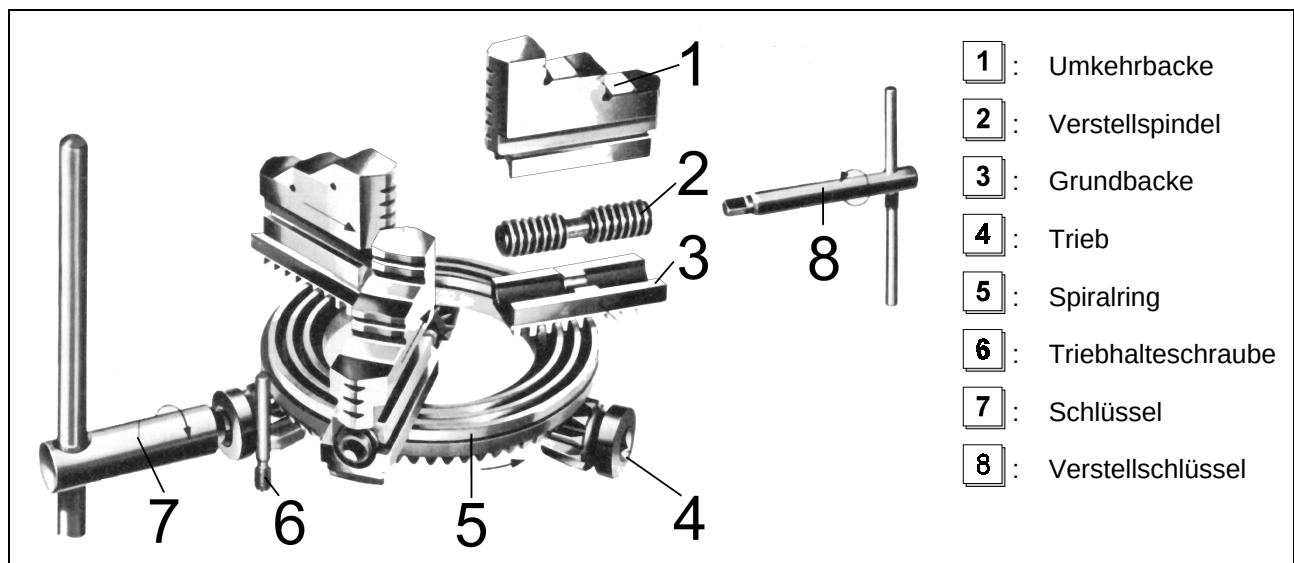


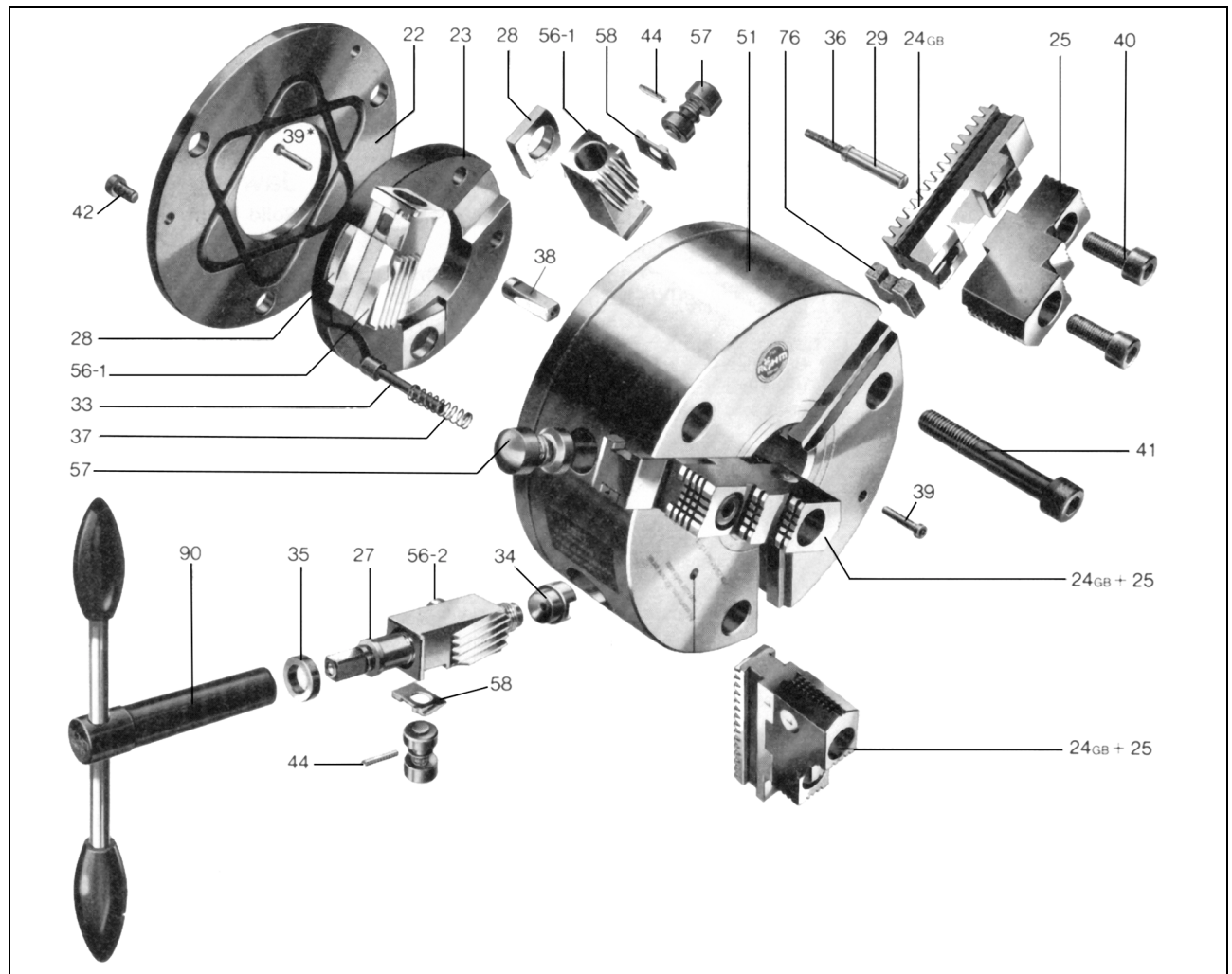
Abbildung 135
Drehfutter mit Spiralring Röhm EG-ES

Funktionsprinzip:

Durch die Drehung des Triebes (4) dreht sich der Spiralring (5). Dadurch bewegen sich die Spannbacken (3) auf die Drehachse zu und spannen das Werkstück.

Spannkraftübertragung durch eine Keilstange

Das Keilstangenfutter bietet einen schnellen Wechsel der Spannbacken und erzeugt höhere Spannkkräfte als das Spannfutter mit dem Spiralring.

**Einzelteile:**

22	Deckel	33	Anzeigestift	51	Körper
23	Treibring	34	Stützlager	56	Keilstange
24GB	Grundbacke, umkehrbar	35	Druckring	57	Druckbolzen
24EB	Einteilige Backe, umkehrbar	36	Druckfeder für Backenhaltestift	58	Sperrschieber
25	Umkehr-Aufsatzbacke	37	Druckfeder für Anzeigestift	76	Späneschutz
27	Spindel	38	Stützkeil	90	Schlüssel mit Knebel
28	Gleitstein	39-42	Zylinderschraube		
29	Backenhaltestift	44	Zylinderstift		

Abbildung 136

Keilstangenfutter Röhms Duro

Funktionsprinzip:

Das Spannen des Keilstangenfutters erfolgt mit Hilfe eines Schlüssels (90), der eine Keilstange (56) über eine Spindel (27) bewegt. Die Keilstange (56-2) bewegt über einen Gleitstein (28) den Treibring (23). Zwei weitere Gleitsteine (28) leiten die Kräfte auf die anderen Keilstangen (56-1) über. Die mit einem schräg verlaufenden Profil versehenen Keilstangen (56) greifen in die Grundbacken (24GB) ein und bewegen sie zur Drehmitte.

Spannen mit Spannzangen

Mit Spannzangen können zylindrische Werkstücke rundlaufend, schnell und genau eingespannt werden. Das Werkstück wird von der Spannzange außen umfaßt. Durch den geringen radialen Verstellbereich sind die Spannzangen meist nur auf einen Werkstückdurchmesser oder eine Teilefamilie ausgelegt. Sie werden besonders in der Massenfertigung eingesetzt.

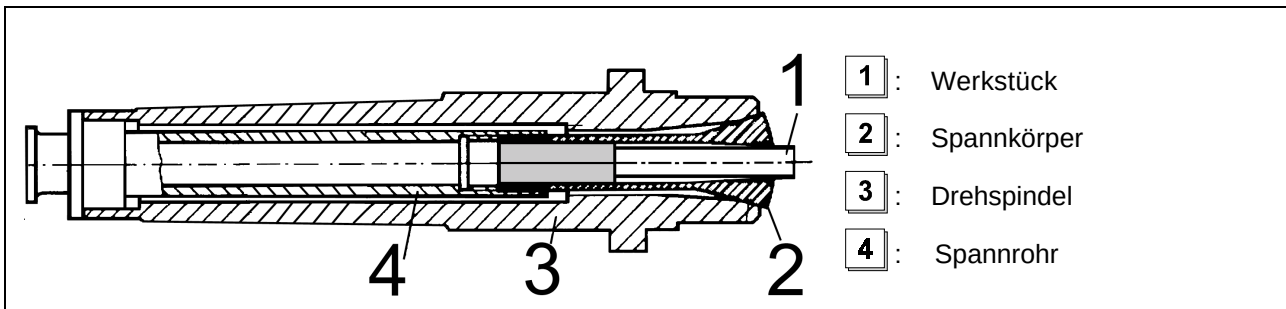


Abbildung 137
Spannzange

Spannen zwischen Spitzen

Das Spannen zwischen Spitzen wird bei längeren Teilen eingesetzt. Es setzt voraus, daß die Werkstücke zuvor abgelängt und beidseitig zentriert wurden.

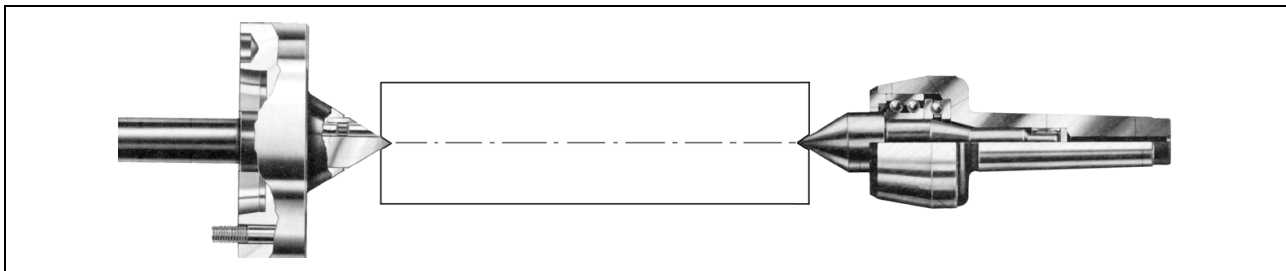


Abbildung 138
Spannen zwischen Spitzen

Entsprechend den Anforderungen an die spanende Bearbeitung kann man zwischen den folgenden Spannmöglichkeiten zwischen Spitzen unterscheiden:

- Stirnseitenmitnehmer mit mitlaufender bzw. fester Spitze
- Mitnehmer mit Sicherheitsspannherz und mitlaufender bzw. fester Spitze

Stirnseitenmitnehmer werden generell von der Hauptspindel aufgenommen. Sie werden eingesetzt, wenn die ganze Mantelfläche bearbeitet werden soll. Das Werkstück wird zwischen dem Stirnseitenmitnehmer und dem Reitstock gespannt. Nachteilig ist, daß sie nur geringe Drehmomente übertragen.

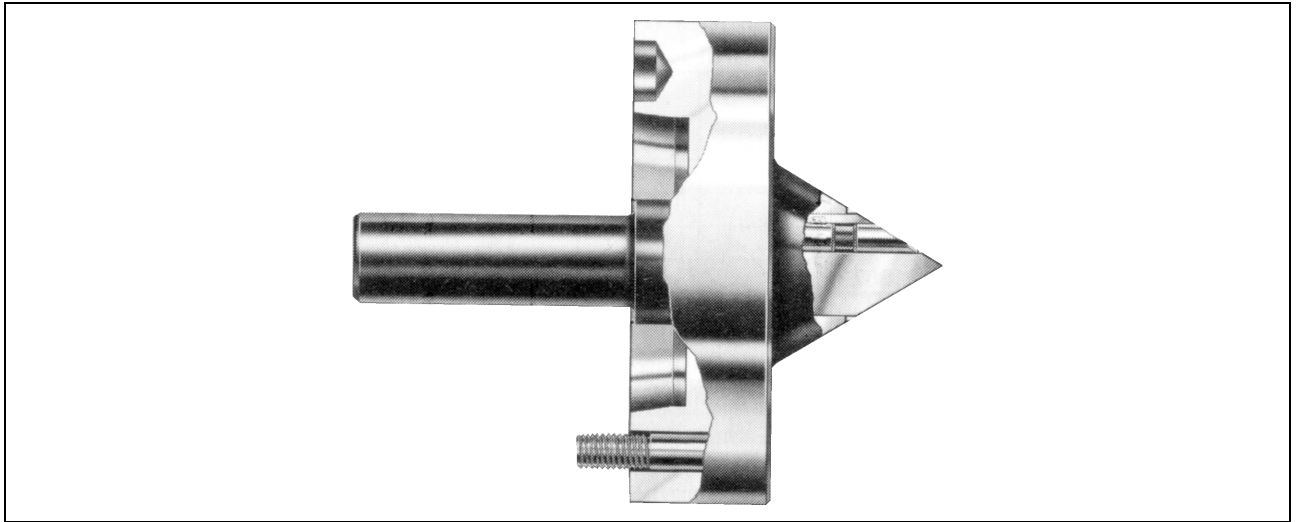


Abbildung 139
Stirnseitenmitnehmer

Die mitlaufende Spitze wird gegenüber dem Stirnseitenmitnehmer in der Pinole des Reitstockes eingesetzt. Dadurch, daß die Spitze selbst mitlaufen kann, sind wesentlich höhere Schnittgeschwindigkeiten bei der Drehbearbeitung möglich.

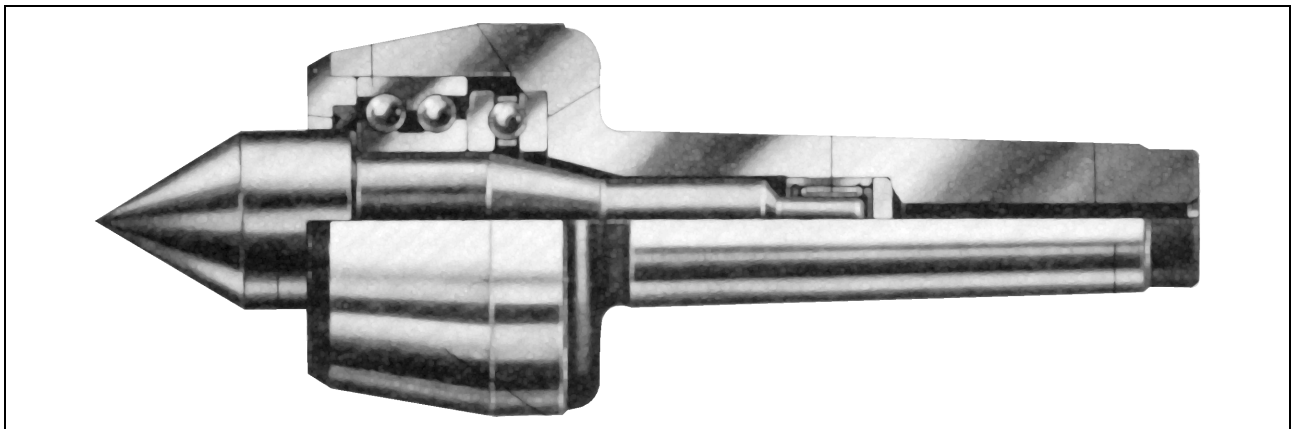


Abbildung 140
Mitlaufende Spitze Röhm 601

Der Einsatzbereich von festen, nicht mitlaufenden Körnerspitzen ist sehr stark eingeschränkt. Ihr Einsatz lässt nur geringe Schnitttiefen zu, da sie sich ansonsten sehr schnell erwärmen und verschleißen.

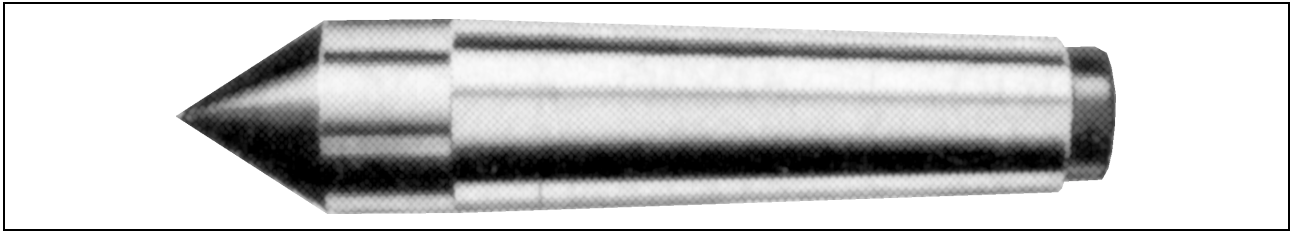


Abbildung 141
Feste Körnerspitze Röhm 667

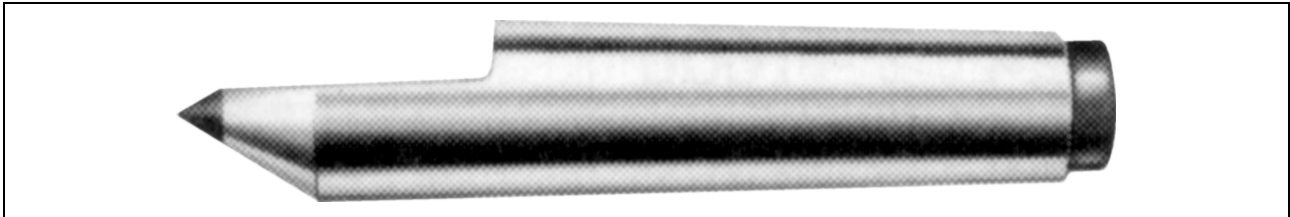


Abbildung 142
Feste halbe Körnerspitze Röhm 670

Bei einem Spannherz wird das Werkstück durch eine Spitze zentriert und zusätzlich über eine Spannschraube radial gespannt. Dadurch können größere Drehmomente übertragen und höhere Zerspanleistungen erreicht werden.

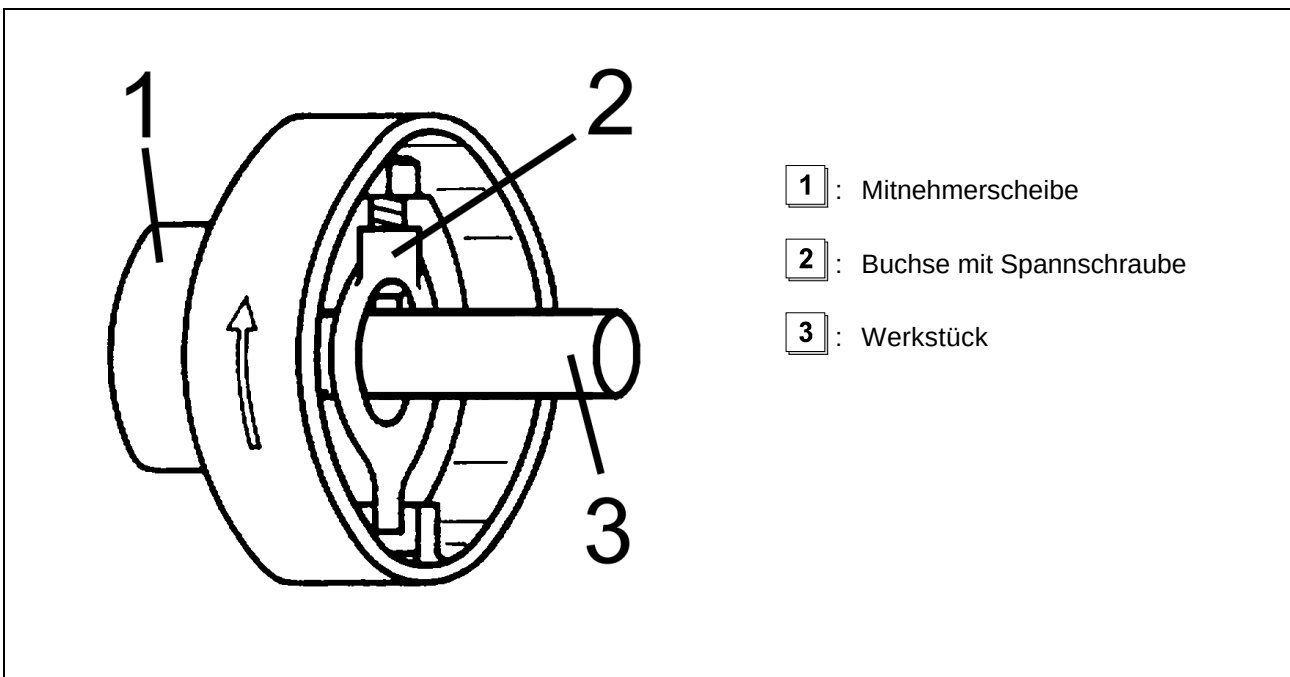


Abbildung 143
Sicherheitsspannherz

Spannen auf Dornen

Durch Spanndorne werden Werkstücke, die eine Bohrung haben, von innen gespannt. Bei der Verwendung von Spanndornen können im Gegensatz zu Drehfuttern die Bohrungen sehr klein sein. Ausgewählt werden sie anhand der vorhandenen Bohrung des zu bearbeitenden Werkstückes. Dabei wird zwischen festen Dornen und Spreizdornen unterschieden.

Feste Dorne sind gering kegelig (Kegel 1:2000) und werden zwischen Spitzen gespannt. Sie eignen sich ausschließlich zum Fertigdrehen, da nur sehr geringe Spanntiefen möglich. Die Rundlaufgenauigkeit der Spitzen muß vorher geprüft werden.

Spreizdorne werden im Innenkegel der Hauptspindel eingesetzt. Der Spannbereich wird durch die geschlitzte Spannstelle des Dornes in Abhängigkeit von der Rundlaufgenauigkeit sowie des gleichmäßigen Spannens der Werkstücke bestimmt. Das Spannen erfolgt durch Einpressen des Kegelstopfens.

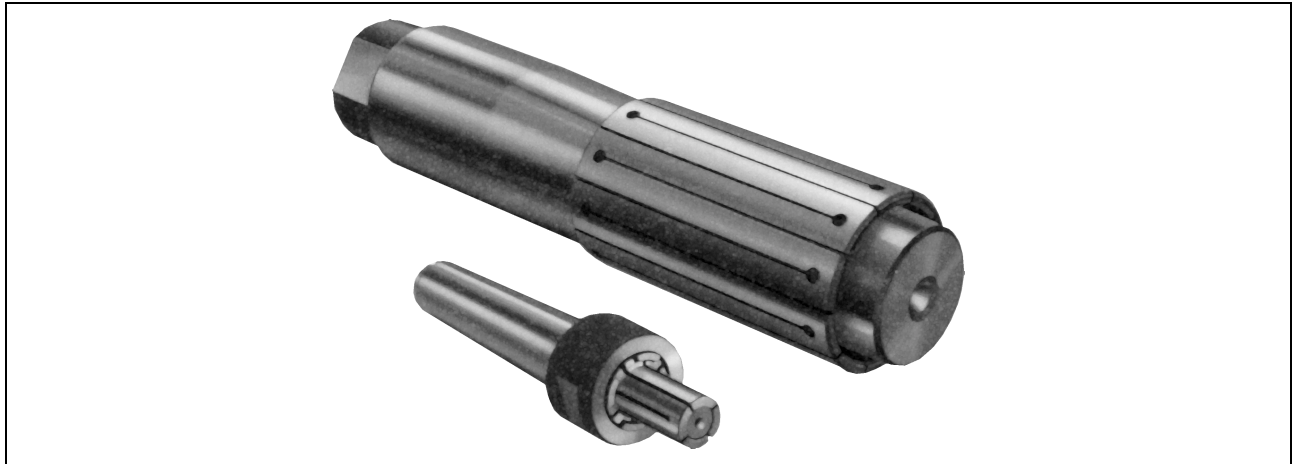


Abbildung 144
Hülzenspanndorne Röhm

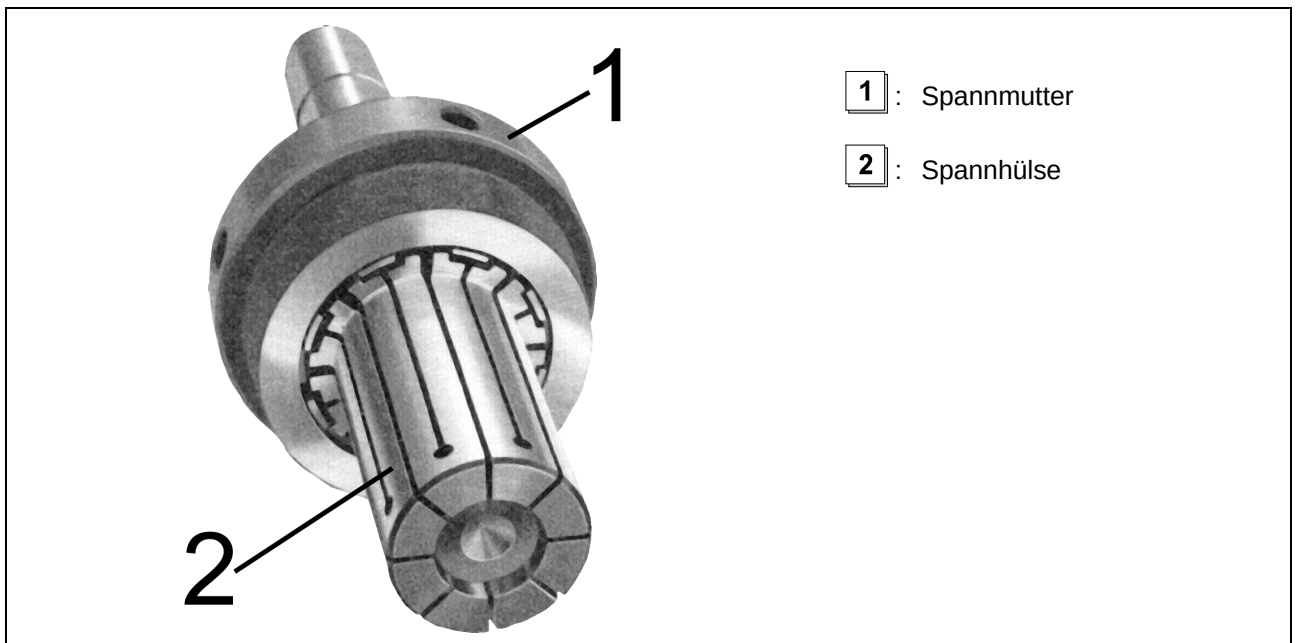


Abbildung 145
Hülzenspanndorn Röhm MZB

Dehndorne werden zwischen Spitzen gespannt. Sie haben einen geringen Spannbereich. Ihr Wirkungsprinzip besteht darin, eine dünnwandige nichtgeschlitzte Hülse aus plastischen Medien im Bereich der elastischen Verformung aufzuweiten.

Spannen auf Planscheiben

Die Planscheibe ermöglicht das Spannen unregelmäßig geformter Teile. Die vier oder mehr gehärteten Spannkolben lassen sich einzeln einstellen. Sie können auch gedreht werden. Die Spannstellen sind so gearbeitet, daß eine Außenspannung sowie Innenspannung möglich ist. Durch vorhandene Spannschlitzte ist der Anbau von Vorrichtungen und Ausgleichgewichten möglich.

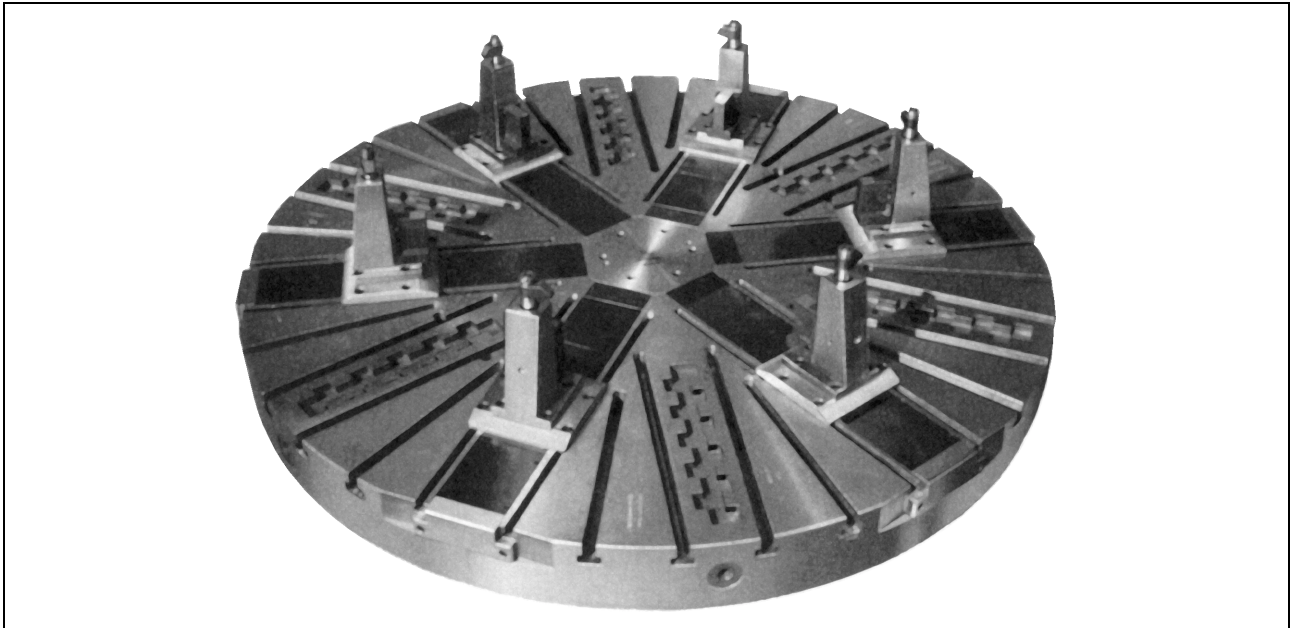
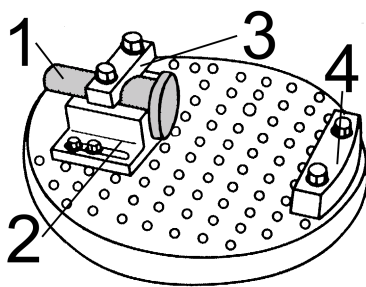


Abbildung 146
6-Backen-Planspannfutter Röhm

Spannen mit Drehvorrichtungen

Die Lochscheibe mit Gewindebohrungen als Spannvorrichtungsgrundkörper bietet vielfältige Spannmöglichkeiten. Bei dieser Spannart muß jedoch unbedingt auf einen sorgsam Schwungmassenausgleich geachtet werden, da die Spindel ansonsten unwuchtig läuft. Dies führt zu ungenauen Bearbeitungsergebnissen und im Extremfall zur Beschädigung der Werkzeugmaschine.



- 1** : Werkstück
- 2** : Spannkörper
- 3** : Spannbrücke
- 4** : Schwungmassenausgleich

Abbildung 147

Spannen unter Zuhilfenahme von Setzklötzen

Für das Spannen langer, schlanker Werkstücke werden Setzklötze (Lünetten) genutzt, um dem Durchbiegen des Werkstückes durch die Schnittkraft und des Eigengewichtes entgegenzuwirken.

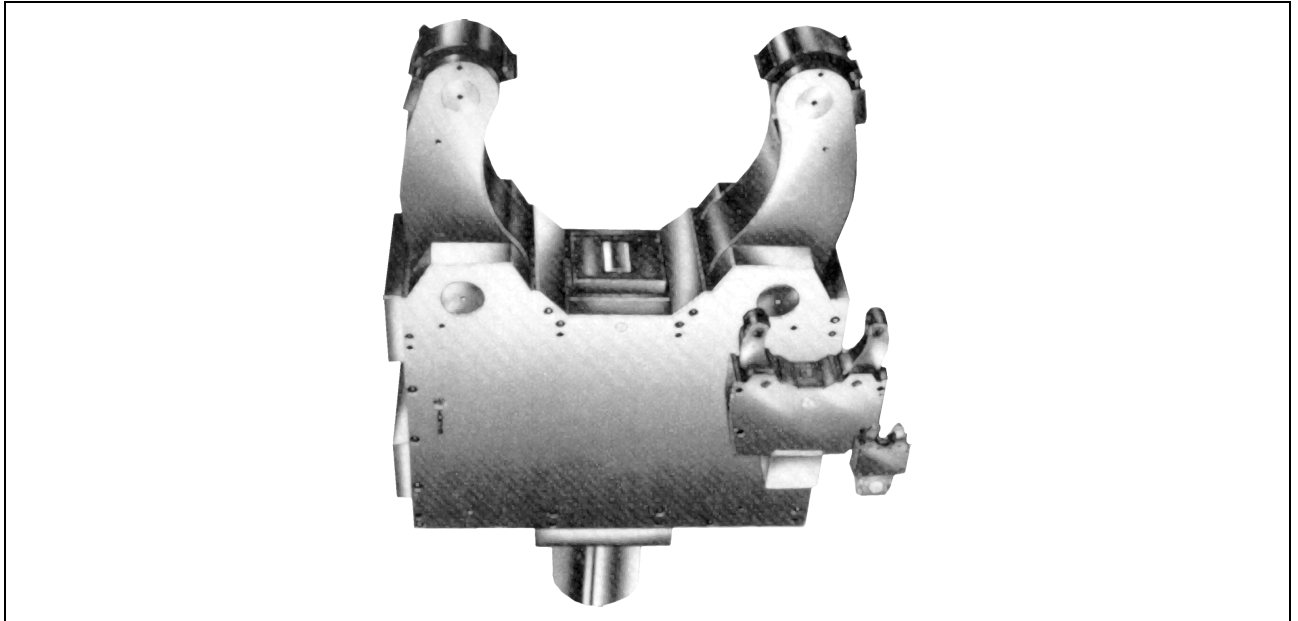


Abbildung 148
Selbstzentrierende Lünetten Röhm SLZ

Das Werkstück wird zwischen Spitzen gespannt und durch einen Setzstock zusätzlich abgestützt.

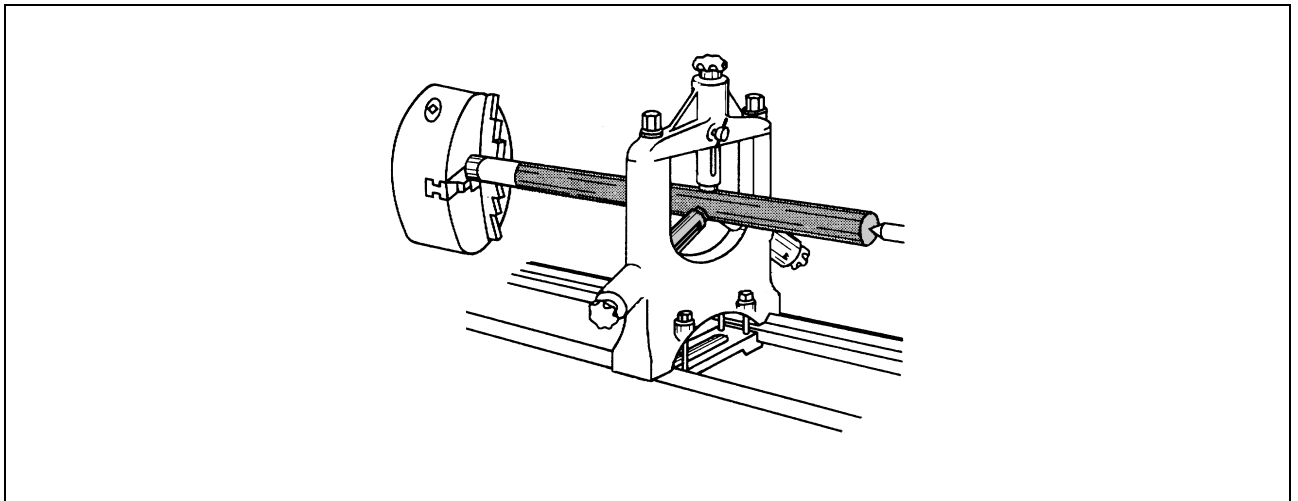
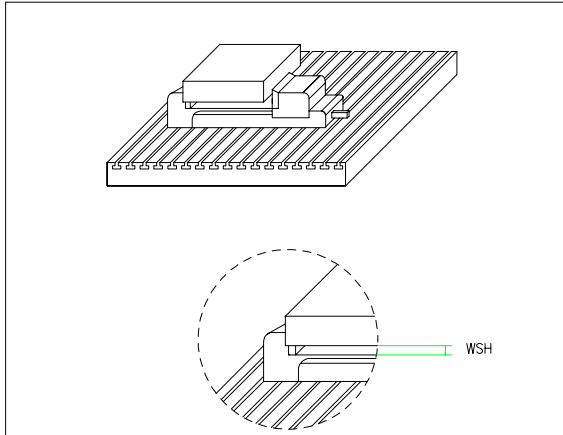


Abbildung 149
Feststehender Setzstock

Arten und Bezeichnung von Spannmitteln zum Fräsen

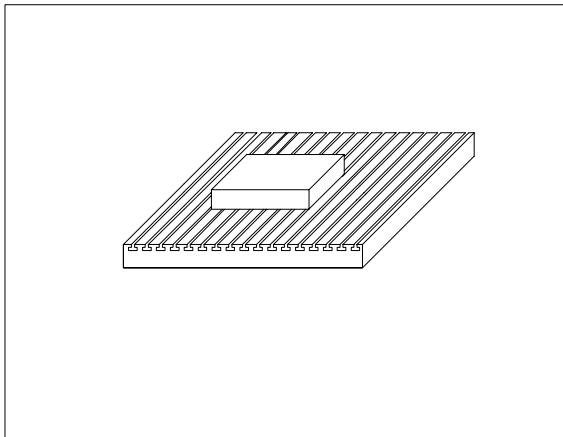
In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Möglichkeiten zum Spannen von Werkstücken auf Fräsmaschinen dargestellt. Ganz allgemein können die folgenden Spannvarianten voneinander unterschieden werden:

- Backenspannung
- Magnetplattenspannung
- Baukastenspannung



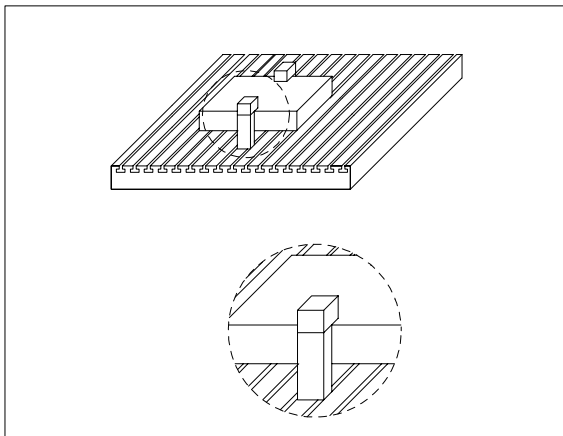
Backenspannung

1. Der Schraubstock kann jeweils um 90° auf dem Maschinentisch gedreht werden..
2. Seine Position ist veränderbar.
3. Das eingespannte Werkstück kann zur X- und Z-Achse verschoben werden.



Magnetplattenspannung

1. Die Lage des Werkstückes auf dem Maschinentisch kann frei bestimmt werden..



Baukastenspannung

1. Die Lage des Werkstückes auf dem Maschinentisch ist veränderbar.
2. Die Spannelemente können als Bausteine definiert werden. Die Spannmittelposition wird vom Benutzer festgelegt

Der Maschinentisch der Fräsmaschine mit seinen T-Nuten ist der Grundkörper für jede Werkstückspannung. In Bezug auf die Art und Weise wie das Werkstück gespannt wird, kann zwischen den folgenden Spanneinrichtungen unterschieden werden.

- mechanische Spanneinrichtung
- hydraulische Spanneinrichtung
- pneumatische Spanneinrichtung
- elektrische Spanneinrichtung

Mechanische Spanneinrichtungen

Mechanische Spanneinrichtungen bestehen meist aus mehreren einzelnen Bauteilen, wie z.B. Spanneisen, Spannunterlagen und Spannschrauben mit T-Nutensteinen.

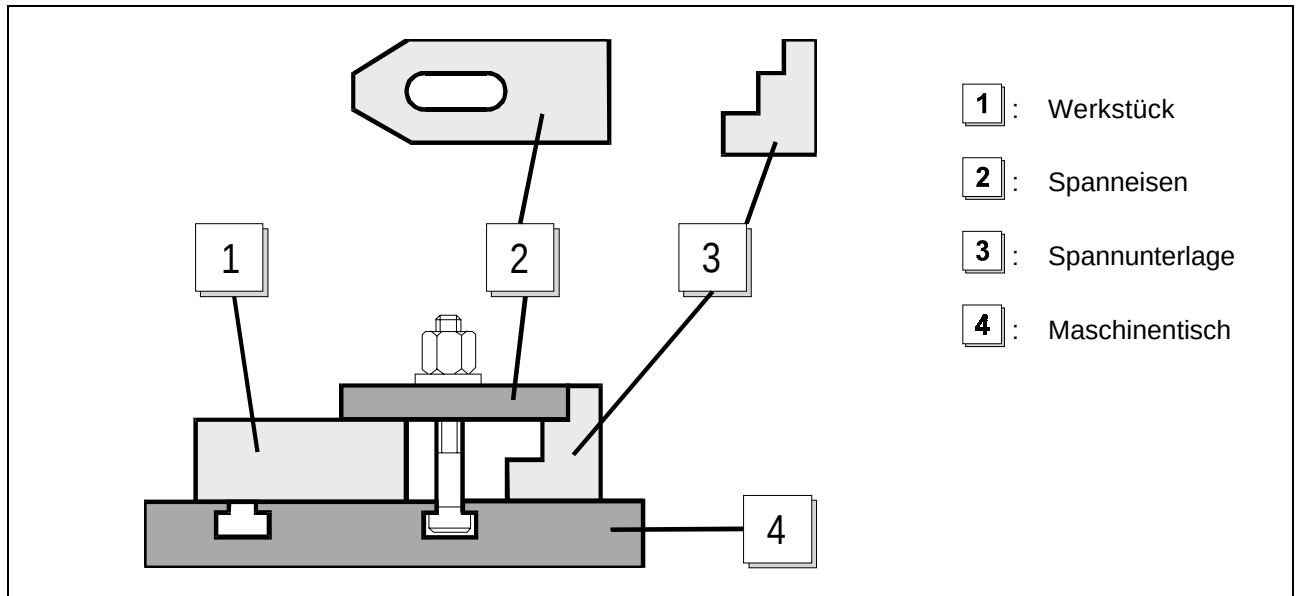


Abbildung 150
Spanneisen und Spannunterlage

Zur Unterfütterung bei schweren Werkstücken werden auch Richt- und Stützelemente verwendet.

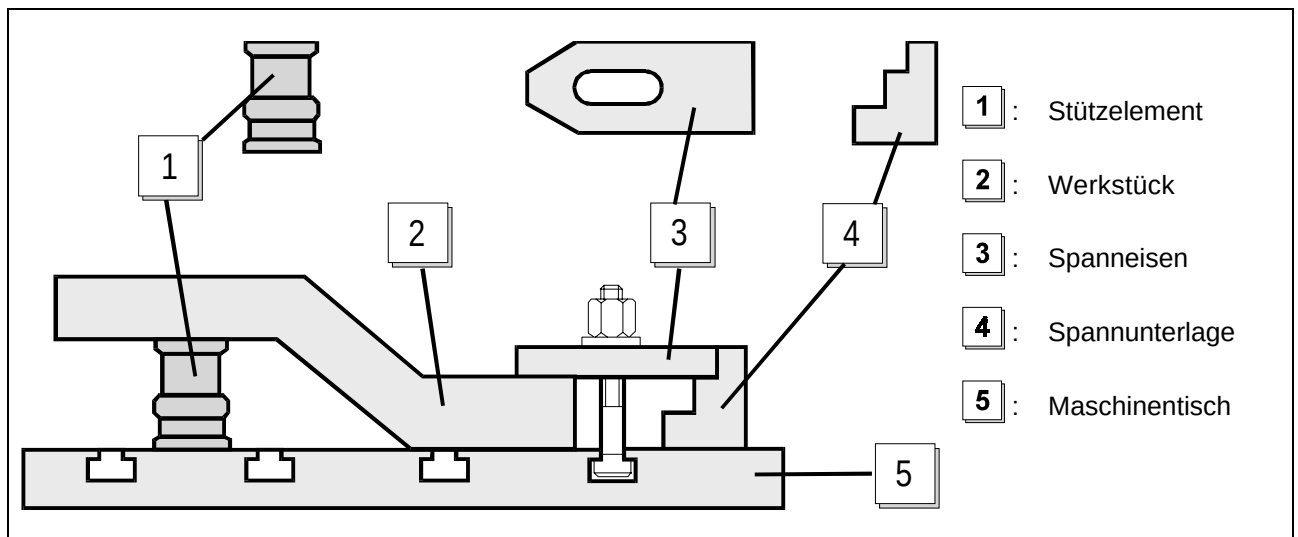


Abbildung 151
Spanneisen, Spannunterlage und Stützelement

Zum Spannen von flachen Werkstücken, bei denen die Oberfläche zum Bearbeiten freigehalten werden müssen, stehen Flachspanner zur Verfügung.

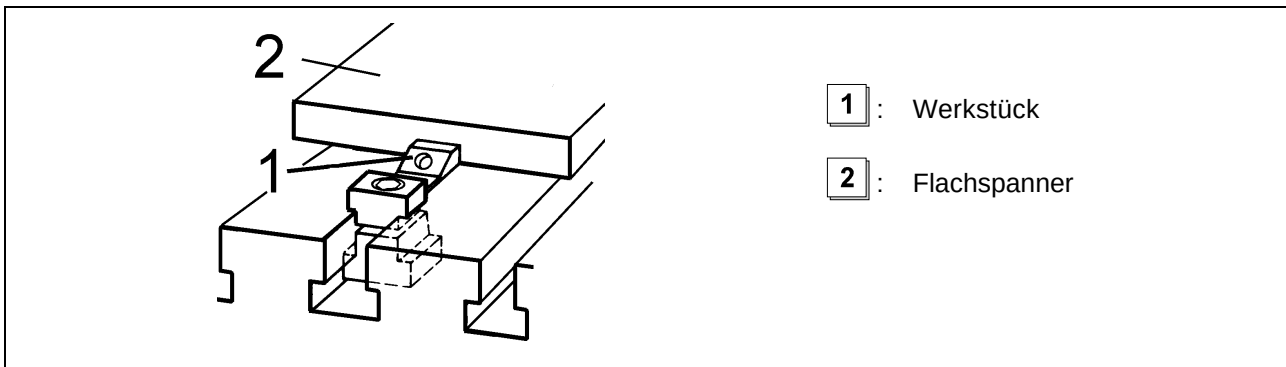


Abbildung 152
Flachspanner

Mit Hilfe eines aufgesetzten Teilapparates mit Rundtisch können Werkstücke schnell symmetrisch von verschiedenen Seiten bearbeitet werden. Es ist auch möglich, ein Backenfutter auf einen Teilapparat aufzuflanschen, der für ein genaues Teilen und Bearbeiten an runden Werkstücken verwendet werden kann.

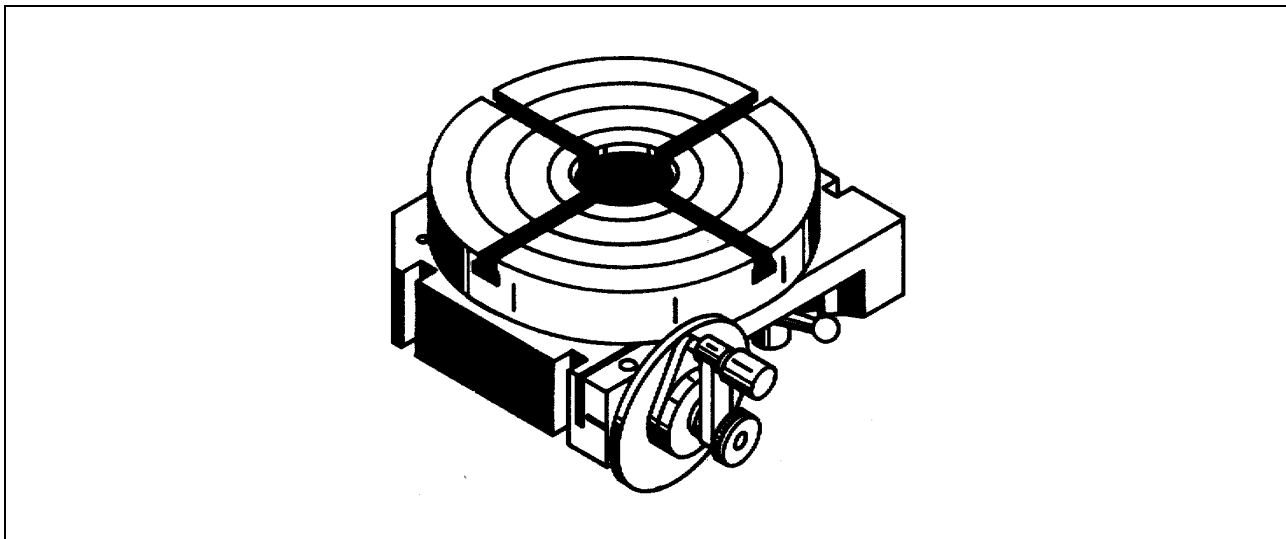


Abbildung 153
Teilapparat mit Rundtisch

Maschinenschraubstöcke

Die Maschinenschraubstöcke sind problemlos im Einsatz und zuverlässig in der Funktion. Sie werden zum Spannen kleinerer Werkstücke verwendet. Das Ausrichten des ersten Werkstückes erfolgt mit Hilfe einer Meßuhr.

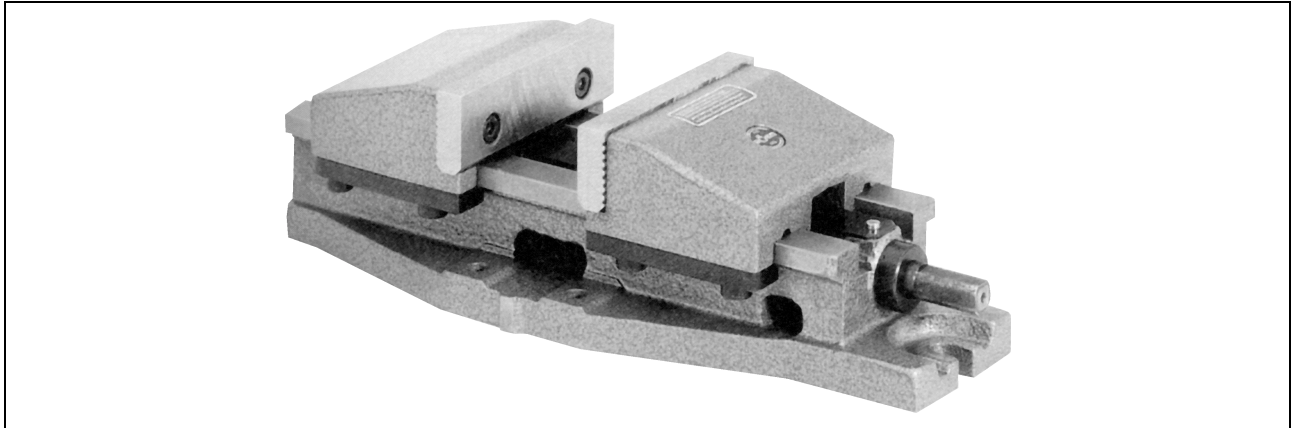


Abbildung 154
Maschinenschraubstock Röhmschraubstock UZ

Der Spannkraftverlauf bei Maschinenschraubstöcken ist im folgenden Bild dargestellt.

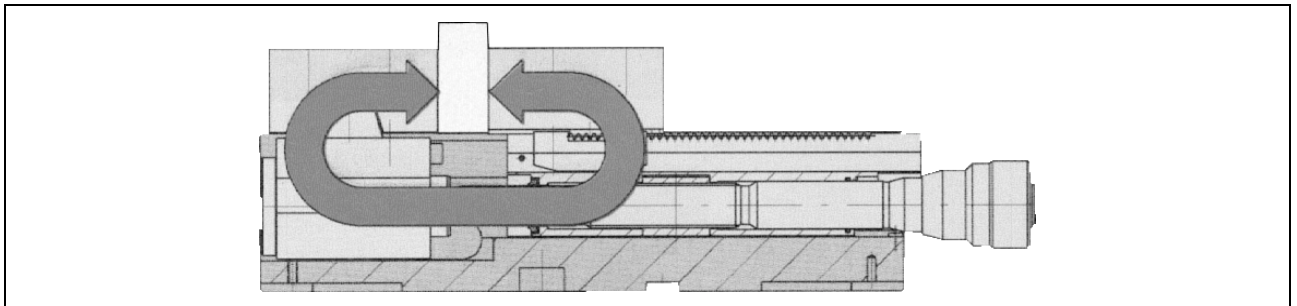


Abbildung 155
Spannkraftverlauf

Universal-Maschinenschraubstöcke können drehbar und waagrecht sowie senkrecht schwenkbar sein. Die Spannkraft wird meist von hand erzeugt. Es gibt jedoch auch Schraubstöcke, die über eine pneumatische Spannkrafterzeugung verfügen.

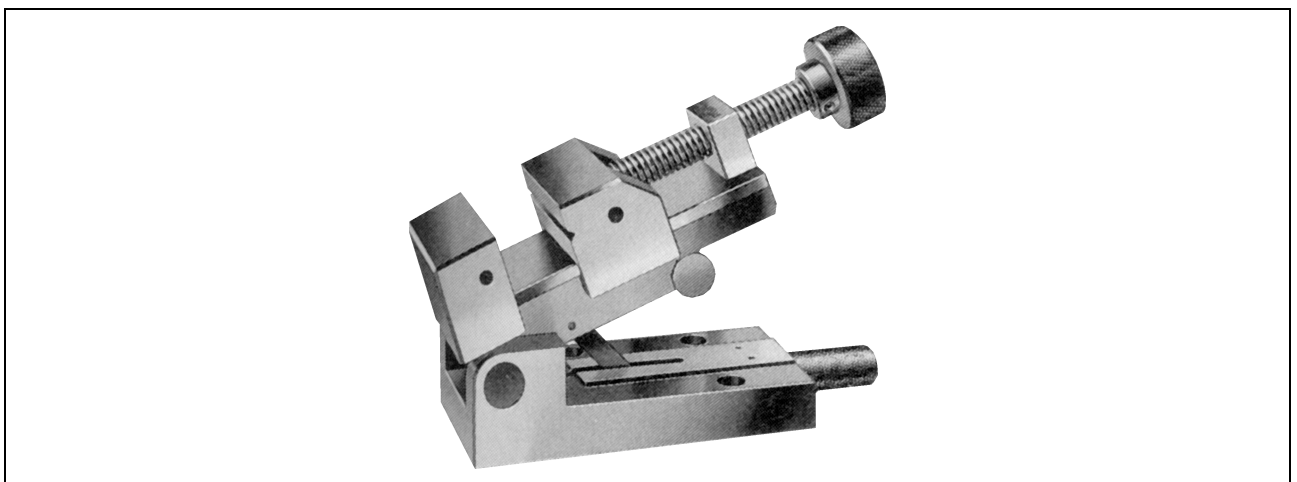


Abbildung 156
Präzisions-Sinusspanner Röhmschraubstock PS-SV

Pneumatische und hydraulische Spanneinrichtungen

Bei CNC-Werkzeugmaschinen werden NC-Kraftspanner eingesetzt, die durch pneumatische oder hydraulische Spannzylinder betätigt werden. Pneumatisch betätigte NC-Kraftspanner ermöglichen schnelle Schließ- und Öffnungszeiten. Wegen des geringen Betriebsdruckes sind aber keine großen Spannkräfte erreichbar. Hydraulische Spannelemente können demgegenüber je nach Druckeinstellung hohe Spannkräfte ausüben.

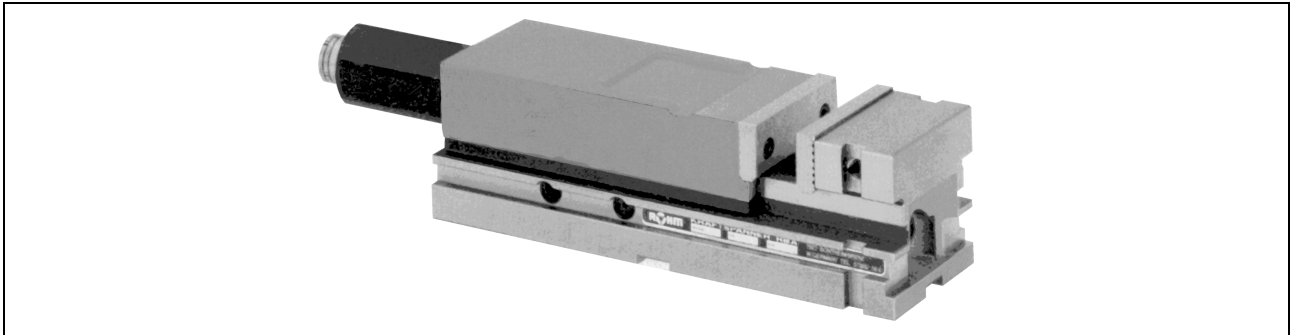


Abbildung 157
NC-Kraftspanner Röhm RBA

Der Aufbau eines NC-Kraftspanners ist im folgenden Bild chematisch dargestellt.

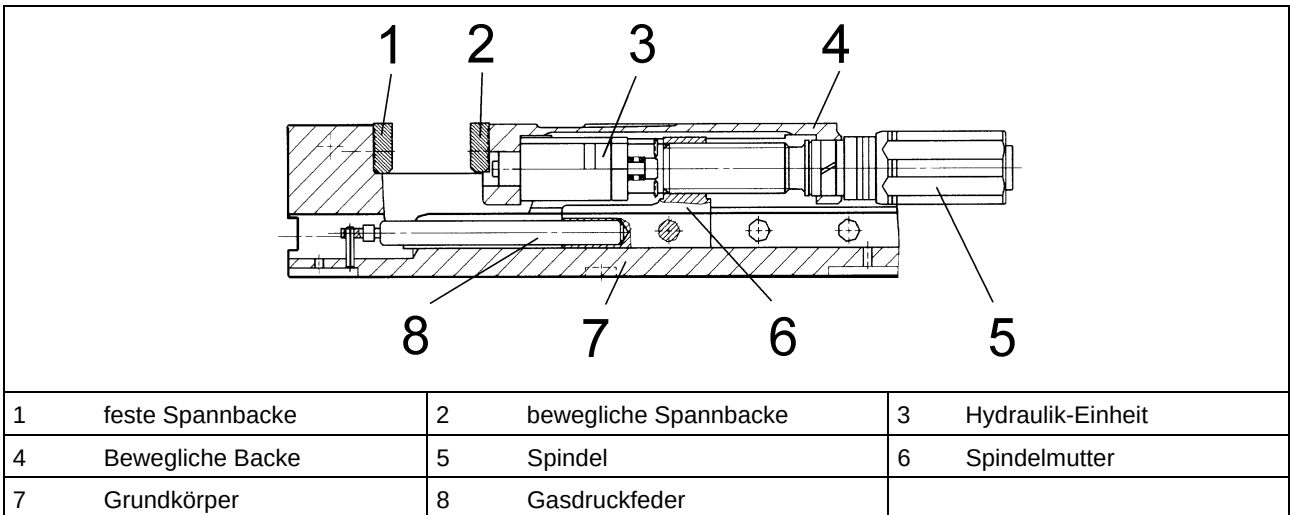


Abbildung 158
NC-Kraftspanner Röhm RBA

Magnetische Spanneinrichtungen

Das Spannen von Werkstücken aus Eisenwerkstoffen kann über elektromagnetische Spanneinrichtungen erfolgen. Das Werkstück wird nach dem Einschalten des Stromes von der Spannplatte angezogen. Nach dem Abschalten des Stromes ist ein müheloses Entfernen des Werkstückes möglich.

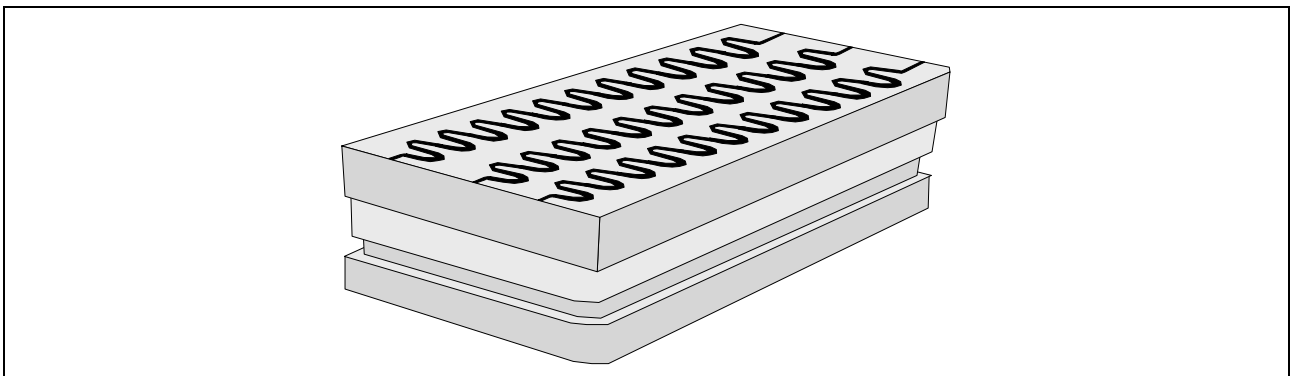
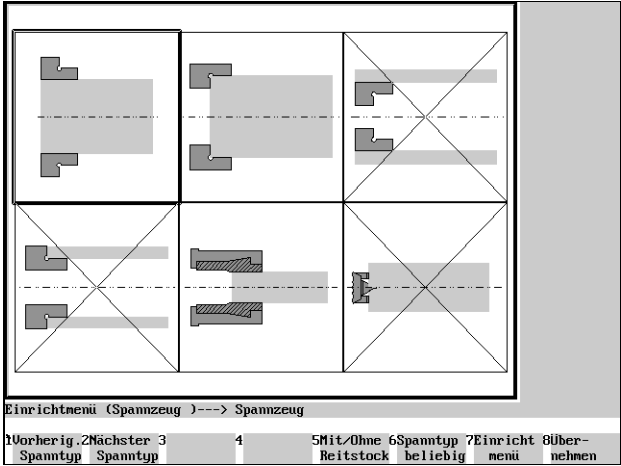
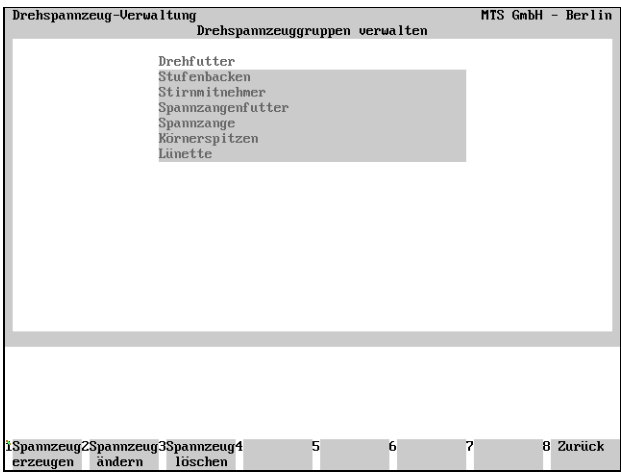
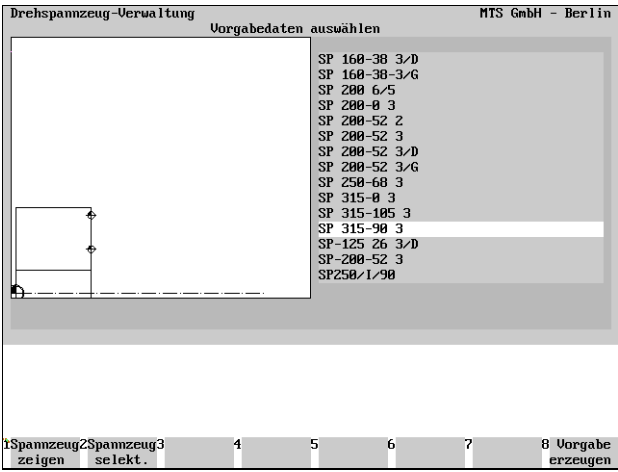
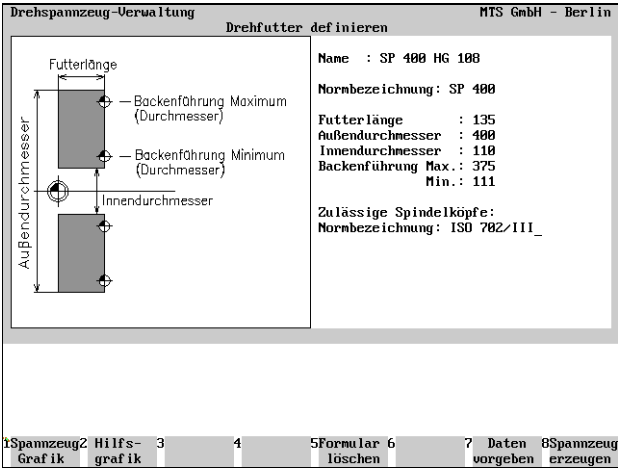


Abbildung 159
Elektromagnetische Spannplatte

CNC-Übung

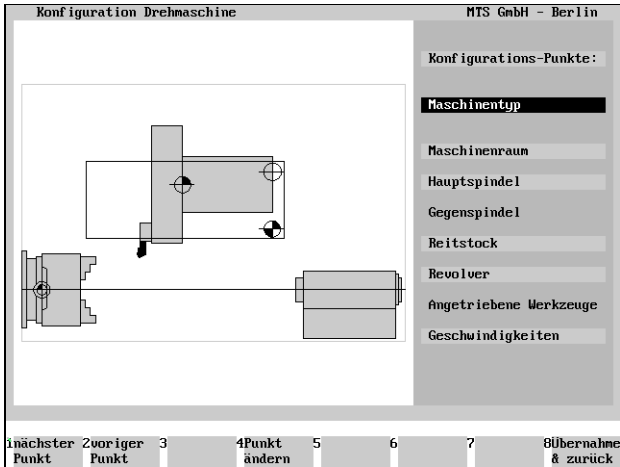
Erzeugen eines Keilstangenfutters

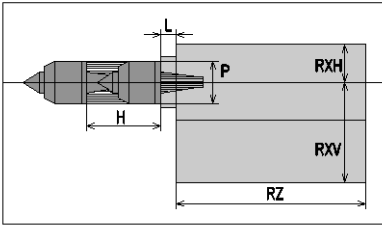
	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Drehen im Hauptmenü aufrufen..	F1 (Drehen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Das Menü für die Spannzeuge aufrufen.	F1 (Werkstück Spannzeug)
4.	Den Spanntyp auswählen.	F3 (Spannzeug wechseln) F1 oder F2 anwählen und mit F8 übernehmen.
		
5.	Das Verwaltungsmenü anwählen.	F5 (Verwalt. menü)
		
6.	Das Menü Drehfutter definieren aufrufen.	↑ oder ↓ auswählen, und mit F1 (Spannzeug erzeugen) übernehmen.

		
7.	Vorgabedaten für das Drehfutter anwählen, z.B. SP 315 - 90 3.	F7 (Daten vorgeben) Mit ↑ oder ↓ auswählen, und mit F8 (Vorgabe erzeugen) übernehmen.
8.	Eine Hilfsgrafik zu den Abmaßen aufrufen.	F2 (Hilfsgrafik)
		
9.	Die Daten für das Drehfutter schreiben.	Mit ←→ die Angaben anwählen und mit der Tastatur die Werte schreiben. Mit F8 (Spannzeug erzeugen) übernehmen.
10.	Das Menü Drehfutter definieren verlassen.	ESC F8 (zurück) F8 (Übernehmen)

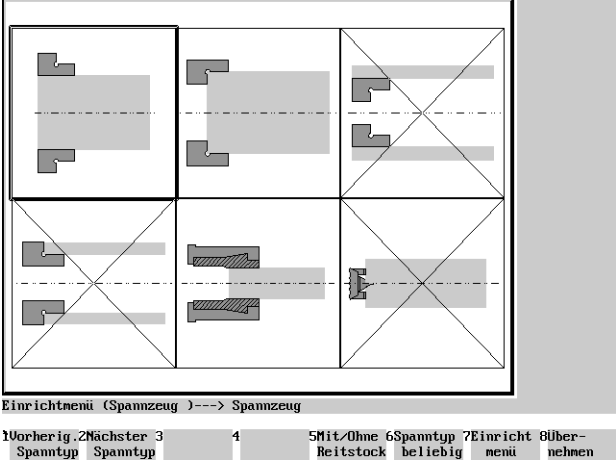
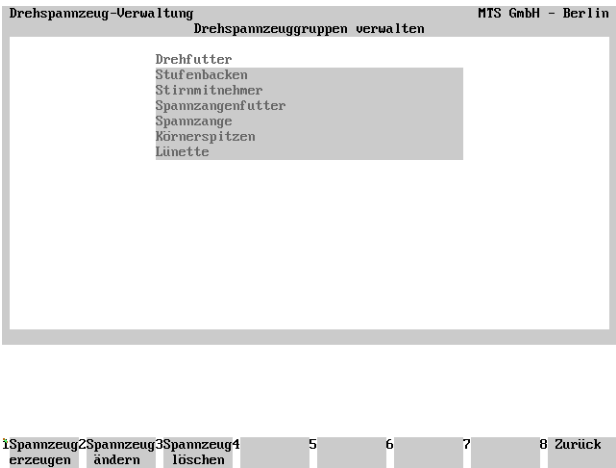
CNC-Übung

Erzeugen eines Reitstockes

	Beschreibung	Eingaben
1.	Die Konfiguration im Hauptmenu aufrufen.	F5 (Konfiguration)
2.	Die MTS-Drehmaschine anwählen.	F1 oder F2 anwählen
3.	Die Konfigurationsverwaltung aufrufen.	F5 (Konfig verwalten)
4.	Erzeugen einer neuer Konfiguration.	F1 (Erzeugen)
5.	Neuen Namen eingeben, z.B. DS2.	Mit der Tastatur den Namen „DS2“schreiben. F8 (Erzeugen)
6.	Die Vorgabedaten wählen, MTS 6 Turnung Machine.	↑ oder ↓ auswählen F8 (Vorgeben)
		
7.	Den Konfigurationspunkt „Reitstock“ anwählen.	F1 oder F2 anwählen
8.	Die Reitstockdaten ändern.	F4 (Punkt ändern)

	Konfiguration Drehmaschine  MTS GmbH - Berlin Reitstock Gehäuselänge: 200 RZ 200 Maß hinter Drehmitte: 50 RXH 50 Maß vor Drehmitte: 100 RXV 100 Pinolendurchmesser: 60 P 60 P-länge (eingefahren): 15 L 15 Pinolenhub: 50 H 50 Pin.spitzenaufnahme: * Typ * Verfahrbereich: ZMAX 800 ZMIN 50 Schrittweite: DZ 25 Maximaler Vorschub: FMAX (mm/min) inächstes Feld 2.voriges Feld 3 4 5 6 7 8Übernahme & zurück	
9.	Die Reitstockdaten schreiben	F1 oder F2 anwählen der einzelnen Punkte. Mit der Tastatur die Werte schreiben. Mit F8 (Übernahme & zurück) die Änderungen übernehmen.
10.	Das Menü Konfiguration Drehmaschine verlassen.	F8 (Übernahme & zurück) F8 (Übernahme & Beenden)

Erzeugen eines Schraubstockes

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Fräsen im Hauptmenü aufrufen..	F2 (Fräsen)
2.	Den Einrichtbetrieb anwählen.	F3 (Einrichtbetrieb)
3.	Das Menü für die Spannzeuge aufrufen.	F1 (Werkstück Spannzeug)
4.	Den Spanntyp auswählen.	F3 (Spannzeug wechseln) F1 oder F2 anwählen und mit F8 übernehmen.
		
5.	Das Verwaltungsmenü anwählen.	F5 (Verwalt. menü)
		
6.	Das Menü Drehfutter definieren aufrufen.	↑ oder ↓ auswählen, und mit F1 (Spannzeug erzeugen) übernehmen.

7.	Vorgabedaten für das Drehfutter anwählen, z.B. SP 315 - 90 3. F7 (Daten vorgeben) Mit ↑ oder ↓ auswählen, und mit F8 (Vorgabe erzeugen) übernehmen.
8.	Eine Hilfsgrafik zu den Abmaßen aufrufen. F2 (Hilfsgrafik)
9.	Die Daten für das Drehfutter schreiben. Mit ← die Angaben anwählen und mit der Tastatur die Werte schreiben. Mit F8 (Spannzeug erzeugen) übernehmen.
10.	Das Menü Drehfutter definieren verlassen. ESC F8 (zurück) F8 (Übernehmen)

Werkstatt

An den vorhandenen Werkzeugmaschinen sollen Werkstücke gespannt werden, wobei auf mögliche Spannfehler hingewiesen werden soll.

Kenntnistest „Technologische Grundlagen“

1.	Woraus besteht ein Werkzeugsystem an CNC-Drehmaschinen?
2.	Warum werden vorwiegend Hartmetall-Wendeschneidplatten bei Werkzeugen für CNC-Werkzeugmaschinen angewendet?
3.	Nenne in groben Zügen die Anwendungsbereiche von Hartmetallsorten.
4.	Erkläre die Bedeutung des Freiwinkels bei Zerspanungswerkzeugen.
5.	Welche Vorteile hat ein größerer Spanwinkel beim Zerspanungsvorgang?
6.	Welche Nachteile hat ein größerer Spanwinkel beim Zerspanungsvorgang?
7.	Wann sind negative Spanwinkel erforderlich?
8.	Welche Bedeutung hat der Einstellwinkel beim Zerspanungsvorgang ?
9.	Aufgabe: Berechnung der Drehzahl Eine Welle mit einem Durchmesser von $d=80\text{mm}$ soll mit $v_c=120\text{m/min}$ geschruppt werden. Wie hoch ist die Drehzahl n ?
10.	Aufgabe: Berechnung der Schnittgeschwindigkeit Eine Scheibe mit einem Durchmesser von $d=250\text{mm}$ dreht sich mit $n=100 \text{ /min}$. Wie hoch ist die Schnittgeschwindigkeit v_c beim Drehen am Umfang?
11.	Nennen Sie die Aufgaben eines Spannsystems.
12.	Nennen Sie unterschiedliche Arten von Drehfuttern.
13.	Welche Teile spannt man auf Planscheiben?
14.	Wann verwenden Sie einen Setzstock?
15.	Nennen Sie unterschiedliche Arten der Spannkrafterzeugung.
16.	Nennen Sie Spannmöglichkeiten auf Fräsmaschinen.
17.	Welche Vorteile haben Vorrichtungen?

4 Einführung in die NC-Programmierung

4.1 Arbeitsorganisation und -ablauf bei der manuellen NC-Programmierung

Gegenüberstellung der Vorgehensweise bei konventioneller und CNC-Arbeitsvorbereitung

Die CNC-Fertigung besitzt gegenüber der Fertigung mit konventionellen Werkzeugmaschinen eine Reihe von Vorteilen, wie z.B. der kürzeren Durchlaufzeit und der höheren Fertigungskapazität. Um diese Vorteile nutzen zu können, muß die Arbeitsvorbereitung entsprechend angepaßt werden.

Das Ziel jeder Fertigung ist, den Hauptzeitanteil an der Werkzeugmaschine, also die Zeit der Zerspanung so groß wie möglich zu halten. Bevor damit begonnen werden kann, sind viele planerische Tätigkeiten auszuführen.

An der konventionellen Werkzeugmaschine kann der Facharbeiter entweder nur fertigen oder nur planen. Durch das selbständige Abarbeiten eines NC-Programmes an der CNC-Werkzeugmaschine kann parallel dazu der Facharbeiter planerische Tätigkeiten ausführen. Schon aus diesem Grund ist der Hauptzeitanteil bei der Verwendung von CNC-Werkzeugmaschinen wesentlich größer.

Bei der Fertigung an konventionellen Werkzeugmaschinen stehen dem Facharbeiter die Werkstattzeichnung, ein Arbeitsplan und der Arbeitsauftrag zur Verfügung. Der Facharbeiter muß darüber hinaus die Arbeitsschritte detaillierter planen und die Werkzeuge auswählen. Da keine Werkzeugvermessung an konventionellen Werkzeugmaschinen möglich ist, muß bei jedem Arbeitsgang mit dem Werkzeug angekratzt und das Werkstück anschließend vermessen werden. Bei der Verwendung von CNC-Werkzeugmaschinen entfallen diese Vorgänge. Dies erfordert jedoch eine vorgeordnete Vermessung der eingesetzten Werkzeuge.

Bei der CNC-Arbeitsvorbereitung ist es möglich, viele vorbereitende Tätigkeiten von der Maschine wegzuverlegen. Das Ziel ist, für jeden Fertigungsauftrag die kompletten Unterlagen, Werkzeuge und Spannmittel sowie die Rohteile so bereitzustellen, daß unmittelbar mit dem Einrichten und dem Fertigen begonnen werden kann. Die Aufgaben der Arbeitsvorbereitung lassen sich in die folgenden Bereiche einteilen:

- Erstellung der benötigten Unterlagen,
- Vermessung der Werkzeuge,
- Verwaltung von Werkzeugen und Spannmitteln und
- Bereitstellung aller Unterlagen und Hilfsmittel.

Die bei der CNC-Fertigung benötigten Unterlagen sind im Gegensatz zur Fertigung mit konventionellen Werkzeugmaschinen ausführlicher. Deren Erstellung benötigt mehr Zeit, jedoch stehen sie dann für Wiederholaufträge sofort zur Verfügung.

Neben dem NC-Programm wird zum Einrichten der CNC-Werkzeugmaschine ein Einrichteblatt erstellt. In ihm sind alle Angaben zu den verwendeten Werkzeugen und der Spannsituation des Werkstückes dokumentiert.

Die Vermessung der Werkzeuge ermöglicht erst den selbständigen Betrieb der CNC-Werkzeugmaschine und die einfache Verwendung der Werkzeuge an mehreren Maschinen.

Die Verwaltung der Werkzeuge und Spannmittel ist in der CNC-Arbeitsvorbereitung umfangreicher, da im Gegensatz zu konventionellen Werkzeugmaschinen im allgemeinen vielfältigere Werkzeuge und Spannmittel zum Einsatz kommen und deren Beschreibung detaillierter ist. Die Daten werden in Werkzeug- und Spannmittelkarteien gespeichert.

Die komplette Bereitstellung aller Unterlagen, voreingestellter Werkzeuge und Hilfsmittel ermöglicht ein schnelles Einrichten der CNC-Werkzeugmaschine. Das Ziel ist, die Maschinenwartezeit zu verkürzen und damit den Hauptzeitanteil zu erhöhen.

Organisatorische Zuordnung der NC-Programmierung

Die NC-Programme können in verschiedenen Abteilungen erstellt werden. Danach unterscheiden sich die folgenden Formen der NC-Programmierung:

- Programmerstellung in der Arbeitsvorbereitung (AV-Programmierung) und
- Programmerstellung im Werkstattbereich (Werkstattprogrammierung).

Die organisatorische Eingliederung dieser beiden Formen wird im folgenden Bild dargestellt.

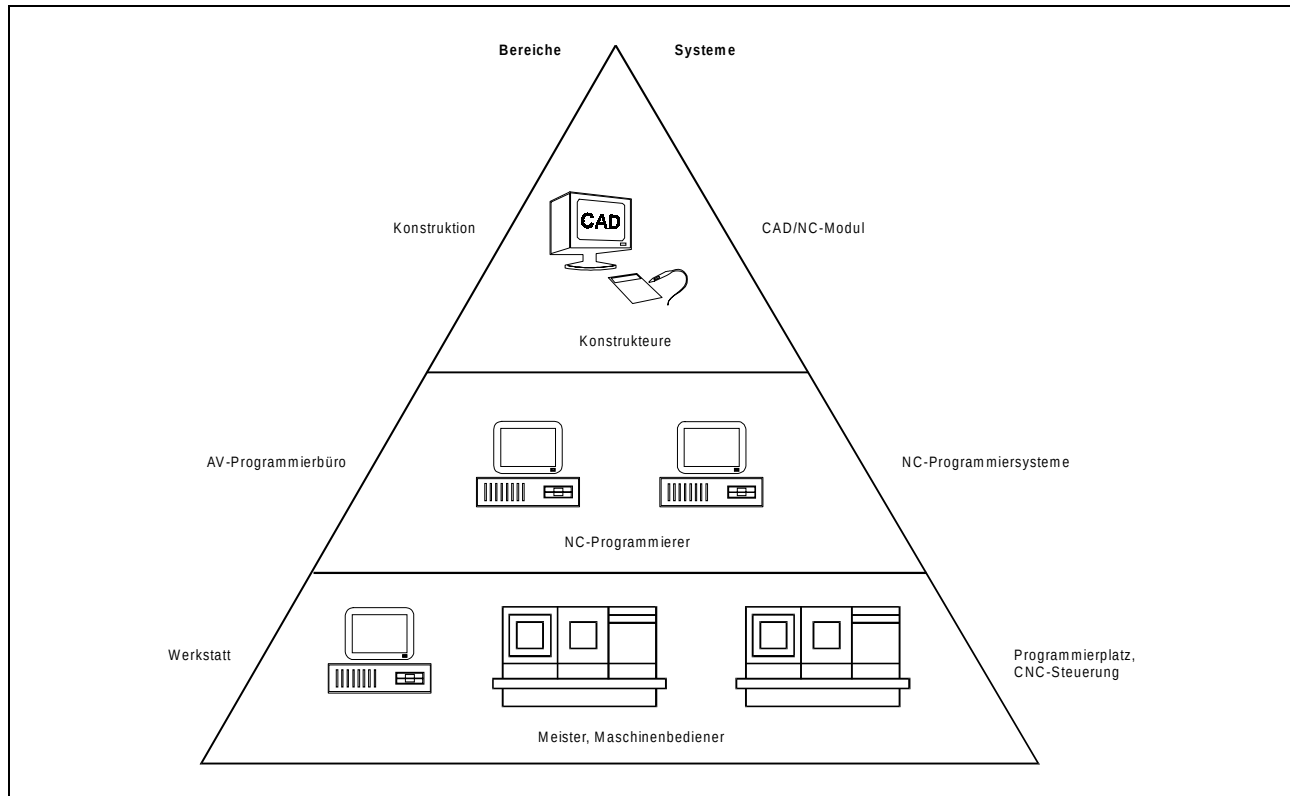


Abbildung 160
Organisatorische Eingliederung der NC-Programmierung

Programmerstellung in der Arbeitsvorbereitung

In der Abteilung Arbeitsvorbereitung werden alle planerischen Maßnahmen zur Durchführung eines Fertigungsauftrages durchgeführt. Diese planerischen Maßnahmen sind der Fertigung zeitlich vorgeordnet. Da diese Abteilung außerhalb des Werkstattbereiches liegt, spricht man auch von einer externen Programmierung.

Die NC-Programme werden von Mitarbeitern erstellt, die speziell für die NC-Programmierung ausgebildet wurden. Sie arbeiten meist an einem Programmierplatz und erstellen maschinell die Programme. Neben der Programmerstellung ist hier auch die Programmverwaltung angeliebert. Die Verbindung zu den CNC-Werkzeugmaschinen kann über einen DNC-Betrieb erfolgen.

Sinnvoll ist die Programmerstellung in der Arbeitsvorbereitung wenn:

- umfangreiche NC-Programme oder
- NC-Programme für komplizierte Werkstücke erstellt werden müssen, wenn
- viele NC-Programme verwaltet werden müssen oder
- viele CNC-Werkzeugmaschinen vorhanden sind.

Nachteilig ist, daß

- die NC-Programme an der CNC-Werkzeugmaschine optimiert werden und daß
- nur ein geringer Kontakt mit der Werkstatt besteht.

Programmerstellung im Werkstattbereich

Werden die NC-Programme im Werkstattbereich erstellt, spricht man von einer maschinennahen Programmierung. Die NC-Programme können direkt an der Maschine oder an einem Programmierplatz in der Maschinennähe erstellt werden.

Die im Werkstattbereich und die in der Arbeitsvorbereitung erstellten NC-Programme werden direkt an der CNC-Werkzeugmaschine vom Maschinenbediener beim Einrichten kontrolliert und optimiert.

Sinnvoll ist die Programmerstellung im Werkstattbereich wenn:

- die Erfahrung des Werkstattpersonals berücksichtigt werden soll,
- kurze NC-Programme oder
- NC-Programme für einfache Werkstücke erstellt werden müssen,
- nur wenige CNC-Werkzeugmaschinen vorhanden sind oder
- schnell auf vorhandene NC-Programme zurückgegriffen werden soll.

Nachteilig ist, daß

- das Werkstattpersonal speziell qualifiziert werden muß und
- eventuell ein Maschinenstillstand durch lange Programmierzeiten entsteht.

Unterschied zwischen manueller und maschineller Programmierung

Bei der manuellen Programmierung formuliert der Programmierer das NC-Programm direkt in einer der CNC-Steuerung verständlichen Form. Dabei muß jeder Schritt, den die CNC-Werkzeugmaschine ausführen soll einzeln programmiert werden.

Je nach der Leistungsfähigkeit der CNC-Steuerung und der geometrischen Kompliziertheit des Werkstückes müssen zum Teil aufwendige geometrische Berechnungen durchgeführt werden. Dabei entstehende mögliche Fehler oder Kollisionen mit z.B. Spannmitteln werden nicht automatisch erkannt. Zur Überprüfung des NC-Programmes sind in den meisten CNC-Steuerungen Simulationen integriert, mit denen die Werkzeugbewegungen dargestellt werden.

Bei der maschinellen Programmierung wird der Programmierer von einem Programmiersystem unterstützt. Dieses System übernimmt die bei der manuellen Programmierung anfallenden fehlerträchtigen Routinearbeiten, wie z.B. das Berechnen von Koordinaten und Schnittdaten.

Der prinzipielle Unterschied zum manuellen Programmieren besteht darin, daß nicht der Werkzeugweg Schritt für Schritt beschrieben wird, sondern das Werkstück, wie es nach der Bearbeitung aussehen soll. Dazu ist eine strikte Trennung zwischen den geometrischen und technologischen Daten vorgesehen.

Der Arbeitsablauf zur Erstellung eines NC-Programmes bei der maschinellen Programmierung ist nachfolgend beschrieben.

1. Im ersten Schritt wird das Werkstück geometrisch beschrieben. Notwendig ist die Darstellung der Fertigteilform, aber auch der Rohteilform.
2. Anschließend folgt die Festlegung der einzelnen Bearbeitungen. Das Programmiersystem hilft dem Programmierer, unter Berücksichtigung aller verfügbaren Werkzeuge eine geeignete Auswahl zu treffen und berechnet automatisch die notwendigen Schnittdaten.
3. Zum Schluß wird ein NC-Programm für eine spezielle CNC-Werkzeugmaschine mit einer speziellen CNC-Steuerung erzeugt, das dann an die Maschine übertragen werden kann.

Die CNC-Programmierung kann mit verschiedenen Verfahren an unterschiedlichen Orten durch geführt werden. Eine Übersicht über diese Möglichkeiten ist im folgenden Bild dargestellt.

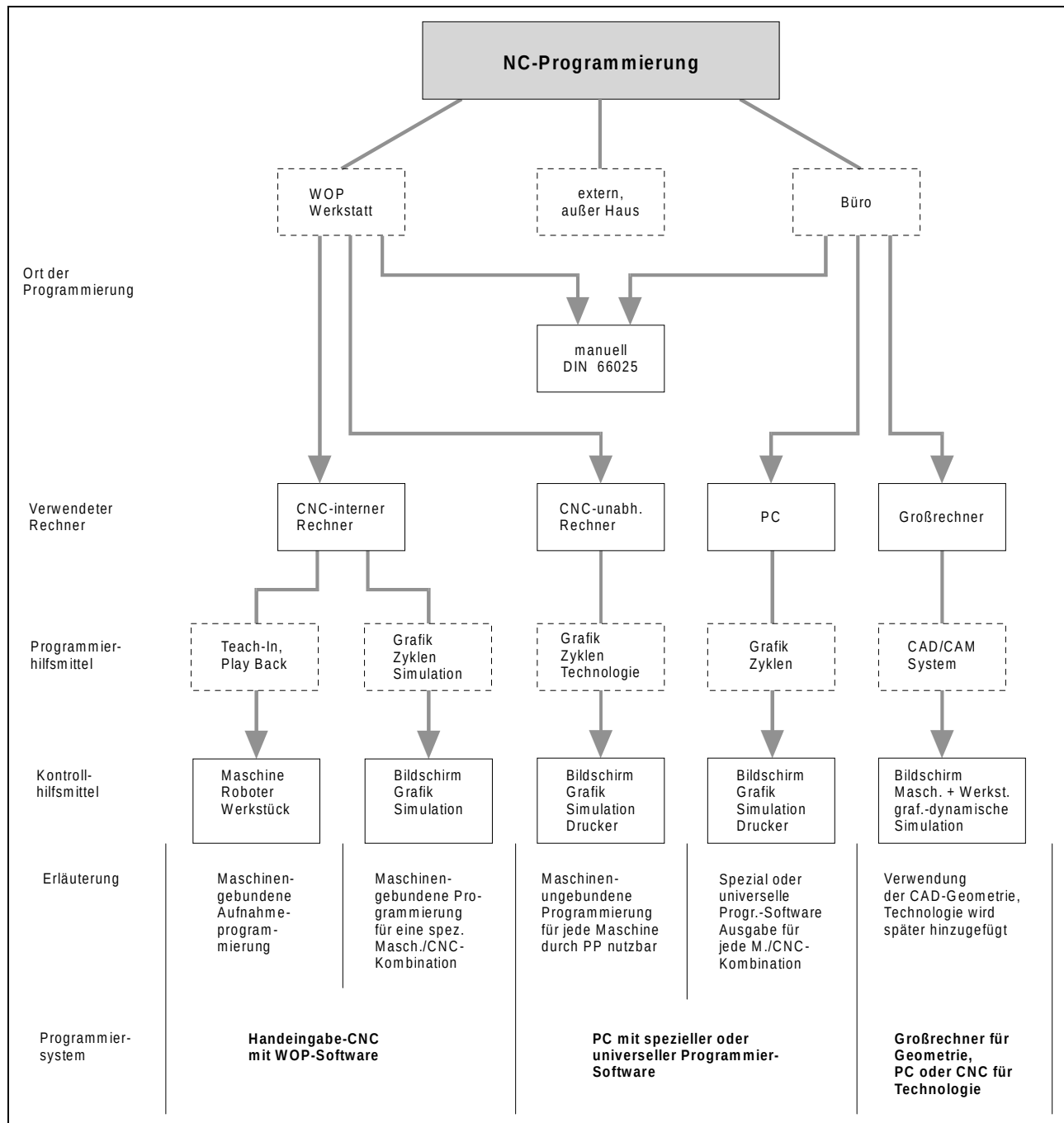


Abbildung 161
Gliederung der NC-Programmierverfahren und -systeme

Prinzipielles Vorgehen bei der manuellen NC-Programmierung an einem Programmierplatz

Die Fertigung auf CNC-Werkzeugmaschinen setzt eine sorgfältige Planung und Fertigungsvorbereitung voraus. Alle Tätigkeiten, die ein Fachmann an einer herkömmlichen Dreh- oder Fräsmaschine ausführt, müssen für die Fertigung auf einer CNC-Werkzeugmaschine vom Programmierer im voraus durchdacht und beschrieben sein.

Bei der manuellen NC-Programmierung formuliert der Programmierer die Bearbeitungsaufgabe in einem NC-Programm, ohne durch ein Programmiersystem unterstützt zu werden. Prinzipiell wird dabei nach dem folgenden Schema vorgegangen:

1. Festlegung des Bearbeitungsablaufs
2. Bestimmung der notwendigen Werkzeuge
3. Ermittlung der technologischen Daten
4. Ermittlung der geometrischen Daten
5. Erstellung des NC-Programms für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge
6. Kontrollieren des NC-Programms

Die dabei auszuführenden Teilaufgaben sind im Bild 162 dargestellt und nachfolgend erläutert.

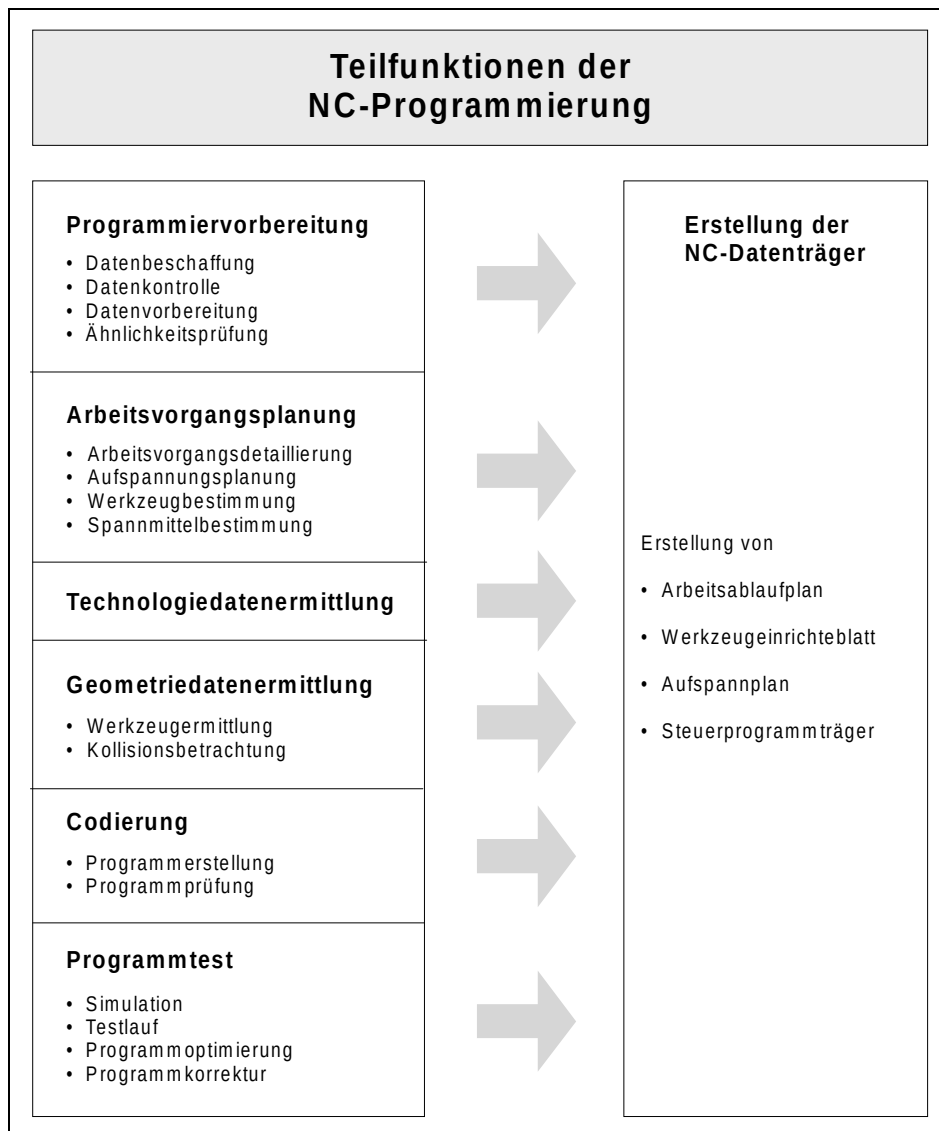


Abbildung 162
Teilfunktionen der NC-Programmierung

Festlegung des Bearbeitungsablaufs

Die Festlegung des Bearbeitungsablaufes strukturiert das zu erstellende NC-Programm. Ausgehend von der Fertigungszeichnung legt der Programmierer die einzelnen Arbeitsgänge fest. Zusätzlich werden die notwendigen Aufspannungen und die zu verwendenden Spannmittel in einem Aufspannplan sowie die einzelnen Bearbeitungsschritte in einem Arbeitsablaufplan festgehalten.

Bestimmung der notwendigen Werkzeuge

Hier legt der Programmierer die benötigten Werkzeuge für die einzelnen Bearbeitungsschritte fest. Die Werkzeuge wählt er aus einer Werkzeugkartei aus.

Ermittlung der technologischen Daten

Für jeden Bearbeitungsschritt müssen die Schnittdaten in Abhängigkeit des Werkstoffes und des verwendeten Werkzeuges bestimmt werden.

Ermittlung der geometrischen Daten

Aus der Fertigungszeichnung werden die für die Programmierung der Verfahrbewegungen benötigten Koordinaten entnommen oder durch eine Nebenrechnung aus bekannten Koordinaten bestimmt.

Erstellung des NC-Programms für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge

Mit Hilfe der vorher ermittelten geometrischen und technologischen Daten werden die einzelnen Programmschritte in einem Programmierblatt festgehalten.

Kontrollieren des NC-Programms

An der CNC-Werkzeugmaschine werden die Verfahrbewegungen simuliert, um Fehler bei der Programmierung zu erkennen und zu kontrollieren.

Qualitätssicherung in der CNC-Fertigung

Auf konventionellen Werkzeugmaschinen gefertigte Teile sind in erster Linie von der Qualifikation und der Beständigkeit des Maschinenbedieners abhängig. Dagegen kann man mit CNC-Maschinen über einen längeren Zeitraum identische Werkstücke mit gleichbleibender Qualität fertigen.

Folgende Faktoren können die Qualität der gefertigten Werkstücke beeinflussen:

- das erstellte NC-Programm,
- der auftretende Werkzeugverschleiß (Standzeit der Werkzeugschneide),
- das Material der Werkstücke (Eigenschaften und Form),
- die CNC-Maschine selbst (Genauigkeit und schwingungsfreies Aufstellen),
- Umwelteinflüsse (Wechselwirkung von Temperaturen) und
- das Verhalten des Bedieners (Erkennen von Fehlern, die zu einer Qualitätsminderung führen).

Möglichkeiten der Qualitätsbeeinflussung

Wie kann man die Einflußfaktoren auf die Qualität minimieren?

- Das erstellte NC-Programm testen, optimieren und sorgfältig beim ersten Werkstück einfahren sowie die eventuell notwendigen Korrekturen für die exakte Maßhaltigkeit durchführen.
- Der Werkzeugverschleiß kann an einer CNC-Maschine überwacht werden. Diese Überwachungsfunktion wird durch die CNC-Steuerung vorgenommen, z.B. wird beim Erreichen der maximalen Standzeit das bisherige Werkzeug durch ein anderes identisches Werkzeug automatisch ersetzt. Eine andere Möglichkeit ist, den Verschleiß anhand der steigenden Schnittkraft festzustellen. Dazu sind moderne CNC-Maschinen mit Schnittkraftmessern ausgerüstet. Steigt die Schnittkraft über ein gesetztes Limit, wird automatisch ein Werkzeugwechsel vorgenommen.
- Maßabweichungen können durch integrierte Meßsysteme erkannt werden. Bei der internen Werkzeugvermessung wird, z.B. bei einer CNC-Drehmaschine ein Meßtaster in einer kollisionsfreien Stellung im Revolver mit aufgenommen (vgl. Abbildung 163). In der zyklischen Abfolge der Teilefertigung wird ein Meßvorgang mit eingeplant und automatisch eingeleitet. Für die Ausführung steht der CNC-Steuerung ein CNC-Meßprogramm zur Verfügung.

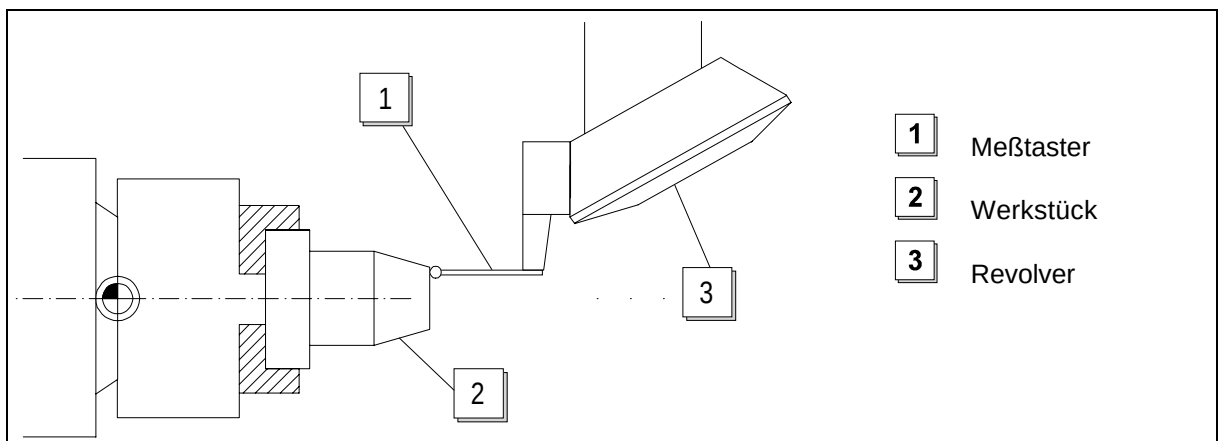


Abbildung 163
Interne Werkstückvermessung

- Exaktes Messen und Prüfen mit geeichter Meß- und Prüftechnik.
- Schulung des Bedienpersonals.
- Die Werkstatt Räume klimatisieren.
- Beim Kauf der Maschine und deren Aufstellung auf Qualität achten.

Werkstatt

Je nach den vorhandenen Möglichkeiten sollen den Schülern die unterschiedlichen Programmierverfahren, die NC-Programmverwaltung sowie die Spann- und Werkzeugkarteien vorgeführt werden.

4.2 Grundlagen der NC-Programmierung

Ein NC-Programm besteht aus einer Abfolge von Befehlen, die die CNC-Werkzeugmaschine veranlassen, ein bestimmtes Werkstück herzustellen.

Dieses NC-Programm enthält für jeden Bearbeitungsvorgang an einer CNC-Werkzeugmaschine einen Befehl mit den entsprechenden Informationen. Diese Befehle sind in alphanumerischer Form verschlüsselt, das heißt, sie bestehen aus Buchstaben, Zahlen und Zeichen.

Normung der NC-Programmierung

Mit der DIN-Norm 66025 wurde versucht, die NC-Programmierung von Maschinen im Fertigungsbereich zu vereinheitlichen. Dabei beschränkte man sich jedoch auf die Normung eines gewissen Grundvorrats an Befehlen sowie den allgemeinen Aufbau eines NC-Programms. Die Hersteller von CNC-Steuerungen haben einen großen Spielraum für die Bereitstellung eigener NC-Befehle an ihren Steuerungen. Im folgenden wird der allgemeine Aufbau eines NC-Programms nach DIN 66025 dargestellt.

Aufbau eines NC-Programms

Der grundsätzliche Aufbau eines NC-Programms ist nach DIN 66025 genormt und wird im folgenden dargestellt.

Aufbaustruktur des NC-Programms:

Ein vollständiges NC-Programm besteht aus den folgenden Bestandteilen.

% TP0147	dem NC-Programmanfang,
N10 G54 X80 Y100...	einer Folge von NC-Sätzen
...	mit den Informationen für die Bearbeitung und
N75 G01 Z-10 F0.3 S1800 T03 M08	
...	
N435 M30	einem Befehl für das Programmende.

Abbildung 164

Aufbau eines NC-Programmes

Der **Programmanfang** besteht aus einem Zeichen oder einem Befehl (Bsp.:%), der der CNC-Steuerung mitteilt, daß nun ein NC-Programm folgt. Zusätzlich beinhaltet die erste Zeile des NC-Programms auch seinen Namen (Bsp.: TP0147). Beide Merkmale dienen auch der Verwaltung der NC-Programme sowie ihrem Aufruf an der CNC-Steuerung.

Die Namen von NC-Programmen können alphanumerische oder numerische Zeichen beinhalten. Bei den meisten CNC-Steuerungen werden 2 bis 6-stellige Zeichenfolgen für die Benennung benutzt.

Ein NC-Programm besteht aus einer chronologischen Folge von **Sätzen**. In ihnen sind die programmtechnischen, geometrischen und technologischen Informationen enthalten, die die CNC-Steuerung für jeden Bearbeitungsschritt benötigt.

Das **Programmende** wird durch die Befehle M30 oder M02 programmiert.

Alles was zur Kommentierung des Programms vor dem Zeichen % geschrieben steht, wird von der Steuerung ignoriert. Das ermöglicht zugleich, daß alle notwendigen Erläuterungen zum Programm oder zum Werkstück vor dem eigentlichen Programm angebracht werden können. Kommentare sind aber auch innerhalb eines Programmes möglich, z.B. zur Kennzeichnung besonderer Sätze. Jedoch sind diese in Klammern zu setzen.

Struktur eines Programmsatzes

Jeder NC-Satz besteht aus einer Satznummer, einer Anzahl von Wörtern sowie einem speziellen Steuerzeichen, das der CNC-Steuerung mitteilt, wann ein NC-Satz zu Ende ist. Dieses Steuerzeichen wird mit LF bezeichnet. LF bedeutet Line feed (engl.), d. h. Zeilenvorschub. Es wird bei der NC-Programmierung automatisch erzeugt, wenn nach der Eingabe eines NC-Satzes die Übernahme-Taste der CNC-Steuerung bzw. die Enter-Taste der PC-Tastatur betätigt wird.

N75	G01	Z-10.75	F0.3	S1800	T03	M08	LF
Nummer des NC-Satzes	Wort	Wort	Wort	Wort	Wort	Wort	unsichtbares Satzendezeichen

Abbildung 165
Struktur eines Programmsatzes

Struktur eines Programmwortes

Ein Wort besteht aus einem Adreßbuchstaben und einer Zahl mit Vorzeichen. Die Bedeutung und die Reihenfolge sind in den Programmieranleitungen der jeweiligen CNC-Steuerungssysteme festgelegt. Die Zahl besitzt dabei in Abhängigkeit vom Adreßbuchstaben entweder die Bedeutung eines Codes oder die eines Wertes.

Beispiel	Adresse	Zahl	Bedeutung
N75	N	75	Für die Adresse N bezeichnet die Zahl 75 die Nummer des NC-Satzes.
G01	G	01	Für die Adresse G hat die Zahl 01 die Bedeutung eines Codes. Der NC-Befehl G01 steht dabei für das „Verfahren des Werkzeugs auf einer Geraden in Vorschubgeschwindigkeit“.
Z-10.75	Z	-10.75	Für die Adresse Z hat die Zahl -10.75 die Bedeutung eines Wertes. Z-10.75 bedeutet im Zusammenhang mit dem NC-Befehl G01 des obigen NC-Satzbeispiels, daß das Werkzeug auf die Position Z=-10.75 im aktuellen Werkstückkoordinatensystem verfahren soll.

Abbildung 166
Struktur eines Programmwortes

Die Form der Zahlenangabe ist von der jeweiligen CNC-Steuerung abhängig: Z-35.5 entspricht z. B. exakt der gleichen Zielkoordinate wie die Zahlenangabe Z-035.500. Bei den meisten CNC-Steuerungen kann das positive Vorzeichen „+“ im NC-Programm weggelassen werden.

Im allgemeinen unterscheidet man drei Gruppen von Wörtern eines NC-Satzes voneinander:

Wegbedingungen	Koordinatenangaben	Zusatz- und Schaltfunktionen
G00	X	F
G01	Y	S
G02	Z	T
G54		M

Abbildung 167
Gruppen von Programmwörtern

Die Reihenfolge der Wörter in einem NC-Satz ist wie folgt festgelegt:

	Adresse	Bedeutung
1.	N	Satznummer
2.	G	Wegbedingung
3.	X, Y, Z	Koordinaten
4.	I, J, K	Interpolationsparameter
5.	F	Vorschub (engl.: <u>f</u> eed)
6.	S	Spindeldrehzahl (engl.: <u>s</u> peed)
7.	T	Werkzeugposition (engl.: <u>t</u> ool)
8.	M	Zusatzfunktion

Abbildung 168

Reihenfolge der Programmwörter

In einem Satz können diejenigen Wörter weggelassen werden, für die in diesem Satz keine Informationen benötigt werden.

Satznummer N

Das erste Wort eines Satzes, die Satznummer kennzeichnet den Satz. Sie darf in einem NC-Programm nur einmal vergeben werden. Die Satznummer hat keinen Einfluß auf die Abarbeitung der einzelnen Sätze, da sie nach der Reihenfolge ihrer Eingabe in die Steuerung aufgerufen werden.

Wegbedingung G

Die Wegbedingungen legen zusammen mit den Wörtern für die Koordinaten im wesentlichen den geometrischen Teil des NC-Programmes fest. Sie bestehen aus dem Adreßbuchstaben G und einer zweistelligen Schlüsselzahl.

Koordinaten X, Y, Z

Die Koordinaten X, Y, Z beschreiben die Zielpunkte, die für die Verfahrbewegungen benötigt werden.

Interpolationsparameter I, J, K

Die Interpolationsparameter I, J, K dienen z.B. bei der Kreisbewegung zur Beschreibung des Kreismittelpunktes. Sie werden meist inkremental eingegeben.

Vorschub F

Die Geschwindigkeit, mit der sich das Werkzeug bewegen soll, wird mit der Funktion F programmiert. Die Vorschubgeschwindigkeit wird meist in mm/min eingegeben. Bei der Bearbeitungsart Drehen ist auch die auf eine Spindelumdrehung bezogene Einheit mm/U möglich.

Spindeldrehzahl S

Die Funktion S dient zur Eingabe der Spindeldrehzahl. Sie kann in Umdrehungen pro Minute direkt programmiert werden.

Werkzeugposition T

Die Adresse T mit der folgenden Schlüsselzahl bezeichnet ein bestimmtes Werkzeug. Die Bedeutung dieser Adresse ist je nach Steuerung unterschiedlich und kann folgende Aufgaben haben:

- Abspeichern der Werkzeugmaße im Werkzeugkorrekturspeicher und
- Aufruf des Werkzeuges aus dem Werkzeugmagazin.

Zusatzfunktion M

Die Zusatzfunktionen, auch Hilfsfunktionen genannt, enthalten vorwiegend technologische Angaben, soweit diese nicht in den dafür vorgesehenen Wörtern, z.B. mit den Adreßbuchstaben F,S,T programmiert werden. Die Zusatzfunktionen werden mit dem Adreßbuchstaben M und einer zweistelligen Schlüsselzahl eingegeben.

Vergleichende Darstellung der NC-Programmierschlüssel verschiedener CNC-Steuerungen

In der DIN 66025 sind die grundlegenden Befehle genormt. Die Hersteller von CNC-Steuerungen fügen diesen Grundbefehlen eigene Erweiterungen oder Befehle zu. Nachfolgend ist ein Vergleich einiger Befehle unterschiedlicher CNC-Steuerungen aufgeführt.

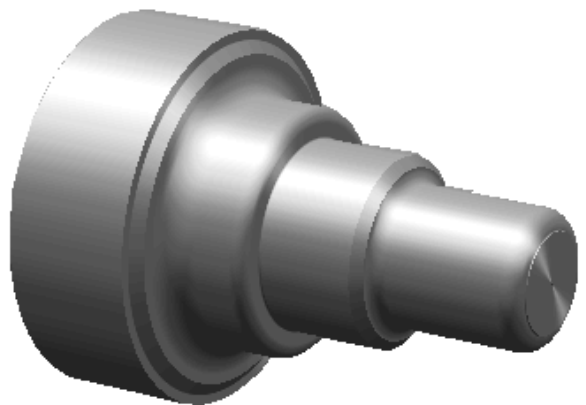
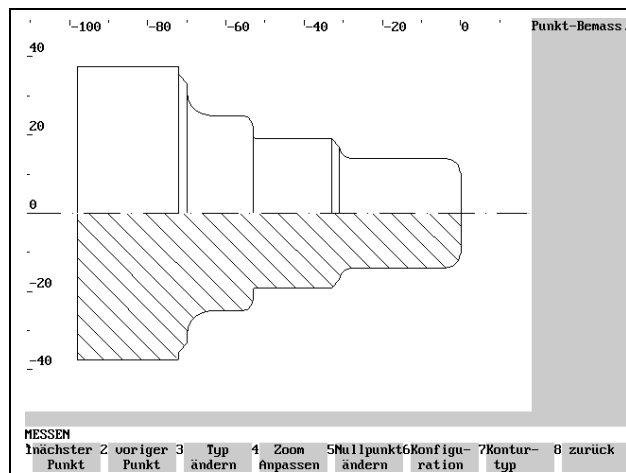
Beschreibung	MTS	SINUMERIK	HEIDENHAIN
Verfahren im Eilgang	G00	G00	L... F MAX
Geradeninterpolation im Vorschub	G01	G01	L... F...
Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn	G02	G02	C... DR-
Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn	G03	G03	C... DR+
Verweilzeit	G04	G04	
Genauhalt	G09	G09/G60(modal)	
Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (inch)	G20	G70	MOD-Funktion
Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter	G21	G71	MOD-Funktion
Unterprogrammaufruf	G22	L...(P...)	CALL LBL...
Programmteilwiederholung	G23		CALL LBL..REP..
Abwahl der Fräser/Schneidenradiuskorrektur	G40	G40	DEP...
Fräser/Schneidenradiuskorrektur links von der Kontur	G41	G41	RL
Fräser/Schneidenradiuskorrektur rechts von der Kontur	G42	G42	RR
Konturparalleles An- bzw. Abfahren der Kontur	G45		APPR/DEP LT
An- bzw. Abfahren der Kontur im Halbkreis	G46	G348 /G348	APPR/DEP CT
An- bzw. Abfahren der Kontur im Viertelkreis	G47	G247 / G248	APPR/DEP CT
Inkrementale Nullpunktverschiebung aufheben	G53		CYCL DEF 7.0 ...
Absoluten Nullpunkt setzen	G54...	G54...G57	
Inkrementale Nullpunktverschiebung	G59	G58/G59	CYCL DEF 7.0 ...
Absolutmaßprogrammierung	G90	G90	
Inkrementalmaßprogrammierung	G91	G91	
Vorschub in mm pro min	G94	G94	
Vorschub in mm pro Umdrehung	G95	G95	
Bohrzyklus (Fräsen)	G81		CYCL DEF 1.0 ...
Rechtecktaschenzyklus	G87		CYCL DEF 4.0 ...
Planschruppsyklus	G76	L95	
Konturparalleler Schruppsyklus	G83		
Einstichzyklus	G79	L93	
X-Koordinate	X	X	X
Kreismittelpunkt in Z-Richtung	K	K	CC...
Spindeldrehzahl	S	S	S
Vorschub	F	F	F
Anwählen eines Werkzeuges	T	T	TOOL CALL
Spindel einschalten im Rechtslauf	M3	M3	M3
Kühlmittel ein	M8		M8
Programmende	M30	M30	M30

CNC-Übung

Im nachfolgenden NC-Programm wird die Kontur eines schon vorbearbeiteten Drehteils geschlichtet. Geben Sie zu jedem Befehl die entsprechende Beschreibung an.

NC-Satz	Befehl	Beschreibung
	O 0300	Programname
N05	T0404	Anwahl des Werkzeuges Nr.4
	G96	Konstante Schnittgeschwindigkeit einschalten
	S140	
	M4	Spindel einschalten im Linkslauf
N10	G92	Drehzahlbegrenzung
	S3000	
N15	G0	
	X20	
	Z2	
	M8	
N20	G1	
	X20	
	Z0	
	G42	
N25	G3	
	X28	
	Z-4	
	I0	Kreismittelpunkt in X-Richtung
	K-4	
N30	G1	
	Z-28	
N35	G2	
	X34	
	Z-31	
	I3	
	K0	
N40	G1	
	X38	
	Z-33	
N45	G1	
	Z-53	
N50	G1	
	X44	

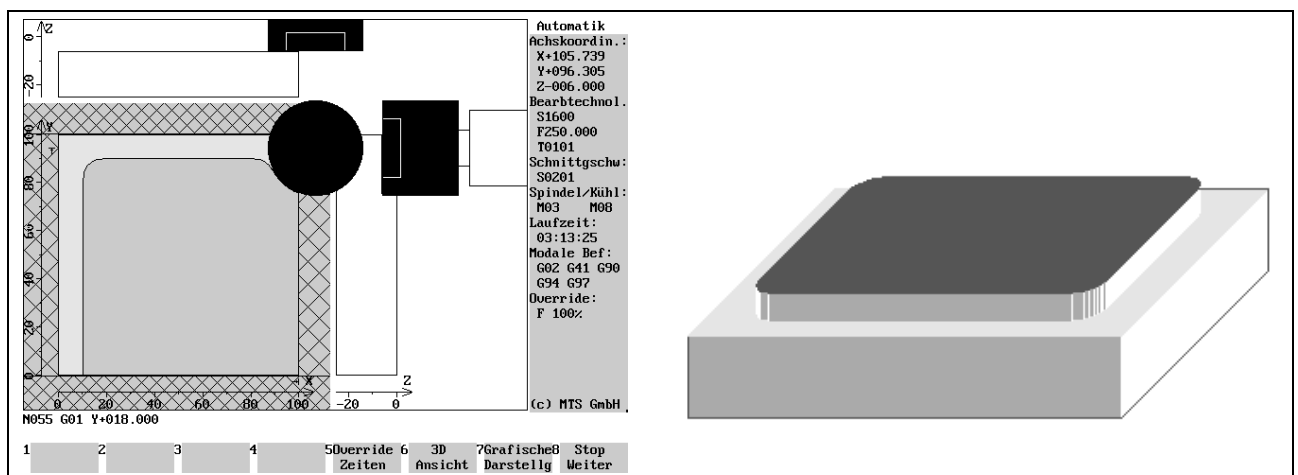
NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
N55	G3	
	X50	
	Z-56	
	I0	
	K-3	
N60	G1	
	Z-64	
N65	G2	
	X62	
	Z-70	
	I6	
	K0	
N70	G1	
	X66	
N75	G1	
	X71	
	Z-72	
N80	G1	
	X76	
N85	G40	
N90	G0	
	X200	
	Z200	
	M5	Spindel ausschalten
	M9	Kühlmittel ausschalten
N95	M30	



Im nachfolgenden NC-Programm wird die Kontur eines Werkstücks gefräst. Geben Sie zu jedem Befehl die entsprechende Beschreibung an.

NC-Satz	Befehl	Beschreibung
	FX100	Programmname
N05	G54	Absoluten Nullpunkt setzen
	X+145.000	
	Y+090.000	
	Z+114.000	
N10	T0101	
	M03	
	S1600	
N15	G00	
	X-030.000	
	Y-030.000	
N20	Z-006.000	
	M08	
N30	G41	
	G47	
	A+022.000	Radius des Viertelkreises
	G01	
	X+010.000	
	Y-002.000	
	F250.000	
N35	Y+082.000	
N40	G02	
	X+018.000	
	Y+090.000	
	B+008.000	Radius
N45	G01	
	X+082.000	
N50	G02	
	X+090.000	
	Y+082.000	
	B+008.000	Radius
N55	G01	
	Y+018.000	
N60	G02	
	X+082.000	
	Y+010.000	
	B+008.000	Radius

NC-Satz	Befehl	Beschreibung
N60	G02	
	X+082.000	
	Y+010.000	
	B+008.000	Radius
N65	G01	
	X+018.000	
N70	G02	
	X+010.000	
	Y+018.000	
	B+008.000	
N75	G03	
	X-010.000	
	Y+048.000	
	B+030.000	
N80	G40	
	G47	
	A+022.000	
N85	G00	
	Z+100.000	
	M05	Spindel ausschalten
	M09	Kühlmittel ausschalten
N90	M30	



Werkstatt

An den CNC-Werkzeugmaschinen sollen schon vorhandene NC-Programme aufgerufen und schrittweise abgearbeitet werden. Besonders ist dabei auf das jeweilige Bedientableau mit den herstellerspezifischen Piktogrammen einzugehen.

4.3 Einführung in die manuelle NC-Programmierung

Vorgehensweise bei der manuellen NC-Programmierung

Die Vorgehensweise bei der manuellen Programmierung lässt sich in vier Arbeitsschritte einteilen:

1. Analyse von Werkstattzeichnungen
2. Festlegung von Arbeitsplänen (Arbeitsplan)
3. Auswahl von Spannmitteln und den benötigten Werkzeugen (Einrichteblatt)
4. Erstellung des NC-Programmes (Programmierblatt)

Dabei müssen mehrere Unterlagen gesichtet und analysiert sowie Pläne zur Durchführung des Fertigungsauftrages erstellt werden (vgl. Abbildung 169).

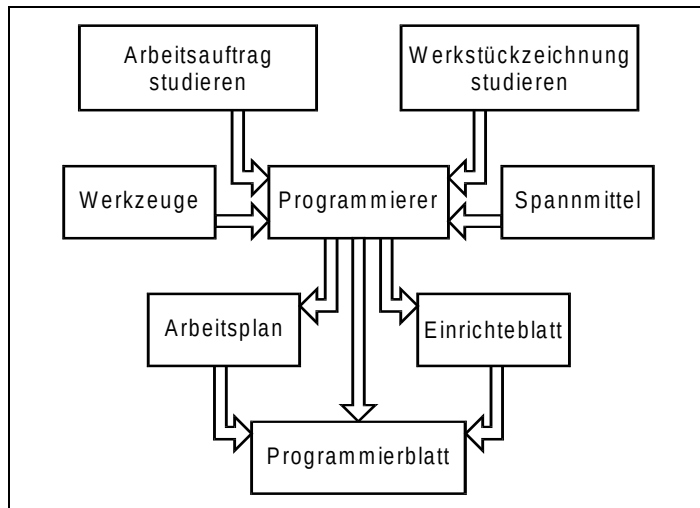


Abbildung 169
Vorgehensweise bei der manuellen Programmierung

Analyse von Werkstattzeichnungen

In der Werkstattzeichnung (vgl. Abbildung 170) sind die geometrischen und technologischen Informationen für das Fertigteil vorhanden. Dieser Zeichnung kann man die Maße, die Oberflächenangaben sowie Hinweise für das zu verwendende Fertigungsverfahren (z.B. Zerspanen, Gewindeschneiden, Härten) entnehmen. Im Arbeitsauftrag sind Angaben über die auszuführenden Arbeiten sowie über die Anzahl der Werkstücke und terminliche Vorgaben enthalten.

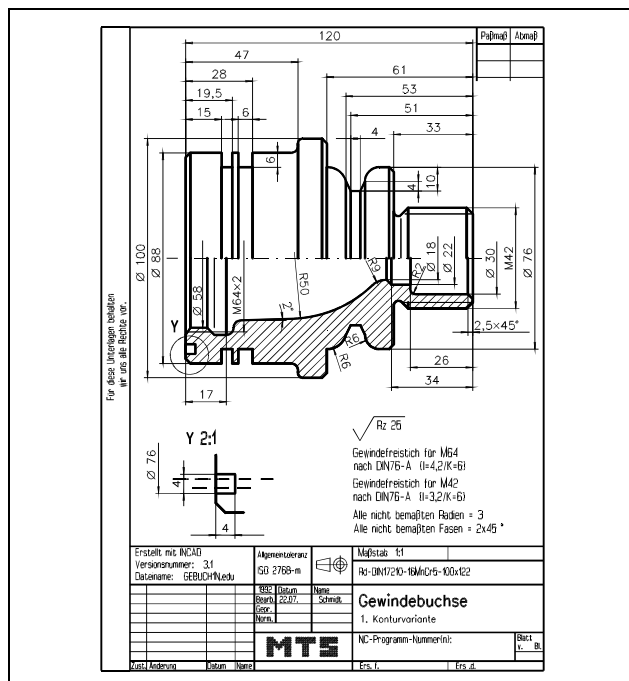


Abbildung 170
Werkstattzeichnung Drehen

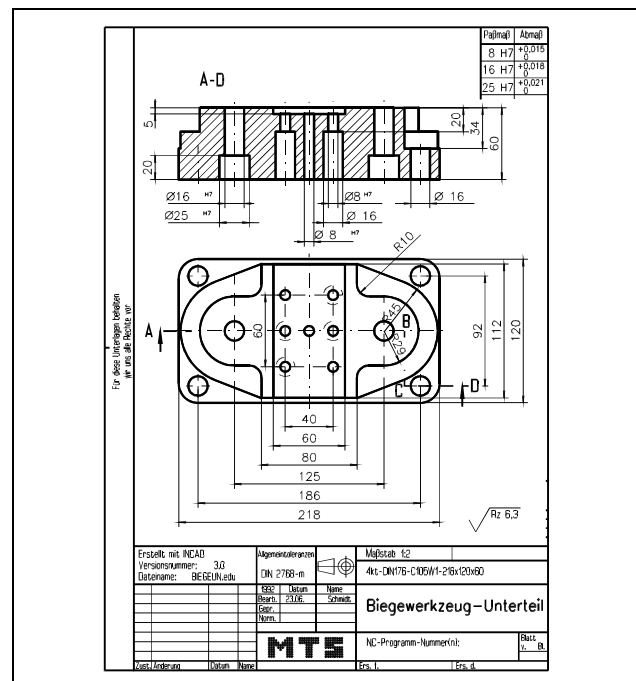


Abbildung 171
Werkstattzeichnung Fräsen

Festlegung von Arbeitsplänen

Auf der Grundlage der Werkstattzeichnung und des Arbeitsauftrages (vgl. Abbildung 172) wird der weitere Fertigungsablauf, das heißt die Folge der einzelnen Arbeitsgänge festgelegt.

Grundtyp-Nr.: 4711			Standardarbeitsplan-Nr.: 007			Datum: 13.03.91	
Grundtyp-Skizze: Zahnrad			Grenzwerte: $90 \leq Da < 150$ $35 \leq Di < 80$ $10 \leq NB < 20$ $2 \leq Z < 20$ Da = Außendurchmesser Z = Zähnezahl Di = Innendurchmesser NB = Nutbreite			Rohmaterial: Stange rund $Dr = 1.05 \times Da$ $Lr = L + 5$ Material: C45 Dr = Rohreildurchmesser Lr = Rohlänge	
AVO-Nr	Arbeitsvorgangstext	Fertigungs- hilfsmittel	Wahlarbeitsvorgang Entscheidungskriterien	Masch.- gruppe	Kosten- stelle	tr [min]	Berechnungsformel für die Stückzeit te [min/Stück]
01	sägen LR mm lang und entgraten			55/1	1101	3	$te = 0,5 \times Dr$
02	drehen und Haupt- bohrung anfertigen	Skizze	$120 \leq Da < 240$ und $30 \leq L < 80$	66/1	1212	12	$te = 1,5 \times (Dr - Da) + 0,1 \times Lr$
03	anreißen		Axialbohrungen vorhanden		1300	0	$te = 0,5 \times \text{Anzahl der Löcher}$
04	Hilfsbohrungen anfertigen		Axialbohrungen vorhanden und Bohrungs -Ø ≤ 10 mm Axialbohrungen vorhanden und Bohrungs -Ø > 10 mm	71/1 72/2	1217 1217	2 2	$te = 0,5 \times \text{Anzahl der Löcher}$ $te = 0,05 \times \text{Anzahl der Löcher} \times \text{Lochtiefe}$

Abbildung 172
Arbeitsauftrag

und in einem Arbeitsplan (vgl. Abbildung 173) festgehalten. Bereits zu diesem Zeitpunkt muß die Spannsituation berücksichtigt werden. Bei komplizierteren Spannsituationen oder bei Umspannungen ist eine Skizze der Aufspannung zu erstellen.

[illegible]

Abbildung 173
Arbeitsplan

Manuelle NC-Programmierung Drehen

CNC-Übung

Angeleitetes Erstellen von NC-Programmen für die CNC-Drehbearbeitung

Aufgabe:

Zur Herstellung des folgenden Teils soll ein NC-Programm erstellt werden.

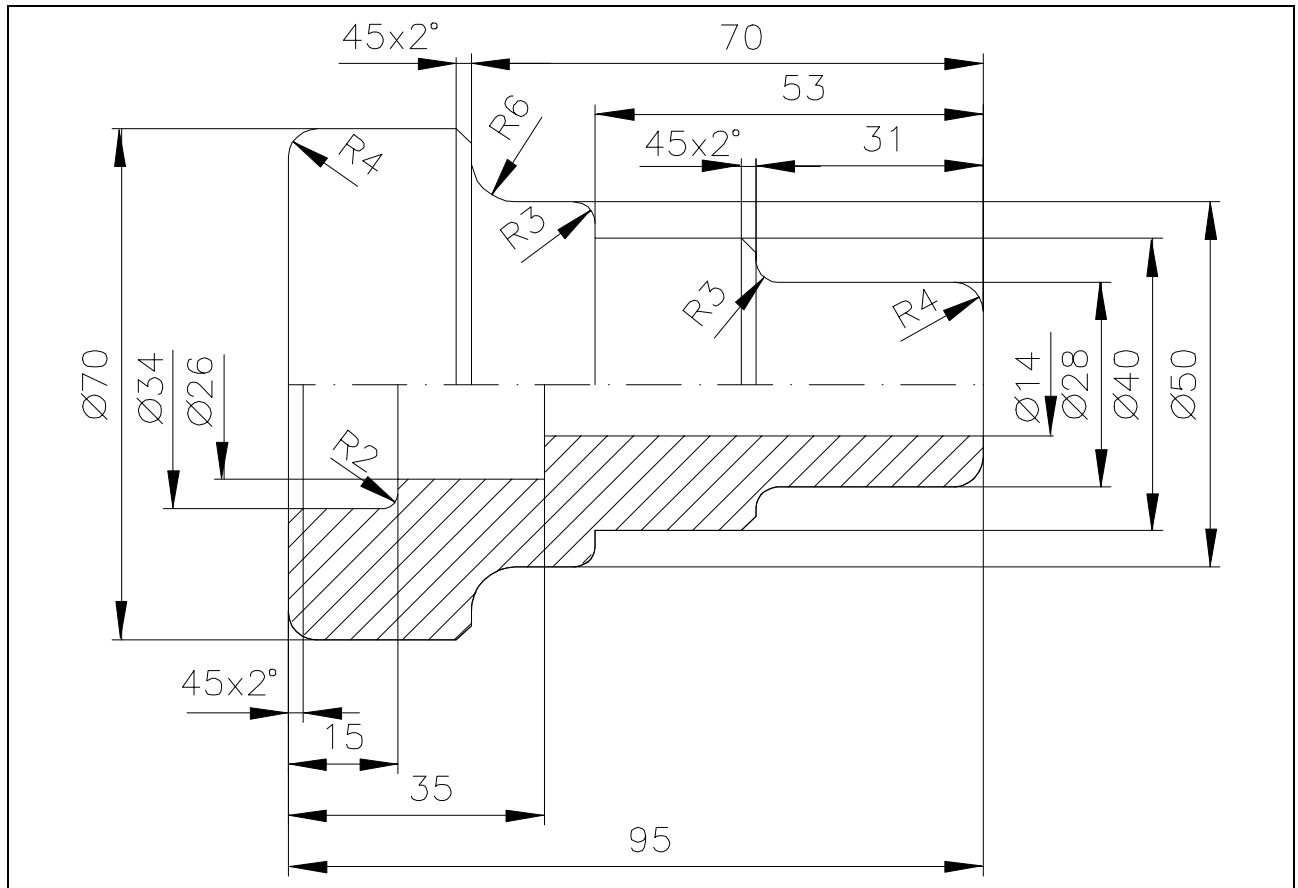


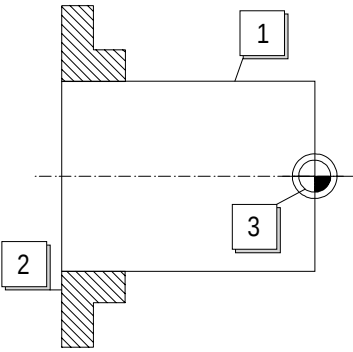
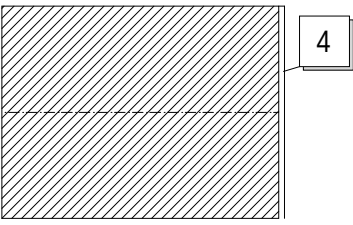
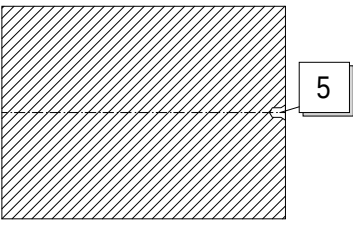
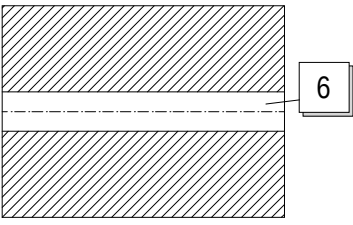
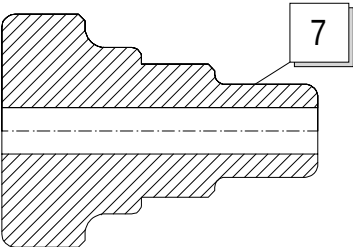
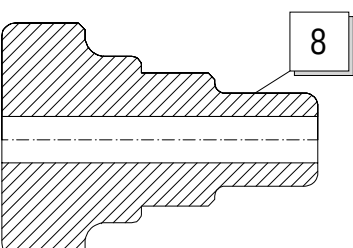
Abbildung 176

Führen Sie zur Erstellung des NC-Programmes die folgenden Schritte durch:

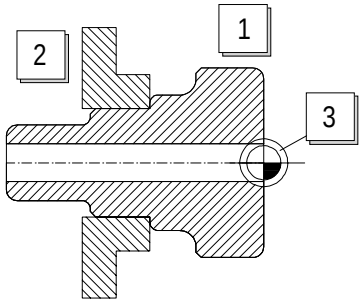
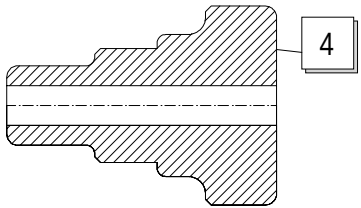
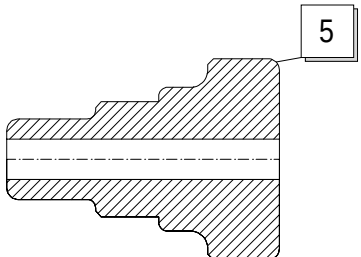
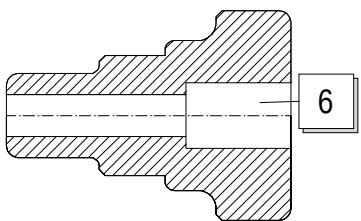
1. Festlegung eines Arbeitsplanes
2. Auswahl von Spannmitteln und den benötigten Werkzeugen
3. Erstellung des NC-Programmes
4. Simulation des NC-Programmes

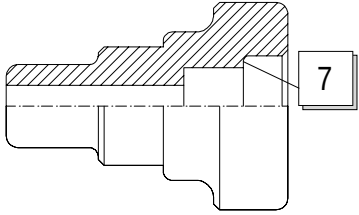
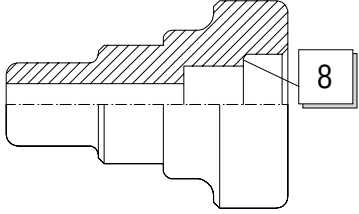
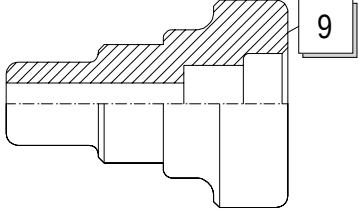
Festlegung des Arbeitsplanes

Arbeitsplan zum Bearbeiten der ersten Seite:

	Arbeitsfolge	Werkzeug	Revolverkopfstellung	Schnittwerte	Bearbeitungsskizze
1 2 3	1 Rohmaße prüfen 2 Werkstück spannen 1.Seite 3 Werkstück-Nullpunkt festlegen				 Skizze des Werkstücks mit Nullpunkt und Spannflecken. Die Skizze zeigt ein L-förmiges Bauteil mit einem Nullpunkt (Punkt 3) und zwei Spannflecken (Punkte 1 und 2).
4	Plandrehen	Linker Eckdrehmeißel CL-SCLCR-2020/R/1204 ISO30	T04	G96 F0.15 S140	 Skizze des Plandrehens. Die Skizze zeigt ein rechteckiges Bauteil mit einem Nullpunkt (Punkt 4) und einem Spannfleck (Punkt 4).
5	Zentrieren	Zentrierbohrer CD-04.00/056/R/HSS ISO30	T09	G97 F0.16 S1800	 Skizze des Zentrierens. Die Skizze zeigt ein rechteckiges Bauteil mit einem Nullpunkt (Punkt 5) und einem Spannfleck (Punkt 5).
6	Bohren	Spiralbohrer Ø 14mm DR-14.00/108/R/HSS ISO30	T07	G97 F0.22 S1000	 Skizze des Bohrens. Die Skizze zeigt ein rechteckiges Bauteil mit einem Nullpunkt (Punkt 6) und einem Spannfleck (Punkt 6).
7	Schruppen der Außenkontur	Linker Eckdrehmeißel CL-SCLCR-2020/R/1204 ISO30	T04	G96 F0.1 S140	 Skizze des Schruppens der Außenkontur. Die Skizze zeigt ein rechteckiges Bauteil mit einem Nullpunkt (Punkt 7) und einem Spannfleck (Punkt 7).
8	Schlichten der Außenkontur	Linker Eckdrehmeißel CL-SVJCR-2020/R/1604 ISO30	T02	G96 F0.1 S280	 Skizze des Schlichtens der Außenkontur. Die Skizze zeigt ein rechteckiges Bauteil mit einem Nullpunkt (Punkt 8) und einem Spannfleck (Punkt 8).

Arbeitsplan zum Bearbeiten der zweiten Seite:

	Arbeitsfolge	Werkzeug	Revolverkopfstellung	Schnittwerte	Bearbeitungsskizze
1 2 3	Werkstück prüfen Werkstück spannen 2.Seite Werkstück-Nullpunkt festlegen				
4	Plandrehen mit Aufmaß 0.2mm	Linker Eckdrehmeißel CL-SCLCR-2020/R/1204 ISO30	T04	G96 F0.28 S140	
5	Schruppen der Außenkontur	Linker Eckdrehmeißel CL-SCLCR-2020/R/1204 ISO30	T04	G96 F0.28 S140	
6	Vorbohren	Wendeplatten-Vollbohrer Ø 22mm DI-22.00/051/R/HMT ISO30	T12	G97 F0.2 S850	

	Arbeitsfolge	Werkzeug	Revolverkopfstellung	Schnittwerte	Bearbeitungsskizze
7	Innenkontur mit Aufmaß vordrehen	Innendrehmeißel nachmittig BI-SDQCL-1212/L/0704 ISO30	T05	G96 F0.2 S120	 Die Skizze zeigt einen Querschnitt eines Bauteils mit einer gestrichelten Innenkontur. Ein Pfeil weist auf den Bereich der Innenkontur, der mit Aufmaß vordrehen wird, und ist mit der Nummer 7 in einem Kasten markiert.
8	Innenkontur fertigdrehen	Innendrehmeißel nachmittig BI-SDQCL-1212/L/0704 ISO30	T10	G96 F0.1 S220	 Die Skizze zeigt denselben Querschnitt wie in Schritt 7, aber die Innenkontur ist nun durchgezogen dargestellt, was die Fertigstellung anzeigt. Ein Pfeil weist auf den Bereich der Innenkontur, und er ist mit der Nummer 8 in einem Kasten markiert.
9	Außenkontur schlichten	Linker Eckdrehmeißel CL-SVJCR-2020/R/1604 ISO30	T02	G96 F0.1 S280	 Die Skizze zeigt denselben Querschnitt wie in Schritt 8, aber die Außenkontur ist nun durchgezogen dargestellt, was das Schlichten anzeigt. Ein Pfeil weist auf den Bereich der Außenkontur, und er ist mit der Nummer 9 in einem Kasten markiert.

Einrichten der CNC-Maschine (Einrichteblatt)

Nach dem Start wird der MTS-Simulator automatisch mit Rohteil, Einspannung und Revolverbelegung eingerichtet. Sollten die nachfolgenden Einrichtedaten nicht mit den aktuellen Einrichtedaten übereinstimmen, müssen sie im Einrichtebetrieb geändert werden.

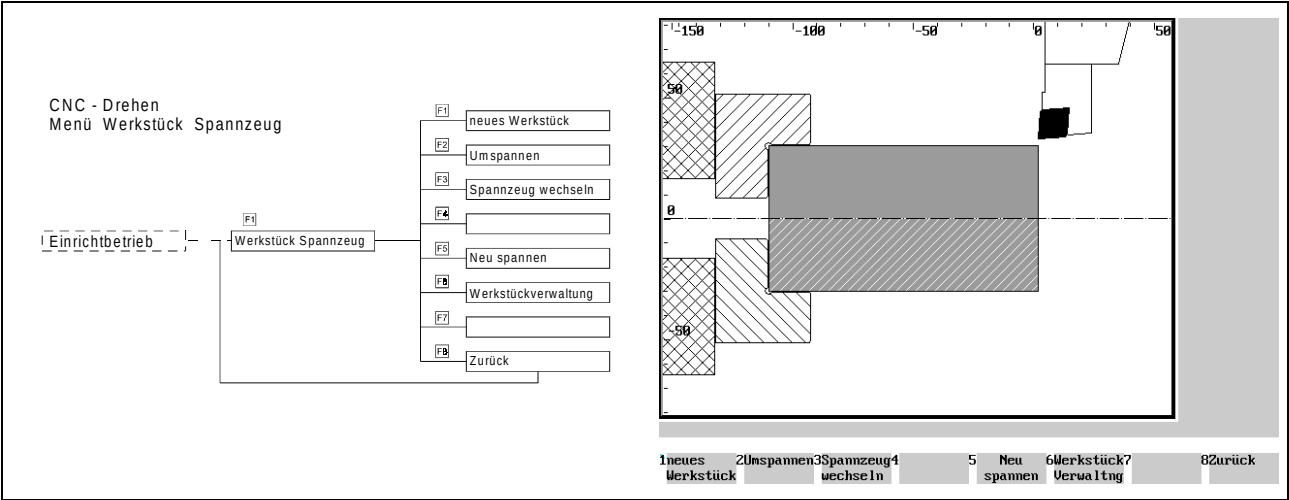


Abbildung 177
Schematische Darstellung der Menüfolge zum Einrichtbetrieb

Abbildung 178
Menü Einrichtbetrieb „Werkstück Spannzeug“

Einrichteblatt zum Bearbeiten der ersten Seite

KONFIGURATION	
MASCHINE MTS TM-042x500x1000	
STEUERUNG MTS TM Control	
WERKSTUECK	
ZYLINDER D075.000 L100.000	
MATERIAL AlMg 1::Aluminium	
MATERIALDICHT 002.70	
HAUPTSPINDEL MIT WERKSTUECK	
DERHFUTTER KFD-HS 160	
STUFENBACKE HM-160_200-02.001	
SPANNUNGSART AUSSENSPANNUNG INNENSTUFIG	
EINSPANNTTIEFE E1800	
RECHTE FLAECHE DES WERKSTUECKES: Z+228.000	
REITSTOCK	
REITSTOCKPOSITION Z+800.000	
AKTUELLES WERKZEUG	
T02	
WERKZEUGE	
T02	ECKDREHMEISSEL LINKS CL-SVJCR-2020/R/1604 ISO30
T04	ECKDREHMEISSEL LINKS CL-SCLCR-2020/R/1204 ISO30
T05	INNENDREHMEISSEL NACHM. BI-SDQCL-1212/L/0704 ISO30
T07	SPIRALBOHRER DR-14.00/108/R/HSS ISO30
T09	ZENTRIERBOHRER CD-04.00/056/R/HSS ISO30
T10	INNENDREHMEISSEL NACHM BI-SDQCL-1212/L/0704 ISO30
T12	WENDEPLATTENBOHRER DI-22.00/051/R/HMT ISO30
KORREKTURWERTE	
D02	R000.400 X+070.000 Z+043.000 G000.000 E052.000 I+000.400 K+000.400
D04	R000.400 X+060.000 Z+043.000 G000.000 E005.000 I+000.400 K+000.400
D05	R000.400 X-008.776 Z+160.000 G000.000 E017.500 I+000.400 K+000.400
D07	R000.000 X+000.000 Z+180.000 G014.000 E000.000 I+000.000 K+000.000
D09	R000.000 X+000.000 Z+070.000 G004.000 E000.000 I+000.000 K+000.000
D10	R000.400 X-008.776 Z+160.000 G000.000 E017.500 I+000.400 K+000.400
D12	R000.000 X+000.000 Z+180.000 G022.000 E000.000 I+000.000 K+000.000

Einrichteblatt zum Bearbeiten der zweiten Seite

Zur Bearbeitung der zweiten Seite wird das Werkstück umgespannt. Damit ist kein Rohteil eingespannt!

Eingespannt wird das Werkstück nachdem die erste Seite schon bearbeitet wurde. Die aktuelle Form ist im Teil GEOMETRIE beschrieben.

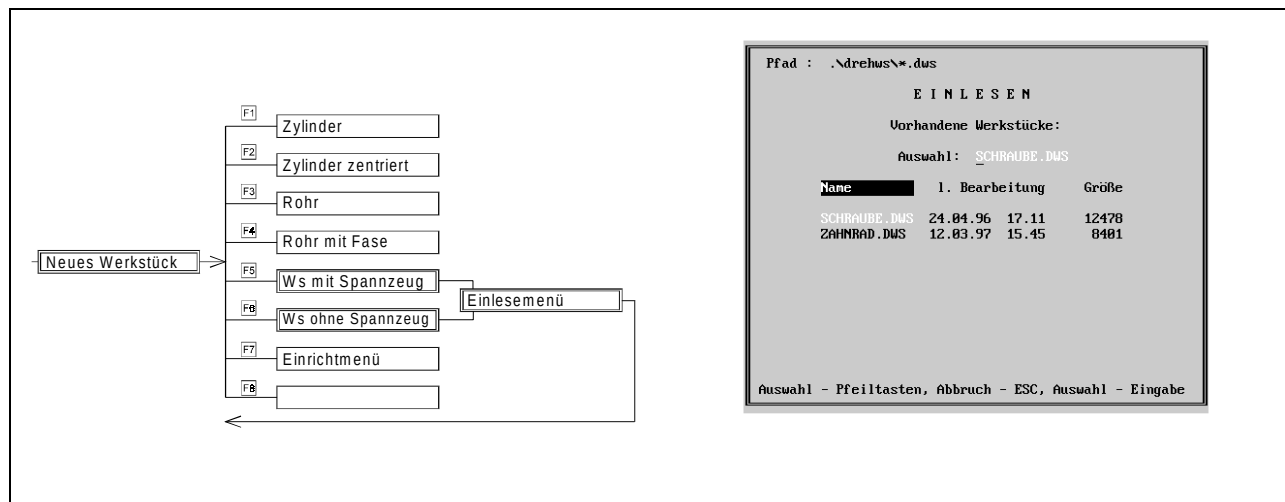


Abbildung 179
Schematische Darstellung der Menüfolge zur Werkstückverwaltung.

Abbildung 180
Dateiangabe um ein vorgefertigtes Werkstück zu laden.

KONFIGURATION

MASCHINE MTS TM-042x500x1000
STEUERUNG MTS TM Control

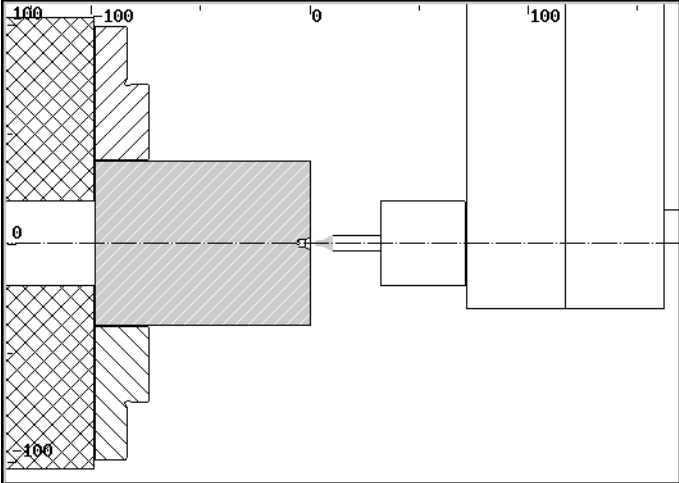
WERKSTUECK GEOMETRIE

```
X+071.331 Z+165.500
G01 X+075.000 Z+165.500
G01 X+075.000 Z+191.000
G01 X+014.000 Z+191.000
G01 X+014.000 Z+093.000
G01 X+020.000 Z+093.000
G02 X+028.000 Z+097.000 I+000.000 K+004.000
G01 X+028.000 Z+121.000
G03 X+034.000 Z+124.000 I+003.000 K+000.000
G01 X+038.000 Z+126.000
G01 X+038.000 Z+145.600
G03 X+038.800 Z+146.000 I+000.400 K+000.000
G01 X+044.000 Z+146.000
G02 X+050.000 Z+149.000 I+000.000 K+003.000
G01 X+050.000 Z+157.000
G03 X+062.000 Z+163.000 I+006.000 K+000.000
G01 X+066.000 Z+163.000
G01 X+070.766 Z+165.383
G03 X+071.331 Z+165.500 I+000.283 K+000.283
M30
```

NC-Programmierung**NC-Programm für die erste Seite**

NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
	BUCHSE	Programmname

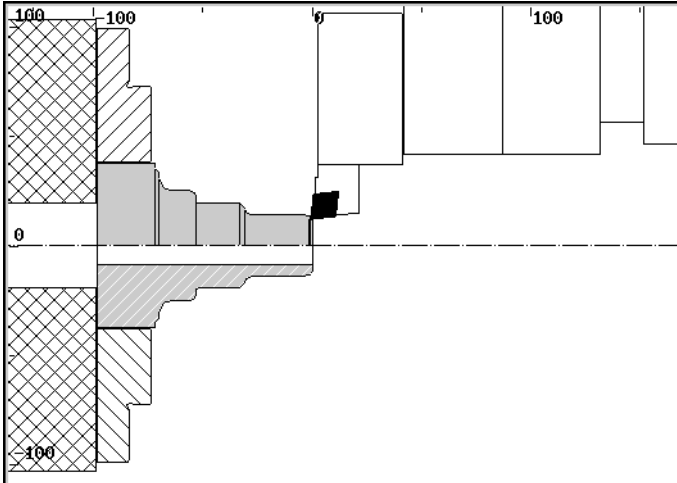
4) Plandrehen		
N010	G54 Z+226.000	G54 Absolute Nullpunktverschiebung Z+226.000 Z- Koordinate der Nullpunktverschiebung
N015	G96 S0140 T0404 M03	G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit einschalten S140 Spindeldrehzahl T0404 Anwahl des Werkzeuges Nr. 4 M3 Spindel einschalten im Rechtslauf
N020	G92 S3000	G92 Drehzahlbegrenzung S3000 Spindeldrehzahl
N025	G00 X+078.000 Z+000.200	G00 Verfahren im Eilgang X+078.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z+000.200 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N030	G01 X-001.000 F000.150 M08	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X-001.000 X- Koordinate vom Zielpunkt F000.150 Vorschub in mm pro Umdrehung M8 Kühlwasser an
N035	G00 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang Z+002.000Z- Koordinate vom Zielpunkt
N040	X+200.000 Y+200.000 M5 M9	X200.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z200.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M5 Spindel ausschalten M9 Kühlwasser aus

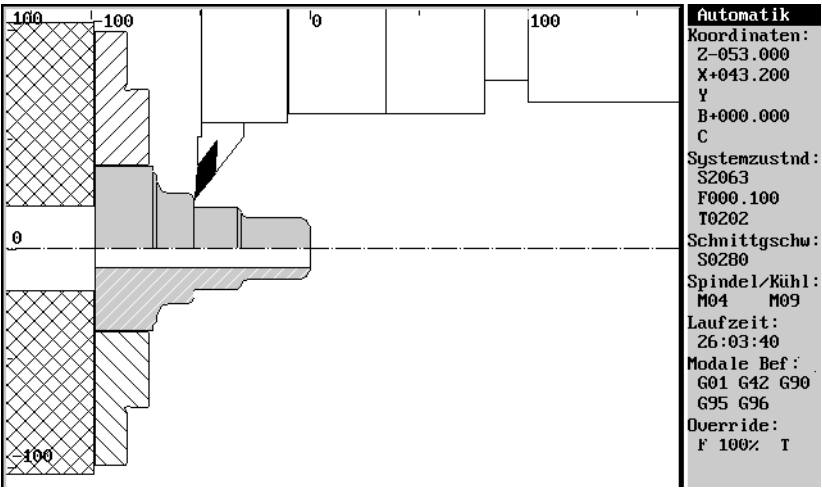
NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
5) Zentrieren		
N045	G97 S1800 T0909 M03	G97 Konstante Schnittgeschwindigkeit ausschalten S1800 Spindeldrehzahl T0909 Anwahl des Werkzeuges Nr. 9 M3 Spindel einschalten im Rechtslauf
N050	G00 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang Z2 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N055	X+000.000	X+000.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N060	G01 Z-005.800 F000.160 M08	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Z-005.800 Z- Koordinate vom Zielpunkt F000.160 Vorschub in mm pro Umdrehung M08 Kühlwasser an
N065	G00 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang Z002.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N070	X+200.000 Z+200.000 M5 M9	X200.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z200.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M5 Spindel ausschalten M9 Kühlwasser aus
 Automatik Koordinaten: Z+002.000 X+000.000 Y B+000.000 C Systemzustand: S1800 F001.000 T0909 Schnittgeschw: S0018 Spindel/Kühl: M03 M09 Laufzeit: 00:06:62 Modale Bef: G00 G40 G90 G95 G97 Override: F 100%		

NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
6) Bohren		
N075	F000.220 T0707 M03	F000.220 Vorschub in mm pro Umdrehung T0707 Anwahl des Werkzeuges Nr. 7 M03 Spindel einschalten im Rechtslauf
N080	G97 S1000	G97 Konstante Schnittgeschwindigkeit ausschalten S1000 Spindeldrehzahl
N085	G00 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang Z+002.000Z- Koordinate vom Zielpunkt
N090	X+000.000 M08	X000.000 X- Koordinate vom Zielpunkt M08 Kühlwasser an
N095	G84 Z-105.000 A+001.000 B+001.000 D+005.000 K+025.000	G84 Bohrzyklus Z-105.000 Z- Koordinate vom Endpunkt A+001.000 Verweilzeit nach Rückzug zur Spanentleerung B+001.000 Verweilzeit zur Spanbrechung D+005.000 Degression (Verminderung der einzelnen Bohrtiefen) K+025.000 Bohrtiefe beim ersten Arbeitsgang
N100	G00 X+200.000	G00 Verfahren im Eilgang X200.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N105	Z+070.000 M5 M9	Z070 Z- Koordinate vom Zielpunkt M5 Spindel ausschalten M9 Kühlwasser aus

Automatik
Koordinaten:
Z-001.474
X+000.000
Y
B+000.000
C
Systemzustnd:
S1000
F000.220
T0707
Schnittgschw:
S0057
Spindel/Kühl:
M03 M09
Laufzeit:
00:16:94
Modale Bef:
G00 G40 G90
G95 G97
Override:
F 100%

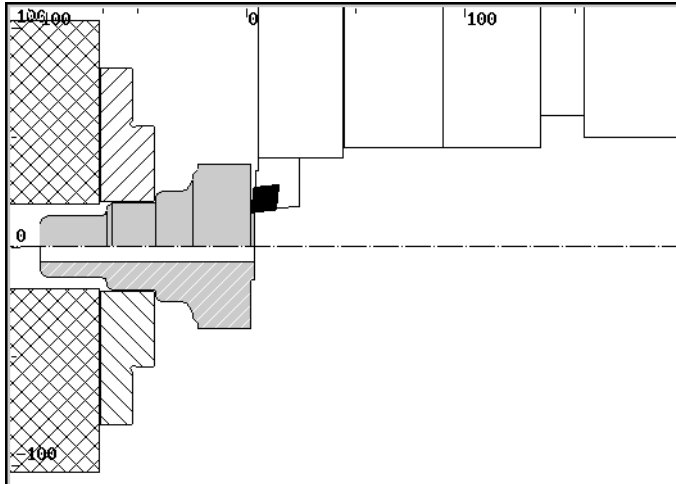
NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
7) Außenkontur mit Aufmaß vordrehen		
N110	G96 S0140 T0404 M03	G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit einschalten S0140 Spindeldrehzahl T0404 Werkzeugwechsel Revolverkopfplatz Nr. 4 M3 Spindel einschalten im Rechtslauf
N115	G92 S3000	G92 Drehzahkbegrenzung S3000 Spindeldrehzahl
N120	G00 X+075.000 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang X+075.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z+002.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N125	G57 X+000.600 Z+000.200	G57 Schlichtaufmaß X+000.600 Schlichtaufmaß in X-Richtung (durchmesserbezogen) Z+000.200 Schlichtaufmaß in Z-Richtung
N130	G81 X+018.000 Z+002.000 I+004.000	G81 Längsschruppzyklus mit beliebiger Kontur X+018.000 X- Koordinate des Konturanfangspunktes Z+002.000 Z- Koordinate des Konturanfangspunktes I+004.000 Zustellung
N135	G42	G42 Schneidenradiuskorrektur rechts von der Kontur
N140	G01 X+018.000 Z+000.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+018.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z+000.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N145	X+020.000	X+018.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N150	G03 X+028.000 Z-004.000 I+000.000 K-004.000	G03 Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn X+028.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z-004.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt I+000.000 Abstand vom Kreismittelpunkt zum Startpunkt in X K-004.000 Abstand vom Kreismittelpunkt zum Startpunkt in Z
N155	G01 Z-028.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Z-028.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N160	G01 X+018.000 Z+000.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+018.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z+000.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N165	G02 X+034.000 Z-031.000 I+003.000 K+000.000	G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn X+034.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z-031.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt I+003.000 Abstand vom Kreismittelpunkt zum Startpunkt in X K+000.000 Abstand vom Kreismittelpunkt zum Startpunkt in Z

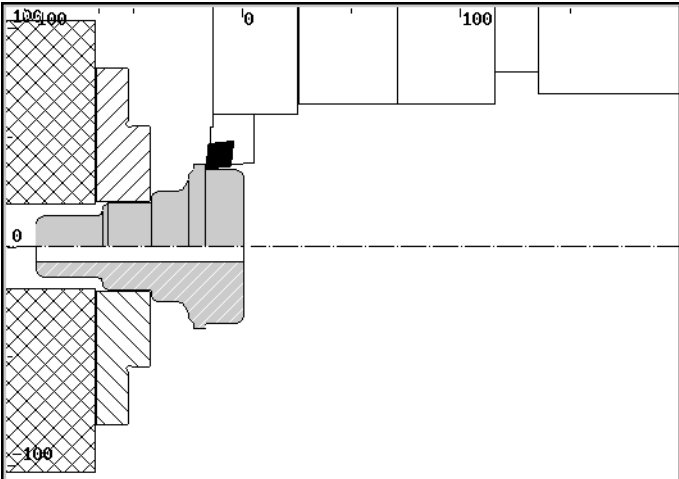
N170	G01 Z-053.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Z-053.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N175	G01 X+044.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+044.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N180	G03 X+050.000 Z-056.000 I+000.000 K-003.000	G03 Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn X+050.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z-056.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt I+000.000 Abstand vom Kreismittelpunkt zum Startpunkt in X K-003.000 Abstand vom Kreismittelpunkt zum Startpunkt in Z
N185	G01 Z-064.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Z-064.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N190	G02 X+062.000 Z-070.000 I+006.000 K+000.000	G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn X+062.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z-070.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt I+006.000 Abstand vom Kreismittelpunkt zum Startpunkt in X K-000.000 Abstand vom Kreismittelpunkt zum Startpunkt in Z
N195	G01 X+066.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+066.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N200	G01 X+071.000 Z-072.500	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+071.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z-072.500 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N205	G01 X+076.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+076.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N210	G40	G40 Abwahl der Schneidenradiuskorrektur
N215	G80	G80 Ende der Konturbeschreibung
 Automatik Koordinaten: Z-000.565 X+024.000 Y B+000.000 C Systemzustnd: S1857 F000.220 T0404 Schnittgschw: S0140 Spindel/Kühl: M04 M09 Laufzeit: 25:45:86 Modale Bef: G01 G40 G90 G95 G96 Override: F 100% T		
N220	G00 X+200.000 Z+200.000 M5 M9	G0 Verfahren im Eilgang X200.000 X-Koordinate vom Zielpunkt Z200.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt M5 Spindel ausschalten M9 Kühlwasser aus

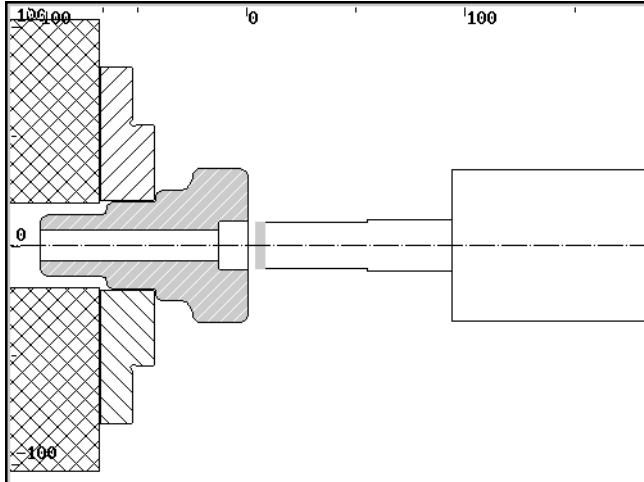
NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
8) Außenkontur schlichten		
N225	G96 F000.100 S0280 T0202 M03	G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit einschalten F000.100 Vorschub in mm pro Umdrehung S0280 Spindeldrehzahl T0202 Werkzeugwechsel Revolverkopfplatz Nr. 2 M03 Spindel einschalten im Rechtslauf
N230	G92 S4000	G92 Drehzahlbegrenzung S4000 Spindeldrehzahl
N235	G00 X+010.000 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang X+010.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z+002.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N240	G42	G42 Schneidenradiuskorrektur rechts von der Kontur
N245	G01 X+013.000 Z+000.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+013.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z+000.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N250	G23 O135 Q210	G23 Programmteilwiderholung O135 Startsatznummer Q210 Endsatznummer
		
N255	G00 X+200.000 Z+200.000 M5 M0	G00 Verfahren im Eilgang X200.000 X-Koordinate vom Zielpunkt Z200.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt M5 Spindel ausschalten M9 Kühlwasser aus
N260	M30	M30 Programmende

NC-Programm für die zweite Seite

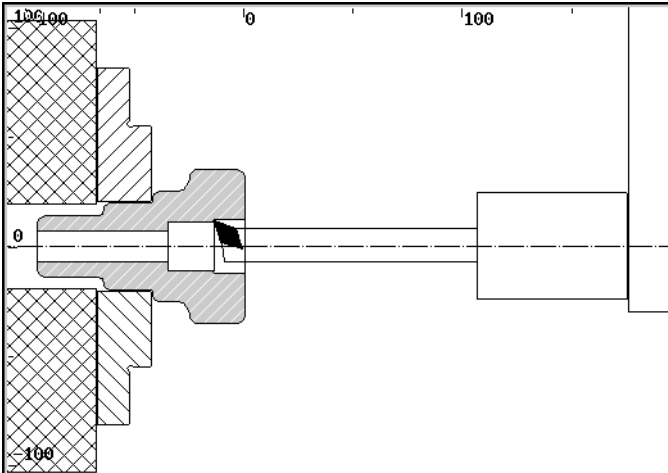
NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
	BUCHSE2	Programmname

4) Plandrehen		
N005	G54 Z+188.000	G54 Absolute Nullpunktverschiebung Z+188.000 Z- Koordinate der Nullpunktverschiebung
N010	G96 S0140 T0404 M03	G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit einschalten S140 Spindeldrehzahl T0404 Anwahl des Werkzeuges Nr. 4 M3 Spindel einschalten im Rechtslauf M42 Anwahl des höheren Drehzahlbereiches
N015	G92 S3000	G92 Drehzahlbegrenzung S3000 Spindeldrehzahl
N020	G00 X+078.000 Z+001.5 0	G00 Verfahren im Eilgang X+078.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z+001.500 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N025	G01 X-001.000 F000.280 M08	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X-001.000 X- Koordinate vom Zielpunkt F000.280 Vorschub in mm pro Umdrehung M8 Kühlwasser an
 Automatik Koordinaten: Z+001.500 X+029.944 Y B+000.000 C Systemzustnd: S0300 F000.220 T0404 Schnittgschw: S0029 Spindel/Kühl: M04 M09 Laufzeit: 03:23:37 Modale Bef: G00 G40 G90 G95 G96 Override: F 100%		
N030	G00 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang Z+002.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt

NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
5) Außenkontur mit Aufmaß vordrehen		
N035	G00 X+078.000	G00 Verfahren im Eilgang X+078.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N040	G00 Z+000.200	G00 Verfahren im Eilgang Z+000.2000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N045	G01 X+012.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+012.000 X-Koordinate vom Zielpunkt
N050	G88 X+070.400 Z+000.200 R+004.000	G88 Zyklus Radius X+070.400 X-Koordinate vom Zielpunkt Z+000.200 Z-Koordinate vom Zielpunkt R+004.000 Verrundungsradius
N055	G01 Z-025.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Z-025.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt
 Automatik Koordinaten: Z-017.270 X+070.400 Y B+000.000 C Systemzustnd: S0300 F000.220 T0404 Schnittgschw: S0066 Spindel/Kühl: M04 M09 Laufzeit: 04:27:32 Modale Bef: G01 G40 G90 G95 G96 Override: F 100%		
N060	G00 X+200.000 Z+200.000 M5 M9	G00 Verfahren im Eilgang X200.000 X-Koordinate vom Zielpunkt Z200.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt M5 Spindel ausschalten M9 Kühlwasser aus

NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
6) Vorbohren		
N065	G97 S0850 T1212 M03	G97 Konstante Schnittgeschwindigkeit ausschalten S0850 Spindeldrehzahl T1212 Werkzeugwechsel Revolverkopfplatz Nr. 12 M3 Spindel einschalten im Rechtslauf
N070	G92 S1500	G92 Drehzahlbegrenzung S1500 Spindeldrehzahl
N075	G00 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang Z+002.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt M8 Kühlwasser an
N080	X+000.000 F000.200 M08	X+000.000 X-Koordinate vom Zielpunkt F000.200 Vorschub in mm pro Umdrehung M08 Kühlwasser an
N085	G84 Z-034.800 A+001.000 B+001.000 D+004.000 K+020.000	G84 Bohrzyklus Z-034.800 Z- Koordinate vom Endpunkt A+001.000 Verweilzeit nach Rückzug zur Spanentleerung B+001.000 Verweilzeit zur Spanbrechung D+004.000 Degression (Verminderung der einzelnen Bohrtiefen) K+020.000 Bohrtiefe beim ersten Arbeitsgang
N090	G00 X+200.000	G00 Verfahren im Eilgang X200.000 X-Koordinate vom Zielpunkt
 Automatik Koordinaten: Z+003.000 X+000.000 Y B+000.000 C Systemzustnd: S0850 F000.200 T1212 Schnittgchw: S0059 Spindel/Kühl: M03 M09 Laufzeit: 04:44:56 Modale Bef.: G00 G40 G90 G95 G97 Override: F 100%		
N095	Z+070.000 M5 M9	Z70 Z-Koordinate vom Zielpunkt M5 Spindel ausschalten M9 Kühlwasser aus

NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
7) Innenkontur mit Aufmaß schrappen		
N100	G96 F000.200 S0120 T0505 M04	G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit einschalten F000.200 Vorschub in mm pro Umdrehung S0120 Spindeldrehzahl T0505 Werkzeugwechsel Revolverkopfplatz Nr. 5 M4 Spindel einschalten im Linkslauf
N105	G92 S3000	G92 Drehzahlbegrenzung S3000 Spindeldrehzahl
N110	G00 X+021.000 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang X+021.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z+002.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N115	G57 X-000.600 Z+000.200	G57 Schlichtaufmaß X+000.600 Schlichtaufmaß in X-Richtung (durchmesserbezogen) Z+000.200 Schlichtaufmaß in Z-Richtung
N120	G81 X+040.000 Z+002.000 I+002.500	G81 Längsschruppzyklus mit beliebiger Kontur X+040.000 X- Koordinate des Konturanfangspunktes Z+002.000 Z- Koordinate des Konturanfangspunktes I+002.500 Zustellung
N125	G41	G41 Schneidenradiuskorrektur links von der Kontur
N130	G01 X+038.000 Z+000.000 M08	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+038.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Z+000.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M8 Kühlwasser an
N135	X+034.000 Z-002.000	X+034.000 X-Koordinate vom Zielpunkt Z-002.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt
N140	G88 X+034.000 Z-015.000 R+002.000	G88 Zyklus Radius X+034.000 X-Koordinate vom Zielpunkt Z-015.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt R+002.000 Verrundungsradius
N145	G01 X+026.000	G1 Geradeninterpolation im Vorschub X+026.000 X-Koordinate vom Zielpunkt
N150	Z-035.000	Z-035.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt
N155	X+013.000	X+013.000 X-Koordinate vom Zielpunkt
N160	G40	G40 Abwahl der Schneidenradiuskorrektur
N165	G80	G80 Ende der Konturbeschreibung
N170	G00 X+200.000	G00 Verfahren im Eilgang X200.000 X-Koordinate vom Zielpunkt
N175	Z+070.000 M5 M9	Z+070.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt M5 Spindel ausschalten M9 Kühlwasser aus

NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
8) Innenkontur schlichten		
N180	G96 F000.100 S0220 T1010 M04	G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit einschalten F000.1000 Vorschub in mm pro Umdrehung S0220 Spindeldrehzahl T1010 Werkzeugwechsel Revolverkopfplatz Nr. 10 M4 Spindel einschalten im Linkslauf
N185	G92 S4000	G92 Drehzahlbegrenzung S4000 Spindeldrehzahl
N190	G00 X+040.000 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang X+040.000 X-Koordinate vom Zielpunkt Z+002.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt
N195	G23 O125 Q160	G23 Programmteilwiderholung O125 Startsatznummer Q160 Endsatznummer
 Automatik Koordinaten: Z-014.175 X+024.100 Y B+000.000 C Systemzustnd: S1585 F000.200 T0505 Schnittgschw: S0120 Spindel/Kühl: M04 M09 Laufzeit: 05:00:70 Modale Bef: G01 G40 G90 G95 G96 Override: F 100%		
N200	G00 Z+002.000	G00 Verfahren im Eilgang X+002.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt
N205	X+200.000	X+200.000 X-Koordinate vom Zielpunkt
N210	Z+070.000 M5 M9	Z+070.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt M5 Spindel ausschalten M9 Kühlwasser aus

NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
9) Außenkontur schlichten		
N215	G96 F000.100 S0280 T0202 M03	G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit einschalten F000.100 Vorschub in mm pro Umdrehung S0280 Spindeldrehzahl T0202 Werkzeugwechsel Revolverkopfplatz Nr. 2 M3 Spindel einschalten im Rechtslauf
N220	G92 S4000	G92 Drehzahlbegrenzung S4000 Spindeldrehzahl
N225	G00 X+034.000 Z+001.000	G00 Verfahren im Eilgang X+034.000 X-Koordinate vom Zielpunkt Z+001.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt
N230	G42	G42 Schneidenradiuskorrektur rechts von der Kontur
N235	G01 Z+000.000 M8	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Z+000.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt M8 Kühlwasser an
N240	G88 X+070.000 Z+000.000 R+004.000	G88 Zyklus Radius X+070.000 X-Koordinate vom Zielpunkt Z+000.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt R+004.000 Verrundungsradius
N245	G01 Z-026.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Z-026.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt
N250	X+072.000	X+072.000 X-Koordinate vom Zielpunkt
N255	G40	G40 Abwahl der Schneidenradiuskorrektur
N260	X+200.000 Z+200.000 M5 M9	X+200.000 X-Koordinate vom Zielpunkt Z+200.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt M5 Spindel ausschalten M9 Kühlwasser aus
N240	M30	M30 Programmende

Simulation des NC-Programms

Im Automatikbetrieb werden die erstellten NC-Programme in Echtzeit und unter Kollisionsbetrachtungen simuliert.

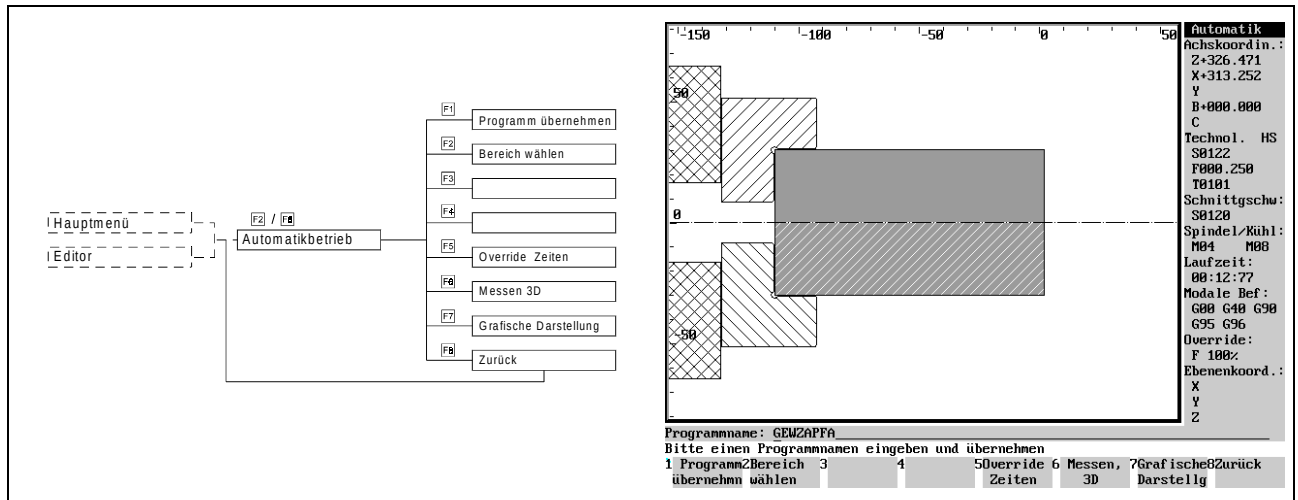


Abbildung 181
Schematische Darstellung des Menüs Automatikbetrieb.

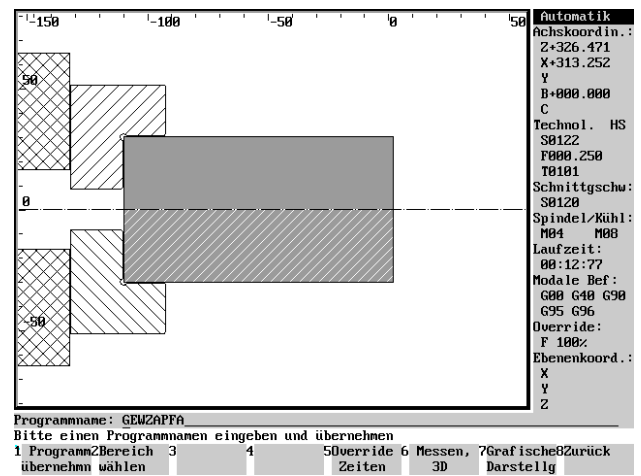


Abbildung 182
Menü Automatikbetrieb.

Um ein NC-Programm zu simulieren sind zwei Arbeitsschritte notwendig:

1. Nach dem Aufruf des Automatikbetriebes wird zuerst das Hauptmenü geladen. Anschließend muß der Name des NC-Programmes eingegeben werden, das im Automatikbetrieb simuliert werden soll.

Programm übernehmen: Mit **F1** oder **↵** wird der in der Informationzeile angegebene Programmname bestätigt. Ist dieses NC-Programm vorhanden, wird es in den Programmspeicher geladen, andernfalls erfolgt eine entsprechende Fehlermeldung.

2. Danach muß die gewünschte Simulationsart ausgewählt werden.

Automatik: Mit **F1** wird das in der Dialogzeile angegebene NC-Programm im durchgehenden Automatiklauf simuliert.

Einzelsatz: Mit **F2** wird das in der Dialogzeile angegebene NC-Programm im Einzelsatzbetrieb simuliert

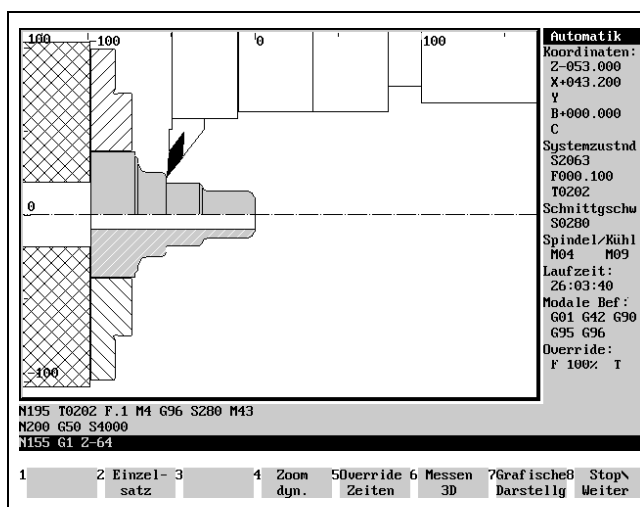


Abbildung 183
Menü während des durchgehenden Automatiklaufs

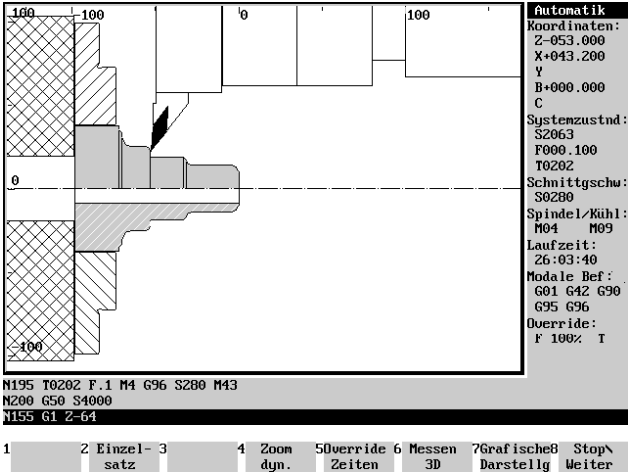
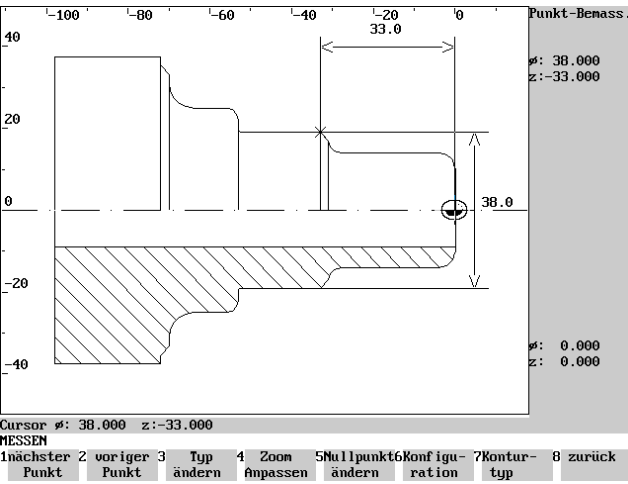


Abbildung 184
geschnittene 3D Ansicht

Qualitätssicherung durch Vermessen des Arbeitsergebnisses

Ein Werkstück kann nach der Bearbeitung (Automatiklauf) oder während der Bearbeitung nach jedem Bearbeitungsschritt (Einzelsatz) vermessen und mit den Werten in der Zeichnung verglichen werden.

Vorgehensweise:

	Beschreibung	Eingaben
1.	CNC-Drehen im Hauptmenü aufrufen.	F1 (Drehen)
2.	Den Automatikbetrieb anwählen.	F2 (Automatikbetrieb)
3.	Ein vorhandenes NC-Programm aufrufen, z.B. GEWBU2.	 Mit der Tastatur „GEWBU2“ schreiben und bestätigen.
4.	Die Simulationsart Automatiklauf anwählen.	F1 (Automatiklauf)
	 Die Bearbeitung wird am Bildschirm simuliert	
5.	Das Vermessungsmenü anwählen.	F6 (Messen 3D)
6.	Das Menü zur Punktbemaßung anwählen.	F7 (Punktbemaßung)
7.	Den zu vermessenden Punkt anwählen.	F1 (nächster Punkt) or F2 (voriger Punkt)
	 Die Daten für den angewählten Punkt werden jeweils angezeigt.	
8.	Das Menü zur Punktbemaßung verlassen.	F8 (Zurück) F8 (Zurück)

Manuelle NC-Programmierung Fräsen

CNC-Übung

Angeleitetes Erstellen von NC-Programmen für die CNC-Fräsbearbeitung

Aufgabe:

Zur Herstellung des folgenden Teils soll ein NC-Programm erstellt werden.

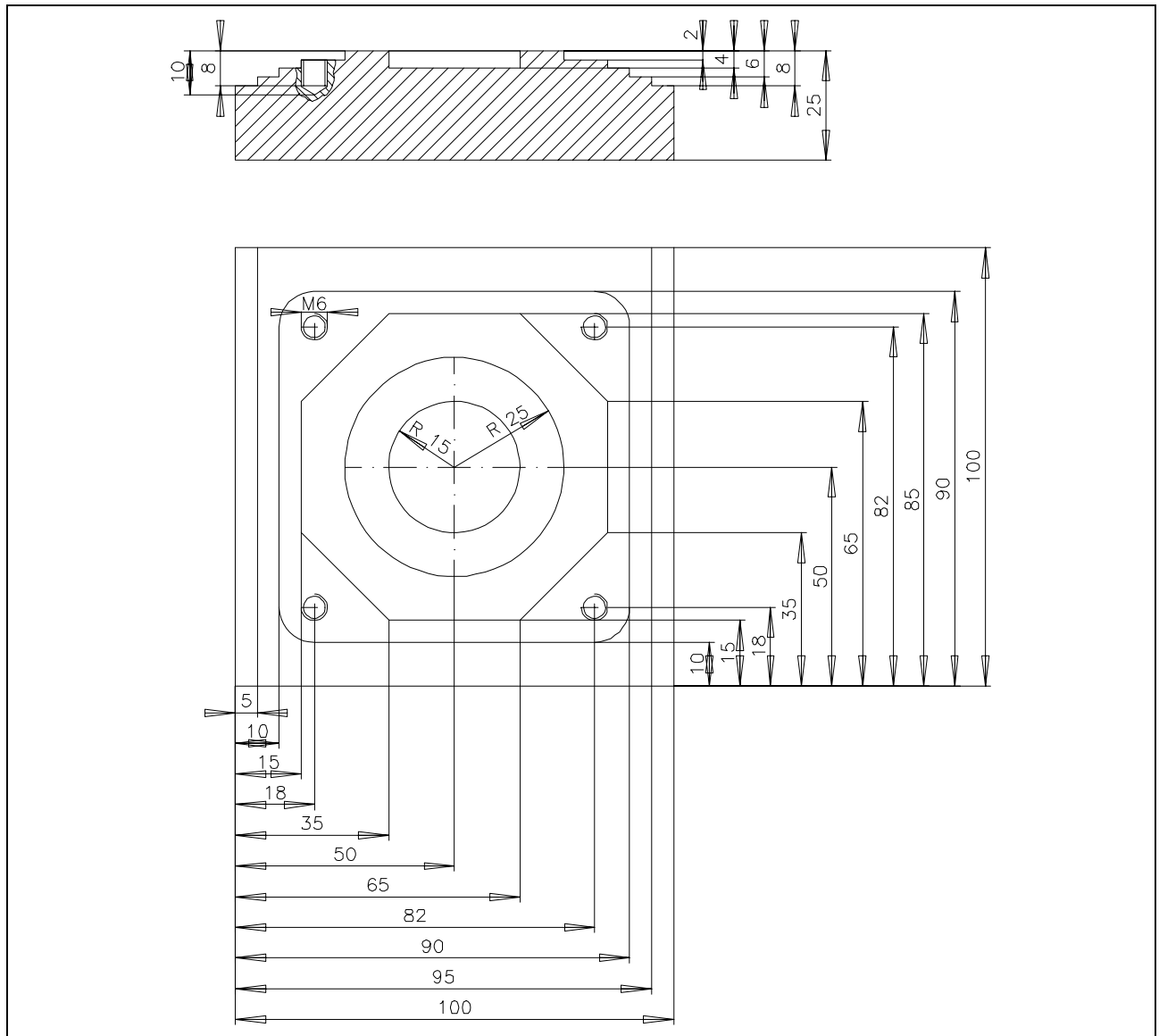


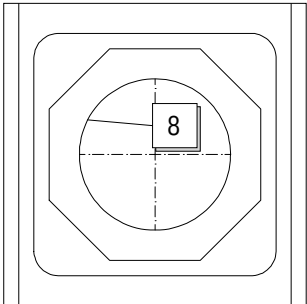
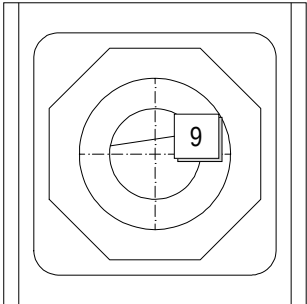
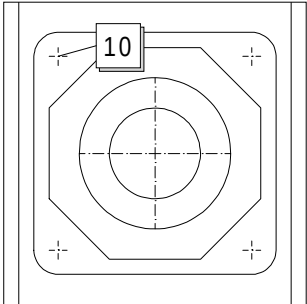
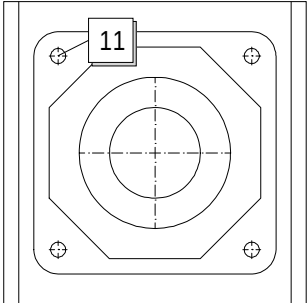
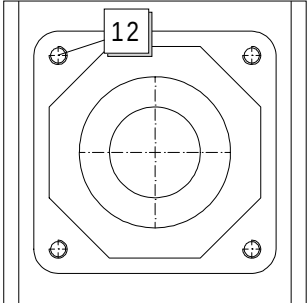
Abbildung 185

Führen Sie zur Erstellung des NC-Programmes die folgenden Schritte durch:

1. Festlegung eines Arbeitsplanes
2. Auswahl von Spannmitteln und den benötigten Werkzeugen
3. Erstellung des NC-Programmes
4. Simulation des NC-Programmes

Arbeitsplan

	Arbeitsfolge	Werkzeug	Magazin- platz	Schnitt- werte	Skizze
1 2 3	1 Rohmaße prüfen 2 Werkstück spannen 3 Werkstück-Nullpunkt festlegen				
4	Kontur linke Seite 8mm tief fräsen	Schaftfräser Ø 20 ME-20.0/075L HSS ISO 1641	T01	F250 S1600	
5	Kontur rechte Seite 8mm tief fräsen	Schaftfräser Ø 20 ME-20.0/075L HSS ISO 1641	T01	F250 S1600	
6	Kontur mit Kreislängen 6mm tief fräsen	Schaftfräser Ø 20 ME-20.0/075L HSS ISO 1641	T01	F250 S1600	
7	Kontur Achteck 4mm tief fräsen	Schaftfräser Ø 20 ME-20.0/075L HSS ISO 1641	T01	F250 S1600	

8	Kontur Kreis r=25mm 2mm tief fräsen	Schaftfräser Ø 20 ME-20.0/075L HSS ISO 1641	T01	F250 S1600	
9	Kreistasche r=15mm 4mm tief fräsen	Bohrnutenfräser Ø 10 MS-10.0/045L HSS ISO 1641	T02	F50 S1800	
10	4 x Zentrieren	Senker Ø 10 DC-08.0/060 HSS ISO 3294	T03	F80 S2000	
11	4 x Kernloch bohren M6	Bohrer Ø 5 DR-05.00/087 HSS ISO 235	T04	F50 S1500	
12	4 x Gewindebohren M6	Gewindebohrer M6 TA-M06.0/1.00 HSS ISO 2857	T05	F150 S150	

Einrichten der CNC-Maschine (Einrichteblatt)

Nach dem Start wird der MTS-Simulator automatisch mit Rohteil, Einspannung und Revolverbelegung eingerichtet. Sollten die nachfolgenden Einrichtedaten nicht mit den aktuellen Einrichtedaten übereinstimmen, müssen sie im Einrichtebetrieb geändert werden.

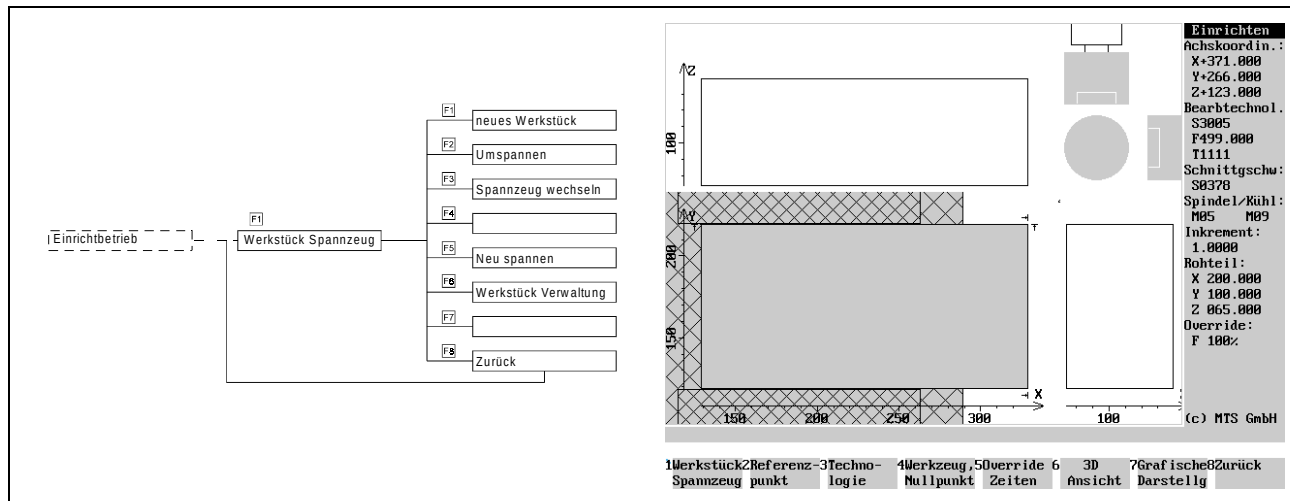


Abbildung 186
Schematische Darstellung der Menüfolge zum Einrichtemenü.

Abbildung 187
Menü Einrichtebetrieb

KONFIGURATION		MASCHINE MTS VMC-550x550x500 STEUERUNG MTS VMC 40 Control
ROHTEILMASSE		X+100.000 Y+100.000 Z+025.000
WERKSTUECKPOSITION		X+145.000 Y+090.000
LINKE VORDERE ECKE DES WERKSTUECKES		X+145.000 Y+090.000 Z+114.000
MATERIAL		AlMg 1::Aluminium
SCHRAUBSTOCK		RS 135 EINSPANNHOEHE E+025.000 VERSCHIEBUNG V+000.000 AUSRICHTUNG A90°
AKTUELLES WERKZEUG		T01
WERKZEUGE		
T01	SCHAFTFRAESER	MS-20.0/075L HSS ISO 1641
T02	BOHRNUTENFRÄESER	MS-10.0/045L HSS ISO 1641
T03	SENKER	DC-08.0/060 HSS ISO 3294
T04	BOHRER	DR-05.00/087 HSS ISO 235
T05	GEWINDEBOHRER	TA-M06.0/1.00 HSS ISO 2857
TOOL COMPENSATION		
D01	R010.000 Z+143.000	
D02	R005.000 Z+138.000	
D03	R000.000 Z+112.500	
D04	R000.000 Z+176.500	
D05	R000.000 Z+132.500	

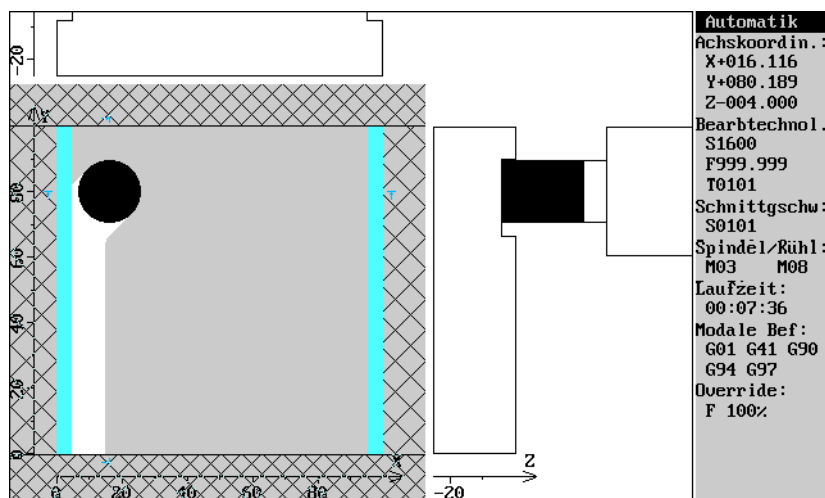
NC-Programmierung

Satz-Nr	Befehle	Erläuterung
	FX1909	Programmnummer
N010	G54 X+145.000 Y+090.000 Z+114.000	G54 Absolute Nullpunktverschiebung X+145.000 X- Koordinate der Nullpunktverschiebung Y+090.000 Y- Koordinate der Nullpunktverschiebung Z+114.000 Z- Koordinate der Nullpunktverschiebung

4) Kontur linke Seite 8mm tief fräsen		
N015	S1600 T0101 M03	S1600 Spindeldrehzahl T0101 Anwahl des Werkzeuges Nr. 1 M03 Spindel einschalten im Rechtslauf
N020	G00 X-020.000 Y-020.000	G00 Verfahren im Eilgang X-20.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y-20.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N025	Z-008.000 M08	Z-008.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M08 Kühlmittel ein
N030	G41 G47 A+012.000 G01 X+005.000 Y-002.000 F250.000	G41 Fräserradiuskorrektur links G47 Anfahren im Viertelkreis A+012.000 Radius des Viertelkreises G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+005.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y-002.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt F250.000 Vorschub in mm pro min
N035	Y110.000	Y110.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt

Satz-Nr	Befehle	Erläuterung
5) Kontur rechte Seite 8mm tief fräsen		
N040	G0 X095.000	G0 Eilgang X95.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N045	G01 Y-010.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Y-010.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N050	G40 G47 A+012.000	G40 Abwahl der Fräserradiuskorrektur G47 Abfahren im Viertelkreis A+012.000 Radius des Viertelkreises

6) Kontur mit Kreisbögen 6mm tief fräsen		
N055	G00 X-020.000 Y-020.000	G00 Verfahren im Eilgang X-020.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y-020.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N060	Z-006.000	Z-006.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N065	G41 G47 A+012.000 G01 X+010.000 Y-002.000 F250.000	G41 Fräserradiuskorrektur links G47 Anfahren im Viertelkreis A+012.000 Radius des Viertelkreises G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+010.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y-002.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt F250.000 Vorschub in mm pro min
N070	Y+082.000	Y+082.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N075	G02 X+018.000 Y+090.000 B+008.000	G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn X+018.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+090.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt B+008.000 Übergangsradius

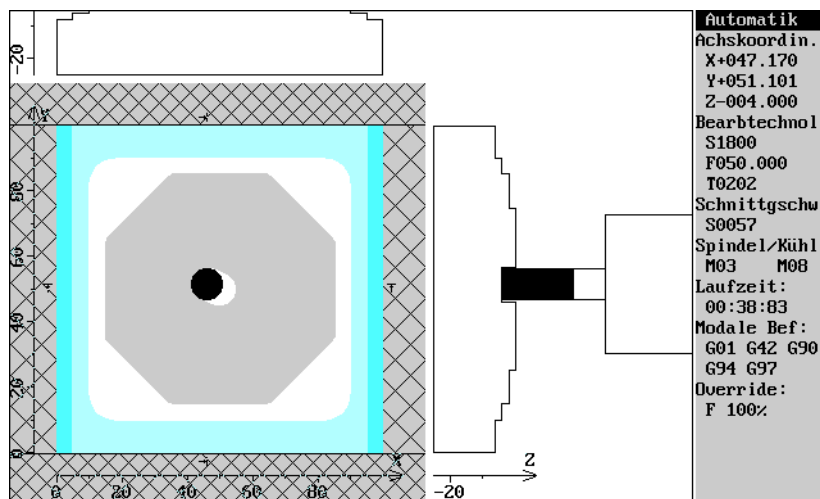


N080	G01 X+082.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+082.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N085	G02 X+090.000 Y+082.000 B+008.000	G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn X+090.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+082.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt B+008.000 Übergangsradius
N090	G01 Y+018.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Y+018.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N095	G02 X+082.000 Y+010.000 B+008.000	G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn X+082.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+010.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt B+008.000 Übergangsradius
N100	G01 X+018.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+018.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N105	G02 X+010.000 Y+018.000 B+008.000	G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn X+010.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+018.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt B+008.000 Übergangsradius
N110	G03 X-010.000 Y+038.000 B+020.000	G03 Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn X-010.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+038.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt B+020.000 Übergangsradius
N115	G40 G47 A+012.000	G40 Abwahl der Fräserradiuskorrektur G47 Abfahren im Viertelkreis A+012.000 Radius des Viertelkreises

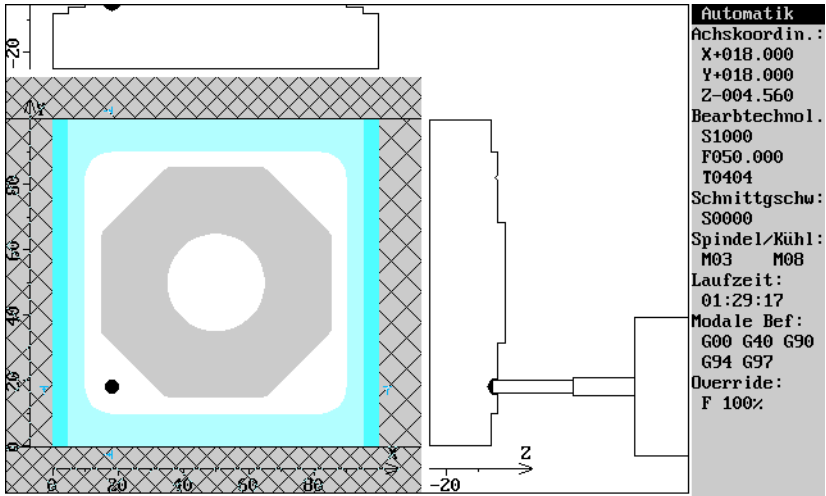
7) Achteck 4mm tief fräsen		
Satz-Nr	Befehle	Erläuterung
N120	G00 X-020.000 Y-020.000	G00 Verfahren im Eilgang X-020.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y-020.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N125	Z-004.000	Z-004.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N130	G41 G47 A+012.000 G01 X+015.000 Y-002.000	G41 Fräserradiuskorrektur links G47 Anfahren im Viertelkreis A+012.000 Radius des Viertelkreises G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+015.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y-002.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N135	Y+065.000	Y+065.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N140	X+035.000 Y+085.000	X+035.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y-+085.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N145	X+065.000	X+065.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N150	X+085.000 Y+065.000	X+085.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+065.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N155	Y+035.000	Y+035.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N160	X+065.000 Y+015.000	X+065.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+015.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N165	X+035.000	X+035.000 X- Koordinate vom Zielpunkt
N170	X+005.000 Y+045.000	X+005.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+045.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N175	G40 G47 A+012.000	G40 Abwahl der Fräserradiuskorrektur G47 Abfahren im Viertelkreis A+012.000 Radius des Viertelkreises

Satz-Nr	Befehle	Erläuterung
8) Kontur Kreis r=25mm 2mm tief fräsen		
N180	G00 X-020.000 Y-020.000	G00 Verfahren im Eilgang X-020.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y-020.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N185	Z-002.000	Z-002.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt
N190	G41 G47 A+012.000 G01 X+025.000 Y-002.000	G41 Fräserradiuskorrektur links G47 Anfahren im Viertelkreis A+012.000 Radius des Viertelkreises G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+025.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y-002.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N195	G01 Y+050.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Y+050.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N200	G02 X+025.000 Y+050.000 I+025.000	G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn X+025.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+050.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt I+025.000 relative X- Koordinate vom Mittelpunkt
N205	G40 G47 A+012.000	G40 Abwahl der Fräserradiuskorrektur G47 Abfahren im Viertelkreis A+012.000 Radius des Viertelkreises
N210	G01 Y+065.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Y+065.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N215	G00 Z+100.000 M09 M05	G00 Verfahren im Eilgang Z+100.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M09 Kühlwasser aus M05 Spindel aus

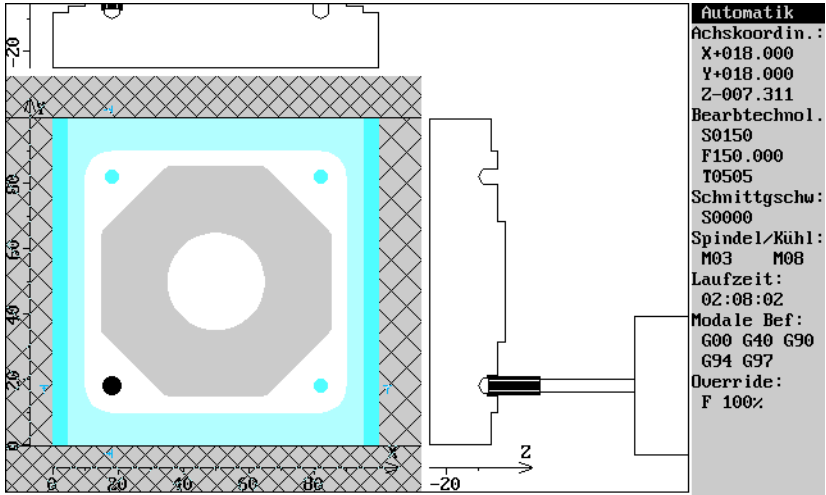
Satz-Nr	Befehle	Erläuterung
9) Kreistasche r=15mm 4mm tief fräsen		
N220	S1800 T0202 M03	S1800 Spindeldrehzahl T0202 Anwahl des Werkzeuges Nr. 2 M03 Spindel einschalten im Rechtslauf
N225	G00 X+050.000 Y+050.000 M08	G00 Verfahren im Eilgang X+050.000 X-Koordinate vom Zielpunkt Y+050.000 Y-Koordinate vom Zielpunkt M08 Kühlmittel ein
N230	Z+002.000	Z+002.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt
N235	G01 Z-004.000 F050.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub Z-004.000 Z-Koordinate vom Zielpunkt F050.000 Vorschub in mm pro min
N240	G42 G47 A+005.000 X+038.000 Y+053.000	G42 Fräserradiuskorrektur rechts G47 Anfahren im Viertelkreis A+005.000 Radius des Viertelkreises X+038.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+053.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N245	G02 X+050.000 Y+065.000 B+012.000	G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn X+050.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+065.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt B+012.000 Übergangsradius



Satz-Nr	Befehle	Erläuterung
N250	G02 J-015.000	G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn J-015.000 relative Y- Koordinate vom Mittelpunkt
N255	G02 X+062.000 Y+053.000 B+012.000	G02 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn X+062.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+053.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt B+012.000 Übergangsradius
N260	G40 G47 A+005.000	G40 Abwahl der Fräserradiuskorrektur G47 Abfahren im Viertelkreis A+005.000 Radius des Viertelkreises
N265	G01 X+050.000 Y+050.000	G01 Geradeninterpolation im Vorschub X+050.000 X- Koordinate vom Zielpunkt Y+050.000 Y- Koordinate vom Zielpunkt
N270	G00 Z+100.000 M09 M05	G00 Verfahren im Eilgang Z+100.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M09 Kühlwasser aus M05 Spindel aus

Satz-Nr	Befehle	Erläuterung
10) 4x zentrieren		
N275	S2200 T0303 M03	S2000 Spindeldrehzahl T0303 Anwahl des Werkzeuges Nr. 3 M03 Spindel einschalten im Rechtslauf
N280	G00 Z+002.000.000 M08	G00 Verfahren im Eilgang Z+002.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M08 Kühlwasser an
N285	G81 Z-005.000 W+005.000	G81 Definition eines Bohrzyklus Z-005.000 Bohrtiefe, inkremental ab der Sicherheitsebene W+005.000 Abstand der Sicherheits- von der Rückzugsebene
N290	G78 X+018.000 Y+018.000 A+090.000 D+064.000 S0002	G78 Zyklusaufruf auf einer Geraden X+018.000 X-Koordinate der ersten Zyklusausführung Y+018.000 Y-Koordinate der ersten Zyklusausführung A+090.000 Winkel der Geraden zur positiven X-Achse D+064.000 Abstand der einzelnen Ausführungen S0002 Anzahl der Ausführungen
 Automatik Achskoordin.: X+018.000 Y+018.000 Z-004.560 Bearbtechnol.: S1000 F050.000 T0404 Schnittgschw.: S0000 Spindel/Kühl: M03 M08 Laufzeit: 01:29:17 Modale Bef: G00 G40 G90 G94 G97 Override: F 100%		
N295	G78 X+082.000 Y+082.000 A+270.000 D+064.000 S0002	G78 Zyklusaufruf auf einer Geraden X+082.000 X-Koordinate der ersten Zyklusausführung Y+082.000 Y-Koordinate der ersten Zyklusausführung A+270.000 Winkel der Geraden zur positiven X-Achse D+064.000 Abstand der einzelnen Ausführungen S0002 Anzahl der Ausführungen
N300	G00 Z+100.000 M09 M05	G00 Verfahren im Eilgang Z+100.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M09 Kühlwasser aus M05 Spindel aus

Satz-Nr	Befehle	Erläuterung
11) 4x Kernloch bohren		
N305	S1000 T0404 M03	S1000 Spindeldrehzahl T0404 Anwahl des Werkzeuges Nr. 4 M03 Spindel einschalten im Rechtslauf
N310	G00 Z+002.000 M08	G00 Verfahren im Eilgang Z+002.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M08 Kühlwasser an
N315	G81 Z-010.000 W+005.000	G81 Definition eines Bohrzyklus Z-010.000 Bohrtiefe, inkremental ab der Sicherheitsebene W+005.000 Abstand der Sicherheits- von der Rückzugsebene
N320	G78 X+018.000 Y+018.000 A+090.000 D+064.000 S0002	G78 Zyklusaufwurf auf einer Geraden X+018.000 X-Koordinate der ersten Zyklusausführung Y+018.000 Y-Koordinate der ersten Zyklusausführung A+090.000 Winkel der Geraden zur positiven X-Achse D+064.000 Abstand der einzelnen Ausführungen S0002 Anzahl der Ausführungen
N325	G78 X+082.000 Y+082.000 A+270.000 D+064.000 S0002	G78 Zyklusaufwurf auf einer Geraden X+082.000 X-Koordinate der ersten Zyklusausführung Y+082.000 Y-Koordinate der ersten Zyklusausführung A+270.000 Winkel der Geraden zur positiven X-Achse D+064.000 Abstand der einzelnen Ausführungen S0002 Anzahl der Ausführungen
N330	G00 Z+100.000 M09 M05	G00 Verfahren im Eilgang Z+100.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M09 Kühlwasser aus M05 Spindel aus

Satz-Nr	Befehle	Erläuterung
12) 4x Gewindebohren		
N335	S0150 T0505 M03	S0150 Spindeldrehzahl T0505 Anwahl des Werkzeuges Nr. 5 M03 Spindel einschalten im Rechtslauf
N340	G00 Z+002.000 M08	G00 Verfahren im Eilgang Z+002.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M08 Kühlwasser an
N345	G84 Z-008.000 W+005.000	G84 Definition eines Gewindebohrzyklus Z-008.000 Bohrtiefe, inkremental ab der Sicherheitsebene W+005.000 Abstand der Sicherheits- von der Rückzugsebene
N350	G78 X+018.000 Y+018.000 A+090.000 D+064.000 S0002	G78 Zyklusaufruf auf einer Geraden X+018.000 X-Koordinate der ersten Zyklusausführung Y+018.000 Y-Koordinate der ersten Zyklusausführung A+090.000 Winkel der Geraden zur positiven X-Achse D+064.000 Abstand der einzelnen Ausführungen S0002 Anzahl der Ausführungen
N355	G78 X+082.000 Y+082.000 A+270.000 D+064.000 S0002	G78 Zyklusaufruf auf einer Geraden X+082.000 X-Koordinate der ersten Zyklusausführung Y+082.000 Y-Koordinate der ersten Zyklusausführung A+270.000 Winkel der Geraden zur positiven X-Achse D+064.000 Abstand der einzelnen Ausführungen S0002 Anzahl der Ausführungen
		
N360	G00 Z+100.000 M09 M05	G00 Verfahren im Eilgang Z+100.000 Z- Koordinate vom Zielpunkt M09 Kühlwasser aus M05 Spindel aus
N365	M30	M30 Programmende

Simulation des NC-Programms

Im Automatikbetrieb werden die erstellten NC-Programme in Echtzeit und unter Kollisionsbetrachtungen simuliert.

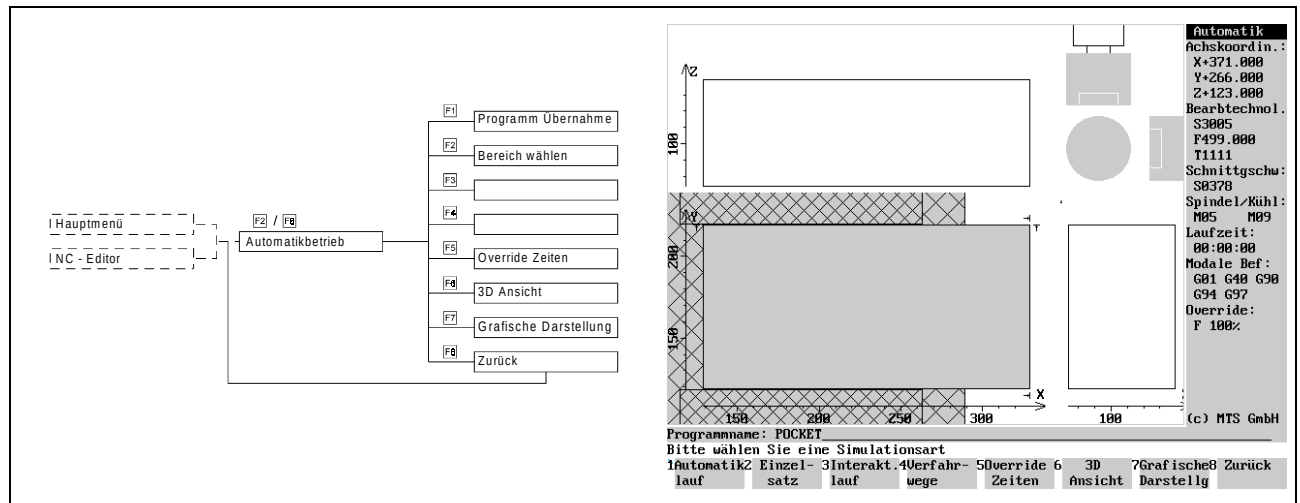


Abbildung 188

Schematische Darstellung der Menüfolge zum Menü Automatikbetrieb.

Abbildung 189

Menü Automatikbetrieb

Um ein NC-Programm zu simulieren sind zwei Arbeitsschritte notwendig:

1. Nach dem Aufruf des Automatikbetriebes wird zuerst das Hauptmenü geladen. Anschließend muß der Name des NC-Programmes eingegeben werden, das im Automatikbetrieb simuliert werden soll.

Programm übernehmen: Mit **F1** oder **↵** wird der in der Informationzeile angegebene Programmname bestätigt. Ist dieses NC-Programm vorhanden, wird es in den Programmspeicher geladen, andernfalls erfolgt eine entsprechende Fehlermeldung.

2. Danach muß die gewünschte Simulationsart ausgewählt werden.

Automatik: Mit **F1** wird das in der Dialogzeile angegebene NC-Programm im durchgehenden Automatiklauf simuliert.

Einzelsatz: Mit **F2** wird das in der Dialogzeile angegebene NC-Programm im Einzelsatzbetrieb simuliert.

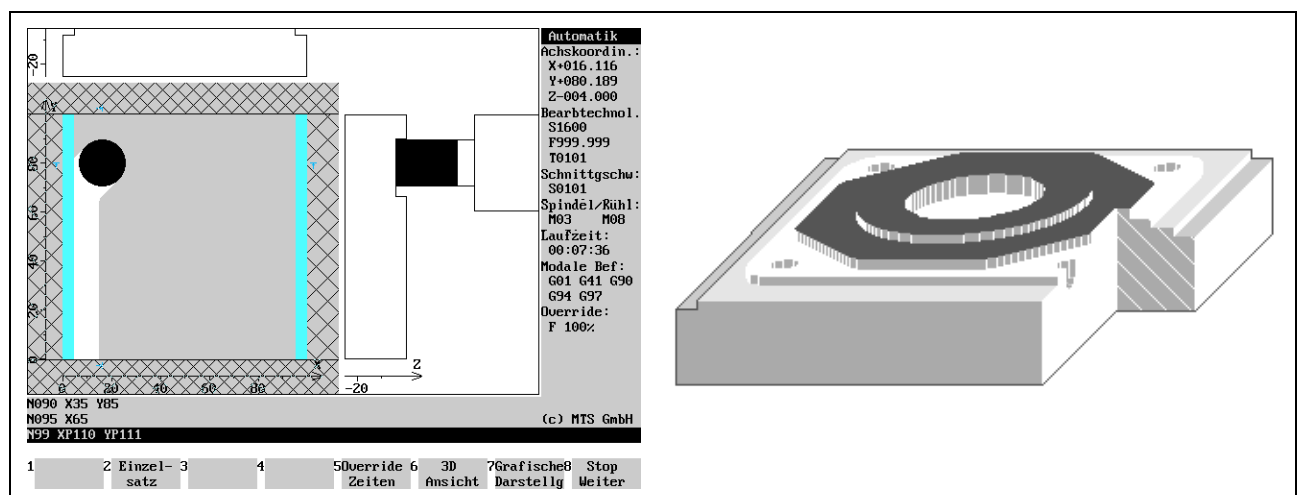


Abbildung 190

Menü während des durchgehenden Automatiklaufs

Abbildung 191

geschnittene 3D Ansicht

Werkstatt

Die Schüler sollen das programmierte Frästeil an der CNC-Fräsmaschine herstellen.

Kenntnistest „Einführung in die NC-Programmierung“

1.	Nennen Sie die Arbeitsschritte bei einer manuellen Programmierung!
2.	Worin unterscheidet sich ein Arbeitsplan von einem Programmblatt?
3.	Erklären Sie den Begriff „Schaltinformation“!
4.	Nennen Sie fünf Befehle für eine CNC-Maschine und erläutern Sie diese!
5.	Erläutern Sie den Aufbau eines NC-Programmes!
6.	Erläutern Sie die Struktur eines Programmsatzes!
7.	Erläutern Sie die Struktur eines Programmwortes!
8.	Erläutern Sie die Adreßbuchstaben F, S, T, M, X, Y, Z!
9.	Erläutern Sie folgende Programmwörter, wenn a) Absolute Programmierung (G90) b) Inkrementale Programmierung vorliegt (G91)! X 53, Z 184.005
10.	Was wird mit den Adreßbuchstaben I, J, K ausgedrückt?
11.	Kennzeichnen Sie die folgenden Funktionen mit dem zutreffenden Programmwort! (G-Befehl oder M-Befehl) Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn Kühlmittel ein Drehrichtungsaufzug linkslaufend
12.	Begründen Sie, in welchen Fällen konstante Schnittgeschwindigkeiten erforderlich werden!
13.	Durch welche Wegbedingung wird die konstante Schnittgeschwindigkeit programmiert?
14.	Lesen und beschreiben Sie den folgenden Programmsatz! Stellen Sie den Bewegungsablauf zeichnerisch dar! G01 G95 X100 Z-5 F0.25 S600 T0101
15.	Lesen und beschreiben Sie den folgenden Programmsatz! Stellen Sie den Bewegungsablauf zeichnerisch dar! G02 G96 X30 Z-30 I30 K-15 F0.2 S180
16.	Lesen und beschreiben Sie den folgenden Programmabschnitt! N5 G90 G96 T0101 S100 M3 M8 N10 G0 X133 Z2 N20 G1 Z-395 F0.3 N30 G0 X135 Z2 N40 X123 N50 G1 Z-269.8 N60 G2 X133 Z-274.8 I133 K-269.8 O70 N70 G0 Z2

Lösung zur Aufgabe auf der Seite 164

NC-Satz	Befehl	Beschreibung
	O 0300	O0300 Programname
N05	T0404	Anwahl des Werkzeuges Nr.4
	G96	Konstante Schnittgeschwindigkeit einschalten
	S140	Spindeldrehzahl
	M4	Spindel einschalten im Linkslauf
N10	G92	Drehzahlbegrenzung
	S3000	Drehzahl in Umdrehungen pro Minute
N15	G0	Verfahren im Eilgang
	X20	X-Koordinate vom Zielpunkt
	Z2	Z-Koordinate vom Zielpunkt
	M8	Kühlwasser an
N20	G1	Geradeninterpolation im Vorschub
	X20	X-Koordinate vom Zielpunkt
	Z0	Z- Koordinate vom Zielpunkt
	G42	Schneidenradiuskorrektur rechts von der Kontur
N25	G3	Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn
	X28	X-Koordinate vom Zielpunkt
	Z-4	Z-Koordinate vom Zielpunkt
	I0	Abstand des Kreismittelpunktes vom Startpunkt in X
	K-4	Abstand des Kreismittelpunktes vom Startpunkt in Z
N30	G1	Geradeninterpolation im Vorschub
	Z-28	Z-Koordinate vom Zielpunkt
N35	G2	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
	X34	X-Koordinate vom Zielpunkt
	Z-31	Z-Koordinate vom Zielpunkt
	I3	Kreismittelpunkt in X-Richtung
	K0	Kreismittelpunkt in Z-Richtung
N40	G1	Geradeninterpolation im Vorschub
	X38	X-Koordinate vom Zielpunkt
	Z-33	Z-Koordinate vom Zielpunkt
N45	G1	Geradeninterpolation im Vorschub
	Z-53	Z-Koordinate vom Zielpunkt
N50	G1	Geradeninterpolation im Vorschub
	X44	X-Koordinate vom Zielpunkt

NC-Satz.	Befehl	Beschreibung
N55	G3	Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn
	X50	X-Koordinate vom Zielpunkt
	Z-56	Z-Koordinate vom Zielpunkt
	I0	Kreismittelpunkt in X-Richtung
	K-3	Kreismittelpunkt in Z-Richtung
N60	G1	Geradeninterpolation im Vorschub
	Z-64	Z-Koordinate vom Zielpunkt
N65	G2	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
	X62	X-Koordinate vom Zielpunkt
	Z-70	Z-Koordinate vom Zielpunkt
	I6	Kreismittelpunkt in X-Richtung
	K0	Kreismittelpunkt in Z-Richtung
N70	G1	Geradeninterpolation im Vorschub
	X66	X-Koordinate vom Zielpunkt
N75	G1	Geradeninterpolation im Vorschub
	X71	X-Koordinate vom Zielpunkt
	Z-72	Z-Koordinate vom Zielpunkt
N80	G1	Geradeninterpolation im Vorschub
	X76	X-Koordinate vom Zielpunkt
N85	G40	Abwahl der Schneidenradiuskorrektur
N90	G0	Verfahren im Eilgang
	X200	X-Koordinate vom Zielpunkt
	Z200	Z-Koordinate vom Zielpunkt
	M5	Spindel ausschalten
	M9	Kühlmittel ausschalten
N95	M30	Programmende

Lösung zur Aufgabe auf der Seite 166

NC-Satz	Befehl	Beschreibung
	FX100	Programmname
N05	G54	Absoluten Nullpunkt setzen
	X+145.000	X- Koordinate vom Zielpunkt
	Y+090.000	Y- Koordinate vom Zielpunkt
	Z+114.000	Z- Koordinate vom Zielpunkt
N10	T0101	Anwählen eines Werkzeuges
	M03	Spindel einschalten im Rechtslauf
	S1600	Spindeldrehzahl
N15	G00	Verfahren im Eilgang
	X-030.000	X- Koordinate vom Zielpunkt
	Y-030.000	Y- Koordinate vom Zielpunkt
N20	Z-006.000	Z- Koordinate vom Zielpunkt
	M08	Kühlwasser an
N30	G41	Fräserradiuskorrektur links von der Kontur
	G47	Anfahren der Kontur im Viertelkreis
	A+022.000	Radius des Viertelkreises
	G01	Geradeninterpolation im Vorschub
	X+010.000	X- Koordinate vom Zielpunkt
	Y-002.000	Y- Koordinate vom Zielpunkt
	F250.000	Vorschub in mm pro min
N35	Y+082.000	Y- Koordinate vom Zielpunkt
N40	G02	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
	X+018.000	X- Koordinate vom Zielpunkt
	Y+090.000	Y- Koordinate vom Zielpunkt
	B+008.000	Radius
N45	G01	Geradeninterpolation im Vorschub
	X+082.000	X- Koordinate vom Zielpunkt
N50	G02	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
	X+090.000	X- Koordinate vom Zielpunkt
	Y+082.000	Y- Koordinate vom Zielpunkt
	B+008.000	Radius
N55	G01	Geradeninterpolation im Vorschub
	Y+018.000	Y- Koordinate vom Zielpunkt

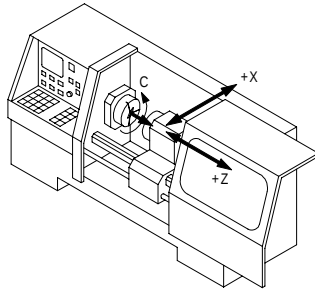
NC-Satz	Befehl	Beschreibung
N60	G02	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
	X+082.000	X- Koordinate vom Zielpunkt
	Y+010.000	Y- Koordinate vom Zielpunkt
	B+008.000	Radius
N65	G01	Geradeninterpolation im Vorschub
	X+018.000	X- Koordinate vom Zielpunkt
N70	G02	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
	X+010.000	X- Koordinate vom Zielpunkt
	Y+018.000	Y- Koordinate vom Zielpunkt
	B+008.000	Radius
N75	G03	Kreisinterpolation im Gegenuhrzeigersinn
	X-010.000	X- Koordinate vom Zielpunkt
	Y+048.000	Y- Koordinate vom Zielpunkt
	B+030.000	Radius
N80	G40	Abwahl der Fräserradiuskorrektur
	G47	Abfahren der Kontur im Viertelkreis
	A+022.000	Radius des Viertelkreises
N85	G00	Verfahren im Eilgang
	Z+100.000	Z- Koordinate vom Zielpunkt
	M05	Spindel ausschalten
	M09	Kühlmittel ausschalten
N90	M30	Programende

Antworten zum Kenntnistest „CNC-Grundlagen“:

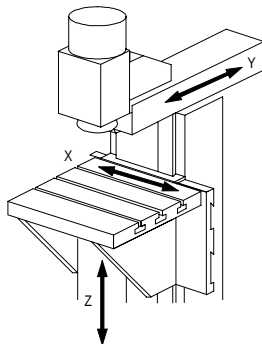
1.	- Die CNC-Werkzeugmaschine wird nicht mehr von Hand bedient, sondern programmiert. Anschließend arbeitet sie selbständig ein NC-Programm ab. - Die CNC-Werkzeugmaschine hat geregelte Achsantriebe. - Die CNC-Werkzeugmaschine hat für jede Verfahrachse Wegmeßsysteme.
2.	- Alle notwendigen Informationen zur Herstellung eines Werkstückes werden in Form von Befehlen eingegeben. - Der in der CNC-Steuerung vorhandene Computer steuert alle Funktionen und regelt alle Bewegungen.
3.	- Die CNC-Werkzeugmaschinen haben höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten - Die CNC-Werkzeugmaschinen arbeiten mit gleichbleibender Qualität. - Die CNC-Werkzeugmaschinen arbeiten mit höherer Genauigkeit. - Die CNC-Werkzeugmaschinen führen zu geringeren Durchlaufzeiten.
4.	- Die Vorschubachsen müssen regelbar sein, damit das Werkzeug immer in die gewünschte genaue Position gebracht wird.
5.	- Motor - mechanische Kupplung gegen Überlastung sowie die elektronische Ansteuerung - Kugelgewindetrieb zur spielfreien Kraftübertragung - Meßgeber als Wegmeßsystem - Leistungsverstärker mit analogen oder digitalen Schnittstellen zur CNC-Steuerung
6.	- Mindestens zwei Achsen.
7.	- Die X-Achse (Plandrehachse). - Die Z-Achse (Längsachse).
8.	- Mindestens drei Achsen.
9.	- Die X-Achse. - Die Y-Achse. - Die Z-Achse.
10.	- Die steuerbare Spindelachse C an der CNC-Drehmaschine. - Die Drehachse C eines Rundtisches an der CNC-Fräsmaschine.
11.	- Mit angetriebenen Werkzeugen können Fräs- und Bohrarbeiten in der CNC-Drehmaschine durchgeführt werden.
12.	- Durch die Drehung eines Rundtisches können Dreharbeiten in der CNC-Fräsmaschine ausgeführt werden. - Das Werkstück kann von mehreren Seiten bearbeitet werden.
13.	- Sie ermöglicht eine spielfreie Bewegung der Vorschubachsen. - Die beiden Hälften der Kugelgewindemutter sind gegeneinander verspannt. Über die Kugeln wird die Kraft reibungsarm zwischen der Spindel und der Mutter übertragen.
14.	- Bei der direkten Positionsmessung wird die Position direkt am Schlitten gemessen. - Bei der indirekten Positionsmessung wird die Position aus der Drehung der Spindel bestimmt.
15.	- Bei der absoluten Positionsmessung kann die Position unmittelbar an der Meßskala bestimmt werden. - Bei der indirekten Positionsmessung werden nur Bewegungen aufaddiert. Die Position muß deshalb ständig berechnet werden.
16.	- Zum Konstanthalten der Schnittgeschwindigkeit. - Für kontrollierte Anlauf- und Bremsvorgänge.
17.	- Werkzeugrevolver - Werkzeugmagazine mit Wechseleinrichtung
18.	- Kettenmagazine - Längs magazine - Ring magazine - Teller magazine - Kassettenmagazine

Antworten zum Kenntnistest „Geometrische Grundlagen“:

1. - Dehen :



2. - Fräsen :



3. - Wenn Punkte über einen Winkel und einer Entfernung bemaßt sind. Bsp. Lochkreis.

4. - Punktsteuerung

- Streckensteuerung

- Bahnsteuerung

5. - 2 ½D Bahnsteuerung in der X/Y-Ebene

- 2 ½D Bahnsteuerung in der X/ZEbene

- 2 ½D Bahnsteuerung in der Y/Z-Ebene

6. - Bei einer 2 ½D Bahnsteuerung können alle drei Achsen einzeln verfahren werden, gleichzeitig jedoch nur zwei. Deswegen muß man die entsprechende Ebene, in der verfahren werden soll, vorher auswählen.

7. - Der Maschinennullpunkt M ist der Ursprung des Maschinenkoordinatensystems.

- Der Werkstücknullpunkt W ist der Ursprung des werkstückbezogenen Koordinatensystems. Er wird so gelegt, daß die Zeichungsmaße direkt übernommen werden können.

- Der Referenzpunkt R wird bei Maschinen mit inkrementalem Wegmeßsystem benötigt, um der Steuerung einmal eine absolute Position mitzuteilen.

- Der Werkzeugbezugspunkt E dient zur Vermessung der verwendeten Werkzeuge.

8. - Der Werkstücknullpunkt W sollte so liegen, daß zum Programmieren die Zeichungsmaße direkt übernommen werden können.

- Beim Drehen in der Drehachse und meist in der Stirnfläche des Werkstückes.

- Beim Fräsen meist am linken unteren Eckpunkt der Werkstückoberfläche.

9. - Maßtoleranzen addieren sich nicht.

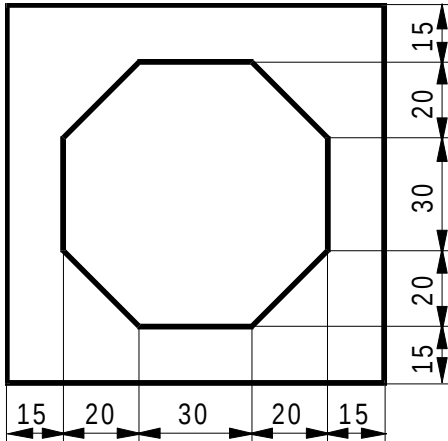
- Einzelne falsche Maße führen nicht zu Folgefehlern.

- Bei Drehteilen können die Durchmesserwerte direkt als X-Werte eingegeben werden.

10. - Wenn Punkte inkremental bemaßt sind.

- Wenn gleiche Konturen oder Bohrbilder sowie Einstiche zu fertigen sind.

11.



12. - Eine Steuerkette ist offen - ein Regelkreis ist geschlossen!

- Bei einer Steuerkette werden Maschinen beeinflusst, ohne die Auswirkung zu überprüfen. Infolge innerer und äußerer Einflüsse können Abweichungen von den gewünschten Sollwerten eintreten.

- Bei einem Regelkreis werden diese Abweichungen korrigiert, indem die tatsächlichen Werte gemessen und über den Regelkreis den gewünschten Sollwerten angeglichen werden.

13. - Bsp. Lageregelkreis:

Beim Verfahren des Werkzeuges wird die gewünschte Position als Sollwert dem Lageregelkreis übergeben. Das Wegmeßsystem mißt die tatsächliche Position und gibt sie als Istwert dem Lageregelkreis. Bei einer Abweichung der beiden Werte, auch infolge innerer und äußerer Einflüsse (Störgrößen) wird eine entsprechende Bewegung veranlaßt, bis die gewünschte Position (Sollwert) erreicht ist.

14. - Weil Fräser mit unterschiedlichem Durchmesser zum Einsatz kommen können. Wenn nur die Fräsermittelpunktsbahn berücksichtigt würde, entstehen Maßabweichungen am Werkstück.

15. - Die Länge des Fräswerkzeug L.

- Der Radius des Fräswerkzeug R.

16. - Bei Verfahrensbewegungen, die nicht parallel zur X- oder Z-Achse verlaufen, entstehen Maßabweichungen.

17. - Die Länge des Drehwerkzeug L.

- Die Querablage Q.

- Der Schneidenradius R.

18. - Damit die Steuerung den Schneidenradius in der richtigen Richtung verrechnen kann.

19. - Vermessung mit einem Werkzeugvoreinstellgerät.

- Vermessung mit Nullwerkzeugen.

- Direktes Vermessen durch das Fertigen eines Werkstückes.

- Optische Vermessung an der CNC-Werkzeugmaschine.

Antworten zum Kenntnistest „Technologische Grundlagen“:

1.	- Werkzeugaufnahme - Werkzeughalter - Wendeschneidplatte
2.	- gegenüber Schnellarbeitsstahl höhere Schnittgeschwindigkeiten und höhere Standzeiten - schnelles und einfaches Auswechseln der Wendeschneidplatten
3.	- P (blau) für langspanende Werkstoffe - M (gelb) für schwer zerspanbare Werkstoffe - K (rot) für kurzspanende Werkstoffe
4.	- Der Freiwinkel beeinflusst die Reibung am Werkstück und damit die Erwärmung der Schneide.
5.	- Mit größerem Spanwinkel verbessert sich der Spanabfluß. - Mit größerem Spanwinkel werden die Schnittkräfte kleiner.
6.	- Mit größerem Spanwinkel steigt die Bruchgefahr der Schneide. - Mit größerem Spanwinkel steigt Kolkverschleiß.
7.	- Negative Spanwinkel sind bei der Zerspanung von harten und spröden Werkstoffen erforderlich.
8.	- Der Einstellwinkel beeinflusst die Vorschubkraft, die Kräfte gegen das Werkstück, die Spanungsbreite und die Spanungstiefe.
9.	$V_c = \pi * d * n$, oder $n = \frac{V_c}{\pi * d}$ $n = \frac{120m}{\pi * \text{min} * 0,08m}$ $\underline{\underline{n = 477 \frac{1}{\text{min}}}}$
10.	$V_c = \pi * d * n$ $V_c = \pi * 0,25 \cdot m \cdot 100 \frac{1}{\text{min}}$ $\underline{\underline{V_c = 78 \frac{m}{\text{min}}}}$

11. - Die Lage des Werkstückes eindeutig bestimmen. - Das Werkstück gegen alle Kräfte festhalten.
12. - Keilstangenfutter - Backenfutter mit Planspirale eventuell Zweibackenfutter Dreibackenfutter Vierbackenfutter
13. - große Werkstücke - unregelmäßig geformte Werkstücke
14. - Beim Spannen langer und schlanker Werkstücke.
15. - mechanische Krafterzeugung - pneumatische Krafterzeugung - hydraulische Krafterzeugung - elektrische Krafterzeugung
16. - Spannen mit Spannelementen - Maschinenschraubstock - Vorrichtungen
17. - schnelles Wechseln der Werkstücke - genaues Spannen der Werkstücke

Antworten zum Kenntnistest „Einführung in die NC-Programmierung“:

1.	Das prinzipielle Vorgehen bei einer manuellen Programmierung ist, daß der Programmierer alle notwendigen Angaben für ein NC-Programm selbst ermitteln muß! Die einzelnen Arbeitsschritte sind:
	1. Festlegung des Bearbeitungsablaufes 2. Bestimmung der notwendigen Werkzeuge 3. Ermittlung der technologischen Daten 4. Ermittlung der geometrischen Daten 5. Erstellung des NC-Programmes 6. Kontrolle des NC-Programmes
2.	Der Arbeitsplan enthält alle Bearbeitungsfolgen, Spannmittel und die technologischen Daten, die anhand der Fertigungszeichnung festgelegt werden.
3.	Schaltinformationen sind Befehle, die bestimmte Maschinenfunktionen ein- oder ausschalten. Beispiel: Spindeldrehung Kühlwasser Werkzeugwechsel
4.	s.vergleichende Darstellung der NC-Programmierschlüssel verschiedener NC-Steuerungen.
5.	Ein NC-Programm besteht aus einem Anfang (Bsp.:%), einem Ende (Bsp.:M30) und einer chronologischen Abfolge von NC-Sätzen.
6.	Ein NC-Satz besteht aus einer Satznummer und einer Anzahl von Wörtern.
7.	Ein Programmwort besteht aus einem Adreßbuchstaben und einer Zahl mit Vorzeichen.
8.	- F Vorschub - S Spindeldrehzahl - T Werkzeugposition im Werkzeugspeicher oder im Werkzeugrevolver - M Zusatz- oder Schaltinformation - X Zielkoordinate in X-Richtung - Y Zielkoordinate in Y-Richtung - Z Zielkoordinate in Z-Richtung
9.	a) Fahre auf einen Durchmesser von 53mm und auf eine Zielkoordinate Z 184.005. b) Fahre inkremental vom derzeitigen Werkzeugstandort 53mm in +X-Richtung und 184.005 in+Z-Richtung.
10.	Die Adreßbuchstaben I, J, K sind Interpolationsparameter und geben z.B. bei der Programmierung von Kreisbewegungen die Koordinaten des Kreismittelpunktes bezogen auf den Startpunkt der Kreisbewegung inkremental an.
11.	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn: G02 Kühlmittel ein: M8 Drehrichtungsaufzuruf linkslaufend: M3
12.	Die konstante Schnittgeschwindigkeit wird beim Plan- und Formdrehen verwendet. Man erreicht dadurch eine gleichbleibende Oberflächengüte, da sich die Drehzahl dem sich ändernden Durchmesser ständig anpaßt.
13.	Durch den Befehl G96 mit Angabe einer Anfangsdrehzahl S. Bsp.: G96 S2000
14.	G01 G95 X100 Z-5 F0.25 S600 T0101 Fahre mit dem Werkzeug Nr 1 und unter Berücksichtigung des Werkzeugkorrekturwertes im Speicher Nr 1 in einer linearen Bewegung mit dem Vorschub von 0,25mm pro Umdrehung auf die Zielkoordinate X100 (Durchmesser) und Z-5.

15. G02 G96 X30 Z-30 I15 K-15 F0.2 S180

Fahre in einer Kreisbewegung im Uhrzeigersinn mit konstanter Schnittgeschwindigkeit und einem Vorschub von 0,2mm pro Umdrehung auf die Zielkoordinate X30 und Z-30. Der Mittelpunkt des Kreises liegt 15mm in +X-Richtung und 15mm in +Z-Richtung vom Startpunkt inkremental entfernt.

16. N5 G90 G96 T0101 S100 M3 M8

Aufruf der Absolutprogrammierung, konstanter Schnittgeschwindigkeit mit Anfangsdrehzahl 100 Umdrehungen pro Minute, des Werkzeuges Nr1 mit den Korrekturwerten im Speicher Nr.1. Einschalten der Spindel im Rechtslauf und des Kühlwassers.

N10 G0 X133 Z2

Das Werkzeug fährt im Eilgang auf den Zielpunkt X133 und Z2.

N20 G1 Z-395 F0.3

Das Werkzeug fährt mit einem Vorschub von 0,3mm pro Umdrehung auf den Zielpunkt X133 und Z-395.

N30 G0 X135 Z2

Das Werkzeug fährt im Eilgang auf den Zielpunkt X135 und Z2.

N40 X123

Das Werkzeug fährt im Eilgang auf den Zielpunkt X123 und Z2.

N50 G1 Z-269.8

Das Werkzeug fährt mit einem Vorschub von 0,3mm pro Umdrehung auf den Zielpunkt X123 und Z-269.8.

N60 G2 X133 Z-274.8 I5 K0

Das Werkzeug fährt mit einem Vorschub von 0,3mm pro Umdrehung in einer Kreisbewegung im Uhrzeigersinn auf den Zielpunkt X133 und Z-274.8. Der Kreismittelpunkt liegt 5mm in +X-Richtung vom Startpunkt inkremental entfernt.

N70 G0 Z2

Das Werkzeug fährt im Eilgang auf den Zielpunkt X133 und Z2.