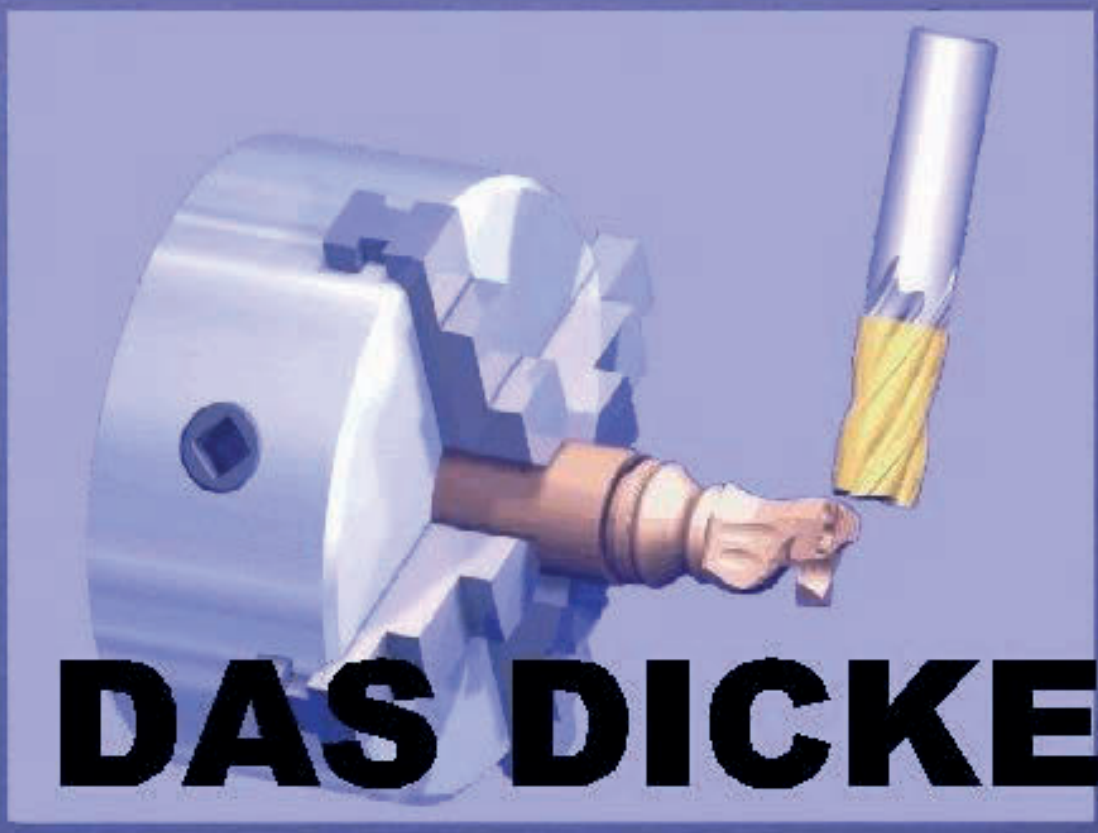
STEPHAN PAUSCH



DAS DICKE CNC-BUCH

Ausgabe 2019-1

www.cnc-pausch.de

Leerseite 1

„DAS DICKE CNC-BUCH“

Das Buch entstand vorwiegend aus früheren Einzelartikeln meiner langjährigen Webseite ohne fremde Hilfe durch Grafik- oder Druckexperten, so dass die Gesamtpräsentation nicht unbedingt völlig professionell erscheinen muss. Ich nenne es einfach „Das dicke CNC-Buch“, um es von den anderen, immer wiederkehrenden ähnlich- oder gleichlautenden Titeln deutlich abzusetzen. Dazu kommt, dass mit dem umfangreichen Inhalt ein wirklich dicker „Schinken“ entstand.
Dieses Buch wurde nicht nur aus anderen Werken „zusammengeschrieben“, sondern entstand fast ausschließlich aus eigenen Erfahrungen. Es wurde von einem erstellt, der selbst an den Maschinen herum geschraubt hat und auch die ganzen Nebenbedingungen wie Schichtarbeit und den sonstigen Werkstattstress kennt. Der Unterschied ist beabsichtigt und auf Fremdwörter und „geschwollene“ Fachausdrücke wurde soweit als möglich verzichtet. Es geht hier nicht um das Gewinnen eines Literaturpreises, sondern um das Begreifen der Materie.

Warum die Mühe und dazu noch kostenlos?

Zuerst einmal aus Dankbarkeit für die vielen kostenlosen Informationen aus dem Internet, ob aus ganzen Büchern, auf speziellen Webseiten oder in umfangreichen Foren. Es gibt noch Menschen, die nicht für jede Auskunft oder jeden Handschlag Geld nehmen und dafür oft nicht einmal ein „Dankeschön“ bekommen, manchmal sogar deswegen angefeindet werden. Euch allen, vielen Dank!

Der andere Grund: mit Fachbüchern wird man nicht reich, wenn es nicht zum Standardwerk mit hoher Auflage wird. Kein Vergleich zu den Bestsellerautoren mit Millionenauflagen. Die Verlage werden regelmäßig mit Scripts von allen möglichen Leuten zugemüllt, welche glauben, dass ihre Memoiren oder die Liebe zu ihrem Haustier die Welt bewegt. Deshalb schotten sich die Verlage mit strengen Kriterien dagegen ab und fordern oft sogar eine Vorauszahlung vom Autor. Immerhin müssen die Druckkosten, Werbung und Vertriebskosten vorgestreckt werden. Es ist natürlich jedem freigestellt ein Buch zu schreiben, es auf eigene Rechnung drucken zu lassen und im „Eigenverlag“ die Werbung dafür zu machen und zu verkaufen.
Ich nehme die billigere Variante und stelle es einfach ins Internet, in der Hoffnung, dass es vielen Kollegen nützlich sei und dankbar angenommen wird. Der Zweck dieses Buches wird schon erreicht, wenn der Leser neue hilfreiche Erkenntnisse daraus schöpft.
Da jeder Künstler auch vom Applaus lebt, würde ich mich über gelegentliches Lob freuen.

Hinweise zum Lesen

Jedes Kapitel, bzw. Unterkapitel enthält ein abgeschlossenes Thema (Lerneinheit).
Stichwörter können gezielt mit der Suchfunktion Ihres Leseprogrammes gefunden werden.

Dieses Buch kann noch Fehler enthalten. Anregungen und Hinweise auf evtl. Fehler werden gerne entgegengenommen.

Webseite: www.cnc-pausch.de E-Mail: info@cnc-pausch.de cnctechnik@freenet.de

Vorwort

Mit dem vorliegenden CNC-Buch, das aus dem Wissen jahrzehntelanger Erfahrung zusammengestellt wurde, soll eine solide theoretische Grundlage geschaffen werden, die über das von den Berufsverbänden geforderte Niveau hinausgeht, da auch viele alternative Möglichkeiten aufgezeigt werden. Ich habe mir hier auch erlaubt, zur Auflockerung einige eigene Erfahrungen zu schildern.

Vor allem für den Anfänger gedacht, findet sicherlich auch der Profi einiges, was ihm bisher unbekannt war.
Praktische Übungen und Erfolgskontrollen können mit verschiedenen CNC-Simulationen aus dem Internet ausgeführt werden. Ich empfehle z. B. CNCezPRO, bei dem ich an der Entwicklung mitgearbeitet habe und womit die hier enthaltenen Programme überprüft wurden. Die Testversion kann kostenlos auf meiner Webseite heruntergeladen werden.
Die Programmierung wird hier gemäß DIN / ISO angewendet, wie allgemein üblich. Hierbei wird so steuerungsneutral wie möglich programmiert, allerdings angelehnt an eine klassische Fanuc-Steuerung, die meistverkauften Steuerungen weltweit.
In Deutschland ist die Ausbildung nach PAL als Teil der DIN-/ISO-Norm vorgeschrieben. Da umfangreiche Literatur zu den speziellen Zyklen von PAL existiert, wird in diesem Buch nicht näher darauf eingegangen, um dessen Umfang im Rahmen zu halten, auch im Hinblick auf eine internationale Verwendung.
Die Einführung in die Programmierung erfolgt nach bewährtem Muster, welches für fast alle Steuerungen (auch ältere) gilt. Programmiererleichterungen, wie bei vielen neueren Steuerungen üblich, werden ebenso aufgezeigt, wie alternative Formen der Programmierung.

Erfahrungen von Unternehmen und Arbeitnehmern zeigen immer wieder, dass man ohne fundierte theoretische Vorkenntnisse nach einem ein- oder zweiwöchigen Schnellkurs beim Maschinenhersteller immer noch überfordert ist, um die Maschinen wirklich zu beherrschen.

Wie fast alle allgemeinen CNC-Kurse behandelt dieses Buch nur Fräsen und Drehen. Diese zwei wichtigsten Bearbeitungsverfahren decken den weitaus größten Teil aller Anwendungen ab. Mit den hier erworbenen Kenntnissen kann leicht auf Schleifen, Stanzen, Brenn-, Laser- und Wasserstrahlschneiden oder Drahterodieren umgestellt werden. Auch in die Handhabung von Robotern kann man sich trotz einer anderen Programmiersprache leichter einarbeiten, da die Grundlagen die selben sind.
Mit einer Ausbildung oder entsprechender Berufserfahrung in spanender Fertigung und diesem theoretischen Wissen haben Sie das nötige Rüstzeug, um nach kürzester Einarbeitungszeit an Ihrer CNC-Maschine erfolgreich produzieren zu können.
Ebenso soll dieses Buch dem Vorgesetzten und dem Ausbilder eine Hilfestellung bieten, um seine Mitarbeiter oder Schüler anzuleiten und mit neuen Ideen die Fertigung zu optimieren.

Dazu wünsche ich Ihnen viel Erfolg für ein profitables Arbeiten mit Ihren CNC-Maschinen oder auch beim Erlangen eines interessanten Arbeitsplatzes mit besten Aufstiegsmöglichkeiten.

Stephan Pausch

Hinweise

Markenhinweise

Alle in diesem Buch und in beiliegenden Datenträgern (z.B. CDs) genannten und gezeigten Marken, Produktnamen oder Warenzeichen und Logos sind eingetragene Marken oder eingetragene Warenzeichen ihrer jeweiligen Eigentümer und ggf. nicht gesondert gekennzeichnet. Aus dem Fehlen der Kennzeichnung kann nicht geschlossen werden, dass es sich bei einem Begriff oder einem Bild nicht um eine eingetragene Marke oder ein eingetragenes Warenzeichen handelt.

Haftungsausschluss

Für Schäden oder Ereignisse die aus dem Gebrauch der nachfolgenden Inhalte entstehen, kann keine Haftung übernommen und keine sonstigen Ansprüche hergeleitet werden. Letztendlich sind die Bedienungsanleitungen und Einweisungen durch die Maschinen- und Steuerungs-Hersteller bindend.
Zum Betrieb von Maschinen und sonstigen Arbeitsmitteln wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die jeweils geltenden Sicherheits- und Unfallverhütungs-Vorschriften unbedingt in allen Punkten einzuhalten sind.

Rechte des Autors, Copyright ©

Der Inhalt dieses Buches ist jedermann für Lernzwecke frei zugänglich. Eine Weiterverbreitung und Weiterempfehlung ist erwünscht.
Für Veröffentlichungen oder Unterrichtszwecke sind die Quelle und der Name des Autors zu nennen.
Die gewerbliche Nutzung und jede Verbreitung gegen Entgelt bedarf der vorherigen Zustimmung des Autors.

Erscheinungsweise

An diesem Buch wird weiterhin gearbeitet. Wenn genügend Interesse daran gezeigt wird und ausreichend neuer Inhalt zusammen gekommen ist, kann ich eine aktualisierte Neuauflage erstellen.
Eine Neuausgabe wird auf meiner Webseite angekündigt und zum Download angeboten.
Die Ausgaben werden nach Jahr und laufender Nummer bezeichnet, zum Beispiel:
Ausgabe 2018-1.

Leerseite 2

Inhaltsverzeichnis

DAS DICKE CNC-BUCH

Zu diesem Buch
Vorwort
Hinweise
Inhalt

Kapitel 1 – Einführung **1**
1.01 Einführung 2
1.02 Mechanische Komponenten 4
1.03 Meßsysteme 6
1.04 Arbeitsweise 10
1.05 Steuerungsarten 11
1.06 Datenübertragung und Speicherung 13
1.07 Wirtschaftliche Faktoren 15
1.08 Abenteuer CNC 17

Kapitel 2 – Maschinen **23**
2.01 Fräsmaschinen 24
2.02 Fräswerkzeuge 33
2.03 Spannen Fräsen 39
2.04 Drehmaschinen 41
2.05 Drehwerkzeuge 43
2.06 Spannen Drehen 46
2.07 Sonstige Maschinen 48

Kapitel 3 – Abspantechnik **53**
3.01 Einführung 54
3.02 Schneidstoffe 55
3.03 Schnittgeschwindigkeit 57

Kapitel 4 – Koordinaten **61**
4.01 Kartesische Koordinaten 62
4.02 Polarkoordinaten 67

Kapitel 5 – Mathematik **69**
5.01 Dreiecke 70
5.02 Tangenten 73
5.03 Bohren Senken 82
5.04 Meter Zoll 90
5.05 Taschenrechner 94

Kapitel 6 - Programmieren Fräsen **97**
6.01 Fräsen Grundlagen 98
6.02 Einführung Programmierung 101
6.03 Nullpunkt 107
6.04 Fräsen Erste Schritte 109
6.05 Kreisprogrammierung Fräsen 116
6.06 Radiuskorrektur Einführung 126

6.07 Keine Radiuskorrektur 129
6.08 Radiuskorrektur Grundlagen 141
6.09 Radiuskorrektur Typ A anwählen 147
6.10 Radiuskorrektur Typ B anwählen 154
6.11 Radiuskorrektur abwählen Typ A und B 159
6.12 Radiuskorrektur G43 G44 162
6.13 Bohren 164
6.14 Bohrzyklen 169
6.15 Fräszyklen 173
6.16 Unterprogramme 177
6.17 Beispiele Fräsen 184
6.18 Projekt Flaschenöffner 206
6.19 CNC-Befehle Fräsen 213

Kapitel 7 - Programmieren Drehen 218
7.01 Unterschiede 219
7.02 Drehen Erste Schritte 220
7.03 Kreisprogrammierung Drehen 228
7.04 Schneidenradius Einführung 229
7.05 Ohne Schneidenradius 230
7.06 Schneidenradius Auswirkung 232
7.07 Schneidenradius Richtung 234
7.08 Schneidenradius An- und Abwählen 236
7.09 Bohrzyklen 237
7.10 Drehzyklen 238
7.11 Unterprogramme 241
7.12 Beispiele Drehen 242
7.13 CNC-Befehle Drehen 258

Kapitel 8 – Programmierhilfen 262
8.01 Vorbemerkung 263
8.02 Programmierhilfen der Steuerung 264
8.03 Übersicht Programmierhilfen 266
8.04 Maschinelles Programmieren 270
8.05 Freiformfräsen 273
8.06 Gravieren 275
8.07 Drehen und Spiegeln 277

Kapitel 9 - Fortgeschrittene Programmierung 281
9.01 Vorbemerkung 282
9.02 Mehrfachspannung 283
9.03 Pendelbearbeitung 285
9.04 Palettenwechsler 287
9.05 Vierte Achse 289
9.06 Vierte Achse Mehrfachspannung 292
9.07 Komplettbearbeitung Drehmaschine 303
9.08 Entgraten 307
9.09 Makros 308
9.10 Arbeitsvorbereitung 313
9.11 Allgemeine Programmierregeln 318
9.12 Einsatz von Robotern 319

Kapitel 10 – Simulation **329**
10.01 Simulation 330
10.02 Beispiele Simulation 335

Kapitel 11 - CNC-Steuerung **339**
11.01 Einführung Steuerungen 340
11.02 Bildschirm 341
11.03 CNC-Bedienelemente 342
11.04 Maschinen-Bedienelemente 352
11.05 CNC-Bildzeichen 355
11.06 Anpaßsteuerung 357
11.07 Maschinendaten 359
11.08 Diagnose 367

Kapitel 12 – Werkzeugvoreinstellung **369**
12.01 Werkzeugvoreinstellung 370
12.02 Einrichtblatt 377

Kapitel 13 - Fräsmaschine Einrichten **381**
13.01 Arbeitsbereich 382
13.02 Bezugspunkte 384
13.03 Ausmessen 386
13.04 Antasten 392
13.05 Ankratzen vermeiden 395
13.06 Einrichten 404
13.07 Programmunterbrechung 406

Kapitel 14 - Drehmaschine Einrichten **407**
14.01 Arbeitsbereich 408
14.02 Ausmessen 409
14.03 Einrichten 412

Kapitel 15 – Maschinenpflege **414**
15.01 Maschinenpflege 415
15.02 Do It Yourself 416

Kapitel 16 - Neue Maschine **420**
16.01 Maschine kaufen 421
16.02 Maschine aufstellen 423

Kapitel 17 – Zukunft **427**
17.01 Ausblick 428

Kapitel 18 – Empfehlungen **430**
18.01 Empfehlungen 431
18.02 Literatur 433

Kapitel 19 – Anhang **434**
19.01 Einrichtblatt Drehen 435
19.02 Einrichtblatt Fräsen 436
19.03 Programmierblatt Drehen 437
19.04 Programmierblatt Fräsen 438

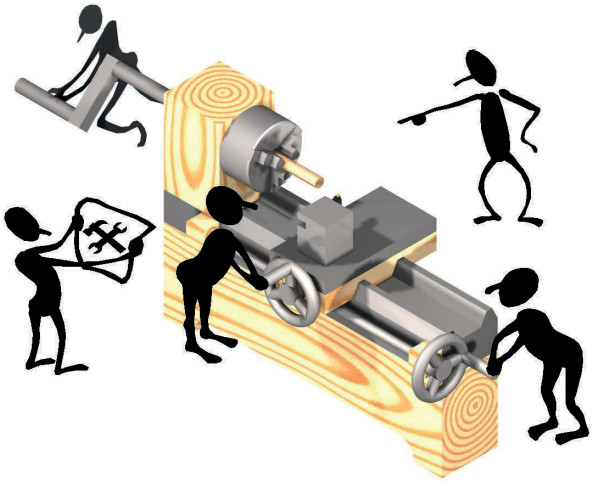
19.05 Schnittgeschwindigkeit Tabelle 439
19.06 Andere Steuerungen 440
19.07 Übersicht CNC-Befehle 453
19.08 Programme zum Buch 474

Index **475**
Index

STEPHAN PAUSCH – DAS DICKE CNC-BUCH

Kapitel 1 – Einführung

1.01 Einführung
1.02 Mechanische Komponenten
1.03 Meßsysteme
1.04 Arbeitsweise
1.05 Steuerungsarten
1.06 Datenübertragung und Speicherung
1.07 Wirtschaftliche Faktoren
1.08 Abenteuer CNC



1.01 Einführung

Begriffe

NC ist eine Bezeichnung aus dem Englischen und ist die Abkürzung für Numerical Control. Das bedeutet numerische Steuerung oder Steuerung mit Zahlen.

CNC ist die Abkürzung für Computerized Numerical Control und bedeutet Computerunterstützte Steuerung mit Zahlen oder numerische Steuerung mit Computer.

DNC = Direct Numerical Control oder Distributed Numerical Control. Die CNC-Maschinen sind mit einem Computer oder Leitstand verbunden. Von dort aus erhalten die Maschinen direkt ihre Informationen, wie NC-Programm, Werkzeugdaten, Nullpunktverschiebung usw.

CAD = Computer Aided Design (rechnerunterstütztes Zeichnen), technisches Zeichnen mit Hilfe eines Computers.

CAM = Computer Aided Manufacturing (rechnerunterstützte Fertigung), EDV-Unterstützung zur technischen Steuerung und Überwachung im Produktionsprozess.

CIM = Computer Integrated Manufacturing (rechnerintegrierter Produktentstehungs-Prozess), Informationstechnisches Zusammenwirken aller mit der Produktion zusammenhängenden Betriebsbereiche unter Nutzung einer gemeinsamen Datenbasis. Ziel: eine vollautomatische Fabrik.

Automatisierung

NC und CNC sind keine neuen Bearbeitungsverfahren, sondern nur eine Form der Automatisierung.
Der Wunsch nach Automatisierung ist so alt wie die Menschheit selbst. Schon in der Antike bauten die Menschen große Schöpfräder an Flüssen, ähnlich wie die Mühlräder einer Wassermühle. Diese wurden unten von der Strömung angetrieben und an den Rädern waren Gefäße so befestigt, dass sie sich unten mit Wasser füllten und oben den Inhalt in eine Rinne entleerten. Somit konnte das Wasser rund um die Uhr in die Siedlungen oder auf die Felder geleitet werden. In einigen Gegenden sind solche Räder heute noch im Einsatz.
Seit gut 200 Jahren sind automatische Musikinstrumente bekannt, die zuerst über Stiftwalzen, wie eine Spieluhr und später mit Lochblechen oder gelochten Papierstreifen gesteuert wurden. Auch Webstühle wurden mit Lochblechen oder Lochstreifen gesteuert.
Und seit vielen Jahrzehnten gibt es Automaten in der Industrie, z. B. Drehautomaten, die Massenteile produzieren. Einige dieser mechanischen Automaten werden mit Kurvenscheiben gesteuert, die sich ständig langsam drehen und abhängig von der augenblicklichen Stellung bestimmte Hebel oder Schalter betätigen. Die mechanische Programmwalze in einer klassischen Waschmaschine funktioniert nach demselben Prinzip. Bei dieser Methode der Kurvensteuerung ist es sehr aufwendig, wenn man Änderungen vornehmen will. Dazu müssen dann neue Kurvenscheiben angefertigt werden.

Eine Weiterentwicklung sind Walzen, wo an beliebiger Stelle Klötzchen aufgeschraubt werden, welche die Schalter betätigen. Hier sind Änderungen schon leichter durchzuführen.
Die Steckerfeldsteuerung ist eine elektrische Steuerung. Sie besteht aus einer verdrahteten Platte mit vielen Löchern. In diese Löcher werden nach einem gewissen Muster einpolige Stecker (wie Bananenstecker) hineingesteckt, die dort einen Kontakt herstellen und somit einen bestimmten Programmablauf steuern.
Allen diesen vorgenannten Steuerungen ist gemeinsam, dass die Zahl der möglichen Arbeitsschritte sehr beschränkt ist und Änderungen mit einem großen Aufwand verbunden sind.
Die Luftwaffe der USA forderte für ihre komplizierten Flugzeugteile ein flexibles und genaues Fertigungsverfahren. So wurde 1949 bis 1952 von John Parsons und dem M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) eine NC-Steuerung entwickelt und eine Fräsmaschine damit ausgerüstet.
Die ersten Maschinen liefen in den USA und die Markteinführung ging eher zögerlich vonstatten. Erst mit der Einleitung der Mikroprozessortechnik wurde die CNC-Technik wirtschaftlich und technisch interessant und begann ab den siebziger Jahren ihren Siegeszug in allen Industrieländern. Dort sind mittlerweile in jedem Betrieb CNC-Maschinen anzutreffen, die Welt der Technik hat sich dadurch grundlegend verändert. Man kann hier ohne weiteres von einer industriellen Revolution sprechen
Bei den ersten NC-Steuerungen wurden die Informationen von einem Lochstreifen gelesen und in der Steuerung in Signale umgesetzt, welche die Maschine verarbeiten konnte. Ein Lochstreifen aus Papier war kostengünstig und leicht herzustellen. Die frühen NC-Steuerungen konnten immerhin auf die Daten von max. 250 m Lochstreifen zugreifen, was schon die Bearbeitung von sehr komplexen Teilen zuließ.
Der heutige Standard ist die CNC-Steuerung, welche das Programm aus einem eigenen Speicher abarbeitet, das dort vorher eingegeben wurde. Dadurch kann das Programm an andere Stellen springen (z. B. Unterprogramme) und eigene Rechenoperationen ausführen (z. B. Makros). Die Daten im Speicher können jederzeit geändert werden und erst wenn alles optimal läuft, kann man das verbesserte Programm zur Archivierung wieder ausgeben.

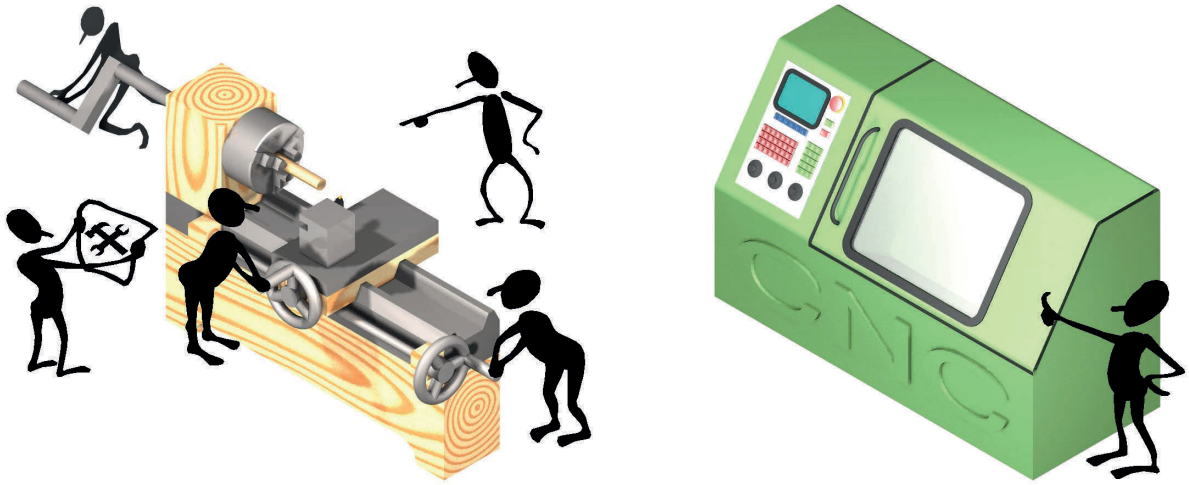
Numerische Steuerungen

NC-Steuerung	CNC-Steuerung
Fest verdrahtete Steuerung Änderungen schwer durchführbar	Mit Computer ausgerüstete Steuerung Änderungen leicht durchführbar

Vorteile der CNC-Steuerung gegenüber der NC-Steuerung:

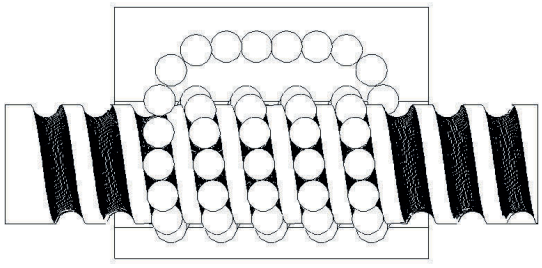
- einfachere Berechnung der Werkstückbearbeitung, Hilfestellung durch Konturzug- und Zyklenprogrammierung
- Zugriff auf Unterprogramme möglich
- Überprüfung der eingegebenen Anweisungen auf bestimmte Fehler
- Änderung der Eingaben direkt an der Maschine möglich

1.02 Mechanische Komponenten

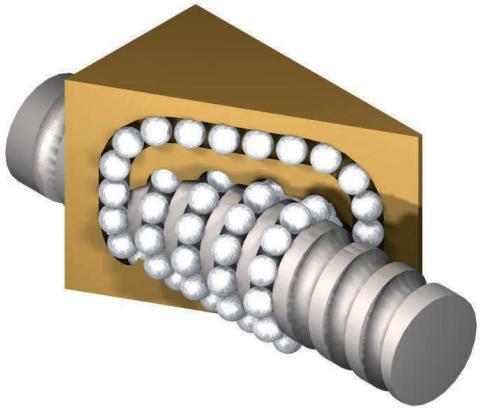


Altertümliche Drehbank mit viel Handarbeit und eine moderne CNC-Drehmaschine

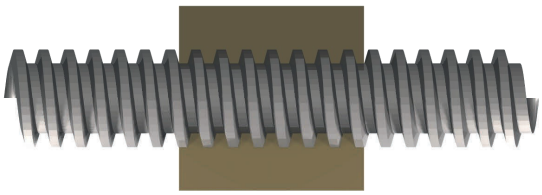
Im Gegensatz zu konventionellen Werkzeugmaschinen ist jedem Achsschlitten ein Motor mit Tacho (zur Drehzahlüberwachung) und ein Meßsystem (zur Positionsüberwachung) zugeordnet.
Die bisher verwendeten Gleichstrommotoren werden zunehmend durch Drehstrommotoren ersetzt, da diese langlebiger und zuverlässiger sind.
Statt der früher gebrauchten Trapezspindeln für die Schlitten werden bei NC-Maschinen wegen der geringeren Reibung und höheren Genauigkeit Kugelrollspindeln / Kugelumlaufspindeln verwendet. Dabei werden zwei Mutternhälften gegeneinander verspannt, um eine möglichst hohe Spielfreiheit für Bewegungen in beide Richtungen zu gewährleisten.
Für höhere Vorschubwerte werden die Schlittenführungen mit einer besonderen Beschichtung (z.B.: Teflon) oder mit Rollenumlaufschuhen versehen.
Um Nebenzeiten zu vermeiden sind viele CNC-Maschinen mit einem automatischen Werkzeugwechsler ausgestattet.



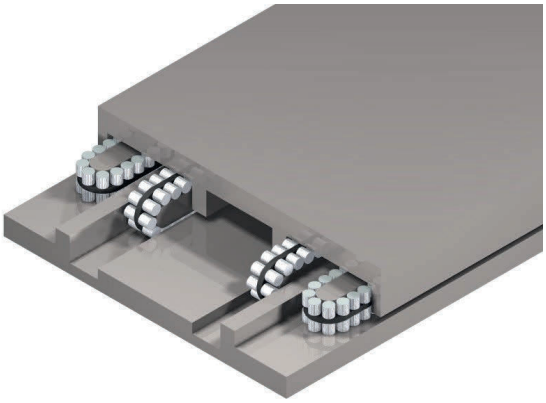
Schema einer Kugelrollspindel.
In der Mutter werden die Kugeln zurückgeführt



Schnittbild entlang des Kugelkanals durch einen quaderförmigen Block, der hier als Mutter dient



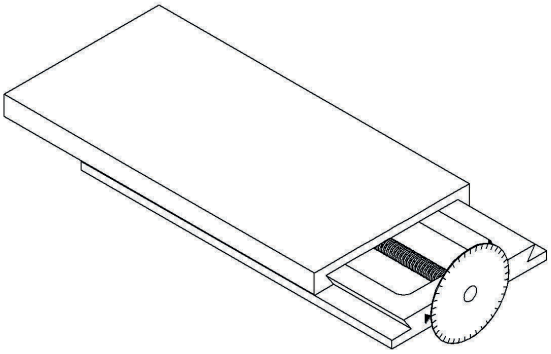
Herkömmliche Trapezspindel mit Mutter



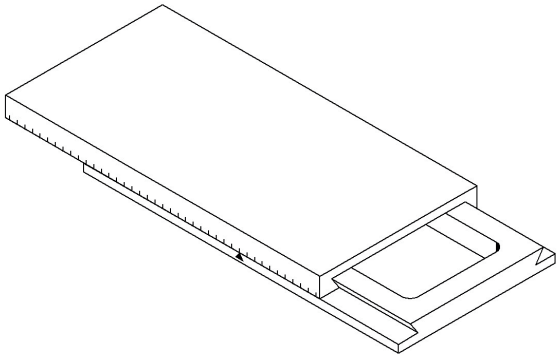
Flachführung mit Rollenumlaufschuhen

1.03 Meßsysteme

Jede Achse einer CNC-Maschine benötigt ein eigenes Meßsystem, welches laufend die augenblickliche Position an die Steuerung meldet, die dann eventuelle Abweichungen korrigieren kann.
Je nach Meßsystem wird direkte oder indirekte Messung angewendet.
Bei direkter Messung ist ein Maßstab in der Länge des Verfahrbereichs an einer Achse befestigt, dessen Position von einem Sensor gelesen wird. Bei Rundachsen kann ein biegsamer Maßstab am Durchmesser angebracht sein oder eine Scheibe mit runder Messskala direkt an der Rundachse.
Bei indirekter Messung ist eine Scheibe am Motor der Vorschubspindel angebracht oder bei einer Rundachse am Motor, der über eine Schnecke ein Schneckenrad der Rundachse antreibt.
Es ist leicht einzusehen, dass ein direktes Meßsystem vorzuziehen ist, um Abweichungen durch Spiel zu vermeiden. Oft ist jedoch aus Platz- oder Kostengründen die indirekte Messung unvermeidlich.

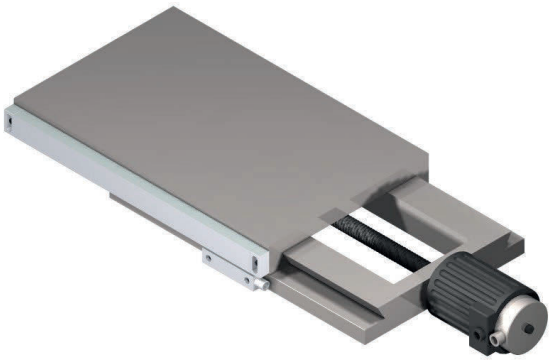


Indirekte Messung über Drehgeber



Direkte Messung am Schlitten

<u>Indirekte Messung</u>
Hier ist nach Motor und Tacho ein Drehgeber aufgesetzt, der die Position über die Drehbewegungen der Spindel misst



<u>Direkte Messung</u>
Kein Drehgeber vorhanden, dafür ein Linearmaßstab auf dem beweglichen Teil des Schlittens, darunter ist der Geber auf dem festen Teil montiert

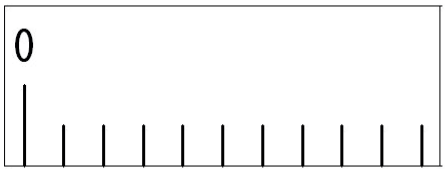
Es gibt optische Meßsysteme, bei denen die Skala mit Licht abgetastet wird. Hierbei handelt es sich entweder um einen Glasmaßstab aus Quarzglas, der mit feinen Markierungen (Striche) versehen ist oder um einen Stahlmaßstab mit aufgeätzten

Markierungen. Ein Stahlmaßstab kann fast beliebig verlängert werden und kann auch gebogen sein, z. B. am Umfang einer Rundachse.
In denselben Ausführungen gibt es ebenfalls runde Scheiben zur Messung in einem Drehgeber zur indirekten Messung. Mit einer Lupe kann man leicht die Teilungen auf den Maßstäben oder den Scheiben erkennen.
Bei den Glasmaßstäben und Scheiben aus Glas wird das Durchlichtverfahren angewendet, wobei ein Sensor (Photoelement) auf der Gegenseite die Lichtphasen und Unterbrechungen registriert.
Bei Stahlmaßstäben werden die Licht- und Dunkelphasen im Auflichtverfahren reflektiert und gelangen so zum Sensor, der auf derselben Seite wie die Lichtquelle sitzt.
Optische Meßsysteme sind gegen Verschmutzung empfindlich und müssen deshalb geschützt werden. Drehgeber werden gekapselt und bei Maßstäben sind Dichtlippen angebracht, damit möglichst wenig Schmutz eindringen kann.

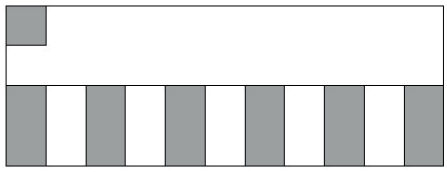
Neben den optischen Meßsystemen gibt es induktive und magnetische Meßsysteme. Hier werden die Teilungen elektrisch induziert, bzw. sind dauermagnetisch auf dem Maßstab angebracht.
Eine weitere Form ist der Resolver. Er sieht aus wie ein kleiner Elektromotor mit spezieller Wicklung, die ebenfalls eine feine Teilung zulässt und damit die Position an die Steuerung mitteilt.

Der Vollständigkeit halber sei noch darauf hingewiesen, dass es für hochgenaue Anwendungen das Prinzip für Messungen mit dem Laser-Interferometer gibt, was jedoch nicht in Werkzeugmaschinen üblich ist.

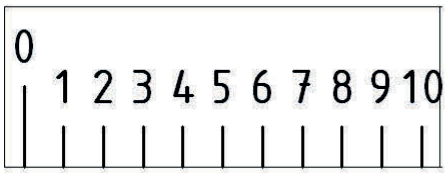
Bei den Messungen muss zwischen inkrementeller und absoluter Messung unterschieden werden. Inkrementelle Messung heißt, dass von einer Nullmarke (Referenzpunkt) ausgehend nur noch Inkremente (Striche) gezählt werden. Der Steuerung fällt dabei die Aufgabe zu, die Striche mitzuzählen und auszuwerten.



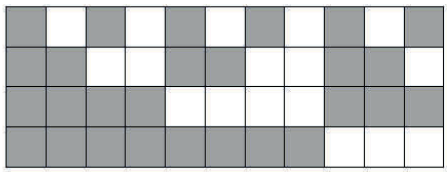
Analoger Maßstab inkrementell


Digitaler Maßstab inkrementell

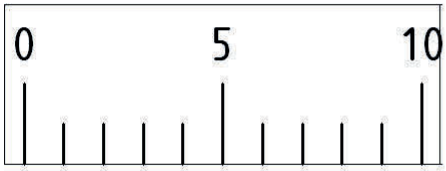
Bei absoluter Messung sind die einzelnen Marken jede für sich digital codiert, so dass jederzeit abgelesen werden kann, wo sich die Achse gerade befindet, ohne auf einen Referenzpunkt zurückgreifen zu müssen.



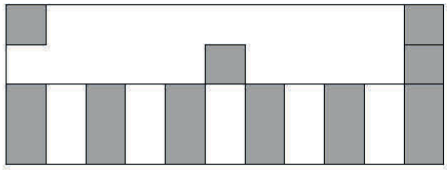
Analoger Maßstab absolut


Digitaler Maßstab absolut

Eine Mischform ist z. B. ein inkrementeller Maßstab, der in bestimmten Abständen mehrere Referenzmarken besitzt, so dass weniger Weg zum Anfahren des Referenzpunktes nötig ist.

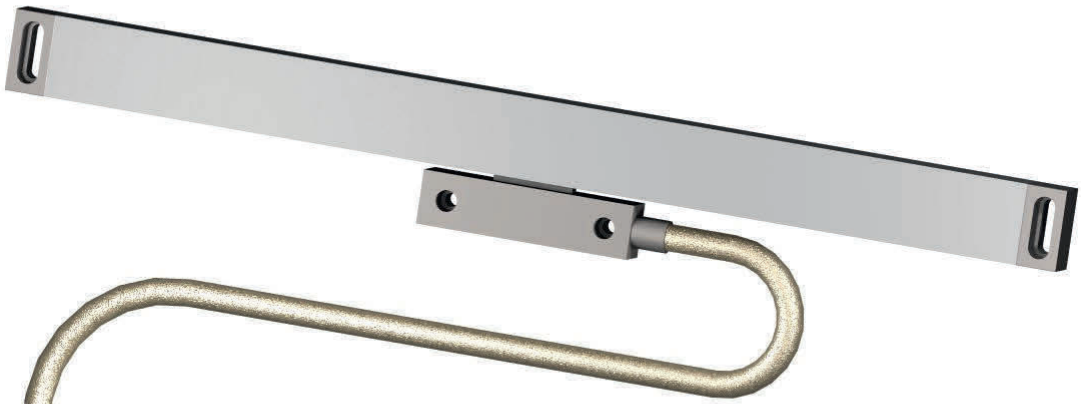


Analoger Maßstab gemischt

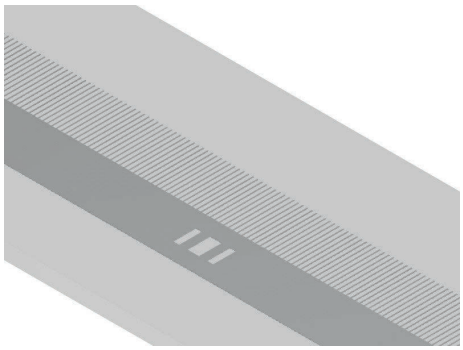

Digitaler Maßstab gemischt

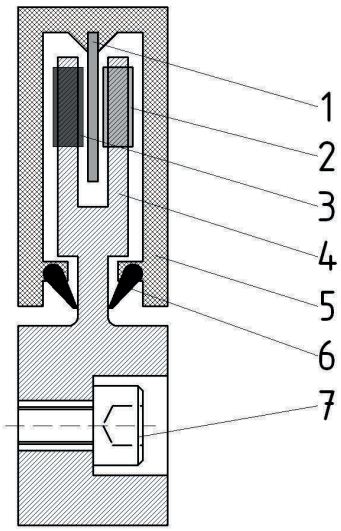
Die am häufigsten eingesetzten Meßsysteme sind die inkrementellen optischen Systeme als Glasmaßstab oder als Drehgeber mit einer Scheibe aus Quarzglas.

Glasmaßstab


Glasmaßstab mit Geber und Kabel. Der Glasmaßstab wird am oberen, beweglichen Teil des Werkzeugschlittens und der Geber am unteren, feststehenden Teil befestigt.

Quarzglas-Maßstab ohne Verkleidung

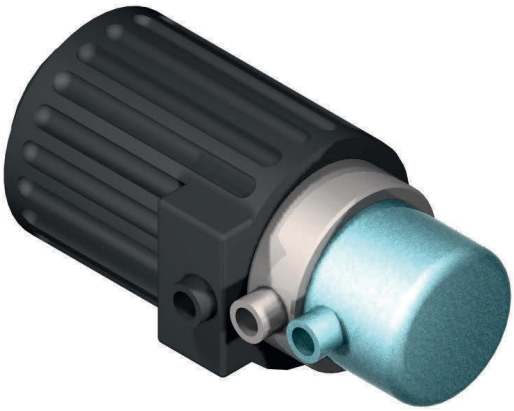

Detail mit Referenzmarke



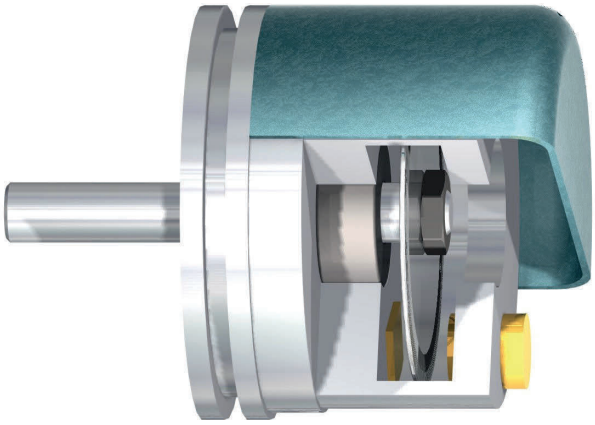
Querschnitt durch einen Glasmaßstab

1 = Glasmaßstab
2 = Lichtquelle
3 = Photoelement
4 = feststehender Geber
5 = Aluminiumprofil
6 = Dichtlippen
7 = Schraube zur Befestigung des Gebers

Drehgeber



Ein am Motor angebauter Drehgeber



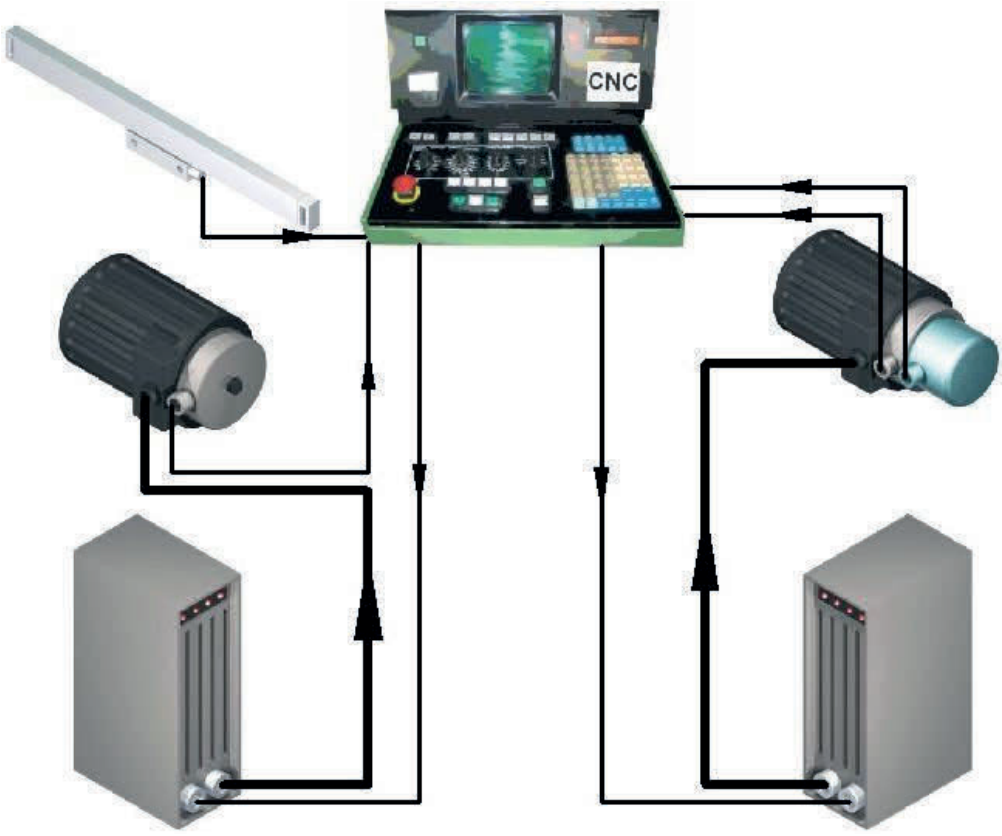
Aufgeschnittener Drehgeber mit Scheibe Lichtquelle und Fotoelement

Quarzglas-Scheibe eines Drehgebers

Detail - Striche mit Referenzmarke

1.04 Arbeitsweise von CNC-Maschinen

Die CNC-Steuerung als "Gehirn" der Maschine muss mit den notwendigen Informationen, wie NC-Programm, Werkzeugdaten und Nullpunktverschiebungen, versehen werden.
Vom Hersteller der Maschine werden zusätzlich feste Arbeitszyklen (Abspanzyklen und Bohrzyklen) zur leichteren Programmierung in der Steuerung installiert.
Ferner benötigt die Steuerung Maschinenparameter, wie z. B.: Spindelhöchstdrehzahl, max. Eilganggeschwindigkeit, Achsbeschleunigung und -Verzögerung, Übertragungsgeschwindigkeit für Datenaustausch, Software-Endschalter usw.
Die Befehlslisten für die NC-Programmiersprache sind üblicherweise auf Speicherchips abgelegt und können bei Bedarf vom Hersteller erweitert oder verändert werden.
Die Steuerung erhält von den Tachos der Hauptspindel und der Achsen ständig Informationen über die augenblickliche Drehzahl.
Vom Meßsystem wird der Steuerung laufend die momentane Position mitgeteilt. Die Steuerung vergleicht Soll- und Istwerte und gibt die neu errechneten Werte an die Anpasssteuerung (Achsverstärker, Servos) weiter, welche diese Informationen z. B. als Spannungsänderungen an die Motoren weitergeben, was in diesem Falle eine Drehzahländerung bewirkt.



Schema einer Lageregelung mit Steuerung, links System mit Linearmaßstab, rechts mit Drehgeber, zugehörige Anpasssteuerungen unten. Dünne Verbindungen bedeuten Kleinspannung, dicke Verbindungslinien Hochspannung.

1.05 Steuerungsarten

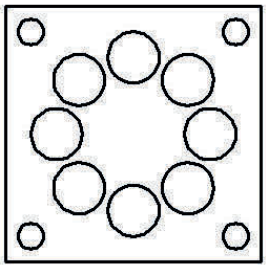
Unterscheidung der verschiedenen Steuerungsarten

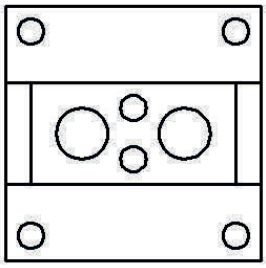
Je nach Leistungsfähigkeit der Steuerung wird zwischen Punktsteuerung, Punkt- und Streckensteuerung und Bahnsteuerung unterschieden. In diesem Buch wird nur mit Bahnsteuerungen gearbeitet, die bei allen Fräs- und Drehmaschinen Standard sind.

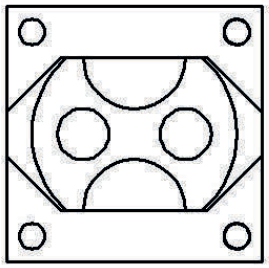
Punktsteuerung = Steuerung, die nur Positionen anfahren kann.
Geeignet zum Anfahren von Bohrungspositionen. Solche einfachen Steuerungen wurden oft nachträglich an konventionellen Werkzeugmaschinen angebracht.

Punkt- und Streckensteuerung = Steuerung, die Positionen anfahren und nur achsparallele Geraden abfahren kann.
Geeignet zum Anfahren von Bohrungspositionen und zur rechtwinkligen Bearbeitung. Ebenfalls eine veraltete Steuerung, die zur Aufrüstung von konventionellen Maschinen diente.

Bahnsteuerung = Steuerung, die beliebige Geraden und Kreise abfahren kann. Ist heute Standard bei CNC-Maschinen. Damit können Schrägen im beliebigen Winkel und kreisförmige Bewegungen abgefahren werden. Spezielle Steuerungen können dazu Parabeln, Hyperbeln und andere geometrische Kurvenbewegungen ausführen.

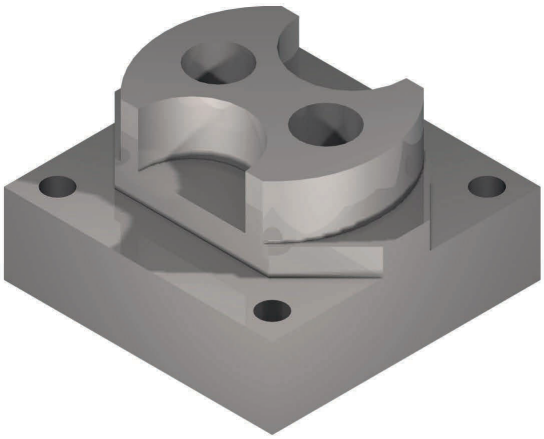




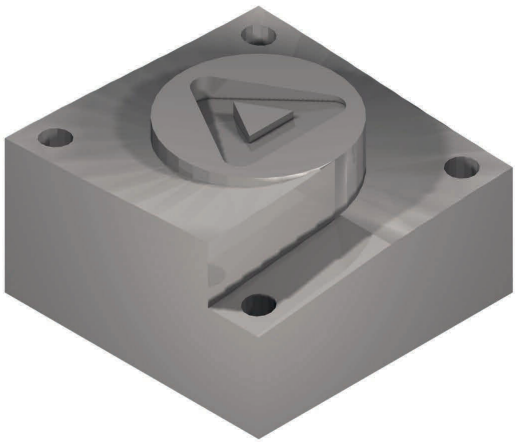


Punktsteuerung	Punkt- und Streckensteuerung	Bahnsteuerung
Bohren, Zentrieren, usw.	Bohren und achsparallel fräsen	beliebig fräsen

Bei der Bahnsteuerung gibt es 2 D-, 2 ½ D-, 3 D- Steuerungen.
Für spezielle Maschinen können bis zu 6 D- Steuerungen zum Einsatz kommen.
D steht hier für "Dimension", dies bedeutet die Anzahl der Achsen, mit denen die Maschine gleichzeitig arbeiten kann.
Bei einer 2 ½ D- Steuerung, wie bei einfacheren Fräsmaschinen üblich, kann in zwei Achsen gleichzeitig verfahren werden, zusätzlich kann die Steuerung auf verschiedene Achsen umgestellt werden.
Zum Beispiel Anfahren einer Position gleichzeitig in der X- und Y-Achse. Danach die Z-Achse auf die Tiefe zustellen, eine beliebige Kontur in X und Y abarbeiten, in Z zurückfahren (hochfahren) und mit X und Y auf die nächste Position fahren.
Eine 3 D-Steuerung kann in allen drei Achsen gleichzeitig fahren und bietet somit mehr Möglichkeiten zur Bearbeitung.



2 ½ D-Steuerung zum Verfahren von zwei Achsen gleichzeitig, die dritte Achse dient hier als Zustellachse



3 D-Steuerung zum Verfahren von drei Achsen gleichzeitig.
Für schräge Flächen, Spiralen, usw.

Es gibt zusätzliche Achsen, wie die Rundachsen A, B und C, je nach Steuerung können alle Achsen gleichzeitig verfahren.

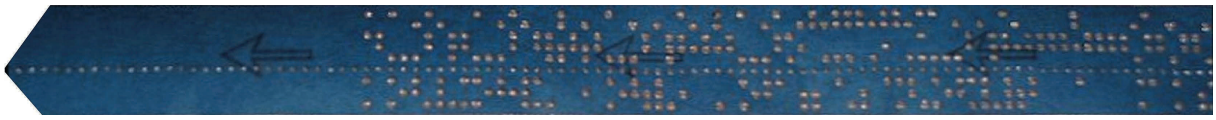
Auch eine Drehmaschine mit zwei Werkzeugrevolvern wird als 4-Achsen Maschine bezeichnet, zum Beispiel ein Revolver oberhalb und einer unterhalb des Werkstückes. Hierbei arbeitet dann der Revolver 1 mit den Achsen X1 und Z1 und der Revolver 2 mit X2 und Z2. Jeder Revolver besitzt dazu eine „eigene“ Steuerung, womit dann zwei Werkzeuge gleichzeitig im Eingriff sein können.

1.06 Datenübertragung und Speicherung

Lochstreifen

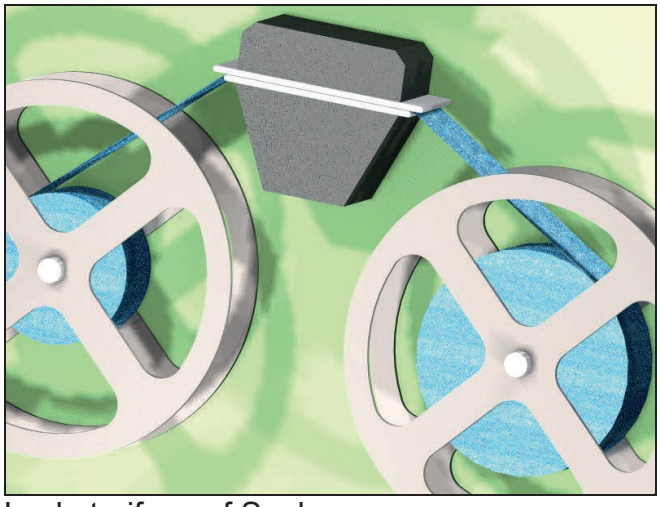
Die Lochstreifen waren früher das übliche Medium zur Abarbeitung eines NC-Programms und zur Datensicherung. Sie sind ein Zoll breit, bis zu 250m lang und wurden auf Spulen oder zusammengerollt in Kunststoffboxen gelagert.

Jede Reihe eines Lochstreifens hat einen Code, der eine Ziffer, einen Buchstaben oder ein Sonderzeichen (z. B. Anfang, Ende, Löschen) beinhaltet. Es gibt dafür den ISO- oder den EIA-Code, welche sich in der Anzahl der Löcher (gerade oder ungerade) unterscheiden. Dazu gehört in jede Reihe noch ein kleineres Loch der Transportspur, ähnlich wie bei einem Film. Die Lochstreifen werden so abgeschnitten, dass sie am Anfang eine Spitze und am Ende einen Ausschnitt haben, um Anfang und Ende nicht zu verwechseln.



Bei der Abarbeitung eines NC-Programms wurde der Lochstreifen, wenn er nicht zu lang war, entweder am Anfang und Ende zu einem Endlosband verklebt, in einen speziellen Schacht mit Lesekopf eingelegt, oder er war wie auf einem Tonbandgerät auf zwei Spulen aufgewickelt.
Daher stammen auch die beiden verschiedenen Bezeichnungen für Programm Ende, M02 = Programm Ende, M30 = Programm Ende mit Rückspulen zum Anfang.

Dieser Lochstreifen wurde von einem Mitnehmerrad (ähnlich einem Zahnrad) in der Transportspur über den Lesekopf gezogen und die Maschine führte die Befehle aus. Dabei durfte natürlich der Lochstreifen nicht weiterlaufen, bevor ein Befehl auf der Maschine abgearbeitet war, das Ganze musste also synchronisiert werden. Deshalb gingen die Bewegungen des Lochstreifens nicht gleichmäßig vonstatten, sondern sahen wie „abgehackt“ aus.



Lochstreifen auf Spulen

Endloslochstreifen

Bei den später folgenden CNC-Maschinen diente der Lochstreifen nur noch zur Datenübertragung und Speicherung, da das Programm im Speicher der Maschinensteuerung gehalten wurde, von dort aus abgearbeitet wurde und dort auch geändert werden konnte.
Dazu waren jeweils ein Lochstreifenleser zum Einlesen und ein Lochstreifenstanzer zum Auslesen notwendig, die an der Maschine angeschlossen werden konnten.

Magnetbänder

Eine spätere Alternative zur Datenspeicherung waren Magnetbänder in Form von Kassetten, wie beim guten alten Kassettenrecorder oder auch Mini-Kassetten, wie in Diktiergeräten gebräuchlich. Die Recorder, wesentlich kleiner als Lochstreifenleser oder –Stanzer, konnten entweder extern an die Maschinensteuerung angeschlossen werden oder waren dort schon fest eingebaut.

Computer

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von Computern ist man dazu übergegangen, die CNC-Programme auf Rechnern oder Disketten und CDs zu archivieren. Bei einer Vernetzung der Maschinen mit DNC sind die Daten ohnehin schon auf dem Leitrechner gespeichert. Diese können dann vom Maschinenbediener abgerufen und in die CNC-Steuerung geladen werden. Danach wird die Verbindung wieder getrennt und die Maschine arbeitet unabhängig weiter. Man spricht in diesem Fall von einfacher DNC-Fähigkeit.

Bei den heutigen CNC-Steuerungen kann die Speicherkapazität fast beliebig erweitert werden. Wo dies nicht möglich ist, können modernere Steuerungen die Daten während der Bearbeitung in Blöcken mit einer gewissen Datengröße (Datenpakete) in ihren Speicher laden, um umfangreiche Programme abzuarbeiten. Diese permanente Übertragung wird als volle DNC-Fähigkeit bezeichnet.

1.07 Wirtschaftliche Faktoren

Einsatzbereich für CNC-Maschinen

Die CNC-Maschinen sollen die Lücke zwischen der manuellen Einzelfertigung und der Massenfertigung mit mechanischen Automaten und Fertigungsstraßen schließen. Der typische Anwendungsbereich sind Klein- und Mittelserien, aber auch Prototypen- und Einzelfertigung wird immer öfters mit CNC-Maschinen bewerkstelligt.

Kostenfaktoren und Qualitätsverbesserungen

Vorteile:
Gleichbleibende Werkstücke durch hohe Wiederholgenauigkeit und Ausschluss menschlicher Fehler während der Produktion.
Komplizierte Werkstücke können in einer Aufspannung gefertigt werden, was Maßabweichungen durch Umspannen ausschließt und erneute Rüstzeiten vermeidet.
Bei entsprechend gestalteten Teilen lohnt sich oft schon die Einzelfertigung mit CNC-Maschinen, da sie mit konventionellen Maschinen zu aufwendig oder unmöglich ist.
Durch die weitgehende Komplettbearbeitung werden kürzere Durchlaufzeiten erreicht.
Änderungen am selben Werkstück oder für die Anfertigung ähnlicher Teile sind schnell und leicht durchzuführen.
Spätere Ersatzteilfertigung ist problemlos möglich, dadurch kann auch die Lagerhaltung verringert werden.
Durch die höhere Produktivität wird Platz in der Produktionsstätte gespart, bzw. andere Kapazitäten entlastet.
Personal wird ebenfalls eingespart und für andere Tätigkeiten verfügbar.

Nachteile:
Hohe Anschaffungskosten der Maschine.
Hohe Folgekosten für Zubehör, Ausbaustufen usw.
Wartung und Reparaturen können oft nicht mehr selbst, sondern nur von teuren Spezialfirmen ausgeführt werden.
Qualifiziertes Personal erforderlich, oft lange Einarbeitungszeit für Ersatzpersonal nötig.
Aufwand für Programmierung, Programmverwaltung und Werkzeugvoreinstellung muss berücksichtigt werden

Organisatorische Veränderungen bei Einführung von CNC-Maschinen im Betrieb

Wegen der hohen Anschaffungs- und Unterhaltskosten ist eine bestmögliche Maschinen-auslastung unerlässlich.
Dies setzt eine gründliche Planung voraus, um die Maschinen mit den geeigneten Teilen optimal zu belegen.
Zur Verringerung der Nebenzeiten sollten umfangreichere Programme nicht an der Maschine, sondern im Programmierbüro erstellt werden.
Voreingestellte Werkzeuge und Spannvorrichtungen müssen vorher bereitgestellt werden.
Bei Serienfertigung ist normalerweise Schichtbetrieb erforderlich.

Typische Arbeitsschritte bis zur Fertigstellung eines Serien-Werkstückes auf CNC-Maschinen:

Verkauf: ermittelt die benötigten Stückzahlen
Konstruktion: erstellt u.a. die Werkstückzeichnung
Arbeitsvorbereitung: wägt ab, ob die Teile von der Stückzahl und der Komplexität her für CNC-Fertigung geeignet sind, erstellt Arbeitsplan, legt Art der Maschine und evtl. nötige Spannvorrichtungen fest.
Einkauf: beschafft Rohmaterial, Werkzeuge, Hilfsmittel, Hilfsstoffe, Spannvorrichtungen
Programmierer: verfasst Anordnungsplan (Spannskizze), Werkzeugplan über Reihenfolge und Art der Werkzeuge, legt Werkstück-Nullpunkt(e) fest, erstellt das NC-Programm und verwaltet die Programme
Fertigungssteuerung: legt Termine fest, überwacht den Materialfluss und den Fertigungsverlauf
Werkzeugvoreinsteller: stellt die Werkzeuge mit Werkzeugdaten sowie die Spannmittel bereit
Einrichter: richtet die Maschine ein, macht Probelauf, nimmt notwendige Korrekturen vor
Maschinenbediener: wechselt die Werkstücke, überwacht den Ablauf an der Maschine
Qualitätssicherung: überprüft laufend die Qualität während der Fertigung und führt die Endkontrolle durch

Ein großer Teil dieser klassischen Einzeltätigkeiten kann auch zusammengefasst werden, z. B. in der Inselfertigung, wo eine Gruppe von Mitarbeitern alle Arbeitsschritte von der Arbeitsvorbereitung bis zur Endkontrolle alleinverantwortlich ausführt.
Dadurch können Hierarchieebenen und Reibungsverluste eingespart werden, zudem steigt die Motivation der Mitarbeiter aufgrund der höheren Mitverantwortung und Kompetenz.

1.08 Das Abenteuer CNC

NC und CNC am Anfang

Jeder, der sich mit der NC-Geschichte beschäftigt hat, weiß mittlerweile, dass die ersten Schritte der NC mit einer Fräsmaschine für die US-Air Force begannen.
Hier beschreibe ich, wie ich selbst die Eroberung der Produktion durch die CNC-Technik erlebte.
Die Älteren meiner Kollegen kennen so etwas noch und haben sicher auch alte Erinnerungen an das Abenteuer NC/CNC.
Die Jüngeren werden über die Technik aus früheren Zeiten nur noch ein müdes Lächeln übrig haben. Dennoch schadet es nicht zu wissen, wie die Anfänge waren.

Meine Erfahrungen

Zum Abschluss meiner zweiten Berufsausbildung an einer überbetrieblichen Einrichtung Ende der siebziger Jahre, bekamen die 12 besten Absolventen ein vom Arbeitsamt bezahltes Stipendium für einen viermonatigen CNC-Kurs in Vollzeit.
Dieser sehr ausführliche Kurs war für mich sehr wertvoll und damals noch etwas Besonderes, gab es doch zu dieser Zeit noch kaum eine Institution, welche auf diese neue Herausforderung eingerichtet war. Das mittlerweile in CNC-Kreisen überall bekannte NC-Handbuch von Hans B. Kief war auch erst seit kurzem erhältlich.
Unmittelbar nach dem CNC-Kurs trat ich in ein führendes Unternehmen der Medizintechnik ein, welches gerade zu diesem Zeitpunkt die CNC-Fertigung im Unternehmen einführen wollte. Der Zeitpunkt meines Eintritts war ein Glücksfall für beide Seiten und der innerbetriebliche Aufstieg blieb nicht aus.
Die üblichen Losgrößen für die Einzelteile lagen zwischen 50 und 2000 Stück.
Die Einführung der CNC-Fertigungstechnik musste behutsam durchgeführt werden. Außer mir war niemand in CNC-Technik ausgebildet und die Belegschaft schielte argwöhnisch auf diese neue Technik, die vielleicht viele Arbeitsplätze kosten könnte. Zur Beruhigung: wir nutzten dies zu einer erheblichen Kapazitätsausweitung, es wurde in der Folge zusätzliches Personal eingestellt und die Leute, welche von ihrer alten konventionellen Maschine zur CNC-Maschine wechselten, wurden finanziell und im Ansehen aufgewertet.
Der Verlauf ging nach folgendem Schema vonstatten: das Unternehmen kaufte die erste CNC-Drehmaschine. Ich nahm sie in Betrieb und arbeitete das Personal ein, währenddessen wurden weitere Maschinen des gleichen Typs hinzugekauft. Nach ca. einem Jahr stand eine neue Betriebsgruppe, die selbständig weiterproduzieren konnte. Es brauchte wirklich ein Jahr, weil die CNC-Technik noch nicht Bestandteil der Ausbildung war und weil die ganze Schulung während der Produktion geschehen musste.
Dann wurde ein teures Bearbeitungszentrum mit Palettenwechsler gekauft. Wieder ein Jahr Einarbeitung und Übergabe an meine Nachfolger und danach ein anderer Drehmaschinentyp, wiederum ein Jahr, bis andere Bearbeitungszentren folgten, usw.
Nach rund acht Jahren produzierten immerhin über 150 CNC-Maschinen im Betrieb.
Danach war ich als Fertigungsleiter in anderen Unternehmen tätig, bis ich vor vielen Jahren an einer Hochschule hängen blieb, wo ich bis zum Ruhestand mit der gesamten Praxis im Maschinenbau befasst war.

Technik

Frühere Steuerungen

Damals war eine NC-/CNC-Maschine noch eine „heilige Kuh“ im Unternehmen, sündhaft teuer und nur die Besten durften sie überhaupt berühren.
Kein Wunder, kostete doch damals die Steuerung ungefähr das dreifache der Maschine und die Bedienung war noch alles andere als anwenderfreundlich.
Die Zahlen kannten keine Kommastellen, die nachfolgenden Nullen für die 1/100 oder 1/1000 mm mussten mit eingegeben werden.
Es gab keinen richtigen Bildschirm, nur Zahlenfelder, wo man häufig genau hinschauen musste, um sich nicht zu verzetteln. Die Steuerung zeigte dann nur, je nach Einstellung, die Position, den aktuellen Satz oder die angewählte Werkzeugkorrektur an.
Die Fräserradiuskorrektur / Schneidenradiuskompensation musste man noch selbst errechnen.
Ein Probelauf war eine gefährliche Sache, denn die Steuerungen hatten noch keine eingebaute Simulation.
In unserem CNC-Kurs gab es zwar eine überaus teure 2-D Simulation, die den Werkstückumriss und die Mittelpunktsbahn mit einem Plotter auf ein Blatt Papier zeichnete, jedoch war die Bedienung sehr umständlich und somit als schnelle Vorschau für ein einfaches Werkstück absolut ungeeignet.

Lochstreifen

Auch wir arbeiteten jahrelang mit Lochstreifen, entweder zur direkten Abarbeitung auf NC-Maschinen oder zur Datenübertragung und –Sicherung der CNC-Maschinen.

Die Lochstreifen wurden folgendermaßen erstellt: es gab eine Art Schreibmaschine „Teletype“ genannt, eigentlich ein Fernschreiber, wie ich sie schon früher von der Bundeswehr kannte, wo sie in den Operationszentralen Tag und Nacht vor sich hin ratterten. Am Teletype erschien der eingegebene Text auf einem Blatt Papier, dazu stanzte ein angebauter oder extern angeschlossener Stanzer bei jedem Anschlag den entsprechenden Code in den Lochstreifen. Bei einem Tippfehler konnte mit einer Delete-Taste das letzte Zeichen gelöscht werden, der Stanzer transportierte den Lochstreifen um einen Schritt zurück und stanzte alle Löcher in dieser Reihe. Dieses Löschzeichen wurde dann bei der Abarbeitung des NC-Programms nicht berücksichtigt.
Bei einem solchen Aufwand ist es leicht vorstellbar, dass man sehr sorgfältig programmieren musste, denn jede Änderung war teuer und eine Simulation gab es ohnehin nicht. Jeder Probelauf eines neuen Programms auf der Maschine war eine enorme Nervenbelastung, weil das Risiko von Kollisionen oder anderen Fehlern nie ganz auszuschließen war.

Für gerissene Lochstreifen gab es ein Klebe- und Schneidgerät, etwa so groß wie eine Zigarettenschachtel. Mit dieser Vorrichtung konnte ein Lochstreifen mit Hilfe eines speziellen Aufklebers wieder exakt zusammengeklebt werden. Der Aufkleber war ein selbstklebender durchsichtiger Film mit ausgestanzten Löchern und wurde mit Hilfe von kleinen Dornen mitsamt dem Lochstreifen genau im Gerät fixiert. So konnten –wenn auch sehr mühsam- zusätzliche Programmteile eingefügt werden. Mit Hilfe einer, am Gerät angebrachten, kleinen Hebelschere konnten die Lochstreifen auch rechtwinklig abgeschnitten werden.

Frühere Filmer (z.B. Schmalfilm, Super 8) kennen so etwas ähnliches auch noch, als man abgerissene Bänder reparieren musste und der Filmschnitt –noch ohne die Digitaltechnik- wirklich das Ausschneiden und Zusammensetzen vieler Stücke eines Bandes bedeutete.

Außer dem Teletype gab es Lochstreifenstanzer, die man mit der Maschine verband, um ein neu erstelltes oder geändertes Programm zur Datensicherung auszustanzen. Dies dauerte je nach Länge des Programms oft sehr lange, aber im Laufe der Jahre konnte man mit jedem neu gekauften Lochstreifenstanzer eine deutliche Zunahme der Geschwindigkeit feststellen.
Die Stanzer haben eine V-förmige Abschneidvorrichtung, so dass der Lochstreifen am Anfang eine Spitze und am Ende einen Ausschnitt hat.
Neuere Modelle erlaubten auch, dass man eine Anmerkung (z.B. Programmnummer) als lesbare Ziffern auf den Vorspann des Lochstreifens stanzen konnte.

Neben den Stanzern brauchte man auch Lochstreifenleser, entweder fest an der Maschine angebaut oder als externes Gerät.
Am Anfang gab es noch mechanische Leser, welche die Löcher mit abgerundeten Stiftchen abtasteten, was langsam und fehleranfällig war. Sie wurden dann relativ schnell durch optische Lesegeräte (mit Licht) ersetzt, die wesentlich schneller waren. Allerdings durfte der Lochstreifen dazu nicht transparent oder von heller Farbe sein. Deshalb findet man eigentlich nur noch schwarze und blaue Lochstreifen.

Dazu fällt mir eine Begebenheit ein: Ein Kollege lieferte mir einen Lochstreifen ab, der vorher ins Schneidöl der Maschine gefallen war und er hatte den Lochstreifen auch mehrmals sorgfältig abgewischt. Ich wollte ihn per Lochstreifenleser in den PC einlesen, um wieder einen neuen zu erstellen, aber es ging nicht. Durch das aufgesaugte Öl hatte der Lochstreifen eine gewisse Transparenz und war für die optische Leseeinheit nicht mehr lesbar. Dummerweise war es ein neues, umfangreiches Programm, welches vorher langwierig auf der Maschine optimiert wurde. Aber es war dort schon gelöscht worden, um Platz für das nächste Programm zu machen. Sollte das Ganze jetzt umsonst gewesen sein?
Damit wollte ich mich allerdings nicht abfinden und beschloss, den Lochstreifen einfach in unserer geheizten Entfettungsanlage mit dem heute verbotenen Trichloräthylen (Tri) auszuwaschen, mehr als kaputt machen konnte ich ihn ohnehin nicht. Den lose aufgerollten Streifen in einem Korb ein paar Mal in Tri geschwenkt und danach mit Druckluft zur vollständigen Trocknung leicht angeblasen, ergab wieder einen voll lesbaren Lochstreifen.

Magnetbänder und DNC

Ca. 15 Jahre lang kämpften wir immer noch mit den Lochstreifen herum. Zwischendurch kamen Versuche mit Kassetten-Magnetbändern und dann Verkabelung für einfaches DNC mit Terminals und teurer Software. Heutzutage ist das mit Modem- oder USB-Kabel und Laptop auch für Kleinstbetriebe und Hobbyanwender kein Problem mehr.

Computer

Die Anschaffung des ersten PC Ende der 80-er Jahre war für uns ein wirklicher Quantensprung. Es war eine DOS-Maschine, die grüne Zeichen auf schwarzem Hintergrund darstellte und die Datenspeicherung auf den großen, biegsamen 5¼-Zoll

Disketten zuließ. Der Datentransfer von und zur Maschine musste aber weiterhin per Lochstreifen erfolgen, die direkte Übermittlung konnte erst später verwirklicht werden.
Das wirklich Gute war, dass eine primitive Textverarbeitung die Angst vor Programmänderungen vergessen ließ und als Sahnehäubchen gab es noch ein kleines Programm mit dem man geometrische Berechnungen durchführen konnte. Es zeichnete sogar Geraden und Kreise auf dem Bildschirm, so dass man z.B. sehen konnte, wie eine Tangente einen Kreis berührt.
Jetzt war auch die Datensicherung leichter. Regelmäßig aktualisierte ich meine Disketten und durfte sie im feuersicheren Panzerschrank des Unternehmens deponieren. Nach grober Berechnung steckte in den Daten zu dieser Zeit immerhin ein Wert von rund einer Million DM, was z.B. bei einem Brand von keiner Versicherung bezahlt würde.

Programmierung

Der Programmierung kam damals ein hoher Stellenwert zu. Gerade dem Rechenschieber-Zeitalter entkommen, musste der Programmierer mit Hilfe des Taschenrechners alles ausrechnen können. Es gab noch keine bezahlbaren CAD-Programme und genügend starke Rechner dazu. In den Lochstreifen-Zeiten war es unumgänglich, die CNC-Programme sehr akkurat zu schreiben, denn nachträgliche Änderungen waren nur schwer möglich. Dazu kommt noch die Kunst, mit großer Erfahrung optimal zu programmieren, bei hohen Stückzahlen wirken sich verschenkte 1/10 Sekunden messbar aus. Das betrifft u.a. unnötige Leerwege, zu großer Sicherheitsabstand und nicht optimale Vorschub- und Schnittwerte. Bei der Programmierung einer Handvoll Teile in der Werkstatt fällt dies natürlich nicht so ins Gewicht.
Die CNC-Programmierer hatten derzeit ein hohes Ansehen, denn es waren noch nicht so viele und es haftete ihnen immer noch etwas Geheimnisvolles an.
Darunter gab es auch Spitzenleute, die deutschlandweit bekannt waren und gut bezahlt wurden. Meistens waren dies die Programmierer der Werkzeugmaschinen-Hersteller, welche die fertigen Lösungen für die Kunden bereitstellten.

Probleme

Die Einführung einer neuen Technik bringt zwangsläufig auch Probleme mit sich.
Viele hatten einfach Angst vor der total neuen Technologie. Darf es sein, dass man nach jahrzehntelanger treuer Arbeit an konventionellen Maschinen von einer neuen Technik „aufgefressen“ wird, nicht mehr mithalten kann und womöglich sogar den Arbeitsplatz verliert? Wenn man genau hinschaute, konnte man feststellen, dass meistens die Angst, etwas Neues zu lernen, das größte Hindernis ist. Nach jahrelangem gleichem Trott am Arbeitsplatz traut man es sich nicht mehr zu und es ist schlicht und einfach unbequem, wenn man sich bisher eigentlich schon gut eingerichtet hat.
War früher ein CNC-Fachmann noch etwas exotisches und schwer zu finden, so ist heutzutage das Wissen über CNC eine Selbstverständlichkeit in der Fertigung, fester Bestandteil der Ausbildungsordnung und längst in allen produzierenden Betrieben etabliert.

In den Anfangszeiten hatten wir noch oft mit unausgereiften Maschinen zu kämpfen. Die Hersteller waren häufig selbst mit der Aufgabe überfordert, neue Maschinen möglichst schnell auf den Markt zu bringen, da blieben Fehler nicht aus. Vieles musste nach unseren Vorgaben noch nachgebessert werden.

Wenn man noch unerfahren ist, kann es auch vorkommen, dass man bei einer Maschinenstörung den Fehler in der Steuerung vermutet und den betreffenden Servicetechniker anfordert, der dann innerhalb einer Viertelstunde feststellt, dass es nicht an der Steuerung, sondern an Bauteilen des Maschinenherstellers liegt. Er geht lächelnd und schreibt eine vierstellige Rechnung. Ist uns auch schon passiert.

Von einer Weltfirma wusste ich, dass sie ihre erste CNC-Maschine kauften und damit zuerst ein halbes Jahr lang nur mit Hartschaum- und Holzteilen experimentierten.
Vorsicht ist die Mutter der Porzellankiste!
Lachen Sie nicht darüber! Denen war das todernst.

Diesmal dürfen Sie lachen. Bei einer Betriebsbesichtigung sah ich einmal, dass entweder eine Sperrholz- oder Plexiglasplatte kunstvoll über die Bedienfelder der CNC-Maschinen montiert war. Lediglich für den Startknopf war ein Loch ausgeschnitten, damit der Bediener ja nichts falsch machen konnte, nur der Einrichter durfte die Platte abnehmen.

Wie erging es mir selbst?

Als junger Mann kam ich in ein Unternehmen, wo Betriebszugehörigkeiten von 20 bis 40 Jahren die Regel waren, wo jeder ein ausgefuchster Spezialist war, der wusste was er kann und wo sich über die Jahrzehnte verkrustete Strukturen und Hierarchien gebildet hatten. Und trotzdem, dass alle wussten, für welche Mission ich eingestellt wurde, schlug mir keinerlei Feindseligkeit entgegen, aber viele fragten mich besorgt, ob das „CNC-Zeugs“ wirklich Arbeitsplätze vernichtet, was in diesem Unternehmen glücklicherweise nicht zutraf.

Die Anschaffung neuer CNC-Maschinen war auch für die Geschäftsleitung und die anderen Chefs eine Sensation. So musste ich damit leben, dass diese oft stundenlang hinter mir standen und manchmal ungeduldig darauf warteten, wann denn das nächste Teil auf der Maschine läuft. Da muss man erst mal die Nerven dazu haben. Die Herren in den Nadelstreifenanzügen waren natürlich auch sehr neugierig und so hatte ich dazu noch hochkarätige „Lehrlinge“ an meiner Seite. Mit der Zeit lernt man die Leute kennen, ich wusste, was sie hören wollten und so entwickelte sich ein gutes Verhältnis zur Chefetage.

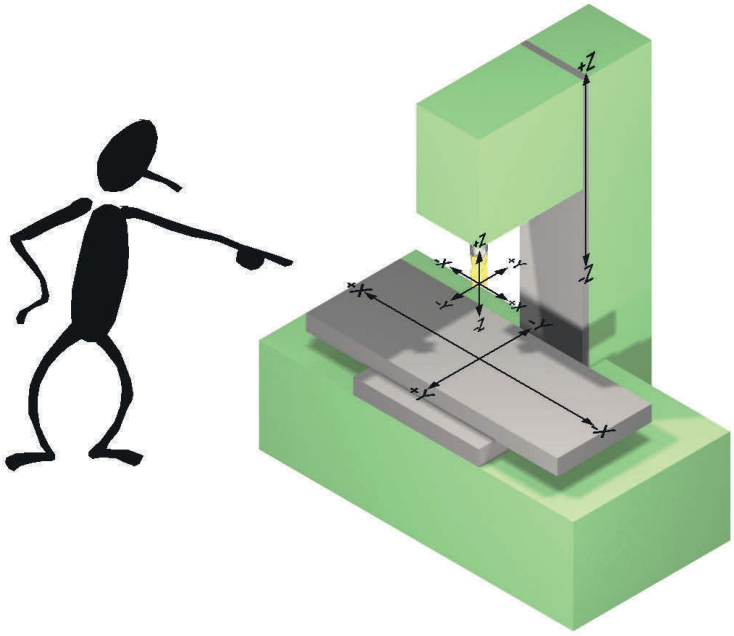
Allerdings ging das Ganze nicht so einfach, wie sich mancher vorstellen mag. Probleme musste ich selbst lösen, es gab niemanden im Unternehmen, den ich etwas zur CNC-Technik fragen konnte. Oft war die Fülle der Aufgaben nicht mehr während der normalen Arbeitszeit zu bewältigen. Ich war mir der Erwartungshaltung der Obrigkeit bewusst und wusste auch um meine Verantwortung.
Ich hätte die gesamte CNC-Fertigung damals echt hängen lassen können und wenn ich gegangen wäre, hätte es Monate gedauert, bis das dort wieder aufgeholt wäre. Aber auch ich war am Erfolg der Firma interessiert und nahm deshalb öfters Arbeit mit nach Hause, wo ich vor allem solche Dinge probieren konnte, die im Trubel des Betriebes nur erschwert möglich gewesen wären. Zuhause beschäftigte ich mich auch schon mit der Computerei, bevor meine Firma die ersten Rechner in der Fertigung einsetzte. Z. B. erstellte ich spezielle Arbeitszyklen für unsere Maschinen und simulierte diese mit Hilfe von BASIC.
Es soll ganz klar gesagt werden: wer weiterkommen will, muss einfach mehr tun als der Durchschnitt. Ohne zusätzlichen Einsatz wäre ich nicht so weit gekommen, und damals wurde dies wenigstens auch entsprechend honoriert.

Rückblick

Wenn ich heute im Internet nach den Namen der Hersteller suche, an deren Maschinen ich schon gearbeitet hatte, dann kommt ein bisschen Wehmut auf. Von diesen Firmen (bekannte und gefragte Marken aus Deutschland und der Schweiz) bestehen nur noch wenige unter eigenem Namen, alle anderen fielen der Rezession der 90-er Jahre zum Opfer, existieren nicht mehr oder sind in anderen Unternehmen aufgegangen. Ich war bei den Kaufverhandlungen dabei, hatte Einweisungskurse bei den Herstellern absolviert und kannte die Betriebe und deren Inhaber. Von einigen bekam ich damals auch lukrative Angebote, bei ihnen zu arbeiten.

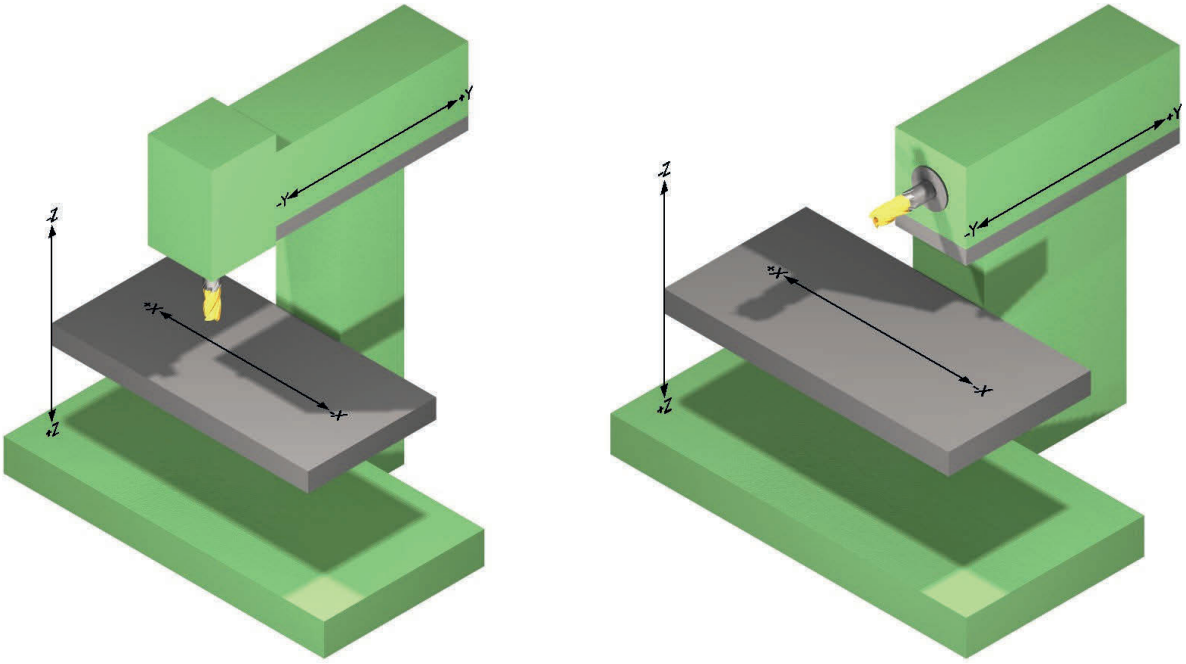
Kapitel 2 – Maschinen

2.01 Fräsmaschinen
2.02 Fräswerkzeuge
2.03 Spannen Fräsen
2.04 Drehmaschinen
2.05 Drehwerkzeuge
2.06 Spannen Drehen
2.07 Sonstige Maschinen



2.01 Fräsmaschinen

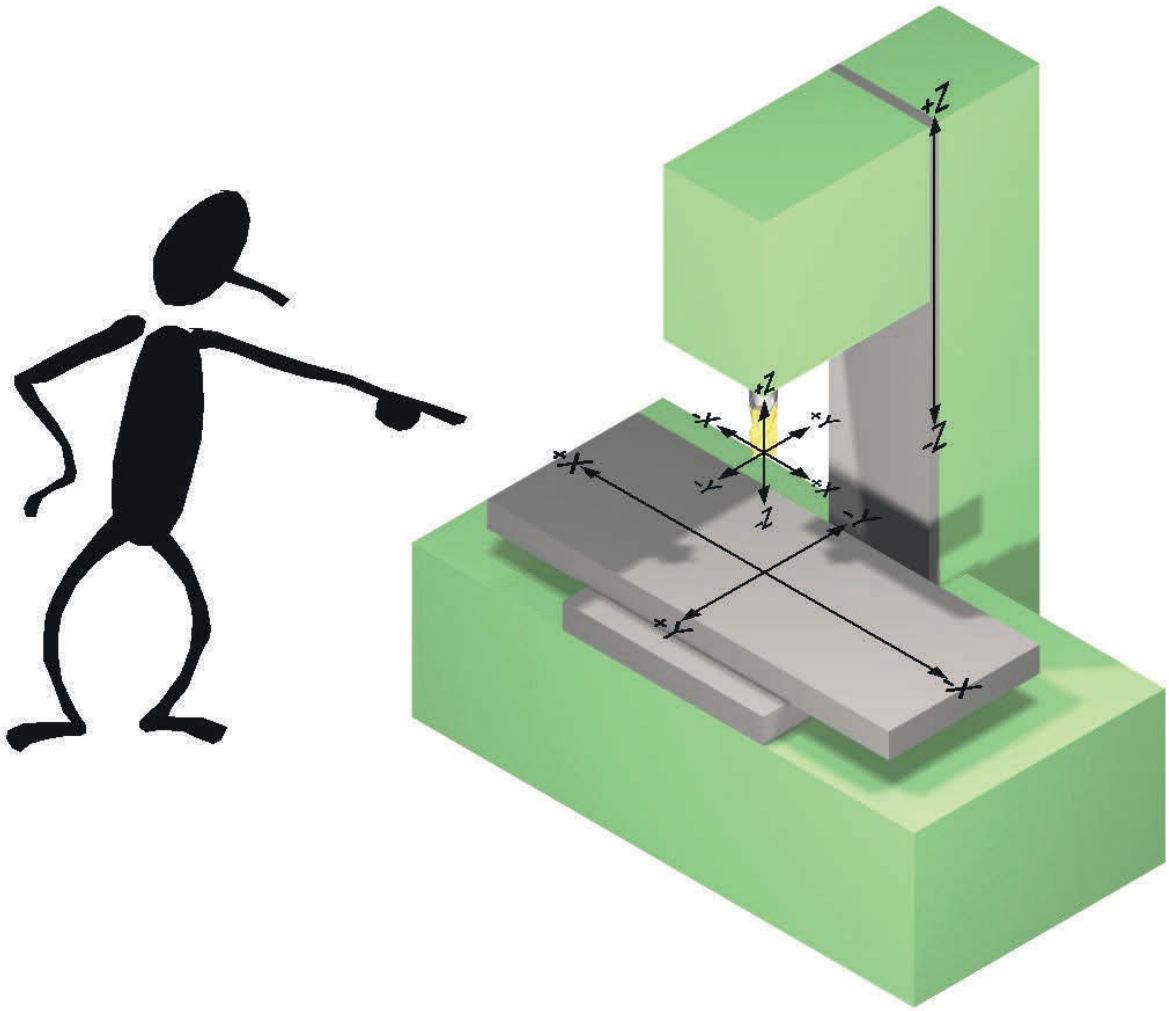
Viele konventionelle Fräsmaschinen sind als Universalfräsmaschinen konstruiert. Sie können so umgebaut werden, dass sie horizontal (waagrecht) oder vertikal (senkrecht) fräsen können. Dabei bewegt sich die X-Achse auf dem Maschinentisch aus Sicht des Bedieners nach links und rechts. An der Y-Achse befindet sich der Spindelkopf und sie bewegt sich vom Bediener weg oder zu ihm hin. Die Z-Achse ist die Höhe des Maschinentisches (Konsole). Die Konsole mit dem Werkstück fährt nach oben oder unten, deshalb auch die Bezeichnung Konsolfräsmaschine.
Wenn der Spindelkopf an der Y-Achse befestigt ist, dann zeigt die Werkzeugspitze nach unten (vertikal). Z ist dann die Zustellachse und X und Y sind die Verfahrachsen.



Wenn der Spindelkopf abgenommen oder abgeklappt ist, dann wird das Werkzeug direkt in die Aufnahme der Y-Achse eingesetzt und das Werkzeug steht waagrecht. Dann sind X und Z die Verfahrachsen und Y ist die Zustellachse.
Einige Hersteller legen die Achsen von einem anderen Sichtpunkt aus fest, je nach Firmenphilosophie und Standard-Auslieferungszustand.

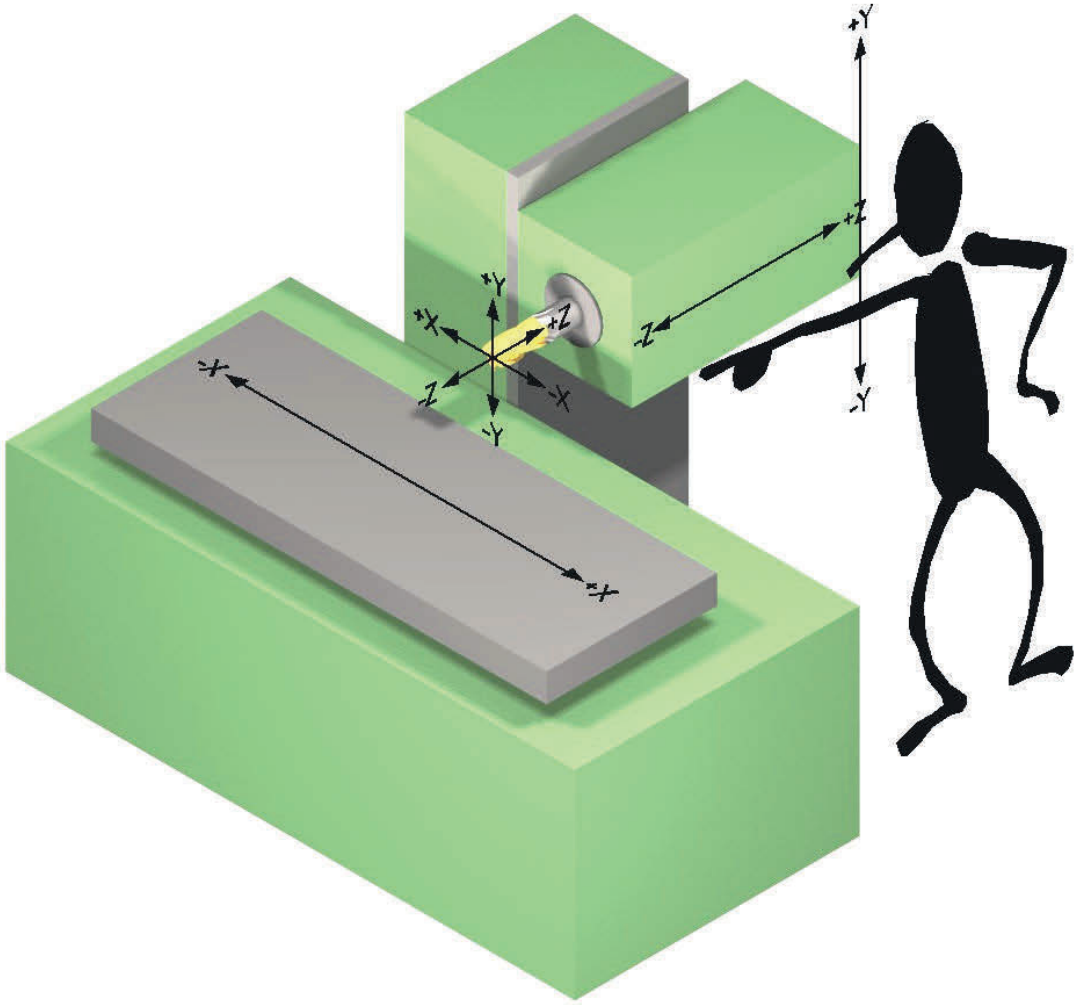
Bei einer CNC-Fräsmaschine wird nicht ständig von horizontal auf vertikal umgebaut, sondern sie wird entweder als klassische Senkrechtfräsmaschine (vertikal) oder als Waagrechtfräsmaschine (horizontal) angefertigt. Die Horizontalfräsmaschine ist dann oft zusätzlich mit einem Rundtisch als 4.Achse ausgestattet.
Hierbei ist dann immer Z die Zustellachse (horizontal oder vertikal) und die Verfahrachsen sind X und Y. Die Betrachtungsweise beim Programmieren geht grundsätzlich von der Werkzeugspitze aus.

Senkrechtfräsmaschine (vertikal)

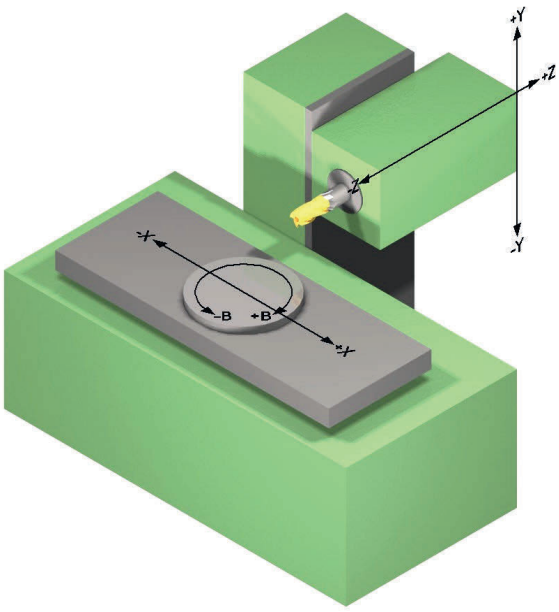


Der Betrachter steht vor einer Senkrechtfräsmaschine. Man beachte, dass von der Werkzeugspitze aus +X nach rechts und -X nach links programmiert wird, wie im Koordinatensystem vorgegeben. Weil sich bei dieser Maschine das Werkzeug jedoch nicht in X-Richtung bewegt, wird der Tisch mit der X-Achse in die entgegengesetzten Richtungen gefahren. Relativ gesehen, bewegt sich das Werkzeug trotzdem in die programmierte Richtung.
Mit der Y-Achse verhält es sich hier ebenso. Die Tischbewegungen sind ebenfalls gegensätzlich zur Relativbewegung des Werkzeuges.
Wenn man ein Blatt Papier auf einen Tisch legt, einen Bleistift darauf setzt und anstatt des Bleistiftes das Papier bewegt, dann ergibt dies denselben Effekt.
Bei der Z-Achse bewegt sich der Spindelkopf mit dem Werkzeug auf und ab. Hier ist die tatsächliche Verfahrbewegung gleich der programmierten Bewegung.

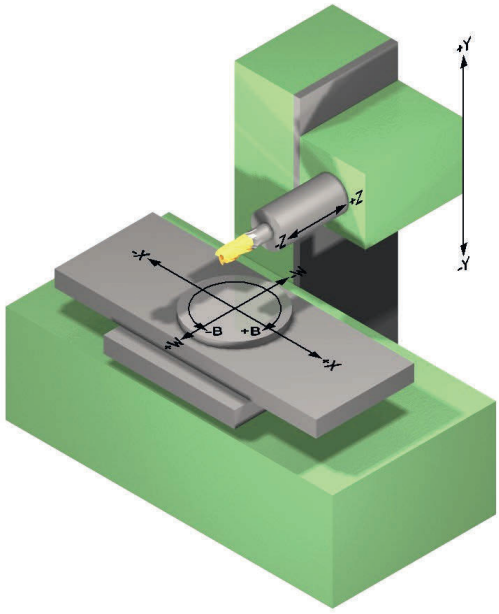
Waagrechtfräsmaschine (horizontal)



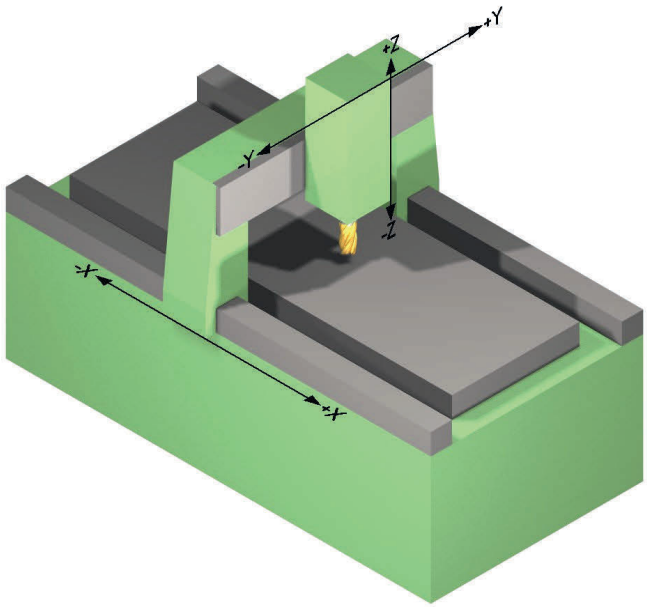
Der Betrachter steht neben dem Spindelstock und vor der X-Achse einer Waagrechtfräsmaschine. Von der Betrachterseite aus wird die Werkzeugspitze ebenfalls laut Koordinatensystem +X nach rechts und -X nach links programmiert. Auch hier wird der Tisch mit der X-Achse in die entgegengesetzten Richtungen gefahren. Relativ gesehen, bewegt sich das Werkzeug trotzdem in die programmierte Richtung.
Bei dieser Maschine bewegt sich der Spindelstock mit dem Werkzeug in der Y- Achse auf und ab und in der Z-Achse in Richtung Werkstück oder vom Werkstück weg. Hier sind die tatsächlichen Verfahrbewegungen in Y und Z gleich der programmierten Bewegungen.



Horizontalfräsmaschine mit 4 Achsen



Bohrwerk mit 5 Achsen



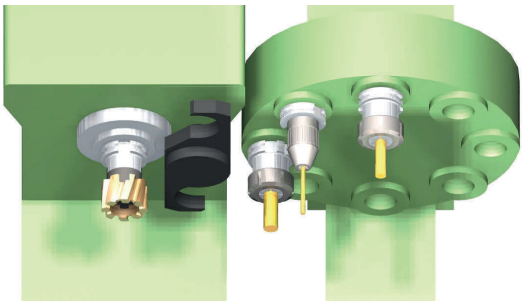
Portalfräsmaschine, das Werkstück wird hier nicht bewegt. Kleine „Router“ zum Bohren von Platinen oder zum Gravieren arbeiten nach demselben Prinzip.

Wenn die Fräsmaschine mit einem automatischen Werkzeugwechsler ausgestattet ist, bezeichnet man sie im Allgemeinen als Bearbeitungszentrum. Zusätzliche Ausstattungsmerkmale können eine vierte und fünfte Achse sein oder eine Palettenwechseleinrichtung. Wenn mehrere Paletten mit verschiedenen aufgespannten Werkstücken abgerufen werden können, spricht man von einem Palettenbahnhof.

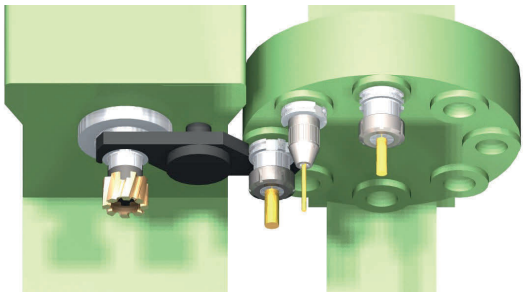
Die häufigste Art des Werkzeugwechslers ist ein Trommel-/Scheibenmagazin, wo üblicherweise 8 bis 24 Werkzeuge abgelegt werden können, die mit Federkraft gehalten werden. Die Scheibe befindet sich links oder rechts vom Spindelkopf. Der Spindelkopf wird dazu in eine bestimmte Position gefahren und die Scheibe wird so gedreht, dass das neue

Werkzeug neben dem Spindelkopf in Wartestellung steht. Dann greift ein drehbarer S-förmiger Doppelgreifer gleichzeitig das alte Werkzeug in der Spindel und das neue im Magazin. Die Spindel gibt das Werkzeug frei und der Greifer fährt mit den beiden Werkzeugen nach unten. Dann dreht er sich um 180 Grad, fährt wieder nach oben und zieht die Werkzeuge in die Aufnahmen. Das Werkzeug in der Spindel wird gespannt (verriegelt) und der Greifer schwenkt um 90 Grad zurück, so dass die Werkzeuge wieder freigegeben sind.
Seltener sind Systeme, wo die Scheibe mit einem leeren Platz direkt zur Spindel fährt, das alte Werkzeug aufnimmt, wieder wegfährt, auf das neue Werkzeug dreht, das neue Werkzeug einsetzt und dann wieder wegfährt. Hierbei ist natürlich die Werkzeugwechselzeit wesentlich länger als mit einem Doppelgreifer.

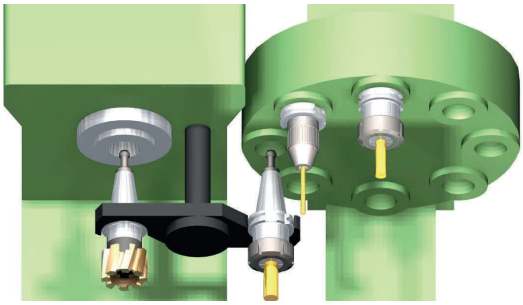
Werkzeugwechsel mit Doppelgreifer



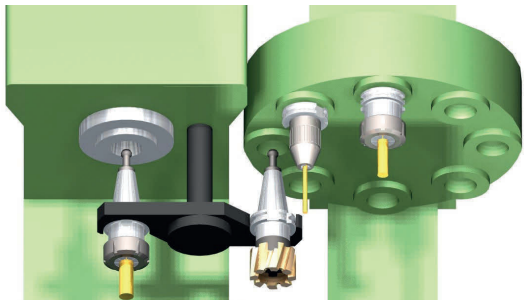
T1 in Spindel, T2 vorbereitet



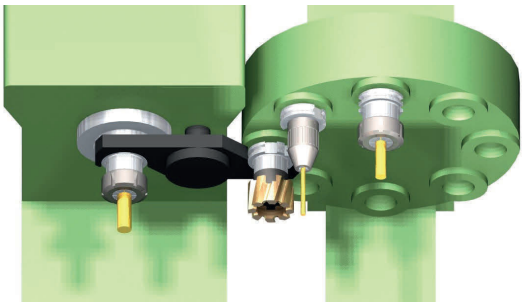
Greifer 90º einschwenken und greifen



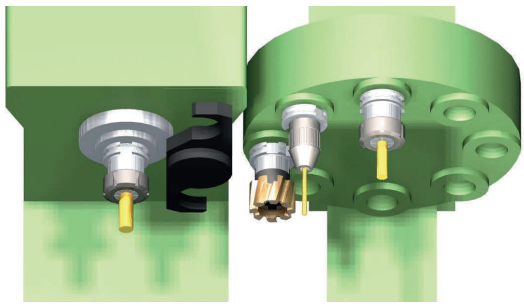
Werkzeuge lösen und herausfahren



WKZ-Wechsel, Greifer 180º drehen

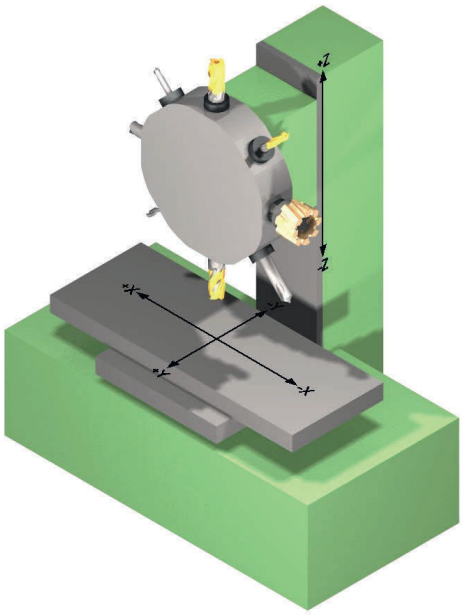


Werkzeuge einsetzen und spannen



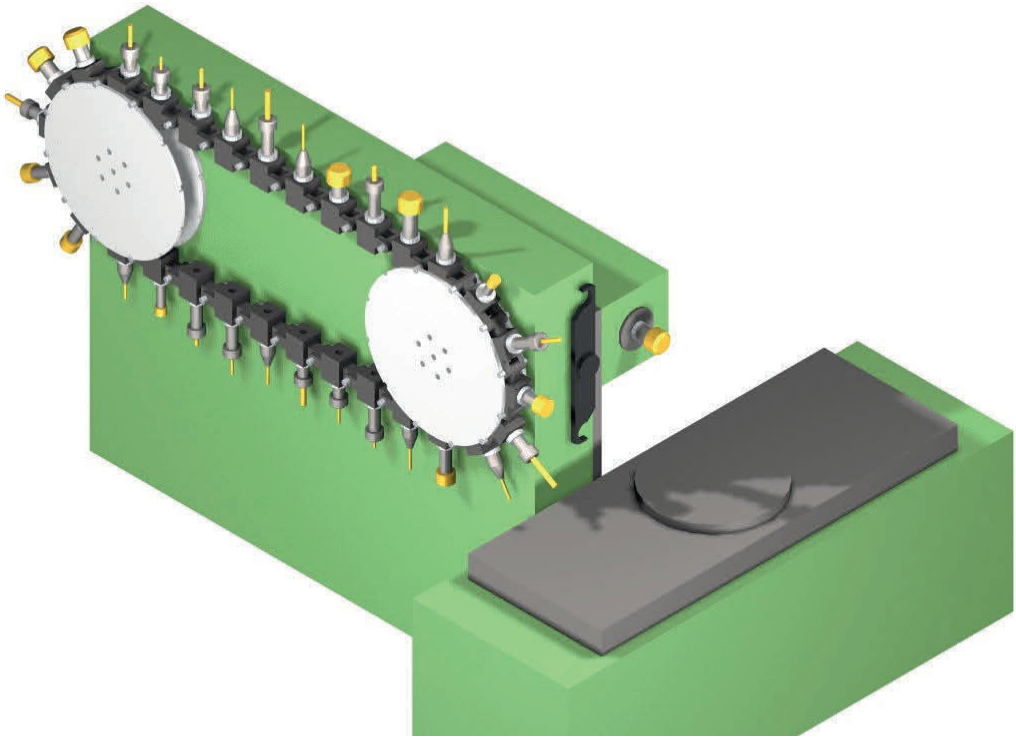
Greifer 90º zurück, T2 in Spindel

Für CNC-Bohrmaschinen mit leichten Fräsarbeiten gibt es auch Werkzeugrevolver mit fest eingesetzten Werkzeugen, ähnlich wie am Revolver einer Drehmaschine.



Fräs- und Bohrmaschine mit Revolver

Bei Bearbeitungszentren ist oft eine große Anzahl von Werkzeugen notwendig, so dass man ein Kettenmagazin benutzen muss. Die „Kette“ sind lauter aneinander befestigte Aufnahmeblöcke für die Werkzeuge, die über Räder laufen, ähnlich wie beim Kettenlaufwerk eines Panzers. Ein Kettenmagazin ist leicht erweiterbar, so kann man weitere Aufnahmeblöcke einsetzen und eines der Kettenräder neu platzieren oder ein zusätzliches hinzufügen.



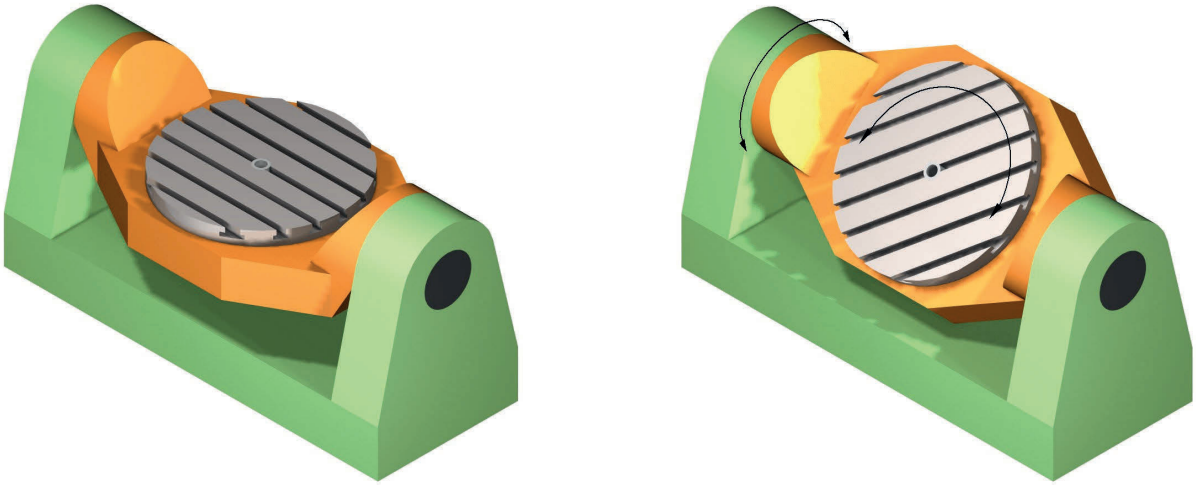
4-Achsen Bearbeitungszentrum mit Kettenmagazin

Neueren Datums sind die Kassettenmagazine, wo zahlreiche Werkzeuge wie in Regalen oder „Schubladen“ in der Maschine abgelegt werden. Diese werden dann nach einem ausgeklügelten System abgeholt und wieder eingelagert.

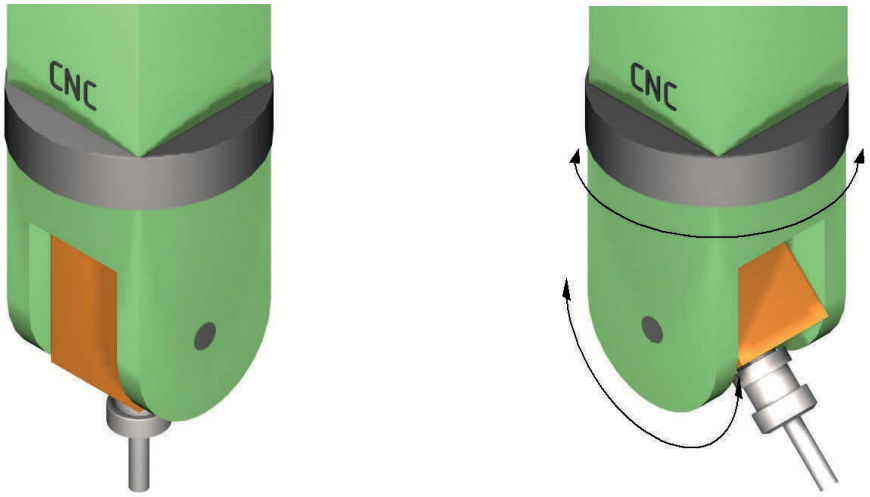
Bei den Scheiben- und Kettenmagazinen gibt es unidirektionale und bidirektionale Ausführungen. Unidirektional heißt, dass sich die Trommel oder Kette nur in eine Richtung (vorwärts) bewegen kann. Bei einem Kettenmagazin mit 100 Werkzeugen dauert das eine ganze Weile, wenn nach Werkzeug 1 das Werkzeug 100 aufgerufen wird, weil 99 Mal durchgetaktet werden muss. Bidirektional heißt, dass sich die Trommel oder Kette in beide Richtungen (vorwärts und rückwärts) bewegt. Bei einem bidirektionalen System mit derselben Kette ist von Werkzeug 1 zu 100 nur ein Taktschritt zurück notwendig.
Bei einem festen Platzsystem sind den Werkzeugen feste Plätze im Magazin zugewiesen, die nicht verändert werden können. Dies kann der Fall sein, wenn die Spindel das Werkzeug direkt aus dem Magazin nimmt. Beim Werkzeugwechsel mit Doppelgreifer wäre dies nicht möglich, da ja der Magazinplatz des Folgewerkzeuges in Position ist und das vorhergehende Werkzeug dessen Platz einnimmt.
So ist ein flexibles Platzsystem eigentlich Standard. Beim Einrichten hat man z. B. die Werkzeuge 1 bis 8 nacheinander in die entsprechenden Magazinplätze eingesetzt und dies auch im Werkzeugspeicher der CNC-Steuerung so eingegeben. Beim nächsten Werkzeugwechsel z. B. von Nr. 1 auf Nr. 2 landet Werkzeug 1 im Magazinplatz 2. Die Steuerung „merkt“ sich die neuen Positionen, so dass beim nächsten Mal das richtige Werkzeug gefunden wird.
Beim Programmieren muss natürlich darauf geachtet werden, dass das nächste Werkzeug schon in Wartestellung ist, bevor der Werkzeugwechsel erfolgt. Schon während der Bearbeitung mit dem aktuellen Werkzeug sollte das nächste in Wartestellung gebracht werden
Zusätzliche Sicherheit gibt die Möglichkeit der Werkzeugcodierung. Früher wurde die Werkzeugnummer mit Stiften oder Ringen codiert am Werkzeughalter angebracht, was dann von der Maschine mechanisch abgetastet wurde. Zunehmend werden jetzt elektronische Chips in den Werkzeughaltern integriert, die wesentlich mehr Informationen aufnehmen können. Sie können berührungslos gelesen und beschrieben werden, neben der Werkzeugnummer z. B. die Anzahl der Durchläufe, damit das Werkzeug bei Verschleiß automatisch gegen ein anderes ausgetauscht wird.

5 Achsen

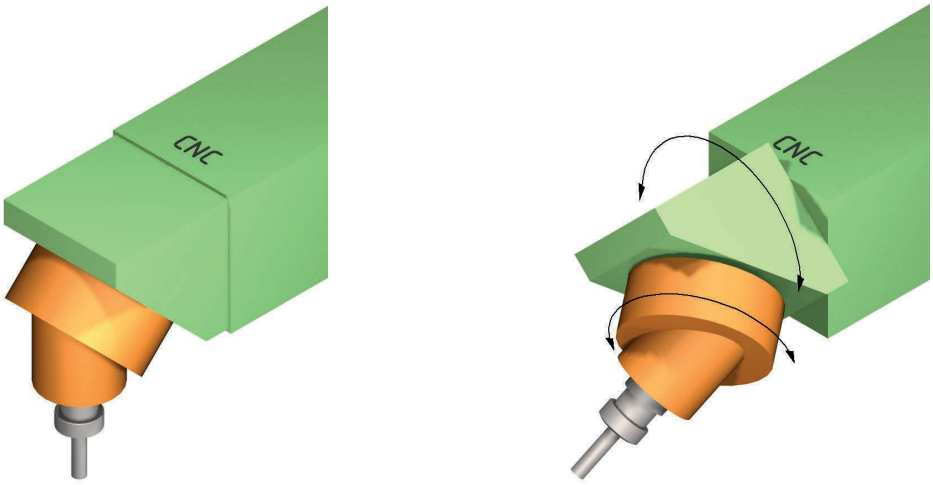
Diverse Fräsmaschinen oder Bearbeitungszentren werden auch für die Bearbeitung in 5 Achsen angeboten. Hierbei gibt es hauptsächlich zwei Systeme, entweder ein schwenkbarer Rundtisch oder ein in zwei Achsen verdrehbarer Fräskopf.



Dreh- und schwenkbarer Rundtisch zur 5-Achsen Bearbeitung



Dreh- und schwenkbarer Fräskopf mit Dreh- und Schwenkgelenk



Um 45 Grad-Prisma drehbarer Fräskopf

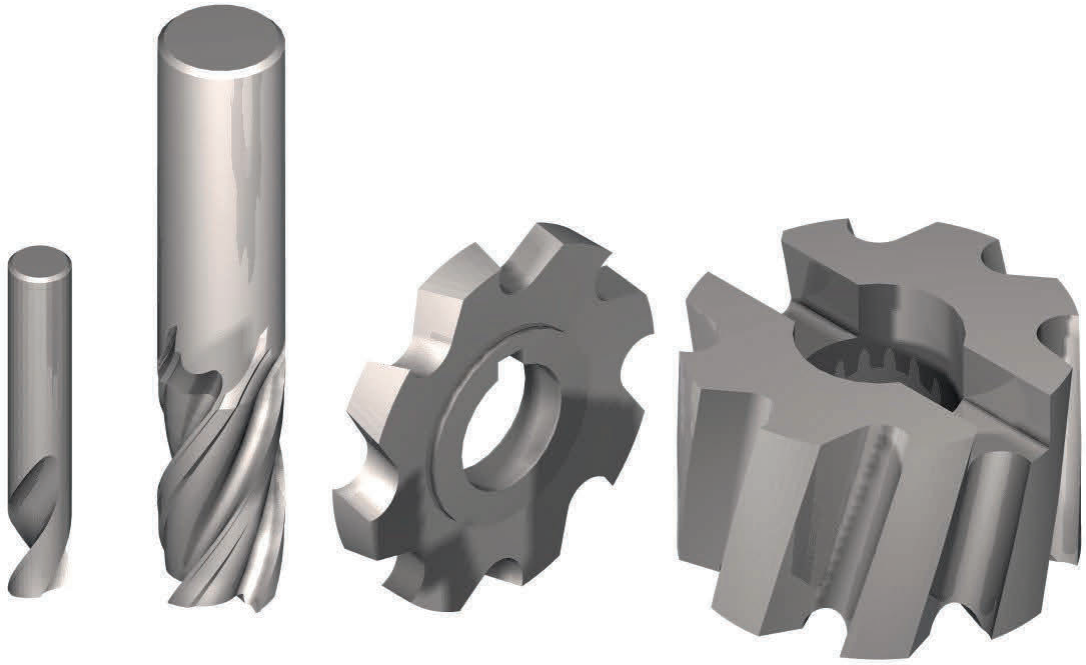
Neben den oben gezeigten Ausführungen existieren Mischformen mit nur einer Drehachse des Tisches und dazu einer Schwenkachse des Fräskopfes.

Programmieren in fünf Achsen

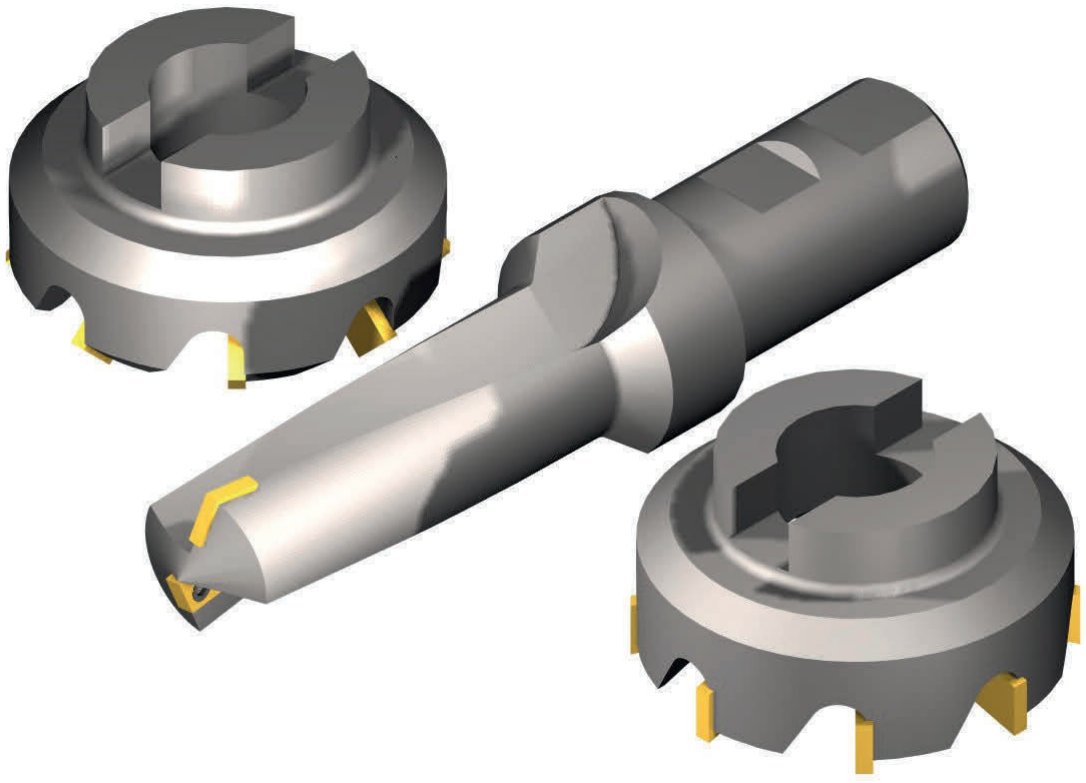
Wenn beispielsweise an einem Klotz auf einer Seite eine schräge Fläche angefräst wird, dann kann dies noch mit der Vorstellungskraft des Programmierers oder des Bedieners bewältigt werden.
Bei manchen unregelmäßig geformten 3-dimensionalen Körpern kann es erforderlich sein, dass ein Kopierfräser (Radiusfräser) benötigt wird, um beliebige Formen zu fräsen. Dabei sollte der Fräser so angestellt werden, dass er optimal schneidet, also nicht immer senkrecht zur Arbeitebene. Die volle Schnittgeschwindigkeit besitzt ein Kopierfräser nur am Umfang, an der Spitze dagegen geht die Schnittgeschwindigkeit gegen Null. Beim Herumfahren um einen unregelmäßigen Körper muss dann der Anstellwinkel des Fräsers ständig wechseln um optimale Schnittwerte zu erreichen. Dies ist nur noch mit Hilfe entsprechender Software zur maschinellen Programmierung möglich. Ebenso muss das eingesetzte Simulationsprogramm genau auf die Maschine abgestimmt sein.

2.02 Fräswerkzeuge

Fräserformen, Messerköpfe

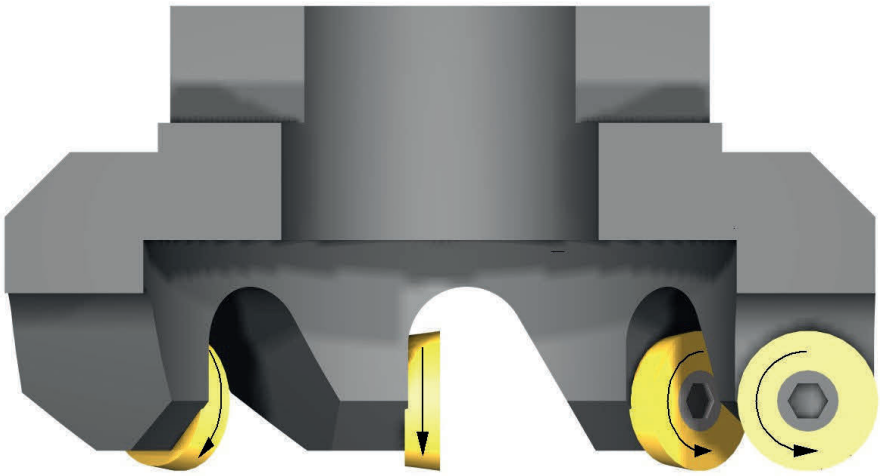


Die gängigsten Fräserformen: Bohrnutenfräser, Schaftfräser, Scheibenfräser, Walzenstirnfräser. Dazu existieren viele Sonderformen wie Radius- und Kopierfräser, T-Nutenfräser, Gewindefräser und Prismenfräser für verschiedene Profile.



Fräswerkzeuge mit Hartmetallplatten bestückt: Planmesserkopf 45 Grad (oben) und Eckmesserkopf 90 Grad (unten), dazwischen ein Vollbohrer.
Die Hartmetallplatten werden mit durchgehenden Schrauben oder mit kleinen Spannhebeln (Pratzen) fixiert und können auch direkt auf dem Stahlkörper aufgelötet sein.

Planmesserkopf mit runden Hartmetallplatten

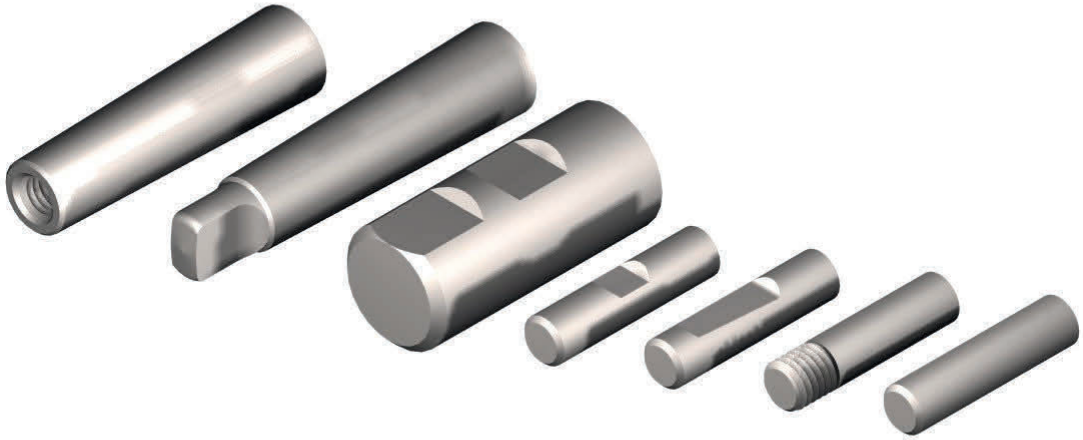


Bei Planmesserköpfen mit runden Hartmetallplatten werden bei Verschleiß die Plättchen von innen nach außen gedreht, weil die Platten nur außen und auf der Planfläche schneiden. Innen sind sie noch unverbraucht.
Vorgehensweise: Lage aller Plättchen mit Filzstift markieren und jeweils ungefähr um die gleiche Gradzahl verdrehen. Wer sparsam vorgeht, kann die runden Plättchen bis zu 10 Mal weiterdrehen.

Bohrer, Senker, Reibahlen, Gewindebohrer

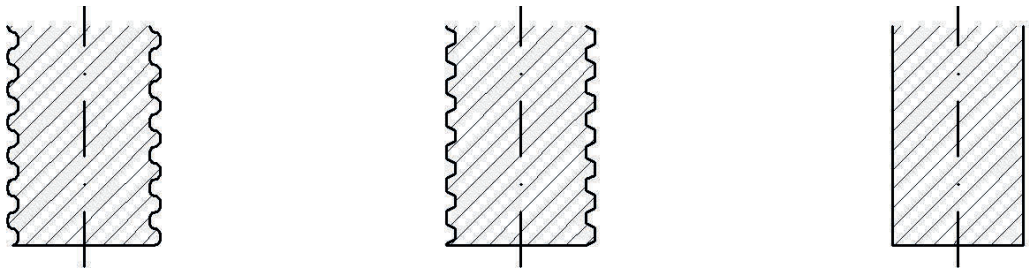
Typische Bohrwerkzeuge: Spiralbohrer, Reibahlen (gerade und mit Drall), Flachsenker (Zapfensenker), NC-Anbohrer, Kegelsenker, Gewindebohrer und Zentrierbohrer

Schaftformen



Verschiedene Schaftformen für Fräs- und Bohrwerkzeuge, von links: Morsekegel mit Anzugsgewinde und mit Austreiblappen, Zylinderschaft mit 2 Spannflächen für große Durchmesser, kleiner Zylinderschaft mit 1 Spannfläche, Zylinderschaft mit geneigter Spannfläche, Zylinderschaft mit Anzugsgewinde und einfacher Zylinderschaft.

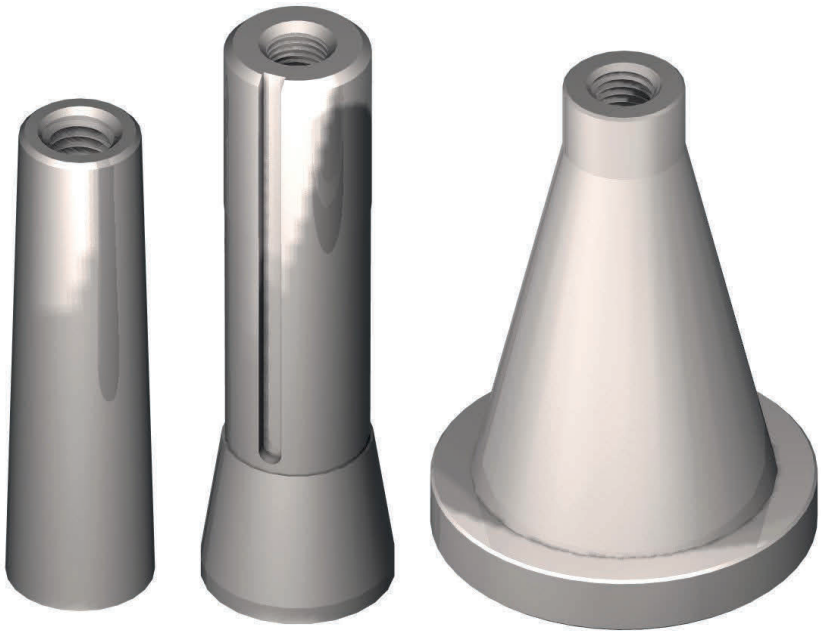
Fräsprofile für Schruppen und Schlichten



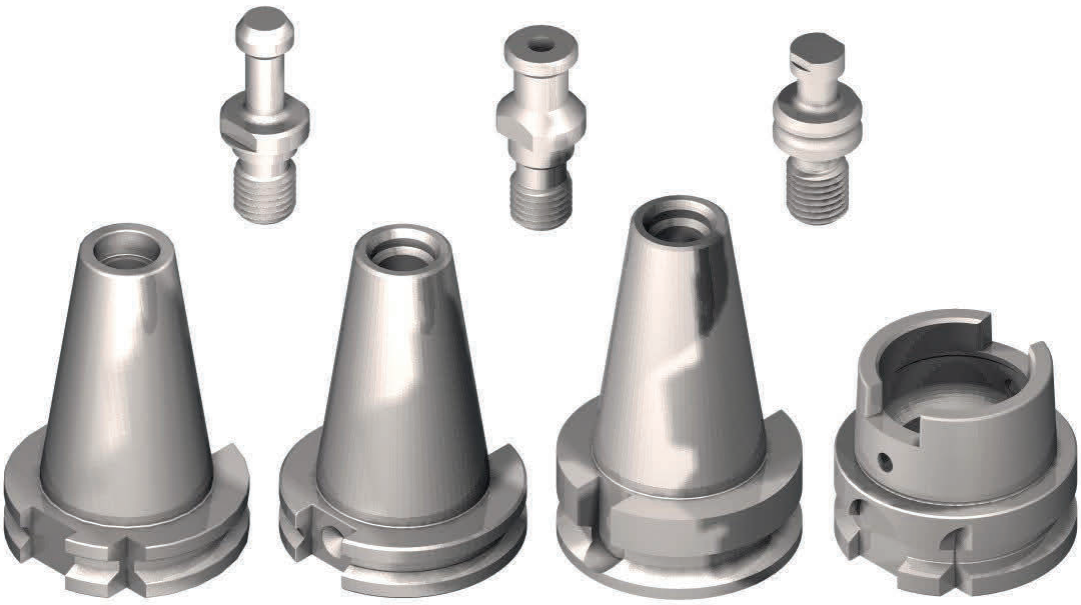
Die Auswirkungen der verschiedenen Fräserprofile zum Schruppen und Schlichten:

Schruppfräser	Schruppschlichtfräser	Schlichtfräser
Runde Verzahnung	Eckige Verzahnung	Keine Verzahnung
viel Spanvolumen	mittleres Spanvolumen	wenig Spanvolumen
grobe Oberfläche	mittlere Oberfläche	feine Oberfläche

Werkzeugspannung in der Maschinenspindel



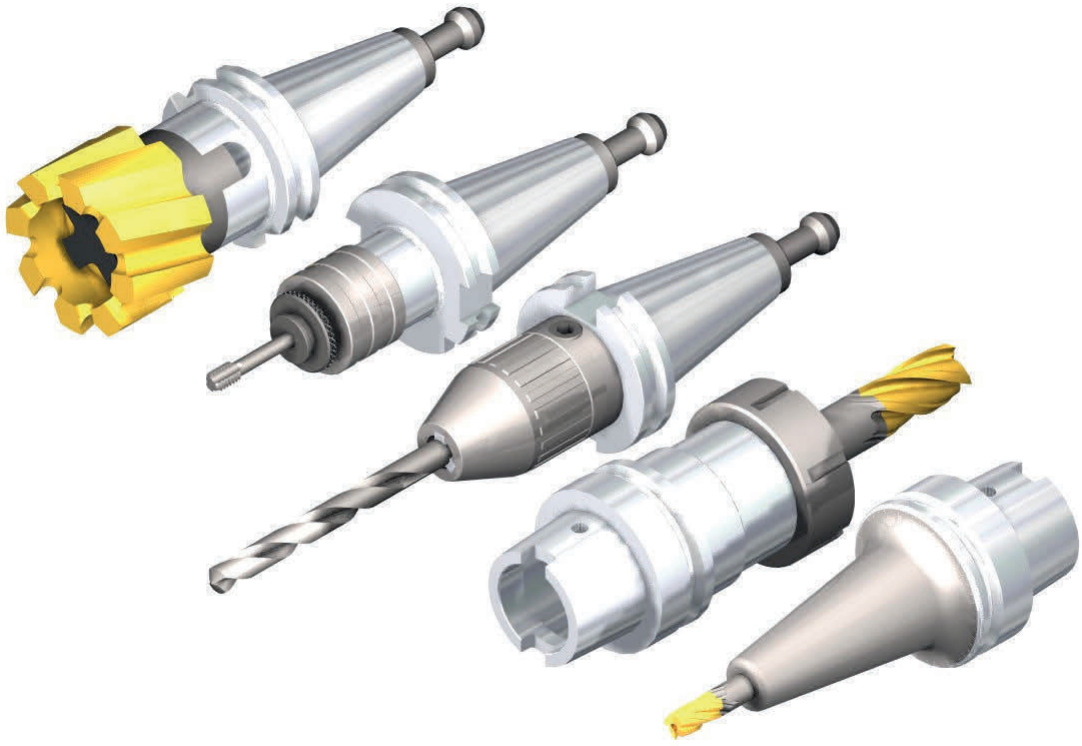
Spindelaufnahmen für konventionelle Fräsmaschinen. Morsekegel mit Anzugsgewinde, R8-Aufnahme (Zoll-System) und Steilkegel ohne Ringnut.



Aufnahmen für CNC-Fräsmaschinen. Verschiedene Steilkegelformen und ein Hohlschaftkegel. Zu den Steilkegeln gibt es unterschiedliche Anzugsbolzen. Diese Aufnahmen sind genormt und in verschiedenen Größen erhältlich.
Allen gemeinsam ist, dass sie eine umlaufende Ringnut besitzen, um das automatische Auswechseln der Werkzeuge mittels eines Greifers zu ermöglichen.
Steilkegel können sich bei hohen Drehzahlen und Erwärmung der Spindel tiefer in die Spindel einziehen und danach nur schwer entfernt werden. Die neueren Hohlschaftkegel zeigen dieses Problem nicht mehr und bieten durch die zusätzliche Plan-Anlagefläche eine höhere Rundlaufgenauigkeit.

Werkzeugeinspannung im Werkzeughalter

Spannzangen. Für das Spannen von Schaftfräsern werden meistens Spannzangenhalter mit der passenden Spannzange benutzt. Auch zum Spannen von Stangenmaterial in Drehmaschinen werden Spannzangenfutter eingesetzt.

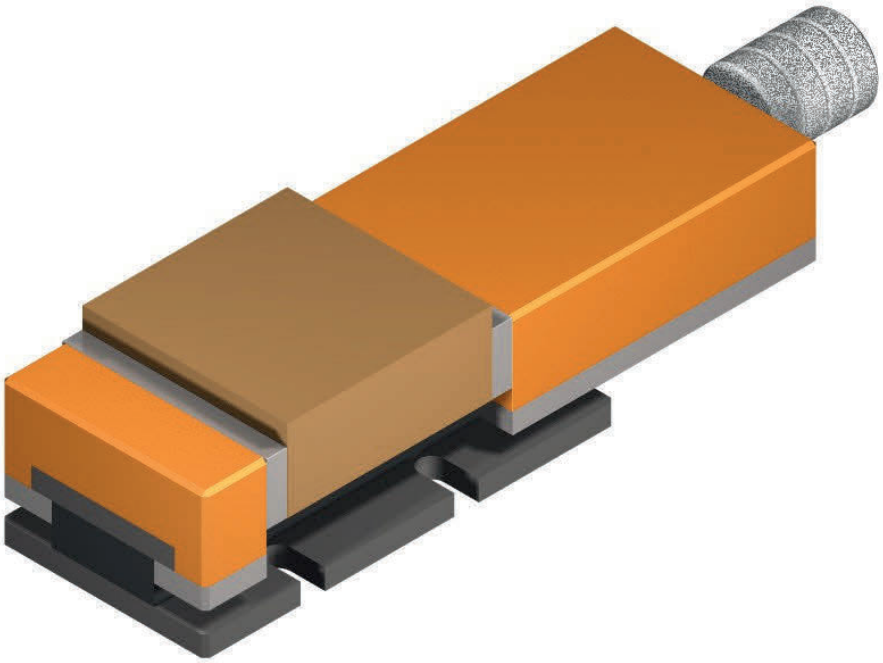


Beispiele für Einspannung von Fräs- und Bohrwerkzeugen von oben nach unten:
Walzenstirnfräser auf Fräsdorn und Mitnehmerring mit Steilkegel
Gewindebohrer in Ausgleichsfutter mit Steilkegel
Spiralbohrer in Bohrfutter mit Steilkegel
Schaftfräser in Spannzangenfutter mit Hohlschaftkegel
Schaftfräser in Schrumpffutter mit Hohlschaftkegel

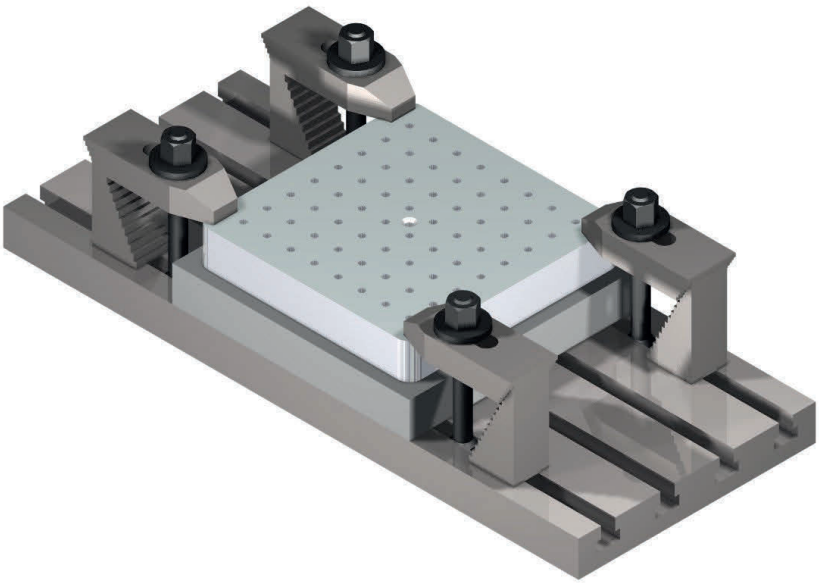
Für höhere Genauigkeiten werden immer öfters Schrumpfaufnahmen benutzt, da sie eine höhere Rundlaufgenauigkeit gewährleisten. Das Schrumpffutter mit einer Aufnahmebohrung im Untermaß wird dazu erwärmt, dehnt sich dabei aus und das kalte Werkzeug wird in die Aufnahme eingeführt. Nach Abkühlung des Futters zieht sich das Material wieder zusammen und das Werkzeug wird sicher festgehalten. Mit speziellen Vorrichtungen zum gleichmäßigen Erwärmen des Umfangs per Induktion kann dies relativ schnell ausgeführt werden.
Die neuartigen Hydro-Dehnspannfutter sehen äußerlich ähnlich aus, enthalten im Inneren jedoch Kanäle, in welche unter hohem Druck Hydraulikflüssigkeit gepresst wird. Dieser Druck bewirkt eine Ausdehnung des Materials in die Aufnahmebohrung, so dass dort der Werkzeugschaft festgeklemmt wird.

2.03 Spannen Fräsen

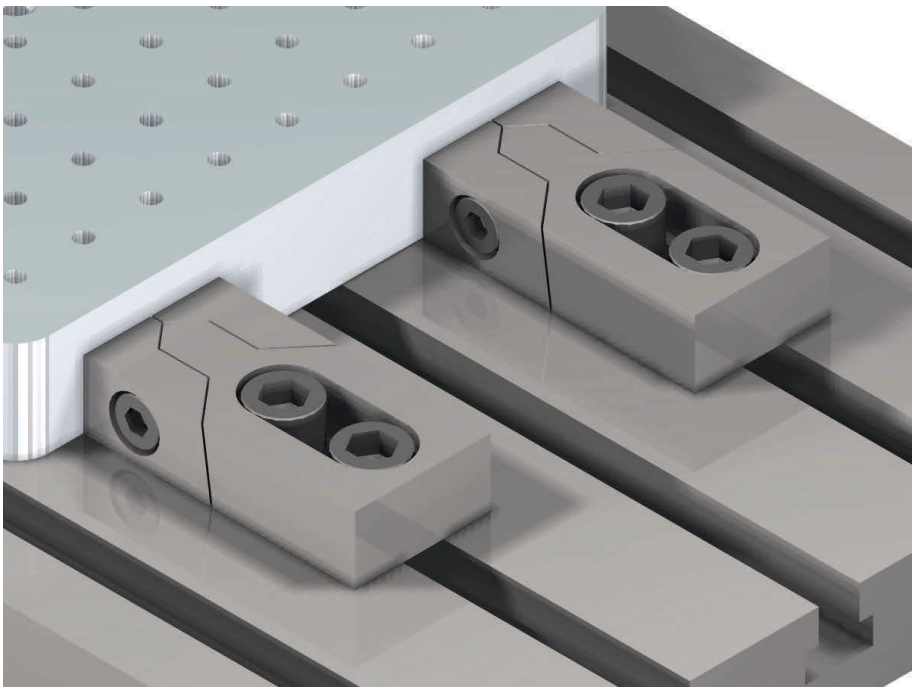
Werkstückaufspannung



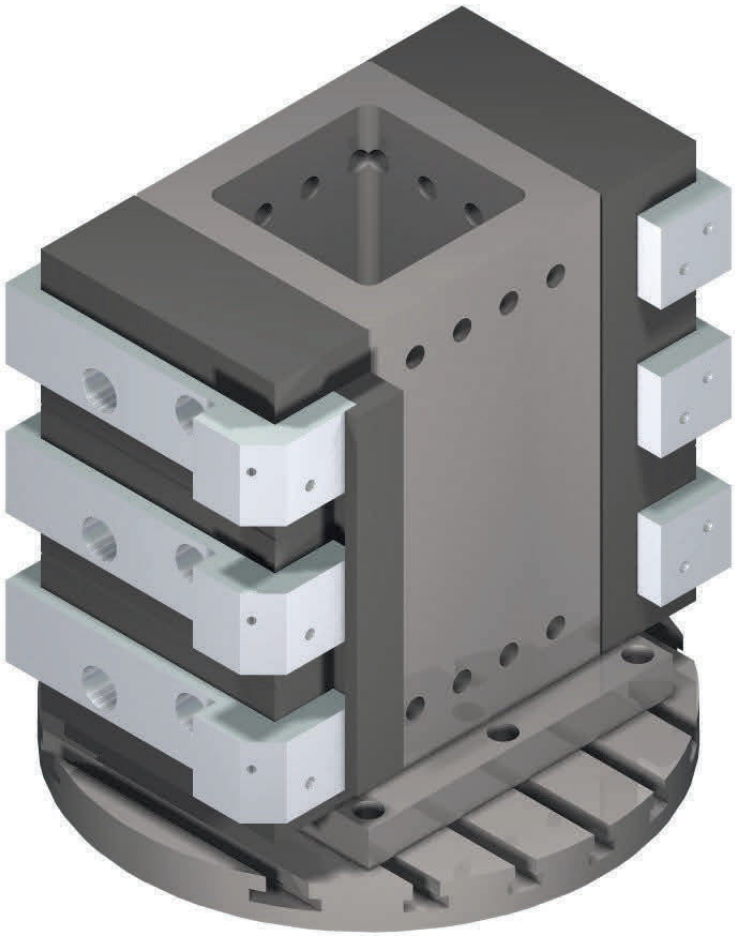
Maschinenschraubstock. Außer den mechanischen gibt es hydraulische Schraubstöcke. Bei den hydraulischen wird die mechanische Spannkraft durch einen eingebauten Druckübersetzer verstärkt.
Neben der Standardausführung mit einer beweglichen Backe gibt es Ausführungen mit zwei beweglichen Backen als Zentrischspanner.
Ein Maschinenschraubstock kann zusätzlich auf einem Drehteller montiert sein, um verschiedene Winkel einzustellen.
Automatisch betätigte Schraubstöcke werden meist mit Druckluft angesteuert (öffnen, schließen) und besitzen ein internes System wie ein hydraulischer Schraubstock.



Spannpratzen. Es gibt dazu die unterschiedlichsten Ausführungen, vom universellen Baukasten-System verschiedener Hersteller bis zu beliebigen Eigenkonstruktionen.



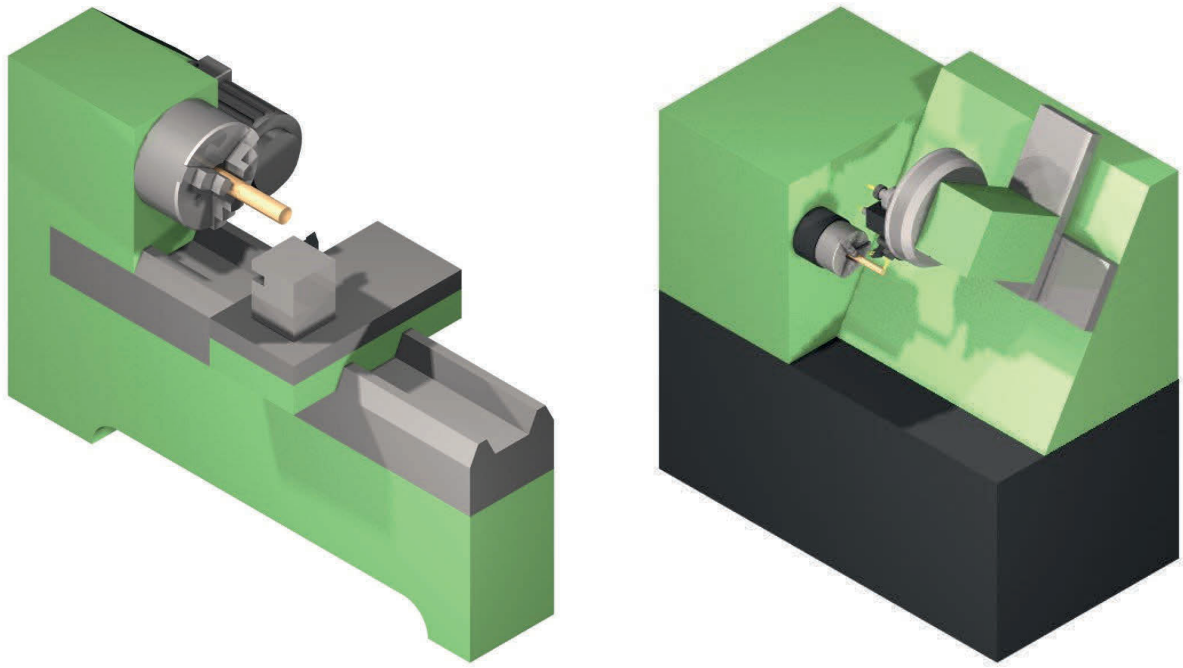
Tiefenspanner. Vor allem für größere Platten geeignet, wenn keine Spannpratzen überstehen dürfen.



Für Serienfertigung, Mehrfachspannung oder schwer zu spannende Teile müssen häufig spezielle Spannvorrichtungen angefertigt werden, welche ein genaues und sicheres Spannen ermöglichen.

2.04 Drehmaschinen

Eine konventionelle Drehmaschine besitzt ein waagrechtes Bett für die Längsachse, worauf sich der Querschlitten und der Oberschlitten zum Kegeldrehen befinden. Es gibt vereinzelt nachgerüstete CNC-Drehmaschinen, welche noch nach dieser Anordnung arbeiten. Auch einige kleinere Hobby CNC-Drehmaschinen und übergroße CNC-Drehmaschinen sind so aufgebaut. Diese Maschinen sind meist mit Schnellwechselhaltern zum manuellen Wechsel der Drehwerkzeuge ausgestattet, können aber auch mit einem automatischen Werkzeugrevolver versehen sein.

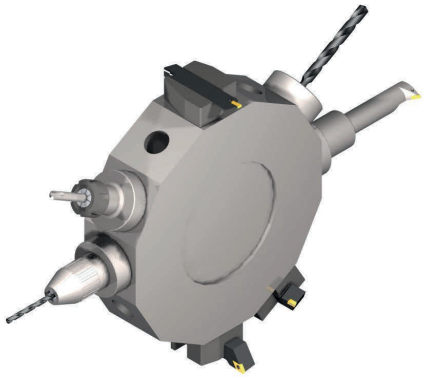


Drehmaschine mit konventionellem Aufbau und Schrägbett-Drehmaschine mit Werkzeugrevolver

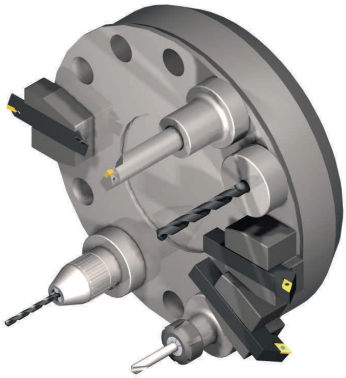
Im CNC-Bereich hat sich weitgehend die Schrägbett-Drehmaschine durchgesetzt, weil die Späneabfuhr günstiger ist. Der Drehmeißel fährt nicht mehr von vorne, sondern von oben an das Werkstück heran. Die X-Koordinate wurde praktisch nur nach oben gedreht. Beim Programmieren ändert sich dabei nicht viel, lediglich die Drehrichtung und die Werte für Kreisbahnen können sich ändern. Die Standard-Achsen sind: Durchmesser in X und Länge in Z. Zusatzachsen können die Hauptspindel als Rundachse C, eine virtuelle (nur rechnerisch nutzbare) oder eine echte (mechanische) Y-Achse sein. Dazu können weitere Achsen für mehrere Revolver kommen, z. B. X1, X2, X3, Z1, Z2, Z3, usw.
Eine Standard-Schrägbettmaschine ist mit einem Revolver ausgestattet, der üblicherweise zwischen 6 und 12 Werkzeuge aufnehmen kann.
Hier gibt es unidirektionale und bidirektionale Ausführungen. Ein unidirektionaler Revolver kann sich nur in eine Richtung (vorwärts) bewegen. Ein bidirektionaler sucht sich den kürzesten Weg und dreht sich dann entweder vorwärts oder rückwärts.
Es gibt unzählige weitere Ausbaustufen zu einem Dreh- / Fräszentrum, z. B. die Möglichkeit, angetriebene Werkzeuge für Fräsarbeiten einzusetzen. Dabei dient dann die Hauptspindel als weitere Rundachse (C-Achse) und ermöglicht mit einer geeigneten Software die Programmierung der Fräsvorgänge wie an einer Fräsmaschine.

Auch Rückseitenbearbeitung ist möglich, wenn das Werkstück automatisch umgespannt werden kann.
Ein Stangenautomat kann an die Drehmaschine montiert werden, um die Rohmaterialstangen automatisch zuzuführen.
Es kann ferner eine zusätzliche Y-Achse für komplette Fräsbearbeitung oder ein automatisch ausfahrbarer Reitstock sowie eine Abnahmevorrichtung für die Fertigteile integriert sein.
Manche Maschinen sind mit mehreren Revolvern und / oder mit einer zweiten Hauptspindel ausgerüstet.
Zahlreiche Hersteller bieten diese Möglichkeiten der Komplettbearbeitung von der Stange bis zum Fertigteil an.

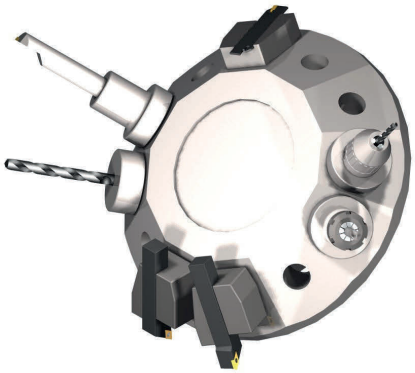
Unter den vielen Revolverkonzepten an Drehmaschinen, drei Beispiele mit VDI-Aufnahmen.



Sternrevolver
Werkzeuge sternförmig außen angeordnet.
Revolver kann seitlich oder liegend angeordnet sein



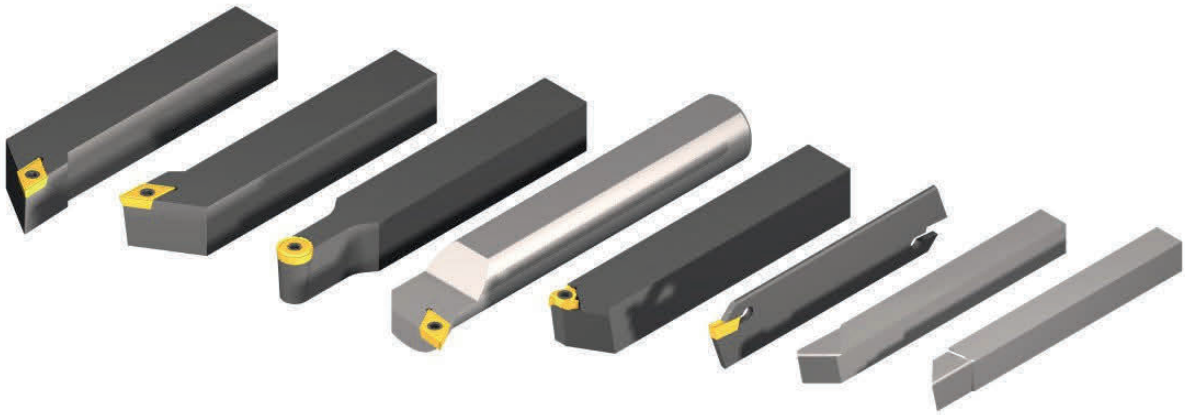
Stirnrevolver
Werkzeuge stirnseitig angeordnet

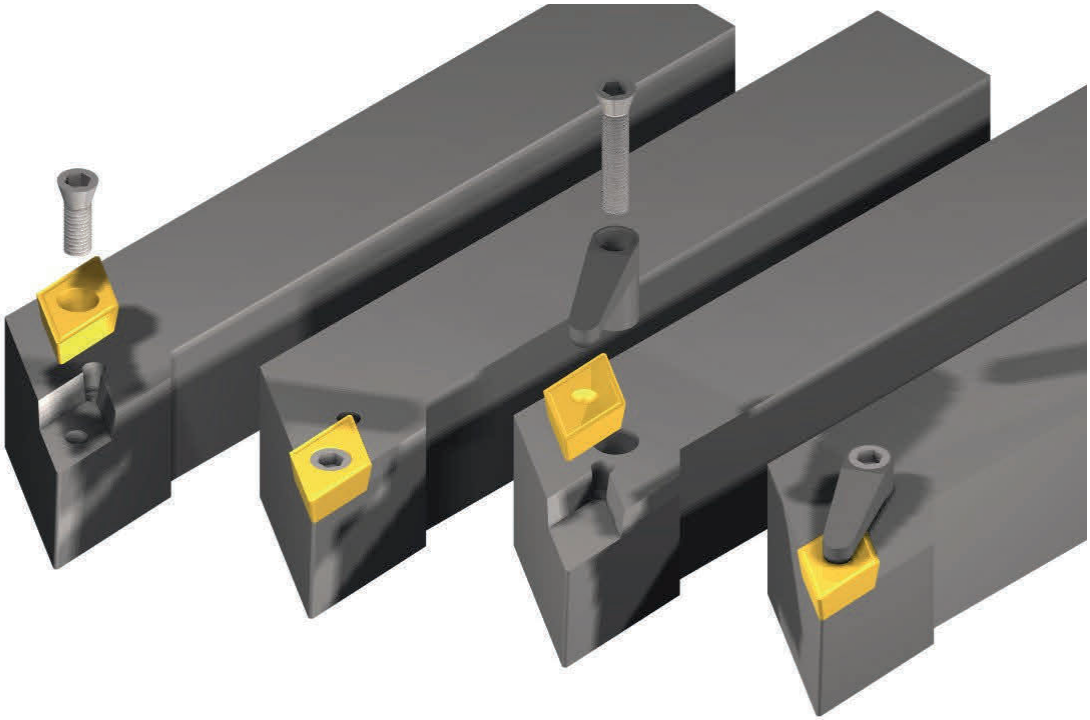


Kronenrevolver
Werkzeuge um 45 Grad schräggestellt.
Revolver ebenfalls um 45 Grad schräg angebaut

2.05 Drehwerkzeuge

Auch beim CNC-Drehen werden die bekannten Drehwerkzeuge wie Schruppdrehmeißel, Seitendrehmeißel, Kopierdrehmeißel, Formdrehmeißel, Stechdrehmeißel, Gewindedrehmeißel, Bohrstangen, Spiralbohrer, usw. eingesetzt.
Für eine wirtschaftliche Fertigung werden kaum noch die früher benutzten HSS-Drehlinge benutzt. Mittlerweile gibt es für fast alle Anwendungsfälle Drehmeißel mit aufgelöteten oder auswechselbaren Hartmetallplättchen in allen Variationen.



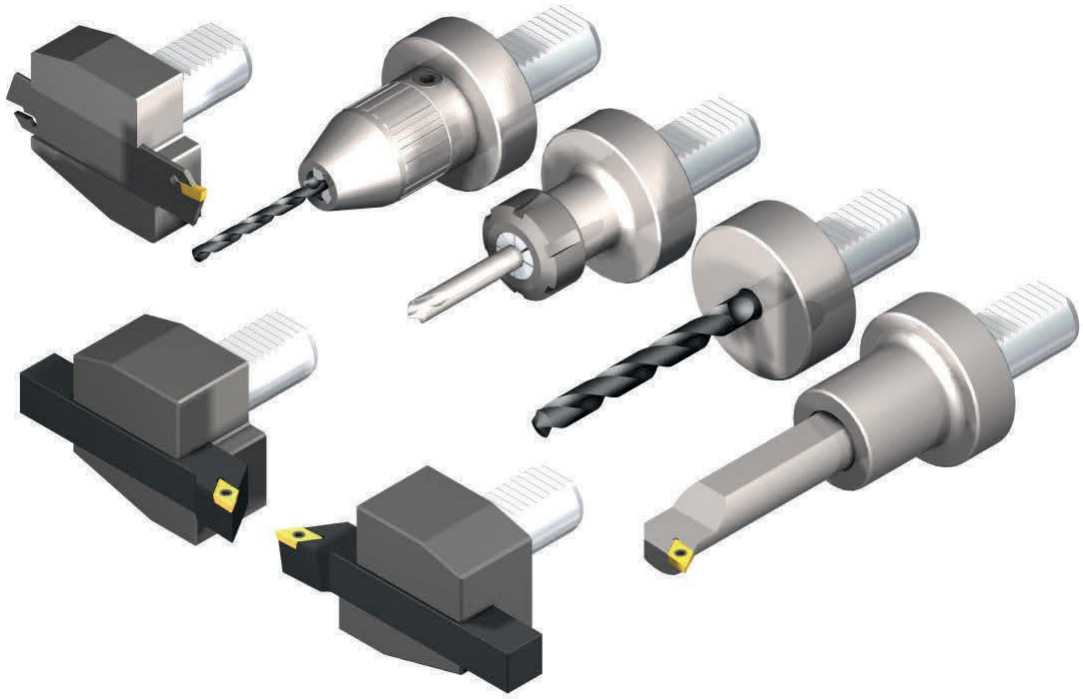


Auswechselbare Hartmetallplättchen, entweder mit durchgehender Schraube oder von einer kleinen Pratze festgehalten. Hartmetallplättchen zum Abstechen werden meistens in einem selbstklemmenden „Abstechschwert“ gehalten.

Einspannen der Werkzeuge

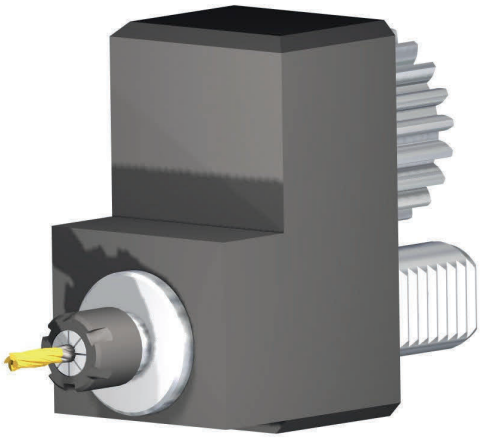
Beim konventionellen Drehen werden Blechstreifen unter den Drehmeißel gelegt, um die exakte Spitzenhöhe zu erzielen. Bei den manuell zu wechselnden Schnellwechselhaltern gibt es dafür eine Stellschraube.

Für CNC-Fertigung mit automatischem Werkzeugwechsel ist diese Vorgehensweise nicht mehr zeitgemäß. Deshalb wurden verschiedene Werkzeug-Aufnahmesysteme entwickelt, oft von Hersteller zu Hersteller verschieden. Bei einigen werden die Drehwerkzeuge entweder direkt in Spann-Nuten oder Bohrungen des Revolvers eingespannt oder in speziellen Werkzeughaltern. Ein Standard, der sich durchgesetzt hat, ist die VDI-Aufnahme, welche in verschiedenen Größen genormt ist.



VDI-Aufnahmen für Drehwerkzeughalter. Durch den zylindrischen, gezähnten Aufnahmeschaft können Werkzeuge schnell und in exakt definierter Position gewechselt werden.

Angetriebene Werkzeuge



Axial angetriebenes Werkzeug

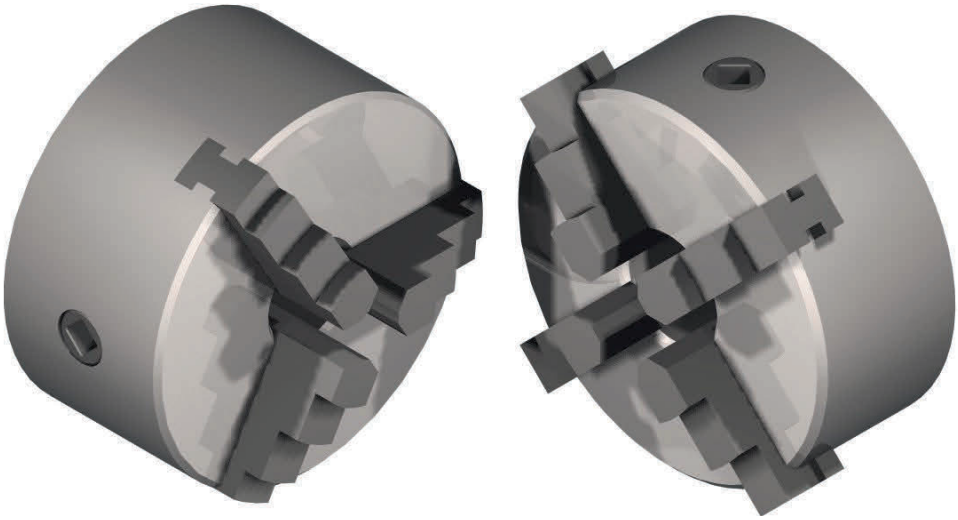
Radial angetriebenes Werkzeug

Für Fräs- und Bohrarbeiten in Drehmaschinen. Hier mit VDI-Schaft und separatem Antriebszahnrad ausgestattet. Es gibt davon weitere Ausführungen für spezielle Aufgaben wie schräge Bohrungen, zur Aufnahme von Sägeblättern, Fräsersätzen und vieles mehr.

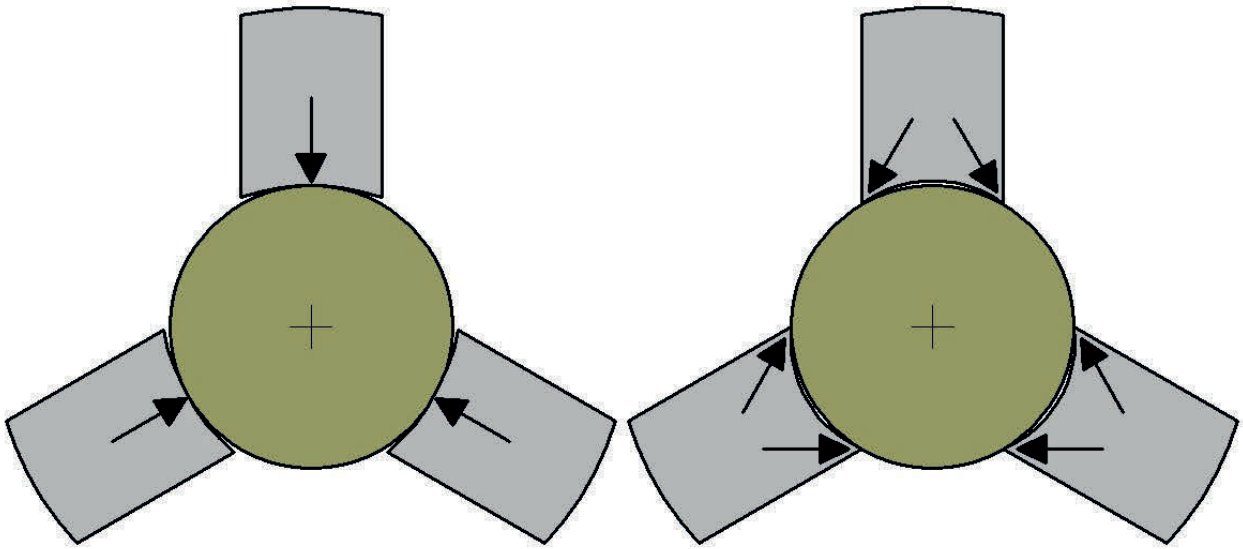
Andere Systeme werden z. B. platzsparend durch den Aufnahmeschaft hindurch mit einem kleinen Zahnrad am Ende angetrieben.

2.06 Spannen Drehen

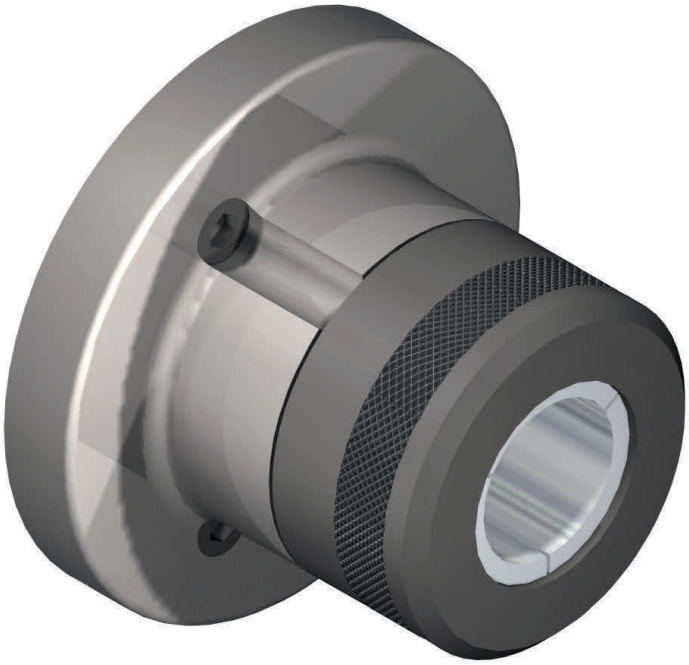
Werkstückspannung



Die altbekannten Drei- und Vierbackenfutter eignen sich besonders für zugesägte Werkstücke. Dreibackenfutter für Rund- und Sechskant-Material, Vierbackenfutter für Rund- und Vierkant-Material zum zentrischen Einspannen.
Vierbackenfutter mit einzeln verstellbaren Backen eignen sich zum außermittigen Spannen und zum Einspannen unregelmäßig geformter Teile.
Für CNC-Maschinen verwendet man meistens hydraulisch betätigte Backenfutter, welche automatisch gespannt werden können.



Wenn weiche Backen ausgedreht werden müssen, empfiehlt es sich, die Toleranz für die Werkstückaufnahme in Minus-Richtung zu legen, z. B. -0,05. Links, wo die drei Backen zu groß ausgedreht wurden, liegt das Werkstück nur an 3 Punkten auf und kann leichter durchrutschen. Im rechten Bild liegt es auf 6 Punkten an, zudem können sich die 6 Ecken etwas nach außen biegen und sich so mehr an das Werkstück anlegen.



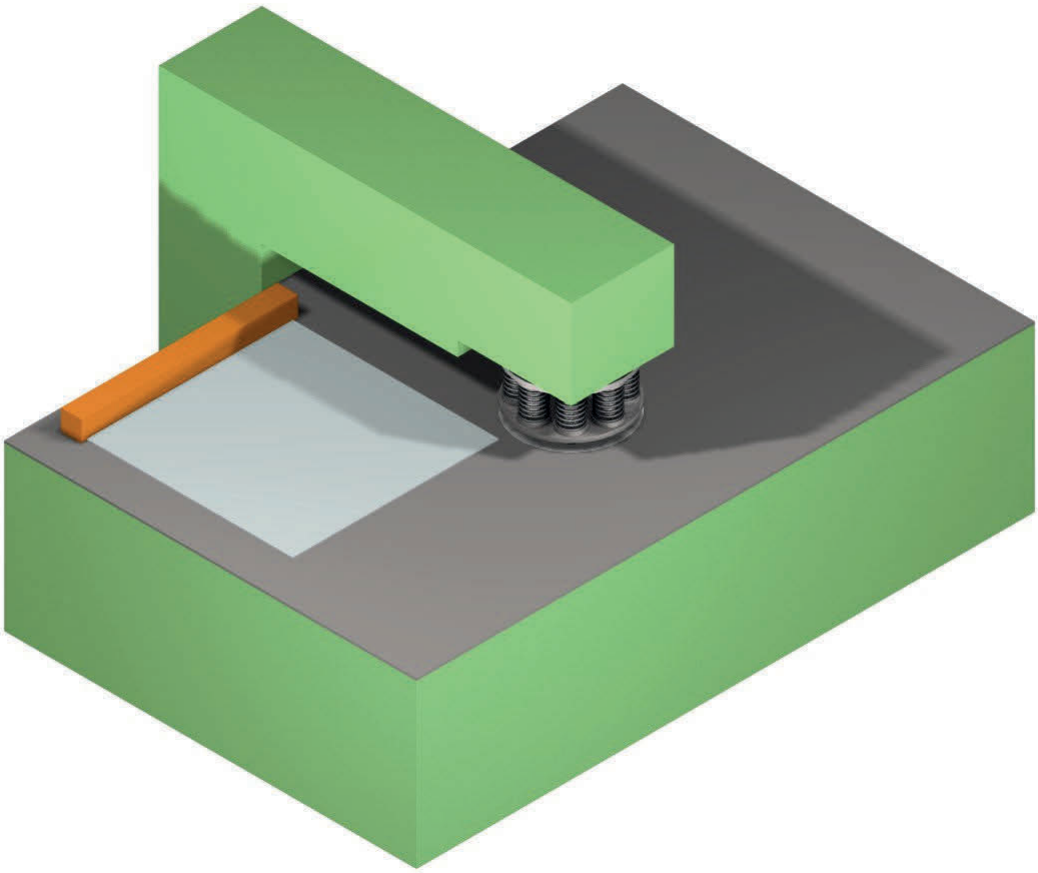
Für glattes Stangenmaterial werden vorzugsweise Spannzangenfutter verwendet. Auch hier bei CNC-Maschinen mit hydraulischer Spannung um einen automatischen Betrieb, z. B. in Verbindung mit einem Stangenmagazin, zu ermöglichen.
Dazu ist entweder ein fest eingebauter verstellbarer Anschlag vorhanden oder der Anschlag kann als weiteres „Werkzeug“ im Werkzeugrevolver eingesetzt werden. Falls Butzen vom Abstechen stehen bleiben, benötigt der Anschlag eine Bohrung um nicht am Butzen, sondern an der Planfläche anzuschlagen.

Einige CNC-Drehmaschinen welche auch für lange und dünne Werkstücke vorgesehen sind, besitzen einen Reitstock, der bei Bedarf automatisch an- und weggefahren werden kann.

Drehzentren mit Zwei-Seitenbearbeitung greifen das Werkstück während dem Abstechen mit einer Gegenspindel und machen anschließend die Rückseitenbearbeitung. Näheres dazu siehe im Kapitel „Fortgeschrittene Programmierung“ – „Komplettbearbeitung Drehmaschine“. Dort wird auch das Fräsen mit einem Drehzentrum beschrieben.

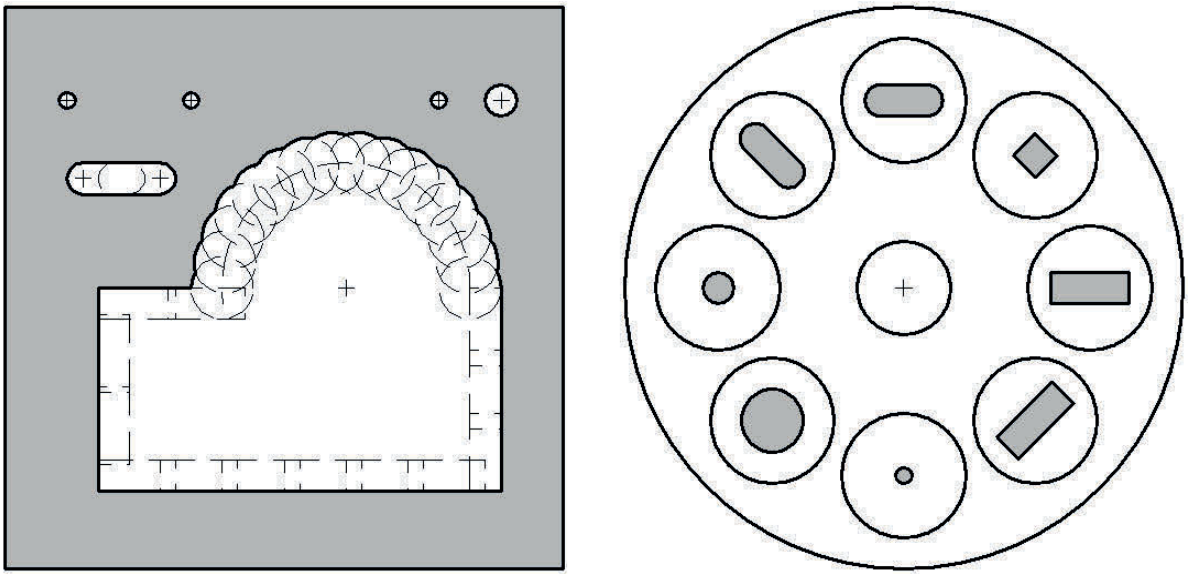
2.07 Sonstige Maschinen

CNC-Stanzmaschinen



Das Blech wird mit einer Haltevorrichtung auf dem Tisch der Stanze hin- und herbewegt. Im Pressenarm befindet sich ein Revolver mit Standard-Stanzwerkzeugen in genormten Haltern und im Tisch ebenfalls ein Revolver mit den zugehörigen Matrizen.
Die Standard-Werkzeuge bestehen aus runden Stempeln mit verschiedenen Durchmessern für Löcher und zum Nibbeln von Radien, aus quadratischen und rechteckigen Stempeln zum Nibbeln von Rechtecken und aus ovalen Stempeln für Langlöcher. Die rechteckigen und die ovalen Stempel können jeweils in Längs- und Querrichtung vorhanden sein. Bei neueren Maschinen sind die Werkzeuge drehbar, so dass dafür ein Werkzeug ausreicht und Platz für weitere geschaffen wird. Dazu können noch spezielle Stanzwerkzeuge eingesetzt werden.

Auf dem nächsten Bild werden die oberen 4 Löcher jeweils mit einem runden Werkzeug in einem Arbeitsgang ausgestanzt. Das Langloch wird mit einem ovalen Werkzeug in zwei Arbeitsgängen gestanzt. Der rechteckige Teil des Ausschnitts wird mit längs- und quer stehenden Rechteckstempeln genibbelt. Der Halbkreis wird mit einem runden Standardwerkzeug genibbelt.



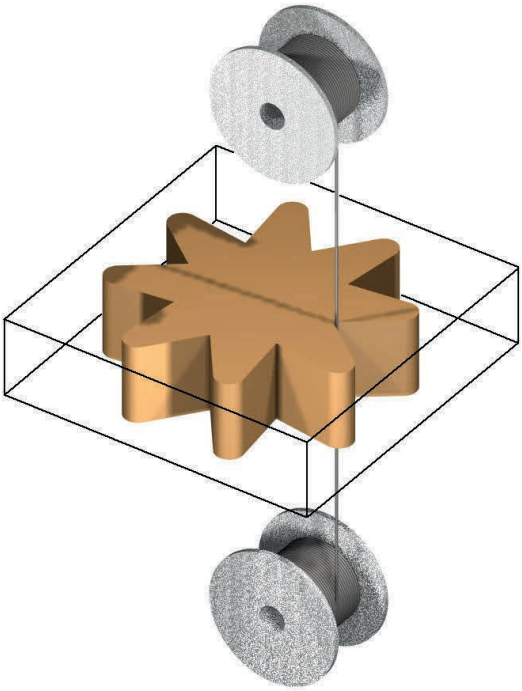
Links ein Blechstück mit ausgeschnittener Kontur und Löchern. Die Umrisse der Positionen der Werkzeuge zum Nibbeln sind gestrichelt eingezeichnet. Rechts abgebildet eine Standard-Belegung für den Revolver mit den Stanzwerkzeugen-

Erodieren

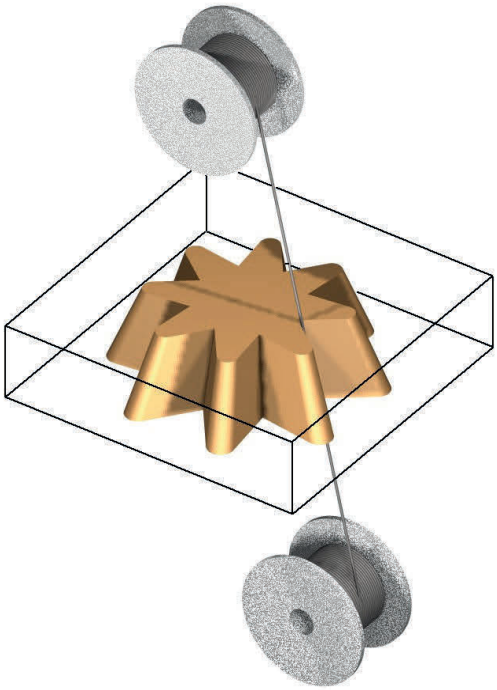
Erosion ist das Abtragen von kleinen Materialteilen mit elektrischen Funken. Bei den konventionellen Funkenerosionsmaschinen wird ein Kupferstempel mit der Negativform von oben langsam in das Werkstück bis zur Endtiefe hineingefahren. Hierbei können auf geeigneten Maschinen auch schraubenförmige Bewegungen ausgeführt werden, um z. B. Gewinde oder Wendelnuten anzufertigen.

Drahterosionsmaschinen

Beim Drahterodieren wird ein Draht an der Werkstückkontur entlanggeführt, dazu bietet sich die CNC-Programmierung für beliebige Werkstückkonturen an. Die Programmierung entspricht eigentlich dem Fräsen, nur mit sehr kleinem Werkzeug-Durchmesser. Damit sich der Draht gleichmäßig abnützt, wird er während der Bearbeitung langsam über Rollen von einer Rolle zur anderen aufgewickelt.



2D-Drahterodieren (Draht senkrecht)

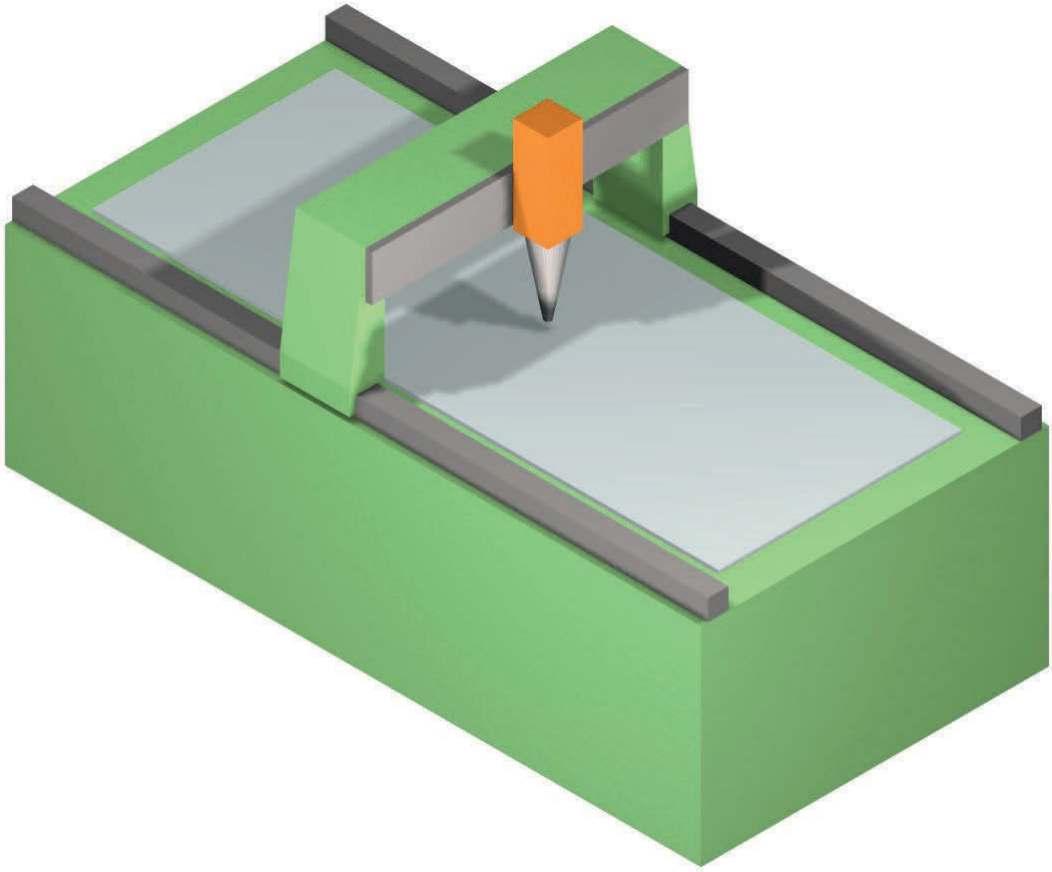


3D-Drahterodieren (Draht schräg gestellt)

Brenn-, Laser- und Wasserstrahlschneiden

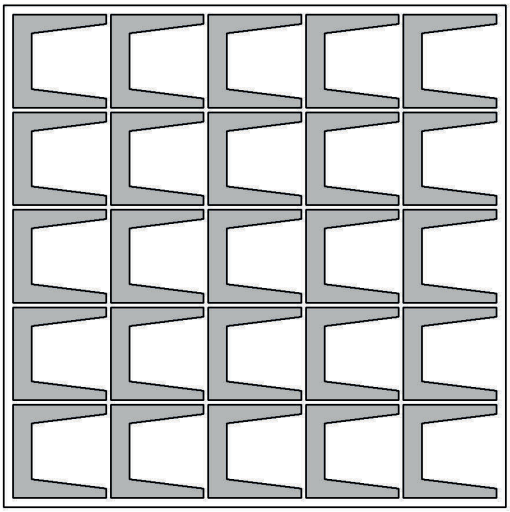
Brennschneiden ist ein altbekanntes Verfahren, wo mit einem Schweißbrenner Material abgeschnitten oder ausgeschnitten wird. Früher wurde entweder eine aufgezeichnete Kontur von Hand ausgeschnitten oder mit Hilfe einer Schablone automatisch abgefahren. Die Schablone wurde durch die wesentlichere flexiblere CNC-Steuerung ersetzt.
Das Laser- und Wasserstrahlschneiden wurden erst mit der CNC-Technik interessant. Beim Laserschneiden brennt ein energiereicher, gebündelter Laserstrahl das Material durch. Es werden dabei feinste, gratfreie Schnitte erreicht. Ebenso kann ein Laserstrahl zum Bohren von kleinsten Löchern oder zum Beschriften von allen möglichen Artikeln verwendet werden, z. B. für das Haltbarkeitsdatum auf Behältern und Lebensmittel-verpackungen aus Kunststoff.
Beim Wasserstrahlschneiden wird ein Wasserstrahl unter sehr hohem Druck (4000 bis 10000 bar) auf das Werkstück geleitet und schneidet damit exakt und gratfrei weiche Materialien (Gummi und Kunststoff). Für harte Werkstoffe, z. B. Metalle, wird dem Wasser abrasives Material (kleine Schleifkörner) zugesetzt.

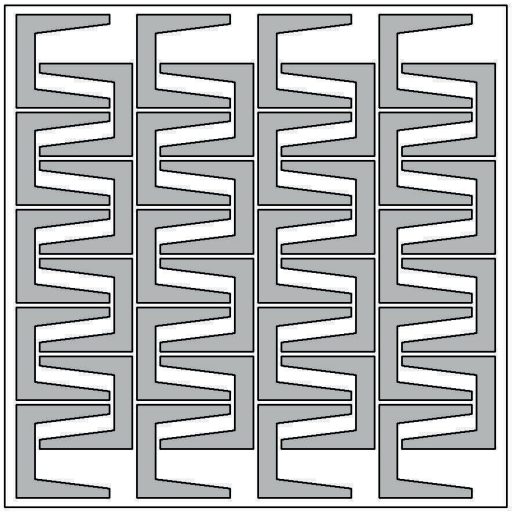
Die Maschinen zum Brennschneiden, Laserschneiden und zum Wasserstrahlschneiden sind ähnlich der Funktionsweise einer Portalfräsmaschine aufgebaut. Die Platte aus Blech, Kunststoff, Gummi usw. liegt auf dem unbewegten Maschinentisch, der Halter mit der Düse für die Gasflamme, den Laserstrahl oder den Wasserstrahl fährt -ohne das Werkstück zu berühren- die Kontur ab und trennt die gewünschte Werkstückform aus der Rohmaterialplatte heraus.



Verschachtelung von Werkstücken

Die Maschinen zum Ausschneiden von Werkstücken enthalten häufig ein Programm mit dem die Werkstücke optimal auf die vorhandene Fläche verteilt werden, um unnötigen Abfall zu vermeiden. Der englische Fachausdruck dafür lautet „nesting“.





Durch geeignete Anordnung beim Ausschneiden von Werkstücken kann sehr viel Abfallmaterial eingespart werden. Im linken Bild ergibt es 25 Werkstücke und im rechten Bild erhält man immerhin 36 Stück aus demselben Rohmaterial.

Schleifen

Auch beim Schleifen werden CNC-Schleifmaschinen, vor allem beim Rundschleifen und Werkzeugschleifen, eingesetzt

Biegen

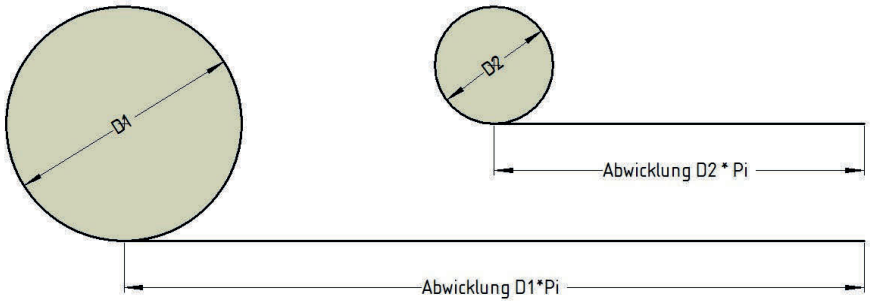
Zum Biegen von Blechen, Rohren, Stangen und anderen Profilen werden immer häufiger CNC-gesteuerte Biegemaschinen verwendet.

Messen

Der Aufbau von Messmaschinen ähnelt meist einer Portalfräsmaschine. CNC-gesteuerte Messmaschinen erlauben das automatische Vermessen von Serienteilen, inklusive der Ausgabe eines Messprotokolls. Die Messungen gehen so viel schneller, weil ein Programm die Messpunkte selbständig genau anfährt. Mit geeigneter Ausbaustufe können Abweichungen automatisch als Werkzeugkorrekturen an die CNC-Maschinen weitergeleitet werden.

Kapitel 3 – Abspantechnik

3.01 Einführung
3.02 Schneidstoffe
3.03 Schnittgeschwindigkeit



3.01 Einführung

Hier soll nur kurz das große Gebiet der Zerspanungstechnik gestreift werden, das wären mehrere Bücher voll. Auch der Fachmann an einer konventionellen Maschine kennt die Begriffe wie Freiwinkel, Einstellwinkel usw. Genauso die Berechnungen zu Zerspanungsleistungen, sowie die Berechnungen zu Haupt- und Nebenzeiten.
Die dazugehörigen Formeln und Abbildungen sind in jedem Fach- oder Tabellenbuch in gleicher Weise aufgeführt und ich erspare mir hier das Kopieren oder Abschreiben bekannter Inhalte.
In diesem Buch soll vor allem das Verständnis für eine bestmögliche Programmierung mit ihren vielfältigen Möglichkeiten geweckt werden.

Drehen und Fräsen

Drehen und Fräsen gehören zu den trennenden Fertigungsverfahren und sind spanabhebende Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide.

Geometrisch bestimmt heißt, dass die Werkzeugschneide eine definierte Form besitzt, wie z. B. eine Drehmeißelschneide und die Schneiden eines Bohrers oder Fräsers.

Im Gegensatz dazu steht das Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide, z. B. Schleifen, Honen und Läppen, wobei Schleifkörner eingesetzt werden, welche eine unregelmäßige (unbestimmte) Form haben.

Die Grundform der geometrisch bestimmten Schneide ist der Keil. Er findet sich an Messern, Äxten, Meißeln, Feilen, Sägeblättern, Bohrern, Fräsern, Drehmeißeln und vielen anderen Schneidwerkzeugen. Wenn wir herzhaft in einen Apfel beißen, ermöglicht dies die Keilform unserer Zähne. Der Winkel des Keiles muss für den jeweiligen Werkstoff angepasst werden, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Des Weiteren muss das Schneidwerkzeug eine höhere Härte aufweisen als der zu bearbeitende Werkstoff.

3.02 Schneidstoffe

Durch neuartige und stabilere Maschinen entstanden neue Fertigungsverfahren wie HSC (High Speed Cutting) Hochgeschwindigkeitszerspanung oder HPC (High Performance Cutting) Hochleistungszerspanung mit unvergleichlich hohen Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten, die früher undenkbar waren.
Mit aktuellen Schneidstoffen können bestimmte Werkstoffe trocken bearbeitet werden, wo dies früher nicht möglich war und das Drehen und Fräsen von gehärtetem Stahl ist mittlerweile kein Problem mehr.

Der Wunsch nach immer größerer und schnellerer Spanabnahme zwingt zur ständigen Forschung nach neuen Schneidstoffen und zur Optimierung der vorhandenen. Ein Hauptproblem dabei ist die normalerweise nachlassende Zähigkeit bei zunehmender Härte des Schneidstoffes. Auch hier konnten Verbesserungen mit verschiedenen Verfahren wie Sintern oder pulvermetallurgischer Herstellung erreicht werden.

Schneidstoffe zum Drehen und Fräsen

Weit verbreitet sind die HSS-Stähle (Hochleistungsschnellschnittstahl), wie sie bei Spiralbohrern oder Sägeblättern üblich sind. In anderen Legierungen gibt es HSSE und HSCO für bestimmte Anwendungen. HSS-Stähle werden auch pulvermetallurgisch als PM-Stähle hergestellt, wobei ein sehr feinkörniges Gefüge entsteht. Dadurch entstehen positive Eigenschaften, wie zunehmende Härte bei guter Zähigkeit.

Die Hartmetalle, damals von Krupp als „WIDIA“ (wie Diamant) auf den Markt gebracht, und seinerzeit sehr teuer und empfindlich, sind mittlerweile Standard bei vielen Bearbeitungen. Hier gibt es die Grundtypen P für langspanende, M für lang- bis kurzspanende und K für kurzspanende Werkstoffe.
Kleinere Werkzeuge werden aus Vollhartmetall hergestellt. Für größere werden Hartmetallplatten auf das Trägermaterial (z. B. Stahl) aufgelötet oder es werden auswechselbare Hartmetallplättchen (Wendeplatten) in spezielle Werkzeughalter eingesetzt. Der Vorteil ist, dass nur kleine Platten des teuren Hartmetalls in einem Halter aus Stahl befestigt werden. Diese Wendeplatten können je nach Ausführung mehrmals gedreht werden, wenn eine Seite verschlissen ist und werden nach Abnutzung aller Seiten einfach ausgewechselt.
Die Grundformen und Größen der Wendeplatten sind zwar genormt, jedoch gehen durch weitere Ausführungen die Möglichkeiten fast ins Unendliche, wie verschiedene Spanwinkel, Form der Spanleitstufe, gewellte Schneide, Beschichtung ja oder nein. Obendrein bietet jeder Hersteller andere Haltersysteme und dazu teilweise spezielle Wendeplatten an.

Cermets sind Hartmetalle mit Keramikpartikeln gemischt und erreichen durch den Keramikanteil eine noch höhere Standzeit als die klassischen Hartmetalle. Das Wort Cermet wurde gebildet aus CERamic und METal (englisch).

Kubisches Bornitrit CBN, auch polykristallines kubisches Bornitrit PKB besitzt eine extreme Härte und hohe Warmfestigkeit und bietet sich damit für spezielle Werkstoffe an. Polykristallin bedeutet: aus vielen Kristallen bestehend.

Der Diamant als härtestes bekanntes Mineral wird in der Industrie als polykristalliner Diamant PKD eingesetzt. Diese industriell hergestellten Diamanten sind nicht zu verwechseln mit einem monokristallinen (ein Kristall) Diamant zu Schmuckzwecken.
Der PKD wird für feinste Endbearbeitung mit höchster Oberflächengüte eingesetzt. Allerdings ist Diamant zur Bearbeitung eisenhaltiger Werkstoffe ungeeignet, weil das Eisen Kohlenstoff entzieht und Diamant besteht ja bekanntlich (wie auch Graphit) aus reinem Kohlenstoff.

Sehr häufig werden HSS- und Hartmetallwerkzeuge noch zusätzlich mit chemischen oder physikalischen Verfahren beschichtet. Diese meist gold- oder lilafarbenen Beschichtungen erhöhen die positiven Eigenschaften beträchtlich.

Die schier unerschöpfliche Auswahl und ständige Neuentwicklungen bei den schneidenden Werkzeugen können leicht zur Verwirrung und Fehlkäufen führen. Um zu verhindern, dass im Betrieb zu jeder Maschine ein anderes Werkzeugsystem gekauft wird und damit auch andere Wendeplatten nötig sind, sollte eine gewisse Systematik eingeführt und Standards festlegt werden.

Ein weiterer Faktor sind die Kühlschmierstoffe, welche zum Werkstoff und zum Schneidstoff passen müssen. Z. B. Trockenbearbeitung, Wasser, Emulsion, Schneidöle, Schneidfette, auch Druckluft. Kann als Kühlmittelstrahl, als Kühlmittelnebel, als sparsame Tropfenschmierung oder als Druckluftstrahl zum Einsatz kommen.

Die genauesten Informationen über Schnittgeschwindigkeiten, Vorschubwerte, Standzeiten, usw. erfährt man am besten bei den Herstellern selbst. Sie haben unter Laborbedingungen ausgedehnte Versuche mit ihren Schneidstoffen unternommen und garantieren für die Richtigkeit der Angaben. Dazu bieten sie ausführliche Kataloge mit Listen über alle relevanten Informationen an, wo sich der Anwender informieren kann. Allerdings muss man sich im Klaren sein, dass die dort genannten Parameter unter Idealbedingungen ermittelt wurden. Das bedeutet unter anderem: massive und starke Maschine, Werkstück und Werkzeug optimal gespannt, reichliche Kühlmittelversorgung und keine sonstigen störenden Einflüsse.
Unter anderen Bedingungen, wie beispielsweise bei einem weit herausgespannten oder dünnwandigen Werkstück oder mit einem lang gespannten Werkzeug können sich diese Werte drastisch verringern.

3.03 Schnittgeschwindigkeit

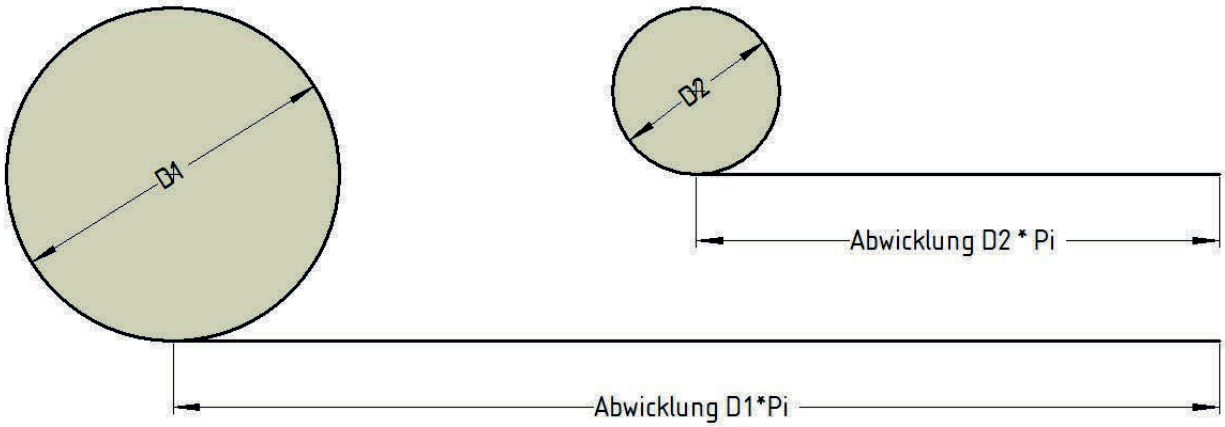
Auch wenn die Schnittgeschwindigkeit für jeden, der mit Zerspanung zu tun hat, zum Grundwissen gehört, hier trotzdem einige Worte dazu.

Geschwindigkeit ist ja bekanntlich ein gewisser zurückgelegter Weg innerhalb einer bestimmten Zeit. Jeder kennt „Stundenkilometer“ = Kilometer pro Stunde.

Mit Schnittgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit gemeint, welche während der Zerspanung auf den Schneidkeil ausgeübt wird.
Da diese beim Fräsen und Drehen an rotierenden Teilen wirksam ist, handelt es sich eigentlich um die Umfangsgeschwindigkeit und nicht um die Geschwindigkeit auf einer geradlinig zurückgelegten Strecke.

Abwicklung des Umfangs

Der Umfang ist Durchmesser mal π (Pi = 3,14…). U = D * π



Wie auf dem Bild zu sehen ist, nimmt der Umfang mit dem Durchmesser zu. Der Umfang ist hier der zurückgelegte Weg eines Punktes auf dem Kreis.

Die Schnittgeschwindigkeit ist vor allem abhängig vom zu bearbeitenden Werkstoff und vom Schneidstoff. Die gewünschte Werkzeugstandzeit kann durch Ändern der Schnittgeschwindigkeit beeinflusst werden. Auch die Art der Bearbeitung, die Werkzeugform und das eingesetzte Kühlmittel erfordern eventuell eine andere Schnittgeschwindigkeit. Beim Schruppen wird eher eine niedrigere Schnittgeschwindigkeit gewählt, beim Schlichten eine höhere.

Die optimalen Schnittgeschwindigkeiten für verschiedene Werkstoffe und Schneidstoffe werden ständig in umfangreichen Versuchen von den Werkzeug- und Maschinen-herstellern ermittelt und können aus Tabellen entnommen werden.

Die zugehörige Drehzahl zur Schnittgeschwindigkeit gilt entweder für ein rotierendes Werkzeug (Fräser, Bohrer, Bohrstange, usw.) oder für den momentan zu bearbeitenden Durchmesser eines Drehteils.

Da die Schnittgeschwindigkeit am Umfang des rotierenden Werkzeugs oder des Drehteils gemessen wird, ergibt sich bei gleicher Drehzahl eine höhere Schnittgeschwindigkeit bei größerem Durchmesser und bei kleinerem Durchmesser weniger Schnittgeschwindigkeit.
Daraus folgt: ein großer Durchmesser erfordert eine niedere Drehzahl, ein kleiner Durchmesser eine höhere Drehzahl bei gleicher Schnittgeschwindigkeit.

Die Mittelachse eines rotierenden Werkzeugs oder Drehteils hat den Durchmesser 0 (Null). Folglich ist dort auch die Schnittgeschwindigkeit gleich Null, egal wie schnell sich das Teil dreht.
Beim Fräsen mit Kopier- oder Kugelfräsern kann das zu Problemen führen, da zur Fräsermitte hin die Schnittgeschwindigkeit gegen 0 geht. Dagegen hilft oft Schrägstellen des Fräsers (ab 5-Achsen Maschine), damit die üblicherweise nach dem Fräser-Außendurchmesser gewählte Drehzahl eine ausreichende Schnittgeschwindigkeit erreicht.

Beim CNC-Drehen, wo vorzugsweise mit Schnittgeschwindigkeit gearbeitet wird, kann die optimale Schnittgeschwindigkeit oft nicht erreicht werden. Während dem Plandrehen und Abstechen fährt der Drehmeißel auf Durchmesser 0, was ja eine unendlich hohe Drehzahl bedeuten würde, wobei wegen der hohen Fliehkräfte die Fetzen fliegen würden, bis zur Zerstörung der Maschine und ihrer Umgebung. Deshalb wird vom Hersteller eine Begrenzung der Höchstdrehzahl in den Maschinendaten vorgegeben. Bei exzentrisch gespannten Werkstücken oder größeren Spannfuttern muss eine niedrigere Höchstdrehzahl gewählt werden. Dies kann am Programmanfang eingegeben werden. Auf den Backenfuttern steht jeweils die maximal zulässige Drehzahl, welche keinesfalls überschritten werden darf.

Berechnung der Drehzahl

Beim metrischen System wird die Schnittgeschwindigkeit in Meter pro Minute (m/min) angegeben.

Drehzahlberechnung metrisch:

$$U/\min = \frac{m/\min * 1000}{\pi * D}$$

U/min = Umdrehungen pro Minute
m/min = Schnittgeschwindigkeit in Meter pro Minute
D = Fräser- oder Werkstückdurchmesser in mm

Beim Zoll-System wird die Schnittgeschwindigkeit in feet (Fuß) pro Minute (ft/min) angegeben.

Drehzahlberechnung Zoll:

$$U/\min = \frac{ft/\min * 12}{\pi * D}$$

U/min = Umdrehungen pro Minute
ft/min = Schnittgeschwindigkeit in Fuß pro Minute
D = Fräser- oder Werkstückdurchmesser in Zoll

Vorschub

Spantiefe

Die Spantiefe wird im metrischen System mit Millimeter pro Fräserzahn angegeben, z. B. 0,2mm/Fz für Aluminium.

Im Zoll-System wird sie in Zoll pro Fräserzahn angegeben, z. B. 0,008in/Fz ebenfalls für Aluminium.

Für die empfohlene Spantiefe pro Fräserzahn existieren ebenfalls umfangreiche Tabellen.

Vorschub

Im metrischen System wird der Vorschub beim Fräsen in Millimeter pro Minute angegeben, z. B. 200mm/min (F200).

$$F = U/\min * mm/Fz * N$$

F= Vorschub in mm/min
U/min = Umdrehungen pro Minute
mm/Fz = Spantiefe in mm pro Fräserzahn
N = Anzahl der Schneiden (Zähne)

Beim Zoll-System wird der Fräsvorschub in Zoll pro Minute angegeben, z. B. 8in/min (F8).

$$F = U/\min * in/Fz * N$$

F= Vorschub in in/min
U/min = Umdrehungen pro Minute
in/Fz = Spantiefe in Zoll pro Fräserzahn
N = Anzahl der Schneiden (Zähne)

Bei Drehmaschinen wird der Vorschub entweder in mm pro Umdrehung oder in Zoll pro Umdrehung angegeben.

Für Gewindebohren auf Fräsmaschinen gilt bei beiden Systemen (Zoll und Meter):
Vorschub = Drehzahl X Steigung. F = U/min * P
Die Steigung ist dann entweder in Zoll oder in Millimeter anzugeben.

Für Gewindedrehen auf Drehmaschinen gilt ebenfalls bei beiden Systemen: Vorschub = Steigung. F = P. Auch hier wird die Steigung in Zoll oder Millimeter angegeben.

Zum Schluss eine einfache Schnittgeschwindigkeits-Tabelle zum Ausdrucken, welche vorerst zum Üben ausreicht. In der Heimwerkstatt leistet sie ebenfalls gute Dienste.

SCHNITTGESCHWINDIGKEITEN in m/Min.

Bearbeitungsart und Werkstoff	**Drehen**		**Fräsen**		**Bohren**		**Reiben/Senken**	
	HSS	HM	HSS	HM	HSS	HM	HSS	HM
Stahl bis 500 N	35	90	25	90	20	120	10	25
Stahl bis 900 N	20	70	20	70	15	110	5	20
Hochlegierter Stahl	15	50	15	50	10	80	5	10
Grauguss	20	65	20	70	25	80	10	20
Kupfer-Leg.	60	450	55	120	50	65	15	25
Aluminium-Leg.	100	700	100	500	70	300	20	60

DREHZAHLEN in U/Min.

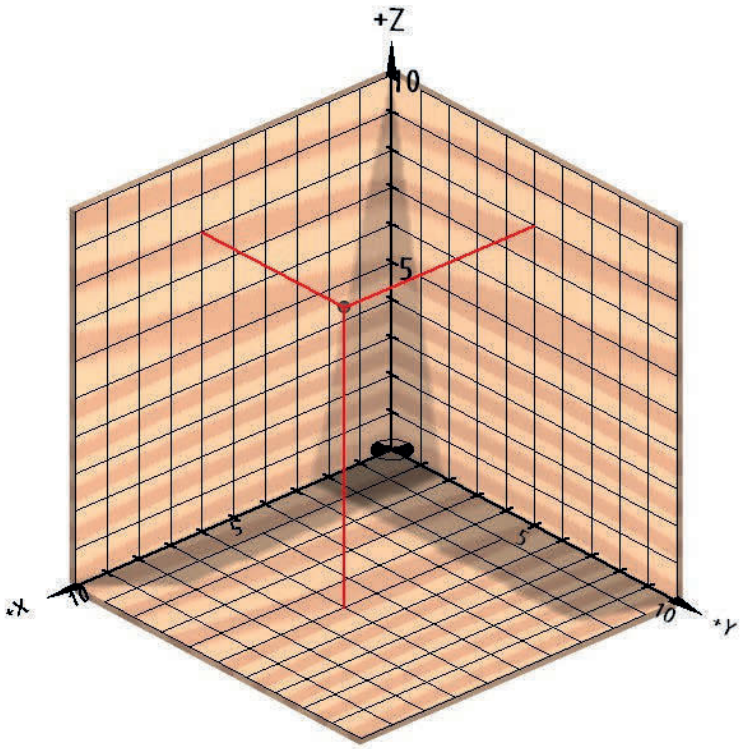
Ø	Schnittgeschwindigkeit in m/Min.									
in mm	4	6	8	10	12	14	20	30	40	50
1	1273	1910	2546	3183	3820	4456	6366	9549	12732	15915
2	637	955	1273	1592	1910	2228	3183	4775	6366	7958
3	424	637	849	1061	1273	1485	2122	3183	4244	5305
4	318	477	637	796	955	1114	1592	2387	3183	3979
5	255	382	509	637	764	891	1273	1910	2546	3183
6	212	318	424	531	637	743	1061	1592	2122	2653
7	182	273	364	455	546	637	909	1364	1819	2274
8	159	239	318	398	477	557	796	1194	1592	1989
9	141	212	283	354	424	495	707	1061	1415	1768
10	127	191	255	318	382	446	637	995	1273	1592
12	106	159	212	265	318	371	531	796	1061	1326
14	91	136	182	227	273	318	455	682	909	1137
16	80	119	159	199	239	279	398	597	796	995
18	71	106	141	177	212	248	354	531	707	884
20	64	95	127	159	191	223	318	477	637	796
25	51	76	102	127	153	178	255	382	509	637
30	42	64	85	106	127	149	212	318	424	531
50	25	38	51	64	76	89	127	191	255	318

Anm.: Bei größeren oder kleineren Werten um eine Null erweitern oder die letzte Stelle abschneiden.
z. B.: gegeben: Ø = 70 mm, Schnittgeschwindigkeit = 20 m/Min.
bei Ø 7 wären dies 909 U/Min., für Ø 70 ergibt es 91 U/Min.
z. B.: gegeben: Ø = 10 mm, Schnittgeschwindigkeit = 100 m/Min.
bei 10 m/Min. wären dies 318 U/Min., für V=100 m/Min. ergibt es 3180 U/Min.

Für die meisten Kunststoffe können die Werte für Kupferlegierungen verwendet werden.

Kapitel 4 – Koordinaten

4.01 Kartesische Koordinaten
4.02 Polarkoordinaten



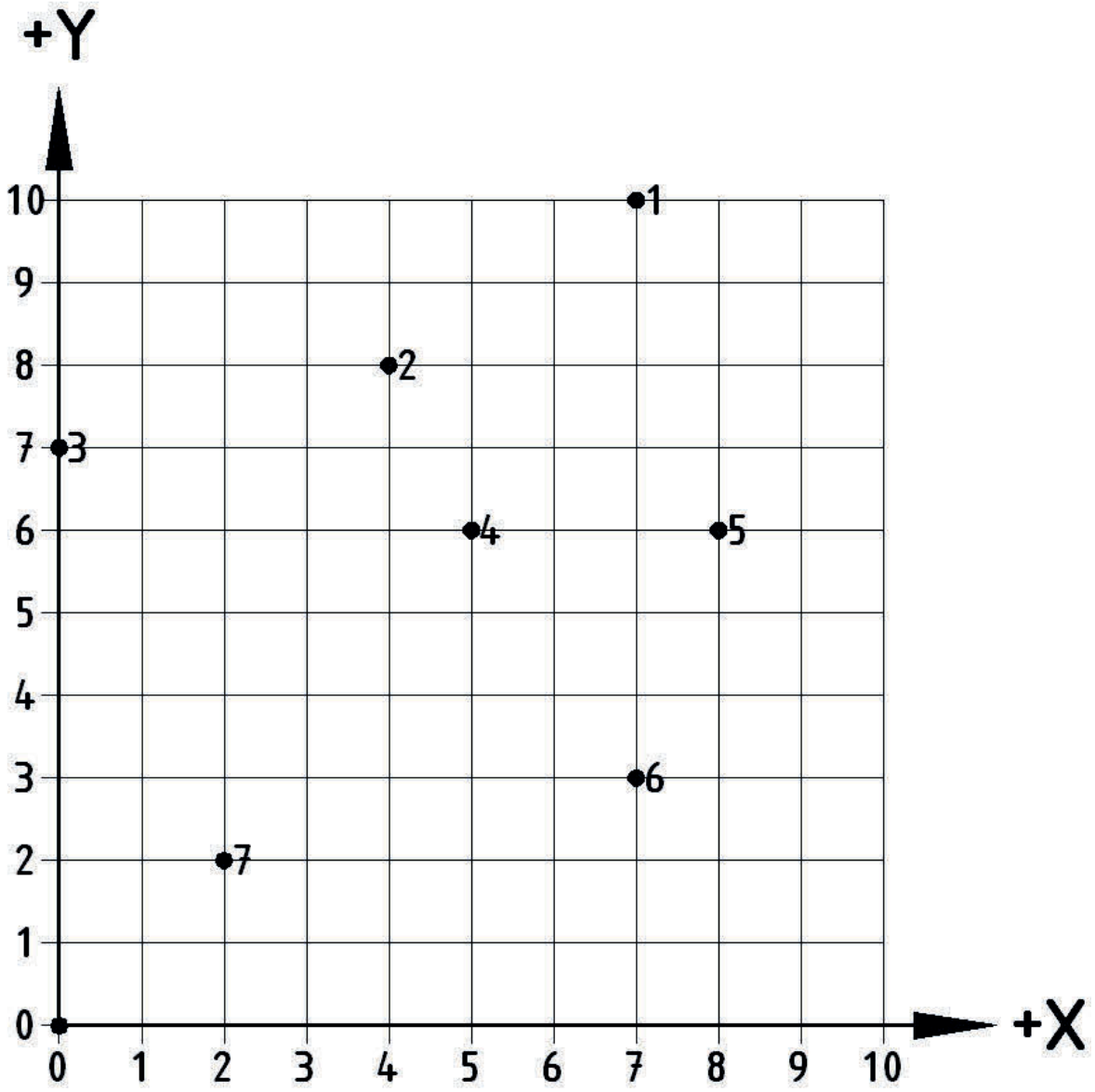
4.01 Kartesisches Koordinatensystem

Der Gebrauch von Koordinaten ist bei vielen Anwendungen im Alltag unverzichtbar. So auch in der gesamten CNC-Technik. Wer mit Koordinaten nicht umgehen kann, findet sich in keinem CNC-Programm zurecht. Die Programmierung der Positionen erfolgt immer in Koordinaten, wobei jeder Punkt eindeutig bestimmt werden kann.

Das Kartesische Koordinatensystem ist das Standard-Koordinatensystem für die CNC-Steuerungen. Die Koordinatenangaben werden rechtwinklig vom Nullpunkt aus bestimmt. Die Programm-Beispiele in diesem Buch beziehen sich alle auf das kartesische Koordinatensystem.

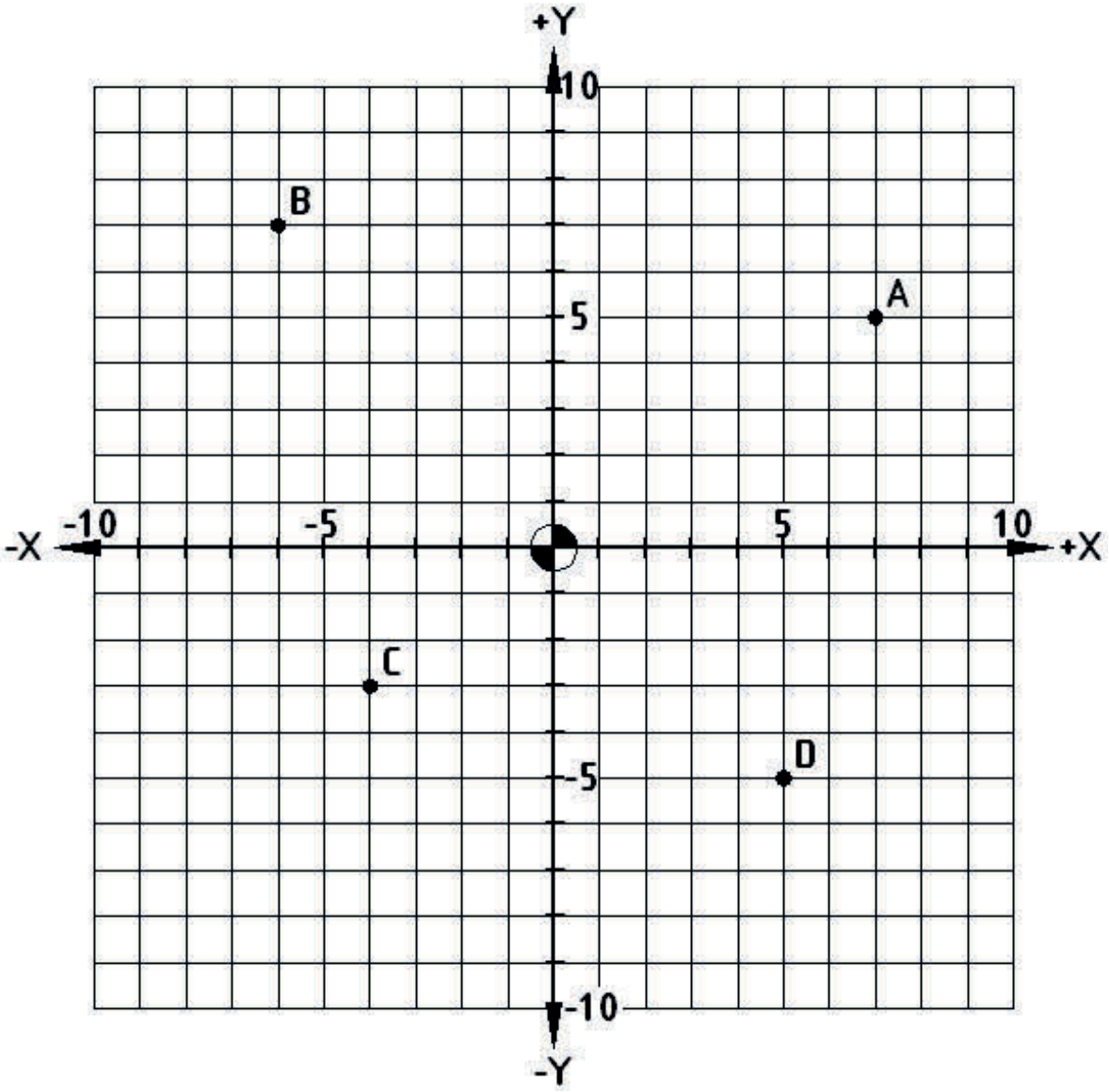
Kartesische Koordinaten in der Ebene

Hier ein einfaches Koordinatensystem mit der waagrechten X-Achse und der senkrechten Y-Achse.



Zur Suche von Punkt 1 geht man so vor:
Auf der waagrechten X-Achse von 0 bis Punkt 1 gehen. Ablesewert = 7
Auf der senkrechten Y- Achse von 0 bis Punkt 1 gehen. Ablesewert = 10
Die Koordinate für Punkt 1 ist somit X = 7 und Y = 10.
Die insgesamt sieben Punkte liegen auf folgenden Koordinaten:
Punkt 1 auf X = 7 und Y = 10 Punkt 2 auf X = 4 und Y = 8
Punkt 3 auf X = 0 und Y = 7 Punkt 4 auf X = 5 und Y = 6
Punkt 5 auf X = 8 und Y = 6 Punkt 6 auf X = 7 und Y = 3
Punkt 7 auf X = 2 und Y = 2

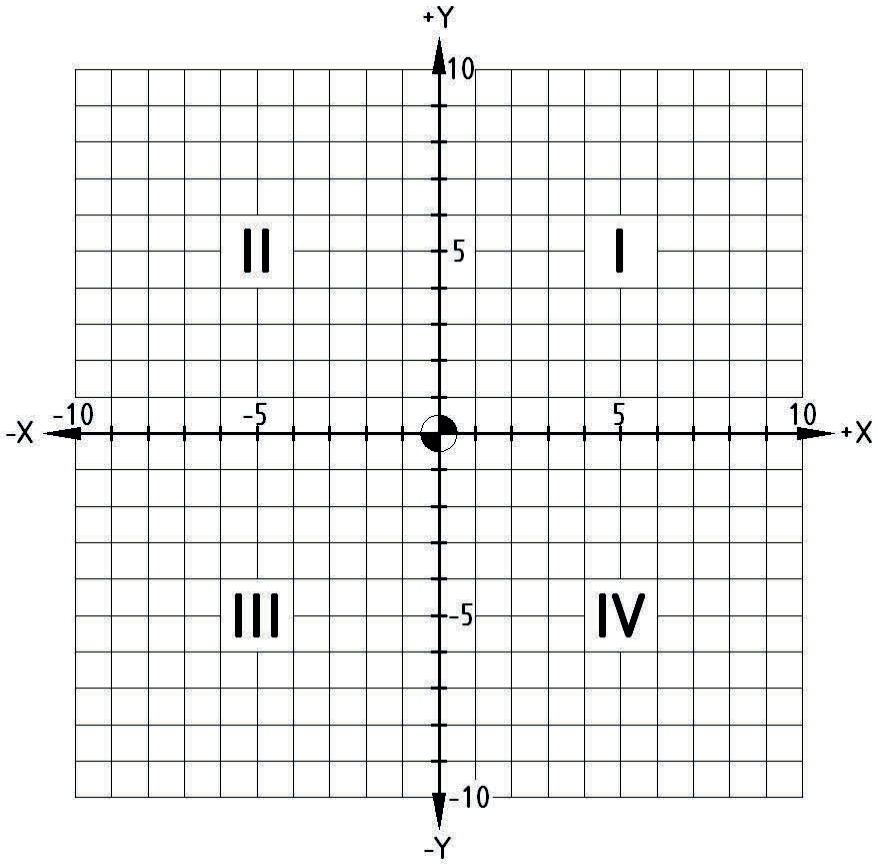
Ein Koordinatensystem kann natürlich auch negative Zahlen darstellen.



Der Punkt A liegt hier auf X = **+7** und Y = **+5**, Punkt B auf X = **- 6** und Y = **+7**,

Punkt C auf X = **- 4** und Y = **- 3** und Punkt D liegt auf X = **+5** und Y= **- 5**.

Ein Standard-Koordinatensystem wird in vier Abschnitte eingeteilt, die Quadranten genannt werden. Sie werden mit römischen Zahlen bezeichnet. Die Reihenfolge der Quadranten ist entgegen dem Urzeigersinn festgelegt und beginnt bei der Position von 3 Uhr.



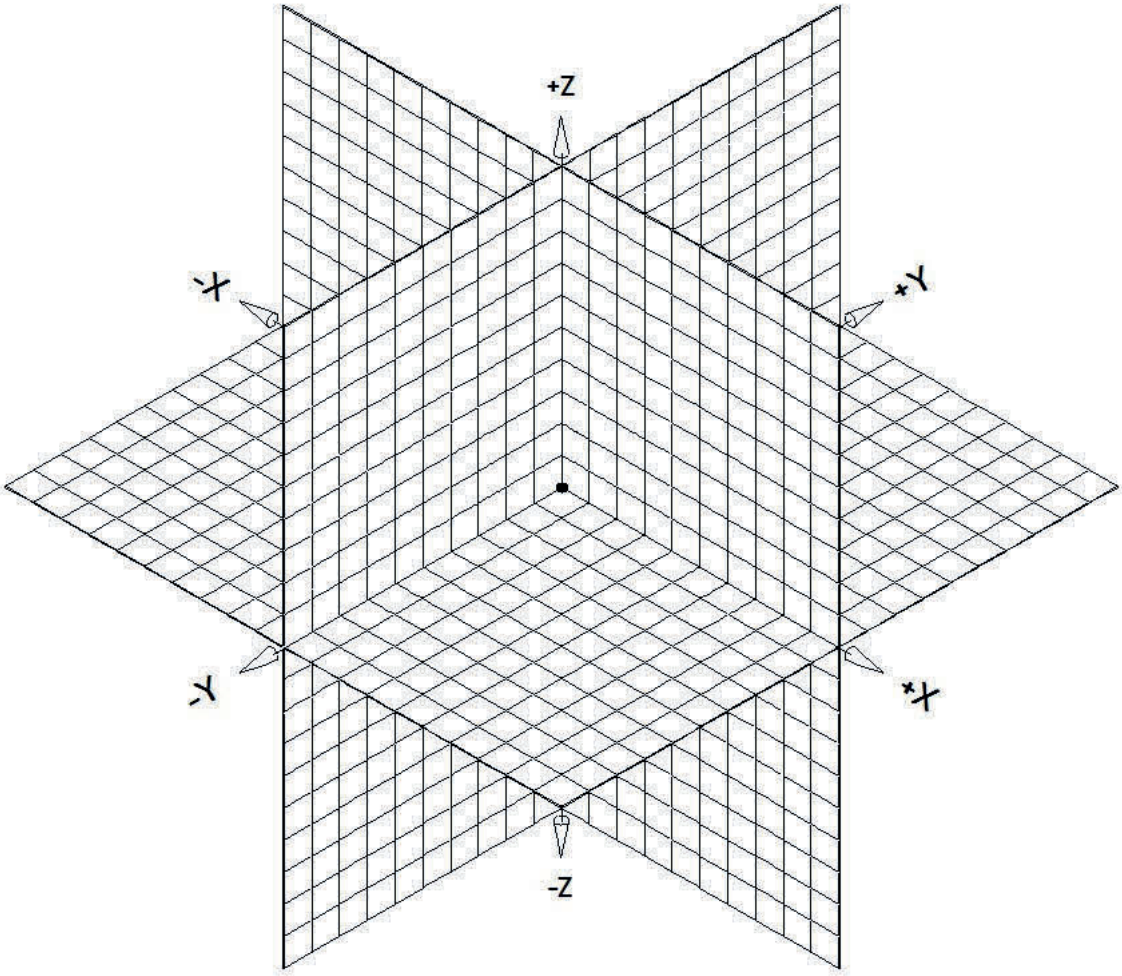
Quadrant I befindet sich zwischen der Position von 3 Uhr und 12 Uhr. Alle darin befindlichen X- und Y-Positionen haben positive Werte.

Quadrant II befindet sich zwischen der Position von 12 Uhr und 9 Uhr. Alle X-Positionen sind negativ, die Y-Positionen sind positiv.

Quadrant III befindet sich zwischen der Position von 9 Uhr und 6 Uhr. Alle darin befindlichen X- und Y-Positionen haben negative Werte.

Quadrant IV befindet sich zwischen der Position von 6 Uhr und 3 Uhr. Alle X-Positionen sind positiv, die Y-Positionen sind negativ.

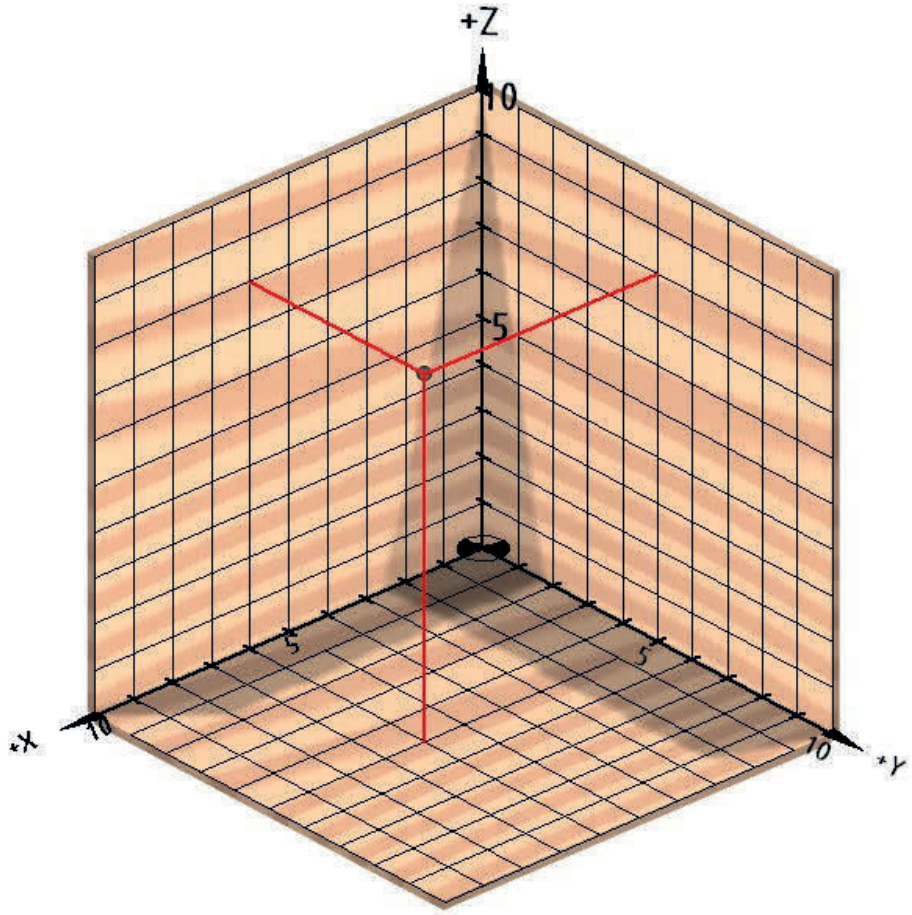
Kartesische Koordinaten im Raum



Das dreidimensionale Koordinatensystem, beinhaltet zusätzlich die Z-Achse.

Es gibt 8 Bereiche, die sich in Plus und Minus abwechseln

oben hinten rechts +X, +Y, +Z
oben hinten links –X, +Y, +Z
oben vorne links -X, -Y, +Z
oben vorne rechts +X, -Y, +Z
unten hinten rechts +X, +Y, -Z
unten hinten links –X, +Y, -Z
unten vorne links -X, -Y, -Z
unten vorne rechts +X, -Y, -Z



Hier ein Beispiel im dreidimensionalen Koordinatensystem, wie es beim Fräsen üblich ist. Für eine bessere Übersichtlichkeit sind hier nur die Koordinaten im Plus-Bereich dargestellt.

Der gesuchte Punkt im Raum befindet sich auf X=6, Y=5 und Z=8.

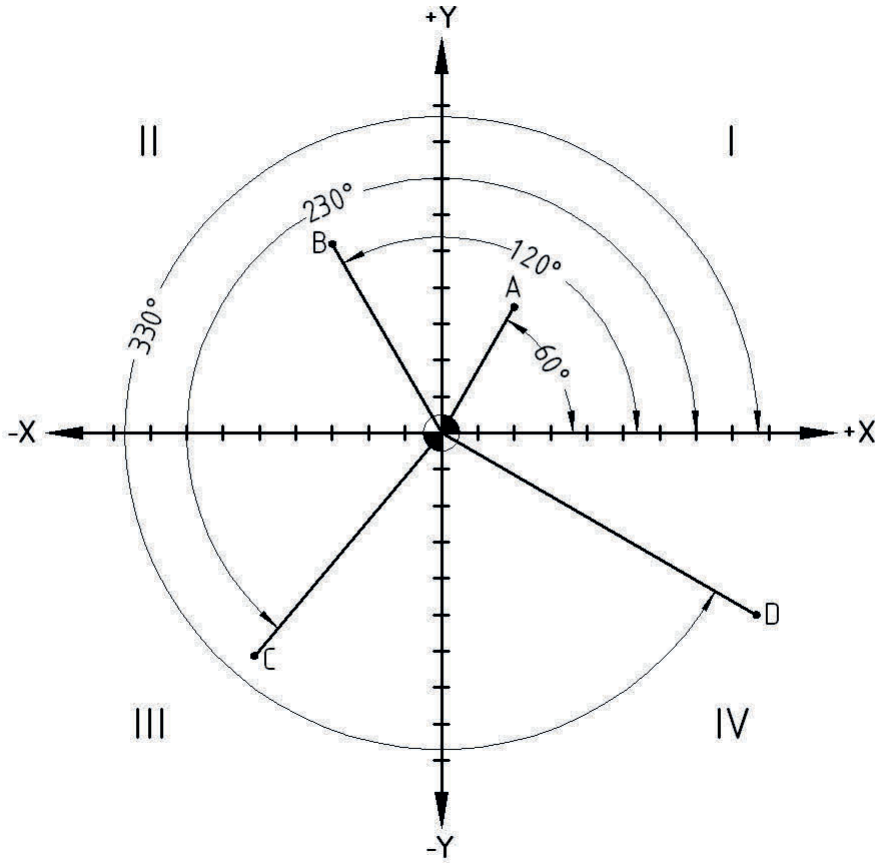
4.02 Polarkoordinatensystem

Polarkoordinaten in der Ebene

Einige CNC-Steuerungen erlauben zusätzlich das Programmieren mit Polarkoordinaten. Die Koordinaten werden durch eine Länge und einen dazugehörigen Winkel vom Nullpunkt = Drehpunkt aus bestimmt. Dies ist z. B. beim Bohren von Lochkreisen vorteilhaft.

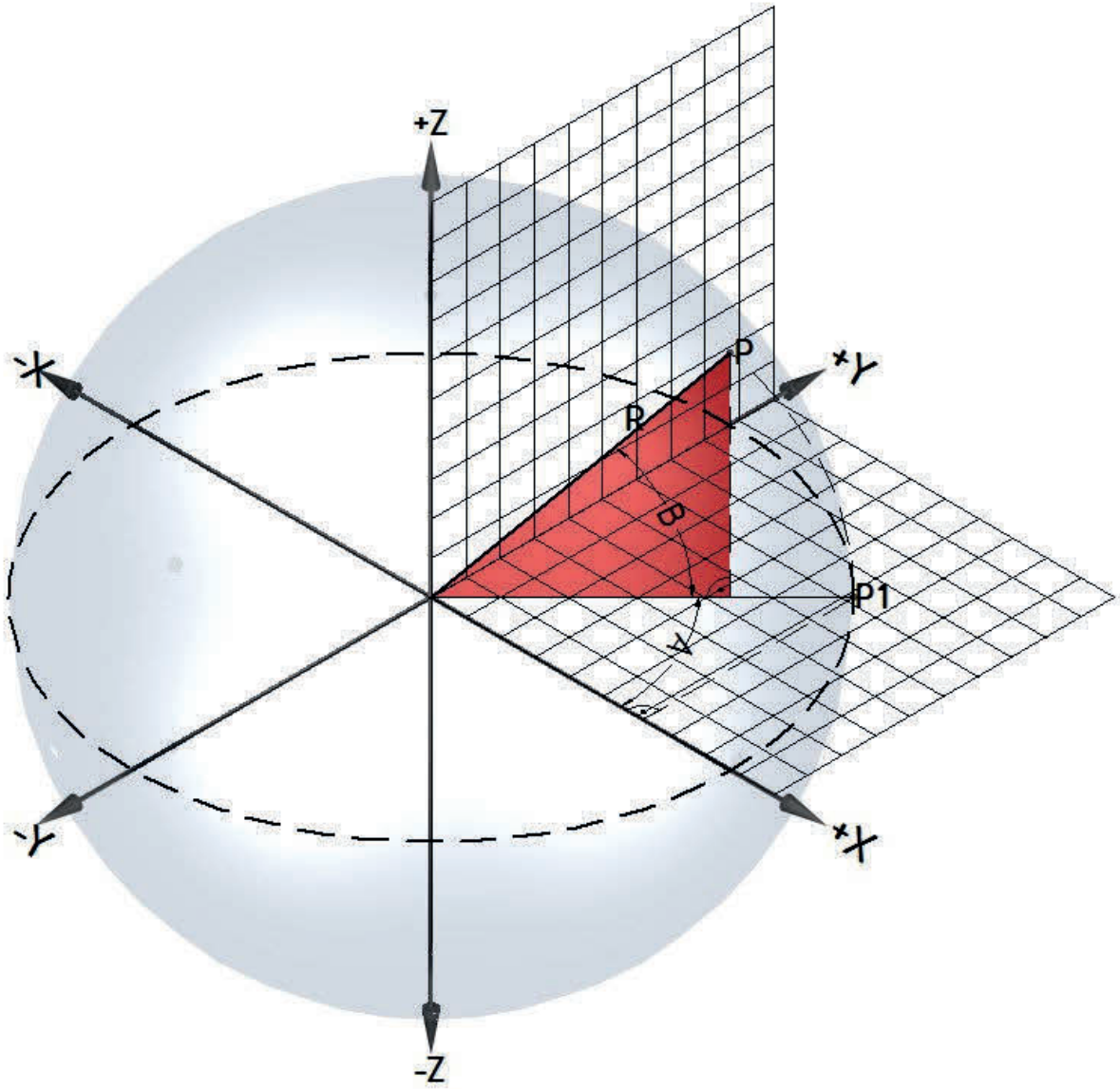
Die positiven Winkel beginnen immer von der 3 Uhr-Stellung aus im Gegenuhrzeigersinn, die 3 Uhr-Stellung ist somit 0 Grad. In der Gegenrichtung (Uhrzeigersinn) sind die Winkel negativ. Die selben Regeln gelten auch beim Programmieren mit Winkeln, z. B. bei Lochkreiszyklen oder Konturzugprogrammierung.

Hier kommen auch wieder die vorgenannten Quadranten zur Sprache. Im ersten Quadrant ist der Bereich von 0 bis 90 Grad, im zweiten 90 bis 180 Grad, im dritten 180 bis 270 Grad und im vierten 270 bis 360 oder 0 Grad.



Polarkoordinaten in der Ebene:
der Punkt A befindet sich auf der Länge L und dem Winkel α (L40 und α60).
Punkt B auf L60 und α120
Punkt C auf L80 und α230
Punkt D auf L100 und α330

Polarkoordinaten im Raum



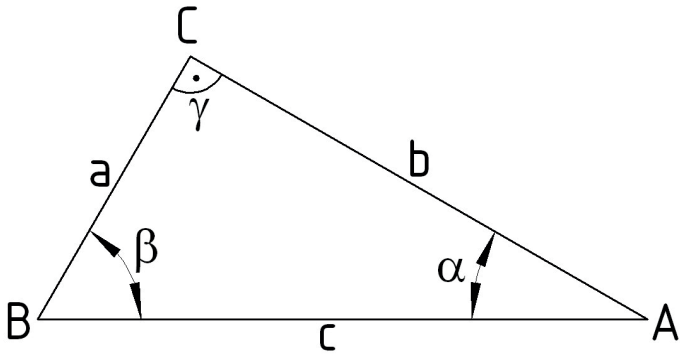
Polarkoordinaten im Raum: Hier ist der Radius (R) einer Kugel gegeben, welcher um zwei Winkel gedreht wird, um den Punkt P auf der Kugeloberfläche zu definieren. Eine Drehung erfolgt mit dem Winkel A (Längengrad) auf der X- Y-Ebene am „Äquator“ zu Punkt P1. Die andere Drehung (Breitengrad) erfolgt mit dem Winkel B nach oben oder unten (Z-Richtung) zu Punkt P.

Räumliche Polarkoordinaten werden bei Werkzeugmaschinen nicht benutzt, können aber bei Robotern zum Einsatz kommen und sind eine unverzichtbare Anwendung in der See- und Luftfahrt. Hier wird der Äquator (40.000 km) durch 360 Grad geteilt und 1 Grad durch 60 geteilt. Die erhaltene Bogenminute ist dann eine Seemeile (1852m).

STEPHAN PAUSCH – DAS DICKE CNC-BUCH

Kapitel 5 – Mathematik

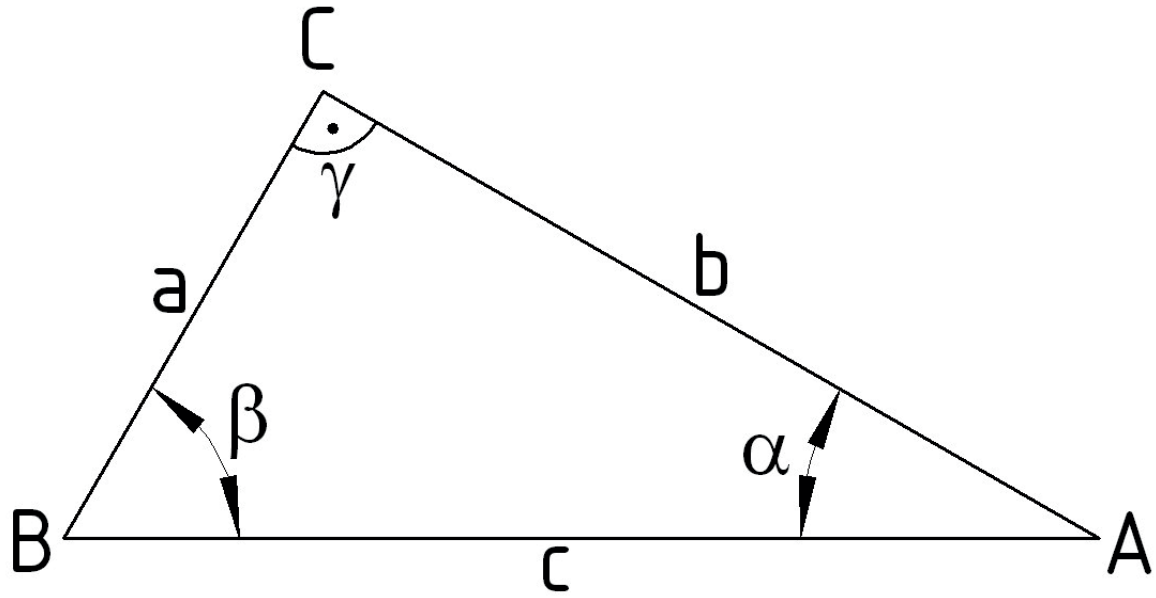
5.01 Dreiecke
5.02 Tangenten
5.03 Bohren Senken
5.04 Meter Zoll
5.05 Taschenrechner



5.01 Dreiecksberechnung

Zur Berechnung von Positionen bieten sich rechtwinklige Dreiecke als wichtigstes Hilfsmittel an. Hiermit können unter Berücksichtigung einiger Grundlagen eigentlich alle gesuchten Punkte ausgerechnet werden.

Nachfolgend ein rechtwinkliges Dreieck mit seinen Bezeichnungen.



Am Dreieck werden die Ecken mit lateinischen Großbuchstaben A, B, C bezeichnet, die zugehörigen Winkel mit den griechischen Kleinbuchstaben α, β, γ (Alpha, Beta, Gamma) und die gegenüberliegenden Seiten mit den lateinischen Kleinbuchstaben a, b, c.
Ein rechter Winkel wird mit einem Bogen mit Punkt dargestellt (hier: Gamma).

Die Winkelsumme innerhalb eines Dreiecks beträgt immer 180º
Beispiel: γ=90º (rechter Winkel) und α=30º, dann ist β=60º.

Beim rechtwinkligen Dreieck wird die dem rechten Winkel gegenüberliegende Seite Hypotenuse genannt (hier: c), die beiden kürzeren Seiten Katheten (a, b).

Die am Winkel **an**liegende Kathete ist die **An**kathete,
die dem Winkel **gegen**überliegende ist die **Gegen**kathete.
Beispiel: Für den Winkel α ist b die Ankathete und a die Gegenkathete

Satz des Pythagoras

Im rechtwinkligen Dreieck ist die Summe der Quadrate über den Katheten gleich dem Quadrat über der Hypotenuse

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

Umrechnungen

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

Winkelfunktionen

Winkelfunktionen, auch trigonometrische Funktionen genannt, bezeichnen die rechnerischen Zusammenhänge zwischen Winkel und Seitenverhältnissen in rechtwinkligen Dreiecken.

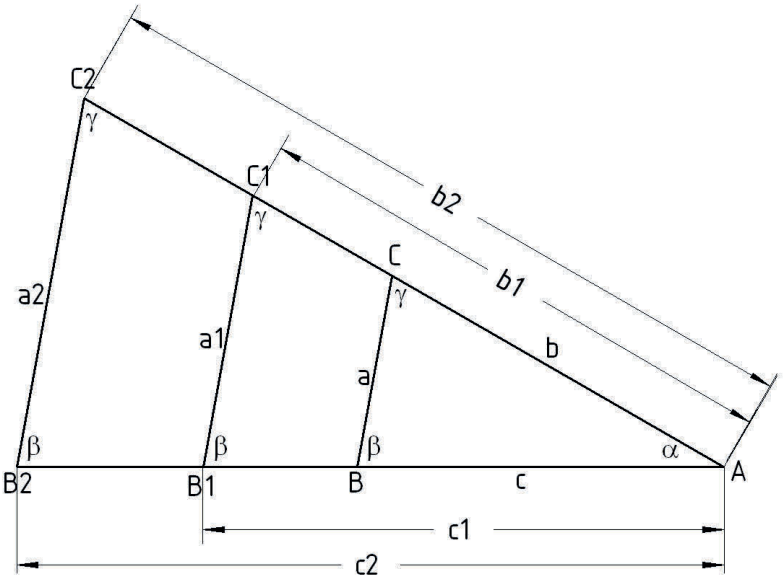
$SINUS = \frac{Gegenkathete}{Hypotenuse}$	$COSINUS = \frac{Ankathete}{Hypotenuse}$
$TANGENS = \frac{Gegenkathete}{Ankathete}$	$COTANGENS = \frac{Ankathete}{Gegenkathete}$

Umrechnung der Winkelfunktionen

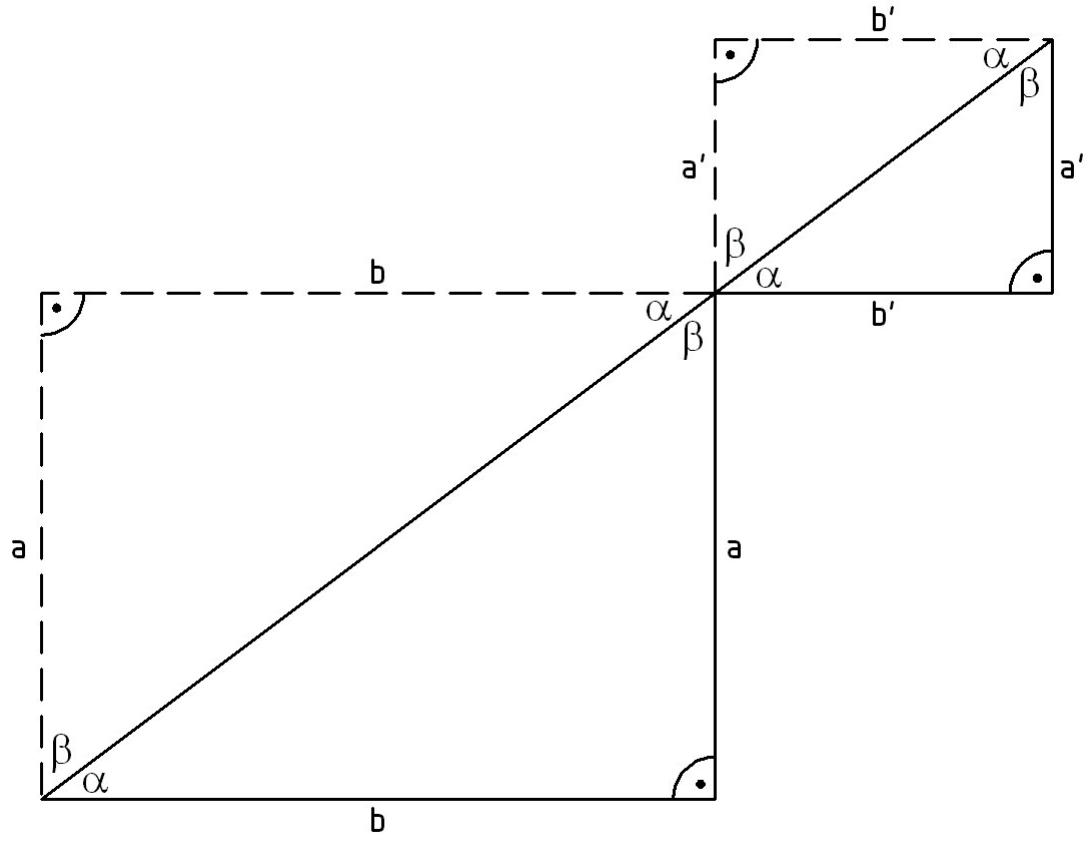
$\sin\alpha = \frac{a}{c}$	$a = \sin\alpha * c$	$c = \frac{a}{\sin\alpha}$	$\sin\beta = \frac{b}{c}$	$b = \sin\beta * c$	$c = \frac{b}{\sin\beta}$
$\cos\alpha = \frac{b}{c}$	$b = \cos\alpha * c$	$c = \frac{b}{\cos\alpha}$	$\cos\beta = \frac{a}{c}$	$a = \cos\beta * c$	$c = \frac{a}{\cos\beta}$
$\tan\alpha = \frac{a}{b}$	$a = \tan\alpha * b$	$b = \frac{a}{\tan\alpha}$	$\tan\beta = \frac{b}{a}$	$b = \tan\beta * a$	$a = \frac{b}{\tan\beta}$
$\cot\alpha = \frac{b}{a}$	$b = \cot\alpha * a$	$a = \frac{b}{\cot\alpha}$	$\cot\beta = \frac{a}{b}$	$a = \cot\beta * b$	$b = \frac{a}{\cot\beta}$

Kongruenz

Verschieden große Dreiecke mit gleichen Winkeln sind kongruent. Das bedeutet, dass die Seitenlängen im selben Verhältnis zueinander stehen.



$\frac{a}{b}=\frac{a1}{b1}$ $\frac{a}{b}=\frac{a2}{b2}$ $\frac{a1}{b1}=\frac{a2}{b2}$ $\frac{a}{c}=\frac{a1}{c1}$ $\frac{a}{c}=\frac{a2}{c2}$ $\frac{a1}{c1}=\frac{a2}{c2}$



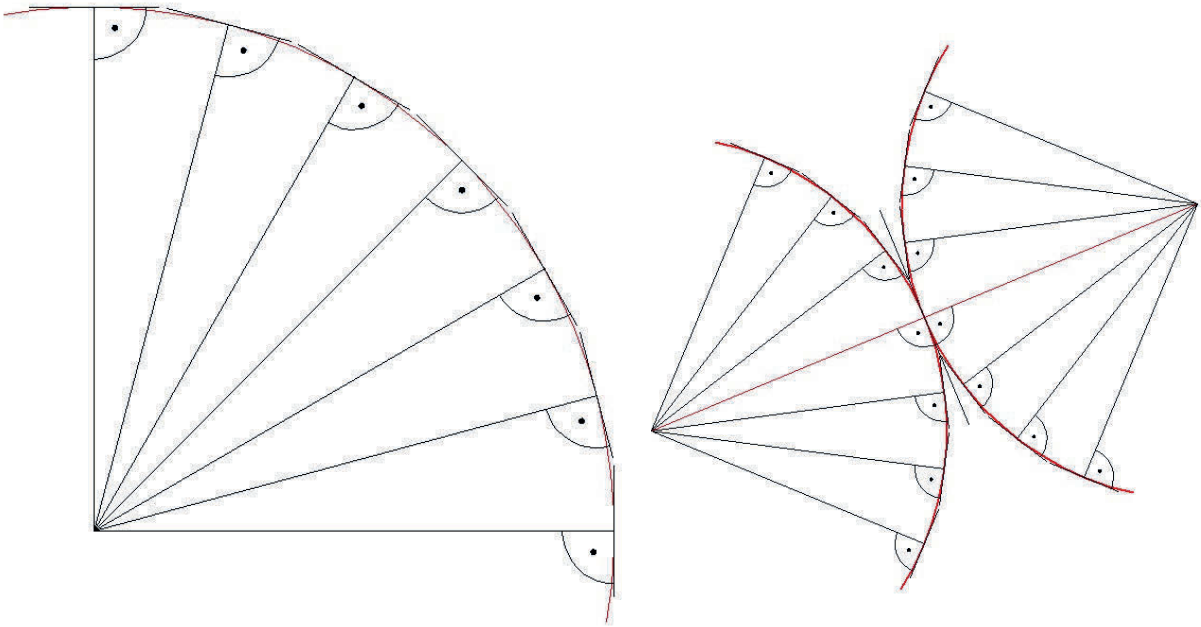
5.02 Tangentiale Übergänge

Zuerst ein Fall aus der Praxis:

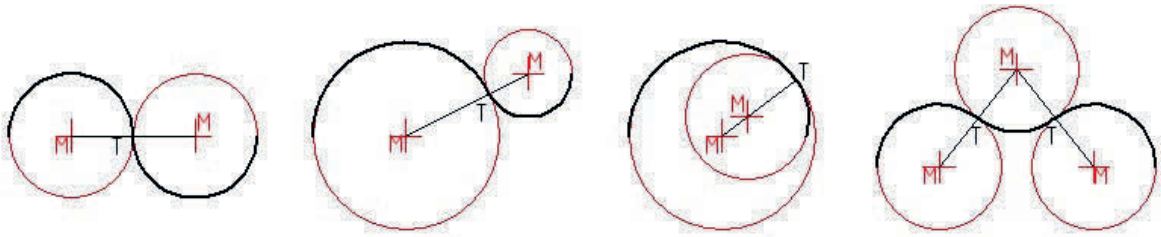
Ein ehemaliger Kollege fertigte das hier abgebildete Set für verschiedene Kegelvereine an. Um die Startreihenfolge vor einem Spiel zu ermitteln, ziehen die Mitglieder je einen der 12 nummerierten Kegel heraus.
Die Kegel wurden aus Messing gedreht, graviert, poliert und verchromt.
Wie man sehen kann, haben die Kegel oben eine Kugelform, diese geht in einen Innenradius (Hals) über, der in einen Außenradius übergeht, dann kommt der zylindrische Teil (Bauch) und unten geht wieder ein Außenradius bis zur Standfläche.
Mein Kollege fertigte zuerst einmal einen Prototyp des ganzen Sets. Nach dem Drehen sahen die Messingkegel noch perfekt aus. Aber beim Polieren wurden die Übergänge des Innenradius in die Außenradien deutlich sichtbar und durch das anschließende Verchromen verstärkte sich dieser Effekt noch.
Was war passiert?
Die Positionen der Außenradien und deren Übergänge in den zylindrischen Teil waren leicht auszurechnen, jedoch der Innenradius für den Hals musste an die anderen Radien angelegt werden. Wir hatten damals noch kein CAD-Programm, mit dem man einfach einen Kreis tangential an andere Objekte anlegen kann und so hat dies mein Kollege durch Annäherung ausprobiert und kam immerhin bis auf 0,03 mm heran. Beim gedrehten Werkstück mit den Bearbeitungsriefen noch nicht sichtbar, aber beim polierten und verchromten Kegel sah die winzige Abweichung wirklich hässlich aus, weil die Übergänge nicht genau tangential verliefen. Auf die Bitte meines Kollegen rechnete ich ihm die Positionen mit dem Taschenrechner auf 0,001 mm genau aus und das Problem war behoben.

Was ist eine Tangente oder tangential?

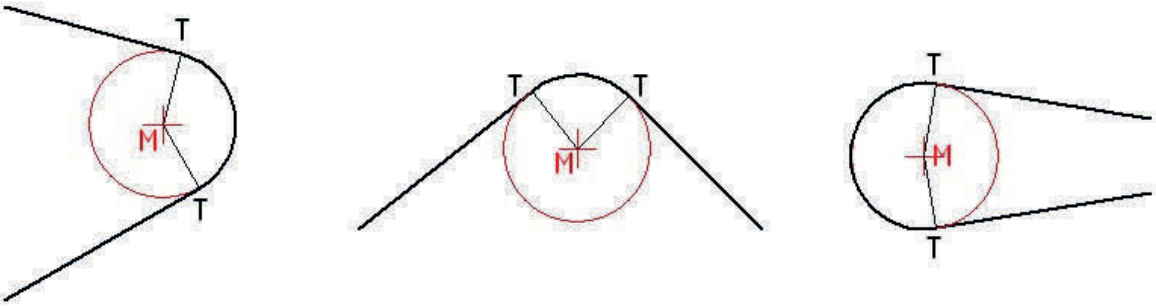
Eine Tangente ist eine Gerade, die einen Kreis in einem Punkt berührt und nicht schneidet. Oder zwei Kreise berühren sich in einem Punkt, sie tangieren sich.
Ein tangentialer Übergang kann von einer Gerade zu einem Kreis führen oder von einem Kreis in einen anderen übergehen.
Wenn in technischen Zeichnungen ein Radius ohne weitere Angabe zu Position oder Schnittpunkt angegeben ist, dann müssen die Übergänge tangential ausgeführt werden.
Folglich wird man bei der CNC-Programmierung häufig mit tangentialen Übergängen konfrontiert und wie aus vorstehendem Beispiel ersichtlich, muss hier sehr exakt vorgegangen werden.



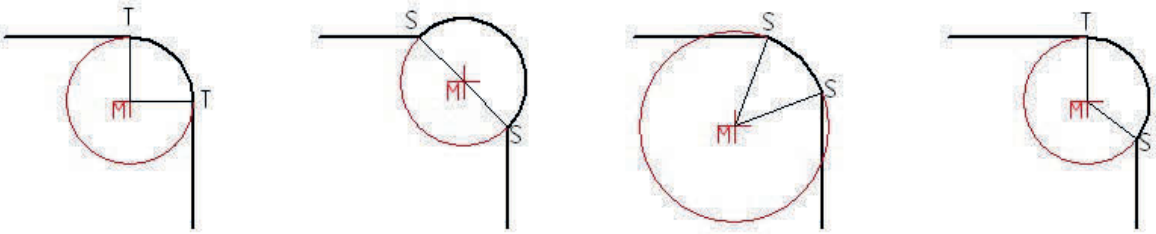
Zum besseren Verständnis sollte man sich einen Kreisbogen so vorstellen, dass er aus lauter unendlich kleinen Geraden zusammengesetzt ist, die jeweils senkrecht zum Mittelpunkt stehen (linkes Bild).
Auf dem rechten Bild tangieren sich zwei Kreisbögen. Was hierbei auffällt ist, dass der Berührungspunkt (Tangentenpunkt) und die Mittelpunkte der beiden Kreisbögen gemeinsam auf einer Gerade liegen.



Tangentiale Übergänge Kreisbogen – Kreisbogen
Die Mittelpunkte M und der Berührungspunkt T liegen immer auf einer Geraden



Tangentiale Übergänge Gerade - Kreisbogen

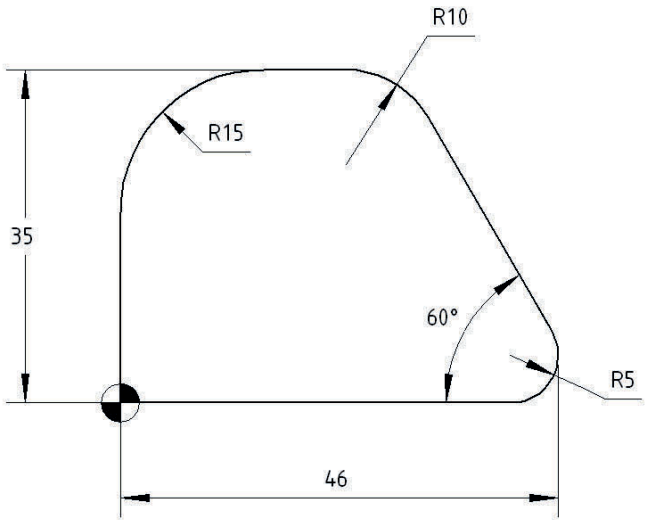


Tangentiale Übergänge Gerade – Kreisbogen bei den Tangentenpunkten T
Nichttangentiale Übergänge sind bei den Schnittpunkten S

Wieder zur Praxis zurück:

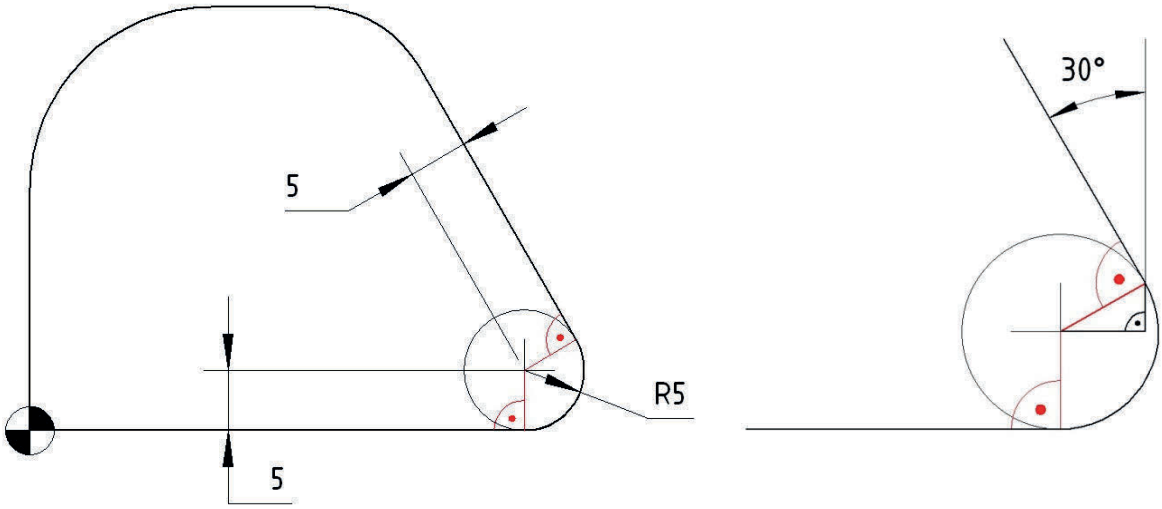
Gegeben sei eine Kontur, die im Gegenuhrzeigersinn vom Nullpunkt aus gefräst werden soll. Siehe dazu nächstes Bild.
Reihenfolge: waagrechte Gerade unten, Radius 5, Gerade 60º, Radius 10, waagrechte Gerade oben, Radius 15,senkrechte Gerade links wieder zum Nullpunkt.
In diesem Beispiel programmieren wir nur die Kontur und beachten hierbei keine Anfahrts- und Abfahrtswege, keine Zustellung in Z oder technologische Werte.

Die geometrischen Berechnungen sind mit einem CAD-Programm natürlich viel leichter zu bewerkstelligen. Dabei bitte darauf achten, dass Bögen und Geraden wirklich mit der Tangentenfunktion angelegt werden und nicht mit der Zoom-Funktion lediglich angenähert werden, das wird nie 100 %-ig genau. Bei den Berechnungen immer die höchstmögliche Auflösung der Maschinensteuerung, im allgemeinen 0,001mm, berücksichtigen. Mathematisch korrekt auf die 3. Stelle nach dem Komma runden.
„Warum soll ich mir diese Mühe antun, wenn sogar mein billiges CAD-Programm oder die Konturzug-Funktion an meiner Maschine die Berechnungen schneller macht?“, werden Sie sich fragen. „Ich bin doch nicht blöd!“
O.K., mit den heutigen Hilfsmitteln geht das tatsächlich viel schneller und sicherer.
Aber probieren Sie doch aus, ob Sie es noch können, es ist ein gutes Training.
Und wer z.B. die Zusammenhänge auf einem Blatt Papier seinen Kollegen erklären kann, erntet gewiss deren Anerkennung, was die erste Stufe zum Aufstieg ist.



N0005 G1 X0 Y0
Weil der tangentiale Übergang senkrecht zum Kreismittelpunkt erfolgt, ist der gesuchte Punkt X bei 46 – 5 = 41 und ist gleichzeitig der Anfangspunkt des Kreisbogens.
N0010 X41

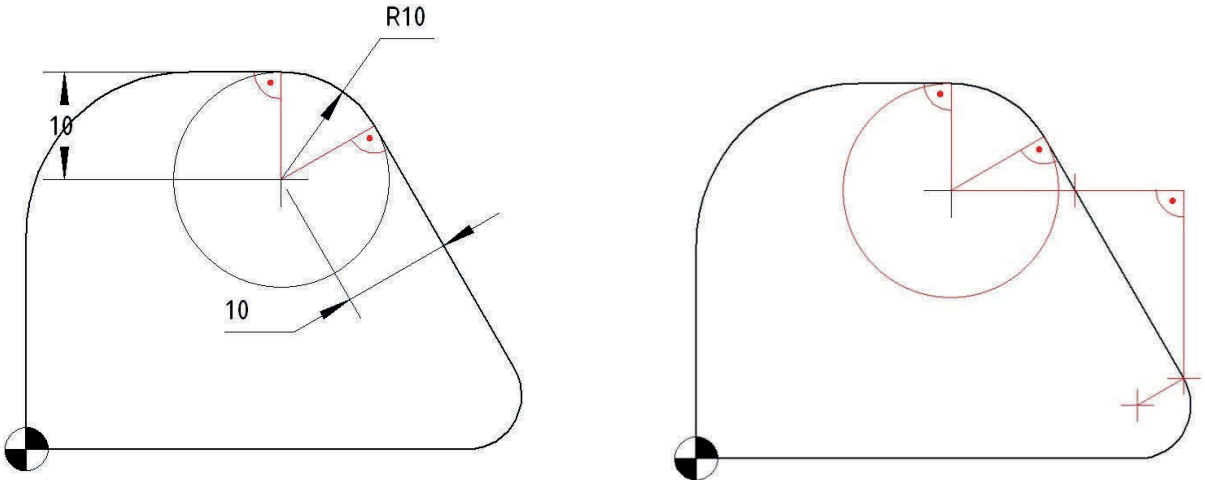
Jetzt kommt die erste Berechnung: Wir müssen den Übergangspunkt vom Radius 5 in die Gerade 60º finden, also den Endpunkt des Kreisbogens.



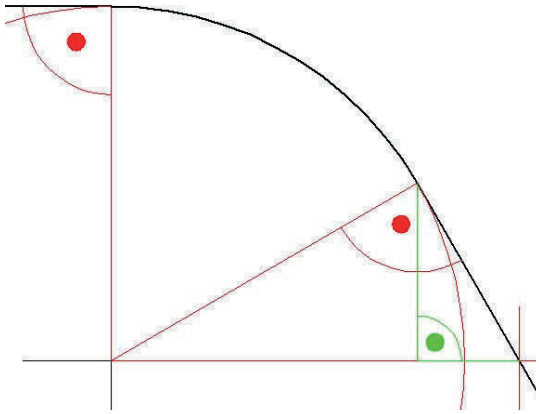
Wie wir wissen, sitzt der Endpunkt senkrecht zum Kreismittelpunkt und zwar mit dem Abstand 5 (Radius 5). Da wir hier aber mit kartesischen Koordinaten programmieren, müssen wir die X- und Y-Werte aus dem Radius 5 errechnen. Wenn man zwischen Mittelpunkt und Endpunkt ein rechtwinkliges Dreieck richtig hineinlegt, sieht man schon, was unvermeidlich folgen muss, denn jetzt kommen unsere vielgeliebten Winkelfunktionen zum Einsatz.
Die Hypotenuse (der rot eingezeichnete Radius) ist 5mm lang.
Rechts oben im Dreieck haben wir die 60º und folglich links 30º.
Wer es vergessen hat: die Winkelsumme im Dreieck ist immer 180º.
Es ist egal, ob hier mit dem Winkel 60º oder 30º gerechnet wird, nur muss die Ankathete und die Gegenkathete jeweils richtig zugeordnet werden.
Wenn wir hier mit dem Winkel 30º arbeiten, dann ist der X-Versatz die Ankathete und der Y-Versatz die Gegenkathete.
Somit: Ankathete = cos30º * Hypotenuse ==> X = 0,866 * 5 = 4,330
Gegenkathete = sin30º * Hypotenuse ==> Y = 0,5 * 5 = 2,5

Der Mittelpunkt, von dem aus wir gerechnet haben liegt bei X 41 und Y 5, das muss natürlich noch dazugerechnet werden.
Somit liegt der Endpunkt des Radius 5 auf X 45,33 und auf Y 7,5
N0015 G3 X45,33 Y7,5 I0 J5

Als nächstes benötigen wir den Endpunkt der Geraden 60º oben, der gleichzeitig der Anfangspunkt vom Radius 10 ist. Jetzt wird es noch mal schwieriger, denn der Konstrukteur hat die X-Position für den Radius 10 nicht eingezeichnet, er hätte es aus Gefälligkeit tun können, aber er muss es nicht.

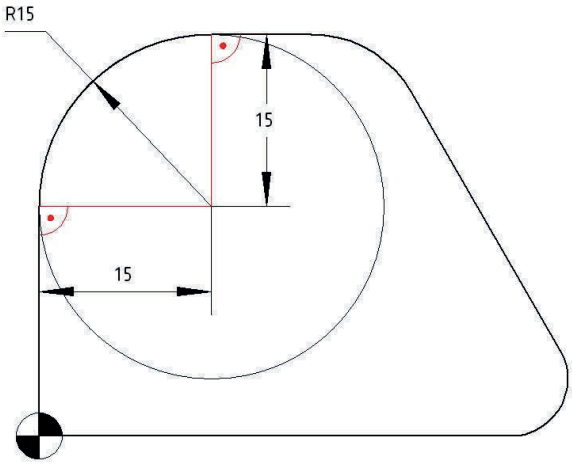


Was uns bisher bekannt ist, dass der Mittelpunkt des Radius 10 auf Y 25 liegt, der X-Wert ist jedoch zu ermitteln. Wir kennen auch den Anfangspunkt der Geraden, den wir gerade berechnet haben und kennen den Winkel der Geraden.
Jetzt heißt es wieder krampfhaft nach rechtwinkligen Dreiecken zu suchen, die uns weiterhelfen können.
Mit einem Dreieck (rechts) kann man immerhin einen Zwischenpunkt finden, der sich auf der gleichen Y-Höhe befindet, wie der Mittelpunkt des Radius 10.
Von dort aus kann der Mittelpunkt in X errechnet werden.
Und schlussendlich vom Mittelpunkt aus der Endpunkt der Geraden.
Vom ersten Dreieck sind eine Kathete (Y) und der Winkel bekannt. Gesucht ist die andere Kathete (X).
Die Ankathete (Y) = 35 – 10 – 7,5 = 17,5, der Winkel dazu = 30º
Somit: Gegenkathete = tan30º * Ankathete ==> X = 0,577 * 17,5 = 10,104
Der X-Hilfspunkt liegt also auf 45,33 – 10,104 = 35,226
Mit dem zweiten Dreieck können wir den Mittelpunkt bestimmen.
Wir kennen den Radius 10 und nehmen ihn als Ankathete, somit ist der Winkel 30º.
Wir suchen die Hypotenuse (Abstand vom Mittelpunkt zum Hilfspunkt in X)
Somit: Hypotenuse = Ankathete / cos30º ==> X-Versatz = 10 / 0,866 = 11,547
Der X- Mittelpunkt liegt auf 35,226 – 11,547 = 23,679
und der Y-Mittelpunkt liegt auf 25
Was uns immer noch fehlt, ist der Endpunkt der Geraden.
Dazu benötigen wir nochmals ein Dreieck (das kleine grüne innerhalb des 2. Dreiecks). Siehe nächstes Bild.



Wir kennen von vorher die Ankathete (R 10) des roten Dreiecks, benutzen sie jetzt als Hypotenuse um die längere Kathete (Y) des grünen Dreiecks auszurechnen.
Also: Gegenkathete = sin30º * Hypotenuse ==> Y = 0,5 * 10 = 5
Jetzt zur kürzeren Kathete (X) des grünen Dreiecks, wir nehmen die längere als Ankathete, somit ist der Winkel wieder 30º.
Folglich: Gegenkathete = tan30º * Ankathete ==> X = 0,577 * 5 = 2,887
Der X-Übergangspunkt liegt somit auf 35,226 – 2,887 = 32,339
Der Y-Übergangspunkt liegt auf 25 + 5 = 30
N0020 G1 X32,339 Y30
N0025 G3 X23,679 Y35 I-8,66 J-5

Da die Übergänge zum Radius 15 rechtwinklig zum Koordinatensystem liegen, ist der Rest wieder leicht zu programmieren.

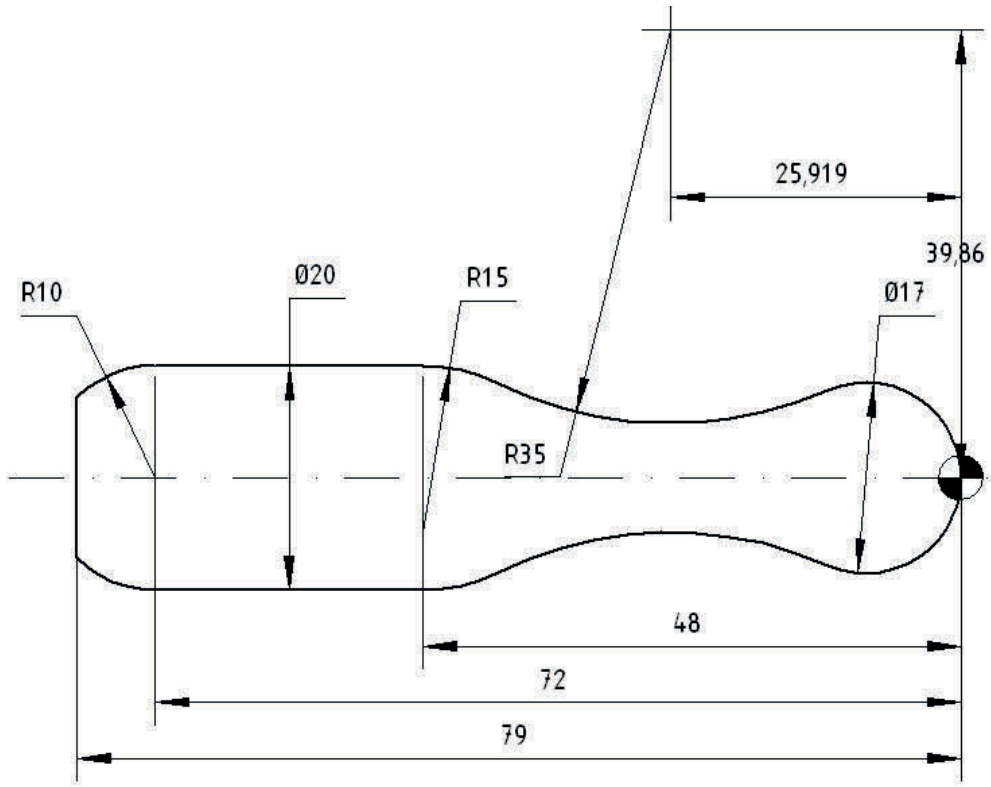


N0030 G1 X15
N0035 G3 X0 Y20 I0 J-15
N0040 G1 Y0

Die fertige Kontur:
N0005 G1 X0 Y0
N0010 X41
N0015 G3 X45,33 Y7,5 I0 J5
N0020 G1 X32,339 Y30
N0025 G3 X23,679 Y35 I-8,66 J-5
N0030 G1 X15
N0035 G3 X0 Y20 I0 J-15
N0040 G1 Y0

Ein zweites Beispiel :

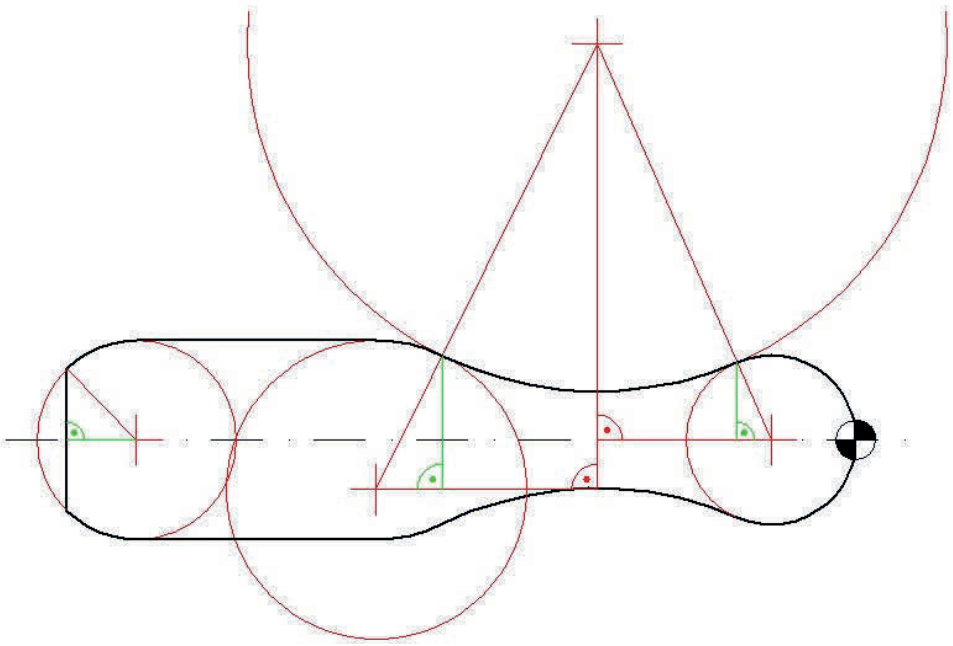
Um nicht aus der Übung zu kommen, haben wir einen Kreis, der tangential an zwei weitere angelegt ist. Der Konstrukteur hat den Mittelpunkt des Radius 35 in die Zeichnung eingetragen, entweder aus Mitleid mit uns, oder weil er uns nicht zutraut, dass wir den Punkt mit Hilfe der Analytischen Geometrie (Schnittpunkt zweier Geraden) ebenfalls herausfinden können.
Auf jeden Fall erspart er uns viel Zeit, aber er lässt uns dennoch genug zum Rechnen übrig, damit das Gehirn fit bleibt.



Für diesen kleinen Kegel soll die Fertigkontur vom Nullpunkt bis zum Ende des Radius 10 gedreht werden.
Hier programmieren wir ebenfalls nur die Kontur ohne Anfahrts- und Abfahrtswege oder technologische Werte.

Dieses eigentlich harmlos aussehende Werkstück hat es aber ganz schön in sich, wenn kein CAD oder eine Hilfe zur Konturzugprogrammierung vorhanden ist.
Solche Berechnungen sollten aus Kostengründen möglichst nicht in der Werkstatt gemacht werden. Aber wer es trotzdem kann, ist seinen Kollegen immer eine Nasenlänge voraus.

Zuerst erstellen wir uns eine Skizze als Hilfestellung (siehe nächstes Bild), damit wir die Übersicht behalten. Dort zeichnen wir die Kreise und mögliche hilfreiche Dreiecke hinein.



Da wir den Mittelpunkt vorgegeben haben, sind die beiden roten rechtwinkligen Dreiecke schon definiert. Wir benötigen nur die Katheten der beiden grünen kleinen Dreiecke (rechts und Mitte), um die Tangentenpunkte zu finden.
Wir könnten jetzt mit Hilfe der Winkelfunktionen die Winkel der roten Dreiecke berechnen und mit den dann bekannten Winkeln die Katheten der grünen Dreiecke ermitteln, wie im vorigen Beispiel bei der Fräskontur.

Nicht um Sie zu ärgern, sondern der geistigen Fitness wegen, lösen wir dieses Problem diesmal mit Hilfe der Verhältnisrechnung.
Was ist denn das schon wieder?
Bei den rechtwinkligen Dreiecken ändern sich die Größen der Hypotenuse und der Katheten im selben Verhältnis, sofern die Winkel nicht verändert werden.
Übrigens: die Winkelfunktionen sind auch nichts anderes als Verhältnisse der Katheten und der Hypotenuse untereinander, abhängig vom Winkel.
Die Verhältnisse der Hypotenusen (Radien) sind hier 8,5 zu 43,5 = 0,1954 und 15 zu 50 = 0,3. Folglich müssen die Katheten im selben Verhältnis zueinander stehen.

Zum Übergang von R 8,5 nach R 35
Die kurze Kathete (Z) des roten Dreiecks vom Mittelpunkt des Radius 8,5 zum Mittelpunkt des Radius 35 ist 25,919 – 8,5 = 17,419mm lang. Multipliziert mit dem Faktor 0,1954 ergibt das eine Länge von 3,404mm für die kurze Kathete vom Mittelpunkt des Radius 8,5 zum Tangentenpunkt (grünes Dreieck). Dies ergibt einen Z-Wert von –11,904.
Die lange Kathete (X) des roten Dreiecks vom Mittelpunkt des Radius 8,5 zum Mittelpunkt des Radius 35 ist 39,86mm lang. Multipliziert mit dem Faktor 0,1954 ergibt das eine Länge von 7,789mm für die lange Kathete vom Mittelpunkt des Radius 8,5 zum Tangentenpunkt (grünes Dreieck). Wir benötigen dazu den doppelten X-Wert, also 15,578, weil beim Drehen durchmesserbezogen programmiert wird.
N0005 G1 X0 Z0
N0010 G3 X15,578 Z-11,904 I0 K-8,5

Nun zum Übergang von R 35 nach R15
Die kurze Kathete (Z) des roten Dreiecks vom Mittelpunkt des Radius 35 zum Mittelpunkt des Radius 15 ist 48 – 25,919 = 22,081mm lang. Multipliziert mit dem Faktor 0,3 ergibt das eine Länge von 6,623mm für die kurze Kathete vom Mittelpunkt des Radius 15 zum Tangentenpunkt (grünes Dreieck). Dies ergibt einen Z-Wert von
-41,377.
Die lange Kathete (X) des roten Dreiecks vom Mittelpunkt des Radius 35 zum Mittelpunkt des Radius 15 ist 44,86mm lang. Multipliziert mit dem Faktor 0,3 ergibt das eine Länge von 13,458mm für die lange Kathete vom Mittelpunkt des Radius 15 zum Tangentenpunkt (grünes Dreieck). Abzüglich des Mittelpunktversatzes von 5mm ergibt dies 8,458 und somit einen X-Wert von 16,916, weil beim Drehen durchmesserbezogen programmiert wird.
N0015 G2 X16,916 Z-41,377 I32,071 K-14,015

Der nächste Bogen ist wieder leichter zu erreichen
N0020 G3 X20 Z-48 I-13,458 K-6,623
N0025 G1 Z-72

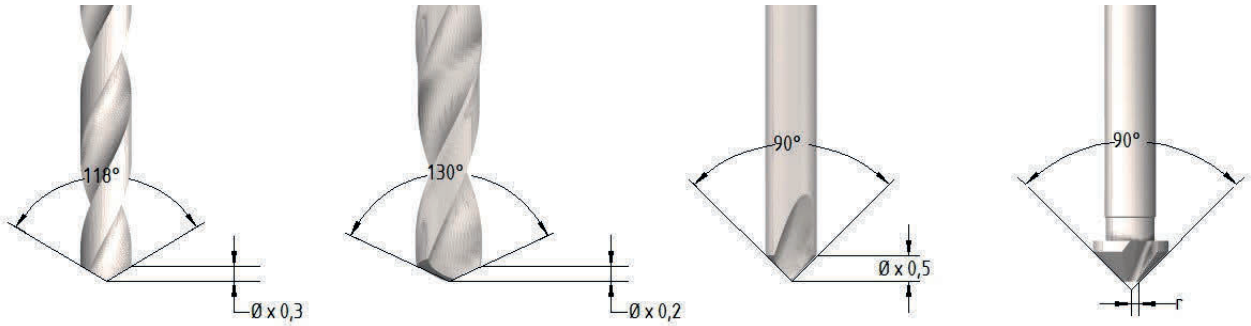
Der Endpunkt des letzten Bogens zur Standfläche macht uns wieder Probleme.
Wir haben keinen Winkel, aber den Radius und den Mittelpunkt.
Hier müssen wir den Satz des guten, alten Pythagoras anwenden, der damals sicherlich nicht beabsichtigte, dass sich Generationen von Schülern mit seiner genialen Entdeckung herumquälen und Heerscharen von Lehrern in den vorzeitigen Ruhestand entsorgt werden müssen.
Hier steht ganz unscheinbar: $a^2 + b^2 = c^2$, ein kleiner Satz für einen Mathematiker, ein großer Satz für die Menschheit.
Zur Erinnerung: c ist die lange Seite des rechtwinkligen Dreiecks (Hypotenuse),
a und b sind die kurzen Seiten, die den rechten Winkel bilden.
Wir haben die Seite c (Radius 10) und die Seite a (79 – 72 = 7) und suchen somit die Seite b (Endpunkt X).
Wir stellen um: $b^2 = c^2 - a^2 \Rightarrow b = \sqrt{c^2 - a^2}$
$X = \sqrt{10^2 - 7^2} \Rightarrow \sqrt{51} = 7{,}141$
Der einzugebende Wert ist wieder das Doppelte, also ist X = 14,282
N0030 G3 X14,282 Z-79 I-10 K0

Die fertige Kontur:
N0005 G1 X0 Z0
N0010 G3 X15,578 Z-11,904 I0 K-8,5
N0015 G2 X16,916 Z-41,377 I32,071 K-14,015
N0020 G3 X20 Z-48 I-13,458 K-6,623
N0025 G1 Z-72
N0030 G3 X14,282 Z-79 I-10 K0

Geschafft!

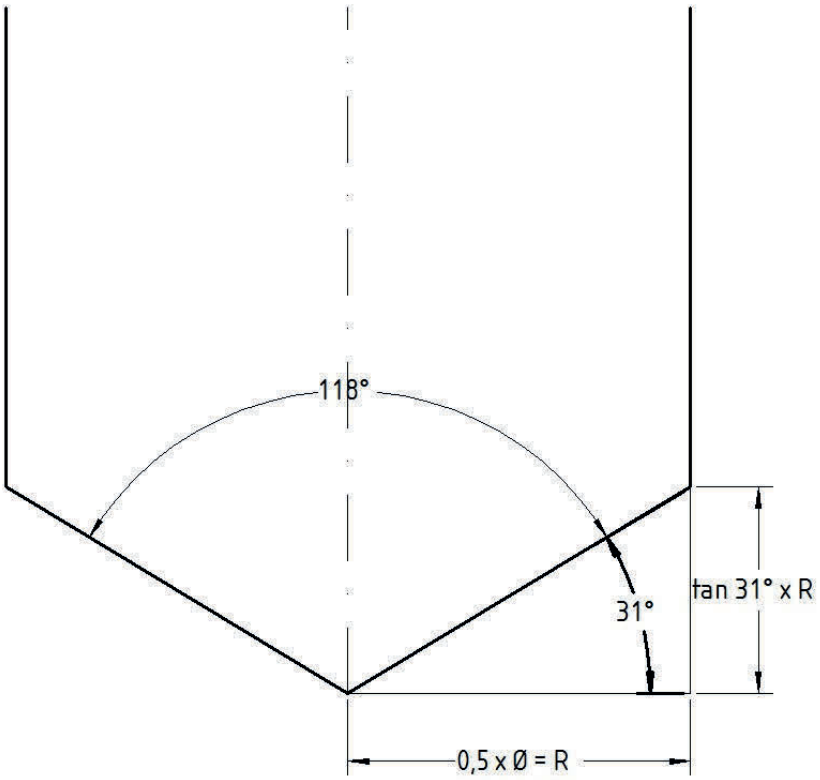
5.03 Bohren, Senken, Fräsen

Bei Bohrern und Senkern muss bei der Programmierung die Werkzeugspitze berücksichtigt werden. Das Werkzeug wird ja immer von der Spitze aus programmiert, jedoch wird in der Werkstückzeichnung nur die nutzbare Bohrtiefe oder der Durchmesser einer Senkung angegeben.
Das Werkzeug wird stets von der Spitze (= die größte Länge) ausgemessen. Dadurch werden Fehler bei den Sicherheitsabständen vermieden. Bei einem normalen Spiralbohrer mit Durchmesser 10mm ist die Spitze immerhin 3mm hoch.



Die häufigsten Bohr- und Senkwerkzeuge mit ihrem Verhältnis von Durchmesser zur Werkzeugspitze, abhängig vom Spitzenwinkel. Spiralbohrer mit 118°, Spiralbohrer mit 130°, NC-Anbohrer mit 90° und Kegelsenker mit 90°.

Spiralbohrer 118 Grad



Wert für die Bohrerspitze bei Spiralbohrer mit 118 Grad

Bei 118 Grad ergibt sich ein Dreieck mit 31 Grad und dem Werkzeugradius als Ankathete. Die Höhe der Bohrerspitze ist die Gegenkathete.

Tangens = Gegenkathete /Ankathete → Gegenkathete = tan 31° * Ankathete

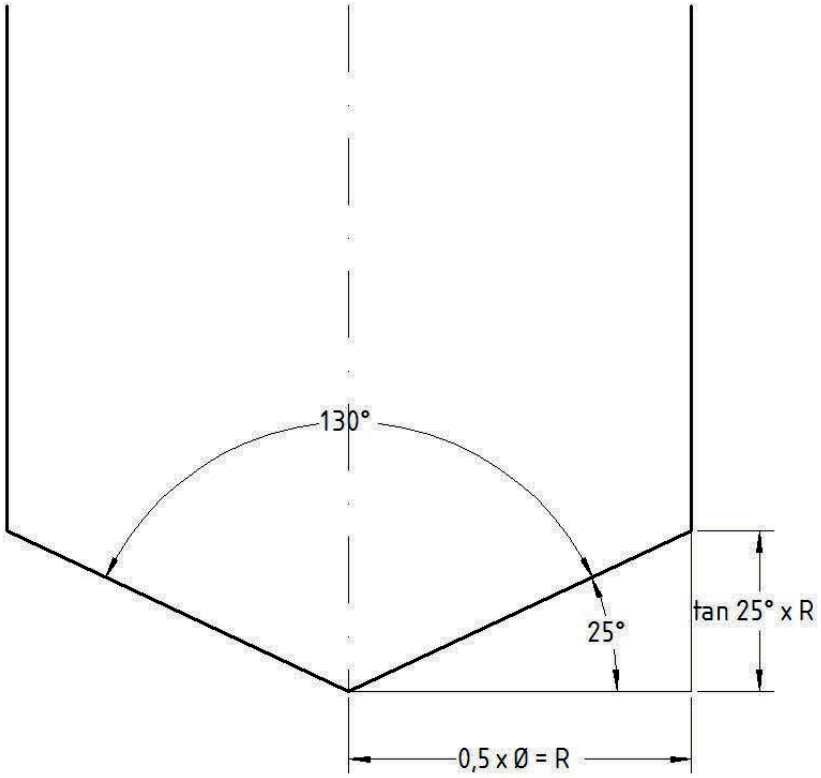
Bei Durchmesser 1 ergibt sich: tan 31° * 0,5 = 0,6009 * 0,5 = 0,3004

Gerundet sind das 0,3 * Durchmesser, reicht zur Berechnung völlig aus.

Beispiel 1: Spiralbohrer Ø 5, Bohrerspitze = 0,3 * 5 = 1,5 mm
Nutzbare Bohrtiefe laut Zeichnung: 12 mm
Programmierung: 12 mm Tiefe + Spitze 1,5 mm = 13,5 mm

Beispiel 2: Spiralbohrer Ø 10, Bohrerspitze = 0,3 * 10 = 3 mm
Nutzbare Bohrtiefe laut Zeichnung: 25 mm
Programmierung: 25 mm Tiefe + Spitze 3 mm = 28 mm

Spiralbohrer 130 Grad



Wert für die Bohrerspitze bei Spiralbohrer mit 130 Grad

Bei 130 Grad ergibt sich ein Dreieck mit 25 Grad und dem Werkzeugradius als Ankathete. Die Höhe der Bohrerspitze ist die Gegenkathete.

Tangens = Gegenkathete /Ankathete → Gegenkathete = tan 25° * Ankathete

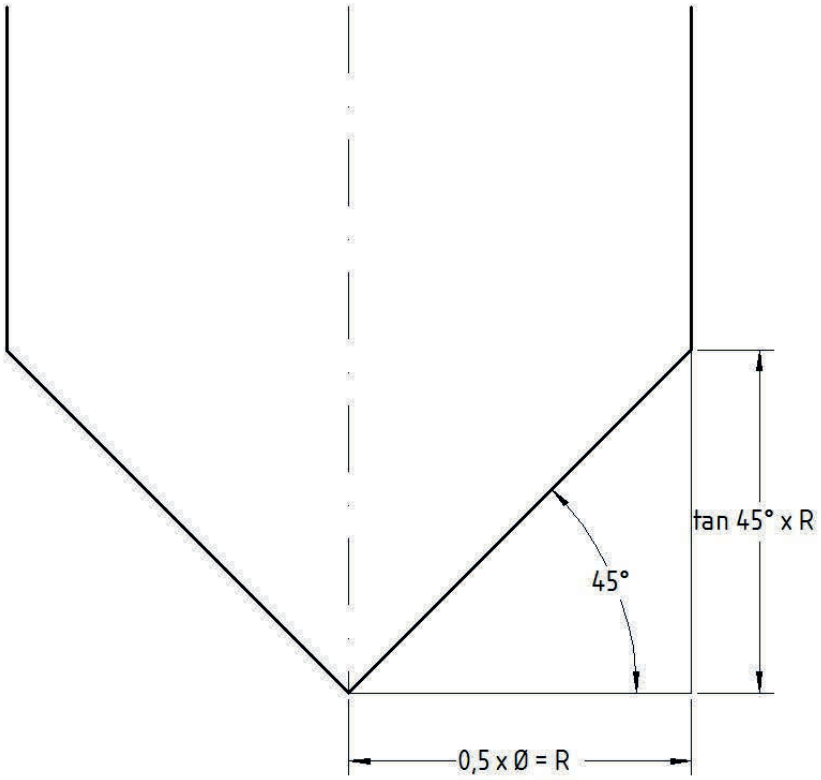
Bei Durchmesser 1 ergibt sich: tan 25° * 0,5 = 0,4463 * 0,5 = 0,2332

Gerundet sind das 0,2 * Durchmesser, reicht zur Berechnung im Allgemeinen aus.

Beispiel 1: Spiralbohrer Ø 5, Bohrerspitze = 0,2 * 5 = 1mm
Nutzbare Bohrtiefe laut Zeichnung: 10 mm
Programmierung: 10 mm Tiefe + Spitze 1 mm = 11 mm

Beispiel 2: Spiralbohrer Ø 10, Bohrerspitze = 0,2 * 10 = 2 mm
Nutzbare Bohrtiefe laut Zeichnung: 22 mm
Programmierung: 22 mm Tiefe + Spitze 2 mm = 24 mm

NC-Anbohrer 90 Grad



Wert für die Bohrerspitze bei NC-Anbohrer mit 90 Grad

Bei 90 Grad ergibt sich ein Dreieck mit 45 Grad und dem Werkzeugradius als Ankathete. Die Höhe der Bohrerspitze ist die Gegenkathete.

Tangens = Gegenkathete /Ankathete → Gegenkathete = tan 45° * Ankathete

Bei Durchmesser 1 ergibt sich: tan 45° * 0,5 = 1 * 0,5 = 0,5

Exakt sind das 0,5 * Durchmesser. Hier gilt: Spitzenhöhe = Werkzeugradius

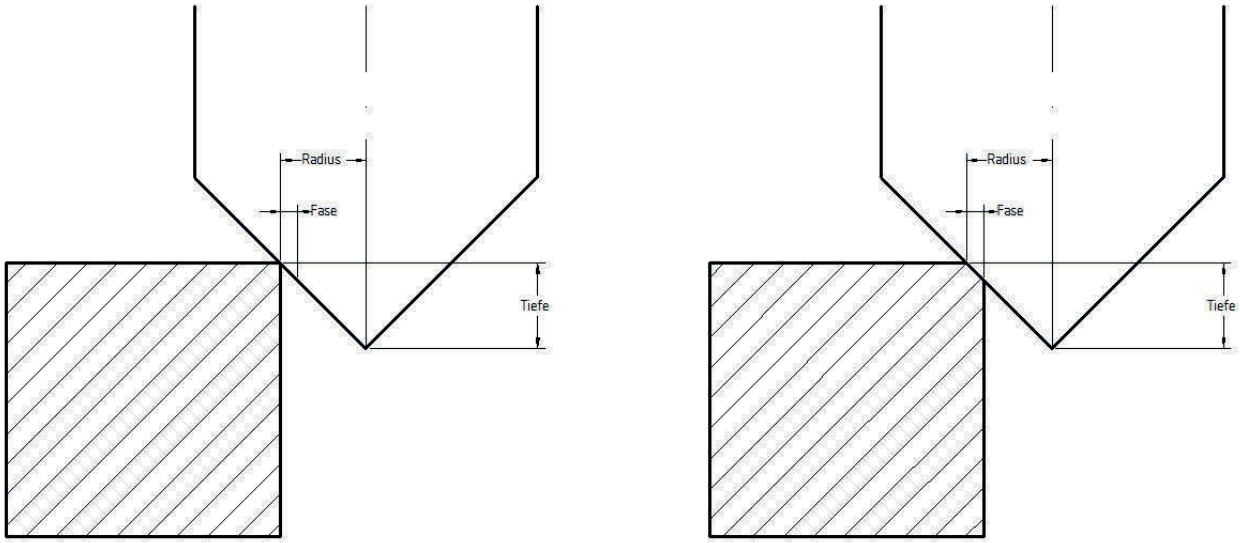
Beispiel 1: NC-Anbohrer Ø 6, Bohrerspitze = 0,5 * 6 = 3 mm
Bohrung Ø 5 zentrieren mit Fase 0,1 * 45°, ergibt Fasen-Ø von 5,2 mm
Bohrungsradius + Fase = 2,6 mm
Programmierung: Tiefe = 2,6 mm

Beispiel 2: NC-Anbohrer Ø 12, Bohrerspitze = 0,5 * 12 = 6 mm
Bohrung Ø 8,5 zentrieren mit Fase 0,3 * 45°, ergibt Fasen-Ø von 9,1 mm
Bohrungsradius + Fase = 4,55 mm
Programmierung: Tiefe = 4,55 mm

Ein NC-Anbohrer ist nicht für tiefere Bohrungen vorgesehen. Für tiefe Löcher geeignete Bohrer mit 90° Spitze nehmen.

NC-Anbohrer zum Anfasen von Konturen benutzen

Neben seiner Hauptaufgabe –dem Anzentrieren- kann ein NC-Anbohrer anstatt eines 45°-Fräsers auch zum seitlichen Anfasen von Konturen „missbraucht“ werden. Dazu sollte er möglichst kurz eingespannt sein.



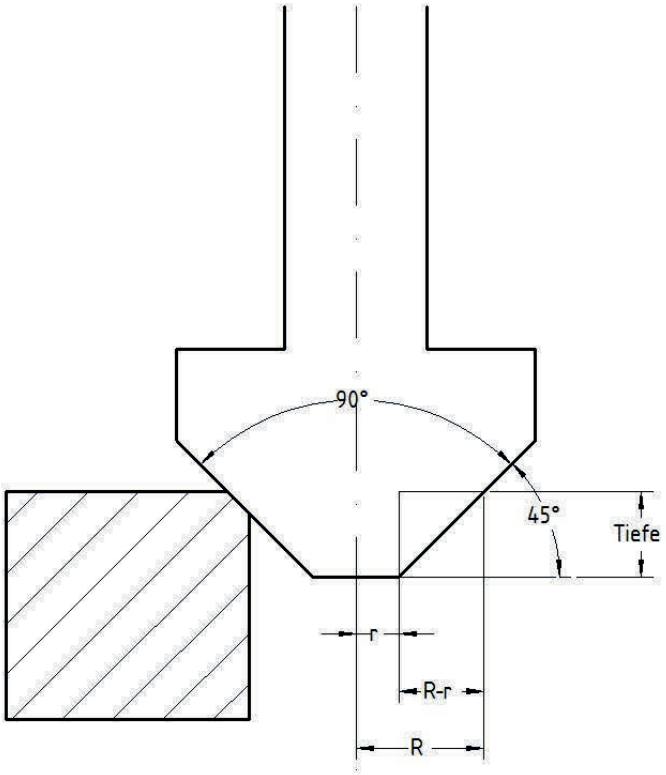
Zum Anfasen einer vorhandenen –auch komplizierten- gefrästen Kontur sollte diese nicht neu programmiert werden, sondern die bereits vorhandene Kontur verwendet werden. Am besten die Kontur als Unterprogramm ablegen, damit sie jeweils beim Fräsen und beim Entgraten / Anfasen benutzt werden kann.

Schritt 1 – Tiefe festlegen
Man wählt möglichst ungefähr die Mitte der Schneidkante zur Tiefenzustellung. Bei einem NC-Anbohrer Ø 12 ist die Schneidkante 6 mm hoch. Gewählte Tiefenzustellung 3 mm.

Schritt 2 – Seitenversatz
Durch die Tiefe 3 mm ist der wirksame Fräserradius an der Konturkante ebenfalls 3 mm. Mit Fräserradius-Korrektur 3 mm würde der NC-Anbohrer jetzt genau an der Kante der Kontur entlang fahren, siehe linkes Bild. Um die Fase zu fräsen muss der NC-Anbohrer noch um die Fasenbreite versetzt werden. Hierbei müsste theoretisch eine neue Kontur programmiert werden aber wir nehmen ja die vorhandene Original-Kontur. Dazu vermindern wir einfach den Werkzeugradius-Korrekturwert um die Fasenbreite. Somit versetzt die Fräserradius-Korrektur das Werkzeug automatisch um die Fasenbreite zum Werkstück hin, bzw. in die Kontur hinein, siehe rechtes Bild.

Beispiel: gesamte Kontur mit Fase 0,2 mm entgraten
NC-Anbohrer Ø 12 mm 3 mm tief zustellen
In der Werkzeugkorrektur einen Radius von 2,8 mm eingeben
Vorhandenen Programmteil der Kontur benutzen

Kegelsenker 90 Grad



Die Kegelsenker sind meist abgestumpft. Deshalb muss beim Senken zusätzlich der kleine Radius r bei der Tiefenzustellung berücksichtigt werden. Für die Berechnung der Tiefe wird dazu der kleine Durchmesser vom Fasendurchmesser abgezogen. Wie beim NC-Anbohrer 90° bleibt das Verhältnis Tiefe zu Radius 1 zu 1.

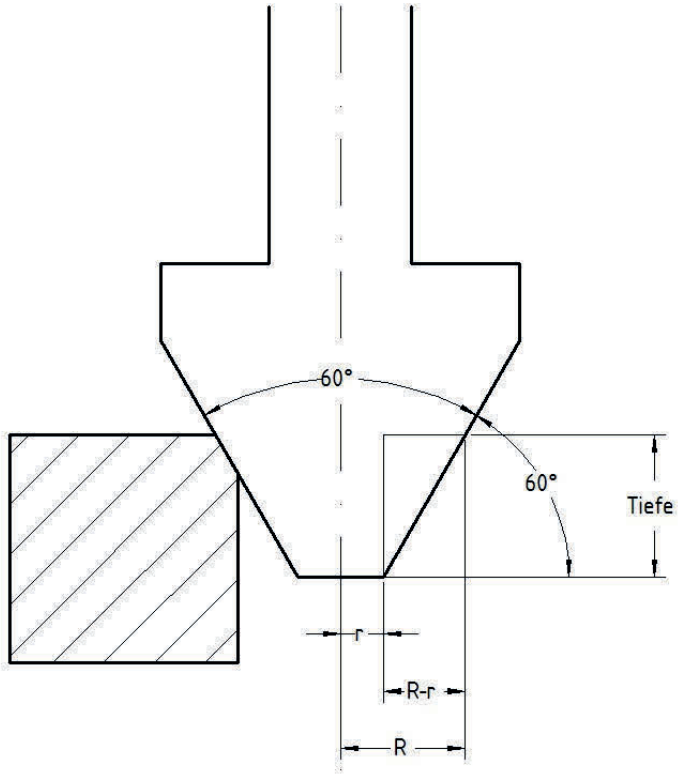
Beispiel 1: Kegelsenker 90° Ø 6,3 / kleiner Durchmesser 1,5
Bohrung Ø 5 anfasen 0,1 * 45° = Fasen-Durchmesser von 5,2 mm
Fasen-Durchmesser – kleiner Durchmesser → 5,2 – 1,5 = 3,7
Zustellung = Radius → 3,7 / 2 =1,85
Programmierung: Tiefe = 1,85 mm

Beispiel 2: Kegelsenker 90° Ø 15 / kleiner Durchmesser 3
Bohrung Ø 8,5 anfasen 0,3 * 45° = Fasen-Durchmesser von 9,1 mm
Fasen-Durchmesser – kleiner Durchmesser → 9,1 – 3 = 6,1
Zustellung = Radius → 6,1 / 2 =3,05
Programmierung: Tiefe = 3,05 mm

Auch ein Kegelsenker kann zum Anfasen / Entgraten von Konturen verwendet werden. Wenn man den kleinen Radius bei der Tiefe abzieht ist die restliche Vorgehensweise die selbe wie beim NC-Anbohrer.

Beispiel: gesamte Kontur mit Fase 0,2 mm entgraten
Kegelsenker Ø 6,3 kleiner Durchmesser 1,5 1 mm tief zustellen,
ergibt einen theoretischen Werkzeugradius von 1 + 0,75 = 1,75 mm
In der Werkzeugkorrektur einen Radius von 1,55 mm eingeben
Bei einem Fräser für 45°-Fasen gelten die selben Berechnungen.

Kegelsenker 60 Grad



Hier wird es etwas schwieriger, weil das Verhältnis nicht mehr 1 zu 1 ist, wie bei 90 Grad.

Beim 60° Senker ergibt sich ein Dreieck mit 60 Grad und dem Werkzeugradius als Ankathete.
Der Wert der Höhe ist die Gegenkathete.

Tangens = Gegenkathete /Ankathete → Gegenkathete = tan 60° * Ankathete

Bei Durchmesser 1 ergibt sich: tan 60° = 1,7321 * 1 mm = 1,7321 mm

Hier ist das Verhältnis Tiefe zu Radius 1,732 zu 1

Beispiel 1: Kegelsenker 60° Ø 6,3 / kleiner Durchmesser 1,5
Bohrung Ø 5 anfasen 0,1 * 60° = Fasen-Durchmesser von 5,2 mm
Fasen-Durchmesser – kleiner Durchmesser → 5,2 – 1,5 = 3,7
Zustellung = Radius * tan 60° → 3,7 / 2 * 1,732 = 3,204
Programmierung: Tiefe gerundet = 3,2 mm

Beispiel 2: Kegelsenker 60° Ø 15 / kleiner Durchmesser 3
Bohrung Ø 8,5 anfasen 0,3 * 60° = Fasen-Durchmesser von 9,1 mm
Fasen-Durchmesser – kleiner Durchmesser → 9,1 – 3 = 6,1
Zustellung = Radius * tan 60° → 6,1 / 2 * 1,732 = 5,283
Programmierung: Tiefe gerundet = 5,3 mm

Auch ein 60° Kegelsenker kann zum Anfasen / Entgraten von Konturen verwendet werden.

Beispiel: gesamte Kontur mit Fase 0,2 mm entgraten
Kegelsenker Ø 6,3 kleiner Durchmesser 1,5 2 mm tief zustellen,
ergibt einen theoretischen Werkzeugradius von 2 / 1,732 + 0,75 = 1,905 mm, gerundet 1,9 mm
In der Werkzeugkorrektur einen Radius von 1,7 mm eingeben
Bei einem Fräser mit 60° gelten die selben Berechnungen.

Zentrierbohrer

Falls ein Drehteil eine Zentrierbohrung braucht, um einen Reitstock einzusetzen oder z. B. zur Weiterbearbeitung auf einer Rundschleifmaschine, dann wird der Typ und die Größe der Zentrierung im Allgemeinen in der Zeichnung vorgegeben.
Eine Berechnung der Tiefe ist nicht notwendig, die empfohlene Mindesttiefe für die verschiedenen Zentrierbohrer ist fest vorgegeben und im Tabellenbuch zu finden.

Siehe auch Kapitel „Programmieren Fräsen“, Unterkapitel „Bohren“

5.04 Meter und Zoll

Metrisches System (Meter, m)

Das metrische System stammt aus Frankreich und wurde ursprünglich aus dem Erdumfang ermittelt, der auf 40.000km festgelegt wurde.

Der 1/1000 Teil eines Kilometers ist ein Meter (m),	oder 1.000m = 1Km
Der 1/100 Teil eines Meters ist ein Zentimeter (cm),	oder 100cm = 1m
Der 1/1000 Teil eines Meters ist ein Millimeter (mm)	oder 1.000mm = 1m
Der 1/1000 Teil eines Millimeters ist ein Mikrometer (µ)	oder 1.000 µ = 1mm

Um Abweichungen zu vermeiden, wird das Meter heute als „die Strecke, die das Licht im Vakuum innerhalb von 1 / 299.792.458 Sekunde zurücklegt“, definiert.

Der große Vorteil des metrischen Systems besteht darin, dass auf Grund des Dezimalsystems alle Umrechnungen leicht durchführbar sind.

Zoll-System (inch, in, ")

Das Zoll-System (Imperial-System) stammt aus England und wurde zuerst nach der Daumenbreite des damaligen Königs definiert. In anderen Ländern gab es ebenfalls eigene Zollsysteme, die jedoch alle voneinander abwichen. Wegen der zunehmenden Industrialisierung wurde ein Zoll auf 25,4mm festgelegt, um die Umrechnung mit dem metrischen System zu ermöglichen.
Das Zoll-System wird heute nur noch in den USA und einigen wenigen Staaten verwendet. Sogar im Mutterland des Zolls, in Großbritannien, hat sich das Meter durchgesetzt. Auch in den USA wird zunehmend auf das metrische System zugegriffen. Für wissenschaftliche Zwecke wegen seiner einfacheren Umrechnungsmöglichkeiten und für den Export in die überwiegend metrischen Länder der übrigen Welt. Es ist absehbar, dass das Zoll-System früher oder später „ausstirbt“.

1 inch (Zoll) = 1/12 feet = 25,4mm
1 foot (Fuß) = 12 inch = 1/3 yard = 0,3048m
1 yard = 3 feet = 36 inches = 0,9144m
1 mile (Meile, Landmeile) = 1760 Yards = 1.609,344m

Eine Sonderstellung hat die Nautische Meile / Seemeile, die einer Bogenminute am Äquator entspricht. 1 Seemeile = 1852m

Beim Zoll-System sind viele Maßbezeichnungen als Brüche üblich, was die Berechnungen ziemlich erschwert, zumal in der CNC-Umgebung nur mit Dezimalwerten gerechnet werden kann.

CNC-Steuerung
Auf Grund der fast weltweiten Verbreitung des metrischen Systems sind alle Beispiele in diesem Buch metrisch (in Millimeter) dargestellt. Die noch immer weite Verbreitung von Produkten mit Zoll-Maßen erfordert aber genauso die Möglichkeit, im Zoll-System zu produzieren, auch für die Fertigung von Ersatzteilen.
Grundsätzlich können in CNC-Steuerungen beide Maßsysteme verwendet werden. In den Maschinendaten wird das bevorzugte System festgelegt, welches dann beim Einschalten automatisch aktiv ist. Mit den Funktionen G20/G21 oder G70/G71 kann dies am Programmanfang auf eine andere Einheit umgestellt werden. Eine Mischung innerhalb eines Programms sollte nicht erfolgen, da auch Nullpunkte und Werkzeugdaten von den gewählten Einheiten abhängen.
Bei Standardsteuerungen beträgt die feinste Auflösung 0,001mm metrisch oder 0,0001 Zoll = 0,00254mm. Auch wenn die Auflösung im Zoll-System vier Stellen hinter dem Komma beinhaltet, ist die Auflösung bei mm trotzdem feiner. Es gibt schon Steuerungen, welche mehr Stellen hinter dem Komma akzeptieren und so diesen Nachteil bei der Genauigkeit mindern.

Unterschiede

Längen und Durchmesser

Längenmaße und Bohrungen werden im metrischen System dezimal bezeichnet, z. B.: 100mm, Ø 20,5mm, 1,25mm. Ein Werkzeug wird mit seinem Durchmesser bezeichnet, z. B. Spiralbohrer 3,5mm, Fräser 9,75mm.

Im Zoll-System gilt z. B. 4 ½“, Ø 3/8“, 1/64“. Die Brüche sind unterteilt in ½, ¼, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64. Auch Werkzeugdurchmesser werden mit Bruchzahlen bezeichnet, z. B.: Spiralbohrer 1/8“, Fräser 1 ½“. Bestimmte Durchmesser dazwischen bekommen eigene Ordnungszahlen und Buchstaben zugewiesen. Alle Werte müssen für die CNC-Bearbeitung in Dezimalwerte umgerechnet werden. Z. B.: 4 ½“ = 4,5“, 3/8“ = 0,375“, 1/64“ = 0,0156“.

Gewinde

Metrische Gewinde setzen sich aus dem Außendurchmesser und der Steigung zusammen. Z. B.: M4 bedeutet Regelgewinde mit Außendurchmesser 4mm und Steigung 0,7mm. M10 X 1 bedeutet Feingewinde mit Außendurchmesser 10mm und Steigung 1mm. Bei Regelgewinden kann die genormte Steigung in der Bezeichnung weggelassen werden, bei Feingewinden muss die zugehörige Steigung angegeben werden.

Zoll-Gewinde setzen sich aus dem Außendurchmesser und der Gangzahl pro Zoll zusammen. Z. B. 1/8-40 hat einen Außendurchmesser von 1/8“ und 40 Gänge pro Zoll, ¼ -20 hat einen Außendurchmesser von ¼“ und 20 Gänge pro Zoll.
Für die CNC-Bearbeitung muss die Gangzahl in die Steigung (dezimal) umgerechnet werden.

Schnittgeschwindigkeit

Beim metrischen System wird die Schnittgeschwindigkeit in Meter pro Minute (m/min) angegeben.

Drehzahlberechnung metrisch:

$$U/\min = \frac{m/\min * 1000}{\pi * D}$$

U/min = Umdrehungen pro Minute
m/min = Schnittgeschwindigkeit in Meter pro Minute
D = Fräser- oder Werkstückdurchmesser in mm

Beim Zoll-System wird die Schnittgeschwindigkeit in feet (Fuß) pro Minute (ft/min) angegeben.

Drehzahlberechnung Zoll:

$$U/\min = \frac{ft/\min * 12}{\pi * D}$$

U/min = Umdrehungen pro Minute
ft/min = Schnittgeschwindigkeit in Fuß pro Minute
D = Fräser- oder Werkstückdurchmesser in Zoll

Spantiefe

Die Spantiefe wird im metrischen System mit Millimeter pro Fräserzahn angegeben, z. B. 0,2mm/Fz für Aluminium.

Im Zoll-System wird sie in Zoll pro Fräserzahn angegeben, z. B. 0,008in/Fz ebenfalls für Aluminium.

Vorschub

Im metrischen System wird der Vorschub beim Fräsen in Millimeter pro Minute angegeben, z. B. 200mm/min (F200).

$$F = U/\min * mm/Fz * N$$

F= Vorschub in mm/min
U/min = Umdrehungen pro Minute
mm/Fz = Spantiefe in mm pro Fräserzahn
N = Anzahl der Schneiden (Zähne)

Beim Zoll-System wird der Fräsvorschub in Zoll pro Minute angegeben, z. B. 8in/min (F8).

$$F = U/\min * in/Fz * N$$

F= Vorschub in in/min
U/min = Umdrehungen pro Minute
in/Fz = Spantiefe in Zoll pro Fräserzahn
N = Anzahl der Schneiden (Zähne)

Bei Drehmaschinen wird der Vorschub entweder in mm pro Umdrehung oder in Zoll pro Umdrehung angegeben.

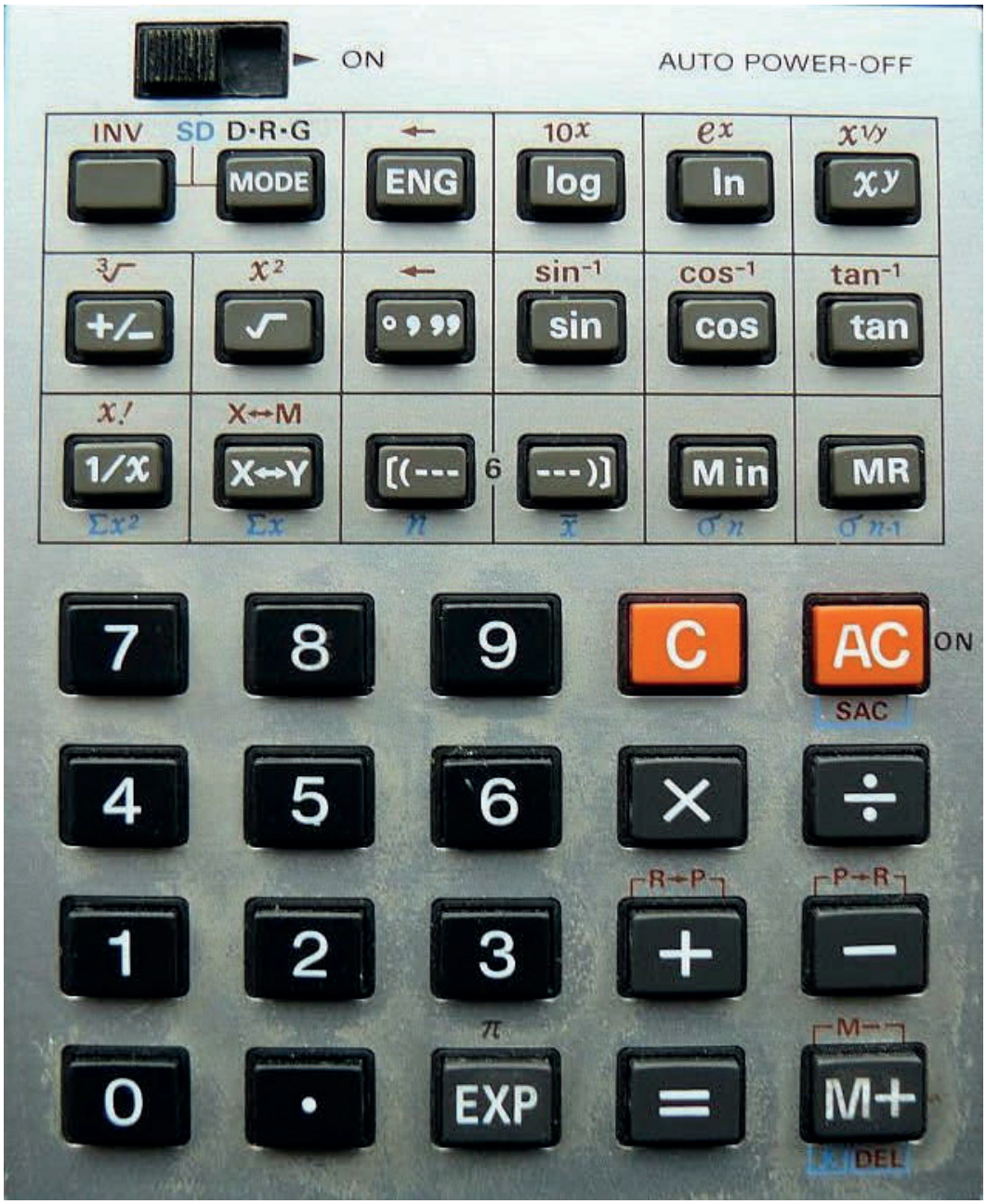
Für Gewindebohren auf Fräsmaschinen gilt bei beiden Systemen (Zoll und Meter):
Vorschub = Drehzahl X Steigung. F = U/min * P
Die Steigung ist dann entweder in Zoll oder in Millimeter anzugeben.

Für Gewindedrehen auf Drehmaschinen gilt ebenfalls bei beiden Systemen: Vorschub = Steigung. F = P. Auch hier wird die Steigung in Zoll oder Millimeter angegeben.

5.05 Taschenrechner

Für die Berechnungen bei der CNC-Programmierung wird nur ein einfacher wissenschaftlicher Taschenrechner benötigt, der außer den Grundrechenarten noch mindestens folgende Zusatztasten besitzt:
Sinus, Cosinus, Tangens, Wurzel, Quadrat, 1/X und die üblichen Speicherfunktionen M+, Min, MR.

Auch in den verschiedenen Betriebssystemen für PCs ist ein Taschenrechner enthalten.
Aufrufen in Windows mit: Start > Programme > Zubehör > Rechner.
Im Menu Ansicht kann von Standard auf Wissenschaftlich umgeschaltet werden.
Erklärung der Funktionen in den Hilfethemen bei ? (Fragezeichen).



Tastenfeld eines handelsüblichen wissenschaftlichen Taschenrechners

Beim Einschalten ist normalerweise der Modus DEG (englisch degree) für Grad (Altgrad, 0 bis 360°) aktiv. Dies sind die Gradzahlen, mit dene n hier ausschließlich gerechnet wird, denn die Winkelangaben in technischen Zeichnungen und für die Rundachsen sind ebenfalls in Grad (Altgrad) ausgeführt.
Mit MODE kann auf die anderen Winkelbezeichnungen RAD und GRA weitergeschaltet werden.
RAD steht für Radiant, dies ist eine Maßeinheit für Winkel im Bogenmaß.
1 rad = 360°/ 2 $\pi \approx$ 57,296°
GRA (englisch grad) steht für Gon (Neugrad). Ist im Vermessungswesen üblich. Dabei hat ein Vollkreis anstatt 360 Grad 400 gon. 1 gon = 360°/ 400 = 0,9°
Für unsere Berechnungen wird nur DEG (Altgrad) benötigt. Nicht durcheinander bringen lassen: DEG = Rechnen mit (Alt-) Grad (0 bis 360°), nicht GRA. Vor Benutzung darauf achten, dass der Rechenmodus auf DEG steht.

Die nachfolgenden Beispiele beziehen sich auf den Rechner mit dem oben dargestellten Tastenfeld.

Winkelberechnungen:

Sinus von 30°	3 0 sin	Ergebnis 0.5
Cosinus von 25°	2 5 cos	Ergebnis 0.906...
Tangens von 60°	6 0 tan	Ergebnis 1.732...

Cotangens von 30°
Den Cotangens suchen Sie vergeblich auf Ihrem Rechner. Warum?
Ganz einfach: Tangens = Gegenkathete / Ankathete und Cotangens = Ankathete / Gegenkathete. Es sind hier beide Katheten bekannt und müssen für den Cotangens nur vertauscht werden.
Wer unbedingt mit dem Cotangens rechnen will, benutzt zusätzlich die Taste 1/X

Cotangens von 30°	3 0 tan	Ergebnis 0.577... (Zw ischenergebnis)
Kehrwert vom Zwischenergebnis:		
Zusätzlich	1/X drücken	Ergebnis 1.732... (Cotangens 30°)

Umgekehrte Funktionen werden mit INV (Invers) angezeigt. INV wirkt wie die Großschrift / Shift-Taste einer Tastatur für die doppelt belegten Tasten. Es sind die Funktionen, welche oberhalb der Tasten stehen.
Wenn man z. B. eine Gegenkathete mit der Länge 30mm durch eine Ankathete von 60mm teilt, erhält man 0,5 und mit Hilfe des Tangens will man den Winkel erhalten:
Verhältnis 30/60 = 0,5 0 . 5 INV tan Ergebnis 26,565... (Winkel in Grad)

Wer die Taste ° ′ ″ besitzt, kann leicht von Grad, Minuten, Sekunden auf Dezimalwerte umrechnen und umgekehrt.

61°12’ 18’’	6 1 ° ′ ″ 1 2 ° ′ ″ 1 8 ° ′ ″	Ergebnis 61.205
umgekehrt:		
61,205°	6 1 . 2 0 5 INV ° ′ ″	Ergebnis 61°12’ 18’’

Weitere Funktionen:

Vorzeichenänderung + oder – mit Taste [+/-]

Kehrwert	[4] [1/X]	Ergebnis 0.25 = ¼
Quadratwurzel aus 2	[2] [√‾]	Ergebnis 1.414...
4 hoch 2	[4] [INV] [√‾]	Ergebnis 16
3 hoch 3	[3] [Xʸ] [3] [=]	Ergebnis 27
3. Wurzel aus 27	[2] [7] [INV] [+/-]	Ergebnis 3
Festzahl π (Pi)	[INV] [EXP]	Ergebnis 3.141...

Rechnen mit dem Speicher [M in] [MR] [M+] [M-]

[M in] setzt den augenblicklich angezeigten Wert als neuen Gesamtwert in den Speicher. Mit [0] und [M in] wird der Speicherinhalt auf Null gesetzt (gelöscht).

[MR] zeigt die momentane Gesamtsumme im Speicher an.

[M+] fügt den angezeigten Wert zum Speicherinhalt hinzu (Addition).

[INV] [M+] subtrahiert den angezeigten Wert vom Speicherinhalt (M-).

Beispiel: rechtwinkliges Dreieck mit a = 3, b = 4, c = 5, Satz des Pythagoras

$c^2 = a^2 + b^2 \rightarrow c = \sqrt{a^2 + b^2} \rightarrow c = \sqrt{9 + 16} \rightarrow c = \sqrt{25} \rightarrow c = 5$

[3] [INV] [√‾] [M+] [4] [INV] [√‾] [M+] [MR] [√‾] Ergebnis 5

$a^2 = c^2 - b^2 \rightarrow a = \sqrt{c^2 - b^2} \rightarrow a = \sqrt{25 - 16} \rightarrow a = \sqrt{9} \rightarrow a = 3$

[5] [INV] [√‾] [M+] [4] [INV] [√‾] [INV] [M+] [MR] [√‾] Ergebnis 3

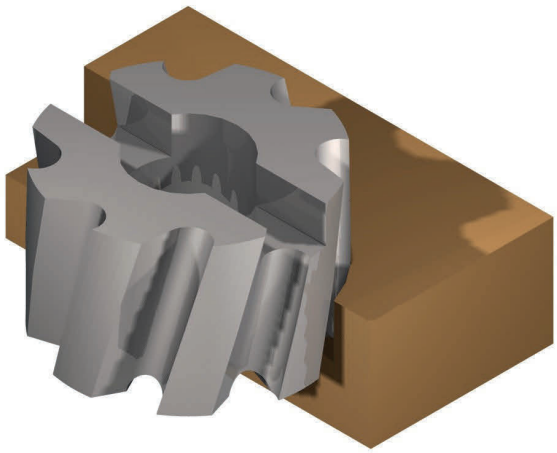
oder:

[5] [INV] [√‾] [M+] [4] [INV] [√‾] [+/-] [M+] [MR] [√‾] Ergebnis 3

Dies sind nur die wichtigsten Funktionen, welche für den alltäglichen CNC-Programmiergebrauch ausreichen.

Kapitel 6 - Programmieren Fräsen

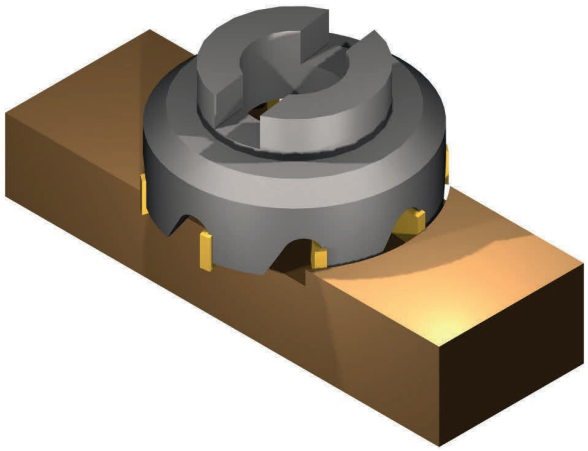
6.01 Fräsen Grundlagen
6.02 Einführung Programmierung
6.03 Nullpunkt
6.04 Fräsen Erste Schritte
6.05 Kreisprogrammierung Fräsen
6.06 Radiuskorrektur Einführung
6.07 Keine Radiuskorrektur
6.08 Radiuskorrektur Grundlagen
6.09 Radiuskorrektur Typ A anwählen
6.10 Radiuskorrektur Typ B anwählen
6.11 Radiuskorrektur abwählen Typ A und B
6.12 Radiuskorrektur G43 G44
6.13 Bohren
6.14 Bohrzyklen
6.15 Fräszyklen
6.16 Unterprogramme
6.17 Beispiele Fräsen
6.18 Projekt Flaschenöffner
6.19 CNC-Befehle Fräsen



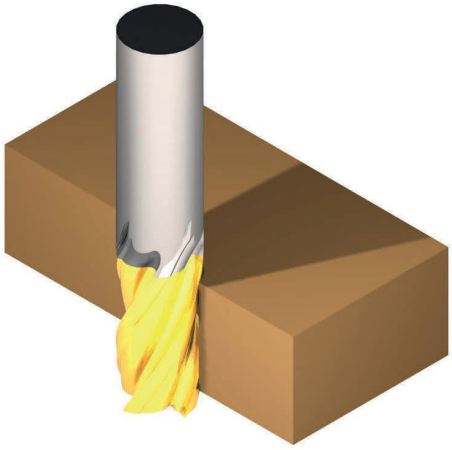
6.01 Fräsen Grundlagen

Beim Fräsen wird unterschieden zwischen **Stirnfräsen** und **Walzenfräsen**.

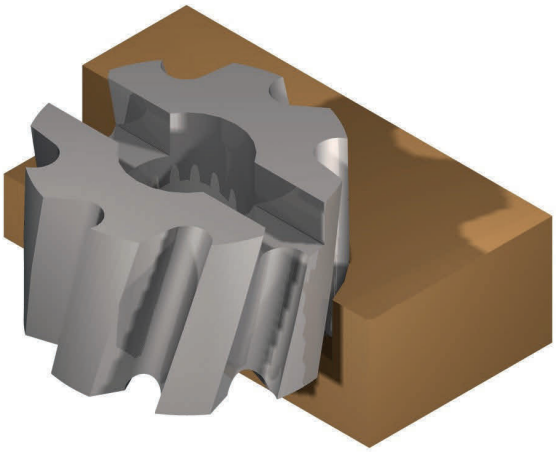
Beim Stirnfräsen (Planfräsen) fährt der Fräser mit seiner (geraden) Stirnseite über das Werkstück. Für Planflächen sollte möglichst Stirnfräsen angewendet werden, weil beim Walzenfräsen keine absolut ebene Fläche entsteht.
Beim Stirnfräsen wird das Material zwar auch mit den Umfangschneiden des Fräsers abgenommen, jedoch nur auf geringer Tiefe.
Beim Walzenfräsen (Umfangsfräsen) fährt der Fräser mit seinen Umfangsschneiden am Werkstück entlang. Dies wird vor allem bei beliebigen Konturen verwendet. Walzenfräsen erfordert mehr Kraft und erzeugt höheren Werkzeugverschleiß als Stirnfräsen.



Stirnfräsen mit Messerkopf



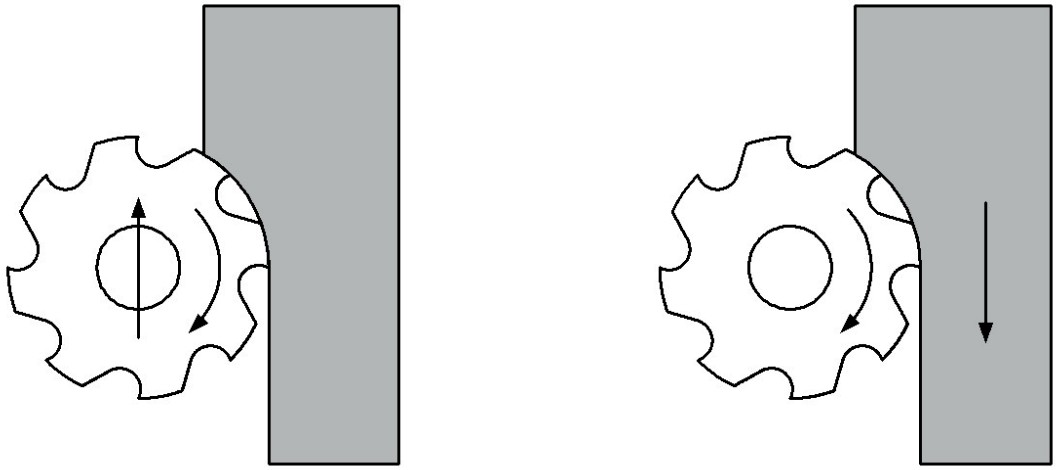
Walzenfräsen mit Schaftfräser



Eine Kombination aus beiden ist das Walzenstirnfräsen, wobei mit der Stirnseite und dem Umfang geschnitten wird, hier mit Walzenstirnfräser.

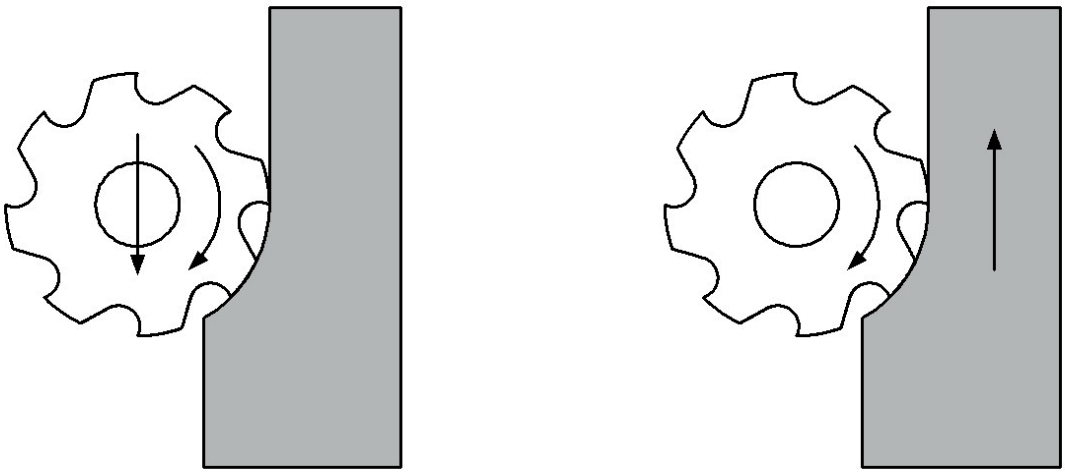
Gleichlauf – Gegenlauf

Beim Gleichlauffräsen erfolgt die Umdrehung des Fräswerkzeuges in der selben (gleichen) Richtung, wie der Werkstückvorschub. Beim Gleichlauf dringt der Fräser mit der größten Spandicke ins Werkstück ein, die Spandicke wird beim Austritt aus dem Material geringer. Daraus resultiert eine bessere Oberfläche und weniger Werkzeugverschleiß.



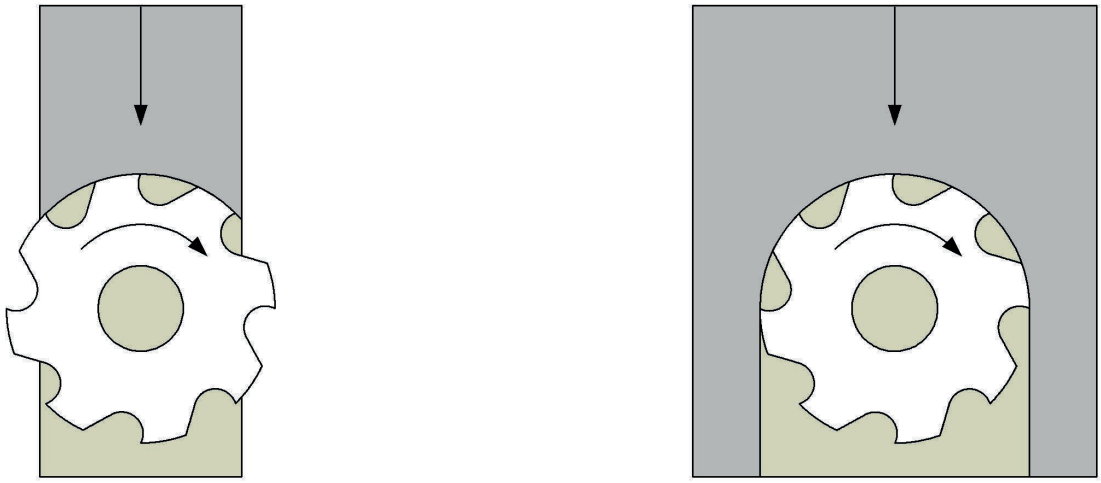
Gleichlauffräsen mit Vorschubbewegung durch Werkzeug oder durch Werkstück

Beim Gegenlauffräsen erfolgt die Umdrehung des Fräswerkzeuges in der umgekehrten (Gegen-) Richtung, wie der Werkstückvorschub. Beim Gegenlauf dringt der Fräser mit der kleinsten Spandicke ins Werkstück ein, die Spandicke wird beim Austritt aus dem Material größer, was die Oberfläche negativ beeinflusst und mehr Werkzeugverschleiß verursacht.



Gegenlauffräsen mit Vorschubbewegung durch Werkzeug oder durch Werkstück

Wenn ein Fräser auf beiden Seiten gleich viel schneidet, dann heben sich Gleich- und Gegenlauffräsen auf und die Kräfte werden neutralisiert.

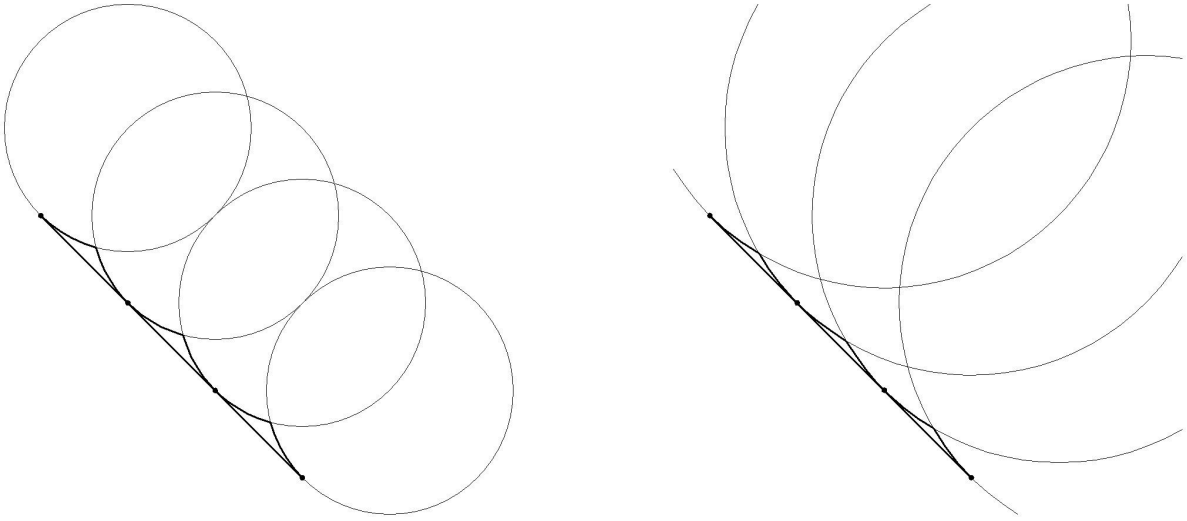


An den konventionellen Fräsmaschinen wird normalerweise im Gegenlauf gearbeitet, weil bei Gleichlauf durch das Spindelspiel des Achsantriebes die Gefahr besteht, dass der Werkzeugtisch ruckartig zum Fräser hin gezogen wird und somit das Werkzeug brechen kann. Allenfalls beim Schlichten mit kleinem Werkstoffabtrag kann vereinzelt im Gleichlauf gearbeitet werden, wenn die Kräfte so klein sind, dass sie nicht den Werkzeugtisch mitziehen können. Es gibt konventionelle Fräsmaschinen, die mit Hilfe von speziellen Spindeln im Gleich- und Gegenlauf arbeiten können.

Die Achsen der CNC-Maschinen sind im Allgemeinen mit spielfreien Kugelrollspindeln ausgestattet, welche Gleich- und Gegenlauffräsen zulassen. So ist beim CNC-Fräsen vorzugsweise immer im Gleichlauf zu arbeiten. Ausnahmen sind bei nachgerüsteten oder Bastler-Maschinen möglich, wenn sie keine spielfreien Achsantriebe besitzen.

Fräsergröße

Immer den größtmöglichen Fräser einsetzen, weil er stabiler ist und eine größere Spanabnahme zulässt. Ein weiterer Aspekt ist die höhere Oberflächengüte durch Werkzeuge mit größerem Radius. Würde man die Bewegungen mit dem Mikroskop betrachten, fällt auf, dass die Interpolation der Achsen auf einem beliebigen Weg von Punkt zu Punkt fährt und dass sich dabei die Führungen der Achsen ständig ein wenig verkeilen oder klemmen und somit nie auf der Ideallinie fahren, auch wenn dies nur sehr kleine Abweichungen verursacht.



Bei gleichem Abstand von einem Punkt zum anderen sind die möglichen Ungenauigkeiten der Oberfläche bei unterschiedlichem Fräserradius sichtbar.

Beim Drehen gilt dasselbe für den Radius des Drehmeißels. Je größer der Radius, desto glatter die Oberfläche, allerdings erhöht sich dabei der Kraftaufwand. Zudem muss der größte zulässige Radius bei Innenecken berücksichtigt werden.

6.02 Einführung Programmierung

Ein Programm ist ein geplanter Ablauf von Ereignissen. Der Programmierer schreibt ein Programm, welches am Computer oder mit Hilfe einer Maschine etwas Bestimmtes ausführen soll. Den Programmen für Computer und Maschinen ist gemeinsam, dass sie nur eine bestimmte Sprache „verstehen“. Ein Computer kann nicht wie ein Mensch erraten, was der andere eigentlich von ihm will, sondern braucht klare Befehle. Dazu gibt es verschiedene Computersprachen, die genaue Anweisungen benötigen. Ein falsches Zeichen führt zur Fehlermeldung (Syntaxfehler = Rechtschreibfehler), die Eingabe eines fehlerhaften Wertes führt zu einer ungewollten Ausführung.
Der Programmierer hat hier eine Schlüsselrolle, ob sein Programm optimal arbeitet, denn er entscheidet, wie er die Werkzeuge und Bewegungen einsetzt.
Ein Programm für eine CNC-Maschine ist eigentlich nur ein ganz genauer Arbeitsplan, wo jede Bewegung und Tätigkeit der Maschine definiert ist. Deshalb muss der CNC-Programmierer fundierte Kenntnisse und Erfahrung mit den Fertigungsverfahren (Drehen, Fräsen, usw.) besitzen und die Maschinen genau kennen. Es genügt dazu nicht, wenn man einfach jemand mit der höchsten Schulbildung als Programmierer einsetzt, wenn derjenige nicht vorher schon an den Maschinen gearbeitet hat. Der Programmierer muss sein neues Programm selbst an der Maschine einfahren, nur er kennt den genauen Ablauf und er trägt auch die volle Verantwortung für sein Programm. Bei einem fehlerhaften Programm für CNC-Maschinen oder Roboter können immense Schäden entstehen und Menschenleben gefährdet werden. Hier kann man nicht einfach einen „Reset“-Knopf drücken, um das Programm zu ändern und dann wieder ausprobieren, bis es endlich geht, wie z. B. bei einem kaufmännischen Programm. Die industrielle Programmierung wird nie ein reiner Schreibtischjob werden, wo man es sich hinter seinem Programmierplatz gemütlich machen kann, sondern erfordert immer wieder das Arbeiten mit den Maschinen.
Die ursprüngliche und immer noch am meisten verbreitete Sprache für CNC-Anwendungen ist der G-Code nach DIN – ISO, welcher auch hier verwendet wird. Gegenüber „höheren“ Programmiersprachen ist der G-Code eigentlich sehr einfach, es sind nur etwa 100 verschiedene Befehle (Wörter) zu merken. Bei einer höheren Programmiersprache sind es sehr viel mehr Befehle, die gelernt werden müssen.
Ein Kennzeichen dieser CNC-Programmiersprache ist der alphanumerische Aufbau der Befehle, die sich immer aus einem Buchstaben (Alphabet) und einer nachfolgenden Zahl (Nummer) zusammensetzen.
Beispiel: G0 X50 bedeutet: „Fahre mit Eilgang (G0) nach Position X = 50mm“

Programmaufbau

Ein NC-Programm besteht aus mehreren Sätzen (Zeilen).
Die Steuerung arbeitet die Sätze nacheinander ab.
Ein Satz besteht wiederum aus mehreren Wörtern (Einzelbefehle), die aus einem Buchstaben und einer Zahl bestehen (= alphanumerisch).

Beispiel:

```
     N55   G54   G1    X120.5   Y36.33   F100    M8
   | Wort | Wort | Wort |  Wort  |  Wort  |  Wort  | Wort |
   |«-------------------------Satz-----------------------------»|
```

Erklärung: N55 = Satznummer 55
G54 = Nullpunktverschiebung 1 einrechnen

G1 = Geraden-Interpolation mit Vorschub
X120.5 = Fahren nach X 120,5mm und gleichzeitig
Y36.33 = Fahren nach Y 36,33mm
F100 = Vorschubgeschwindigkeit 100mm/min
M8 = Kühlschmiermittel einschalten

zur besseren Übersicht sollten die Wörter eines Satzes in dieser Reihenfolge geschrieben werden:

1. Satznummer N
2. Wegbedingung G
3. Koordinatenachsen X, Y, Z, Rundachsen A, B, C
4. Kreis-Interpolationsparameter I, J, K
5. Vorschub F
6. Spindeldrehzahl S
7. Werkzeug, Korrekturspeicher T, D, H
8. Zusatzfunktion M

Programmbefehle nach DIN 66025

Alte Steuerungen:
Bei uralten Steuerungen ohne Dezimalpunkt müssen die nachfolgenden Nullstellen aufgefüllt werden.
Bei Auflösung der Steuerung in Hundertstel mm: Y1500 = Y15mm.
Bei Auflösung in Tausendstel mm: Y15000 = Y15mm.
Bei Auflösung in Zehntausendstel Zoll: Y150000 = Y15 Zoll.
Die G- und M- Befehle müssen dort immer mit führenden Nullen geschrieben werden: G00, G01, M00, M02, usw.

Einige aktuelle Steuerungen benötigen nach ganzzahligen Koordinatenwerten einen Dezimalpunkt oder dazu noch eine Null, z. B. X20. oder X20.0 = X20mm

Moderne Steuerungen akzeptieren die Eingabe von Zahlenwerten so, wie man sie normal auch schreibt oder in den Taschenrechner eingibt, .z. B. X20 = X20mm, Y1.254 = Y1,254mm, Z.5 oder Z0.5 = Z0,5mm.
Bei den regulär zweistelligen G- und M- Befehlen können führende Nullen entfallen,
z. B.: genügt die Schreibweise G1, anstatt G01.

Da die zweistelligen G-und M-Befehle oftmals nicht mehr für die zahlreichen Zusatzfunktionen mancher Maschinen ausreichen, akzeptieren manche Steuerungen drei Stellen nach G oder M, entweder zusammen geschrieben oder die dritte Stelle durch Punkt abgetrennt. Z. B. G54.1 oder G107.

Die meisten Befehle sind selbsthaltend und müssen deshalb nur einmal im Programm geschrieben werden.
Beispiel: ein eingegebener Vorschubwert bleibt so lange gültig, bis er durch einen anderen ersetzt wird.
Für den Anfang wird nachfolgend nur eine Auswahl der wichtigsten, allgemein gültigen Befehle aufgelistet, welche schon für das meiste ausreichen. Weitere Befehle werden an späterer Stelle behandelt. Dazu gibt es noch spezielle Befehle der verschiedenen Steuerungen und Maschinenhersteller, die nach der Bedienungsanleitung anzuwenden sind.

O.. Programmnummer (Buchstabe O, nicht 0 Null)
N.. Satznummer, steht am Satzanfang

Wegbedingungen = alle G-Befehle (G wie "go" oder "gehen")
G00 Verfahren im Eilgang
G01 Geraden-Interpolation mit Vorschub
G02 Kreis-Interpolation im Uhrzeigersinn
G03 Kreis-Interpolation im Gegenuhrzeigersinn
G04 Verweilzeit
G17 X-Y-Ebenenauswahl
G18 X-Z-Ebenenauswahl
G19 Y-Z-Ebenenauswahl
G28 Referenzpunkt anfahren
G40 Aufheben der Werkzeugbahnkorrektur
G41 Werkzeugbahnkorrektur links der Kontur
G42 Werkzeugbahnkorrektur rechts der Kontur
G43 Werkzeuglängenkorrektur plus (Fräsmaschine)
G44 Werkzeuglängenkorrektur minus (Fräsmaschine)
G49 Aufheben der Werkzeuglängenkorrektur
G54 bis G59 Nullpunktverschiebung 1 bis 6
G90 Absolutbemaßung
G91 Inkrementalbemaßung (Kettenmaße)

X.. Bewegung der X-Achse in mm, Auflösung 0,001mm
Y.. Bewegung der Y-Achse in mm
Z.. Bewegung der Z-Achse in mm

I.. Kreis-Interpolationsparameter in X-Richtung (inkrementell)
J.. Kreis-Interpolationsparameter in Y-Richtung (inkrementell)
K.. Kreis-Interpolationsparameter in Z-Richtung (inkrementell)

F.. Vorschub in mm/min oder in mm/U (F wie "feed")
S.. Spindeldrehzahl in U/min (S wie "speed")
T.. Werkzeugnummer (T wie "tool")
H.. Werkzeugkorrekturspeicherwert für Werkzeuglänge
D.. Werkzeugkorrekturspeicherwert für Werkzeugradius

Zusatzfunktionen (Maschinenfunktionen, M wie "Maschine")
M00 Programmierter Halt
M01 Wahlweiser Halt
M02 Programm Ende
M03 Spindeldrehrichtung im Uhrzeigersinn (rechtsdrehend)
M04 Spindeldrehrichtung im Gegenuhrzeigersinn (linksdrehend)
M05 Spindel Halt
M08 Kühlmittel Ein
M09 Kühlmittel Aus
M30 Programm Ende mit Rücksetzen
M98 Unterprogramm aufrufen
M99 Unterprogramm Ende, Rücksprung ins Hauptprogramm

Programmschritte

Bei der CNC-Programmierung für Fräsmaschinen wird bei jedem Werkstück vorzugsweise die nachfolgend beschriebene Reihenfolge angewendet:

- Programm-Nummer eingeben

- Zeile zur Initialisierung eingeben

- Werkzeug einwechseln/einsetzen
- Spindel einschalten
- Nullpunkt anwählen
- Mit Eilgang Position X und Y, eventuell auch Z anfahren
- Kühlmittel einschalten
- Werkzeuglänge einrechnen
- Mit Eilgang Z auf Sicherheitsabstand zustellen
- Mit Vorschub in das Werkstück zustellen

- ...Werkstück bearbeiten...

- Mit Eilgang aus Werkstück herausfahren
- Kühlmittel aus
- Spindel Halt
- Zum Werkzeugwechselpunkt oder Referenzpunkt fahren

- ...mit den nächsten Werkzeugen dieselben Schritte ausführen...

- Programm Ende

Jedes Programm wird am Anfang durch ein Programmzeichen O (nicht Null) oder : (Doppelpunkt) und der Programmnummer bezeichnet. Bei den meisten Steuerungen sind die Programmnummern vierstellig und bei Eingabe einer einstelligen Zahl werden automatisch die führenden Nullen generiert.
Beispiel:
`O0001` oder `:0001` (Programm Nr. 1)

Im Allgemeinen wird jedem Satz (Zeile) eine Satznummer N zugeordnet, dies ist jedoch nicht bei allen Steuerungen vorgeschrieben. Es empfiehlt sich, die Satznummern in 5-er oder 10-er Schritten einzugeben, um späteres Einfügen bei notwendigen Korrekturen zu erleichtern. Wie bei der Programmnummer werden die Satznummern oft vierstellig dargestellt.
Beispiel:
`N0005` (Satz Nr. 5)

Im ersten Satz stehen Befehle zur Initialisierung der Maschine. Diese Befehle stellen eine Ausgangssituation mit den Standard-Befehlen her. Normalerweise sind diese Befehle schon beim Einschalten der Maschine automatisch aktiv. Wenn jedoch bei einem Probelauf das Programm unterbrochen wurde und man wieder von vorne anfangen muss, ist es möglich, dass noch irgendwelche selbsthaltende Funktionen aus dem bisherigen Programmablauf aktiv sind. Dies wird durch die Initialisierung wieder zurückgesetzt.

Beispiel:
`N0005 G17 G90 G40 G49` (G17 = Fräsebene in der X- und Y-Achse, G90 = Arbeiten mit Absolutbemaßung, G40 = Aufheben einer Werkzeug-Radiuskorrektur, G49 = Aufheben einer Werkzeug-Längenkorrektur)

Als nächstes wird das benötigte Werkzeug im Werkzeugmagazin aufgerufen und in die Spindel eingesetzt. Je nach Steuerung muss das in einem oder zwei Sätzen geschrieben werden.
Beispiel:
`N0010 T1` (Magazinplatz mit Werkzeug Nr. 1 vorbereiten)
`N0015 M6` (Werkzeugwechsel / Werkzeug in Spindel einsetzen)
oder
`N0010 T1 M6` (Werkzeug Nr. 1 vorbereiten und anschließend Werkzeugwechsel)
Falls das Werkzeug manuell gewechselt wird, dann wird statt T und M6 ein Programm Halt in das Programm eingebaut. Nach dem manuellen Werkzeugwechsel drückt der Bediener den Startknopf, um das Programm fortzusetzen.
`N0010 M0` (Programmstopp zum Werkzeugwechsel)

Das eingesetzte Werkzeug benötigt eine Drehzahl und die Angabe der Drehrichtung (M3 = rechtsdrehend, M4 = linksdrehend)
Beispiel:
`N0015 S1500 M3` (1500 Umdrehungen/Minute, M3 = Drehrichtung rechts)

Nullpunktverschiebung wählen, X- und Y-Position mit Eilgang über dem Werkstück anfahren und Kühlmittel einschalten. Das Einschalten des Kühlmittels sollte immer erfolgen, bevor das Werkzeug zum Werkstück fährt, weil die Flüssigkeit nach Kühlmittel Aus in den Leitungen zurückfließt. Bei erneutem Einschalten wird dann eine gewisse Zeit benötigt, bis das Kühlmittel wieder austritt.
Beispiel:
`N0020 G0 G54 X15 Y15 M8` (G0 = Eilgang, G54 = Nullpunktverschiebung 1, Position X = 15mm, Y = 15mm, M8 = Kühlmittel Ein)

Werkzeuglängenkorrektur positiv / negativ mit der zugehörigen Korrekturnummer aufrufen, Z-Bewegung im Eilgang bis kurz vor das Werkstück
Beispiel:
`N0025 G43 Z2 H1` (G43 = Werkzeuglänge positiv, Z2 = 2mm über dem Werkstück, H1 = Werkzeuglängenkorrektur Nr. 1)

Erste Zustellbewegung in das Werkstück hinein mit programmiertem Vorschub.
Beispiel:
`N0030 G1 Z-2 F100` (G1 = Gerade mit Vorschub, Z = 2mm Frästiefe, F100 = Vorschub 100mm/Minute

...Jetzt erfolgt die restliche Bearbeitung des aktuellen Werkzeuges am Werkstück...

Nach erfolgter Bearbeitung mit Eilgang auf einen sicheren Z-Abstand vom Werkstück wegfahren und Kühlmittel ausschalten. Vor dem Spindelstopp anwenden, damit restliches Kühlmittel vom Werkzeug weggeschleudert wird.
Beispiel:
`N0055 G0 Z50 M9` (G0 = Eilgang, Z = 50mm über Nullpunkt, M9 = Kühlmittel Aus)

Hauptspindel ausschalten
Beispiel:
`N0060 M5` (M5 = Spindel Stopp)

Mit Eilgang zum Werkzeugwechselpunkt oder Referenzpunkt fahren und Werkzeuglängenkorrektur abwählen.
Beispiel:
`N0065 G28 G49` (G28 = Referenzpunkt anfahren, G49 = Längenkorrektur abwählen)

... Als nächstes folgen evtl. weitere Werkzeuge nach dem selben Ablauf...

Zum Schluss muss der Befehl für Programm Ende stehen (M30 oder M2), damit das Programm zurückgesetzt wird und erneut gestartet werden kann
Beispiel:
`M30` (Programm Ende)

Komplettes Beispielprogramm:

```
O0001
N0005 G17 G90 G40 G49
N0010 T1 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X15 Y15 M8
N0025 G43 Z2 H1
N0030 G1 Z-2 F100
N0035 Y85
N0040 X85
N0045 Y15
N0050 X15
N0055 G0 Z50 M9
N0060 M5
N0065 G28 G49
N0070 M30
```

Allgemeines Musterprogramm:

```
O####
N0005 G17 G90 G40 G49
N0010 T# M6 (erstes Werkzeug)
N0015 S#### M3
N0020 G0 G5# X### Y### M8
N0025 G43 Z## H#
N0030 G1 Z## F###
N0035 (Bearbeitung)
N#### G0 Z## M9
N#### M5
N#### G28 G49
...
N#### T# M6 (nächstes Werkzeug)
N#### (Wie voriges Werkzeug)
...
N#### M30
```

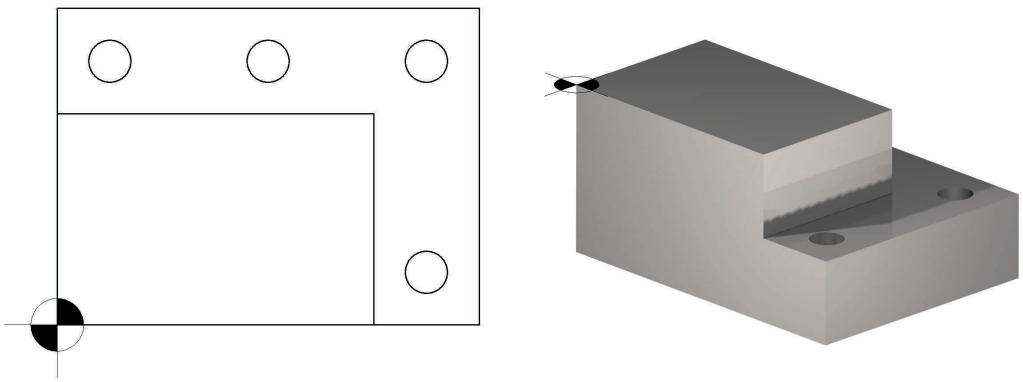
Es empfiehlt sich, mit einem Editor einer Textverarbeitung für jede Steuerung ein ähnliches allgemeines Musterprogramm anzulegen, damit man nichts vergisst. Es kann um beliebig viele Werkzeuge und andere ständig wiederkehrende Befehle erweitert werden. Dazwischen wird nur noch die jeweilige Bearbeitung eingefügt.

In diesem Buch wird gemäß einer älteren Fanuc-Steuerung programmiert, weil diese noch sehr eng an die Normen DIN 66025 / ISO 6983 angelehnt und weltweit verbreitet ist. Die Umstellung auf andere „G-Code-Dialekte“ und die neuesten handelsüblichen Steuerungen mit ihren zusätzlichen Funktionen dürfte aufgrund geringer Abweichungen keine Probleme bereiten.

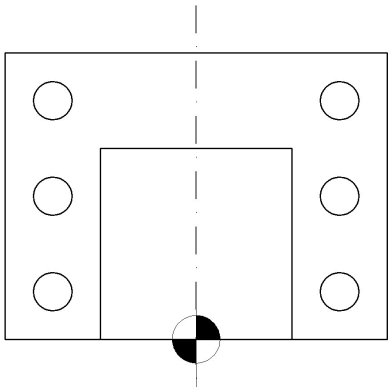
Im Anhang sind im Unterkapitel „Andere Steuerungen“ einige NC- Programme von verbreiteten Steuerungen mit einem identischen Werkstück zum Vergleich aufgeführt.

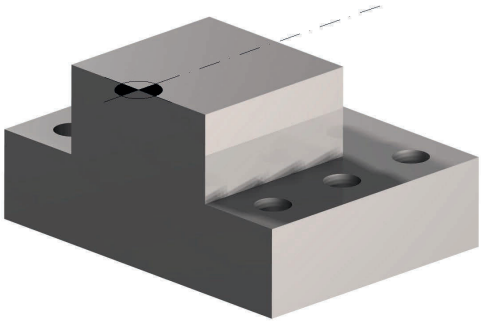
6.03 Nullpunkt

Jede CNC-Maschine hat ein festes Koordinatensystem, welches vom Hersteller festgelegt wird, siehe Bedienungsanleitung der Maschine.
Der Referenzpunkt (Nullpunkt) des Meßsystems liegt irgendwo im Raum und der daraus abgeleitete Maschinennullpunkt auf der Mitte der Spindelnase. Von dort aus ist es ein bestimmter Abstand bis zum Werkstück, so dass man immer von diesem Punkt aus programmieren müsste. Dies wären dann jedes Mal große und ungerade Zahlen, die unweigerlich zu Fehlern führen.
Um die Programmierung zu erleichtern, wird an beliebiger Stelle am Werkstück einer, ggf. mehrere Werkstücknullpunkt/e (G54 - G59) bestimmt. Dazu wird vom Programmierer z. B. an einer Kante des Werkstückes ein Nullpunkt festgelegt und der Abstand zum Maschinennullpunkt gemessen. Diesen Wert gibt man in die Steuerung als Nullpunktverschiebung ein, so dass man nur noch mit den Werten der Werkstückzeichnung programmieren muss. Beim Fräsen nimmt man vorzugsweise die Ecke links vorne, so dass X und Y jeweils in Plus-Richtung gehen und bei symmetrischen Werkstücken wird der Nullpunkt am besten in die Mitte gelegt. Der Z-Nullpunkt wird zur Sicherheit meistens auf die Oberkante des Fertigmaßes gelegt, so dass alle Bewegungen in das Werkstück hinein in Minus-Richtung gehen. Beim Ankratzen mit dem Fräser ist die Oberkante ebenfalls die Nullmarke und auch beim konventionellen Fräsen würde man hier den Ring mit der Maßskala auf Null stellen.
Es kann zwischen den Nullpunkten G54, G55, G56, G57, G58, G59 gewählt werden. Ältere Steuerungen bieten eventuell nur vier Nullpunkte G54 bis G57.
Zur Programmierung muss nur der Werkstück-Nullpunkt festgelegt werden, den der Programmierer frei wählen kann. Die tatsächlichen Verfahrwege sind vorerst unwichtig, denn die Werte für die Nullpunktverschiebung werden erst später an der Maschine bestimmt. Es sind dies die Abstände in X, Y und Z vom festen Maschinen-Nullpunkt zum Werkstücknullpunkt.
Nach Aufruf von G54 - G59 wird die jeweilige Nullpunktverschiebung automatisch verrechnet.

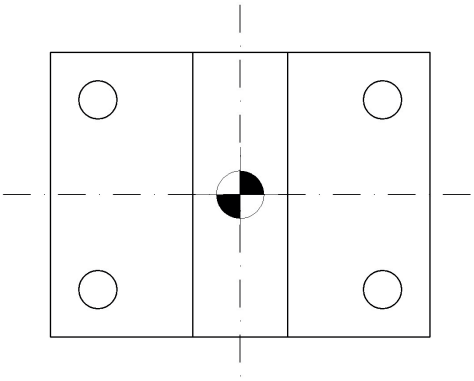


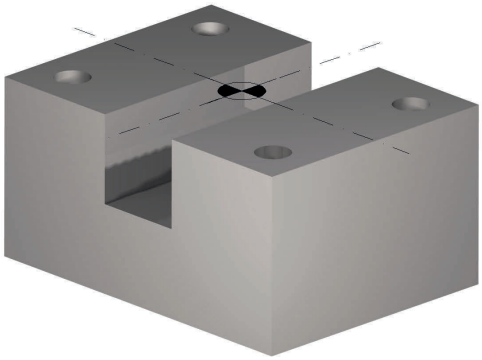
Standard-Nullpunkt links vorne auf der Oberkante an einem unsymmetrischen Werkstück. Alle X- und Y-Maße gehen in Plus-Richtung, alle Z-Maße in Minus-Richtung.



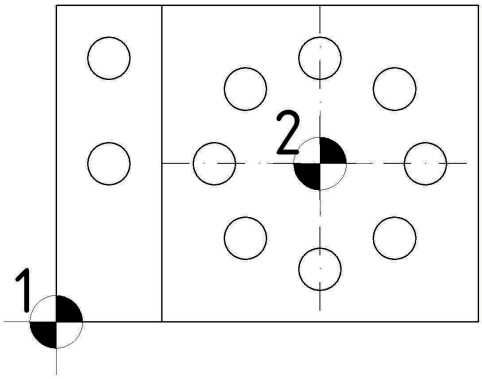


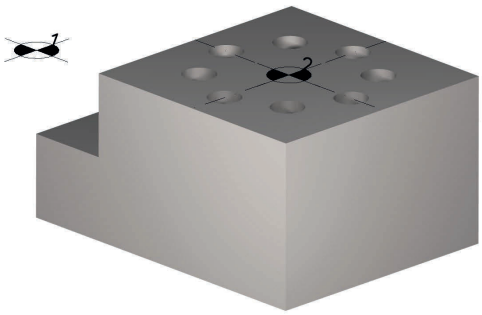
Nullpunkt Mitte vorne auf der Oberkante an einem Werkstück, welches in einer Achse symmetrisch ist. Die X-Werte sind links und rechts gleich, nur mit anderen Vorzeichen, alle Y-Maße gehen in Plus-Richtung, alle Z-Maße in Minus-Richtung.





Nullpunkt Mitte / Mitte auf der Oberkante an einem Werkstück, welches in zwei Achsen symmetrisch ist. Die X-Werte sind links und rechts gleich, nur mit anderen Vorzeichen, ebenso die Y-Maße oben und unten. Alle Z-Maße gehen in Minus-Richtung.





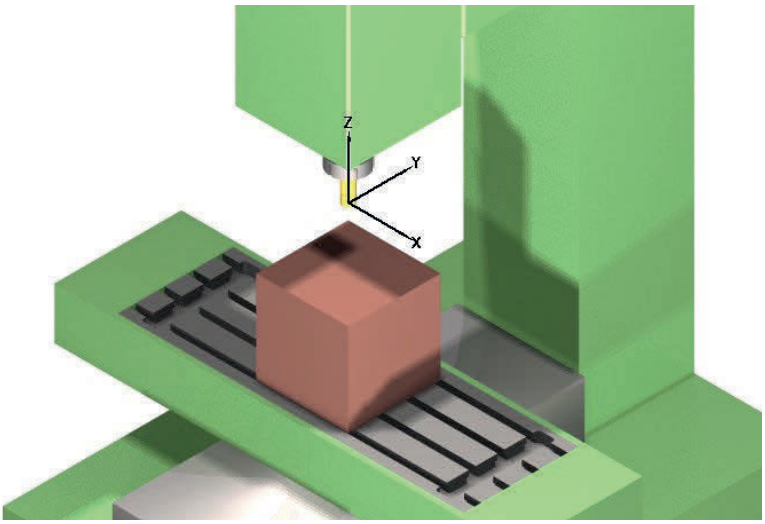
Hier wurden zwei Nullpunkte bestimmt. Der erste (z. B. G54) links vorne auf der Oberkante für die allgemeine Bearbeitung. Der zweite (z. B. G55) in der Mitte des Lochkreises, um dort mit den gleichen Werten zu arbeiten, wobei sich nur die Vorzeichen ändern. Bei beiden Nullpunkten gehen die Z-Maße in Minus-Richtung.

Anmerkung: In Einzelfällen kann es durchaus sinnvoll sein, den Z-Nullpunkt nach unten, auf die Auflagefläche zu setzen. Für das schulmäßige Programmieren empfiehlt sich vorläufig jedoch die Oberkante im Fertigmaß.

6.04 Fräsen – Erste Schritte

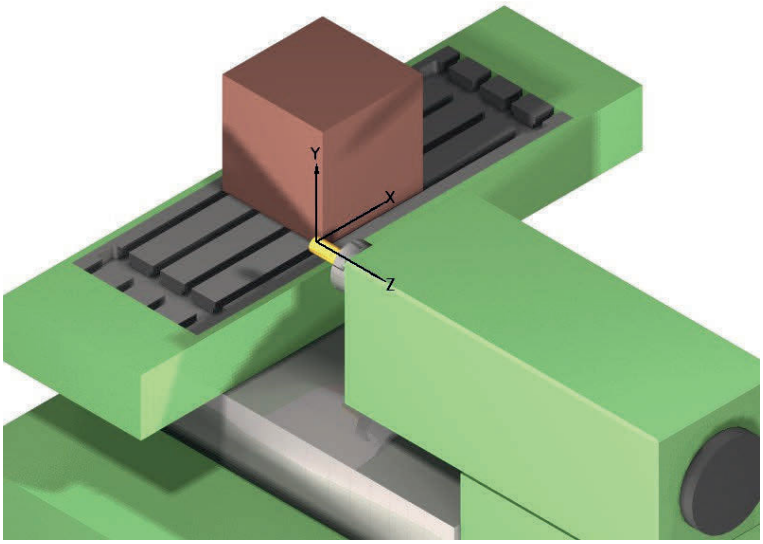
Die Koordinatensysteme gebräuchlicher CNC-Fräsmaschinen:

Senkrecht-Fräsmaschine
+X = Werkzeugbewegung nach rechts, -X = nach links
+Y = Werkzeugbewegung nach hinten, -Y = nach vorne
+Z = Werkzeug vom Teil weg, -Z = zum Teil



Vertikal-Fräsmaschine (Senkrecht-Fräsmaschine). Der Bediener steht vor der Maschine, um das Koordinatensystem zu erfassen.

Waagrecht-Fräsmaschine
+X = Werkzeugbewegung nach rechts, -X = nach links
+Y = Werkzeugbewegung nach oben, -Y = nach unten
+Z = Werkzeug vom Teil weg, -Z = zum Teil



Horizontal-Fräsmaschine (Waagrecht-Fräsmaschine). Hierbei steht der Bediener neben der Hauptspindel, um sein Koordinatensystem richtig zu erkennen.

Beim Umbau einer Universal-Fräsmaschine auf Horizontalbetrieb können sich die Achsbezeichnungen ändern.

Grundsatz

Es wird immer aus Sicht des Werkzeuges programmiert.
Man stelle sich vor, dass man selbst im Werkzeug sitzen würde, mit Blick zum Werkstück.
So wird auch die Drehrichtung rechtsdrehend (M03) oder linksdrehend (M04) bestimmt.

Beispiel: An der Fräsmaschine bewegt sich der Frästisch mit dem aufgespannten Teil nach links, die Werkzeugspindel steht, somit bewegt sich das Werkzeug relativ zum Werkstück gesehen nach rechts in +X-Richtung.
Wenn man einen Bleistift auf ein Blatt Papier stellt und anstatt den Bleistift zu bewegen das Papier zur Seite gezogen wird, ergibt sich der selbe Effekt.

Die Programmierung beim Fräsen und Bohren bezieht sich auf die Werkzeugspitze auf der Werkzeugachse in der Mitte.
Diese programmierte Bahn ist die Werkzeugmittelpunktsbahn.

Bild: Ausdrehwerkzeug, Spiralbohrer, Schaftfräser

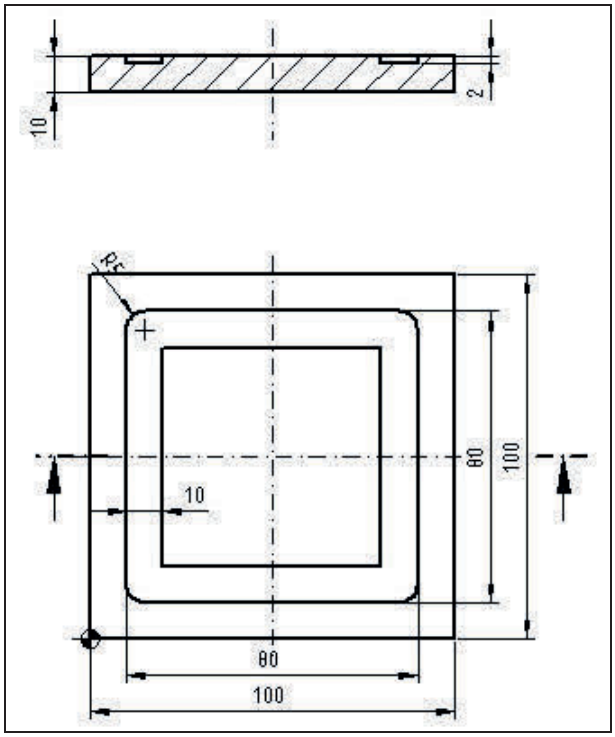
Die normale und bevorzugte Programmierung findet mit Absolutbemaßung G90 statt. Bei Absolutmaßen gehen alle Positionen vom Werkstück-Nullpunkt aus, der bei den beiden nachfolgenden Werkstücken links (X0) unten (Y0) auf die Oberkante des Werkstückes (Z0) gesetzt wurde.

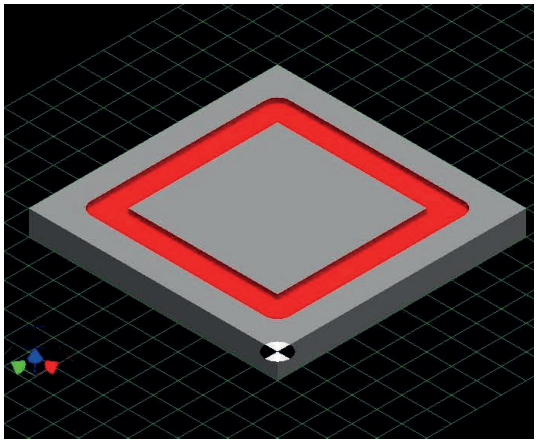
In manchen Fällen ist die Programmierung mit Inkrementalbemaßung /Relativbemaßung / Kettenbemaßung vorteilhaft (G91). Zum Beispiel bei wiederkehrenden Fräsbildern, welche als Unterprogramm an verschiedene Stellen verschoben werden oder bei einer Serie von gleichen Einstichen beim Drehen.

Programmierbeispiele

Anhand zweier einfacher Beispiele sollen hier erste Schritte in der Programmierung geübt werden.

Beispiel 1





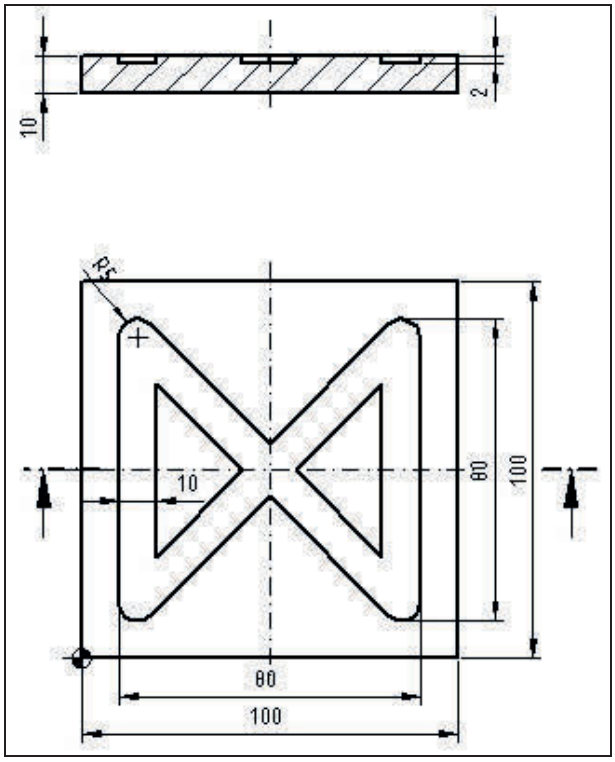
Material: 9 S 20 K (Automatenstahl), Flachmaterial 100 X 10 mm, auf Maß abgesägt
Werkzeug: Bohrnutenfräser HSS, Ø 10 mm
Arbeitsschritte: bei der linken unteren Ecke auf Tiefe zustellen, im Uhrzeigersinn die Nut ausfräsen, abheben und zum Werkzeugwechselpunkt fahren

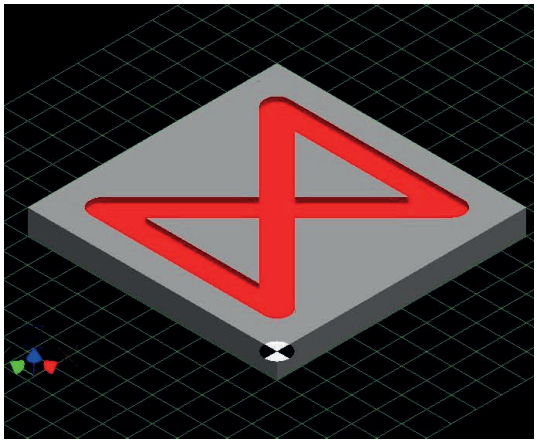
```
O0001
N0005 G17 G90 G40 G49
N0010 T1 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X15 Y15 M8
N0025 G43 Z2 H1
N0030 G1 Z-2 F100
N0035 Y85
N0040 X85
N0045 Y15
N0050 X15
N0055 G0 Z50 M9
N0060 M5
N0065 G28 G49
N0070 M30
```

Erläuterungen zu diesem ersten Programm:

O0001 = Programm-Nr. 1, das erste Zeichen ist der Buchstabe O, nicht 0 (Null)
N0005 = Satz- oder Zeilennummer 5
Dieser Satz dient zur Initialisierung (Setzen der Grundwerte) der Maschine
G17 = Anwahl der Bearbeitungsebene der X- und Y-Achse
G90 = Absolutprogrammierung, vom Nullpunkt (links unten) aus
G40 = Arbeiten ohne Radiuskorrektur, auf der Fräsermittelpunktsbahn
G49 = Abwahl (Nullsetzen) von Werkzeuglängen
N0010 = Satznummer 10
T1 = Werkzeug Nr. 1 vorbereiten (in Wartestellung bringen)
M6 = Werkzeug einwechseln
N0015 = Satznummer 15
S1500 = Spindeldrehzahl 1500 U/min
M3 = Spindeldrehrichtung rechts (für rechtsdrehende Werkzeuge)
N0020 = Satznummer 20
G0 = Bewegung im Eilgang (Höchstgeschwindigkeit)
G54 = Nullpunkt 1 (Ecke links unten Oberkante = G54) auswählen
X15 und Y 15 = mit beiden Achsen gleichzeitig nach X15 und Y15 fahren
M8 = Kühlmittel einschalten
N0025 = Satznummer 25
G43 = positive Werkzeuglänge einrechnen (hier: H1)
Z2 = mit Eilgang nach Z2 fahren (bis 2mm über dem Werkstück)
H1 = Werkzeugkorrekturnummer der Werkzeuglänge für G43
N0030 = Satznummer 30
G1 = Bewegung mit programmiertem Vorschub
Z-2 = mit Vorschub nach Z-2 fahren (2mm tief ins Werkstück)
F100 = Vorschubwert für G1 = 100mm/min
N0035 = Satznummer 35
Y85 = mit Vorschub nach Y85mm fahren (oben links)
N0040 = Satznummer 40
X85 = mit Vorschub nach X85mm fahren (oben rechts)
N0045 = Satznummer 45
Y15 = mit Vorschub nach Y15mm fahren (unten rechts)
N0050 = Satznummer 50
X15 = mit Vorschub nach X15mm fahren (unten links)
N0055 = Satznummer 55
G0 = Bewegung im Eilgang (Höchstgeschwindigkeit)
Z50 = mit Eilgang nach Z50 fahren (50mm über dem Werkstück)
M9 = Kühlmittel ausschalten
N0060 = Satznummer 60
M5 = Hauptspindel ausschalten
N0065 = Satznummer 65
G28 = mit Eilgang zum Referenzpunkt fahren
G49 = Abwahl (Nullsetzen) der aktuellen Werkzeuglänge
N0060 = Satznummer 60
M30 = Programmende

Beispiel 2





Material: 9 S 20 K (Automatenstahl), Flachmaterial 100 X 10 mm, auf Maß abgesägt
Werkzeug: Bohrnutenfräser HSS, Ø 10 mm
Arbeitsschritte: bei der linken unteren Ecke auf Tiefe zustellen, senkrecht nach oben fahren, Nut so ausfräsen, dass kein Weg doppelt gefahren wird, abheben und zum Werkzeugwechselpunkt fahren

```
O0002
N0005 G17 G90 G40 G49
N0010 T1 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X15 Y15 M8
N0025 G43 Z2 H1
N0030 G1 Z-2 F100
N0035 Y85
N0040 X85 Y15
N0045 Y85
N0050 X15 Y15
N0055 G0 Z50 M9
N0060 M5
N0065 G28 G49
N0070 M30
```

Wer beide Programme aufmerksam verglichen hat, dem fällt auf, dass bei rechtwinkligen Bewegungen nur ein Wert (entweder X oder Y) geschrieben wird. Der zweite Wert braucht nicht geschrieben zu werden, weil die Maschine ja schon auf der betreffenden Position steht. Bei schrägen Bewegungen, wie im zweiten Programmbeispiel, müssen natürlich beide Achsen angegeben werden.

Der nächste Schritt soll das Fahren mit Kettenmaßen (inkrementell) darstellen. Hierzu benutzen wir den Befehl G91 = Inkrementalbemaßung. Bei Kettenmaßen wird nur der Abstand zum nächsten Punkt eingegeben, unabhängig davon, wo der Werkstücknullpunkt liegt. Kettenmaße sind z. B. bei sich wiederholenden Anwendungen an unterschiedlichen Positionen von Vorteil. Ein Nachteil ist, dass man leicht die Orientierung verliert und nachher nicht mehr weiß, wo das Werkzeug eigentlich steht.
Nach dem Arbeiten mit Kettenmaßen darf nicht vergessen werden, das System mit G90 wieder auf Absolutbemaßung umzustellen.
Bei den beiden Beispielen kehrt der Fräser zum Schluss wieder zum Anfangspunkt zurück, so dass bei G91 die Summe aller X- und Y-Bewegungen jeweils 0 sein muss. Man kann leicht die Probe machen, indem man die Werte untereinander in Spalten schreibt und überprüft, ob die Summe 0 ist. Nachfolgend wird nur das Fräsbild von N35 bis N50 mit G91 programmiert, die Bewegung zum Anfangspunkt X und Y, sowie die Z-Bewegungen werden weiterhin absolut angefahren.

```
O0001 (Kettenmaße Beispiel 1 Quadrat)
N0005 G17 G90 G40 G49 (G90 = Absolutbemaßung)
N0010 T1 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X15 Y15 M8
N0025 G43 Z2 H1
N0030 G1 Z-2 F100

N0035 G91      Y 70 (Anfang der Kettenbemaßung)
N0040     X 70
N0045          Y-70
N0050     X-70
(Probe:      X=0   Y=0   Summe X = 0, Summe Y = 0)

N0055 G90 G0 Z50 M9 (Rückkehr zur Absolutbemaßung)
N0060 M5
N0065 G28 G49
N0070 M30



O0002 (Kettenmaße Beispiel 2 Fräsbild)
N0005 G17 G90 G40 G49
N0010 T1 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X15 Y15 M8
N0025 G43 Z2 H1
N0030 G1 Z-2 F100

N0035 G91      Y 70 (Anfang der Kettenbemaßung)
N0040     X 70 Y-70
N0045          Y 70
N0050     X-70 Y-70
(Probe:      X=0   Y=0   Summe X = 0, Summe Y = 0)

N0055 G90 G0 Z50 M9 (Rückkehr zur Absolutbemaßung)
N0060 M5
N0065 G28 G49
N0070 M30
```

Für den Anfang empfiehlt es sich, ein vorgedrucktes Programmierblatt zu benutzen, um beim manuellen Programmieren nichts zu vergessen.
Das Programmierblatt Fräsen (Querformat) kann im Anhang heruntergeladen werden.

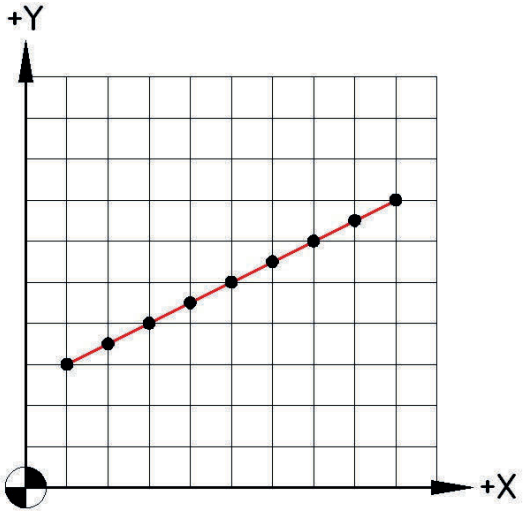
Programmierblatt Fräsen

Programm-Nr.	Bezeichnung	Datum	Programmierer	Blatt-Nr.

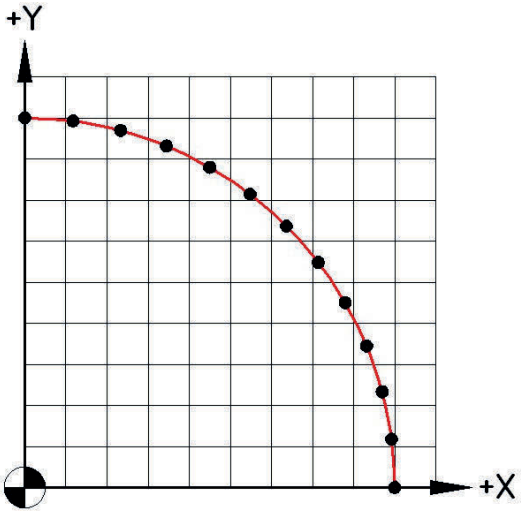
N	G	X	Y	Z	I	J	K	F	S	T/H/D	M

6.05 Kreisprogrammierung

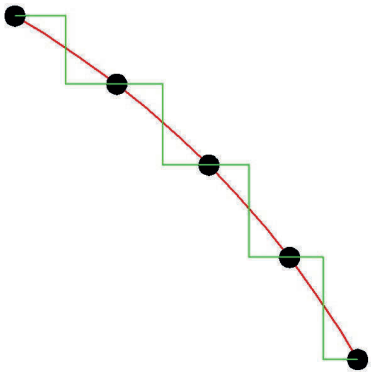
Zuerst einige Worte zur **Interpolation**:
Wenn eine mathematische Formel grafisch als Punkte dargestellt wird, die zu einer (angenäherten) Geraden oder Kurve verbunden werden, dann ist dies eine Interpolation im Sinne der CNC-Technik. Jede Gerade, jeder Kreis und andere mathematische Grundgebilde wie Parabel, Hyperbel, usw. werden üblicherweise durch eine Formel definiert. Man kann zu einer Reihe vorher bestimmter X-Werte die zugehörigen Y-Werte nach der Formel ausrechnen (Wertetabelle) und in ein Schaubild eintragen und danach die Punkte in der richtigen Reihenfolge untereinander verbinden. Dadurch erhält man ein Schaubild (Graph) der betreffenden Formel.

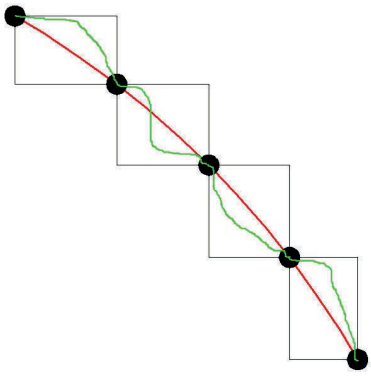


Geraden-Interpolation
mit Ideallinie (rot)



Kreis-Interpolation
mit Ideallinie

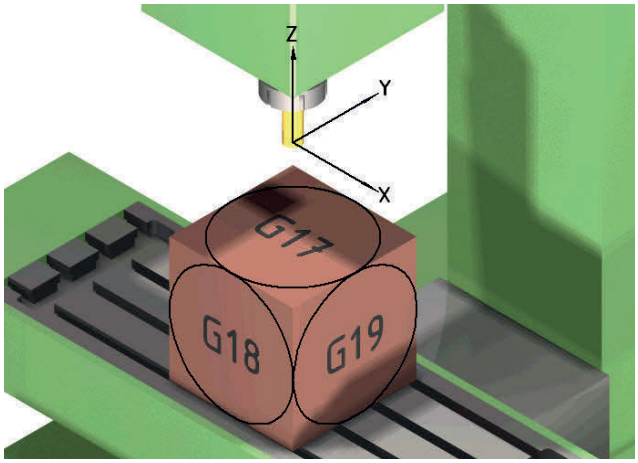




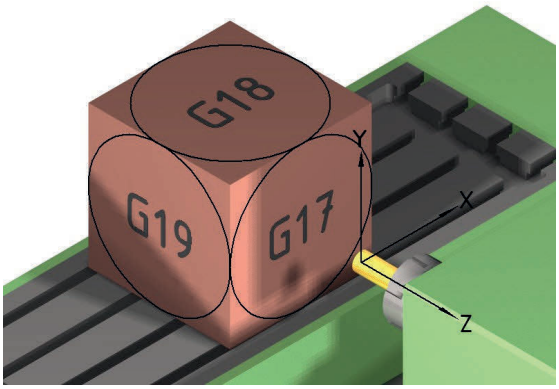
Die Berechnung der Interpolation erfolgt in Stufen, je nach Auflösung in 1/1000 oder 1/100mm-Schritten, so dass dies oft als Treppe dargestellt wird, wie im linken Bild.
In Wirklichkeit wird jedoch nie die rote Ideallinie, sondern eine beliebige Kurve innerhalb des überwachten Toleranzbereiches der Maschine gefahren. Dies ist von vielen Faktoren abhängig, wie vom Spiel der Achsantriebsspindeln, welche Achse schwergängiger ist, welcher Achsantrieb zuerst anspricht, usw.

Grundsätzliches zur CNC-Kreisprogrammierung nach DIN / ISO:

Die gewünschte Arbeitsebene G17, G18, G19 muss vorher definiert sein. Wird benötigt zur Festlegung der Ebene der Kreisbewegung sowie zur Orientierung des Fräserradius beim Arbeiten mit Fräserradiuskorrektur.



Arbeitsebenen Senkrechtfräsmaschine

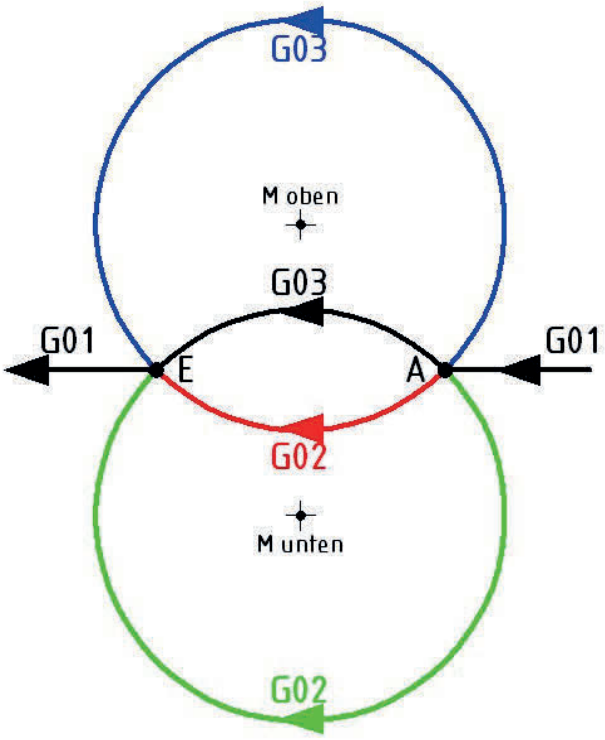


Arbeitsebenen Waagrechtfräsmaschine

Vor dem Satz mit dem Kreisbefehl muss zuerst der Anfangspunkt des Kreises angefahren sein.
Der Kreisbogen wird je nach Drehrichtung mit G02 oder G03 bestimmt, dazu werden im selben Satz (Zeile) der Endpunkt und die Interpolationsparameter oder der Radius definiert, um den Kreisbogen auszuführen.
Wenn im nächsten Satz eine Gerade gefahren werden soll, nicht vergessen, G01 oder G00 zu schreiben.

Bei der Programmierung eines Vollkreises (ganzer Kreis, 360 Grad) kann es bei sehr alten Steuerungen vorkommen, dass dies nicht funktioniert. Eigentlich logisch, denn der Anfangspunkt ist gleich dem Endpunkt, das heißt: keine Bewegung.
Die heutigen Steuerungen führen natürlich den gewünschten Vollkreis aus.

Wer mit einer Billig- oder Uralt-Steuerung arbeiten muss, kann sich so behelfen:
Erste Möglichkeit: vier Viertelkreise oder zwei Halbkreise programmieren. Allerdings entstehen dabei weitere Freischneidmarken am Übergang der Teilkreise.
Zweite Möglichkeit: den Endpunkt nicht exakt programmieren, sondern in einer Achse z. B. 1 bis 2 tausendstel mm (abhängig von der Eingabefeinheit der Steuerung) vorher anhalten. Idealerweise in der Achse, wo die letzte Hauptfahrtrichtung zum Endpunkt erfolgt. Also: wenn Endpunkt oben oder unten, dann Abweichung in X-Achse, wenn Endpunkt links oder rechts, dann Abweichung in der Y-Achse eingeben. Der Differenzwert darf nur nicht größer sein als die Kreisendpunktüberwachung in den Maschinendaten (meistens 0,01 bis 0,02 mm). Diese minimale Abweichung ist am Werkstück normalerweise nicht sichtbar.



Um einen Kreisbogen mit bekanntem Radius vom Anfangspunkt **A** zum Endpunkt **E** zu programmieren, wären hier immerhin vier Möglichkeiten denkbar.

Es müssen dazu noch die Bewegungsrichtung des Kreisbogens angegeben und sein Mittelpunkt oder Radius bestimmt werden.

Zum Beispiel müssen wir bei dem schwarzen Kreisbogen G3 angeben und die Interpolationsparameter vom Anfangspunkt des Kreises zum unteren Kreismittelpunkt. angeben.
Bei vielen Steuerungen kann anstatt der Interpolationsparameter auch der Radius angegeben werden.

Vergleich der Programmierung mit Interpolationsparametern oder mit Radius

Die Kreisprogrammierung mit Hilfe der Interpolationsparameter ist die ursprüngliche und bei alten Steuerungen die einzige Möglichkeit, eine Kreisbewegung zu programmieren. Die Interpolationsparameter sind jeweils der Abstand vom Anfangspunkt des Kreises zum Kreismittelpunkt und zwar I in X-Richtung, J in Y-Richtung, K in Z-Richtung. Dafür entfällt die Angabe des Radius. Wenn in G17-Ebene (also in X- und Y-Achse) gearbeitet wird, dann gelten I und J. Beim Drehen mit der X- und Z-Achse werden I und K verwendet. Es ist oft lästig, diese Abstände auszurechnen und sehr häufig wird das Vorzeichen von I, J und K falsch gesetzt, was manchen schon zur Verzweiflung gebracht hat.
Merke: I, J und K sind die Werte **vom** Anfangspunkt **zum** Kreismittelpunkt.
Damit wird auch das Vorzeichen definiert.

Im o. a. Beispiel sind I und J für den schwarzen Kreisbogen beide negativ (vom Punkt A zum Mittelpunkt unten). Wenn der blaue Kreisbogen gefahren werden soll, dann wäre I weiterhin negativ, aber J positiv, denn dann beziehen wir uns ja auf den Mittelpunkt des oberen Kreises.
Vorteile der (umständlichen) Programmierung mit I, J und K:

1. funktioniert gewöhnlich auf jeder Maschine
2. in den Maschinendaten wird eine Toleranz für die Kreisendpunktüberwachung eingegeben und so werden unzulässige Abweichungen sofort erkannt.
   Wer es genau wissen will: Mit Anfangspunkt, Endpunkt und nur einem der beiden Interpolationsparameter wäre ein Kreis schon auszurechnen.
   Durch den zweiten Interpolationsparameter ist der Kreis mathematisch „überbestimmt“. Deshalb ist die Kontrolle möglich.

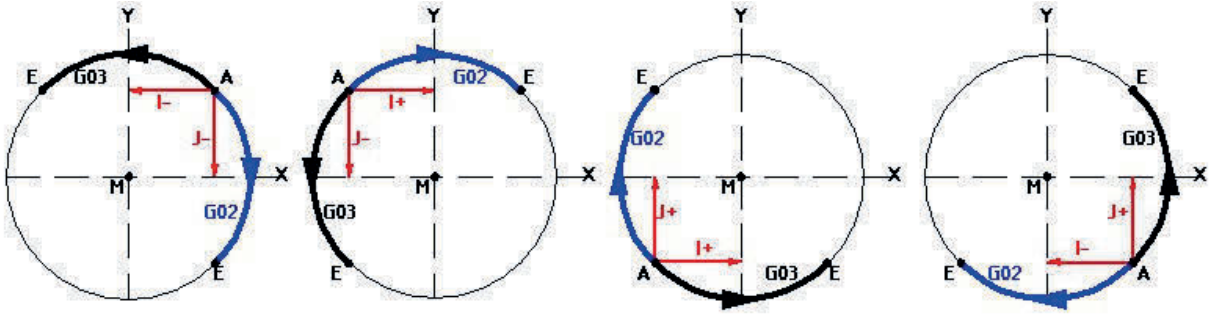
Bei der Kreisprogrammierung mit Radiusangabe entfällt die Angabe von I, J und K. Dafür wird der Radius angegeben und zwar als R für Kreisbögen bis 180 Grad (Halbkreis), für Kreisbögen über 180 Grad wird R negativ angegeben (R-...). Der schwarze und rote Bogen wird somit mit R... definiert, der blaue und grüne mit R-...

Nachteile der (einfacheren) Programmierung mit R und R-:

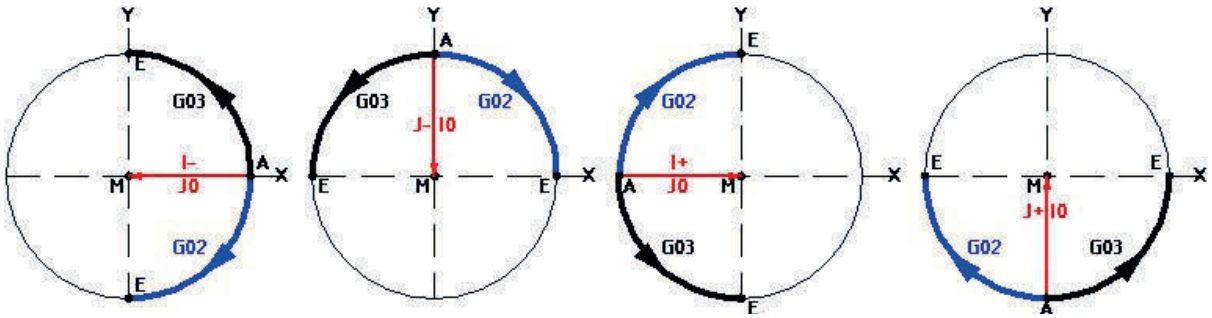
1. Geht nicht bei jeder Steuerung
2. Keine Fehlererkennung möglich
3. Keine Vollkreisprogrammierung möglich

Programmierung der oben abgebildeten Kreisbögen:

Mit I und J		Mit R und R-
-Schwarzer Kreisbogen		
G1 X... Y...	Anfangspunkt A	**G1 X... Y...**
G3 X… Y… I-… J-…	Endpunkt E	**G3 X… Y… R…**
-Blauer Kreisbogen		
G1 X... Y...		**G1 X... Y...**
G3 X… Y… I-… J…		**G3 X… Y… R-...**
-Roter Kreisbogen		
G1 X... Y...		**G1 X... Y...**
G2 X… Y… I-… J…		**G2 X… Y… R…**
-Grüner Kreisbogen		
G1 X... Y...		**G1 X... Y...**
G2 X… Y… I-… J-…		**G2 X… Y… R-…**



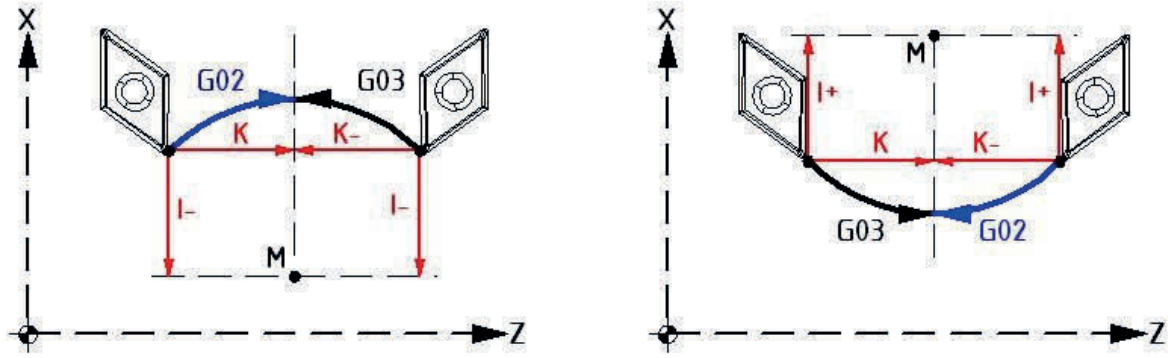
Die Vorzeichen von I und J in Abhängigkeit von der Lage des Anfangspunktes in der XY-Ebene (G17).



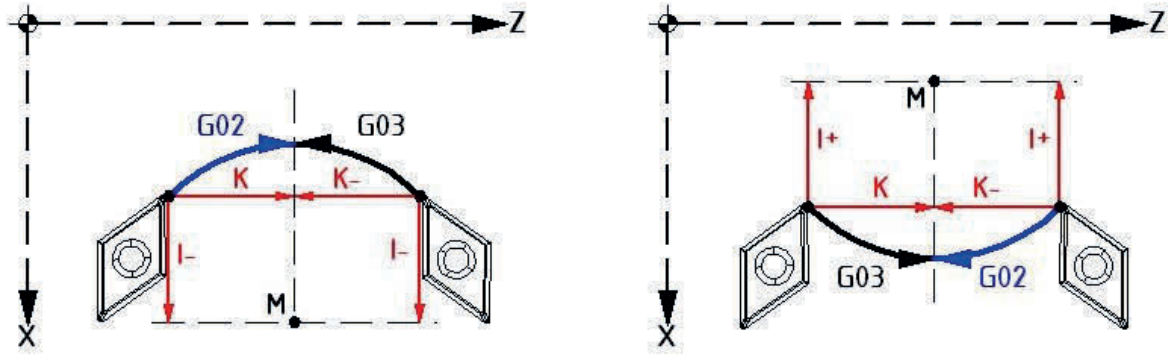
Sonderfälle: wenn in X oder Y kein Versatz ist, dann bekommen I oder J den Wert Null

Bei den anderen Ebenen G18 (X, Z) und G 19 (Y, Z) verhält es sich mit I und K oder J und K dementsprechend. Die Ebene kann wechseln, wenn Kreisbögen in die Höhe oder Tiefe ausgeführt werden oder wenn eine Universalfräsmaschine von Horizontal- auf Vertikalbetrieb umgebaut wird.

Bei Drehmaschinen wird gewöhnlich nur die G18-Ebene (X,Z) verwendet.



Kreisbögen bei Drehmaschinen mit Bearbeitung hinter der Mitte (Normalfall)

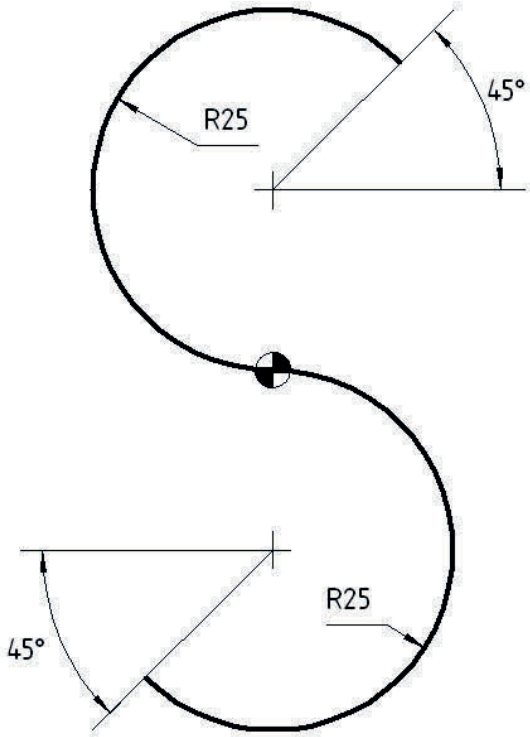


Kreisbögen bei Drehmaschinen mit Bearbeitung vor der Mitte

Hinweis: bei manchen Steuerungen ist die Angabe der Mittelpunktsparameter auch absolut auf den Nullpunkt bezogen möglich oder sogar vorgeschrieben. Die Werte für I, J und K werden dann durch den Abstand vom Werkstück-Nullpunkt zum Kreismittelpunkt ersetzt. Dazu müssen eventuell andere G-Befehle benutzt, oder die Interpolationsparameter durch neue Bezeichnungen ersetzt werden.

Anmerkung:
Zur besseren Übersicht und um Fehler zu vermeiden, sollte man die Sätze mit Kreisbewegungen immer vollständig ausschreiben (schulmäßiges Programmieren).
Also: immer X, Y, evtl. Z und die I, J, evtl. K schreiben, auch wenn die Werte 0 sind oder von einer vorigen Bewegung schon anstehen, siehe nachfolgende Beispiele.

Programmierübung



Hier eine S-Kurve als Übung zur Kreisprogrammierung in der G17-Ebene (X und Y).

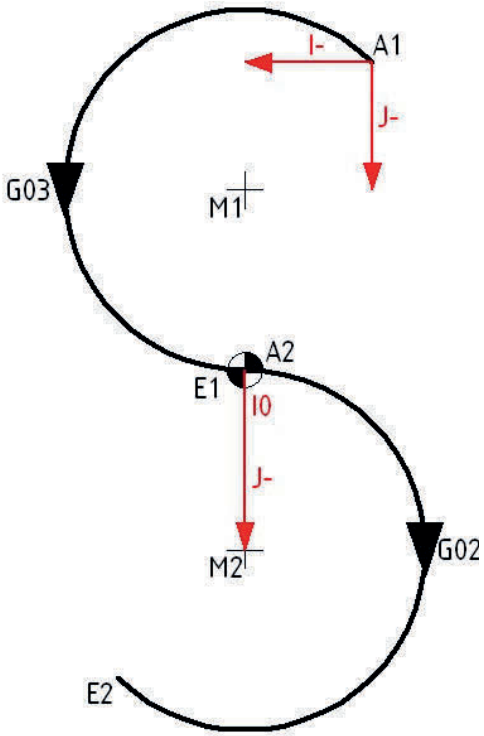
Der Nullpunkt sitzt in der Mitte der Kurve.

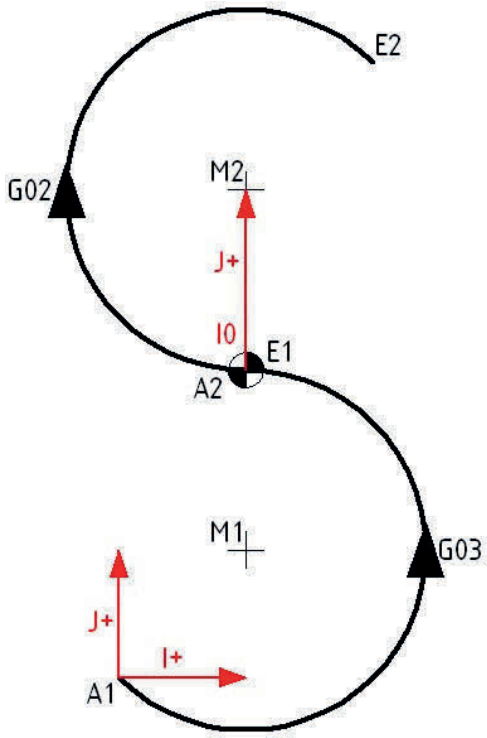
Zuerst errechnen wir alle relevanten Punkte:

Anfangspunkt oben X=17,678, Y=42,678
Mittelpunkt oberer Kreis X=0, Y=25
Übergang oberer in unteren Kreis X=0, Y=0
Mittelpunkt unterer Kreis X=0, Y=-25
Endpunkt unten X=-17,678, Y=-42,678

Kurve von oben nach unten graviert:

```
%
:0001
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T1 M6
N0015 S3500 M3
N0020 G0 G54 X17.678 Y42.678 M8
N0025 G43 Z2 H1
N0030 G1 Z-0.5 F150
N0035 G3 X0 Y0 I-17.678 J-17.678
N0040 G2 X-17.678 Y-42.678 I0 J-25
N0045 G0 Z50 M9
N0050 M5
N0055 G28 G49
N0060 M30
%

oder:
N0035 G3 X0 Y0 R-25
N0040 G2 X-17.678 Y-42.678 R-25
```



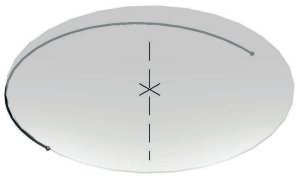


Kurve von unten nach oben graviert

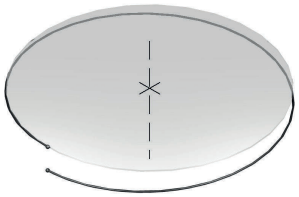
```
%
:0003
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T1 M6
N0015 S3500 M3
N0020 G0 G54 X-17.678 Y-42.678 M8
N0025 G43 Z2 H1
N0030 G1 Z-0.5 F150
N0035 G3 X0 Y0 I17.678 J17.678
N0040 G2 X17.678 Y42.678 I0 J25
N0045 G0 Z50 M9
N0050 M5
N0055 G28 G49
N0060 M30
%

oder:
N0035 G3 X0 Y0 R-25
N0040 G2 X17.678 Y42.678 R-25
```

Helix-Programmierung

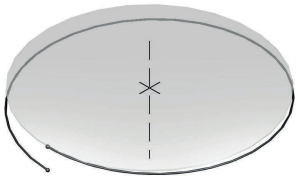
Bei 3D-Steuerungen kann auch eine Schraubenlinie (Helix) programmiert werden.
Zu den X- und Y- Werten für den Kreisendpunkt kommt noch zusätzlich ein Z-Wert, welcher bewirkt, dass während der Kreisbewegung in X und Y eine Zu- oder Abnahme der Z-Tiefe erfolgt, was eine Schraubenlinie erzeugt (Helix-Interpolation).
Dies kann z. B. beim Gewindefräsen verwendet werden (auch für mehrgängige Gewinde).



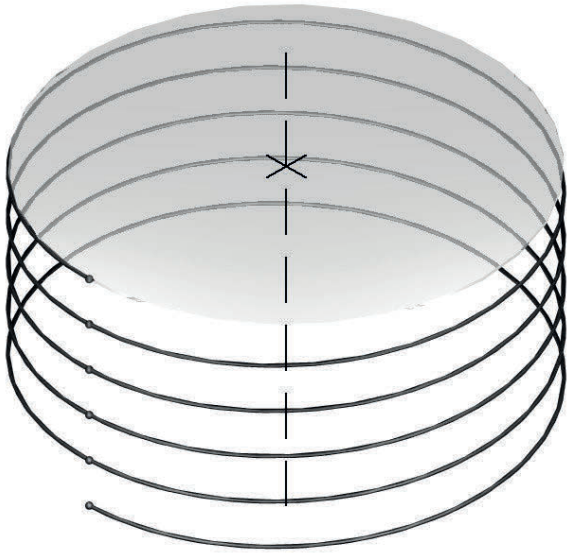
Halbkreis nach unten rechtsdrehend oder nach oben linksdrehend



Vollkreis nach unten rechtsdrehend oder nach oben linksdrehend



Vollkreis nach unten linksdrehend oder nach oben rechtsdrehend

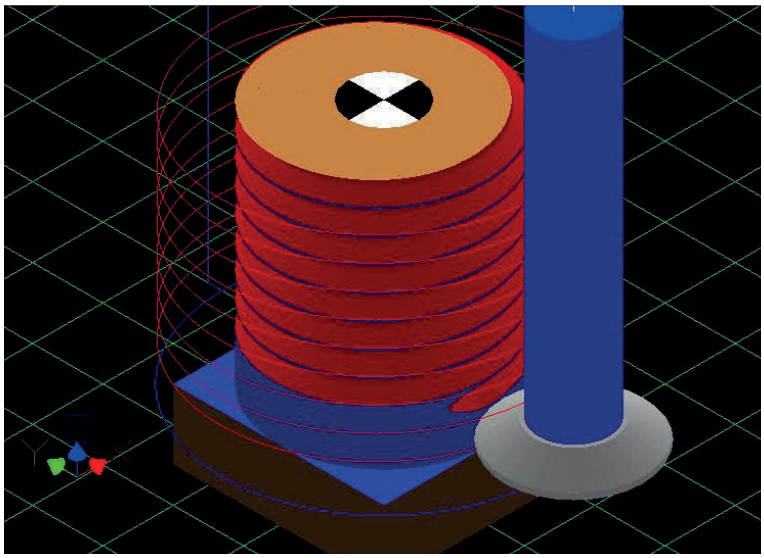


Mehrfach-Helix mit 5 Windungen

Einige Steuerungen ermöglichen die Definition der Anzahl der Windungen mittels eines zusätzlichen Parameters im Programmsatz.
Andere Steuerungen benutzen Z als Gesamttiefe und K als Steigung.

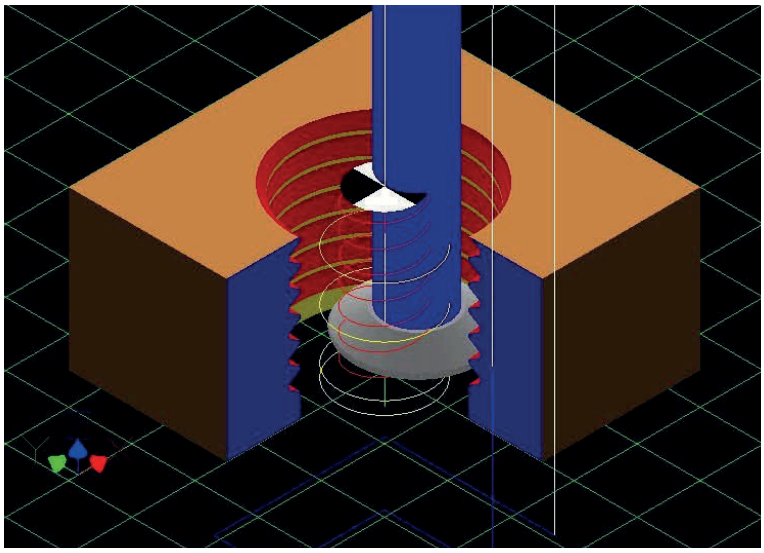
Wer dies nicht hat, programmiert eine Windung mit G91 (Kettenmaß), legt diese in einem Unterprogramm ab und ruft dann das Unterprogramm beliebig oft auf.

Die nachstehenden Beispiele wurden auf die selbe Weise für die CNC-Steuerung Fanuc 6M erstellt.



Fräsen eines Außengewindes an einem Zapfen.
Zur besseren Übersicht wurde hier nur die entscheidende Gewindebearbeitung aufgelistet.
In diesem Beispiel wird ohne Fräserradiuskorrektur gearbeitet.

```
%
:0010
N1005 G17 G90 G94 G40 G49 G21
N1010 T4 M6
.
Bolzen Ø 30 fertigen
.
N1065 T7 M6
N1070 S2500 M3
N1075 G0 X0 Y-27
N1080 G43 Z2 H7
N1085 G1 Z0 F100
(Bolzenradius + WKZ-Radius - P*0,613)
(15 + 10 - 2,147 = 22,853)
N1090 Y-22.853
N1095 M98 L9 P1001
N1100 G1 Y-27
N1105 G0 Z50
N1110 M5
N1115 G28 G49
N1120 M30
%
%
:1001
N1125 G91
N1130 G2 X0 Y0 Z-3.5 I0 J22.853
N1135 G90
N1140 M99
%

Anmerkung: p*0,613 = Gewindetiefe des Bolzengewindes
```



Fräsen eines Innengewindes in einer Bohrung.
Die vorhergehenden Bearbeitungsschritte wurden ebenfalls weggelassen.
Auch hier wurde keine Fräserradiuskorrektur benutzt.

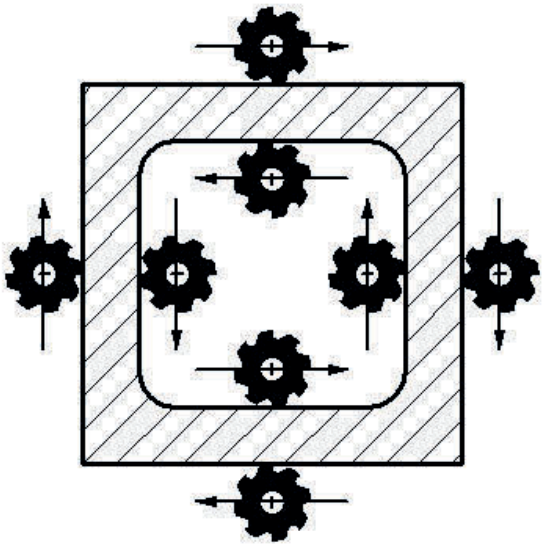
Das Bild zeigt die Bearbeitung in der CNC-Simulation CNCezPRO.

```
%
:0030
N1005 G17 G90 G94 G40 G49 G21
N1010 T1 M6
.
Kernloch Ø 26,5 fertigen
.
N1210 T7 M6
N1215 S2500 M3
N1220 G0 X0 Y0
N1225 G43 Z2 H7
N1230 G1 Z0 F100
(Kernlochradius - WKZ-Radius + P*0,541)
(13,25 - 10 + 1,895 = 5,145)
N1235 X5.145
N1240 M98 L8 P3001
N1245 G1 X0 Y0
N1250 G0 Z50
N1255 M5
N1260 G28 G49
N1265 M30
%
%
:3001
N1270 G91
N1275 G2 X0 Y0 Z-3.5 I-5.145 J0
N1280 G90
N1285 M99
%


Anmerkung: p*0,541 = Gewindetiefe des Muttergewindes
```

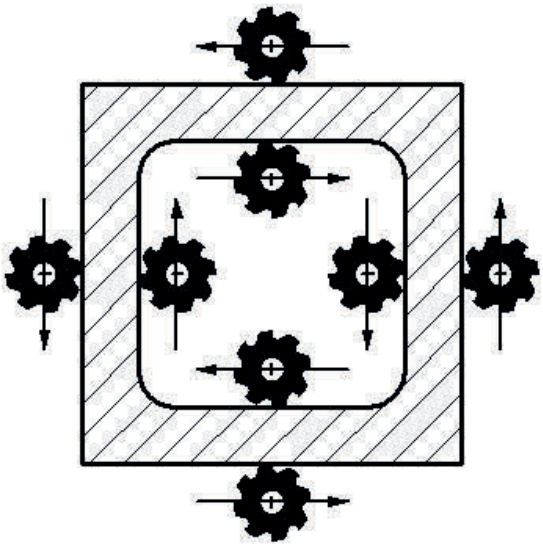
6.06 Fräser-/Schneidenradiuskorrektur

Die Fräser-/Schneidenradiuskorrektur bietet den Vorteil, dass die Kontur des Werkstückes mit den Zeichnungsmaßen programmiert werden kann.
Die Steuerung verrechnet automatisch den Fräserversatz, bzw. den Versatz der Drehmeißelschneide.
Dabei wird die Mitte des Werkzeugradius an jedem Punkt bei der Geraden- oder Kreisinterpolation rechtwinklig zur Kontur versetzt.
Der Fräserradius, bzw. der Radius des Drehmeißels werden im Werkzeugkorrektur-speicher abgelegt.
Bei Veränderungen des Werkzeuges, z.B.: bei Abnutzung oder Austausch, wird lediglich der Werkzeugkorrekturwert geändert, das NC-Programm bleibt in seiner ursprünglichen Fassung bestehen.

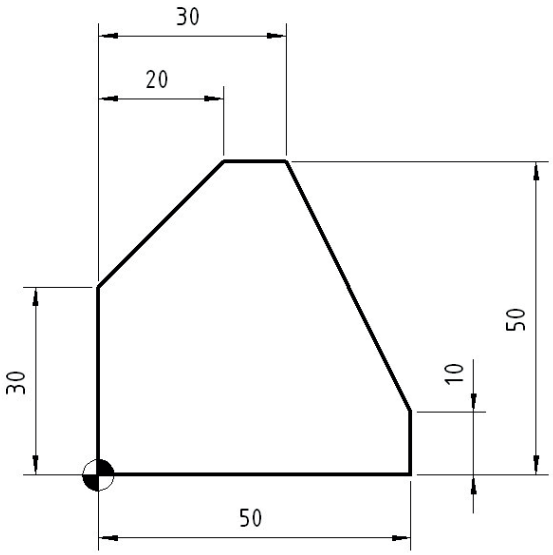
Werkzeugkorrekturen bei einer Fräsmaschine:
1. Werkzeugnummer anwählen
2. Werkzeuglänge = Weg von der Spindelnase bis Werkzeugspitze, Verrechnung erfolgt im Programm mit G43 oder G44 und H.
   (H = Werkzeuglängenkorrekturnummer), Abwahl mit G49
3. Werkzeugradius, Verrechnung im Programm mit G41 oder G42 und D..
   (D = Werkzeugradiuskorrekturnummer), Abwahl mit G40

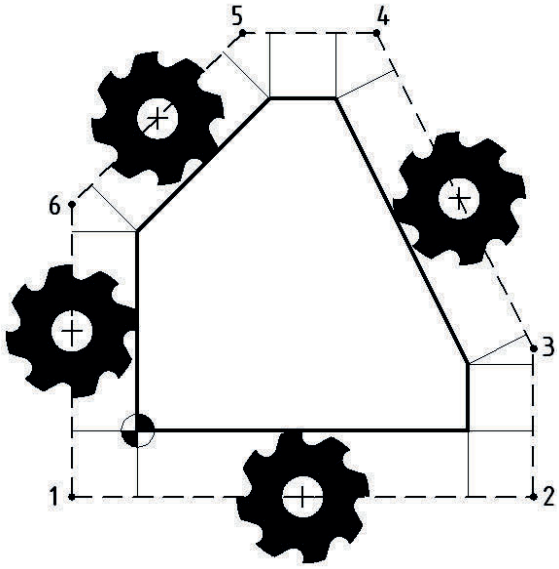


G41 Radiuskorrektur links der Kontur in Fahrtrichtung gesehen



G42 Radiuskorrektur rechts der Kontur in Fahrtrichtung gesehen





Die Radiuskorrektur rechnet automatisch die Stützpunkte für die Fräsermittelpunksbahn aus (Punkte 1 bis 6). Diese Bahn nennt man Äquidistante. Das Werkzeug fährt im gleichbleibenden Abstand um die Kontur herum.

Beim Fräsen gibt es zwei Typen von Radiuskorrekturen. Beide arbeiten während des Abfahrens einer Kontur gleich. Jedoch beim An- und Abwählen (An- und Abfahren oder An- und Abkompensieren) verhalten sie sich unterschiedlich, was vom Programmierer berücksichtigt werden muss.
Manche Steuerungen können beide Typen verarbeiten, dies kann in den Maschinendaten vorgewählt werden.

Typ A stellt sich beim Anwählen (G41 oder G42) senkrecht zur ersten Konturlinie auf deren Anfangspunkt.
Vor dem Abwählen (G40) wird die letzte Konturlinie bis zu ihrem Endpunkt abgefahren. Von dort aus wird die gewählte G40-Position angefahren.

Typ B stellt sich beim Anwählen (G41 oder G42) senkrecht auf die erste Konturlinie, jedoch um den Fräserradius in Fahrtrichtung versetzt, um eine evtl. Konturbeschädigung auf der anderen Seite zu vermeiden.
Vor dem Abwählen (G40) wird die letzte Konturlinie nicht bis zu ihrem Endpunkt abgefahren, sondern bleibt vorher – um den Fräserradius versetzt- stehen und fährt von dort aus auf die gewählte G40-Position. Auch hier wieder zur Schonung einer sich evtl. anschließenden Kontur.
Um den Anfangs- und Endpunkt einer Kontur zu erreichen muss beim Typ B jeweils ein zusätzlicher Anfahrts- und Abfahrtsweg programmiert werden, der mindestens dem Fräserradius entspricht.

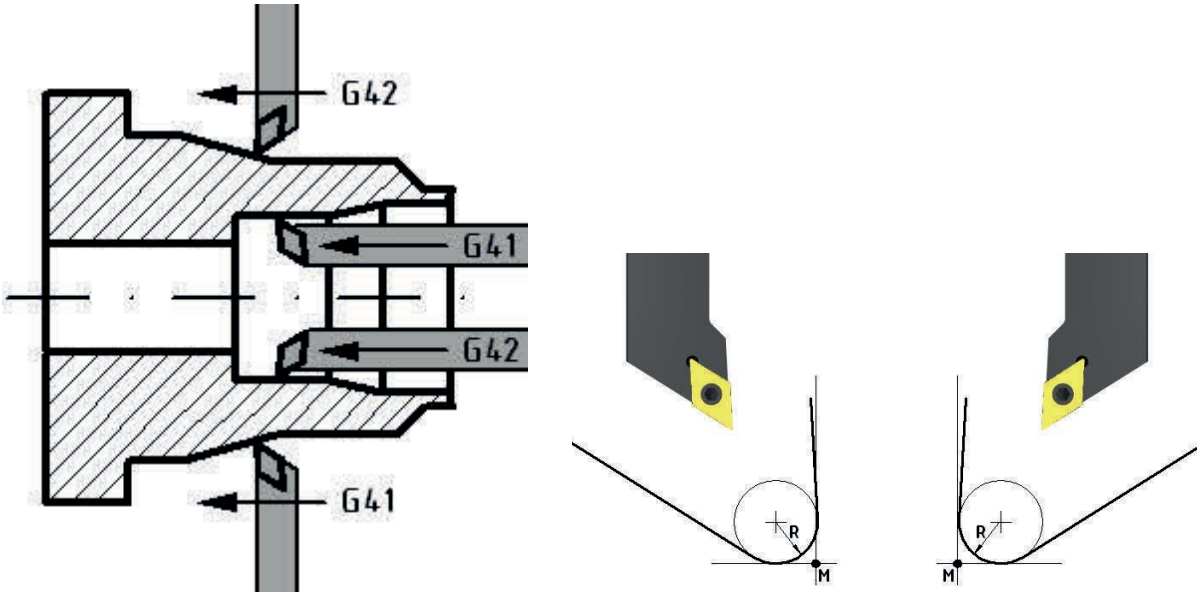
Beide Typen haben ihre Berechtigung, z. B. aus Platzgründen. Im Allgemeinen wird der Typ A bevorzugt, welcher auch in diesem Buch verwendet wird.

Weitere Erklärungen und Beispiele zu den Unterschieden anschließend in den folgenden Unterkapiteln zur Radiuskorrektur.

Beim Drehen spielt der Unterschied keine große Rolle, da auf Grund der kleinen Schneidenradien keine Platzprobleme auftreten dürften und beim empfohlenen An- und Abwählen zum oder vom Werkstück von mindestens 2 mal Schneidenradius ist beiden Systemen Genüge getan.

Werkzeugkorrekturen bei einer Drehmaschine:

1. Werkzeugnummer anwählen
2. X-Versatz = Weg von Mitte Aufnahmeschaft bis Werkzeugspitze,
   X-Wert = Durchmesserwert
3. Z-Versatz = Weg von Planfläche Revolver bis Werkzeugspitze
4. Lage der Drehmeißelschneide (Quadrant)
5. Schneidenradius, Verrechnung im Programm G41 und G42, evtl. mit G46, Abwahl mit G40



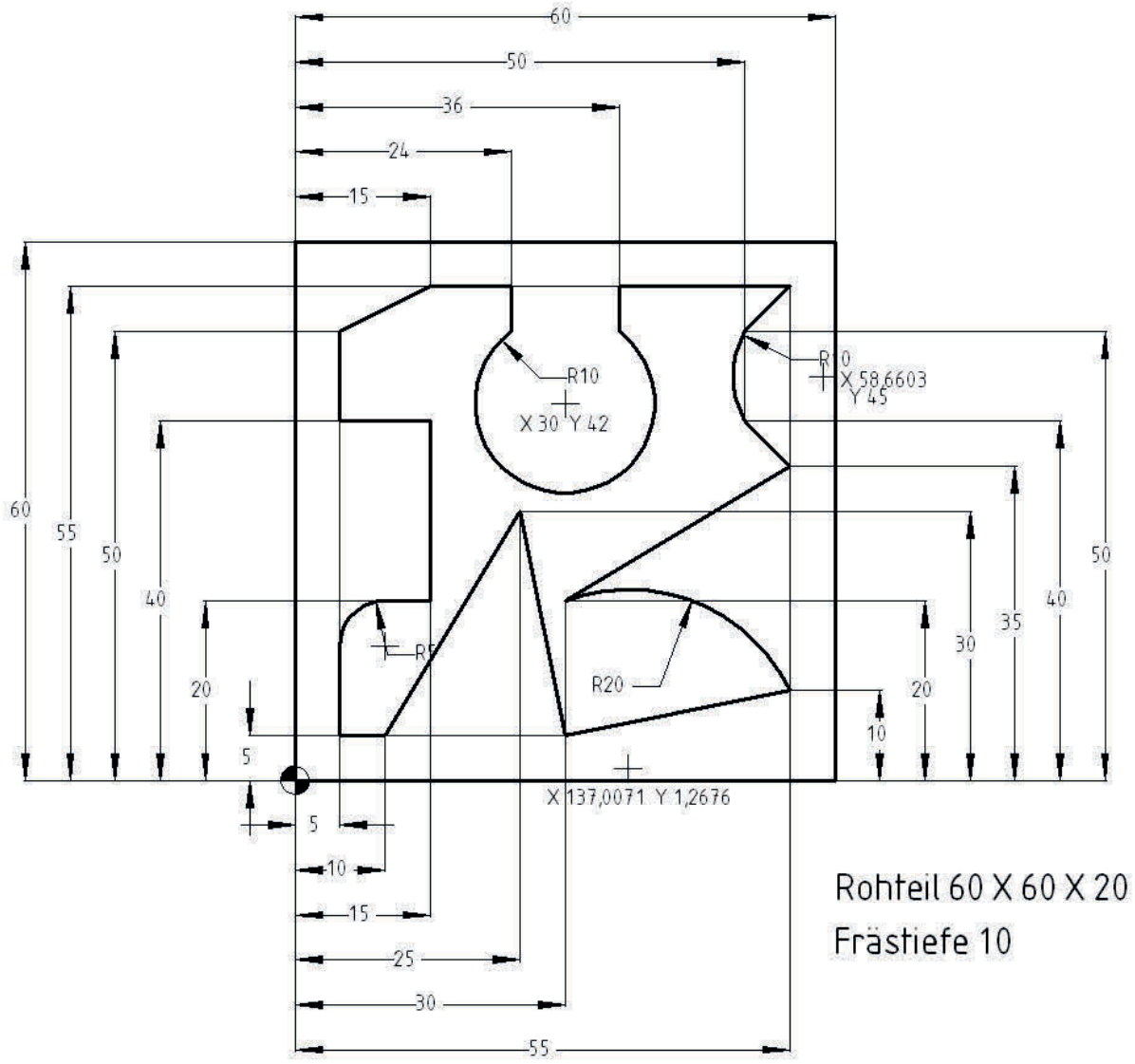
Im linken Bild die Lage der Drehmeißel G41 / G42 zur Fahrtrichtung. Auf dem rechten Bild ist zu sehen, dass der Messpunkt M außerhalb des Radius der Drehmeißelschneide liegt. Auch hier hilft die Schneidenradiuskompensation, dass keine Konturfehler auftreten. Es wird dann, wie beim Fräsen, eine Äquidistante zum Radiusmittelpunkt errechnet.

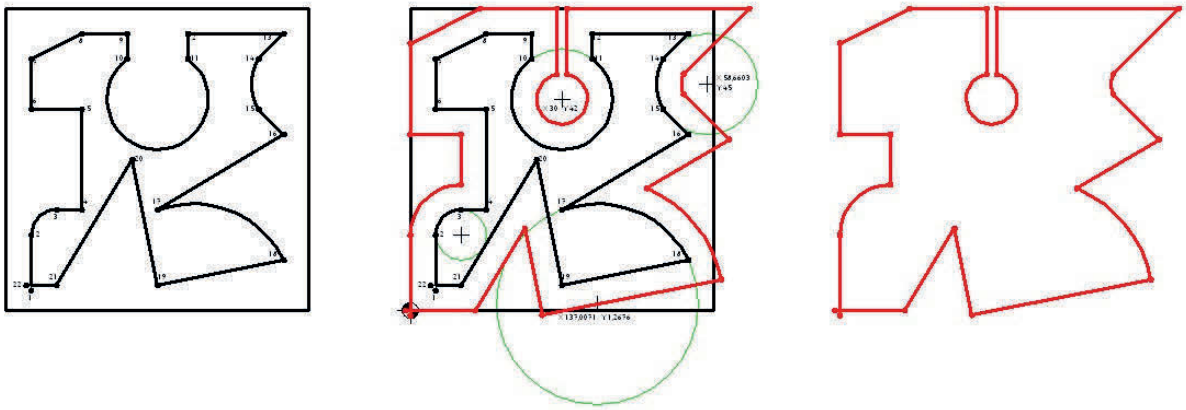
Ausführlichere Informationen im Kapitel: „Programmieren Drehen“, Unterkapitel: „Schneidenradius…“.

6.07 Fräsen ohne Radiuskorrektur

Mit Berechnung der Fräsermittelpunktsbahn

Wer mit einer Uralt-NC oder einer Eigenbausteuerung arbeitet, kann oft nicht auf die Fräserradiuskorrektur G41 / G42 zurück greifen und muss die Äquidistante (Fräsermittelpunktsbahn) selbst berechnen.
Das nachfolgende Phantasie-Werkstück, welches man so natürlich nicht produzieren würde, soll mit seinen verschiedenen Ecken und Radien aufzeigen, wie eine Äquidistante definiert wird.
Vorzugsweise mit einem CAD-Programm werden Parallelen zu den Geraden und konzentrische Kreise zu den Bögen konstruiert. Alle mit Abstand des Fräserradius. Die Schnittpunkte ergeben die Stützpunkte für die Fräsermittelpunktsbahn.
Auf detaillierte Berechnungen wird hier verzichtet, in der Werkstattpraxis ist das zu aufwendig und es würde den Rahmen dieses Buches sprengen

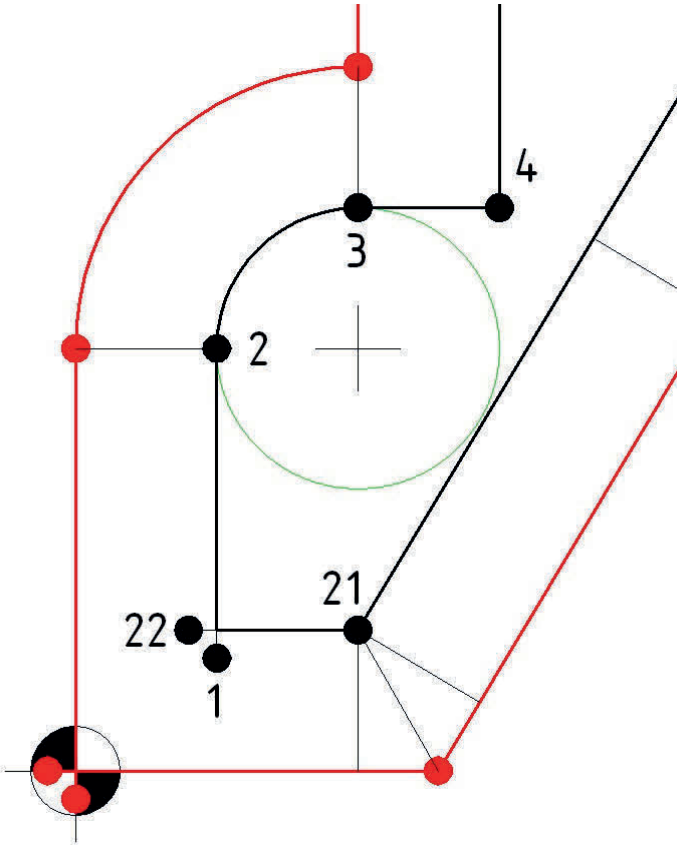




Links: die Kontur (schwarz), Mitte: die Kontur und die Fräsermittelpunktsbahn (rot), rechts: die Äquidistante ohne Werkstück.

Werkzeug: Schaftfräser Ø10 = Radius 5. Der Abstand zur Werkstückkontur muss folglich überall 5mm betragen.

Nachfolgend die Stützpunkte (rot) zur Programmierung, Werkstückkontur = schwarz



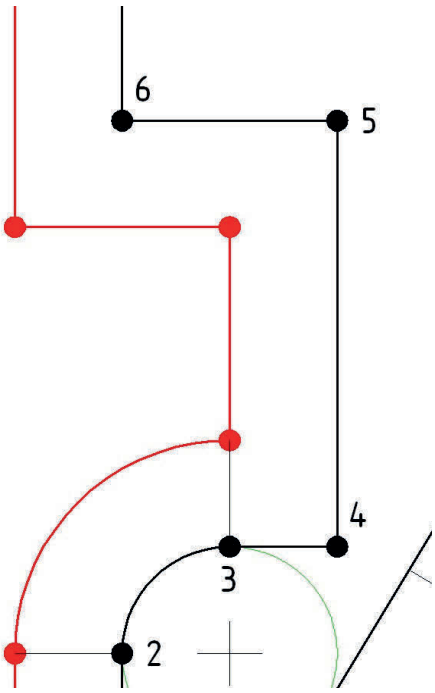
Stützpunkte 1 bis 4

Für den Anfangspunkt versetzen wir den Mittelpunkt um 5mm links zur Linie 1 bis 2 und 1mm unter Null als Anfahrweg.
Anfangs-Punkt 1
X0 Y-1

Punkt 2 liegt auf X0 Y15

Punkt 3 wird mit Radius 10 (Konturradius 5 + Fräserradius 5 = Gesamtradius 10) angefahren und liegt auf X10 Y25

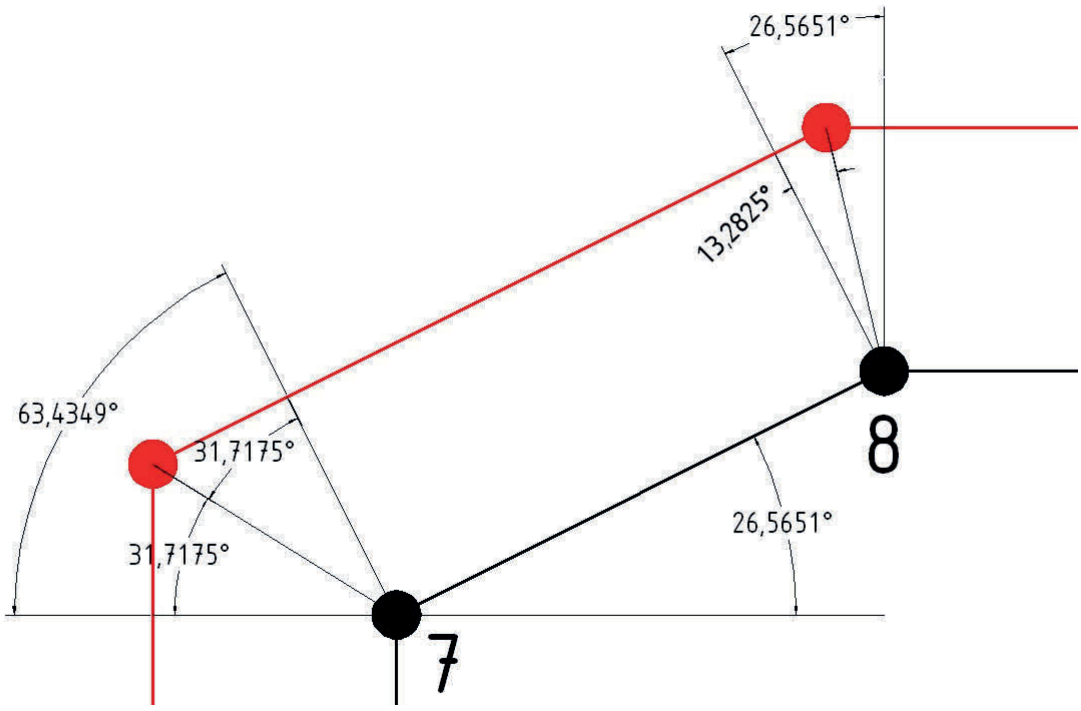
Punkt 4 entfällt, weil hier der Fräserradius gleich dem Abstand von Punkt 3 nach Punkt 4 ist.



Stützpunkte 4 bis 6

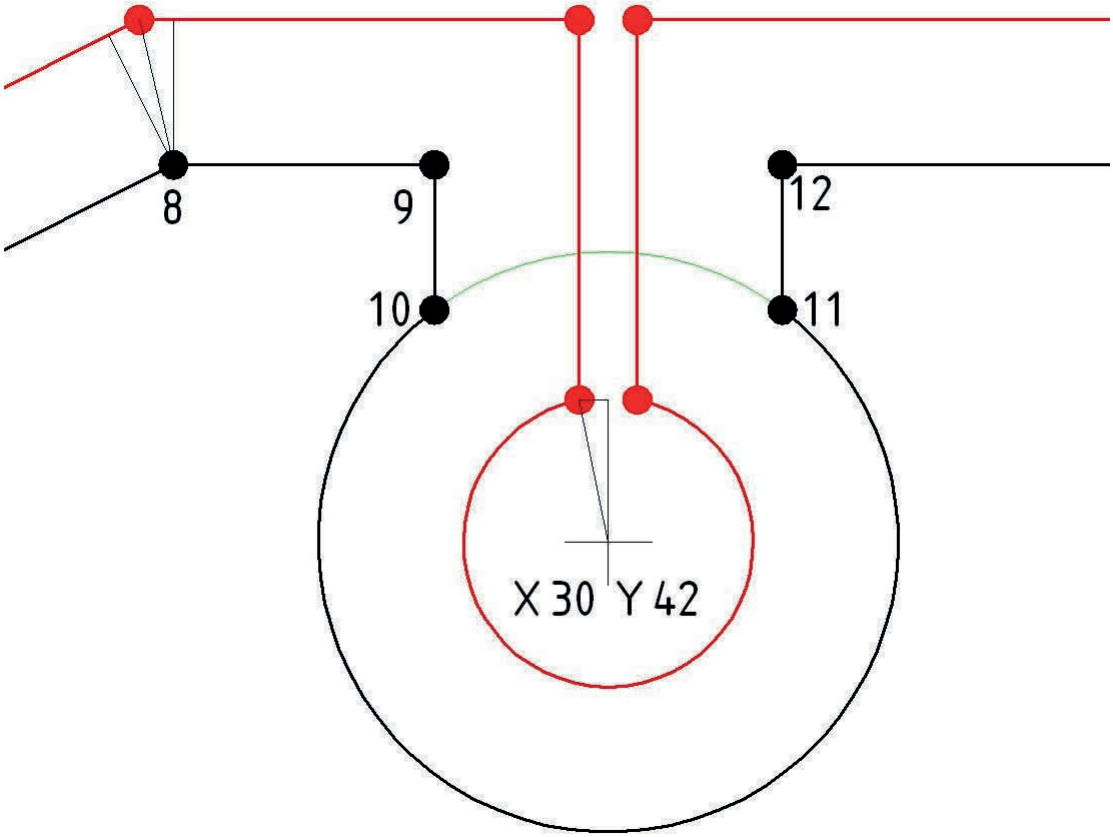
Da Punkt 4 entfällt, geht es gleich mit Punkt 5 weiter
X10 Y35

Punkt 6 liegt auf X0 Y35

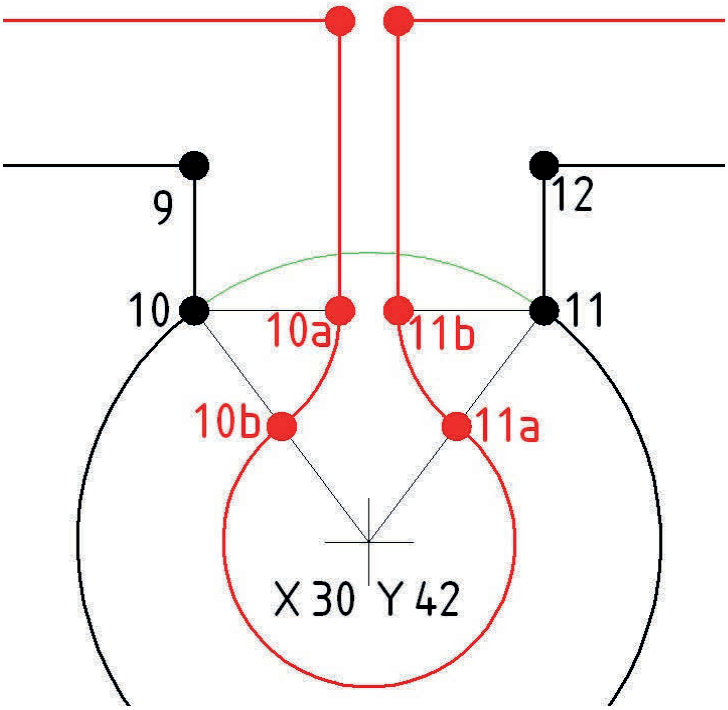


Punkt 7 liegt auf dem Schnittpunkt der Äquidistanten von 6 nach 7 und von 7 nach 8
Der Schnittpunkt liegt auf der Winkelhalbierenden, R = Fräserradius
ΔX = R, ΔY = R * cot(α/2) somit: X0 Y53,09

Punkt 8 liegt auf dem Schnittpunkt der Äquidistanten von 7 nach 8 und von 8 nach 9. Der Schnittpunkt liegt wieder auf der Winkelhalbierenden
ΔY = R, ΔX = R * cot(α/2) somit: X13,82 Y60



Punkt 9 liegt auf X29 Y60
Punkt 10 ist der Schnittpunkt des Kreises Ø 10 mit der Geraden 9 - 10. Der Y-Wert vom Kreismittelpunkt zum Schnittpunkt kann mit dem Satz des Pythagoras berechnet werden.
Punkt 10: X29 Y46,899 Punkt 11: X31 Y46,899 Punkt 12: X31 Y60

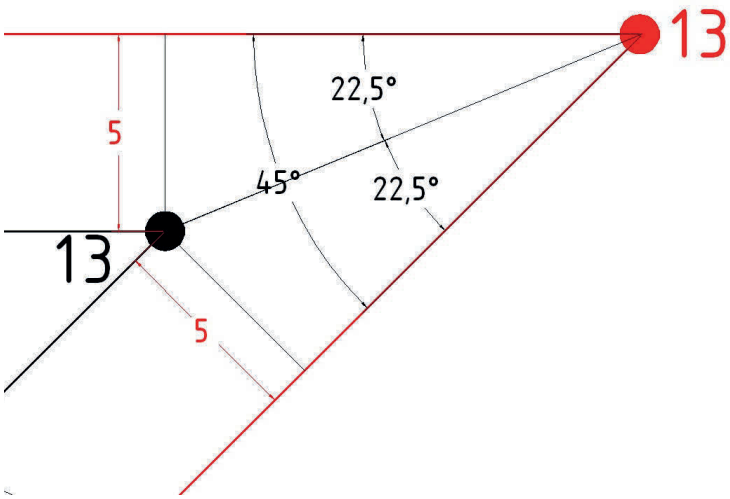


<u>Weitere Möglichkeit:</u>

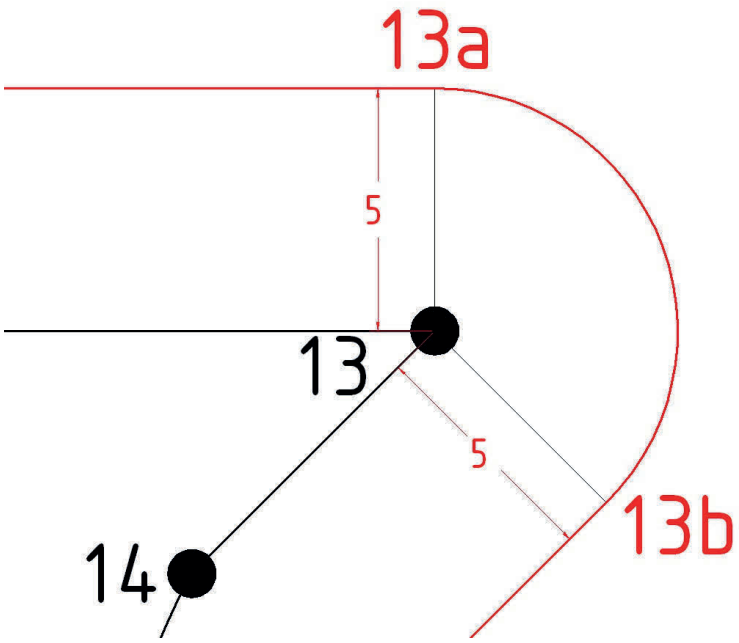
Die selbe Kontur, jedoch mit bogenförmigen Übergängen
Punkte 10a – 10b und
Punkte 11a – 11b

Bitte beachten:
Von Punkt 10a darf nicht einfach mit einer Geraden auf Punkt 10b gefahren werden. Dabei würde die Ecke bei Punkt 10 beschädigt. Gleiches gilt für die Punkte 11a und 11b.

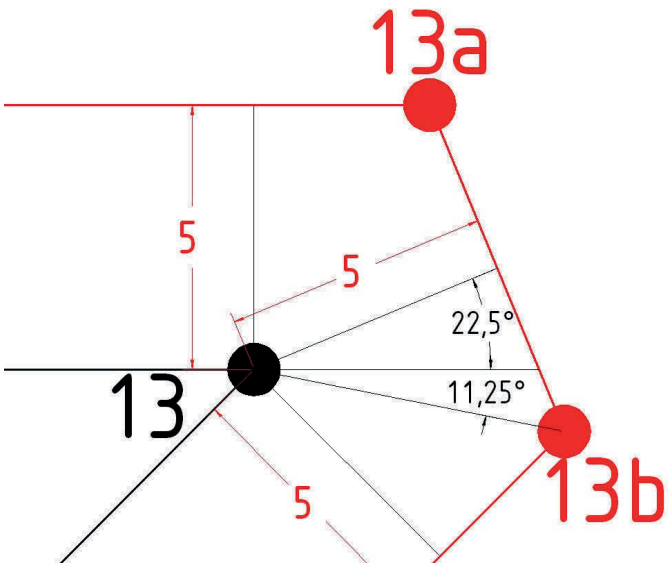
Nachfolgend fünf verschiedene Methoden für die Berechnung der Stützpunkte bei spitzem Winkel



Methode 1: selbe Berechnung wie an stumpfwinkligen Übergängen für den roten Schnittpunkt 13.
Nachteil: der Leerweg wird viel zu lang. Bei sehr spitzen Winkeln kann der Leerweg fast unendlich lang werden.
Deshalb bei spitzen Winkeln diese Methode nicht anwenden.
Stützpunkt 13: X67,071 Y60



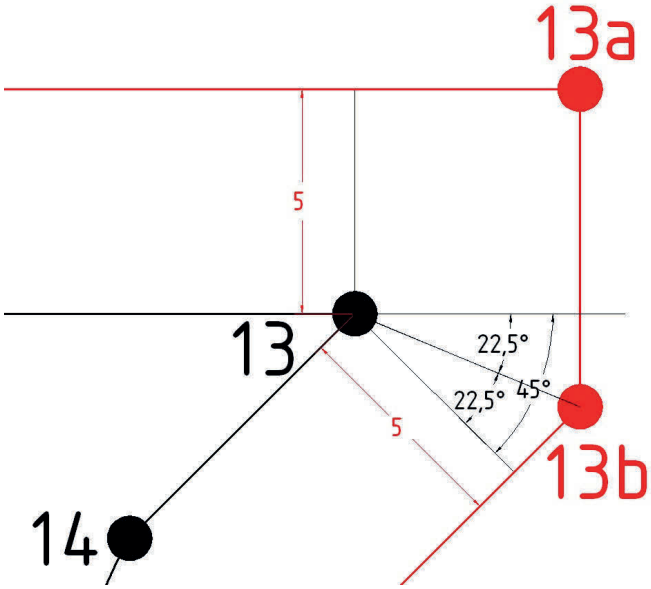
Methode 2: mit einem Kreisbogen um den Punkt 13 herumfahren
Vorteil: kürzester Weg. Durch das Herumfahren um die Spitze wird eine eventuelle Gratbildung vermieden.
Von 13a (X55 Y60) mit Radius 5 (Fräserradius) auf 13 b (X 58,536 Y 51,465) fahren



Methode 3:
Eine Senkrechte auf der Winkelhalbierenden errichten.

Vorteil: immerhin der zweitkürzeste Weg der fünf Beispiele

Punkt 13a = X58,341 Y60
Punkt 13b = X60,898 Y53,827

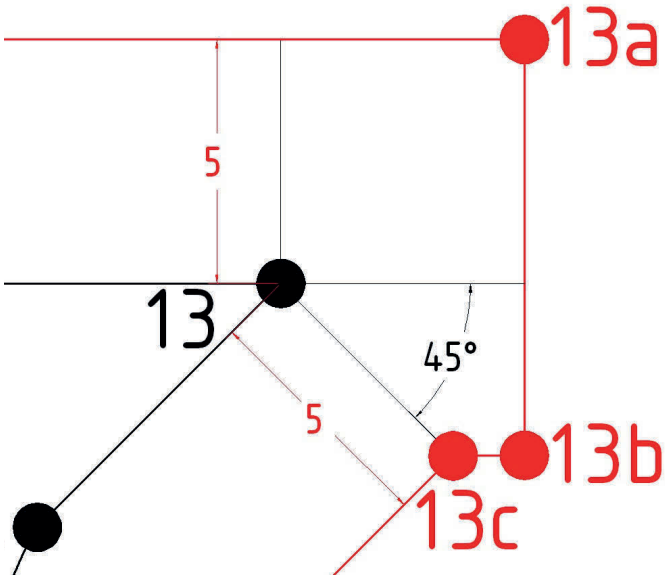


Methode 4:
Den Punkt 13 rechtwinklig umfahren.

Vorteil: leichter zu rechnen als Methode 3

Nachteil: längerer Leerweg

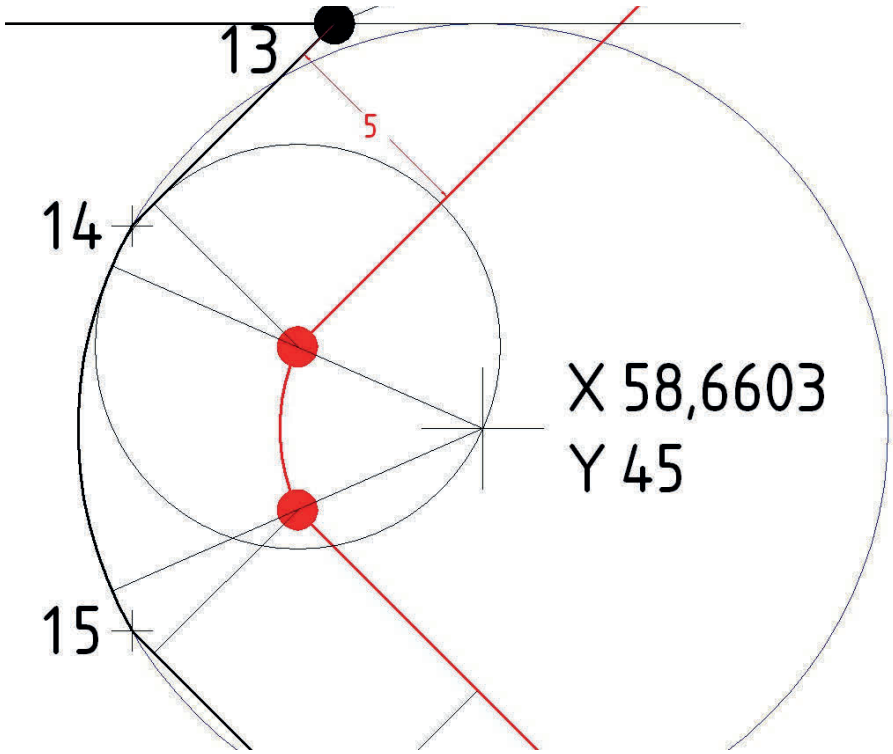
Punkt 13a = X60 Y60
Punkt 13b = X60 Y52,929



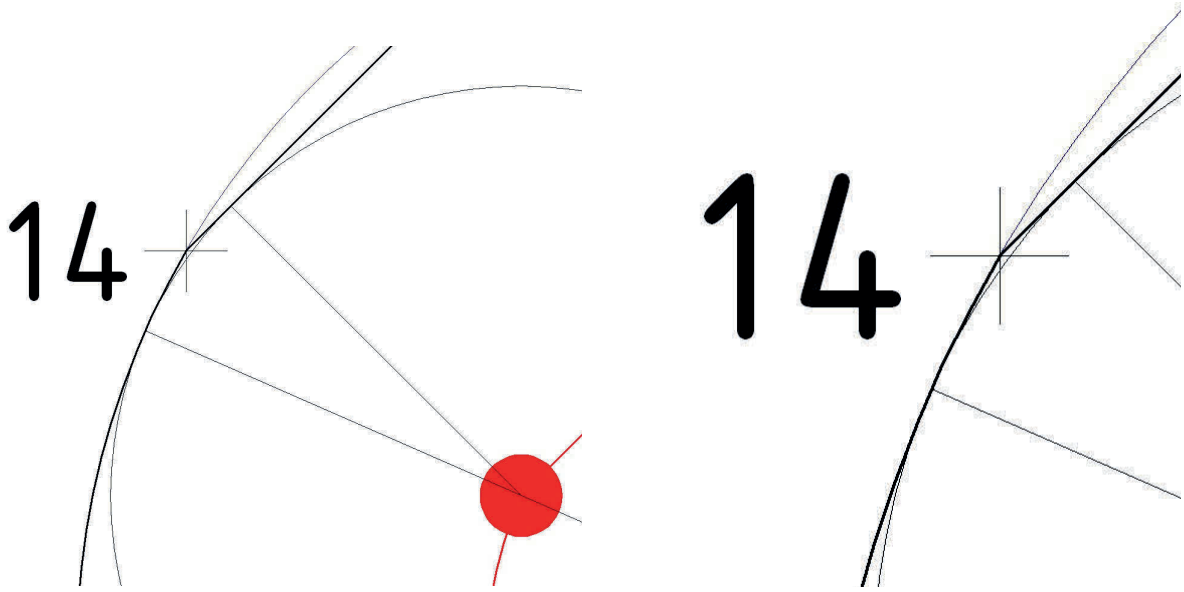
Methode 5:
Punkt 13 rechtwinklig umfahren und direkt den Startpunkt der nächsten Gerade anfahren

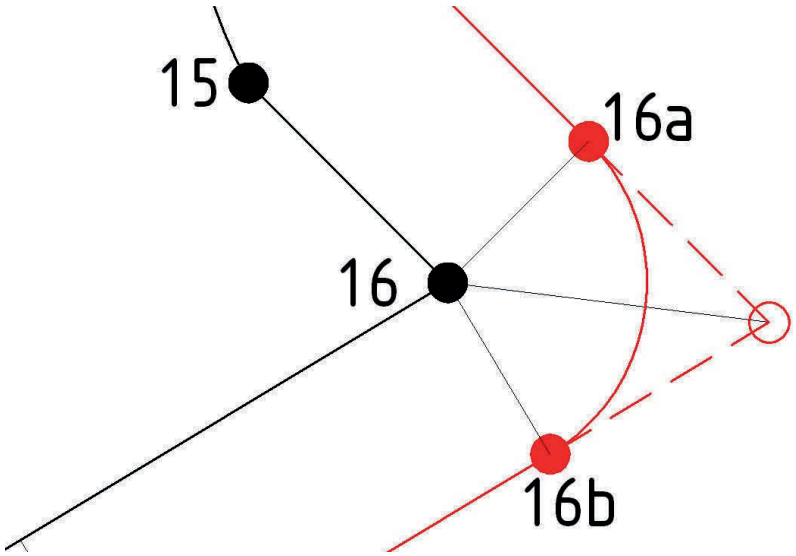
Nachteil: drei Stützpunkte nötig

Punkt 13a = X60 Y60
Punkt 13b = X60 Y51,464
Punkt 13c = X58,536 Y51,464

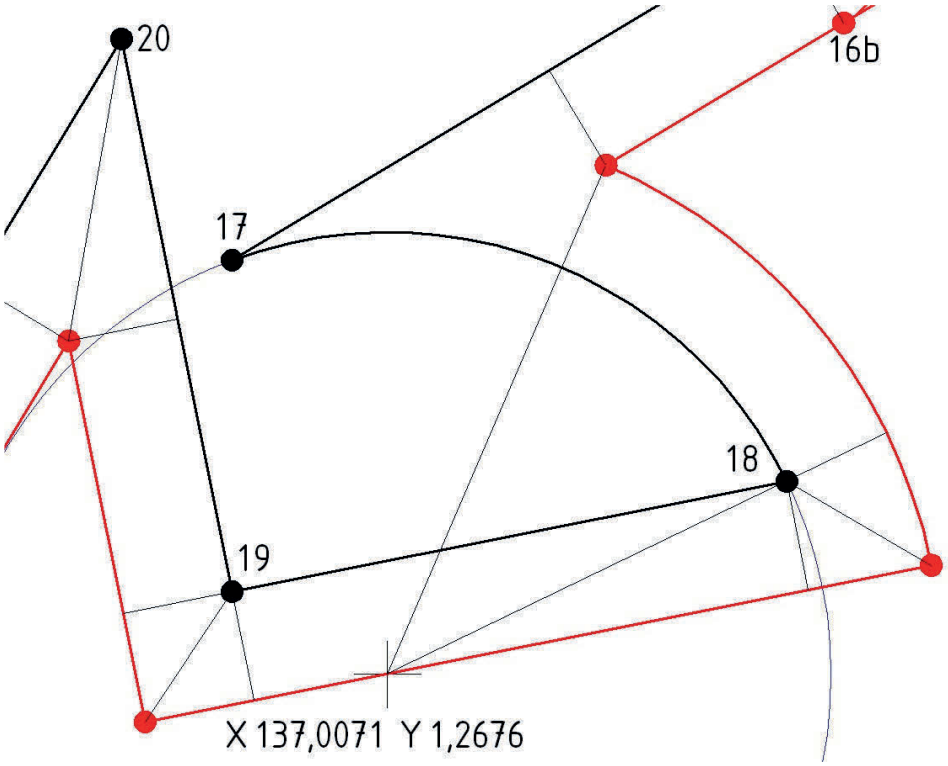


Der Stützpunkt für Punkt 14 ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Geraden 13 – 14 mit dem Kreisbogen (Radius 10 / 5).
Vorsicht Falle:
Da der Kreis nicht tangential an der Geraden anliegt, darf die Gerade 13 – 14 nicht bis zum Endpunkt 14 abgefahren werden. Ansonsten würde der Fräser in die Kontur des Kreisbogens eindringen und zu viel Material abtragen.
Siehe die nachfolgenden zwei Abbildungen. Großer Radius R10 (blau) = Kontur, kleiner Radius R5 (schwarz) entspricht dem Fräserradius.
Punkt 14 liegt bei: X54.083 Y47.012
Punkt 15 X54.083 Y42.988 wird mit Radius 5 angefahren, ansonsten gilt das selbe wie für Punkt 14

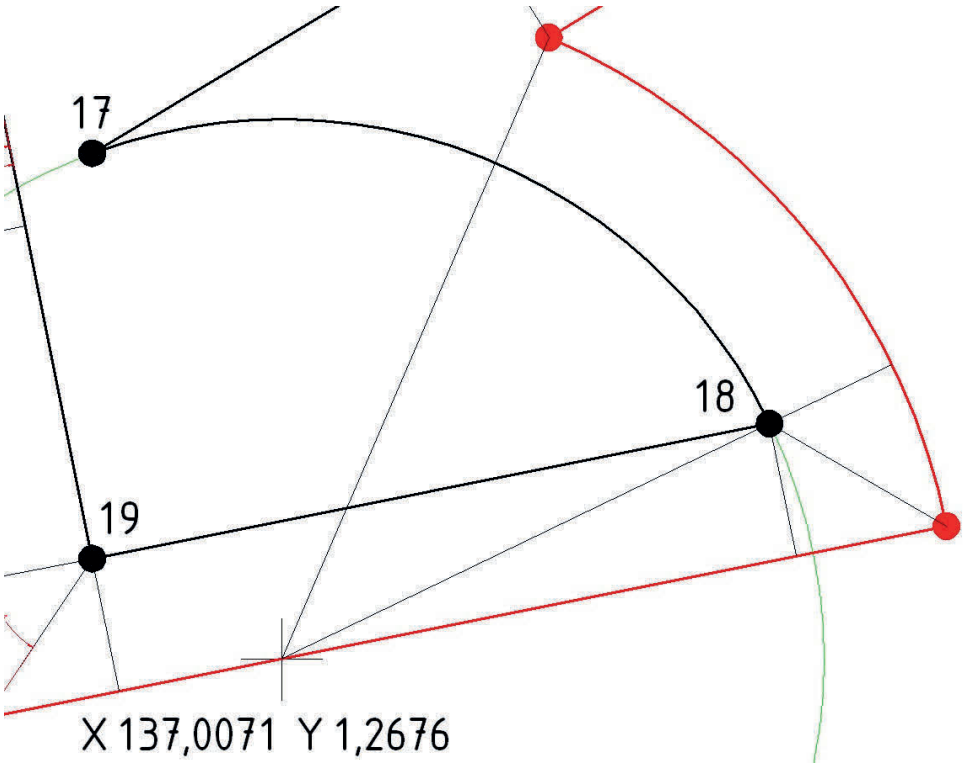




Punkt 16 ist wieder ein spitzer Winkel (vergleiche Punkt 13). Wir fahren mit einem Radius (5mm = Fräserradius) um die Ecke herum.
Punkt 16a: X58.536 Y38.536 Punkt 16b: X57.573 Y30.713

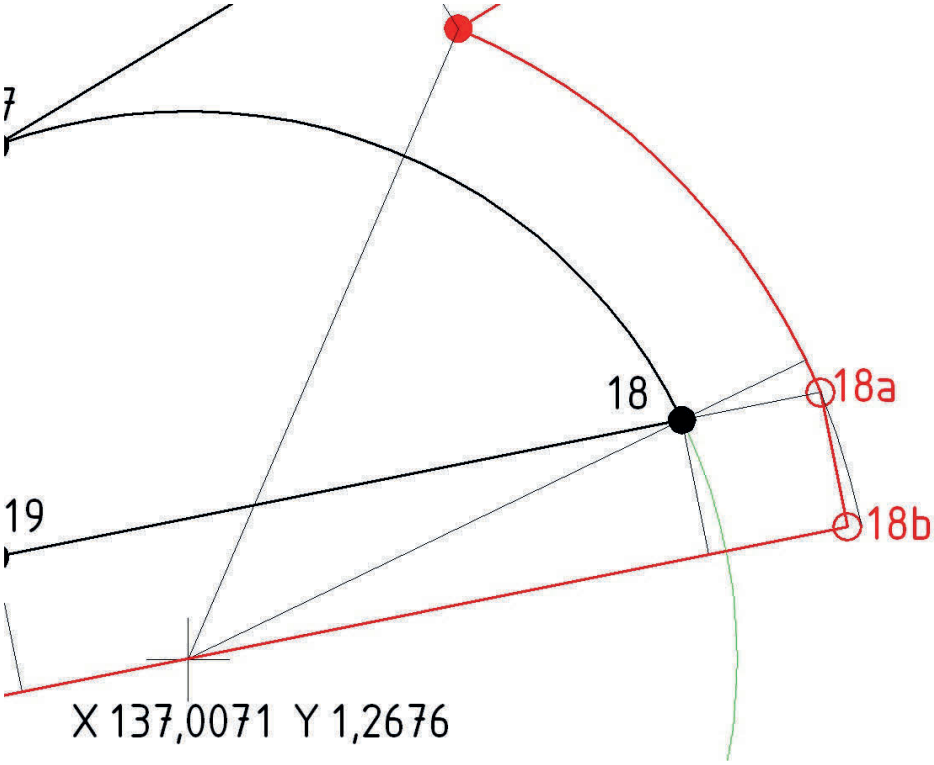


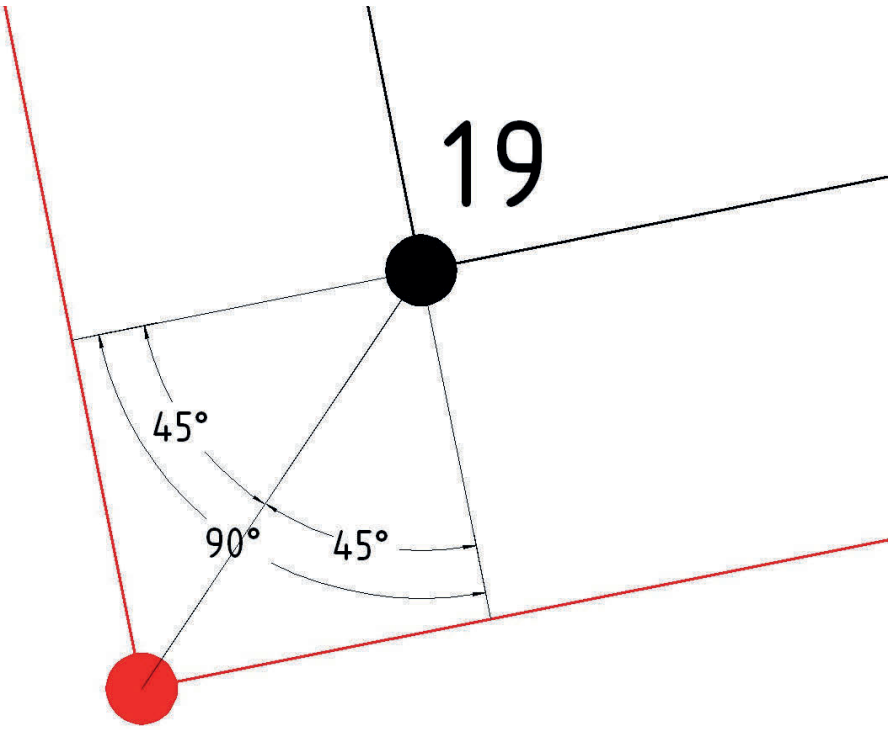
Stützpunkt 17 ist der Schnittpunkt der Geraden von Punkt 16 mit dem Kreisbogen R25
Stützpunkt 17: X46.854 Y24.282



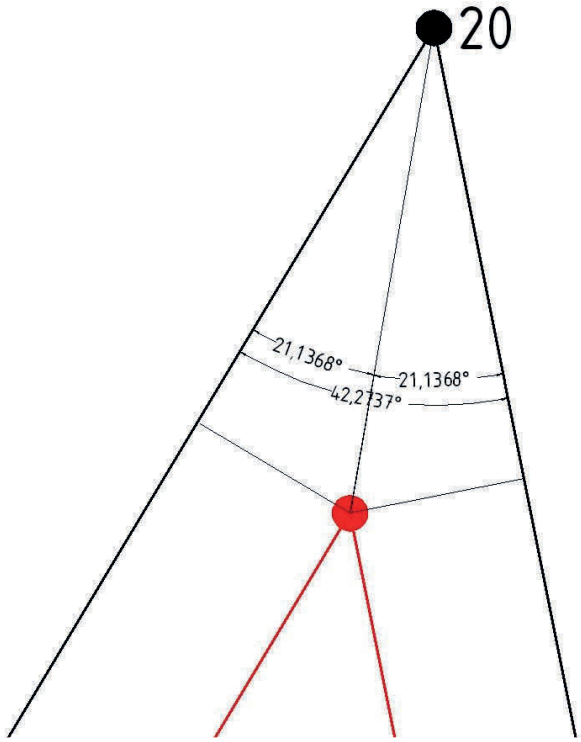
Der Stützpunkt 18 wird hier gebildet, indem der Radius bis zur Parallelen der Konturlinie 18 – 19 ausgefahren wird.
Stützpunkt 18: X61.522 Y6.205

Alternativ könnte man von Punkt 18a mit einer Geraden auf 18b fahren, um ein wenig Weg zu sparen. Achtung: der Kreisbogen muss mindestens bis Punkt 18a gefahren werden, um das Werkstück nicht zu beschädigen.

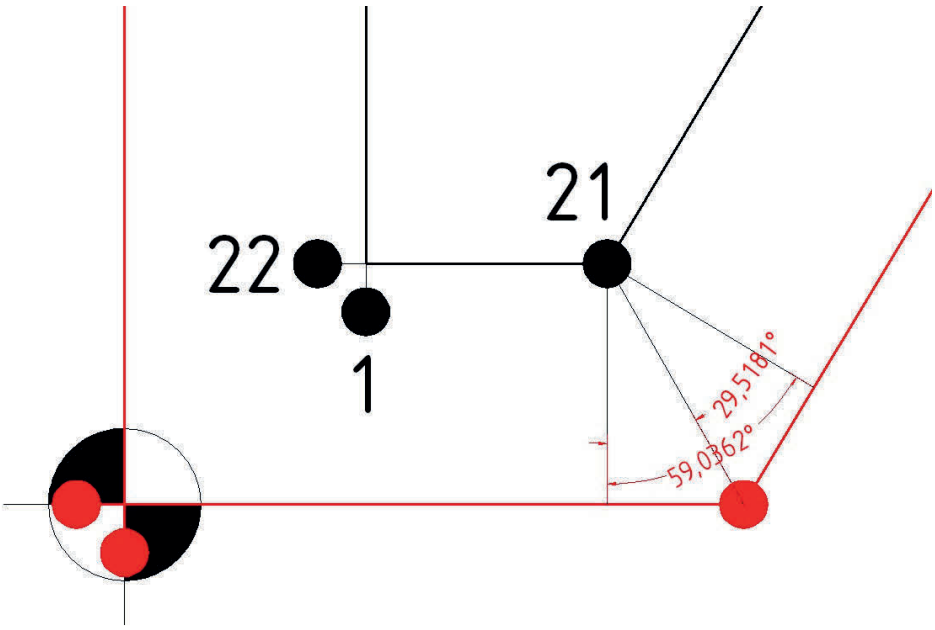




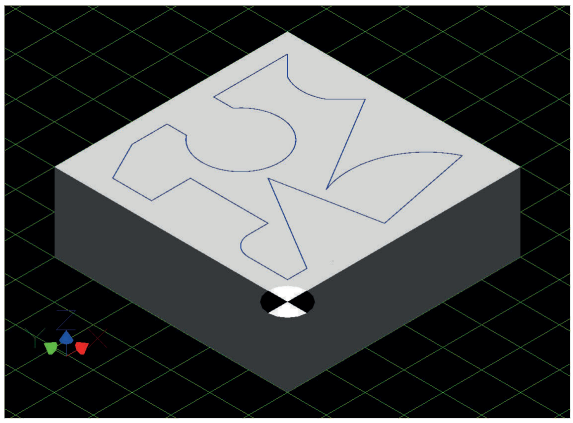
Stützpunkt 19 ergibt sich aus den Parallelen zu Linie 18 –19 und 19 – 20
Er liegt auf: X26.078 Y-0.884

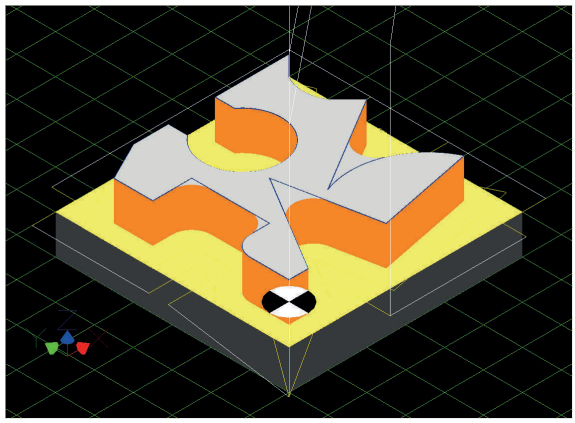


Der Stützpunkt 20 ergibt sich aus den Parallelen zu Linie 19 –20 und 20 – 21
Stützpunkt 20: X22.634 Y16.338

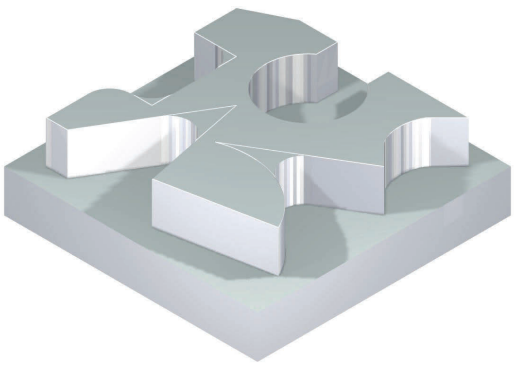


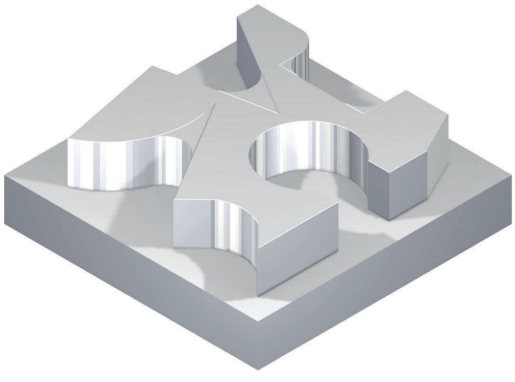
Zum Schluss noch die Stützpunkte 21 und 22
Stützpunkt 21: X12.831 Y0 Stützpunkt 22: X-1 Y0 (X-1 ist der Auslaufweg)





Ansicht in der Simulation, zuerst Kontur zur Überprüfung graviert, danach Kontur mit Fräser Ø 10 so weit als möglich ausgefräst.





Ansichten als gerendertes CAD-Werkstück nach DXF-Export durch CNCezPRO.

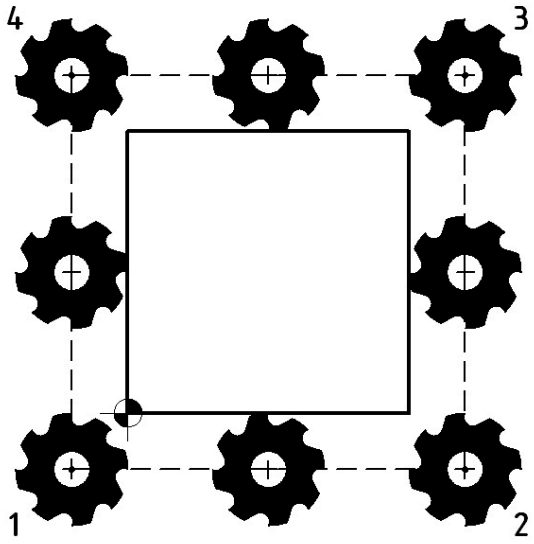
Zum Vergleich je ein Programmbeispiel dazu.
Das Programm 2040 links arbeitet ohne Fräserradiuskorrektur im G40-Modus mit den vorher errechneten Stützpunkten.
Das Programm 2041 rechts arbeitet mit der Fräserradiuskorrektur G41 ohne extra Stützpunkte mit den tatsächlichen Zeichnungsmaßen.

```
:2040
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T2 M6
N0015 S1000 M3
N0020 G0 G54 X-11 Y-11 M8
N0025 G43 Z2 H2
N0030 G1 Z-10 F150
N0035 X0 Y-1
N0040 Y15
N0045 G2 X10 Y25 I10 J0
N0050 G1 Y35
N0055 X0
N0060 Y53.09
N0065 X13.82 Y60
N0070 X29
N0075 Y46.899
N0080 G3 X31 Y46.899 I1 J-4.899
N0085 G1 Y60
N0090 X55
N0095 G2 X58.536 Y51.465 I0 J-5
N0100 G1 X54.083 Y47.012
N0105 G3 X54.083 Y42.988 I4.577 J-2.012
N0110 G1 X58.536 Y38.536
N0115 G2 X57.573 Y30.713 I-3.536 J-3.536
N0120 G1 X46.854 Y24.282
N0125 G2 X61.522 Y6.205 I-9.847 J-22.979
N0130 G1 X26.078 Y-0.884
N0135 X22.634 Y16.338
N0140 X12.831 Y0
N0145 X-1
N0150 X-11 Y-11
N0155 G0 X-6 Y25
N0160 G1 X5
N0165 Y30
N0170 X-6
N0175 G0 Y60
N0180 G1 X5
N0185 Y66
N0190 G0 X66
N0195 Y45
N0200 G1 X60
N0205 X66
N0210 G0 Y25
N0215 G1 X55
N0220 X66
N0225 G0 Y0
N0230 G1 X55
N0235 Y-6
N0240 G0 X20
N0245 G1 Y5
N0250 Y-6
N0255 G0 Z50 M9
N0260 M5
N0265 G28 G49
N0270 M30
```

```
:2041
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T2 M6
N0015 S1000 M3
N0020 G0 G54 X-11 Y-11 M8
N0025 G43 Z2 H2
N0030 G1 Z-10 F150
N0035 G41 X5 Y4 D2
N0040 Y15
N0045 G2 X10 Y20 I5 J0
N0050 G1 X15
N0055 Y40
N0060 X5
N0065 Y50
N0070 X15 Y55
N0075 X24
N0080 Y50
N0085 G3 X36 Y50 I6 J-8
N0090 G1 Y55
N0095 X55
N0100 X50 Y50
N0105 G3 X50 Y40 I8.66 J-5
N0110 G1 X55 Y35
N0115 X30 Y20
N0120 G2 X55 Y10 I7.007 J-18.732
N0125 G1 X30 Y5
N0130 X25 Y30
N0135 X10 Y5
N0140 X4
N0145 G40 X-11 Y-11
N0150 G0 X-6 Y25
N0155 G1 X5
N0160 Y30
N0165 X-6
N0170 G0 Y60
N0175 G1 X5
N0180 Y66
N0185 G0 X66
N0190 Y45
N0195 G1 X60
N0200 X66
N0205 G0 Y25
N0210 G1 X55
N0215 X66
N0220 G0 Y0
N0225 G1 X55
N0230 Y-6
N0235 G0 X20
N0240 G1 Y5
N0245 Y-6
N0250 G0 Z50 M9
N0255 M5
N0260 G28 G49
N0265 M30
```

6.08 Radiuskorrektur Grundlagen

Bei der Programmierung einer Werkstückkontur muss der Radius eines Fräs- oder Drehwerkzeuges mit berücksichtigt werden.
Das bedeutet, dass beim Fräsen die Fräsermittelpunktsbahn zu errechnen ist, weil der Fräser eine Kontur ja mit seinem Außendurchmesser schneidet.
Beim Drehen außerdem beachten, dass ein Drehmeißel einen Radius hat, aber in einem theoretischen Schnittpunkt außerhalb des Radius ausgemessen wird.

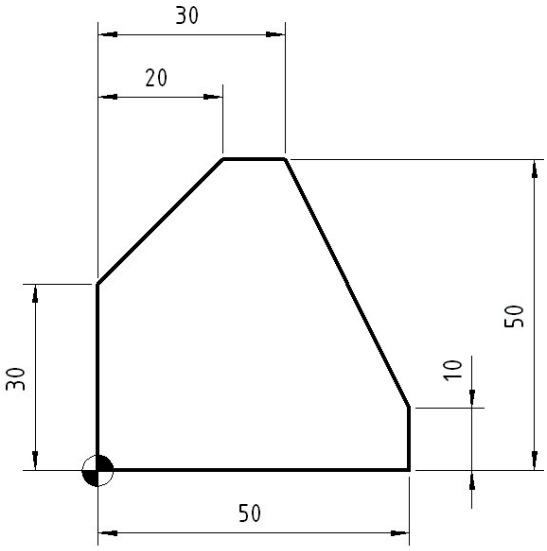


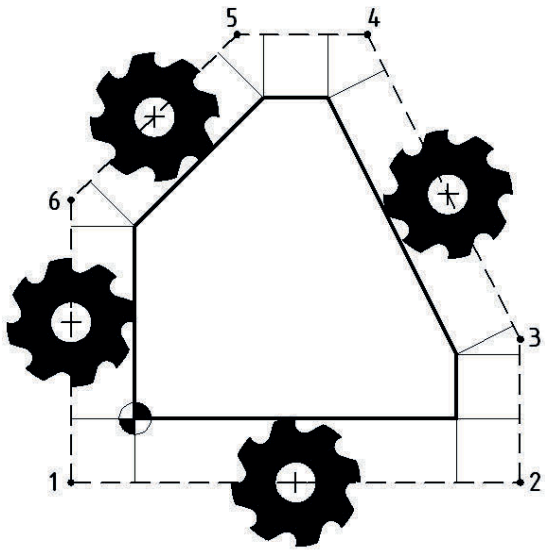
In dieser Abbildung soll eine quadratische Außenkontur gefräst werden. Angenommen, das Quadrat hat die Maße 50 X 50 mm und der Fräser einen Durchmesser von 20 mm. Der Nullpunkt liegt links unten.
Der Mittelpunkt des Fräsers ist dann auf Position 1 = X-10 / Y-10,
Position 2 = X60 / Y-10, Position 3 = X60 / Y60, Position 4 = X-10 / Y60
und schließlich wieder Position 1 = X-10 / Y-10.

Programmierung:

```
G01   X-10   Y-10
      X60
             Y60
      X-10
             Y-10
```

Bei der Bearbeitung von rechtwinkligen Konturen noch kein Problem, auch bei Änderung des Fräserdurchmessers können die neuen Positionen schnell berechnet werden. Aber sobald Schrägen und Radien hinzukommen, müssen umfangreiche zusätzliche Berechnungen gemacht werden, damit die Kontur gefertigt wird, wie auf der Werkstückzeichnung angegeben.





Wieder ein Werkstück 50 X 50 mm, diesmal aber mit zwei Schrägen. Die Punkte 1 und 2 sind noch ohne weiteres zu berechnen, jedoch die Punkte 3 bis 6 müssen langwierig errechnet werden.

Die zu fahrende Mittelpunktsbahn des Werkzeuges muss immer im selben Abstand zur Kontur verlaufen. Das heißt, der Radius steht immer senkrecht zur Kontur. Die dünnen Linien der rechten Abbildung stehen senkrecht zur Kontur und haben die Länge des Werkzeugradius. Das Werkzeug benötigt dazu eine Zwischenposition (Stützpunkt), um die Kontur an den Ecken nicht zu verletzen (Punkte 1 bis 6).

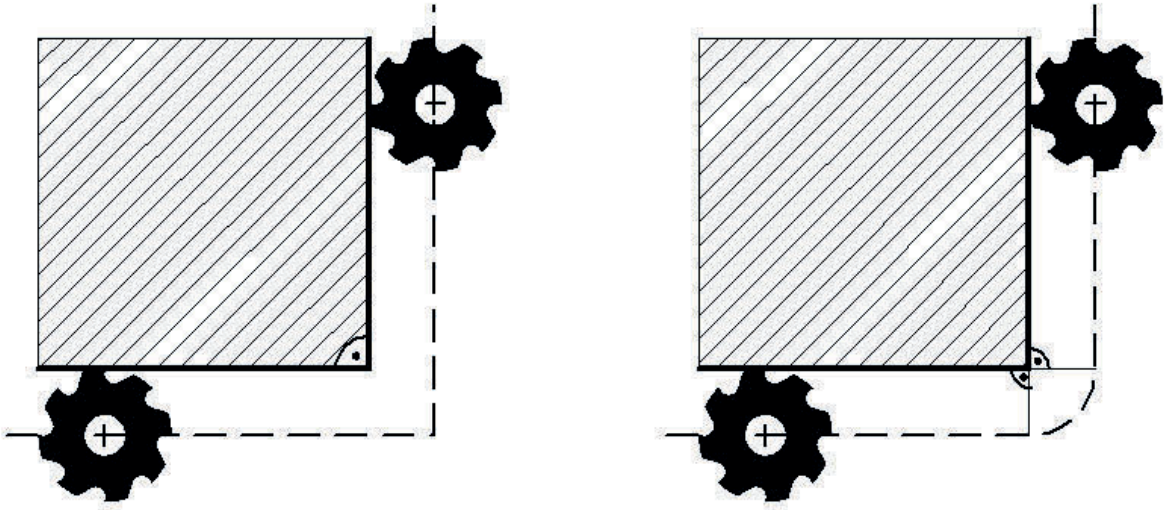
Der spezielle Ausdruck für die vom Werkzeug zu fahrende Bahn ist „Äquidistante“, das ist eine Linie, die im gleichen Abstand zu einer Bezugslinie (Werkstückkontur) verläuft.
Hiermit ist die Mittelpunktsbahn des Fräsers oder des Drehmeißelradius gemeint.
Um diese extra Berechnungen zu vermeiden, bieten die Steuerungshersteller die Funktionen G41, G42, teilweise auch G46 beim Drehen an, welche die Äquidistante automatisch berechnen, damit ein Werkstück nach den Maßen der Zeichnung programmiert werden kann.
Dazu benötigt die Steuerung dann lediglich den Radius des Fräsers oder des Drehmeißels, beim Drehen zusätzlich die Lage (Richtung) des Drehmeißels.
Die Steuerung liest einige Sätze im voraus, d. h. schon vor dem Erreichen einer Position muss die nächste Position bekannt sein, um das Werkzeug richtig zu platzieren.

Die Werkzeuglänge beim Fräsen und der X- und Z-Versatz eines Drehmeißels werden zwar auch in die Steuerung eingegeben, sind aber für die Äquidistante unerheblich.

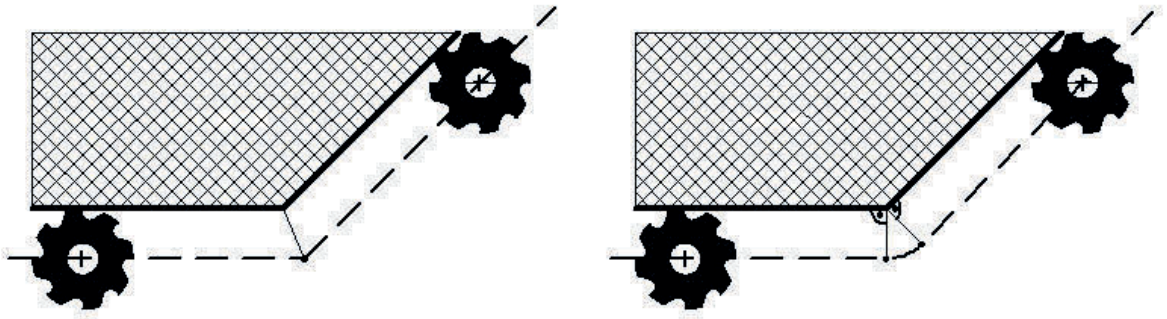
Soll eine Maßabweichung durch Abnutzung oder Nachschleifen eines Werkzeuges korrigiert werden, so wird anstatt einer Neuberechnung vieler Punkte im CNC-Programm, einfach der Radius bzw. der Werkzeugversatz geändert.

Verhalten der Radiuskorrektur bei Außenkonturen

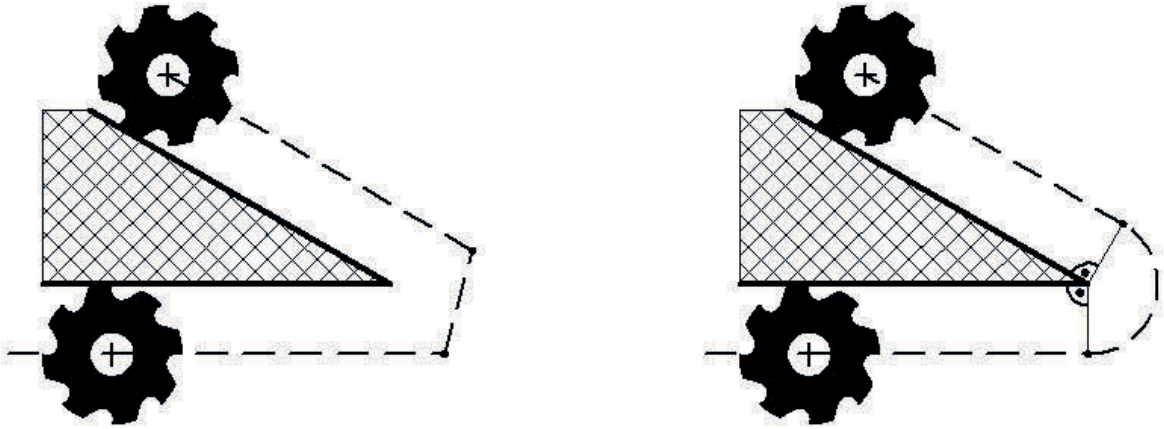
Nachfolgend eine Übersicht von Abbildungen, wie sich eine CNC-Steuerung beim Abfahren von Ecken an einer Kontur verhalten kann.
Dies kann je nach Steuerung verschieden sein. Entweder geradlinig mit Hilfe eines oder mehrerer Stützpunkte oder in einem Radius um die Ecke herum, was den kürzesten Verfahrweg bedeutet.
Einige Steuerungen bieten die Möglichkeit zur Vorauswahl, ob Ecken geradlinig oder mit Radius abgefahren werden sollen.



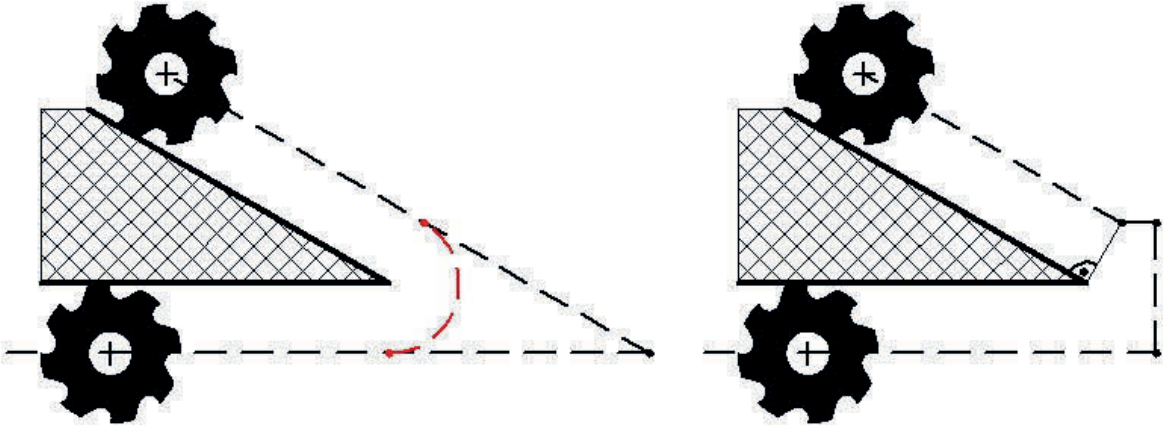
Rechtwinkliger Übergang mit Stützpunkt oder Bogen (kürzester Weg)



Stumpfwinkliger Übergang mit Stützpunkt oder Bogen



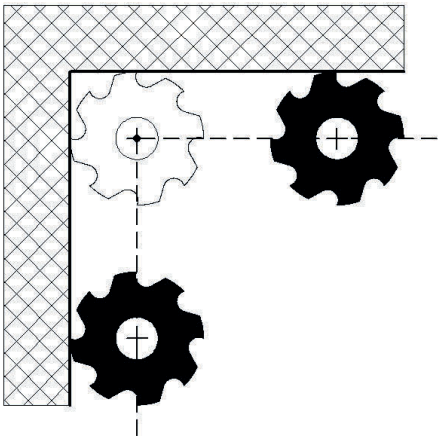
Spitzwinkliger Übergang mit zwei Stützpunkten oder Bogen



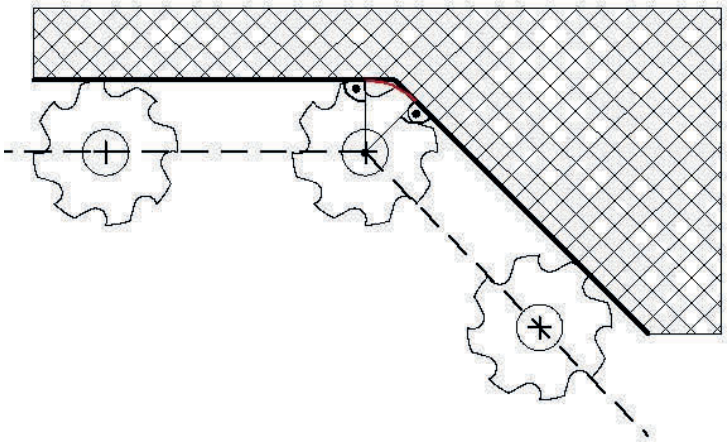
Spitzwinkliger Übergang mit einem oder drei Stützpunkten. Im ersten Fall wird ein unnötig langer Weg zurückgelegt. Zum Vergleich der rot eingezeichnete Bogen.

Beispiel-Werkstück, schwarz = programmierte Kontur, rot = Äquidistante und als 3D-Bild in der CNC-Simulation.

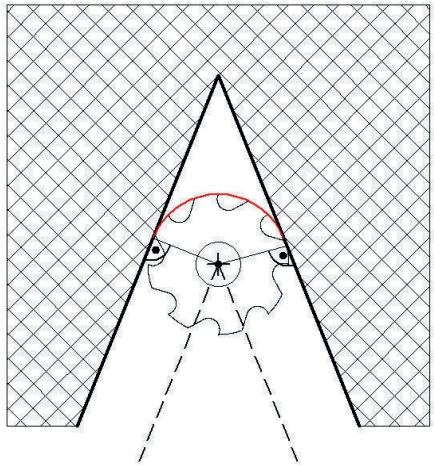
Verhalten der Radiuskorrektur bei Innenkonturen



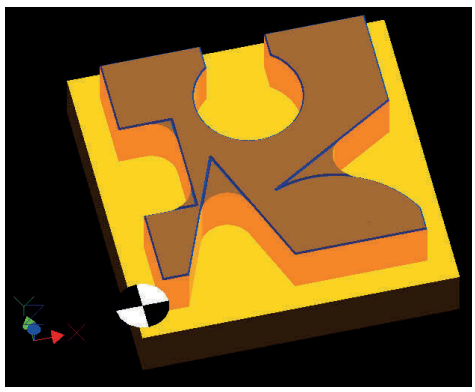
Die Radiuskorrektur bewirkt, dass der Fräser keine Konturverletzung verursacht. Durch das „Vorausschauen“ der Steuerung wird vermieden, dass der Fräser zu weit in das Werkstück eindringt, obwohl nur der Eckpunkt programmiert wurde. Dafür bleibt folglich an den inneren Ecken Material stehen (abhängig vom Werkzeugradius), was sich besonders bei spitzwinkligen Ecken auswirkt.



Stumpfer Winkel innen



Spitzer Winkel innen

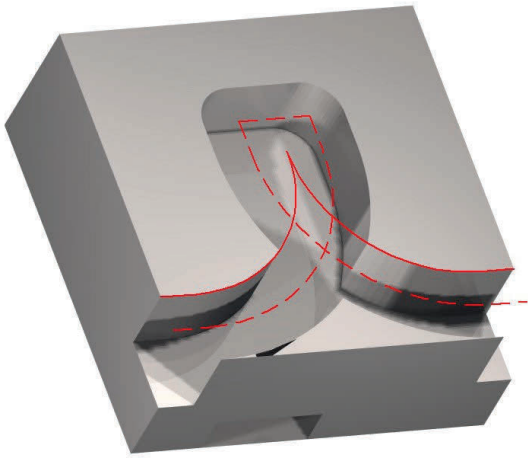


Ein Werkstück, schwarz = programmierte Kontur, rot = Äquidistante. Im 3D-Bild der Simulation wurde die programmierte Kontur blau eingezeichnet, um darzustellen, wo noch Restmaterial stehen bleibt.

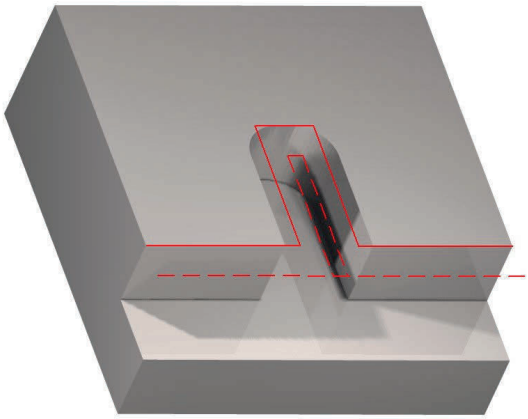
Fehlermöglichkeiten in Sonderfällen

Nachfolgend zwei Beispiele, wo sich eine Steuerung verzetteln kann und entweder eine Alarmmeldung ausgibt, oder eine nicht gewünschte Kontur erzeugt.
Ob dies passiert, ist davon abhängig, wie viele Sätze die Steuerung im Voraus „liest“.
Dies kann normalerweise aus dem betreffenden Teil der Bedienungsanleitung entnommen werden.

Die unten dargestellten roten Bahnen bedeuten:
durchgezogene Linie = programmierte Bahn,
gestrichelte Linie = Bewegung der Fräsermittelpunktsbahn.



Fehlermöglichkeit 1:
Bei diesen beiden spitz ineinander übergehenden Kreisbögen erkennt die Steuerung nicht, dass der Fräser außerhalb der gewünschten Kontur bleiben soll. Das Werkzeug fährt hier um die Spitze herum, um an den zweiten Radius zu positionieren und beschädigt somit das Werkstück.



Fehlermöglichkeit 2:
Der Durchmesser des Werkzeuges ist hier größer als die Breite der Nut. Die Steuerung erkennt nicht, dass das Werkzeug eigentlich nicht in die zu kleine Nut hineinfahren darf. Um den Werkzeugradius-Abstand einzuhalten, verletzt der Fräser jeweils die Kontur der gegenüberliegenden Seite

6.09 Radiuskorrektur Typ A anwählen – Standard

Vorab wurde die Verhaltensweise der Radiuskorrektur während der Bearbeitung an einer Kontur beschrieben. Und das korrekte Fahren entlang einer Kontur wird im Normalfall von der Steuerung automatisch ausgeführt.
Hier wird es schon schwieriger, denn beim An- oder Abfahren zu oder von einer Kontur sind gewisse Regeln und Eigenheiten der Steuerung zu beachten.

Bei der Radiuskorrektur müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

Bearbeitungsebene G17, G18, oder G19 anwählen
Geradlinig An- oder Abfahren
Richtung und Mindestabstand berücksichtigen
Prüfen, ob genug Platz vorhanden ist
Evtl. Wechsel der Bearbeitungsrichtung erwägen
Optimal An- oder Abfahren um unnötige Leerwege zu vermeiden

Die Standard-Radiuskorrektur Typ A setzt bei der Anwahl die Fräsermitte senkrecht auf die Anfangsposition des ersten Konturelements und vor der Abwahl die Fräsermitte senkrecht auf die Endposition des letzten Konturelements, fährt also die Kontur voll ab.

Neuere Steuerungen bieten dem Anwender zum Teil vorgefertigte Lösungen an und enthalten Funktionen zum geradlinigen und tangentialen An- und Abfahren. Hierzu bitte im Handbuch der betreffenden Steuerung nachschlagen.

Zum Beispiel:
G45 lineares Anfahren an eine Kontur
G46 lineares Abfahren von einer Kontur
G47 tangentiales Anfahren an eine Kontur mit Viertelkreis
G48 tangentiales Abfahren von einer Kontur mit Viertelkreis

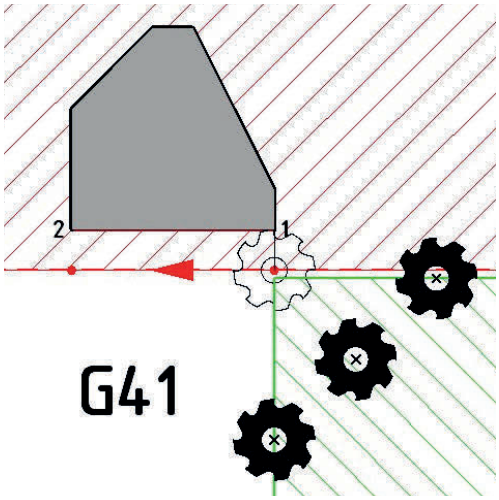
Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich allgemeingültig auf alle DIN / ISO Steuerungen, ohne Unterstützung durch G45 bis G48.

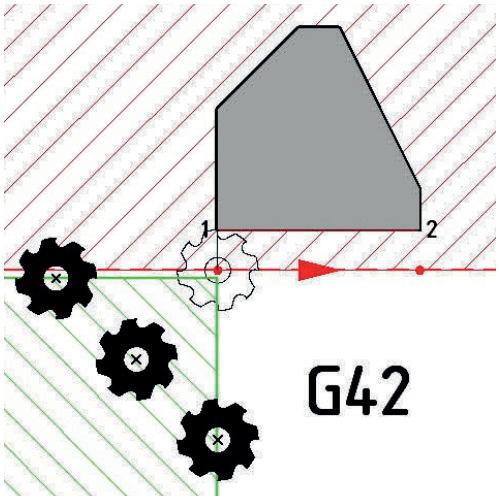
Allerdings kommt hier noch erschwerend dazu, dass es zwei Typen von Steuerungen gibt, welche ein unterschiedliches An- und Abwahlverhalten zeigen.

Der Standard-Typ A setzt bei der Anwahl die Fräsermitte senkrecht auf die Anfangsposition des ersten Konturelements und vor der Abwahl die Fräsermitte senkrecht auf die Endposition des letzten Konturelements, fährt also die Kontur voll ab.

Der zweite Typ B berücksichtigt zusätzlich den seitlichen Fräserversatz und setzt somit die Außenkante des Werkzeuges zur ersten programmierten Position. Es ist dann häufig nötig, das Konturelement mindestens um den Werkzeugradius zu verlängern oder ein zusätzliches Konturelement einzubauen.

Geradlinig an eine Kontur anfahren (Ankompensieren)





Die untere Kante des grauen Werkstücks muss von Punkt 1 nach Punkt 2 gefräst werden. Hierbei soll geradlinig an den Startpunkt 1 angefahren werden.
Das Werkzeug kann hier mit G40 (schwarz dargestellt) überall außerhalb des roten Bereichs mit seinem Mittelpunkt positioniert werden. Das heißt: mindestens den Werkzeugradius als Abstand parallel zur Kontur einhalten. Zusätzlich sollte noch ein Sicherheitsabstand addiert werden, um spätere Abweichungen des Werkzeugradius zu berücksichtigen. Noch vorhandenes Rohmaterial muss ebenfalls beachtet werden.
Es ist empfehlenswert, die G40-Positionierung vor dem Anfahren ungefähr innerhalb des grün dargestellten Bereiches vorzunehmen, sofern der Platz dazu vorhanden ist.
Optimal wäre direkt senkrecht an den Startpunkt der Kontur anzufahren, denn dies benötigt den wenigsten Fahrweg.
Danach kann die Kontur mit der Radiuskorrektur problemlos angefahren werden.

Beispiel G41:

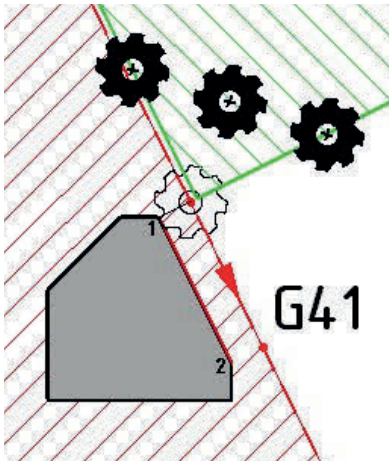
```
N0020 G0 G54 X50 Y-20     (Positionieren X und Y mit G40)
N0025 G43 Z2 H1           (Eilgang Z mit Werkzeuglängenkorrektur)
N0030 G1 Z-10 F150        (Zustellung Z-Tiefe mit Vorschub)
N0035 G41 X50 Y0 D1       (Punkt 1 mit Radiuskorrektur anfahren)
N0040 X0                  (Kontur weiterfahren nach Punkt 2)
```

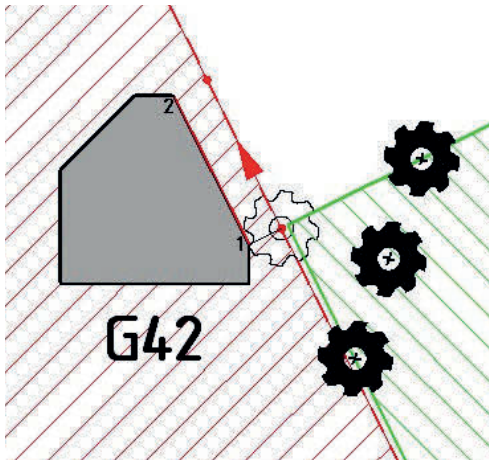
Beispiel G42:

```
N0020 G0 G54 X0 Y-20      (Positionieren X und Y mit G40)
N0025 G43 Z2 H1           (Eilgang Z mit Werkzeuglängenkorrektur)
N0030 G1 Z-10 F150        (Zustellung Z-Tiefe mit Vorschub)
N0035 G42 X0 Y0 D1        (Punkt 1 mit Radiuskorrektur anfahren)
N0040 X50                 (Kontur weiterfahren nach Punkt 2)
```

Was passiert hierbei?
Das Werkzeug sollte mit seinem Mittelpunkt G40 außerhalb des roten Bereichs stehen. Nach Anwahl von G41/G42 und der D-Nummer wird der Werkzeugradius eingerechnet und die Fahrtrichtung des nächsten Satzes berücksichtigt. Damit wird die Außenkante des Werkzeuges senkrecht zum folgenden Konturelement auf den programmierten Startpunkt 1 positioniert. Oben dargestellt durch den transparenten Fräser. Bis zur Abwahl mit G40 fährt das Werkzeug jetzt automatisch auf der Äquidistante weiter.

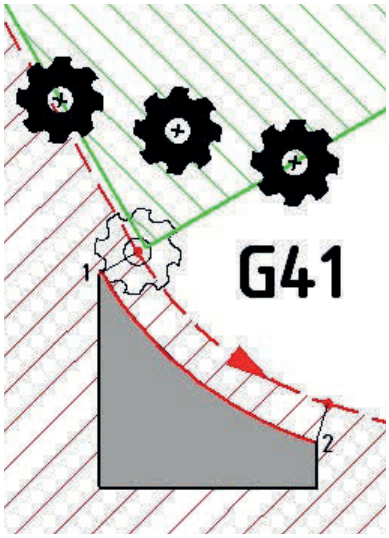
Geradlinig an eine geneigte Kontur anfahren

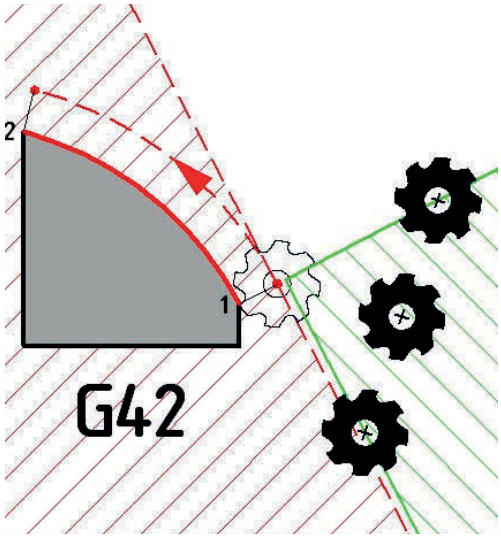




Bei einer schrägen Kontur gilt das vorher gesagte ebenso. Der Anfahrbereich wurde dementsprechend gedreht. Die Anfahrrichtung ist folglich immer von der ersten Konturlinie abhängig.

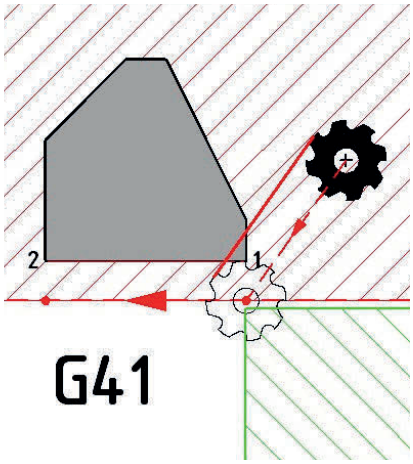
Geradlinig an einen Radius anfahren

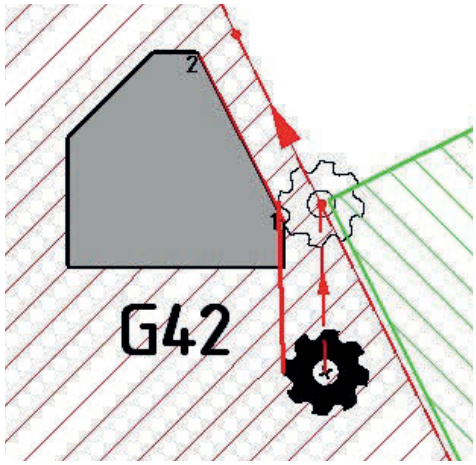




Geradliniges Anfahren an Radien.
Beim Innenradius links folgt die Begrenzung des roten Bereichs der Äquidistante des Radius, außerhalb setzt sich die Begrenzungslinie geradlinig fort.
Im Gegensatz dazu ist die Begrenzung des roten Bereichs beim Außenradius geradlinig, andernfalls würde der Radius beschädigt.

Fehler beim Anfahren an eine Kontur





In diesen beiden Beispielen findet eine Konturverletzung statt. Das Werkzeug wurde hier im roten Bereich positioniert. Da der Fräser direkt seinen Konturstartpunkt mit G41 / G42 anfährt, würde in beiden Fällen ungewollt Werkstoff abgetragen.

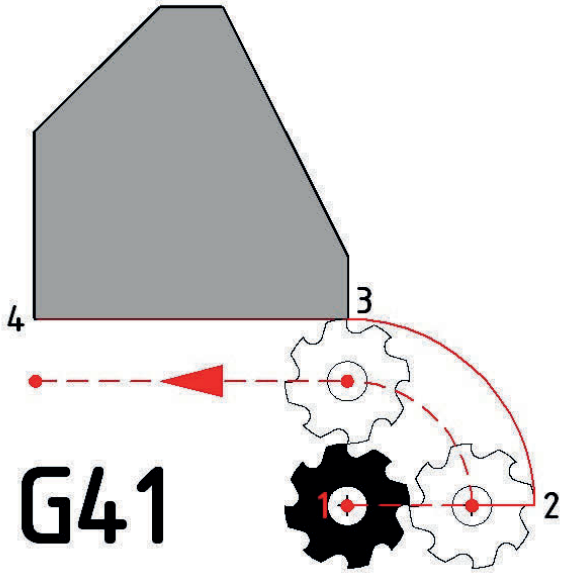
Hinweis:
Moderne Steuerungen, die mehr als zwei Sätze im Voraus lesen, können solche ungewöhnliche Anfahrpositionen richtig interpretieren und fahren mit Hilfe zusätzlicher Zwischenpunkte automatisch den Anfangspunkt an, ohne die Kontur zu verletzen. Dazu kann man bei einigen Steuerungen noch Typ A oder B in den Maschinenparametern anwählen, um die gewünschte Art des An- und Abfahrens zu bestimmen. Siehe dazu im Handbuch der Steuerung.
Um mit allen Steuerungen arbeiten zu können und um Fehler zu vermeiden sollte man sich angewöhnen, immer möglichst direkt an die Kontur anzufahren und ebenso wieder abzufahren, wie in diesem Artikel beschrieben.

Mit Kreisbogen an eine Kontur anfahren

Eine Kontur fährt man mit einem Kreisbogen an, um Freischneidmarken zu vermeiden oder wenn Platzgründe dies erfordern. In den meisten Fällen hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dazu Viertelkreise zu benutzen.
Freischneidmarken werden allerdings nur vermieden, wenn der Radius genau tangential in das folgende Konturelement (Gerade, Radius) übergeht. Bitte hierzu auch den Beitrag zu tangentialen Übergängen beachten, Kapitel „Mathematik“, Unterkapitel „Tangenten“.

Bei einigen Steuerungen ist das Ankompensieren im G02- / G03-Satz des Kreisbogens möglich, was aufgrund der Änderung der Parameter während der Kompensation leicht zur Verwirrung führen kann.
Deshalb lassen die meisten Steuerungen das An- und Abkompensieren nur mit einer geradlinigen Bewegung zu, wie es in den nachfolgenden Beispielen auch dargestellt wird. So muss vorher mit einer geradlinigen Bewegung an den Hilfsbogen ankompensiert werden, der dann als kompensierter Radius an die Kontur anfährt.

Mit Kreisbogen in eine Gerade einfahren

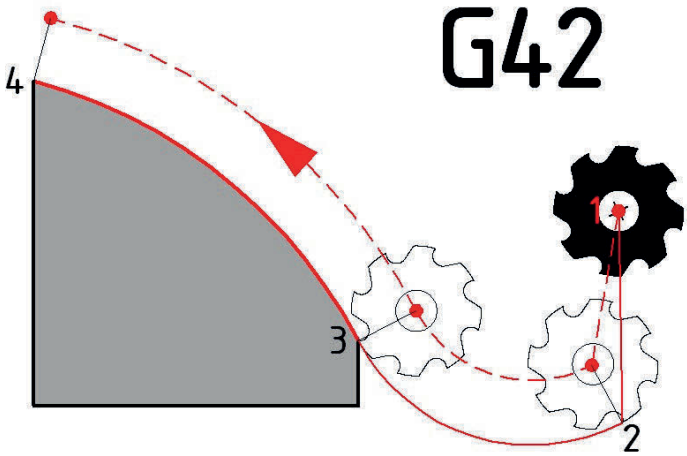


Hier wird das Werkzeug mit G40 auf Punkt 1 (X50 Y-30) positioniert, danach geradlinig mit G41 an den Startpunkt des Anfahrbogens, Radius 30mm (Punkt 2, X80 Y-30) ankompensiert. Hierbei wird in X nicht um die programmierten 30mm verfahren, sondern nur um 30mm minus Werkzeugradius. In diesem Fall wäre bei einem Fräserradius von 10mm der tatsächliche Verfahrweg nur 20 mm.
Weil hier rechtwinklig zum Koordinatensystem angefahren wird, ist dies leicht auszurechnen,
Punkte 1 bis 4 = programmierte Werte, gestrichelte Linie = Äquidistante (Fräsermittelpunktsbahn).

Beispiel, mit G41 in rechtwinkliger Linie an Hilfsradius anfahren:

```
N0020 G0 G54 X50 Y-30      (Positionieren Punkt 1 mit G40)
N0025 G43 Z2 H1            (Eilgang Z mit Werkzeuglängenkorrektur)
N0030 G1 Z-10 F150         (Zustellung Z-Tiefe mit Vorschub)
N0035 G41 X80 Y-30 D1      (Punkt 2 mit Radiuskorrektur anfahren)
N0040 G3 X50 Y0 I-30 J0    (Einfahrbogen nach Punkt 3)
N0045 G1 X0                (Gerade nach Punkt 4)
```

Mit Kreisbogen in einen anderen Bogen einfahren

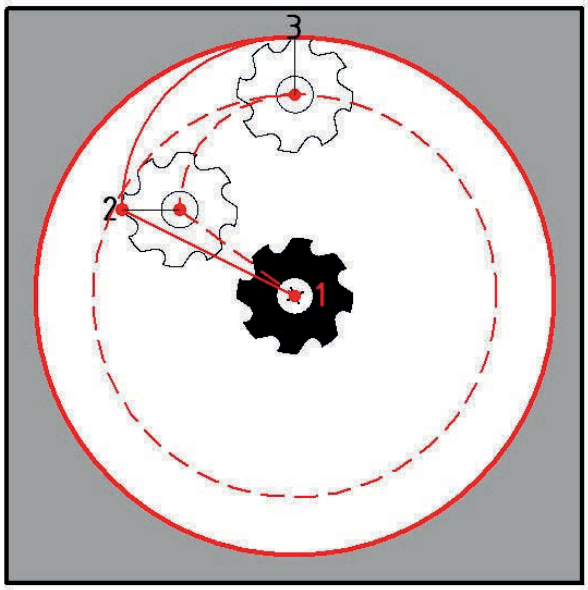


Beim tangentialen Anfahren mit einem Radius in einen anderen Radius muss die Lage des Anfangspunktes der Kontur berücksichtigt werden. In diesem Beispiel wurde der Startpunkt mit G40 frei gewählt und nicht genau senkrecht auf den Startpunkt des Einfahrbogens gesetzt. Dadurch haben die programmierte Bahn und die Mittelpunktsbahn von Punkt 1 nach Punkt 2 nicht nur unterschiedliche Längen, sondern auch verschiedene Richtungen.

Beispiel, mit G42 in schräger Linie an Hilfsradius anfahren:

```
N0020 G0 G54 X90 Y30                (Positionieren Punkt 1 mit G40)
N0025 G43 Z2 H1                     (Eilgang Z mit Längenkorrektur)
N0030 G1 Z-10 F150                  (Zustellung Z-Tiefe mit Vorschub)
N0035 G42 X90.518 Y-2.581 D1        (Punkt 2 mit Radiuskorrektur anfahren)
N0040 G2 X50 Y10 I-13.97 J26.55     (Einfahrradius nach Punkt 3)
oder:  G2 X50 Y10 R30
N0045 G3 X0 Y50 I-70.8 J-37.25      (Radius nach Punkt 4)
oder:  G3 X0 Y50 R80
```

Mit Hilfskreis an einen Innenkreis anfahren

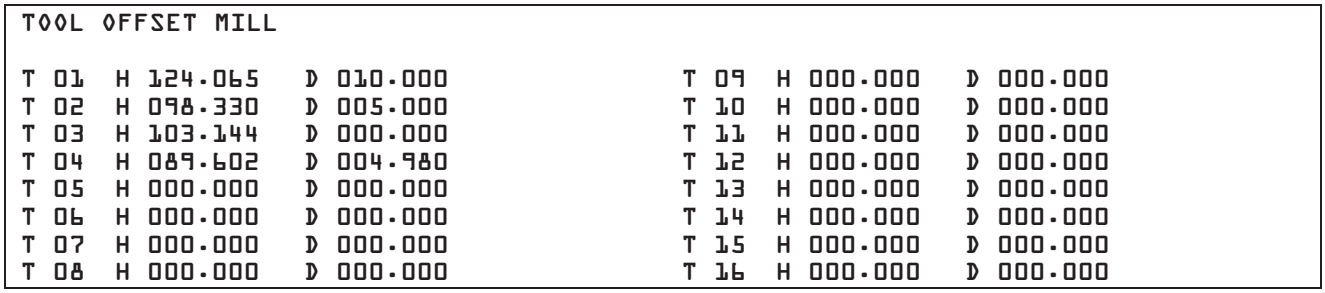


Anfahren mit Hilfskreis an einen Innenkreis mit G42 (rechts der Kontur).
Hier wird das Werkzeug mit G40 in der Mitte der Bohrung positioniert (Punkt 1).
Anfahren an den Anfangspunkt des Einfahrradius 30mm mit G42 (Punkt 2).
Radius zum Anfangspunkt des Vollkreises (Punkt 3) fahren.
Vollkreis Ø 90 fräsen bis Punkt 3.

```
N0020 G0 G54 X0 Y0          (P1)
N0025 G43 Z2 H1
N0030 G1 Z-10 F150
N0035 G42 X-30 Y15 D1       (P2)
N0040 G2 X0 Y45 I30 J0      (P3)
N0045 G2 X0 Y45 I0 J-45
```

Werkzeugkorrekturspeicher - Beispiel

Abspeichern der Werkzeuglänge und des Werkzeugradius in der Steuerung



```
TOOL OFFSET MILL

T 01  H 124.065   D 010.000              T 09  H 000.000   D 000.000
T 02  H 098.330   D 005.000              T 10  H 000.000   D 000.000
T 03  H 103.144   D 000.000              T 11  H 000.000   D 000.000
T 04  H 089.602   D 004.980              T 12  H 000.000   D 000.000
T 05  H 000.000   D 000.000              T 13  H 000.000   D 000.000
T 06  H 000.000   D 000.000              T 14  H 000.000   D 000.000
T 07  H 000.000   D 000.000              T 15  H 000.000   D 000.000
T 08  H 000.000   D 000.000              T 16  H 000.000   D 000.000
```

Anzeige des Werkzeugkorrekturspeichers an einer Fräsmaschine

T = Werkzeugnummer
H = Werkzeuglänge
D = Werkzeugradius

6.10 Radiuskorrektur Typ B anwählen

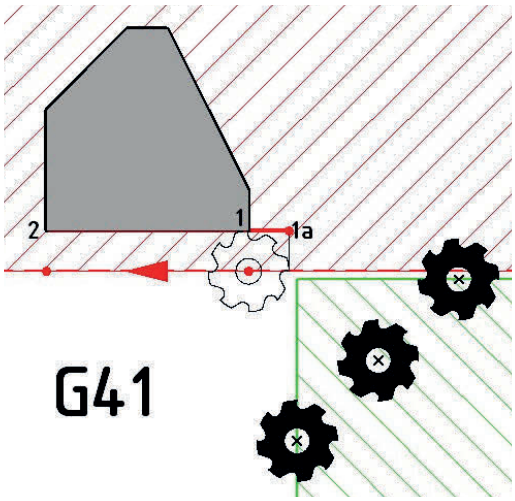
Es gelten hier die selben Vorab-Regeln wie beim Typ A:

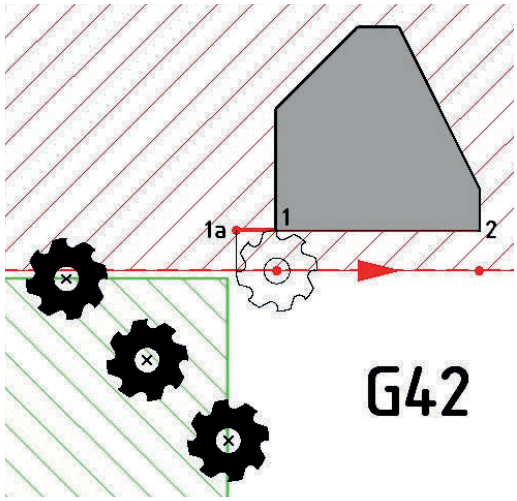
Bearbeitungsebene G17, G18, oder G19 anwählen
Geradlinig An- oder Abfahren
Richtung und Mindestabstand berücksichtigen
Prüfen, ob genug Platz vorhanden ist
Evtl. Wechsel der Bearbeitungsrichtung erwägen
Optimal An- oder Abfahren um unnötige Leerwege zu vermeiden

Der hier beschriebene Typ 2 berücksichtigt zusätzlich den seitlichen Fräserversatz und setzt somit die Außenkante des Werkzeuges zur ersten programmierten Position. Es ist dann häufig nötig, das Konturelement mindestens um den Werkzeugradius zu verlängern oder ein zusätzliches Konturelement einzubauen.
Diese Art der An- und Abwahl der Kompensation ist u. a. bei den Fräsfunktionen von Drehmaschinen anzutreffen.

Letztendlich gibt das Handbuch der betreffenden Steuerung genaue Auskunft, um welchen Typ der Radiuskorrektur es sich handelt und wie er evtl. umgeschaltet werden kann.

Geradlinig an eine Kontur anfahren (Ankompensieren)





Die untere Kante des grauen Werkstücks muss von Punkt 1 nach Punkt 2 gefräst werden. Hierbei soll geradlinig an den Startpunkt 1a angefahren werden.
Das Werkzeug kann hier mit G40 (schwarz dargestellt) überall außerhalb des roten Bereichs mit seinem Mittelpunkt positioniert werden. Das heißt: mindestens den Werkzeugradius als Abstand parallel zur Kontur einhalten. Zusätzlich sollte noch ein Sicherheitsabstand addiert werden, um spätere Abweichungen des Werkzeugradius zu berücksichtigen. Noch vorhandenes Rohmaterial muss ebenfalls beachtet werden.
Es ist empfehlenswert, die G40-Positionierung vor dem Anfahren ungefähr innerhalb des grün dargestellten Bereiches vorzunehmen, sofern der Platz dazu vorhanden ist.
Danach kann die Kontur mit der Radiuskorrektur problemlos angefahren werden.

Beispiel G41:

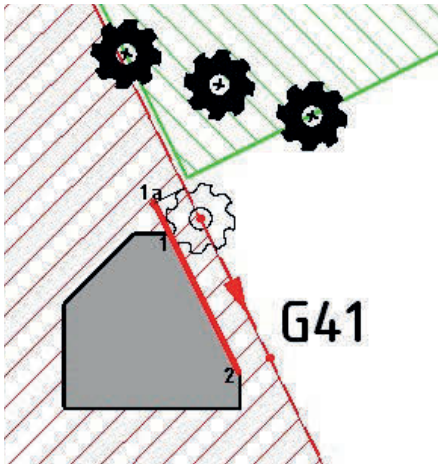
```
N0020 G0 G54 X60 Y-20      (Positionieren X und Y mit G40)
N0025 G43 Z2 H1            (Eilgang Z mit Werkzeuglängenkorrektur)
N0030 G1 Z-10 F150         (Zustellung Z-Tiefe mit Vorschub)
N0035 G41 X60 Y0 D1        (Punkt 1 mit Radiuskorrektur anfahren)
N0040 X0                   (Kontur weiterfahren nach Punkt 2)
```

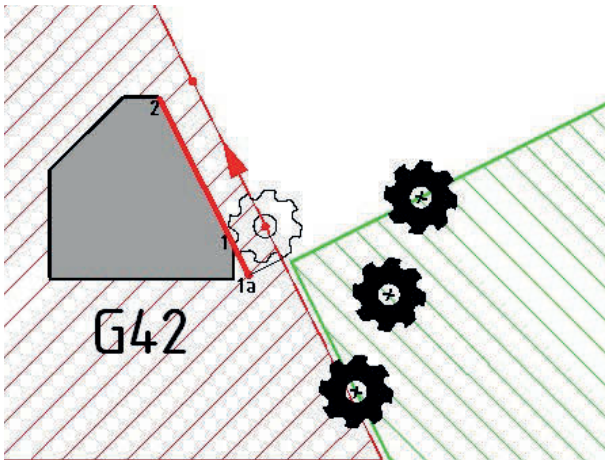
Beispiel G42:

```
N0020 G0 G54 X-20 Y-20     (Positionieren X und Y mit G40)
N0025 G43 Z2 H1            (Eilgang Z mit Werkzeuglängenkorrektur)
N0030 G1 Z-10 F150         (Zustellung Z-Tiefe mit Vorschub)
N0035 G42 X0 Y0 D1         (Punkt 1 mit Radiuskorrektur anfahren)
N0040 X50                  (Kontur weiterfahren nach Punkt 2)
```

Was passiert hierbei?
Das Werkzeug sollte mit seinem Mittelpunkt G40 außerhalb des roten Bereichs stehen. Nach Anwahl von G41/G42 und der D-Nummer wird der Werkzeugradius eingerechnet und die Fahrtrichtung des nächsten Satzes berücksichtigt. Damit wird die Außenkante des Werkzeuges senkrecht auf das folgende Konturelement und an eine um den Radius versetzte Hilfslinie angelegt und somit auf den Startpunkt 1 positioniert. Oben dargestellt durch den transparenten Fräser. Allerdings musste dazu Punkt 1a programmiert werden, um den Unterschied zu berücksichtigen.
Bis zur Abwahl mit G40 fährt das Werkzeug jetzt automatisch auf der Äquidistante weiter.

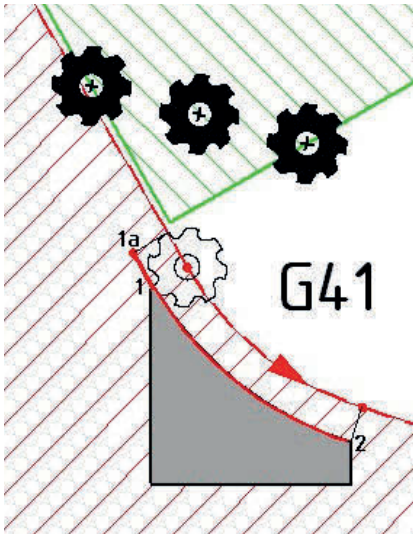
Geradlinig an eine geneigte Kontur anfahren

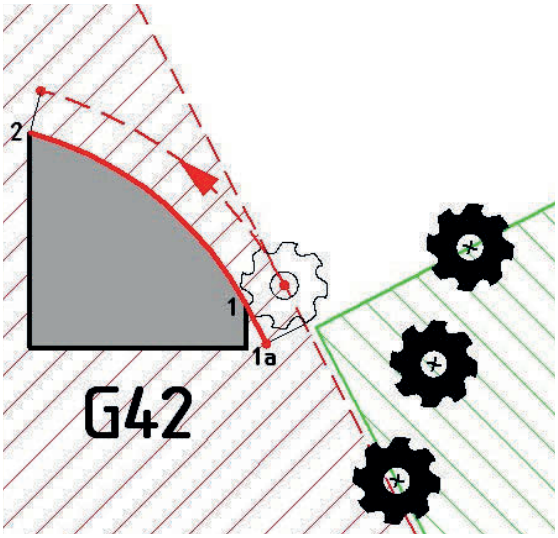




Bei einer schrägen Kontur gilt das vorher gesagte ebenso. Der Anfahrbereich wurde dementsprechend gedreht. Die Anfahrrichtung ist folglich immer von der ersten Konturlinie abhängig. Hier muss ebenfalls anstatt Punkt 1 der Punkt 1a programmiert werden, damit das Werkzeug senkrecht auf Punkt 1 steht.

Geradlinig an einen Radius anfahren





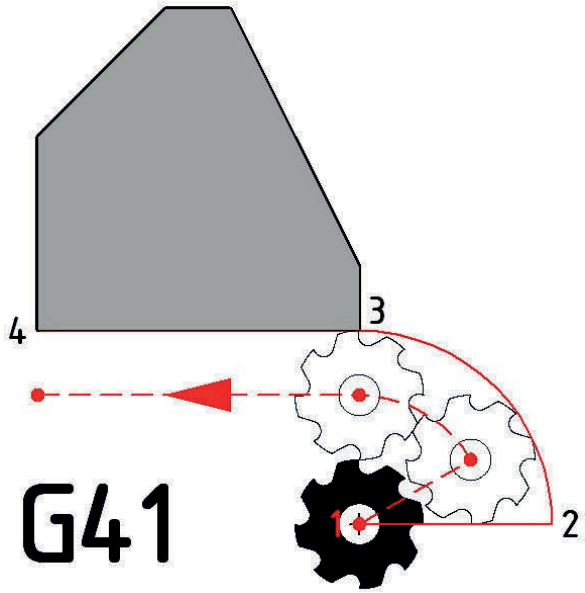
Geradliniges Anfahren an Radien.
Beim Innenradius links folgt die Begrenzung des roten Bereichs der Äquidistante des Radius, außerhalb setzt sich die Begrenzungslinie geradlinig fort.
Im Gegensatz dazu ist die Begrenzung des roten Bereichs beim Außenradius geradlinig, andernfalls würde der Radius beschädigt. Hier muss die Kontur ebenfalls rechnerisch zum Punkt 1a verlängert werden.

Mit Kreisbogen an eine Kontur anfahren

Eine Kontur fährt man mit einem Kreisbogen an, um Freischneidmarken zu vermeiden oder wenn Platzgründe dies erfordern. In den meisten Fällen hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dazu Viertelkreise zu benutzen.
Freischneidmarken werden allerdings nur vermieden, wenn der Radius genau tangential in das folgende Konturelement (Gerade, Radius) übergeht. Bitte hierzu auch den Beitrag zu tangentialen Übergängen beachten, Kapitel „Mathematik“, Unterkapitel „Tangenten“.

Bei einigen Steuerungen ist das Ankompensieren im G02- / G03-Satz des Kreisbogens möglich, was aufgrund der Änderung der Parameter während der Kompensation leicht zur Verwirrung führen kann.
Deshalb lassen die meisten Steuerungen das An- und Abkompensieren nur mit einer geradlinigen Bewegung zu, wie es in den nachfolgenden Beispielen auch dargestellt wird. So muss vorher mit einer geradlinigen Bewegung an den Hilfsbogen ankompensiert werden, der dann als kompensierter Radius an die Kontur anfährt.
So lange die programmierte Bahn des Einfahrradius größer ist als der Fräserradius, wird die Kontur auch ohne Verlängerungslinie bei diesem speziellen Steuerungstyp vollständig angefahren,.

Mit Kreisbogen in eine Gerade einfahren



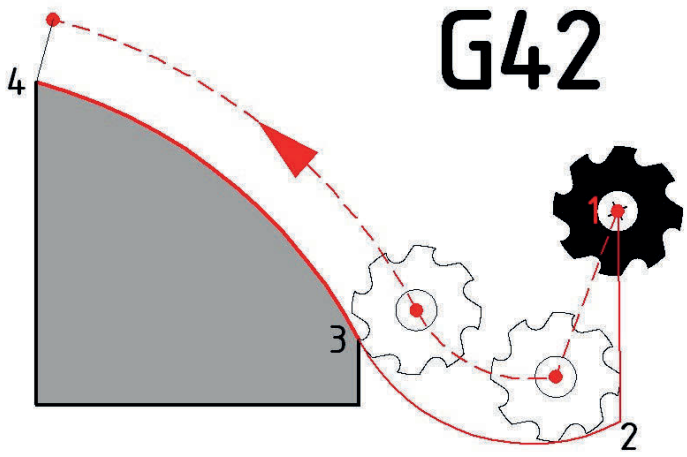
Hier wird das Werkzeug mit G40 auf Punkt 1 (X50 Y-30) positioniert, danach geradlinig mit G41 an den Startpunkt des Anfahrbogens, Radius 30mm (Punkt 2, X80 Y-30) ankompensiert. Weil hier rechtwinklig zum Koordinatensystem angefahren wird, ist dies leicht auszurechnen. So lange die programmierte Bahn des Einfahrradius größer ist als der Fräserradius, wird die Kontur von Punkt 3 nach Punkt 4 korrekt ausgeführt.
Punkte 1 bis 4 = programmierte Werte, gestrichelte Linie = Äquidistante (Fräsermittelpunktsbahn).

Beispiel, mit G41 in rechtwinkliger Linie an Hilfsradius anfahren:

```
N0020 G0 G54 X50 Y-30          (Positionieren Punkt 1 mit G40)
N0025 G43 Z2 H1                (Eilgang Z m. Werkzeuglängenkorrektur)
N0030 G1 Z-10 F150             (Zustellung Z-Tiefe mit Vorschub)
N0035 G41 X80 Y-30 D1          (Punkt 2 mit Radiuskorrektur anfahren)
N0040 G3 X50 Y0 I-30 J0        (Einfahrbogen nach Punkt 3)
N0045 G1 X0                    (Gerade nach Punkt 4)
```

Mit Kreisbogen in einen anderen Bogen einfahren

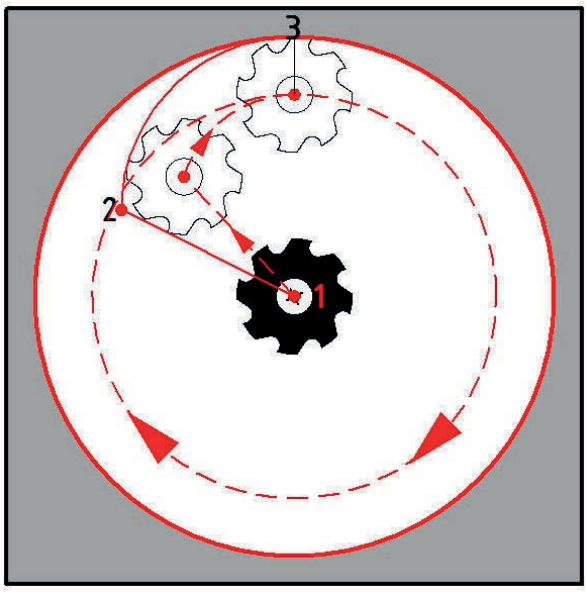
Für die nachstehenden Beispiele gilt ebenfalls:
So lange die programmierte Bahn des Einfahrradius größer ist als der Fräserradius, wird die nachfolgende Kontur korrekt ausgeführt.



Beim tangentialen Anfahren mit einem Radius in einen anderen Radius muss die Lage des Anfangspunktes der Kontur berücksichtigt werden. In diesem Beispiel wurde der Startpunkt mit G40 frei gewählt und nicht genau senkrecht auf den Startpunkt des Einfahrbogens gesetzt.

Beispiel, mit G42 in schräger Linie an Hilfsradius anfahren:

N0020 G0 G54 X90 Y30	(Positionieren P. 1 m. G40)
N0025 G43 Z2 H1	(Eilgang Z m. Längenkorrektur)
N0030 G1 Z-10 F150	(Zustellung Z-Tiefe m. Vorsch.)
N0035 G42 X90.518 Y-2.581 D1	(P. 2 mit Radiuskorr. anfahren)
N0040 G2 X50 Y10 I-13.97 J26.55	(Einfahrradius nach Punkt 3)
Oder: G2 X50 Y10 R30	
N0045 G3 X0 Y50 I-70.8 J-37.25	(Radius nach Punkt 4)
Oder: G3 X0 Y50 R80	



Anfahren mit Hilfskreis an einen Innenkreis mit G42 (rechts der Kontur).
Hier wird das Werkzeug mit G40 in der Mitte der Bohrung positioniert (Punkt 1).
Anfahren an den Anfangspunkt des Einfahrradius 30mm mit G42 (Punkt 2).
Radius zum Anfangspunkt des Vollkreises (Punkt 3) fahren.
Vollkreis Ø 90 fräsen bis Punkt 3.

N0020 G0 G54 X0 Y0	(P1)
N0025 G43 Z2 H1	
N0030 G1 Z-10 F150	
N0035 G42 X-30 Y15 D1	(P2)
N0040 G2 X0 Y45 I30 J0	(P3)
N0045 G2 X0 Y45 I0 J-45	

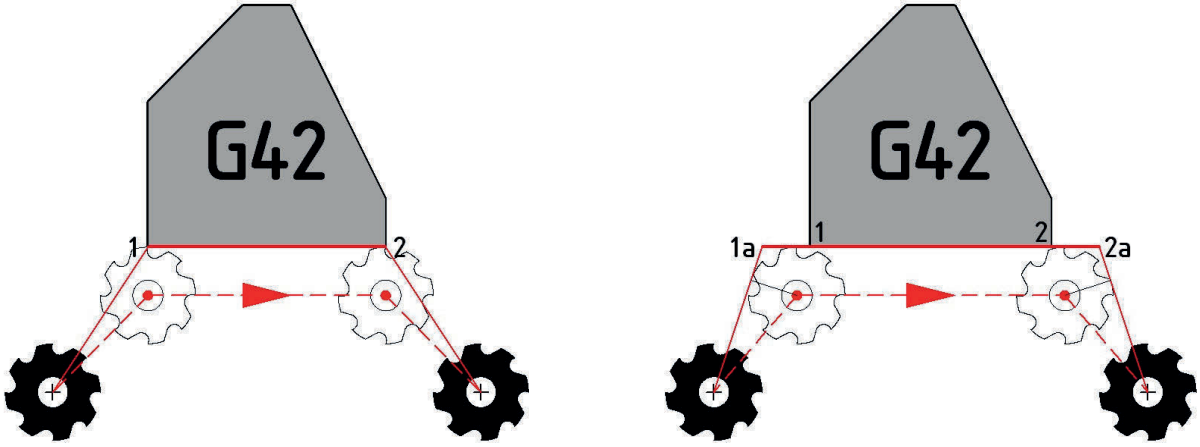
6.11 Radiuskorrektur abwählen Typ A und B

Das Abfahren (Abwählen der Radiuskorrektur, Abkompensieren) geschieht logischerweise umgekehrt wie das Anfahren und mit den selben Regeln für die Richtung.
Wie schon beim Anfahren erwähnt, gibt es zwei Steuerungs-Typen, die ein unterschiedliches An- und Abwahlverhalten zeigen.
Der Standard-Typ A fährt den Endpunkt des letzten Konturelements voll bis zur Fräsermitte ab und von dort aus zur G40-Position. Also genau umgekehrt wie beim Anfahren.
Der zweite Typ B fährt das letzte Konturelement nur bis zur Außenkante des Werkzeuges ab, um von dort aus zur G40-Position zu fahren. Es ist dann häufig nötig, das Konturelement mindestens um den Werkzeugradius zu verlängern oder ein zusätzliches Konturelement einzubauen, genau so wie beim Anfahren.

Hinweise im Handbuch genau beachten.

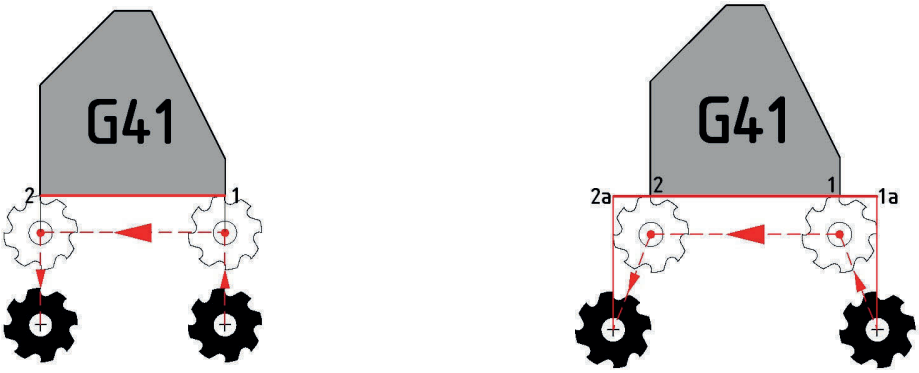
Zur besseren Übersicht nachfolgend einige Beispiele mit An- und Abfahrverhalten.
Selbstverständlich kann die Methode geradlinig oder mit Radius gemischt werden, wie Anfahren mit Radius, Abfahren geradlinig oder umgekehrt.
Links der erste Typ bis Fräsermittelpunkt, rechts der zweite Typ bis Werkzeugkante.
Rote Volllinie = programmierte Bahn, unterbrochene rote Linie = Mittelpunktsbahn.

Schräg geradlinig An- und Abfahren



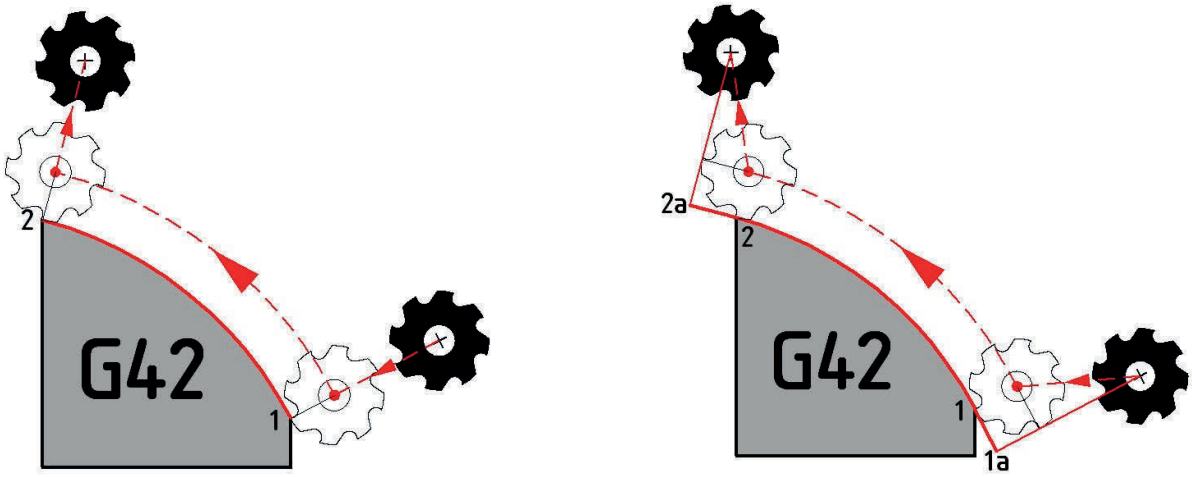
Kontur von Punkt 1 nach Punkt 2 beliebig schräg An- und Abfahren. Links die Standard-Steuerung, welche die Kontur bis zum programmierten Endpunkt abfährt. Im rechten Bild gilt der zweite Steuerungstyp, deshalb muss dort die Kontur zum vollständigen Abfahren um den Werkzeugradius verlängert werden, anstatt Punkt 2 ist Punkt 2a zu programmieren.

Rechtwinklig geradlinig An- und Abfahren



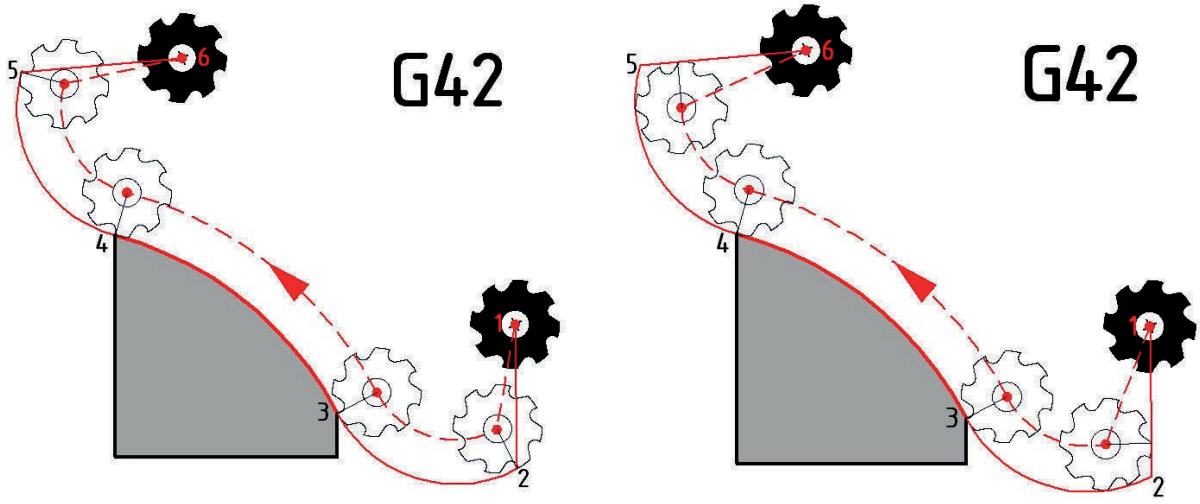
Kontur von Punkt 1 nach Punkt 2 rechtwinklig An- und Abfahren. Im rechten Bild gilt der zweite Steuerungstyp, deshalb muss dort ebenfalls die Kontur zum vollständigen Abfahren um den Werkzeugradius verlängert werden, anstatt Punkt 2 ist Punkt 2a zu programmieren.

Senkrecht geradlinig an Radius An- und Abfahren



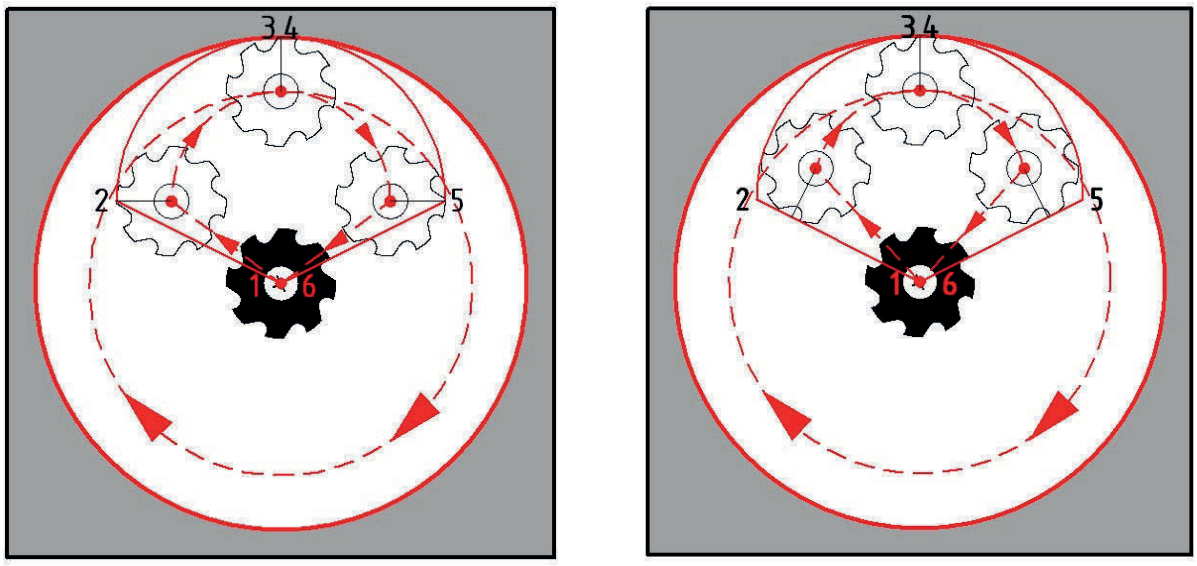
Kontur von Punkt 1 nach Punkt 2 rechtwinklig zur Kontur An- und Abfahren. Im rechten Bild gilt der zweite Steuerungstyp, deshalb muss dort die Kontur zum vollständigen Abfahren mit einem Zusatzelement geradlinig um den Werkzeugradius verlängert werden. Nach Punkt 2 ist zusätzlich Punkt 2a zu programmieren.
Auch eine entsprechende Verlängerung des Bogens wäre hier ohne Zwischenpunkt möglich.

Mit Einfahr- und Ausfahrbogen an Radius An- und Abfahren



Kontur von Punkt 3 nach Punkt 4 mit Ein- und Ausfahrbogen. Im rechten Bild gilt der zweite Steuerungstyp. Der Ausfahrbogen wird dort nicht ganz bis zum Punkt 5 gefahren. So lange die programmierte Bahn des Ausfahrradius größer ist als der Fräserradius, wird die Kontur von Punkt 3 nach Punkt 4 korrekt ausgeführt.

Mit Einfahr- und Ausfahrbogen an Innenkreis An- und Abfahren



Innen-Vollkreis von Punkt 3 nach Punkt 4 (Anfangs- und Endpunkt) mit Ein- und Ausfahrbogen. Im rechten Bild gilt der zweite Steuerungstyp. Der Ausfahrbogen wird dort nicht ganz bis zum Punkt 5 gefahren. So lange die programmierte Bahn des Ausfahrradius größer ist als der Fräserradius, wird der Vollkreis von 3 nach 4 korrekt ausgeführt.

6.12 Radiuskorrektur G43 und G44

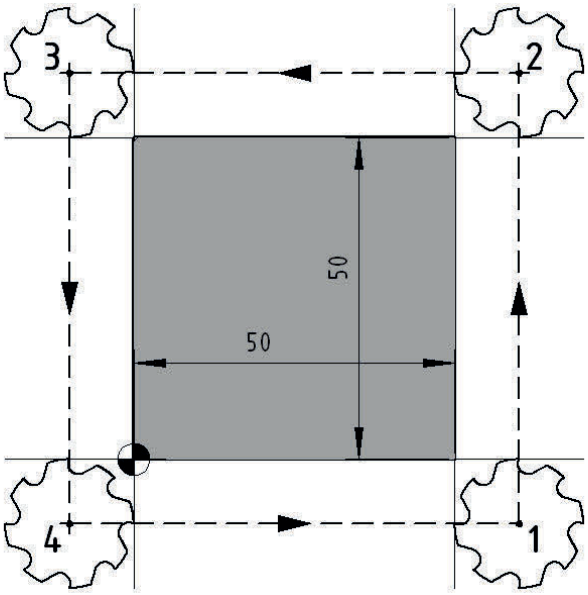
G43 und G44 als Werkzeuglängen-Korrektur

Üblicherweise werden G43 und G 44 bei Fräsmaschinen-Steuerungen zur Einrechnung der Werkzeuglängenkorrektur in Plus- oder Minus-Richtung verwendet.
Wenn die Werkzeuglängen von der Spindelnase aus gemessen werden, wie auch an einem externen Werkzeugvoreinstellgerät üblich, dann haben natürlich alle Werkzeuge positive Längen (G43).
Falls die Längen mit einem Referenzwerkzeug und weiteren Werkzeugen am Werkstück angekratzt oder mit Hilfe eines Endmaßes ausgemessen werden müssen, kann es auch negative Werte (G44) ergeben, wenn das aktuelle Werkzeug kürzer als das Referenzwerkzeug ist. Dies gilt allerdings nur, wenn die Spitze des Referenzwerkzeuges als Null gesetzt wurde.

G43 und G44 als Radiuskorrektur in Plus- oder Minus-Richtung

Einige Steuerungen verrechnen mit T.... oder D.. oder H.. die Werkzeuglänge und den Radius gleichzeitig, so dass G43 und G44 als achsparallele Radiuskorrektur Plus oder Minus zusätzlich zur Verfügung stehen.
Die Radiuskorrekturen G43 und G44 ermöglichen dann bequemes Fräsen von rechtwinklig zum Koordinatensystem stehenden (achsparallelen) Konturen und eignen sich auch gut zum Positionieren des Werkzeuges vor dem Aufruf von G41 und G42 zum anschließenden Fräsen einer beliebigen Kontur.

Fräsen mit G43 und G44

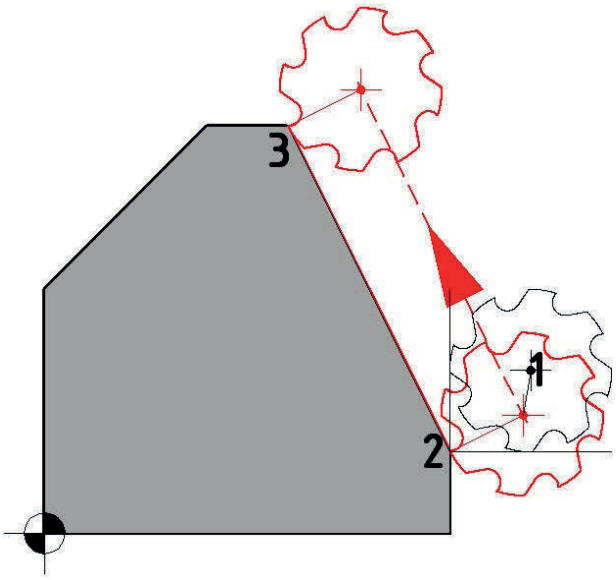


Beispiel für die Verfahrbewegungen bei einem rechtwinkligen Werkstück:

```
G44        Y0    (Punkt 1 Y)
G43  X50         (Punkt 1 X)
           Y50   (Punkt 2)
G44  X0          (Punkt 3)
           Y0    (Punkt 4)
G43  X50         (Punkt 1)
```

Hierbei wird der Werkzeugradius jeweils achsparallel in Plus- oder Minus-Richtung versetzt.
Der XY-Nullpunkt ist links unten.

Positionieren mit G43 und G44



Positionieren mit G43/G44 zum Anfahren an eine Kontur, welche mit G41/G42 weiterbearbeitet wird.

Werkstück 50 X 50 mm,
Punkt 2 = X50 Y10
Punkt 3 = X30 Y50

```
G43   X50   Y10   (Mittelpunkt 1)
G42   X50   Y10   (Punkt 2)
      X30   Y50   (Punkt 3)
```

Mit G43 wird der Fräserradius rechtwinklig zum programmierten Punkt 2 nach rechts (X+) und nach oben (Y+) versetzt. Der Fräsermittelpunkt des schwarzen Fräsers steht dann auf Punkt 1 = X60 und Y20 (bei einem Fräserradius von 10 mm) und somit außerhalb der anzufahrenden Kontur. Vorteil: die Mittelpunktsposition braucht nicht ausgerechnet zu werden.
Danach wird mit G42 in bekannter Weise an die Kontur ankompensiert, um die Bahn von Punkt 2 nach Punkt 3 abzufahren (roter Fräser).

6.13 Bohren

NC-Anbohrer

Der klassische Zentrierbohrer mit Spitze und 60º-Fase wird fast nur noch für Zentrierbohrungen zur Reitstockaufnahme bei Dreh- und Rundschleifmaschinen benötigt. Stattdessen wird vornehmlich ein NC-Anbohrer benutzt, der gleichzeitig die Fase für die Bohrung erstellt. Dazu kann ein NC-Anbohrer mit bis zu dreifacher Schnittgeschwindigkeit eines Spiralbohrers eingesetzt werden.
Der NC-Anbohrer ist eigentlich ein Spiralbohrer mit kurzer Schneide, dünnem Kern und deshalb mit kleiner Querschneide. Gewöhnlich hat er einen Spitzenwinkel von 90º, manchmal auch 118º. Sein Durchmesser wird größer als die Bohrung gewählt und es wird so tief anzentriert, dass bereits die Fase für die Bohrung erstellt wird.
Da im CNC-Programm von der Werkzeugspitze ausgegangen wird, ist das Verhältnis von Tiefe und Durchmesser immer vom Spitzenwinkel abhängig.

Formel: $S = \frac{\tan(90 - A/2)}{2} * D$

S = Spitzenhöhe
A = Spitzenwinkel
D = Durchmesser

Bei 90º ist S = 0,5 x D, bei 118º ist S = 0,3 X D und bei 130º ist S = 0,2 x D. Die Werte 0,3 und 0,2 sind gerundet, reichen aber normalerweise in der Praxis völlig aus.
Beispiel: Bohrung Ø 5mm, 0,2mm angefast. Dies bedeutet, der Außendurchmesser der Fase beträgt 5,4mm. Der NC-Anbohrer hat einen Spitzenwinkel von 90º. Hierbei beträgt die Zustelltiefe 0,5 x Durchmesser = 2,7mm.

Spiralbohrer

Das Bohren ist ein alltägliches spanendes Fertigungsverfahren. Es gibt verschiedene Bohrerausführungen, für normale, harte und weiche Werkstoffe mit unterschiedlichen Drallwinkeln. Dazu haben die Bohrer verschiedene Spitzenwinkel, entweder 118º oder 130º und es gibt außer der Normallänge, kurze, lange und überlange Spiralbohrer. Eine Sonderform der Spiralbohrer sind Stufenbohrer, die in einem Arbeitsgang verschiedene Durchmesser oder Fasen anfertigen.
In technischen Zeichnungen ist normalerweise die nutzbare Bohrtiefe eingezeichnet. Beim Programmieren wird jedoch die Spitze des Bohrers berücksichtigt.
Warum wohl? Beim Anfahren und Überfahren des Werkstückes muss ein gewisser Mindestabstand (Sicherheitsabstand) gewährleistet sein. Bei einem normalen Bohrer Ø 5 beträgt die Spitze 1,5mm, bei einem Bohrer Ø 30 sind das schon 9mm. Man müsste also jedes Mal einen anderen Sicherheitsabstand bestimmen, was leicht zu Fehlern führt oder immer einen so großen Abstand einhalten, dass einige Werkzeuge einen großen Leerweg im Vorschub zurücklegen müssen, was viel Zeit kostet. Außerdem ist die Bohrerlänge leichter an der Spitze zu messen als an der Außenkante.
Bei 90º ist die Bohrerspitze mit 0,5 x Ø, bei 118º mit 0,3 x Ø und bei 130º mit 0,2 x Ø zu programmieren
Bei Durchgangslöchern muss bei Austritt des Bohrers ebenfalls die Bohrerspitze und eine Zugabe (0,5 bis 1 mm) berücksichtigt werden.

Bei einer unregelmäßigen Anfangsebene ist besondere Vorsicht nötig und bei einer Schräge oder einer gewölbten Fläche weicht jeder Bohrer seitlich aus. Je nach Fall kann oftmals nicht mit dem NC-Anbohrer zentriert werden, so dass vorab mit einem Bohrnutenfräser eine kleine Fläche angefräst werden muss. Der Fräser sollte mindestens denselben Durchmesser wie der Bohrer haben und so tief vorfräsen, dass nachher die äußere Schneidkante des Bohrers auf allen Seiten eine Führung hat.

Beim Austritt des Bohrers auf der Gegensite (Unterseite) ist bei zähen und widerstandsfähigen Materialien besondere Vorsicht geboten. Dies gilt in besonderem Maße für schräge und gekrümmte Flächen.
Dabei empfiehlt sich die Reduzierung des Vorschubes auf die Hälfte.

Tieflochbohren

Ab einer gewissen Bohrtiefe muss immer wieder entspänt oder zu mindestens die Späne gebrochen werden. Wie beim Bohren von Hand muss der Bohrer dabei immer wieder zurückgezogen werden. Dazu besitzen die CNC-Steuerungen Tiefbohrzyklen, welche die zahlreichen Aus- und Einwärts- Bewegungen automatisch ausführen.
Beim Tieflochbohren mit überlangen Bohrern empfiehlt es sich, zuerst einen normal langen Bohrer mit wenig größerem Durchmesser (0,01 bis 0,03 größer) zu nehmen. Mit diesem wird so tief wie möglich vorgebohrt. Danach hat der überlange Bohrer eine ausreichende Führung, so dass weniger Gefahr eines Verlaufens der Bohrung besteht.
Für dünne Bohrer ergeben sich laut Drehzahlberechnung sehr hohe Drehzahlen. Diese hohen Drehzahlen sind bei überlangen Bohrern aus folgenden Gründen zu reduzieren: in den tiefen Löchern müssen die Späne Zeit zum Herauskommen haben und ab einer gewissen Drehzahl biegen sich die langen Bohrer durch ihre Unwucht, sie „flackern“ regelrecht. Sie brechen dann entweder außerhalb des Werkstückes von selbst ab oder brechen beim Auftreffen auf das Werkstück, weil sie die Position nicht mehr finden. Schon der Kühlmittelstrahl kann einen langen Bohrer ablenken.

Senker

Die häufigsten Formen sind Flach- und Kegelsenker. Der klassische Zapfensenker hat allerdings in der CNC Technik fast ausgedient und wird vornehmlich durch Zirkularfräsen mit einem gewöhnlichen Fräser ersetzt. Dafür eignen sich besonders gut die einfachen Kreistaschen-Zyklen G12 oder G13, falls verfügbar.

Wenn kein ausreichend großer NC-Anbohrer eingesetzt werden kann, müssen evtl. Bohrungen mit einem Kegelsenker angesenkt werden. Weil ein Kegelsenker meistens eine Kegelstumpfform hat, muss zur Berechnung der Zustelltiefe zusätzlich noch der kleine Durchmesser berücksichtigt werden. Ansonsten gelten für einen 90º-Senker bei der Tiefenzustellung dieselben Regeln wie für einen NC-Anbohrer mit 90º.

Reibahle

Das vorgebohrte Loch darf nicht zu eng sein, damit die Reibahle sich nicht mit Spänen zusetzt und zu stark belastet wird. Ein zu weites Loch führt dazu, dass die Reibahle nicht mehr schneidet und so nur das Material wegdrückt, dabei wird die Reibahle schnell abgenützt. Ein Richtwert für das Durchmesser-Untermaß sind ungefähr 3%. Z. B. für Reiben Ø 10 mit 9,7 vorbohren.

Zum Reiben muss die Bohrung vorher auf Fertigmaß angesenkt sein, damit die Reibahle richtig ansetzt und weil ein nachträgliches Senken wieder einen kleinen Grat in der geriebenen Bohrung erzeugt. Bei Sacklöchern muss sichergestellt sein, dass sich vor dem Reiben keine Späne mehr im Loch befinden.
Reiben ist eine Feinbearbeitung, deshalb versteht es sich von selbst, dass nur einwandfreie Reibahlen, genauer Rundlauf und ausreichend Schmierung zu einem guten Ergebnis führen.
Oftmals hilft es die Drehzahl zu reduzieren, um etwas kleinere Bohrungen zu erhalten und umgekehrt größere Bohrungen bei erhöhter Drehzahl.
Reiben wird beim Hinein- und Herausfahren im Vorschub durchgeführt, wie in den Bohrzyklen G85 und G89 vorgegeben. Befriedigende Ergebnisse werden oft auch erzielt, wenn zum Herausfahren der doppelte Vorschub genommen wird, um die Bearbeitungszeit zu reduzieren, insbesondere bei Serienfertigung. Allerdings kann dies nicht mit den Standardzyklen verwirklicht werden.

Ausbohren, Ausdrehen

Trotz möglicher Zirkularinterpolation beim Fräsen kann ein Ausbohren oder Ausdrehen mit Ausdrehkopf und Ausdrehwerkzeug nötig werden, wenn eine größere Tiefe, erhöhte Rundheit und Genauigkeit der Bohrungen, evtl. auch bei Außenbearbeitung für Zapfen, gefordert wird.
Typisches Beispiel, Ausdrehen einer Bohrung:
Ein rotierendes, auf den korrekten Durchmesser eingestelltes, Ausdrehwerkzeug fährt im Vorschub bis zur Endtiefe der Bohrung. Dort hält die Spindel orientiert an und wird um wenige zehntel Millimeter zur Mitte hin freigefahren, um beim Hochfahren die Oberfläche nicht zu beschädigen. Das Werkzeug fährt mit Eilgang aus der Bohrung, wird wieder auf seine ursprüngliche Position zurückgestellt und danach erneut die Drehzahl eingeschaltet.
Bei den Standard-Bohrzyklen gibt es verschiedene Varianten von Ausdrehzyklen.

Gewindebohrer

Auch ein Gewindebohrer wird von der Werkzeugspitze aus programmiert.

Beim Gewindebohren muss der Vorschub in Abhängigkeit von der Drehzahl programmiert werden. Beim Fräsen wird der Vorschub standardmäßig in mm/min angegeben. Beim Drehen in mm/U (G95), in einigen Fällen auch in mm/min (G94).

Was passiert beim Gewindebohren, z. B. bei einem Rechtsgewinde?
- der Gewindebohrer dreht sich rechts
- positioniert mit Eilgang auf Sicherheitsabstand über der Bohrung
- fährt mit Vorschub auf die programmierte Tiefe
- hält Vorschub und Spindel gleichzeitig an
- dreht links und fährt gleichzeitig mit Vorschub aus der Bohrung heraus
- dreht wieder rechts, um danach evtl. zur nächsten Bohrung zu positionieren

Da jede Beschleunigung oder Abbremsung Zeit benötigt, muss der Vorschub im gleichen Verhältnis wie die Spindeldrehzahl zu- oder abnehmen, da sonst der Gewindebohrer bricht oder das Gewinde unbrauchbar wird. Auch wenn dies in kürzester Zeit erfolgt, muss klar sein, dass es keine Null-Beschleunigung oder Abbremsung gibt. Eine rotierende Masse

von z. B. zusammen 50kg für Spindel, Werkzeug und drehende Motorteile kann nicht in 0,000 Sekunden auf eine hohe Drehzahl beschleunigt oder angehalten werden.
Es gibt Maschinen, welche die Beschleunigung und Abbremsung der Drehzahl zu 100 % mit dem Vorschub synchronisieren können, so dass ein Gewindebohrer in einen normalen Werkzeughalter eingespannt werden kann.
Bei vielen Maschinen, vorwiegend bei älteren Modellen ist jedoch keine genaue Synchronisation zwischen Drehzahl und Vorschub möglich. Im Allgemeinen läuft die Spindel noch etwas nach (bis 1 Umdrehung). Hierfür wird ein Ausgleichsfutter benötigt. Dieses spezielle Gewindebohrfutter lässt sich um einige Millimeter in die Länge ziehen und wird durch eine Feder wieder zurückgezogen. Das Futter kann jedoch nicht zusammen gedrückt werden, weil der Gewindebohrer beim Ansetzen am Werkstück sicher anschneiden muss.
Zur Sicherheit wird hierzu der Vorschub um etwa 5 bis 10% kleiner gewählt, damit wirklich keine Stauchung erfolgt, sondern der Halter nur in die Länge gezogen wird. Bei Ausgleichsfuttern muss eventuell die nutzbare Gewindetiefe durch Versuche ermittelt und im Programm korrigiert werden.

Beispiel 1: Ein Gewinde M4 hat eine Steigung von 0,7mm.
Die gewählte Drehzahl ist 1200 U/min
Der Vorschub der Fräsmaschine wäre dann 1200 U/min X 0,7mm = 840 mm/min (F840)
Mit Ausgleichsfutter und 5% Reduzierung sind dies:
840 mm/min X 0,95 = 798 mm/min (F798 programmieren)

Beim Gewindebohren auf der Drehmaschine mit G95 wären es direkt 0,7 mm/U (F0.7)
Mit Ausgleichsfutter und 5% Reduzierung sind dies:
0,7 mm/U X 0,95 = 0,665 mm/U (F0.665) programmieren

Beispiel 2: Ein Gewinde M10 hat eine Steigung von 1,5mm.
Die gewählte Drehzahl ist 500 U/min
Der Vorschub der Fräsmaschine wäre dann 500 U/min X 1,5mm = 750 mm/min (F750)
Mit Ausgleichsfutter und 5% Reduzierung sind dies:
750 mm/min X 0,95 = 712,5 mm/min (F713 programmieren)

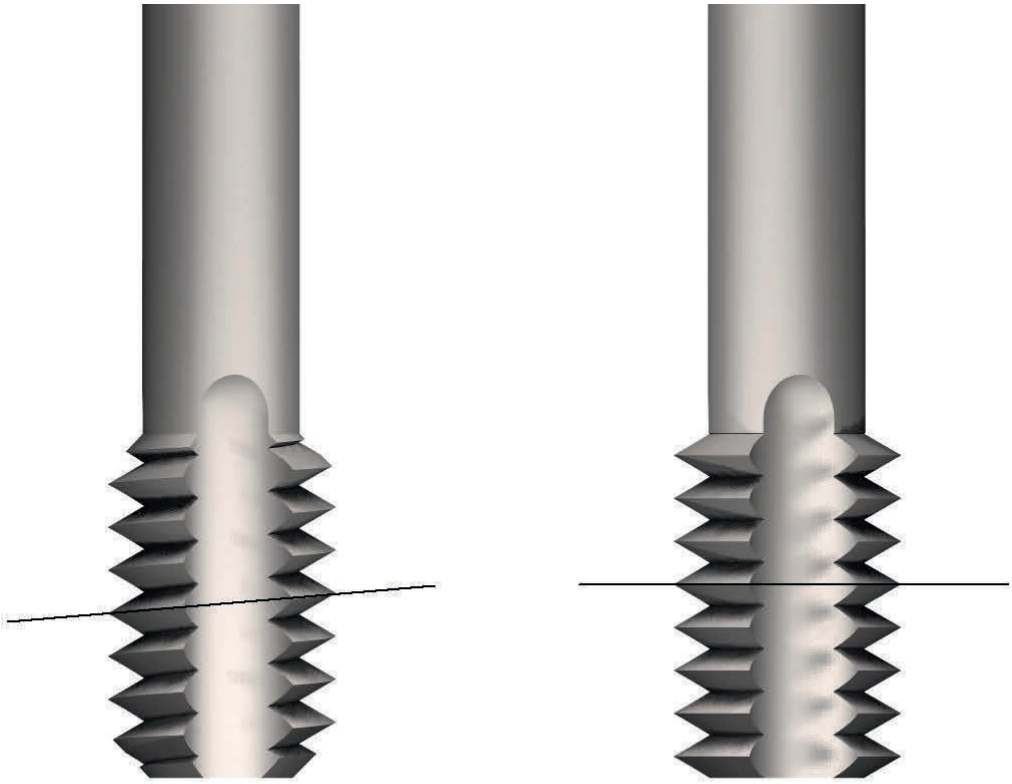
Bei der Drehmaschine mit G95 wären es direkt 1,5 mm/U (F1.5)
Mit Ausgleichsfutter und 5% Reduzierung sind dies:
1,5 mm/U X 0,95 = 1,425 mm/U (F1.425 programmieren)

Wie man aus den Beispielen ersehen kann, kommen beim Gewindebohren sehr hohe Vorschubwerte vor. Deshalb muss auch der Anfahrtsweg / Sicherheitsabstand größer gewählt werden, damit das Werkzeug beim Anschneiden des Materials schon die gewünschte Drehzahl erreicht hat. Hierbei sollte man ungefähr das zwei- bis vierfache des sonst üblichen Sicherheitsabstandes nehmen, was auf Grund der hohen Vorschubgeschwindigkeit kaum Zeitverlust verursacht.

Natürlich ist beim Gewindeschneiden auf ausreichende Schmierung zu achten und bei Sacklöchern muss gewährleistet sein, dass sich keine Späne mehr im Kernloch befinden.

Beim Gewindebohren kommt die Funktion G63 zur Anwendung, welche eine teilweise oder vollständige Synchronisation bewirkt. Dies beinhaltet gleichzeitig die Deaktivierung der Vorschub- und Drehzahlpotentiometer (M49, Aktivierung mit G48), damit kein versehentlich verstellter Potentiometer die Synchronisation durcheinander bringt. Das bedeutet auch, dass beim Gewindebohren keine manuelle Reduzierung der

Geschwindigkeiten beim Probelauf möglich ist. Deshalb hier besonders sorgfältig programmieren.
Bei den Gewindezyklen G84 (Rechtsgewinde) und G74 (Linksgewinde) sind diese zusätzlichen Funktionen inklusive Rücksetzen enthalten. Es empfiehlt sich deshalb, Gewindebohrungen nur mit den Gewindezyklen zu fertigen, um nichts zu vergessen.



Links: Normaler Gewindebohrer mit regulärem Gewindeprofil entsprechend der Steigung.
Rechts: Gewindefräser. Das Gewindeprofil wird beim Gewindefräsen durch eine Kreisbewegung mit gleichzeitiger Tiefenzustellung erzeugt (Helix-Interpolation). An den Flanken muss ein Hinterschliff vorhanden sein, damit bei der Tiefenzustellung keine Gewindeverzerrung erfolgt.

Zur Berechnung der Tiefenzustellung beim Bohren und Senken siehe auch Kapitel „Mathematik“, „Bohren und Senken“.

6.14 Bohrzyklen

Zyklen dienen zur einfacheren Programmierung von häufig vorkommenden Standardanwendungen. Ein Zyklus ist ein Vorgang, der abgearbeitet wird und zum Schluss wieder zum Ausgangspunkt zurückkehrt. Im Grunde genommen ist ein Arbeitszyklus nur ein Unterprogramm, das anstatt mit festen Werten mit Variablen (Parametern) arbeitet und deshalb universell einsetzbar ist.

Die Standard-Bohrzyklen G81 bis G89 werden praktisch als fester Bestandteil bei allen Fräsmaschinen-Steuerungen mitgeliefert, können aber trotzdem von Hersteller zu Hersteller voneinander abweichen.

Fanuc bietet zusätzlich die Bohrzyklen G73, G74 und G76, die genauso wie die Bohrzyklen G81 bis G89 angewendet und abgewählt werden.

Bei den Bohrzyklen können verschiedene Anfangs- und Rückzugsebenen verwendet werden, siehe G98 und G99.

G80 Bohrzyklus aufheben, Einschaltstellung
Die Bohrzyklen sind selbsthaltend. Deshalb darf nach dem Einsatz eines Bohrzyklus nicht vergessen werden, den Bohrzyklus wieder abzuwählen. Ansonsten wird der Bohrzyklus auf der nächsten Position weiter ausgeführt. Dies betrifft die Standardbohrzyklen G81 bis G89, sowie die zusätzlichen Bohrzyklen G73, G74 und G76.
Bei einigen Steuerungen muss G80 in einem extra Satz stehen.

G81 Bohrzyklus
Standardzyklus zum Bohren und Zentrieren. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe und mit Eilgang auf die Rückzugsebene.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.

```
G81 X20 Y50 Z-20 R2 F130
```

G82 Senkzyklus
Standardzyklus zum Senken und Bohren. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe, wartet die Verweilzeit ab und fährt mit Eilgang auf die Rückzugsebene.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, P = Verweilzeit in Sekunden,
R = Rückzugsebene, F = Vorschub.

```
G82 X20 Y50 Z-20 P1 R2 F130
```

Anmerkung : wenn als Verweilzeit P0 programmiert wird, dann verhält sich G82 wie G81

G83 Tiefbohrzyklus
Standardzyklus zum Bohren von tiefen Löchern. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die erste Zustelltiefe und fährt mit Eilgang auf die Rückzugsebene. Dann wird mit Eilgang bis kurz vor die zuletzt gebohrte Tiefe (Sicherheitsabstand) gefahren. Mit Vorschub wird die nächste Zustellung gebohrt, wieder aus der Bohrung herausgefahren, usw., bis die Endtiefe erreicht ist. Die Tiefe für die letzte Zustellung errechnet die Steuerung

automatisch. Der Sicherheitsabstand innerhalb der Bohrung kann in den Maschinendaten verändert werden.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, Q = Zustellung, R = Rückzugsebene,
F = Vorschub.

```
G83 X20 Y50 Z-25 Q3 R2 F130
```

Anmerkung: Es gibt auch abgewandelte Tiefbohrzyklen, z. B mit zusätzlich definierbarer Bohrtiefe für den ersten Hub oder mit veränderbaren Bohrhüben, die mit zunehmender Tiefe kürzer werden. Siehe auch G73.

G84 Gewindebohrzyklus für Rechtsgewinde
Standardzyklus zum Gewindeschneiden mit Gewindebohrer. Das Werkzeug wird mit Eilgang auf die Startposition (Anfangsebene) positioniert. Der Gewindebohrer fährt mit Vorschub auf die Tiefe Z. Die Drehrichtung wechselt nach links (M04) und der Gewindebohrer fährt mit Vorschub zur Rückzugsebene. Die Drehrichtung wechselt wieder nach rechts (M03).
X und Y = Bohrungsposition, Z = Gewindetiefe, R = Rückzugsebene, F = Vorschub, errechnet aus Drehzahl mal Steigung und eventuell für Ausgleichsfutter um rund 5 bis 10% reduziert.

```
G84 X20 Y50 Z-25 R4 F450
```

Anmerkung: Um den Zusatzzyklus G74 für Linksgewinde einzusparen, existieren auch universelle Gewindezyklen, wo die Drehrichtung ebenfalls über Parameter definiert werden kann.

G85 Reibzyklus
Standardzyklus zum Reiben. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe und mit Vorschub auf die Rückzugsebene.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.

```
G85 X20 Y50 Z-25 R2 F150
```

G86 Ausdrehen mit Spindelstopp
Standardzyklus zum Ausdrehen. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe, stoppt die Spindel und fährt mit Eilgang auf die Rückzugsebene. Spindel wird wieder eingeschaltet.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.

```
G86 X20 Y50 Z-22 R2 F50
```

G87 Rückwärts Senken
Standardzyklus zum Senken von hinten. Das Werkzeug wird auf X, Y und auf die Anfangsebene positioniert. Die Spindel wird orientiert gestoppt und das Werkzeug wird zum Einfahren in die Bohrung seitlich versetzt. Das Werkzeug fährt mit Eilgang auf die untere Anfangsebene R. Dort wird das Werkzeug wieder auf die Arbeitsposition versetzt und die Spindel gestartet. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe Z. Dort hält die Spindel orientiert und wird zum Ausfahren wieder seitlich versetzt. Dann wird mit Eilgang auf die Anfangsebene gefahren. Der Werkzeugversatz wird wieder auf die Arbeitsstellung zurückgestellt und die Spindel eingeschaltet. Die Richtung des Versatzes (X oder Y) wird in den Maschinendaten eingestellt.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Endtiefe, Q = Werkzeugversatz, R = Anfangsebene unten, F = Vorschub.

```
G87 X20 Y50 Z-20 Q2 R-24 F50
```

Achtung: Da hier R eine untere Anfangsebene definiert, kann oben keine extra Rückzugsebene verwendet werden. Anfangsebene = Rückzugsebene. Die Funktion G99 darf bei G87 nicht benutzt werden.

G88 Ausdrehen mit manuellem Rückzug
Standardzyklus zum Ausdrehen. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe, wartet die Verweilzeit ab und stoppt die Spindel. Das Werkzeug (z. B. Ausdrehkopf) wird manuell zurückgestellt. Nach Drücken des Startknopfes fährt das Werkzeug mit Eilgang auf die Rückzugsebene. Jetzt kann das Werkzeug wieder manuell in seine Ausgangslage zurückgestellt werden. Nach erneutem Drücken des Startknopfes läuft die Spindel wieder an und die Bearbeitung wird fortgesetzt.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, P = Verweilzeit, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.

```
G88 X20 Y50 Z-19 P1 R2 F50
```

G89 Reibzyklus mit Verweilzeit
Standardzyklus zum Reiben mit Verweilzeit. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe, wartet die Verweilzeit ab und fährt mit Vorschub auf die Rückzugsebene.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, P = Verweilzeit in Sekunden, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.

```
G89 X20 Y50 Z-25 P1 R2 F150
```

Anmerkung: wenn die Verweilzeit P0 programmiert wird, dann verhält sich G89 wie G85

Zusätzliche spezielle Fanuc-Bohrzyklen:

G73 Bohrzyklus mit unterbrochenem Schnitt
Im Gegensatz zum Tiefbohrzyklus G83 fährt dieser Zyklus nicht ganz aus der Bohrung heraus, um zu entspänen. Er hebt bei jedem Bohrhub nur um einen kleinen Betrag ab, um die Späne zu brechen. Danach wird auf den nächsten Bohrhub zugestellt. Der Abhebewert wird in den Maschinendaten definiert.
X und Y = Position der Bohrung, Z = Endbohrtiefe, Q = Zustellung, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.

```
G73 X20 Y50 Z-20 Q3 R2 F130
```

Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G74 Gewindebohrzyklus für Linksgewinde
Arbeitet ähnlich wie der Standard-Gewindebohrzyklus G84, nur mit umgekehrten Drehrichtungen. Das Werkzeug wird mit Eilgang auf die Startposition (Anfangsebene) positioniert. Die Drehrichtung wechselt nach links (M04). Der Gewindebohrer fährt mit Vorschub auf die Tiefe Z. Die Drehrichtung wechselt nach rechts (M03) und der Gewindebohrer fährt mit Vorschub zur Rückzugsebene.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Gewindetiefe, R = Rückzugsebene, F = Vorschub, errechnet aus Drehzahl mal Steigung und eventuell für Ausgleichsfutter um rund 5 bis 10% reduziert.

```
G74 X20 Y50 Z-25 R4 F450
```

Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G76 Feinbohrzyklus
Zum Ausdrehen von Bohrungen. Das Ausdrehwerkzeug wird auf X, Y und auf die Anfangsebene positioniert. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Endtiefe und die

Spindel wird orientiert gestoppt. Das Werkzeug wird seitlich versetzt und mit Eilgang auf die Rückzugsebene gefahren. Der Werkzeugversatz wird wieder zurückgestellt und die Spindel eingeschaltet. Die Richtung des Versatzes (X oder Y) wird in den Maschinendaten eingestellt.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Endtiefe, Q = Werkzeugversatz, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.

```
G76 X20 Y50 Z-22 Q1 R2 F50
```

Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G98 Ausgangsebene bei Bohrzyklen
Bei den Standard-Bohrzyklen wird die Positionierung in Z vor Ausführung des Zyklus als Ausgangsebene bezeichnet. Von dort aus startet der Bohrzyklus. Ist G98 angewählt, fährt das Werkzeug bei Zyklus Ende zuerst auf R und dann auf die Ausgangsebene. Von dort aus wird die nächste Position angefahren.

G99 Rückzugsebene bei Bohrzyklen
Die Rückzugsebene wird durch den R-Wert definiert. Ist G99 angewählt, fährt das Werkzeug bei Zyklus Ende direkt auf R, ohne Rücksicht auf die Ausgangsebene. Von R aus wird die nächste Position angefahren. Dient zum Überspringen von Hindernissen (Rippen, Spannmittel, usw.).
Die Funktion G99 darf bei G87 (Rückwärtssenken) nicht benutzt werden.

G98 und G99 können für jede einzelne Bohrung extra definiert werden.

Beispiele dazu können von meiner Webseite heruntergeladen werden, Ordner „CNC-Mill“.

6.15 Fräszyklen

Außer den Standard-Bohrzyklen liefern die Hersteller weitere Fräszyklen mit, entweder standardmäßig oder als Option erhältlich. Vorwiegend verschiedene Bohrbilder und Zyklen zum Taschenfräsen.

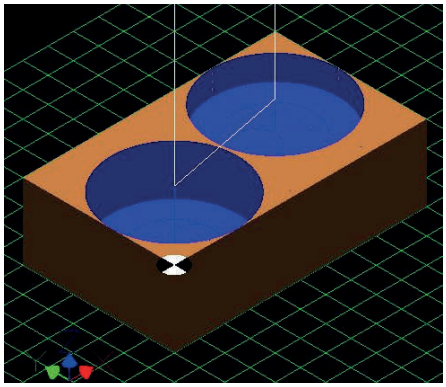
Die nachfolgend präsentierten Fräszyklen sind nur eine Auswahl von der bewährten, einfacheren Sorte, welche in einem Satz aufgerufen werden. Bei neueren Zyklen werden die Parameter oft in mehreren Sätzen definiert, damit mehr Parameter untergebracht werden können.

Die vorgestellten Zyklen werden nicht in jeder Simulation lauffähig sein, weil jeder Hersteller seine eigenen Fräszyklen entwickelt, welche dann auch höchst unterschiedlich ausfallen können.
In CNCezPRO habe ich den Fanuc 6M-Postprozessor zu Demonstrationszwecken um einige Zyklen erweitert. Er heißt dort „CNC-Mill“ und kann diese Zyklen simulieren.
CNC-Mill verarbeitet neben Fanuc auch Mach3-Programme und kann von meiner Webseite heruntergeladen werden

Innenkreis G12 und G13 (Option)

"Mini-Kreistaschenzykus", ist z. B. gut zum Flachsenken geeignet.
Der Durchmesser darf nicht größer als 3 Mal Fräserdurchmesser sein.
Nach der Zustellung in Z fährt das Werkzeug vom Mittelpunkt aus in einem Halbkreis an den Fertigradius, fräst den Fertigradius als Vollkreis und fährt wieder in einem Halbkreis zum Mittelpunkt zurück.
Bei G12 wird der Innenkreis im Uhrzeigersinn (Gegenlauf) und bei G13 im Gegenuhrzeigersinn (Gleichlauf) ausgeführt. Bei positivem I wird der Kreis von der Mitte aus nach rechts in Plus-Richtung, bei negativem I wird der Kreis von der Mitte aus nach links in Minus-Richtung angefahren.

```
N0020 G0 G54 X25 Y25 M8
N0025 G43 Z2 H4
N0030 G1 Z-20 F100
N0035 G12 I25 D4
N0040 G0 Z2
N0045 X75 Y35
N0050 G1 Z-10
N0055 G13 I-25 D4
N0060 G0 Z50 M9
```



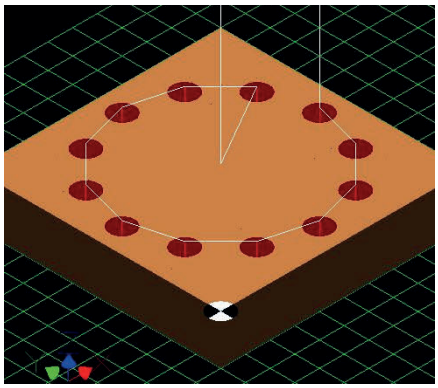
X- und Y-Position vor Zyklusaufruf = Startpunkt
Z-Position vor Zyklusaufruf = Sicherheitsabstand
I = Radius
D = Werkzeugkorrektur-Nummer

Lochkreis G34 (Fanuc)

Bohrt einen Lochkreis mit beliebigem Anfangswinkel

```
N0020 G0 G54 X50 Y50 M8
N0025 G43 Z2 H1
N0030 G34 X50 Y50 W-10 I40 J30 K12 R2 F130
N0035 G0 Z50 M9
```

X = Kreismittelpunkt X
Y = Kreismittelpunkt Y
W = Bohrtiefe Z
I = Lochkreis-Radius
J = Anfangswinkel
K = Anzahl der Bohrungen
R = Rückzugsebene
F = Vorschub

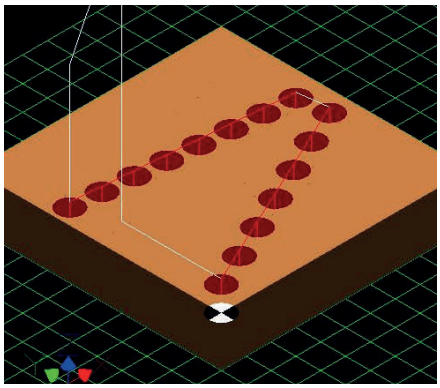


Lochreihe G35 (Fanuc)

Bohrt eine Lochreihe mit beliebigem Winkel

```
N0020 G0 G54 X10 Y50 M8
N0025 G43 Z2 H1
N0030 G35 X10 Y10 W-10 I15 J25 K7 R2 F130
N0035 G0 Z50 M9
```

X = Startpunkt 1. Bohrung X
Y = Startpunkt 1. Bohrung Y
W = Bohrtiefe Z
I = Bohrungsabstand
J = Winkel
K = Anzahl der Bohrungen
R = Rückzugsebene
F = Vorschub

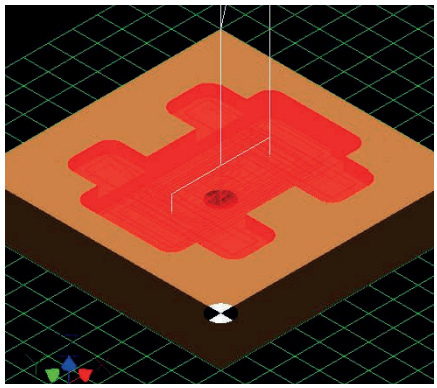


Rechtecktaschenzyklus G72 im Gegenlauf (Option)

Stellt Z im Mittelpunkt zu und fährt Bahnen im Uhrzeigersinn (Gegenlauf) ab

```
N0065 G0 X50 Y50 M8
N0070 G43 Z2 H2
N0075 G72 X80 Y40 Z-10 D2 H5 Q4 F160
N0080 G0 Z50 M9
```

X- und Y-Position vor Zyklusaufruf = Mittelpunkt / Startpunkt
Z-Position vor Zyklusaufruf = Sicherheitsabstand



X = Länge in X
Y = Höhe in Y
Z = Tiefe
D = Werkzeugkorrektur-Nummer
H = seitliche Zustellung in X und Y
Q = Zustellung in Z
F = Vorschub

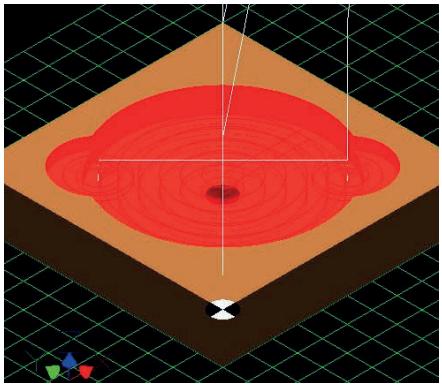
Anmerkung:
Durch geeignetes Vertauschen der Mx- und My-Positionen in der betreffenden Postprozessordatei kann der Rechtecktaschenzyklus auch leicht auf Gleichlauf geändert werden.

Kreistaschenzyklus G75 im Gegenlauf (Option)

Stellt Z im Mittelpunkt zu und fährt Kreise im Uhrzeigersinn ab
Ist der selbe Zyklus wie bei Luxmill

```
N0075 G43 Z2 H6
N0080 G75 X50 Y50 Z-10 R40 D6 H6 Q5 F160
N0085 G0 Z50
```

Z-Position vor Zyklusaufruf = Sicherheitsabstand



X = Mittelpunkt in X
Y = Mittelpunkt in Y
Z = Endtiefe
R = Radius
D = Nummer der Werkzeugkorrektur
H = Seitliche Zustellung in X
Q = Zustellung in Z
F = Vorschub

Anmerkung:
Durch geeignetes Ändern der Fahrbefehle für die Kreisrichtung (cw oder ccw) in der betreffenden Postprozessordatei kann der Kreistaschenzyklus auch leicht auf Gleichlauf geändert werden.

Beispiele dazu können von meiner Webseite heruntergeladen werden, Ordner „CNC-Mill“. Der original Fanuc 6M Postprozessor in CNCezPRO heißt SampleMill, der erweiterte heißt CNC-Mill.

6.16 Unterprogramme, Parameterprogrammierung

Programmteile, die sich mehrmals wiederholen, werden sinnvollerweise nur einmal als Unterprogramm abgelegt und bei Bedarf vom Hauptprogramm aufgerufen.
Je nach Steuerung sind mehrere Verschachtelungen der Unterprogramme ineinander möglich.
D. h.: von einem Unterprogramm aus kann ein weiteres Unterprogramm aufgerufen werden.
Dies ist oft bei Mehrfachspannungen oder bei Bohrbildern mit mehreren Reihen nötig.

Nummernsystem für Unterprogramme
In manchen Steuerungen ist der Bereich für die Unterprogramm-Nummern fest vorgegeben oder ein extra Speicherbereich nur für Unterprogramme reserviert.
Bei anderen, wie z. B. Fanuc-Steuerungen, sind die Unterprogramm-Nummern frei wählbar und stehen im selben Speicher wie die Hauptprogramme.
Dazu empfiehlt es sich, ein Nummernsystem zu entwickeln, so dass man die Unterprogramme leicht den Hauptprogrammen zuordnen kann.

Beispiele für ein Programmnummernsystem:
Die ersten 2 Ziffern für das Hauptprogramm (max. 99), die letzten 2 für die Unterprogramme (max. jeweils 99).
Hauptprogramm-Nr. 5: O0005, Unterprogramme: O0501, O0502, O0503, usw.
Hauptprogramm-Nr. 87: O0087, Unterprogramme: O8701, O8702, O8703, usw.
oder:
Die ersten 3 Ziffern für das Hauptprogramm (max. 999), die letzte für die Unterprogramme (max. jeweils 9).
Hauptprogramm-Nr. 5: O0005, Unterprogramme: O0051, O0052, O0053, usw.
Hauptprogramm-Nr. 387: O0387, Unterprogramme: O3871, O3872, O3873, usw.

Der Aufruf eines Unterprogramms aus einem Hauptprogramm oder aus einem Unterprogramm heraus erfolgt mit dem Befehl M98. Dazu ist noch die vierstellige Unterprogramm-Nummer P#### zu benennen und bei mehreren Wiederholungen des selben Unterprogramms die zweistellige Anzahl der Wiederholungen L##.
Am Ende des Unterprogramms muss M99 stehen, es bewirkt den Rücksprung zu der Zeile, wo der Aufruf erfolgte, entspricht dem „Return“-Befehl in anderen Programmiersprachen.

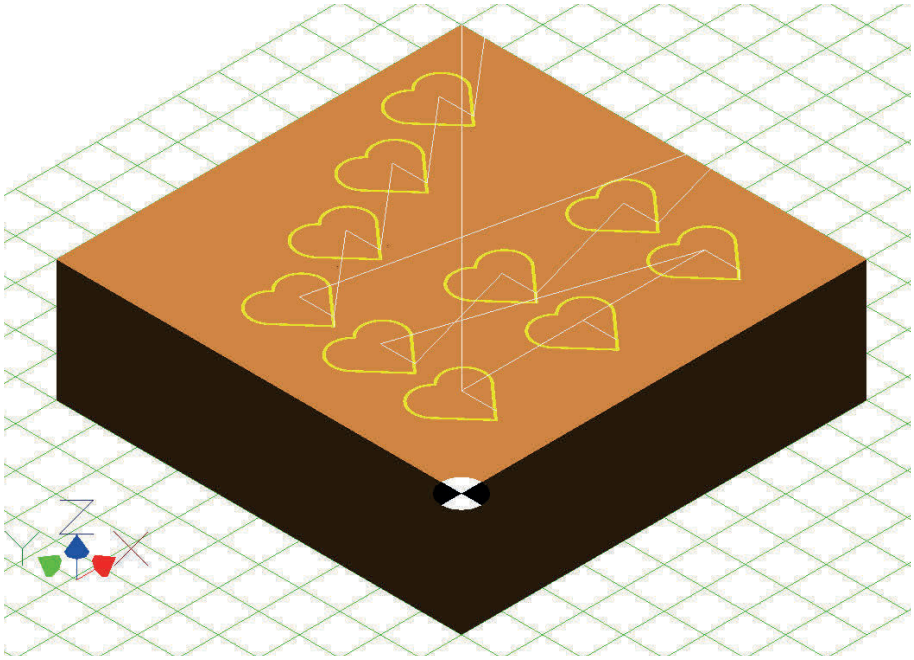
Anmerkung: in diversen Steuerungen kann der Unterprogramm-Aufruf andere Befehle (G22 = UP-Aufruf, M17 = UP Ende) oder ein ganz anderes Format haben (L980203 = UP 9802 dreimal ausführen). Letztendlich gibt die Bedienungsanleitung genaue Auskunft. Die Handhabung der Unterprogramme funktioniert jedoch immer nach demselben Schema.
In einem Unterprogramm kann grundsätzlich der volle Befehlssatz mit allen Funktionen wie in einem Hauptprogramm verwendet werden. Nur das Unterprogramm Ende muss den speziellen Befehl M99 (oder M17) enthalten, damit der Rücksprung zum Ausgangspunkt erfolgt und die Bearbeitung fortgesetzt werden kann.

Beispiel für Unterprogramme

Das nachstehende Beispiel mit den 10 gravierten Herzchen zeigt verschiedene Möglichkeiten, wie dasselbe Muster (Herz) nur einmal zu programmieren ist und danach mehrfach aufgerufen und eventuell verschoben wird.
Die unteren 3 Herzen werden von links nach rechts jeweils einzeln im Hauptprogramm mit dem Unterprogramm 9801aufgerufen.
Das Unterprogramm 9802 für die mittlere Reihe beinhaltet auch die X-Verschiebung zum nächsten Muster und wird im Hauptprogramm nur einmal mit 3 Wiederholungen aufgerufen.
Im Unterprogramm 9803 für die schräge Reihe besteht eine X- und eine Y-Verschiebung zum nächsten Herz und wird einmalig im Hauptprogramm mit 4 Wiederholungen aufgerufen.

Die Unterprogramme selbst enthalten die Kontur des Herzens und sind im Kettenmaß G91 programmiert. Wichtig ist hierbei, dass zum Abschluss wieder der Anfangspunkt der Kontur angefahren wird, um eine problemlose Verschiebung zum nächsten Muster zu gewährleisten. Dadurch kann die Kontur an jede beliebige Stelle gesetzt werden, ohne sie neu programmieren zu müssen.

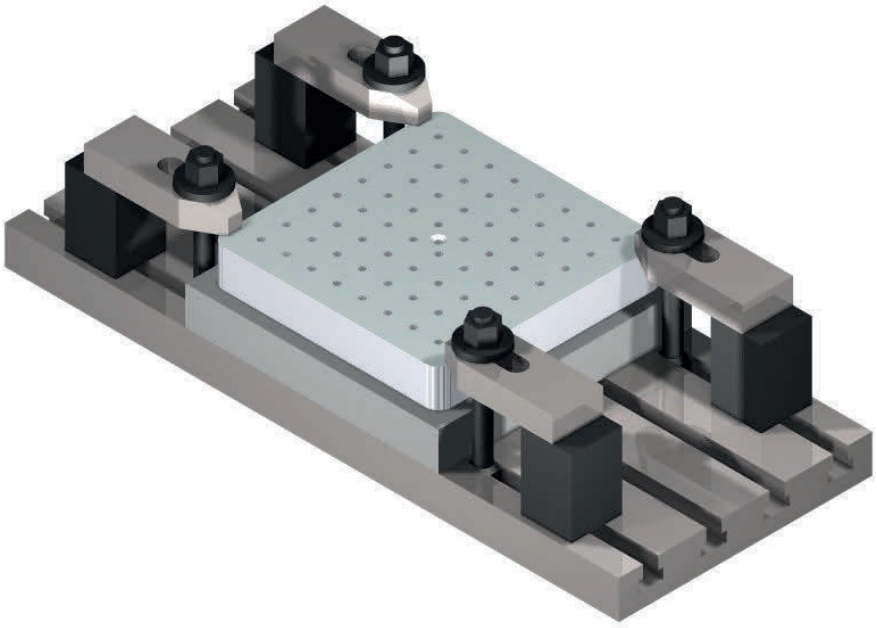
Bei aufmerksamer Betrachtung des Bildes fällt auf, dass die Verfahrlinien des Werkzeuges in der mittleren und oberen Reihe nach rechts über das Werkstück hinausgehen. Dies kommt von den in den Unterprogrammen enthaltenen Verschiebungen und kann Probleme verursachen, wenn Rohmaterial oder Spannmittel im Weg stehen. Eine Lösung dazu findet sich im zweiten Beispiel.



```
O0098                          (Hauptprogramm Nr. 98)
N0005 G80 G17 G90 G94 G40 G49  (Initialisierung)
N0010 T15 M6                   (Werkzeug 15 einwechseln)
N0015 S2000 M3                 (Drehzahl 2000 U/min, rechts)
N0020 G0 G54 X20 Y20 M8        (Mitte 1. Herz positionieren)
N0025 G43 Z2 H15               (mit Wkz-Länge Nr. 15 auf Z2)
N0030 M98 P9801                (Unterprogr. 1 einmal aufrufen)
N0035 X50                      (Mitte 2. Herz positionieren)
N0040 M98 P9801                (Unterprogr. 1 einmal aufrufen)
N0045 X80                      (Mitte 3. Herz positionieren)
N0050 M98 P9801                (Unterprogr. 1 einmal aufrufen)
N0055 X20 Y40                  (Mitte 4. Herz positionieren)
N0060 M98 L03 P9802            (Unterprogr. 2 dreinmal aufrufen)
N0065 X20 Y60                  (Mitte 7. Herz positionieren)
N0070 M98 L04 P9803            (Unterprogr. 3 viermal aufrufen)
N0075 G0 Z50 M9                (auf Z50 abheben, Kühlmittel aus)
N0080 M5                       (Spindel Stop)
N0085 G28 G49                  (Referenzpunkt anfahren)
N0090 M30                      (Hauptprogramm Ende)

O9801                          (Unterprogramm 1)
N0005 G0 G91 X0 Y-8.5          (Kettenmaß zur Spitze unten)
N0010 G90 G1 Z-0.3 F200        (Absolutmaß Z zustellen)
N0015 G91 X7.732 Y8.673        (Kettenmaß Gerade nach oben)
N0020 G3 X-7.732 Y6.327 R5     (Kettenmaß 1. Bogen)
N0025 X-7.732 Y-6.327 R5       (Kettenmaß 2. Bogen)
N0030 G1 X7.732 Y-8.673        (Kettenmaß Gerade nach unten)
N0035 G90 G0 Z2                (Absolutmaß Z abheben)
N0040 G91 Y8.5                 (Kettenmaß zu Mitte Herz)
N0045 G90                      (Absolutmaß anwählen)
N0050 M99                      (Unterprogramm Ende)

O9802                          (Unterprogramm 2)
N0005 G0 G91 X0 Y-8.5
N0010 G90 G1 Z-0.3 F200
N0015 G91 X7.732 Y8.673
N0020 G3 X-7.732 Y6.327 R5
N0025 X-7.732 Y-6.327 R5
N0030 G1 X7.732 Y-8.673
N0035 G90 G0 Z2
N0040 G91 X30 Y8.5             (Kettenmaß Verschiebung + Mitte Herz)
N0045 G90
N0050 M99

O9803                          (Unterprogramm 2)
N0005 G0 G91 X0 Y-8.5
N0010 G90 G1 Z-0.3 F200
N0015 G91 X7.732 Y8.673
N0020 G3 X-7.732 Y6.327 R5
N0025 X-7.732 Y-6.327 R5
N0030 G1 X7.732 Y-8.673
N0035 G90 G0 Z2
N0040 G91 X20 Y17              (Kettenmaß Verschiebung X und Y)
N0045 G90
N0050 M99
```

Bohrbild

Eine Grundplatte aus Al-Legierung 180 X 180mm und 30mm stark. Es müssen 64 Bohrungen im Abstand von je 20mm anzentriert, gebohrt und gerieben werden.



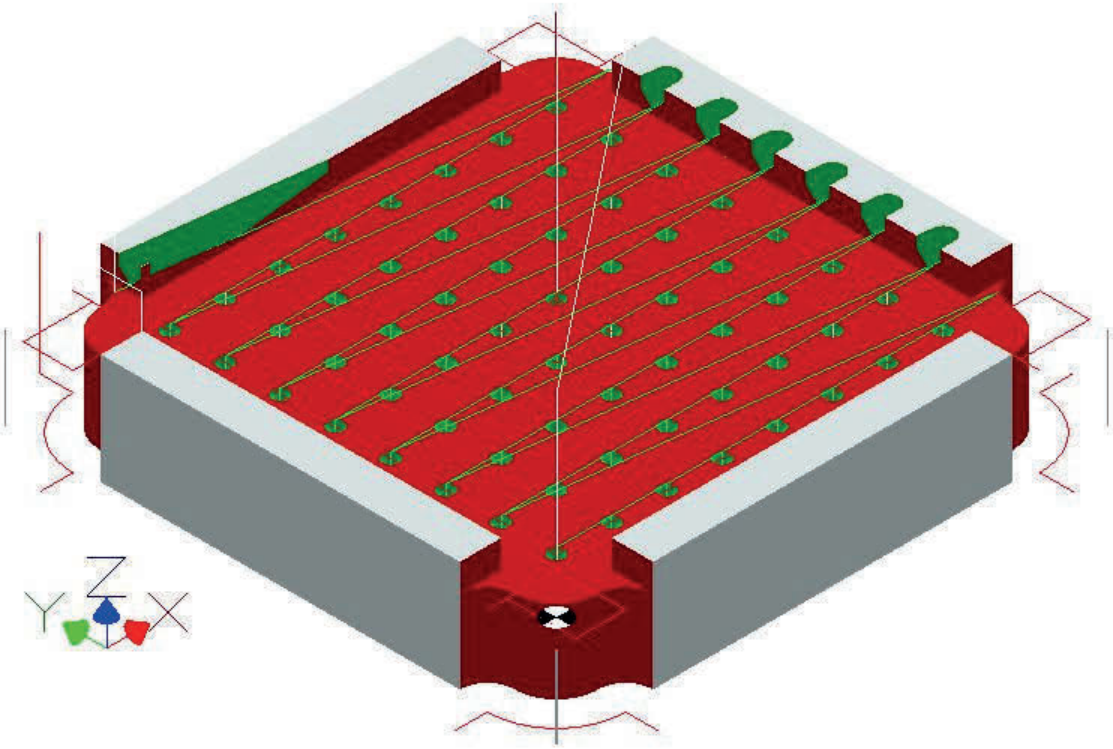
Es sollen nicht alle 64 Löcher einzeln programmiert werden, damit das Programm nicht zu umfangreich wird und um mögliche Fehler zu vermeiden. Stattdessen sollen Unterprogramme zur jeweiligen Verschiebung in X- und Y-Richtung mit mehreren Wiederholungen aufgerufen werden.
Die eigentliche Bearbeitung wird extra in ein Unterprogramm gepackt, um die Übersicht zu wahren und Änderungen leichter vornehmen zu können (z. B. anderer Bohrzyklus oder Fräsbearbeitung).
In der Simulation wurde die Grundplatte (rot) zuerst aus einem größeren Stück „herausgefräst“, um die möglichen Positionen von Spannpratzen (weiß) anzuzeigen.

Im ersten Denkansatz versuchen wir es mit 8 Zeilen (Y-Verschiebung), in denen jeweils 8 X-Verschiebungen (Spalten) aufgerufen werden (erscheint eigentlich logisch).

Fehlerhaftes Programm 80 (jeweils 8 Wiederholungen):

```
:0080 (Hauptprogramm)
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T2 M6
N0015 S3000 M3
N0020 G0 G54 X20 Y20 M8
N0025 G43 Z2 H2
N0030 M98 L8 P8001 (8 Zeilen Y)
N0035 G0 Z50 M9
N0040 M5
N0045 G28 G49
N0050 M30
```

```
:8001 (Verschiebung Y)
N0005 M98 L8 P8002 (8 Spalten X)
N0010 G0 G91 X-160 Y20
N0015 M99

:8002 (Verschiebung X)
N0005 M98 P8003
N0010 G0 G91 X20
N0015 M99

:8003 (Bearbeitung)
N0005 G90
N0010 G81 Z-2.85 R2 F150
N0015 G80
N0020 M99
```

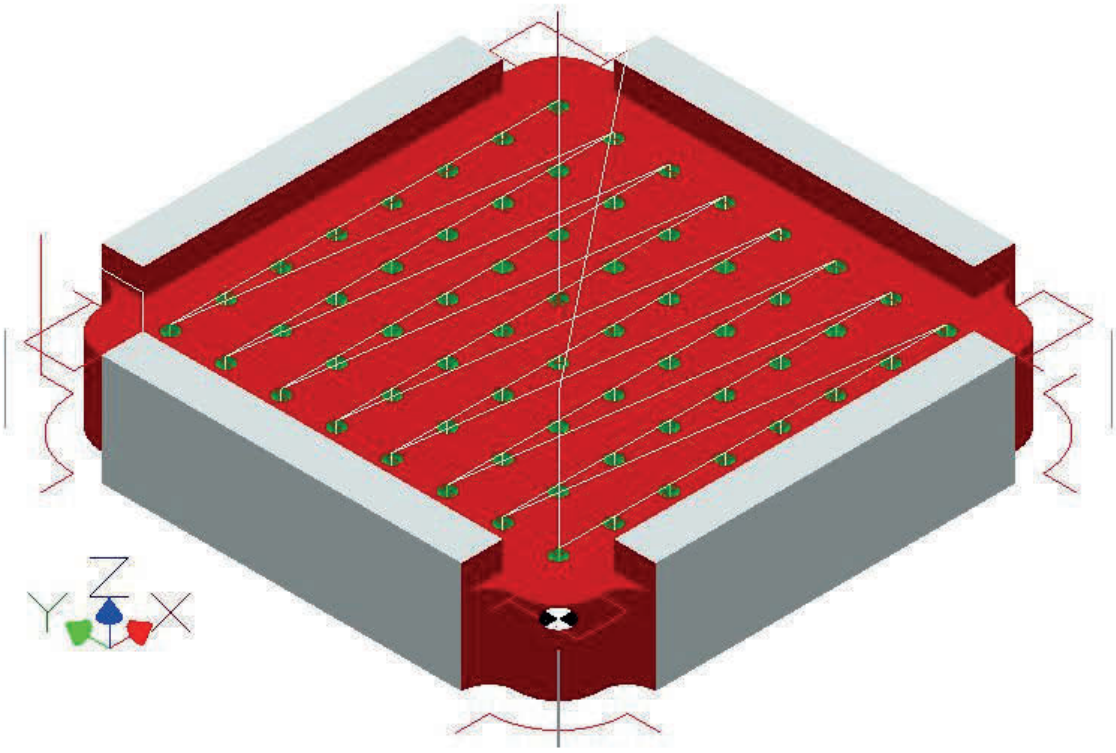


Im vorhergehenden fehlerhaften Programm 80 sehen wir jedoch, dass es einige Kollisionen (grün) mit den Spannmitteln geben würde, weil unnötige Verfahrwege hinzugefügt wurden.

Wo ist denn nun der Fehler?
Es liegt ganz einfach daran, dass 8 Reihen nur 7 Abstände und 8 Bohrungen jeder Reihe auch nur 7 Abstände haben. Aber nach jeder Reihe (Zeile) findet eine Y-Verschiebung statt. Nach der letzten Reihe ist dies dann eine Verschiebung zu viel. Genauso verhält es sich mit den X-Verschiebungen.
Folglich muss das Programm auf 7 Verschiebungen plus je eine Bearbeitung geändert werden.

Korrektes Programm 71 (jeweils 7 + 1 Wiederholungen):

```
:0071 (Hauptprogramm)
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T2 M6
N0015 S3000 M3
N0020 G0 G54 X20 Y20 M8
N0025 G43 Z2 H2
N0030 M98 L7 P7101 (7 Zeilen Y)
N0035 M98 P7102 (Letzte Zeile Y)
N0040 G0 Z50 M9
N0045 M5
N0050 G28 G49
N0055 M30

:7101 (Verschiebung Y)
N0005 M98 P7102 (1 Zeile Y)
N0010 G0 G91 X-140 Y20
N0015 M99

:7102 (Zeile Y)
N0005 M98 L7 P7103 (7 Spalten X)
N0010 M98 P7104 (letzte Spalte X)
N0015 M99

:7103 (Verschiebung X)
N0005 M98 P7104 (Bearbeitung)
N0010 G0 G91 X20
N0015 M99

:7104 (Bearbeitung)
N0005 G90
N0010 G81 Z-2.85 R2 F150
N0015 G80
N0020 M99
```



Das oben gezeigte Programm 71 kann so mit wenigen Änderungen für alle rechtwinklig angeordneten Bohrbilder übernommen werden. Anstatt Bohrungen können hiermit auch Gravuren oder Fräsarbeiten wiederholt werden.
Das Programm 71 muss nicht unbedingt immer von links unten nach rechts oben ausgehen. Es kann ebenso an einer anderen Ecke angefangen werden. Die Verschiebungen benötigen dann nur andere Vorzeichen.

Je nach eigenen Erfordernissen sind hier zu ändern:

Im Hauptprogramm:
N10 Werkzeugnummer T
N15 Drehzahl S
N20 Nullpunkt G54, G55, ...
Erste Position X Y
N25 Position Z über Werkstück
Längenkorrekturnummer H
N30 Anzahl der Wiederholungen L
N40 Abhebeweg Z

Im Unterprogramm 7101:
N10 Rücklaufweg in X (Verschiebung mal Anzahl der Abstände)
Verschiebung in Y

Im Unterprogramm 7102:
N05 Anzahl der Wiederholungen L

Im Unterprogramm 7103:
N10 Verschiebung in X

Im Unterprogramm 7104:
N10 Nr. des Bohrzyklus und seine Parameter

Das UP 7104 kann anstatt eines Bohrzyklus auch jede andere beliebige Bearbeitung beinhalten (Gravur, Fräsbearbeitung).
Hierbei innerhalb des UP 7104 in X und Y nur mit G91 arbeiten und zum Schluss immer wieder zum Ausgangspunkt des Fräsbildes zurückkehren, andernfalls entsteht bei jedem erneuten Aufruf ein unerwünschter Versatz.
Auch für andere Bearbeitungsarten geeignet, wie Stanzen, Laserschneiden, Wasserstrahlschneiden, usw.

Wer die Möglichkeit der Makroprogrammierung hat und sich damit auskennt, kann das Ganze noch einfacher haben.

Die Programme zu dieser Platte stehen auf meiner Homepage zum Download bereit, zusammen mit anderen Beispielen zu diesem Buch. Projekt „Grundplatte“.

Makros

Die meisten Steuerungen lassen es zu, universelle Unterprogramme (Makros) zu erstellen, bei denen anstatt fester Zahlenwerte nur Parameter enthalten sind.
Vor Aufruf des Unterprogramms werden den Parametern die jeweils benötigten Zahlenwerte zugewiesen.
Die Parameter können auch durch Rechenfunktionen miteinander verknüpft werden, um selbsttätig neue Werte zu errechnen.
Z. B. kann mit einem solchen Parameterprogramm eine elliptische Bahn erzeugt werden, ohne die einzelnen Punkte extra errechnen zu müssen.
Die von den Herstellerfirmen zur Verfügung gestellten Arbeitszyklen (Abspan-, Fräs- und Bohrzyklen) sind ebenfalls Parameterprogramme.

Im Teil für fortgeschrittene Programmierung ist den Makros ein eigenes Kapitel gewidmet.

Nutzung der vorhandenen Arbeitszyklen

Die von den Herstellerfirmen mitgelieferten Arbeitszyklen sollen, wenn immer möglich, genutzt werden, um Programmieraufwand und Speicherplatz zu sparen.

Fräsmaschinen sind mit Rechteck-, Kreistaschenzyklen und diversen Bohr- und Ausdrehzyklen ausgestattet.

Drehmaschinen bieten Schruppzyklen für viele Anwendungsfälle, Gewindeschneidzyklen und Bohrzyklen.

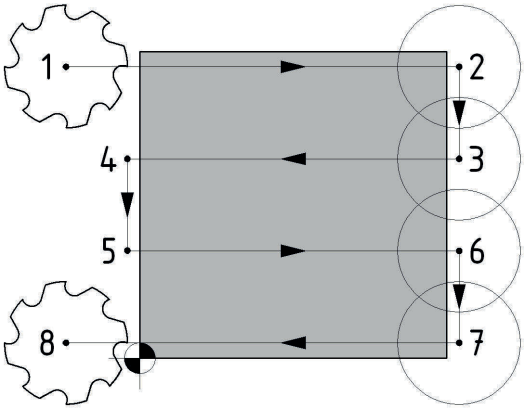
Der Aufruf eines Zyklus mit den dazu benötigten Parametern wird in der jeweiligen Bedienungsanleitung beschrieben.

Die Anwendung der Standard-Arbeitszyklen wird an den betreffenden Stellen im Buch näher beschrieben.

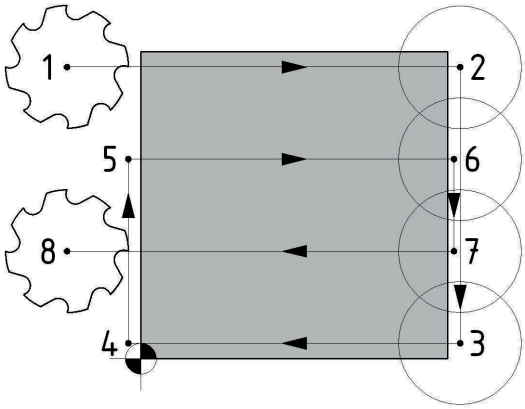
6.17 Beispiele Fräsen

Nachfolgend einige Musterprogramme mit Erläuterungen. Die Programme können von meiner Webseite heruntergeladen werden. Unterordner: „CNC-M-Beispiele“

Planfräsen, schruppen und schlichten



Links: Schruppen im Zickzack-Schnitt

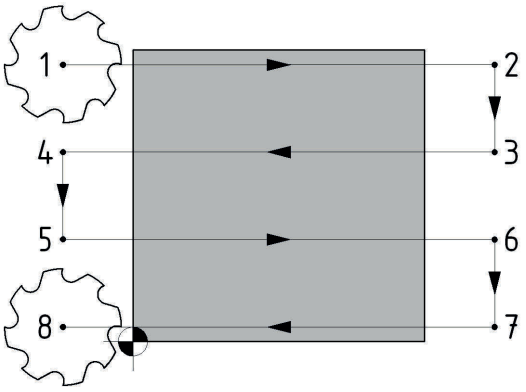


Rechts: Schruppen von außen nach innen

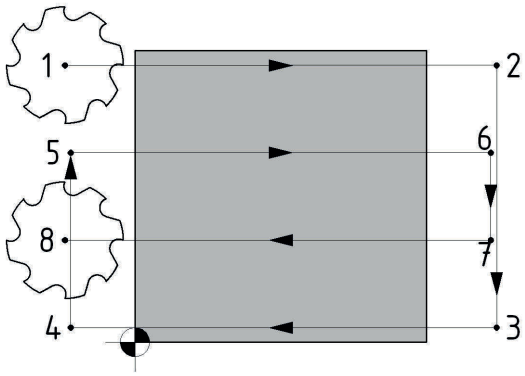
```
O1001
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T8 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X-12 Y47.5 M8
N0025 G43 Z2 H8
N0030 G1 Z-1 F300
N0035 X52
N0040 Y32.5
N0045 X-2
N0050 Y17.5
N0055 X52
N0060 Y2.5
N0065 X-12
N0070 G0 Z50 M9
N0075 M5
N0080 G28 G49
N0085 M30
```

```
O1002
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T8 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X-12 Y47.5 M8
N0025 G43 Z2 H8
N0030 G1 Z-1 F300
N0035 X52
N0040 Y2.5
N0045 X-2
N0050 Y32.5
N0055 X52
N0060 Y17.5
N0065 X-12
N0070 G0 Z50 M9
N0075 M5
N0080 G28 G49
N0085 M30
```

Beim Schruppen wird keine einwandfreie Fläche gefordert, deshalb muss der Fräser für die nächste Zeile nicht vollständig aus dem Werkstück gefahren werden.



Links: Schlichten im Zickzack-Schnitt



Rechts: Schlichten für abweichendes Muster

```
O1003
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T8 M6
N0015 S1800 M3
N0020 G0 G54 X-12 Y47.5 M8
N0025 G43 Z2 H8
N0030 G1 Z-1 F200
N0035 X62
N0040 Y32.5
N0045 X-12
N0050 Y17.5
N0055 X62
N0060 Y2.5
N0065 X-12
N0070 G0 Z50 M9
N0075 M5
N0080 G28 G49
N0085 M30
```

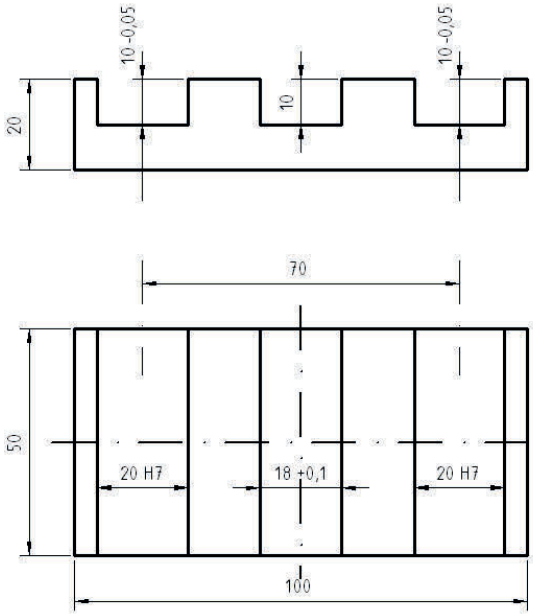
```
O1004
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T8 M6
N0015 S1800 M3
N0020 G0 G54 X-12 Y47.5 M8
N0025 G43 Z2 H8
N0030 G1 Z-1 F200
N0035 X62
N0040 Y2.5
N0045 X-12
N0050 Y32.5
N0055 X62
N0060 Y17.5
N0065 X-12
N0070 G0 Z50 M9
N0075 M5
N0080 G28 G49
N0085 M30
```

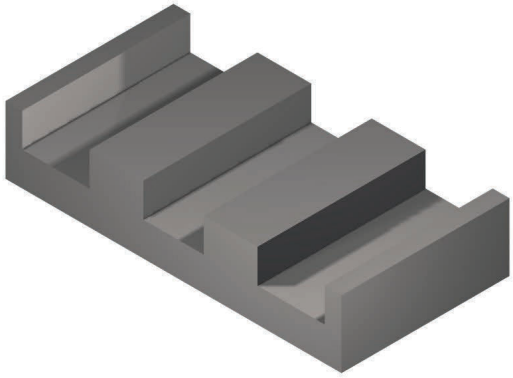
Zum Schlichten sollte der Fräser außerhalb des Werkstücks die Richtung ändern, um ein gleichmäßiges Fräsbild (Muster der Fräsriefen) zu erreichen.

Toleranzen

Werkstück Schlitten

Vorgaben:
Schruppen der Nuten im Gegenlauf, Schlichten im Gleichlauf mit Schaftfräser Ø 16
Nullpunkt liegt in X und Y auf Werkstückmitte, in Z auf der oberen Ebene
Beim Schlichten außerhalb des Werkstückes zustellen, wegen Bearbeitungsriefen
Alle tolerierten Maße auf Mitte Toleranz programmieren
Kürzesten Weg zum An- und Abkompensieren +1mm Sicherheitsabstand wählen

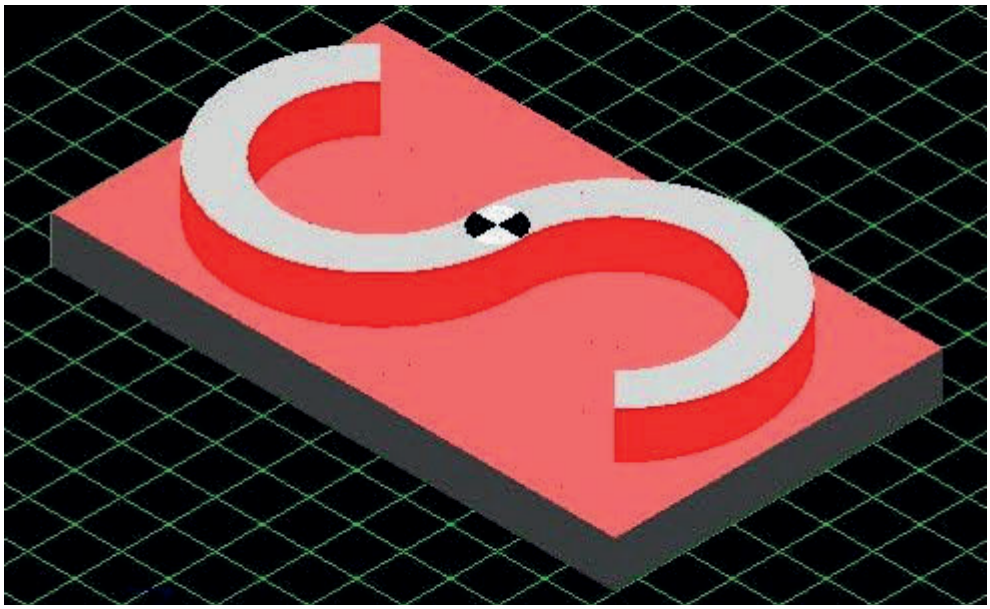




```
O2001
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T9 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G58 X35 Y35 M8
N0025 G43 Z2 H9
N0030 G1 Z-9.85 F200
N0035 G42 X44.9 Y34 D9
N0040 Y-34
N0045 X25.1
N0050 Y26
N0055 G0 X8.9
N0060 G1 Y-34
N0065 X-8.9
N0070 Y26
N0075 G0 X-25.1
N0080 G1 Y-34
N0085 X-44.9
N0090 Y42
N0095 G0 G40 X-35 Y35
N0100 S2000
N0105 G1 Z-9.975 F150
N0110 G41 X-45.005 Y34 D9
N0115 Y-42
N0120 G0 X-24.995
N0125 G1 Y26
N0130 G0 X-9.025
N0135 G1 Y-42
N0140 G0 X9.025
N0145 G1 Y26
N0150 G0 X24.995
N0155 G1 Y-42
N0160 G0 X45.005
N0165 G1 Y42
N0170 G0 G40 X35 Y42
N0175 G0 Z50 M9
N0180 M5
N0185 G28 G49
N0190 M30
```

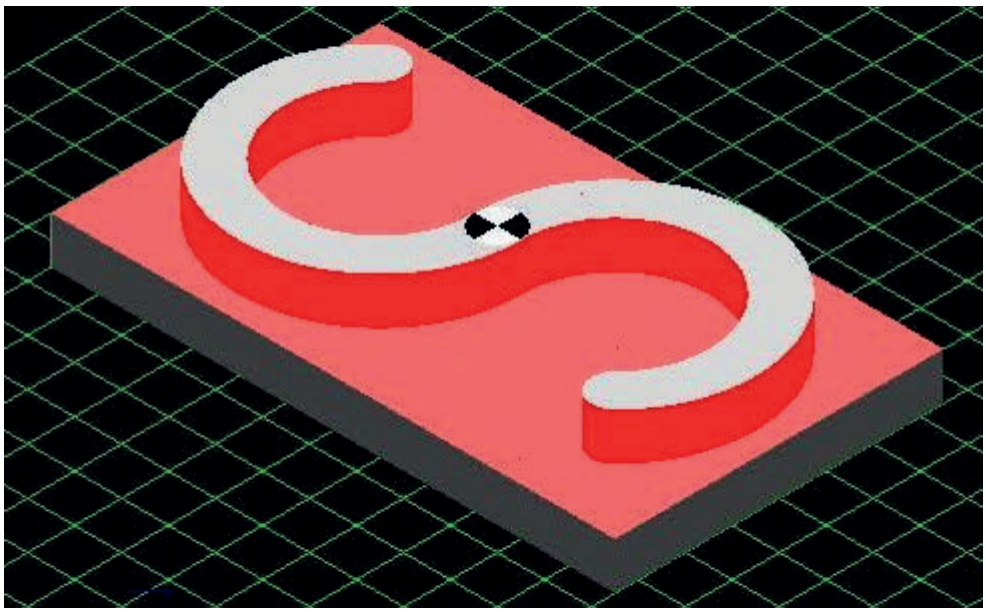
Kreisprogrogrammierung S-Kurven erhaben

Die schon bekannte gravierte S-Kurve aus dem Unterkapitel „Kreisprogrammierung“. Diesmal als erhabener Buchstabe. Mit 20-er Schaftfräser 10 mm tief aus Material X 70, Y 120, Z 20 herausgefräst.



S-Kurve erhaben, Anfang und Ende gerade abgeschnitten

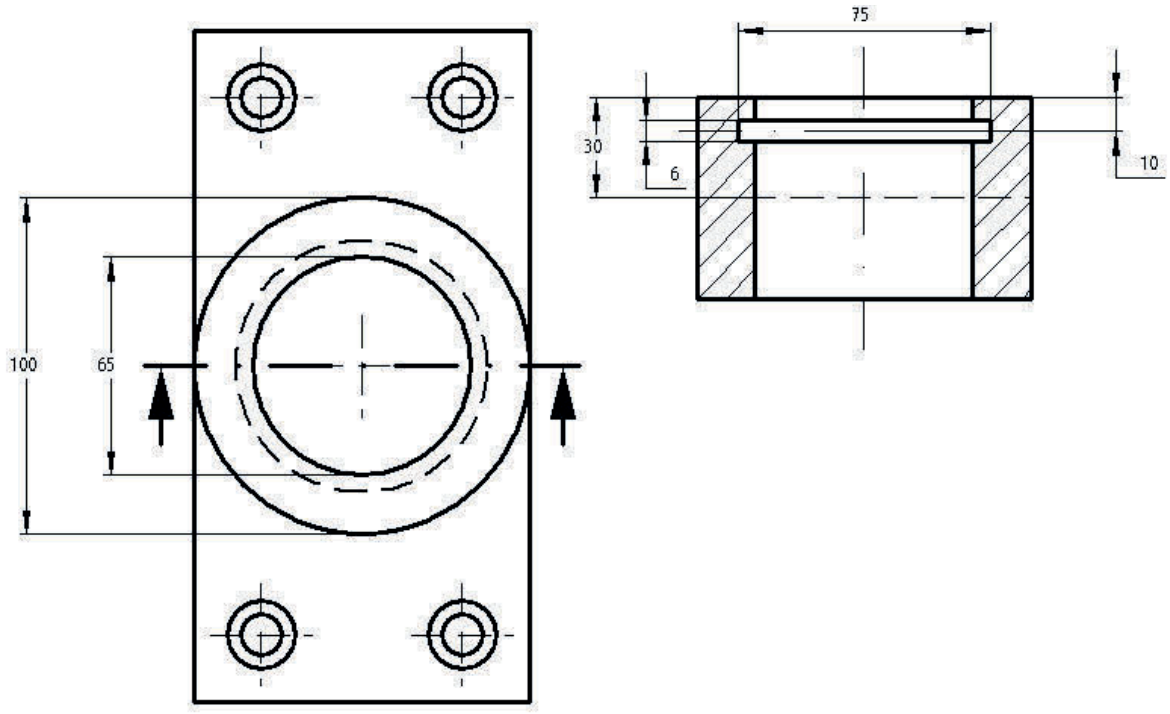
```
O3001
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T8 M6
N0015 S1000 M3
N0020 G0 G59 X50 Y50 M8
N0025 G43 Z2 H8
N0030 G1 Z-10 F150
N0035 G42 X21.92 Y45.506 D8
N0040 X21.213 Y46.213
N0045 G3 X0 Y-5 I-21.21 J-21.21
N0050 G2 X-14.142 Y-39.142 I0 J-20
N0055 G1 X-21.21 Y-46.21
N0060 G3 X0 Y5 I21.21 J21.21
N0065 G2 X14.142 Y39.142 I0 J20
N0070 G1 X21.213 Y46.213
N0075 G1 X6.426 Y61
N0080 G1 Y75
N0085 G40 X45 Y75
N0090 G0 X50 Y15
N0095 G1 X30
N0100 Y25
N0105 X50
N0110 G0 Z2
N0115 X-50 Y-15
N0120 Z-10
N0125 G1 X-30
N0130 Y-25
N0135 X-50
N0140 G0 Z50 M9
N0145 M5
N0150 G28 G49
N0155 M30
```



S-Kurve erhaben, Anfang und Ende abgerundet

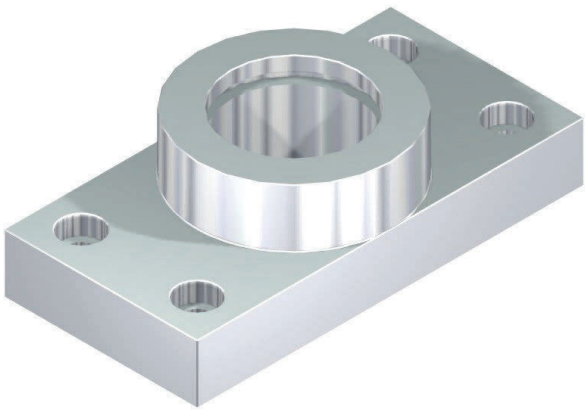
```
O3002
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T8 M6
N0015 S1000 M3
N0020 G0 G59 X50 Y50 M8
N0025 G43 Z2 H8
N0030 G1 Z-10 F150
N0035 G42 X21.92 Y45.506 D8
N0040 X21.213 Y46.213
N0045 G3 X0 Y-5 I-21.21 J-21.21
N0050 G2 X-14.142 Y-39.142 I0 J-20
N0055 G3 X-21.21 Y-46.21 I-3.536 J-3.536
N0060 G3 X0 Y5 I21.21 J21.21
N0065 G2 X14.142 Y39.142 I0 J20
N0070 G3 X21.213 Y46.213 I3.536 J3.536
N0075 G1 X6.426 Y61
N0080 G1 Y75
N0085 G40 X45 Y75
N0090 G0 X50 Y15
N0095 G1 X30
N0100 Y25
N0105 X50
N0110 G0 Z2
N0115 X-50 Y-15
N0120 Z-10
N0125 G1 X-30
N0130 Y-25
N0135 X-50
N0140 G0 Z50 M9
N0145 M5
N0150 G28 G49
N0155 M30
```

Werkstück mit Zapfen und Ringnut



Vorgaben:
Vorgearbeitetes Werkstück. Zapfen Ø 100mm mit Schaftfräser Ø 20 auf Fertigmaß fräsen
Schlichten im Gleichlauf, 30mm tief
Nullpunkt liegt in X und Y auf Werkstückmitte, in Z auf der oberen Ebene
Mit einem Viertelkreis an den Kreis an- und abfahren, Radius muss größer als der Fräserradius sein.

```
O4001
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T8 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X0 Y-80 M8
N0025 G43 Z2 H8
N0030 G1 Z-30 F200
N0035 G41 X30 Y-80 D8
N0040 G3 X0 Y-50 I-30 J0 F133
N0045 G2 X0 Y-50 I0 J50 F240
N0050 G3 X-30 Y-80 I0 J-30 F133
N0055 G40 G1 X0 Y-80 F200
N0060 G0 Z50 M9
N0065 M5
N0070 G28 G49
N0075 M30
```



Beim selben Werkstück die Ringnut innen fräsen

Vorgaben:
Werkzeug Scheibenfräser Ø 63 X 5
Schruppen der Nut Ø 75 im Gegenlauf auf Mitte der Nuttiefe, Aufmaß 0,2mm
Schlichten im Gleichlauf, 1 X Oberkante, 1 X Unterkante
Verfahren innerhalb vom Werkstück nicht mit Eilgang, nur mit erhöhtem Vorschub
Nullpunkt liegt in X und Y auf Werkstückmitte, in Z auf der oberen Ebene
Mit einem Viertelkreis in den Kreis ein- und ausfahren, dessen Radius muss größer als der Fräserradius und kleiner als der Radius der Nut sein.
Wegen Platzmangel vom und zum Bohrungsmittelpunkt an- und abkompensieren

```
O4002
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T5 M6
N0015 S150 M3
N0020 G0 G54 X0 Y0 M8
N0025 G43 Z20 H5
N0030 G1 Z-12.5 F500
N0035 G42 X-32 Y5.3 D5 F150
N0040 G2 X0 Y37.3 I32 J0 F2
N0045 G2 X0 Y37.3 I0 J-37.3 F23
N0050 G2 X32 Y5.3 I0 J-32 F2
N0055 G40 G1 X0 Y0 F150
N0060 Z-12
N0065 G41 X32 Y5.5 D5 F100
N0070 G3 X0 Y37.5 I-32 J0 F2
N0075 G3 X0 Y37.5 I0 J-37.5 F16
N0080 G3 X-32 Y5.5 I0 J-32 F2
N0085 G40 G1 X0 Y0 F100
N0090 Z-13
N0095 G41 X32 Y5.5 D5
N0100 G3 X0 Y37.5 I-32 J0 F2
N0105 G3 X0 Y37.5 I0 J-37.5 F16
N0110 G3 X-32 Y5.5 I0 J-32 F2
N0115 G40 G1 X0 Y0 F100
N0120 Z20 F500
N0125 G0 Z50 M8
N0130 M5
N0135 G28 G49
N0140 M30
```

Bei den beiden Programmen O4001 und O4002 fällt dem aufmerksamen Leser auf, dass ständig andere und sehr unterschiedliche Vorschubwerte programmiert sind.

Dies hat folgenden Grund:
Wenn Werkzeuge mit großen Durchmessern bei der Kreisprogrammierung eingesetzt werden, ist zu berücksichtigen, dass der programmierte Vorschub für die Fräsermittelpunktsbahn gilt. Somit würde ein Außenkreis zu langsam und ein Innenkreis zu schnell abgefahren. Dies wird beim Einsatz der Radiuskorrektur gerne übersehen, da ja nur die Kontur programmiert wird.
Einige moderne Steuerungen können durch Verändern eines Wertes in den Maschinendaten die nachfolgenden Berechnungen automatisch erledigen, so dass sich der Programmierer nicht mehr darum kümmern muss.

Die Berechnung erfolgt nach den Formeln:

$Fa = \frac{Fl * (R + r)}{R}$ für Außenradien

$Fi = \frac{Fl * (R - r)}{R}$ für Innenradien

Fa = Vorschub für Außenradius
Fi = Vorschub für Innenradius
Fl = ursprünglicher Linearvorschub
R = Radius am Werkstück
r = Werkzeugradius

Nachfolgend die Berechnungen für das Werkstück mit Zapfen und Ringnut

Programm O4001

Innen Ein-/Ausfahren, Linearvorschub 200, Radius 30, Fräserradius 10:
Fi = (200 * (30-10)) / 30 = 133

Außen, Linearvorschub 200, Radius 50, Fräserradius 10:
Fa = (200 * (50+10)) / 50 = 240

Programm O4002

Innen Ein-/Ausfahren Schruppen, Linearvorschub 150, Radius 32, Fräserradius 31,5:
Fi = (150 * (32-31,5)) / 32 = 2,3

Innen Schruppen, Linearvorschub 150, Radius 32, Fräserradius 31,5:
Fi = (150 * (37,3-31,5)) / 37,3 = 23

Innen Ein-/Ausfahren Schlichten, Linearvorschub 100, Radius 32, Fräserradius 31,5:
Fi = (100 * (32-31,5)) / 32 = 1,6

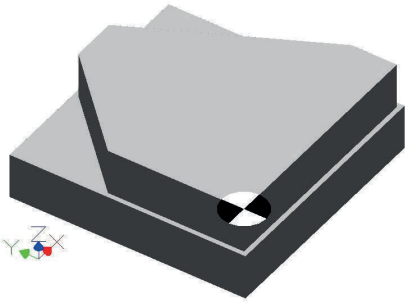
Innen Schlichten, Linearvorschub 100, Radius 32, Fräserradius 31,5:
Fi = (100 * (37,5-31,5)) / 37,5 = 16

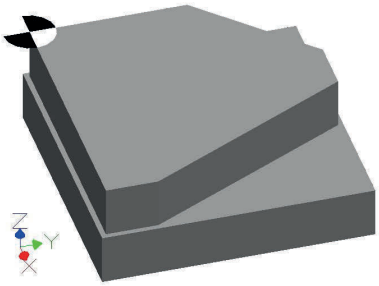
Bei den Kreisbögen dieser Innenbearbeitung weicht der zu programmierende Vorschub erheblich vom ursprünglich gedachten Linearvorschub der schneidenden Außenkante des Scheibenfräsers ab.

Weil der Fräserradius hier fast so groß ist, wie die Radien der zu fräsenden Kreisbögen, fährt die Mittelpunktsbahn nur kleine Kreisbahnen mit Radius 0,5mm bis Radius 6mm ab.
Bei Nichtbeachtung der obigen Regeln würden die Kreisbögen am Radius des Fräsers fast mit Eilgangsgeschwindigkeit in wenigen Sekunden abgefahren.
Das Resultat wäre verheerend.

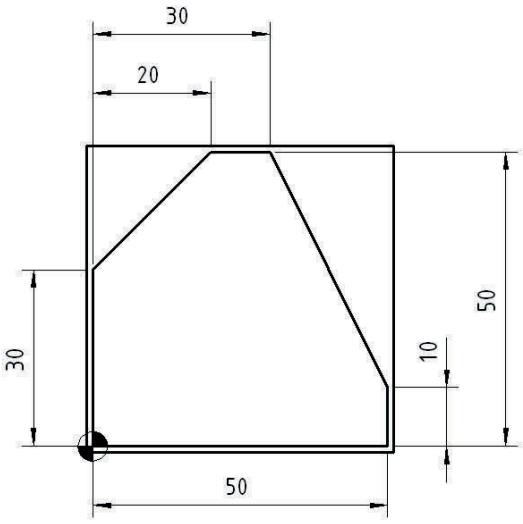
Außenkontur

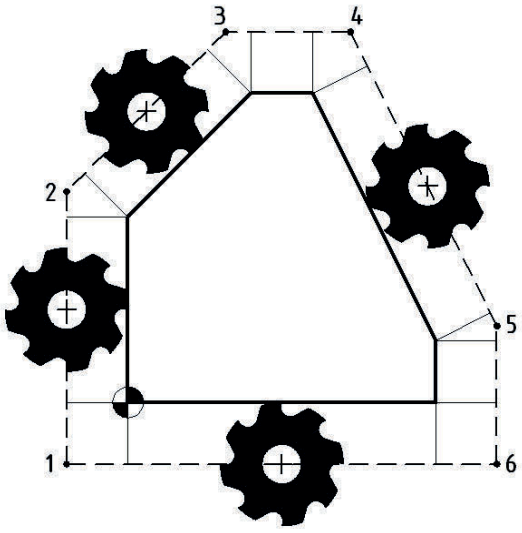
Eine einfache Werkstückkontur, mit Fräserradiuskorrektur gefräst.





Vorgaben:
Fräsen der Kontur 10mm tief mit Schaftfräser Ø 20mm im Gleichlauf
Anfang und Ende am Nullpunkt mit Anlauf- und Auslaufweg je 1mm
Werkstück hat rundum 1mm Aufmaß (52 X 52mm) und ist 20mm hoch
Kürzesten Weg zum An- und Abkompensieren +1mm Sicherheitsabstand wählen



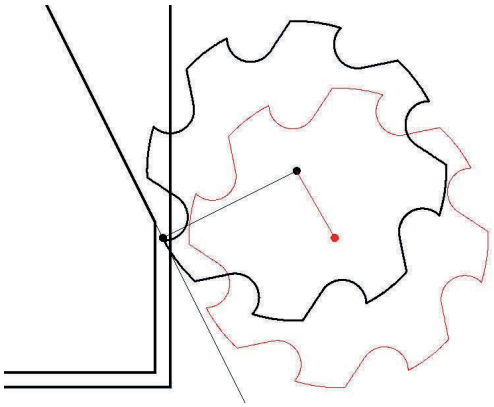


```
O5001
N1005 G17 G90 G94 G40 G49
N1010 T8 M6
N1015 S1500 M3
N0020 G0 G55 X-12 Y-1 M8
N0025 G43 Z2 H8
N0030 G1 Z-10 F150
N0035 G41 X0 Y-1 D8
N0040 Y30
N0045 X20 Y50
N0050 X30
N0055 X50 Y10
N0060 Y0
N0065 X-1
N0070 G40 X-1 Y-12
N0075 G0 Z50 M9
N0080 M5
N0085 G28 G49
N0090 M30
```

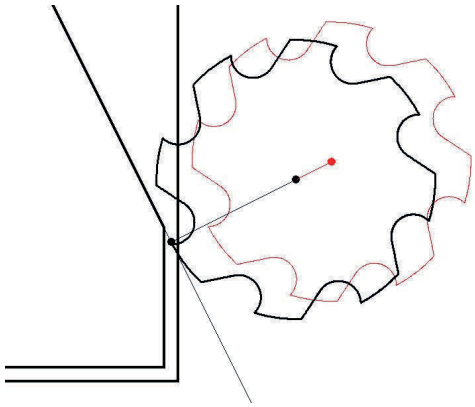
Die Positionierung X-12 in N20 setzt sich aus dem Aufmaß 1mm plus 1mm Sicherheitsabstand zusammen.
Y-1 ist der Anlaufweg 1mm vor der Kontur.
Der tatsächlich gefahrene X-Weg von N20 nach N35 beträgt nur 2mm, obwohl 12mm programmiert sind, weil 10mm Fräserradius eingerechnet werden.
Ebenso verhält es sich mit dem Y-Weg von N60 nach N70.
X-1 in N65 ist der Auslaufweg in X

Das selbe Werkstück mit anderem Anfangs- und Endpunkt

Vorgaben:
Fräsen der Kontur 10mm tief mit Schaftfräser Ø 20mm im Gegenlauf
Anfang und Ende am Punkt X50, Y10 mit Anlauf- und Auslaufweg je 1mm
Werkstück hat rundum 1mm Aufmaß (52 X 52mm) und ist 20mm hoch
Kürzesten Weg zum An- und Abkompensieren +1mm Sicherheitsabstand wählen



Schnelle Positionierung G40 auf X62 und Y9. Leichter auszurechnen. längerer Weg zum Anfahren



Optimale Positionierung X62 und Y14,75. Schwieriger auszurechnen, kürzerer Weg zum Anfahren

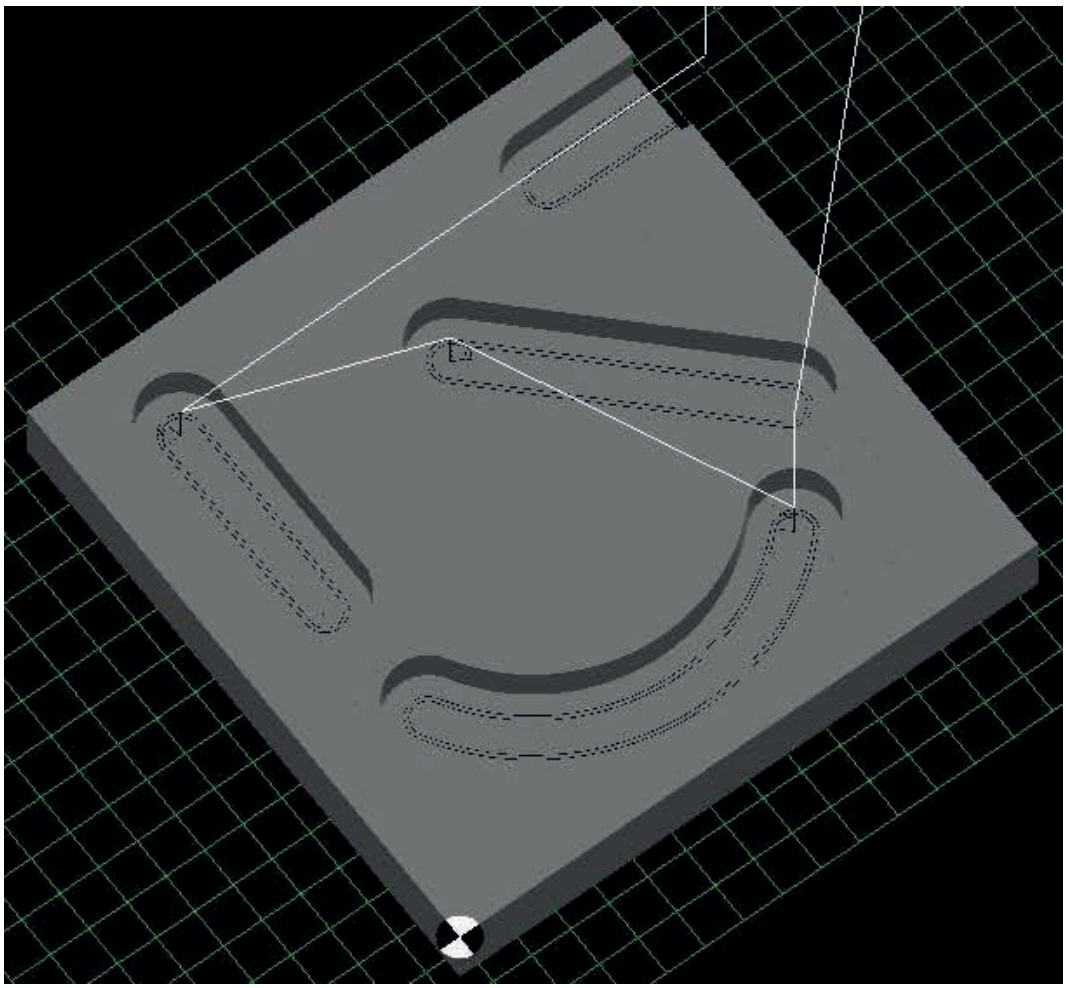
```
O5002
N1005 G17 G90 G94 G40 G49
N1010 T8 M6
N1015 S1500 M3
N0020 G0 G55 X62 Y14.75 M8
N0025 G43 Z2 H8
N0030 G1 Z-10 F150
N0035 G42 X50.5 Y9 D8
N0040 X30 Y50
N0045 X20
N0050 X0 Y30
N0055 Y0
N0060 X50
N0065 Y21
N0070 G40 X62 Y21
N0075 G0 Z50 M9
N0080 M5
N0085 G28 G49
N0090 M30
```

Als Anfangspunkt für den Anlaufweg der Kontur im Satz N35 wurde Y hier einfach auf 9 gesetzt und nur der zugehörige X-Wert extra berechnet.
Der Endpunkt des Auslaufweges Y21 in N65 ist wieder leicht auszurechnen, weil es ein achsparalleler Weg ist.
Fazit: wenn möglich, dann Anfangs- und Endpunkt einer Kontur immer achsparallel beginnen und beenden, wie im vorangegangenen Beispiel, um zusätzliche Rechenarbeit zu sparen.

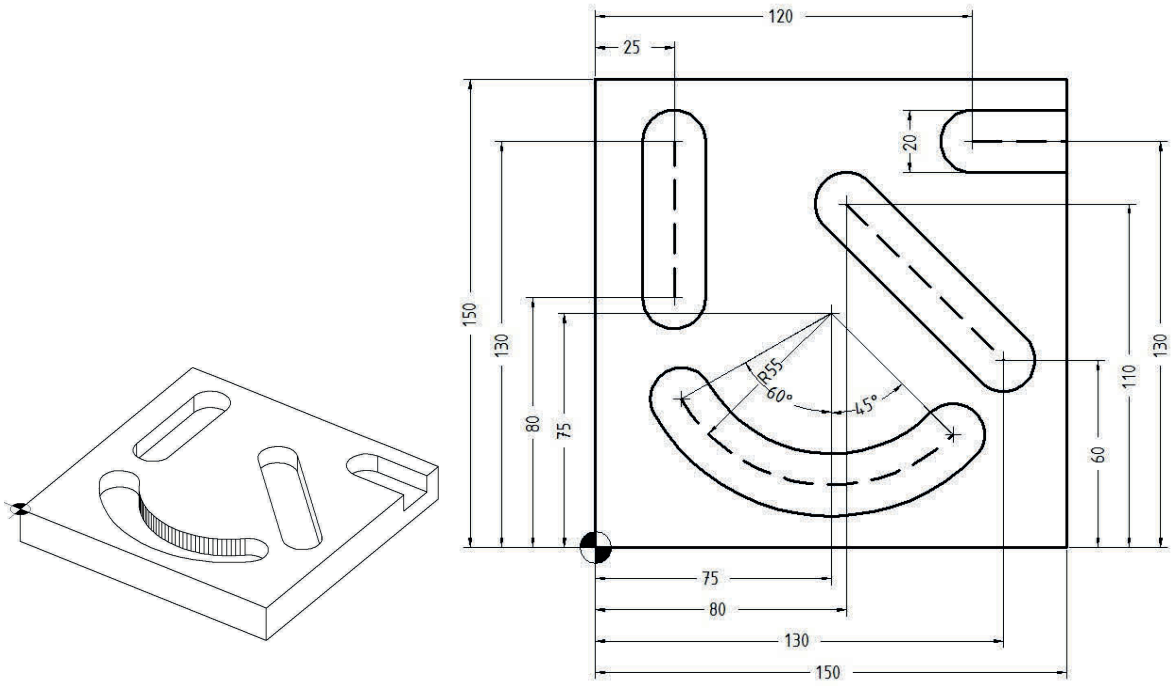
Nut – Langloch

Wenn es auch in der Praxis nicht immer vorkommt, so stürzen sich die Prüfer regelrecht auf die Langlöcher. Keine Prüfung ohne Langlöcher!

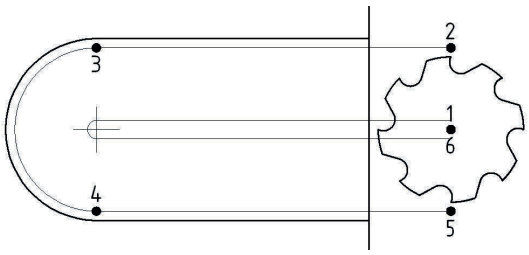
Nachfolgend eine Auswahl: Langloch offen, gerade, schräg und gebogen
Alle Langlöcher sind 20 mm breit. Wir können in diesem Beispiel einen Bohrnutenfräser zwischen Ø10 und Ø16 mm wählen, mit dem wir zuerst mit 1 mm seitlichen Aufmaß vorfräsen und danach fertigfräsen. Zum Ein- und Ausfahren in und aus der Kontur sollen Viertelkreise benutzt werden. Dazu wählen wir einen möglichst großen Radius, hier: 9 mm. Der Werkzeugradius muss auf jeden Fall kleiner sein. Die Fertigkontur ist jeweils in einem Unterprogramm abgelegt. Deshalb können wir mit der selben Kontur Vor- und Fertigfräsen. Zum Vorfräsen muss dann lediglich ein anderer Werkzeugkorrekturwert aufgerufen werden. In diesem Fall mit einem rechnerisch um 1 mm größeren Werkzeugradius. Wer nur ein 1/10 mm Aufmaß zum Schlichten wünscht, vergrößert den rechnerischen Radius nur um 0,1 mm.

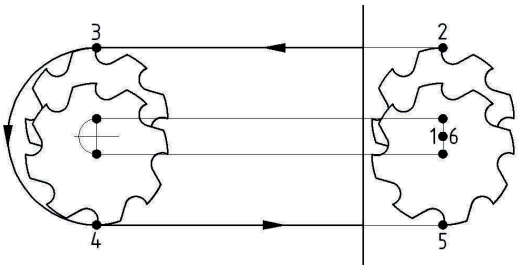


Langlöcher in der Simulation mit Bearbeitungswegen



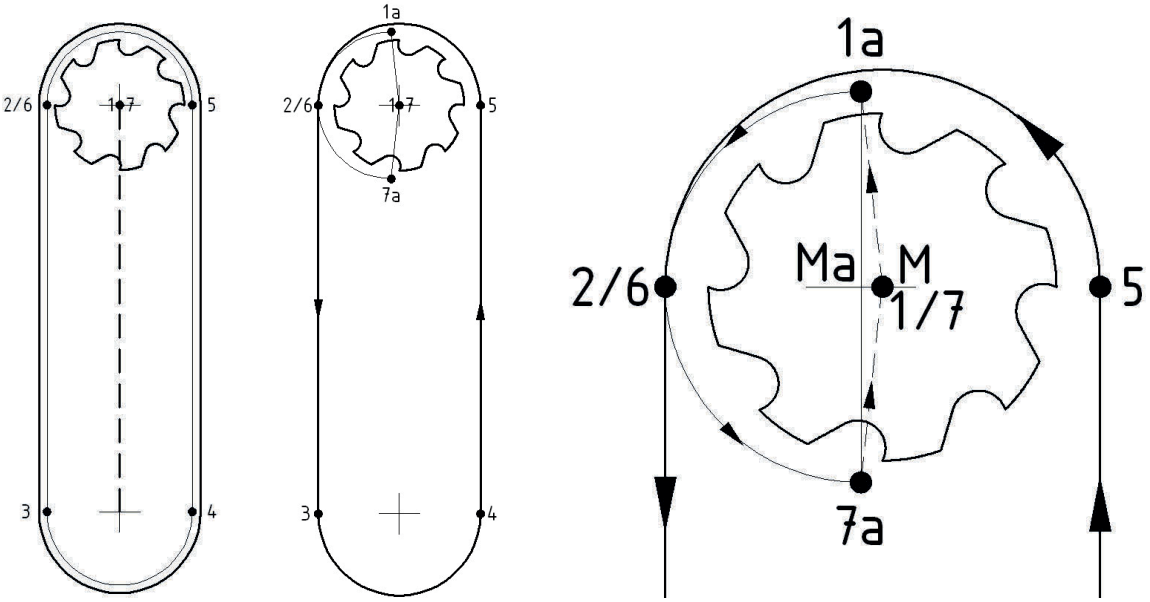
Langloch1





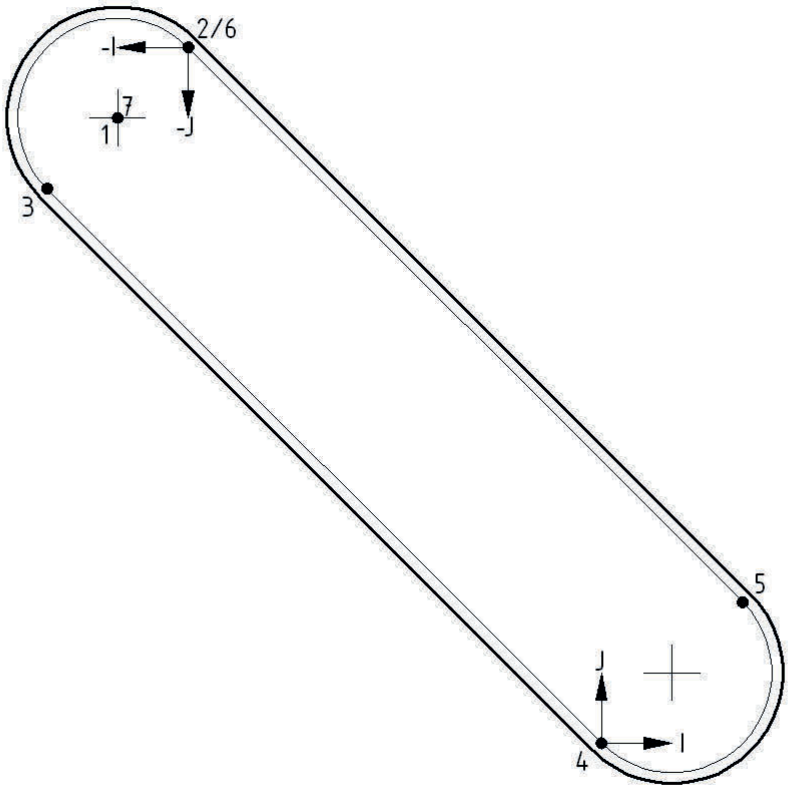
Links: vorfräsen von Punkt 1 nach 6 Rechts: fertigfräsen von Punkt 1 bis 6
Weil die seitliche Zustellung hier außerhalb erfolgt, wird es einfacher. Es wird kein Ein- und Ausfahrradius benötigt. Die Kontur wird geradlinig angefahren.

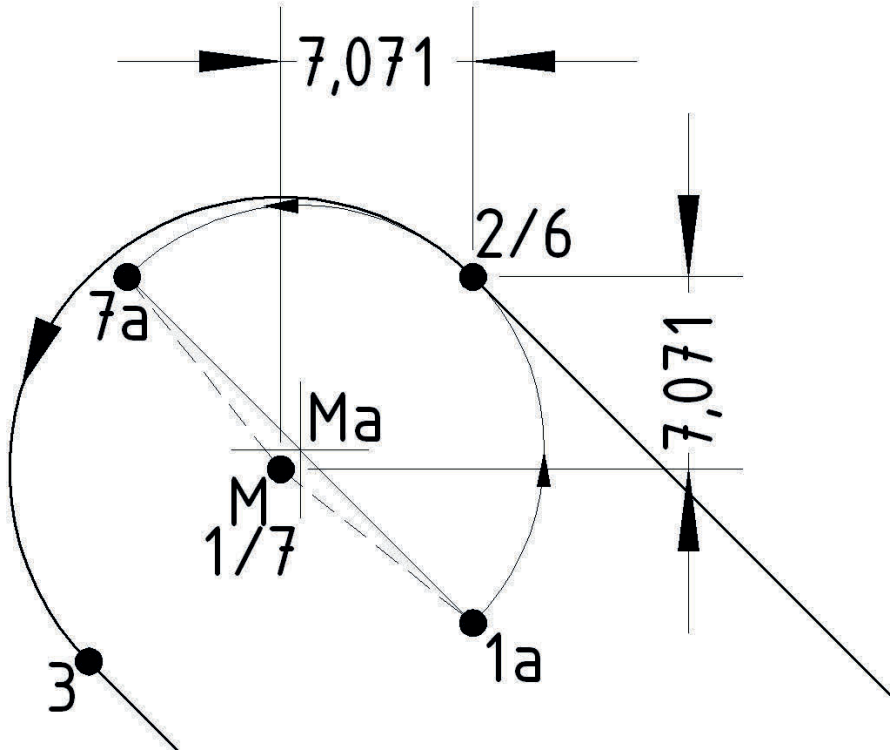
Langloch 2



Hier taucht der Fräser im Mittelpunkt des oberen Radius ein (Punkt 1). Danach wird zum Anfangspunkt 1a des Einfahrradius ankompensiert (G41). Einfahrradius nach Punkt 2. Weiter zu Punkt 3, Radius 10 mm nach Punkt 4. Weiter zu Punkt 5, Radius 10 mm nach Punkt 6. Ausfahrradius auf Punkt 7a. Abkompensieren (G40) nach Punkt 7.

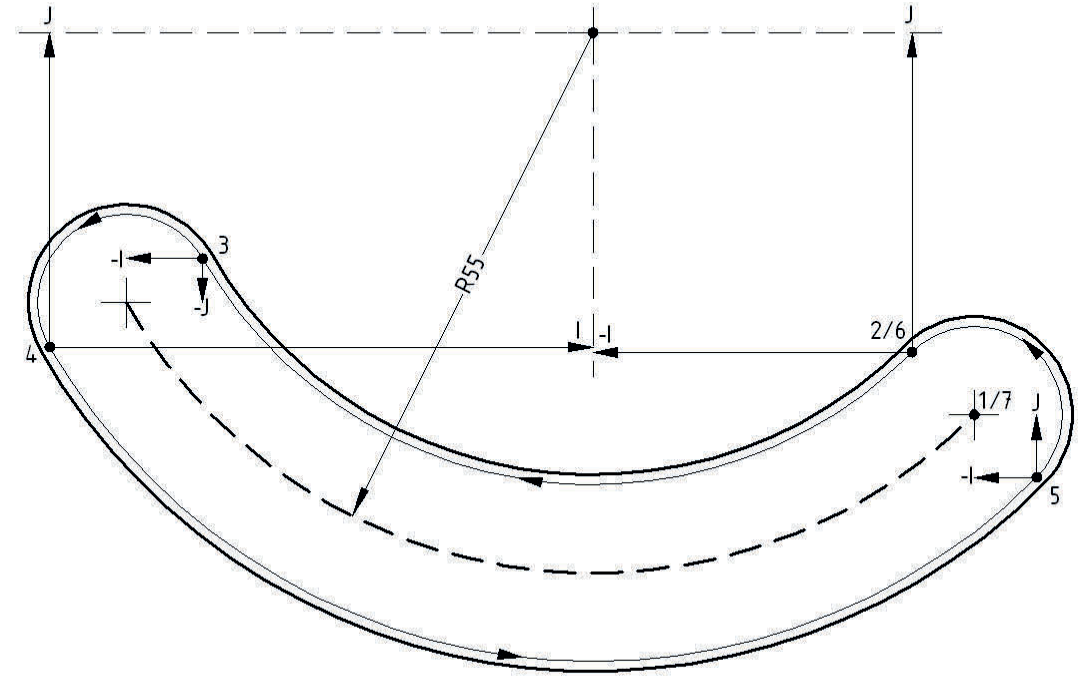
Langloch 3

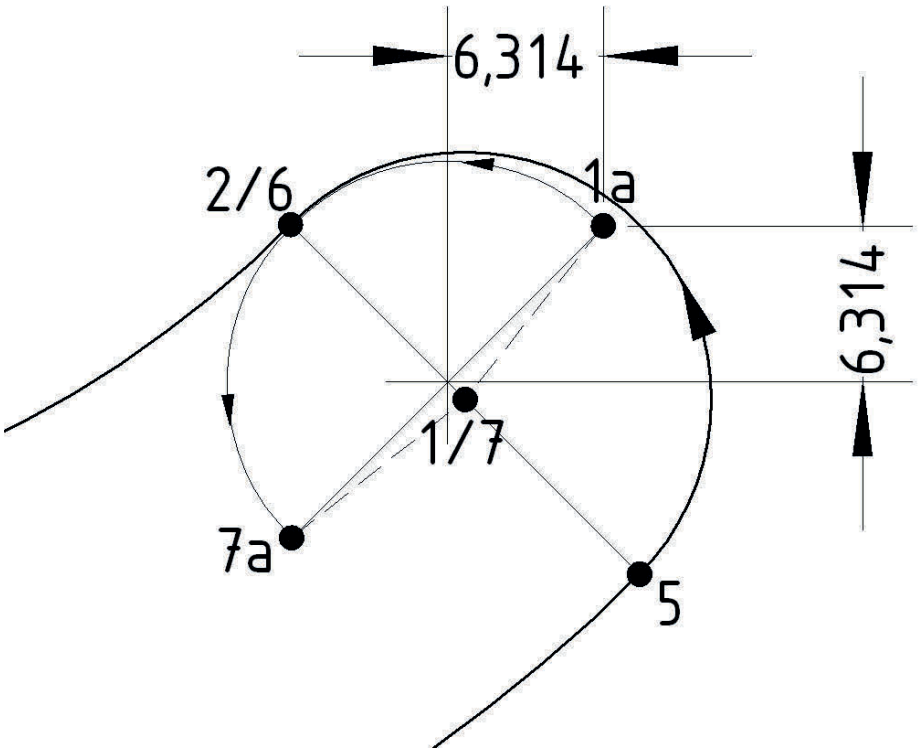


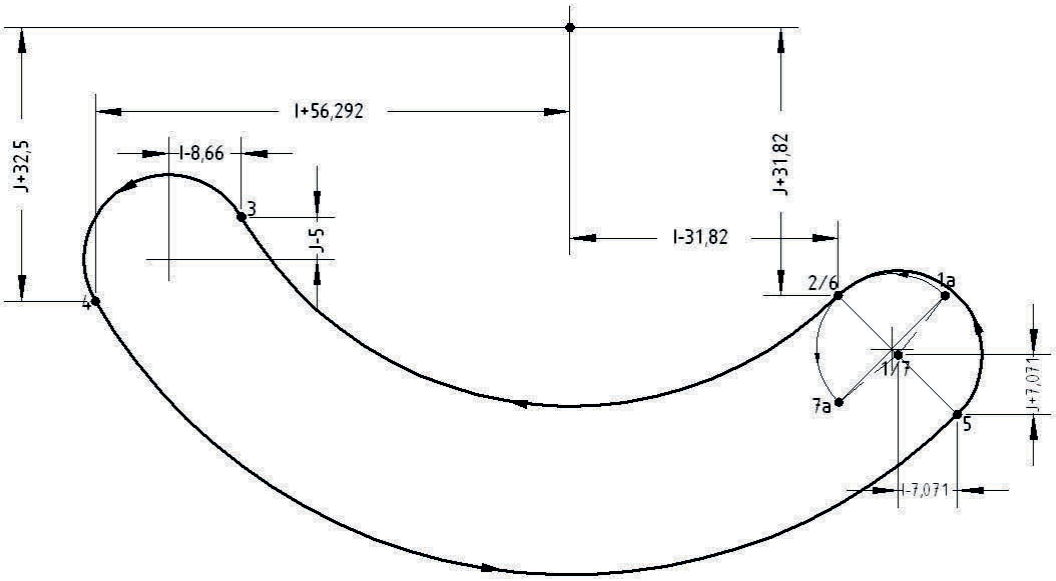


Eigentlich die selbe Prozedur wie beim vorhergehenden Langloch, nur um einen Winkel geneigt. Im Detailbild sind die Interpolationsparameter für den Radius 10 berechnet. Beide Werte sind die selben, weil das Langloch in diesem Falle um 45° geneigt ist. Sie gelten auch beim unteren Radius, nur mit anderen Vorzeichen.

Langloch 4







Bei dieser „Wurst“ wird es ein wenig schwieriger. Der Einfachheit halber beginnen wir am rechten Radius, weil dessen Mittelpunkt auf 45° steht, somit sind es die selben Interpolationsparameter wie beim vorigen Langloch. In der letzten Zeichnung stehen auch die Werte für die anderen Radien.
In der Detailzeichnung stehen die Interpolationsparameter für den Einfahrradius, welche ebenfalls beim 3. Langloch vorkommen.

```
O6000
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T10 M6
N0015 S2000 M3
N0020 G0 G54 X161 Y130 M8 (1 vorfräsen)
N0025 G43 Z2 H10
N0030 G1 Z-10 F200
N0035 G41 X161 Y140 D20
N0040 M98 L01 P6001
N0045 G41 X161 Y140 D10 (1 fertigfräsen)
N0050 M98 L01 P6001
N0055 G0 Z2
N0060 X25 Y130 (2 vorfräsen)
N0065 G1 Z-10 F100
N0070 G41 X24 Y139 D20 F200
N0075 M98 P6002
N0080 G41 X24 Y139 D10 (2 fertigfräsen)
N0085 M98 P6002
N0090 G0 Z2
N0095 X80 Y110 (3 vorfräsen)
N0100 G1 Z-10 F100
N0105 G41 X87.071 Y104.343 D20 F200
N0110 M98 P6003
N0115 G41 X87.071 Y104.343 D10 (3 fertigfräsen)
N0120 M98 P6003
N0125 G0 Z2
N0130 X113.891 Y36.109 (4 vorfräsen)
N0135 G1 Z-10 F100
N0140 G41 X119.548 Y43.18 D20 F200
N0145 M98 P6004
N0150 G41 X119.548 Y43.18 D10 (4 fertigfräsen)
N0155 M98 P6004
```

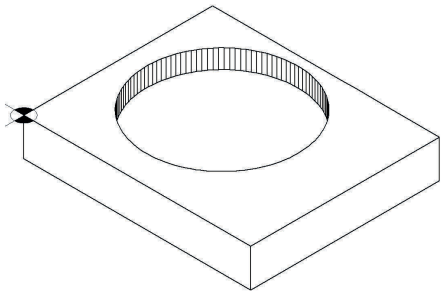
```
N0160 G0 Z2
N0165 G0 Z50 M9
N0170 M5
N0175 G28 G49
N0180 M30

O6001
N0005 G1 X120
N0010 G3 X120 Y120 I0 J-10
N0015 G1 X161
N0020 G40 X161 Y130
N0025 M99

O6002
N0005 G3 X15 Y130 I0 J-9 (Einfahrradius)
N0010 G1 Y80
N0015 G3 X35 Y80 I10 J0 (Radius oben)
N0020 G1 Y130
N0025 G3 X15 Y130 I-10 J0 (Radius unten)
N0030 G3 X24 Y121 I9 J0 (Ausfahrradius)
N0035 G1 G40 X25 Y130
N0040 M99

O6003
N0005 G3 X87.071 Y117.071 I-6.364 J6.364 (Einfahrradius)
N0010 G3 X72.929 Y102.929 I-7.071 J-7.071 (Radius oben)
N0015 G1 X122.929 Y52.929
N0020 G3 X137.071 Y67.071 I7.071 J7.071 (Radius unten)
N0025 G1 X87.071 Y117.071
N0030 G3 X74.343 Y117.071 I-6.364 J-6.364 (Ausfahrradius)
N0035 G1 G40 X80 Y110
N0040 M99

O6004
N0005 G3 X106.82 Y43.18 I-6.364 J-6.364 (Einfahrradius)
N0010 G2 X36.029 Y52.5 I-31.82 J31.82 (Großer Radius oben)
N0015 G3 X18.708 Y42.5 I-8.66 J-5 (Radius links)
N0020 G3 X120.962 Y29.038 I56.292 J32.5 (Großer Radius unten)
N0025 G3 X106.82 Y43.18 I-7.071 J7.071 (Radius rechts)
N0030 G3 X106.82 Y30.452 I6.364 J-6.364 (Ausfahrradius)
N0035 G1 G40 X113.891 Y36.109
N0040 M99
```

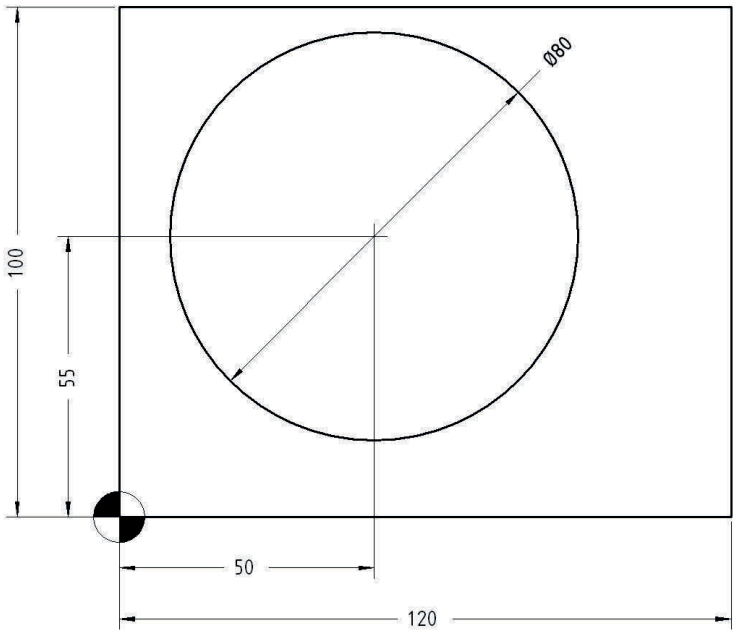
Bei größerer Tiefe kann im Hauptprogramm eine weitere Zustellung in Z und ein erneuter Unterprogrammaufruf eingefügt werden.

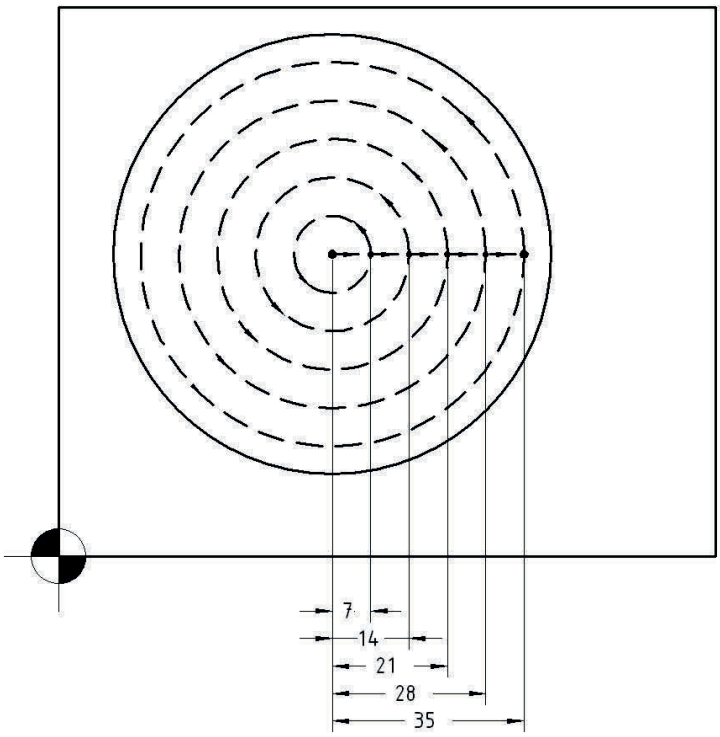
Kreistasche

Kreistaschen werden häufig angewendet und können oft schon mit Hilfe der in der Steuerung vorhandenen Zyklen gefertigt werden. Hierbei kann die Bewegung spiralförmig von innen nach außen erfolgen oder mehrere Kreise von innen nach außen, wie eine Zielscheibe.
Hier ein einfaches Beispiel, wie man es selbst machen kann, mit einem Bohrnutenfräser ø10, die Überlappung (seitlicher Versatz) 70%, also 7 mm.
Sollten mehrere Tiefenzustellungen nötig sein, dann die Bearbeitung einfach als Unterprogramm ausführen und dieses mehrfach aufrufen.

Mit geschickter Aufteilung kann auch jeweils der letzte Schnitt als Schlichtschnitt ausgeführt werden.
Am einfachsten ist die Durchführung mit Bohrnutenfräsern, weil sie eintauchen und seitlich fräsen können. Andernfalls muss vorgebohrt werden. Manche propagieren auch das „ramping“, das Eintauchen eines Schaftfräsers in einem flachen Winkel oder mit einer spiralförmigen Bewegung. Das ist mit Vorsicht zu genießen und Vorbohren ist oft schneller.



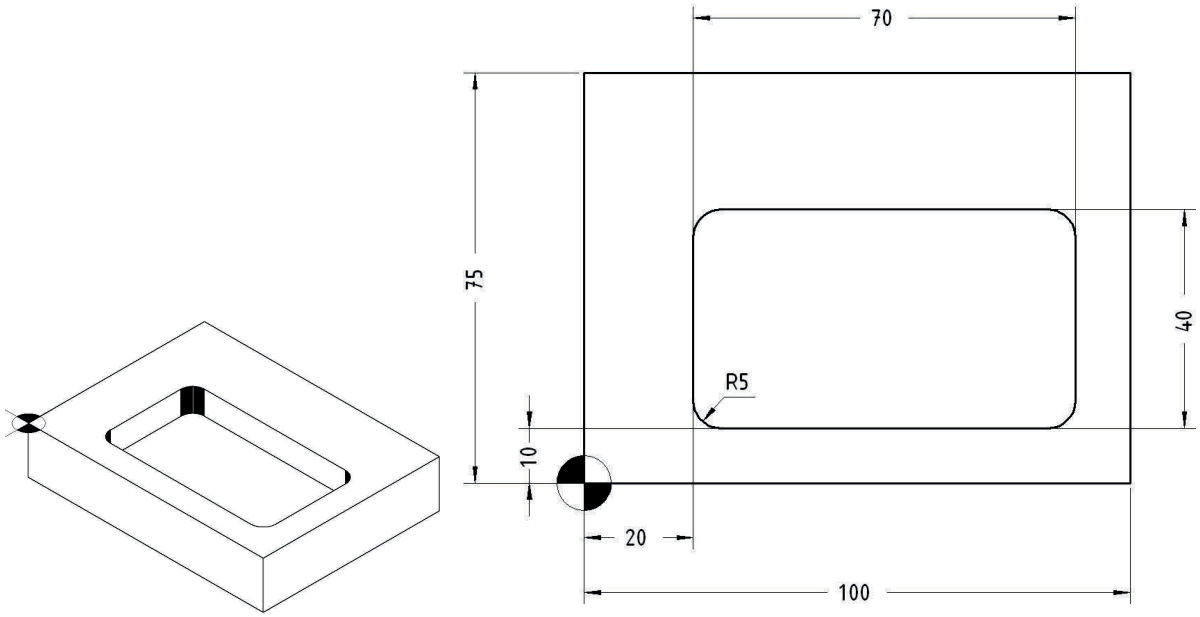




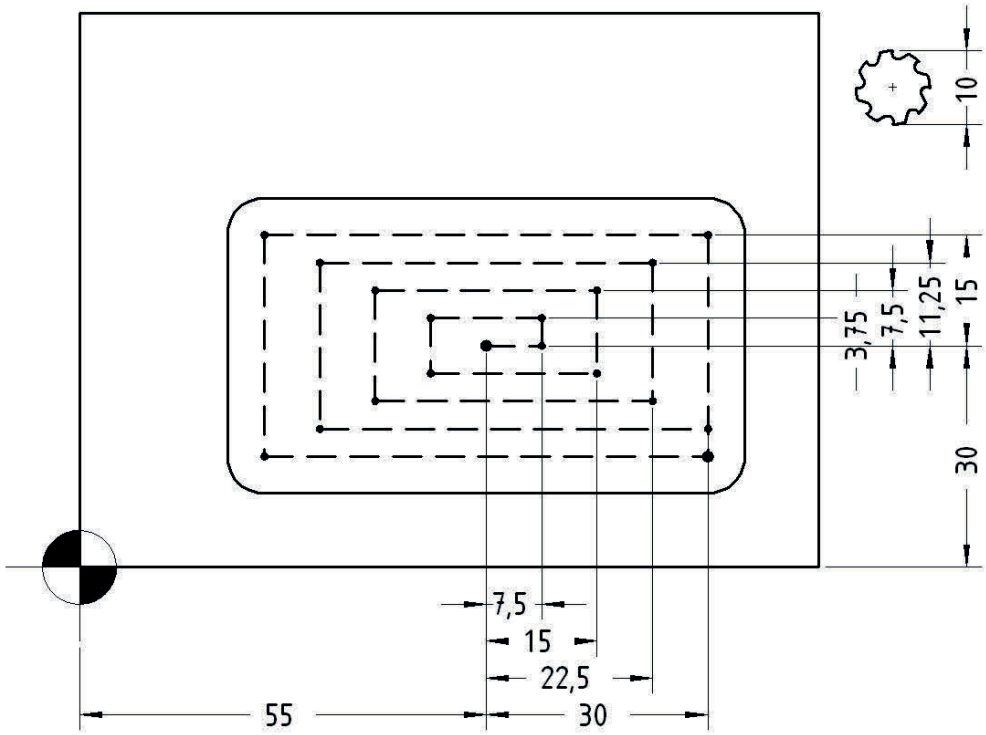
```
O7001
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T10 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X50 Y55 M8
N0025 G43 Z2 H10
N0030 G1 Z-10 F100
N0035 X57 F200
N0040 G3 X57 Y55 I-7 J0
N0045 G1 X64
N0050 G3 X64 Y55 I-14 J0
N0055 G1 X71
N0060 G3 X71 Y55 I-21 J0
N0065 G1 X78
N0070 G3 X78 Y55 I-28 J0
N0075 G1 X85
N0080 G3 X85 Y55 I-35 J0
N0085 G0 Z50 M9
N0090 M5
N0095 G28 G49
N0100 M30
```

Rechtecktasche

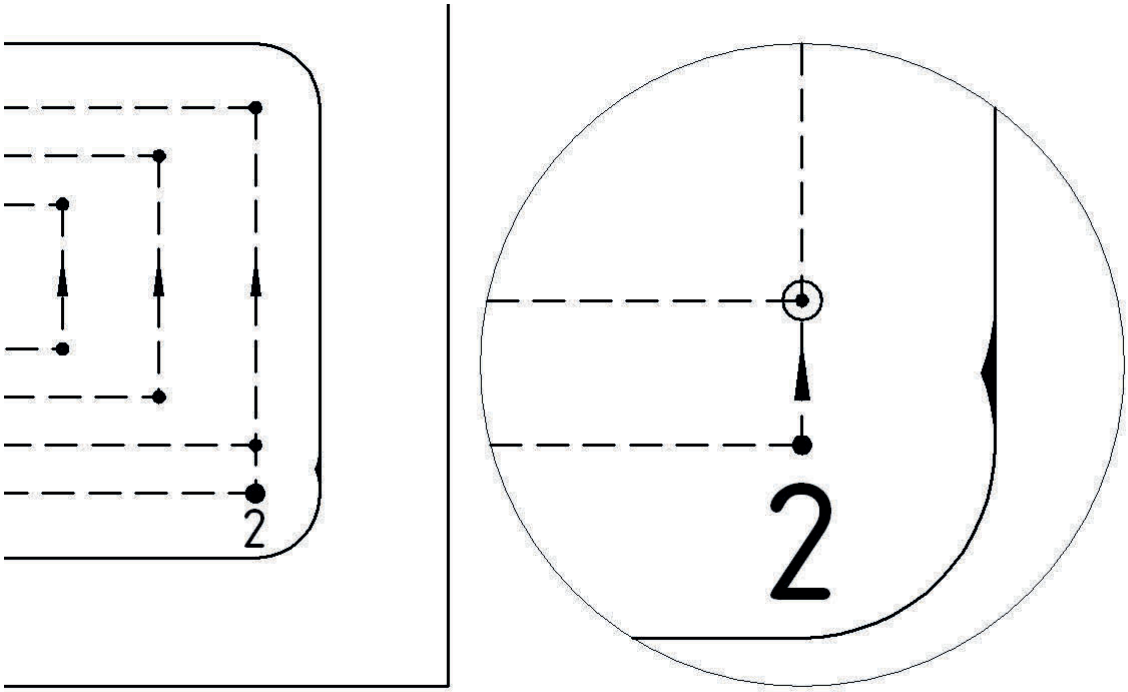
Auch die Fertigung von Rechtecktaschen ist meist mit vorhandenen Zyklen möglich. Neuere Zyklen können die Rechtecktasche sogar unter einem bestimmten Winkel drehen. Es gibt Zyklen, welche das Rechteck von innen nach außen fräsen oder welche es zeilenförmig ausfräsen.
Als Beispiele beide Möglichkeiten, wieder mit einem Bohrnutenfräser Ø10, die Überlappung (seitlicher Versatz) 3/4 also 7,5 mm.
Wie bei der Kreistasche können auch hier mehrere Tiefenzustellungen mit Unterprogrammen verwirklicht werden.



Von innen nach außen



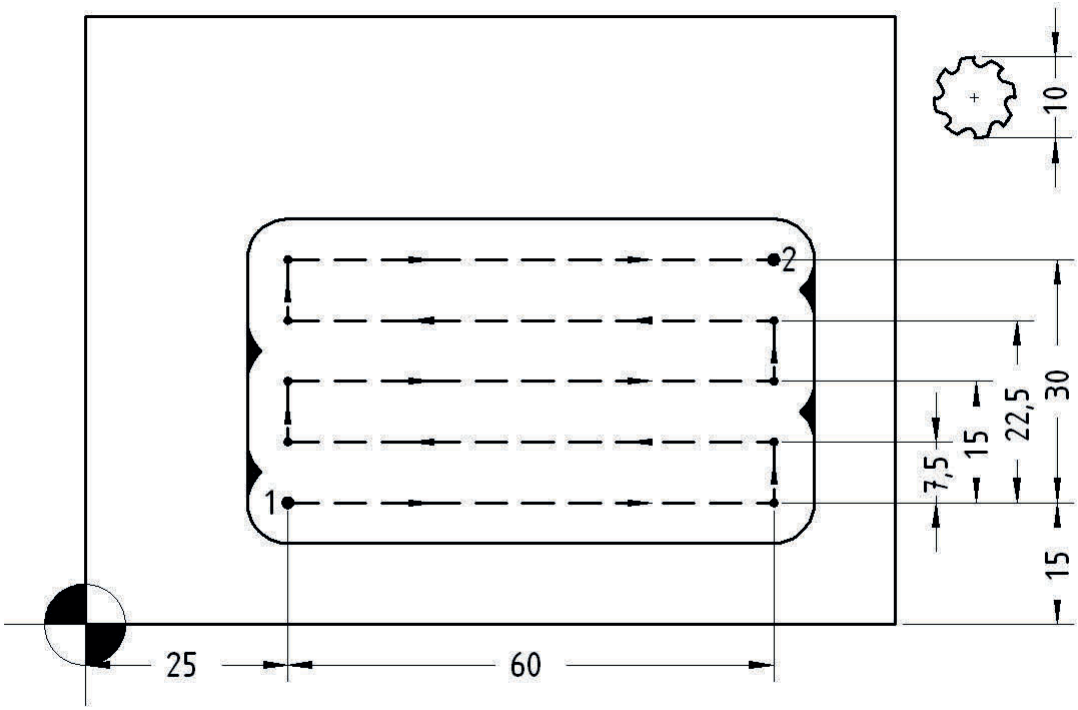
Bei dieser Art des Ausfräsens muss beachtet werden, dass die seitliche Zustellung für die längere Seite des Rechtecks gilt, ansonsten würden Inseln stehen bleiben.



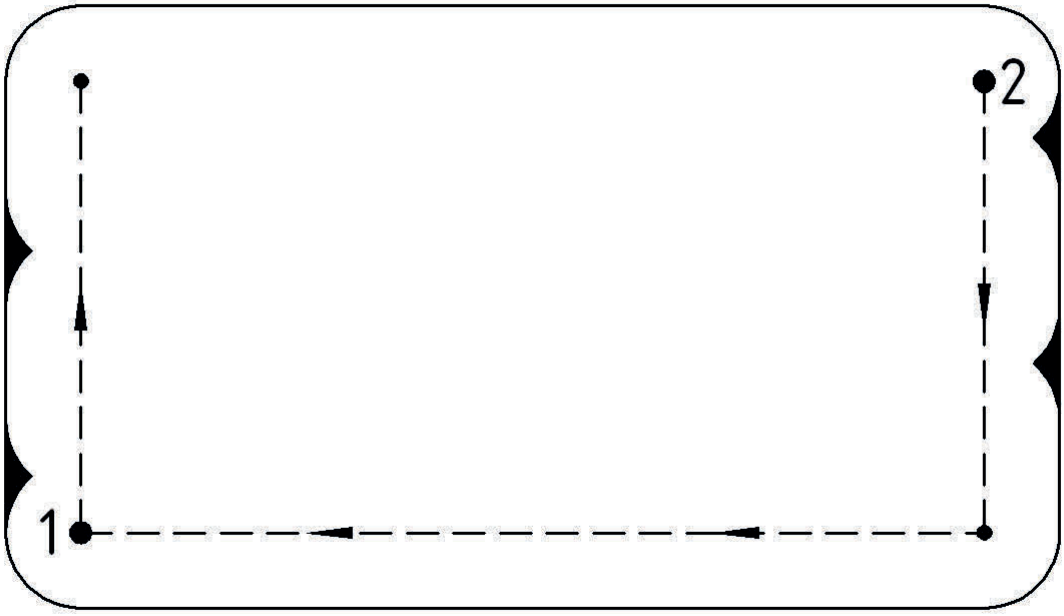
Wie man auf dem Bild sehen kann, bleibt zum Schluss an einer Ecke Restmaterial stehen, was noch extra abgefräst werden muss, von Satz N115 nach N120.

```
O8001
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T10 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X55 Y30 M8
N0025 G43 Z2 H10
N0030 G1 Z-10 F100
N0035 X62.5 F200
N0040 Y33.75
N0045 X47.5
N0050 Y26.25
N0055 X70
N0060 Y37.5
N0065 X40
N0070 Y22.5
N0075 X77.5
N0080 Y41.25
N0085 X32.5
N0090 Y18.75
N0095 X85
N0100 Y45
N0105 X25
N0110 Y15
N0115 X85
N0120 Y18.75
N0125 G0 Z50 M9
N0130 M5
N0135 G28 G49
N0140 M30
```

Zeilen fräsen



Beim Zeilenfräsen sollten die Zeilen immer den längeren Weg des Rechtecks abfahren, um zu viele Richtungswechsel zu vermeiden, was auch mehr Programmieraufwand wäre.



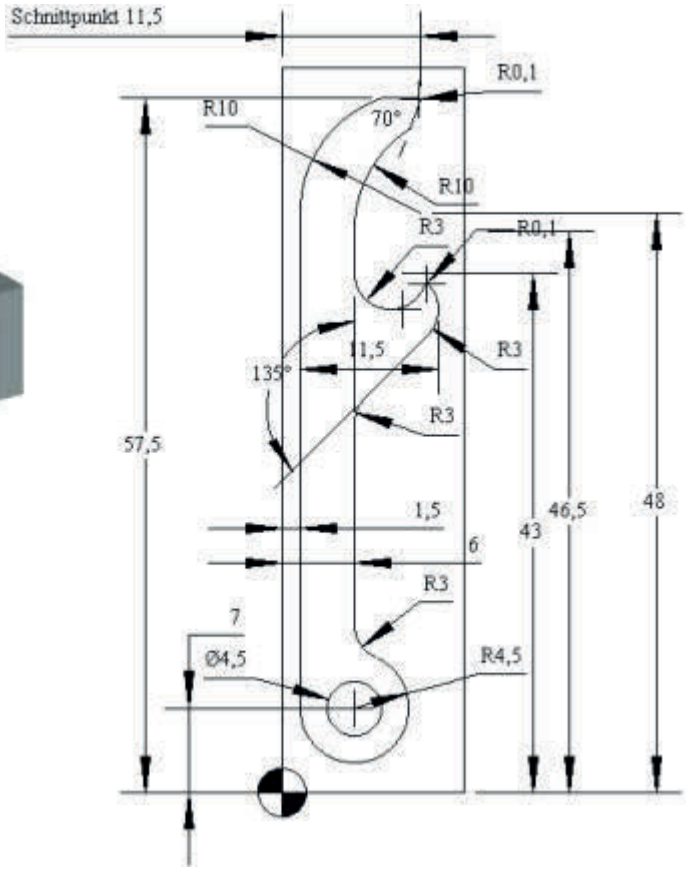
Wie hier zu sehen ist, bleiben einige Restecken stehen, welche alle abgefräst werden müssen. In diesem Programm sind das die Sätze N80, N85 und N90.

```
O9001
N0005 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T10 M6
N0015 S1500 M3
N0020 G0 G54 X25 Y15 M8
N0025 G43 Z2 H10
N0030 G1 Z-10 F100
N0035 X85 F200
N0040 Y22.5
N0045 X25
N0050 Y30
N0055 X85
N0060 Y37.5
N0065 X25
N0070 Y45
N0075 X85
N0080 Y15
N0085 X25
N0090 Y45
N0095 G0 Z50 M9
N0100 M5
N0105 G28 G49
N0110 M30
```

In manchen Fällen kann ein Rechtecktaschenzyklus auch zum Planfräsen verwendet werden.

6.18 Projekt Flaschenöffner

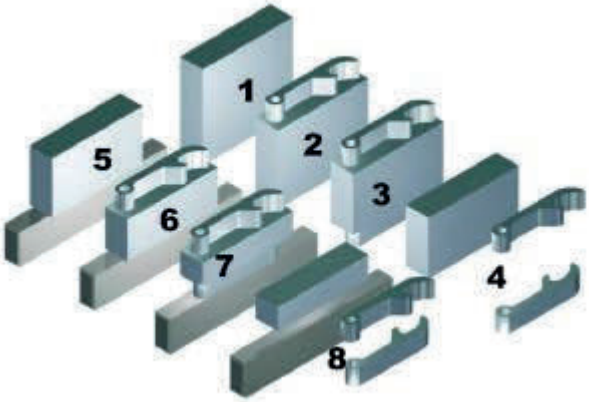
Es soll ein Flaschenöffner aus Aluminiumlegierung gefräst werden, der am Schlüsselbund getragen werden kann.
Ein nützliches kleines Teil, welches als Fräsübung dennoch einige Ansprüche an die Programmierung stellt.



Das nachfolgende Beispiel ist für 2½ D CNC-Fräsmaschinen geeignet und wurde mit handelsüblichen HSS-Standardwerkzeugen ausgeführt.
Die Fräswege sind im Gegenlauf ausgeführt. Wer sich fit genug fühlt, kann zur Übung das Programm auf Gleichlauf umschreiben.
Mit dem Einsatz von Werkzeugen mit spezieller Geometrie für Alu-Legierungen kann die Bearbeitungszeit noch drastisch verkürzt werden.

In CNCezPRO wird das Programm standardmäßig als „DemoBottleOpener“ mitgeliefert. Es ist auch im Download zum Buch unter „CNC-M-Beispiele“, jeweils in X- und in Y-Ausrichtung zu haben.

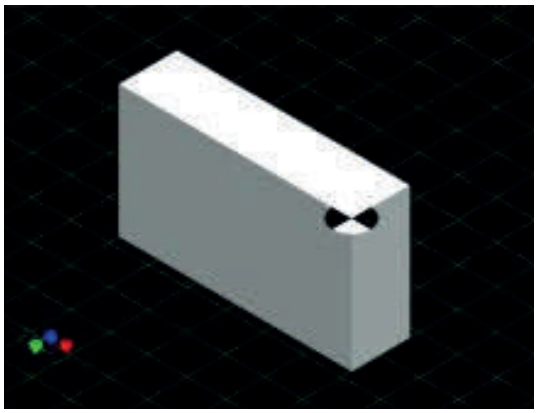
Arbeitsablauf



Für den Flaschenöffner wird hier Flachmaterial 60 X 15 in der Qualität AlCuMgPb (eine leicht zerspanbare Aluminiumlegierung) benutzt.

1 Das Flachmaterial wird gesägt und auf Länge 55mm vorgefräst, es sollen insgesamt vier Flaschenöffner aus einem Klotz 60 X 15 X 55 entstehen.
2 Der erste Flaschenöffner wird gefräst, die Frästiefe beträgt 10mm.
3 Der Klotz wird umgedreht und der zweite Flaschenöffner gefräst.
4 Danach werden beide Flaschenöffner vom Rohmaterial manuell oder maschinell abgetrennt, je nach Sägeblattbreite bleibt vom Flaschenöffner eine Dicke von 8-9mm erhalten.
5 Das restliche Rohmaterial von ca. 35mm Höhe wird beidseitig auf insgesamt 34mm vorgefräst.
6 Der dritte Flaschenöffner wird gefräst.
7 Der Klotz wird umgedreht und der vierte Flaschenöffner gefräst.
8 Danach werden wieder beide Flaschenöffner abgetrennt. Es bleibt ein Abfallstück von 14mm übrig.
Die abgetrennten Flaschenöffner werden manuell nachgearbeitet (gefeilt, entgratet und je nach Geschmack mattiert oder poliert), die Ecken verrunden, um Löcher in der Hosentasche zu vermeiden.

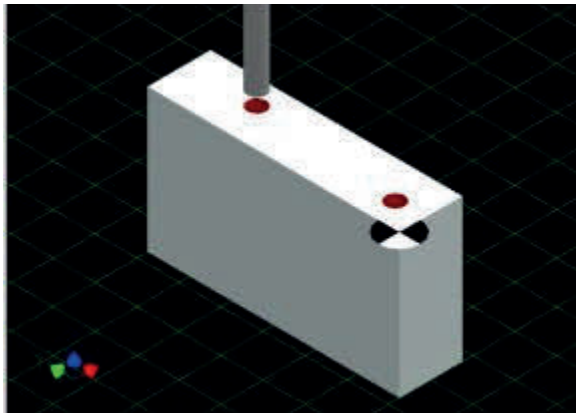
Nullpunkt



Das Werkstück wird so eingespannt, dass die Breite 15mm in der X-Achse liegt, die Tiefe 60 in der Y-Achse und die Höhe 55 / 34 in der Z-Achse.
Der Nullpunkt liegt vorne links auf der Oberkante des Rohteils.

Werkzeug 1

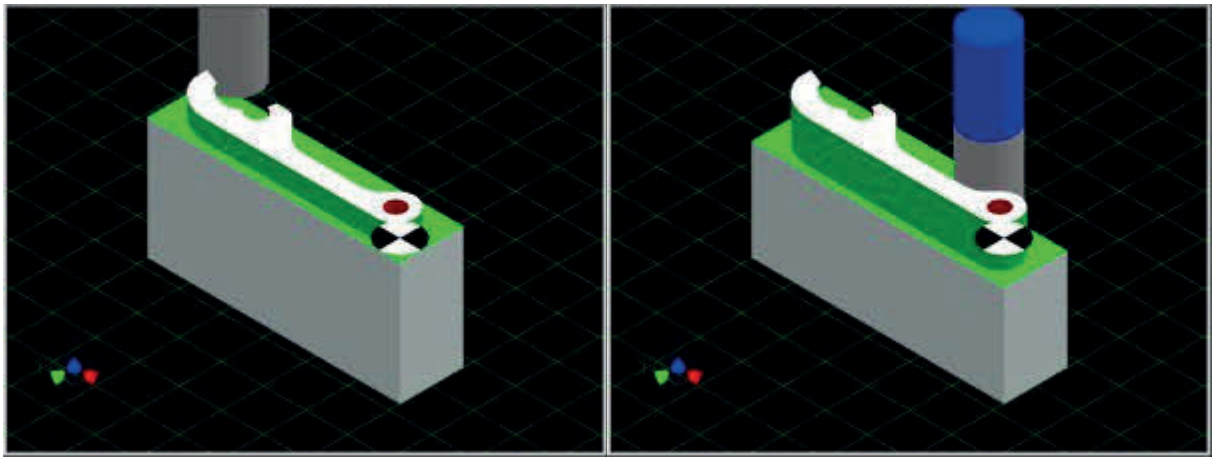
T1, Spiralbohrer Ø 4,5.
Um das Anzentrieren zu sparen, entweder einen kurzen Spiralbohrer oder einen passenden Stufenbohrer nehmen.



Es wird ein Hilfsloch für den kleinen Innenradius gebohrt, um das Werkzeug T3 (Schaftfräser Ø 5) zu schonen und es wird die Bohrung für den Schlüsselring erstellt.

Werkzeug 2

T2, Bohrnuten- oder Schaftfräser Ø 12.

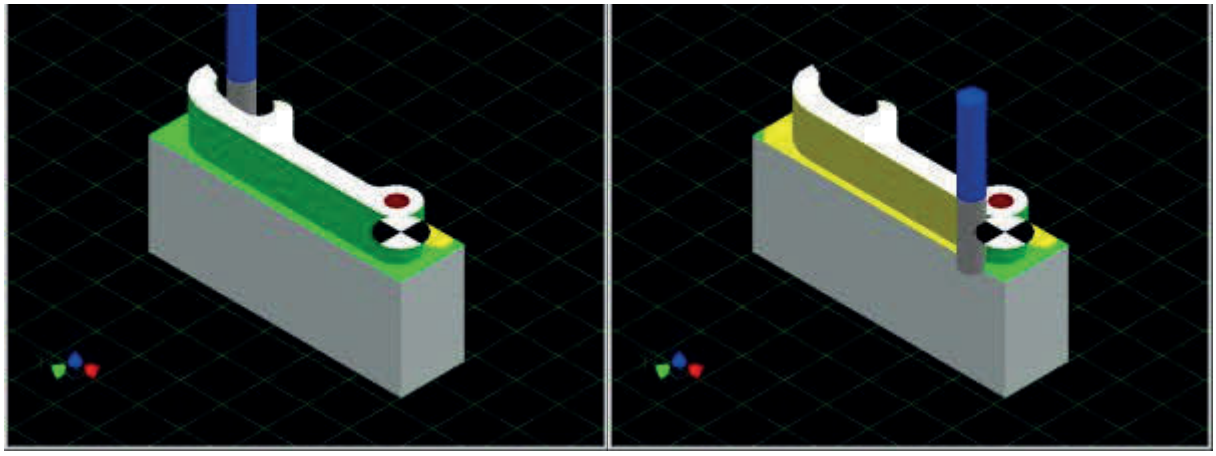


T2 fräst die Außenkontur mit zwei Tiefenzustellungen (Z-5 und Z-10) grob vor.
An den Stellen, wo T2 die Fertigkontur erreichen kann, wird ein seitliches Aufmaß von 0,1mm belassen.

In diesem Beispiel wurde die Mittelpunktsbahn ohne Fräserradiuskorrektur programmiert, der Werkzeug-Durchmesser 12 darf hier also nicht verändert werden.

Werkzeug 3

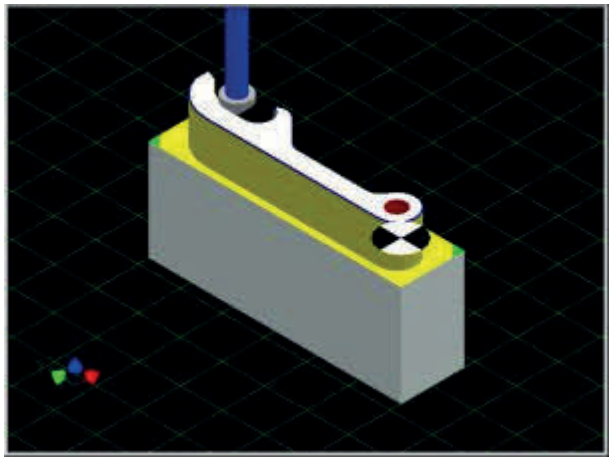
T3, Schaftfräser Ø 5. Radiuskorrektur D3 = 2,6 und D13 = 2,5



T3 fräst zuerst das Restmaterial auf der rechten Seite der Kontur mit einem seitlichen Aufmaß von 0,1mm heraus.
Danach fräst T3 die komplette Kontur in einem Durchgang fertig. Hierbei wird folgender Trick angewendet: zum Vorfräsen wird dem Fräser der Werkzeugkorrekturwert D03 mit dem rechnerischen Radius 2,6 zugewiesen, zum Fertigfräsen wird dem selben Werkzeug der Werkzeugkorrekturwert D13 mit dem tatsächlichen Radius 2,5 zugewiesen.
Achtung: beide Werkzeugkorrekturwerte D03 und D13 im Werkzeugkorrekturspeicher ablegen!

Werkzeug 4

T4, Kegelsenker 90 Grad mit Außendurchmesser 6,3. Kleiner Durchmesser 1,5.



T4 fräst eine Fase 45º X 0,25 mm um die gesamte Kontur, benutzt dabei das selbe Unterprogramm wie Werkzeug 3 und senkt die Bohrung für den Schlüsselring an. Dem Werkzeug wurde ein rechnerischer Radius von 1,5 mm zugewiesen. Dementsprechend wurde die Zustelltiefe Z-1 vom kleinen Werkzeug-Ø = 1,5 mm ausgehend und dem Winkel 45 Grad errechnet.

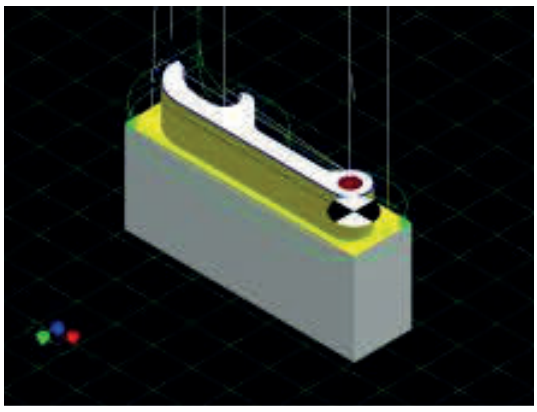
Werkzeuge im Werkzeugmagazin

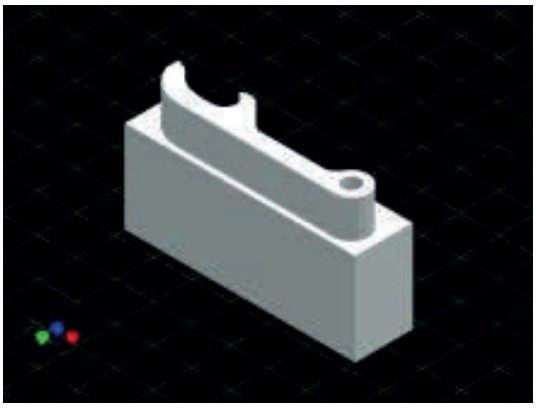
T1 Spiralbohrer Ø 4,5
T2 Bohrnutenfräser Ø 12
T3 Schaftfräser Ø 5
T4 Kegelsenker 90 Grad

Werkzeug-Korrekturwerte in der Steuerung

```
TOOL OFFSET MILL

T 01  H 136.210   D 000.000          T 09  H 000.000   D 000.000
T 02  H 097.740   D 000.000          T 10  H 000.000   D 000.000
T 03  H 088.900   D 002.600          T 11  H 000.000   D 000.000
T 04  H 083.640   D 001.500          T 12  H 000.000   D 000.000
T 05  H 000.000   D 000.000          T 13  H 088.900   D 002.500
T 06  H 000.000   D 000.000          T 14  H 000.000   D 000.000
T 07  H 000.000   D 000.000          T 15  H 000.000   D 000.000
T 08  H 000.000   D 000.000          T 16  H 000.000   D 000.000
```

Hier wurden neben den Werkzeuglängen die Radiuskorrekturen für D3, D4 und D13 eingegeben





Das fertige Werkstück mit farbigen Schnitten und mit Werkzeugwegen, auf der rechten Seite einfarbig, ohne Nullpunkt und ohne Werkzeugwege dargestellt

CNC-Programm „Flaschenöffner“ mit Kommentaren

```
O0090
N0005 G17 G90 G94 G40 G49 G21          Initialisierung der Maschine
N0010 T1 M6                            Werkzeug 1 einwechseln
N0015 S3000 M3                         3000 U/min Drehrichtung rechts
N0020 G54 G0 X6 Y7 M8                  Nullp. anwählen, Pos. anfahren, Kühl
N0025 G43 Z2 H1                        WKZ-Länge H1 anwählen, Pos. Z=2
N0030 G83 X6 Y7 Z-10 R2 F150 Q3        Tiefbohrzyklus 1. Position
N0035 X9 Y43                           Tiefbohrzyklus 2. Position
N0040 G80                              Bohrzyklus abwählen
N0045 G0 Z50 M9                        auf Z50 wegfahren, Kühlmittel aus
N0050 M5                               Spindel Stopp
N0055 G28 G49                          Ref.-punkt anfahren, Länge abwählen
N0060 T2 M6                            Werkzeug 2 einwechseln
N0065 S3000 M3                         3000 U/min Drehrichtung rechts
N0070 G0 X23 Y63.6 M8                  mit Eilg. Pos. X, Y anfahren, Kühlm.
N0075 G43 Z2 H2                        WKZ-Länge H2 anwählen, Pos. Z=2
N0080 G1 Z-5 F100                      1. Z-Tiefe mit Vorschub zustellen
N0085 M98 P9001                        Unterprogrammaufruf Vorfräsen
N0090 Z-10                             2. Z-Tiefe mit Vorschub zustellen
N0095 M98 P9001                        Unterprogrammaufruf Vorfräsen
N0100 G0 Z50 M9                        auf Z50 wegfahren, Kühlmittel aus
N0105 M5                               Spindel Stopp
N0110 G28 G49                          Ref.-punkt anfahren, Länge abwählen
N0115 T3 M6                            Werkzeug 3 einwechseln
N0120 S3500 M3                         3500 U/min Drehrichtung rechts
N0125 G0 X13 Y4 M8                     mit Eilg. Pos. X, Y anfahren, Kühlm.
N0130 G43 Z2 H3                        WKZ-Länge H3 anwählen, Pos. Z=2
N0135 G1 Z-10 F100                     Z-Tiefe mit Vorschub zustellen
N0140 G1 G42 X10.5 Y7 D3               Radiuskorrektur D3 anwählen
N0145 G3 X7.8 Y11.124 I-4.5 J0         Außenradius 4,5 um Bohrung
N0150 G2 X6 Y13.874 I1.2 J2.749        Innenradius 3
N0155 G1 Y30.515                       Gerade nach oben
N0160 G2 X6.879 Y32.636 I3 J-0.001     Innenradius 3
N0165 G1 X12.121 Y37.879               Gerade nach rechts oben
N0170 G3 X12.042 Y42.198 I-2.121 J2.121 Außenradius 3 für Haken
N0175 G3 X11.878 Y42.153 I-0.068 J-0.074 Außenradius 0,1 Haken abrunden
N0180 G2 X6 Y43 I-2.878 J0.847         Innenradius 3 des Hakens
N0185 G1 Y46.5                         Gerade nach oben
N0190 G2 X10.547 Y54.883 I10 J0.001    Innenradius 10
N0195 G1 X11.451 Y57.366               Gerade zur Spitze
N0200 G3 X11.357 Y57.5 I-0.094 J0.034  Außenradius 0,1 Spitze abrunden
N0205 G1 X7                            Gerade ausfahren
N0210 G0 G40 X13 Y61                   Radiuskorrektur D3 abwählen
N0215 G1 G43 Z-10 H13                  Werkzeuglänge H13 anwählen
N0220 G42 X12.5 Y57.5 D13              Radiuskorrektur D13 anwählen
N0225 M98 P9002                        Unterprogrammaufruf Fertigkontur
N0230 G0 Z50 M9                        auf Z50 wegfahren, Kühlmittel aus
N0235 M5                               Spindel Stopp
N0240 G28 G49                          Ref.-punkt anfahren, Länge abwählen
N0245 T4 M6                            Werkzeug 4 einwechseln
N0250 S2500 M3                         2500 U/min Drehrichtung rechts
N0255 G0 X13 Y61 M8                    mit Eilg. Pos. X, Y anfahren, Kühlm.
N0260 G43 Z2 H4                        WKZ-Länge H4 anwählen, Pos. Z=2
N0265 G1 Z-1 F150                      Z-Tiefe mit Vorschub zustellen
N0270 G42 X12.5 Y57.5 D4               Radiuskorrektur D4 anwählen
N0275 M98 P9002                        Unterprogrammaufruf Fertigkontur
N0280 G0 Z2                            auf Z2 abheben
N0285 X6 Y7                            Position Bohrung f. Schlüsselring
```

```
N0290 G1 Z-1.6                          Bohrung ansenken
N0295 G0 Z50 M9                         auf Z50 wegfahren, Kühlmittel aus
N0300 M5                                Spindel Stopp
N0305 G28 G49                           Ref.-punkt anfahren, Länge abwählen
N0310 M30                               Hauptprogramm-Ende

O9001                                   Unterprogramm Vorfräsen
N0005 G1 X23 Y63.6 F100                 Anfangsposition mit Vorschub
N0010 X7.519                            Gerade von rechts nach links
N0015 G3 X-4.6 Y48 I3.981 J-15.6        Außenradius 10
N0020 G1 Y7                             Gerade nach unten
N0025 G3 X12.1 Y15.669 I10.6 J0         Außenradius 4,5 um Bohrung
N0030 G1 Y29.231                        Gerade nach oben
N0035 X16.435 Y33.565                   Gerade nach rechts oben
N0040 G3 X19.1 Y40 I-6.435 J6.435       Außenradius 3 für Haken
N0045 G1 Y48.5                          Gerade nach oben
N0050 X12.7                             Gerade nach links
N0055 X14.716                           Gerade nach rechts
N0060 X18.028 Y57.6                     Gerade zur Spitze
N0065 X23 Y63.6                         Gerade ausfahren
N0070 M99                               Unterprogramm-Ende, Rücksprung

O9002                                   Unterprogramm Fertigkontur
N0005 G1 X8.378                         Anfangspunkt anfahren
N0010 G3 X1.5 Y48 I3.122 J-9.5          Außenradius 10
N0015 G1 Y7                             Gerade nach unten
N0020 G3 X7.8 Y11.124 I4.5 J0           Außenradius 4,5 um Bohrung
N0025 G2 X6 Y13.874 I1.2 J2.749         Innenradius 3
N0030 G1 Y30.515                        Gerade nach oben
N0035 G2 X6.879 Y32.636 I3 J-0.001      Innenradius 3
N0040 G1 X12.121 Y37.879                Gerade nach rechts oben
N0045 G3 X12.042 Y42.198 I-2.121 J2.121 Außenradius 3 für Haken
N0050 G3 X11.878 Y42.153 I-0.068 J-0.074 Außenradius 0,1 Haken abrunden
N0055 G2 X6 Y43 I-2.878 J0.847          Innenradius 3 des Hakens
N0060 G1 Y46.5                          Gerade nach oben
N0065 G2 X10.547 Y54.883 I10 J0.001     Innenradius 10
N0070 G1 X11.451 Y57.366                Gerade zur Spitze
N0075 G3 X11.357 Y57.5 I-0.094 J0.034   Außenradius 0,1 Spitze abrunden
N0080 G1 X7                             Gerade ausfahren
N0085 G0 G40 X13 Y61                    Radiuskorrektur abwählen
N0090 M99                               Unterprogramm-Ende, Rücksprung
```

Das Programm kann unter „CNC-M-Beispiele“, jeweils in X- und in Y-Ausrichtung heruntergeladen werden.

6.19 CNC-Befehle Fräsen

Kurzreferenz zum Programmieren mit diesem Buch. Auch passend zum Postprozessor CNC-Mill, falls die Simulation CNCezPRO benutzt wird.

Ausführliche Beschreibung der einzelnen Befehle in der „Übersicht CNC-Befehle“ im Anhang.

G-Funktionen

G00 Geraden-Interpolation im Eilgang, Einschaltstellung

G01 Geraden-Interpolation mit Vorschub

G02 Kreis-Interpolation im Uhrzeigersinn

G03 Kreis-Interpolation im Gegenuhrzeigersinn

G04 Verweilzeit, satzweise wirksam

G09 Genauhalt, satzweise wirksam

G10 Werkzeugkorrektur-Wert ändern

G12 Kreiszyklus im Uhrzeigersinn, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam

G13 Kreiszyklus im Gegenuhrzeigersinn, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam

G17 Arbeitsebene in X und Y, **Fräsmaschine**, Einschaltstellung

G18 Arbeitsebene in Z und X, **Fräsmaschine**

G19 Arbeitsebene in Y und Z, **Fräsmaschine**

G20 Einheiten in Zoll (inch)

G21 Einheiten metrisch (Millimeter)

G28 Referenzpunkt anfahren, satzweise wirksam

G29 Vom Referenzpunkt zurückfahren, satzweise wirksam

G30 Zweiten Referenzpunkt anfahren, satzweise wirksam

G34 Bohrbild Kreis, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam

G35 Bohrbild Linie mit Winkel, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam

G40 Aufheben der Radiuskorrektur, Einschaltstellung

G41 Radiuskorrektur links der Kontur

G42 Radiuskorrektur rechts der Kontur

G43 Werkzeuglängenkorrektur Plus, **Fräsmaschine**

G44 Werkzeuglängenkorrektur Minus, **Fräsmaschine**

G49 Werkzeuglängenkorrektur aufheben, **Fräsmaschine**, Einschaltstellung

G52 Lokales Koordinatensystem

G53 Referenzpunkt-Koordinaten, satzweise wirksam

G54 Werkstücknullpunkt 1 (Standard-Nullpunkt), Einschaltstellung
G55 Werkstücknullpunkt 2
G56 Werkstücknullpunkt 3
G57 Werkstücknullpunkt 4
G58 Werkstücknullpunkt 5
G59 Werkstücknullpunkt 6

G61 Genauhalt

G62 Vorschubkorrektur an Ecken (Override)

G63 Gewindebohren

G64 Bahnsteuerbetrieb, Einschaltstellung

G70 Einheiten in Zoll, bei diversen Steuerungen

G71 Einheiten in Millimeter, bei diversen Steuerungen

G72 Rechtecktaschenzyklus, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam

G73 Bohrzyklus mit unterbrochenem Schnitt, **Fräsmaschine**

G74 Gewindebohrzyklus für Linksgewinde, **Fräsmaschine**

G75 Kreistaschenzyklus, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam

G76 Feinbohrzyklus, **Fräsmaschine**

G80 Bohrzyklus aufheben, Einschaltstellung

G81 Bohrzyklus, **Fräsmaschine**

G82 Senkzyklus, **Fräsmaschine**

G83 Tiefbohrzyklus

G84 Gewindebohrzyklus für Rechtsgewinde

G85 Reibzyklus, **Fräsmaschine**

G86 Ausdrehen mit Spindelstopp, **Fräsmaschine**

G87 Rückwärts Senken, **Fräsmaschine**

G88 Ausdrehen mit manuellem Rückzug, **Fräsmaschine**

G89 Reibzyklus mit Verweilzeit, **Fräsmaschine**

G90 Absolutmaßprogrammierung, **Fräsmaschine**

G91 Kettenmaßprogrammierung (Inkrementell), **Fräsmaschine**

G92 Nullpunkt setzen, **Fräsmaschine**

G94 Vorschub pro Minute **Fräsmaschine**

G95 Vorschub pro Umdrehung **Fräsmaschine**

G98 Ausgangsebene bei Bohrzyklen, **Fräsmaschine**

G99 Rückzugsebene bei Bohrzyklen, **Fräsmaschine**

M-Funktionen

M00 Programmstopp

M01 Wahlweiser Programmstopp

M02 Programm Ende

M03 Spindeldrehrichtung im Uhrzeigersinn

M04 Spindeldrehrichtung im Gegenuhrzeigersinn

M05 Spindelstopp

M06 Werkzeugwechsel, Fräsmaschine

M07 Kühlmittel 2 Ein

M08 Standard-Kühlmittel Ein

M09 Kühlmittel Aus

M10 Klemmung zu

M11 Klemmung Auf

M13 Spindel Rechtslauf und Kühlmittel ein

M14 Spindel Linkslauf und Kühlmittel ein

M15 Spindel Stopp und Kühlmittel Aus

M19 Orientierter Spindelhalt, **Fräsmaschine**

M30 Programm Ende mit Rücksetzen

M48 Drehzahl-/Vorschubregelung aktiv, Einschaltstellung

M49 Drehzahl-/Vorschubregelung inaktiv

M98 Aufruf eines Unterprogramms (Call)

M99 Unterprogramm Ende (Return)

Weitere Befehle

% Programmanfang / -ende

: Hauptprogramm- / Unterprogrammnummer

A Winkel um X-Achse

B Winkel um Y-Achse

C Winkel um Z-Achse

D Werkzeugradius-Nummer

E Parameter

F Vorschub

G Weg-Funktionen

H Werkzeug-Länge

I Interpolationsparameter X

J Interpolationsparameter Y

K Interpolationsparameter Z

L Unterprogramm-Wiederholungen

M Maschinen-Funktionen

N Satznummer

/N Ausblendsatz

O Programmnummer

P Unterprogramm

Q Parameter

R Radius, Parameter

S Drehzahl

T Werkzeug-Nummer

X Weg in X

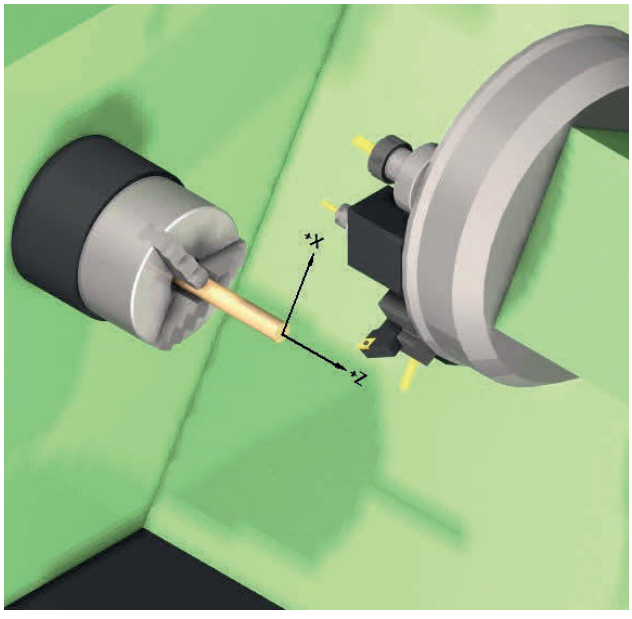
Y Weg in Y

Z Weg in Z

( ) Anmerkung

Kapitel 7 - Programmieren Drehen

7.01 Unterschiede
7.02 Drehen Erste Schritte
7.03 Kreisprogrammierung Drehen
7.04 Schneidenradius Einführung
7.05 Ohne Schneidenradius
7.06 Schneidenradius Auswirkung
7.07 Schneidenradius Richtung
7.08 Schneidenradius An- und Abwählen
7.09 Bohrzyklen
7.10 Drehzyklen
7.11 Unterprogramme
7.12 Beispiele Drehen
7.13 CNC-Befehle Drehen



7.01 Unterschiede beim Fräsen und Drehen

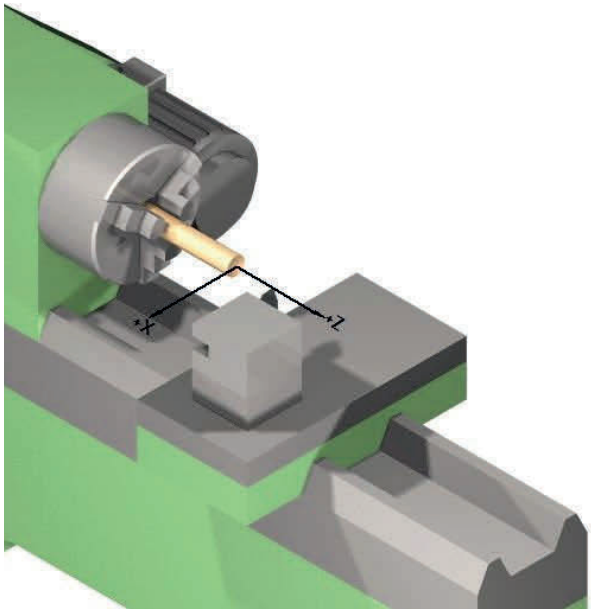
Fräsen	Drehen
Beim Fräsen dreht sich das Werkzeug	Beim Drehen dreht sich das Werkstück
Bei einer Standard-Fräsmaschine können drei Achsen X, Y und Z bewegt werden	Bei einer Standard-Drehmaschine können zwei Achsen X und Z bewegt werden
Alle Koordinaten sind die tatsächlichen Werte in X, Y, Z in mm oder in (Zoll)	X wird im Allgemeinen durchmesserbezogen programmiert, also doppelter Wert des tatsächlichen Werkzeugweges in X, Z bleibt einfacher Wert Bei der Kreisprogrammierung bleiben I und K jedoch beide radiusbezogen
Der Vorschub wird in mm/min oder in/min eingegeben (G94), errechnen des Vorschubs mit Vorschub pro Fräserzahn	Der Vorschub wird in mm/Umdrehung oder in/U angegeben (G95) Ausnahme: G94 bei Arbeiten mit rotierenden Werkzeugen während der Fräsbearbeitung
Die Spindeldrehzahl wird in Umdrehungen/Min angegeben (G97)	Konstante Schnittgeschwindigkeit (G96) in m/min oder in ft/min. Die Drehzahl ist somit vom Drehdurchmesser abhängig. Feste Spindeldrehzahl U/min (G97) nur beim Bohren und Gewindeschneiden.
Vorbereitung des nächsten Werkzeuges mit Txx, Werkzeugwechsel (in die Hauptspindel einwechseln) mit M06 Längenkorrektur mit G43 / G44 und Hxx, Abwahl mit G49 Radiuskorrektur mit G41 / G42 und Dxx, Abwahl mit G40	Werkzeugrevolver drehen und gleichzeitiger Aufruf der Korrekturwerte mit Txxxx Die ersten zwei Ziffern für Werkzeugnummer, Ziffer drei und vier stehen für die Werkzeugkorrekturnummer (Länge X und Z, sowie Schneidenradius und Lage der Schneide) Abwahl der Korrektur mit Txx00
Die Standard-Bohrzyklen sind selbsthaltend, Abwahl mit G80 notwendig	Die Standard-Drehzyklen sind nur satzweise wirksam, keine Abwahl nötig
Absolutbemaßung mit G90 Inkrementalbemaßung mit G91	Absolutwerte mit X und Z Inkrementalwerte mit U und W
Der Werkstücknullpunkt kann auf eine beliebige Ecke bzw. auf Werkstückmitte gelegt werden	Der Werkstücknullpunkt wird immer auf die Mittelachse X=0 gelegt und der Z-Wert entweder vorne oder hinten am Drehteil
	Es gibt unterschiedliche Steuerungstypen für Drehmaschinen, welche sich in einigen Befehlen unterscheiden. Typ A, B und C

7.02 Drehen Erste Schritte

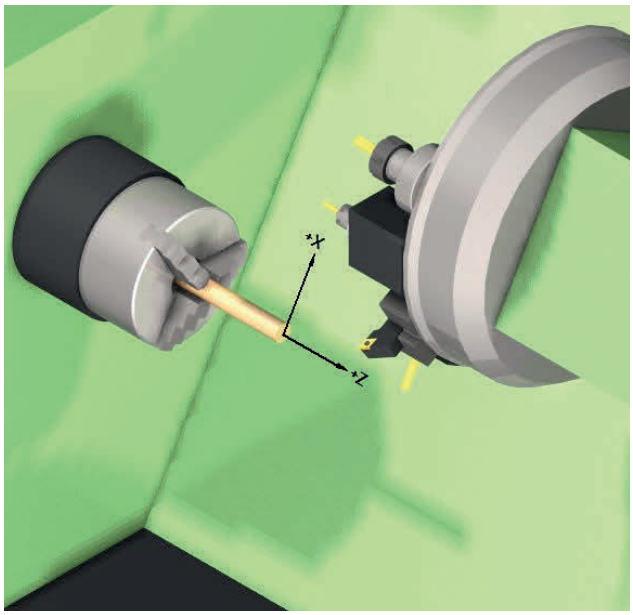
Zum besseren Verständnis wird empfohlen, im Kapitel „Programmierung Fräsen“ das Unterkapitel „Einführung Programmierung“ durchzuarbeiten.

Beim Fräsen sind verschiedene Nullpunkte am Werkstück möglich. Beim Drehen ist die Auswahl begrenzt, es sind eigentlich nur zwei Möglichkeiten sinnvoll. Der Standard-Nullpunkt für die Länge Z vorne am Teil oder hinten an einem Anschlag. Weiterhin muss der X-Nullpunkt (Durchmesser) immer auf der Mittelachse liegen.

Die meisten CNC-Drehmaschinen sind Schrägbett-Drehmaschinen wo der Drehmeißel nicht mehr von vorne zum Werkstück hin zugestellt wird, sondern von oben kommt. Hierbei wurde nur die X-Achse des Koordinatensystems nach „oben gedreht“. Dazu muss lediglich eine andere Drehrichtung der Hauptspindel programmiert werden. Die X- und Z-Werte bleiben gleich, nur die Radien erhalten eine andere Bewegungsrichtung.



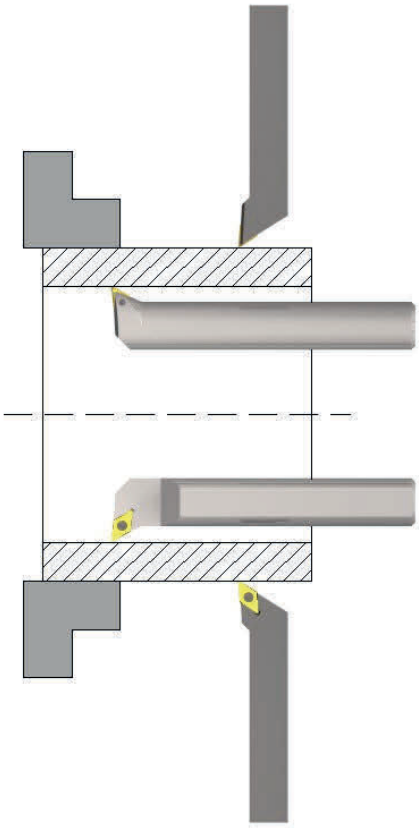
Konventionelle Flachbett-Drehmaschine



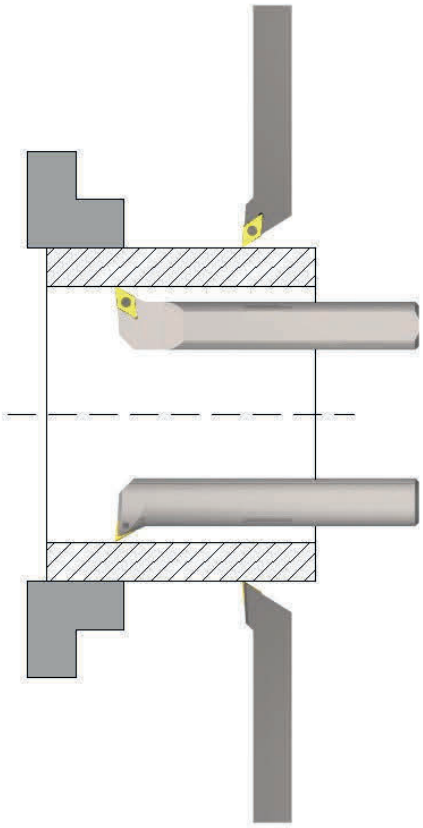
Schrägbett-Drehmaschine ausgestattet mit angetriebenen Werkzeugen

Einspannen der Drehmeißel und Drehrichtung

Zum Anfang die Möglichkeiten, wie die Drehmeißel eingespannt werden können, Schneidfläche zum Bediener zeigend oder Drehmeißel über Kopf. Abhängig davon muss die Drehrichtung der Hauptspindel gewählt werden.
M03 = Drehrichtung rechts / im Uhrzeigersinn
M04 = Drehrichtung links / im Gegenuhrzeigersinn
Die Drehrichtung gilt immer von der Sicht aus der Spindel heraus zum Werkstück / Arbeitsraum.



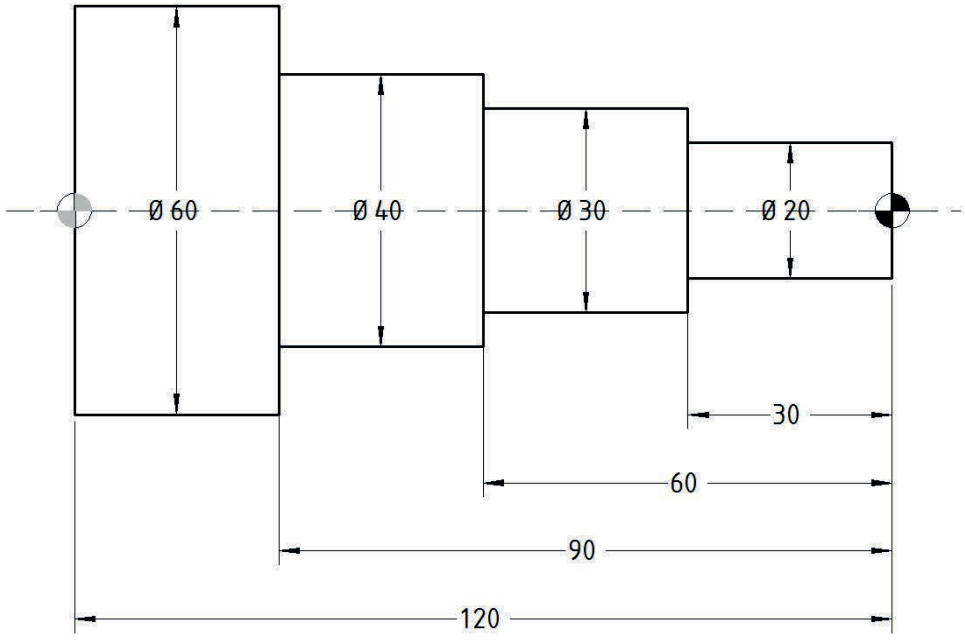
Linkes Bild: Drehrichtung M03
im Uhrzeigersinn



Rechtes Bild: Drehrichtung M04
im Gegenuhrzeigersinn

Anmerkung: für die Schneidenradiuskompensation ist die Spindel-Drehrichtung nicht relevant. Dort wird nur abgefragt, ob -in Fahrtrichtung gesehen- das Werkzeug rechts oder links von der Kontur fährt.

Beispiel für ein einfaches Stufenteil



Zur Vereinfachung soll hierbei nur die Fertigkontur programmiert werden. Es werden drei verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, wie das selbe Werkstück entstehen kann.

Klassische Absolutwert-Programmierung mit Nullpunkt vorne (rechts) am Werkstück

```
O0001                   (Programm-Nr.1)
N0005 G95 G40           (Vorschub in mm/Umdrehung, Schneidenradiuskorrektur aus)
N0010 G54               (Nullpunkt 1 einrechnen, liegt vorne)
N0015 G96 S100 T0101 M4 (Konstante Schnittgeschwindigkeit 100m/min, Werkzeug 1,
                        Drehrichtung links)
N0020 G0 X20 Z1 M8      (mit Eilgang auf XØ20 und Z1, Kühlmittel ein)
N0025 G1 Z-30 F0.1      (mit Vorschub auf Z-30, Vorschub 0,1/Umdrehung)
N0030 X30               (mit Vorschub auf XØ30)
N0035 Z-60              (mit Vorschub auf Z-60)
N0040 X40               (mit Vorschub auf XØ40)
N0045 Z-90              (mit Vorschub auf Z-90)
N0050 X62               (mit Vorschub auf XØ62)
N0055 G0 Z1 M9          (mit Eilgang auf Z1, Kühlmittel aus)
N0060 M5                (Spindel Stopp)
N0065 G28               (Referenzpunkt anfahren)
N0070 M30               (Programm Ende)
```

Das gleiche Werkstück, wenn es mit Kettenmaßen U und W programmiert wird

```
O0010
N0005 G95 G40
N0010 G54
N0015 G96 S100 T0101 M4
N0020 G0 X20 Z1 M8      (1. Position absolut)
N0025 G1 W-31 F0.1      (Z-30)
N0030 U10               (X30)
N0035 W-30              (Z-60)
N0040 U10               (X40)
N0045 W-30              (Z-90
N0050 U22               (X62)
N0055 G0 Z1 M9          (Letzte Position absolut)
N0060 M5
N0065 G28
N0070 M30
```

Das selbe Werkstück mit Absolut-Werten, wenn der Nullpunkt hinten auf der Planfläche Ø60 liegen würde, es ist der graue Nullpunkt. Hierbei haben alle Z-Maße positive Werte.

```
O0100
N0005 G95 G40
N0010 G58
N0015 G96 S100 T0101 M4
N0020 G0 X20 Z121 M8
N0025 G1 Z90 F0.1
N0030 X30
N0035 Z60
N0040 X40
N0045 Z30
N0050 X62
N0055 G0 Z121 M9
N0060 M5
N0065 G28
N0070 M30
```

Als nächstes wollen wir am 2. und 3. Absatz noch jeweils eine kleine Fase 0,2 x 45° einfügen. Dazu programmieren wir den Anfangspunkt in X und fügen für die Fase jeweils einen weiteren Satz mit dem Endpunkt X und Z ein. Dies sind hier die neuen Sätze N32 und N42.

```
O0001                   (Fase ohne Schneidenradiuskompensation)
N0005 G95 G40
N0010 G54
N0015 G96 S100 T0101 M4
N0020 G0 X20 Z1 M8
N0025 G1 Z-30 F0.1
N0030 X29.6             (Fase 0,2 = 0,4 im Durchmesser X)
N0032 X30 Z-30.2        (aber 0,2 in der Länge Z)
N0035 Z-60
N0040 X39.6             (Fase 0,2 = 0,4 im Durchmesser X)
N0042 X40 Z-60.2        (aber 0,2 in der Länge Z)
N0045 Z-90
N0050 X62
N0055 G0 Z1 M9
N0060 M5
N0065 G28
N0070 M30
```

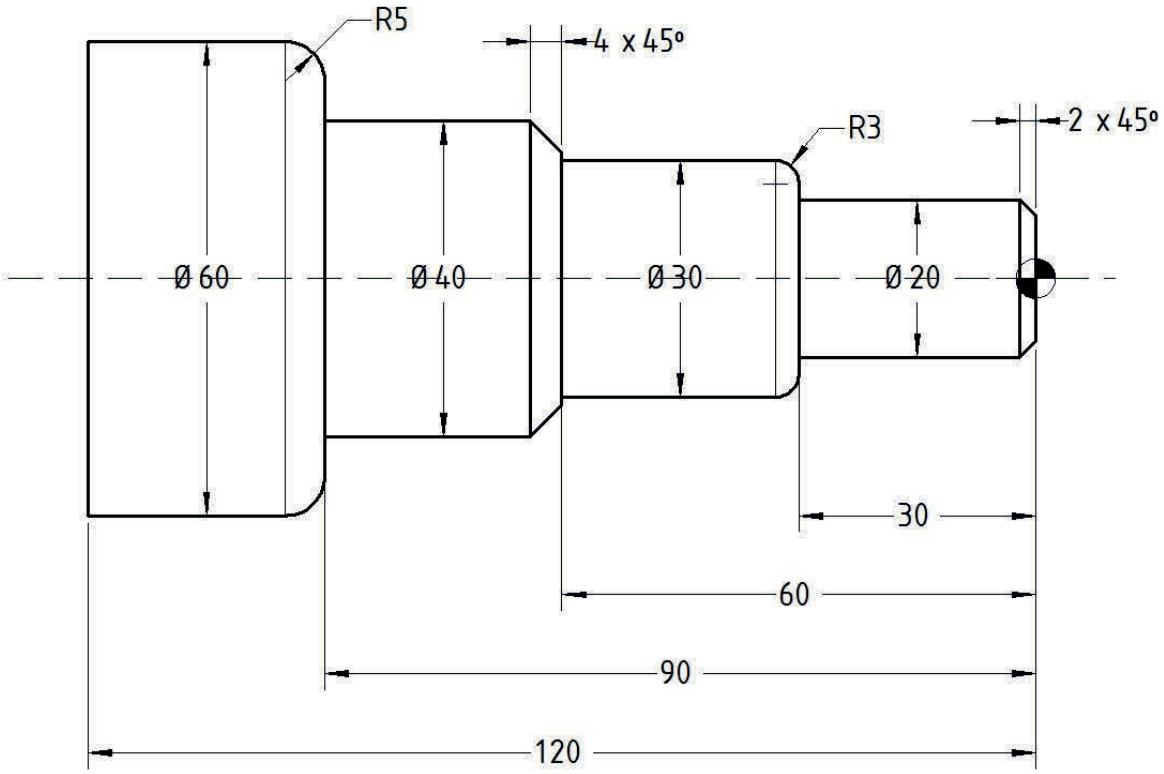
Falls der Dehmeißel –wie üblich- einen Radius hat, werden wir feststellen, dass keine Fasen zu spüren sind und das Werkstück trotzdem scharfkantig geblieben ist.
Was war der Fehler?
Wir haben in diesem Programm keine Schneidenradiuskompensation benutzt und somit folgt der Drehmeißel seinem Messpunkt, der außerhalb vom Schneidenradius liegt. Bei einer kleinen Fase 0,2 und einem Schneidenradius von z. B. 0,4 wird hier kein Material abgenommen.
Nur bei achsparallelen (rechtwinkligen) Verfahrwegen kann auf die Korrektur verzichtet werden.
Zur Erläuterung der Schneidenradiuskompensation siehe die nächsten Unterkapitel.

Wenn wir, wie im folgenden Beispielprogramm, im Satz N20 G42 anwählen und im Satz N55 mit G40 wieder abwählen, dann wird die Fase korrekt gedreht.

```
O0001                   (Fase mit Schneidenradiuskompensation)
N0005 G95 G40
N0010 G54
N0015 G96 S100 T0101 M4
N0020 G0 G42 X20 Z1 M8  (G42 = Anwahl Schneidenradiuskompensation rechts)
N0025 G1 Z-30 F0.1
N0030 X29.6
N0032 X30 Z-30.2
N0035 Z-60
N0040 X39.6
N0042 X40 Z-60.2
N0045 Z-90
N0050 X62
N0055 G0 G40 Z1 M9      (G40 = Abwahl der Schneidenradiuskompensation)
N0060 M5
N0065 G28
N0070 M30
```

Was kann bei einem solchen Werkstück sonst noch passieren?
Wenn wir das Werkstück von Programm O0001 genau messen, stellen wir vielleicht fest, dass es am vorderen Absatz Ø20 vorne 0,03 mm dicker ist als hinten. Scharfsinnig folgern wir daraus, dass das Werkstück ein wenig weggedrückt wird. Wir überprüfen noch einmal die Spitzenhöhe, ob der Drehmeißel scharf ist, wechseln evtl. einen mit kleinerem Radius ein, ändern Vorschub und Drehzahl. Es wird um eine Kleinigkeit besser (0,02 mm) aber wir sind noch nicht zufrieden. Was tun?
Wir betrügen ein bisschen. Wir drehen einfach einen Kegel. Im Satz N20 ändern wir das Maß X20 in X19,98 und im Satz 25 fügen wir zusätzlich X20 ein. Das war's.

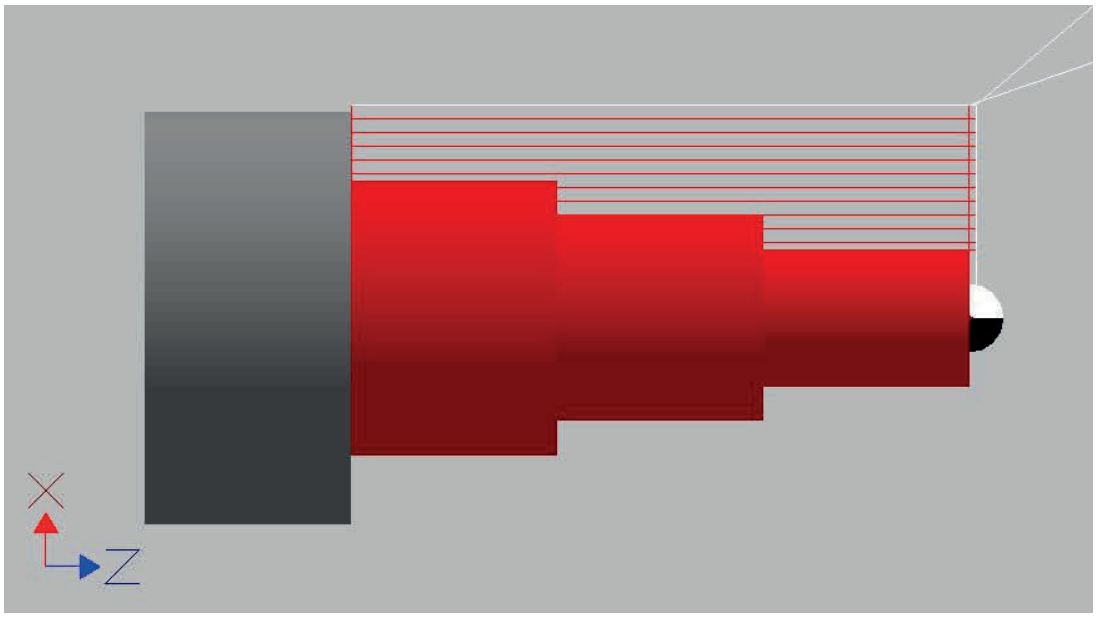
Im nächsten Beispiel wiederum dieses Stufen-Werkstück, diesmal mit 2 großen Fasen und 2 Radien und aktivierter Schneidenradiuskompensation.




```
O0002
N0005 G95 G40
N0010 G54
N0015 G96 S100 T0101 M4
N0020 G0 X16 Z3 M8
N0022 G42 X14 Z1        (G42 = SRK anwählen)
N0025 G1 X20 Z-2 F0.1
N0030 Z-30
N0035 X24
N0040 G3 X30 Z-33 I0 K-3
N0045 G1 Z-60
```

```
N0050 X32
N0055 X40 Z-64
N0060 Z-90
N0065 X50
N0070 G3 X60 Z-95 I0 K-5
N0075 G1 Z-100
N0080 X62
N0082 G40               (G40 = SRK abwählen)
N0085 G0 Z1 M9
N0090 M5
N0095 G28
N0100 M30
```

Bei den obigen Beispielen wurde zur Vereinfachung nur die Fertigkontur berücksichtigt. Es muss natürlich auch plangedreht und vorhandenes Rohmaterial abgenommen werden, bevor der letzte Schnitt die Fertigkontur vollendet.



Im folgenden Programm O0003 wird zuerst plangedreht und dann im Durchmesser jeweils 4 mm abgenommen (Schnittiefe 2 mm). Der letzte Schnitt ist gleichzeitig die Fertigkontur.

```
O0003
N0005 G95 G40
N0010 G56
N0015 G96 S100 T0101 M4
N0020 G0 X62 Z0 M8
N0025 G1 X-1 F0.1
N0030 G0 Z1
N0035 X56               (1. Schnitt)
N0040 G1 Z-89.9
N0045 X60
N0050 G0 Z1
N0055 X52               (2. Schnitt)
N0060 G1 Z-89.9
N0065 X56
N0070 G0 Z1
N0075 X48               (3. Schnitt)
N0080 G1 Z-89.9
N0085 X52
N0090 G0 Z1
```

```
N0095 X44               (4. Schnitt)
N0100 G1 Z-89.9
N0105 X48
N0110 G0 Z1
N0115 X40               (5. Schnitt)
N0120 G1 Z-89.9
N0125 X44
N0130 G0 Z1
N0135 X36               (6. Schnitt)
N0140 G1 Z-59.9
N0145 X40
N0150 G0 Z1
N0155 X32               (7. Schnitt)
N0160 G1 Z-59.9
N0165 X36
N0170 G0 Z1
N0175 X28               (8. Schnitt)
N0180 G1 Z-29.9
N0185 X32
N0190 G0 Z1
N0195 X24               (9. Schnitt)
N0200 G1 Z-29.9
N0205 X28
N0210 G0 Z1
N0215 X20               (10. Schnitt)
N0220 G1 Z-30
N0225 X30
N0230 Z-60
N0235 X40
N0240 Z-90
N0245 X62
N0250 G0 Z1 M9
N0255 M5
N0260 G28
N0265 M30
```

Wie man sehen kann, ist dieses zeilenweise Abspanen doch ein erheblicher Programmieraufwand. Mit den Abspanzyklen (hier G71) erhalten wir das selbe Ergebnis viel einfacher.

```
O0003
N0005 G95 G40
N0010 G56
N0015 G96 S100 T0101 M4
N0020 G0 X62 Z0 M8
N0025 G1 X-1 F0.1
N0030 G0 Z1
N0035 X62
N0040 G71 P45 Q75 U0 W0 D2 F0.1 (Schruppzyklus G71, P45 bis Q75 = Kontur)
N0045 G0 X20 Z1                 (N45 = P45 = Anfang Fertigkontur)
N0050 G1 Z-30
N0055 X30
N0060 Z-60
N0065 X40
N0070 Z-90
N0075 X62                       (N75 = Q75 = Ende Fertigkontur)
N0080 G0 Z1 M9
N0085 M5
N0090 G28
N0095 M30
```

Innenbearbeitung

Die Innenbearbeitung geht eigentlich genauso wie die Außenbearbeitung, nur mit dem Unterschied, dass oft wenig Platz bleibt und häufig relativ dünne Werkzeuge eingesetzt werden müssen. Es empfiehlt sich, innerhalb des Werkstücks nicht mit Eilgang, sondern stattdessen mit erhöhtem Vorschub zu fahren.
Nicht vergessen, dass für Innenbearbeitung oft eine andere Drehrichtung (M03 / M04) programmiert werden muss
Beim zentrischen Bohren, Reiben, Gewindebohren muss anstatt der üblichen Schnittgeschwindigkeit (Schnittgeschwindigkeit in Meter pro Minute mit G96) eine feste Drehzahl (Spindeldrehzahl in Umdrehungen pro Minute mit G97) eingegeben werden.

Für den Anfang empfiehlt es sich, ein vorgedrucktes Programmierblatt zu benutzen, um beim manuellen Programmieren nichts zu vergessen.
Das Programmierblatt Drehen (Querformat) kann im Anhang heruntergeladen werden.

Programmierblatt Drehen

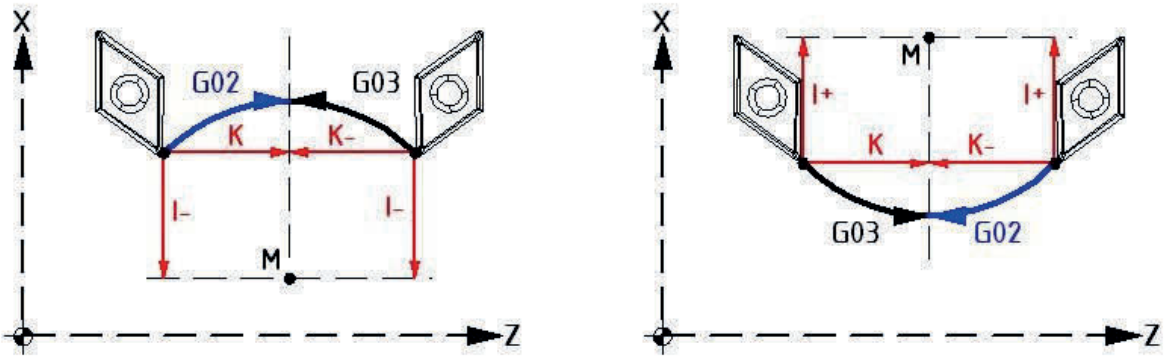
Programm-Nr.	Bezeichnung	Datum	Programmierer	Blatt-Nr.

N	G	X	Z	U	W	I	K	F	S	T	M

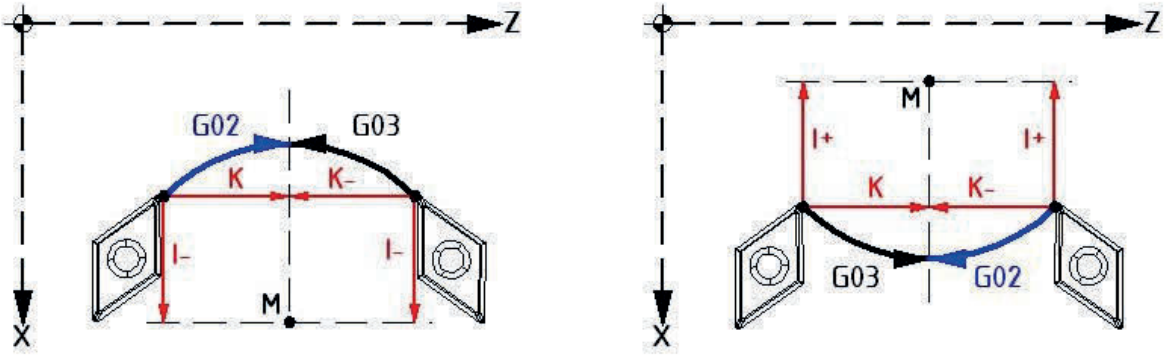
7.03 Kreisprogrammierung Drehen

Es gilt grundsätzlich auch das im Kapitel „Programmieren Fräsen“ Unterkapitel „Kreisprogrammierung Fräsen“ gesagte. Bitte zum besseren Verständnis vorher durcharbeiten.

Bei Drehmaschinen wird gewöhnlich nur die G18-Ebene (X,Z) verwendet.



Kreisbögen bei Drehmaschinen mit Bearbeitung hinter der Mitte (Normalfall)



Kreisbögen bei Drehmaschinen mit Bearbeitung vor der Mitte

Hinweis: bei manchen Steuerungen ist die Angabe der Mittelpunktsparameter auch absolut auf den Nullpunkt bezogen möglich oder sogar vorgeschrieben. Die Werte für I, J und K werden dann durch den Abstand vom Werkstück-Nullpunkt zum Kreismittelpunkt ersetzt. Dazu müssen eventuell andere G-Befehle benutzt, oder die Interpolationsparameter durch neue Bezeichnungen ersetzt werden.

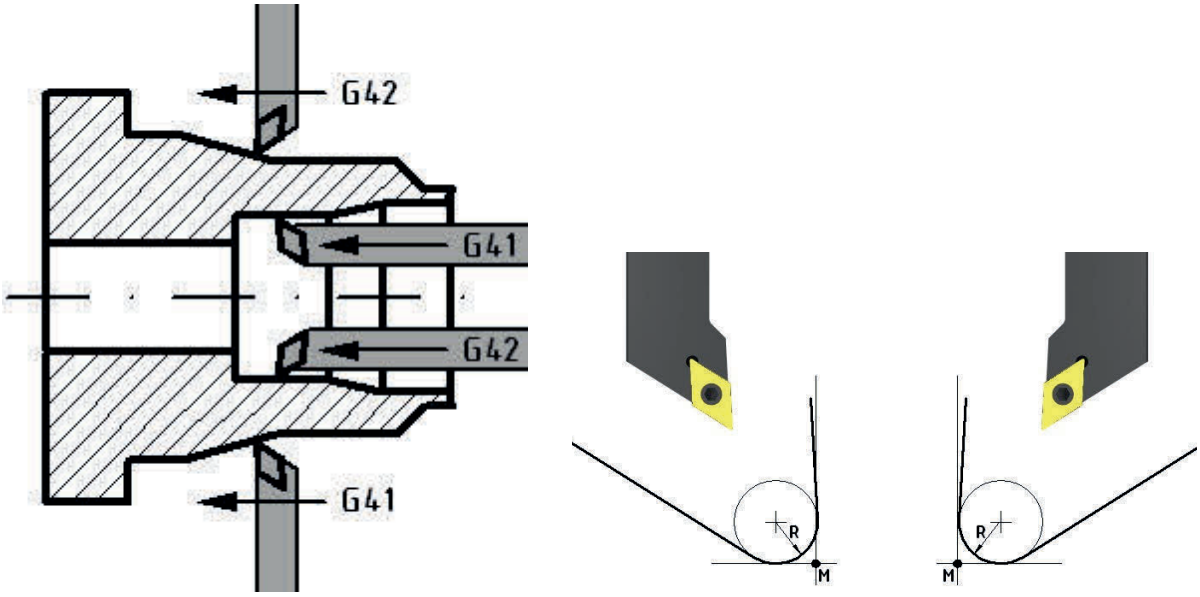
Anmerkung:
Zur besseren Übersicht und um Fehler zu vermeiden, sollte man die Sätze mit Kreisbewegungen immer vollständig ausschreiben (schulmäßiges Programmieren).
Also: immer X, Y, evtl. Z und die I, J, evtl. K schreiben, auch wenn die Werte 0 sind oder von einer vorigen Bewegung schon anstehen, siehe die Beispiele der folgenden Unterkapitel.

7.04 Schneidenradiuskompensation

Die Schneidenradiuskorrektur / Schneidenradiuskompensation bietet den Vorteil, dass die Kontur des Werkstückes mit den Zeichnungsmaßen programmiert werden kann.
Die Steuerung verrechnet automatisch den Versatz der Drehmeißelschneide.
Dabei wird die Mitte des Werkzeugradius an jedem Punkt bei der Geraden- oder Kreisinterpolation rechtwinklig zur Kontur versetzt.
Der Radius und die Lage der Drehmeißelschneide werden im Werkzeugkorrektur-Speicher abgelegt.
Bei Veränderungen des Werkzeuges, z.B.: bei Abnutzung oder Austausch, wird lediglich der Werkzeugkorrekturwert geändert, das NC-Programm bleibt in seiner ursprünglichen Fassung bestehen.

Die Radiuskorrektur rechnet automatisch die Stützpunkte für die Mittelpunktsbahn vom Radius des Drehmeißels aus. Diese Bahn nennt man Äquidistante. Das Werkzeug fährt im gleichbleibendem Abstand an der Kontur entlang.
Siehe auch Kapitel „Programmieren Fräsen“ und dessen Unterkapitel zur Radiuskorrektur.

Werkzeugkorrekturen bei einer Drehmaschine:
1. Werkzeugnummer anwählen
2. X-Versatz = Weg von Mitte Aufnahmeschaft bis Werkzeugspitze,
   X-Wert = Durchmesserwert
3. Z-Versatz = Weg von Planfläche Revolver bis Werkzeugspitze
4. Lage der Drehmeißelschneide (Quadrant)
5. Schneidenradius, Verrechnung im Programm G41 und G42, evtl. mit G46, Abwahl mit G40



Im linken Bild die Lage der Drehmeißel G41 / G42 zur Fahrtrichtung. Auf dem rechten Bild ist zu sehen, dass der Messpunkt außerhalb des Radius der Drehmeißelschneide liegt. Auch hier hilft die Schneidenradiuskompensation, dass keine Konturfehler auftreten. Es wird dann, wie beim Fräsen, eine Äquidistante zum Radiusmittelpunkt errechnet.

7.05 Drehen ohne Schneidenradiuskompensation

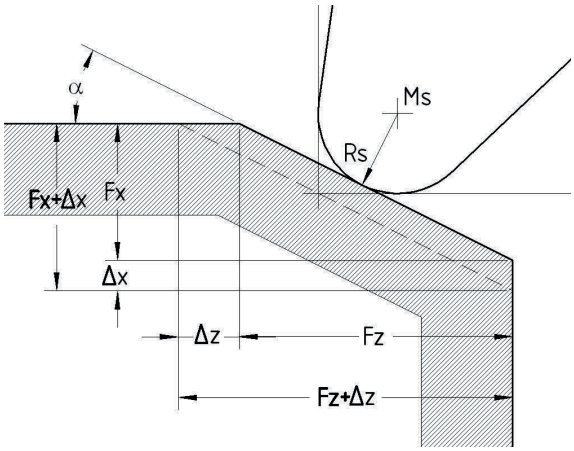
Hilfestellung mit Abbildungen für Fasen und Radien

Beim Drehen muss ebenfalls der Schneidenradius berücksichtigt werden. Zusätzlich zur Radiuskorrektur muss noch der Versatz vom Messpunkt bis zum Mittelpunkt des Radius der Drehmeißelspitze (oder Wendeplatte) eingerechnet werden.
Der Messpunkt liegt üblicherweise außerhalb des Drehmeißels.

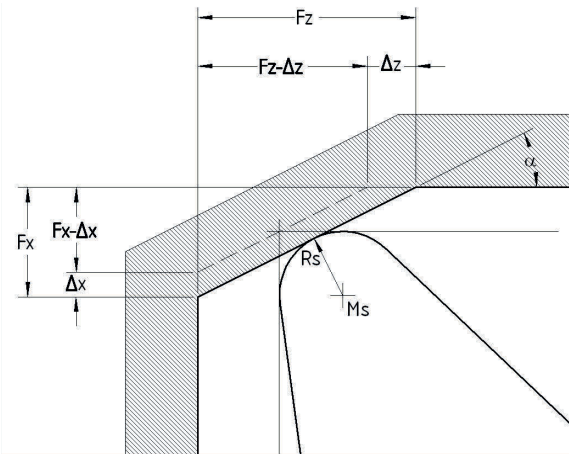
Zum Verständnis nachfolgend die Anleitungen für häufige Berechnungsfälle.

Programmierung beliebiger Fasen ohne Schneidenradiuskompensation

Außenkontur



Innenkontur



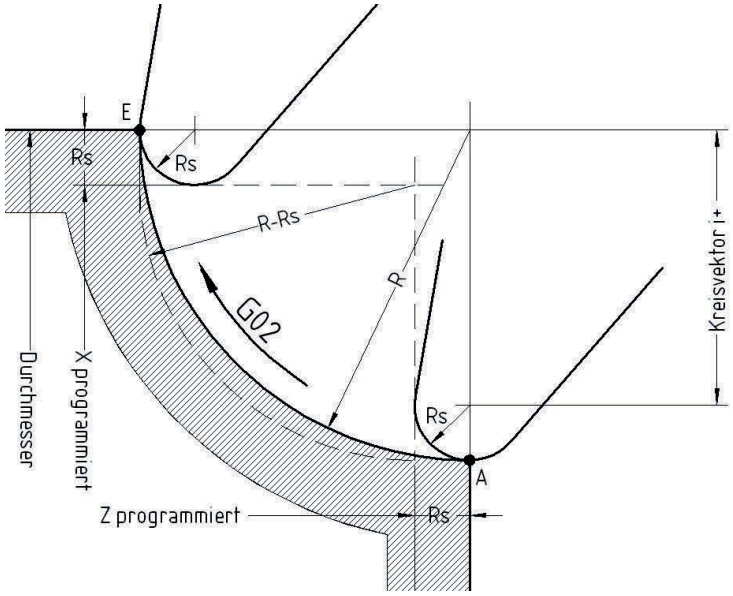
$$\Delta x = Rs * \left(1 - \tan\frac{90-\alpha}{2}\right) \qquad \Delta z = Rs * \left(1 - \tan\frac{\alpha}{2}\right)$$

Die gestrichelten Linien zeigen den theoretischen Fahrweg des Messpunktes
α = Winkel der Fase
Fx = Fase in X-Richtung
Fz = Fase in Z-Richtung
Δx = Differenz (Versatz) in X
Δz = Differenz (Versatz) in Z
Rs = Schneidenradius
Ms = Mittelpunkt des Schneidenradius

Δx doppelt berechnen (Durchmesserbezogen)
Δz einfach berechnen (einfache Länge)

Programmierung von Viertelkreisen ohne Schneidenradiuskompensation

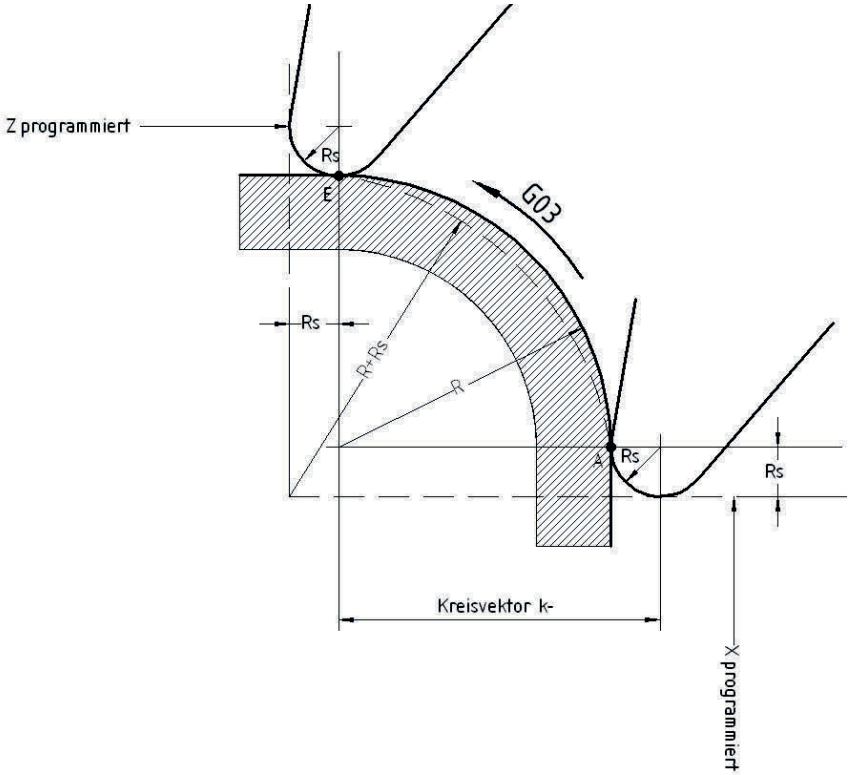
G02 = im Uhrzeigersinn



Gestrichelte Linien beziehen sich auf den Messpunkt.
Für das programmierte Z-Maß muss Rs vom Anfangspunkt des Radius subtrahiert werden.
Durchmesser minus 2 mal Rs ergibt das programmierte X-Maß am Endpunkt.
Der Kreisvektor i vom Anfangs-punkt zum Kreismittelpunkt ist positiv

R = Radius
Rs = Schneidenradius
A = Anfangspunkt
E = Endpunkt
I = R – Rs

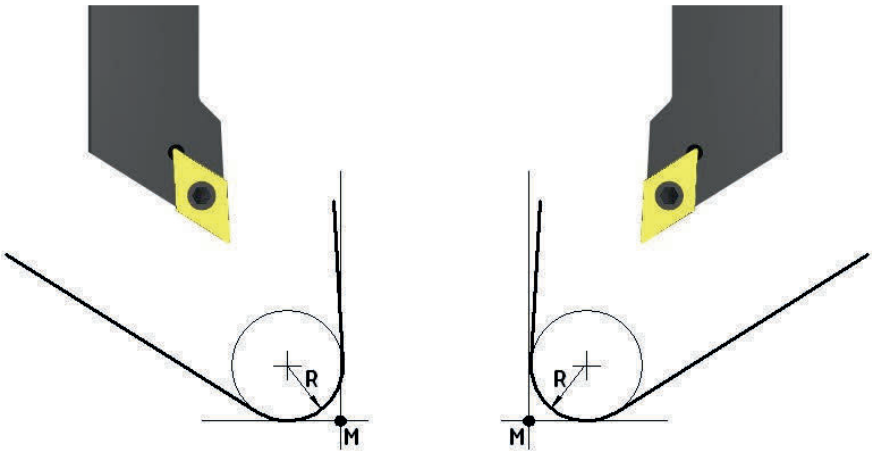
G03 = im Gegenuhrzeigersinn



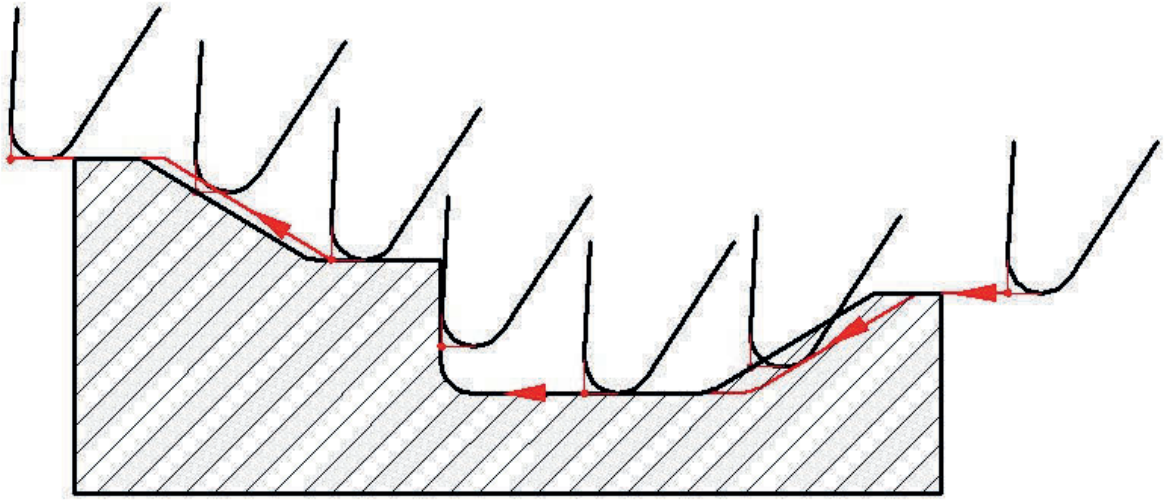
Für das programmierte X-Maß muss Rs zweimal vom Anfangspunkt des Radius subtrahiert werden.
Endpunkt minus Rs ergibt das programmierte Z-Maß
Der Kreisvektor k vom Anfangspunkt zum Kreismittelpunkt ist negativ

R = Radius
Rs = Schneidenradius
A = Anfangspunkt
E = Endpunkt
K- = R + Rs

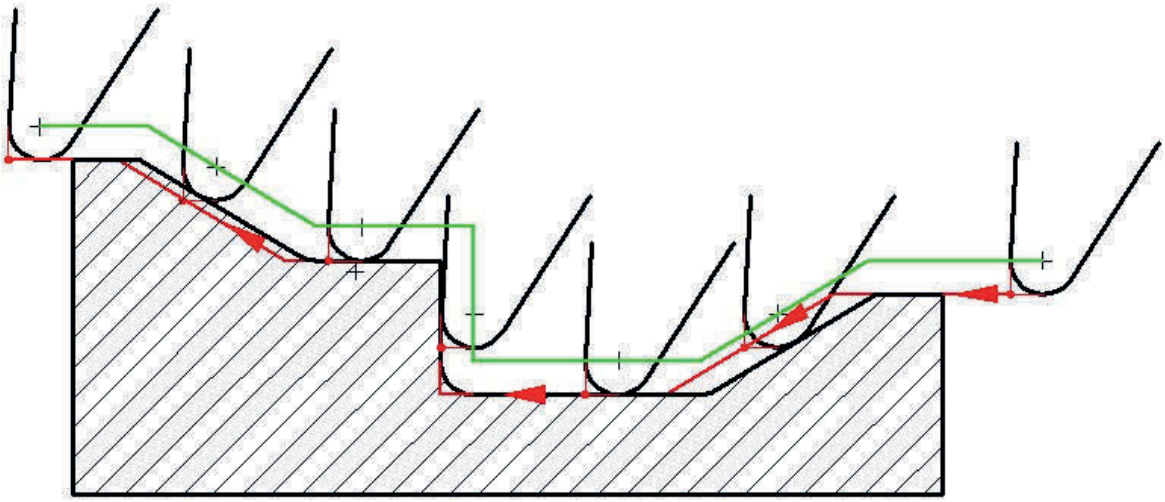
7.06 Schneidenradiuskompensation beim Drehen



Beim Einrichten von Drehmeißeln wird nicht der Mittelpunkt des Schneidenradius ausgemessen, sondern ein theoretischer Messpunkt außerhalb des Radius, hier mit M bezeichnet. Dies sind die Außenkanten des Werkzeuges in X- und Z-Richtung.



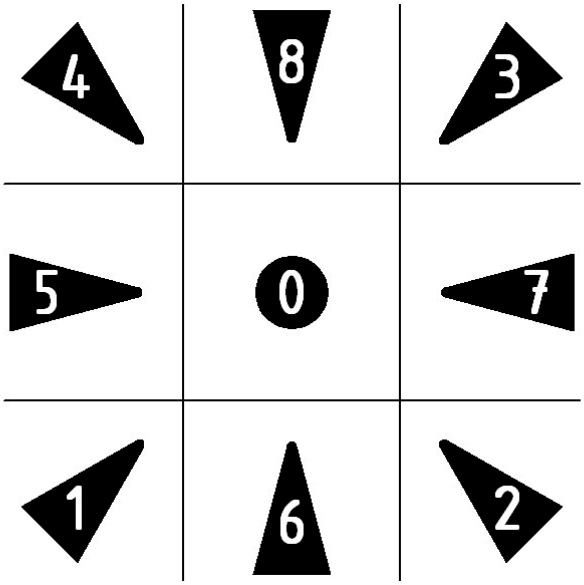
Bei diesem Werkstück würde ohne Schneidenradiuskorrektur eine Konturverzerrung auftreten. Die schwarze Linie ist die gewünschte Werkstückkontur, die rote zeigt den tatsächlichen Schnitt des Werkzeuges, wenn er ohne Korrektur ausgeführt wird, da hier der Messpunkt der Kontur folgt.
Auf der fallenden Schräge rechts wird zu viel Werkstoff abgenommen, auf der ansteigenden Schräge links bleibt Material stehen. Auch bei Radien würde eine entsprechende Konturverzerrung entstehen.
Wie auf der Abbildung ersichtlich, arbeitet hier das Werkzeug nur bei achsparallelen Wegen korrekt.



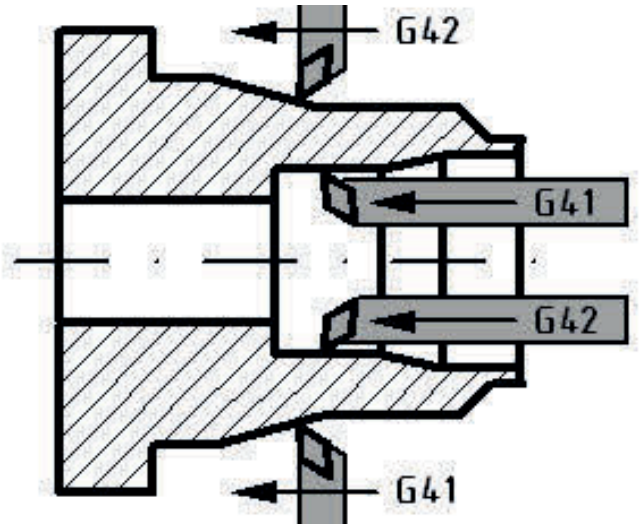
Das selbe Werkstück mit Schneidenradiuskorrektur, jetzt richtig ausgeführt.
Das korrigierte Werkzeug folgt mit dem Radiusmittelpunkt der grün dargestellten Äquidistante und schneidet wie gewünscht auf der schwarzen Konturlinie.
Die rote Linie zeigt den Weg des theoretisch vorhandenen Messpunktes an.

7.07 Drehmeißel – Verhalten, Quadranten

Bei Drehmeißeln verhält es sich ähnlich wie beim Fräsen. Der Bereich für die An- und Abfahrrichtung ist hier bereits durch den für das Werkzeug bestimmten Quadranten vorgegeben (siehe Grafik).
Der Mindestabstand für das An- und Abkompensieren sollte mindestens zwei Mal dem Schneidenradius sein.
Einige Drehmaschinensteuerungen bieten z. B. die Funktion G46, welche universell für alle Fahrtrichtungen gilt und G41 und G42 gleichzeitig ersetzt oder ergänzt. Bei G46 wird auf Grund des angegebenen Quadranten die Fahrtrichtung automatisch ermittelt.



Die Arbeitsrichtung eines Drehmeißels wird durch die Nummer des Quadranten 1 bis 8 bestimmt.
Nummer 0 (Null) oder 9 hat keine festgelegte Richtung und gilt rundum, wie ein Fräser.
Der mögliche Arbeitsbereich des Drehwerkzeuges wird hier durch die Linien angezeigt.
Im Werkzeugkorrekturspeicher werden der X-Versatz, der Z-Versatz, der Schneidenradius und der Quadrant gespeichert.



Bewegungsrichtung entlang der Kontur bei Drehteilen mit G41 (links) und G42 (rechts) in Fahrtrichtung des Werkzeuges gesehen.

Werkzeugkorrekturspeicher - Beispiel

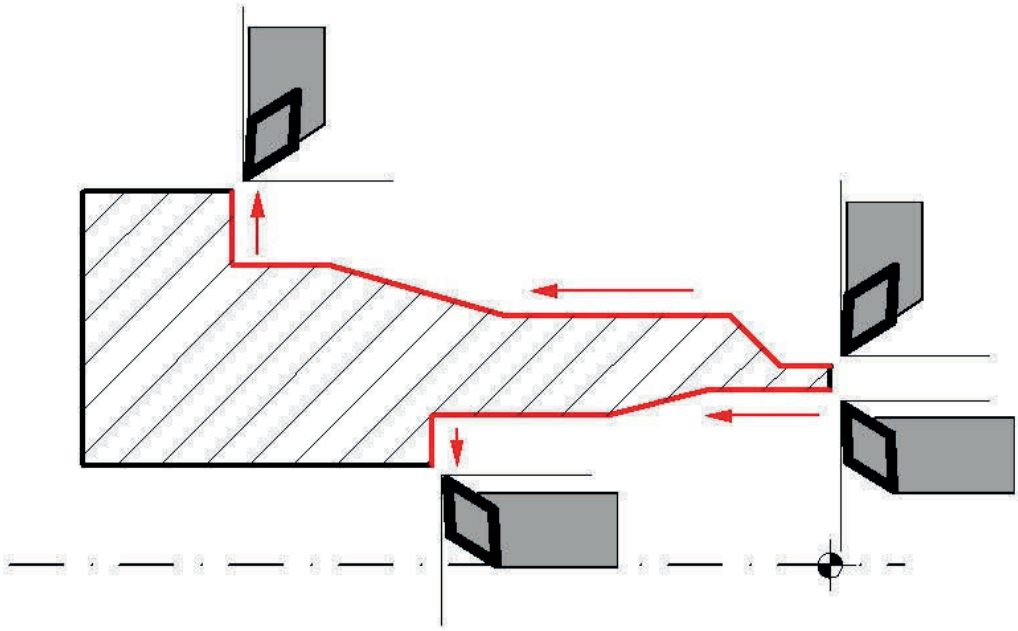
```
TOOL OFFSET TURN

T 01  X 092.461   Z 042.430   R 00.40   P 3
T 02  X 110.050   Z 052.405   R 00.40   P 4
T 03  X 000.052   Z 121.550   R 00.00   P 0
T 04  X 000.000   Z 000.000   R 00.00   P 0
T 05  X-000.008   Z 099.106   R 00.00   P 0
T 06  X 000.000   Z 000.000   R 00.00   P 0
T 07  X 000.000   Z 000.000   R 00.00   P 0
T 08  X 000.000   Z 000.000   R 00.00   P 0
```

Anzeige des Werkzeugkorrekturspeichers an einer Drehmaschine

T = Werkzeugnummer
X = Werkzeugversatz in X-Richtung (durchmesserbezogen)
Z = Werkzeugversatz in Z-Richtung
R = Schneidenradius
P = Quadrant

In diesem Beispiel ist T05 ein Spiralbohrer. Der Werkzeugversatz 0,008 mm wurde so vom Voreinstellgerät ermittelt und ausgegeben.

7.08 An- und Abwählen Schneidenradiuskorrektur



Empfohlene An- und Abfahrbereiche beim Drehen. Die dünnen Linien sind jeweils 2 Mal Werkzeugradius vom Anfahr- und Abfahrpunkt entfernt und markieren die Grenze zum An- und Abkompensieren (Mindestabstand).
Vorhandenes Rohmaterial und ein zusätzlich gewünschter An- oder Auslaufweg müssen natürlich dazu gerechnet werden.
Auch bei den Abspanzyklen gilt die Einhaltung des Mindestabstandes.

Beispiel Außenbearbeitung, Werkzeugradius 0,4 mm, statt mindestens 0,8 mm wird hier 1 mm Abstand eingehalten, in X 2mm, weil durchmesserbezogen.

```
G0          X82   Z1
G42   G01   X80   Z0
                  Z-10
            X100  Z-20
                  Z-65
            X120  Z-100
                  Z-120
            X150
G40         X152  Z-119
```

Beispiel Innenbearbeitung, ebenfalls mit Werkzeugradius 0,4 mm.

```
G0          X68   Z1
G41   G01   X70   Z0
                  Z-25
            X60   Z-45
                  Z-80
            X40
G40         X38   Z-79
```

7.09 Bohrzyklen Drehen

Da beim Drehen üblicherweise nur eine Bohrung auf der Mitte der Stirnseite gefertigt wird, sind nicht so viele Bohrzyklen wie beim Fräsen notwendig. Deshalb enthalten Drehmaschinen meistens nur die Bohrzyklen G83 (Tieflochbohren) und G84 (Gewindebohren). Eventuell kann ein weiterer Tiefbohrzyklus mit Spänebrechen, enthalten sein.
Dadurch, dass beim Drehen nur eine Bohrung bearbeitet wird, entfällt die Abwahl durch G80. Ebenfalls werden die Ausgangs- und Rückzugsebenen G98 und G99 nicht definiert.
Anmerkung: bei Drehzentren, welche umfangreiche Fräsoperationen ermöglichen, kann die ganze Palette der Bohrzyklen, wie bei einer Fräsmaschine, enthalten sein.

G83 Tiefbohrzyklus Drehen
Standardzyklus zum Bohren von tiefen Löchern. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die erste Zustelltiefe und fährt mit Eilgang auf die Rückzugsebene. Dann wird mit Eilgang bis kurz vor die zuletzt gebohrte Tiefe gefahren. Mit Vorschub wird die nächste Zustellung gebohrt, wieder aus der Bohrung herausgefahren, usw., bis die Endtiefe erreicht ist. Die Tiefe für die letzte Zustellung errechnet die Steuerung automatisch. Der Sicherheitsabstand kann in den Maschinendaten verändert werden.
X und Z = Startposition im vorhergehenden Satz, Z = Endbohrtiefe, Q = Zustellung, F = Vorschub.

```
G0 X0 Z2
G83 Z-25 Q3 F0.15
```

Anmerkung: Es gibt auch veränderte Tiefbohrzyklen, z. B mit zusätzlich definierbarer Bohrtiefe für den ersten Hub oder mit veränderbaren Bohrhüben, die mit zunehmender Tiefe kürzer werden. Siehe auch G73 beim Fräsen.

G84 Gewindebohrzyklus für Rechtsgewinde
Standardzyklus zum Gewindeschneiden mit Gewindebohrer. Das Werkzeug wird mit Eilgang auf die Startposition (Anfangsebene) positioniert. Der Gewindebohrer fährt mit Vorschub auf die Tiefe Z. Die Drehrichtung wechselt nach links (M04) und der Gewindebohrer fährt mit Vorschub zur Rückzugsebene. Die Drehrichtung wechselt wieder nach rechts (M03).
X und Z = Startposition im vorhergehenden Satz, Z = Gewindetiefe, F = Vorschub, errechnet aus Drehzahl mal Steigung und eventuell für Ausgleichsfutter um rund 5 bis 10% reduziert.

```
G0 X0 Z4
G84 Z-25 F1.4
```

G74 Schruppzyklus mit unterbrochenem Schnitt oder Tiefbohrzyklus
Zum Längsschruppen oder zum Tiefbohren. Der Zyklus hebt nach jeder Zustellung nur um einen kleinen Betrag ab, um die Späne zu brechen. Danach wird weiter zugestellt. Der Abhebewert wird in den Maschinendaten definiert. Startpunkt X und Z anfahren und danach den Zyklus aufrufen. Wenn gebohrt werden soll, dann wird der Bohrer auf die Werkstückmitte X0 positioniert. Dies ergibt dann den selben Effekt wie der Fanuc-Bohrzyklus G73 beim Fräsen.
Z = Fertigmaß/Tiefe in Z, K = Zustellung, F = Vorschub.

```
G0 X0 Z2
G74 Z-30 K5 F0.15
```

Zur weiteren Vertiefung über Bohren, Senken, Reiben, Gewindebohren, siehe auch Kapitel „Programmieren Fräsen“, Unterkapitel „Bohren“.

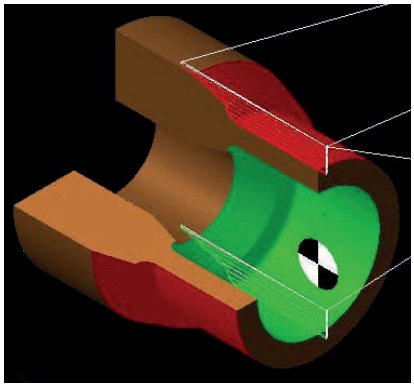
7.10 Drehzyklen

Diese Drehzyklen sind ebenfalls nur eine Auswahl von der bewährten, einfacheren Sorte, welche in einem Satz aufgerufen werden. Wie bei den Fräszyklen werden die Parameter bei neueren Steuerungen oft in mehreren Sätzen definiert.

Steuerungen Fanuc 6T und CNC-Turn
Die hier vorgestellten Zyklen werden nicht in jeder Simulation lauffähig sein, weil jeder Hersteller seine eigenen, abweichenden Drehzyklen entwickelt.
In CNCezPRO verarbeitet CNC-Turn neben Fanuc auch Mach3-Programme und kann von meiner Webseite heruntergeladen werden

G70 = Schlichtzyklus
Vorheriges X u. Z = Anfangs- + Endpunkt
P = erster Satz der Kontur
Q = letzter Satz der Kontur
F = Vorschub
Beispiel:

```
N0125 G70 P30 Q45 F0.05
```



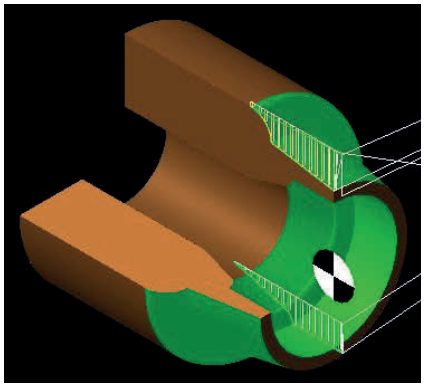
G70 kann auf G71, G72 und G73 folgen

G71 = Schruppzyklus längs
Vorheriges X u. Z = Anfangs- + Endpunkt
P = erster Satz der Kontur
Q = letzter Satz der Kontur
U = Aufmass in X
W = Aufmass in Z
D = Zustellung in X
F = Vorschub
Beispiel:

```
N0025 G71 P30 Q45 U0.4 W0.2 D1 F0.15
```

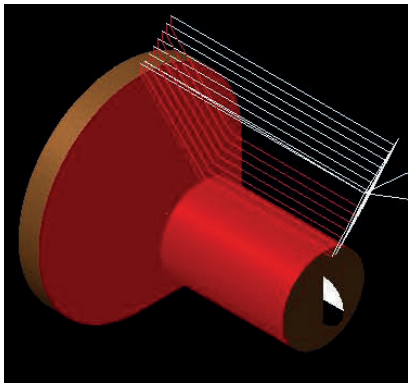
G72 = Schruppzyklus plan
Vorheriges X u. Z = Anfangs- + Endpunkt
P = erster Satz der Kontur
Q = letzter Satz der Kontur
U = Aufmass in X
W = Aufmass in Z
D = Zustellung in Z
F = Vorschub
Beispiel:

```
N0025 G72 P30 Q40 U0.1 W0.1 D1 F0.05
```



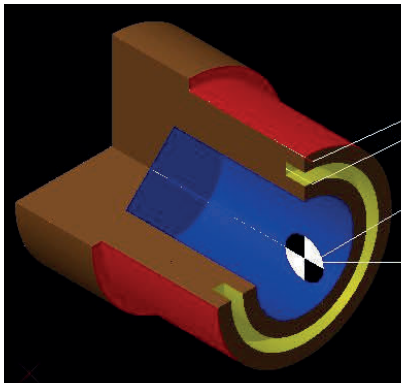
G73 = Schruppzyklus konturparallel
Vorheriges X u. Z = Anfangs- + Endpunkt
P = erster Satz der Kontur
Q = letzter Satz der Kontur
I = Abstand zur X-Achse, Radiusbezogen
K = Abstand zur Z-Achse
U = Aufmass in X
W = Aufmass in Z
D = Anzahl der Schnitte
F = Vorschub
Beispiel:

```
N0025 G73 P30 Q45 I15 K7.5 U1 W1 D8 F0.15
```



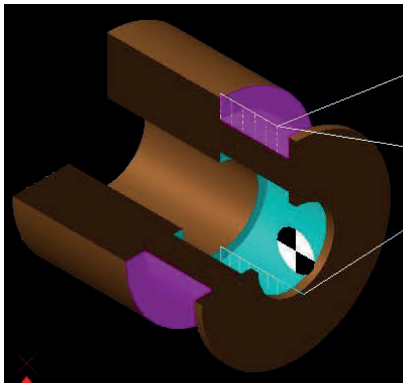
G74 = Unterbrochener Schnitt oder Tieflochbohren
Vorheriges X u. Z = Anfangs + Endpunkt
beim Bohren muss X=0 sein
Z = End(bohr)tiefe
K = Zustellung
F = Vorschub
Beispiel:

```
N0025 G74 Z-40 K5 F0.15
```

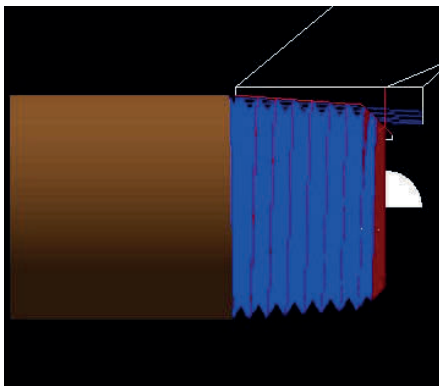


G75 = Einstechzyklus mit Schnittunterbrechung
Vorheriges X u. Z = Anfangs- + Endpunkt
X = Enddurchmesser
Z = Endpunkt Einstich
I = Zustellung in X
K = Zustellung in Z
F = Vorschub
Beispiel:

```
N0025 G75 X40 Z-20 I1 K3 F0.15
```



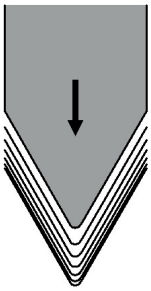
G76 = Gewindezyklus



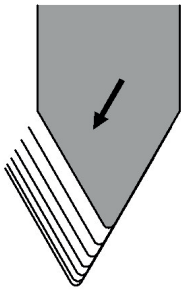
Vorheriges X u. Z = Anfangs- + Endpunkt
X = Enddurchmesser
Z = Endpunkt Gewinde
A = Zustellwinkel
D = Zustellung, Durchmesserbezogen
I = Kegelwinkel
K = Abstand über Enddurchmesser, Radiusbezogen
F = Steigung
Beispiel:

```
N0075 G76 X26.2 Z-20 A0 D0.6 I2 K1.6 F2.5
```

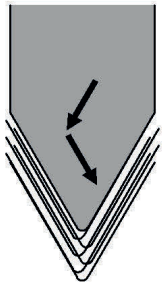
Mit Zustellwinkel A0 (0 Grad) wird der Drehmeißel mittig zugestellt. Zur Schonung des Werkzeugs oder für bessere Oberflächengüte kann auch eine Zustellung entlang der Flanke erfolgen. Für ein metrisches Normgewinde wird dann A60 eingegeben.
Einige Gewindezyklen erlauben weitere Zustellmöglichkeiten, z. B. eine Zustellung im Zickzackmuster (abwechselnd links-rechts) zur weiteren Optimierung.



K0 für 0 Grad



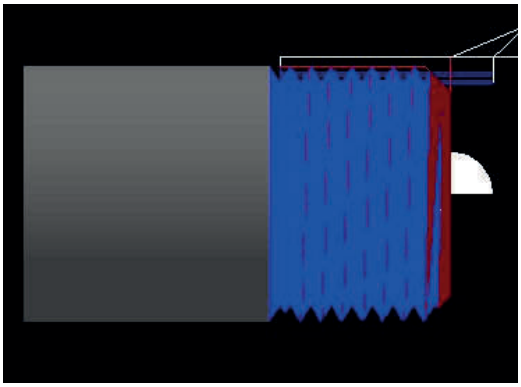
K60 für 60 Grad-Gewinde



Zickzackmuster

Für spezielle Anwendungen wie Gewinde mit veränderlicher Steigung, Planspiralen, usw. konsultieren Sie bitte das Handbuch der Maschine.

G92 = Veralteter Gewindezyklus von Fanuc



Vorheriges X u. Z = Anfangs- + Endpunkt
X = Durchmesser des ersten Schnittes
Z = Endpunkt Gewinde
I = Kegelwinkel
F = Steigung
Weitere X-Werte in den nachfolgenden Sätzen sind die nächsten Schnitte
Zyklusende erfolgt mit einer Z-Bewegung
Beispiel:

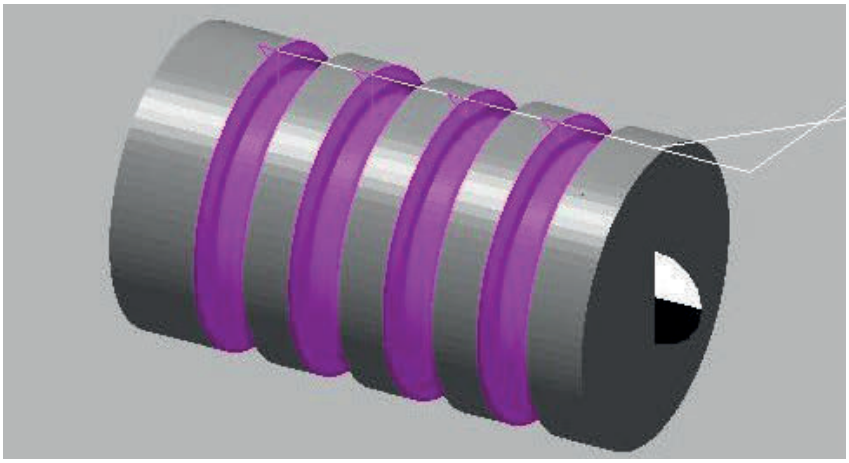
```
N0070 G92 X28.7 Z-20 F2.5
```

Beispiele dazu (auch mehrgängige Gewinde) können von meiner Webseite heruntergeladen werden, siehe Ordner „CNC-Turn“.
Der originale Fanuc 6T Postprozessor in CNCezPRO heißt SampleLathe, der erweiterte für diese Beispiele heißt CNC-Turn.

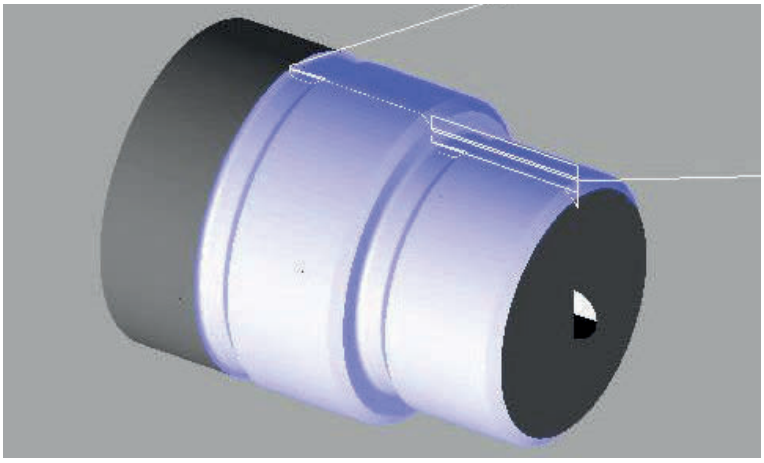
7.11 Unterprogramme

Beim Drehen werden ebenfalls gelegentlich Unterprogramme verwendet, wenn auch nicht so häufig wie beim Fräsen.

Typische Anwendungen sind sich wiederholende Einstiche oder Freistiche, die dann im Unterprogramm vorzugsweise im Kettenmaß programmiert werden.



Mehrere gleiche Einstiche mit Fasen jeweils als Unterprogramm aufgerufen



Zwei gleiche Gewindefreistiche an verschiedenen Durchmessern als Unterprogramm

Programmbeispiele dazu stehen im Unterkapitel „Beispiele Drehen“.

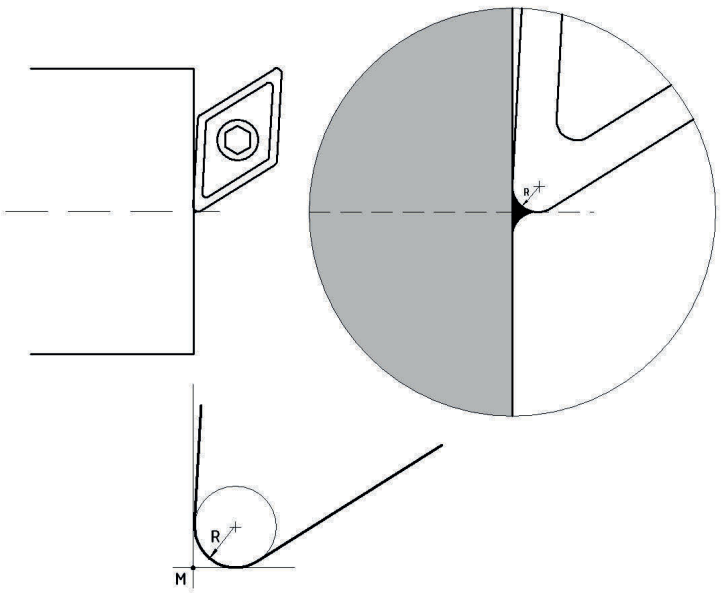
Auch die mitgelieferten Dreh- und Bohrzyklen sind eigentlich Unterprogramme, jedoch mit variablen Werten und sie werden bei einem Drehteil normalerweise nur einmal aufgerufen.

7.12 Beispiele Drehen

Nachfolgend einige Musterprogramme mit Erläuterungen. Die Programme können von meiner Webseite heruntergeladen werden. Unterordner: „CNC-T-Beispiele“

Plandrehen

Bei den meisten Drehteilen ist der erste Arbeitsgang das Plandrehen. Dabei wird das Werkstück auf seine Länge gedreht und die nachfolgenden Werkzeuge können mit normalem Sicherheitsabstand an das Werkstück positioniert werden. Hierbei wird von außen nach innen gedreht, je nach abzunehmenden Material auch mit mehreren Schnitten und der letzte Schnitt zum Schlichten.
Weil jede Drehmeißelspitze mit einem Radius versehen ist, muss der Drehmeißel über die Mitte hinaus programmiert werden und zwar mindestens das doppelte vom Schneidenradius, weil X durchmesserbezogen programmiert wird. Ansonsten würde eine kleine Spitze stehen bleiben, weil der Berührpunkt (schneidende Kante) des Drehmeißels nicht mit dem Messpunkt identisch ist.



In der Vergrößerung ist der Rest (schwarz) zu sehen, der stehen bleibt, wenn man nur bis zur Werkstückmitte (X0) programmieren würde.
Bei einem Schneidenradius von 0,4mm müsste mindestens X-0,8 programmiert werden, mit einer kleinen Zugabe programmiert man einfach X-1.
Bei einem Radius von 0,8mm müsste man mindestens X-1,6 programmieren, mit Zugabe ist X-2 zu programmieren.
Beispiel: Rohteildurchmesser 30mm. Nullpunkt liegt vorne am Werkstück (Fertigmaß), Aufmaß ca. 0,5mm, Schneidenradius 0,4mm.

```
T0101       (Werkzeug Nr. 1 mit Korrekturen)
G96 S150 M4 (Schnittgeschwindigkeit und Drehrichtung)
G0 X32 Z0   (Außerhalb auf Fertiglänge zustellen)
G1 X-1 F0.1 (Plandrehen mit Vorschub)
G0 Z1       (Abheben mit Eilgang)
G0 X...     (nächste Position, z. B. zum Längsdrehen)
```

Anschlag

Um mehrere gleich lange Werkstücke von der Stange zu drehen ist ein Anschlag erforderlich, damit die Stange jedes Mal an die selbe Position vorgeschoben wird. Der Anschlag kann als verstellbarer mechanischer Anschlag in der Maschine eingebaut sein oder als weiteres „Werkzeug“ im Werkzeugrevolver eingesetzt werden und somit ist seine Position frei programmierbar.

Hier werden die Möglichkeiten beschrieben, falls ohne vorhandenes Stangenmagazin mehrere gleiche Teile von der Stange gefertigt werden sollen.

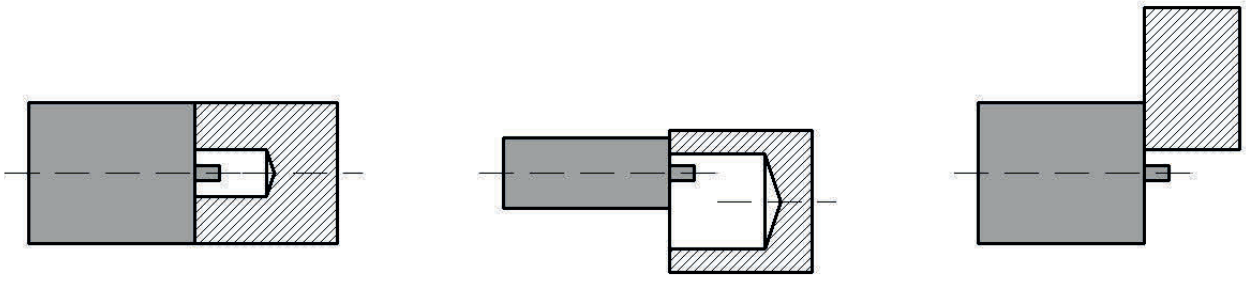
Zuerst der Sicherheitshinweis: ohne Stangenmagazin müssen die Stangen so gekürzt werden, dass sie nicht oder nur wenig aus der Rückseite der Hohlspindel herausragen. Ansonsten verbiegt sich die Stange bei den hohen Drehzahlen durch die Fliehkräfte und zerschlägt alles, was sich in der Umgebung befindet, mit katastrophalen Folgen.

Der Anschlag im Werkzeugrevolver

Ein normaler Anschlag als „Werkzeug“ im Werkzeugrevolver benötigt eine Planfläche und eine Bohrung, um einen eventuell stehen gebliebenen Butzen vom Abstechen aufzunehmen.

Es gibt Anschläge zu kaufen, man kann sie selbst anfertigen oder einfach einen geeigneten leeren Werkzeughalter verwenden. Ich selbst nahm meistens einen zylindrischen Bohrstangenhalter Ø50, der ca. 60 mm lang war und eine Bohrung von 20 mm hatte. Wenn die Rohstange einen kleineren Durchmesser hat, dann versetzt man einfach die Position in X. Man kann alternativ auch eine geeignete Kante eines bestückten Werkzeughalters als provisorischen Anschlag nehmen, falls kein Werkzeugplatz mehr verfügbar ist.

Werkstücke mit Butzen (grau) links und Anschläge geschnitten (schraffiert) rechts



Anschlag mittig | Anschlag versetzt | Beliebige Kante

Wenn das fertige Werkstück abgestochen wird

Ohne Stangenmagazin muss die Rohstange jedes Mal von Hand nachgeschoben werden. Das Programm wird gestartet, das Werkstück wird zum Schluss abgestochen und fällt in den Arbeitsraum. Zusätzlich wird am Ende des Programms der Anschlag in Stellung gebracht, z. B. in Z 0,5 mm vor Fertigmaß, wenn der Nullpunkt vorne am Werkstück gewählt wurde.
Programmende, die Maschine steht, das Futter wird manuell oder per Pedal geöffnet und die Stange von Hand zum Anschlag gezogen. Die Stange gegen den Anschlag drücken und gleichzeitig das Futter schließen.
Programm starten. Dort muss programmiert sein, dass der Anschlag zuerst ein Stück in Z wegfährt und erst danach zum Werkzeugwechselpunkt oder Referenzpunkt fährt.

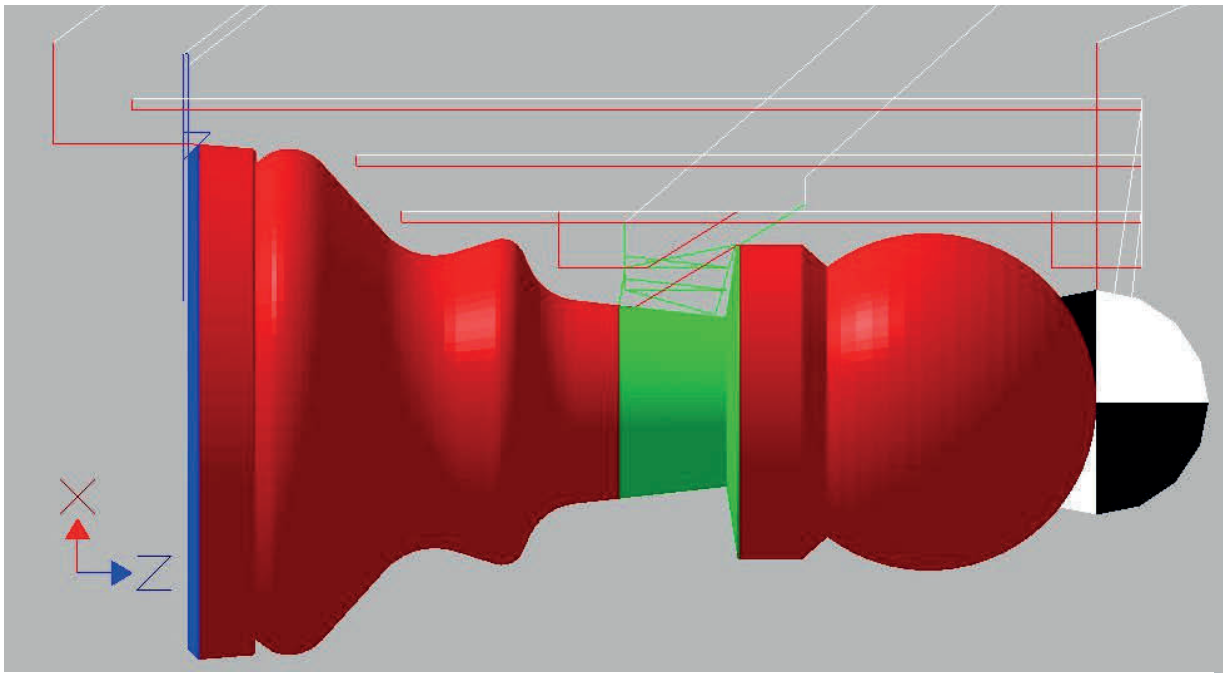
Wenn das Werkstück von Hand abgebrochen werden soll

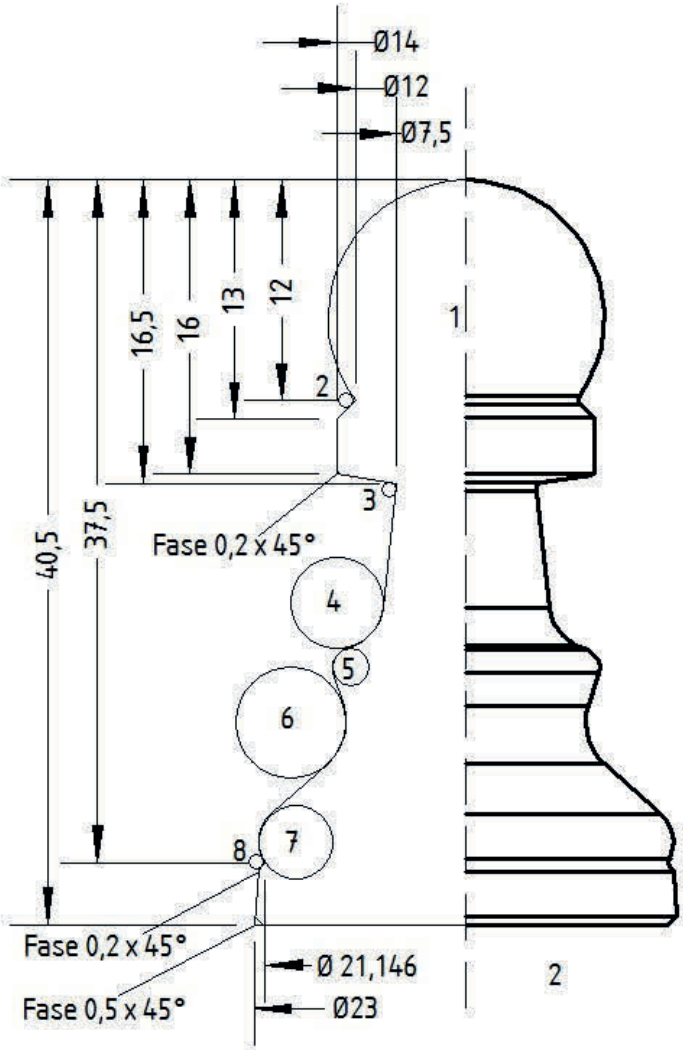
Manchmal möchte man die Macken im Werkstück vermeiden, die beim Umherfliegen durch das Abstechen entstehen. Ich machte das u. a. beim Drehen meiner Schachfiguren. Man sticht hier nicht ganz ab, sondern bricht das Werkstück von Hand ab. Bei Aluminium-Kleinteilen z. B. bis auf ca. 3 mm einstechen, anstatt voll abstechen.
Hierbei sind zwei Eingriffe nötig. Wenn das Programm fertig ist fährt es zum Werkzeugwechsel- oder Referenzpunkt, anschließend Werkstück abbrechen.
Programm für nächstes Werkstück starten. Der Anschlag fährt in Stellung und das Programm hält mit M00 an. Jetzt Futter öffnen, Stange zum Anschlag ziehen und Futter wieder schließen. Startknopf drücken und Programm fortsetzen.

```
O0018
N0005 G95 G40
N0010 G54
N0015 G50 Z55
N0020 T1818 (T18 = Anschlag)
N0025 G0 X0 Z0.5
N0030 M0 (Programm Neustart)
N0030 G0 Z10
N0035 G28
N0040 G96 V700 T0202 M4
(... Weiterbearbeitung)
N0145 G96 V400 T1717 M4 (T17 = Abstechdrehmeißel)
N0150 G0 X32 Z-40.7 M8
N0155 G1 X20 F0.1
N0160 G0 X31
N0165 G1 Z-39.5
N0170 G1 X28.116 Z-40.7 F0.05
N0175 G1 X16 F0.1
N0180 G1 X16.1
N0185 G1 X12
N0190 G1 X12.1
N0195 G1 X9
N0200 G0 X31
N0205 G1 Z-40.5
N0210 G1 X-0.2
N0215 G1 X32 M9
N0220 G28
N0225 T1818
N0230 M30
```

Radius, Kugel

Ein Beispiel mit einer Schachfigur „Bauer“, Material: AlCuMgPb





Radien und ihre Mittelpunkte

1 = R7,5 X0 Z-7.5

2 = R0,4 automatisch

3 = R0,4 automatisch

4 = R2,5 X14 Z-23

5 = R1 X12,5 Z-26,5

6 = R3 X19 Z-29,5

7 = R2 X18,5 Z-36

8 = R0,4 automatisch

```
%
O0011
N0005 G95 G40
N0010 G54
N0015 G96 S700 T0101 M4 (Drehmeißel links D 55)
N0020 G0 X32 Z0 M8
N0025 G1 X-1 F0.07
N0030 G0 X26 Z2
N0035 G1 Z-43
N0040 G1 X27
N0045 G0 Z2
N0050 G0 X21
N0055 G1 Z-33
N0060 G1 X22
N0065 G0 Z2
N0070 G0 X16
N0075 G1 Z-31
N0080 G1 X17
N0085 G0 Z2
N0090 G0 X12
N0095 G1 Z-2
N0100 G1 X17
N0105 G0 Z-16
N0110 G1 X12 Z-20
N0115 G1 Z-24
N0120 G1 X17
N0125 G0 Z2
N0130 G42
N0135 G0 X-1 Z1
N0140 G1 X0 Z0 F0.05
N0145 G3 X12 Z-12 I0 K-7.5
N0150 G1 X14 Z-13.141
N0155 G1 Z-16.003
N0160 G1 X8.426 Z-20.6
N0165 G1 X9.032 Z-23.281
N0170 G2 X11.951 Z-25.281 I2.484 K0.28
N0175 G1 X13.32 Z-25.588
N0180 G3 X14.408 Z-26.8 I-0.41 K-0.912
N0185 G1 X13.276 Z-28.601
N0190 G2 X14.988 Z-31.731 I2.862 K-0.899
N0195 G1 X21.175 Z-34.513
N0200 G3 X21.146 Z-37.5 I-1.33 K-1.487
N0205 G1 X22.3
N0210 G1 X22.517 Z-37.6
N0215 G1 X23 Z-40.5
N0220 G1 Z-46.5
N0225 G1 X32
N0230 G40
N0235 G28
N0240 G96 S700 T1616 M4 (Drehmeißel rechts D 55)
N0245 G0 X16 Z-21
N0250 G1 X12
N0255 G1 Z-16.5 F0.1
N0260 G1 X13 Z-21
N0265 G1 X10
N0270 G1 Z-16.5
N0275 G1 X11 Z-21
N0280 G1 X10
N0285 G1 X7.8 Z-17
N0290 G1 X14 Z-16.1
N0295 G1 X12 Z-21
N0300 G41
```

```
N0305 G1 X8.584 Z-21.3 F0.05
N0310 G1 X7.5 Z-16.5
N0315 G1 X13.862 Z-16.011
N0320 G1 X17.624 Z-13
N0325 G0 X20
N0330 G40
N0335 G28
N0340 G96 S400 T1717 M4 (Stechdrehmeißel 3mm rechts gemessen)
N0345 G0 X31 Z-40.7
N0350 G1 X20 F0.1
N0355 G1 X24
N0360 G1 Z-39.5
N0365 G1 X21.616 Z-40.7 F0.05
N0370 G1 X16 F0.1
N0375 G1 X16.1
N0380 G1 X12
N0385 G1 X12.1
N0390 G1 X9
N0395 G1 X31
N0400 G1 Z-40.5
N0405 G1 X-0.2 (X3 = Abbrechen von Hand)
N0410 G1 X30
N0415 M9
N0420 M5
N0425 G28
N0430 M30
%
```

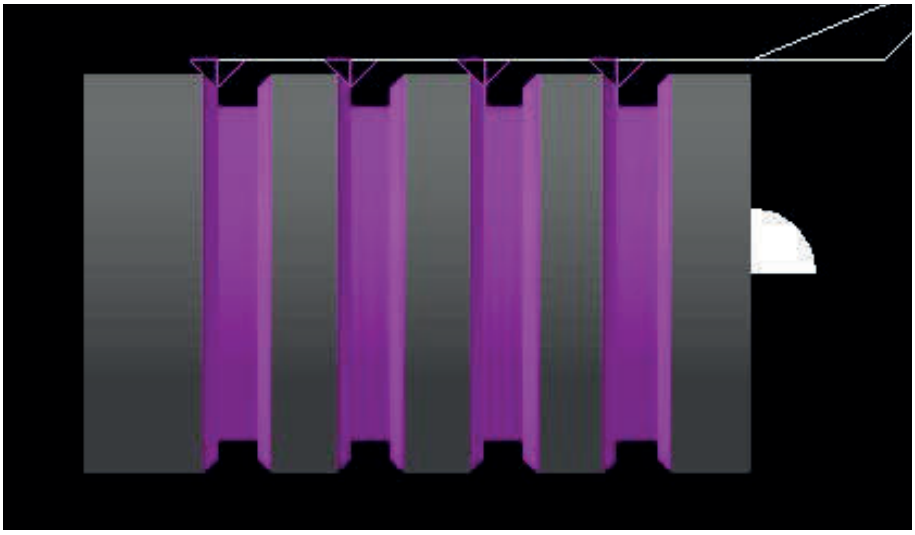
Einstiche

Abstechen und Einstiche werden mit Stechdrehmeißeln ausgeführt.
Stechdrehmeißel können große Kräfte in der Abstechrichtung (senkrecht zur Drehachse) aushalten.
Seitlich kann ein Stechdrehmeißel jedoch kaum Kräfte aufnehmen, er würde weggedrückt oder abbrechen. Es sind seitlich nur kleine Spanabnahmen im Zehntel-Bereich möglich, z. B. für Fasen oder Schlichtschnitte. Vor der Fertigung einer Fase muss zuerst mit einem senkrechten Einstich Platz geschaffen werden, damit der Stechdrehmeißel bei der seitlichen Bewegung für die Fase nicht ins volle Material fahren muss.
Vergleiche hierzu im letzten Programm O0011 „Bauer“ ab Satz N340. Dort wird zuerst Platz für die Fasenbewegung geschaffen N350. Die Fase selbst mit kleinem Vorschub wird mit N365 vollendet. Danach mehrere Stechschnitte mit Spänebrechen und beim letzten Schnitt zum Abstechen gleichzeitig 0,2 mm seitlich geschlichtet.

Bei einem Stechdrehmeißel muss zusätzlich berücksichtigt werden, ob er an der linken oder rechten Kante ausgemessen wurde. In das Werkzeug-Einrichtblatt eintragen!

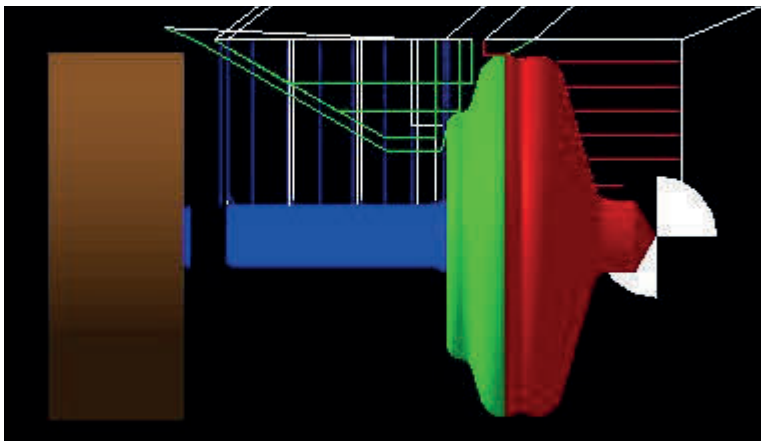
Nachfolgend ein kleines Beispiel für mehrere gleiche Einstiche mit Fasen und gleichzeitig als Beispiel für Inkrementalbemaßung sowie für das Arbeiten mit Unterprogrammen beim Drehen.

Werkstück mit Einstichen, Unterprogrammfunktionen M98 und M99, im Unterprogramm Verfahrwege mit U und W.



```
O2098
N0005 G95 G40
N0010 G54
N0015 G96 S100 T0505 M4
N0020 G0 X32 Z0 M8
N0025 M98 L4 P9802
N0030 G0 Z10 M9
N0035 M5
N0040 G28
N0045 M30

O9802
N0005 G0 W-10
N0010 G1 U-5 F0.15
N0015 U5
N0020 W2
N0025 U-4 W-2 F0.05
N0030 U4 F0.15
N0035 W-2
N0040 U-4 W2 F0.05
N0045 U-3 F0.15
N0050 G4 P500
N0055 G0 U7
N0066 M99
```

Als weiteres Beispiel für Einstiche ein Kreisel aus Messing, der zwar nicht ganz leicht „anzuwerfen“ ist, dafür aber bis zu einer Minute läuft. Programm O0025.



```
O0025
N0005 G95 G40
N0010 G55
N0015 G96 S400 T0101 M4
N0020 G0 X32 Z2 M8
N0025 G71 P30 Q90 I0.2 K0.1 D2 F0.1
N0030 G42
N0035 G0 X-2 Z2
N0040 G1 Z0.577 F0.05
N0045 G1 X6 Z-1.732
N0050 G1 Z-4
N0055 G2 X7.441 Z-4.96 I1 K0
N0060 G1 X26.618 Z-7.75
N0065 G3 X28.872 Z-10.746 I-0.559 K-1.92
N0070 G2 Z-11.284 I0.422 K-0.269
N0075 G3 X29.5 Z-12.36 I-1.686 K-1.076
N0080 G1 Z-14
N0085 G1 X32
N0090 G40 M9
N0095 M5
N0100 G28
N0105 G96 S400 T1616 M4
N0110 G0 X32 Z-36 M8
N0115 G1 X25 Z-30
N0120 Z-15
N0125 X32
N0130 G0 Z-36
N0135 G1 X20.5 Z-26
N0140 Z-16
N0145 X32
N0150 G0 Z-36
N0155 G1 X16 Z-22
N0160 Z-18
N0165 X32
N0170 G0 X34 Z-40
N0175 G41
N0180 G1 X32 Z-37.588 F0.05
N0185 X14 Z-22
N0190 Z-17.5
N0195 X18 Z-17
N0200 G2 X20 Z-16 R1
N0205 G3 X21.437 Z-15.041 R0.99
N0210 G1 X26.627 Z-14.279
N0215 G2 X29.5 Z-12.36 R2
N0220 G1 G40 X32 Z-10
N0225 M9
N0230 M5
N0235 G28
```

```
N0240 G96 S300 T1717 M4
N0245 G0 X32 Z-17.3 M8
N0250 G1 X16 F0.1
N0255 G1 X8
N0260 G1 X8.3
N0265 G1 X6
N0270 G0 X18
N0275 G0 Z-20
N0280 G1 X8
N0285 G1 X8.3
N0290 G1 X5
N0295 G0 X32
N0300 G0 Z-17
N0305 G1 X6 F0.05
N0310 G1 X5 Z-18
N0315 G1 Z-19.5
N0320 G0 X32
N0325 G0 Z-22
N0330 M98 P8025
N0335 G0 Z-24.7
N0340 M98 P8025
N0345 G0 Z-18
N0350 G0 X6
N0355 G1 X5 F0.05
N0360 G1 Z-24.4
N0365 G0 X32
N0370 G0 Z-27.4
N0375 M98 P8025
N0380 G0 Z-30.1
N0385 M98 P8025
N0390 G0 Z-24
N0395 G0 X6
N0400 G1 X5 F0.05
N0405 G1 Z-29.8
N0410 G0 X32
N0415 G0 Z-32.8
N0420 M98 P8025
N0425 G0 Z-35.5
N0430 M98 P8025
N0435 G0 Z-29.5
N0440 G0 X6
N0445 G1 X5 F0.05
N0450 G1 Z-35
N0455 G1 X4
N0460 G0 X6
N0465 G1 Z-34.5
N0470 G1 X5
N0475 G1 X4 Z-35
N0480 G1 X-0.5
N0485 G1 X32 M8
N0490 M5
N0495 G28
N0500 M30

O8025
N0005 G1 X24
N0010 G1 X24.3
N0015 G1 X16
N0020 G1 X16.3
N0025 G1 X8
N0030 G1 X8.3
N0035 G1 X5
N0040 G1 X5.3
```

```
N0045 G0 X32
N0050 M99
%
```

Freistiche

Freistiche dienen unter Anderem dazu, um einer Bruchgefahr durch Kerbwirkung vorzubeugen, um einen Überlaufweg für die Schleifscheibe zu gestatten, um eine saubere Anlagefläche für andere Teile zu schaffen oder um genügend Auslauf für ein Gewinde zu haben.
Die verschiedenen Ausführungen und Maße der Freistiche für Absätze und Gewinde müssen im Tabellenbuch gesucht werden und sind abhängig von Form, Nenndurchmesser oder Gewindesteigung. Hierbei bitte auch die Toleranzen beachten.
Freistiche nach DIN 509 existieren jeweils in der Form E, F, G und H, abgestimmt auf den Nenndurchmesser am theoretischen Eckpunkt.

Gewindefreistiche nach DIN 76 gibt es in der Form A und B für Außengewinde und Form C und D für Innengewinde, abgestimmt auf Gewindesteigung und Nenndurchmesser.

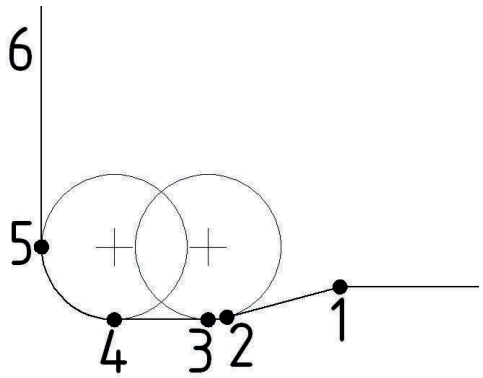
Der Fachmann an der manuellen Drehmaschine besitzt in der Regel ein Sortiment speziell geschliffener Formdrehmeißel für seine Freistiche. Bei CNC-Maschinen sind diese nicht üblich, deshalb werden die Freistiche für einen normalen Drehmeißel programmiert. Manche Steuerungen unterstützen den Anwender, indem sie besondere Zyklen oder Makros für die verschiedenen Freistiche zur Verfügung stellen. Wer diesen Komfort nicht besitzt, muss die Freistiche von Hand oder mit Hilfe einer CAD-Anwendung programmieren. Hierbei sollte sichergestellt werden, dass die Geraden auch tangential in die Kreisbögen übergehen, um Kerbwirkung und unsaubere Übergänge zu vermeiden.

Nachstehend werden beispielhaft einige Freistiche vorgestellt, um die Programmierung und auch das richtige Nachschlagen in den Tabellen zu lernen.

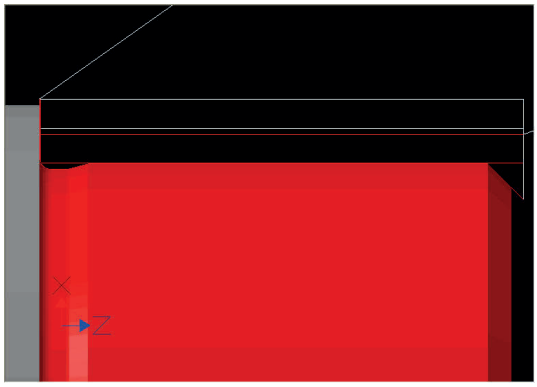
An einem Drehteil soll ein **Freistich DIN 509 E 1 X 0,4** angebracht werden.
Dies bedeutet Freistich Form E mit Radius 1mm und Einstechtiefe 0,4mm
Die Positionen: Nenndurchmesser 50mm, Planfläche bei Z-40mm, Werkstücknullpunkt vorne am Drehteil.

Im Tabellenbuch finden wir dazu folgende Angaben:
Form E
Radius r = 1
Einstechtiefe t1 = 0,4+0,1 (Mitte der Toleranz = 0,45)
Länge f = 4+0,2 (Mitte der Toleranz = 4,1)
Eintauchwinkel = 15 Grad
Nenndurchmesser d1 (in diesem Beispiel = 50mm)
Bearbeitungszugabe z (z. B. für Schleifen)

Beim Rechnen die Mitte der Toleranzen berücksichtigen und auch beachten, dass die Angaben der Einstechtiefe und der Bearbeitungszugabe radiusbezogen angegeben sind, die X-Positionen müssen an der Drehmaschine jedoch durchmesserbezogen programmiert werden.



CAD-Zeichnung mit den Positionen



Darstellung Simulation CNCezPRO

Berechnung:
1 = Anfangspunkt zum Eintauchen X50 und Z-35,9
2 = Endpunkt der 15 Grad-Schräge und Anfangspunkt 1. Radius X49,168 Z-37,452
3 = Endpunkt des 1. Radius X49,1 Z-37,711 Kreisparameter I0,966 K-0,259
4 = Anfangspunkt 2. Radius X49,1 Z-39
5 = Endpunkt des 2. Radius X51,1 Z-40 Kreisparameter I1 K0
6 = Endpunkt Planfläche X61 Z-40
Sollte noch eine Bearbeitungszugabe dazukommen, dann verändert sich der Anfangspunkt 1 zum Eintauchen entsprechend (X und Z größer).

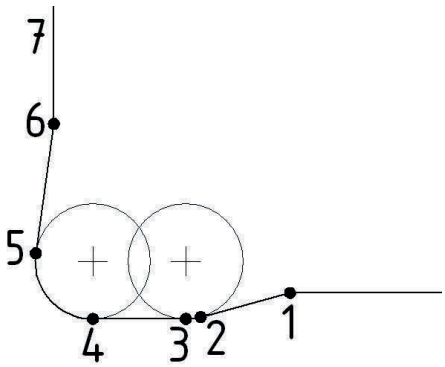
Programm

```
O0010
N0005 G90 G95 G40
N0010 G54
N0015 G96 S100 T0101 M4
N0020 G0 X55 Z1 M8
N0025 G1 Z-39.9 F0.1
N0030 X56
N0035 G0 Z1
N0040 X50.2
N0045 G1 Z-39.9
N0050 X61
N0055 G0 Z1
N0060 X44
N0065 G1 X50 Z-2
N0070 Z-35.9
N0075 X49.168 Z-37.452
N0080 G2 X49.1 Z-37.711 I0.966 K-0.259
N0085 G1 Z-39
N0090 G2 X51.1 Z-40 I1 K0
N0095 G1 X61
N0100 M5
N0105 M9
N0110 G28
N0115 M30
```

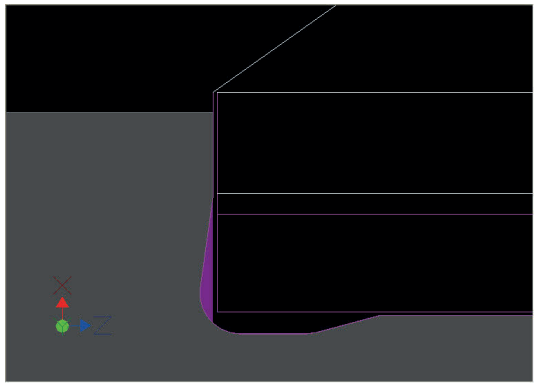
Das selbe Werkstück jedoch mit einem **Freistich DIN 509 F 1 X 0,4**.
Bedeutet Freistich Form F mit Radius 1mm und Einstechtiefe 0,4mm
Ebenfalls: Nenndurchmesser 50mm, Anlagefläche bei Z-40mm, Nullpunkt vorne am Werkstück.

Im Tabellenbuch finden wir dazu folgende Angaben:
Gleich wie vorher
Form F
Radius r = 1
Einstechtiefe t1 = 0,4+0,1 (Mitte der Toleranz = 0,45)
Länge f = 4+0,2 (Mitte der Toleranz = 4,1)
Eintauchwinkel = 15 Grad
Nenndurchmesser d1 (in diesem Beispiel = 50mm)
Bearbeitungszugabe z für Durchmesser (z. B. für Schleifen)
Zusätzlich zu Form E:
Einstechtiefe t2 = 0,3+0,05 (Mitte der Toleranz = 0,325)
Schnittpunkt g (ein ungefährer Wert zur zusätzlichen Information)
Auslaufwinkel an der Planfläche = 8 Grad
Bearbeitungszugabe z für die Planfläche

Am Anfang ist es der selbe Einstich wie vorher mit Form E, nur mit dem Unterschied, dass der 2. Radius weiter in Richtung –Z verschoben wird und der Drehmeißel die Schräge von 8 Grad an der Planfläche abfährt. Darauf achten, dass der Freiwinkel der Wendeplatte mehr als 8 Grad beträgt, um den Hinterstich korrekt zu fertigen.



CAD-Zeichnung


Schnittbild in der Simulation

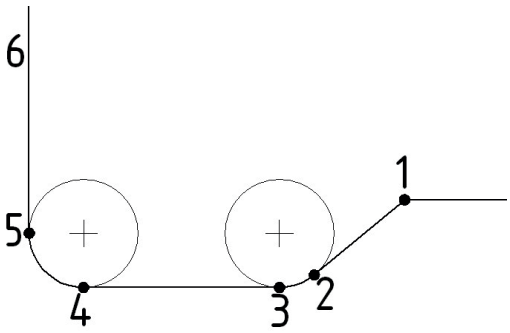
Berechnung:
Gleich wie vorher
1 = Anfangspunkt zum Eintauchen X50 und Z-35,9
2 = Endpunkt der 15 Grad-Schräge und Anfangspunkt 1. Radius X49,168 Z-37,452
3 = Endpunkt des 1. Radius X49,1 Z-37,711 Kreisparameter I0,966 K-0,259
Änderungen gegenüber Form E
4 = Anfangspunkt 2. Radius X49,1 Z-39,325
5 = Endpunkt des 2. Radius X51,378 Z-40,315 Kreisparameter I1 K0
6 = Endpunkt der 8 Grad-Schräge X55,865 Z-40
7 = Endpunkt Planfläche X61 Z-40
Falls eine Bearbeitungszugabe berücksichtigt werden muss, dann verändert sich der Anfangspunkt zum Eintauchen und der Ausfahrpunkt auf der Planfläche entsprechend (X größer, Z weniger tief).

```
O0011
N0005 G90 G95 G40
N0010 G54
N0015 G96 S100 T2121 M4
N0020 G0 X55 Z1 M8
N0025 G1 Z-39.9 F0.1
N0030 X56
N0035 G0 Z1
N0040 X50.2
N0045 G1 Z-39.9
N0050 X61
N0055 G0 Z1
N0060 X44
N0065 G1 X50 Z-2
N0070 Z-35.9
N0075 X49.168 Z-37.452
N0080 G2 X49.1 Z-37.711 I0.966 K-0.259
N0085 G1 Z-39.325
N0090 G2 X51.378 Z-40.315 I1 K0
N0095 G1 X55.865 Z-40
N0100 X61
N0105 M5
N0110 M9
N0115 G28
N0120 M30
```

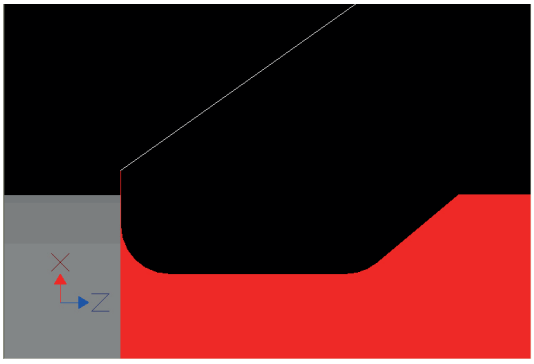
Ein anderes Werkstück jedoch mit **Freistich DIN 76 A** für ein Gewinde M60 X 2.
Bedeutet Freistich Form A für Außengewinde. Das Ende des Auslaufs ist bei Z-40.

Im Tabellenbuch finden wir dazu folgende Angaben:
Steigung p = 2 (Regelgewinde wäre M16)
Radius r = 1
Einstechdurchmesser dg = d-3 h13 ([Ø 60- 3] h13, Mitte der Toleranz = 56,77)
Länge g1 = min. 4,5
Länge g2 = max. 7
Eintauchwinkel = min.30 Grad
Nenndurchmesser d (in diesem Beispiel = 60mm)

Die Länge g1 wird hier auf 4,6 und g2 auf 6,9 festgelegt, um die Begrenzung der Minimal- und Maximalwerte einzuhalten. Der Eintauchwinkel von mind. 30 Grad erreicht bei dieser Konstellation ungefähr 45 Grad, deshalb darauf achten, dass der Drehmeißel genügend Freiwinkel hat.
Achtung: der Z-Wert für g1 ist hierbei nicht der Übergang der Schräge in den Kreis (Punkt 2), sondern der Mittelpunkt des Kreisbogens (Punkt 3).



CAD-Zeichnung

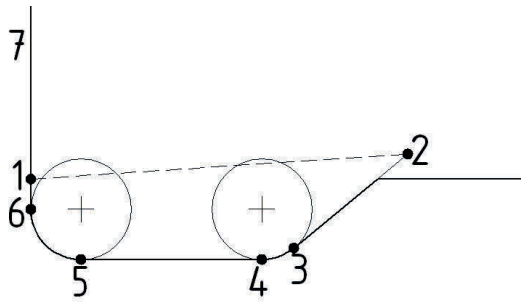


Detail in der Simulation

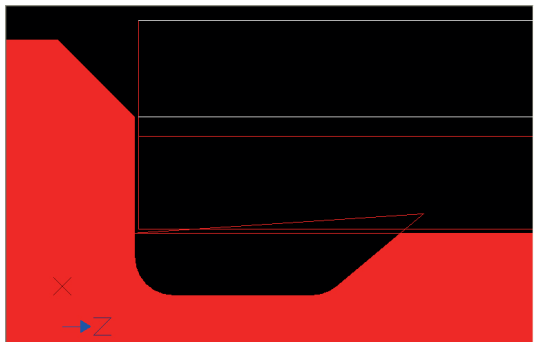
Bei der Berechnung ergeben sich folgende Punkte:
1 = Anfangspunkt zum Eintauchen X60 und Z-33,1
2 = Endpunkt der Schräge und Anfangspunkt 1. Radius X57,234 Z-34,76
3 = Endpunkt des 1. Radius X56,77 Z-35,4 Kreisparameter I0,77 K-0,64
4 = Anfangspunkt 2. Radius X56,77 Z-39
5 = Endpunkt des 2. Radius X58,77 Z-40 Kreisparameter I1 K0
6 = Endpunkt Planfläche X61 Z-40

```
O0012
N0005 G90 G95 G40
N0010 G54
N0015 G96 S100 T2020 M4
N0020 G0 X54 Z1 M8
N0025 G1 X60 Z-2 F0.1
N0030 Z-33.1
N0035 X57.234 Z-34.76
N0040 G2 X56.77 Z-35.4 I0.77 K-0.64
N0045 G1 Z-39
N0050 G2 X58.77 Z-40 I1 K0
N0055 G1 X61
N0060 M5
N0065 M9
N0070 G28
N0075 M30
```

Der selbe **Gewindefreistich im Kettenmaß** und in ein Unterprogramm gepackt, um es beliebig oft aufzurufen. Hier bei den Positionen X50 Z-30 und X60 Z-60. Hierbei wurde das Unterprogramm so ausgeführt, dass zuerst die Ecke mit dem Nennmaß angefahren wird, also z. B. X50 Z-30 und dann das Unterprogramm aufgerufen wird. Dieses hebt in X um 1mm ab und fährt gleichzeitig in Z auf die Anfangsposition der Schräge und führt dann den Gewindefreistich bis zum Endpunkt des 2. Radius aus.
Große Freistiche sollten zusätzlich in mehrere Schruppschnitte und einen Schlichtschnitt aufgeteilt werden.
Auf diese Art kann man sich mit der Zeit eine Sammlung von Unterprogrammen mit verschiedenen Freistichen programmieren, die dann immer wieder benutzt werden können.



CAD-Zeichnung



Simulation bei Nennmaß X50 Z-30

Bei der Berechnung ergaben sich folgende Punkte:

1. Freistich

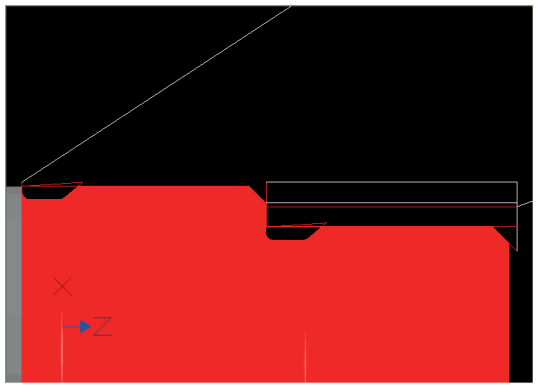
1 = Startpunkt Nennmaß X 50 Z-30 (Hauptprogramm absolut)
Unterprogramm (inkrementell)
2 = Anfangspunkt zum Eintauchen X1 und Z7,5
3 = Endpunkt der Schräge und Anfangspunkt 1. Radius X-3.766 Z-2.26
4 = Endpunkt des 1. Radius X-0.464 Z-0.64 Kreisparameter I0,77 K-0,64
5 = Anfangspunkt 2. Radius Z-3.6
6 = Endpunkt des 2. Radius X2 Z-1 Kreisparameter I1 K0
7 = Endpunkt Planfläche X56 Z-30 (Hauptprogramm absolut)

2. Freistich

1 = Startpunkt Nennmaß X 60 Z-60 (Hauptprogramm absolut)
Unterprogramm (inkrementell, gleich wie oben)
2 = Anfangspunkt zum Eintauchen X1 und Z7,5
3 = Endpunkt der Schräge und Anfangspunkt 1. Radius X-3.766 Z-2.26
4 = Endpunkt des 1. Radius X-0.464 Z-0.64 Kreisparameter I0,77 K-0,64
5 = Anfangspunkt 2. Radius Z-3.6
6 = Endpunkt des 2. Radius X2 Z-1 Kreisparameter I1 K0
7 = Endpunkt Planfläche X61 Z-60 (Hauptprogramm absolut)

Die Positionen mit den Kettenmaßen müssen je nach Steuerung in X und Z und mit den G-Funktionen G91 und G90 geschrieben werden oder ohne G90 und G91 mit U für den X-Versatz und W für den Z-Versatz.

```
O0013
N0005 G90 G95 G40
N0010 G54
N0015 G96 S100 T2020 M4
N0020 G0 X55 Z1 M8
N0025 G1 Z-29.9 F0.1
N0030 X56
N0035 G0 Z1
N0040 X50.2
N0045 G1 Z-29.9
N0050 X61
N0055 G0 Z1
N0060 X44
N0065 G1 X50 Z-2
```



Beide Einstiche bei Ø50 und Ø60

```
N0070 Z-30
N0075 M98 P1301
N0080 G1 X56
N0085 G1 X60 Z-32 F0.1
N0090 Z-60
N0095 M98 P1301
N0100 G1 X61
N0105 M5
N0110 M9
N0115 G28
N0120 M30

O1301 (Unterprogramm mit U und W)
N0005 G1 U1 W7.5
N0010 U-3.766 W-2.26
N0015 G2 U-0.464 W-0.64 I0.77 K-0.64
N0020 G1 W-3.6
N0025 G2 U2 W-1 I1 K0
N0030 M99
```

7.13 CNC-Befehle Drehen

Kurzreferenz zum Programmieren mit diesem Buch. Auch passend zum Postprozessor CNC-Turn, falls die Simulation CNCezPRO benutzt wird.

Ausführliche Beschreibung der einzelnen Befehle in der „Übersicht CNC-Befehle“ im Anhang.

G-Funktionen

G00 Geraden-Interpolation im Eilgang, Einschaltstellung

G01 Geraden-Interpolation mit Vorschub

G02 Kreis-Interpolation im Uhrzeigersinn

G03 Kreis-Interpolation im Gegenuhrzeigersinn

G04 Verweilzeit, satzweise wirksam

G09 Genauhalt, satzweise wirksam

G10 Werkzeugkorrektur-Wert ändern

G18 Arbeitsebene in Z und X, Standardebene Drehen

G20 Einheiten in Zoll (inch)

G21 Einheiten metrisch (Millimeter)

G28 Referenzpunkt anfahren, satzweise wirksam

G29 Vom Referenzpunkt zurückfahren, satzweise wirksam

G30 Zweiten Referenzpunkt anfahren, satzweise wirksam

G32 Gewindeschneiden, **Drehmaschine**, satzweise wirksam

G40 Aufheben der Radiuskorrektur, Einschaltstellung

G41 Radiuskorrektur links der Kontur

G42 Radiuskorrektur rechts der Kontur

G50 Maximale Spindeldrehzahl, **Drehmaschine**

G52 Lokales Koordinatensystem

G53 Referenzpunkt-Koordinaten, satzweise wirksam

G54 Werkstücknullpunkt 1 (Standard-Nullpunkt), Einschaltstellung
G55 Werkstücknullpunkt 2
G56 Werkstücknullpunkt 3
G57 Werkstücknullpunkt 4
G58 Werkstücknullpunkt 5
G59 Werkstücknullpunkt 6

G61 Genauhalt

G62 Vorschubkorrektur an Ecken (Override)

G63 Gewindebohren

G64 Bahnsteuerbetrieb, Einschaltstellung

G70 Schlichtzyklus, **Drehmaschine**, satzweise wirksam

G71 Längsschruppzyklus, **Drehmaschine**, satzweise wirksam

G72 Planschruppzyklus, **Drehmaschine**, satzweise wirksam

G73 Schruppzyklus konturparallel, **Drehmaschine**, satzweise wirksam

G74 Schruppzyklus mit unterbrochenem Schnitt, **Drehmaschine**, satzweise wirksam

G75 Einstechzyklus, **Drehmaschine**, satzweise wirksam

G76 Gewindezyklus, **Drehmaschine**, satzweise wirksam

G83 Tiefbohrzyklus

G84 Gewindebohrzyklus für Rechtsgewinde

G90 Absolutmaßprogrammierung, **Drehmaschine Typ B**, Einschaltstellung

G91 Kettenmaßprogrammierung (Inkrementell), **Drehmaschine Typ B**

G92 Nullpunkt setzen, **Drehmaschine Typ B**

G92 Einfacher (veralteter) Gewindezyklus, **Drehmaschine Typ A**

G94 Vorschub pro Minute **Drehmaschine Typ B**

G95 Vorschub pro Umdrehung **Drehmaschine Typ B**, Einschaltstellung

G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit, **Drehmaschine**

G97 Konstante Drehzahl, **Drehmaschine**

G98 Vorschub pro Minute **Drehmaschine Typ A**

G99 Vorschub pro Umdrehung **Drehmaschine Typ A**

M-Funktionen

M00 Programmstopp

M01 Wahlweiser Programmstopp

M02 Programm Ende

M03 Spindeldrehrichtung im Uhrzeigersinn

M04 Spindeldrehrichtung im Gegenuhrzeigersinn

M05 Spindelstopp

M07 Kühlmittel 2 Ein

M08 Standard-Kühlmittel Ein

M09 Kühlmittel Aus

M10 Klemmung zu

M11 Klemmung Auf

M13 Spindel Rechtslauf und Kühlmittel ein

M14 Spindel Linkslauf und Kühlmittel ein

M15 Spindel Stopp und Kühlmittel Aus

M30 Programm Ende mit Rücksetzen

M48 Drehzahl-/Vorschubregelung aktiv, Einschaltstellung

M49 Drehzahl-/Vorschubregelung inaktiv

M98 Aufruf eines Unterprogramms (Call)

M99 Unterprogramm Ende (Return)

Weitere Befehle

% Programmanfang / -ende

: Hauptprogramm- / Unterprogrammnummer

A Winkel um X-Achse

B Winkel um Y-Achse

C Winkel um Z-Achse

D Werkzeugradius-Nummer

E Parameter

F Vorschub

G Weg-Funktionen

H Werkzeug-Länge

I Interpolationsparameter X

J Interpolationsparameter Y

K Interpolationsparameter Z

L Unterprogramm-Wiederholungen

M Maschinen-Funktionen

N Satznummer

/N Ausblendsatz

O Programmnummer

P Unterprogramm

Q Parameter

R Radius, Parameter

S Drehzahl

T Werkzeug-Nummer

U Kettenmaß in X-Richtung

V Kettenmaß in Y-Richtung

W Kettenmaß in Z-Richtung

X Weg in X

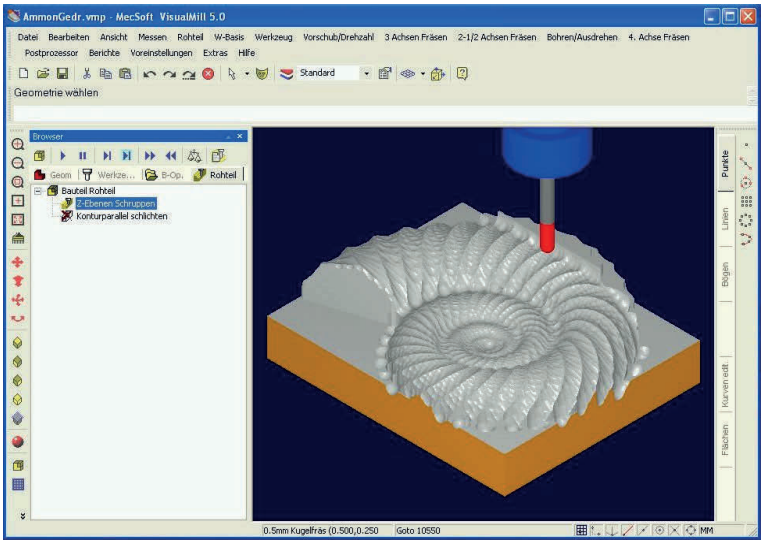
Y Weg in Y

Z Weg in Z

( ) Anmerkung

Kapitel 8 – Programmierhilfen

8.01 Vorbemerkung
8.02 Programmierhilfen der Steuerung
8.03 Übersicht Programmierhilfen
8.04 Maschinelles Programmieren
8.05 Freiformfräsen
8.06 Gravieren
8.07 Drehen und Spiegeln



8.01 Vorbemerkung

Was bisher bei der Programmierung erwähnt wurde, stammt zum größten Teil schon aus den Anfängen der CNC-Fertigung. Viele Schritte der umständlichen manuellen Programmierung können mit modernen Steuerungen wesentlich leichter und sicherer bewältigt werden. Jetzt werden sich manche sagen: „Was wir bisher gelernt haben, ist schon längst veraltet, das brauchen wir doch gar nicht mehr.“ Aber wie bei allen Berufen muss man auch hier zuerst das Handwerk von Grund auf lernen, also die manuelle Programmierung. Damit kann man immerhin alles programmieren, oftmals effizienter und genauer als mit den vielen Hilfsmitteln. Wer die unbequemere Methode gelernt hat, kann sich schnell in die modernen Erleichterungen einarbeiten, nur umgekehrt wird es sehr schwer. Tatsächlich wird der traditionelle G-Code immer mehr aus der Werkstatt verdrängt, weil man beim Programmieren leicht Fehler machen kann. Jedoch wird weiterhin ein Großteil der Maschinen mit normalem G-Code programmiert und niemand hat die Garantie, dass er stets an einer Maschine mit moderner Steuerung und Grafikunterstützung arbeiten darf. Außerdem muss ein Programmierer seine Programme von verschiedenen Steuerungen stets im Griff haben und jederzeit seine Positionen nachrechnen können. Auch nach einer Programmunterbrechung (Werkzeugbruch, Stromausfall) muss der Programmierer in der Lage sein, das Programm an der richtigen Stelle fortzusetzen.

8.02 Programmierhilfen der Steuerung

Der Trend zur Werkstattprogrammierung hält unvermindert an, denn die Einzelteil- und Kleinserienfertigung wird immer mehr auf CNC-Maschinen verlagert.
Deshalb sind die Steuerungshersteller ständig bestrebt, die Programmierung leichter, schneller und sicherer zu machen, damit der Bediener mit den richtigen Hilfsmitteln innerhalb kürzester Zeit ein komplettes CNC-Programm direkt an der Maschine erstellen kann. Zusätzlich müssen noch die typischen Belastungen des Werkstattbetriebes berücksichtigt werden, wie: Schichtarbeit, ständig im Stehen arbeiten, Lärm, schlechte Luft, Hitze, allgemeine Hektik, usw.

Als erstes dieser Programmier-Hilfen seien hier die altbekannten Bohrzyklen, Drehzyklen und Fräszyklen genannt, auf die eigentlich niemand mehr verzichten möchte.

Auch das automatische Einfügen von Fasen und Radien ist schon seit langem im Einsatz und bei vielen Steuerungen Standard.

Mit Konturzugprogrammierung findet die Steuerung selbst die Schnitt- oder Tangentenpunkte zwischen Geraden und / oder Kreisen

Moderne Steuerungen ermöglichen ein automatisches tangentiales An- und Abfahren an die Kontur oder von der Kontur weg, was viel Rechenarbeit einspart.

Die Zyklenprogrammierung bietet zusätzlich zu den bekannten Bohr-, Dreh und Fräszyklen weitere mächtige Zyklen für fast alle möglichen Elemente an.
Zum Beispiel:
- Bohrbilder: im Kreis, rechteckige und rautenförmige Aufteilung
- Langlöcher: gerade, gebogen, um einen Winkel gedreht
- Taschen: Kreis-, Rechtecktaschen und beliebige Konturen, evtl. ebenfalls gedreht, mit Inseln, Schlichtaufmaß, entgraten, usw.
- Geometrische Formen, wie Ellipse, Spirale, Kugel, usw.
- Einstiche und genormte Freistiche für Drehteile

Es können für nahezu alle Bearbeitungsprobleme Zyklen erstellt werden, hier sind fast keine Grenzen gesetzt.
Die Programmierung beschränkt sich dann lediglich darauf, eine Anzahl Parameter aus einem Auswahlkatalog in die Steuerung einzugeben.
Auch die Programmierung nach PAL, wie sie für das Ausbildungs- und Prüfungswesen in Deutschland vorgeschrieben ist, bedient sich solcher Zyklen.

Die Klartext-Programmierung ersetzt die G-Codes durch leichter verständliche Befehle, z. B. L = Line = Gerade, C = Circle = Kreis und fragt danach die benötigten Eingabewerte ab. In Deutschland sind die Steuerungen für Klartext von Heidenhain am weitesten verbreitet. Viele andere Hersteller bieten ebenfalls Klartext-Programmierung mit eigener Programmiersprache an.

Am fortschrittlichsten sind die grafisch unterstützten Steuerungen, wo mit einer Mischung aus CAD, Klartext- und Zyklen-Programmierung ein Element (Gerade, Kreis, Zyklus) ausgewählt wird, die zugehörigen Parameter abgefragt werden und das Ergebnis sofort grafisch angezeigt wird. Die technologischen Parameter, wie Drehzahl, Vorschub, Kühlmittel, usw. werden zum richtigen Zeitpunkt ebenfalls abgefragt. Der Programmierer

sieht sofort auf dem Bildschirm, wohin seine nächste Bewegung hingeht und kann sie umgehend korrigieren, bevor das Programm fertiggestellt ist.
Nach Beendigung wird das gesamte Programm grafisch-dynamisch simuliert. Hierbei werden das Werkstück und das Werkzeug, evtl. auch die Spannmittel angezeigt und bei Start wird auf dem Bildschirm der Materialabtrag durch das Werkzeug angezeigt. Mit Zusatzfunktionen kann das Bild vergrößert / verkleinert, gekippt oder gedreht werden, um auch Details erkennen zu können.

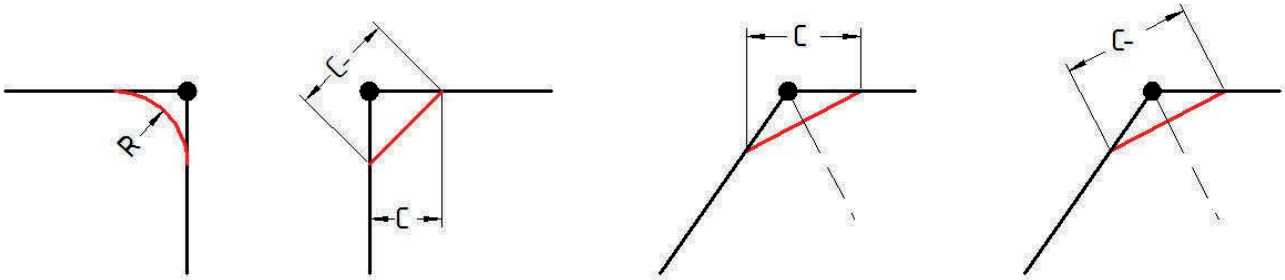
Der Simulation, als wichtiger Bestandteil heutiger Steuerungen, ist ein eigenes Kapitel gewidmet.

8.03 Übersicht Programmierhilfen der Steuerung

Die nachfolgenden Erklärungen sind sehr allgemein gehalten und sollen vor allem vor Augen führen, was möglich ist. Die genaue Vorgehensweise ist von der vorhandenen Steuerung abhängig und muss anhand der Bedienungsanleitung angewendet werden.

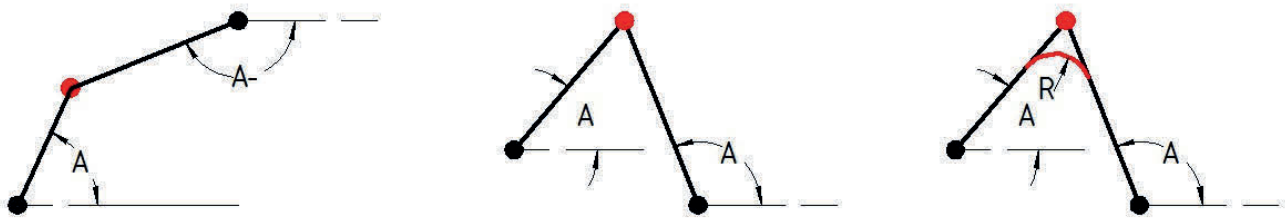
Fasen Radien

In den meisten Steuerungen ist das automatische Einfügen von Übergangselementen bei Ecken möglich, dies sind Fasen und Abrundungen. Das ist bequem und spart viel Rechenarbeit. Die Radien werden mit tangentialen Übergängen eingefügt. Bei den Fasen kann durch das Vorzeichen bestimmt werden, ob die Fasenbreite orthogonal in Achsrichtung oder parallel zum Fasenverlauf gewünscht wird.
Üblicherweise wird die Anweisung am Ende des ersten Elements eingefügt. Der Endpunkt des ersten Elements ist gleichzeitig die theoretische Ecke und der Anfangspunkt des zweiten Elements. Bei vielen Steuerungen werden die Fase mit K oder C (von engl. Corner = Ecke) und der Radius mit R bezeichnet.



Konturzug-Programmierung

Modernere Steuerungen können die Schnittpunkte von Geraden und Kreisen errechnen, wobei noch mehr Rechenaufwand eingespart wird. Typische Anwendung: eine Gerade geht in einem bestimmten Winkel von einem Anfangspunkt aus und trifft eine andere Gerade mit einem anderen Winkel, deren Endpunkt bekannt ist. Dazu können an den Zwischenpunkten zusätzlich Radien und Fasen eingefügt werden. Die Winkel werden meistens mit A (von engl. Angle = Winkel) bezeichnet und gehen nach der Norm von der 3 Uhr-Stellung aus gegen den Uhrzeigersinn in Plus-Richtung, im Uhrzeigersinn in Minus-Richtung.



Dialoggeführt mit grafischer Unterstützung

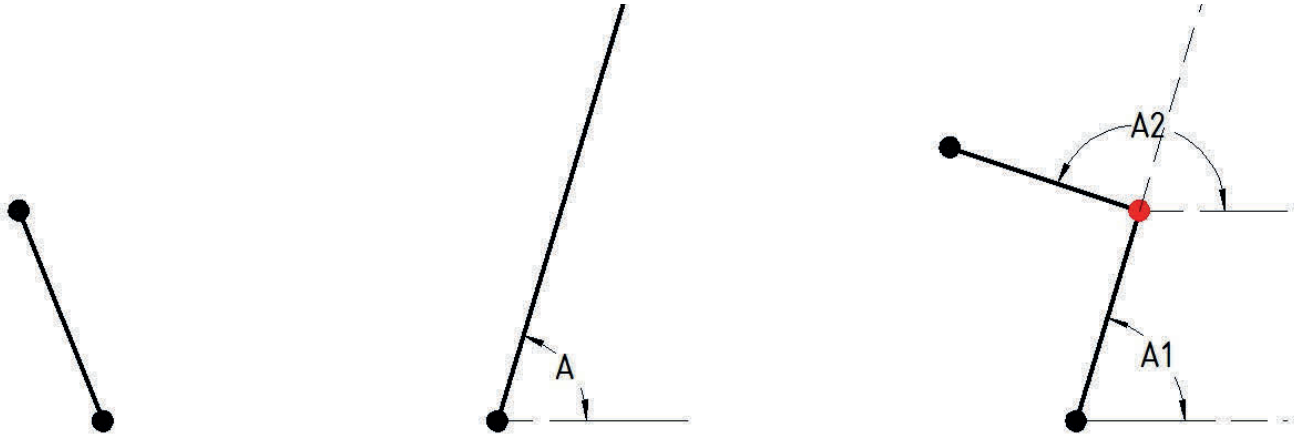
Komfortable und fast narrensichere Bedienerführung, auch WOP = Werkstattorientierte Programmierung genannt. Beinhaltet einfache CAD- und CAM-Funktionen und kann ohne vorheriges Erlernen des G-Codes angewendet werden.
Der Bediener gibt den Startpunkt an, wählt ein Geometrielement (Gerade, Kreis, usw.) und die Steuerung fragt die benötigen Parameter ab (Endpunkt, Winkel, Radius, usw.). Wenn die zumindest nötigen Werte eingegeben sind, wird das Element grafisch auf dem Bildschirm dargestellt und der Bediener kann sofort sehen, ob er damit richtig liegt oder etwas ändern muss. Dann werden auf die selbe Weise nacheinander die nächsten Elemente angehängt, bis die Kontur fertig ist.
Dazu können u. a. die verfügbaren Werkzeuge als Bildzeichen und die ebenfalls grafisch dargestellte Bearbeitungsart, wo auch die üblichen Fräs- und Drehzyklen enthalten sind, angewählt werden. Daraus erzeugt die Steuerung ein lauffähiges Programm und legt es im Speicher ab.

Geraden:

Für die Bestimmung oder das Zeichnen einer Geraden ist der Anfangs- und Endpunkt ausreichend. Eine Gerade kann auch mit Anfangspunkt und einem Winkel gezeichnet werden, jedoch benötigt diese noch eine Länge oder wird automatisch beim Zusammentreffen mit dem nächsten Element in der Länge begrenzt.
Die Steuerung stellt für Geraden mehrere Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung, von denen der Bediener nur die ihm bekannten Parameter auswählt.

Hier z. B. einige Eingabemöglichkeiten, von denen mindestens zwei bekannt sein müssen.

1. Anfangspunkt oder der Endpunkt des vorhergehenden Elements
2. Endpunkt
3. Winkel
4. Länge
5. Tangential von oder zu Kreisen

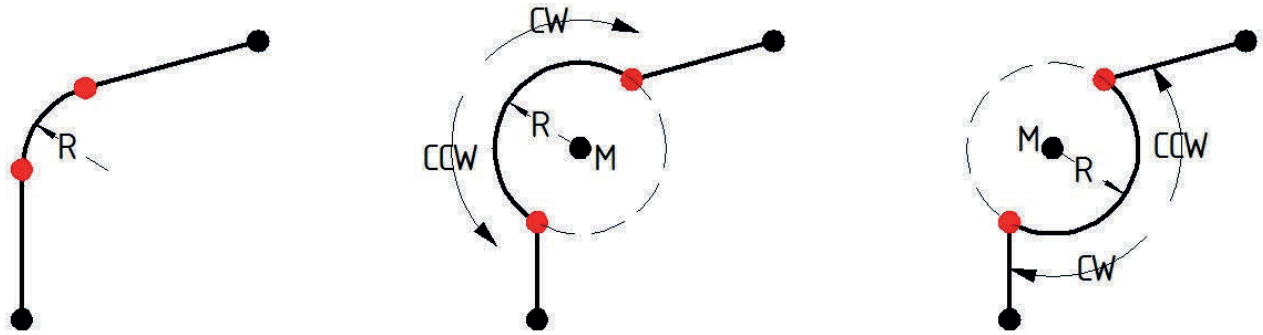


Linkes Bild: Eine Gerade ist mit Anfangs- und Endpunkt (X1, Y1 und X2, Y2) eindeutig definiert, auch im dreidimensionalen Raum, z. B. mit X1, Y1, Z1 und X2, Y2, Z2.
Mittleres Bild: Eine Gerade mit Anfangspunkt und Winkel ohne Längenangabe ist unendlich lang (Strahl) und reicht in der Ansicht bis zum Bildschirmrand.
Rechtes Bild: Erst bei der Definition des nächsten Elements wird die Gerade auf ihre Länge abgeschnitten.

Kreise und Kreisbögen

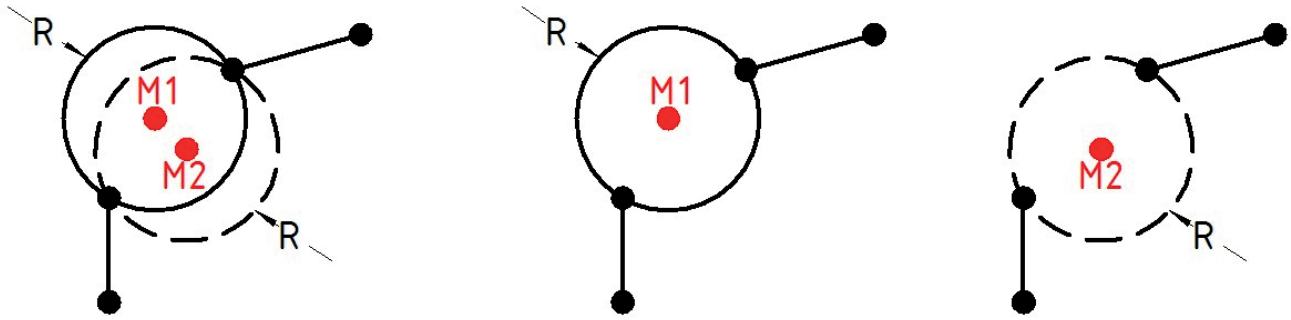
Für Kreisbewegungen werden mehr Parameter benötigt als bei Geraden. Zum Beispiel:

1. Radius
2. Drehrichtung
3. Mittelpunkt
4. Anfangspunkt
5. Endpunkt
6. Erster oder zweiter Radius
7. Kreis durch 3 Punkte
8. Tangential zu anderen Objekten
   und weitere Möglichkeiten



Linkes Bild: Wenn z. B. zwischen 2 Geraden nur ein Radius ohne weitere Angaben definiert wird, dann legt die Steuerung den Radius automatisch tangential hinein, genauso wie beim Einfügen von Abrundungen oder Fasen.
Mittleres Bild: Falls ein Radius keine tangentialen Übergänge hat, benötigt er weitere Parameter. In diesem Fall den Mittelpunkt und die Drehrichtung, abhängig von der Fahrtrichtung des Werkzeuges und ob der Radius außen (mittleres Bild) oder innen (rechtes Bild) ausgeführt werden soll.
Anmerkung: CW = Clockwise (Uhrzeigersinn, G02), CCW = Counter Clockwise (Gegenuhrzeigersinn, G03).

Wenn der Radius und der Anfangs- und Endpunkt der Kreisbewegung bekannt sind aber der Mittelpunkt unbekannt ist.



Wie auf dem linken Bild ersichtlich, werden zwei Kreise angezeigt. Immerhin sind hier 4 Kreisbahnen möglich, es muss wiederum die Drehrichtung ausgewählt werden, ob der Radius außen oder innen liegen soll und in diesem Falle zusätzlich die Auswahl, welcher der beiden Kreise gewünscht wird.

Das hier gezeigte ist nur eine kleine Auswahl der vielfältigen Möglichkeiten eine Kontur zu beschreiben und soll nur die Logik der Eingabe der Geometrieelemente verständlich machen.
Beim Studium der Bedienungsanleitung wird erst die ganze Vielfalt dieser „Features“ offenbar.

Ergänzend zur eingegebenen Kontur oder Abschnitten davon werden auch die Werkzeuge und die Art der Bearbeitung mit den nötigen Parametern abgefragt.

Drehen: Längsschruppen, Planschruppen, Kontur schlichten, rechts oder links der Kontur, Gewinde, Plangewinde, Bohren, Spantiefe, Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, usw.

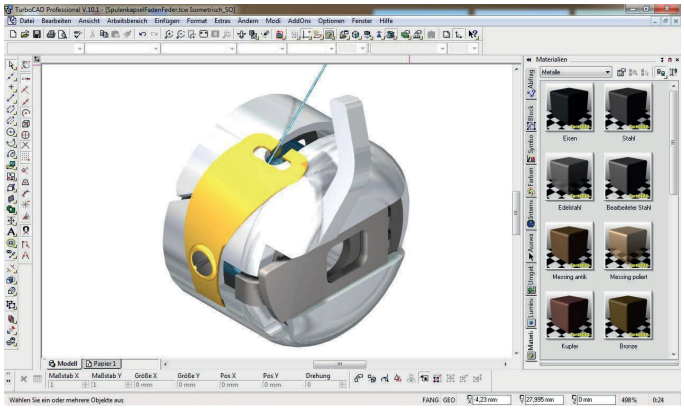
Fräsen: Kontur abfahren, rechts oder links der Kontur, Planfräsen, Freiformfräsen, Rechteck- und Kreistasche, Bohren, Gewindebohren, Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, usw.

8.04 Maschinelles Programmieren CAD – CAM

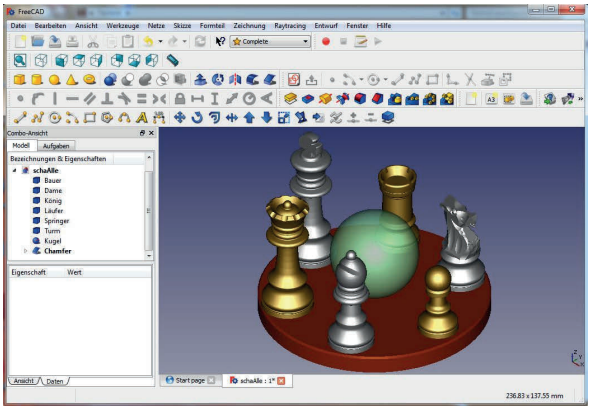
Durch den Einsatz von Rechnern kann bei der Programmerstellung viel Aufwand eingespart werden, die Fehlerquote wird ebenfalls deutlich verringert.

Die angebotenen CNC-Programmiersysteme arbeiten alle nach dem folgenden Schema:
-Erstellen der Zeichnung mit CAD, damit sind schon alle Geometriedaten definiert
-Übernahme der Zeichnung (Geometrie) in ein CAM-Modul (häufig im CAD-Programm integriert)
-Aufbereitung der Geometrie: Nullpunkt setzen, Konturen definieren.
-Technologiedaten eingeben: Bearbeitungsart und Werkzeuge auswählen, Drehzahl und Vorschub bestimmen oder errechnen lassen, Zustelltiefe festlegen, Aufmaß wählen usw.
-Simulation der Bearbeitung am Bildschirm, um Fehler zu erkennen.
-Postprozessorlauf: der an die jeweilige Maschine angepasste Postprozessor generiert mit Hilfe der aufbereiteten Geometrie- und Technologiedaten das komplette CNC-Programm, welches als Datei auf einem Datenträger verfügbar wird.
-Übernahme des CNC-Programms direkt in die Maschinensteuerung, über ein angeschlossenes Kabel oder über ein DNC-Terminal, wenn die Maschinen mit einem Leitrechner vernetzt sind.

CAD bedeutet Computer Aided Design = Zeichnen mit Hilfe eines Computers. Es gibt eine große Auswahl von CAD-Systemen, wovon die einfacheren auf jedem Heim-PC lauffähig sind. Die Unternehmen benötigen ein professionelles CAD-System, welches alle geforderten Ansprüche erfüllt und den Kauf von speziellen Zusatzmodulen zulässt. Oft ist die Kaufentscheidung auch von einem Standard innerhalb einer Branche abhängig, um die Austauschbarkeit der Daten zu gewährleisten.
Die CAD-Anwendungen ermöglichen weitaus mehr als das alte Zeichenbrett, wo mit Hilfe von Tuschestiften sorgfältig auf Pergamentpapier gezeichnet und Fehler mühsam mit einer Rasierklinge weggeschabt wurden. CAD kann die Bilder dreidimensional und farbig darstellen, schattieren, sogar photorealistische Bilder erstellen. Die Grafik kann gedreht, vergrößert / verkleinert werden. Änderungen sind leicht durchführbar. Automatische Bemaßung möglich und bei einer Größenänderung wird die zugehörige Bemaßung sofort korrigiert. Es gibt Sammlungen von Normteilen, welche aus einem Katalog einfach in die Zeichnung eingefügt werden. Mit Zusatzmodulen können Festigkeitsuntersuchungen durchgeführt werden oder es kann ein Bewegungsablauf von verschiedenen Bauteilen simuliert werden. Die Möglichkeiten sind eigentlich fast grenzenlos.

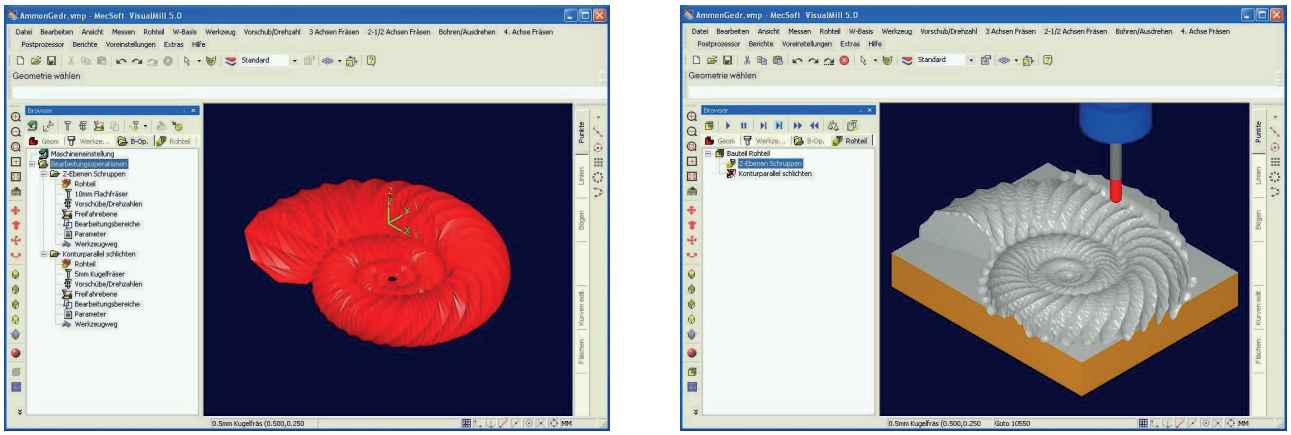


Gerenderte Darstellung in Turbocad



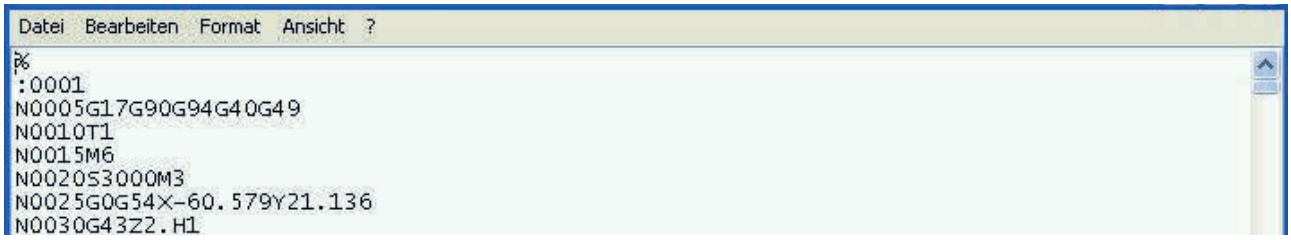
3D-Ansicht in FreeCAD

CAM heißt Computer Aided Manufacturing = Computerunterstützte Fertigung. Die CAM-Systeme werden oft als passendes Zusatzmodul zu den CAD-Programmen angeboten, es gibt aber auch eigenständige CAM-Systeme, welche diverse CAD-Ausgabeformate lesen und verarbeiten können.
Mit CAM werden die vorhandenen geometrischen Daten, welche zuvor von CAD generiert wurden, zur Fertigung aufbereitet. Es wird die Größe des Rohteils und die Lage des Nullpunktes definiert, das Material und die Werkzeuge bestimmt. Dann kann zwischen verschiedenen Bearbeitungsverfahren, wie Spanabnahme auf verschiedenen Ebenen, zeilenförmiges Bearbeiten, von rechts nach links, von oben nach unten, usw. gewählt werden. Weiterhin müssen die Parameter für Tiefenzustellung, maximale Spandicke, Aufmaß definiert werden. Danach zeigt eine grafische Simulation die Bearbeitung auf dem Bildschirm an. Die CAM-Daten für die Bearbeitung liegen bis dahin nur in einem universellen Format vor, welches noch nicht von der CNC-Steuerung genutzt werden kann.



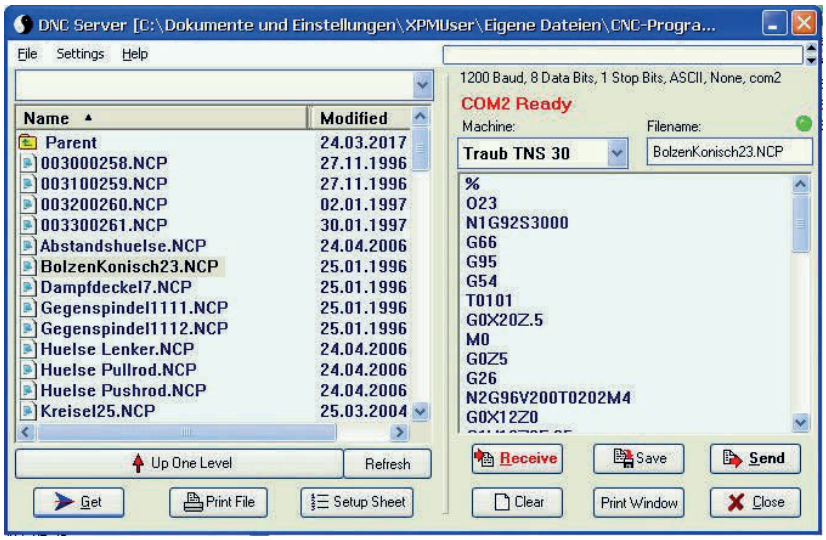
3D-Modell mit Bearbeitungsschritten in VisualMill und nachfolgende Fräs-Simulation als Beispiel für Freiformfräsen

Postprozessor. Dies ist das Übersetzungsprogramm, welches die allgemeinen CAM-Daten in ein CNC-Programm verwandelt. Den CAM-Programmen liegt im Allgemeinen je ein Standard-Postprozessor für Drehen, Fräsen und evtl. für weitere Anwendungen bei. Allerdings wird dieser Standard-Postprozessor ohne zusätzliche nachträgliche Änderungen kaum für die vorhandenen Maschinen nutzbar sein. Der Postprozessor muss genau auf die Steuerung, die verfügbaren Zyklen und eventuelle Zusatzfunktionen der Maschine abgestimmt sein, um alle Funktionen zu nutzen. Der Postprozessor macht nur Sinn, wenn das generierte CNC-Programm unverändert in die Steuerung übernommen werden kann. Deshalb bieten viele CAM-Hersteller vorgefertigte und getestete Postprozessoren für die gängigsten Steuerungen an. Wer jedoch eine exotische Maschine besitzt, wird oft nicht darum herumkommen, sich für teures Geld einen speziellen Postprozessor anfertigen zu lassen.



Vom Postprozessor automatisch generiertes CNC-Programm für die gewählte Steuerung

Datenübertragung. Früher wurden die Daten noch per Lochstreifen mit Hilfe von Lochstreifenlesern in die Maschinensteuerung eingelesen und nach Änderungen von dort mit Lochstreifenstanzern wieder ausgelesen. Heute kann man sich mit jedem Notebook, einer Übertragungssoftware und einem gewöhnlichen Null-Modem-Kabel mit der CNC-Steuerung verbinden und die gewünschten Daten ein- oder auslesen. Wenn die Steuerung einen USB-Anschluss bietet, kann die Übertragung auch per USB-Kabel oder mit einem USB-Stick erfolgen.
In den Unternehmen sind die Maschinen meistens mit einem DNC-Terminal über ein Netzwerk mit einem Leitrechner verbunden. Der Maschinenbediener wählt an der Tastatur des DNC-Terminals das gewünschte Programm und lädt es in seine Maschine. Wenn etwas geändert wurde, schickt er nach Auftragsende das aktualisierte Programm auf dem gleichen Weg zurück.



DNC-Server zur Datenübertragung,
links steht die Programmliste, rechts das ausgewählte Programm

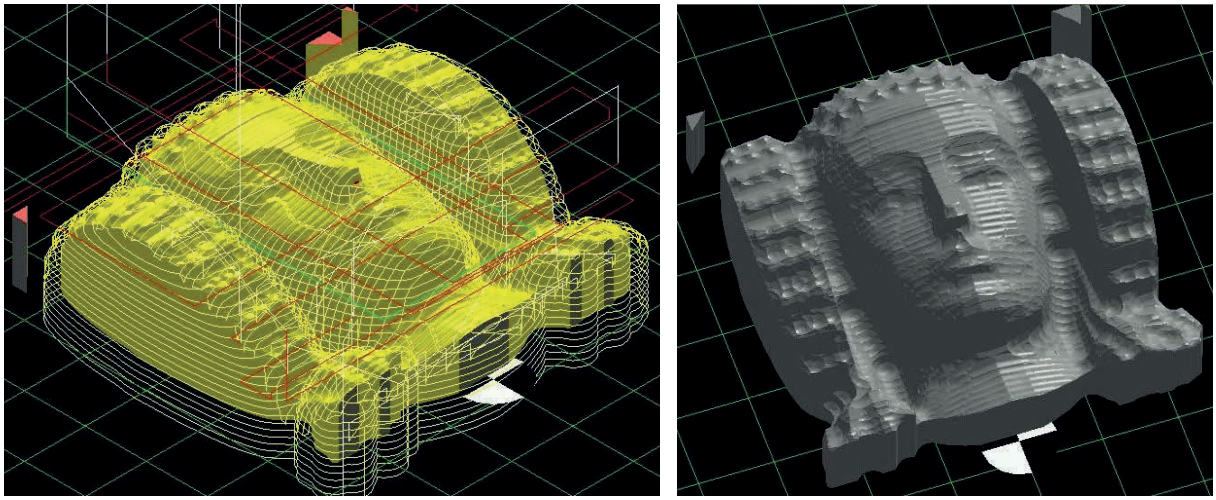
8.05 Freiformfräsen

Bisher wurden nur 2- und 2 ½ D-Fräswerkstücke behandelt. Kein Wunder, denn die Mehrzahl aller Funktionsteile bestehen aus den bekannten geometrischen Grundformen wie z. B. Quader, Pyramide, Zylinder, Kegel und Kugel. Sie sind leichter zu konstruieren und billiger herzustellen.

Aber es werden viele andere Dinge gebraucht, welche keine bekannten geometrischen Grundformen aufweisen. Die Gründe für die Abweichung sind neben der Funktionalität zum einen die Ergonomie (Anpassung an den Menschen) und ein spezielles Design, einfach der Schönheit wegen oder um sich von der Konkurrenz zu unterscheiden.

An einer Autokarosserie ist keine gerade Fläche zu finden, alles ist irgendwie gebogen und teilweise mit Knicken versehen. Aus Design- und Festigkeitsgründen. Um das von den Ingenieuren berechnen zu können, besteht die Karosserie aus vielen zusammengesetzten geometrischen Elementen, Ellipsen, Kreise, Parabeln, Hyperbeln, welche harmonisch ineinander übergehen sollen, um den Geschmack des Käufers zu treffen.

Wenn so ein komplexes Karosserieteil gepresst werden soll, muss eine Form mit Gegenform angefertigt werden. Die Kurven der Formen werden je nach gewünschter Toleranz in Einzelschritte zerlegt, z. B. in Geraden, jeweils 0,1 mm lang. Es ist leicht vorstellbar, dass hierbei CNC-Programme mit gewaltigen Datenmengen entstehen.
Dies ist natürlich nicht mehr manuell zu bewerkstelligen und wird am Rechner per CAM erledigt, siehe voriges Unterkapitel „Maschinelles Programmieren“.

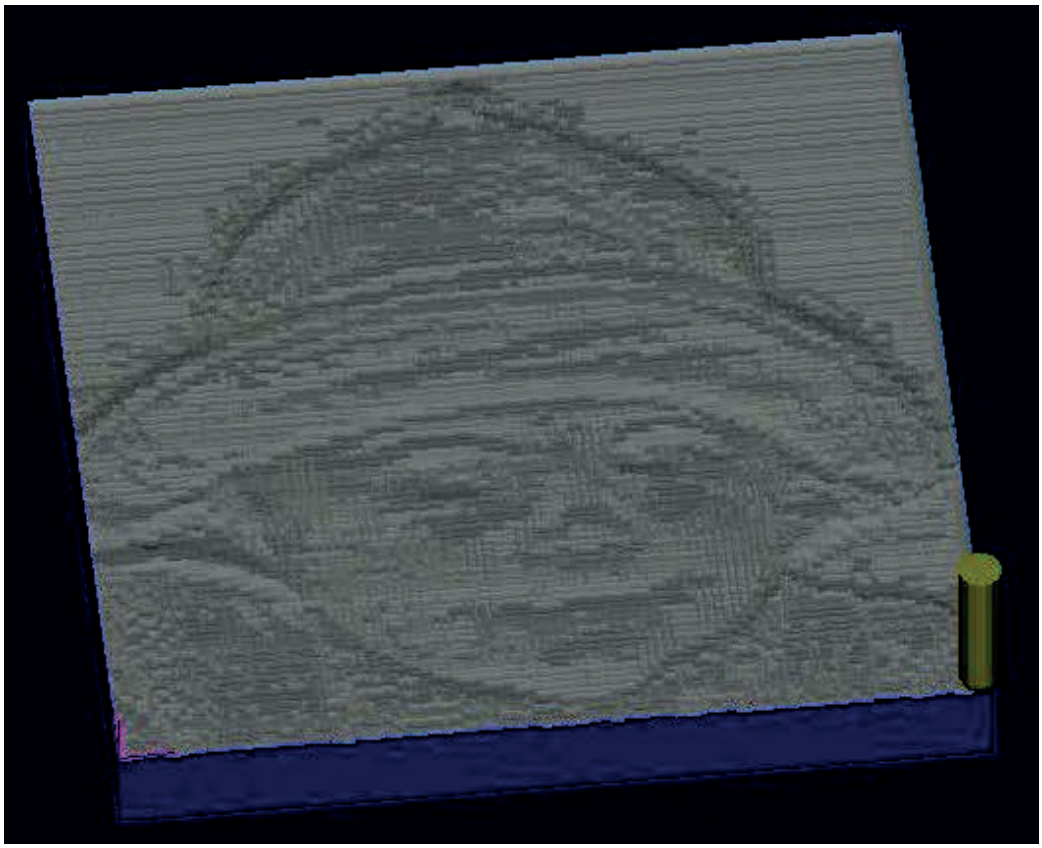


Freiformfräsen, mit CAM erzeugt: die berühmte „Dama de Elche“ aus Spanien. Vordere Hälfte mit und ohne Verfahrwege dargestellt. Fast 20.000 NC-Sätze (Zeilen). Wer die Auflösung noch feiner will, wird ein Vielfaches an Speicherplatz benötigen.

Sogar für Heimanwender gibt es teilweise kostenlose Programme im Internet, wo mit einigen einzugebenden Parametern aus einem vorhandenen 3D-Modell automatisch ein CNC-Programm generiert wird, ähnlich wie in einer CAM-Anwendung.

Die 3D-Modelle können heruntergeladen werden oder man kann sie selbst mit CAD oder einem 3D-Scanner erstellen, auch Fotos mit mehreren Ansichten eines Objekts können zu einem 3D- Modell zusammengesetzt werden.

Andere Programme nutzen die Helligkeitsunterschiede (Schatten) auf einem Bild um daraus verschiedene Tiefen darzustellen. So kann von einem Foto ein Relief gefräst werden, ebenfalls für den Heimgebrauch zu haben.

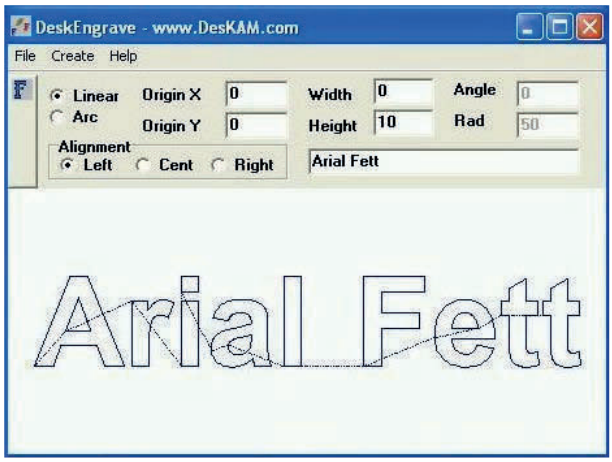


Baby mit Hut von einem Foto als Relief gefräst

8.06 Gravieren

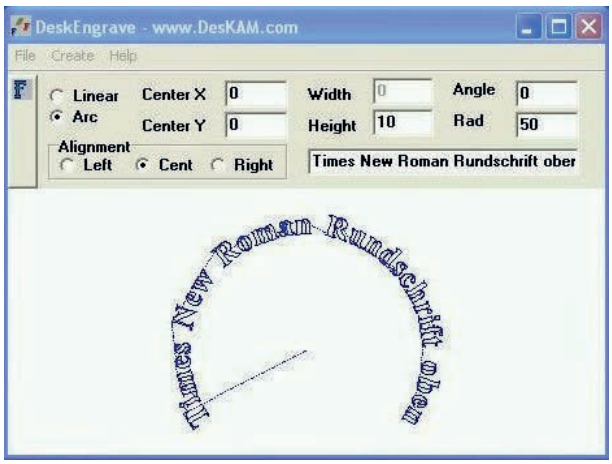
Gravieren ist eine häufig angewandte Methode zur Platzierung des Firmenlogos, einer Teile- oder Seriennummer, zur Verschönerung und viele andere Zwecke.
CNC-Maschinen sind dafür besonders gut geeignet. Einmal programmiert, entfällt das Nachfahren von Hand an Schablonen, wie beim manuellen Gravieren.

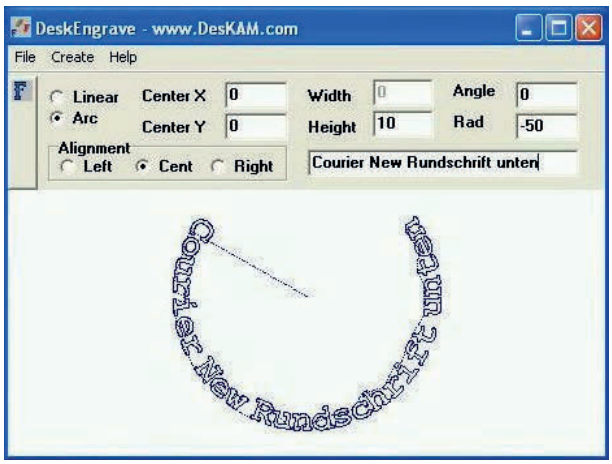
Gemäß Tabellenbuch kann man anhand der Größenverhältnisse der Normschrift mühsam Buchstabe für Buchstabe konstruieren und in G-Code programmieren.
Es geht natürlich auch einfacher: Häufig enthalten die CAM-Programme schon eine Gravierfunktion und wer das nicht hat, kann auf verschiedene einfache und kostenlose Gravierprogramme aus dem Internet zurückgreifen.
Eines davon, DeskEngrave von DesKAM, gibt es schon sehr lange und ermöglicht Gravuren mit allen auf dem Computer installierten Schriftarten (Fonts). Der Text kann sogar in einem Kreisbogen verlaufen. Dies dürfte eigentlich für die meisten Anwendungen ausreichen. Nach Eingabe des Textes, Auswahl der Schriftart und einiger Parameter wird das Ergebnis angezeigt und kann als G-Code ausgegeben werden.



Anfang der Programmausgabe vom Text „Arial Fett“:

```
G90 T0 F100,0
N0 G00 Z2,000
N1 G00 X0,000 Y0,000
N3 G01 Z-0,500 F50,0
N4 F100,0
N5 X3,711 Y9,541
N6 X5,752 Y9,541
N7 X9,580 Y0,000
N8 X7,480 Y0,000
N9 X6,650 Y2,168
N10 X2,832 Y2,168
N11 X2,041 Y0,000
N12 X0,000 Y0,000
N13 G00 Z2,000
N14 G00 X3,418 Y3,779
N16 G01 Z-0,500 F50,0
N17 F100,0
N18 X4,707 Y7,314
N19 X6,035 Y3,779
N20 X3,418 Y3,779
N21 G00 Z2,000
N22 G00 X10,508 Y6,914
N24 G01 Z-0,500 F50,0
N25 F100,0
N26 X12,207 Y6,914
N27 X12,207 Y5,928
N28 X12,314 Y6,094
N29 X12,422 Y6,250
N30 X12,520 Y6,387
N31 X12,617 Y6,514
N32 X12,715 Y6,611
N33 X12,813 Y6,709
N34 X12,900 Y6,787
N35 X12,988 Y6,846
N36 X13,076 Y6,904
N37 X13,174 Y6,943
N38 X13,262 Y6,982
N39 X13,359 Y7,012
N40 X13,457 Y7,041
usw. . .
```





Beschriftungen auf einem Kreisbogen sind ebenfalls möglich. Das Vorzeichen beim Radius bestimmt die Drehrichtung (Ausrichtung) der Schrift.
Times New Roman mit positivem Radius im Uhrzeigersinn
Courier New mit negativem Radius im Gegenuhrzeigersinn
Man kann somit z. B. für einen Rundstempel zwei Programme zusammensetzen, mit einer oberen Hälfte und einer unteren Hälfte, damit die Schrift der unteren Hälfte nicht auf dem Kopf steht.

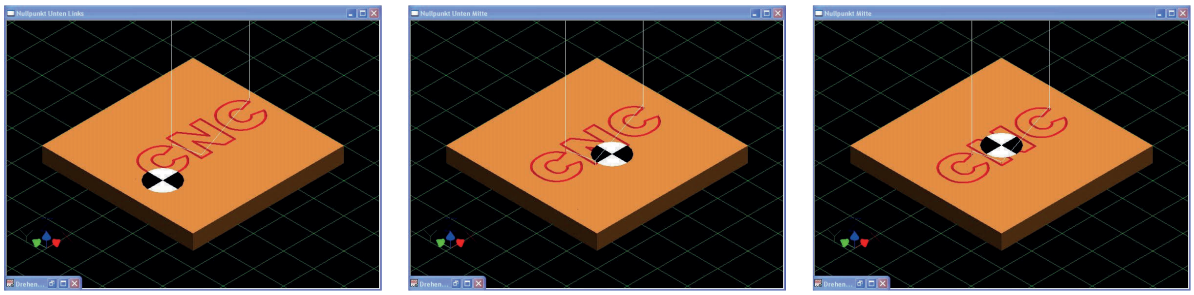
Darüber hinaus können auf CNC-Maschinen ab 4 Achsen Gravuren auf zylindrischen Flächen angebracht werden, falls die Steuerung mit geeigneter Software ausgestattet ist.

Siehe dazu auch Kapitel „Fortgeschrittene Programmierung“, Unterkapitel „Vierte Achse“ und „Komplettbearbeitung Drehmaschine“.

8.07 Drehen und Spiegeln

Komfortable Steuerungen ermöglichen die Drehung des Koordinatensystems um einen bestimmten Winkel, die Drehung von Fräsbildern um einen Punkt oder die Spiegelung von Elementen.
Diese Sonderfunktionen sind von Steuerung zu Steuerung verschieden zu handhaben und besitzen unterschiedliche, von den Herstellern festgelegte Befehle.
Viele CNC-Steuerungen besitzen jedoch keine Funktion zum Drehen oder Spiegeln.

Was aber, wenn man ein bestimmtes Fräsbild, z. B. ein Firmenlogo an verschiedenen Stellen in unterschiedlichen Positionen anbringen will, ohne es jedes Mal neu zu programmieren?
Beispielhaft wird hier der Schriftzug „CNC“ benutzt, weil er Geraden und Radien enthält und somit stellvertretend für alle Fräsbilder steht.
Wenn das Logo (Bild) schon programmiert vorhanden ist, jedoch nicht auf der gewünschten Position oder in der gewünschten Größe vorliegt, dann kann die Position durch Addition / Subtraktion der Verschiebung aller X- und Y-Werte (bei G17-Ebene) verändert werden. Auch mit einer neuen Nullpunktverschiebung G54 bis G59 wird eine Verschiebung erreicht.
Eine Größenänderung wird durch Multiplikation oder Division mit dem gewünschten Vergrößerungs- / Verkleinerungsfaktor aller X-, Y-, I- und J-Werte (bei G17-Ebene) erreicht.
Ein weiterer Vorteil wäre, wenn ein immer wiederkehrendes Fräsbild als Unterprogramm im Kettenmaß (G91) programmiert wird, um es überall frei zu platzieren.
Der Schriftzug soll leicht auf die gewünschte Position gesetzt werden können. Deshalb empfiehlt es sich oft, die Programmierung nicht von einer Ecke oder Kante aus, sondern von der Mitte des Bildes ausgehend zu wählen.



Position der Nullpunkte des Logos: Ecke links unten, Mitte Unterkante und im Zentrum des Schriftzuges.

Durch intelligente Vorgehensweise kann mit jedem beliebigen Editor, der die Funktion „Ersetzen“ unterstützt, eine Drehung oder Spiegelung erreicht werden, ohne Einsatz von teurer Software.

Wie geht das mit dem Editor?

Um Ihnen langwierige Versuche zu ersparen, hier die „Rezepte“ zur Drehung oder Spiegelung (für Negativformen).

Für eine Drehung um +90º müssen zuerst X mit Y und I mit J vertauscht werden.
Danach müssen alle Vorzeichen von X und I vertauscht werden.
Bei Programmierung der Radien mit R und R- entfallen natürlich die Umwandlungen von I und J.

Wenn wir im Editor den Programmtext auf dem Bildschirm haben, klicken wir Bearbeiten und dann Ersetzen an.

In das Fenster geben wir bei „Suchen nach:“ ein: X
Bei „Ersetzen mit:“ geben wir ein Sonderzeichen ein, z.B. $ (Dollarzeichen)
Danach „Alle ersetzen“ anklicken.
X ➔ $ (X wird zu Dollar)
Jetzt sind alle X durch $ ersetzt.

In das Fenster geben wir bei „Suchen nach:“ ein: Y
Bei „Ersetzen mit:“ geben wir X ein.
Danach „Alle ersetzen“ anklicken.
Y ➔ X (Y wird zu X)
Jetzt sind alle Y durch X ersetzt.

In das Fenster geben wir bei „Suchen nach:“ ein: $
Bei „Ersetzen mit:“ geben wir Y ein.
Danach „Alle ersetzen“ anklicken.
$ ➔ Y (Dollar wird zu Y)
Jetzt sind alle $ durch Y ersetzt.

Auf die selbe Weise ersetzen wir die anderen Werte:

I ➔ $
J ➔ I
$ ➔ J

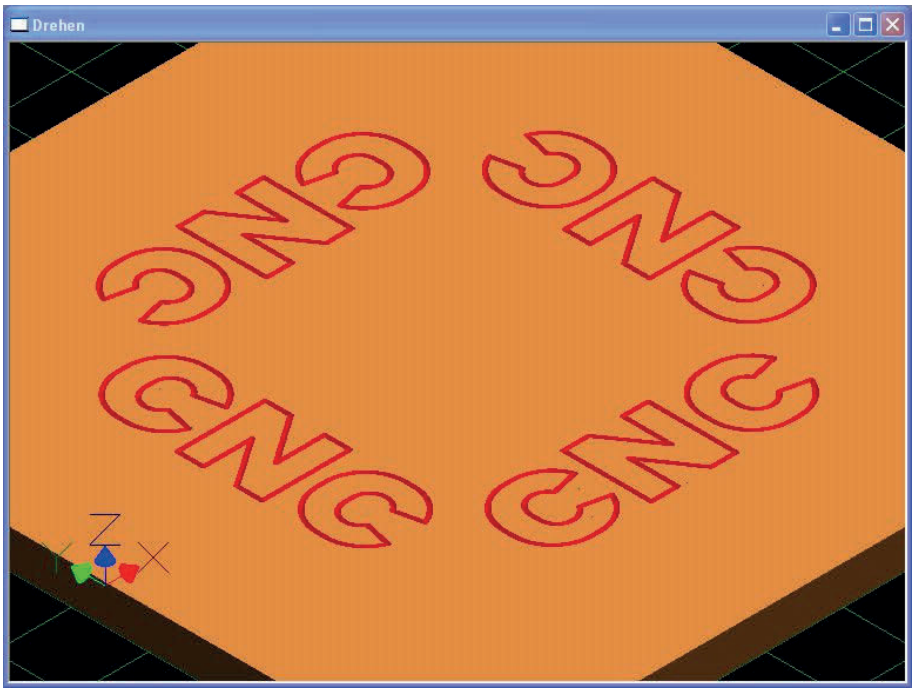
Vertauschen der Vorzeichen von X und I. Bitte beachten: hierbei immer die Minus-Werte zuerst nehmen, da sonst der Editor sämtliche X oder I auswählt.
Denn wenn z.B. zuerst das vorzeichenlose X ersetzt wird, dann gilt dies für alle X und X-. Wenn X- ersetzt wird, gilt dies nur für alle X-, die positiven Werte X bleiben vorerst unverändert.

X- ➔ $
X ➔ X-
$ ➔ X

I- ➔ $
I ➔ I-
$ ➔ I

Drehen

180º gedreht



+90º gedreht

-90º gedreht = 270º

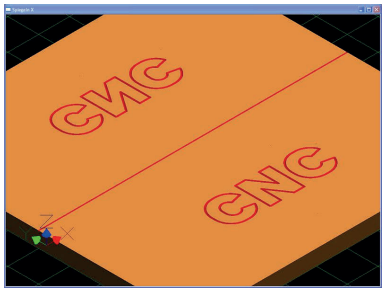
0º Original

Hier noch einmal die Drehungen für 90, 180 und 270 Grad

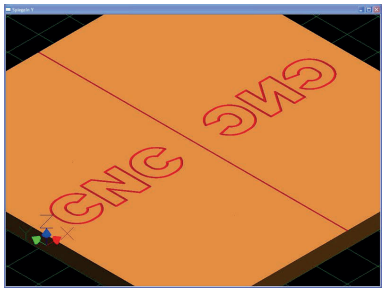
Um +90 Grad / -270 Grad gedreht	Um 180 Grad gedreht / an X und Y gespiegelt	Um –90 Grad / +270 Grad gedreht
X ➔ $	X- ➔ $	X ➔ $
Y ➔ X	X ➔ X-	Y ➔ X
$ ➔ Y	$ ➔ X	$ ➔ Y
I ➔ $	Y- ➔ $	I ➔ $
J ➔ I	Y ➔ Y-	J ➔ I
$ ➔ J	$ ➔ Y	$ ➔ J
X- ➔ $	I- ➔ $	Y- ➔ $
X ➔ X-	I ➔ I-	Y ➔ Y-
$ ➔ X	$ ➔ I	$ ➔ Y
I- ➔ $	J- ➔ $	J- ➔ $
I ➔ I-	J ➔ J-	J ➔ J-
$ ➔ I	$ ➔ J	$ ➔ J

Zusammenfassung:
Bei den Drehungen +90 und –90 Grad werden X mit Y und I mit J vertauscht.
Bei +90 Grad werden danach die Vorzeichen von X und I vertauscht.
Bei -90 Grad werden danach die Vorzeichen von Y und J vertauscht.
Bei 180 Grad werden nur sämtliche Vorzeichen von X, Y, I und J getauscht.
Die Drehung um 180 Grad entspricht ebenfalls einer Spiegelung an die X-Achse und Y-Achse gleichzeitig.
Bei Programmierung der Radien mit R entfallen die Umwandlungen von I und J.

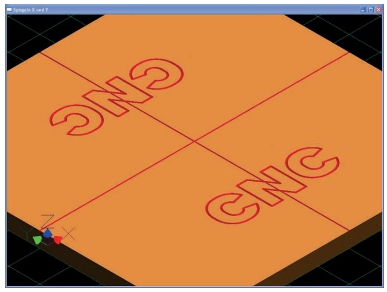
Spiegeln



An X-Achse gespiegelt



An Y-Achse gespiegelt

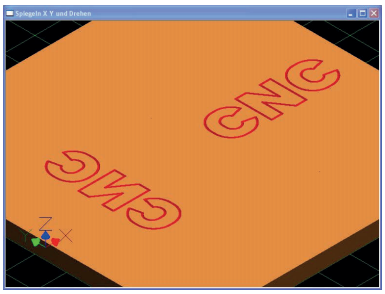


An X und Y gespiegelt

Zum besseren Verständnis: der Schriftzug wird entweder um die X- oder Y-Achse geklappt.
Bei je einer Achse erscheint der Text dann in Spiegelschrift.
Beim Spiegeln um 2 Achsen gleichzeitig wird die Spiegelschrift wieder aufgehoben.
Es wirkt wie eine Drehung um 180 Grad, siehe Spiegelung um X und Y.

An X-Achse gespiegelt	An Y-Achse gespiegelt	An X und Y gespiegelt / um 180 Grad gedreht
Y- ➔ $	X- ➔ $	X- ➔ $
Y ➔ Y-	X ➔ X-	X ➔ X-
$ ➔ Y	$ ➔ X	$ ➔ X
J- ➔ $	I- ➔ $	Y- ➔ $
J ➔ J-	I ➔ I-	Y ➔ Y-
$ ➔ J	$ ➔ I	$ ➔ Y
G2 ➔ $	G2 ➔ $	I- ➔ $
G3 ➔ G2	G3 ➔ G2	I ➔ I-
$ ➔ G3	$ ➔ G3	$ ➔ I
Bei Benutzung der Schneidenradiuskorrektur G41 und G42 vertauschen	Bei Benutzung der Schneidenradiuskorrektur G41 und G42 vertauschen	J- ➔ $
		J ➔ J-
		$ ➔ J

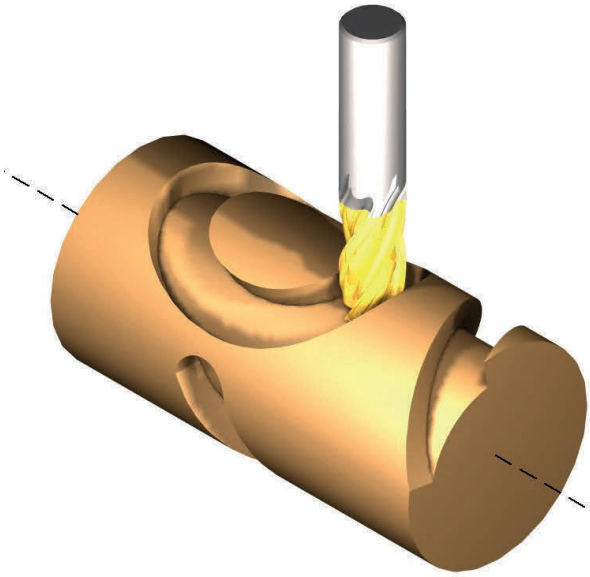
Beim Spiegeln an einer Achse werden die Vorzeichen von Y und J oder von X und I verändert und G2 mit G3 vertauscht, evtl. vorhandene G41 mit G42 vertauscht.
Beim Spiegeln an zwei Achsen werden die Vorzeichen von X, Y, I und J verändert, was auch wie eine Drehung um 180 Grad wirkt.
Bei Programmierung der Radien mit R entfallen die Umwandlungen von I und J.



Ein Resultat einiger Versuche:
Wenn X mit Y, I mit J und G2 mit G3 getauscht wird, dann wird der Schriftzug gespiegelt und gedreht.
Man könnte dies noch weiter führen, aber die bisher beschriebenen Möglichkeiten reichen im Allgemeinen aus. Alles andere führt nur zur Verwirrung.
Benutzen Sie einfach die hier dargestellten Tabellen.

Kapitel 9 - Fortgeschrittene Programmierung

9.01 Vorbemerkung
9.02 Mehrfachspannung
9.03 Pendelbearbeitung
9.04 Palettenwechsler
9.05 Vierte Achse
9.06 Vierte Achse Mehrfachspannung
9.07 Komplettbearbeitung Drehmaschine
9.08 Entgraten
9.09 Makros
9.10 Arbeitsvorbereitung
9.11 Allgemeine Programmierregeln
9.12 Einsatz von Robotern



9.01 Fortgeschrittene Programmierung

Dieses Kapitel wendet sich an den fortgeschrittenen Programmierer, der an weiteren Möglichkeiten und Programmiertricks interessiert ist. Die Vorgehensweisen werden hier zur allgemeinen Information aufgeführt und sollen lediglich Anhaltspunkte bieten. Die beschriebenen Möglichkeiten sind in starkem Maße von der vorhandenen Maschine und Steuerung abhängig und letztendlich kann hier nur die Bedienungsanleitung des Herstellers genaue Auskunft geben.

Die erweiterten Kenntnisse sind zwar nicht Bestandteil einer Grundausbildung in CNC-Technik können aber je nach Einsatzgebiet und Maschinenausstattung früher oder später auf den Programmierer zukommen.

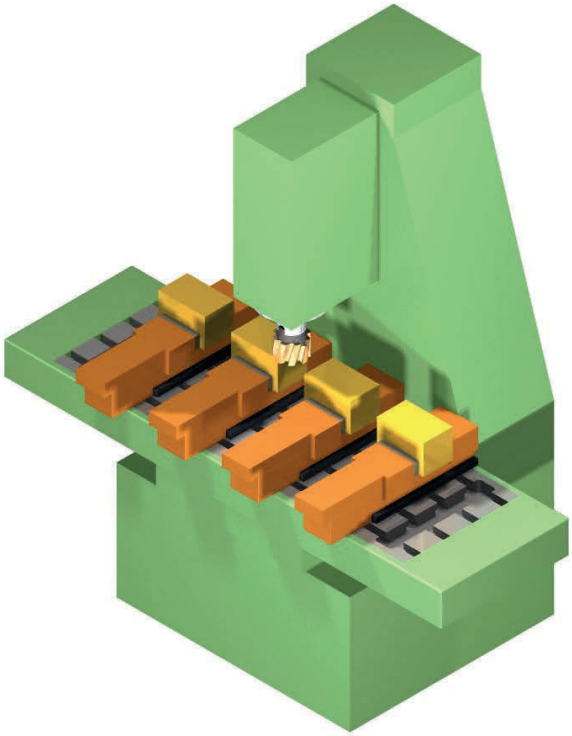
9.02 Mehrfachspannung

Zur Einsparung von Werkzeugwechselzeiten können bei genügend großem Arbeitsraum z. B. zwei Schraubstöcke auf den Maschinentisch gespannt werden. So können zwei Werkstücke nacheinander mit dem selben Werkzeug bearbeitet werden.
Beide Werkstücke werden aufgespannt und nach dem Start bearbeitet das erste Werkzeug nacheinander das erste und zweite Werkstück. Danach bearbeitet das zweite Werkzeug wieder das erste und zweite Teil, usw.
Dazu gibt man am einfachsten dem ersten Werkstück den Nullpunkt G54 und dem zweiten den Nullpunkt G55. Die Bearbeitung für jedes Werkzeug schreibt man in ein Unterprogramm. Im Hauptprogramm wird nur der Werkzeugwechsel, die Drehzahl und die Kühlmittelversorgung programmiert, dann der betreffende Nullpunkt und danach der Aufruf des entsprechenden Unterprogramms.
Falls mehr Werkstücke gleichzeitig aufgespannt werden und die Anzahl der verfügbaren Nullpunkte nicht ausrecht, kann auch mit der Funktion G52 von einem Werkstück zum nächsten „gesprungen“ werden. Dabei das Rücksetzen von G52 nicht vergessen.

Programmschema für Mehrfachspannung mit zwei gleichen Werkstücken

```
O0043 (Hauptprogramm)
N0005 G80 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 T1
N0015 M6
N0020 S400 M3
N0025 M8
N0030 G54 (Nullpunkt für Werkstück 1)
N0035 M98 P4301 (Unterprogramm für Werkzeug 1)
N0040 G55 (Nullpunkt für Werkstück 2)
N0045 M98 P4301 (Unterprogramm für Werkzeug 1)
N0050 G0 Z50 M9
N0055 M5
N0060 G28 G49
N0065 T2
N0070 M6
N0075 S800 M3
N0080 M8
N0085 G54 (Nullpunkt für Werkstück 1)
N0090 M98 P4302 (Unterprogramm für Werkzeug 2)
N0095 G55 (Nullpunkt für Werkstück 2)
N0100 M98 P4302 (Unterprogramm für Werkzeug 2)
N0105 G0 Z50 M9
N0110 M5
N0115 G28 G49
N0120 T3
N0125 M6
N0130 S650 M3
N0135 M8
N0140 G54 (Nullpunkt für Werkstück 1)
N0145 M98 P4303 (Unterprogramm für Werkzeug 3)
N0150 G55 (Nullpunkt für Werkstück 2)
N0155 M98 P4303 (Unterprogramm für Werkzeug 3)
N0160 G0 Z50 M9
N0165 M5
N0170 G28 G49
N0175 M30
```

```
O4301 (Unterprogramm für Werkzeug 1)
N0180 G0 X37 Y25
N0185 G43 Z2 H1
N0190 G1 Z-15 F160
......
N0195 G0 Z2
N0200 M99

O4302 (Unterprogramm für Werkzeug 2)
N0205 G0 X4 Y22
N0210 G43 Z2 H2
N0215 G1 Z-10 F160
......
N0220 G0 Z2
N0225 M99

O4303 (Unterprogramm für Werkzeug 3)
N0230 G0 X10 Y0
N0235 G43 Z2 H3
N0240 G83 Z-35 Q5 R2 F130
......
N0245 G80 Z2
N0250 M99
```



Mehrfachspannung mit 4 Schraubstöcken

9.03 Pendelbearbeitung

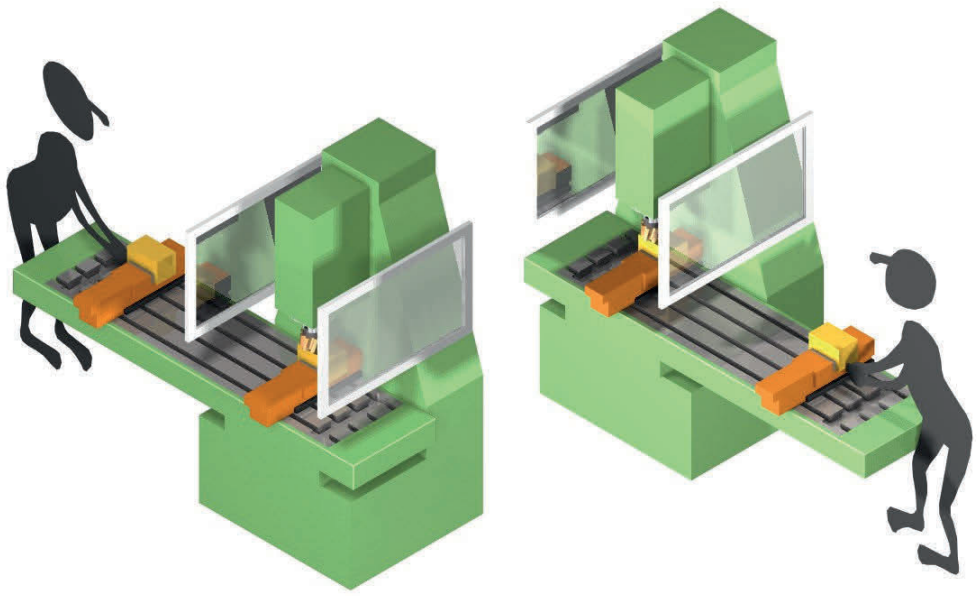
Wenn auf der Fräsmaschine ein genügend langer Maschinentisch vorhanden ist, kann links und rechts jeweils ein Schraubstock oder eine Spannvorrichtung angebracht werden. Das erste Werkstück wird an einem Ende komplett bearbeitet, während der Bediener am anderen Ende des Maschinentisches das Werkstück wechselt, um Stillstandszeiten zur Werkstückspannung zu sparen.
Dies ist kein vollwertiger Ersatz für eine Palettenwechseleinrichtung und ist mit Vorsicht zu genießen, denn es funktioniert nur bei zumindest teilweise offenen Maschinen. Zudem muss der Arbeitstisch so lang sein, dass der Bediener das Werkstück gefahrlos spannen kann und es muss sichergestellt werden, dass er dabei möglichst vor Spänen und Kühlmittel geschützt ist. Auch ruckartige Tischbewegungen im Eilgang können dabei für den Bediener gefährlich werden. Weil hierbei immer ein gewisses Gefahrenpotential bleibt, sollte eine Pendelbearbeitung die Ausnahme bleiben.
Im Programm legt man wieder zwei Nullpunkte fest, die im Hauptprogramm stehen, mitsamt dem Aufruf des Unterprogramms, welches die komplette Bearbeitung eines Werkstücks enthält.
Der Wechsel vom ersten zum zweiten Teil muss zwingend mit Programmstop M00 erfolgen. Der Bediener muss die nächste Bearbeitung genau so starten, wie ein Programm am Programmanfang. Es darf hierbei nicht automatisch von Teil 1 nach Teil 2 gewechselt werden.
Dies ist schlichtweg verboten!
Der Bediener könnte noch nicht fertig sein, weil irgendwas gerade klemmt, er wird abgelenkt oder wird zwischendurch von der Maschine weg gerufen.
Im Hauptprogramm stehen die zwei Nullpunkte, zum Beispiel gibt man dem ersten Werkstück rechts den Nullpunkt G54 und dem zweiten auf der linken Seite den Nullpunkt G55. Nach dem Aufruf des Nullpunktes erfolgt der Sprung ins Unterprogramm, welches die komplette Bearbeitung eines Werkstücks enthält.
Wenn das erste Teil mit G54 abgearbeitet ist, stoppt die Maschine mit M00 und erst wenn der Bediener fertig ist und den Startknopf drückt, wird das zweite Teil mit G55 gestartet. Ist dieses fertig, stoppt die Maschine mit M30 (Programmende).
Mit der Pendelbearbeitung ist es außerdem möglich, zwei verschiedene Werkstücke anzufertigen. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass durch stundenlanges, eintöniges Arbeiten die Konzentration des Bedieners erheblich nachlässt, was früher oder später zwangsläufig zu Fehlern führen muss.
Bei zwei gleichen Werkstücken gibt man dem ersten Werkstück den Nullpunkt G54 und dem zweiten den Nullpunkt G55. Die Bearbeitung für das komplette Werkstück kommt in ein Unterprogramm. Im Hauptprogramm wird nur der betreffende Nullpunkt und der Aufruf des Unterprogramms programmiert.

Programmschema für Pendelbearbeitung mit zwei gleichen Werkstücken

```
%
O0044 (Hauptprogramm)
N0005 G80 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 G54 (Nullpunkt für Werkstück 1)
N0015 M98 P4401 (Unterprogramm gesamtes Werkstück)
N0020 M0 (Programmstop)
N0025 G55 (Nullpunkt für Werkstück 2)
N0030 M98 P4401 (Unterprogramm gesamtes Werkstück)
N0035 M30 (Programmende)
%
```

```
%
O4401 (Unterprogramm gesamtes Werkstück)
N0040 T1 (Werkzeug 1)
N0045 M6
N0050 S400 M3
N0055 G0 X37 Y25 M8
N0060 G43 Z2 H1
N0065 G1 Z-15 F160
......
N0070 G0 Z50 M9
N0075 M5
N0080 G28 G49
N0085 T2 (Werkzeug 2)
N0090 M6
N0095 S800 M3
N0100 G0 X4 Y22 M8
N0105 G43 Z2 H2
N0110 G1 Z-10 F160
......
N0115 G0 Z50 M9
N0120 M5
N0125 G28 G49
N0130 T3 (Werkzeug 3)
N0135 M6
N0140 S650 M3
N0145 G0 X10 Y0 M8
N0150 G43 Z2 H3
N0155 G83 Z-35 Q5 R2 F130
......
N0160 G80 Z50 M9
N0165 M5
N0170 G28 G49
N0175 M99
%
```

Bei unterschiedlichen Werkstücken sind lediglich zwei verschiedene Unterprogramme zu erstellen und vom Hauptprogramm aus aufzurufen.



Pendelbearbeitung, Beschickung von links und von rechts

9.04 Palettenwechsler

Ein Palettenwechsler wird als zusätzliche Option an eine Maschine angebaut und mit einer vom Hersteller definierten M-Funktion (z. B. M60) angesteuert. Im Gegensatz zur Pendelbearbeitung wird nicht einfach der Arbeitstisch verfahren, sondern eine Palette mit dem aufgespannten Teil wird in den Arbeitsraum der Fräsmaschine transportiert.
Bei einem System dreht sich der Palettenwechsler um 180 Grad, so dass die neue Palette in den Arbeitsraum gelangt und die fertig bearbeitete Palette sich jetzt außerhalb des Arbeitsraumes in einer Zelle befindet, wo sie gefahrlos neu bestückt werden kann.
Bei einem anderen System wird die bearbeitete Palette auf einer Schiene in den gesicherten Bereich zum Wechseln der Werkstücke verfahren und die neu bestückte Palette auf ihre Arbeitsposition geschoben und festgeklemmt.
Der Bediener wechselt das Werkstück und drückt dann einen Knopf zur Quittierung, dass er fertig ist. Die Bearbeitung läuft bis zum Ende der aktiven Palette und erst danach wird die neu bestückte Palette automatisch eingewechselt, vorausgesetzt, dass vorher der Quittungsknopf gedrückt wurde. Der Bereich, wo der Bediener die Werkstücke wechselt, muss während der Drehbewegung gesichert sein. Dies kann durch eine mit Schalter gesicherte Tür oder mit einem sogenannten „Lichtvorhang“ gelöst werden. Ein Lichtvorhang sind mehrere Lichtquellen, die auf der anderen Seite von Sensoren überwacht werden. Wenn jemand z.B. mit der Hand hinein greift, wird einer oder mehrere dieser Strahlen unterbrochen und in diesem Falle die Drehbewegung des Palettenwechslers sofort gestoppt.
Es gibt ferner Palettenstationen wo mehrere Paletten vorher bestückt werden, die unterschiedliche Werkstücke beinhalten können, auch „Palettenbahnhof“ genannt. Dies ist vorteilhaft, wenn gleichzeitig eine ganze Baugruppe gefertigt werden soll, so dass man früher mit der Montage beginnen kann.
Durch die Bestückung von mehreren Paletten im Voraus kann die Maschine längere Zeit ohne menschlichen Eingriff arbeiten. Nach Schichtende gehen die Mitarbeiter nach Hause und die Maschine läuft alleine weiter, bis alle Paletten abgearbeitet sind.
Allerdings hat diese sogenannte „Geisterschicht“ auch Ihre Risken. Durch einen elektrischen Defekt oder durch Reibungshitze eines schadhaften Werkzeugs in Verbindung mit Schneidöl kann ein Brand entstehen. Es sollte eigentlich immer jemand in der Nähe sein, der im Notfall wenigstens weiß, wie man die betreffende Maschine ausschaltet, mit einem Feuerlöscher umgehen kann und ein Telefon zur Hand hat.

Programmschema für Palettenwechsler mit zwei Paletten mit je einem anderen Werkstück. Bei Start muss die bestückte Palette 1 bereits im Arbeitsraum sein.

```
O0045 (Hauptprogramm)
N0005 G80 G17 G90 G94 G40 G49
N0010 M98 P4501 (Unterprogramm gesamtes Werkstück 1)
N0015 M60 (Palettenwechsel, Palette 2 in Arbeitsraum)
N0020 M98 P4502 (Unterprogramm gesamtes Werkstück 2)
N0025 M60 (Palettenwechsel, Palette 1 in Arbeitsraum)
N0030 M30 (Programmende)

O4501 (Unterprogramm gesamtes Werkstück 1)
N0035 T1 (Werkzeug 1)
N0040 M6
N0045 S400 M3
N0050 G54 G0 X37 Y25 M8
N0055 G43 Z2 H1
```

```
N0060 G1 Z-15 F160
......
N0065 G0 Z50 M9
N0070 M5
N0075 G28 G49
N0080 T2 (Werkzeug 2)
N0085 M6
N0090 S800 M3
N0095 G0 X4 Y22 M8
N0100 G43 Z2 H2
N0105 G1 Z-10 F160
......
N0110 G0 Z50 M9
N0115 M5
N0120 G28 G49
N0125 T3 (Werkzeug 3)
N0130 M6
N0135 S650 M3
N0140 G0 X10 Y0 M8
N0145 G43 Z2 H3
N0150 G83 Z-35 Q5 R2 F130
......
N0155 G80 Z50 M9
N0160 M5
N0165 G28 G49
N0170 M99

O4502 (Unterprogramm gesamtes Werkstück 2)
N0175 T10 (Werkzeug 10)
N0180 M6
N0185 S1400 M3
N0190 G55 G0 X25 Y37 M8
N0195 G43 Z2 H10
N0200 G82 Z-10 P0.5 F150
......
N0205 G80 Z50 M9
N0210 M5
N0215 G28 G49
N0220 T11 (Werkzeug 11)
N0225 M6
N0230 S900 M3
N0235 G0 X22 Y4 M8
N0240 G43 Z2 H11
N0245 G1 Z-5 F100
......
N0250 G0 Z50 M9
N0255 M5
N0260 G28 G49
N0265 T12 (Werkzeug 12)
N0270 M6
N0275 S500 M3
N0280 G0 X0 Y10 M8
N0285 G43 Z2 H12
N0290 G1 Z-1 F200
......
N0295 G0 Z50 M9
N0300 M5
N0305 G28 G49
N0310 M99
```

9.05 Vierte Achse

Horizontale Bearbeitungszentren und Bohrwerke sind häufig standardmäßig mit einem Rundtisch als vierte Achse ausgestattet. Dessen Achse verläuft in der Regel parallel zur Y-Achse und wird daher als B-Achse bezeichnet.
Parallel zu X wäre es die A-Achse und parallel zu Z die C-Achse.

Man muss hier zwischen echter Achse und einem Rundteiltisch unterscheiden. Ein Rundteiltisch fährt wie ein Teilapparat nur eine bestimmte Winkelposition an und bleibt während der Bearbeitung des Werkstückes stehen. Eventuell ist zusätzlich ein Indexierstift eingebaut, der z. B. jeweils bei 5 Grad einrasten kann. Hiermit können rund um das stehende Werkstück ebene Flächen gefräst und Bohrungen angebracht werden. Aber es ist hierbei nicht möglich, dass die Teilvorrichtung mit anderen Achsen interpoliert um zum Beispiel eine Wendelnut (Schraubenlinie) um einen zylindrischen Körper zu erzeugen.
Ein Rundteiltisch indexiert bei den angegebenen Winkelgraden und wenn er eine ganze Umdrehung (360 Grad) ausgeführt hat, steht er wieder auf 0 Grad.
Wenn im Unterschied dazu bei einer echten Rundachse z. B. B3600 (3600 Grad) programmiert wird, führt die Achse 10 ganze Umdrehungen aus und bei Programmierung von B0 dreht sie wieder 10 Umdrehungen zurück.

In CNC-Maschinen sind vorwiegend lage- und geschwindigkeitsgeregelte Achsen als vierte oder fünfte Achse eingebaut. Dies sind echte Rundachsen. Auch zusätzlich montierbare NC-Rundtische werden als echte Rundachsen ausgeführt. Hiermit können beliebige Konturen (Ringe, Wendelnuten) gefräst und sogar Beschriftungen auf zylindrischen Flächen angebracht werden.
Beim Fräsen mit drehender Rundachse kann nicht einfach der Vorschub wie bei einer geradlinigen Bewegung berechnet werden.
Warum?

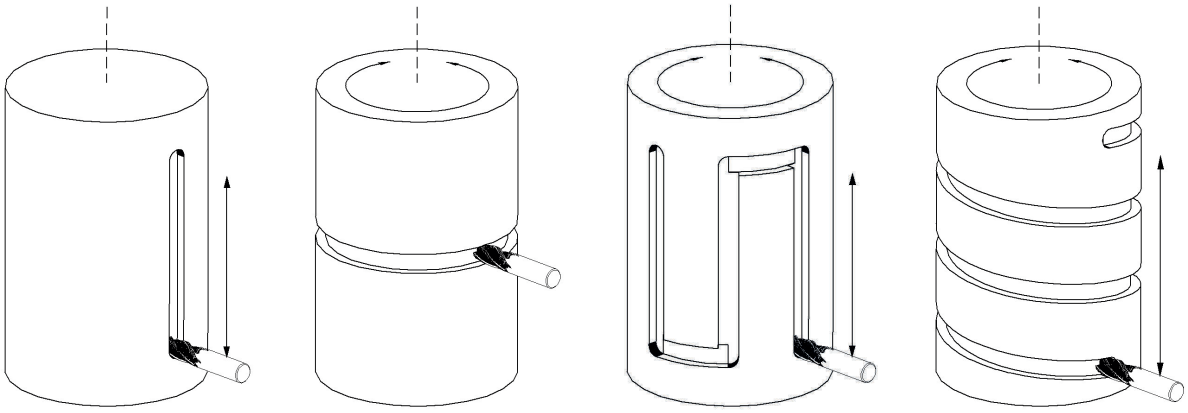
Bei einer Rundachse wird die Winkelgeschwindigkeit in Grad/Minute programmiert. Der effektive Vorschub, wie er an der Werkzeugschneide wirkt, hängt jedoch vom Radius bis zum Drehpunkt ab und muss deshalb extra berechnet werden.
Hierzu wurde festgelegt, dass von einem Umfang von 360mm (für 360 Grad) ausgegangen wird. Der Umfang von 360mm durch Pi geteilt, ergibt dann einen Referenz- oder Einheitsdurchmesser von 114,592mm oder 4,511 Zoll. Gerundet sind das 115mm oder 4 ½ Zoll.

Berechnung: Fr = Do/D*Fmm gerundet: Fr = 115/D*Fmm

Do = Einheitsdurchmesser 114,592mm
D = Werkstückdurchmesser in mm
Fr = Vorschubwert F für Rundachse
Fmm = Linearvorschub F in mm/min

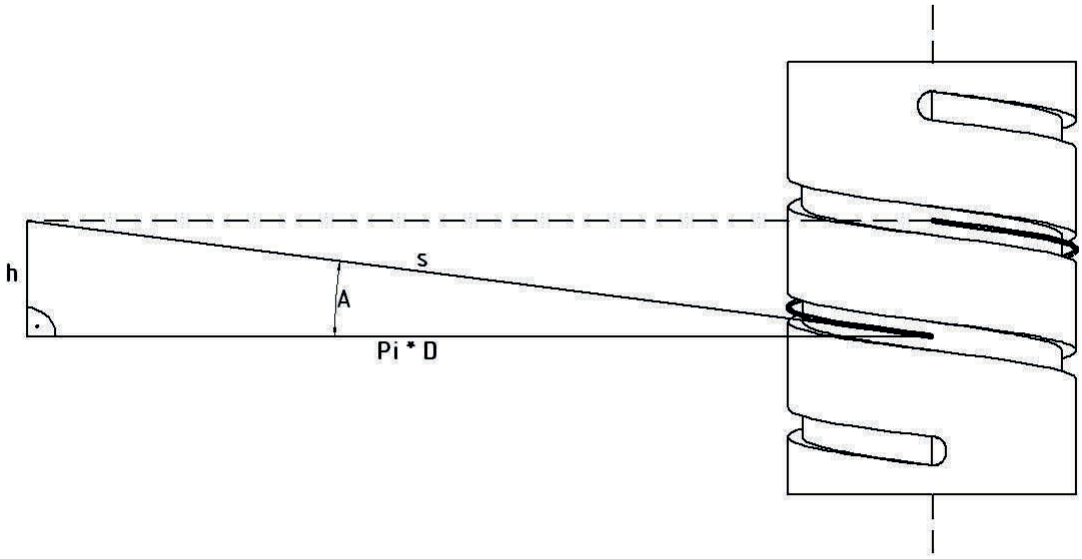
Beispiele: Gewählter Linearvorschub 150mm/min
Durchmesser 50: 115/50*150= 345 zu programmieren: F345
Durchmesser 100: 115/100*150= 172,5 zu programmieren: F173
Durchmesser 200: 115/200*150= 86,25 zu programmieren: F86

Unterschiedliche Bewegungsrichtungen an der Rundachse und damit zusammenhängende Vorschubwerte



1 Senkrechte Nut 2 Ringnut 3 Gemischt 4 Wendelnut

Für die unter 1 abgebildete senkrechte Nut ist der zu programmierende Vorschub gleich dem Linearvorschub, die 4. Achse steht still, es findet nur eine Linearbewegung statt.
Die umlaufende Ringnut bei 2 wird durch Drehung der 4. Achse gefräst, somit muss der Vorschub nach der vorher angegebenen Formel Fr = 115/D*Fmm berechnet werden.
Im 3. Bild wechseln sich Linearbewegung und Drehung ab, wofür jeweils unterschiedliche Vorschübe wie in den Abbildungen 1 und 2 anzuwenden sind.
Die im Bild 4 gezeigte Wendelnut wird mit zwei Achsen gleichzeitig gefräst (Geradeninterpolation der Y-Achse mit der B-Achse).



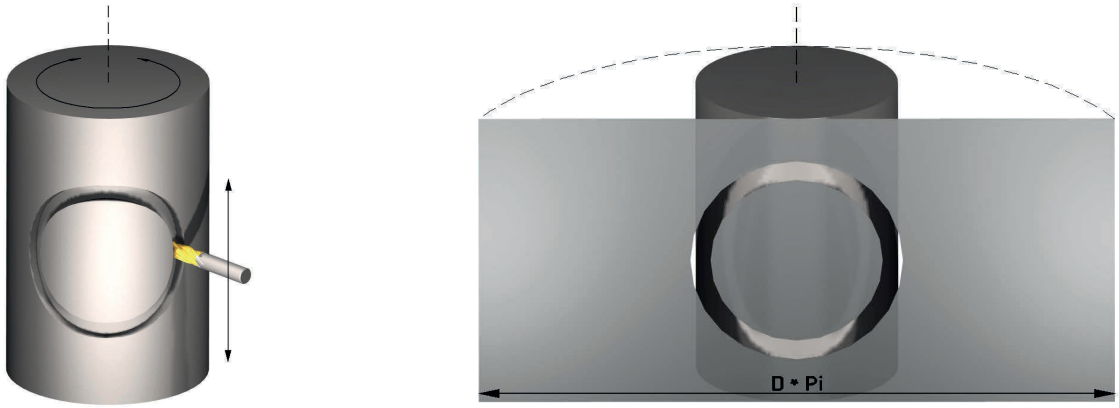
Wie auf der Abwicklung einer Wendel ersichtlich, muss dafür der Weg s zurückgelegt werden, der sich aus dem Umfang Pi * D und der Steigung h zusammensetzt.
Hierbei überlagern sich beide Bewegungen und der zu programmierende Vorschub errechnet sich nach folgender Formel:

$$Vprog = \frac{Vwerkz}{\sqrt{1 + \frac{D^2 - Do^2}{Do^2} * \cos^2 \alpha}}$$

Vprog = zu programmierender Vorschubwert
Vwerkz = nach den Erfordernissen des Werkzeuges gewählter Linearvorschub
D = Zylinderdurchmesser
Do = Einheitsdurchmesser ≈115mm
Beispiel: Vwerkz = 150mm/min (F150)
D = 100mm Durchmesser
α = 7,256 Grad (bei Steigung 40mm)

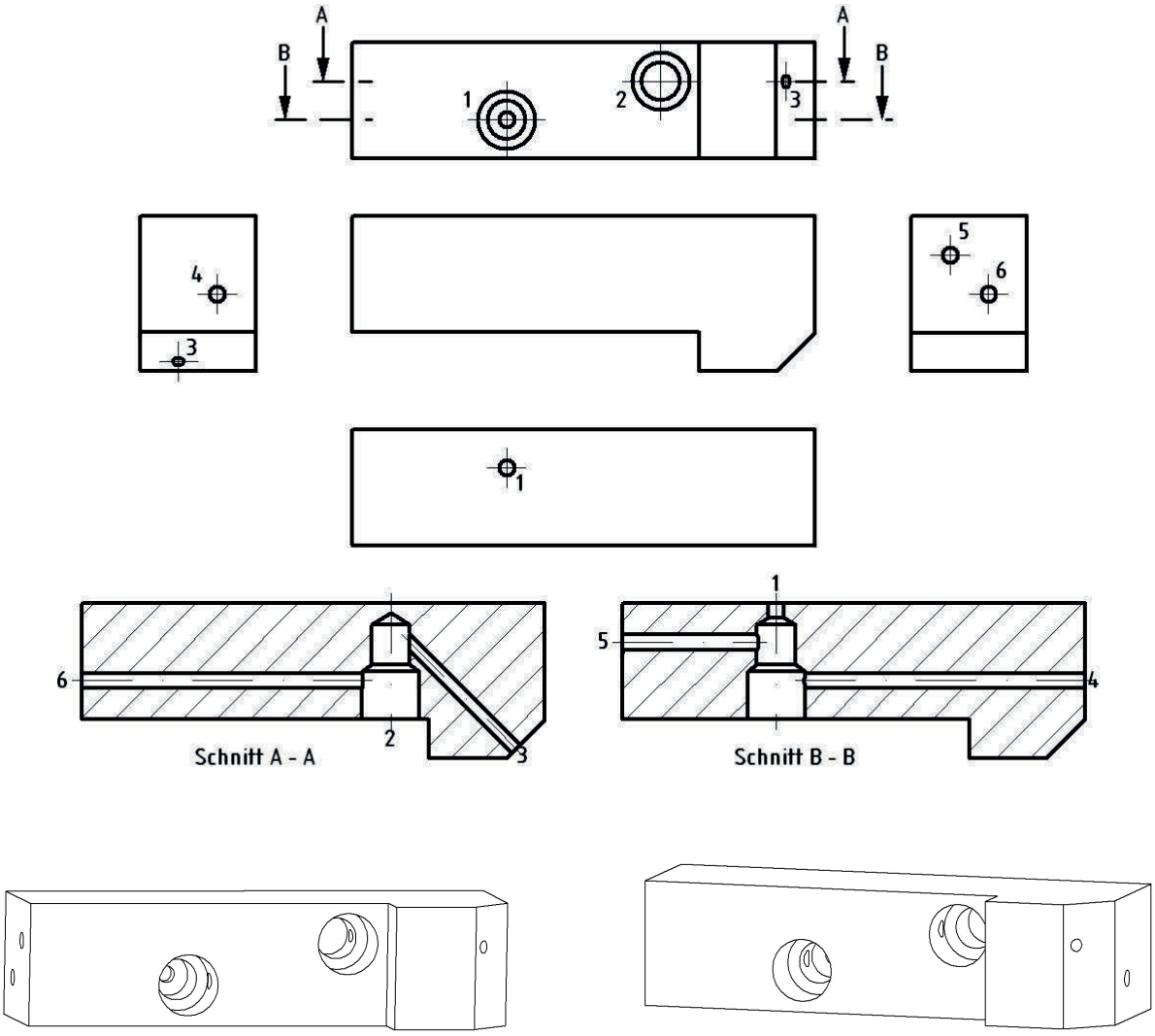
$$Vprog = \frac{150}{\sqrt{1 + \frac{10000 - 13131}{13131} * 0{,}984}} = 171{,}455 \approx 171\text{mm/min}$$

Kreisinterpolation auf einer zylindrischen Fläche



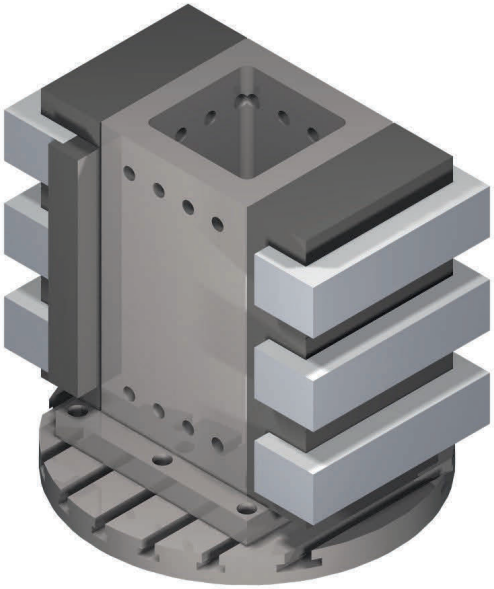
Mit Standardausstattung ist keine Kreisbewegung auf der Mantelfläche eines Zylinders möglich, wie auf dieser Abbildung dargestellt. Dazu wird ein spezielles Makro benötigt, welches die Kreisinterpolation in diesem Falle mit der Y-Achse und der Rundachse in Abhängigkeit vom Durchmesser ermöglicht. Falls dies nicht im Lieferumfang enthalten ist, bieten es die meisten Hersteller als Option an. Mit solch einer Software kann der Kreis dann programmiert werden, wie auf einer abgewickelten Mantelfläche. Es kann dazu einfach mit X und Y oder ersatzweise mit U und V programmiert werden, wie auf einer ebenen Fläche. Damit kann u. a. ein Text auf eine zylindrische Fläche graviert werden.

9.06 Mehrfachspannung Vierte Achse

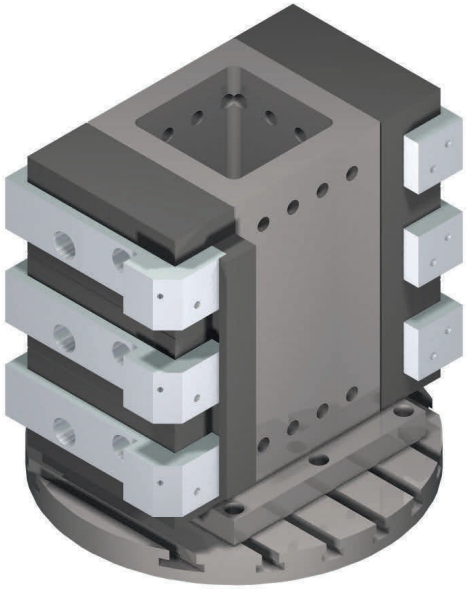


Ein Beispiel-Werkstück (Rohteil 120 X 40 X 30), welches von 3 Seiten bearbeitet werden soll. Auf Maßeintragungen wurde hier absichtlich verzichtet, weil nur der logische Ablauf untersucht werden soll. Es sind 2 Flächen zu fräsen, eine davon parallel, die andere unter einem Winkel von 45 Grad. Es gibt insgesamt 6 Bohrungen, davon 2 mit Stufen und die anderen 4 als Tieflochbohrungen, eine davon unter einem Winkel von 45 Grad.
Tipp: Bei einem solchen Teil kann man leicht die Bohrungen verwechseln. Es empfiehlt sich dazu, auf der Zeichnung die verschiedenen Bohrungen farbig zu markieren oder zu nummerieren, wie in diesem Beispiel. Man kann auch die Konturen und Bohrungspositionen mit Filzstift auf dem Rohteil anzeichnen.

Für Kleinteile bietet sich Mehrfachspannung auf 4-Achsen Bearbeitungszentren an, um Werkzeugwechselzeit zu sparen. Dabei haben sich vor allem Spannwürfel (Spanntürme) bewährt, wo mehrere Werkstücke zusammen aufgespannt werden. Diese Spannwürfel können entweder direkt mit den Werkstücken bestückt werden oder mit speziellen Spannplatten für verschiedene Teile ausgestattet werden. Dazu ist der Spannwürfel mit Befestigungsgewinden und Stiftlöchern zur Positionierung mit Zylinderstiften versehen.



0 Grad



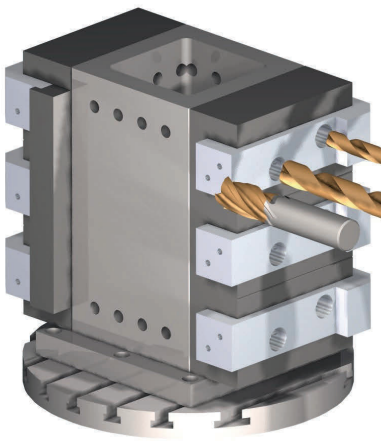
90 Grad

Auf dem linken Würfel sind 6 vorgearbeitete Rohteile aufgespannt, rechts sind die fertig bearbeiteten Werkstücke zu sehen. Hierzu werden zwei auswechselbare Spannplatten mit Anschlagleiste benutzt.
Wie man an der Form der Werkstücke sehen kann, ist hier keine Interpolation mit der 4. Achse nötig, sondern sie dient in diesem Beispiel lediglich zur Indexierung (Positionierung und Fixierung bei einer gewissen Gradzahl).

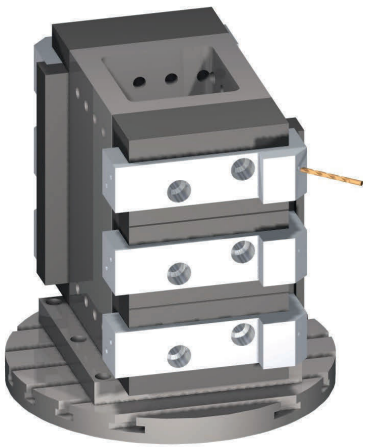
Vorgehensweise

Grundsatz:

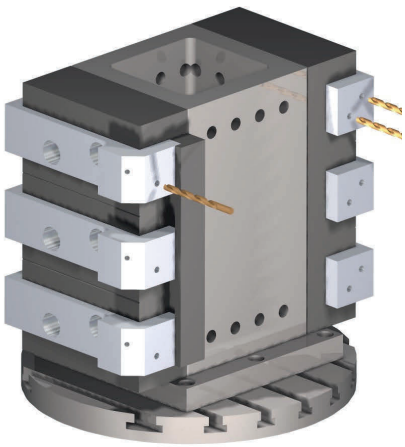
1. Möglichst wenige Werkzeugwechsel
2. Möglichst wenige Drehungen



0 und 180 Grad
gefräste Fläche und
Bohrungen Nr. 1 und 2
T1, T2, T3, T4, T5



45 und 225 Grad
45 Grad-Fläche und
Bohrung Nr. 3
T1, T2, T6



90 und 270 Grad
Tieflochbohrungen
Nr. 4, 5 und 6
T2, T5

Werkzeuge:

T1 Schaftfräser Ø 20 (Flächen fräsen)
1. Bei 0 Grad Flächen auf der langen Seite fräsen
2. Bei 45 Grad 45 Grad-Flächen an der Kante fräsen
3. Bei 180 Grad Flächen auf der langen Seite fräsen
4. Bei 225 Grad 45 Grad-Flächen an der Kante fräsen

T2 NC-Anbohrer Ø 12 (Bohrungen Nr. 1-6)
1. Bei 225 Grad Bohrung 3 (45 Grad) zentrieren
2. Bei 270 Grad Bohrungen 4, 5 und 6 zentrieren
3. Bei 180 Grad Bohrungen 1 und 2 zentrieren
4. Bei 90 Grad Bohrungen 4, 5 und 6 zentrieren
5. Bei 45 Grad Bohrung 3 (45 Grad) zentrieren
6. Bei 0 Grad Bohrungen 1 und 2 zentrieren

T3 Spiralbohrer Ø 10 für kleine (tiefere) Stufen (Nr. 1 und 2)
1. Bei 0 Grad Bohrungen 1 und 2
2. Bei 180 Grad Bohrungen 1 und 2

T4 Spiralbohrer Ø 15 für große Stufen (Nr. 1 und 2)
1. Bei 180 Grad Bohrungen 1 und 2
2. Bei 0 Grad Bohrungen 1 und 2

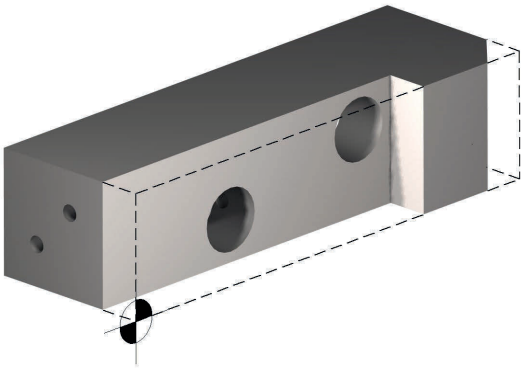
T5 Spiralbohrer Ø 4 für rechtwinklige Bohrungen (Nr. 1, 4, 5 und 6)
1. Bei 0 Grad Bohrung 1 durchbohren
2. Bei 90 Grad Bohrungen 4, 5 und 6
3. Bei 180 Grad Bohrung 1
4. Bei 270 Grad Bohrungen 4, 5 und 6

T6 Spiralbohrer Ø 3 für 45 Grad-Bohrung (Nr. 3)
1. Bei 225 Grad Bohrung 3 (45 Grad)
2. Bei 45 Grad Bohrung 3

Bei dieser Auflistung ist erkennbar, dass streng darauf geachtet wurde, auch beim Werkzeugwechsel unnötige Drehbewegungen zu vermeiden.

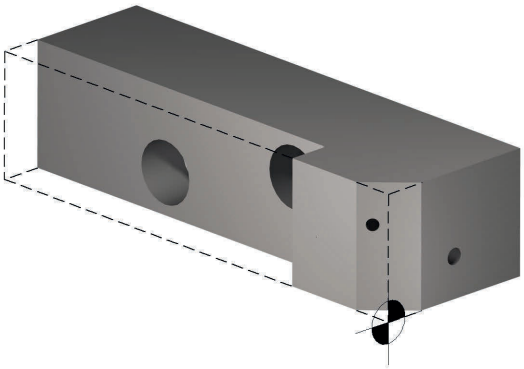
Die Bearbeitung an einem einzelnen Werkstück wird jeweils in einem Unterprogramm untergebracht. Nachdem die Werkzeuge und die Drehungen bekannt sind, müssen noch die Nullpunkte definiert werden. Dazu nehmen wir das obere Werkstück und verschieben dann jedes Mal mit G52 zum mittleren und zum unteren Teil.

Um das Programm übersichtlich zu gestalten und mehrfache Programmierung der selben Bearbeitung zu vermeiden, stehen die Werkzeugwechsel, die Ansteuerung der Hauptspindel, die Drehungen, die Nullpunkte und die Sprünge zum nächsten Werkstück im Hauptprogramm.

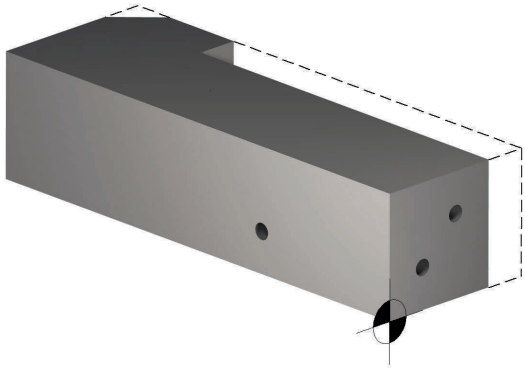


Nullpunkt G54 am Rohteil lange Seite links unten, Vorderkante
lange Fläche, Bohrung 1 und 2

Nullpunkt G55 an der Rohteilkante unten bei Stellung 45 Grad
45 Grad-Fläche und Bohrung 3

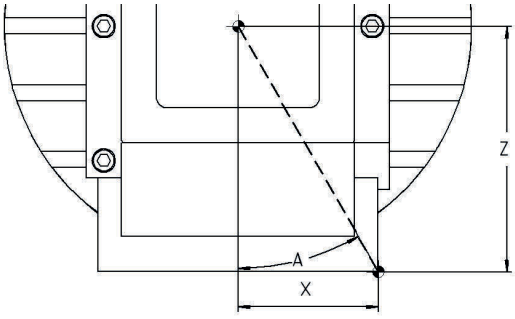


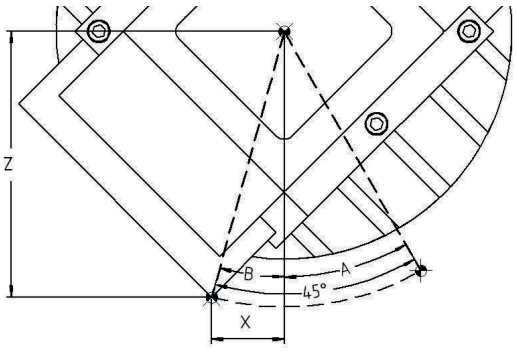
Nullpunkt G56 am Rohteil kurze Seite links unten
Bohrung 4



Nullpunkt G57 am Rohteil gegenüber kurze Seite links unten
Bohrung 5 und 6

Die X- und Z-Nullpunkte sind von der Mitte der Rundachse aus zu errechnen und der Y-Nullpunkt von der Planfläche des Rundtisches.
Der Nullpunkt G55 für die Werkstückkante bei 45 Grad errechnet sich nach folgendem Schema:





Bei 0 Grad, wie auf dem linken Bild, ist der Nullpunkt (Werkstückkante) bekannt oder auszumessen. Die gestrichelte Linie bildet mit X und Z ein Dreieck und ist somit die Hypotenuse (Radius des Nullpunktes). Sie kann mit dem Satz des Pythagoras oder mit den Winkelfunktionen errechnet werden. Der Winkel A ist mit den Winkelfunktionen auszurechnen.
Nach Drehung um 45 Grad entsteht ein neues Dreieck mit dem Winkel B (45º - A), die Hypotenuse ist bekannt und somit kann der neue X- und Z-Wert errechnet werden.

Programmschema für dieses Beispiel

```
%
O0023 (Hauptprogramm)
G80 G17 G90 G94 G40 G49

T1 (********** Werkzeug 1 **********)
M6
S400 M3
M8

G54 (Nullpunkt 1 für 0 Grad - oben)
G0 B0
M98 P2301 (große Fläche fräsen)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2301 (große Fläche fräsen)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2301 (große Fläche fräsen)
G0 Z50
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

G55 (Nullpunkt 2 für 45 Grad - oben)
G0 B45
M98 P2302 (Fläche 45 Grad fräsen)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2302 (Fläche 45 Grad fräsen)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2302 (Fläche 45 Grad fräsen)
G0 Z50
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

G54 (Nullpunkt 1 für 180 Grad - oben)
G0 B180
M98 P2301 (große Fläche fräsen)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2301 (große Fläche fräsen)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2301 (große Fläche fräsen)
G0 Z50
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

G55 (Nullpunkt 2 für 225 Grad - oben)
G0 B225
M98 P2302 (Fläche 45 Grad fräsen)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2302 (Fläche 45 Grad fräsen)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2302 (Fläche 45 Grad fräsen)
G0 Z50 M9
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

M5
G30 G49

T2 (********** Werkzeug 2 **********)
M6
S800 M3
M8
```

```
G55 (Nullpunkt 2 für 225 Grad - oben)
G0 B225
M98 P2304 (Bohrung 3 45 Grad zentrieren)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2304 (Bohrung 3 45 Grad zentrieren)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2304 (Bohrung 3 45 Grad zentrieren)
G0 Z50
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

G56 (Nullpunkt 3 für 270 Grad links - oben)
G0 B270
M98 P2305 (Bohrung 4 zentrieren)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2305 (Bohrung 4 zentrieren)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2305 (Bohrung 4 zentrieren)
G0 Z50
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

G57 (Nullpunkt 4 für 270 Grad rechts - oben)
(G0 B270)
M98 P2306 (Bohrung 5 und 6 zentrieren)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2306 (Bohrung 5 und 6 zentrieren)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2306 (Bohrung 5 und 6 zentrieren)
G0 Z50
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

G54 (Nullpunkt 1 für 180 Grad - oben)
G0 B180
M98 P2303 (Bohrung 1 und 2 zentrieren)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2303 (Bohrung 1 und 2 zentrieren)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2303 (Bohrung 1 und 2 zentrieren)
G0 Z50
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

G56 (Nullpunkt 3 für 90 Grad - links oben)
G0 B90
M98 P2305 (Bohrung 4 zentrieren)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2305 (Bohrung 4 zentrieren)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2305 (Bohrung 4 zentrieren)
G0 Z50
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

G57 (Nullpunkt 4 für 90 Grad - rechts oben)
(G0 B90)
M98 P2306 (Bohrung 5 und 6 zentrieren)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2306 (Bohrung 5 und 6 zentrieren)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2306 (Bohrung 5 und 6 zentrieren)
G0 Z50
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)
```

```
G55 (Nullpunkt 2 für 45 Grad - oben)
G0 B45
M98 P2304 (Bohrung 3 45 Grad zentrieren)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2304 (Bohrung 3 45 Grad zentrieren)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2304 (Bohrung 3 45 Grad zentrieren)
G0 Z50
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

G54 (Nullpunkt 1 für 0 Grad - oben)
G0 B0
M98 P2303 (Bohrung 1 und 2 zentrieren)
G52 Y-55 (Werkstück Mitte)
M98 P2303 (Bohrung 1 und 2 zentrieren)
G52 Y-110 (Werkstück unten)
M98 P2303 (Bohrung 1 und 2 zentrieren)
G0 Z50 M9
G52 Y0 (Verschiebung aufheben)

M5
G30 G49

T3 (kleine Stufen 1 und 2 bohren)

T4 (große Stufen 1 und 2 bohren)

T5 (Bohrung 1 durchbohren, 4, 5 und 6 tiefbohren)

T6 (Bohrung 3 45 Grad tiefbohren)

G28 G49
M30
%
%
O2301 (Unterprogramm große Fläche fräsen)
G0 X-12 Y21
G43 Z2 H1
G1 Z-10 F160
X90
Y31
Y-1
Y9
X-12
G0 Z2
M99

O2302 (Unterprogramm Fläche 45 Grad fräsen)
G0 X0 Y42
G43 Z2 H1
G1 Z-7.071 F160
Y-11
G0 Z2
M99

O2303 (Unterprogramm Bohrung 1 und 2 zentrieren)
G0 X40 Y10
G43 Z-8 H2
G82 Z-15.1 P0.1 F130
X80 Y20
```

```
G80 Z-8
M99

O2304 (Unterprogramm Bohrung 3 45 Grad zentrieren)
G0 X-5 Y20
G43 Z-5 H2
G82 Z-8.671 P0.1 F130
G80 Z-5
M99

O2305 (Unterprogramm Bohrung 4 zentrieren)
G0 X20 Y10
G43 Z2 H2
G82 Z-2.1 P0.1 F130
G80 Z2
M99

O2306 (Unterprogramm Bohrung 5 und 6 zentrieren)
G0 X10 Y10
G43 Z2 H2
G82 Z-2.1 P0.1 F130
X20 Y20
G80 Z2
M99

O2307 (Unterprogramm Kleine Stufe 1 und 2 bohren)
      .....

O2308 (Unterprogramm Große Stufe 1 und 2 aufbohren)
      .....

O2309 (Unterprogramm Bohrung 1 durchbohren)
      .....

O2310 (Unterprogramm Bohrung 4 tiefbohren)
      .....

O2311 (Unterprogramm Bohrung 5 und 6 tiefbohren)
      .....

O2312 (Unterprogramm Bohrung 3 45 Grad tiefbohren)
      .....

%
```

In diesem Beispiel wurde zum Werkzeugwechsel jedes Mal der zweite Referenzpunkt G30 angefahren, der nur in X, Y und Z wirksam sein sollte, damit die Position der Rundachse erhalten bleibt und nicht jedes Mal neu angefahren werden muss. Nur zum Programm Ende wurde G28 (erster Referenzpunkt) gewählt, wobei auch die Rundachse auf ihren Referenzpunkt fahren sollte. Da die Möglichkeiten des Anfahrens von Werkzeugwechselpunkt und Referenzpunkt je nach Steuerung oder Maschinentyp unterschiedlich gehandhabt werden, muss die exakte Vorgehensweise aus der Bedienungsanleitung entnommen werden.

Dem aufmerksamen Leser fällt auf, dass hier nur zwischen 0 und 360 Grad gearbeitet wurde. Selbstverständlich kann das Ganze genauso in Minus-Richtung erfolgen, was es jedoch nicht bequemer macht.

Ebenfalls ist auffällig, dass nicht einfach nur jedes Mal inkrementell um 45 oder 90 Grad in Plus-Richtung weitergeschaltet wurde, wie bei einem Teilapparat üblich. Bei einer echten Rundachse werden die Bewegungen addiert und nach Einsatz von 10 oder mehr Werkzeugen würde die Rundachse am Programm-Ende eine Menge Umdrehungen zurück machen, um endlich ihren Referenzpunkt zu erreichen.

Zuerst erscheint es unlogisch, dass in diesem Programm jedes Werkstück einzeln bearbeitet wird, anstatt beispielsweise mit einem größeren Fräser die gesamte Fläche für 3 Teile auf einer Seite zu bearbeiten, was eigentlich einfacher und wirtschaftlicher wäre.
Aber bei komplizierteren Werkstücken und bei hervorstehenden Spannmitteln wäre diese Vereinfachung schon nicht mehr sinnvoll oder unmöglich.
Ein anderer Grund ist das Einrichten mit Probelauf. Bei Serienteilen kommt dies immer wieder regelmäßig vor. Obwohl bekannt ist, dass das Programm stimmt, muss bei jeder Neueinrichtung zunächst ein Probelauf durchgeführt werden. In diesem Beispiel sind nur 6 Teile auf dem Würfel gespannt. Bei kleineren Teilen könnten z. B. 4 Platten je 5 Stück, also 20 Stück, aufgespannt sein. Ein Probelauf mit 20 oder mehr Werkstücken kann jedoch mehrere stressige Stunden dauern.
Dagegen empfiehlt es sich, ein extra Einrichtprogramm für ein einziges Werkstück zu schreiben. Mit einem Editor (Textverarbeitung) kann das schon vorhandene Hauptprogramm leicht umgeschrieben werden. Es sind lediglich die Verschiebungen G52 mit den nachfolgenden Unterprogrammaufrufen zu löschen und die abweichenden Drehungen zu beachten. Die Unterprogramme, welche die tatsächliche Bearbeitung beinhalten, bleiben unverändert bestehen. Dadurch ist gewährleistet, dass sich bei der eigentlichen Bearbeitung nichts ändert.

Beispiel für Einrichtprogramm 2399, aus Hauptprogramm 23 generiert.

```
%
O2399 (Einrichtprogramm)
G80 G17 G90 G94 G40 G49

T1 (********** Werkzeug 1 **********)
M6
S400 M3
M8

G54 (Nullpunkt 1 für 0 Grad - oben)
G0 B0
M98 P2301 (große Fläche fräsen)
G0 Z50

G55 (Nullpunkt 2 für 45 Grad - oben)
G0 B45
M98 P2302 (Fläche 45 Grad fräsen)
G0 Z50

M5
G30 G49

T2 (********** Werkzeug 2 **********)
M6
S800 M3
M8
```

```
G55 (Nullpunkt 2 für 45 Grad - oben)
G0 B45
M98 P2304 (Bohrung 3 45 Grad zentrieren)
G0 Z50

G56 (Nullpunkt 3 für 90 Grad links - oben)
G0 B90
M98 P2305 (Bohrung 4 zentrieren)
G0 Z50

G57 (Nullpunkt 4 für 270 Grad rechts - oben)
G0 B270
M98 P2306 (Bohrung 5 und 6 zentrieren)
G0 Z50

G54 (Nullpunkt 1 für 0 Grad - oben)
G0 B0
M98 P2303 (Bohrung 1 und 2 zentrieren)
G0 Z50

M5
G30 G49

T3 (kleine Stufen 1 und 2 bohren)

T4 (große Stufen 1 und 2 aufbohren)

T5 (Bohrung 1 durchbohren, 4, 5 und 6 tiefbohren)

T6 (Bohrung 3 45 Grad tiefbohren)

G28 G49
M30
%
```

Klemmung

Vor allem bei Schwerzerspanung muss berücksichtigt werden, dass manche Rundachsen eine Klemmung besitzen (wirkt ähnlich wie die Handbremse beim Auto). Dann muss vor jeder Drehbewegung die Klemmung gelöst und nach erfolgter Positionierung geklemmt werden. Wenn das nicht automatisch erfolgt, muss dies programmiert werden. Bei einigen Steuerungen ist z. B. Klemmung Ein (feststellen) M78 und Klemmung Aus (lösen) M79. Diese M-Funktion kann von Steuerung zu Steuerung abweichen.

Beispiel:

```
G54        (Nullpunkt 1 für 0 Grad - oben)
M79        (Klemmung Auf)
G0 B0      (Drehung ausführen)
M78        (Klemmung Zu)
M98 P2301 (große Fläche fräsen)
```

Maßabweichungen

Um das Ganze jetzt noch komplizierter zu machen, muss noch der Aufbau und die Messung der Position eines Rundtisches berücksichtigt werden. Meistens ist der Rundtisch mit einem Schneckenrad ausgestattet, welches von einer mit der Motorwelle verbundenen Schnecke angetrieben wird. Falls der Rundtisch eine direkte Winkelmessung, entweder mit Stahlmaßstab am Umfang oder hinten / unten mit Drehgeber direkt an der Achse hat, dann ist die Genauigkeit normalerweise kein Problem. Bei Rundtischen, wo jedoch der Drehgeber am Antriebsmotor angeflanscht ist, findet keine direkte Messung statt. Die Erfahrung zeigt hier, dass trotz aller Beteuerungen der Hersteller über Spielfreiheit, Vorspannung, usw. zwangsläufig kleine Abweichungen auftreten. Ist mit einem Messtaster leicht zu beweisen, wenn man den Spannwürfel von beiden Richtungen auf 0 fährt. Schon die Abweichung von nur einem 1/10 Grad bewirkt auf 100mm eine Differenz von fast 2/10mm. Die erste Möglichkeit, dass man die Differenz in den Maschinendaten mit der „Lose-Kompensation“ eliminieren kann, reicht oft nicht aus. Notfalls kann man sich so behelfen, dass man festlegt, alle Drehbewegungen immer von Minus nach Plus zu programmieren, von 0 Grad nach 90 Grad, von da aus nach 180 Grad, usw. Kein Problem, weil alles in Plus-Richtung geht. Jedoch von 180 Grad nach 90 Grad zurück, sollte zuerst 89 Grad und dann erst 90 Grad angefahren werden. Von 90 Grad nach 0 Grad zuerst auf –1 Grad und dann auf 0 Grad fahren, usw.

Anmerkung

Der Vollständigkeit halber wird darauf hingewiesen, dass hier keine Rücksicht darauf genommen wurde, ob der Ablauf fertigungstechnisch optimal ist, um die Datei nicht noch weiter aufzublähen. In diesem Beispiel wäre es eigentlich sinnvoll, nach dem Fräsen und Zentrieren zuerst alle Bohrungen mit kleinem Durchmesser anzufertigen. Eventuell zuerst mit Bohrer in Normallänge vorbohren und dann mit langem Bohrer fertigbohren. Und erst danach die zwei größeren Stufenbohrungen Nr. 1 und 2 fertigen. Hierdurch wird die Gefahr des Werkzeugbruchs beim Eintreten in eine andere Bohrung verringert. Und wer die Übergänge von einer Bohrung in die andere automatisch entgraten will, kann zum Schluss nochmals mit allen Bohrern in die Löcher hineinfahren, wo sich die Bohrungen treffen.

Was hier zunächst noch sehr umfangreich und kompliziert aussieht, wird nach einiger Zeit zur Routine. In vielen Unternehmen werden oft Werkstücke gefertigt, die sich ähnlich sind. Mit einem Editor oder einer Textverarbeitung kann ein Programmrumpf erstellt werden, der immer nach demselben Schema funktioniert. Dort werden dann nur noch die betreffenden Werte eingetragen und die Unterprogramme für die eigentliche Bearbeitung erstellt.

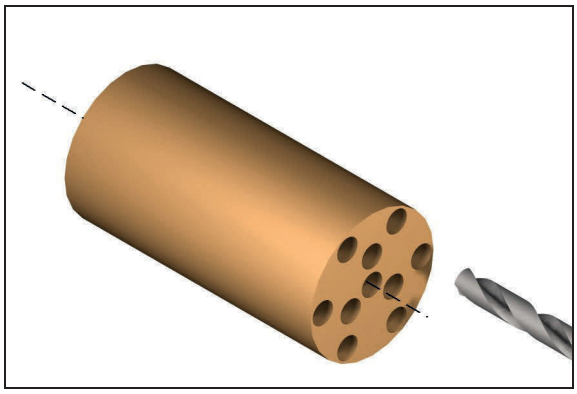
9.07 Komplettbearbeitung Drehmaschine

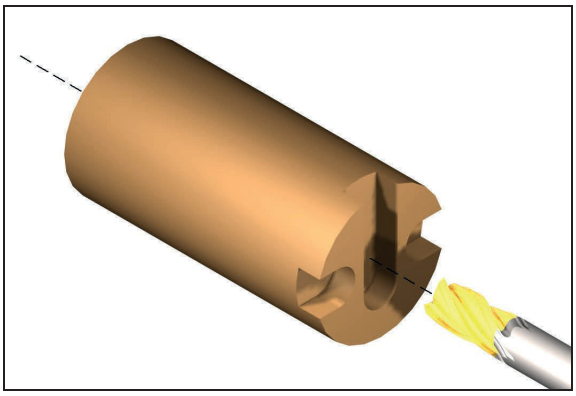
Nachfolgend verschiedene Möglichkeiten zum Bohren und Fräsen auf Drehmaschinen, welche angetriebene Werkzeuge benutzen.

Bearbeitung mit rotierenden Werkzeugen ohne Interpolation mit der C-Achse

Die einfachsten Anwendungen mit angetriebenen Werkzeugen sind das außermittige Bohren auf der Stirnseite und das Bohren am Umfang (auf der Mantelfläche). Dafür bieten manche Steuerungshersteller spezielle Zyklen an.

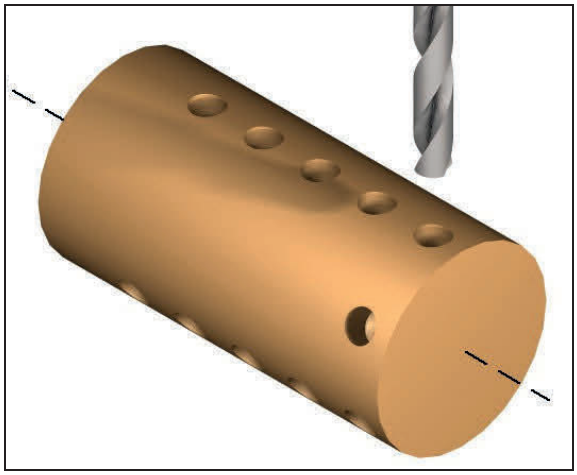
Bohren und Fräsen mit axial eingespannten Werkzeugen

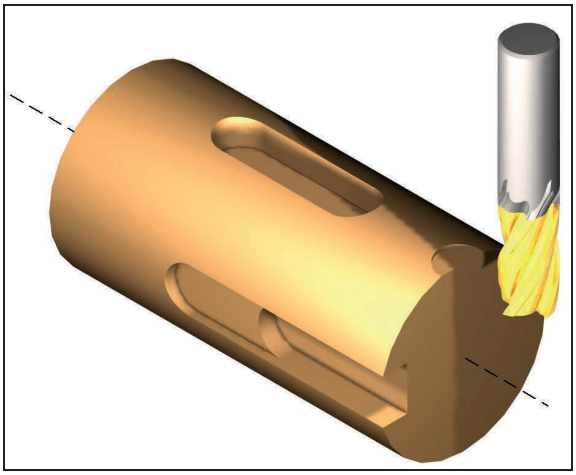




Axial Bohren. Die C-Achse positioniert auf eine bestimmte Gradzahl und bleibt während der Bearbeitung der einzelnen Bohrungen stehen. Die Positionierung der Bohrungen in der Höhe erfolgt mit der X-Achse. Die Tiefe der Bohrung wird mit der Z-Achse ausgeführt.
Axial Fräsen. Die C-Achse positioniert auf eine bestimmte Gradzahl und bleibt während der Bearbeitung der einzelnen Elemente stehen. Die Tiefenzustellung erfolgt mit der Z-Achse. Die senkrechten Fräswege werden mit der X-Achse ausgeführt.
Mit geschickter Programmierung und einem geeigneten Werkzeug können hierbei auch Nuten gestoßen werden und die Drehmaschine somit auch als „Stoßmaschine“ verwendet werden.

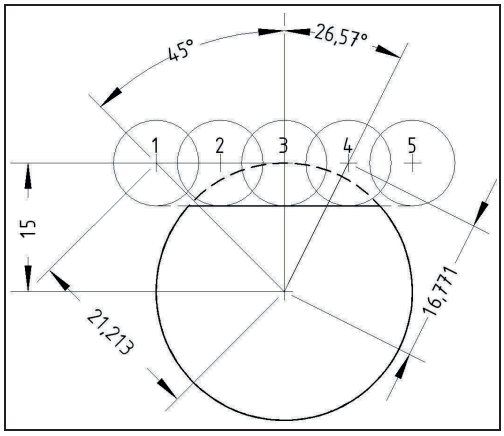
Bohren und Fräsen mit radial eingespannten Werkzeugen

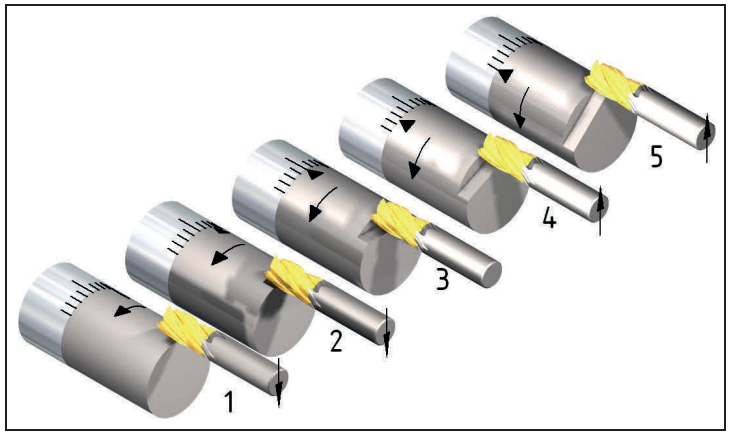




Radial Bohren. Die C-Achse positioniert auf eine bestimmte Gradzahl und bleibt während der Bearbeitung der einzelnen Bohrungen stehen. Die Positionierung der Bohrungen erfolgt mit der Z-Achse. Die Tiefe der Bohrung wird mit der X-Achse ausgeführt.
Radial Fräsen. Die C-Achse positioniert auf eine bestimmte Gradzahl und bleibt während der Bearbeitung der einzelnen Elemente stehen. Die Tiefenzustellung erfolgt mit der X-Achse. Die waagrechten Fräswege werden mit der Z-Achse ausgeführt.

Bearbeitung mit rotierenden Werkzeugen mit Interpolation mittels einer lage- und geschwindigkeitsgeregelten C-Achse

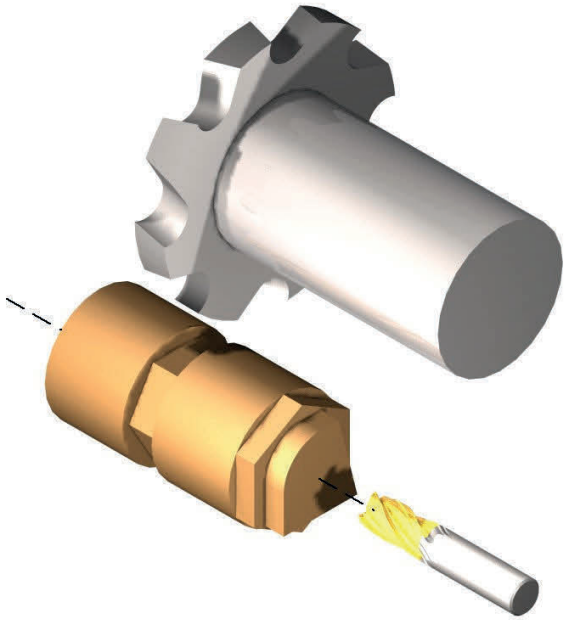




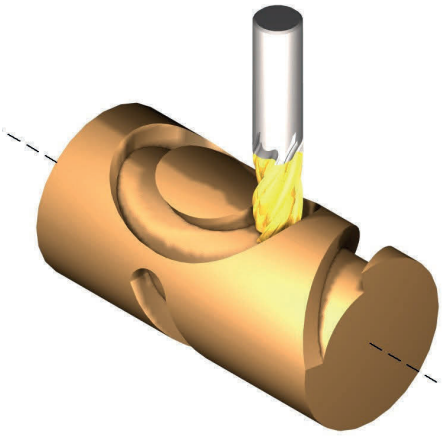
Beispiel für eine an einen Zylinder Ø 30 angefräste Fläche. Abstand zur Mittelachse 10mm, gefräst mit einem 10mm Schaftfräser. Auf dem linken Bild die Berechnung für einen hier gleichmäßig auf nur 5 Schritte aufgeteilten Fräsweg. Im rechten Bild das drehende Werkstück und der Fräser mit seinen Auf- und Ab- Bewegungen nur in der X-Achse.
Bei Punkt 1 und 5 (Stellung 45º und -45º) steht der Fräser auf seinem höchsten Punkt X21,213
bei Punkt 2 und 4 (Stellung 26,75º und –26,75º) auf dem Zwischenpunkt X16,771
bei Punkt 3 in der Mitte (Stellung 0º) auf seinem tiefsten Punkt X15mm über der Mitte.
Die hier errechneten X-Werte sind radiusbezogen und müssten bei der manuellen Berechnung für die Drehmaschine verdoppelt werden.

Man könnte die Interpolation der X- oder Z-Achse mit der C-Achse, wie im vorstehenden Beispiel in vielen kleinen Einzelschritten mühsam von Hand ausrechnen aber dies wäre zu aufwendig und kann leicht zu Fehlern führen.

Deshalb wird von den Steuerungsherstellern gewöhnlich eine Software angeboten, die automatisch die Interpolation mit der C- und X-Achse (radial) beziehungsweise mit der C- und Z-Achse (axial) ausführt. Damit kann man mit einer zusätzlich gedachten (virtuellen) Y-Achse programmieren wie an einer Fräsmaschine. Hierbei entfällt ebenfalls die sonst übliche auf den Durchmesser bezogene Programmierung.
Ebenfalls für zylindrisch umlaufende Gravuren auf der Mantelfläche geeignet.



Axial Fräsen auf Stirnfläche und Querschnitt (dort nur mit Scheibenfräser möglich). Die C-Achse interpoliert die Verfahrbewegungen mit der X-Achse. Die Tiefenzustellung erfolgt mit der Z-Achse. Die Fräswege werden mit der X- und der C-Achse ausgeführt. Mit geeigneter Software können die Fräswege, wie an einer Fräsmaschine, einfach in X und Y programmiert werden.



Radial Fräsen auf der Mantelfläche. Die C-Achse interpoliert die Verfahrbewegungen mit der Z-Achse. Die Tiefenzustellung erfolgt mit der X-Achse. Die Fräswege werden mit der Z- und der C-Achse ausgeführt. Mit geeigneter Software können die Fräswege, wie an einer Fräsmaschine, einfach in Y und Z programmiert werden.

Allerdings können auf der Mantelfläche nur Bohrungen angebracht werden, die zur Werkstückachse zeigen oder durch diese hindurchgehen. Genauso können auch keine außermittigen Fräsbearbeitungen (z. B. seitliches Wälzfräsen) durchgeführt werden. Dazu müsste die Drehmaschine noch eine echte (physische) Y-Achse besitzen. Es gibt spezielle Drehzentren, die mit einer solchen zusätzlichen Y-Achse ausgestattet, fast alle Fräsarbeiten ermöglichen.

Die Ausbaustufen für Drehmaschinen oder Drehzentren sind vielfältig. Es können mehrere Werkzeugrevolver angebracht sein, die gleichzeitig im Eingriff sein können. Dazu hat jeder Revolver eine „eigene“ Steuerung, der Programmierer programmiert jeden einzeln und muss dabei die Revolver miteinander so synchronisieren, dass die Werkzeuge zum richtigen Zeitpunkt im Eingriff sind.

Zur Komplettbearbeitung eines Werkstückes ist oft eine Bearbeitung der Rückseite notwendig. Dazu ist dann entweder eine Gegenspindel vorhanden oder wird in einen der Werkzeugrevolver eingesetzt. Die Gegenspindel ist wie ein in axialer Richtung

angetriebenes Werkzeug ausgeführt, besitzt jedoch eine passende Spanneinrichtung (Spannzange / Spannfutter), um das Werkstück zu greifen.
Typische Arbeitsfolge: Die Gegenspindel greift das vorgearbeitete Werkstück. Dann wird das Werkstück mit einem Werkzeug des zweiten Revolvers oder mit Hilfe eines zusätzlichen (hydraulischen) Abstechschlittens abgestochen. Der Revolver mit der Gegenspindel schwenkt dann das Werkstück in Richtung eines auf der Gegenseite angebrachten Revolvers, der nun die Rückseitenbearbeitung vornimmt. Nach Fertigstellung wird das Werkstück mit einem federnden Anschlag der Gegenspindel ausgestoßen, sobald sich die Spanneinrichtung öffnet.

Die Drehzentren sind normalerweise mit einem automatischen Spannfutter, einer Teileabnahme-Vorrichtung, einem automatischen Stangenmagazin, Späneförderer und weiteren Hilfsmitteln ausgestattet. Die dafür notwendigen Schaltbefehle werden mit speziellen, vom Hersteller festgelegten, M-Anweisungen programmiert.

9.08 Entgraten

Oft ist es wirtschaftlich sinnvoll, die Werkstücke bereits mit dem CNC-Programm auf der Maschine zu entgraten.

Hier können folgende Verfahren zum Einsatz kommen:

- Die Kanten der Werkstücke werden mit einem 45 Grad Werkzeug entgratet. Dazu eignen sich auch bedingt NC-Anbohrer oder Kegelsenker.
- Bei Bohrungen, welche ineinander übergehen, nochmals mit dem Bohrer in die betreffenden Löcher hineinfahren, um die Grate zu entfernen.
- Auch der Einsatz von rotierenden Bürsten kann in manchen Fällen angebracht sein. Im Allgemeinen müssen dazu Versuche gefahren werden, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erreichen.

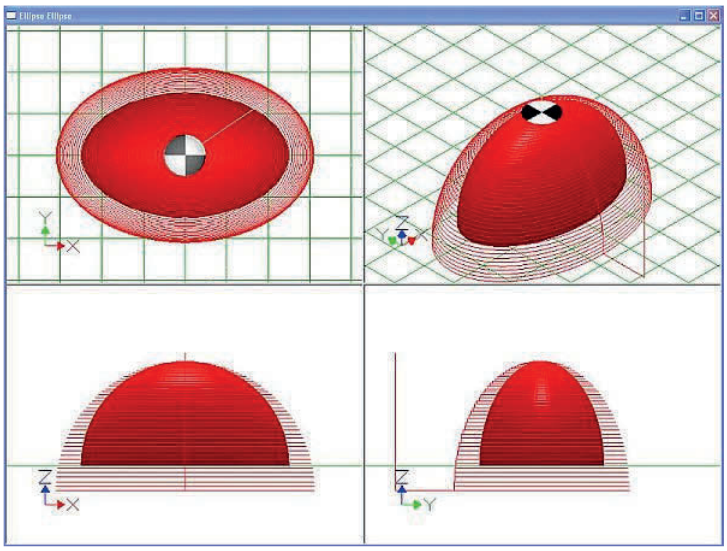
Reinigen

In einigen Fällen kann es erforderlich sein, dass Späne oder Kühlmittel automatisch von den Werkstücken oder Werkstückaufnahmen entfernt werden müssen, z. B. wenn ein Roboter die Werkstücke wechseln soll.

- Späne lassen sich von den Werkstücken abspülen, indem man ein Programmteil schreibt, wobei nur das Kühlmittel eingeschaltet wird und das Werkstück unter dem Kühlmittelstrahl langsam hin- und hergefahren wird.
- Kühlmittel und Späne können abgeblasen werden, wenn mit einer freien M-Funktion ein zusätzlich montiertes Druckluft-Ventil angesteuert werden kann. Im Maschinenraum wird dazu an geeigneter Stelle ein Rohr für die Druckluft montiert und das Werkstück ebenfalls auf unterschiedliche Positionen verfahren. Der Strahl zum Abblasen sollte so gerichtet sein, dass die Späne nicht in die Maschinenführungen, Messeinrichtungen und Werkzeugaufnahmen eindringen können oder unkontrolliert umherfliegen.

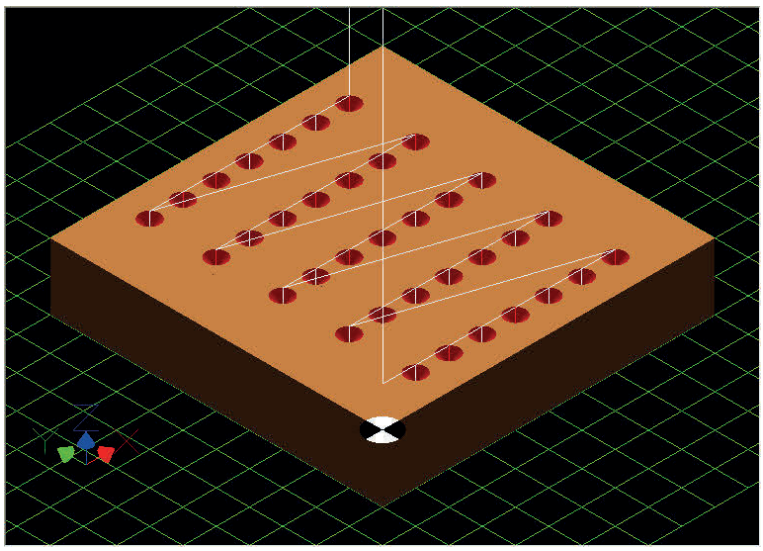
9.09 Makro- / Parameterprogrammierung

Ein Makro ist ein universelles Unterprogramm für häufig wiederkehrende Arbeitsfolgen. Dazu können innerhalb des Makros Rechenbefehle, Vergleiche und Verzweigungen ausgeführt werden. Die Bohr-, Fräs- und Drehzyklen der Hersteller sind auch solche Makros. Verschiedene Steuerungen erlauben, dass der Anwender eigene Makros erstellen kann, die universell einsetzbar sind, so dass dann lediglich einige Parameter für den jeweiligen Anwendungsfall geändert werden müssen.
Die Makroprogrammierung ist für fortgeschrittene Programmierer ein mächtiges Werkzeug, denn damit können auch Dinge verwirklicht werden, welche die Steuerung sonst nicht kann: Spiralen, Ellipsen, Parabeln usw. und dazu beliebige eigene Zyklen. Einige Steuerungshersteller bieten zusätzlich eine Reihe von Standardmakros an, allerdings in der Regel zu sehr hohen Preisen.



3D-Ellipse mit Makro programmiert

Jede Steuerung hat ihre eigene Form, wie die Makros programmiert werden müssen. Deshalb kann hier allgemein nur gesagt werden, dass die Rechenfunktionen, Vergleiche und Verzweigungen bei allen Steuerungen ähnlich vorhanden sind.
Die genaue Vorgehensweise muss jedoch immer der Bedienungsanleitung entnommen werden.
Beispielsweise werden je nach Steuerung die Parameter mit #, R, L oder anderen Zeichen benannt. Dazu sind bei manchen Steuerungen gewisse Parameternummern mit festgelegten Funktionen belegt oder nur für bestimmte Bereiche zugelassen.
Ältere Steuerungen lassen nur eine Rechenoperation pro Zeile zu, neuere erlauben komplexe Operationen in derselben Zeile.
Auch der Aufruf des Makros aus einem CNC-Programm heraus, oder als Unterprogramm ist von Steuerung zu Steuerung verschieden.



Bohrbild mit Makro erstellt

Beispiel für ein einfaches Makro:

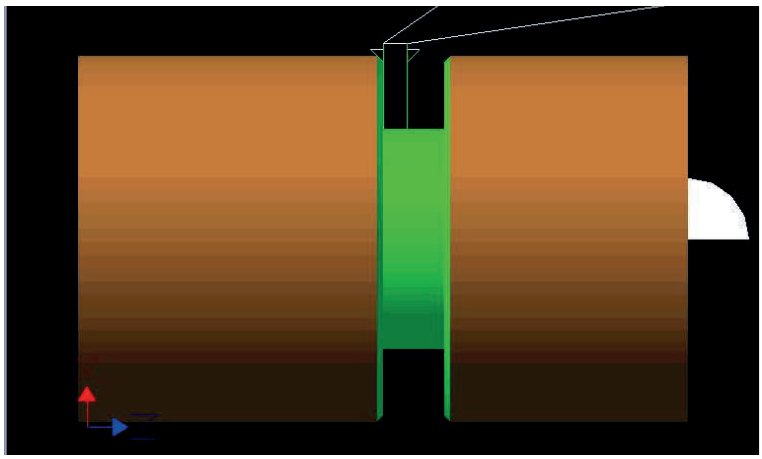
Aufruf im Hauptprogramm:

```
G82 X...  Y...  R02 1  R03 -10  R04 0.5
```

Unterprogramm:

```
L8200      (Unterprogramm-Nr.)
G0 ZR02    (gehe mit Eilgang auf Z=R02, entspricht Z1mm)
G1 ZR03    (gehe mit Vorschub auf Z=R03, entspricht Z-10mm)
G4 XR04    (mache Verweilzeit X=R04, entspricht X0.5 Sekunden)
G0 ZR02    (gehe mit Eilgang auf Z=R02, entspricht Z1mm)
M17        (Ende Unterprogramm)
```

L8200 ist zum Beispiel ein ganz gewöhnlicher Bohrzyklus G82 (Senken), wie er in der Steuerung Sinumerik 3 verwendet wird.



Makro für Einstich mit Fasen beim Drehen

Nachfolgend ein kleiner Auszug für die Makroprogrammierung der Steuerungen Fanuc 0M und 0T, welche auch in einigen CNC-Simulatoren lauffähig sind.

Variablenzuweisung:

lokale Variablen #1 bis #33, die nur im Makro verwendet werden
globale Variablen #100 bis #149, die mit Steuerung Aus gelöscht werden

Beispiel: #5=22.5

Rechenoperationen:

= ist gleich oder Zuweisung
+ Addition
- Subtraktion
* Multiplikation
/ Division

Beispiel: #109=#105+#108 (Anm.: Das Ergebnis steht jeweils links,
oder #123=[#110-3]*6 hier: #109, beziehungsweise #123)

Mathematische Funktionen:

SIN	Sinus
COS	Cosinus
TAN	Tangens
ROUND	Runden, abrunden, ab 5 aufrunden
FUP	Aufrunden
FIX	Dezimalstellen unterdrücken

Steuerbefehle:

IF	wenn
GOTO	gehe zu / Sprung nach
WHILE	während / solange
DO	mache / führe eine Schleife aus
END	Ende einer Schleife

Bedingungen:

EQ	**Eq**ual	=	ist gleich
NE	**N**ot **e**qual to	≠	ungleich
GT	**G**reater **t**han	>	größer als
GE	**G**reater than or **e**qual to	>=	größer oder gleich
LT	**L**ess **t**han	<	kleiner als
LE	**L**ess than or **e**qual to	<=	kleiner oder gleich
ERR	**Err**or		Fehler

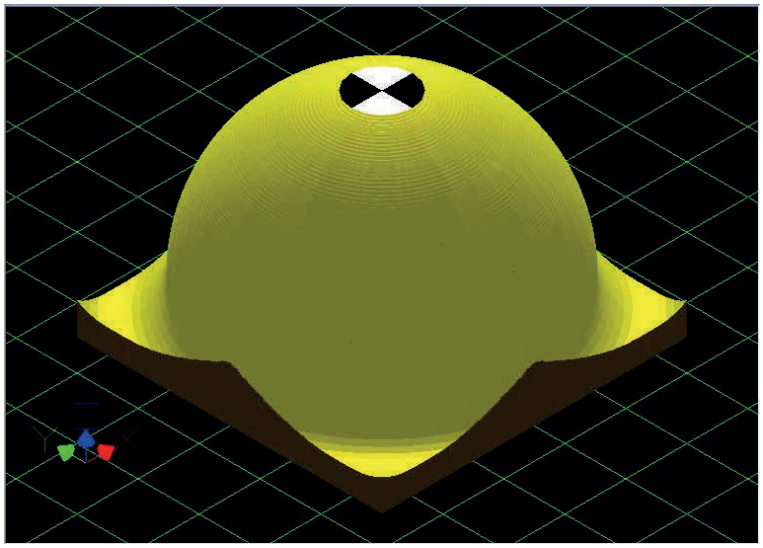
Beispiel für IF und GOTO:

IF[#106GT#105]GOTO1 wenn #106 größer als #105 dann springe nach N1
- - -
- - -
N1 - - - (Anm.: es muss natürlich eine Zeile mit Nummer N1 im Makro vorhanden sein)
- - -

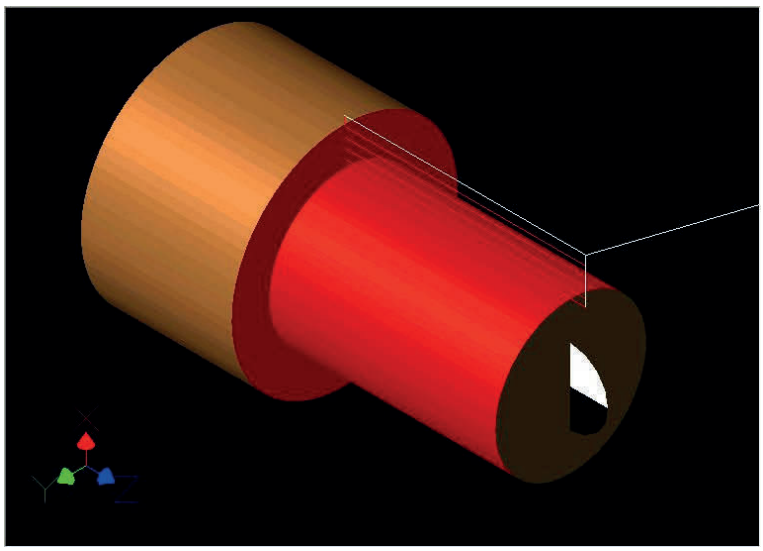
Beispiel für WHILE, DO und END

WHILE[#113LT#107]DO1 solange #113 kleiner als #107 ist, wird die Schleife zwischen DO1 und END1 wiederholt
- - -
- - -
#113=#113+1 (Anm.: innerhalb der Schleife muss herunter- oder heraufgezählt werden, um die Schleife irgendwann zu beenden)
END1

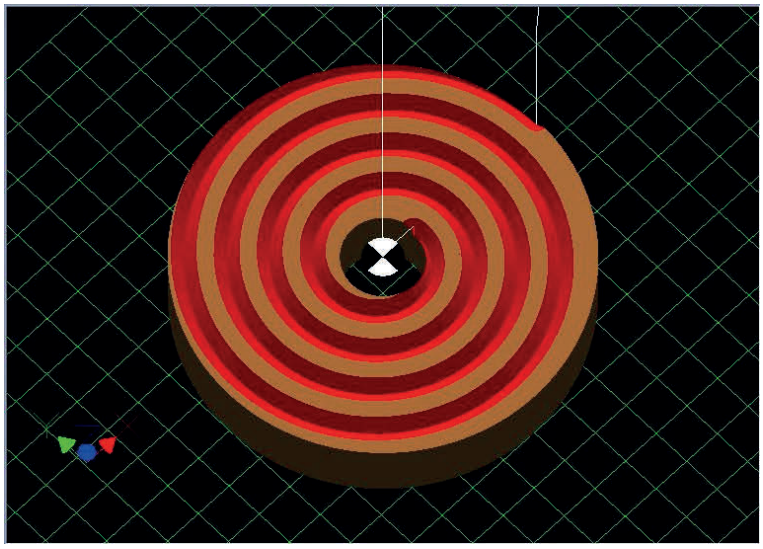
Die Anweisungen DO und END müssen mit Nummern versehen werden, um verschiedene oder ineinander geschachtelte Schleifen zu unterscheiden.



Makro Halbkugel fräsen



Makro zum Schruppen beim Drehen, wie Abspanzyklus



Makro für Spirale / Plangewinde fräsen

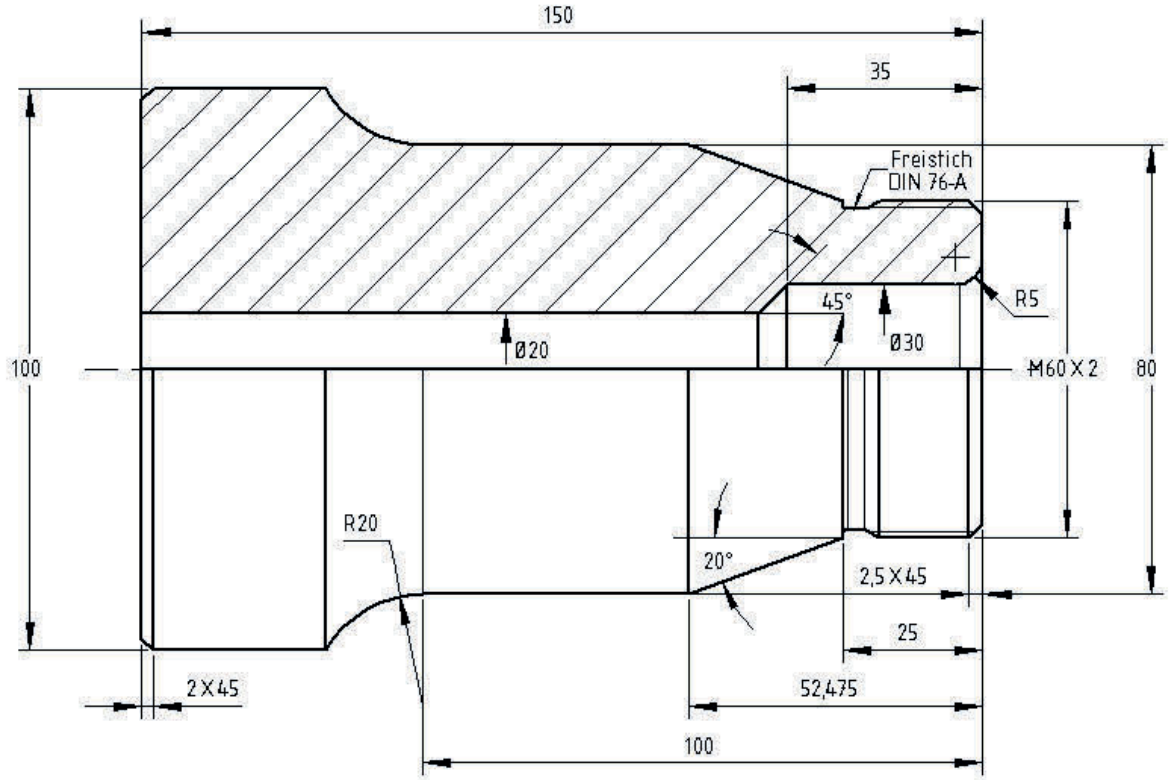
Im Internet und auch auf meiner Homepage können eine Vielzahl von Beispielmakros heruntergeladen werden. Da die logische Vorgehensweise bei der Makroprogrammierung immer den gleichen Gesetzmäßigkeiten folgt, kann ein versierter Programmierer die dort vorgestellten Makros leicht für andere Steuerungen umschreiben und anwenden.

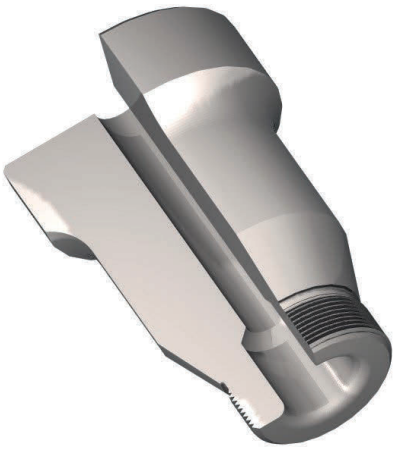
Viel Spaß beim „Knacken“ der geheimnisvollen Makroprogrammierung!

9.10 Der Weg zum CNC-Programm

Wer eine Werkstückzeichnung in der Hand hält, überlegt zuerst einmal, auf welcher Maschine das Werkstück gefertigt werden kann und wie der ungefähre Arbeitsablauf sein wird.
Danach wird der Ablauf der Arbeitsgänge detaillierter festgelegt und die benötigten Werkzeuge ausgewählt.
Der Werker an einer konventionellen Fräs- oder Drehmaschine spannt nun sein Rohteil ein und beginnt in der von ihm geplanten Reihenfolge. Während der Bearbeitung stellt er Drehzahl und Vorschubwerte ein und zählt die Striche an seinen Handrädern, um das jeweilige Maß zu erreichen. Es hängt hier alles von seinem Können und seiner Erfahrung ab, ob das Werkstück wirtschaftlich in der geforderten Qualität hergestellt wird.
Vieles von diesen Vorüberlegungen kann dem Fachmann an der Maschine von der Arbeitsvorbereitung abgenommen werden, wenn sie ihm einen wohlüberlegten, detaillierten Arbeitsplan, eventuell mit Bezeichnung der Werkzeuge und Spannmittel, zur Verfügung stellt.
Ein CNC-Programm ist eine genaue Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte in der richtigen Reihenfolge, jede Bewegung und jeder Schaltvorgang muss darin beschrieben sein. Oft werden die CNC-Programme ebenfalls von der Arbeitsvorbereitung erstellt, so dass in der Werkstatt keine Zeit für aufwendige Programmierarbeiten verloren geht.

Als Beispiel ein einfaches Drehteil





Werkstattzeichnung (oben) und
3D-Ansicht als Halbschnitt des
zu fertigenden Werkstückes

Erste Überlegung:
Drehteil, passt auf mittlere Drehmaschine, mit Backenfutter
Drehen, bohren, Gewindeschneiden

Grobe Übersicht:
Werkstück sägen
Anschlagseite plan drehen und auf Außenmaß drehen, umspannen
Vorderseite plan drehen, außen drehen, bohren, innen drehen, Gewindeschneiden

Grober Arbeitsplan:
Rundmaterial mit Aufmaß absägen
Anschlagseite plan drehen, zum Umspannen Außenmaß drehen und schlichten
Umspannen
Auf Fertiglänge plan drehen
Außenkontur schruppen
Innen vorbohren
Innen ausdrehen, schruppen, schlichten
Außen schlichten
Gewinde drehen

Detaillierter Arbeitsplan:

Rundmaterial Ø105 auf 152 sägen und grob entgraten

Seite mit Ø100 auf Länge 151 plan drehen
Ø100 auf ca. 40mm Länge schruppen, schlichten und 2 X 45 Grad anfasen

Umspannen - Werkstück max. 30 tief auf Ø100 spannen
Auf Fertiglänge 150 plandrehen
Außenkontur bis Auslauf Radius 20 vorschruppen
Mit Bohrstange Ø20 durchbohren
Innenkontur Ø30 mit Schräge 45 Grad vordrehen
Radius 5 und Innenkontur schlichten
Außenkontur Ø60, Kegel 20 Grad, Ø80 und Radius 20 bis Auslauf schlichten
Fase 2,5 X 45 Grad und Gewindefreistich anbringen
Gewinde M60 X 2 drehen

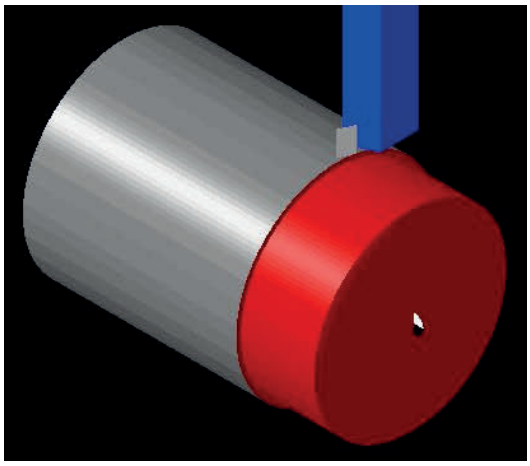
Auf dem detaillierten Arbeitsplan sind im Allgemeinen auch die Abteilung, Kostenstelle, Maschinentyp, Zeitvorgaben enthalten. Zusätzlich können noch Hinweise auf kritische Maße, sowie die betriebseigenen Bezeichnungen für Sonderwerkzeuge, Spannvorrichtungen und spezielle Messwerkzeuge auf der Liste stehen.

Ein solch detaillierter Arbeitsplan sorgt zumindest dafür, dass nichts vergessen wird, lässt aber immer noch großen Spielraum für den Facharbeiter an einer konventionellen Maschine. Dieser wählt selbst die Werkzeuge aus, bestimmt Drehzahl, Vorschub, Spantiefe usw. und kann während der Bearbeitung jederzeit noch etwas korrigieren.

Im CNC-Programm sind all diese Punkte exakt und in der richtigen Reihenfolge zu schreiben, eigentlich nur ein absolut kompletter Arbeitsplan. Die Verantwortung des Arbeitsvorbereiters und des Facharbeiters ist hier auf eine Person konzentriert. Es genügt also nicht, dass der Programmierer nur geschickt programmieren kann, ebenso sind profunde Kenntnisse der anzuwendenden Fertigungstechnologien nötig.

Als Beispiel das CNC-Programm zum Drehen der Anschlagseite.
Links das CNC-Programm und rechts die Beschreibung (wie ein Arbeitsplan).

```
%
O0001                          Programm-Nummer 1
N0005 G90 G95 G40              Absolutmaß, Vorschub in mm/Umdrehung, keine
                               Radiuskorrektur angewählt
N0010 G56                      Werkstücknullpunkt (vorne, Mitte)
N0015 G96 S100 T0101 M4        Konstante Schnittgeschwindigkeit 100m/Minute,
                               Werkzeug 1, Spindel-Drehrichtung links
N0020 G0 X109 Z0 M8            mit Eilgang auf X109 und Z0, Kühlmittel ein
N0025 G1 X-1 F0.15             mit Vorschub auf X-1, Vorschubwert 0,15mm/U
N0030 G0 Z1                    mit Eilgang auf Z1
N0035 X97                      mit Eilgang auf X97
N0040 G1 X103 Z-2              mit Vorschub auf X103 und Z-2 (Fase)
N0045 Z-39.9                   mit Vorschub auf Z-39,9
N0050 X104                     mit Vorschub auf X104
N0055 G0 Z1                    mit Eilgang auf Z1
N0060 X95                      mit Eilgang auf X95
N0065 G1 X101 Z-2              mit Vorschub auf X101 und Z-2 (Fase)
N0070 Z-39.9                   mit Vorschub auf Z-39,9
N0075 X102                     mit Vorschub auf X102
N0080 G0 Z1                    mit Eilgang auf Z1
N0085 X94                      mit Eilgang auf X94
N0090 G1 X100 Z-2 F0.08        mit Vorschub auf X100 und Z-2, Vorschub 0,08mm/U
N0095 Z-40                     mit Vorschub auf Z-40
N0100 X109                     mit Vorschub auf X109
N0105 M9                       Kühlmittel aus
N0110 M5                       Spindel Halt
N0115 G28                      Referenzpunkt anfahren
N0120 M30                      Programm Ende
%
```

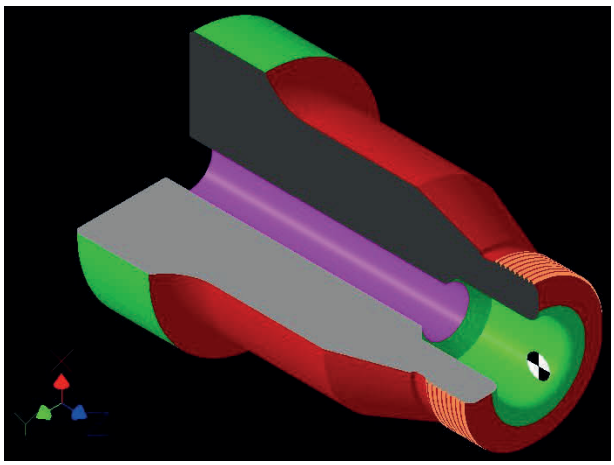


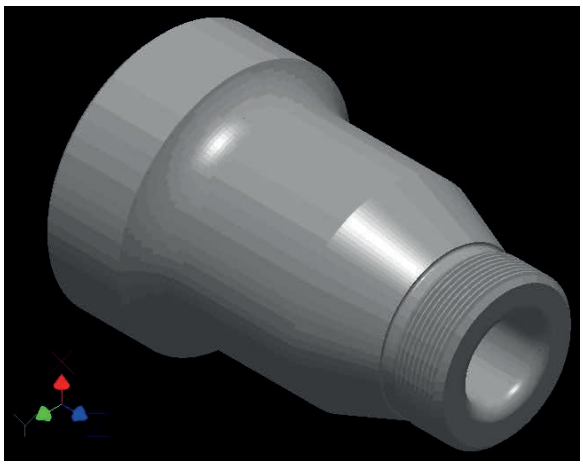
Das vorgedrehte Werkstück (1. Seite)
während der Simulation

Nachfolgend das CNC-Programm zum Fertigdrehen (2. Seite).

```
%
O0002                          Programm-Nummer 2
N0005 G90 G95 G40              Absolutmaß, Vorschub in mm/Umdrehung, keine
                               Radiuskorrektur angewählt
N0010 G56                      Werkstücknullpunkt (vorne, Mitte)
N0015 G96 S100 T0101 M4        Konstante Schnittgeschw. 100m/min, Werkzeug 1,
                               Spindel-Drehrichtung links
N0020 G0 X109 Z0 M8            mit Eilgang auf X109 und Z0, Kühlmittel ein
N0025 G1 X-1 F0.15             mit Vorsch. auf X-1, Vorsch. 0,15mm/U (Plandrehen)
N0030 G0 Z2                    mit Eilgang auf Z2
N0035 X109                     mit Eilgang auf X109
N0040 G71 P45 Q110 U0.2 W0.1 D3 Schruppzyklus Kontur von N45 bis N110,
                               Schlichtaufmaß X0,2 und Z0,1, Zustellung X3
N0045 G42                      Schneidenradiuskorr. rechts (Beginn Außenkontur)
N0050 G0 X53 Z1                mit Eilgang auf X53 und Z1
N0055 G1 X60 Z-2.5             mit Vorschub auf X60 und Z-2,5 (Fase 2,5 X 45)
N0060 Z-18                     mit Vorschub auf Z-18 (Anfang Freistich)
N0065 X57.268 Z-20.768         mit Vorschub auf X57.268 und Z-20.768
N0070 G2 X57 Z-21.268 I0.866 K-0.5  Rad. 1 im Uhrzeigers. nach X57 und Z-21.268
N0075 G1 Z-24                  Gerade mit Vorschub auf Z-24
N0080 G2 X59 Z-25 I1 K0        Radius 1 im Uhrzeigersinn nach X59 und Z-25
N0085 G1 X60                   Gerade mit Vorschub auf X60 (Ende Freistich)
N0090 X80 Z-52.475             mit Vorschub auf X80 und Z-52,475 (Konus 20 Grad)
N0095 Z-100                    mit Vorschub auf Z-100
N0100 G2 X102 Z-117.861 I20 K0 Radius 20 im Uhrzeigers. nach X102 und Z-117.861
N0105 G0 Z2                    Gerade mit Eilgang auf Z2
N0110 G40                      Abwahl Schneidenradiuskorrektur (Ende Außenkontur)
N0115 M5                       Spindel Halt
N0120 G28                      Fahrt zum Referenzpunkt
N0125 G97 S1000 T1919 M3       Konstante Spindeldrehzahl 1000 U/min, Werkzeug 19,
                               Spindel rechtsdrehend
N0130 G0 X0 Z2                 mit Eilgang auf X0 und Z2
N0135 G74 Z-158 K10 F0.1       Schruppzyklus, unterbrochener Schnitt,
                               Endbohrtiefe Z-158, Zustellung 10, Vorschub
                               0,1mm/U
N0140 M5                       Spindel Halt
N0145 G28                      Fahrt zum Referenzpunkt
N0150 G96 S100 T0202 M4        Konstante Schnittgeschw. 100m/min, Werkzeug 2,
                               Spindel-Drehrichtung links
```

```
N0155 G0 X-18 Z2              mit Eilgang auf X-18 und Z2
N0160 G71 P165 Q200 U0.2 W0.1 D2 F0.1 Schruppzyklus Kontur von N165 bis N200,
                              Schlichtaufm. X0,2 und Z0,1 Zust. X2, Vorschub 0,1
N0165 G41                     Schneidenradiuskorr. links (Beginn Innenkontur)
N0170 G0 X-40                 mit Eilgang auf X-40
N0175 G1 Z0                   mit Vorschub auf Z0
N0180 G3 X-30 Z-5 I0 K-5      Radius 5 im Gegenuhrzeigersinn nach X-30 und Z-5
N0185 G1 Z-35                 Gerade mit Vorschub auf Z-35
N0190 X-18 Z-41               mit Vorschub auf X-18 Z-41 (Innenkonus 45 Grad)
N0195 Z-42                    mit Vorschub auf Z-42
N0200 G40                     Abwahl Schneidenradiuskorrektur (Ende Innenkontur)
N0205 G0 Z2                   mit Eilgang auf Z2
N0210 X-18                    mit Eilgang auf X-18
N0215 G70 P165 Q200 F0.06     Schlichtzyklus Innenkontur von N165 bis N200,
                              Vorschub 0,06
N0220 G0 Z2                   mit Eilgang auf Z2
N0225 G28                     Fahrt zum Referenzpunkt
N0230 G96 S100 T0101 M4       Konstante Schnittgeschw. 100m/min, Werkzeug 1,
                              Spindel-Drehrichtung links
N0235 G0 X109 Z2              mit Eilgang auf X109 und Z2
N0240 G70 P45 Q110 F0.06      Schlichtzyklus Außenkontur von N45 bis N110,
                              Vorschub 0,06
N0245 M5                      Spindel Halt
N0250 G28                     Fahrt zum Referenzpunkt
N0255 G97 S500 T1111 M3       Konstante Spindeldrehzahl 500 U/min, Werkzeug 11,
                              Spindel rechtsdrehend
N0260 G0 X60 Z4               mit Eilgang auf X60 und Z4
N0265 G76 X57.546 Z-21 A60 D0.5 K1 F2 Gewindezyklus, Endtiefe X57,546 und Z-21,
                              Zustellwinkel 60 Grad, Zustellung 0,5, Abstand 1,
                              Steigung 2
N0270 M9                      Kühlmittel Aus
N0275 M5                      Spindel Halt
N0280 G28                     Fahrt zum Referenzpunkt
N0285 M30                     Programm Ende
%
```





Das fertige Werkstück nach der Simulation als Halbschnitt mit eingefärbten Flächen für den Werkstoffabtrag und als fotorealistisches Fertigmodell.

Das Programm hierzu kann von meiner Webseite heruntergeladen werden und ist im Ordner „CNC-T-Beispiele“ zu finden.

9.11 Allgemeine Programmierregeln

Das „ultimative Programm“, welches von niemandem mehr übertroffen werden kann, gibt es nicht. Trotz bekannter Standards macht es jeder ein bisschen anders, optimiert es immer wieder oder schreibt es irgendwann sogar ganz neu. Die ständigen Aktualisierungen unserer Betriebssysteme und Programme über das Internet beweisen uns das eindrucksvoll.

Wenn man einige Regeln im Voraus beachtet, kann schon von Anfang ein gutes CNC-Programm entstehen, an dem danach nicht mehr viel geändert werden muss. Schließlich wollen wir mit unseren Maschinen Geld verdienen!

-Werkstücknullpunkt so festlegen, dass bequem und sicher programmiert werden kann.

-Möglichst wenige Werkzeugwechsel und bei Rundachsen möglichst wenige Drehungen verwenden, um Zeit zu sparen.

-Verfahrwege so kurz wie möglich programmieren, Leerwege und Leerhübe möglichst vermeiden, Sicherheitsabstände nicht zu groß festlegen (Zeitersparnis).

-Schwerzerspanung (Schruppen) zuerst einplanen.

-Programm unter Zuhilfenahme von Unterprogrammen und den vorhandenen Arbeitszyklen möglichst kurz ausführen, um Speicherplatz und Programmieraufwand zu sparen.

-Übersichtlichen Aufbau einhalten, um spätere Programmeingriffe und die Benutzung durch andere Personen zu erleichtern.
Erfahrene Programmierer benutzen immer das gleiche bewährte Schema.

-Vorschübe und Drehzahlen -je nach Erfahrung- möglichst exakt auf Werkstoff und erwünschte Werkzeugstandzeit abstimmen.
Diese müssen in der Regel trotzdem beim Einfahren des Programms auf der Werkzeugmaschine optimiert werden.

-Der Programmierer muss danach streben, sein Programm ständig zu verbessern. Dies muss er selbst machen, da der Maschinenbediener naturgemäß kein Interesse an einer kürzeren Laufzeit hat. Vor allem bei Serienteilen heißt das: immer wieder optimieren. Z. B. Änderung der Vorschübe, Drehzahlen (auch nach Gehör), Ausreizen der Antriebskraft gemäß evtl. vorhandenem Potentiometer, nach unnötigen Verfahrwegen suchen, eventuell Einsatz eines anderen Werkzeuges oder sogar eine komplette Neufassung des Programms.

-Die Dokumentation des Programms mit zugehörigen Einricht- und Werkzeugblättern muss immer auf dem neuesten Stand sein.
Eine ausführliche Programmbeschreibung ist für eine spätere Wiederinbetriebnahme des Programms unerlässlich.

9.12 Einsatz von Robotern

Industrieroboter werden in immer größerem Maße eingesetzt, vorwiegend zum Handhaben, wie Beladen, Entladen, Umsetzen, Transportieren. Auch zum Schweißen, Lackieren, Montieren, Entgraten und vielen anderen Tätigkeiten sind sie oft unverzichtbar geworden.

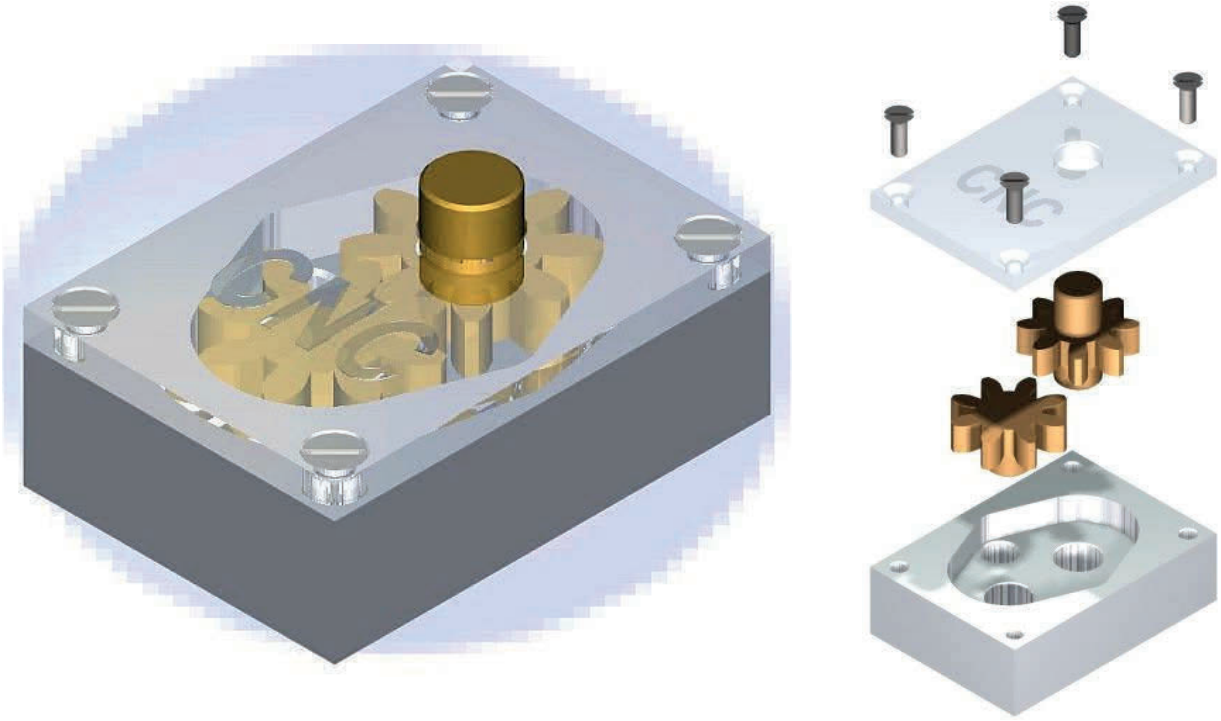
Roboter sind keine CNC-Werkzeugmaschinen, sie benutzen auch –je nach Fabrikat- eine andere Programmiersprache. Jedoch ist das Grundprinzip wie bei einer CNC-Maschine: der Roboter hat eine programmierbare Steuerung, jede Achse hat einen eigenen Anrieb und ein eigenes Meßsystem. Mit einem angebauten Fräsmotor können z. B. auch leichte Fräs- und Entgratarbeiten durchgeführt werden.

Neben weiteren Spezialausführungen gibt es drei Grundtypen von Industrie-Robotern:

- Portalroboter, welche auf einem Gestell stehen oder an der Decke aufgehängt sind und als Längenportal in 2 Achsen (X=Länge und Z=Tiefe) oder mit Bahnsteuerung in 3 Achsen (X=Länge, Y=Breite und Z=Tiefe) verfahren können. Das 3-achsige Flächenportal ist im Grundprinzip wie eine Portalfräsmaschine aufgebaut und wird auch ähnlich wie eine CNC-Maschine angesteuert, nur mit einer anderen Programmiersprache. Portalroboter werden meistens zur Handhabung von Werkstücken eingesetzt.
- „Scara“-Roboter sind typische Montageroboter. Sie bestehen aus einem waagrechten, abgeknickten Arm, welcher mit 2 Drehgelenken die X- und Y-Positionen anfahren kann. Dazu eine Linearachse zur Tiefenzustellung in Z-Richtung.
- Universalroboter, wie sie aus den Medien bekannt sind, wenn z. B eine Fertigungsstraße in einem Karosseriewerk gezeigt wird, wo Dutzende dieser Roboter ihre Schweißpunkte setzen. Diese Roboter haben mindestens 6 Achsen, die in „Arm“ und „Hand“ unterteilt werden. Damit kann man mit entsprechenden, angebauten Werkzeugen oder Greifern sehr viele verschiedene Tätigkeiten ausführen.

Da die Robotik ein eigenes, sehr umfangreiches Spezialgebiet ist, soll hier nur im Grundprinzip das logische Zusammenspiel der CNC-Werkzeugmaschine mit dem Roboter zum Be- und Entladen der Werkstücke grob dargestellt werden.

Wie im richtigen Leben braucht man für eine umfangreiche, vielfältige Aufgabe einen „Chef“, der das Ganze überblickt und auch das Sagen hat. So ist für das Zusammenwirken von CNC-Maschinen und Robotern eine übergeordnete Steuerung notwendig, welche das Ganze „organisiert“. Im allgemeinen eine SPS (Speicherprogrammierte Steuerung). Jedes beteiligte Gerät, ob Werkzeugmaschine, Roboter, Förderband, Palettencodierung ist eine Einzelmaschine, welche zuerst nur für ihre eigene Aufgabe programmiert und eingerichtet wird. Erst danach kann man die „Maschinen“ zusammenführen und deren Programme um die Fertigmeldungen an die SPS ergänzen. Die SPS muss zum richtigen Zeitpunkt die Maschine Nr. x oder den Roboter Nr. y starten. Dazu kommt meistens noch ein Transportsystem z. B. mit Paletten, welches auch gemanagt werden muss. Wann welche Palette an welcher Station stehen muss oder welche Palette zum Weiterlaufen freigegeben wird. Dies ist dann noch zusätzlich mit einer Palettenkodierung verbunden, wobei elektronische Chips auf den Paletten beschrieben oder ausgelesen werden. Palette für Frästeile? Palette für Drehteile? Palette leer? Palette mit Rohteilen? Palette mit fertigen Teilen?



Ich nehme hier die Fertigung einer einfachen Zahnradpumpe als Vorbild, welche ich früher selbst in einer Versuchsanlage zu einer CIM-Fabrik entwickelt und ausgeführt hatte. Auf meiner Webseite gibt es dazu Bilder, Filme und CNC-Programme für die Einzelteile, welche für die Simulation etwas angepasst wurden (DemoGearPump in CNCezPRO).
Die Zahnradpumpe besteht nur aus 4 Werkstücken: 2 Zahnräder aus Messing, das mitlaufende und das treibende Zahnrad, einem Gehäuse aus Aluminium und einem Plexiglas-Deckel. Dazu kommen noch 4 Schrauben für den Deckel.
Die beiden Zahnräder (Drehteile) konnte der Roboter an ihrer Achse greifen, die beiden Frästeile (Gehäuse und Deckel) an ihrer Außenseite, weil die jeweiligen Abmessungen gleich waren.

Am Rande bemerkt: Von den Kollegen, auch Fachleute und mit höheren akademischen Weihen ausgestattet, traute sich niemand an meine CIM-Anlage heran. Aus Angst vor dem Millionenwert oder aus Angst vor dem immensen Arbeitsaufwand? Im Vorfeld hatte es immer wieder Querelen um die Zuständigkeiten und die Arbeitsverteilung gegeben. So schlug ich meinem Chef vor, dass er mir ein halbes Jahr gibt, um endlich die Anlage zum Laufen zu bringen. Voraussetzung: während dieser Zeit keine Nebenjobs und keine „Helfer“, die mir ohnehin nur „gescheit“ dreinreden. Ich bekam die Zusage, konstruierte die Werkstücke und fertigte Vorrichtungen und Ablagen für die Teile an. Dann programmierte und testete ich die Einzelteile für die CNC-Maschinen. Der nächste Schritt war das Programmieren und Einrichten der Portalroboter. Danach der Bandförderer mit den Paletten. Als Zugabe kam noch die Palettencodierung. Und dazu das Ganze mit der SPS verknüpfen. Jedes Gerät benötigte eine andere Programmiersprache, in die ich mich zuerst einarbeiten musste. Alleine der Papierkram ergab einen vollen, dicken Leitz-Ordner. Alles ganz alleine geschafft! Ich war vor der Zeit fertig und genehmigte mir, einen kleinen Amateur-Film über das Projekt anzufertigen. Die Ausführung erfolgte im Jahre 1998.

Um beim Thema CNC zu bleiben, nachfolgend die Schritte und die dazu gehörenden Programmteile **nur** für die Werkzeugmaschinen zum Be- und Entladen der Werkstücke. Die Roboterprogramme sind ähnlich aufgebaut, lediglich mit eigener Programmiersprache.

Beispiel 1, Drehmaschine und 1 Werkstück, Bearbeitung von der Stange:

Die Drehmaschine schließt vor der Bearbeitung automatisch ihre Tür.
Anschlag geht in Stellung und Materialstange wird vorgeschoben
Die Maschine bearbeitet die Vorderseite eines Werkstücks von der Stange.
Für die Bearbeitung der Rückseite greift eine Gegenspindel das Werkstück, um es abzustechen.
In der Gegenspindel wird die Rückseite bearbeitet.
Die Gegenspindel geht in die Position zur Entnahme des Werkstücks
Die Tür wird geöffnet

Dies ist der 1. Programmteil der Drehmaschine

```
O0011      (Programm für ein Werkstück)
. . .      (gesamtes Werkstück bearbeiten, Werkstück fertig)
G26        (Werkzeugwechselpunkt anfahren)
T0900      (Gegenspindel auf vordere Position)
G0 X0      (Position zum Entladen anfahren)
M86        (Drehmaschinen-Tür auf)
G4 X5      (Verweilzeit)
```

Fertigmeldung von Drehmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt ein und greift das Werkstück (1. Programmteil Roboter)

```
M88        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0         (Drehmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Drehmaschine
Drehmaschine öffnet Gegenspindel (2. Programmteil Drehmaschine)

```
M67        (Gegenspindel auf)
M0         (Drehmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung von Drehmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt das Teil aus der Gegenspindel und aus der Maschine heraus, legt es an dem vorgesehenen Platz ab und geht wieder in Warteposition (2. Programmteil Roboter)

```
M88        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M30        (Drehprogramm Ende)
```

Nächste Werkstücke

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Drehmaschine
Drehmaschine schließt Tür, schiebt Stange vor und beginnt wieder ihren 1. Programmteil, der Zyklus beginnt wieder von vorn.

```
O0011      (Programm für ein Werkstück)
. . .      (gesamtes Werkstück bearbeiten)
```

Beispiel 2, Drehmaschine und 2 unterschiedliche Werkstücke im Wechsel, wie bei der Zahnradpumpe:

1. Werkstück

Die Drehmaschine schließt vor der Bearbeitung automatisch ihre Tür.
Anschlag geht in Stellung und Materialstange wird vorgeschoben
Die Maschine bearbeitet die Vorderseite vom Werkstück 1 von der Stange.
Für die Bearbeitung der Rückseite greift eine Gegenspindel das Werkstück, um es abzustechen.
In der Gegenspindel wird die Rückseite bearbeitet.
Die Gegenspindel geht in die Position zur Entnahme des Werkstücks
Die Tür wird geöffnet

Dies ist der 1. Programmteil der Drehmaschine, Werkstück 1

```
O0010      (Programm für beide Werkstücke)
M87        (Drehmaschinen-Tür zu)
G4 X5      (Verweilzeit)
. . .      (gesamtes Werkstück 1 bearbeiten, Werkstück 1 fertig)
G26        (Werkzeugwechselpunkt anfahren)
T0900      (Gegenspindel auf vordere Position)
G0 X0      (Position zum Entladen anfahren)
M86        (Drehmaschinen-Tür auf)
G4 X5      (Verweilzeit)
```

Fertigmeldung von Drehmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt ein und greift das Werkstück 1 (1. Programmteil Roboter)

```
M88        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0         (Drehmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Drehmaschine
Drehmaschine öffnet Gegenspindel (2. Programmteil Drehmaschine)

```
M67        (Gegenspindel auf)
M0         (Drehmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung von Drehmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt das Teil 1 aus der Gegenspindel und aus der Maschine heraus, legt es an dem vorgesehenen Platz 1 ab und geht in Warteposition (2. Programmteil Roboter)

```
M88        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0         (Drehmaschine Stopp)
```

2. Werkstück

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Drehmaschine
Drehmaschine schließt Tür, schiebt die Stange vor und macht ihren 3. Programmteil, das Werkstück 2.

```
M87       (Tür zu)
G4 X5     (Verweilzeit)
. . .     (gesamtes Werkstück 2 bearbeiten, Werkstück 2 fertig)
G26       (Werkzeugwechselpunkt anfahren)
T0900     (Gegenspindel auf vordere Position)
G0 X0     (Position zum Entladen anfahren)
M86       (Drehmaschinen-Tür auf)
G4 X5     (Verweilzeit)
```

Fertigmeldung von Drehmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt ein und greift das Werkstück 2 (3. Programmteil Roboter)

```
M88       (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0        (Drehmaschine Stopp, Werkstück 2 fertig)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Drehmaschine
Drehmaschine öffnet Gegenspindel (4. Programmteil Drehmaschine)

```
M67       (Gegenspindel auf)
M0        (Drehmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung von Drehmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt das Teil 2 aus der Gegenspindel und aus der Maschine heraus, legt es an dem vorgesehenen Platz 2 ab und geht wieder in Warteposition (4. Programmteil Roboter)

```
M88       (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M30       (Drehprogramm Ende)
```

Nächste Werkstücke

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Drehmaschine
Drehmaschine schließt die Tür, schiebt die Stange vor und fängt wieder mit dem 1. Programmteil (Werkstück 1) an

```
O0010     (Programm für beide Werkstücke)
. . .     (gesamtes Werkstück 1 bearbeiten)
```

Beispiel 3, Fräsmaschine und 1 Werkstück, Rohteile mit Roboter abholen:

Die Fräsmaschine wird von oben beladen und braucht deshalb keine Tür.
Die Rohteile werden auf Paletten zugeführt und vom Roboter in die Maschine geladen.
Be- und Entladeposition ist der Referenzpunkt der Fräsmaschine.

Dies ist der 1. Programmteil der Fräsmaschine

```
:0011     (Programm für ein Werkstück)
G17 G90 G94 G40 G49 (Initialisierung)
G28       (Referenzpunkt anfahren)
M20       (Schraubstock auf)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter greift ein Werkstück von der Palette und legt es in den Schraubstock ein (1. Programmteil Roboter)

```
M26       (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0        (Fräsmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Fräsmaschine
Fräsmaschine schließt Schraubstock (2. Programmteil Fräsmaschine)

```
M21       (Schraubstock zu)
G4 X3     (Verweilzeit)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter öffnet Greifer, fährt aus der Maschine heraus und geht in Wartestellung (2. Programmteil Roboter)

```
M26       (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0        (Fräsmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Fräsmaschine
Fräsmaschine bearbeitet das gesamte Werkstück (3. Programmteil Fräsmaschine)

```
. . .     (gesamtes Werkstück bearbeiten, Werkstück fertig)
G28       (Referenzpunkt anfahren)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt in die Maschine und greift das Werkstück (3. Programmteil Roboter)

```
M26       (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0        (Fräsmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Fräsmaschine
Fräsmaschine öffnet Schraubstock (4. Programmteil Fräsmaschine)

```
M20       (Schraubstock auf)
G4 X3     (Verweilzeit)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt mit dem Werkstück aus der Maschine und legt es auf Palette ab (4. Programmteil Roboter)

```
M26        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M30        (Fräsprogramm Ende)
```

Beispiel 4, Fräsmaschine und 2 unterschiedliche Werkstücke im Wechsel, wie bei der Zahnradpumpe:

1. Werkstück

Die Fräsmaschine wird von oben beladen und braucht deshalb keine Tür.
Die Rohteile werden auf Paletten zugeführt und vom Roboter in die Maschine geladen.
Be- und Entladeposition ist der Referenzpunkt der Fräsmaschine.

Dies ist der 1. Programmteil der Fräsmaschine

```
:0010      (Programm für beide Werkstücke)
G17 G90 G94 G40 G49 (Initialisierung)
G28        (Referenzpunkt anfahren)
M20        (Schraubstock auf)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter greift Werkstück 1 von der Palette und legt es in den Schraubstock ein (1. Programmteil Roboter)

```
M26        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0         (Fräsmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Fräsmaschine
Fräsmaschine schließt Schraubstock (2. Programmteil Fräsmaschine)

```
M21        (Schraubstock zu)
G4 X3      (Verweilzeit)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter öffnet Greifer, fährt aus der Maschine heraus und geht in Wartestellung (2. Programmteil Roboter)

```
M26        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0         (Fräsmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Fräsmaschine
Fräsmaschine bearbeitet das gesamte Werkstück 1 (3. Programmteil Fräsmaschine)

```
. . .      (gesamtes Werkstück 1 bearbeiten, Werkstück fertig)
G28        (Referenzpunkt anfahren)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt in die Maschine und greift das Werkstück (3. Programmteil Roboter)

```
M26        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0         (Fräsmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Fräsmaschine
Fräsmaschine öffnet Schraubstock (4. Programmteil Fräsmaschine)

```
M20        (Schraubstock auf)
G4 X3      (Verweilzeit)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt mit dem Werkstück aus der Maschine und legt es auf Palettenplatz 1 ab
Roboter greift Werkstück 2 von Palettenplatz 2 und lädt es in den Schraubstock
(4. Programmteil Roboter)

```
M26        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0         (Fräsmaschine Stopp)
```

2. Werkstück

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Fräsmaschine
Fräsmaschine schließt Schraubstock (5. Programmteil Fräsmaschine)

```
M21        (Schraubstock zu)
G4 X3      (Verweilzeit)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter öffnet Greifer, fährt aus der Maschine heraus und geht in Wartestellung
(5. Programmteil Roboter)

```
M26        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0         (Fräsmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Fräsmaschine
Fräsmaschine bearbeitet das gesamte Werkstück 2 (6. Programmteil Fräsmaschine)

```
. . .      (gesamtes Werkstück 2 bearbeiten, Werkstück fertig)
G28        (Referenzpunkt anfahren)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter fährt in die Maschine und greift das Werkstück (6. Programmteil Roboter)

```
M26        (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M0         (Fräsmaschine Stopp)
```

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Fräsmaschine
Fräsmaschine öffnet Schraubstock (7. Programmteil Fräsmaschine)

```
M20       (Schraubstock auf)
G4 X3     (Verweilzeit)
```

Fertigmeldung von Fräsmaschine an SPS, SPS startet Roboter
Roboter öffnet Greifer, fährt mit dem Werkstück aus der Maschine und legt es auf Palettenplatz 2 ab (7. Programmteil Roboter)

```
M26       (Fertigmeldung an SPS, SPS startet Roboter)
M30       (Fräsprogramm Ende)
```

Nächste Werkstücke

Fertigmeldung vom Roboter an SPS, SPS startet Fräsmaschine
Fräsmaschine fängt wieder mit dem 1. Programmteil (Werkstück 1) an

```
:0010
G17 G90 G94 G40 G49 (Initialisierung)
G28       (Referenzpunkt anfahren)
M20       (Schraubstock auf)
```

Hinweis:
Die hier benutzten speziellen M-Funktionen wurden nach Kundenwunsch von den Herstellern zur Verfügung gestellt, sie gelten nur für die von mir benutzten Maschinen. Bei anderen Steuerungen werden sie möglicherweise anders bezeichnet.

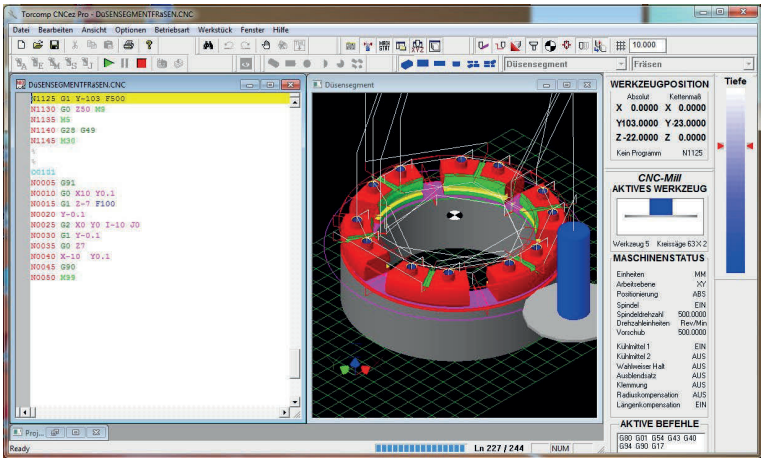
Man kann sich anhand der vorliegenden Beschreibung sicherlich vorstellen, dass so ein Zusammenwirken mehrerer Maschinen diszipliniertes Arbeiten bei höchster Konzentration erfordert, damit es nicht gleich ordentlich kracht. Dem aufmerksamen Leser fällt auf, dass nach der Fertigmeldung an die SPS zum Starten der Roboter immer ein Programmhalt (M0 oder M30) steht. Dies ist zwingend nötig, damit die Werkzeugmaschine während der Arbeit des Roboters wirklich stillsteht. Erst nach Fertigmeldung des Roboters darf die Maschinenarbeit wieder fortgesetzt werden.

In gleicher Weise muss im Roboterprogramm jedes Mal nach der Fertigmeldung an die SPS zum Starten der Werkzeugmaschine ein Programmhalt programmiert werden.

Zwei Bilder der CIM-Versuchsanlage als Modell für eine CIM-Fabrik zur Fertigung der vorher beschriebenen Zahnradpumpe

Kapitel 10 – Simulation

10.01 Simulation
10.02 Beispiele Simulation



10.1 Wissenswertes zur CNC-Simulation

In den Anfangszeiten der CNC-Technik gab es noch keine bezahlbaren Rechner welche den Ablauf eines CNC-Programms grafisch auf dem Bildschirm darstellen konnten. Dadurch war ein Probelauf immer mit einem großen Risiko behaftet. Heutzutage dagegen gibt es Simulationen für eine Menge von Anwendungsfällen, z. B. zu den Auswirkungen bei einem Autounfall, zum Materialfluss im Unternehmen, zu Bewegungen von Robotern oder Maschinen, in der Medizintechnik, Flugsimulatoren für Piloten, usw.

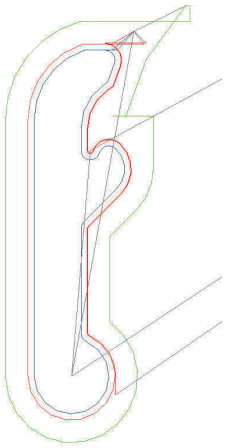
Simulationen können auf dem Computer ausgeführt werden, um vor dem „Ernstfall“ die Auswirkungen zu sehen, Fehler zu erkennen und zu beheben.
Der Vorteil liegt klar auf der Hand: folgenschwere Fehler für Leib und Leben oder für teure Maschinen und Anlagen können so zum großen Teil schon im vorab ausgeschlossen werden.
Mit der stetigen Zunahme der Rechnerleistung werden auch die Simulationsprogramme immer leistungsfähiger, bieten oft erstaunliche Übereinstimmung mit der Realität und lassen mit der weiteren Entwicklung immer zuverlässigere Vorhersagen zu.

Hier beschäftigen wir uns nur mit grafischen (bildanzeigenden) Simulationen für CNC-Werkzeugmaschinen, die uns das Ergebnis eines selbst erstellten CNC-Programms anzeigen.
Nicht zu verwechseln mit CAM-Modulen, welche aus einem 3D- Modell oder einer fotografischen Vorlage mehr oder weniger automatisch ein CNC-Programm generieren und simulieren können, mehr zu diesem Thema im Kapitel „Programmierhilfen“.
Es gibt statische (unbewegte) und dynamische (bewegte) Simulationen, wobei die statische Simulation das Ergebnisbild, wie etwa das fertige Werkstück, anzeigt.
Bei der statischen Simulation kann die Geschwindigkeit, die Verfahrrichtung des Werkzeuges und viele andere Informationen nicht mehr nachvollzogen werden, deshalb ist hierbei eigentlich die Bezeichnung „Simulation“ nicht ganz angebracht.
Heutiger Standard bei der CNC-Bearbeitung ist die dynamische Simulation, wobei beobachtet werden kann, wie sich ein Werkzeug an einer Kontur entlang bewegt, ob es zwischendurch einen unnötigen Weg macht, richtig zum/vom Werkstück an- und abfährt und vieles mehr.
Hierbei gibt es natürlich auch große Unterschiede in der Ausführung: von der einfachen zweidimensionalen Darstellung des Werkstückes als Strichgrafik bis zur kompletten, fotorealistischen Ansicht als Volumenmodell mitsamt Spannmitteln und der zugehörigen Maschine mit 5 Achsen und mehr.
Dementsprechend sind auch die Preisunterschiede: Einfache Simulationen (teilweise auf DOS-Basis) sind manchmal kostenlos im Internet zu haben, eine vernünftige 3-dimensionale Volumensimulation beginnt ab ein paar hundert Euro und die Königsklasse mit der Abbildung des kompletten Bearbeitungsraumes fängt bei einigen tausend Euro an und je nach Ausbaustufe für maschinenspezifische Extras hat der Preis nach oben fast keine Grenze.
Nicht zu vergessen, die bereits in mancher Maschinensteuerung integrierte Simulation, die es je nach Hersteller und Baujahr in verschiedenen Ausführungen gibt. Eine nachträgliche Aufrüstung der Maschinensteuerung mit grafischer Simulation ist oft nicht möglich und wenn doch, dann meistens sehr kostspielig.
Zur richtigen Darstellung des Verhaltens der jeweiligen Steuerung ist ein Postprozessor notwendig. Ein Postprozessor ist ein Programm, welches Grafikdaten und technologische Daten in ein CNC-Programm umwandelt oder umgekehrt. Bei den CNC-Simulationen ist

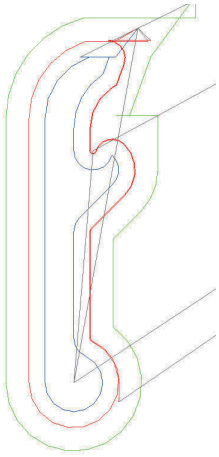
üblicherweise mindestens je ein standardisierter Postprozessor für Drehen und Fräsen enthalten, der die meisten Programmbefehle nach DIN ausführen kann, jedoch fehlen die speziellen Befehle für die unterschiedlichen Steuerungen und Maschinentypen. Deshalb werden viele Simulationen bereits mit einer Reihe von vorgefertigten Postprozessoren für gängige Steuerungen ausgeliefert. Gute Simulationsprogramme enthalten die Möglichkeit, dass man selbst zusätzliche Postprozessoren erstellen kann. Oft bieten sich auch die Hersteller zur kostenpflichtigen Erstellung individueller Postprozessoren an.

Nachfolgend einige beispielhafte Darstellungen verschiedener Simulationen.

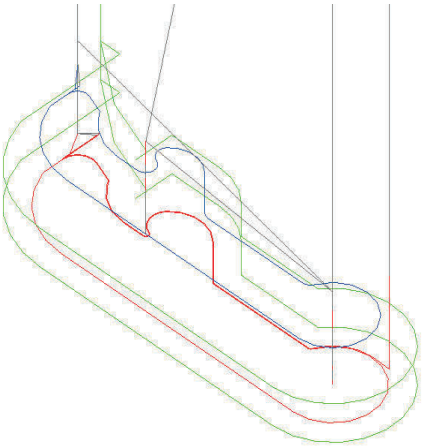
2-D und Drahtmodelle



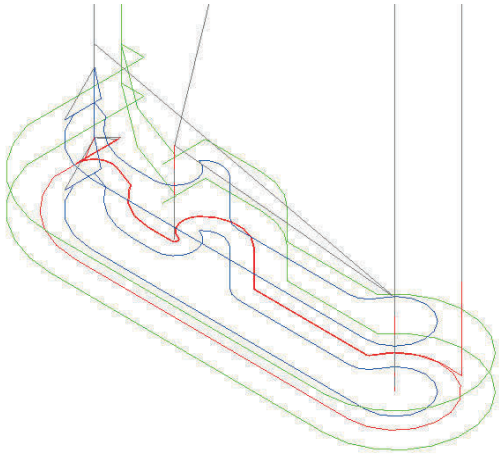
2-D Abbildung Werkzeug-Mittelpunktsbahnen



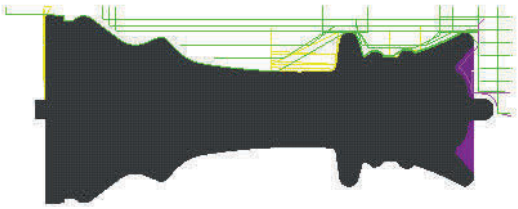
2-D Abbildung mit Werkstückumriss



3-D Drahtmodell ohne Werkstück



3-D Drahtmodell mit Werkstück

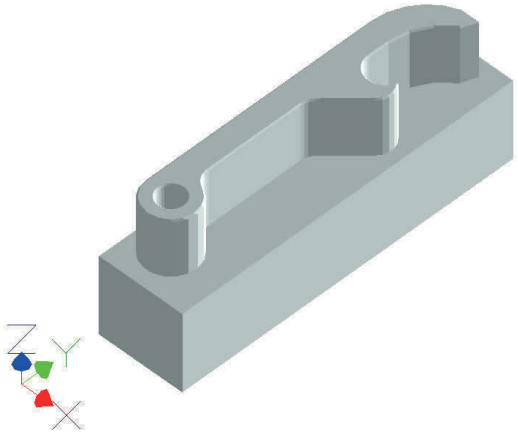


2-D Drehteil „Dame“

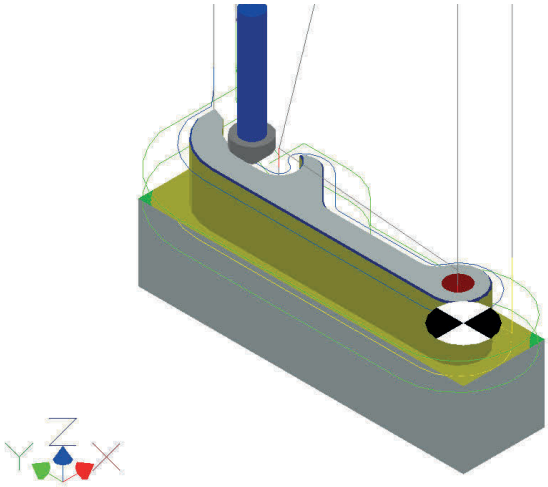
2-D Drehteil „Läufer“

2-D Simulationen sind allenfalls für 2D-Anwendungen, wie Brenn-, Laser- und Wasserstrahlschneiden interessant. Für Fräsen nicht mehr auf dem aktuellen Stand, für Drehen bedingt brauchbar. Lassen keine detaillierte Fehlererkennung zu und stellen hohe Anforderungen an die Vorstellungskraft des Personals.
Aufgrund des niedrigen Preises vielleicht noch für Hobbyanwender interessant.

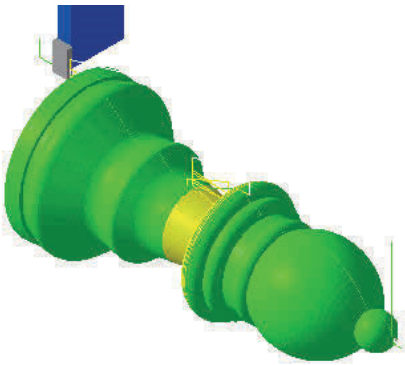
3D Volumenmodelle



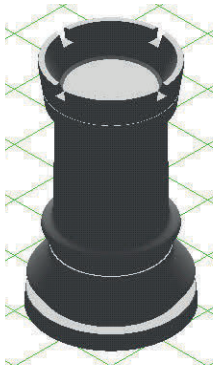
3-D Volumenmodell eines Flaschenöffners



3-D Volumenmodell mit Nullpunkt, eingefärbtem Werkstoffabtrag und Werkzeugwegen

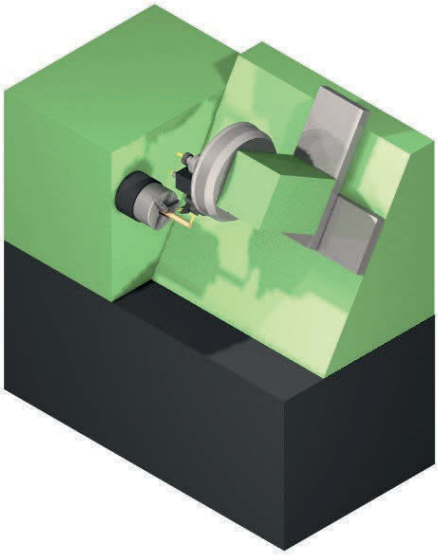


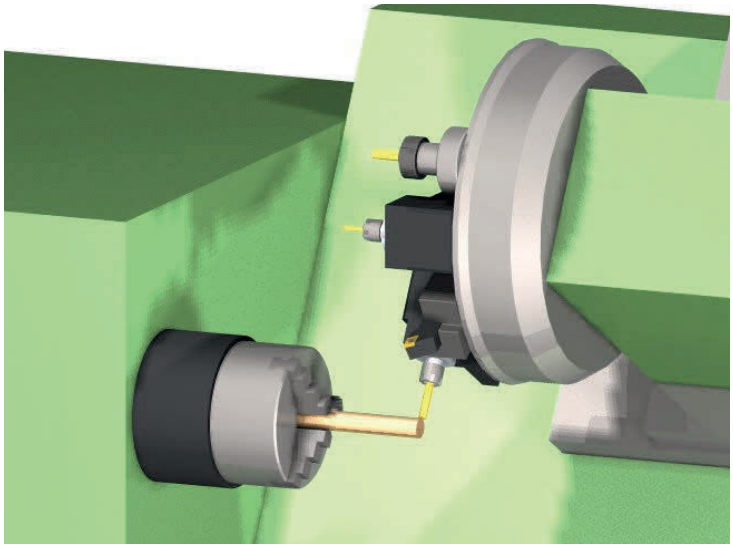
Drehteile als 3-D Volumenmodelle



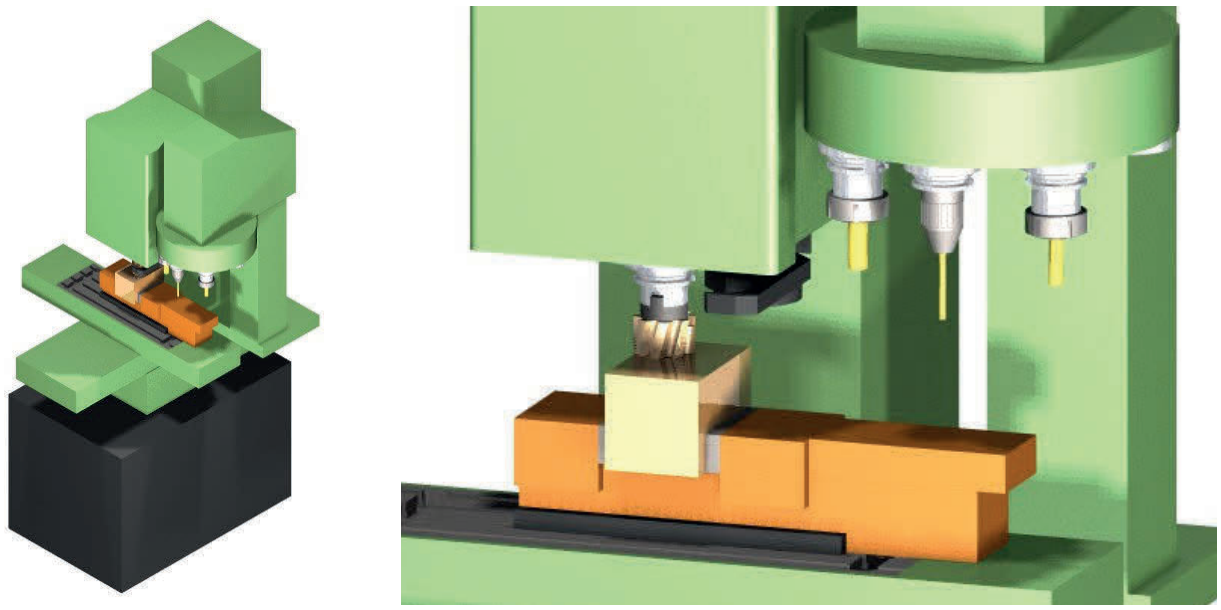
3-D Simulationen als preiswerte Ergänzung zu einer fehlenden Simulation in der Werkstatt oder Entlastung der Maschine bei schon vorhandener Simulation.
Gut zur Ausbildung geeignet, weil es einer maschineneigenen Simulation am nächsten kommt.
Wünschenswerte Features: Bild zoomen, drehen, verschieben, Messfunktion, Schnittdarstellung, Exportfunktion als 3D-Modell.

Simulation mit Darstellung der Maschine





3-D Simulation einer Drehmaschine bei der Fräsbearbeitung mit angetriebenen Werkzeugen



3-D Simulation einer Fräsmaschine

Die Simulation mit Darstellung der Maschine ist die komfortabelste und teuerste Lösung, jedoch ab 5-Achsenbearbeitung unverzichtbar.
Diese Simulationen sind entweder fertig auf eine spezielle Maschine zugeschnitten zu bekommen oder zur individuellen Erstellung einer virtuellen Maschine mit vorgegebenen Modulen wie Spindelstock, Maschinenbett, Werkzeugwechsler, Spannmittel, welche über Parameter an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden können.
Im normalen Werkstattbetrieb mit häufig wiederkehrenden einfacheren Werkstücken eher zu aufwendig.
Für die Ausbildung ideal, da sämtliche Faktoren an der Maschine berücksichtigt werden, zumal bei einigen Anbietern auch Nachbildungen der Original-Bedienfelder für bekannte Steuerungen zugekauft werden können, um sie neben dem PC-Arbeitsplatz zu benutzen.

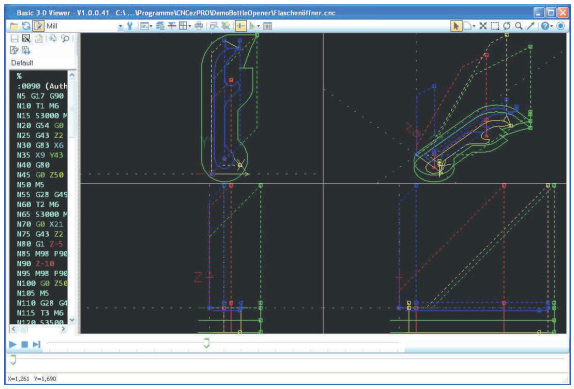
10.2 Simulationen von ausgewählten Anbietern

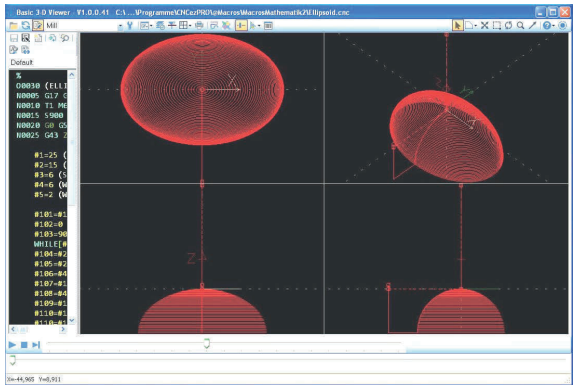
Es werden insbesondere die speziellen Simulatoren der Steuerungshersteller empfohlen, welche oft kostenlos mit weiterem umfangreichem Übungsmaterial im Internet bereitstehen, u. a. Heidenhain und Siemens (Sinumerik).

Die nachstehenden Simulatoren sind für Drehen und Fräsen verwendbar und beinhalten Postprozessoren für die häufigsten Steuerungen.
Können kostenlos als Demo, Free- oder Shareware heruntergeladen werden.

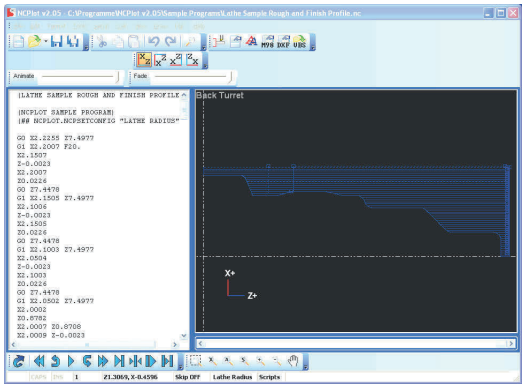
2D und Strichgrafik

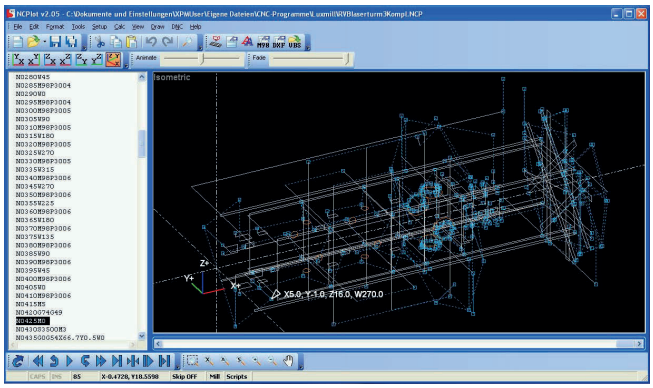
Nur Werkzeugbahnen, kein sichtbares Werkstück, kein Materialabtrag zu sehen





Basic CNC Viewer aus den USA mit Strichgrafik, kostenlos

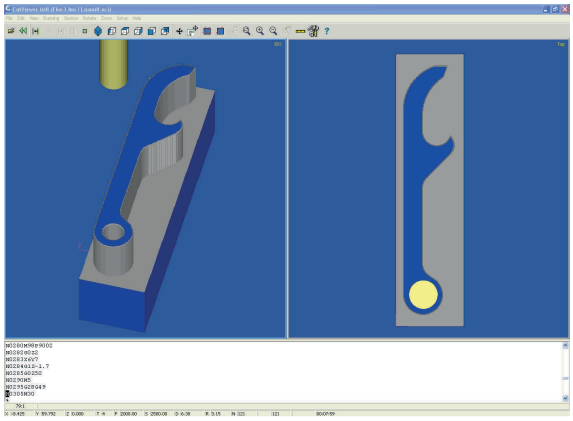


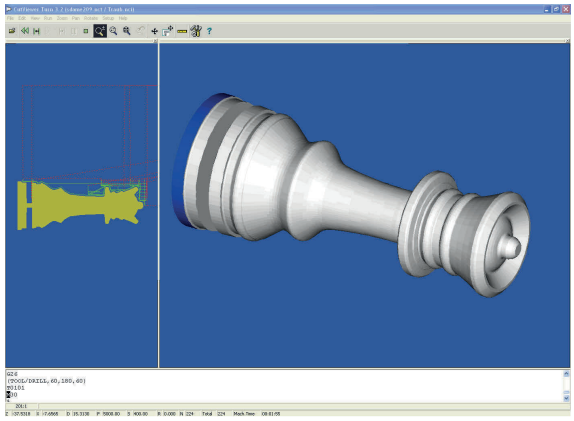


NCPlot aus den USA, Drehen und Fräsen mit bis zu 4 Achsen (rechtes Bild)

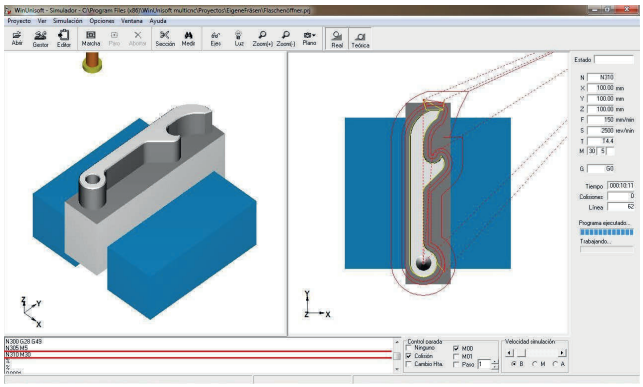
3D mit Werkstoffabtrag

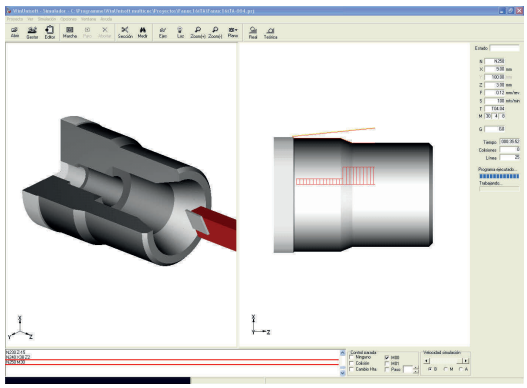
Volumenmodelle, Werkzeug und Materialabtrag sichtbar



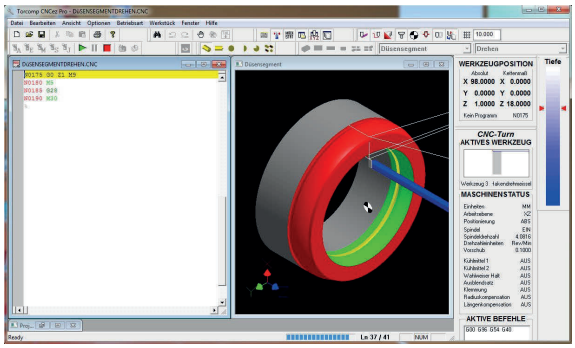


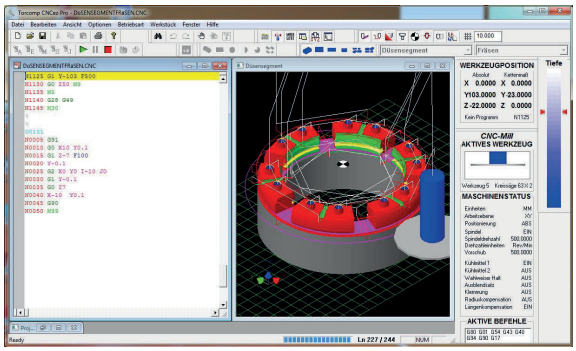
Cutviewer aus den USA, Fräsen und Drehen





WinUnisoft aus Spanien, Fräsen und Drehen

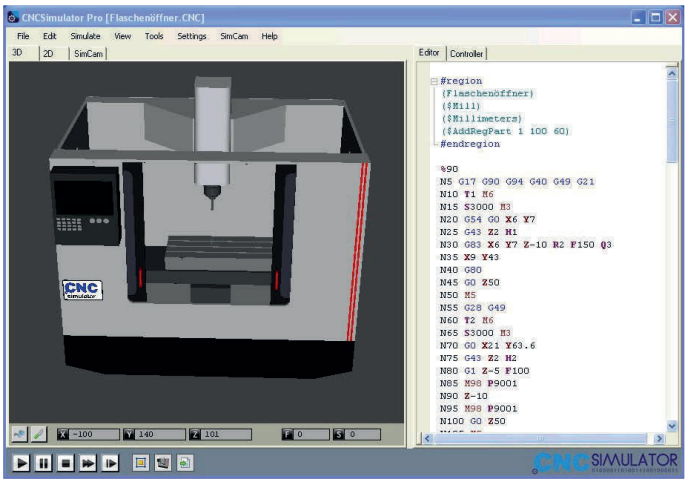


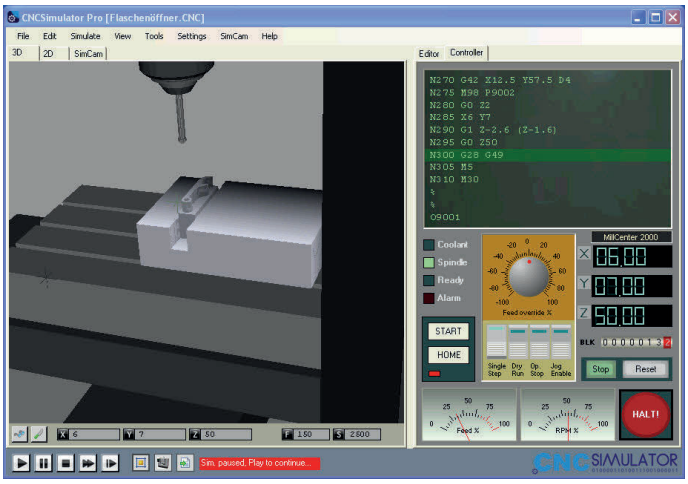


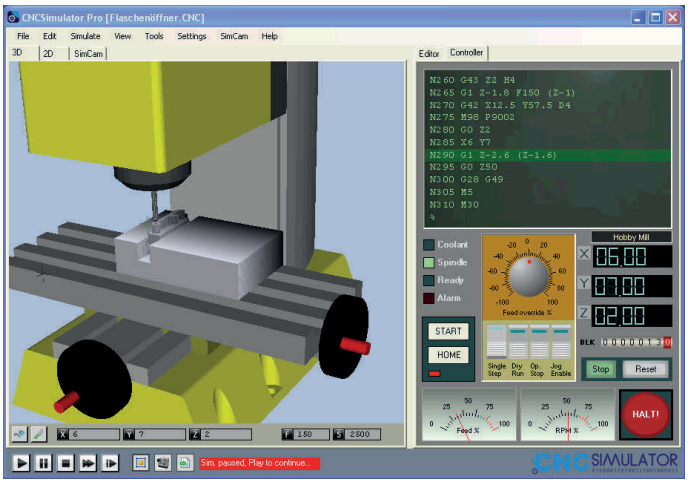
CNCezPRO aus USA, Fräsen und Drehen. Wechsel des Werkstücks zwischen Drehen und Fräsen möglich, sowie Anzeige einer Fanuc-Bedienoberfläche zum Üben

Mit Darstellung der Maschine

Je nach Hersteller mehr oder weniger detailliert dargestellt
und mit verschiedenen Ausbaustufen lieferbar

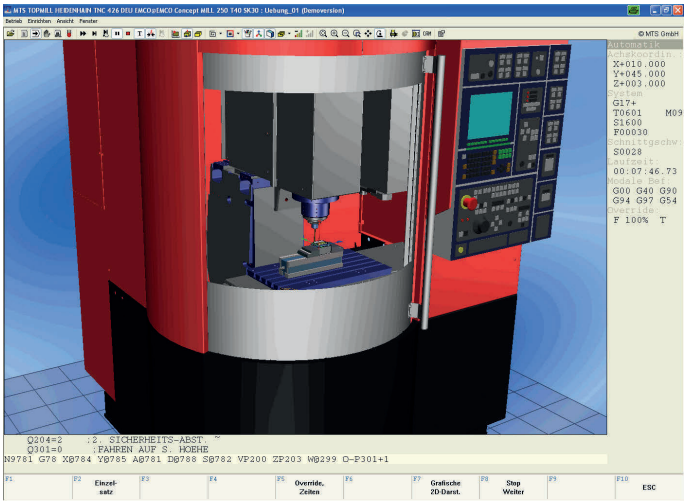


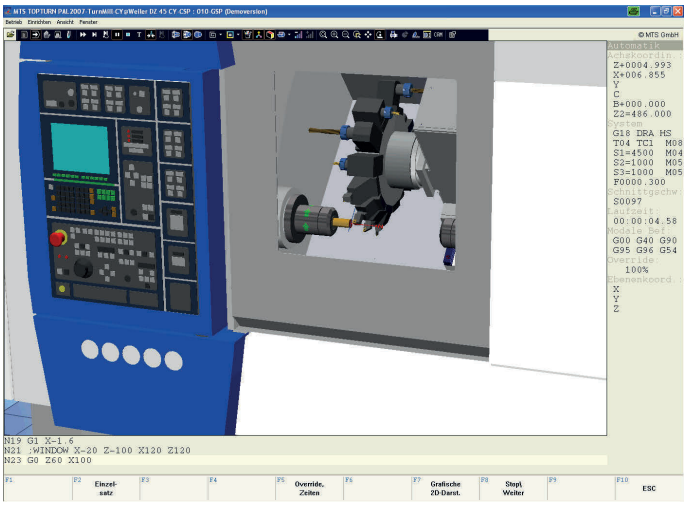


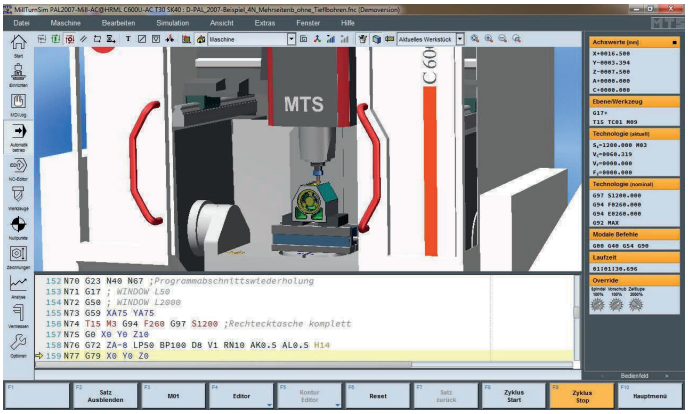


CNCSimulator Pro aus Costa Rica, verschiedene Maschinen zur Auswahl
Mit Einschränkungen sogar kostenlos nutzbar

Mit Darstellung der Maschine (Fortsetzung)







MTS TopMill & TopTurn aus Berlin, sehr detailliert, simuliert 5-Achsen Fräsen, Drehzentren mit angetriebenen Werkzeugen und andere Maschinen.
Auch in der Demoversion ist eine umfassende Sammlung von Musterprogrammen und PAL-Übungen enthalten.

Kapitel 11 - CNC-Steuerung

11.01 Einführung Steuerungen
11.02 Bildschirm
11.03 CNC-Bedienelemente
11.04 Maschinen-Bedienelemente
11.05 CNC-Bildzeichen
11.06 Anpaßsteuerung
11.07 Maschinendaten
11.08 Diagnose

11.01 Einführung Steuerungen

Die CNC-Steuerung ist das „Gehirn“ der Maschine. Von hier aus gehen alle Befehle an die Maschine, die somit selbständig ohne menschliche Eingriffe produzieren kann.
Voraussetzung ist natürlich, dass die Befehle vorher von einem Menschen richtig und vollständig eingegeben wurden.

Jeder Hersteller benutzt eine andere CNC-Steuerung, die dann außer ihren Grundfunktionen wieder für jeden Maschinentyp Extra-Funktionen besitzt. Also eine Unmenge von Möglichkeiten, die dem CNC-Fachmann zuerst einmal Probleme bereitet.

Beim Auto genügt ein Führerschein für alle PKW, alle haben ein Lenkrad, Gas, Bremse und Kupplung an der selben Stelle. Vor der ersten Fahrt muss man vielleicht noch den Rückwärtsgang und den Lichtschalter suchen und dann kann‘s aber schon losgehen.

Hier ist es jedoch weitaus komplizierter. Auch der erfahrene CNC-Spezialist muss sich zuerst in jede neue Steuerung einarbeiten. Es ist wie bei einem Piloten, der für jeden Flugzeugtyp einen anderen Pilotenschein benötigt, obwohl die physikalischen und fliegerischen Grundlagen die selben sind.

Wenn man vor einer neuen Maschine steht, ist man zuerst von den vielen Knöpfen und Schaltern verwirrt, die oft mit unbekannten Zeichen oder englischen Texten versehen sind.

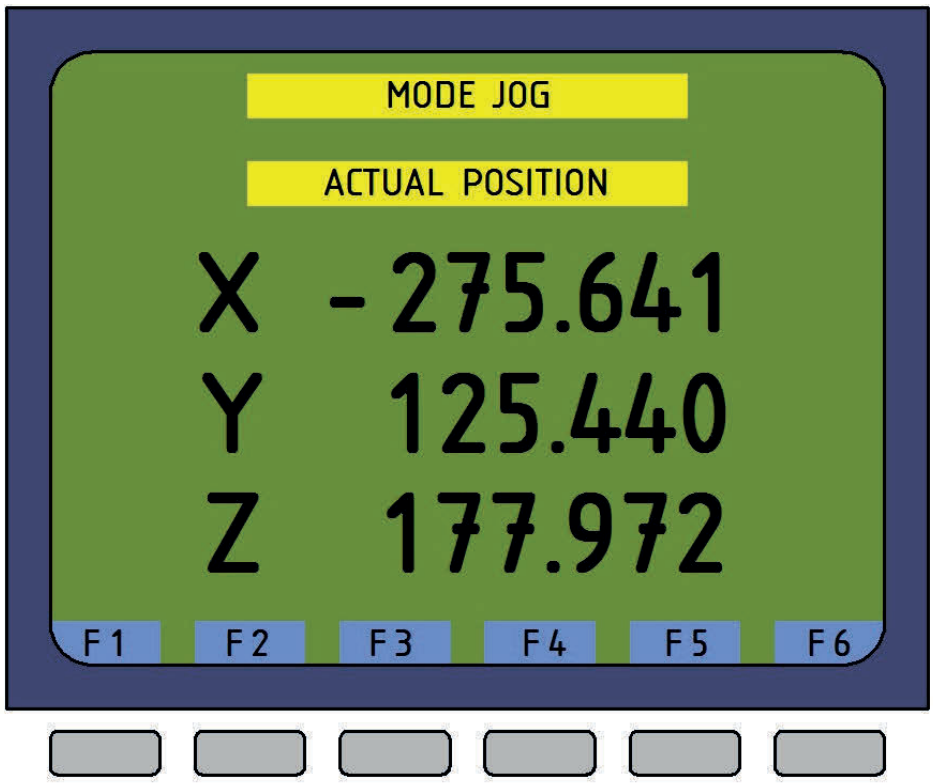
Zur Vereinfachung teilen wir hier die Steuerung in zwei Hauptsektionen auf, weil es so meistens auch an der Maschine vorkommt.

1. Die CNC-Steuerung selbst, welche als fertiges Modul vom Steuerungshersteller geliefert wird. Mit Bildschirm, Tastatur und CNC-Bedienungspanel. Dies ist zwar nicht genormt, jedoch sind bei allen CNC-Steuerungen die selben Grundfunktionen mit ihren Bedienelementen vorhanden.
2. Die Funktionsknöpfe und Schalter für spezifische Maschinenfunktionen, welche der Maschinenbauer als zusätzliches Bedienpanel einbaut. Oft so harmonisch integriert, dass es aussieht, wie wenn es auch zur CNC-Steuerung gehört. Dieses Panel kann je nach Maschinentyp und eventuellen zusätzlichen Sonderfunktionen völlig unterschiedlich aufgebaut sein.

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die wichtigsten Funktionen beschrieben.

11.02 Der Bildschirm

In den Anfangszeiten, als CNC noch ein Abenteuer war, gab es keinen Bildschirm, nur einige Zeilen mit rot leuchtenden Zahlen. Die Anzeige konnte dann auf Aktuelle Position, Restweg, Aktueller Satz, usw. umgeschaltet werden.
Danach kamen die einfarbigen Monitore, meistens mit grüner Schrift auf den Markt. Dadurch war die Übersicht wesentlich besser, man konnte immerhin sein Programm einfacher durchsuchen und mehrere Sätze auf einmal sehen. Dazu wurden nach und nach grafische Anzeigen für Hilfen bei der Konturzug-Programmierung und die grafische Simulation ermöglicht.
Die heutigen Bildschirme sind durchweg farbig und bieten eine hochauflösende Grafik. Darunter oder daneben befinden sich „Softkeys“, übersetzt „weiche Tasten“. Oft sind diese tatsächlich aus weicherem Material als die übrigen Tasten der Steuerung. Der Name kommt aber daher, weil diese Tasten frei programmierbar sind. Es werden hiermit eine Fülle von Zusatzfunktionen F1, F2, usw. verfügbar, die oft noch weitere „Unterfunktionen enthalten. Diese werden im Allgemeinen vor der Auslieferung vom Steuerungs- oder Maschinenhersteller einprogrammiert. Hauptsächlich sind es die Grafikfunktionen und Sonderfunktionen der Maschinen. Auch kundenspezifische Extrawünsche oder Nachrüstungen können hier berücksichtigt werden.

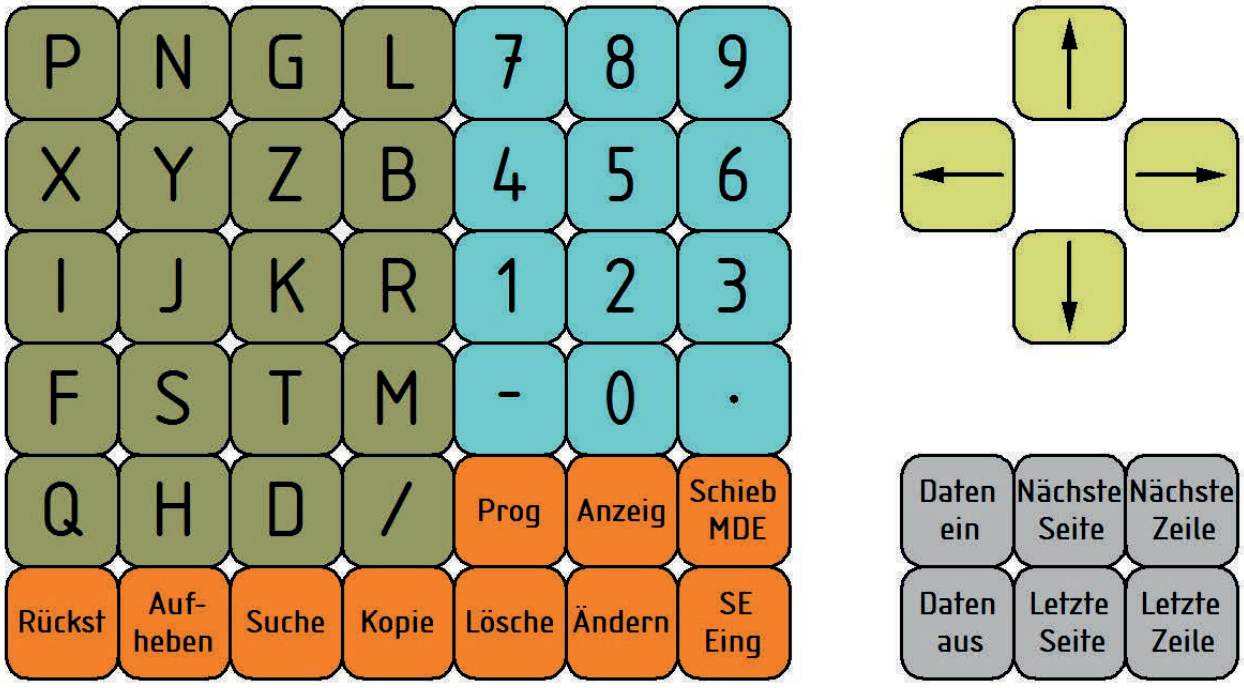


Bildschirm mit Anzeige, teilweise farbig unterlegt, zeigt an, dass hier die Betriebsart „Mode Jog“ „Handverfahren“ ansteht, mit den aktuellen Positionen der 3 Achsen.
Dazu 6 Softkeys unten für 6 Hauptfunktionen F1 bis F6, mit eventuell weiteren Unterfunktionen.

11.03 CNC-Bedienelemente

Tastatur

Meistens befindet sich die Tastatur rechts vom Bildschirm. Sie enthält nur die Buchstaben und Ziffern, welche gebraucht werden. Dazu die Funktionstasten für den Datenzugriff, wie Einlesen, Auslesen, Suchen, Ändern, Löschen, Einfügen. Die verschiedenen Tastenblöcke sind zur besseren Unterscheidung in unterschiedlichen Farben gehalten. Diese Tastatur ist somit für alles zuständig, was mit der Programmverwaltung zusammenhängt und dazu für alle anderen manuellen Eingaben. Oft sind manche Tasten doppelt belegt, die dann mit einer Shift-Funktion umgeschaltet werden können.
Es existieren auch Steuerungen mit einer vollständigen Schreibmaschinentastatur.
Die Funktionstasten können mit Bildzeichen, mit englischem Text oder mit Text in der jeweiligen Landessprache beschriftet sein.



CNC-Bedienfeld

An dieser Stelle wird nur das Bedienfeld (Panel) aufgezeigt, welches zur CNC-Steuerung gehört. Das Bedienfeld für die speziellen Maschinenfunktionen wird im nächsten Unterkapitel behandelt.
Wegen seinem übersichtlichen Aufbau wird hier das CNC-Bedienfeld von der Simulation CNCezPRO für eine Fräsmaschine mit 3 Achsen beschrieben. Bei einer Drehmaschine sind es nur zwei Achsen, ansonsten finden sich dort die selben Funktionen.

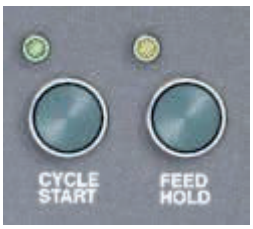
Auch wenn manche Panels auf den ersten Blick ganz anders aussehen, sind doch überall die gleichen Grundfunktionen vorhanden.

Das Bedienfeld einer CNC-Steuerung mit den typischen Funktionen.

Bedienfeld einer Fräsmaschine

Die Bezeichnungen auf dem Bedienfeld wurden absichtlich nicht übersetzt, weil nicht jede Maschine mit einem Bedienfeld in der jeweiligen Landessprache erhältlich ist.
Man kommt als CNC-Fachkraft nicht umhin, sich einige englische Begriffe zu merken.

Bedienelemente im Einzelnen



CYCLE START = Zyklus Start, startet die Bearbeitung im Automatik-Modus und im Handeingabe-Modus.

FEED HOLD = Vorschub Halt, Vorschub kann während der Bearbeitung angehalten werden, weiterfahren mit CYCLE START.

Der Betriebsartenwahlschalter (Mode Select) ist der Schalter, welcher zuerst zu betätigen ist. Erst wenn die richtige Betriebsart angewählt ist, können die gewünschten Funktionen gewählt und ausgeführt werden.

Dafür hat sich der abgebildete Drehschalter allgemein durchgesetzt, weil man sofort sieht, auf welcher Betriebsart er gerade steht. Es gibt jedoch einige Steuerungen, wo die Anwahl der Betriebsart mit Tasten angewählt wird.
Betriebsartenwahlschalter

MODE SELECT = Betriebsart auswählen, zur Anwahl der gewünschten Betriebsart (Modus) wird zuerst der Betriebsartenwahlschalter betätigt.

EDIT = editieren (einfügen, ändern, löschen, usw.) eines CNC-Programms.

AUTO = Automatikbetrieb zur Abarbeitung eines CNC-Programms.

MDI = Manual Data Input = manuelle Dateneingabe (Handeingabe) zur Eingabe von sofort auszuführenden CNC-Befehlen und zur Eingabe von Werkzeugdaten, Koordinatenverschiebungen, usw.

STEP/HANDLE = Schritt/Handrad zum Verfahren der Achsen in definierten Schritten oder mit Hilfe des Handrades.

JOG = Handvorschub, Verfahren der Achsen mit Handvorschub.

Anmerkung: Einige Steuerungen bieten noch zusätzlich die Betriebsart TEACH IN an. Damit kann man eine manuell abgefahrene Strecke als Programmsatz in den Speicher übernehmen. Danach eine weitere Bewegung, wieder übernehmen und so weiter. Auf diese Weise kann man ein ganzes Programm (mühsam) erstellen. Teach in wird überwiegend bei Robotern angewendet.

JOG & STEP FEED = Hand- und Schrittvorschub, zum Bewegen der Achsen im Hand- und Schrittbetrieb.

RAPID TRAVERSE = Eilgangbewegung für das Verfahren der Achsen im Hand- und Schrittbetrieb. Bei Anwahl wird der Ring um den Knopf beleuchtet.

Handrad entweder fest an der Steuerung angebaut oder als Zubehör mobil mit Kabel

HANDLE = Handrad, zum Verfahren der Achsen mit dem Empfinden wie an einer konventionellen Maschine.

HANDLE AXIS SELECT = Achsauswahl für Handradbetrieb

HANDLE MULTIPLIER = Multiplikator für Handrad.
Faktor 1 = langsamste Bewegung, Faktor 100 = schnellste Bewegung mit Handrad

OFF = Aus, ON = Ein

SINGLE BLOCK = Einzelsatz. Abarbeitung des CNC-Programms im Einzelsatz, bei jedem Satz muss CYCLE START neu gedrückt werden.

OPTIONAL BLOCK SKIP = Ausblendsatz überspringen. Die mit /N... bezeichneten Ausblendsätze können wahlweise ausgeführt (Stellung OFF) oder übersprungen werden (Stellung ON).

DRY RUN = Probelauf (Trockenlauf). Es findet hier keine Bewegung in der Z-Achse statt, so dass ein Probelauf in Höhe des Z-Referenzpunktes über dem Werkstück durchgeführt werden kann.

REFERENCE POINT RETURN = Rückkehr zum Referenzpunkt, manuelles Anfahren des Referenzpunktes.

RAPID TRAVERSE OVERRIDE = Geschwindigkeit der Eilgangbewegung von F. (wie programmierter Arbeitsvorschub) bis 100 % (Höchstgeschwindigkeit).

STEP FEED AMOUNT = Betrag des Schrittvorschubes bei Schrittbetrieb. Schrittweiten: X1 = 0,001mm bis X1000 = 1mm.
Bei Bearbeitung in Zoll ist dies von 0,0001 Zoll bis 0,1 Zoll.

E.STOP (Emergency Stop) = Not-Aus, hält die gesamte Bearbeitung an.

MACHINE LOCK = Maschine verriegeln, es finden keine Bewegungen statt (z. B. während der Simulation eines CNC-Programms).

FEEDRATE OVERRIDE = Regelung des Arbeitsvorschubes. Regelung des programmierten Arbeitsvorschubes in % im Automatik- oder MDI-Betrieb.

JOG FEEDRATE = Vorschubwert für Verfahren von Hand (JOG) in mm pro Minute.

Anwendung der verschiedenen Betriebsarten

Betriebsart EDIT = editieren (einfügen, ändern, löschen) eines CNC-Programms.

Schalter auf EDIT stellen.

Auf dem Bildschirm erscheint normalerweise das aktive (gerade anstehende) Programm und kann wie in einem Editor geändert werden: Ändern, Einfügen, Löschen von Wörtern, Sätzen und ganzen Programmteilen.
Ein anderes Programm muss zuerst in der Programmliste gesucht und ausgewählt werden, um den Inhalt anzuzeigen und zu editieren.
Ein neues Programm wird mit einer neuen Programmnummer eröffnet. Danach kann der Inhalt eingegeben werden.
Das Gleiche gilt natürlich auch für Unterprogramme.

Betriebsart AUTO = Automatikbetrieb zur Abarbeitung eines CNC-Programms.

Schalter auf AUTO stellen.

Mit CYCLE START wird die automatische Abarbeitung des Programms gestartet.

Mit FEED HOLD wird die Vorschubbewegung gestoppt (gelbe Kontrolllampe leuchtet)

Mit CYCLE START kann die Ausführung fortgesetzt werden.

Ein vorhandenes CNC-Programm muss angewählt (aktiviert) werden und kann dann mit CYCLE START gestartet werden.

Während des Programmablaufs wird am Bildschirm das laufende Programm an der aktuellen Stelle angezeigt. Es kann auch auf die aktuelle Position oder Restweganzeige umgeschaltet werden, was beim Einfahren eines neuen Programms nützlich ist.

Betriebsart MDI = Manual Data Input = manuelle Dateneingabe (Handeingabe), zur Eingabe von sofort auszuführenden CNC-Befehlen.

Schalter auf MDI stellen.

Es öffnet sich ein Eingabefenster, wo Befehle zur augenblicklichen Abarbeitung eingegeben werden können. Z. B.: Spindeldrehzahl 2000 Umdrehungen pro Minute, Drehrichtung rechts. Eingabe: S2000 M3. Nach EINGABE oder INPUT wird die Befehlszeile sofort ausgeführt.
Bei MDI können u. a. verschieden Ebenen angewählt werden: Satzweise Eingabe, Werkzeugkorrekturen, Nullpunkte, Referenzpunktverschiebung, Maschinenparameter.

Betriebsart STEP/HANDLE = Schrittbetrieb / Handrad zum Verfahren der Achsen in definierten Schritten oder mit Hilfe des Handrades.

STEP = Schrittbetrieb

Betriebsartenwahlschalter auf STEP/HANDLE stellen.

Bei Schrittbetrieb die Auflösung der Schrittweite X1 – X1000 (STEP FEED AMOUNT) vorab auswählen.

Mit Schalter JOG FEEDRATE gewünschten Vorschubwert auswählen, bei 0 findet keine Bewegung statt.

Mit den Vorschub-Richtungstasten Schrittbewegung starten, dabei so lange auf der Taste bleiben, bis Endpunkt des Schrittes erreicht ist.

Der Schrittbetrieb dient vor allem zum Einrichten der Maschine. Maschine ausmessen, Werkstück antasten, Werkzeuge ausmessen.

HANDLE = Handradbetrieb

Gewünschte Achse bei HANDLE AXIS SELECT vorwählen.

Multiplikationsfaktor (HANDLE MULTIPLIER) X1 bis X100 anwählen
.
Handrad (HANDLE) in gewünschte Richtung drehen.

Mit dem Handrad kann fast wie beim konventionellen Betrieb manuell verfahren werden, z. B. für einfache Bearbeitungen und zum Einrichten der Maschine

Betriebsart JOG = Handvorschub, Verfahren der Achsen mit Handvorschub.

Von Hand verfahren

Schalter auf JOG stellen.

Mit Schalter JOG FEEDRATE gewünschten Vorschubwert auswählen, bei 0 findet keine Bewegung statt.

Mit den Vorschub-Richtungstasten Bewegung starten, dabei so lange auf der Taste bleiben, bis gewünschter Punkt erreicht ist.

Wenn RAPID TRAVERSE (Eilgang) aktiviert ist, verfährt die Maschine im Eilgang.

Mit JOG können einfache Bearbeitungen manuell ausgeführt werden und beim Einrichten können die Positionen zuerst grob angefahren werden

Referenzpunkt

In der Betriebsart JOG kann auch der Referenzpunkt angefahren werden.

REFERENCE POINT RETURN ON (Referenzpunkt anfahren Ein) wählen.

Mit den Vorschub-Richtungstasten Anfahrbewegung in der korrekten Richtung starten, dabei so lange auf der Taste bleiben, bis der Referenzpunkt der jeweiligen Achse erreicht ist. Zur Bestätigung leuchtet die Kontrolllampe der angefahrenen Achse bei REFERENCE POINT RETURN auf. Diese Vorgehensweise für jede weitere Achse wiederholen.

Nach Not-Aus oder erneutem Einschalten der Maschine muss immer zuerst der Referenzpunkt angefahren werden, damit das Meßsystem wieder vom Anfangspunkt aus seine Position berechnen kann.

Falls die Achsen zufällig schon auf dem Referenzpunkt stehen, müssen sie zum erneuten Anfahren trotzdem zuerst ein Stück weit weggefahren werden. Manche Steuerungen machen das automatisch, bei anderen muss mit JOG manuell etwas (in Minus-Richtung) weggefahren werden, ansonsten fährt die betreffende Achse auf den mechanischen Endschalter und muss dann in manchen Fällen mit einer Handkurbel zurückgedreht werden.

Bei Fräsmaschinen normalerweise zuerst mit der Z-Achse auf den Referenzpunkt fahren.
Bei Drehmaschinen in den meisten Fällen mit der X-Achse beginnen.

11.04 Maschinen-Bedienelemente

Diese Tasten und Schalter sind auf die Bedürfnisse der jeweiligen Maschine abgestimmt und können hier nur sehr allgemein behandelt werden.
Es gibt Standardfunktionen, welche an fast jeder Fräs- und Drehmaschine vorhanden sind, wie Steuerung ein / aus, Hauptspindel ein / aus, Vorschub ein / aus, Werkzeugwechsler manuell betätigen, Spannvorrichtung (Futter, Schraubstock) öffnen und schließen, Kühlmittel manuell ein- und ausschalten.
Dazu kommen dann vielfältige Sonderfunktionen je nach Ausbaustufe der Maschine, wie Hydraulik ein / aus, Stangenautomat ein / aus, Reitstock vor / zurück, Späneförderer ein / aus, Palette manuell wechseln, Handhabungsvorrichtung vor / zurück. Dies kann wegen der möglichen Vielzahl der Sonderfunktionen auf den ersten Blick verwirrend erscheinen. Und bei von den Maschinenherstellern selbst designten Steuerungen ist die Trennung von CNC- und Maschinen-Bedienelementen oft nicht eindeutig erkennbar.

Das Ein- und Ausschalten der Maschine beginnt und endet gewöhnlich bei den Maschinen-Bedienelementen.

Einschalten:
- Hauptschalter ein
- Nebenaggregate (z.B. Hydraulik, Heizung) ein
- Steuerung ein

Ausschalten (umgekehrt).
- Steuerung aus
- Nebenaggregate aus
- Hauptschalter aus

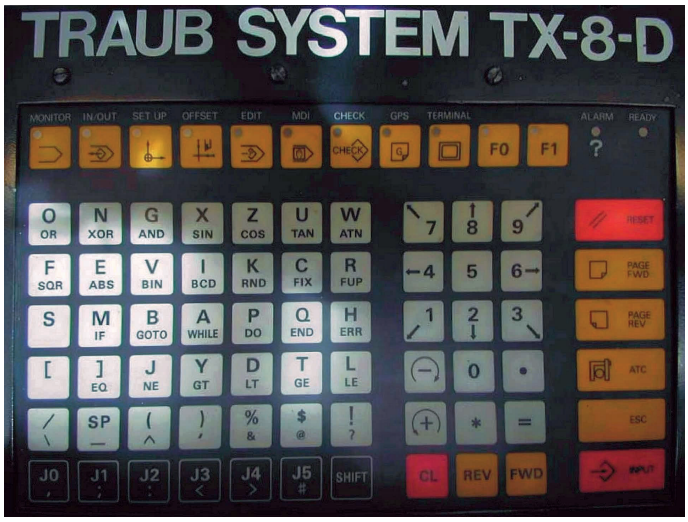
Bildbeispiele von Steuerungen

Steuerungskonsole einer Fräsmaschine mit Luxtronic-Steuerung (Ausbildungsmaschine)

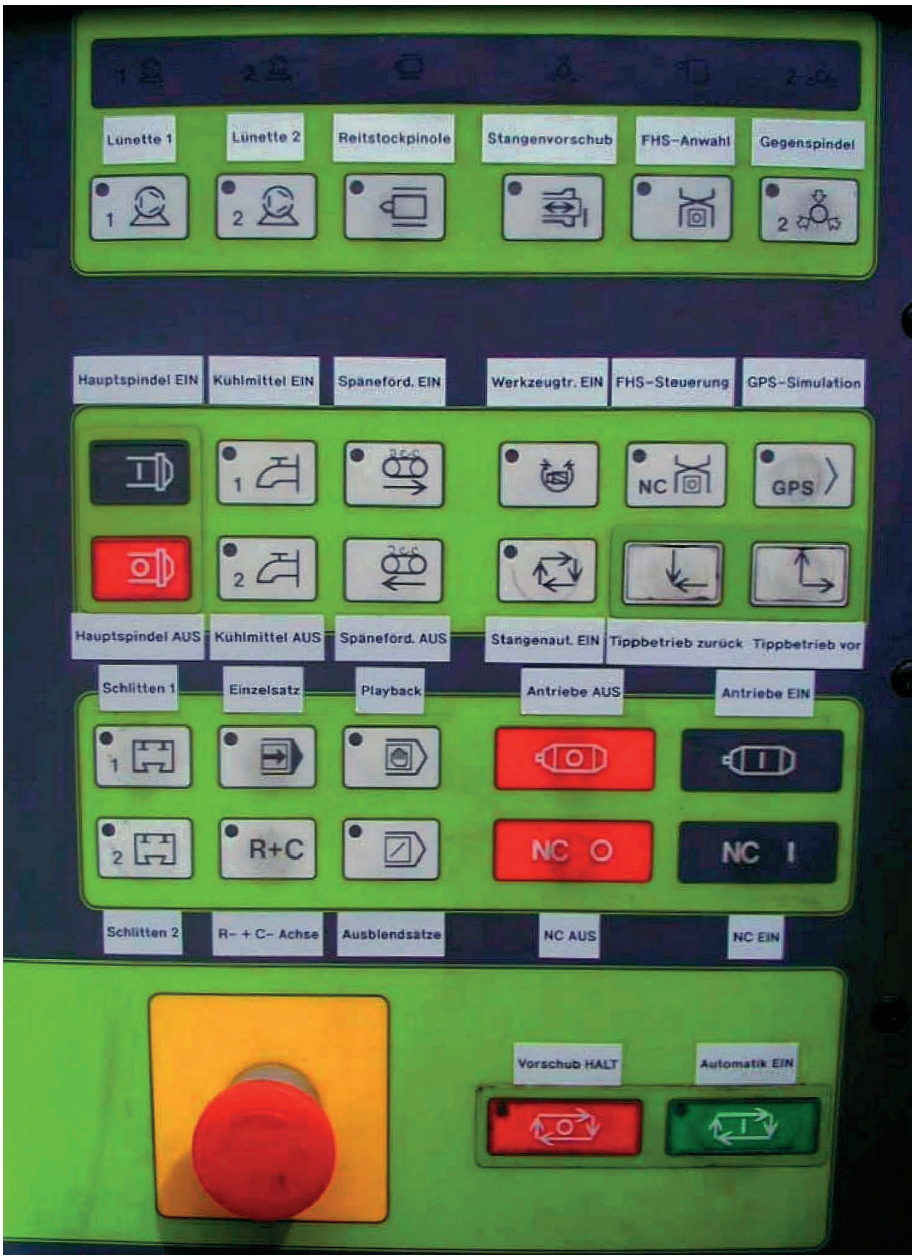
Bei der Ansicht dieser Steuerung einer einfachen Fräsmaschine sind relativ wenige Elemente für reine Maschinenfunktionen enthalten. Das sind hier gerade mal Werkzeugwechsel, Spannen ein/aus, Spindel ein/aus, Kühlmittel ein/aus und Schlitten Halt.

Steuerungskonsole einer Steuerung Traub TX 8-D eines Drehzentrums

Auf den nachfolgenden Bildern sind eine Menge Spezialknöpfe ersichtlich, welche für die vielen Sonderfunktionen dieser Maschine benötigt werden.
Solch eine „Rundum-Komplettbearbeitungs-Maschine“ setzt natürlich eine wesentlich längere Einarbeitungszeit voraus.


TRAUB SYSTEM TX-8-D
MONITOR
IN/OUT
SET UP
OFFSET
EDIT
MDI
CHECK
GPS
TERMINAL
ALARM
READY
F0
F1
RESET
PAGE FWD
PAGE REV
ATC
ESC
CL
REV
FWD
SHIFT

M 01
DRY RUN
M/C LOCK
X/C
Z/R
X1
Z1
C
R
X2
Z2
mm/min

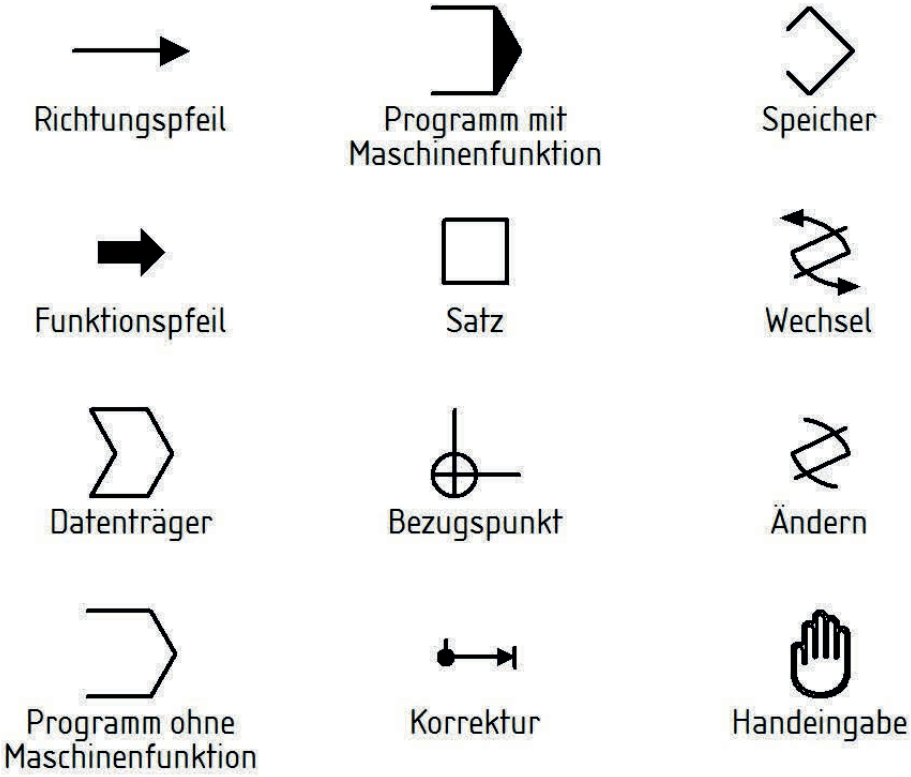

Lunette 1
Lunette 2
Reitstockpinole
Stangenvorschub
FHS-Anwahl
Gegenspindel
Hauptspindel EIN
Kühlmittel EIN
Späneförd. EIN
Werkzeugtr. EIN
FHS-Steuerung
GPS-Simulation
NC
GPS
Hauptspindel AUS
Kühlmittel AUS
Späneförd. AUS
Stangenaut. EIN
Tippbetrieb zurück
Tippbetrieb vor
Schlitten 1
Einzelsatz
Playback
Antriebe AUS
Antriebe EIN
R+C
NC O
NC I
Schlitten 2
R- + C- Achse
Ausblendsätze
NC AUS
NC EIN
Vorschub HALT
Automatik EIN

11.05 CNC-Bildzeichen

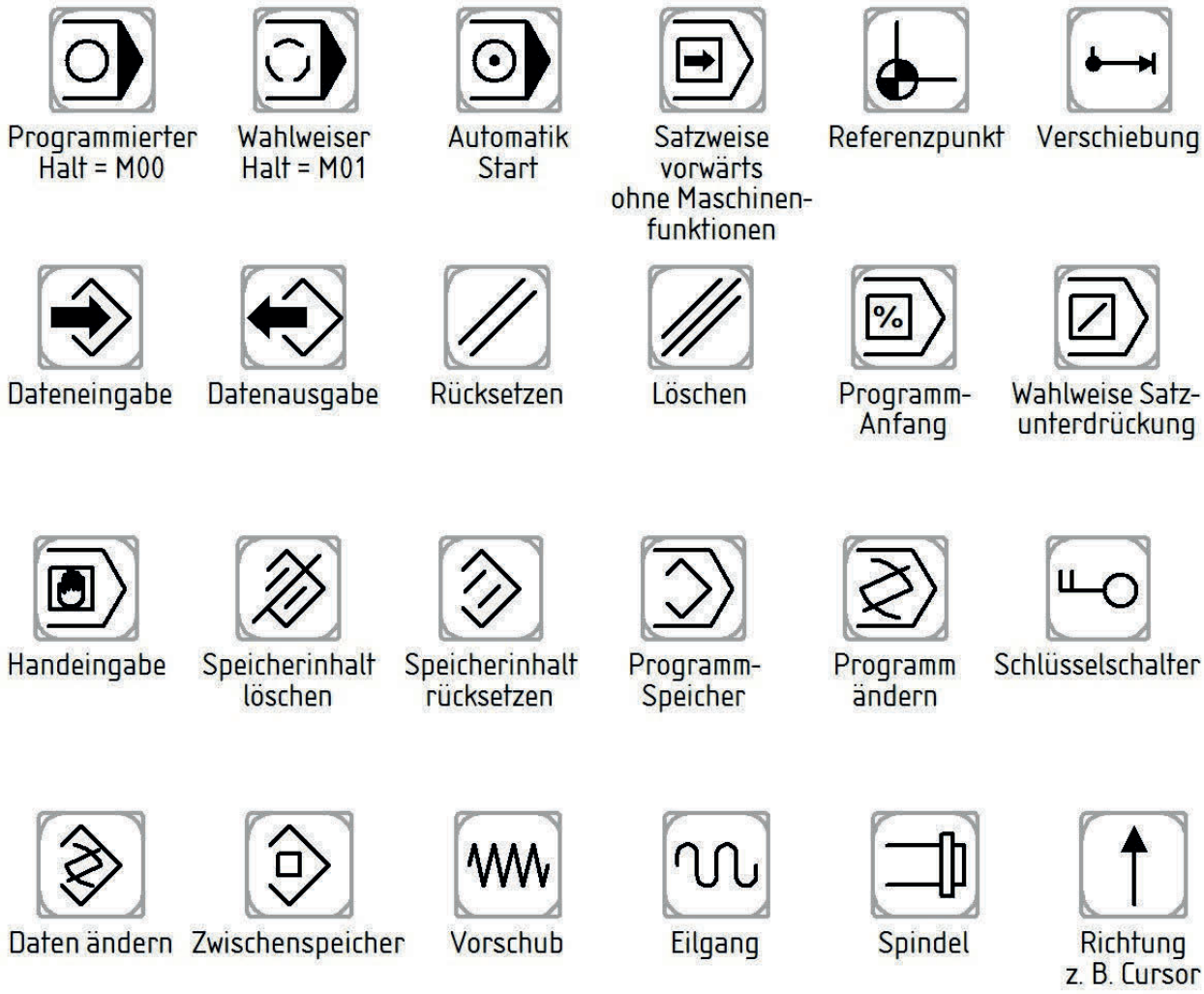
Zur internationalen Verwendung werden gerne Bildzeichen (Piktogramme) benutzt. Man kennt z. B. die Bildchen für Herren- oder Damentoilette, die jeder auf Anhieb versteht. Auch den Fußball, welcher den Weg zum Stadion weist oder das rote Kreuz, das mir anzeigt: „Hier gibt es Hilfe“, kennt jeder.
So auch hier der Versuch, leicht verständliche Bildzeichen zu entwerfen, welche der Deutsche genauso wie der Chinese verstehen soll, ohne erst Sprache und Schriftzeichen des anderen lernen zu müssen. Allerdings sind die Zeichen der numerisch gesteuerten Maschinen für Laien unverständlich und auch der Fachmann muss sich zuerst einarbeiten. Nachfolgend eine Übersicht mit einer Auswahl der häufigsten Bildzeichen.

Grundbildzeichen u. a. nach der früheren DIN 55003, nicht mehr verbindlich

Aus diesen Grundbildzeichen können weitere Zeichen frei zusammengesetzt werden.



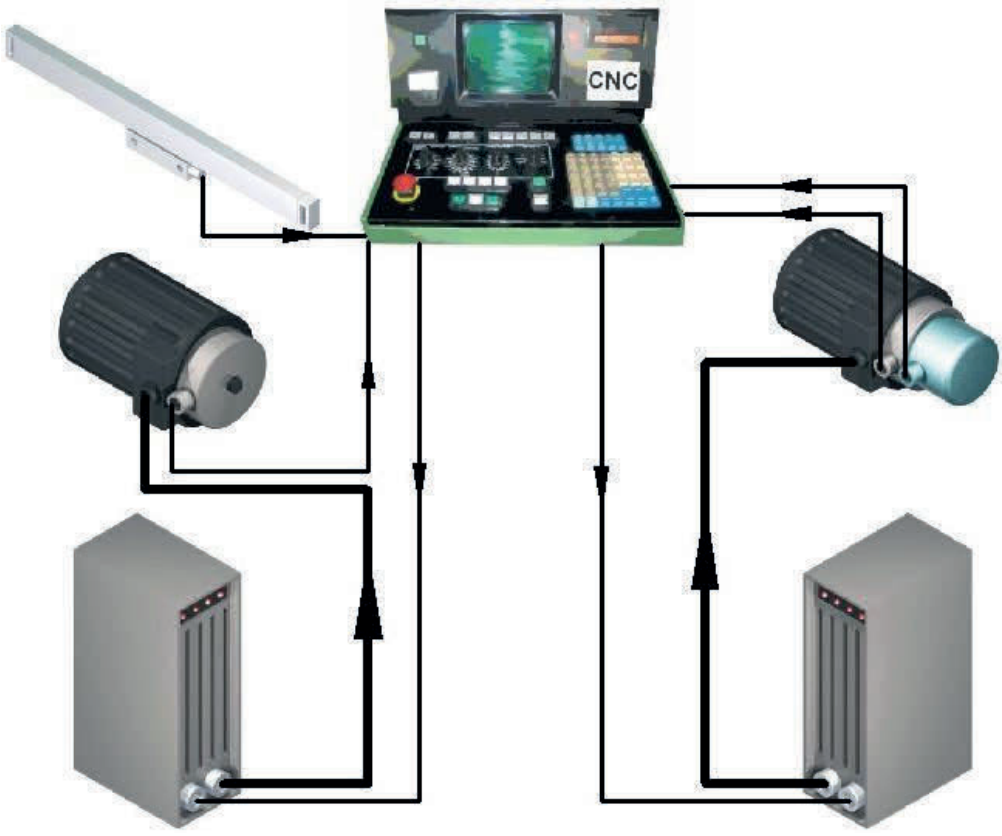
Beispiele für angewandte (zusammengesetzte) Bildzeichen auf der Tastatur


Programmierter Halt = M00
Wahlweiser Halt = M01
Automatik Start
Satzweise vorwärts ohne Maschinen-funktionen
Referenzpunkt
Verschiebung
Dateneingabe
Datenausgabe
Rücksetzen
Löschen
%
Programm-Anfang
Wahlweise Satz-unterdrückung
Handeingabe
Speicherinhalt löschen
Speicherinhalt rücksetzen
Programm-Speicher
Programm ändern
Schlüsselschalter
Daten ändern
Zwischenspeicher
Vorschub
Eilgang
Spindel
Richtung z. B. Cursor

11.06 Anpaßsteuerung – Steuern und Regeln

Die CNC-Steuerung selbst arbeitet nur mit Kleinspannung. Sie gibt damit ihre Signale aus und empfängt sie ebenfalls per Kleinspannung. Jedoch benötigen die Motoren für die Achsantriebe und die Hauptspindel wesentlich mehr Kraft, meistens Drehstrommotoren mit 400 Volt (früher 380 V). Dazu muss dann für jede Achse und die Hauptspindel ein Verstärker zwischengeschaltet werden, der Anpaßsteuerung, Achsverstärker, Servoverstärker oder einfach Servo genannt wird.
So findet man im Schaltschrank mindestens einen solchen Kasten für jede Achse und einen für die Hauptspindel. Bei einer Fräsmaschine mit 4 Achsen sind dann 5 Stück vorhanden. Es können noch mehr Servos eingebaut sein, z. B. einer für einen elektrisch betriebenen Werkzeugwechsler.

Wie schon in der Einführung im ersten Kapitel erwähnt, erhält die Steuerung von den Tachos der Hauptspindel und der Achsen ständig Informationen über die augenblickliche Drehzahl und vom Meßsystem wird der Steuerung laufend die momentane Position mitgeteilt. Die Steuerung vergleicht Soll- und Istwerte und gibt die neu errechneten Werte an die Anpaßsteuerung weiter, welche dann diese Informationen z.B. als Spannungsänderung an den betreffenden Motor weitergibt, was dann in diesem Falle zu einer Änderung der Drehzahl führt.



Schema einer Lageregelung mit Steuerung, links System mit Linearmaßstab, rechts mit Drehgeber, zugehörige Anpaßsteuerungen unten. Dünne Verbindungen bedeuten Kleinspannung, dicke Verbindungslinien Hochspannung.

Steuern und Regeln – was ist der Unterschied?

Beim Steuern wird eine bestimmte Größe eingestellt und wird nicht weiter überwacht.
Bei einem elektrischen Eierkocher wird die Zeit eingestellt, je nachdem, ob das Ei weich oder hartgekocht gewünscht wird. Der Prozess läuft stur ab, jedoch ohne Messung der benötigten Temperatur im Inneren des Eis. So kann es passieren, dass ein Ei, welches aus dem Kühlschrank kam, noch nicht ganz durch ist.

Beim Regeln wird ebenfalls eine bestimmte Größe eingestellt, aber ständig überwacht und bei Abweichungen wird nachgeregelt.
Ein Kühlschrank wird unter Berücksichtigung der Klimazone auf die empfohlenen Werte eingestellt und soll die Temperatur immer so halten. Nach dem Einschalten läuft der Kompressor so lange, bis der Thermostat „merkt“, dass die richtige Temperatur erreicht ist und schaltet einfach den Strom ab. Nach einiger Zeit oder wenn die Hausfrau zwischendurch die Tür öffnet, steigt die Temperatur etwas an. Der Thermostat fühlt, dass die Temperatur außerhalb der Toleranzgrenze liegt und schaltet den Strom wieder ein.
Tipp: Es ist sinnlos, nach dem Abtauen und Reinigen des Kühlschranks die maximale Einstellung zu wählen. Falls das Zurückdrehen vergessen wird, ist der Inhalt am nächsten Morgen hartgefroren und die Stromrechnung steigt. Der Kompressor hat keinen Schnell- oder Langsam-Lauf, er wird nur ein- oder ausgeschaltet, sonst nichts. Deshalb lediglich die bisher bewährte Stufe einstellen.
Ausnahme: bei manchen Gefriergeräten gibt es für solche Fälle eine extra „Super“- oder „Turbo“-Taste.

Wieder zur CNC-Steuerung zurück:

Der Bediener an der Maschine „steuert“. Er gibt feste Vorgaben (z. B. eine Position oder eine Drehzahl) ein. Auch das NC-Programm ist eigentlich nur eine Liste von Steuerungsanweisungen. Um diese Sollwerte zu halten muss die Steuerung mit Hilfe der Meßsysteme, Tachos und anderen Sensoren die Istwerte überprüfen und gegebenenfalls auf die Sollwerte korrigieren. Im Gegensatz zum Kühlschrank geht dies nicht so gemächlich vor sich, sondern ist ein ständiges Hin-und Her von Daten und Stromstößen im Millisekunden-Bereich. Das bedeutet: die CNC-Steuerung übernimmt die Regelung. Und das innerhalb sehr enger Toleranzen in kürzester Zeit, die Maschine soll ja schließlich genau fertigen.

Wer an einer eingeschalteten CNC-Maschine, welche gerade keine Bewegung vollführt, eine Vorschubspindel genau beobachtet, kann sehen, dass diese laufend kleine „Rucker“ macht. Wenn man die Vorschubspindel anfasst, ist es noch deutlicher zu merken. Und wer in eine Richtung gegen eine Achse drückt, kann hören, dass das typische Pfeifgeräusch der Achsantriebe lauter wird. Die Steuerung „wehrt“ sich gegen das Wegdrücken aus der gehaltenen Position und regelt dagegen.

11.07 Maschinenparameter / Maschinendaten

Die nachfolgende Auflistung soll und kann nicht vollständig sein, es ist auch keine Anleitung zum Ändern der Maschinendaten, sondern soll nur zum Verständnis und zur allgemeinen Information dienen.

EPROM

Vorab etwas über diejenigen Daten, welche nicht in den Maschinendaten sondern fest auf dem EPROM gespeichert sind:
EPROM bedeutet Erasable Programmable Read Only Memory, übersetzt: Löschbarer, programmierbarer nur Lese-Speicher und ist ein Speicherbaustein, der auf einer Platine der CNC-Steuerung sitzt. Lässt sich nur mit Hilfe spezieller Programmiergeräte programmieren, der Inhalt kann durch ein kleines Fenster mit UV-Licht gelöscht und danach wieder neu programmiert werden. Zum Schutz vor Strahlen wird das Fenster nach der Programmierung zugeklebt.

Auf dem EPROM sind z. B. alle CNC-Befehle hinterlegt, wie G00, M30, usw. Wenn der Maschinenhersteller Sonderfunktionen anbietet, legt er dazu passende, frei wählbare CNC-Befehle fest, z.B. neue M-Funktionen (M26, M83, usw.). Diese werden ebenfalls auf dem EPROM abgelegt. Bei einer nachträglichen Aufrüstung der Maschine kann es sein, dass das EPROM neu programmiert werden muss. So können die EPROMS verschiedener Maschinen des gleichen Typs oft nicht einfach untereinander ausgetauscht werden.

Maschinenparameter / Maschinendaten

Die Maschinenparameter oder Maschinendaten sind Informationen über die vorhandene Maschine. Sie werden in der CNC-Steuerung abgelegt und danach gewöhnlich nicht mehr verändert.
Ausnahmen: z. B. Reparaturen, wie Austausch von Meßsystemen oder Antriebsmotoren, nach Neuausrichten der Maschine wegen einer Kollision, Anschluss eines neuen Geräts an der Schnittstelle.
Der Anwender an der Maschine sollte die Maschinendaten nur in Absprache mit dem Hersteller ändern und dabei ist überaus sorgfältig vorzugehen.
Jede Veränderung der Maschinendaten ist abzuspeichern und sauber zu dokumentieren. Sollte auf Datenträger und in Papierform vorliegen.

Oft wird unterschieden, wer die Parameter verändern darf und so gibt es:

Standard Parameter / Anwender Parameter
sind Parameter, die bei Bedarf vom Anwender (Kunde) geändert werden können, z.B. die Parameter zum Datenaustausch mit externen Geräten.

Builder Parameter / Hersteller Parameter
dürfen im Allgemeinen nur durch autorisiertes Personal des Herstellers geändert werden und sind häufig durch Passwort geschützt.
Fehlerhafte Anwendung kann schwere Maschinenschäden zur Folge haben und Gefahren für Leib und Leben nach sich ziehen.
Beispiele: eigenmächtige Erhöhung der Maximalgeschwindigkeit (Eilgang) erzeugt garantiert Schäden an den Motoren und Antriebseinheiten. Meistens müssen dazu auch andere Parameter, wie Beschleunigung und sonstige Faktoren geändert werden.
Erhöhung der Drehzahlbegrenzung der Spindel. Bei einer Drehmaschine mit konstanter Schnittgeschwindigkeit nimmt die Drehzahl zur Mitte hin zu, bis zu einer theoretisch unendlich hohen Drehzahl. Bei einem großen Backenfutter und / oder hoher Werkstückmasse kann dies dazu führen, dass die Maschine wie ein Hubschrauber abhebt und Ihnen die Fetzen um die Ohren fliegen.

Einige Maschinendaten werden im Klartext, manche als Bits in einer Binärzahl oder als Hexadezimalzahl eingegeben.

Im Allgemeinen werden die Maschinenparameter in folgende Kategorien unterteilt:

Achsspezifische Maschinendaten

Allgemeine Maschinendaten

Maschinen-Datenbits

Achsspezifische Maschinendaten

Sind die Maschinendaten, die sich auf die Verfahrachsen der Maschine (X, Y, Z, A, B, C, usw.) beziehen und sind für jede einzelne Achse verfügbar. Die Eingabe der Längen erfolgt meistens in Mikrometer und der Winkel in 0,001 Grad.
Nachfolgend eine Auswahl:

Koordinaten (Verschiebung) / Referenzpunkt setzen

Hier können die Koordinaten rechnerisch verschoben werden, um z.B. die tatsächlichen Koordinaten des Meßsystems auf sichtbare Punkte, wie den Futterflansch, zu legen.

Limit / Arbeitsbereichsbegrenzung / Software-Endschalter +
und
Limit / Arbeitsbereichsbegrenzung / Software-Endschalter -

Hier wird der maximale Verfahrbereich (Arbeitsbereich) der Maschine rechnerisch festgelegt = Setzen der Software-Endschalter. Jede lineare Achse hat an beiden Enden je einen mechanischen Endschalter, der bei Betätigung einen Not-Aus bewirkt, damit die Maschine nicht beschädigt wird. Danach muss die Maschine wieder neu gestartet werden, mit Referenzpunkt anfahren und allem, was dazu gehört. Zusätzlich zum mechanischen Endschalter muss der Software-Endschalter (rechnerisch) gesetzt werden, der natürlich kurz vor dem Auffahren auf den mechanischen Endschalter (1 bis 2mm) bestimmt wird, wenn sonst keine Hindernisse im Weg sind. Vom Software-Endschalter kann auch wieder weggefahren werden, ohne die Maschine neu starten zu müssen. Außerdem wird schon bei einer Simulation angezeigt, ob der programmierte Weg außerhalb des Arbeitsbereiches ist.

Gesetzte Barrierenpunkte ein/aus

Gesetzte Barrierenpunkte wirksam oder unwirksam setzen (ignorieren).
Zusätzlich zur allgemeinen Arbeitsbereichsbegrenzung können bei manchen Steuerungen Barrierepunkte gesetzt werden, die den Arbeitsbereich an bestimmten Stellen weiter begrenzen.

Referenzpunkt-Verschiebung

Hier kann außerdem eine rechnerische Verschiebung des Referenzpunktes eingegeben werden, wenn die Koordinaten (-Verschiebung) nicht verändert werden soll. Z.B. nach einer Kollision.

Koordinaten für eingebautes Werkzeugmeßsystem

Die im Werk ausgemessenen Werte für eine maschineninterne Werkzeugvermessung, z.B. Optische Werkzeugvermessung in der Maschine.

Maximaler Eilgang

Maximale Eilgangsgeschwindigkeit für jede Achse

Maximaler Vorschub

Maximale Geschwindigkeit beim Fahren mit Vorschub für jede Achse

Beschleunigung / Verzögerung (Abbremsen)

Beschleunigung, bzw. Verzögerung (Abbremsen) für jede Achse

KV-Faktor / Lageregelverstärkung

Wird im Allgemeinen aus Tabellen der Motorenhersteller ermittelt

Lose-Kompensation (Umkehrspiel)

Spiel bei Umkehrung der Drehrichtung des Achsantriebes. Mit Messtaster oder Messuhr an einen festen Punkt von einer Richtung her anfahren. Messgerät nullen. Dann mit 1/100 oder 1/1000mm - Einzelschritten in Gegenrichtung wegfahren und Schritte zählen, bis der Zeiger des Messgerätes ausschlägt.

Spindelsteigungsfehler

Differenzen der Steigung über die gesamte Länge einer Spindel des Achsantriebes. Die nutzbare Gesamtlänge wird z.B. in insgesamt 100 gleiche Abschnitte unterteilt und die jeweilige Abweichung gemessen.

Eingabefaktor

Bei einer Drehmaschine erfolgt die Eingabe der Z-Werte radiusbezogen, also der wirkliche Verfahrweg. Die Eingabe der X-Werte ist jedoch im Allgemeinen durchmesserbezogen, folglich das doppelte des tatsächlich zurückgelegten Weges.

Verriegelung (Blockierung) von Achsen beim Probelauf

Hier können entweder einzelne, oder alle Achsen während eines Probelaufs stillgesetzt werden. Z.B. bei einer Fräsmaschine nur X- und Y- Achse bewegen, jedoch Z-Achse nicht bewegen (zurückgezogen lassen).

Multiplikationsfaktor für Spindelsteigung und Auflösung des Meßsystems

Jeder Achsantrieb hat eine Spindel mit einer bestimmten Steigung. Wenn dazu die Position indirekt über die Drehbewegung gemessen wird, dann benötigt die Steuerung einen Faktor, der die Steigung der Spindel und die Anzahl der Schritte (Striche) auf der Scheibe des Meßsystems berücksichtigt.

Bei einer Rundachse kommt noch das Übersetzungsverhältnis von Zahnrädern oder Schnecken und Schneckenrädern hinzu.

Mit dem Faktor kann die Steuerung den ausgegebenen Wert richtig nach mm oder Zoll umrechnen.

Allgemeine Maschinendaten

Dies sind alle übrigen Maschinendaten, welche nicht auf die Verfahrachsen bezogen sind. Die Maschinendaten-Bits können ebenfalls dazu gehören oder als extra Sektion behandelt werden. Oft ist die Eingabe gemischt, also ein Teil im Klartext einzugeben, ein anderer als Bits.

Übertragungsgeschwindigkeit in Baud
: Für die Anpassung an die Lesegeschwindigkeit externer Geräte zur Datenübertragung

Kontrollart Parity bit (ISO/EIA) gerade / ungerade
: Gerade oder ungerade Anzahl der Bits bei jedem übertragenen Zeichen

Parity check / Paritätskontrolle ein / aus
: Überprüfung, ob die Parität bei der Datenübertragung stimmt

Datenformat 1 Stop bit, 2 Stop bits
: Stop Bits bei Ende eines Satzes oder Befehls

  Anmerkung: Wenn ein Gerät (z.B. Notebook) mit der CNC-Steuerung zur Datenübertragung eingerichtet werden soll, empfiehlt es sich, zuerst das Auslesen von der Maschine zu probieren. Wenn das funktioniert, kann man das von der Maschine benötigte Format im Editor des Computers überprüfen. Oft wird dabei festgestellt, dass jede Steuerung ihre eigene Formatierung benötigt, auch wenn sie es auf dem Bildschirm anders anzeigt.
  Beispiele: Programm- und Satznummern vierstellig mit führenden Nullen, keine Leerzeichen zwischen den Befehlen (Wörtern), usw.

Minimale Spindeldrehzahl
: Drehzahl in U/min. Meistens nicht genau Null, sondern ein relativ niedriger Wert (30, 50, o.ä.)

Maximale Spindeldrehzahl
: Höchstdrehzahl in U/min. Bei Maschinen mit verschiedenen Getriebestufen stehen dann mehrere Eingabefelder für je eine Stufe zur Verfügung.

Beschleunigung / Verzögerung (Abbremsen) der Spindel
: Die Zeit zum Hochfahren und Abbremsen der Hauptspindel

Eingabe metrisch / Zoll
: Standard-Maßeinheit zum Betrieb der Maschine. Gelegentliche Wechsel können auch am Programmanfang mit G20/G21 oder G70/71 bestimmt werden.

Referenzpunkt- Anfahrgeschwindigkeit
: Geschwindigkeit, mit der zum Referenzpunkt gefahren wird. Meistens kleinerer Wert als die Eilgangsgeschwindigkeit.

Sicherheitsabstand bei Bohrzyklen
: Standard-Abstand bei der Z-Zustellung zum Werkstück hin.

Abhebeweg bei Zyklen

Standard-Abstand zum Abheben bei Mehrfachhüben in Zyklen beim Tieflochbohren oder Abspanzyklen beim Drehen.

Kreisendpunktüberwachung

Überprüfung, ob ein Kreisendpunkt mit den angegebenen I-, J- und K- Parametern innerhalb der angegebenen Toleranz übereinstimmt.

Softwarestand

Hier wird der Stand der aktuell installierten Software als codierte Zahl angezeigt.

Betriebsstundenzähler

Manche Steuerungen zeigen ihre Betriebsstunden auch in den Maschinendaten an und weisen auf die vorgeschriebenen Wartungsintervalle hin. Rücksetzen im Allgemeinen nur mit Passwort möglich.

Ausbaustufe

Codes für unterschiedliche Ausbaustufen (Optionen) der Maschine.
Oft schon in der Steuerung vorhanden, das betreffende Modul wird aber erst nach Bezahlung aktiviert.

Maschinen-Datenbits

Teile der vorher beschriebenen Maschinendaten können auch in mehr oder weniger umfangreichen Listen in Form von Binär- oder Hexadezimalwerten abgelegt werden.
Bei den Binärcodes sind vor allem solche Werte gespeichert, die nur Ja oder Nein, also 0 und 1 kennen, häufig sind dies die Parameter für die Datenübertragung.
Wenn von den Stellen der Bits geredet wird, dann wird von rechts nach links und von 0 bis 7 gezählt.
Beispiel: das 2. Bit des Maschinendatums Nr. 401 ist 1, das 3. Bit ist 0.

Maschinendaten-Bits

Nr.	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
400	0	0	0	1	0	1	0	1
401	1	1	1	0	0	1	1	1
402	0	0	1	0	1	0	1	0
403	1	0	1	0	0	1	0	0

Als Binärcode

A	0	0	0
4	B	F	3
B	C	1	2
0	F	F	F

Mit Hexadezimalzahlen

Beispiel für eine Liste der Maschinenparameter auf Papier

Maschinendaten 4-Achsen Bearbeitungszentrum Firma: Musterfirma

Nr.: 4711 Steuerung: Eigenbau Datum: 11.11.2011

Nr.	Wert	Beschreibung	Maximalwert
100	+50	Genauhalt	32000 µm
101	+50		
102	+50		
103	+50		
110	+100	Klemmungs-Toleranz	32000 µm
111	+100		
112	+100		
113	+100		
120	+100	Beschleunig.	6000 0,01 m/s²
121	+100		
122	+100		
123	+100		
130	+10000	Maximal-Geschwind.	15000 mm/min
131	+8000		
132	+10000		
133	+9600		
140	+2048	Sollwert-Begrenzung	2048 VELO
141	+2048		
142	+2048		
143	+2048		
150	+2000	KV-Faktor	10000 0,01 s⁻¹
151	+2000		
152	+2000		
153	+2000		
160	+10050	Endschalter +	±9999999 µm
161	+3000		
162	+6000		
163	+9999999		
170	-288000	Endschalter -	±9999999 µm
171	-147000		
172	-188000		
173	-9999999		
180	0	Referenz-Punkt	±9999999 µm
181	0		
182	0		
183	0		
190	0	Lose-Kompensat.	±255 µm
191	0		
192	0		
193	0		
200	0	Referenz-Punkt Verschiebung	±9999 µm
201	0		
202	0		
203	0		
210	+2400	Mult-Gain	32000 CX min/m
211	+3000		
212	+2400		
213	+2500		
220	-1	Drift-Kompensat.	±500 VELO
221	-1		
222	0		
223	-2		

Nr.	Wert	Beschreibung	Maximalwert
300	+100	Abschalt-Geschw.	15000 mm/min
301	+400	Schw. Kontur-Überwachung	mm/min
302	2000	Tol. Kontur-Überwachung	mm*Test*850 125*1000
303	+400	Wartezeit Pos.-Überw.	16000 ms
304	+2400	Begrenzung Sollgeschw.	3000 VELO
305	+20	Kreisendp.-Überwachung	32000 µm
306	+10	Schwelle für Einfüg. Ecken	32000 µm
307	0	Spindel Drift	±500 VELO
308	0	Glättungsexp. f. Gewinde	5
309	+6000	Maximale Drehzahl	9999 1/min
310	+2500	Konvention. Vorschub	15000 mm/min
311	+4500	Konvention. Eilgang	
312	+2500	Ref.-Punkt Anf.-Geschw.	
313	+1000	Schrittmaß-Geschw.	
314	+2000	Probelauf-Vorschub	
315	+600	Wartezeit Spi. Reglersperre	16000 ms
316	30	Min. Spindel-Motor Drehz.	8192 VELO
317	3	Software-Stand	32000

	Maschinendaten-Bits							
Nr.	7	6	5	4	3	2	1	0
400	0	0	0	1	1	0	1	1
401	1	0	1	0	0	0	0	0
402	0	1	0	1	0	1	0	0
403	0	0	0	0	1	0	0	0
404	0	0	0	0	1	1	0	0
405	0	0	0	0	0	0	1	0
406	1	0	1	0	1	0	0	0
407	0	0	0	0	0	0	0	0
408	1	0	0	0	1	0	0	0
409	1	0	0	0	1	0	1	0
410	0	1	1	1	1	1	0	0
411	0	1	0	0	0	0	1	1

In der linken Spalte dieser Liste stehen die achsspezifischen Maschinendaten. Die Endziffern der Maschinendatumsnummern bezeichnen die zugehörige Achse.
0 = X-Achse, 1 = Y-Achse, 2 = Z-Achse, 3 = B-Achse als 4. Achse.
In der rechten Spalte sind die allgemeinen Maschinendaten und –Bits aufgeführt.

Ein Fall aus der Praxis

Wir hatten in den 80-er Jahren kleine 4-Achsen Horizontal-Bearbeitungszentren zum Fräsen und Bohren von Präzisions-Kleinteilen in der Serienfertigung für die Medizintechnik. Die überwiegende Zeit benötigten die Bohrungen. Denn es waren meistens Tieflochbohrungen mit Durchmesser von 0,5 bis 1,5mm und Tiefen von 20 bis 30mm. Da hauptsächlich nichtrostender Stahl als Werkstoff eingesetzt wurde, benötigten die Bohrungen extrem kurze Zustellungen bei den Arbeitshüben des Bohrzyklus, oft nur im Zehntel-Bereich. Die Maschinen mussten somit ständig viele kurze Hübe in der Z-Achse ausführen. Die Motoren der Achsantriebe (damals noch Gleichstrom-Schrittmotoren) hielten nicht mal 2000 Stunden, bis sie unter großem Aufwand ausgewechselt werden mussten. Sie wurden dann zur Aufarbeitung ins Herstellerwerk geschickt

Das ärgerte mich schon lange, zudem hatten wir schon seit Anfang beobachtet, dass die Maschinen bei jedem Bohrhub stark vibrierten, regelrecht „zitterten“. Das kann auf Dauer nicht gut sein. Und ich erinnerte mich, dass unsere Obrigkeit bei den Kaufverhandlungen zur Bedingung machte, dass die Eilgangsgeschwindigkeit von den ursprünglich vorgesehenen 5 m/min auf 10 m/min erhöht würde. Der Hersteller tat dies ohne konstruktive Veränderungen, er wollte ja seine Maschinen verkaufen.

Zuerst machte ich mehrere Tage lang Versuche, mit auf verschiedenen Werten zurückgedrehtem Potentiometer des Eilganges, so dass die Maschinen nicht vibrierten und vom Gefühl her ruhig liefen. Natürlich ohne Wissen der Vorgesetzten, nur mit einigen eingeweihten Mitarbeitern. Ich vermutete zwar, dass die Bearbeitungszeiten aufgrund unserer kurzen Wege nicht viel länger dauern würden, aber dass sie sogar bis zu einem Viertel kürzer ausfielen, war schon überraschend. Der Grund war, dass die Achsen bei diesen sehr kurzen Hüben nie ihre vorgesehene Endgeschwindigkeit erreichen konnten und deshalb eigentlich nur im Status der Beschleunigung und Verzögerung verweilten, was bei höheren Geschwindigkeiten natürlich länger dauerte.

Die neuen Parameter und die Bearbeitungszeiten wurden von mir sorgfältig protokolliert und der optimale Wert wurde bei den ursprünglich vorgesehenen 5 m/min erreicht. Mit meinen Aufzeichnungen bekam ich von der Betriebsleitung sofort die Berechtigung zur Reduzierung der Eilgänge. Selbstredend hatte ich auch vorher schon beim Hersteller nachgefragt, welche Parameter außer der Eilganggeschwindigkeit noch geändert werden müssen und änderte die entsprechenden Werte.

Nach einigen Wochen bestätigte sich auch die Vermutung, dass die Maschinen jetzt weniger belastet wurden, die Achsantriebs-Motoren hielten in Zukunft immerhin doppelt so lange.

11.08 Diagnosefunktionen

Alle CNC-Industriesteuerungen besitzen Diagnosefunktionen, um bei evtl. Störungen zuerst einmal selbst überprüfen zu können, wo denn der Fehler liegt. Das Erscheinen eines Servicetechnikers ist ein teures Unterfangen und sollte erst in Betracht gezogen werden, wenn alle anderen Möglichkeiten ausgeschöpft sind.
Es ist wie in der Medizin, ohne richtige Diagnose keine optimale Heilung.

Laut Handbuch

Im Handbuch oder in einem speziellen Diagnose-Handbuch finden sich lange Listen mit möglichen Fehlern, wie sie erkannt werden und evtl. behoben werden können.
Zuerst einmal die Fehler, welche man selbst machen kann, falsche Syntax (Rechtschreibfehler), unlogische Eingabefolge, Kreisendpunktüberwachung, usw. können laut Alarmliste selbst beseitigt werden.
Fehler an der Maschine, wie z. B. Verschmutzung eines Meßsystems werden auch angezeigt und die zugehörigen Schritte zur Diagnose erklärt, um festzustellen, ob dies wirklich der Fehler ist, bevor man unnötig an der Maschine herum schraubt.
Wenn beispielsweise ein Schalter oder ein Ventil angeblich nicht geht, kann man spezielle Seiten am Bildschirm darstellen, wo man dann bei der betreffenden Nummer sehen kann, ob sich beim Betätigen des Schalters ein bestimmtes Bit auf dem Bildschirm von 0 auf 1 oder umgekehrt ändert.
In der betrieblichen Praxis werden die Möglichkeiten zur Diagnose oft unterschätzt, weil niemand Zeit und Lust hat, sich damit zu beschäftigen. Es läuft ja gerade alles. Wenn dann ein Fehler auftritt, weiß man nicht wo nachschauen. In welchem Buch? An welcher Stelle? Wo ist das Handbuch eigentlich? In der verschlossenen Schublade des Abteilungsleiters, der gerade auf Dienstreise ist. Der Chef wird ungeduldig und erklärt zum hunderttausendsten Male, dass eine stehende Maschine Geld kostet. Es kommt Panik auf, keiner traut sich, sich einfach mal mit dem Handbuch an einen Tisch hinzusetzen und zuerst mal mit der nötigen Ruhe nachzuschlagen, was wirklich Sache ist. Da wird dann ziellos nervös auf den Knöpfen herumgedrückt und jeder der Umstehenden kennt ein anderes Rezept. Man zieht noch jemand von einer anderen Abteilung hinzu, der wieder was anderes weiß. Und erst wenn dann immer noch nichts geht, ruft man die „Telefon-Seelsorge“ beim Hersteller an.
Kennen Sie das auch so?

Mit Hilfe der Telefon-Hotline

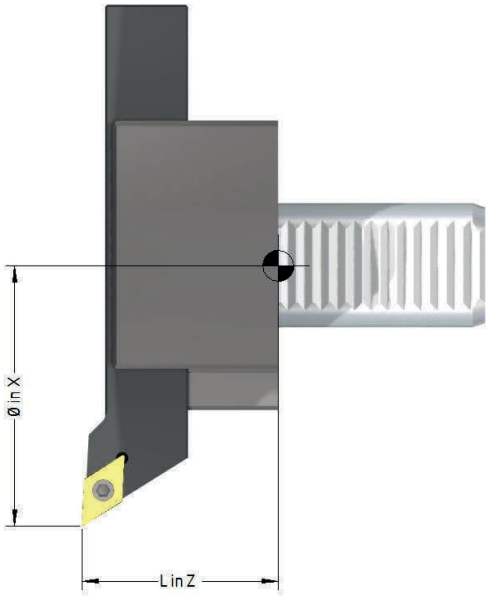
Wenn man mit dem Handbuch nicht mehr weiterkommt, empfiehlt sich zuerst die Hotline des Herstellers, welche zumindest an Werktagen während der üblichen Geschäftszeiten erreichbar ist. Vorher sollte man alle Unterlagen der Maschine bereit halten und dem Servicetechniker am anderen Ende der Leitung den Fehler möglichst genau schildern. Wenn man Glück hat, kann der Fehler schon in 5 Minuten behoben werden, ansonsten möglichst mit einem Mobiltelefon an die Maschine gehen und nach den Anweisungen des Technikers handeln.

Per Fernwartung

Die komfortabelste und sicherste Methode, bevor der Service-Techniker kommen muss. Bei vernetzten Maschinen, wie in den meisten Betrieben üblich, kann man die Steuerung per Internet mit dem Hersteller verbinden, welcher dann vollen Zugriff auf die Steuerung hat. Hierbei kann er die gleiche Diagnose erstellen, wie wenn er selbst vor Ort wäre, kann vielleicht sogar einige Fehler aus der Ferne beheben und schließlich genaue Anweisungen geben, was zu tun ist.

Kapitel 12 – Werkzeugvoreinstellung

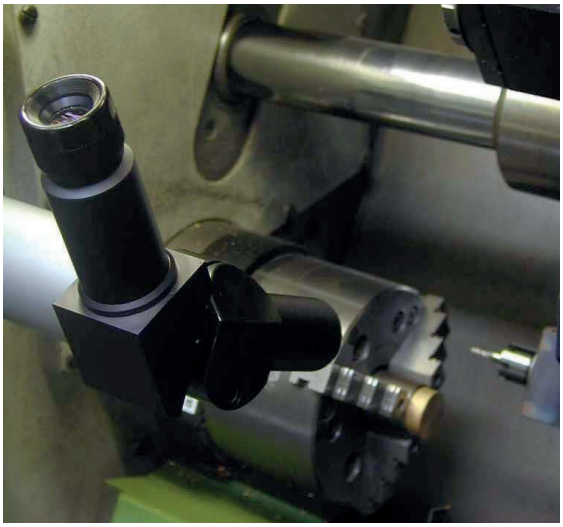
12.01 Werkzeugvoreinstellung
12.02 Einrichtblatt



12.01 Werkzeugvoreinstellung

Wenn die Maschine ausgemessen wurde, ist der nutzbare Arbeitsraum bekannt.
Bei Fräsmaschinen vom Maschinentisch bis zur Frässpindel. Dazu müssen noch Schraubstock, Spannvorrichtungen und die Werkstückhöhe berücksichtigt werden.
Bei Drehmaschinen von der Spindelaufnahme bis zur Aufnahmebohrung des Revolvers. Hier müssen noch die Spannvorrichtungen (Backen-/Spannzangenfutter) und das Werkstück berücksichtigt werden.
Dieser Arbeitsraum wird noch von weiteren Größen, nämlich der Länge und der Ausladung der eingesetzten Werkzeuge bestimmt. Ein häufiger Fehler ist, diese Werkzeugdaten zu vergessen.

Fräswerkzeuge sollten immer extern vermessen werden. Das Ankratzen ist zu zeitaufwendig, sehr stressig und fehleranfällig. Ein Nullsetzgerät zum Einsatz in der Maschine erleichtert das Ganze etwas, ist jedoch kein Ersatz für die externe Vermessung.

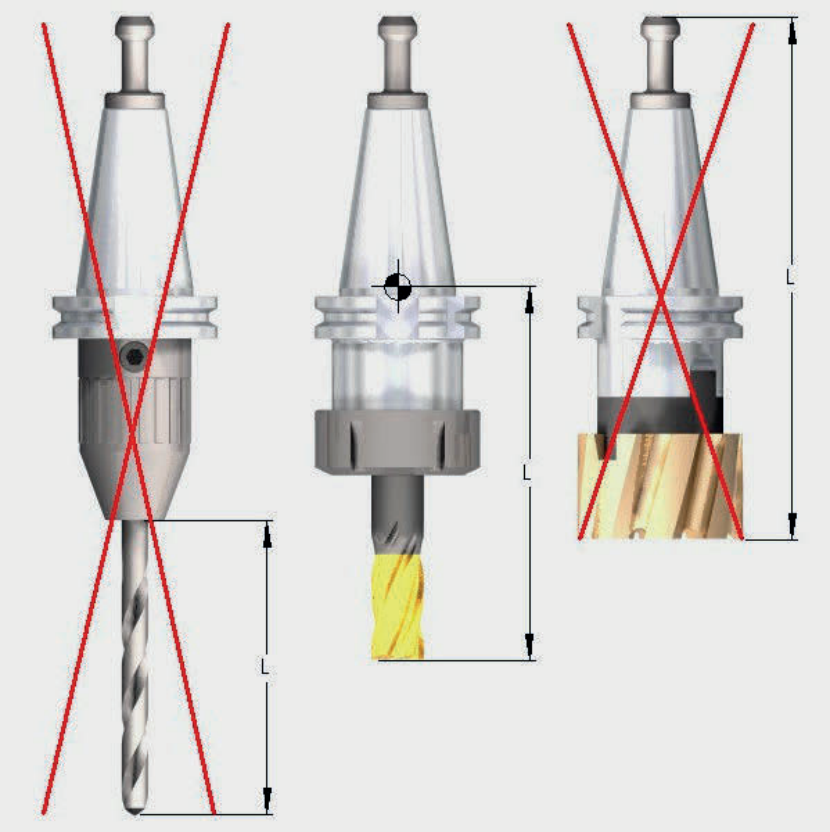


Bei Drehwerkzeugen findet oft die Vermessung mit Hilfe einer optischen Meßeinrichtung innerhalb der Maschine statt. Um Stillstandzeiten zu vermeiden ist auch hier die externe Vermessung vorzuziehen.
Abstechdrehmeißel können an der linken oder rechten Ecke und bei Bedarf an beiden Ecken vermessen werden. Dazu dann zwei Korrektur-Nummern vergeben, z. B.: T0707 und T0717.

Wer kein Werkzeugvoreinstellgerät besitzt sollte sich wenigstens einen Messwürfel und einen digitalen Höhenreißer (den man auf null setzen kann) beschaffen, um die Werkzeuglängen außerhalb zu vermessen. Der präzise Messwürfel ist nicht zu verwechseln mit einem Spann- oder Montagewürfel, wo die Werkzeughalter montiert und festgespannt werden. Wenn man sich mal die Mühe macht, die verlorenen Zeiten für Ankratzen usw. aufzuschreiben, dann kann auch ein bisher uneinsichtiger Chef überzeugt werden, endlich mal diese arbeitserleichternden Geräte zu kaufen. Diese paar hundert Euro sind schnell wieder eingespart.

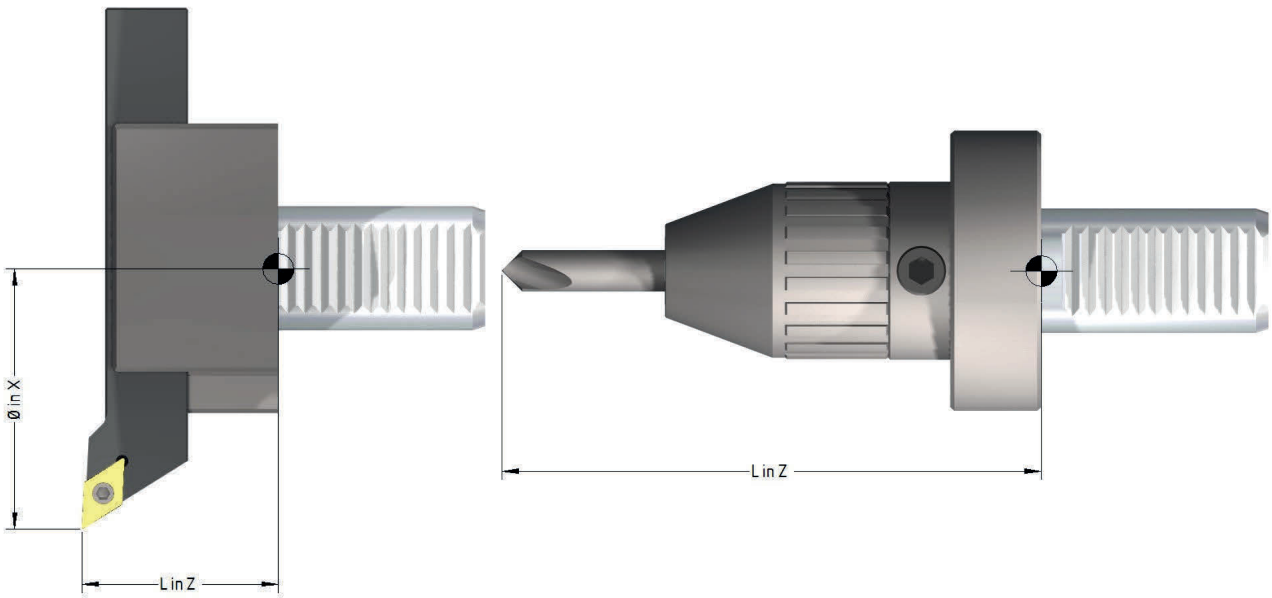
Ein Werkzeugvoreinstellgerät oder ein Messwürfel haben die selbe Werkzeugaufnahme wie die Hauptspindel der Fräsmaschine, z. B. Steilkegel SK 40 oder Hohlschaftkegel HSK 63. Bei Drehmaschinen entspricht es der Werkzeugaufnahme im Revolver, z. B. VDI 30.
Im Gegensatz zur Aufnahme an der Maschine wird hier das Werkzeug gewöhnlich von oben in das genaue Abbild der Werkzeugaufnahme eingesetzt. Der Werkzeughalter gleitet genau so tief in die präzisionsgeschliffene Werkzeugaufnahme hinein, wie sonst in der Maschine.

Fräswerkzeuge



Die zu berücksichtigende Werkzeuglänge für Fräswerkzeuge gilt von der Spindelnase bis zur Werkzeugspitze.

Drehwerkzeuge



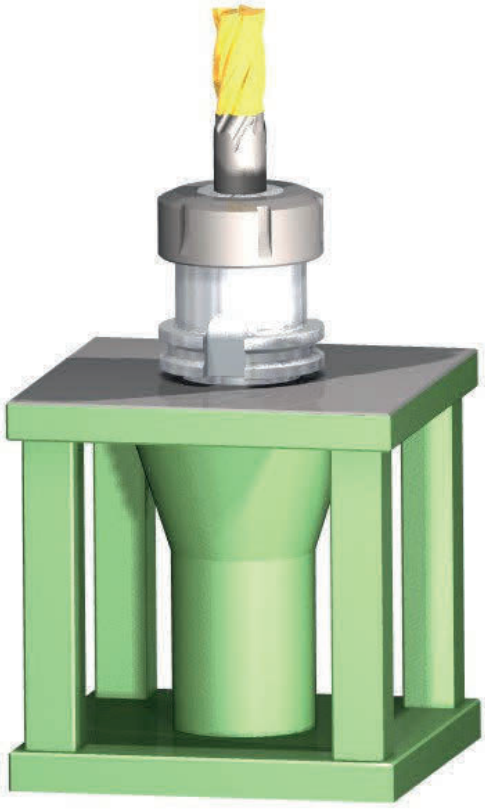
Bei Drehwerkzeugen werden die Abstände von der Planfläche in der Mitte der Werkzeugaufnahme des Werkzeugrevolvers (hier VDI 30) bis zur Werkzeugspitze gemessen.
Der X-Wert wird im Durchmesser angezeigt und auch so eingegeben.

Werkzeugvoreinstellung mit einfachen Mitteln auf 0,01mm genau

Was ist dazu nötig?

1. Anreißplatte, die Anreißplatte muss absolut plan sein, möglichst aus Granit, evtl. auch Grauguss
2. Höhenmessgerät, das Höhenmessgerät / Höhenreißer sollte digital sein, damit man auf der Oberkante des Messwürfels Null setzen kann, um Ablesefehler zu vermeiden. Es darf kein Höhenreißer mit eingespannter Reißnadel sein, sondern muss eine fest fixierbare Anreißspitze mit Planfläche unten haben. Damit kann man direkt auf die Werkzeugspitze oder auf die Fräserzähne aufsetzen. Eine zusätzliche Messuhr einzuspannen birgt nur die Gefahr, dass zusätzliche Ablesefehler entstehen. Digitale Höhenreißer sind mittlerweile relativ billig zu haben, wenn es nicht gerade ein Spitzenprodukt sein muss. Sollte mal ein sehr langes Werkzeug den Messbereich des Höhenreißers überschreiten, dann einfach den Höhenmesser auf Parallelunterlagen stellen und neu Nullen.
3. Messwürfel, es gibt Messwürfel für die verschiedenen Werkzeugaufnahmen zu kaufen. Wer für Innenrundschleifen eingerichtet ist, kann sich so etwas auch selbst aus einem kubischen oder zylindrischen Werkstück herstellen. Oben für die „Spindelnase“ und unten für die Gesamthöhe Aufmaß lassen. Nach Fertigstellung des Innenkegels die Höhe der „Spindelnase“ durch Flachschleifen auf die Maschinenspindel / Werkzeugaufnahme abstimmen. Zum Schluss die Unterseite auf die gewünschte Blockhöhe schleifen.

Einfaches Nullsetz-Gerät zum Antasten innerhalb der Maschine

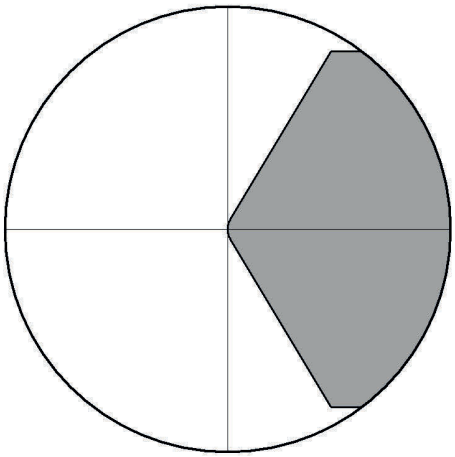


Werkzeug-Voreinstellwürfel zum externen Vermessen

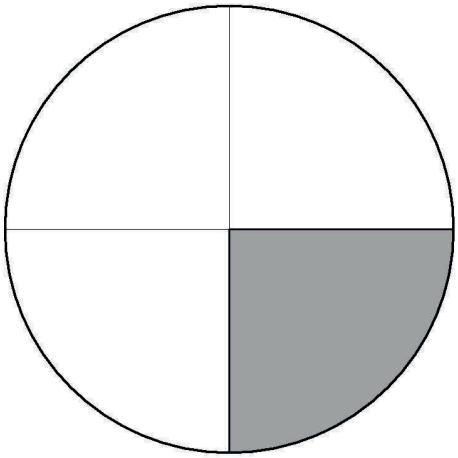
Werkzeugvoreinstellgerät

Die konventionellen Werkzeugvoreinstellgeräte sind mit einer Optik, ähnlich wie ein Zielfernrohr mit einem Fadenkreuz ausgestattet. Die Werkzeugvermessung innerhalb einer Drehmaschine geht nach dem gleichen Prinzip.

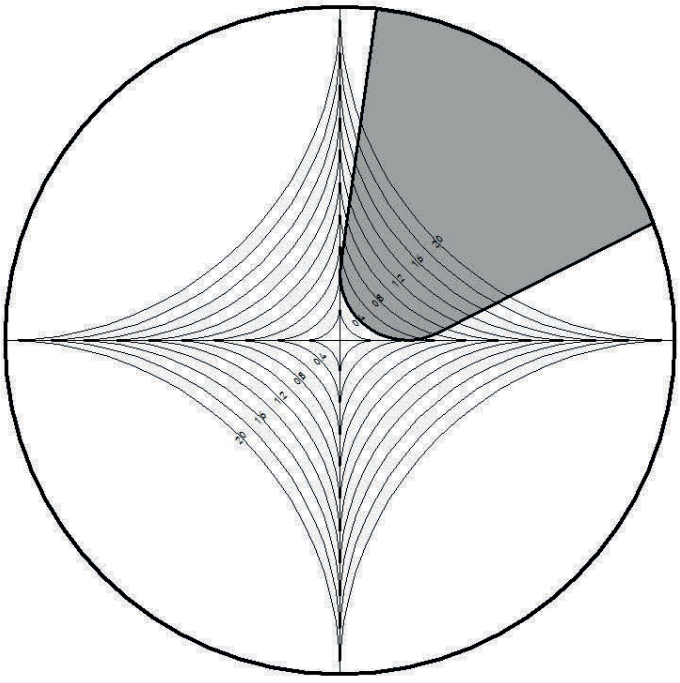
Das Werkzeugvoreinstellgerät hat einen Koordinatentisch, worauf die Werkzeugaufnahme montiert ist. Dort wird das Werkzeug mitsamt Halter eingespannt. Danach kurbelt man den Koordinatentisch in beiden Achsen so weit, bis sich die Werkzeugspitze unter der Optik befindet. Man schaut durch die Optik und stellt mit dem Koordinatentisch die Werkzeugspitze / Werkzeugkante genau ein. Dieser Wert muss entweder auf dem Einrichtblatt notiert werden oder wird vom Voreinstellgerät gespeichert und auf ein Werkzeugblatt ausgegeben und kann evtl. auch direkt zur Maschine gesendet werden.



Optik mit Bohrerspitze auf Mitte gestellt



Optik mit Fräserkante zur Längen- und Durchmesser-Messung



Bei manchen Fadenkreuzen sind noch zusätzliche Linien zu finden, z. B. für die Winkelmessung von Bohrerspitzen oder wie hier zum Messen von Radien der Drehmeißel

Das Voreinstellgerät wird vorwiegend zum Messen benutzt, aber um seinen Namen zu rechtfertigen, ist es natürlich auch möglich, Werkzeuge voreinzustellen. Unter der Optik kann z. B. der Durchmesser eines Ausdrehwerkzeuges eingestellt werden. Die Einstellung einer Werkzeuglänge kann annähernd mit Handkraft erfolgen, da das Spannzangen- oder Bohrfutter nur außerhalb des Voreinstellgerätes richtig festgezogen werden darf. Danach muss das Werkzeug nochmals ausgemessen werden.

Die Werkzeugvoreinstellgeräte haben meistens eine Universalaufnahme, wo die Adapter für die verschiedenen Werkzeugaufnahmen eingesteckt werden. Gängige Aufnahmen: SK 40, SK 50, HSK 63, VDI 30, usw. Die für den Betrieb notwendigen Adapter können nach Bedarf zugekauft werden.
Andere Voreinstellgeräte sind mit einem dreh- und verriegelbaren Rundtisch ausgestattet, wo die verschiedenen Werkzeugaufnahmen fest montiert sind. Für eine andere Aufnahme muss der Tisch nur weitergeschaltet werden.

Mit den neueren elektronischen Voreinstellgeräten geht es noch schneller. Wenn man mit dem Werkzeug in die Nähe der „elektronischen Optik“ kommt, „fängt“ die Elektronik die Werkzeugkante. Das mühsame Herankurbeln auf die genaue Position entfällt hiermit. Dazu bieten diese Geräte softwareseitig alle Möglichkeiten zur Werkzeugverwaltung.

Eingabe in die Steuerung

Die Werkzeugdaten werden entweder vom Einrichtblatt per Hand in die Steuerung eingegeben, von einem Datenträger in die Steuerung eingelesen oder von einem zentralen Rechner (DNC) heruntergeladen.

Der einfache (ältere) Werkzeugkorrekturspeicher zeigt nur die unbedingt notwendigen Daten an. Notwendige Korrekturen werden durch Addition oder Subtraktion mit den Originalwerten ausgeführt.

Der erweiterte (neuere) Werkzeugkorrekturspeicher zeigt zusätzlich die Korrekturwerte an, auch Feinkorrektur genannt, so dass die Originalwerte nicht verändert werden müssen. Notwendige Korrekturen werden durch vorzeichenrichtige Angabe der Abweichung im extra Eingabefeld ausgeführt.
Achtung: Bei manchen Steuerungen wird die Eingabe der Abweichung nur in Mikrometer ohne Kommastellen akzeptiert. Beispiel: -0,015 wird dann als -15 geschrieben.

Möglicherweise zeigt die Steuerung noch mehr Daten zu den Werkzeugen an, z. B. die Anzahl der Durchläufe. Oder die Eingabemöglichkeit, dass nach einer gewissen Anzahl von Durchläufen ein Alarm angezeigt wird, um das Werkzeug auszuwechseln.

Welche Angaben benötigt die Steuerung für die Werkzeuge?

Für Fräswerkzeuge braucht man mindestens die Länge und den Durchmesser und
für Drehwerkzeuge mindestens den X- und Z-Versatz, den Radius und die Richtung (Quadrant).

Die nächste Seite zeigt Beispiele, wie der Blick in die unterschiedlichen Werkzeug-korrekturspeicher aussehen könnte.

Fräsmaschine

```
TOOL OFFSET - MILL

T 01  H 124.065   D 010.000              T 09  H 000.000   D 000.000
T 02  H 098.330   D 005.000              T 10  H 000.000   D 000.000
T 03  H 103.144   D 000.000              T 11  H 000.000   D 000.000
T 04  H 089.602   D 004.980              T 12  H 000.000   D 000.000
T 05  H 000.000   D 000.000              T 13  H 000.000   D 000.000
T 06  H 000.000   D 000.000              T 14  H 000.000   D 000.000
T 07  H 000.000   D 000.000              T 15  H 000.000   D 000.000
T 08  H 000.000   D 000.000              T 16  H 000.000   D 000.000
```

Anzeige eines einfachen Werkzeugkorrekturspeichers an einer Fräsmaschine

T = Werkzeugnummer
H = Werkzeuglänge
D = Werkzeugradius

```
TOOL OFFSET AND WEAR - MILL

T 01  H 124.065   WH 0.000          D 010.000   WD 0.000
T 02  H 098.330   WH 0.000          D 005.000   WD 0.000
T 03  H 103.144   WH 0.000          D 000.000   WD 0.000
T 04  H 089.602   WH 0.000          D 004.980   WD 0.000
T 05  H 000.000   WH 0.000          D 000.000   WD 0.000
T 06  H 000.000   WH 0.000          D 000.000   WD 0.000
T 07  H 000.000   WH 0.000          D 000.000   WD 0.000
T 08  H 000.000   WH 0.000          D 000.000   WD 0.000
```

Anzeige eines erweiterten Werkzeugkorrekturspeichers an einer Fräsmaschine

T = Werkzeugnummer
H = Werkzeuglänge
WH = Abweichung Länge
D = Werkzeugradius
WD = Abweichung Radius

Das W für die Abweichung kommt von englisch „wear“ = Abnutzung. Wird häufig nicht ganz korrekt als „offset“ bezeichnet, was eigentlich den gesamten Werkzeugversatz meint.

Beispiel: Der Fräser T01 nimmt seitlich 0,05 mm zu viel Material weg. Folglich muss der Radius rechnerisch um 0,05 vergrößert werden.

Einfache Werkzeugkorrektur

```
T 01  H 124.065   D 010.050
```

Erweiterte Werkzeugkorrektur

```
T 01  H 124.065   WH 0.000          D 010.000   WD 0.050
```

Beide Methoden führen hier zum selben Ergebnis

Drehmaschine

```
TOOL OFFSET - TURN

T 01  X 092.461   Z 042.430   R 00.40   P 3
T 02  X 110.050   Z 052.405   R 00.40   P 4
T 03  X 000.052   Z 121.550   R 00.00   P 0
T 04  X 000.000   Z 000.000   R 00.00   P 0
T 05  X-000.008   Z 099.106   R 00.00   P 0
T 06  X 000.000   Z 000.000   R 00.00   P 0
T 07  X 000.000   Z 000.000   R 00.00   P 0
T 08  X 000.000   Z 000.000   R 00.00   P 0
```

Anzeige eines einfachen Werkzeugkorrekturspeichers an einer Drehmaschine

T = Werkzeugnummer
X = Werkzeugversatz in X-Richtung (durchmesserbezogen)
Z = Werkzeugversatz in Z-Richtung
R = Schneidenradius
P = Quadrant (Lage)

```
TOOL OFFSET AND WEAR - TURN

T 01  X 092.461   U 0.000     Z 042.430   W 0.000     R 00.40   P 3
T 02  X 110.050   U 0.000     Z 052.405   W 0.000     R 00.40   P 4
T 03  X 000.052   U 0.000     Z 121.550   W 0.000     R 00.00   P 0
T 04  X 000.000   U 0.000     Z 000.000   W 0.000     R 00.00   P 0
T 05  X-000.008   U 0.000     Z 099.106   W 0.000     R 00.00   P 0
T 06  X 000.000   U 0.000     Z 000.000   W 0.000     R 00.00   P 0
T 07  X 000.000   U 0.000     Z 000.000   W 0.000     R 00.00   P 0
T 08  X 000.000   U 0.000     Z 000.000   W 0.000     R 00.00   P 0
```

Anzeige eines erweiterten Werkzeugkorrekturspeichers an einer Drehmaschine

T = Werkzeugnummer
X = Werkzeugversatz in X-Richtung (durchmesserbezogen)
U = Abweichung X
Z = Werkzeugversatz in Z-Richtung
W = Abweichung Z
R = Schneidenradius
P = Quadrant

Beispiel: Der Drehmeißel T02 lässt 0,03 mm zu viel Material auf dem Durchmesser. Folglich muss der Drehmeißel rechnerisch in X um 0,03 kürzer eingestellt werden.

Einfache Werkzeugkorrektur

```
T 02  X 110.020   Z 052.405   R 00.40   P 4
```

Erweiterte Werkzeugkorrektur

```
T 02  X 110.050   U -0.030    Z 052.405   W 0.000     R 00.40   P 4
```

Auch hier führen beide Methoden zum selben Ergebnis

12.02 Einrichtblatt

Ist so etwas wirklich notwendig?

Um ein Werkstück für die CNC-Bearbeitung sicher einzurichten und um das Ganze auch noch nach Jahren exakt auf die gleiche Weise fertigen zu können, ist neben der Werkstückzeichnung und des aktuellen CNC-Programms ein Einrichtblatt unerlässlich.
Bei Änderungen ist die Aktualisierung des Einrichtblatts genauso sorgfältig vorzunehmen, wie eine Änderung im CNC-Programm.

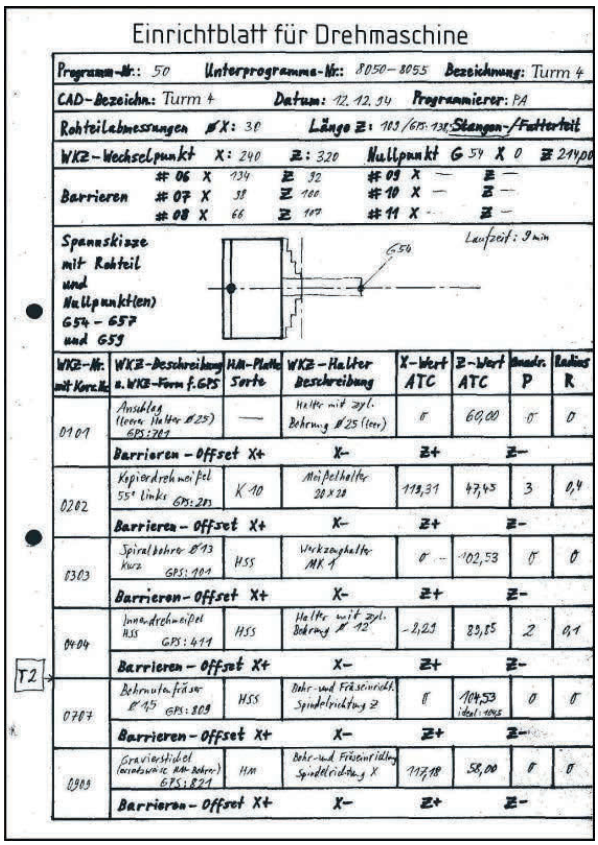
Wer schon einmal erlebt hat, wie es ist, wenn man zwar die Zeichnung und das CNC-Programm hat und dann verzweifelt versucht, sich zu erinnern, wie das Werkstück vor einigen Jahren auf der Maschine eingerichtet wurde, der weiß, wie wichtig diese Informationen sind.

Das Einrichtblatt enthält den Namen der CNC-Maschine und deren Steuerung, Angaben über die Herkunft des Werkstückes (Name, Nummer, Baugruppe, usw.), CNC-Programm-Nummer und dessen Unterprogramm-Nummern, die Abmessungen des Rohteils, Hinweise zur Aufspannung (Spannmittel, Positionen). Auch Bemerkungen wie z. B.: „Bohrer 4,5 mind. 60 mm lang heraus spannen“.
Dazu vorzugsweise eine einfache Spannskizze zeichnen und die Lage der Nullpunkte notieren, evtl. ein Foto aufkleben oder anheften.

Das wichtigste ist die Auflistung der Werkzeuge in der Reihenfolge der Bearbeitung, deshalb wird das Einrichtblatt oft auch Werkzeugblatt oder Werkzeugliste genannt. Dort werden die Werkzeuge mit ihren Bezeichnungen, Abmessungen und Korrekturwerten, Werkzeughaltern, Hartmetallsorte, Wendeplattenbezeichnung, usw. aufgelistet.
Die Auswahl und Festlegung der Reihenfolge der Werkzeuge ist eigentlich schon ein grober Arbeitsplan, immerhin ist damit schon der Ablauf der Bearbeitung definiert. Und das CNC-Programm ist demnach nichts anderes als ein detaillierter Arbeitsplan, wo wirklich jeder einzelne Schritt dokumentiert ist.

Moderne Werkzeugvoreinstellgeräte ermöglichen neben der Übertragung der Werkzeugdaten zur Maschine auch noch den Ausdruck eines fertig ausgefüllten Einrichtblattes, welches oft zusätzlich an die eigenen betrieblichen Bedürfnisse angepasst werden kann.

Wenn kein solches Voreinstellgerät vorhanden ist, dann müssen normalerweise die gemessenen Werkzeuglängen und –Radien bei jeder Neuauflage des Werkstückes im Einrichtblatt geändert werden.
Deshalb die Eintragungen dort am besten mit Bleistift vornehmen.
Danach können die Nullpunkte und Werkzeugdaten vom Einrichtblatt in die Maschine eingegeben werden.



Einrichtblatt für Drehmaschine

Programm-Nr.: 50 Unterprogramme-Nr.: 8050–8055 Bezeichnung: Turm 4

CAD-Bezeichn.: Turm 4 Datum: 12.12.94 Programmierer: PA

Rohteilabmessungen ⌀X: 30 Länge Z: 103 /GPS: 135 Stangen-/Futterteil

WKZ-Wechselpunkt X: 240 Z: 320 Nullpunkt G54 X 0 Z 214,00

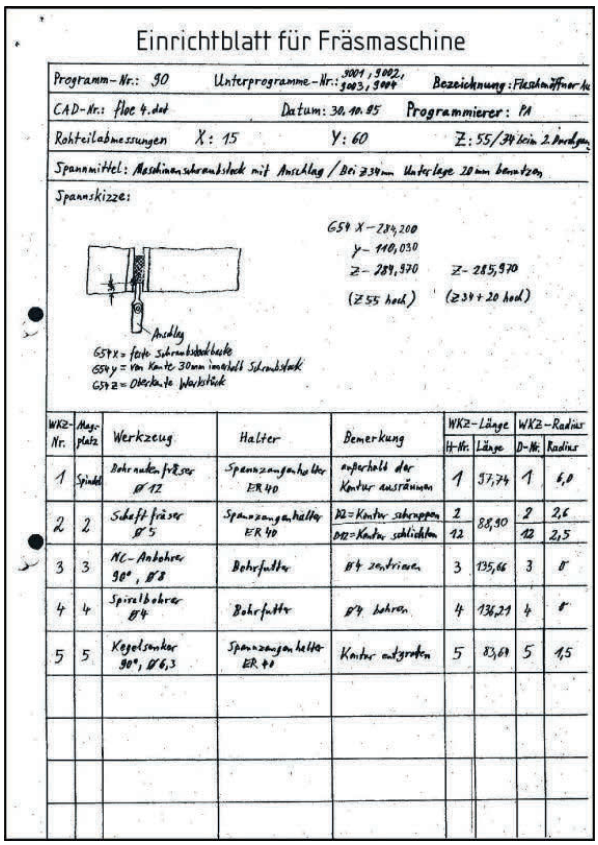
Barrieren #06 X 134 Z 92 #09 X — Z —
#07 X 38 Z 100 #10 X — Z —
#08 X 66 Z 107 #11 X — Z —

Spannskizze mit Rohteil und Nullpunkt(en) G54 – G57 und G59

Laufzeit: 9 min

WKZ-Nr. mit Korr.Nr.	WKZ-Beschreibung u. WKZ-Form f. GPS	HM-Platte Sorte	WKZ-Halter Beschreibung	X-Wert ATC	Z-Wert ATC	Anadr. P	Radius R
0101	Anschlag (leerer Halter ⌀25) GPS: 201	—	Halter mit zyl. Bohrung ⌀25 (leer)	0	60,00	0	0
	Barrieren – Offset X+		X–	Z+	Z–		
0202	Kopierdrehmeißel 55° links GPS: 215	K 10	Meißelhalter 20×20	119,31	47,43	3	0,4
	Barrieren – Offset X+		X–	Z+	Z–		
0303	Spiralbohrer ⌀13 kurz GPS: 101	HSS	Werkzeughalter MK 1	0	102,53	0	0
	Barrieren – Offset X+		X–	Z+	Z–		
0404	Innendrehmeißel HSS GPS: 411	HSS	Halter mit zyl. Bohrung ⌀12	–2,21	83,85	2	0,1
	Barrieren – Offset X+		X–	Z+	Z–		
0707	Bohrnutenfräser ⌀15 GPS: 809	HSS	Bohr- und Fräseinricht. Spindelrichtung Z	0	104,53 ideal: 104,5	0	0
	Barrieren – Offset X+		X–	Z+	Z–		
0909	Gravierstichel (einschneidig 90°-Bohrer) GPS: 821	HM	Bohr- und Fräseinricht. Spindelrichtung X	117,18	58,00	0	0
	Barrieren – Offset X+		X–	Z+	Z–		

T2



Einrichtblatt für Fräsmaschine

Programm-Nr.: 90 Unterprogramme-Nr.: 9001, 9002, 9003, 9004 Bezeichnung: Flanschdeckel

CAD-Nr.: floc 4.dat Datum: 30.10.95 Programmierer: PA

Rohteilabmessungen X: 15 Y: 60 Z: 55/34 kein 2. Durchgang

Spannmittel: Maschinenschraubstock mit Anschlag / Bei 234 mm Unterlage 20 mm benutzen

Spannskizze:

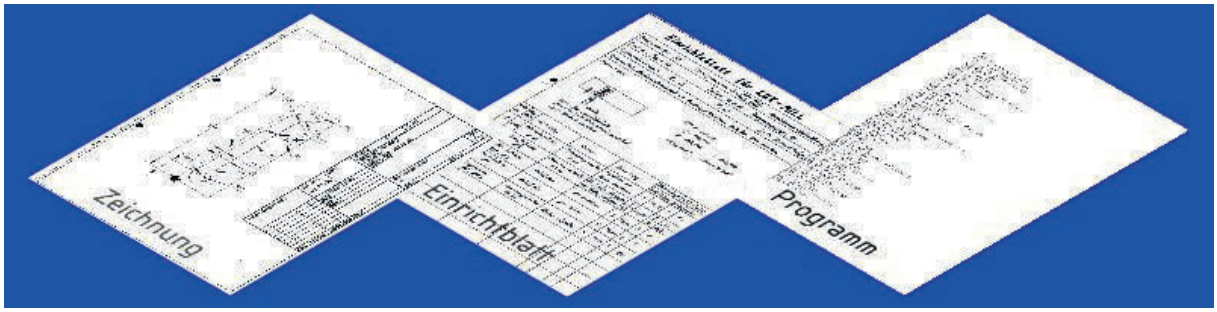
G54 X – 234,200
Y – 110,030
Z – 289,970 (Z 55 hoch)
Z – 285,970 (Z 34 + 20 hoch)

Anschlag

G54 X = feste Schraubstockbacke
G54 y = von Kante 30 mm innerhalb Schraubstock
G54 Z = Oberkante Werkstück

WKZ-Nr.	Magplatz	Werkzeug	Halter	Bemerkung	WKZ-Länge H-Nr.	WKZ-Länge Länge	WKZ-Radius D-Nr.	WKZ-Radius Radius
1	Spindel	Bohrnutenfräser ⌀12	Spannzangenhalter ER 40	vorerhalt der Kontur ausräumen	1	97,74	1	6,0
2	2	Schaftfräser ⌀5	Spannzangenhalter ER 40	D2=Kontur schruppen	2	88,90	2	2,6
				D12=Kontur schlichten	12		12	2,5
3	3	NC-Anbohrer 90°, ⌀8	Bohrfutter	⌀4 zentrieren	3	135,66	3	0
4	4	Spiralbohrer ⌀4	Bohrfutter	⌀4 bohren	4	136,21	4	0
5	5	Kegelsenker 90°, ⌀6,3	Spannzangenhalter ER 40	Kanten entgraten	5	83,69	5	1,5

Hier zwei Beispiele von ausgefüllten Einrichtblättern für Drehen und Fräsen



Bei vollständigen Unterlagen kann später eigentlich nichts mehr schief gehen

Nachstehend und im Anhang gibt es bewährte Muster von Einrichtblättern zum Drehen und Fräsen

Einrichtblatt für Fräsmaschine

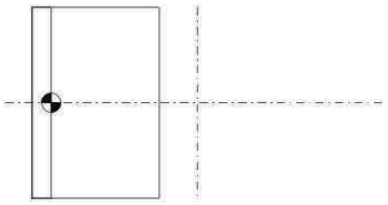
Programm-Nr.:	Unterprogramme-Nr.:	Bezeichnung:
CAD-Bezeichn.:	Datum:	Programmierer:
Rohteilabmessungen X:	Y:	Z:
Spannmittel:		
Spannskizze:	Nullpunkt(e):	

WKZ-Nr.	Mag.-Platz	Werkzeug	Halter	Bemerkung	WKZ-Länge		WKZ-Radius	
					H-Nr.	Länge	D-Nr.	Radius

Einrichtblatt für Drehmaschine

Programm-Nr.:		Unterprogramme-Nr.:		Bezeichnung:	
CAD-Bezeichn.:		Datum:		Programmierer:	
Rohteilabmessungen	Ø X:	Länge Z:		Stangen-/Futterteil	
WKZ-Wechselpunkt	X:	Z:	Nullpunkt G	X:	Z:
Barrieren	# 06 X:	Z:	# 09 X:	Z:	
	# 07 X:	Z:	# 10 X:	Z:	
	# 08 X:	Z:	# 11 X:	Z:	

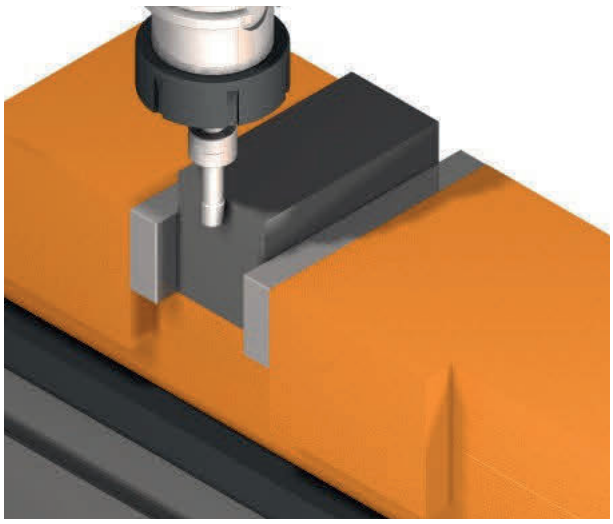
Spannskizze mit Rohteil und Nullpunkt(en) G54 - G57 und G59



WKZ-Nr. mit Korr.-Nr.	WKZ-Beschreibung u. WKZ-Form für GPS	HM-Platte Sorte	WKZ-Halter Beschreibung	X-Wert ATC	Z-Wert ATC	Quadrant P	Radius R
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		

Kapitel 13 - Fräsmaschine Einrichten

13.01 Arbeitsbereich
13.02 Bezugspunkte
13.03 Ausmessen
13.04 Antasten
13.05 Ankratzen vermeiden
13.06 Einrichten
13.07 Programmunterbrechung



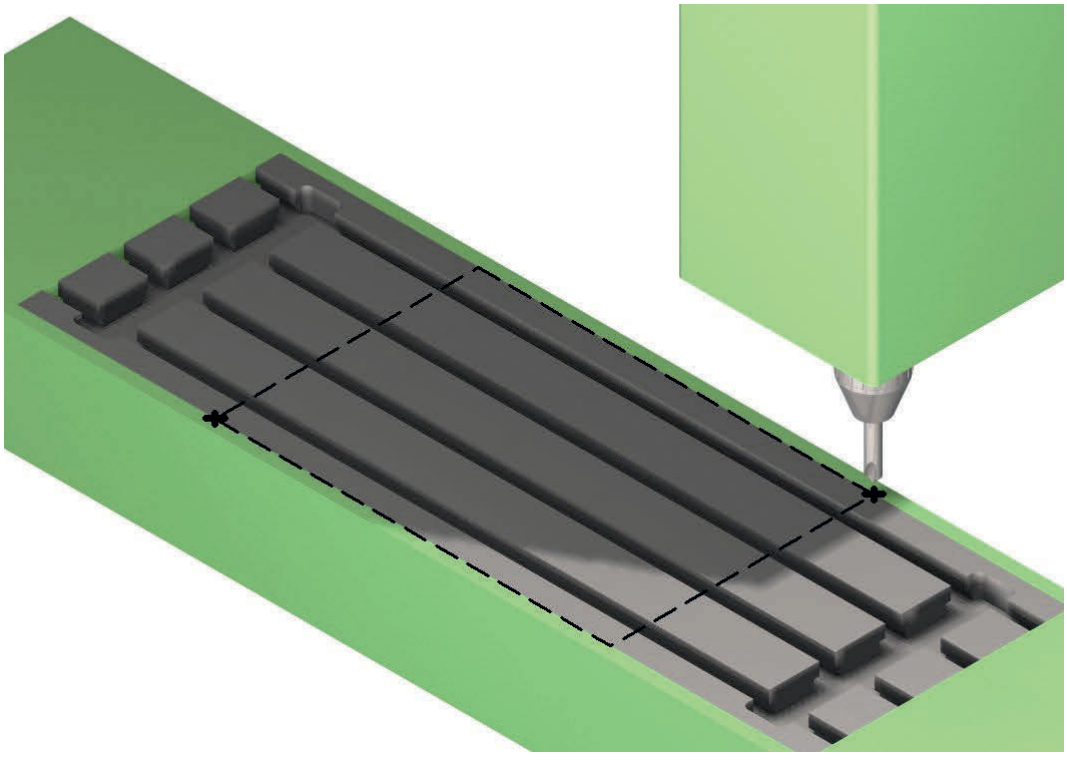
13.01 Arbeitsbereich

Als erstes sollte der Arbeitsbereich einer neuen Maschine ermittelt werden, dazu genügt es, die Software-Endschalter anzufahren um den Bereich grob auszumessen.

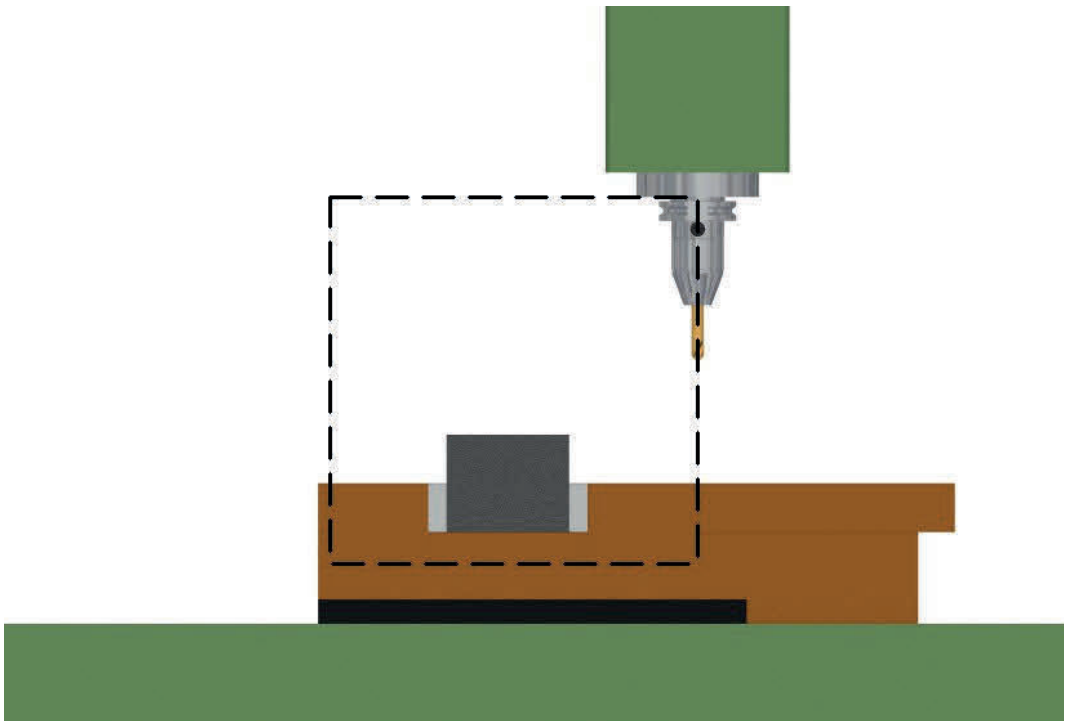
Bei der Senkrecht-Fräsmaschine ein spitzes Werkzeug einspannen, mit Z-Achse bis kurz über den Tisch fahren und den vorderen linken Punkt bis Software-Endschalter X- und Y- anfahren. Position aufschreiben und evtl. mit Filzstift den Punkt markieren.
Als nächstes den hinteren rechten Punkt X+ / Y+ in gleicher Weise ermitteln.
Jetzt ist bereits der grobe Arbeitsbereich in X und Y bekannt. Zur besseren Vorstellung kann das Rechteck mit Filzstift auf dem Maschinentisch aufgezeichnet werden.

Für Z wird der Software-Endschalter Z+ oben angefahren. Der theoretische Arbeitsbereich ist dann die Strecke vom Tisch bis zur Spindelnase. Dies kann mit Hilfe eines Endmaßes zwischen Tisch und Spindelnase ermittelt werden. Ebenfalls Position aufschreiben und die Höhe des Endmaßes einrechnen.
Der tatsächlich nutzbare Arbeitbereich in Z ist jeweils abhängig von der Höhe der Spannmittel und des Werkstückes sowie von der Werkzeuglänge.

Beim späteren Aufspannen des Werkstückes ist zu beachten, dass die Begrenzung des Arbeitsbereichs X und Y auch die Begrenzung der Fräsermittelpunktsbahn ist. Wenn ein Fräser um eine Außenkontur herumfahren soll oder einen Anfahrts- / Überfahrweg benötigt, ist dies zu berücksichtigen. Das Werkstück muss mindestens um den Fräserradius plus Sicherheitsbereich bzw. um den An- oder Abfahrtsweg vom Rand des Arbeitsbereiches entfernt sein. Bei der Montage des Schraubstocks beachten!



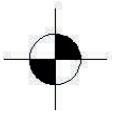
Grobes Ausmessen des X- und Y- Arbeitsbereichs einer Fräsmaschine



Arbeitsbereich in X und Z. Durch die Aufbauten von Spannmittel und Werkstück sowie durch die Werkzeuglänge ist der noch freie Bereich stark eingeschränkt.
Im Allgemeinen reicht die leere Frässpindel nicht ganz bis zum Frästisch, weil zum Betrieb ja immer ein Werkzeug und ein Werkstück erforderlich ist.

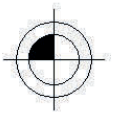
13.02 Bezugspunkte

Bei den CNC-Maschinen tauchen immer wieder die Namen einiger Punkte auf. Um nicht durcheinander zu geraten, sollte man sich wenigstens die wichtigsten Punkte merken, welche ständig verwendet werden.
Auch wenn die Bildzeichen gerne von einfallslosen Prüfern abgefragt werden, war es mir in meinem ganzen CNC-Leben egal, in welchem Quadrant jeweils das eingefärbte Segment zu liegen hat und wo ein zweiter Kreis zu zeichnen ist. Hauptsache, man weiß, von wo aus nach wohin auszumessen ist und dass man es richtig berechnen kann.



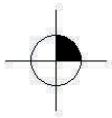
Referenzpunkt R

Der Referenzpunkt ist ein fester Punkt im Meßsystem und von außen unsichtbar. Die Messeinrichtungen können erst ihre Position errechnen, wenn zuvor der Referenzpunkt (Nullmarke) für jede einzelne Achse angefahren wurde.
Zum gefahrlosen Anfahren werden die Referenzpunkte der Achsen möglichst weit vom Werkstück entfernt gelegt, bei Werkzeugmaschinen normalerweise in Plus-Richtung der Achsen. Um Kollisionen zu vermeiden, sollte dabei die Zustellachse zuerst gewählt werden. Bei Fräsmaschinen im Allgemeinen die Z-Achse, bei Drehmaschinen die X-Achse.
Nach Anfahren der Referenzpunkte nehmen wir für uns als Referenz die sichtbaren Punkte, wie den Maschinen-Nullpunkt und den Werkzeugträger-Bezugspunkt. Damit können wir -wie mit einer Messmaschine- andere gesuchte Punkte messen und bestimmen.



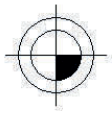
Maschinen-Nullpunkt M

Ein sichtbarer Punkt an der Maschine. Bei Fräsmaschinen mit Rundtisch die Mitte auf der Fläche des Rundtisches, der dort meist eine Aufnahmebohrung hat. Bei einem normalen Fräsmaschinentisch ohne feste Fixierung für eine Spannvorrichtung existiert der Punkt eigentlich nur für die Zustellachse Z auf der Auflagefläche. Ist eigentlich in X und Y variabel, weil ein Schraubstock oder ein Werkstück an beliebiger Stelle aufgespannt werden kann. Kann aber auch z. B. als die linke, vordere Ecke des Verfahrbereichs bestimmt werden.
Bei Drehmaschinen ist es die Mitte der Anschlagfläche der Hauptspindel, nicht die Vorderkante des Aufnahmekegels.



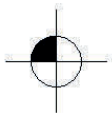
Werkzeugträger-Bezugspunkt T

Ebenfalls ein sichtbarer Punkt an der Maschine. Bei Fräsmaschinen die Stirnfläche der Hauptspindel, nicht die Höhe der Nutensteine.
Beim Drehmaschinen-Revolver die Anschlagfläche in der Mitte der Bohrung für einen Werkzeughalter.



Werkstück-Nullpunkt W

Ist der vom Programmierer festgelegte Punkt, von dem aus programmiert wird. Er ist frei wählbar und kann zum Fräsen vorzugsweise auf einer Werkstückecke oder auf der Werkstückmitte liegen, links oder rechts, vorne oder hinten, unten oder oben am Werkstück.
Beim Drehen zwingend auf der Achse des Werkstückes und sinnvollerweise entweder vorne oder hinten.



Programm-Nullpunkt P0

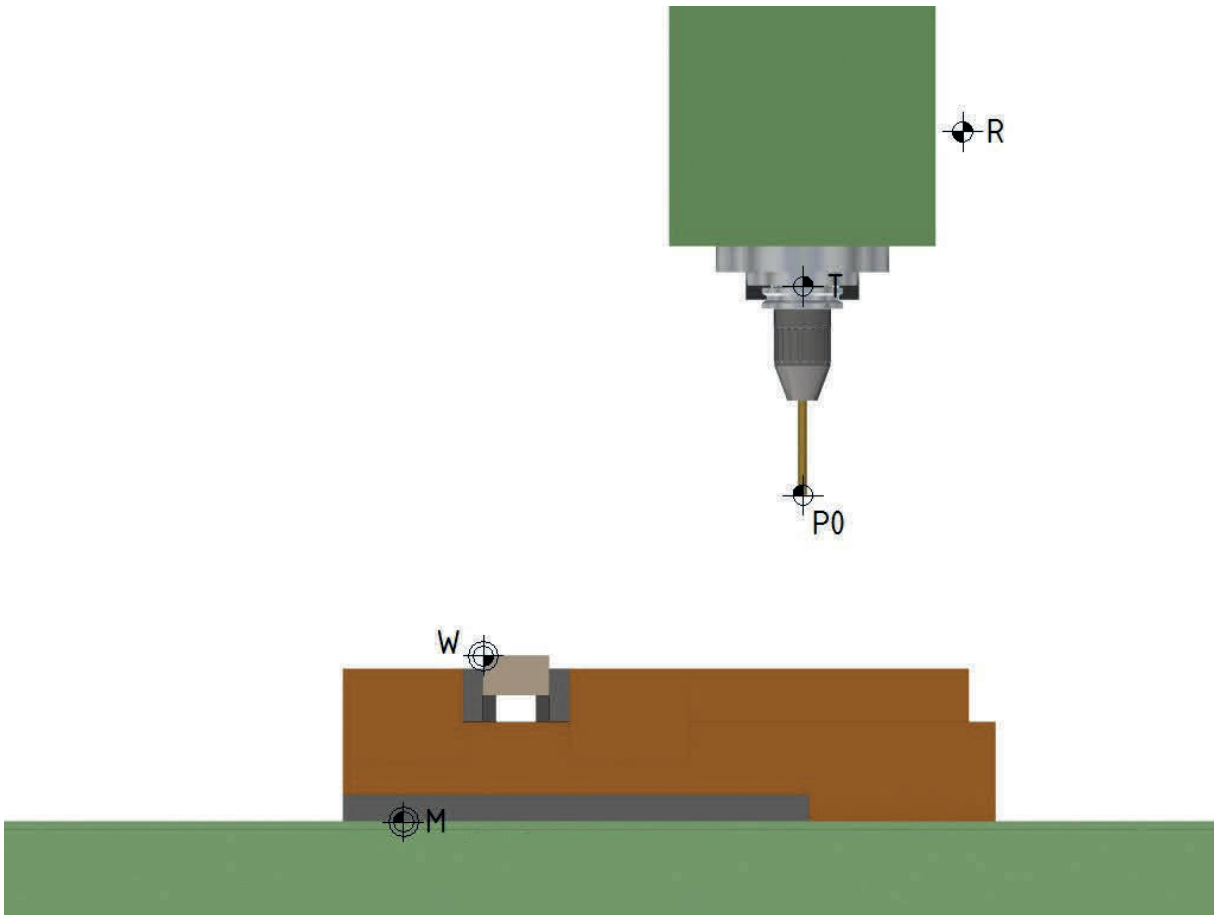
Ist der Punkt, wo sich die Werkzeugspitze gerade befindet = programmierter Punkt.
Bei Fräs- und Bohrwerkzeugen die Vorderkante oder Spitze auf der Mittelachse.
Bei Drehwerkzeugen der Messpunkt der theoretischen Werkzeugspitze.

Die Maße von der Werkzeugspitze bis zum Werkzeugträger-Bezugspunkt entsprechen bei Fräswerkzeugen der Werkzeuglänge, bei Drehwerkzeugen der Länge und dem Versatz.

13.03 Ausmessen Fräsmaschine

Nach dem Anfahren des Referenzpunktes R, welcher für uns unsichtbar an fester Stelle im Meßsytem markiert ist, können wir mit Hilfe der sichtbaren Punkte alle anderen gewünschten Positionen bestimmen. Wir benutzen hierzu die Werkzeugmaschine wie eine Messmaschine, es ist ja ein eingebautes Meßsystem vorhanden. Die wichtigsten Punkte sind der Maschinennullpunkt M und der Werkzeugträger-Bezugspunkt T. Wenn man den Abstand von M zu T ausgemessen hat, kann man alle anderen Maße ausrechnen und kennt gleichzeitig den Arbeitsbereich. Ein Schraubstock mitsamt den Parallelunterlagen hat eine definierte Höhe. Das ausgemessene Werkzeug hat bekannte Maße für den Durchmesser und die Länge. Umgekehrt kann ein unbekanntes Werkzeug ohne weitere Hilfsmittel in der Maschine ausgemessen werden.

Vertikal-Fräsmaschine (Senkrecht-Fräsmaschine)

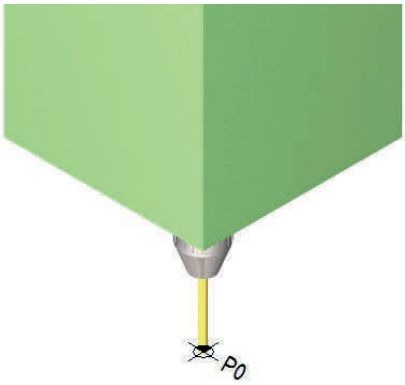


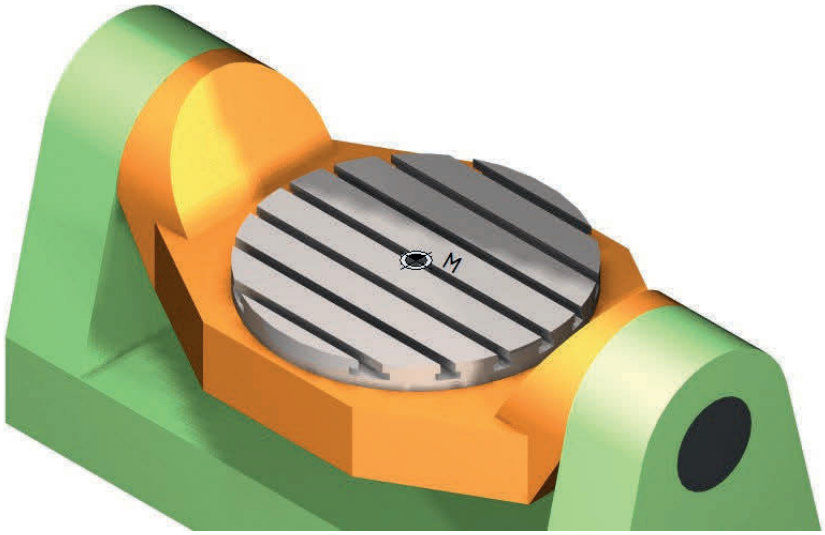
Hier die Bezugspunkte in der X- und Z-Ansicht:
R = Referenzpunkt, M = Maschinen-Nullpunkt, T = Werkzeugträger-Bezugspunkt,
W = Werkstück-Nullpunkt und P0 = Programm-Nullpunkt (Werkzeugspitze).

Ausmessen Maschinennullpunkt – Werkzeugträger-Bezugspunkt:

Referenzpunkt anfahren, ggf. Werte auf Null stellen.
Bei einem normalen Frästisch kann eigentlich nur das Z-Maß genau bestimmt werden. Der Maschinennullpunkt in X und Y kann dann z. B. als die linke vordere Ecke des Verfahrbereichs (Software-Endschalter X- und Y-) definiert werden.
Wenn ein Schraubstock aufgespannt ist, der längere Zeit dort verbleibt, kann auch eine geeignete Ecke des Schraubstocks als spezieller Maschinennullpunkt gewählt werden. Eine Beschreibung hierzu im nachfolgenden Unterkapitel „Ankratzen vermeiden“.

Falls die Maschine einen Rundtisch mit Aufnahmebohrung hat (4 oder 5 Achsen), legt man den Maschinennullpunkt M für X und Y in die Aufnahmebohrung.





<u>Ausmessen in X und Y:</u>
bei normalem Frästisch Software-Endschalter X- und Y- anfahren und Werte notieren. Evtl. Position mit Filzstift auf dem Frästisch anzeichnen. Falls ein Schraubstock dauerhaft aufgespannt bleibt, nach Unterkapitel „Ankratzen vermeiden“ vorgehen.
Bei einem Rundtisch mit Bohrung einen Messtaster oder besser einen Centricator in der Hauptspindel spannen. Mit der Spindel zur Aufnahmebohrung des Rundtisches fahren. Spindel von Hand drehen und mit Tippbetrieb die Mitte genau ausrichten. Eventuell kleinen Spiegel zur rückseitigen Ablesung benutzen. Angezeigte X- und Y-Werte notieren.

Ausmessen in Z:
mit Hilfe eines Endmaßes im Tippbetrieb den Abstand zwischen der Auflagefläche der Frässpindel (Punkt T) und der Auflagefläche des Frästisches messen.
Für einen ständig aufgespannten Schraubstock wieder nach Unterkapitel „Ankratzen vermeiden“ vorgehen.
Angezeigten Z-Wert notieren. Dazu die Länge des Endmaßes mit einrechnen.

Diese Messung von T nach M muss jedes Mal nach einer Kollision durchgeführt werden, um zu überprüfen, ob sich die Maße verschoben haben und ggf. korrigieren.
Ebenso ist die Messung zwingend nach einer Reparatur oder Auswechslung des Meßsystems durchzuführen.

Falls die Steuerung die Möglichkeit besitzt, eine feste Referenzpunkt-Verschiebung einzugeben, können die gemessenen Werte eingegeben werden. Somit kann der Referenzpunkt rechnerisch z. B. auf eine Kante des Schraubstocks gelegt werden, so dass beim Anfahren des Referenzpunktes die gemessenen Werte erscheinen und beim theoretischen Anfahren dieses Punktes die Werte X0, Y0 und Z0 anzeigt.

Ermitteln des Werkstück-Nullpunktes:
Ein Schraubstock und die Unterlagen, sowie das Werkstück selbst haben eine definierte Höhe, womit man eigentlich schon die Höhe in Z ausrechnen kann. Dabei muss das Werkstück innerhalb des Arbeitsbereiches in X und Y so aufgespannt werden, dass außen herum noch Platz für die Fräsermittelpunktsbahn plus Sicherheit bleibt.
Mit einem Kantentaster können die X- und Y-Werte ermittelt werden. Ohne Kantentaster behelfsweise durch seitliches Ankratzen mit einem Werkzeug mit bekanntem Durchmesser. Jeweils den Radius des Kantentasters bzw. des Werkzeugs berücksichtigen.
Ein Werkstück, das an einer Referenzbohrung oder einem Zapfen auszurichten ist, wird mit Centricator oder Messtaster ausgemessen.
Ein unbekannter Z-Wert kann entweder mit einem aufgesetzten Endmaß oder mit Ankratzen durch ein Werkzeug mit bekannter Länge ermittelt werden. Dabei das Endmaß oder die Werkzeuglänge berücksichtigen.

Werkzeuglänge:
Der nächste zu berücksichtigende Faktor ist die Werkzeuglänge in Z vom Werkzeugträger-Bezugspunkt T bis zur Werkzeugspitze P0.
Diese Werte werden innerhalb oder besser außerhalb der Maschine (mit Werkzeugvoreinstellgerät) ermittelt und dann in den Werkzeugkorrekturspeicher eingegeben.

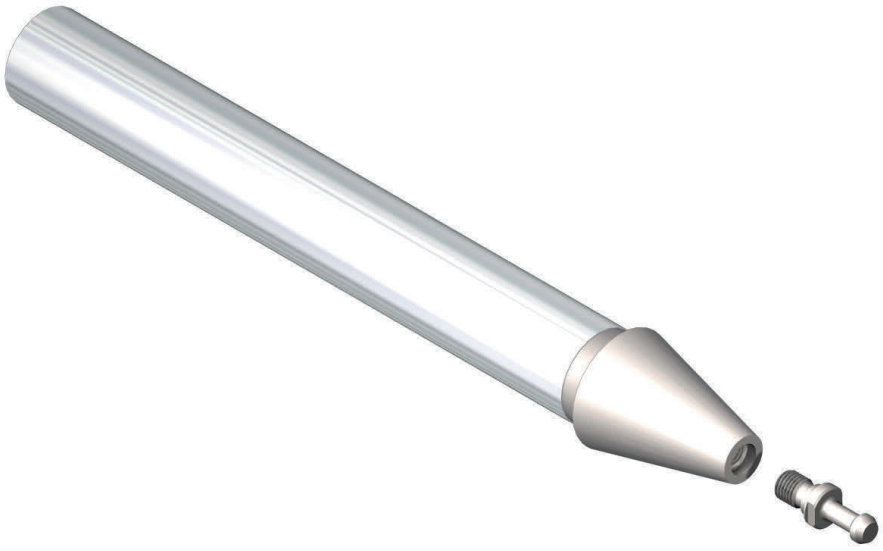
Werkzeug in der Maschine ausmessen:
Ohne weitere Hilfsmittel.
Am eingespannten Werkstück, dessen Oberkante (= W) bekannt ist, manuell ankratzen. Angezeigten Wert notieren. Die Differenz vom angezeigten Wert des Werkzeugträger-Bezugspunkts T zum Werkstück-Nullpunkt W ist die Werkzeuglänge. Dieser Wert entspricht der Länge H für den Werkzeug-Korrekturspeicher
Der Werkzeugdurchmesser ist leichter außerhalb zu messen. Kann aber auch (umständlich) in der Maschine ermittelt werden. Seitlich eine Fläche leicht anfräsen, angezeigten Wert notieren, auf der Gegenseite ebenfalls anfräsen und notieren. Werkstück messen. Die Differenz beider angezeigter Werte minus der gemessenen Werkstückbreite ergibt den Werkzeugdurchmesser. Durch 2 geteilt ergibt das den Radius D für den Werkzeug-Korrekturspeicher.

Siehe hierzu auch das vorhergehende Kapitel “Werkzeugvoreinstellung”.

Anmerkung: Es gibt weitere Verfahren zum Ausmessen der Werkzeuge mit der Maschine, welche aber nicht die tatsächliche Werkzeuglänge in den Speicher übernehmen und so nicht kompatibel mit Voreinstell-Werten sind. Z. B. die Übernahme der angekratzten Werte mit G92 oder auch mit einem Referenz-Werkzeug, so dass die anderen Werkzeuge positive oder negative Längen erhalten.

Horizontal-Fräsmaschine (Waagrecht-Fräsmaschine)

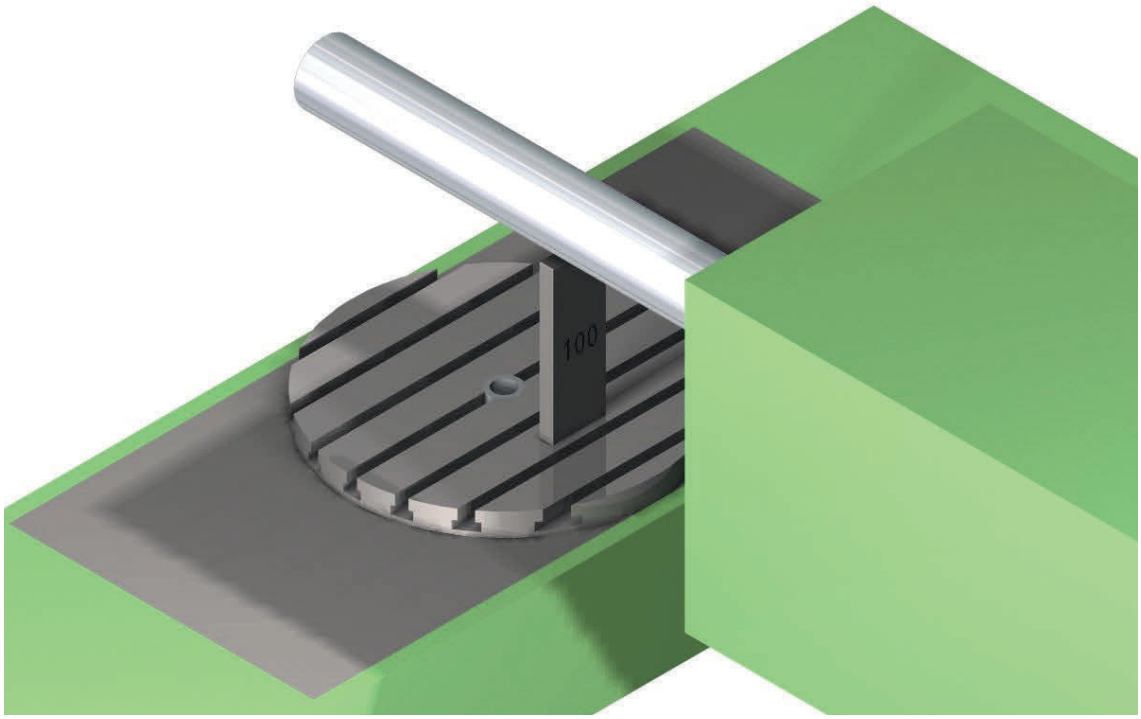
Etwas schwieriger gestaltet sich das Ausmessen einer Waagrecht-Fräsmaschine, bzw. eines Bohrwerks. Hier können wir mit der Frässpindel nicht direkt die Messpunkte erreichen, so dass zusätzlich ein Prüfdorn (auch Kontrolldorn genannt) oder ein eingespannter Rundstab vonnöten sind.



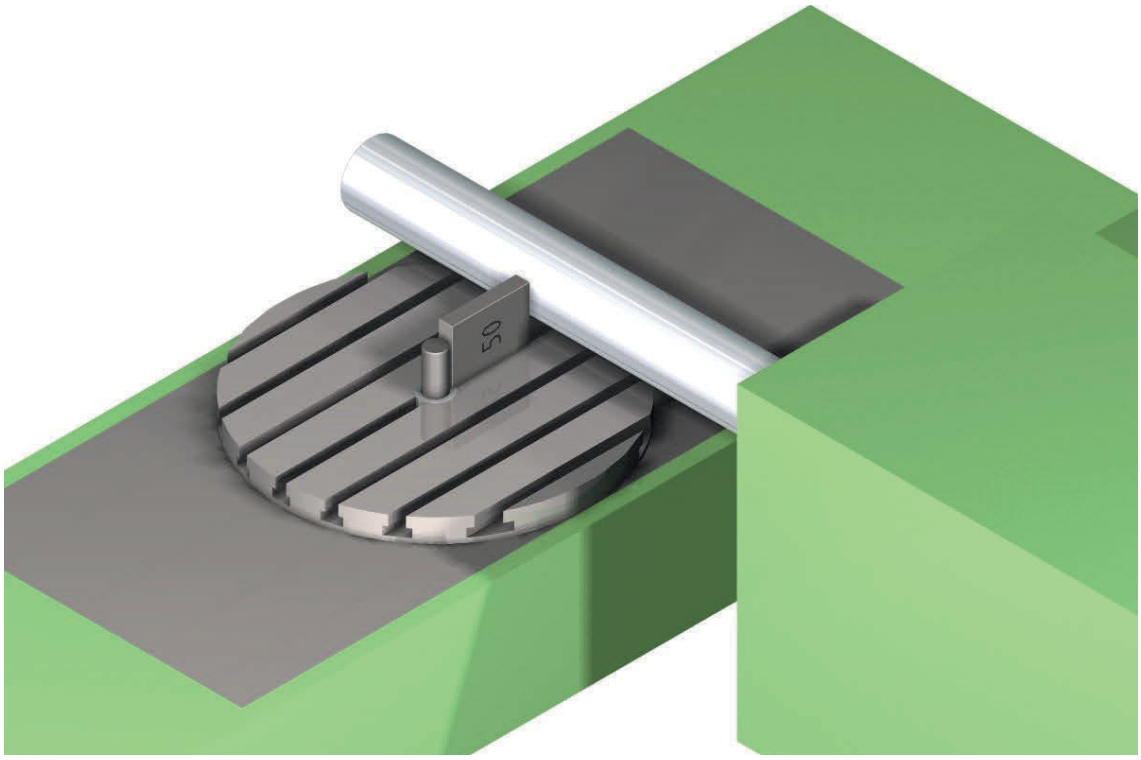
Prüfdorn, der normalerweise in einem Holzkasten in Samt gebettet ausharrt und auf seinen Einsatz wartet. Man kann ihn mit der nötigen Vorsicht auch zum Ausmessen der Maschine „missbrauchen“, denn eigentlich ist er zur Rundlaufprüfung und Ausrichtung der Frässpindel gedacht.
Ersatzweise kann ein geschliffener Rundstab mit genauem Durchmesser in einem Werkzeughalter mit einwandfreiem Rundlauf eingespannt werden.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das Prinzip des Ausmessens an einer 4-Achsen Fräsmaschine mit Hilfe des Prüfdorns, Endmaßen und einem genau passenden Steckstift für die Bohrung des Rundtisches.

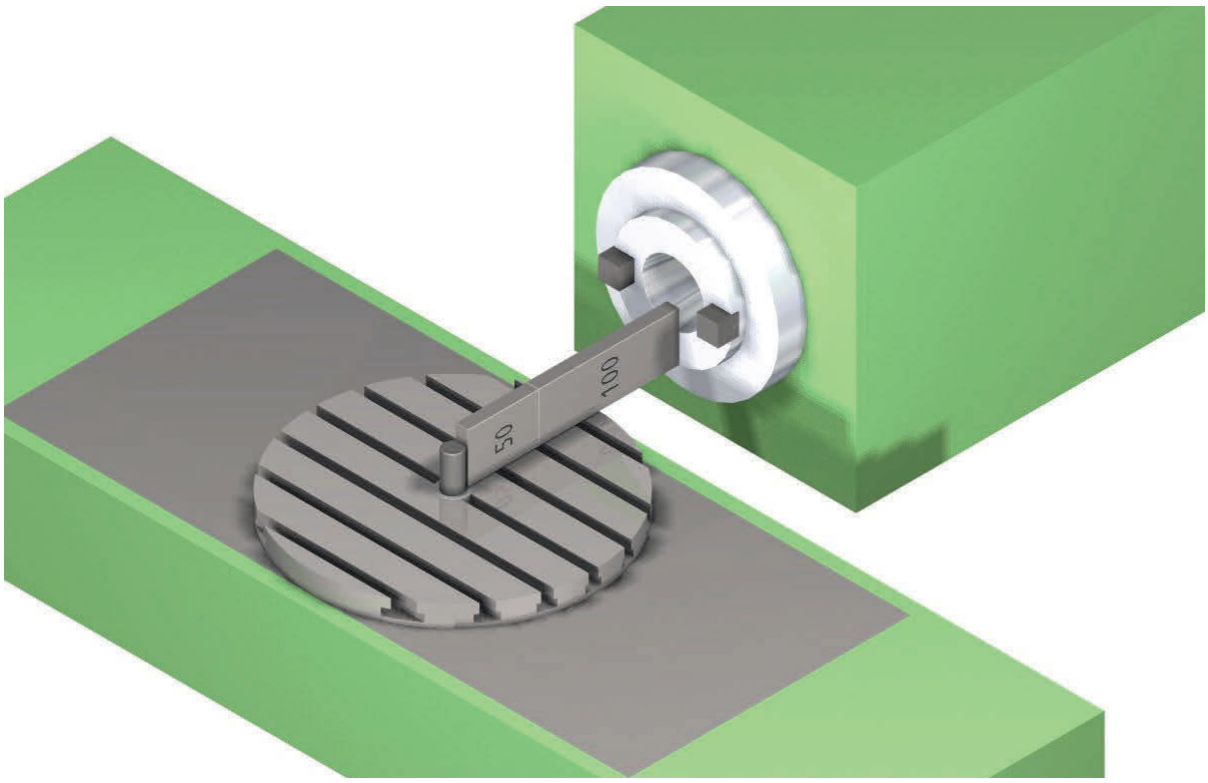
Die Endmaße während des Verfahrens im Tippbetrieb jedes Mal zur Seite schieben, um den teuren Prüfdorn nicht zu beschädigen. Wenn man ihn verbiegt, ist er unbrauchbar.



Ausmessen der Y-Achse. Endmaß und Radius des Prüfdorns einrechnen.



Ausmessen der X-Achse. Endmaß und Radien des Steckstiftes sowie des Prüfdorns einrechnen.

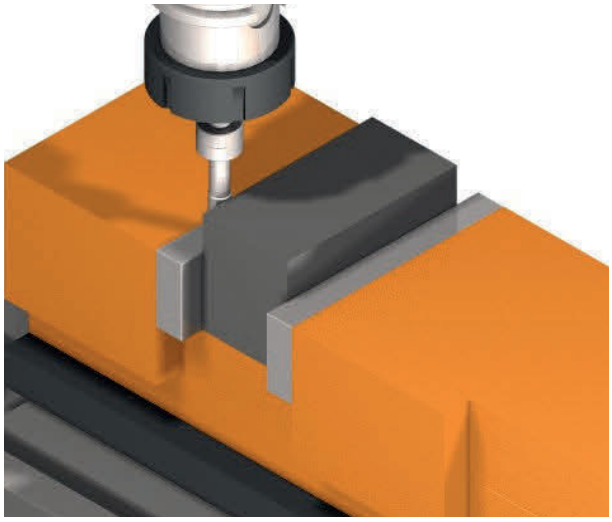


Ausmessen der Z-Achse. Endmaß(e) und Radius des Steckstiftes einrechnen.

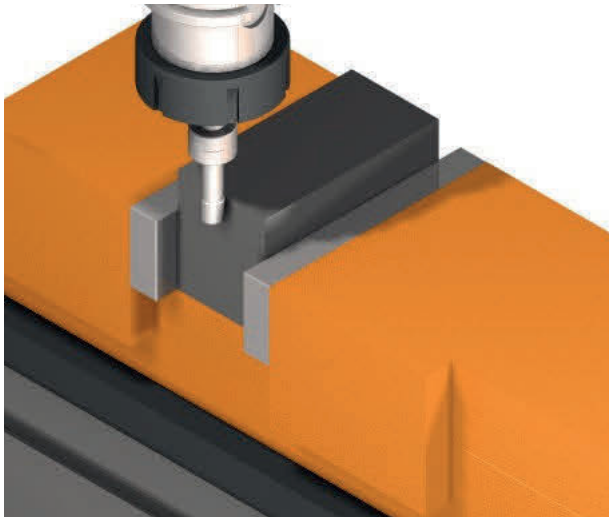
13.04 Antasten

Werkstücknullpunkt in X- und Y-Achse suchen

Mit dem mechanischen Kantentaster X- und Y-Außenkante messen, kann aber auch eine Innenkante sein, wenn die Maße von dort ausgehen.
Drehzahl zwischen 400 und 600 U/min eingeben und manuell in die Nähe der Kante fahren. Dann im Schrittbetrieb an die Kante antasten. Am besten mit 0,1mm-Schritten beginnen, bis der Kantentaster ausschlägt. Dann 1 oder 2 Zehntel wieder zurück, bis er wieder rund läuft. Wen die 1000-el stören, kann man sie vorab mit 1000-stel Schritten bis 0 weitertippen. Jetzt mit 100-stel Schritten anfahren. Wenn der Kantentaster ausschlägt, dann ist der Punkt erreicht. Abgelesenen Wert notieren, je nach Fahrtrichtung Radius des Kantentasters addieren oder subtrahieren um den Werkstücknullpunkt X und Y zu erhalten.



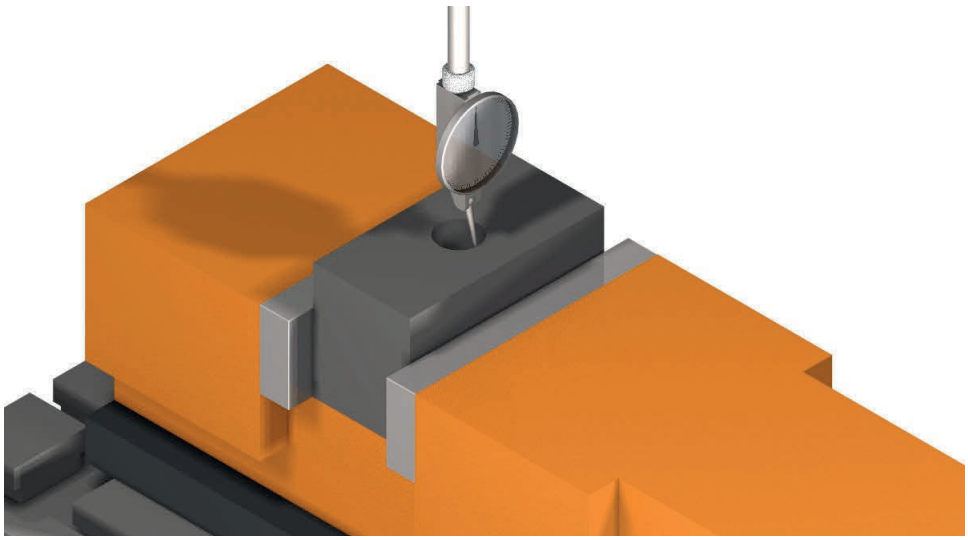
Antasten in X-Richtung



Antasten in Y-Richtung

Wie auf den beiden Bildern zu sehen ist, wird jeweils von der Minus-Richtung nach Plus angetastet. Vom Referenzpunkt ausgehend, wird für beide Achsen jeweils ein Negativwert angezeigt.

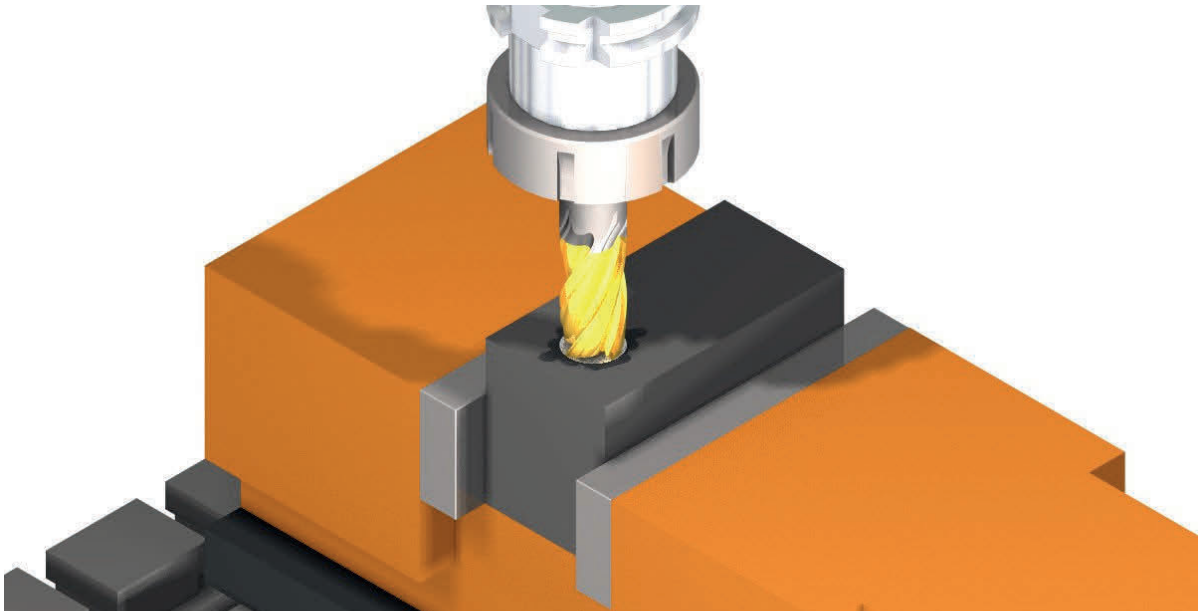
Beispiel: es wird X-325,332 und Y-257,671 angezeigt. Bei einem Kantentaster-Radius von 5mm gilt dann für die Ecke des Werkstücks X-320,332 und X-252,671 und ist so mit umgekehrtem Vorzeichen (als Plus-Werte) in die Nullpunktverschiebung G54, G55, usw. einzugeben.
Falls von der Gegenseite her angetastet wird, muss natürlich der Radius in die Gegenrichtung gerechnet werden.



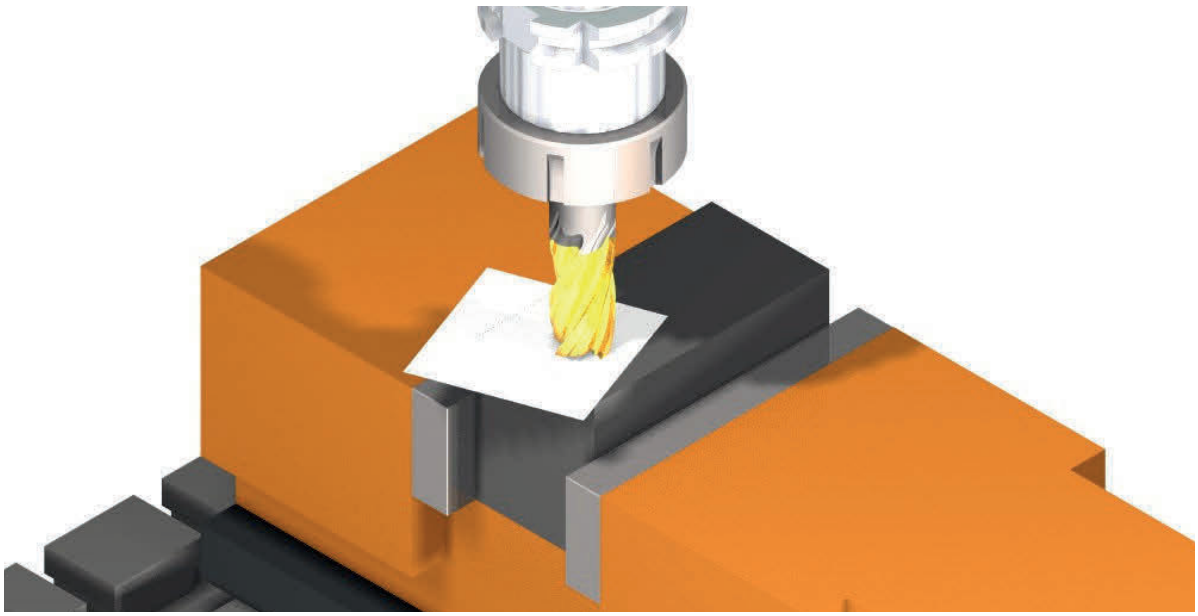
Antasten mit Centricator oder Messtaster in X und Y gleichzeitig, wenn der Werkstück-Nullpunkt z. B. von einer Referenzbohrung ausgehen soll. Der abgelesene Wert kann hier direkt übernommen werden.

Werkstücknullpunkt in Z-Achse suchen

Die klassische Methode ist das Ankratzen mit einem Werkzeug, dessen Länge bekannt ist. Bei blankem Metall empfiehlt es sich, vorher die anzukratzende Fläche mit schwarzem oder dunkelblauem Filzstift einzufärben, um deutlicher zu sehen, wann die blanke Fläche beim Ankratzen erscheint.
Hierzu gibt man eine Drehzahl ein und fährt im Schrittbetrieb auf die Fläche, bis das blanke Material zu sehen ist.



Klassisches Ankratzen mit einem rotierenden Fräser, bis eine blanke Fläche erscheint



Wer das Werkstück schonen will, kann entweder in bekannter Weise von der Spindelnase aus mit Hilfe eines Endmaßes auf die Oberfläche messen. Falls z. B. Z-321,987 angezeigt wird, muss noch das Endmaß (z. B. 100mm) dazugerechnet werden, so dass der tatsächliche Abstand 421,987mm sind und so als Nullpunktverschiebung eingegeben wird.

Eine andere Methode dazu ist, sich mit einem stillstehenden Werkzeug an die Oberfläche heranzutasten und ein Stück Papier dazwischen zu halten, wie in der Abbildung. Wenn sich das Papier nicht mehr herausziehen lässt, ist der Punkt erreicht. Ist nicht ganz so genau, immerhin ist das Papier rund 0,1mm dick, wenn es ein wenig zusammengedrückt wird, vielleicht noch 0,05mm. Nullpunkt ausrechnen wie beim gewöhnlichen Ankratzen.

Es gibt auch einfache elektronische Kantentaster. Die Anwendung geht wie bei einem mechanischen, jedoch wird der Kontakt zum Werkstück per Signallämpchen und evtl. Signalton angezeigt. Funktioniert nur mit metallischen Werkstücken, da der elektrische Kontakt angezeigt wird.

Mit einem elektronischem Tastsystem, ähnlich wie ein Tastkopf einer Meßmaschine geht das Ganze wesentlich schneller und sicherer. Wenn dieses eine Fläche (seitlich oder oben) berührt, hält es an und gibt den Wert automatisch in die Steuerung ein. Dabei erkennt es auch von welcher Richtung her angefahren wurde und kann so den Radius der Messkugel nach der richtigen Richtung einrechnen.
Der Tastkopf kann wie ein normales Werkzeug in der Spindel eingewechselt werden. Die Datenübertragung an die Steuerung erfolgt dann per Funk oder Infrarot.
Bei Serienteilen können so die einzelnen Werkstücke mit Hilfe eines Programms automatisch gemessen und die Werte jeweils neu in die Steuerung übermittelt werden, bevor das eigentliche NC-Programm startet. Ist vor allem bei gewünschter erhöhter Positionier-Genauigkeit vorteilhaft.

Wie es bei „normalen“ Werkstücken auch ohne ständiges Antasten und Ankratzen geht, wird im nächsten Unterkapitel „Ankratzen vermeiden“ beschrieben.

13.05 Ankratzen und Anfahren vermeiden

Das erneute Anfahren und Ankratzen an ständig wechselnden Werkstücken kostet Zeit, erfordert volle Konzentration und kann mitunter ganz schön lästig werden.
Nach dem Motto: „Ja nicht dumm, nur recht faul“, habe ich eine eigene Methode für Fräsmaschinen entwickelt, die schon von vielen anderen übernommen wurde.

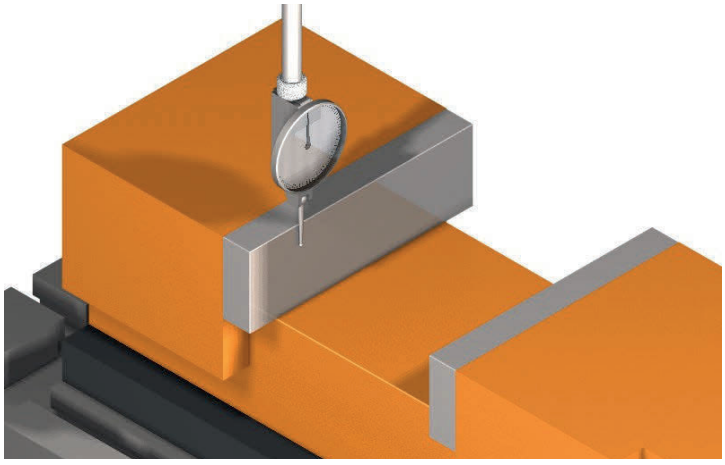
Problem: meistens waren Einzelstücke oder kleine Stückzahlen ohne besondere Genauigkeitsanforderungen zu fertigen. Es stand nur eine CNC-Fräsmaschine zur Verfügung. Jedes Mal die Position des Werkstückes mit Kantentaster oder durch Ankratzen zu ermitteln, kostet Zeit und Nerven.

Überlegung: bei Maschinen zur Serienfertigung werden oft spezielle Spannvor-richtungen benutzt, die immer eine definierte Lage des Werkstückes gewährleisten. Warum soll ein gewöhnlicher Maschinenschraubstock nicht auch die gleiche Funktion erfüllen können?

Lösung: da der Maschinenschraubstock oft lange Zeit auf der selben Maschine aufgespannt bleibt, reicht es, einmal die Lage eines festen Punktes des Schraubstocks auszumessen und von dort aus die Position des jeweiligen Werkstücknullpunktes einfach auszurechnen.

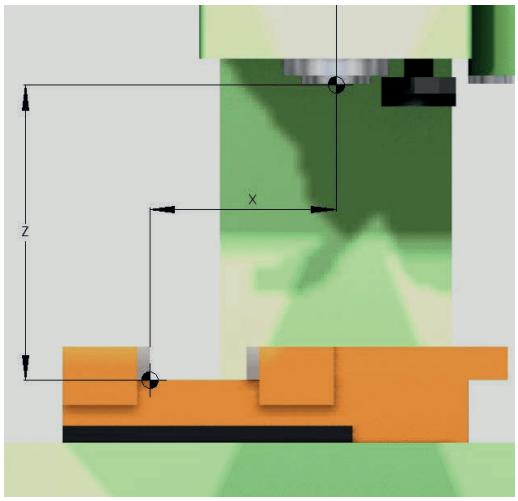
Wie ist dazu vorzugehen?

Voraussetzung: der Maschinenschraubstock ist sauber achsparallel ausgerichtet. Mit Messtaster (Fühlhebelmessgerät) die feste Backe auf ganzer Länge abfahren, um zu sehen, ob der Schraubstock rechtwinklig zum Koordinatensystem steht und eventuell ausrichten. Dazu die Schrauben lösen, eine davon –möglichst in der Nähe der festen Backe- leicht gespannt lassen. Jetzt kann der Schraubstock mit leichten Schlägen per Holz- oder Gummihammer ausgerichtet werden. Die der gespannten Schraube diagonal gegenüberliegende Schraube zuerst leicht festziehen, danach die anderen. Nochmals mit Messtaster abfahren, danach festziehen. Trotz vorsichtigem Anziehen der Schrauben verzieht sich manchmal der Schraubstock wieder ein wenig.

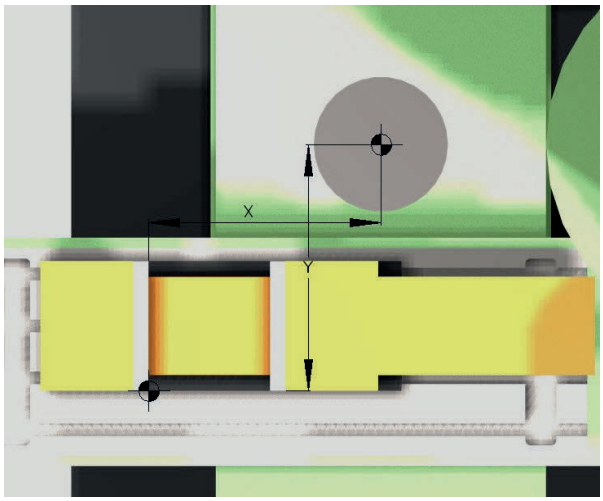


Mit Messtaster die feste Schraubstockbacke abfahren

Ausmessen: Es wird jeweils der Weg vom Maschinen-Referenzpunkt in X, Y und Z bis zum gewünschten Punkt am Schraubstock ausgemessen.

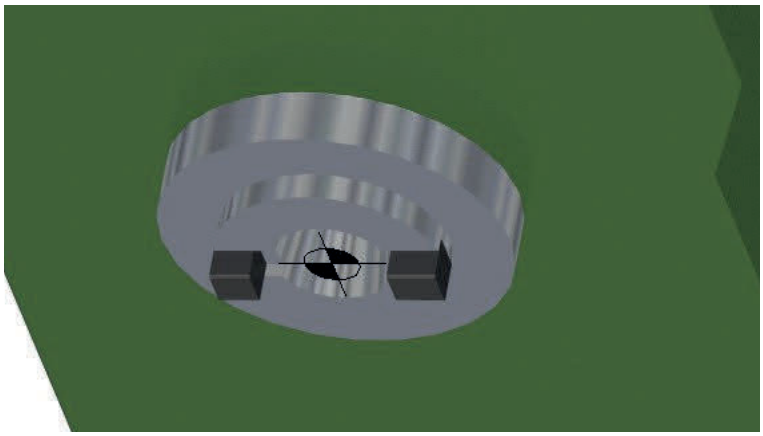


Distanz in X und Z vom Referenzpunkt zum Schraubstock-Nullpunkt



Distanz in X und Y vom Referenzpunkt zum Schraubstock-Nullpunkt

Wo liegt der Referenzpunkt eigentlich?
Der Referenzpunkt liegt bei Fräsmaschinen üblicherweise in allen drei Achsen kurz vor den Endschaltern in Plus-Richtung, um Kollisionen zu vermeiden.
Er ist eine feste Marke im Messsystem und somit für uns unsichtbar.
Ersatzweise nehmen wir dafür die sichtbare, geschliffene Spindelnase der Fräsmaschinen-Hauptspindel und deren Mittelachse. Auch Werkzeugträger-Bezugspunkt genannt Dieser Punkt ist gleichzeitig die Referenz zum Ausmessen der Werkzeuglänge.

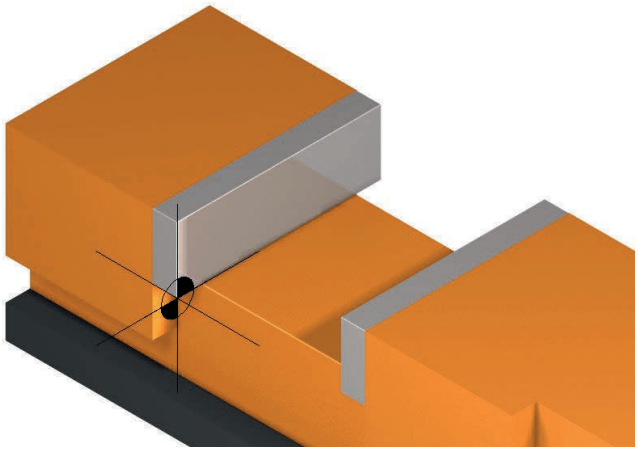


Die Referenzfläche der Hauptspindel liegt auf der geschliffenen Fläche der Spindelnase, nicht auf Höhe der Mitnehmer-Nutensteine.

Die Schritte im Einzelnen:

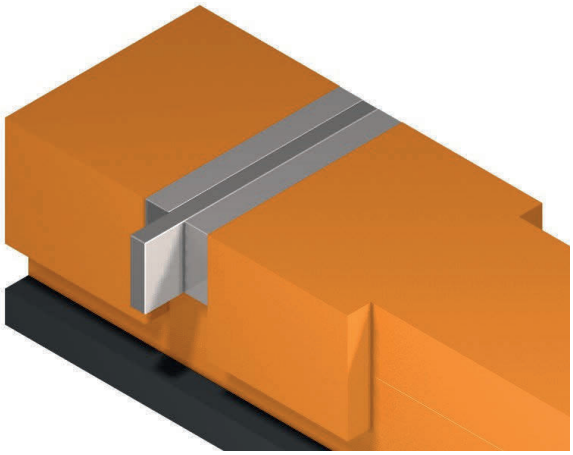
Referenzpunkt anfahren. Die Steuerung zeigt als Position X0, Y0 und Z0 an. Wenn von früheren Verschiebungen andere Werte angezeigt werden, dann diese Werte löschen und Referenzpunkt erneut anfahren.

Punkt am Schraubstock bestimmen. Eine Achse (X oder Y) ist immer an der Spannfläche der festen Schraubstockbacke, die andere (X oder Y) an einer Außenkante der festen Backe.
Der Punkt für die Z-Achse sollte auf den Schraubstockgrund gelegt werden, wo das Werkstück direkt oder mit Unterlagen aufliegt. Es wäre auch die Oberkante der Spannbacke möglich, jedoch ist davon abzuraten, da deren Maßgenauigkeit nicht immer garantiert werden kann. Dazu kann man sich leicht verzetteln, wenn ständig wechselnd in Minus- und Plus-Richtung gerechnet werden muss.



Von diesem Punkt aus kann der Werkstücknullpunkt leicht ausgerechnet werden

Zum Ausmessen der X- und Y-Koordinaten eine geschliffene Parallelunterlage in den Schraubstock so einspannen, dass sie auf der zu messenden Seite heraussteht und dann mit der gewohnten Spannkraft anziehen.
Warum?
Durch die sehr hohen Spannkräfte des Maschinenschraubstocks biegt sich die feste Backe bis zu 0,1mm auf. Das kann leicht nachgewiesen werden, wenn man einen Messtaster hinter der festen Backe anbringt und danach ein Werkstück spannt.
Um diesen Fehler nachher auf ein Minimum zu reduzieren sollte der Schraubstock beim Ausmessen der X- und Y-Positionen gespannt bleiben.

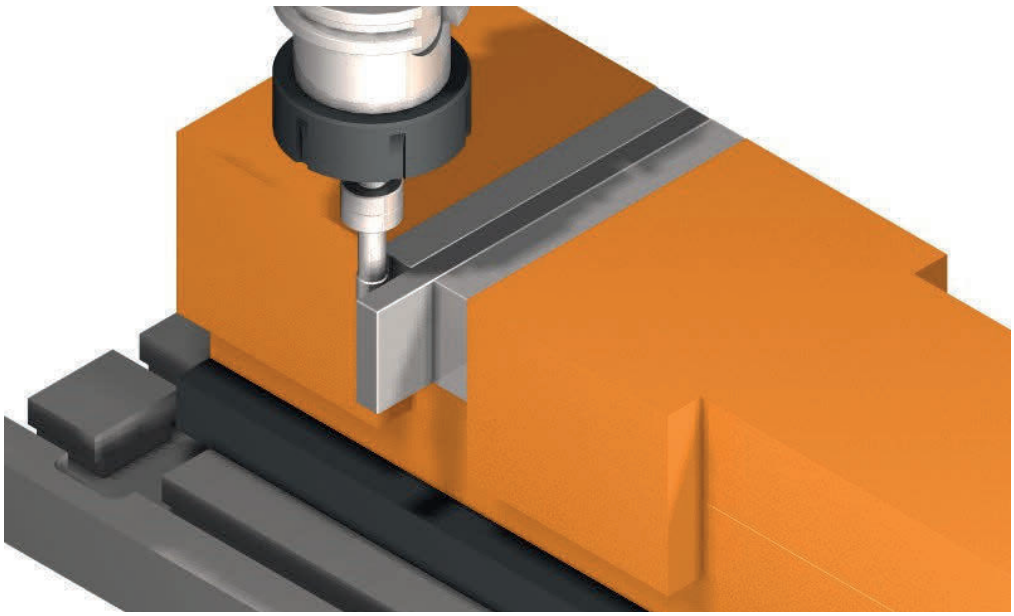


Geschliffene Parallelunterlage als Hilfsfläche zum Ausmessen von X oder Y

Wenn die Schraubstockachse parallel zur X-Achse / längs zum Maschinentisch steht

X ausmessen:
Werkzeughalter mit Kantentaster einspannen. Manuell grob links der Unterlage und vor der Seitenkante der Schraubstockbacke positionieren.
Im MDI-Modus (manuelle Dateneingabe) Spindeldrehzahl (400-600 U/min) und Drehrichtung für Kantentaster eingeben und starten.
Manuell vorsichtig an die Unterlage anfahren, bis Kantentaster ausschlägt.
Jetzt auf Schrittweite umschalten.
Zuerst die 1/1000mm bis 0 wegtippen, denn die stören nur und können sowieso nicht gemessen werden.
Danach 1/10mm Schritte wählen, um bis zum Ausschlag grob anzufahren. Wieder ein 1/10 wegfahren, um danach mit den 1/100 von der richtigen Richtung endgültig anzufahren. Wenn die Achse viel Spiel hat, kann es auch nötig sein, zuerst zwei 1/10 weg- und danach wieder 1/10 zurückzufahren.
1/100mm Schritte wählen und jetzt antippen, bis der Kantentaster ausschlägt.
Schließlich den abgelesenen X-Wert notieren, z. B. X-325,540
Wenn der Kantentaster einen Durchmesser von 10mm hat, dann muss noch der Radius berücksichtigt werden. Der Wert X-325,540 muss dann auf X-320,540 geändert werden.

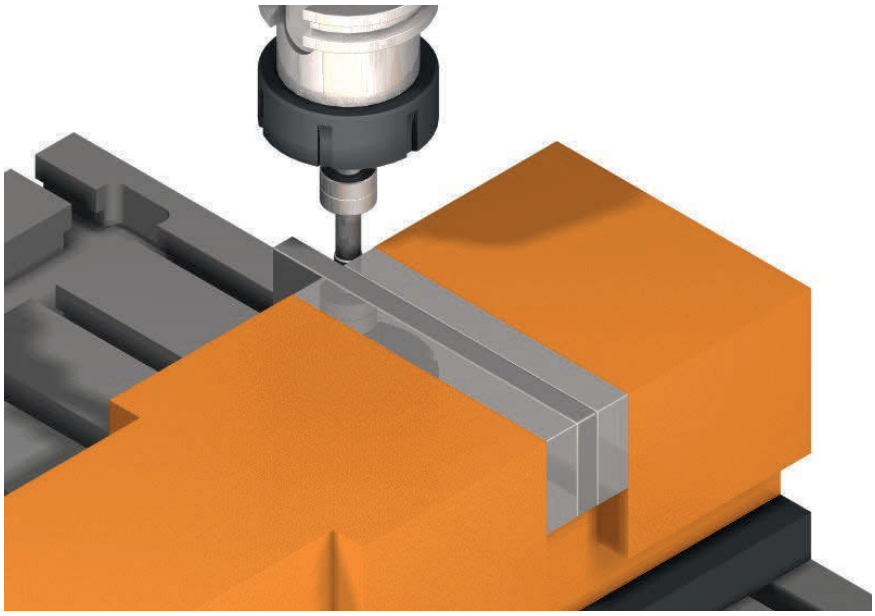
Y ausmessen:
Kantentaster von X frei fahren
Auf die selbe Art die Seitenkante der festen Schraubstockbacke ausmessen.
Bei z. B. abgelesenem Wert Y-221,750 wieder Radius des Kantentasters berücksichtigen, wird dann zu Y-216,750.



X an Parallelunterlage und Y an Seitenkante der Backe anfahren

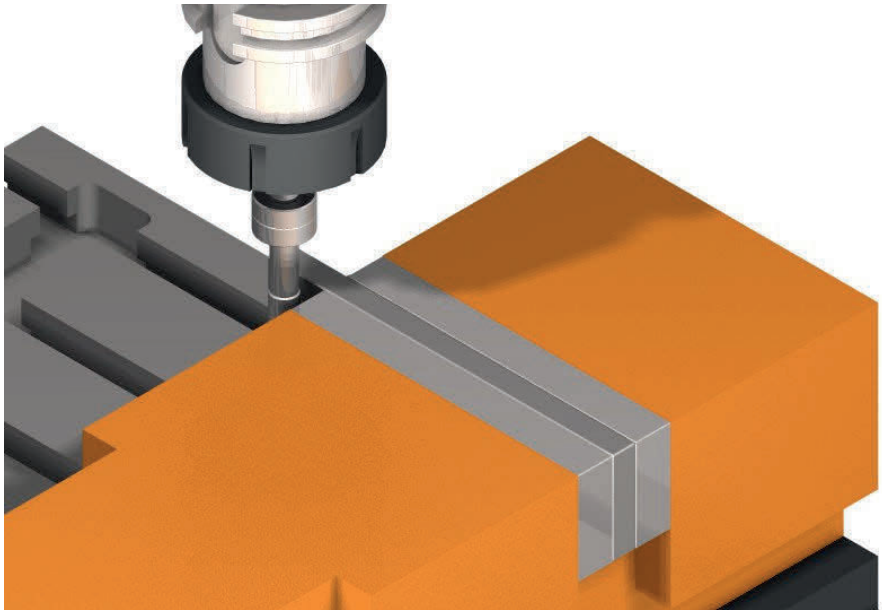
Wenn die Schraubstockachse parallel zur Y-Achse / quer zum Maschinentisch steht

X ausmessen:
Werkzeughalter mit Kantentaster einspannen. Manuell grob hinter der Unterlage und links der Seitenkante der Schraubstockbacke positionieren.
Im MDI-Modus (manuelle Dateneingabe) Spindeldrehzahl (400-600 U/min) und Drehrichtung für Kantentaster eingeben und starten.
Manuell vorsichtig an die Seitenkante anfahren, bis Kantentaster ausschlägt.
Jetzt auf Schrittweite umschalten.
Zuerst die 1/1000mm bis 0 antippen, denn die stören nur und können sowieso nicht gemessen werden.
Danach 1/10mm Schritte wählen, um bis zum Ausschlag grob anzufahren. Wieder ein 1/10 wegfahren, um danach mit den 1/100 von der richtigen Richtung endgültig anzufahren. Wenn die Achse viel Spiel hat, kann es auch nötig sein, zuerst zwei 1/10 weg- und danach wieder 1/10 zurückzufahren.
1/100mm Schritte wählen und jetzt antippen, bis der Kantentaster ausschlägt.
Schließlich den abgelesenen X-Wert notieren, z. B. X-325,540
Wenn der Kantentaster einen Durchmesser von 10mm hat, dann muss noch der Radius berücksichtigt werden. Der Wert X-325,540 muss dann auf X-320,540 geändert werden.



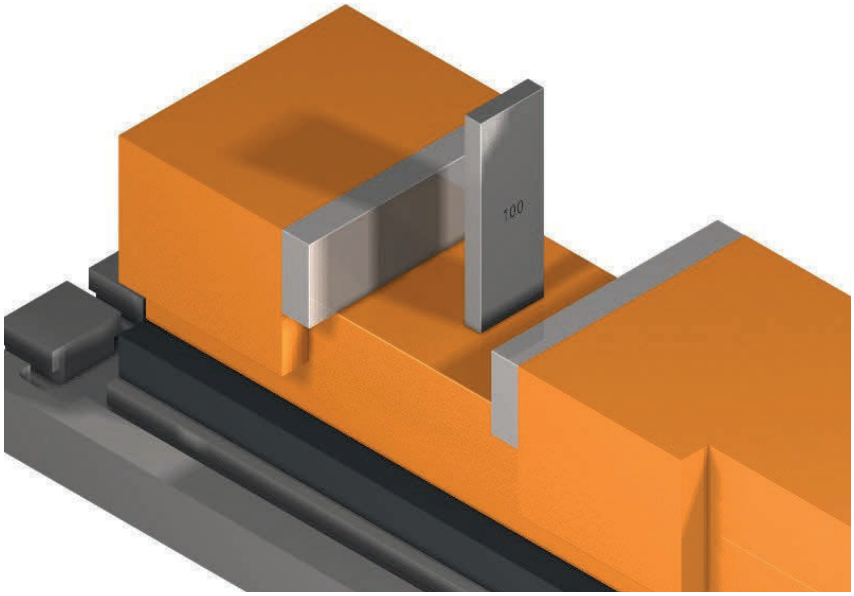
X an Seitenkante der festen Schraubstockbacke anfahren

Y ausmessen:
Um eventuelles Spiel der Achse zu berücksichtigen, sollte hier von der anderen Seite der Parallelunterlage angefahren werden.
Kantentaster von X frei fahren
In Z über den Schraubstock / Unterlage fahren
Vor die Unterlage positionieren
Auf die selbe Art die Vorderseite der Parallelunterlage ausmessen.
Bei z. B. abgelesenem Wert Y-201,750 wieder Radius des Kantentasters berücksichtigen, wird dann zu Y-206,750.
Da aber noch die Parallelunterlage mit z. B. 10mm eingerechnet werden muss, ist der tatsächliche Wert Y-216,750.



Y von anderer Seite der Parallelunterlage anfahren,
um ein eventuelles Spiel der Y-Achse zu eliminieren

Z ausmessen:
Mit Z hochfahren und Werkzeughalter mit Kantentaster entfernen.
Schraubstock öffnen und Parallelunterlage herausnehmen.
Spindel grob über Schraubstock positionieren
Endmaß 100mm zum Aufstellen auf Schraubstockgrund vorbereiten
Spindelnase vorsichtig bis kurz unter die Oberkante des Endmaßes heranfahren
Achtung: während des Verfahrens mit Z immer Endmaß herausnehmen, auch beim Fahren mit kleinen Schritten Endmaß außerhalb des Fahrbereichs halten.
Auf Einzelschritt umschalten und wieder zuerst die 1/1000mm bis 0 wegtippen.
Mit 1/10mm Schritten hochfahren, bis Endmaß grob dazwischen passt.
Mit 1/100mm Schritten herunterfahren, bis sich das Endmaß stramm dazwischen schieben lässt. Beim Verfahren jeweils Endmaß nach außen halten und erst danach wieder zurückschieben.
Jetzt den abgelesenen Z-Wert notieren, z. B. Z-322,030
Das Endmaß mit 100mm muss noch berücksichtigt werden, so dass der gültige Wert Z-422,030 ist.



Endmaß zur Messung von Z auf Schraubstockgrund aufgesetzt

Eingabe in Steuerung:
Die drei Werte werden jetzt mit umgekehrten Vorzeichen als Koordinatenverschiebung z. B. als G54 in die Maschine eingegeben.

Beispiel: G54 X 320,540 Y 216,750 Z 422,030

Im Grunde genommen, handelt es sich hier vorläufig nur um eine Werkstück-Nullpunktverschiebung mit dem Schraubstock als „Werkstück“. Man kann diese Schraubstockecke auch als neuen Maschinen-Nullpunkt ansehen.

Bei manchen Steuerungen gibt es zusätzlich die Eingabemöglichkeit „Referenzpunktverschiebung“, wo dann diese Werte eingegeben werden können.
Das bedeutet, dass ab sofort alle Maße von dem gewählten Punkt des Schraubstocks ausgehen und nicht mehr von einem imaginären Punkt irgendwo in der Luft.

Probe:
Wenn jetzt der Referenzpunkt angefahren wird, dann erscheinen nicht mehr X0, Y0 und Z0 auf der Anzeige, sondern die eingegebenen Verschiebungen.

X und Y überprüfen:
Referenzpunkt anfahren
Ein spitzes Werkzeug einsetzen, z. B. NC-Anbohrer
Eingabe in MDI: G54 G0 X0 Y0 Start
Die Maschine müsste jetzt über dem X- und Y-Punkt des Schraubstocks stehen.
In Z manuell vorsichtig bis kurz über den Schraubstock fahren, um zu sehen, ob die Position stimmt.

Z überprüfen:
Referenzpunkt anfahren
Werkzeug aus Spindel entfernen
Eingabe in MDI: G54 G0 Z100 Start
Die Hand zur Sicherheit am Eilgang-Potentiometer lassen. Die Maschine müsste jetzt 100mm über dem Schraubstockgrund stehen bleiben.
Mit X und Y manuell so auf eine Position über den Schraubstock fahren, dass die Position mit dem Endmaß geprüft werden kann.

Wenn die Maschine auf dem Referenzpunkt steht, können die Abstände zwischen Schraubstock und Spindelnase auch ganz grob mit Meterstab oder Maßband angepeilt werden. So sieht man, dass die ausgemessenen Werte nicht aus der Luft gegriffen sind, sondern wirklich existieren.

Jetzt ist die Fräsmaschine bereit, um ein neues Projekt einzurichten.

1. Werkstück einrichten

Das Werkstück wird in definierter Lage aufgespannt, z. B. mit Tiefenmessschieber von Schraubstockkante einmessen. Wenn nötig, noch einen Werkstückanschlag montieren.
Die Maße können nun von dem bekannten Punkt am Schraubstock mit den notierten Verschiebungen verrechnet werden.
Ein erneutes Ausmessen oder Ankratzen entfällt jetzt.
Ausnahme: falls enge Toleranzen (im 1/100-Bereich) von einer vorgearbeiteten Außenkante des Werkstückes vorgegeben sind, muss in diesem Falle dennoch die betreffende Kante zusätzlich mit dem Kantentaster nachgeprüft werden.

<u>Beispiel zum Ausrechnen des Werkstück-Nullpunktes:</u>

Schraubstock mit 125mm Backenbreite, Backenhöhe 40mm.
Schraubstock längs zur X-Achse ausgerichtet.
Werkstückmaße: X50, Y80, Z30
Werkstück-Nullpunkt vorne links und auf oberer Z-Ebene.
Wir spannen das Werkstück auf Unterlagen 20mm und ungefähr mittig im Schraubstock, dazu positionieren wir das Werkstück mit Hilfe eines Tiefenmeßschiebers 20mm von der Außenkante der Schraubstockbacken nach innen.
Als Beispielzahlen nehmen wir die vorher ausgemessenen Werte.

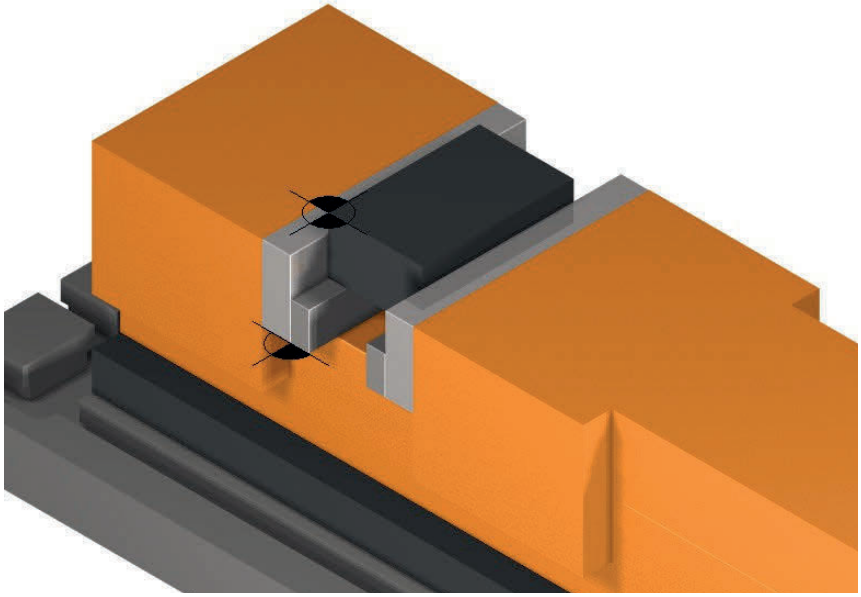
Berechnung:
In X findet keine weitere Verschiebung statt, da der X-Nullpunkt an der festen Backe anliegt. Der Verschiebungswert bleibt also X320,540
In Y findet eine Verschiebung um 20mm Richtung Referenzpunkt statt. Der neue Wert ist 216,750 – 20 = Y196,750
In Z wird die Werkstückhöhe plus Unterlagen in Richtung Referenzpunkt verschoben. Neuer Wert 422,030 – (30 + 20) = Z372,030

Neu einzugebender Werkstück-Nullpunkt G54:

```
G54   X 320,540    Y 196,750    Z 372,030
```

Zweite Variante:
Wenn die Steuerung eine extra Eingabe der Referenzpunktverschiebung erlaubt, dann braucht nur noch die Differenz zwischen Schraubstockpunkt und Werkstück-Nullpunkt als Nullpunktverschiebung eingegeben zu werden.

```
G54   X 0     Y 20   Z 50
```



Eingespanntes Werkstück, 20mm in Y-Richtung versetzt, Gesamthöhe 50mm

2. Werkzeug einrichten

Bisher wurde nur der Abstand zwischen Spindelnase und Werkstück berücksichtigt. Jetzt würde beim Programmlauf die Spindelnase über das Werkstück scheuern, bis die Maschine kaputt ist. Es fehlt also noch eine Größe, nämlich die Werkzeuglänge, welche bei der Bearbeitung auch mit eingerechnet werden muss.

3. Programm einlesen oder eingeben

Maschine ist jetzt bereit zum Probelauf

13.06 Fräsmaschine einrichten

Um ein neues Projekt einzurichten, sind immer die selben drei Schritte auszuführen:

1. Werkstück einrichten:
   Aufspannen
   Werkstücknullpunkt ermitteln und eingeben
2. Werkzeuge einrichten:
   In Werkzeughalter einspannen
   Ausmessen
   Ins Werkzeugmagazin einsetzen
   Werkzeugplatzpositionen in Maschine eingeben
   Werkzeuglängen und –Radien eingeben
3. Programm:
   einlesen oder eingeben

Zu 1. - Werkstück einrichten
Das Werkstück entweder in definierter Lage aufspannen, z. B. mit Tiefenmeßschieber von der Schraubstockkante aus einmessen. Wenn nötig, noch einen Werkstückanschlag montieren.
Die Maße können nun von dem bekannten Punkt am Schraubstock mit den notierten Verschiebungen verrechnet werden.
Falls keine definierte Lage ausgerechnet werden kann, dann die X- und Y-Kante jeweils mit Kantentaster ermitteln. Nicht vergessen: Radius des Kantentasters je nach Anfahrrichtungen zum abgelesenen Wert addieren oder subtrahieren.
Die Z-Oberkante des Werkstücks mit Werkzeug mit bekannter Länge ankratzen und den abgelesenen Wert um die Werkzeuglänge „verlängern“.

Zu 2. - Werkzeug einrichten
Bisher wurde nur der Abstand zwischen Spindelnase und Werkstück berücksichtigt. Es fehlt also noch eine Größe, nämlich die Werkzeuglänge, welche bei der Bearbeitung auch mit eingerechnet werden muss. Leider ein sehr häufiger Fehler, dass die Werkzeugdaten vergessen werden.
Fräswerkzeuge sollten immer extern vermessen werden. Das Ankratzen ist zu zeitaufwendig, sehr stressig und fehleranfällig. Ein Nullsetzgerät zum Einsatz in der Maschine erleichtert das Ganze etwas, ist jedoch kein Ersatz für die externe Vermessung.

Maschine komplett einrichten:

Das Werkstück ist gespannt und vollständig eingerichtet, die Werte der neuen Nullpunktverschiebung sind eingegeben und der neue Nullpunkt wurde gegebenenfalls zur Probe nochmals grob angefahren.

Die Werkzeuge werden in das Werkzeugmagazin eingesetzt. Die Positionen im Werkzeugmagazin und die Werkzeuglängen und –Radien müssen in die Steuerung eingegeben werden.

Die Werkstück- und Werkzeugdaten sind in einem Einrichtblatt zu dokumentieren, damit das selbe Werkstück später wieder problemlos auf die Maschine genommen werden kann. Siehe dazu auch das Kapitel „Werkzeugvoreinstellung“.
Das CNC-Programm wird mitsamt vorhandenen Unterprogrammen eingelesen oder eingetippt.

Falls eine maschineneigene Simulation vorhanden ist, Programm auf der Maschine simulieren.

Probelauf:

Auch in einer Simulation können oft nicht alle Fehler entdeckt werden. So kann man den ersten Probelauf mitsamt Werkzeugen über dem Werkstück ausführen, um grobe Abweichungen zu finden. Dazu muss der Nullpunkt in Z höher gesetzt werden, z. B. um 100mm.
Auch bei früher schon korrekt gelaufenen Programmen muss beim Probelauf die Hand am Vorschubpotentiometer bleiben. Ein kritischer Moment ist immer das erste Anfahren zum Werkstück nach jedem Werkzeugwechsel. Denn der häufigste Fehler ist das Vergessen oder eine versehentliche Falscheingabe der Werkzeugdaten.

13.07 Programmunterbrechung

Es gibt gewollte Unterbrechungen, z. B. zum Messen, Umspannen eines Werkstücks, usw., die im CNC-Programm mit Programm Stopp M00 oder wahlweisem Halt M01 ausgeführt werden. Nach Drücken von „Start“ läuft das Programm normal weiter.

Leider kommen auch Situationen vor, wo die Bearbeitung ungewollt abbricht oder schnell angehalten werden muss. Bei einem Werkzeugbruch hält man die Maschine mit Not-Aus oder Vorschub Halt an. Auch bei Stromausfall (Gewitter) hält die Maschine wie bei Not-Aus an und vielleicht steckt noch ein Bohrer in einem Loch und muss zuerst vorsichtig manuell herausgefahren werden.

Bei aufwendigen Werkstücken wird man immer versuchen, an der unterbrochenen Stelle weiterzuarbeiten. Bei Werkzeugbruch das Werkstück nicht ausspannen, sondern versuchen, ob man im Werkstück steckende Reste des abgebrochenen Werkzeuges „herausoperieren“ kann. Es darf kein Reststück des glasharten Werkzeuges im Werkstück verbleiben. Bei einem abgebrochenen Gewindebohrer sollte man nicht versuchen, die Maschine beim selben Gewinde zu starten, sondern erst beim nächsten Loch. Zu groß ist die Gefahr, dass sonst ein zweigängiges Gewinde entsteht. Das defekte Gewinde nachher besser von Hand nacharbeiten.

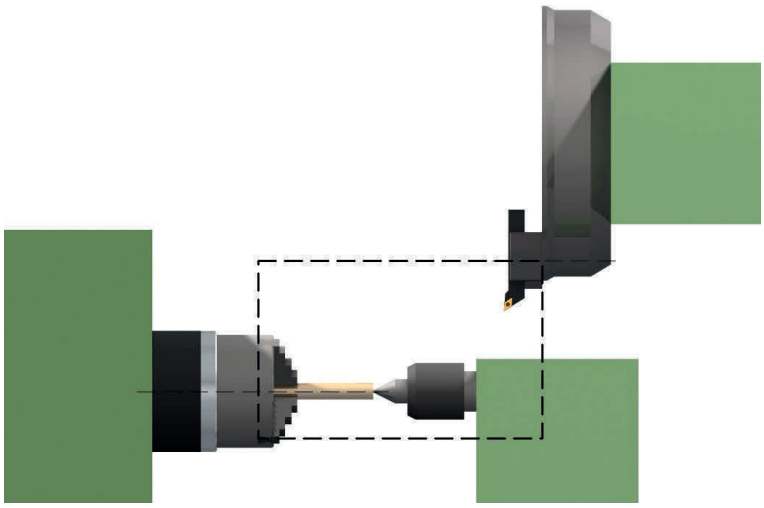
Bei Mehrfachspannung oder wenn viele Bohrungen zu fertigen sind, kann es vor allem bei kleinen Werkzeugen vorkommen, dass die Folgewerkzeuge (Gewindebohrer, Reibahle) ebenfalls abbrechen, weil man es nicht hört oder wegen dem Kühlmittelstrahl nicht sieht. Zudem bleibt keine Zeit, um ununterbrochen in die Maschine hineinzuschauen. Damals nannten wir so einen unglücklichen Hergang „Schlachtfest“.

In früheren Zeiten konnte man nur an der Stelle eines Werkzeugwechsels wieder in das Programm einsteigen, weil normalerweise danach auch die Befehle zur Drehzahl, Vorschub, Werkzeugkorrekturnummer, Positionen, Parameter für Bohrzyklen, usw. standen. Fehlende Befehle vor dem Werkzeugwechsel, zum Beispiel ein zuvor aufgerufener 2. Werkstück-Nullpunkt oder das Einschalten der Kühlmittelpumpe mussten vorher von Hand eingegeben werden, damit alle nötigen Voraussetzungen vorhanden waren, um im gewünschten Programmsatz zu starten.

Glücklicherweise haben die heutigen Steuerungen einen „Satzvorlauf“. Das bedeutet: wenn nach einer Programmunterbrechung an einer bestimmten Satznummer wieder gestartet werden soll, dann sammelt die Steuerung alle vorhergehenden Parameter, welche dann zur Verfügung stehen.
Wie geht das Ganze?
Voraussetzung: der Werkzeugrest wurde erfolgreich entfernt. Das Ersatzwerkzeug wurde ausgemessen, die neuen Werte im Werkzeugkorrekturspeicher eingegeben und das Werkzeug befindet sich in der Spindel. Sollte ein Programm keine Satznummern enthalten, dann zumindest in der betreffenden Zeile eine Satznummer hinzufügen.
Nun gibt man die Satznummer des NC-Programms ein, ab welcher die Maschine weiterarbeiten soll. Es wird eine kurze Wartezeit geben, bis der Satz hell unterlegt oder blinkend auf dem Bildschirm erscheint. Während dieser Wartezeit arbeitet die Steuerung ohne Vorschubbewegung oder Spindeldrehung das Programm „im Geiste“ bis zur gewünschten Stelle ab und lädt dabei alle vorhergehenden Parameter in den Speicher. Nach Drücken des Startknopfes schalten sich alle Funktionen ein und die Bearbeitung wird fortgesetzt.

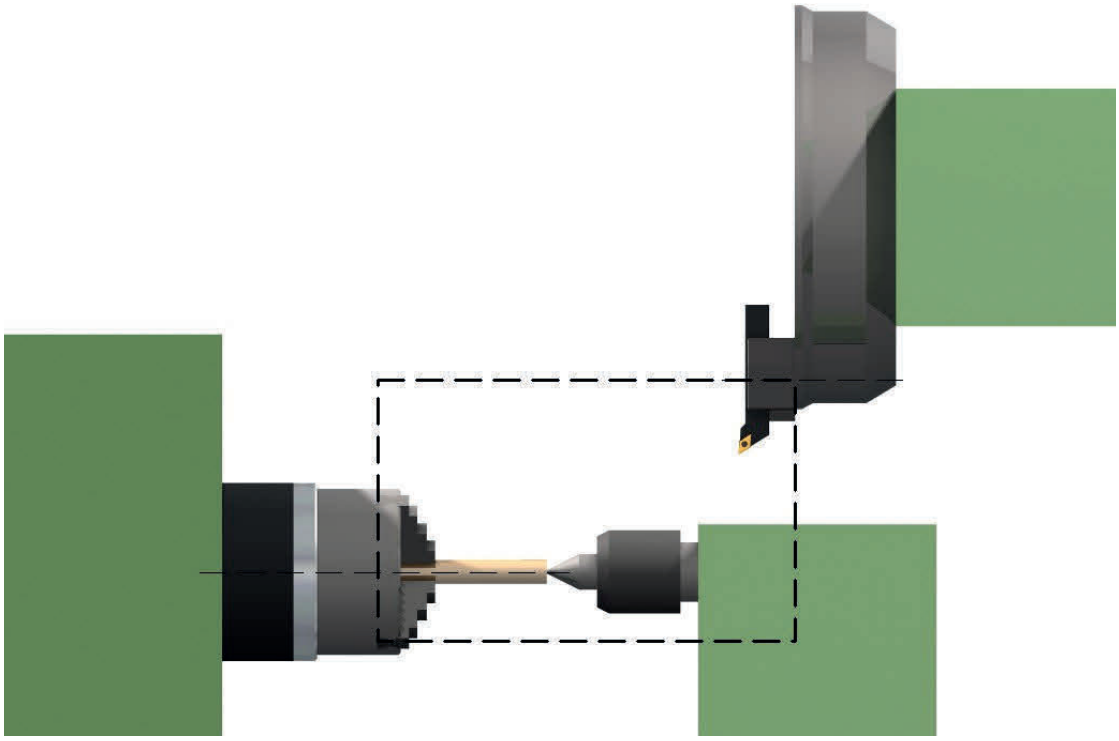
Kapitel 14 - Drehmaschine Einrichten

14.01 Arbeitsbereich
14.02 Ausmessen
14.03 Einrichten



14.01 Arbeitsbereich

Wenn der Arbeitsbereich der Maschine nicht bekannt ist, sollte er vorher ermittelt werden, dazu Werkzeuge und Spannfutter entfernen und die Software-Endschalter anfahren um den Bereich grob auszumessen.



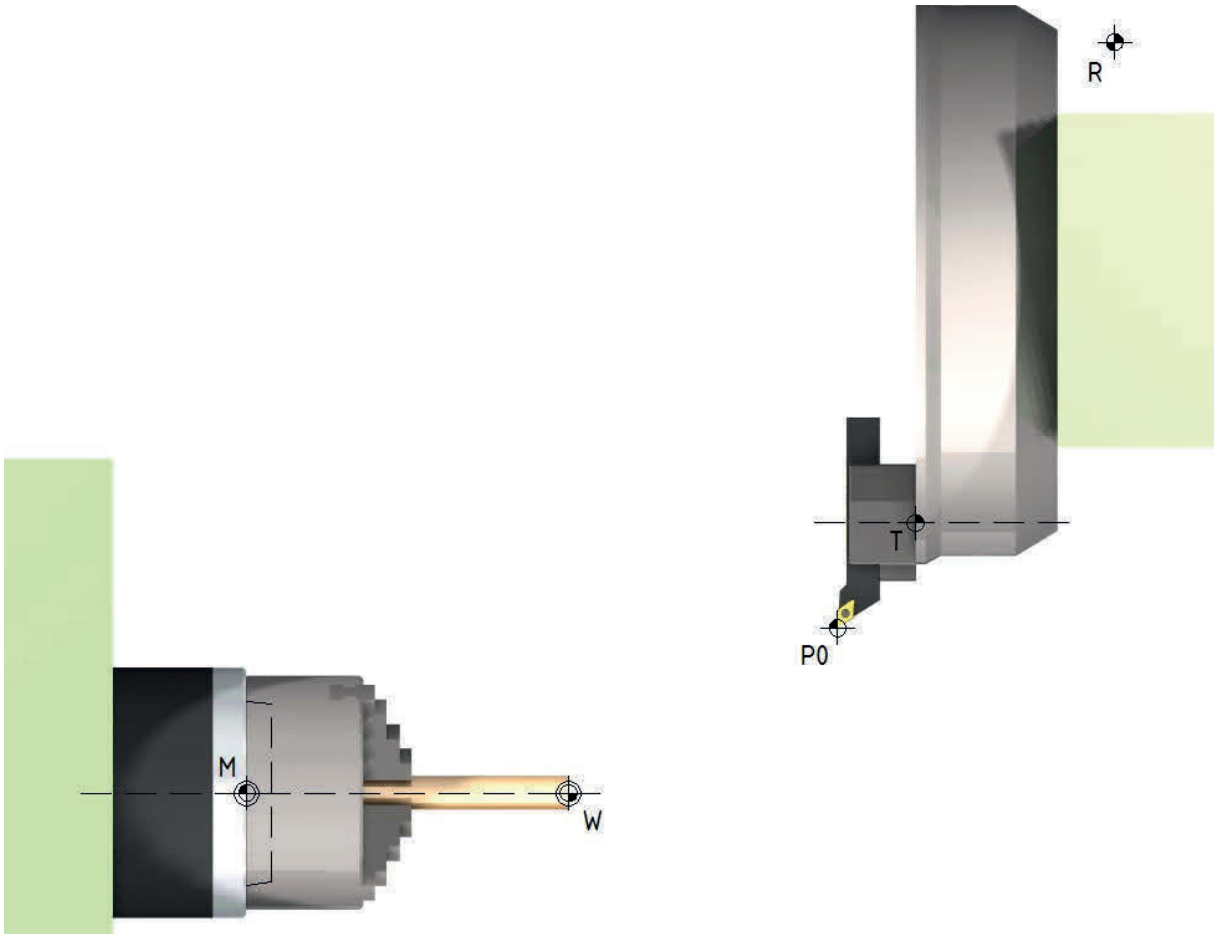
Arbeitsbereich in X und Z. Durch Spannfutter, Werkstück und durch die Werkzeugmaße, sowie evtl. Einsatz eines Reitstocks, ist der noch freie Bereich stark eingeschränkt.

Meistens geht der X-Arbeitsbereich über die Spindelachse hinaus, um den Betrieb mit über Kopf gespannten Werkzeugen zu ermöglichen.
Normalerweise reicht der Z-Arbeitsbereich ohne Spannfutter und ohne Werkzeug nicht ganz bis zur Spindelaufnahme, da ja im Betrieb normalerweise ein Spannfutter mit Werkstück, sowie ein Werkzeug im Einsatz sind.

14.02 Ausmessen Drehmaschine

Nach dem Anfahren des Referenzpunktes R, welcher für uns unsichtbar an fester Stelle im Meßsytem markiert ist, können wir mit Hilfe der sichtbaren Punkte alle anderen gewünschten Positionen bestimmen. Wir benutzen hierzu die Werkzeugmaschine wie eine Messmaschine, es ist ja ein eingebautes Meßsystem vorhanden. Die wichtigsten Punkte sind der Maschinennullpunkt M und der Werkzeugträger-Bezugspunkt T. Wenn man den Abstand von M zu T ausgemessen hat, kann man alle anderen Maße ausrechnen und kennt gleichzeitig den Arbeitsbereich. Das Spann- / Backenfutter mitsamt den Spannbacken hat eine definierte Höhe. Das ausgemessene Werkzeug hat bekannte Maße für den X- und Z-Versatz. Umgekehrt kann ein unbekanntes Werkzeug ohne weitere Hilfsmittel in der Maschine ausgemessen werden.

Nähere Beschreibung der verschiedenen Bezugspunkte, siehe Kapitel „Fräsmaschine einrichten“, Unterkapitel „Bezugspunkte“.



Die wichtigsten Bezugspunkte, welche zum Ausmessen der Maschine nötig sind:
R = Referenzpunkt, M = Maschinen-Nullpunkt, T = Werkzeugträger-Bezugspunkt,
W = Werkstück-Nullpunkt und P0 = Programm-Nullpunkt (Werkzeugspitze).

Ausmessen Maschinennullpunkt – Werkzeugträger-Bezugspunkt:

Referenzpunkt anfahren, ggf. Werte auf Null stellen.
Da meistens schon ein Spannfutter montiert ist, nimmt man oft dessen Vorderkante als provisorischen Maschinen-Nullpunkt. Der echte Maschinen-Nullpunkt kann dann ausgerechnet werden.

Ausmessen in X:
einen Messtaster oder besser einen Centricator in der Hauptspindel spannen. Falls kein Spannfutter montiert ist, einen Magnethalter oder einen Werkzeughalter mit Morsekegel dazu benutzen. Mit der Bohrung des Werkzeugträger-Bezugspunktes zur Mittelachse der Spindel fahren. Spindel von Hand drehen und mit Tippbetrieb die Mitte genau ausrichten. Eventuell kleinen Spiegel zur rückseitigen Ablesung benutzen. Angezeigten X-Wert notieren. X ist durchmesserbezogen.

Ausmessen in Z:
mit Hilfe eines Endmaßes im Tippbetrieb den Abstand zwischen der Auflagefläche des Werkzeugträgers (Punkt T) und der Vorderkante des Spannfutters, bzw, der Auflagefläche der Spindelaufnahme (Punkt M), falls kein Spannfutter montiert ist.
Angezeigten Z-Wert notieren. Dazu die Länge des Endmaßes und evtl. die Höhe des Spannfutters mit einrechnen.

Diese Messung muss jedes Mal nach einer Kollision durchgeführt werden, um zu überprüfen, ob sich die Maße verschoben haben und ggf. korrigieren.
Ebenso ist die Messung zwingend nach einer Reparatur oder Auswechslung des Meßsystems durchzuführen.

Falls die Steuerung die Möglichkeit besitzt, eine feste Referenzpunkt-Verschiebung einzugeben, können die gemessenen Werte eingegeben werden. Somit kann der Referenzpunkt rechnerisch z. B. auf die Vorderkante des Spannfutters gelegt werden, so dass beim Anfahren des Referenzpunktes die gemessenen Werte erscheinen und beim theoretischen Anfahren an die Mitte der Vorderkante des Spannfutters den Wert X0 und Z0 anzeigt.

Ermitteln des Werkstück-Nullpunktes:

Zuerst muss klar sein, wie lange das Werkstück sein muss, um sicher gespannt zu werden. Zum heraus Spannen zählt natürlich die Werkstücklänge. Dazu kommt die Breite eines Abstechmeißels und evtl. überstehende Kanten des Werkzeughalters. Oder falls ein Drehmeißel umgekehrt eingespannt wird, weil er von hinten nach vorne drehen soll, muss natürlich der Platz für seine Breite berücksichtigt werden. Dazu kommen noch einige Zehntel mm zum Plandrehen. Und nicht zu vergessen, einige Millimeter als Sicherheit oder Auslaufweg einplanen.
Jetzt haben wir die Länge, wie weit das Werkstück heraus gespannt werden muss. Bei Einzelfertigung mit Hilfe eines Tiefenmaßes einspannen. Bei Serienfertigung ist es die Position für den Anschlag.
Wenn eine Referenzpunkt-Verschiebung aktiv ist, dann ist das der Wert für die Werkstück-Nullpunktverschiebung G54, G55, usw., falls der Nullpunkt vorne auf das Werkstück gelegt wurde. Zum Plandrehen empfiehlt sich, entweder das Werkstück um das Aufmaß weiter herausstehen zu lassen oder den Werkstück-Nullpunkt um diesen Wert ins Rohteil hinein zu verlegen, damit die Planfläche gleich dem Fertigmaß des Werkstückes ist.

Sollte keine Referenzpunkt-Verschiebung zur Verfügung stehen, dann muss die Werkstücklänge vom notierten Wert der Messung zwischen Werkzeugträger-Bezugspunkt und Vorderkante Spannfutter abgezogen werden, um den Werkstück-Nullpunkt G54, G55, usw. in die Nullpunktverschiebung einzugeben.

Werkzeuglänge / -Ausladung:
Der nächste zu berücksichtigende Faktor ist die Werkzeuglänge in Z und die Ausladung in X vom Werkzeugträger-Bezugspunkt T bis zur Werkzeugspitze P0.
Diese Werte werden innerhalb oder besser außerhalb der Maschine (mit Werkzeug-voreinstellgerät) ermittelt und dann in den Werkzeugkorrekturspeicher eingegeben.

Werkzeug in der Maschine ausmessen:

1. Möglichkeit mit Optik.
   Einige Hersteller liefern eine Optik zur Maschine und dazu eine Funktion zur automatischen Übernahme der Daten in den Werkzeugkorrekturspeicher. Der Versatz der Nullmarke (Fadenkreuz) des „Zielfernrohrs“ ist in den Maschinendaten abgespeichert. Dieser Wert ist für jede Maschine individuell, so dass die Optik auch bei gleichartigen Maschinen immer bei der zugehörigen Maschine verbleiben muss und nicht einfach ausgetauscht werden kann.
2. Ohne Hilfsmittel.
   Am eingespannten Werkstück manuell vorne eine Planfläche drehen. Abgelesenen Z-Wert notieren.
   Am Durchmesser manuell einen Absatz ca. 10 – 20 mm lang einige Zehntel tief andrehen. Abgelesenen X-Wert notieren.
   Z-Tiefe mit Tiefenmaß von der Planfläche bis zur Vorderkante Spannfutter (provisorischer Maschinennullpunkt) messen. Die Messgenauigkeit ist hierbei ausreichend, da ja die ganze Seite des Drehteils komplett bearbeitet wird.
   Die Differenz zwischen der gemessenen Tiefe zum abgelesenen Z-Wert ist die Werkzeuglänge Z zur Eingabe in den Werkzeug-Korrekturspeicher.
   Angedrehten Durchmesser vorzugsweise genau mit Messschraube messen.
   Die Differenz zwischen gemessenem Durchmesser und abgelesenem X-Wert ist der Versatz X zur Eingabe in den Werkzeug-Korrekturspeicher.

   Bei einem Bohrer zur Drehmitte X = 0 fahren und dann mit der Spitze manuell und mit Tippbetrieb bis an die Planfläche fahren. Z-Wert wie beim Drehwerkzeug ausrechnen, der einzugebende X-Wert bleibt gewöhnlich Null.

Siehe hierzu auch das vorhergehende Kapitel “Werkzeugvoreinstellung”.

14.03 Drehmaschine einrichten

Um ein neues Projekt einzurichten, sind immer die selben drei Schritte auszuführen:

1. Werkstück einrichten:
   Aufspannen
   Werkstücknullpunkt ermitteln und eingeben
2. Werkzeuge einrichten:
   In Werkzeughalter einspannen
   Ausmessen
   In den Werkzeugrevolver einsetzen
   Ausladung X, Werkzeuglänge Z, Werkzeugradien und Richtung eingeben
3. Programm:
   einlesen oder eingeben

Zu 1. - Werkstück einrichten
Das Werkstück entweder in definierter Lage aufspannen, z. B. mit Tiefenmeßschieber von der Vorderkante des Spannfutters messen. Die Maße können nun von dem bekannten Punkt am Spannfutter mit den notierten Verschiebungen verrechnet werden.

Bei Stangenbearbeitung wird üblicherweise ein Anschlag im Revolver eingesetzt. Bei manchen Maschinen kann ein mechanischer Werkstückanschlag montiert werden.

Zu 2. - Werkzeug einrichten
Bisher wurde nur der Abstand zwischen Werkzeugträger-Bezugspunkt und Werkstück berücksichtigt. Jetzt würde beim Programmlauf der Werkzeugrevolver in das Werkstück krachen und die Maschine beschädigen. Es fehlt folglich noch eine Größe, nämlich die Werkzeuglänge und die Ausladung welche bei der Bearbeitung auch mit eingerechnet werden müssen.
Drehwerkzeuge sollten möglichst extern vermessen werden. Alternativ mit eingebauter Messvorrichtung in der Maschine.

Maschine komplett einrichten:

Das Werkstück ist gespannt und vollständig eingerichtet, die Werte der neuen Nullpunktverschiebung sind eingegeben und der neue Nullpunkt wurde gegebenenfalls zur Probe nochmals grob angefahren.

Die Werkzeuge werden in den Werkzeugrevolver eingesetzt. Die Werkzeuglängen in X und Z, die Schneidenradien und die Richtung (Quadrant) müssen in die Steuerung eingegeben werden.

Die Werkstück- und Werkzeugdaten sind in einem Einrichtblatt zu dokumentieren, damit das selbe Werkstück später wieder problemlos auf die Maschine genommen werden kann. Siehe dazu auch das Kapitel „Werkzeugvoreinstellung“.

Das CNC-Programm wird mitsamt vorhandenen Unterprogrammen eingelesen oder eingetippt.

Falls eine maschineneigene Simulation vorhanden ist, Programm auf der Maschine simulieren.

Probelauf:

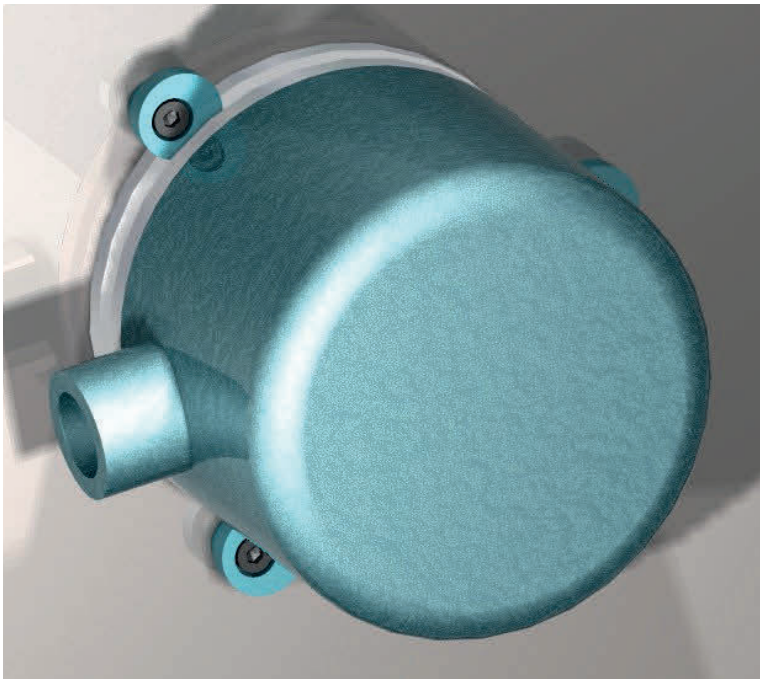
Auch in einer Simulation können oft nicht alle Fehler entdeckt werden. So kann man den ersten Probelauf mitsamt Werkzeugen neben / über dem Werkstück ausführen, um grobe Abweichungen zu finden. Dazu muss der Nullpunkt in X höher gesetzt werden, z. B. um 100mm.
Auch bei früher schon korrekt gelaufenen Programmen muss beim Probelauf die Hand am Vorschubpotentiometer bleiben. Ein kritischer Moment ist immer das erste Anfahren zum Werkstück nach jedem Werkzeugwechsel. Denn ein sehr häufiger Fehler ist das Vergessen oder eine versehentliche Falscheingabe der Werkzeugdaten.

Programmunterbrechung:

Sollte der Programmablauf unterbrochen werden, gilt zum Wiederanfahren die selbe Vorgehensweise wie beim Fräsen.
Siehe dazu Kapitel „Fräsmaschine einrichten“, Unterkapitel „Programmunterbrechung“.

Kapitel 15 – Maschinenpflege

15.01 Maschinenpflege
15.02 Do It Yourself



15.01 Maschinenpflege

Wer ein eigenes Auto besitzt legt meistens großen Wert auf die Einhaltung der Kundendienst-Intervalle, um sein Fahrzeug lange zu genießen und um die Garantiebedingungen zu erfüllen.

Mit einer teuren Werkzeugmaschine geht es nicht anders und mit dem Wartungsplan des Herstellers macht man eigentlich nichts falsch. Die üblichen Arbeiten, wie Reinigung, Schmierung, Filterwechsel, Hydraulik- und Luftdruck-Überprüfung macht man selbst. Dazu kommen empfohlene oder vorgeschriebene Wartungsintervalle durch Service-Techniker der Hersteller. Die Maschine soll ja ständig im 2- oder 3-Schicht Betrieb laufen, um Geld zu verdienen.

Bei Gebrauchtmaschinen fehlen oft die vollständigen Unterlagen, die man sich möglichst nachträglich beim Hersteller besorgen sollte.

Die Hersteller liefern erfahrungsgemäß ihre Maschinen oft mit den teuersten Schmiermitteln aus und empfehlen diese dringend. Manchmal könnte man meinen, dass sie an einen Vertrag mit dem Schmiermittel-Hersteller gebunden sind.
Es gibt häufig billigere Schmiermittel als die empfohlenen, mit gleicher Spezifikation. Es ist empfehlenswert, sich dazu von einem Fachmann beraten zu lassen und sicherzustellen, dass dadurch keine Garantieansprüche verloren gehen.

Vom Hersteller kann man auch Verbrauchsmaterial, wie z. B. die fertig zugeschnittenen Filtermatten für die Ventilatoren der Schaltschränke teuer beziehen. Wie wäre es mit Filtermatten mit den selben Eigenschaften zum selbst zuschneiden?

Wenn mal doch der Kundendienst kommen muss, sollte man sich als Helfer anbieten. Von diesen Leuten kann man sehr viel lernen und gute Tipps erhalten.

15.02 Do It Yourself

Wenn die Maschine doch mal streikt, was meistens zum ungünstigsten Zeitpunkt passiert, dann ist Panik und Angst vor einem ungeduldigen Vorgesetzten nicht angebracht, sondern es heißt, einen kühlen Kopf zu bewahren und systematisch vorzugehen.

Zuerst muss eine klare Diagnose erstellt werden, bevor man irgendwo anfängt auf Verdacht herumzuschrauben.
Siehe dazu Kapitel „CNC-Steuerung“, Unterkapitel „Diagnose“.

Falls dennoch der Besuch eines Monteurs nötig wird, dann nicht von seiner Seite weichen, sondern ihm nach allen Kräften helfen und dabei lernen, lernen, lernen. Wenn man sich als geschickter Helfer herausstellt, wird einem der Monteur nach und nach alle Tricks verraten.

Bei unserem umfangreichen Maschinenpark wurde ich zu allen Störungen gerufen und arbeitete immer gut mit den Monteuren zusammen, so dass ich beim nächsten Mal viele Dinge selbst machen konnte.
Zu den Standard-Tätigkeiten gehörte das Auswechseln von Glasmaßstäben und Drehgebern, sowie von Antriebsmotoren. Für einen Unerfahrenen unlösbar, für einen Erfahrenen Routine.

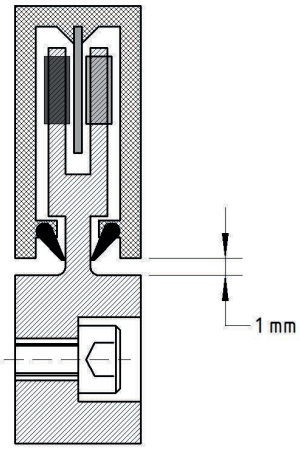
Zuerst laut Bedienungsanleitung und Typenschild die genaue Bezeichnung des Ersatzteils herausfinden und auch überprüfen, ob die Bezeichnung im Handbuch die selbe wie auf dem Typenschild ist. Vielleicht wurde früher doch ein abweichender Typ eingebaut.
Nach telefonischer Klärung und Bestellung beim Kundendienst des Herstellers wird dieser das Teil per Express zuschicken und es kann am nächsten Tag eingebaut werden.

Hinweis:
Vor dem Montieren an der Maschine Hauptschalter aus und gegen Wiedereinschalten sichern, z. B. mit Vorhängeschloss.

Linearmaßstab auswechseln

Im Allgemeinen ist der Maßstab seitlich am Achsschlitten montiert. Der Geber am unteren feststehenden Teil und der Maßstab selbst am oberen beweglichen Teil. Der Maßstab (Glas- oder Stahlmaßstab) ist in einem Aluminium-Profil untergebracht. Unten befinden sich elastische Gummilippen, um das Eindringen von Schmutz zu erschweren.

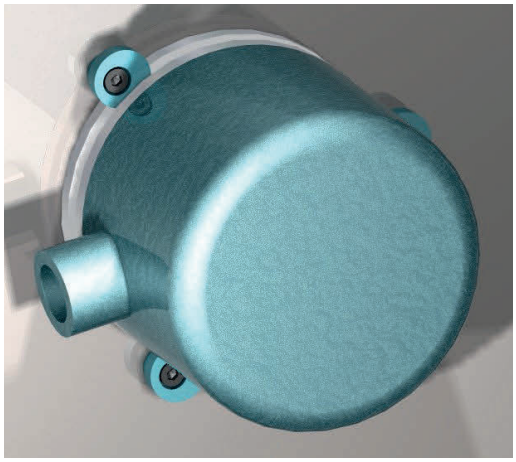
Vor dem Ausbau des alten Maßstabs empfiehlt es sich, die Lage des Maßstabs an den Ecken zu markieren, um so eine grobe Orientierung zu haben. Normalerweise sind insgesamt 4 Schrauben zu lösen.
So ein Maßstab kann ein langes Kabel haben, welches durch die ganze Maschine hindurch geht, bis endlich der Stecker kommt. Das Hindurchwursteln des Kabels nimmt oft die meiste Zeit in Anspruch. Wenn dazu Kabelbinder entfernt werden müssen, am besten diese Stellen markieren, um nachher wieder das neue Kabel zu befestigen. Das Kabel darf keinesfalls bewegte Teile berühren oder irgendwo scheuern.



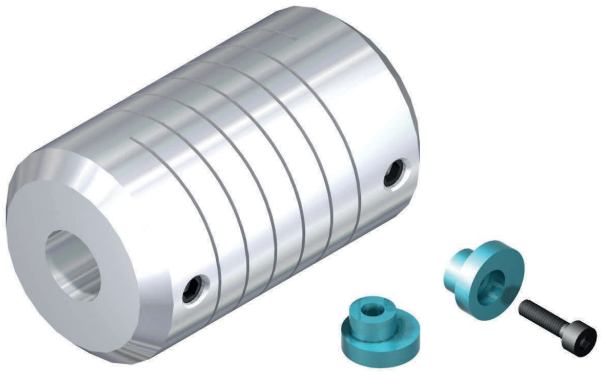
Der Maßstab selbst ist leicht auszuwechseln. Die Gewinde für die Schrauben sind ja schon vorhanden. Zuerst den Geber unten befestigen. Dann den Maßstab oben in den Langlöchern grob nach den Eckenmarkierungen ausrichten und leicht anziehen. Dabei muss 1mm Abstand zwischen Geber und Maßstab eingehalten werden, Endmaß, Fühlerlehre oder sauber entgrateten Blechstreifen nehmen. Jetzt die Vorschubspindel in die andere Richtung kurbeln, wieder Abstand prüfen und einstellen. Wieder zurück kurbeln und Abstand nochmals nachprüfen / korrigieren. Schrauben festziehen.
Nach der Montage müssen die Software-Endschalter überprüft werden und die Maschine neu ausgemessen werden.

Hinweis: Wenn die Software-Endschalter sehr eng gesetzt wurden, kann es vorkommen, dass diese durch die mechanische Verschiebung von einigen 1/10 mm nicht mehr stimmen, obwohl es das selbe Fabrikat und der selbe Typ Maßstab ist. In diesem Fall die Software-Endschalter neu setzen.

Drehgeber auswechseln



Drehgeber auf einer Platte montiert



Kupplung und exzentrische Befestigungen

Ein Drehgeber ist am Ende der Motorachse oder gegenüber direkt an der Vorschubachse montiert. Vorwiegend wird er mit 3 exzentrisch verdrehbaren Halteknöpfen fixiert, mit denen ein evtl. Versatz ausgeglichen werden kann. Zwischen Drehgeber-Achse und Motorwelle / Vorschubspindel befindet sich eine Kupplung um kleine Fluchtungsfehler auszugleichen.

Meistens ist der Steckanschluss direkt am Drehgeber angebracht, so dass keine neuen Kabel durchzuziehen sind, es sei denn, der Defekt liegt am Kabel selbst.
Zum Demontieren den Stecker abziehen, den zum Drehgeber zeigenden Gewindestift (Madenschraube) der Kupplung lösen. Oft ist die Kupplung schlecht zu erreichen und es müssen dazu weitere Teile abgebaut werden. Die ungefähre Winkelposition der Verdrehung des Drehgebers merken und die drei Exzenterhalter entfernen.
Jetzt müsste sich der Drehgeber abziehen und auswechseln lassen.
Wiedermontage in umgekehrter Reihenfolge. Falls an der Welle eine Fläche für den Gewindestift der Kupplung angefräst ist, die Welle richtig einführen.

Auch hier müssen nach der Montage die Software-Endschalter überprüft werden und die Maschine neu ausgemessen werden.

Hinweis: Bei ausgewechselten Drehgebern ist die Möglichkeit, dass die Software-Endschalter nicht mehr stimmen, sehr viel größer als bei einem Maßstab. Man kann einerseits die Schrauben der Exzenterhalter leicht lösen und den Drehgeber etwas verdrehen oder die Software-Endschalter neu setzen.

Mir ist es schon passiert, dass der gewünschte Drehgeber nicht vorhanden war. Mit telefonischer Unterstützung durch den Hersteller baute ich einen mit anderer Teilung ein und musste dazu zusätzlich die Maschinendaten ändern (Umrechnungsfaktor für die betreffende Achse). So etwas bitte nur nach Rücksprache mit dem Maschinenhersteller machen.

Ausgewechselte Meßsysteme können selbst nicht gereinigt oder repariert werden. Das kann nur der Hersteller selbst, die haben die nötige Erfahrung und Einrichtung, wie z. B. einen Reinraum mit staubfreier Luft.

Achsmotor auswechseln

Hier kann keine verbindliche Beschreibung gegeben werden, da jeder Hersteller eine andere Ausführung einbaut. Die Vorgehensweise ist jedoch ähnlich wie bei einem Drehgeber.
An manchen Motoren oder Meßsystemen befindet sich ein Druckluftanschluss. Hierbei wird saubere (ölfreie) Druckluft mit geringem Überdruck (z. B. 0,5 bar) in das gekapselte Gehäuse geführt um das Eindringen von Schmutz sicher zu verhindern.

In größeren Unternehmen wird oft ein Montagetrupp gebildet, der sich aus Elektrikern und Mechanikern zusammensetzt, welche die meisten Maschinenstörungen schnell beheben können.

Zusatzeinrichtungen montieren

Manchmal benötigt man an einer einfachen Maschine einige Zusatzeinrichtungen, welche beim Kauf standardmäßig nicht vorhanden waren.

Einige Beispiele, was evtl. noch aufgerüstet werden könnte:

- Ansteuerung eines Druckluftventils zum Spannen eines pneumatischen Schraubstocks oder für eine Vorrichtung zum Abblasen von Spänen.
- Druckluftventil zum automatischen Öffnen und Schließen der Maschinentüre zum Be- und Entladen mit Roboter.
- Fertigmeldung an eine externe, übergeordnete Steuerung, welche dann z. B. einen Roboter startet.
- Empfang eines Startsignals von einer externen Steuerung, wenn z. B. ein Roboter ein Werkstück eingelegt hat.
- Und unzählige weitere Möglichkeiten, je nach speziellen Betriebserfordernissen.

Solche Funktionen werden über freie M-Befehle realisiert, so dass sie im CNC-Programm aufgerufen werden können und über Ein- und Ausgänge als Signale mit 24 Volt ausgegeben werden.
Eingang = Signal, welches die Maschine von außerhalb empfängt, z. B. für „Maschine Start“.
Ausgang = Signal der Maschine an eine Einrichtung außerhalb, z. B. „Ventil Auf“.

Einige Hersteller haben dazu schon Ein-und Ausgänge im Schaltschrank vorbereitet, die bei Bedarf nur noch aktiviert werden.
Bei anderen muss man eine Zusatzplatine kaufen, welche dann die zusätzlichen M-Befehle und die Ein- und Ausgänge bereitstellt.

Man montiert dann z. B. selbst ein elektrisch beaufschlagtes 4/2-Wege-Ventil, legt die Kabel nach mitgelieferter Anleitung vom Ausgang zum Ventil und schließt die Druckluft an. Die Funktion kann einfach geprüft werden, indem man in der Betriebsart MDI die neuen M-Befehle eingibt, z. B. M20 für Ventil Auf und M21 für Ventil Zu.

Kapitel 16 - Neue Maschine

16.01 Maschine kaufen
16.02 Maschine aufstellen

16.01 Maschine kaufen

Wer schon länger im Betrieb ist und vielleicht schon die ersten Stufen in der Betriebshierarchie aufsteigen konnte wird früher oder später auch mit dem Einkauf von Maschinen konfrontiert werden.
Am Anfang kauft der Chef / Vorgesetzte eine Maschine und bestimmt, wer daran in Zukunft arbeitet.
Wer etwas weiter gekommen ist, wird als Fachmann zum Maschinenkauf mitgenommen und kann eigene Vorschläge einbringen.
Wenn das Vertrauen des Chefs groß und / oder seine Fachkenntnisse nicht ausreichen, hat man freie Hand und darf sich die Maschine selbst aussuchen und kaufen.

Zuerst muss geklärt werden, welche Art Maschine gekauft werden soll und welche Größe / Leistung und Genauigkeit gebraucht wird. Oftmals wird auch nur eine bestimmte Marke gefordert.
Das Budget entscheidet, ob es eine Neumaschine, Messe- / Vorführmaschine, gebraucht vom Werk, gebraucht vom Gebrauchtmaschinen-Händler oder eine Sonderanfertigung sein soll.
Eine Gebrauchtmaschine vom Herstellerwerk kann nicht schlecht sein. Der Hersteller hat ja seinen guten Namen zu verteidigen und gibt eine Garantie.
Der reine Gebrauchtmaschinen-Händler, der mehrere Marken führt, wird –wenn überhaupt- die Maschinen nicht so sorgfältig aufarbeiten können wie es der Hersteller tut. Darüber hinaus sind oft das beiliegende Zubehör und die Dokumentation unvollständig.

Für einen Maschinenkauf erfolgt zuerst eine Vorauswahl der Hersteller oder Händler.
Man bittet um ein schriftliches Angebot.
Das Angebot enthält Daten der Maschine, Preis, Liefer- und Zahlungsbedingungen.
Wenn alles klar ist, erfolgt die Bestellung
Der Verkäufer schickt die Auftragsbestätigung mit voraussichtlichem Liefertermin.
Die Maschine wird geliefert und evtl. montiert. Ggf. noch Maschinenabnahme.

Der VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagebauer e. V.) empfiehlt folgende Zahlungsweise:
1/3 Anzahlung nach Eingang der Auftragsbestätigung,
1/3 sobald dem Besteller mitgeteilt ist, dass die Hauptteile versandbereit sind,
der Restbetrag innerhalb eines Monats nach Gefahrübergang.
(Gefahrübergang = z. B. ab Auslieferung oder nach Abnahme)

Um der Gefahr einer Insolvenz des Lieferanten vorzubeugen, kann man von ihm im Vorab eine bestätigte Bankbürgschaft anfordern.

Wenn es sich um einen neuen Maschinentyp oder um eine Sonderanfertigung handelt, wird nicht einfach nach Katalog bestellt. Man sollte vorher die Maschine beim Hersteller oder auf einer Messe anschauen, sie möglichst im Einsatz sehen.
Dazu gehört auch das persönliche Gespräch. Man kauft ja schließlich keine Kaffeemaschine für den Haushalt. Werkzeugmaschinen sind teure und komplizierte Investitionsgüter, welche trotz Fachwissen des Käufers erklärungsbedürftig sind. Und bei einer persönlichen Besprechung können oft Preisnachlässe und Sonderwünsche ausgehandelt werden.

Ein paar Punkte welche angesprochen werden können:

Ungeklärte technische Details
Mitarbeiterschulung (Einweisungskurs)
Bei einem neuem Maschinentyp wäre eine zweite Bedienungsanleitung hilfreich
Erstellung eines Werkstückes als Abnahmeteil
Kostenlose Zugaben
Rabatte, wenn man in Aussicht stellt, bei Erfolg mehrere gleiche Maschinen zu kaufen
Telefonische Betreuung
Garantie für Schnelligkeit des Services
Lieferform (Gesamtmaschine, Einzelteile)
Wunsch-Liefertermin
Aufstellung und Montage

Wer für eine öffentliche Einrichtung (Berufsschule, Hochschule, o. ä.) bestellt, hat meist gute Karten, weil die Maschinenhersteller Werbung brauchen. Die Schüler / Studenten sind die Entscheidungsträger von morgen. Nach dem Motto: „Die Maschine der Marke XX war gut, so eine will ich wieder“.
Da ist dann schon mal ein Schulrabatt um die 20% möglich. Der Verkäufer will dafür nur eine Spendenbescheinigung. Als Zugabe gibt es oft eine Menge von kostenlosem Lehrmaterial.
An einigen Instituten haben manche Führungskräfte so gute Beziehungen zur Industrie, dass ganze Maschinen oder Einrichtungen als „Spende“ oder „Dauerleihgabe“ kostenlos zur Verfügung gestellt werden.

16.02 Maschine aufstellen

Wer im Vorfeld in den Kauf einer Maschine mit eingebunden war, kennt schon Gewicht und Größe und hat sich überlegt, wie sie transportiert wird und wo man sie am besten aufstellt.
Andererseits kann es passieren, dass einem der Chef einen Stapel Papier in die Hand drückt und sagt: „Ich habe eine Maschine auf der letzten Messe gekauft, kommt in 3 Wochen. Jetzt mach mal schön!“

Bei einer Kleinmaschine (z. B. Säulenbohrmaschine) kein Problem. Die findet überall Platz und kann auch schnell wieder umgesetzt werden.
Bei Großmaschinen, wie z. B. einer 200 m langen Papiermaschine wird lange im Voraus geplant und die Anlieferung mit Montage vom Hersteller gemanagt. Das kann man nicht selbst machen. Oft muss dazu sogar eine extra Halle gebaut werden.

Um beim Thema CNC zu bleiben, stellen wir uns die Anlieferung einer Standard-Werkzeugmaschine vor, die üblicherweise zwischen 2 bis 5 Tonnen wiegen kann und kein extra Fundament benötigt.

Voraussetzung: Kauf erfolgreich abgeschlossen, Maschine bekannt, Bei Neumaschine Abmessungen und Aufstellplan durch Hersteller überreicht.
Ungefährer Liefertermin schon bekannt. Lieferform bekannt: Palette, Ladegeschirr, ein Packstück oder mehrere Teile. Genauer Liefertermin wird ca. eine bis zwei Wochen vorher bekannt gegeben

Die Anlieferung ist jedes Mal eine Herausforderung, auch wenn es schon oft gemacht wurde. Nicht jede Halle hat so großzügig Platz, dass man eine neue Maschine ohne große Vorbereitung ohne weiteres einfach an ihren Platz fahren kann.
An diesem Tag oder Tagen herrscht Ausnahmezustand, oft werden ganze Abteilungen behindert und Verladen und Transport sind unfallträchtige Tätigkeiten. Es muss alles gut vorbereitet sein, um unnötige Hektik und Schinderei zu vermeiden und den Normalzustand so schnell wie möglich wieder herzustellen. Auch soll die neue Maschine so bald wie möglich produzieren.

Vorbereitung des Aufstellplatzes in der Maschinenhalle:

Bei einer ebenerdigen Halle nachmessen, ob das Tor groß genug ist, damit die Maschine hindurch passt, entweder mit oder ohne Verpackung. Bei zu kleinem Tor muss evtl. ein Mauerdurchbruch vorbereitet werden. Bei einer größeren Halle kann vielleicht sogar der LKW mit der Maschine hineinfahren und dort abgeladen werden. Überprüfen, ob die Maschine ganz oder in Teilen (z. B. Schaltschrank extra) geliefert wird. Platzbedarf und Art des Transports innerhalb der Halle abklären, ob mit Kran oder Schwerlastrollen, usw.
Bei manchen Maschinen müssen vor dem Aufstellen einfache Stahlplatten als Fundamentplatten in Mörtel gebettet werden. Bei so einer Gelegenheit stellte ich fest, dass ich dazu zwei unterschiedliche Pläne hatte, weil die Auflagepunkte zwischenzeitlich geändert wurden und konnte glücklicherweise noch vor der Anlieferung abklären, welcher Plan für meine Maschine galt.
Um den Aufstellplatz muss genügend Arbeitsraum eingeplant werden, damit die Maschine von allen Seiten zugänglich ist. Dazu gibt es Pläne vom Hersteller, auch die Sicherheitsvorschriften schreiben gewisse Freiräume und Verkehrswege vor.

Anschlüsse für Strom, Datenübertragung und Druckluft, evtl. Wasser oder Gas durch eigene oder externe Fachleute vorbereiten, auch Anschlüsse für Zusatzaggregate (Späneförderer, Stangenmagazin) nicht vergessen.
Eventuell müssen für die neue Maschine zuerst andere Maschinen umgesetzt werden.

Oberes Stockwerk
Viele ältere Fabrikgebäude sind mehrstöckig. Die Maschinen waren früher oft kleiner und konnten deshalb problemlos auch in den oberen Stockwerken aufgestellt werden, oftmals noch aufgelockert durch zahlreiche Handarbeitsplätze. Wenn jetzt nur noch Maschine neben Maschine steht (und diese um einiges größer), kann das zum Problem werden. Hier können nur die Baupläne zusammen mit dem Rat eines Architekten oder Statikers Auskunft geben, wie und wo noch etwas dazugestellt werden kann.
Wie schaffe ich die Maschine nach oben? Passt sie von Größe und Gewicht in meinen Lastenaufzug? Muss ich vielleicht einem Mauerdurchbruch machen, um die Maschine von außen mit einem großen Stapler einzubringen? Wir machten selbst so eine Aktion für 10 gleiche Maschinen, um uns das Abmontieren der Schaltschränke für den Lastenaufzug zu sparen. Die Umsetzung selbst war an einem halben Tag erledigt, die Mauer samt Fenster nach 2 Tagen wiederhergestellt. Das war tatsächlich billiger.
Es kann sein, dass der vorgesehene Standort ausreichend tragfähig ist, der Transportweg bis dahin jedoch nicht. Da muss man dann große Stahlplatten zur Gewichtsverteilung auslegen und/oder die darunterliegenden Stockwerke nach Angaben des Statikers abstützen (abspreizen).
Habe auf diese Weise selbst schon eine 3 ½ - Tonnen-Maschine durch einen langen Hausflur bis an ihren Aufstellplatz „hindurchgewürgt“. Der Schaltschrank war zwar abmontiert, jedoch entgegen der Abmachung das Tragegestell für den Schrank nicht, so dass wir zwei Vierkantrohre abflexen mussten, damit die Maschine durch die Tür passte. Nachher wurden die Vierkantrohre wieder zusammengeschweißt. Der Spediteur, der Chef selbst, versprach uns unter Flüchen, dass er nie wieder zu uns kommen würde.

Vorbereitungen zum Tag der Anlieferung

<u>Maschinenhalle:</u>
Falls innerhalb der Halle mit eigenem Kran abgeladen werden kann, Platz für LKW und Kran reservieren.
Platz für den Transportweg innerhalb der Halle schaffen, Mitarbeiter informieren, dass der Platz freigehalten werden muss.

<u>Draußen:</u>
Das Abladen vom LKW geschieht aus Platzgründen oft außerhalb der Halle. Für das Abladen muss vorab geklärt werden, ob der eigene Stapler ausreicht oder ein größerer mitsamt Fahrer ausgeliehen werden muss. Vielleicht muss sogar ein Autokran bestellt werden, wobei dann ein speziell zur Maschine passendes Ladegeschirr nötig sein kann.
Platz für den LKW, Stapler oder ggf. Mobilkran schaffen. Dazu evtl. gelagertes Material umräumen, Parkplätze absperren und die betroffenen Mitarbeiter benachrichtigen.
Oft soll die Maschine schon außerhalb der Halle ausgepackt werden, man hat einfach mehr Platz nach allen Seiten. Die Entsorgung der großen Holzkisten ist normalerweise kein Problem. Es wird sich immer ein Mitarbeiter finden, der die wertvollen Sperrholzplatten gerne mitnimmt. Vor allem die japanischen Kisten sind wegen ihrer schönen Holzmaserung heiß begehrt.

Plan B:
Bei Regen oder Schnee. Planen bereitlegen und Maschine schnellstmöglich in die Halle schaffen. Bei Gewitter zur Sicherheit abwarten, bis es sich verzieht.
Lastwagen kommt verspätet. Personal einige Tage vorher darauf vorbereiten, dass es vielleicht später werden kann und dass nicht jeder zufällig gerade an diesem Tage einen Zahnarzttermin oder Elternabend hat. Ausschau halten, wo man abends notfalls schnell etwas besorgen kann, falls es länger geht. Früher hielt man sich die Leute mit einer Kiste Bier bei der Stange. Heutzutage sind Brötchen mit Leberkäs und Thermoskannen mit Kaffee angesagt, um die Leute bis in die Nacht hinein bei Laune zu halten. Pappbecher, Plastiklöffel, Dosenmilch, Zucker und Servietten nicht vergessen.
Maschine wenigstens in die Halle hineinbringen, dann Feierabend.

Maschine steht auf ihrem Platz
Aufatmen, der gefahrvolle Transport ist beendet und jetzt werden die anderen Abteilungen nicht mehr behindert. Man kann endlich wieder zur Routine zurückkehren.
Maschine ausrichten, anschließen, vollständig montieren, Schaltschrank, Zusatzaggregate. Gleitbahnöl, Hydrauliköl, usw. nach Wartungsplan auffüllen. Maschine in Betrieb nehmen (probieren und ausmessen). Evtl. Maschinenabnahme. Produzieren

Schwere Werkzeugmaschinen
Wer in dieser Branche arbeitet, wird mit zusätzlichen Problemen konfrontiert. Die großen Bearbeitungszentren und Drehmaschinen mit 20 bis 30 m Länge verlangen eine andere Bauweise.
Da steckt der größte Gewichtsanteil in einem massiven Betonfundament. Dieses Fundament ist Teil des Maschinenbetts. Man hat also zuerst mal eine richtige Baustelle innerhalb der Maschinenhalle. Dies führt ein Architekt zusammen mit einer Baufirma nach den Bauplänen des Maschinenherstellers aus. Dabei muss man sich auf massive Beeinträchtigungen einstellen. Zuerst werden die Bauarbeiter tage- oder wochenlang den Boden mit Baggern und Presslufthämmern aufbrechen. Das „Kompressern“ erzeugt eine enorme Lärm- und Staubentwicklung, welche den übrigen Betriebsablauf in der Halle stark beeinträchtigen oder total unmöglich machen kann. Dagegen hilft sowohl eine provisorische Umhausung aus Folie oder Brettern als auch ein Zelt um die Baustelle herum und das Ganze mit einer wirksamen Entlüftung nach außen. Dazu werden immer wieder Baustellenfahrzeuge in die Halle fahren, um Material an- oder abzufahren.
Solch ein Fundament ist über einen Meter tief und wird unten und seitlich mit Dämmplatten von der Umgebung getrennt, um die Übertragung von Erschütterungen zu verringern. Das Fundament enthält eine Menge Baustahl zur Stabilisierung und man lässt oben Aussparungen, um dort später die Halteelemente der Maschine mit Beton einzugießen. Bei einer großen Maschine können leicht 100 Kubikmeter Beton (ungefähr 250 Tonnen) zusammenkommen, so dass am Tag des Betonierens 15 bis 20 Betonmischwagen nacheinander anrollen. In den ersten Tagen des Abbindens erzeugt diese Menge Beton eine beträchtliche Wärmemenge und heizt die Halle auf. Beton braucht 3 Wochen um richtig auszuhärten und ist nach 90 Tagen vollständig ausgehärtet. Deshalb können nach ungefähr 3 Wochen die Monteure mit ihren Maschinenteilen anrücken, um die Maschine aufzubauen.
Nebenbei kann es nötig sein, die Hotelzimmer für die Monteure zu besorgen und evtl. zu organisieren, dass sie in der Werkskantine essen können.

Umzüge mehrerer Maschinen

Für einem Großumzug in eine neue Maschinenhalle empfehlen sich eher auf Maschinenumzüge spezialisierte Firmen, welche die nötige Erfahrung und das geeignete Transportwerkzeug besitzen. Dadurch wird dann das eigene teure Personal nicht an den ganzen Umzug gebunden, die haben noch genug mit der Einrichtung ihres neuen oder veränderten Arbeitsplatzes zu tun. In Großunternehmen, wo ständig irgendwelche Maschinen ausgetauscht oder umgesetzt werden, sind solche Umzugsfirmen oder eigene Umzugs-Spezialtrupps ständig im Einsatz.

Kapitel 17 – Zukunft

17.01 Ausblick

17.01 Ausblick

Was uns die Zukunft bringen wird, wissen wir nicht genau. Auf jeden Fall wird sich die Technik weiterentwickeln. Neue Materialien, neue Fertigungsverfahren, noch schnellere, noch genauere Maschinen.

Mit der CNC-Technologie haben sich die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung und die Hartbearbeitung schon etabliert, ebenso das Materialauftragen oder –abtragen mit Laserstrahl. Materialabtrag mit Ultraschall und Wasserstrahlschneiden konnten ebenfalls mit der CNC-Technik realisiert werden. Schnelle Maßanfertigung von Körperersatzteilen wie Hüftprothesen oder Zahnersatz. Nano-Technologie für hochgenaue Fertigung oder winzige Werkstücke, z. B. ein Mini-Roboter, der in unsere Blutbahn eingeschleust wird, um schädliche Zellen zu bekämpfen. Unheimliche menschenleere Fabriken, wo nur Maschinen und Roboter arbeiten und führerlose Transportfahrzeuge hin- und herflitzen.

Eine Zeit lang war CIM das Zauberwort, eine vollautomatische Fabrik, die vom Wareneingang bis zum Versand alles selbst macht und das flexibel mit verschiedenartigen Produkten. Neben der Fertigung und Montage die Bestellung des Rohmaterials, das Versenden der Ware inklusive Abschicken der Rechnung nebst Zahlungsüberwachung und Mahnwesen.
Der Traum: ein Männlein sitzt bequem im Sessel und kreiert mit CAD ein Produkt, danach drückt er einen Knopf und schickt damit seine Daten an die Maschinerie zur Fertigung und Auslieferung.
Dieser Traum konnte in seiner Gesamtheit nie, jedoch in Teilbereichen verwirklicht werden. Man geht heute mit dem Begriff CIM etwas bescheidener um.

Interessant wird auch die Weiterentwicklung des Rapid Prototyping werden. Bisher werden damit vorwiegend Einzelstücke als Muster oder Prototypen angefertigt. Es gibt dazu verschiedene Verfahren, z. B. wo in einer Flüssigkeit mit Laserstrahl einzelne Punkte verfestigt werden, bis daraus ein fertiges Modell entsteht, ein ähnliches Verfahren funktioniert nach dem selben Prinzip in einem Pulver. Am bekanntesten dürfte der 3D-Druck sein, wo nach einer Vorlage im Computer kleine Materialkügelchen aufgetragen werden, ähnlich wie bei einem Tintenstrahldrucker die Farbtröpfchen, nur das Ganze Schicht für Schicht übereinander. Preiswerte 3D-Drucker erobern sich nach und nach die Haushalte. Eine nette Sache, wenn man sich Ersatzteile, einfache Gebrauchsgegenstände oder Spielzeug selbst herstellen will. Bisher geht hier das meiste auf Kunststoffbasis und die Erstellung eines 3D-Modells aus vielen Millionen Pünktchen dauert noch sehr lange. Versuche mit Metallen auf speziellen, teuren 3D-Druckern sind schon gelungen und irgendwann kann man damit auch hochfeste Werkstücke aus Metallen herstellen.

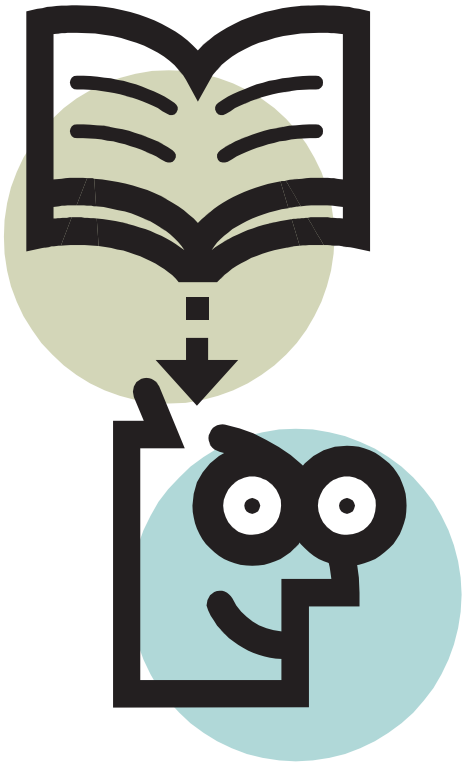
Das immer billigere und einfachere Sammeln und Speichern von Daten birgt hohe Risiken für Missbrauch. Die Speicherung sämtlicher Telefonate und E-Mail-Verkehrs ist schon Standard. Das Scannen von Nummernschildern an den Mautbrücken der Autobahnen oder sonst wo aufgestellten Scannern ist kein Problem. Damit kann leicht festgestellt werden, wer wann wohin gefahren ist und es kann die Durchschnittsgeschwindigkeit von einer Station zur nächsten ermittelt werden – Knöllchen folgt automatisch. So etwas war früher unmöglich, denn eine manuelle Auswertung bräuchte hunderttausende Beschäftigte und wäre somit unbezahlbar.

Es ist für die Zukunft denkbar, dass der Konstrukteur nicht mehr zeichnen muss, sondern sich eine Haube aufsetzt, welche die Gehirnströme nicht nur misst, sondern per Software interpretiert und so am Computer ein Design oder Produkt nach seinen Vorstellungen erzeugt. Zuerst einmal eine feine Sache, weil sehr bequem.
Irgendwann kann man vielleicht die Gehirnströme ohne Berührung auslesen, ähnlich wie bei einem Flughafenscanner. Damit ist dann die totale Überwachung der Gedanken möglich. Die Politiker werden das unter dem Vorwand der „Terrorbekämpfung“ entgegen ihrer selbst geschaffenen Datenschutzgesetze auszunutzen wissen. Im Gegenzug müsste man diese Leute regelmäßig vor jeder Wahl überprüfen, ob sie es mit uns auch ehrlich meinen.

Gottseidank bin ich schon so alt!

Kapitel 18 – Empfehlungen

18.01 Empfehlungen
18.02 Literatur



18.01 Empfehlungen

Der Arbeitnehmer

Wer als Arbeitnehmer in seinem Betrieb aufsteigen möchte, muss bekanntlich mehr tun als andere. Die erfolgreiche Zusammenarbeit in einem Betrieb ist ein „Miteinander“, kein „Gegeneinander“, beide Seiten sind voneinander abhängig. Wer seinen Chef nur als Feind sieht, weil man sich unterdrückt oder ausgenutzt fühlt, wird an seinem Arbeitsplatz nie glücklich werden. Wem die Schlagworte: „Geschäftsinteresse“ und „unternehmerisches Denken“ unbekannt sind, wird im besten Fall wohl immer an seinem bisherigen Arbeitsplatz und Einkommen hängen bleiben, im schlechtesten Fall als einer der ersten entlassen werden. Wer sich und dem Chef Gutes tun will, wirft nicht pünktlich zum Feierabend den Hammer in die Ecke, sondern macht den angefangenen Arbeitsschritt noch fertig. Und wenn es mal richtig klemmt, können es auch mal mehrere Stunden werden. Das sollte trotzdem immer die Ausnahme bleiben, denn auch eine sinnvolle Freizeitgestaltung trägt zur Erhaltung der Gesundheit und der Arbeitskraft bei.
Außerdem sollte man Geduld mitbringen bis man die nächste Stufe (Gehalt / Verantwortung) erklimmen kann. Die Unternehmen haben feste Regeln für den innerbetrieblichen Aufstieg um Neid und Unruhe unter der Belegschaft zu vermeiden. Eine wichtige Rolle bei der Postenvergabe spielt dabei oft die Dauer der Betriebszugehörigkeit, was für ein junges Talent natürlich sehr frustrierend sein kann.

Was kann ich sonst noch tun?
Sich mehr als andere für die Materie interessieren und reichliche Erfahrungen sammeln.
Zum Beispiel mit Genehmigung des Vorgesetzten die Bedienungsanleitung mit nach Hause nehmen. Es gibt genügend verregnete Wochenenden um sich auf diese Weise weiterzubilden und in aller Ruhe Neues herauszufinden und einiges mehr zu begreifen, was während der Arbeitszeit oft nicht möglich ist.
Wenn die Maschine mal einen Monteur braucht, dann sollte man nicht nur über die Maschine schimpfen, sondern sich besser als Helfer anbieten. Mit den Augen „stehlen“ und den Techniker viel fragen. Wenn das zu einer vertrauensvollen Zusammenarbeit führt, dann kann der Monteur einem viele weitere Tricks verraten.
Auch wer in der Schule die Mathematik nicht so sehr liebte, sollte mal ab und zu seine alten Schulbücher zur Hand nehmen, um ein Problem zu lösen. Wie war das nochmal mit dem Pythagoras oder den Winkelfunktionen? Wie ging das mit den Formeln zur Berechnung des Schnittpunktes zweier Geraden? Zur besseren Vorstellung und Kontrolle zusätzlich immer wenigstens als einfache Skizze aufzeichnen. CAD ist nicht unbedingt an jedem Ort verfügbar.
Zur Beruhigung an alle Zweifler: Ich selbst war als Schüler nicht gut in Mathe, habe aber die wenigen Regeln, welche zur CNC-Programmierung benötigt werden, wieder schnell aufgefrischt und so letztendlich mit der Mathematik mein Geld verdient.
Wenn man für einen neuen Maschinentyp ausgewählt wurde, stellt sich die Frage der Einarbeitung. Es kann sehr teuer werden, wenn man ohne Kurs beim Hersteller einfach an eine neue Maschine hingestellt wird. Eine schwere Kollision kostet garantiert mehr als ein Einweisungskurs beim Hersteller. Als Arbeitnehmer sollte man beim Vorgesetzten darauf drängen, am Kurs teilnehmen zu dürfen. Als Chef muss man sich im Klaren sein, dass ohne Einweisungskurs die Einarbeitungszeit viel länger dauert und ein wesentlich höheres Risiko für schwere / teure Schäden besteht.

Wer seinen Horizont erweitern will, sollte so oft wie möglich an Betriebsbesichtigungen teilnehmen, z. B. an einem Tag der offenen Tür. Es ist sehr interessant, wie es die anderen machen und es muss auch nicht immer die eigene Branche sein. Ich selbst war immer wieder erstaunt, wie viel Know-How in diesen –oft auch kleinen- Firmen steckt, nicht wenige davon sind in manchen Dingen sogar Weltmarktführer.

Der Vorgesetzte

Als Vorgesetzter wird von einem erwartet, dass man unfehlbar ist, alles weiß und wie ein Gott auf einer Wolke schwebend über alle Dinge erhaben ist.
Dem ist leider nicht so. Man hat sich hart hochgearbeitet, viel für die Firma getan, reichlich Erfahrung gesammelt und hat eine Verantwortung, die einen manchmal zu erdrücken droht. Man weiß mehr als jeder einzelne seiner Untergebenen. Aber jeder von denen hat seine Spezialisierung, wo er manche Dinge besser kann als sein Chef.
Jedoch sollte sich der Vorgesetzte gleichfalls in jeden neuen Maschinentyp zumindest theoretisch einarbeiten, wenn er auch nicht selbst daran arbeiten muss. Einfach, damit er selbst mitreden kann und nicht von den Aussagen seiner Mitarbeiter abhängig ist. Die Mitarbeiter könnten aus Bequemlichkeit wahrheitswidrig behaupten: „Das geht nicht“. Mit dem nötigen Wissen kann man erwidern: „Versuch’s mal so“.

In den CNC-Anfangszeiten habe ich das selbst erlebt, dass Vorgesetzte, Konstrukteure und AV-Leute zu mir kamen und mich fragten, ob dies oder das auf meinen Maschinen machbar ist. Ich musste keinen abweisen, nach dem Motto: „Geht nicht gibt’s nicht“.
Damals war das noch kein Makel weil das Wissen über CNC einfach noch nicht vorhanden war. Heutzutage wird diese Materie natürlich als bekannt vorausgesetzt.

18.02 Literatur

Weiterführende Literatur

Bedienungs- und Programmieranleitung der Maschine, am besten doppelt geben lassen

Handbücher, Kurse und Simulationsprogramme der Hersteller herunterladen

NC-CNC-Handbuch, Hans B. Kief, Deutsch
Das Standard-Buch zum Thema CNC, eher Nachschlagewerk, weniger Lehrbuch

CNC-Technik in der Aus- und Weiterbildung, Europa Verlag, Deutsch
Standard-Lehrbuch, es gibt das Lehrbuch und dazu ein Lösungsbuch

Garant-Zerspanungshandbuch, Hoffmann-Group, Deutsch
Umfassendes Werk über Zerspanungswerkzeuge und deren Einsatz

CNC-Programming Handbook, Peter Smid (Fanuc), Englisch
Sehr ausführlich, viele Programmiertricks, es gibt weitere Werke zum Thema

Computer Numerical Controls for Machining, Mike Lynch, Englisch
Chef von CNC Concepts mit CNC Tips im Internet, weitere Werke zum Thema

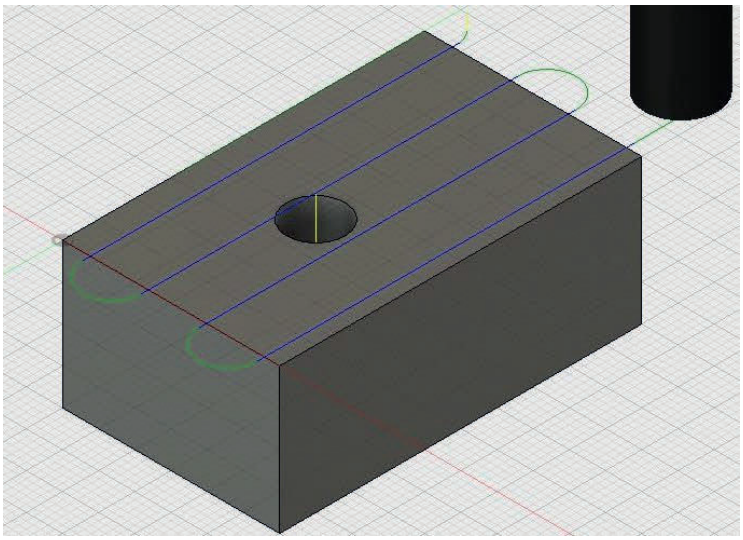
Control númerico y programación, Francisco Cruz Teruel (Fagor), Spanisch
Reich illustriertes Lehrbuch in Spanisch, speziell für Fagor-Steuerungen

Für Fragen zum Thema CNC ist natürlich das Internet eine fast unerschöpfliche Quelle, zum Suchen nach Einzelbegriffen oder zum Stöbern in speziellen Foren.

Einige Foren zum Thema (alle mit Anmeldung für vollen Zugriff):
CNC Ecke
CNC-Area
CNC-Arena

Kapitel 19 – Anhang

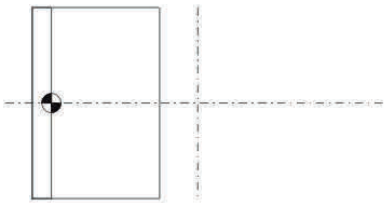
19.01 Einrichtblatt Drehen
19.02 Einrichtblatt Fräsen
19.03 Programmierblatt Drehen
19.04 Programmierblatt Fräsen
19.05 Schnittgeschwindigkeit Tabelle
19.06 Andere Steuerungen
19.07 Übersicht CNC-Befehle
19.08 Programme zum Buch



19.01 Einrichtblatt für Drehmaschine

Programm-Nr.:		Unterprogramme-Nr.:			Bezeichnung:		
CAD-Bezeichn.:		Datum:			Programmierer:		
Rohteilabmessungen	Ø X:	Länge Z:			Stangen-/Futterteil		
WKZ-Wechselpunkt	X:	Z:		Nullpunkt G	X:	Z:	
Barrieren	# 06 X:	Z:		# 09 X:	Z:		
	# 07 X:	Z:		# 10 X:	Z:		
	# 08 X:	Z:		# 11 X:	Z:		

Spannskizze mit Rohteil und Nullpunkt(en) G54 - G57 und G59



WKZ-Nr. mit Korr.-Nr.	WKZ-Beschreibung u. WKZ-Form für GPS	HM-Platte Sorte	WKZ-Halter Beschreibung	X-Wert ATC	Z-Wert ATC	Quadrant P	Radius R
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		
	Barrieren - Offset X+		X-	Z+	Z-		

19.02 Einrichtblatt für Fräsmaschine

Programm-Nr.:	Unterprogramme-Nr.:	Bezeichnung:
CAD-Bezeichn.:	Datum:	Programmierer:
Rohteilabmessungen X:	Y:	Z:
Spannmittel:		
Spannskizze:	Nullpunkt(e):	

WKZ-Nr.	Mag.-Platz	Werkzeug	Halter	Bemerkung	WKZ-Länge		WKZ-Radius	
					H-Nr.	Länge	D-Nr.	Radius

19.03 Programmierblatt Drehen

Programm-Nr.	Bezeichnung	Datum	Programmierer	Blatt-Nr.

N	G	X	Z	U	W	I	K	F	S	T	M

19.04 Programmierblatt Fräsen

Programm-Nr.	Bezeichnung	Datum	Programmierer	Blatt-Nr.

N	G	X	Y	Z	I	J	K	F	S	T/H/D	M

19.05 SCHNITTGESCHWINDIGKEITEN in m/Min.

Bearbeitungsart und Werkstoff	Drehen		Fräsen		Bohren		Reiben/Senken	
	HSS	HM	HSS	HM	HSS	HM	HSS	HM
Stahl bis 500 N	35	90	25	90	20	120	10	25
Stahl bis 900 N	20	70	20	70	15	110	5	20
Hochlegierter Stahl	15	50	15	50	10	80	5	10
Grauguss	20	65	20	70	25	80	10	20
Kupfer-Leg.	60	450	55	120	50	65	15	25
Aluminium-Leg.	100	700	100	500	70	300	20	60

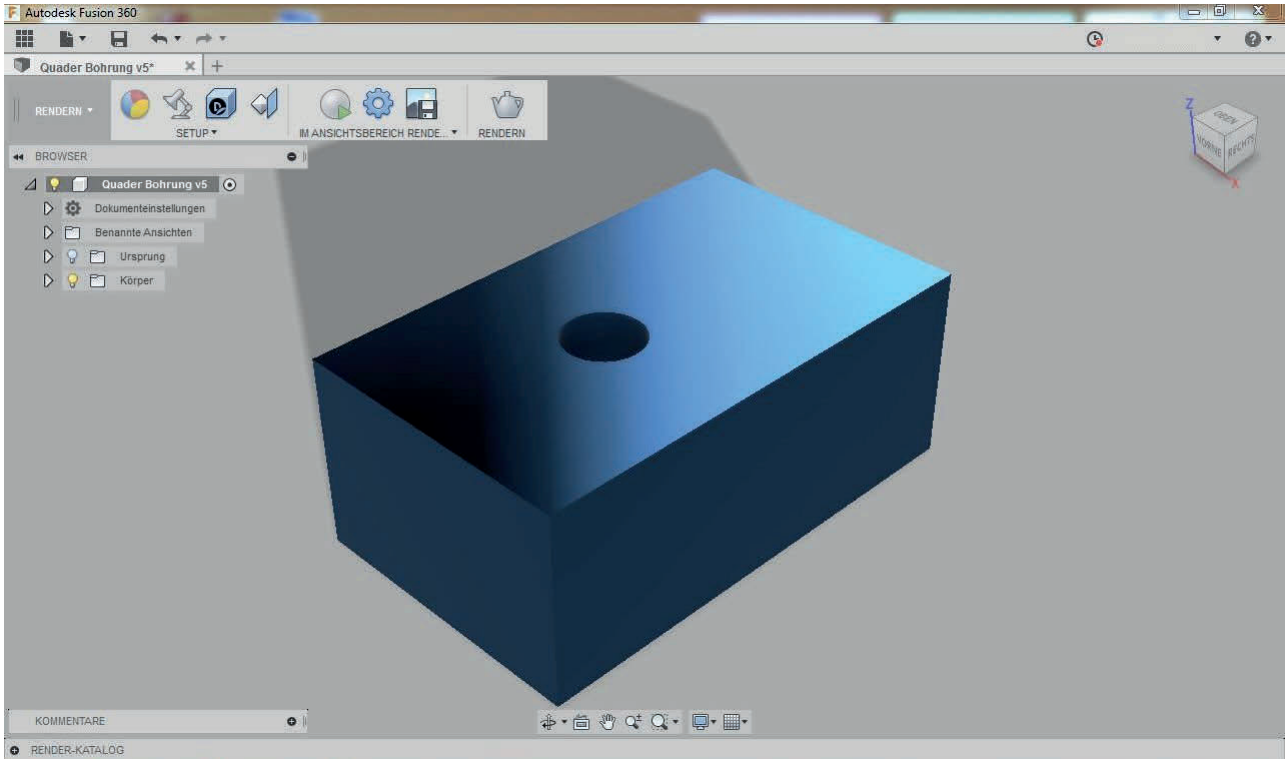
DREHZAHLEN in U/Min.

Ø	Schnittgeschwindigkeit in m/Min.									
in mm	4	6	8	10	12	14	20	30	40	50
1	1273	1910	2546	3183	3820	4456	6366	9549	12732	15915
2	637	955	1273	1592	1910	2228	3183	4775	6366	7958
3	424	637	849	1061	1273	1485	2122	3183	4244	5305
4	318	477	637	796	955	1114	1592	2387	3183	3979
5	255	382	509	637	764	891	1273	1910	2546	3183
6	212	318	424	531	637	743	1061	1592	2122	2653
7	182	273	364	455	546	637	909	1364	1819	2274
8	159	239	318	398	477	557	796	1194	1592	1989
9	141	212	283	354	424	495	707	1061	1415	1768
10	127	191	255	318	382	446	637	995	1273	1592
12	106	159	212	265	318	371	531	796	1061	1326
14	91	136	182	227	273	318	455	682	909	1137
16	80	119	159	199	239	279	398	597	796	995
18	71	106	141	177	212	248	354	531	707	884
20	64	95	127	159	191	223	318	477	637	796
25	51	76	102	127	153	178	255	382	509	637
30	42	64	85	106	127	149	212	318	424	531
50	25	38	51	64	76	89	127	191	255	318

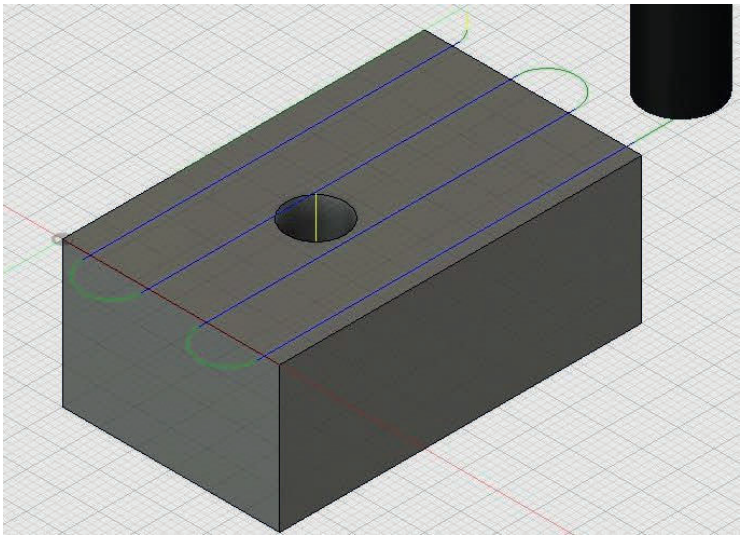
Anm.: Bei größeren oder kleineren Werten um eine Null erweitern oder die letzte Stelle abschneiden.
z. B.: gegeben: Ø = 70 mm, Schnittgeschwindigkeit = 20 m/Min.
bei Ø 7 wären dies 909 U/Min., für Ø 70 ergibt es 91 U/Min.
z. B.: gegeben: Ø = 10 mm, Schnittgeschwindigkeit = 100 m/Min.
bei 10 m/Min. wären dies 318 U/Min., für V=100 m/Min. ergibt es 3180 U/Min.

Für die meisten Kunststoffe können die Werte für Kupferlegierungen verwendet werden.

19.06 Andere Steuerungen



Ein Quader X30, Y50, Z20 oben plangefräst, mit einer Bohrung Ø 8 als einfaches Beispiel wie das CNC-Programm in verschiedenen Steuerungen dargestellt wird.
Das Programm wurde mit dem CAM-Modul in Autodesk Fusion 360 erstellt. Nullpunkt vorne links, Z oben. Zum Planfräsen mit Schaftfräser Ø10 Zustellung von und nach oben und Richtungsumkehr seitlich als Radien. Tieflochbohren mit Spiralbohrer Ø8 wie G83 und anschließend der Postprozessorlauf für die verschiedenen Steuerungen.



Anzeige der Werkzeugwege im CAM-Modul von Fusion 360

Nachfolgend die Programmbeispiele für unterschiedliche CNC-Steuerungen

```
%
O1001 (QUADER-FANUC)
(T1 D=10. CR=0. - ZMIN=0. - SCHAFTFRSER)
(T2 D=8. CR=0. KONIK=118GRAD - ZMIN=-23. - BOHRER)
N10 G90 G94 G17 G49 G40 G80
N15 G21
N20 G28 G91 Z0.
N25 G90
(PLANEN3)
N30 T1 M06
N35 T2
N40 S800 M03
N45 G54
N50 M08
N60 G00 X27.89 Y57.5
N65 G43 Z3. H01
N70 G01 Z1. F1000.
N75 G19 G02 Y56.5 Z0. J-1.
N80 G01 Y51.
N85 Y-1. F240.
N90 G17 G02 X19.875 I-4.007
N95 G01 Y51.
N100 G03 X11.86 I-4.007
N105 G01 Y-1.
N110 G02 X3.845 I-4.007
N115 G01 Y51.
N120 G19 G03 Y52. Z1. K1. F1000.
N125 G00 Z3.
N130 G17
N135 M05
N140 G28 G91 Z0.
N145 G90
N150 G49
(BOHREN2)
N155 M09
N160 M01
N165 T2 M06
N170 T1
N175 S1000 M03
N180 G54
N185 M08
N195 G00 X15. Y20.
N200 G43 Z3. H02
N210 G98 G83 X15. Y20. Z-23. R2. Q5. F150.
N215 G80
N220 G00 Z3.
N230 M09
N235 G28 G91 Z0.
N240 G49
N245 G28 X0. Y0.
N250 M30
%

%
O1002 (QUADER-DECKEL DIALOG 112)
(T1  D=10. CR=0. - ZMIN=0. - SCHAFTFRSER)
(T2  D=8. CR=0. KONIK=118GRAD - ZMIN=-23. - BOHRER)
G90 G94 G17
G21
G28 G91 Z0.
G90
M9
```

```
T1 M6
T2
S800 M3
G54
M8
G0 X27.89 Y57.5
G43 Z3. H1
G1 Z1. F1000.
G19 G2 Y56.5 Z0. J-1. K0. F1000.
G1 Y51.
Y-1. F240.
G17 G2 X19.875 I-4.007 J0. F240.
G1 Y51.
G3 X11.86 I-4.007 J0.
G1 Y-1.
G2 X3.845 I-4.007 J0.
G1 Y51.
G19 G3 Y52. Z1. J0. K1. F1000.
G17 G0 Z3.
G28 G91 Z0.
G90
M9
M1
T2 M6
T1
S1000 M3
G54
M8
G0 X15. Y20.
G43 Z3. H2
G98 G83 Z-23. R2. Q5. F150.
G80
Z3.
M9
G28 G91 Z0.
G28 X0. Y0.
M30
%

%1003,MX--,
N10 ; QUADER-FAGOR
N15 ; T1  D=10 CR=0 - ZMIN=0 - SCHAFTFRSER
N20 ; T2  D=8 CR=0 KONIK=118GRAD - ZMIN=-23 - BOHRER
N25 G90 G94 G17
N30 G71
N35 G53 G0 Z0
N40 ; PLANEN3
N45 T1 M6
N50 T2
N55 S800 M3
N60 G54
N70 G0 X27.89 Y57.5
N75 G43 Z3
N80 G1 Z1 F1000
N85 G19 G2 Y56.5 Z0 J-1 K0
N90 G1 Y51
N95 Y-1 F240
N100 G17 G2 X19.875 I-4.007 J0
N105 G1 Y51
N110 G3 X11.86 I-4.007 J0
N115 G1 Y-1
N120 G2 X3.845 I-4.007 J0
N125 G1 Y51
```

```
N130 G19 G3 Y52 Z1 J0 K1 F1000
N135 G0 Z3
N140 M5
N145 G53 Z0
N150 ; BOHREN2
N155 M1
N160 T2 M6
N165 T1
N170 S1000 M3
N175 G54
N180 G17
N185 G0 X15 Y20
N190 G43 Z3
N200 G98 G69 X15 Y20 Z2 I-23 B5 D2 J1 L5 F150
N205 G80
N210 G0 Z3
N215 G53 Z0
N220 G53 X0 Y0
N225 M30
%

0 BEGIN PGM 1004 MM
1 ;Quader-Heidenhain
2 BLK FORM 0.1 Z X-1 Y-1 Z-20
3 BLK FORM 0.2 X+31 Y+51 Z+1
4 ;-------------------------------------
5 ;Werkzeuge
6 ;  #1 D=10 - ZMIN=+0 - ZMAX=+3 - Schaftfräser
7 ;  #2 D=8 KONIK=118(Grad): - ZMIN=-23 - ZMAX=+3 - Bohrer
8 ;-------------------------------------
9 ;
10 M9
11 L Z+0 R0 FMAX M91
12 * - Planen3
13 M5
14 TOOL CALL 1 Z S800
15 TOOL DEF 2
16 L Z+0 R0 FMAX M91
17 M3
18 L X+27.89 Y+57.5 R0 FMAX
19 L Z+3 R0 FMAX
20 M8
21 CYCL DEF 32.0 TOLERANZ
22 CYCL DEF 32.1
23 L Z+1 F1000
24 CC Y+56.5 Z+1
25 CP IPA-90 DR-
26 L Y+51 Z+0
27 L Y-1 F240
28 CC X+23.882 Y-1
29 CP IPA-180 DR-
30 L X+19.875 Y+51
31 CC X+15.868 Y+51
32 CP IPA+180 DR+
33 L X+11.86 Y-1
34 CC X+7.852 Y-1
35 CP IPA-180 DR-
36 L X+3.845 Y+51
37 CC Y+51 Z+1
38 CP IPA+90 DR+ F1000
39 L Y+52 Z+3 FMAX
40 M9
41 L Z+0 R0 FMAX M91
```

```
42 * - Bohren2
43 M5
44 M1
45 TOOL CALL 2 Z S1000
46 TOOL DEF 1
47 L Z+0 R0 FMAX M91
48 M3
49 L X+15 Y+20 R0 FMAX
50 L Z+3 R0 FMAX
51 M8
52 CYCL DEF 200 BOHREN ~
  Q200=+2 ;SICHERHEITS-ABST. ~
  Q201=-23 ;TIEFE ~
  Q206=150 ;VORSCHUB TIEFENZ. ~
  Q202=+5 ;ZUSTELL-TIEFE ~
  Q210=0 ;VERWEILZEIT OBEN ~
  Q203=+0 ;KOOR. OBERFLAECHE ~
  Q204=+3 ;2. SICHERHEITS-ABST. ~
  Q211=0 ;VERWEILZEIT UNTEN
53 L FMAX M99
54 L Z+3 FMAX
55 M9
56 M5
57 L Z+0 R0 FMAX M91
58 M30
59 END PGM 1004 MM

0 BEGIN PGM 1005 MM
1 ; Quader-Heidenhain TNC 407
2 BLK FORM 0.1 Z X-1 Y-1 Z-20
3 BLK FORM 0.2 X+31 Y+51 Z+1
4 ; ------------------------------------
5 ; Werkzeuge
6 ;   #1 D=10 - ZMIN=+0 - ZMAX=+3 - Schaftfräser
7 ;   #2 D=8 KONIK=118(Grad): - ZMIN=-23 - ZMAX=+3 - Bohrer
8 ; ------------------------------------
9 ;
10 M9
11 L Z+0 R0 FMAX M91
12 M5
13 TOOL CALL 1 Z S800
14 M3
15 L X+27.89 Y+57.5 R0 FMAX
16 L Z+3 R0 FMAX
17 M8
18 L Z+1 F1000
19 CC Y+56.5 Z+1
20 C Y+56.5 Z+0 DR-
21 L Y+51
22 L Y-1 F240
23 CC X+23.882 Y-1
24 C X+19.875 DR-
25 L Y+51
26 CC X+15.868 Y+51
27 C X+11.86 DR+
28 L Y-1
29 CC X+7.852 Y-1
30 C X+3.845 DR-
31 L Y+51
32 CC Y+51 Z+1
33 C Y+52 Z+1 DR+ F1000
34 L Z+3 FMAX
35 M9
```

```
36 L Z+0 R0 FMAX M91
37 M5
38 M1
39 TOOL CALL 2 Z S1000
40 M3
41 L X+15 Y+20 R0 FMAX
42 L Z+3 R0 FMAX
43 M8
44 L FMAX
45 CYCL DEF 1.0 PECKING
46 CYCL DEF 1.1 SET UP +3
47 CYCL DEF 1.2 DEPTH -23
48 CYCL DEF 1.3 PECKG +5
49 CYCL DEF 1.4 DWELL 0
50 CYCL DEF 1.5 F150
51 L FMAX M99
52 L Z+3 FMAX
53 M9
54 M5
55 L Z+0 R0 FMAX M91
56 M30
57 END PGM 1005 MM

N10 %1006 G71
(QUADER-HEIDENHAIN ISO)
N15 G30 G17 X-1. Y-1. Z-20.
N20 G31 G90 X+31. Y+51. Z+1.
(T1  D=10. CR=0. - ZMIN=0. - SCHAFTFRSER)
(T2  D=8. CR=0. KONIK=118GRAD - ZMIN=-23. - BOHRER)
N25 G94
N30 G00 G40 Z+0. M91
(PLANEN3)
N40 M09
N45 T1 G17 S800
N50 S800 M03
N55 M08
N65 G00 X+27.89 Y+57.5
N70 Z+3.
N75 G01 Z+1. F1000.
N80 J+56.5 K+1. G19 G02 Y+56.5 Z+0.
N85 G01 Y+51.
N90 Y-1. F240.
N95 I+23.882 J-1. G17 G02 X+19.875
N100 G01 Y+51.
N105 I+15.868 J+51. G03 X+11.86
N110 G01 Y-1.
N115 I+7.852 J-1. G02 X+3.845
N120 G01 Y+51.
N125 J+51. K+1. G19 G03 Y+52. Z+1. F1000.
N130 G00 Z+3.
N135 G17
N140 G00 G40 Z+0. M91
(BOHREN2)
N150 M09
N155 M01
N160 T2 G17 S1000
N165 S1000 M03
N170 M08
N180 G00 X+15. Y+20.
N185 Z+3.
N195 G83 P01 -3. P02 -23. P03 +5. P04 0 P05 F150.
N200 M99
N205 G00 Z+3.
```

```
N215 M09
N220 G00 G40 Z+0. M91
N225 M30
N230 %1006 G71


%
O1007 (Quader-Hurco)
(T1 D=10. CR=0. - ZMIN=0. - Schaftfraser)
(T2 D=8. CR=0. KONIK=118Grad: - ZMIN=-23. - Bohrer)
N1 G90 G17
N2 G21
N3 M59
N4 G0 M140
(Planen3)
N5 T1 M6
N6 T2
N7 S800 M3
N8 G54
N9 M8
N10 G0 X27.89 Y57.5
N11 G43 Z3. H1
N12 G1 Z1. F1000.
N13 G19 G2 Y56.5 Z0. J-1. K0.
N14 G1 Y51.
N15 Y-1. F240.
N16 G17 G2 X19.875 I-4.007 J0.
N17 G1 Y51.
N18 G3 X11.86 I-4.007 J0.
N19 G1 Y-1.
N20 G2 X3.845 I-4.007 J0.
N21 G1 Y51.
N22 G19 G3 Y52. Z1. J0. K1. F1000.
N23 G0 Z3.
N24 G17
N25 M5
N26 G0 M140
(Bohren2)
N27 M9
N28 M1
N29 T2 M6
N30 T1
N31 S1000 M3
N32 G54
N33 M8
N34 G0 X15. Y20.
N35 G43 Z3. H2
N36 G98 G83 X15. Y20. Z-23. R2. Q5. F150.
N37 G80
N38 Z3.
N39 M9
N40 G0 M140
N41 G28 G91 X0. Y0.
N42 M33
N43 M35
N44 M13
N45 G69
N46 M31
N47 M32
N48 M34
N49 M12
N50 M61
N51 M2
```

```
N52 E

N10 IMF_PBL 1008
N15 ; Quader-Isel
N20 ; geschatzte Zykluszeit: 1m:12s
N25 ; T1  D=10 CR=0 - ZMIN=0 - Schaftfraser
N30 ; T2  D=8 CR=0 KONIK=118(Grad): - ZMIN=-23 - Bohrer
N35 METRIC
N40 WPCLEAR
N45 FASTABS Z0
N50 WPZERO STANDARD
N55 ; Planen3
N60 GETTOOL 1
N65 SPINDLE CW RPM800
N70 FASTABS X27890 Y57500
N75 FASTABS Z3000
N80 COOLANT ON
N85 VEL 16667
N90 MOVEABS Z1000
N95 PLANE YZ
N100 CWABS J56500 K1000 Y56500 Z0
N105 MOVEABS Y51000
N110 VEL 4000
N115 MOVEABS Y-1000
N120 PLANE XY
N125 CWABS I23882 J-1000 X19875
N130 MOVEABS Y51000
N135 CCWABS I15868 J51000 X11860
N140 MOVEABS Y-1000
N145 CWABS I7852 J-1000 X3845
N150 MOVEABS Y51000
N155 VEL 16667
N160 PLANE YZ
N165 CCWABS J51000 K1000 Y52000 Z1000
N170 FASTABS Z3000
N175 ; Bohren2
N180 COOLANT OFF
N185 SPINDLE OFF
N190 GETTOOL 2
N195 SPINDLE CW RPM1000
N200 FASTABS X15000 Y20000
N205 FASTABS Z3000
N210 COOLANT ON
N215 FASTABS Z2000
N220 VEL 2500
N225 MOVEABS Z-5000
N230 FASTABS Z2000
N235 FASTABS Z-3000
N240 VEL 2500
N245 MOVEABS Z-10000
N250 FASTABS Z2000
N255 FASTABS Z-8000
N260 VEL 2500
N265 MOVEABS Z-15000
N270 FASTABS Z2000
N275 FASTABS Z-13000
N280 VEL 2500
N285 MOVEABS Z-20000
N290 FASTABS Z2000
N295 FASTABS Z-18000
N300 VEL 2500
N305 MOVEABS Z-23000
N310 FASTABS Z3000
```

```
N315 FASTABS Z3000
N320 COOLANT OFF
N325 SPINDLE OFF
N330 PROGEND

(1009)
(QUADER-MACH 3)
(T1  D=10. CR=0. - ZMIN=0. - SCHAFTFRSER)
(T2  D=8. CR=0. KONIK=118GRAD - ZMIN=-23. - BOHRER)
G90 G94 G91.1 G40 G49 G17
G21
G28 G91 Z0.
G90
(PLANEN3)
M5
M9
T1 M6
S800 M3
G54
M8
G0 X27.89 Y57.5
G43 Z3. H1
G1 Z1. F1000.
G19 G2 Y56.5 Z0. J-1. K0.
G1 Y51.
Y-1. F240.
G17 G2 X19.875 I-4.007 J0.
G1 Y51.
G3 X11.86 I-4.007 J0.
G1 Y-1.
G2 X3.845 I-4.007 J0.
G1 Y51.
G19 G3 Y52. Z1. J0. K1. F1000.
G0 Z3.
G17
G28 G91 Z0.
G90
(BOHREN2)
M5
M9
M1
T2 M6
S1000 M3
G54
M8
G0 X15. Y20.
G43 Z3. H2
G98 G83 X15. Y20. Z-23. R2. Q5. F150.
G80
Z3.
M9
G28 G91 Z0.
G28 X0. Y0.
M30

%
O1010 (QUADER-MITSUBISHI)
(T1  D=10. CR=0. - ZMIN=0. - SCHAFTFRSER)
(T2  D=8. CR=0. KONIK=118GRAD - ZMIN=-23. - BOHRER)
N10 G90 G94 G17
N15 G21
N20 G28 G91 Z0.
N25 G90
```

```
(PLANEN3)
N30 M09
N35 T1 M06
N40 T2
N45 S800 M03
N50 G54
N55 M08
N65 G00 X27.89 Y57.5
N70 G43 Z3. H01
N75 G01 Z1. F1000.
N80 G19 G02 Y56.5 Z0. J-1.
N85 G01 Y51.
N90 Y-1. F240.
N95 G17 G02 X19.875 I-4.007
N100 G01 Y51.
N105 G03 X11.86 I-4.007
N110 G01 Y-1.
N115 G02 X3.845 I-4.007
N120 G01 Y51.
N125 G19 G03 Y52. Z1. K1. F1000.
N130 G00 Z3.
N135 G17
N140 G28 G91 Z0.
N145 G90
(BOHREN2)
N150 M09
N155 M01
N160 T2 M06
N165 T1
N170 S1000 M03
N175 G54
N180 M08
N190 G00 X15. Y20.
N195 G43 Z3. H02
N205 G98 G83 X15. Y20. Z-23. R2. Q5. F150.
N210 G80
N215 Z3.
N225 M09
N230 G28 G91 Z0.
N235 G28 X0. Y0.
N240 M30
%

O1011
(Quader-Okuma)
(T1 D=10. CR=0. - ZMIN=0. - Schaftfraser)
(T2 D=8. CR=0. KONIK=118Grad: - ZMIN=-23. - Bohrer)
N1 G40 G80 G90 G94 G17
N2 G21
N3 G00 Z9999.
(Planen3)
N4 M09
N5 T1 M06
N6 T2
N7 S800 M03
N8 G15 H01
N9 M08
N11 G00 X27.89 Y57.5
N12 G56 Z3. H01
N13 G01 Z1. F1000
N14 G19 G02 Y56.5 Z0. J-1.
N15 G01 Y51.
N16 Y-1. F240
```

```
N17 G17 G02 X19.875 I-4.007
N18 G01 Y51.
N19 G03 X11.86 I-4.007
N20 G01 Y-1.
N21 G02 X3.845 I-4.007
N22 G01 Y51.
N23 G19 G03 Y52. Z1. K1. F1000
N24 G00 Z3.
N25 M05
N26 Z9999.
(Bohren2)
N27 M09
N28 M01
(T2)
N29 M06
N30 T1
N31 S1000 M03
N32 G15 H01
N33 M08
N34 G17
N35 G00 X15. Y20.
N36 G56 Z3. H02
N38 G71 Z3.
N39 G90 G83 X15. Y20. Z-23. R2. Q5. F150 M53
N41 G00 Z3.
N42 M05
N43 M09
N44 Z9999.
N45 X9999. Y9999.
N46 M02

%
O00001012
(QUADER-ROLAND ISO)
(T1  D=10. CR=0. - ZMIN=0. - SCHAFTFRASER)
(T2  D=8. CR=0. KONIK=118(GRAD): - ZMIN=-23. - BOHRER)
G90 G94 G17
G21
G91
G28 Z0.
G90
(PLANEN3)
T1 M6
S800 M3
G54
G0 X27.89 Y57.5
G43 Z3. H1
G1 Z1. F1000.
G19 G2 Y56.5 Z0. J-1.
G1 Y51.
Y-1. F240.
G17 G2 X19.875 I-4.007
G1 Y51.
G3 X11.86 I-4.007
G1 Y-1.
G2 X3.845 I-4.007
G1 Y51.
G19 G3 Y52. Z1. K1. F1000.
G0 Z3.
G17
G91
G28 Z0.
G90
```

```
(BOHREN2)
M1
T2 M6
S1000 M3
G54
G0 X15. Y20.
G43 Z3. H2
G98 G83 X15. Y20. Z-23. R2. Q5. F150.
G80
G0 Z3.
G91
G28 Z0.
M5
G28 X0. Y0.
M30
%

; %_N_1013_MPF
N10 ; Quader-Siemens 802D
N11 ; T1  D=10 CR=0 - ZMIN=0 - Schaftfraser
N12 ; T2  D=8 CR=0 KONIK=118(Grad): - ZMIN=-23 - Bohrer
N13 G90 G94
N14 G71
N15 G64
N16 G17
N17 G53 G0 Z0
N18 ; Planen3
N19 M9
N20 T1 D1
N21 M6
N22 T2
N23 S800 M3
N24 G54
N25 M8
N26 X27.89 Y57.5
N27 Z3
N28 G1 Z1 F1000
N29 G17
N30 G2 Y56.5 Z0 J-1 K0
N31 G1 Y51
N32 Y-1 F240
N34 G2 X19.875 I-4.007 J0
N35 G1 Y51
N37 G3 X11.86 I-4.007 J0
N38 G1 Y-1
N40 G2 X3.845 I-4.007 J0
N41 G1 Y51
N43 G3 Y52 Z1 J0 K1 F1000
N44 G0 Z3
N46 G53 G0 Z0
N47 ; Bohren2
N48 M9
N49 M1
N50 T2 D1
N51 M6
N52 T1
N53 S1000 M3
N54 G54
N55 M8
N56 X15 Y20
N57 Z3
N58 G17
N59 F150
```

```
N60 MCALL CYCLE83(3, 0, 2, -23, , -5, , 0, , , 1, 1, , 5, 0, 0, 0)
N61 MCALL
N62 G0 X15 Y20 Z3
N64 G53 G0 Z0
N65 M30

; %_N_1014_MPF
N10 ; Quader-Siemens 840D
N11 ; T1 D=10 CR=0 - ZMIN=0 - Schaftfraser
N12 ; T2 D=8 CR=0 KONIK=118(Grad): - ZMIN=-23 - Bohrer
N13 WORKPIECE(,,,"BOX",112,1,-20,80,31,51,-1,-1)
N14 G90 G94
N15 G71
N16 G64
N17 G17
N18 G0 SUPA Z0 D0
N19 ; Planen3
N20 M9
N21 T1 D1
N22 M6
N23 T2
N24 S800 M3
N25 G54
N26 G0 X27.89 Y57.5
N27 G0 Z3
N28 M8
N29 G1 Z1 F1000
N30 G17
N31 G2 Y56.5 Z0 CR=1
N32 G1 X27.89 Y51
N33 G1 Y-1 F240
N35 G2 X23.882 Y-5.007 CR=4.007
N37 G2 X19.875 Y-1 CR=4.007
N38 G1 Y51 Z0
N40 G3 X15.868 Y55.008 CR=4.008
N42 G3 X11.86 Y51 CR=4.008
N43 G1 Y-1 Z0
N45 G2 X7.852 Y-5.007 CR=4.007
N47 G2 X3.845 Y-1 CR=4.007
N48 G1 Y51 Z0
N50 G3 Y52 Z1 CR=1 F1000
N51 G0 X3.845 Z3
N53 G0 SUPA Z0 D0
N54 ; Bohren2
N55 M9
N56 M1
N57 T2 D1
N58 M6
N59 T1
N60 S1000 M3
N61 G54
N62 G0 X15 Y20
N63 G0 Z3
N64 M8
N65 G17
N66 F150
N67 MCALL CYCLE83(3, 0, 2, -23, , -5, , 0, , , 1, 1, , 5, 0, 0, 0)
N68 X15 Y20
N69 MCALL
N70 G0 Z3
N72 G0 SUPA Z0 D0
N73 M30
```

19.07 Beschreibung der wichtigsten CNC-Befehle

Die nachfolgend aufgeführten Befehle sind nicht vollständig und können, je nach Steuerung, weniger umfangreich sein oder um zusätzliche Befehle ergänzt werden. Dies hängt vor allem von der Ausbaustufe der jeweiligen Maschine ab.

Die meisten Funktionen sind modal wirksam (selbsthaltend). Das bedeutet, dass ein Wert so lange gültig bleibt, bis er durch einen anderen ersetzt, oder die Steuerung zurückgesetzt wird. Z. B. genügt es, den Vorschub F nur einmal anzugeben, anstatt ihn in jedem Satz neu zu schreiben.
Die selbsthaltenden Funktionen sind in der nachfolgenden Liste nicht extra als solche gekennzeichnet.

Einige Befehle sind beim Einschalten der Steuerung automatisch angewählt und wirksam (Einschaltstellung).
Diese Funktionen sind in der Liste jeweils als „Einschaltstellung“ gekennzeichnet.

Andere Funktionen sind nur satzweise wirksam, weil eine weitere Ausführung nicht sinnvoll ist. Die Funktion ist dann nur im betreffenden Satz gültig und wird nicht wiederholt.
Diese Funktionen sind in der Liste jeweils als „satzweise wirksam“ gekennzeichnet.

Zusätzlich sind die Funktionen in Gruppen unterteilt und werden nach Priorität geordnet.
Befehle innerhalb derselben Gruppe schließen sich gegenseitig aus und dürfen nicht im selben Satz stehen, weil alle Befehle innerhalb eines Satzes gleichzeitig wirksam sein sollen. Z. B. G01 und G02 oder M03 und M05.
Obwohl die Befehle innerhalb eines Satzes angeblich gleichzeitig abgearbeitet werden, muss aus Gründen der Logik eine Reihenfolge eingehalten werden, welche Funktion in dem betreffenden Satz wann einzuschalten ist (Priorität).

Bei Drehmaschinen gibt es die Typen A, B und C. Die Typen A und B können in den Maschinendaten ausgewählt werden. Typ C ist für spezielle Aufgaben optional erhältlich.

Bei Typ A und B sind einige Befehle unterschiedlich:

Anstatt U und W bei Typ A für die Inkrementalbewegungen der X- und Z-Achse wird bei Typ B mit G90 und G91 sowie mit X und Z wie beim Fräsen gearbeitet.

Anstatt eines einfachen Gewindezyklus G92 beim Typ A bedeutet G92 bei Typ B eine Nullpunktverschiebung wie beim Fräsen.

Bei Typ A ist G98 = Vorschub / Minute und G99 = Vorschub / Umdrehung. Dagegen ist bei Typ B G94 = Vorschub / Minute und G95 = Vorschub / Umdrehung.

In diesem Buch wird nur mit dem Drehmaschinen-Standardtyp A gearbeitet.

G-BEFEHLE, von englisch „go“, wie gehen, vorbereitende Wegbedingungen, alles was mit dem Koordinatensystem und den Achsbewegungen zusammenhängt

G00 Geraden-Interpolation im Eilgang, Einschaltstellung
Das Werkzeug fährt mit Höchstgeschwindigkeit auf die programmierte Position. Je nach Steuerung wird die Bewegung interpoliert oder ohne Interpolation ausgeführt. Wenn dabei keine Interpolation zwischen zwei oder mehr Achsen stattfindet, erreicht die Achse mit dem kürzer zurückgelegten Weg zuerst ihre Position, während die andere noch weiterläuft. Dies kann zu ungewollten Bewegungen führen. Deshalb sicherheitshalber keinen Eilgang innerhalb von Werkstücken oder zwischen überstehenden Spannmitteln verwenden.

G01 Geraden-Interpolation mit Vorschub
Das Werkzeug fährt mit dem programmierten Vorschubwert auf die angegebene Position. Dabei werden die Positionen entlang einer Geraden ständig miteinander verglichen und korrigiert, so dass die Bewegung eigentlich in vielen kleinen Stufen möglichst entlang der Ideallinie erfolgt (Interpolation). Der Vorschub muss spätestens beim ersten Satz mit G01, G02 oder G03 angegeben werden.

G02 Kreis-Interpolation im Uhrzeigersinn
Das Werkzeug fährt einen Kreisbogen mit Vorschub auf die programmierte Endposition des Bogens.
Entweder mit I, J und K oder mit R+ bzw. R- benutzen.

G03 Kreis-Interpolation im Gegenuhrzeigersinn
Das Werkzeug fährt einen Kreisbogen mit Vorschub auf die programmierte Endposition des Bogens.
Entweder mit I, J und K oder mit R+ bzw. R- benutzen.

G04 Verweilzeit, satzweise wirksam
Das Werkzeug bleibt für die Dauer der programmierten Zeit auf der letzten Position stehen, z. B zum Freischneiden.
Die gewünschte Zeit wird mit dem Parameter P in Sekunden angegeben. Bei manchen Steuerungen wird anstatt P der Buchstabe F, X oder U benutzt und es ist auch möglich, dass die Zeit in Millisekunden (1/1000) Sekunden angegeben wird.
G04 muss als allein stehender Satz in einer extra Zeile geschrieben werden.

G09 Genauhalt, satzweise wirksam
Um Freischneidmarken zu vermeiden, werden normalerweise die Ecken und Kanten eines Werkstückes nicht genau angefahren, sondern „überschliffen“, damit ein Null-Vorschub bei der Richtungsänderung vermieden wird. Sollte die erhöhte Genauigkeit gefordert sein, ist in dem betreffenden Satz G09 zu programmieren.
Siehe auch G61, G62, G63 und G64

G10 Werkzeugkorrektur-Wert ändern
Hiermit kann einem Werkzeug ein anderer Werkzeugkorrekturwert (Radius) im Werkzeugkorrektur-Speicher zugeordnet werden. Z. B. wenn mit dem selben Werkzeug zuerst geschruppt und danach geschlichtet werden soll.
Erforderliche Parameter für Korrekturnummer = P und für Radius = R.
Zurücksetzen nicht vergessen, um Originalwert im Speicher wiederherzustellen.
Diese Funktion ist nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G12 Kreiszyklus im Uhrzeigersinn, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam
Ermöglicht das Fräsen eines Innenkreises als Vollkreis im Uhrzeigersinn. Dazu wird die Kreismitte angefahren, in einem Halbkreis an den Vollkreis angefahren, der Vollkreis gefräst und wieder im Halbkreis aus dem Vollkreis ausgefahren. Wird mit I und D programmiert. I ist der Radius und D die Werkzeugradius-Korrekturnummer. Wenn I positiv ist, beginnt der Vollkreis rechts, also in 3 Uhr-Stellung. Wenn I negativ angegeben wird, dann wird der Vollkreis links (in 9 Uhr-Stellung) angefahren.
Eine Kombination mit G41 oder G42 ist nicht zulässig, da der Fräserradius schon mit D berücksichtigt wird.
Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G13 Kreiszyklus im Gegenuhrzeigersinn, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam
Fräsen eines Innenkreises als Vollkreis im Gegenuhrzeigersinn, sonst wie G12.
Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G17 Arbeitsebene in X und Y, **Fräsmaschine**, Einschaltstellung
Die Angabe der Arbeitsebene ist erforderlich, damit die Steuerung Kreisbewegungen und Radiuskorrekturen richtig berechnen kann.
Die Standardeinstellung bei Fräsmaschinen ist normalerweise G17, Radiuskorrekturen und Kreisbewegungen werden in der X- und Y-Achse ausgeführt. Die Interpolationsparameter für Kreisbewegungen sind I und J.

G18 Arbeitsebene in Z und X, **Fräsmaschine**
Ist üblicherweise die Standardeinstellung bei Drehmaschinen und kann auch nach dem Umbau einer Universal-Fräsmaschine die neue Arbeitsebene sein.
Radiuskorrekturen und Kreisbewegungen werden in der X- und Z-Achse ausgeführt. Die Interpolationsparameter für Kreisbewegungen sind I und K.

G19 Arbeitsebene in Y und Z, **Fräsmaschine**
Es gibt auch Fälle, wo die Arbeitsebene in Y und Z liegt.
Radiuskorrekturen und Kreisbewegungen werden in der Y- und Z-Achse ausgeführt. Die Interpolationsparameter für Kreisbewegungen sind J und K.
Anmerkung: G17, G18, G19 können auch in Drehzentren, welche für Fräsarbeiten eingerichtet sind, vorkommen.

G20 Einheiten in Zoll (inch)
Normalerweise wird die Maschine im Maschinendaten-Speicher fest auf metrisch oder Zoll eingestellt (Einschaltstellung). Falls jedoch ausnahmsweise mit den anderen Einheiten gearbeitet werden muss, kann G20 oder G21 am Anfang des CNC-Programms geschrieben werden. Eine Mischung innerhalb eines Programms sollte nicht erfolgen, da auch Nullpunkte und Werkzeugdaten von den gewählten Einheiten abhängen.
Bei Standardsteuerungen beträgt die feinste Auflösung 0,0001 Zoll = 0,00254mm.
Siehe auch G70

G21 Einheiten metrisch (Millimeter)
Es gelten die selben Regeln wie bei G20
Bei Standardsteuerungen beträgt die feinste Auflösung 0,001 mm.
Siehe auch G71

G28 Referenzpunkt anfahren, satzweise wirksam
Von der letzten Position aus wird der Referenzpunkt mit Eilgang angefahren. Wenn X und/oder Y und/oder Z dazu programmiert wird, dann wird der Referenzpunkt über diesen Zwischenpunkt angefahren.

G29 Vom Referenzpunkt zurückfahren, satzweise wirksam
Vom Referenzpunkt aus wird die letzte Position wieder mit Eilgang angefahren. Wenn X und/oder Y und/oder Z dazu programmiert wird, dann wird der Zielpunkt über diesen Zwischenpunkt angefahren.

G30 Zweiten Referenzpunkt anfahren, satzweise wirksam
Falls in den Maschinendaten ein zweiter Referenzpunkt bestimmt wurde, kann dieser auf die selbe Weise wie bei G28 angefahren werden.

G32 Gewindeschneiden, **Drehmaschine**, satzweise wirksam
Diese Funktion synchronisiert die Umdrehungen der Hauptspindel mit dem Vorschubwert (Steigung), so dass der Drehmeißel immer an der selben Position in das Werkstück eindringt (wichtig für ein Gewinde, das in mehreren Schnitten gefertigt wird). Außerdem werden die programmierten Werte auf 100 % gesetzt und die Potentiometer für Drehzahl und Vorschub deaktiviert (M49). Dies bedeutet: sorgfältig programmieren, da beim Probelauf hier nicht eingegriffen werden kann. Diese Funktion ist auch in den Gewindeschneidzyklen G76 und G92 enthalten.
Bei dafür eingerichteten Fräsmaschinen können mit dieser Funktion ebenfalls Gewinde mittels eines Ausdrehwerkzeuges geschnitten werden.
Bei verschiedenen Steuerungen kann diese Funktion auch als G33 bezeichnet sein. Siehe ebenfalls G63.

G34 Bohrbild Kreis, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam
Ermöglicht die einfache Programmierung von kreisförmig angeordneten Bohrungen. Die Bohrungen werden automatisch gleichmäßig auf dem Kreis verteilt.
Parameter: X und Y = Kreismittelpunkt, W = Bohrungstiefe, I = Radius, J = Anfangswinkel, K = Anzahl der Bohrungen, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.
G34 X50 Y50 W-10 I40 J30 K12 R2 F130
Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G35 Bohrbild Linie mit Winkel, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam
Ermöglicht die einfache Programmierung von auf einer Geraden angeordneten Bohrungen unter einem bestimmten Winkel. Die Bohrungen werden in einem bestimmten Abstand entlang der Geraden positioniert.
Parameter: X und Y = Erste Bohrung, W = Bohrungstiefe, I = Abstand, J = Winkel, K = Anzahl der Bohrungen, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.
G35 X10 Y10 W-10 I15 J25 K7 R2 F130
Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G40 Aufheben der Radiuskorrektur, Einschaltstellung
Eine zuvor mit G41 / G42 angewählte Radiuskorrektur wird abgewählt, ein Fräswerkzeug fährt auf der Mittelpunktsbahn oder ein Drehmeißel folgt dem Messpunkt.

G41 Radiuskorrektur links der Kontur
Hiermit wird ein Fräswerkzeug um den im Werkzeugspeicher abgelegten Radiuswert, in Fahrtrichtung des Werkzeuges gesehen, nach links versetzt. Aufruf des Korrekturwertes beim Fräsen mit Dxx.
Ein Drehmeißel wird mit seinem Radiusmittelpunkt ebenfalls nach links versetzt und zusätzlich wird der Versatz des Messpunktes zur Radiusmitte berücksichtigt. Dazu ist außer dem Radius noch die Richtung des Drehmeißels im Werkzeugspeicher abzulegen. Aufruf beim Drehen mit Txxxx, wobei die zwei letzten Stellen die Werkzeugkorrekturnummer im Speicher bedeuten.

G42 Radiuskorrektur rechts der Kontur
Das selbe wie G41, nur alles in Fahrtrichtung rechts der Kontur gesehen.

G43 Werkzeuglängenkorrektur Plus, **Fräsmaschine**
Hier wird die Werkzeuglänge oder eine positive Differenz zu einem Referenzwerkzeug eingerechnet. Aufruf mit Hxx.

G44 Werkzeuglängenkorrektur Minus, **Fräsmaschine**
Falls mit einem Referenzwerkzeug gearbeitet wird und ein negativer Wert zu berücksichtigen ist, wird G44 benutzt. Aufruf mit Hxx.

G49 Werkzeuglängenkorrektur aufheben, **Fräsmaschine**, Einschaltstellung
Abwahl einer Längenkorrektur G43 oder G44. Es wird mit einer Werkzeuglänge 0 (Null) gerechnet.

G50 Maximale Spindeldrehzahl, **Drehmaschine**
Festlegen der maximal erlaubten Spindeldrehzahl am Programmanfang

G52 Lokales Koordinatensystem
Zusätzlich zu den Werkstücknullpunkten G54 bis G59 kann damit eine weitere Koordinatenverschiebung erfolgen. G52 ist abhängig vom vorher benutzten Nullpunkt G54 bis G59 und wird z. B. bei Mehrfachaufspannungen benutzt.
Um die Verschiebung aufzuheben, muss sie wieder zurückgesetzt werden.
Siehe auch G92.

G53 Referenzpunkt-Koordinaten, satzweise wirksam
Hiermit werden alle Koordinatenverschiebungen außer Kraft gesetzt, die Positionen beziehen sich auf den Referenzpunkt der Maschine. Wird z. B. beim Anfahren eines festen Werkzeugwechselpunktes angewendet.

G54 Werkstücknullpunkt 1 (Standard-Nullpunkt), Einschaltstellung
Ist der vom Programmierer festgelegte Nullpunkt auf dem Werkstück, auf den sich alle programmierten Positionen beziehen.

G55 Werkstücknullpunkt 2
G56 Werkstücknullpunkt 3
G57 Werkstücknullpunkt 4
G58 Werkstücknullpunkt 5
G59 Werkstücknullpunkt 6
G55 bis G59 sind weitere mögliche Werkstücknullpunkte, jedoch nicht Einschaltstellung. Sinnvoll, wenn ein Werkstück auf mehreren Seiten bearbeitet wird, oder wenn eine bestimmte Bearbeitungsfolge mit einem neuen Nullpunkt leichter zu programmieren ist.

G61 Genauhalt
Funktion wie G09, jedoch so lange wirksam, bis G61 durch G62, G63 oder G64 abgewählt wird.

G62 Vorschubkorrektur an Ecken (Override)
Hierbei wird beim Verfahren des Werkzeugs an einer Innenecke eine Übersteuerung des Vorschubs bewirkt, so dass eine saubere Oberfläche erreicht wird.

G63 Gewindebohren
Hierbei wird die Bewegung am Endpunkt eines Satzes nicht zuerst abgebremst, sondern gleich der folgende Satz ausgeführt. Zusätzlich werden die programmierten Werte auf 100 % gesetzt und die Potentiometer für Drehzahl und Vorschub deaktiviert (M49). Dies bedeutet: sorgfältig programmieren, da beim Probelauf hier nicht eingegriffen werden kann. Diese Funktion ist in den Gewindebohrzyklen G74 und G84 enthalten. Siehe auch G32.

G64 Bahnsteuerbetrieb, Einschaltstellung
Ist die Standard-Betriebsart beim Drehen und Fräsen. Um Freischneidmarken zu vermeiden, werden normalerweise die Ecken und Kanten eines Werkstückes nicht genau angefahren, sondern „überschliffen“, damit ein Null-Vorschub bei der Richtungsänderung vermieden wird. Siehe auch G09, G61 und G62.

G70 Schlichtzyklus, **Drehmaschine**, satzweise wirksam
Zum Schlichten einer Kontur. Die Fertigkontur ist im Programm enthalten und wird durch die Satznummern P bis Q definiert. P = erster Satz der Fertigkontur (z. B. N50), Q = letzter Satz der Fertigkontur (z. B. N60), F = Vorschub.
G70 P50 Q60 F0.05

G70 Einheiten in Zoll, bei diversen Steuerungen
Funktion wie G20. Alle Maße in Inch.

G71 Einheiten in Millimeter, bei diversen Steuerungen
Funktion wie G21. Alle Maße in mm.

G71 Längsschruppzyklus, **Drehmaschine**, satzweise wirksam
Zum Schruppen einer Kontur in Längsrichtung (Z). Die Fertigkontur ist im Programm enthalten und wird durch die Satznummern P bis Q definiert. P = erster Satz der Fertigkontur, Q = letzter Satz der Fertigkontur, U = Schlichtaufmaß in X-Richtung (durchmesserbezogen), W = Schlichtaufmaß in Z-Richtung, D = Zustelltiefe in X (radiusbezogen), F = Vorschub.
G71 P70 Q80 U0.4 W0.2 D1 F0.15

G72 Planschruppzyklus, **Drehmaschine**, satzweise wirksam
Zum Schruppen einer Kontur in Planrichtung (X). Die Fertigkontur ist im Programm enthalten und wird durch die Satznummern P bis Q definiert. P = erster Satz der Fertigkontur, Q = letzter Satz der Fertigkontur, U = Schlichtaufmaß in X-Richtung (durchmesserbezogen), W = Schlichtaufmaß in Z-Richtung, D = Zustelltiefe in Z,
F = Vorschub.
G72 P70 Q80 U0.2 W0.1 D1 F0.1

G72 Rechtecktaschenzyklus, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam
Zum Fräsen einer rechteckigen Tasche mit variabler Länge und Breite. Die Tiefenzustellung erfolgt in der Mitte der Tasche. Falls für den Fräser vorgebohrt werden muss, die Bohrung ebenfalls dort setzen. Zuerst muss der Startpunkt über der Mitte des Rechtecks angefahren werden (z. B. wie in N0065 und N0070). Die Parameter bei G72 sind: X = Größe der Tasche in X, Y = Größe der Tasche in Y, Z = Gesamttiefe,
D = Werkzeugkorrekturnummer im Speicher, H = seitliche Fräserzustellung,
Q = Fräserzustellung in der Tiefe, F = Vorschub.
N0065 G0 X50 Y50 M8
N0070 G43 Z2 H2
N0075 G72 X80 Y40 Z-10 D2 H5 Q4 F160
Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar oder liegt in abgewandelter Form vor.

G73 Schruppzyklus konturparallel, **Drehmaschine**, satzweise wirksam
Für vorgefertigte Werkstücke, insbesondere Gussteile. Zum Schruppen parallel zu einer Kontur. Die Fertigkontur ist im Programm enthalten und wird durch die Satznummern P bis Q definiert. P = erster Satz der Fertigkontur, Q = letzter Satz der Fertigkontur, I = Zustellung in X (durchmesserbezogen), K = Zustellung in Z, U = Schlichtaufmaß in X-Richtung (durchmesserbezogen), W = Schlichtaufmaß in Z-Richtung, D = Anzahl der Schnitte, F = Vorschub.
G73 P55 Q75 I15 K7.5 U1 W1 D8 F0.15

G73 Bohrzyklus mit unterbrochenem Schnitt, **Fräsmaschine**
Im Gegensatz zum Tiefbohrzyklus G83 fährt dieser Zyklus nicht ganz aus der Bohrung heraus, um zu entspänen. Er hebt bei jedem Bohrhub nur um einen kleinen Betrag ab, um die Späne zu brechen. Danach wird auf den nächsten Bohrhub zugestellt. Der Abhebewert wird in den Maschinendaten definiert. X und Y = Position der Bohrung, Z = Endbohrtiefe, Q = Zustellung, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.
G73 X20 Y50 Z-20 Q3 R2 F130
Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G74 Schruppzyklus mit unterbrochenem Schnitt, **Drehmaschine**, satzweise wirksam
Zum Längsschruppen oder zum Tiefbohren. Der Zyklus hebt nach jeder Zustellung nur um einen kleinen Betrag ab, um die Späne zu brechen. Danach wird weiter zugestellt. Der Abhebewert wird in den Maschinendaten definiert. Startpunkt X und Z anfahren und danach den Zyklus aufrufen. Wenn gebohrt werden soll, dann wird der Bohrer auf die Werkstückmitte X0 positioniert. Z = Fertigmaß/Tiefe in Z, K = Zustellung, F = Vorschub.
G74 Z-30 K5 F0.15

G74 Gewindebohrzyklus für Linksgewinde, **Fräsmaschine**
Arbeitet ähnlich wie der Standard-Gewindebohrzyklus G84, nur mit umgekehrten Drehrichtungen. Das Werkzeug wird mit Eilgang auf die Startposition (Anfangsebene) positioniert. Die Drehrichtung wechselt nach links (M04). Der Gewindebohrer fährt mit Vorschub auf die Tiefe Z. Die Drehrichtung wechselt nach rechts (M03) und der Gewindebohrer fährt mit Vorschub zur Rückzugsebene. X und Y = Bohrungsposition, Z = Gewindetiefe, R = Rückzugsebene, F = Vorschub, errechnet aus Drehzahl mal Steigung und eventuell für Ausgleichsfutter um rund 10% reduziert.
G74 X20 Y50 Z-25 R4 F450
Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G75 Einstechzyklus, **Drehmaschine**, satzweise wirksam
Zum Einstechen mit unterbrochenem Vorschub. Der Zyklus hebt nach jeder Zustellung nur um einen kleinen Betrag ab, um die Späne zu brechen. Danach wird weiter zugestellt. Der Abhebewert wird in den Maschinendaten definiert. Startpunkt X und Z anfahren und danach den Zyklus aufrufen. X und Z = Endpunkt, I = Zustellungstiefe in X (radiusbezogen), K = seitlicher Versatz, F = Vorschub.
G75 X40 Z-20 I1 K3 F0.15

G75 Kreistaschenzyklus, **Fräsmaschine**, satzweise wirksam
Zum Fräsen einer Kreistasche mit variablem Durchmesser und Tiefe. Die Tiefenzustellung erfolgt in der Mitte der Tasche. Falls für den Fräser vorgebohrt werden muss, die Bohrung ebenfalls dort setzen. Die Parameter bei G75 sind:
X und Y = Mittelpunkt, Z = Gesamttiefe, R = Radius der Kreistasche,
D = Werkzeugkorrekturnummer im Speicher, H = seitliche Fräserzstellung,
Q = Fräserzustellung in der Tiefe, F = Vorschub.
G75 X50 Y50 Z-10 R40 D2 H6 Q5 F160
Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar oder liegt in abgewandelter Form vor.

G76 Gewindezyklus, **Drehmaschine**, satzweise wirksam
Schneiden von geraden und kegeligen Gewinden mit einstellbarer Flankenzustellung. X und Z = Endpunkt des Gewindes, A = Winkel zur Flankenzustellung, D = Zustelltiefe (radiusbezogen), I = Kegelsteigung, K = Gewindetiefe, F = Vorschub (Steigung)
G76 X25.4 Z-20 A60 D0.6 I2 K1.6 F2.5

G76 Feinbohrzyklus, **Fräsmaschine**
Zum Ausdrehen von Bohrungen. Das Ausdrehwerkzeug wird auf X, Y und auf die Anfangsebene positioniert. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Endtiefe und die Spindel wird orientiert gestoppt. Das Werkzeug wird seitlich versetzt und mit Eilgang auf die Rückzugsebene gefahren. Der Werkzeugversatz wird wieder zurückgestellt und die Spindel eingeschaltet. Die Richtung des Versatzes (X oder Y) wird in den Maschinendaten eingestellt. X und Y = Bohrungsposition, Z = Endtiefe, Q = Werkzeugversatz,
R = Rückzugsebene, F = Vorschub.
G76 X20 Y50 Z-22 Q1 R2 F50
Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

G80 Bohrzyklus aufheben, Einschaltstellung
Die Bohrzyklen sind selbsthaltend. Deshalb darf nach dem Einsatz eines Bohrzyklus nicht vergessen werden, den Bohrzyklus wieder abzuwählen. Ansonsten wird der Bohrzyklus auf der nächsten Position weiter ausgeführt. Dies betrifft die Standardbohrzyklen G81 bis G89, sowie die zusätzlichen Bohrzyklen G73, G74 und G76.
Bei einigen Steuerungen muss G80 in einem extra Satz stehen.

G81 Bohrzyklus, **Fräsmaschine**
Standardzyklus zum Bohren und Zentrieren. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe und mit Eilgang auf die Rückzugsebene. X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.
G81 X20 Y50 Z-20 R2 F130

G82 Senkzyklus, **Fräsmaschine**
Standardzyklus zum Senken und Bohren. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe, wartet die Verweilzeit ab und fährt mit Eilgang auf die Rückzugsebene.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, P = Verweilzeit in Sekunden,
R = Rückzugsebene, F = Vorschub.
G82 X20 Y50 Z-20 P1 R2 F130
Anmerkung : wenn die Verweilzeit P0 programmiert wird, dann verhält sich G82 wie G81

G83 Tiefbohrzyklus
Standardzyklus zum Bohren von tiefen Löchern. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die erste Zustelltiefe und fährt mit Eilgang auf die Rückzugsebene. Dann wird mit Eilgang bis kurz vor die zuletzt gebohrte Tiefe gefahren. Mit Vorschub wird die nächste Zustellung gebohrt, wieder aus der Bohrung herausgefahren, usw., bis die Endtiefe erreicht ist. Die Tiefe für die letzte Zustellung errechnet die Steuerung automatisch. Der Sicherheitsabstand kann in den Maschinendaten verändert werden.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, Q = Zustellung, R = Rückzugsebene,
F = Vorschub.
G83 X20 Y50 Z-25 Q3 R2 F130
Anmerkung: Es gibt auch veränderte Tiefbohrzyklen, z. B mit zusätzlich definierbarer Bohrtiefe für den ersten Hub oder mit veränderbaren Bohrhüben, die mit zunehmender Tiefe kürzer werden. Siehe auch G73.

G84 Gewindebohrzyklus für Rechtsgewinde
Standardzyklus zum Gewindeschneiden mit Gewindebohrer. Das Werkzeug wird mit Eilgang auf die Startposition (Anfangsebene) positioniert. Der Gewindebohrer fährt mit Vorschub auf die Tiefe Z. Die Drehrichtung wechselt nach links (M04) und der Gewindebohrer fährt mit Vorschub zur Rückzugsebene. Die Drehrichtung wechselt wieder nach rechts (M03). X und Y = Bohrungsposition, Z = Gewindetiefe, R = Rückzugsebene,
F = Vorschub, errechnet aus Drehzahl mal Steigung und eventuell für Ausgleichsfutter um rund 5 bis 10% reduziert.
G84 X20 Y50 Z-25 R4 F450
Anmerkung: Um den Zusatzzyklus G74 für Linksgewinde einzusparen, existieren auch universelle Gewindezyklen, wo die Drehrichtung ebenfalls über Parameter definiert werden kann.

G85 Reibzyklus, **Fräsmaschine**
Standardzyklus zum Reiben. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe und mit Vorschub auf die Rückzugsebene.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.
G85 X20 Y50 Z-25 R2 F150

G86 Ausdrehen mit Spindelstopp, **Fräsmaschine**
Standardzyklus zum Ausdrehen. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe, stoppt die Spindel und fährt mit Eilgang auf die Rückzugsebene. Spindel wird wieder eingeschaltet.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, R = Rückzugsebene, F = Vorschub.
G86 X20 Y50 Z-22 R2 F50

G87 Rückwärts Senken, **Fräsmaschine**
Standardzyklus zum Senken von hinten. Das Werkzeug wird auf X, Y und auf die Anfangsebene positioniert. Die Spindel wird orientiert gestoppt und das Werkzeug wird zum Einfahren in die Bohrung seitlich versetzt. Das Werkzeug fährt mit Eilgang auf die untere Anfangsebene R. Dort wird das Werkzeug wieder auf die Arbeitsposition versetzt und die Spindel gestartet. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe Z. Dort hält die Spindel orientiert und wird zum Ausfahren wieder seitlich versetzt. Dann wird mit Eilgang auf die Anfangsebene gefahren. Der Werkzeugversatz wird wieder auf die Arbeitsstellung zurückgestellt und die Spindel eingeschaltet. Die Richtung des Versatzes (X oder Y) wird in den Maschinendaten eingestellt. X und Y = Bohrungsposition, Z = Endtiefe, Q = Werkzeugversatz, R = Anfangsebene unten, F = Vorschub.
G87 X20 Y50 Z-20 Q2 R-24 F50
Achtung: Da hier R eine untere Anfangsebene definiert, kann oben keine extra Rückzugsebene verwendet werden. Anfangsebene = Rückzugsebene. Die Funktion G99 darf bei G87 nicht benutzt werden.

G88 Ausdrehen mit manuellem Rückzug, **Fräsmaschine**
Standardzyklus zum Ausdrehen. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe, wartet die Verweilzeit ab und stoppt die Spindel. Das Werkzeug (z. B. Ausdrehkopf) wird manuell zurückgestellt. Nach Drücken des Startknopfes fährt das Werkzeug mit Eilgang auf die Rückzugsebene. Jetzt kann das Werkzeug wieder manuell in seine Ausgangslage zurückgestellt werden. Nach erneutem Drücken des Startknopfes läuft die Spindel wieder an und die Bearbeitung wird fortgesetzt. X und Y = Bohrungs-position, Z = Bohrtiefe, P = Verweilzeit,
R = Rückzugsebene, F = Vorschub.
G88 X20 Y50 Z-19 P1 R2 F50

G89 Reibzyklus mit Verweilzeit, **Fräsmaschine**
Standardzyklus zum Reiben mit Verweilzeit. Die Position und die Anfangsebene werden mit Eilgang angefahren. Das Werkzeug fährt mit Vorschub auf die Tiefe, wartet die Verweilzeit ab und fährt mit Vorschub auf die Rückzugsebene.
X und Y = Bohrungsposition, Z = Bohrtiefe, P = Verweilzeit in Sekunden,
R = Rückzugsebene, F = Vorschub.
G 89 X20 Y50 Z-25 P1 R2 F150
Anmerkung : wenn die Verweilzeit P0 programmiert wird, dann verhält sich G89 wie G85

G90 Absolutmaßprogrammierung, **Fräsmaschine** und **Drehmaschine Typ B**, Einschaltstellung
Alle Positionen beziehen sich auf den Werkstücknullpunkt G54 bis G59 oder auf G52 und G92.

G91 Kettenmaßprogrammierung (Inkrementell), **Fräsmaschine** und **Drehmaschine Typ B**
Die programmierten Werte beziehen sich auf die letzte Position. G91 ist mit Vorsicht anzuwenden, da die Gefahr besteht, dass man sich nicht mehr zurechtfindet. G91 ist sinnvoll, wenn z. B. ein bestimmtes Bearbeitungsbild in einem Unterprogramm mehrere Male an verschiedenen Stellen gefertigt werden soll. Falls dabei zum Ausgangspunkt zurückgekehrt werden soll, empfiehlt sich zur Probe, alle mit G91 programmierten X-, Y- und Z-Werte zusammenzuzählen. Wenn die Summe jeweils Null ist, stimmt die Rechnung.

G92 Nullpunkt setzen, **Fräsmaschine** und **Drehmaschine Typ B**
Im Gegensatz zu G52 ist G92 abhängig von der augenblicklichen Position plus eventuell zusätzlich definierter Verschiebungen im selben Satz. Man kann das als ein erweitertes G91 betrachten. Es wird eine Koordinatenverschiebung erreicht, die von der aktuellen Position beim Setzen von G92 plus definierten Verschiebungen ausgeht. Um die Verschiebung aufzuheben, muss sie wieder zurückgesetzt werden.
G92 X120 Y35
Siehe auch G52

G92 Einfacher (veralteter) Gewindezyklus, **Drehmaschine Typ A**
Es muss zuerst ein Anfangspunkt für den Zyklus angefahren werden. Danach wird G92 definiert. X = Enddurchmesser in X, Z = Endposition Z, I = Steigung (Kegel), F = Vorschub (Steigung). Sollen mehrere Schnitte gefertigt werden, genügt in den nachfolgenden Sätzen der neue X-Wert. Abwahl von G92 mit einer G00-Bewegung.
G92 X24 Z-30 I5 F1.5
Dieser Zyklus ist kein Standardzyklus und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.
G92 dient bei einigen Drehmaschinensteuerungen auch als Begrenzung für die Spindel-Höchstdrehzahl.

G94 Vorschub pro Minute **Fräsmaschine** und **Drehmaschine Typ B**, Einschaltstellung Fräsmaschine
Es wird der Vorschub in mm pro Minute angegeben. Wird bei Fräsbearbeitung verwendet.

G95 Vorschub pro Umdrehung **Fräsmaschine** und **Drehmaschine Typ B**,
Einschaltstellung Drehmaschine
Hierbei wird der Vorschub in mm pro Umdrehung angegeben. Bei Drehbearbeitung üblich.

G96 Konstante Schnittgeschwindigkeit, **Drehmaschine**
Um eine konstante Schnittgeschwindigkeit z. B. bei wechselnden Durchmessern und beim Plandrehen zu gewährleisten, wird G96 angewählt. Die Drehzahl ändert sich dabei je nach Durchmesser bis zur erlaubten Höchstdrehzahl der Maschine.
S = Schnittgeschwindigkeit in Meter pro Minute, bei einigen Steuerungen kann sie auch mit V bezeichnet werden.

G97 Konstante Drehzahl, **Drehmaschine**
Beim Gewindeschneiden muss eine konstante Drehzahl eingegeben werden, damit Drehzahl und Vorschub synchronisiert werden können. Ebenso notwendig bei Bohroperationen auf der Drehmaschine, ansonsten würden alle Bohrbearbeitungen mit Höchstdrehzahl ausgeführt werden, weil der X-Wert Null ist (Mittelachse).
S = Spindeldrehzahl in Umdrehungen pro Minute

G98 Ausgangsebene bei Bohrzyklen, **Fräsmaschine**
Bei den Standard-Bohrzyklen wird die Positionierung in Z vor Ausführung des Zyklus als Ausgangsebene bezeichnet. Von dort aus startet der Bohrzyklus. Ist G98 angewählt, fährt das Werkzeug bei Zyklus Ende zuerst auf R und dann auf die Ausgangsebene. Von dort aus wird die nächste Position angefahren.

G98 Vorschub pro Minute **Drehmaschine Typ A**
Es wird der Vorschub in mm pro Minute angegeben. Wird bei Fräsbearbeitung verwendet.

G99 Rückzugsebene bei Bohrzyklen, **Fräsmaschine**
Die Rückzugsebene wird durch den R-Wert definiert. Ist G99 angewählt, fährt das Werkzeug bei Zyklus Ende direkt auf R, ohne Rücksicht auf die Ausgangsebene. Von R aus wird die nächste Position angefahren.
G98 und G99 können für jede Bohrung extra definiert werden.

G99 Vorschub pro Umdrehung **Drehmaschine Typ A**
Hierbei wird der Vorschub in mm pro Umdrehung angegeben. Bei Drehbearbeitung üblich.

Fortsetzung: M-Funktionen

M-BEFEHLE, von englisch „machine“, wie Maschine, oder „miscellaneous“, wie gemischt. Maschinenfunktionen, von denen einige genormt, die meisten jedoch für den Maschinenhersteller frei verfügbar sind, um eingebaute Sonder- und Zusatzfunktionen der Maschine zu aktivieren.

M00 Programmstopp
Unterbricht das laufende Programm, um manuell einzugreifen, z. B. messen oder ein Werkstück umspannen. Mit der Starttaste wird das Programm fortgesetzt.

M01 Wahlweiser Programmstopp
Ist nur wirksam, wenn der Schalter Wahlweiser Programmstopp (Optionaler Programmhalt) auf Ein steht. Sonst wie M00.

M02 Programm Ende
Steht am Ende des Hauptprogramms. Setzt das Programm zurück. Danach kann das Programm erneut gestartet werden. M30 ist ebenfalls zulässig.

M03 Spindeldrehrichtung im Uhrzeigersinn
Rechtsdrehend. Zum besseren Verständnis: Blickrichtung aus der Hauptspindel heraus zum Werkstück

M04 Spindeldrehrichtung im Gegenuhrzeigersinn
Wie M03, nur im Gegenuhrzeigersinn (linksdrehend)

M05 Spindelstopp
Die Hauptspindel wird angehalten

M06 Werkzeugwechsel, Fräsmaschine
Befehl zum Wechseln des Werkzeuges, meistens in Verbindung mit der gewünschten Werkzeugnummer Txx.

M07 Kühlmittel 2 Ein
Sofern vorhanden, wird ein zweiter Kühlmittelkreislauf eingeschaltet, wie Ölnebelschmierung oder Innenkühlung der Werkzeuge.

M08 Standard-Kühlmittel Ein
Schaltet die standardmäßig vorhandene Kühlmittelanlage ein, z. B. Bohremulsion oder Schneidöl.

M09 Kühlmittel Aus
Schaltet die Kühlmittelanlagen 1 (M08) und 2 (M07) aus.

M10 Klemmung zu
Kann eine Klemmung für eine Rundachse oder ein automatisch betätigtes Spannfutter oder Schraubstock sein.
Diese Funktion ist keine Standardanwendung und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar oder mit einer anderen Funktion belegt.

M11 Klemmung Auf
Öffnet die Klemmung für die bei M10 bezeichneten Geräte.
Diese Funktion ist keine Standardanwendung und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar oder mit einer anderen Funktion belegt.

M13 Spindel Rechtslauf und Kühlmittel ein
Kombination von M03 und M08. Die Hauptspindel dreht sich im Uhrzeigersinn und das Kühlmittel wird eingeschaltet.
Diese Funktion ist keine Standardanwendung und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

M14 Spindel Linkslauf und Kühlmittel ein
Kombination von M04 und M08. Die Hauptspindel dreht sich im Gegenuhrzeigersinn und das Kühlmittel wird eingeschaltet.
Diese Funktion ist keine Standardanwendung und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

M15 Spindel Stopp und Kühlmittel Aus
Kombination von M05 und M09. Falls M13 oder M14 benutzt wurden, wird die Hauptspindel und das Kühlmittel abgeschaltet.
Diese Funktion ist keine Standardanwendung und deshalb nicht in allen Steuerungen verfügbar.

M19 Orientierter Spindelhalt, **Fräsmaschine**
Die Hauptspindel wird gestoppt und auf eine bestimmte Stellung gedreht. Ist notwendig beim automatischen Werkzeugwechsel in Fräsmaschinen oder beim Werkzeugversatz in den Bohrzyklen G76 und G87.

M30 Programm Ende mit Rücksetzen
Steht am Ende des Hauptprogramms. Setzt das Programm zurück. Danach kann das Programm erneut gestartet werden. M02 ist ebenfalls zulässig. Der Unterschied zu M02 ist historisch bedingt. In den Zeiten der Lochstreifen war M02 ein einfaches Programmende und M30 war Programmende mit Rückspulen des Lochstreifens zum Programmanfang. Bei den heutigen Steuerungen können beide Befehle gleichberechtigt verwendet werden.

M48 Drehzahl-/Vorschubregelung aktiv, Einschaltstellung
Die Drehzahl und der Vorschub können mit den Drehknöpfen (Potentiometer) manuell verändert werden. Rücksetzen von M49.

M49 Drehzahl-/Vorschubregelung inaktiv
Hiermit werden die Drehzahl-/Vorschubregler unwirksam gemacht. Drehzahl und Vorschub laufen mit dem programmierten Wert, egal welche Schalterstellung ansteht. Dies ist z. B. beim Gewindeschneiden erforderlich, damit die Synchronisation zwischen Drehzahl und Vorschub eingehalten wird. In den aktuellen Steuerungen ist M49 bereits in den Gewindeschneid-Funktionen enthalten, inklusive Rücksetzen auf M48, so dass M49 und M48 eigentlich nie programmiert werden müssen. M48 und M49 werden hier nur zum besseren Verständnis erwähnt.

M98 Aufruf eines Unterprogramms (Call)
Hiermit wird der Sprung zu einem Unterprogramm und dessen Ausführung veranlasst. Der Befehl kann vom Hauptprogramm aus und / oder von einem anderen Unterprogramm aus aufgerufen werden. Wie oft von einem Unterprogramm aufgerufen und von dort aus wieder aufgerufen werden kann, hängt von der möglichen Verschachtelungstiefe der Steuerung ab.
M98 = Unterprogramm aufrufen, L = Anzahl der Wiederholungen,
P = Unterprogrammnummer (Name).
M98 L03 P9802

Es existieren auch andere Formen des Unterprogrammaufrufes, z. B. mit G22 oder mit Lxxxx, wobei die ersten zwei Stellen die Unterprogrammnummer und die letzten zwei Stellen die Anzahl der Durchläufe bezeichnen.

M99 Unterprogramm Ende (Return)
Steht am Ende eines Unterprogramms anstatt M02 oder M30. Rücksprung vom Unterprogramm dorthin, wo das Unterprogramm aufgerufen wurde. Also zurück ins Hauptprogramm oder in ein anderes Unterprogramm, wenn der Aufruf dort erfolgte.
Bei anderen Systemen ist auch z. B. M17 als Rücksprungbefehl gebräuchlich.

Fortsetzung: Weitere Befehle

Weitere Befehlsbuchstaben mit den gebräuchlichsten Bezeichnungen und Funktionen dazu. Abweichungen unter den verschiedenen Steuerungen sind möglich.

% Programmanfang / -ende
Beim externen Ein- und Auslesen von Daten wird nicht bei : oder O gestartet und bei M02, M30 oder M99 gestoppt. Das %-Zeichen dient hierzu als Code-Erkennung für ISO-Code und als Signal, ab dem die Daten gelesen werden und für das Ende des Ein- und Auslesevorgangs. % ist entweder das Anfangs- und Endezeichen für einzelne Hauptprogramme und einzelne Unterprogramme, kann aber auch als Anfang und Ende eines aus mehreren Programmen bestehenden Blocks gelten. Ist abhängig von der Steuerung und von der Übertragungssoftware. Bei manchen Steuerungen bezeichnet das %-Zeichen auch die Nummer des Hauptprogramms (=Anfang).

: Hauptprogramm- / Unterprogrammnummer
Der Doppelpunkt bezeichnet bei einigen Steuerungen die Hauptprogramm- und Unterprogrammnummer, z. B. :1203 bedeutet Programm-Nummer 1203. Andere Steuerungen benutzen dafür den Buchstaben O (nicht Null).

A Winkel um X-Achse
Bezeichnung des Winkels bei einer Bewegung, die sich um die X-Achse dreht. Bei manchen Steuerungen wird A als Winkel zur Konturzug-Programmierung benutzt.

B Winkel um Y-Achse
Bezeichnung des Winkels bei einer Bewegung, die sich um die Y-Achse dreht.

C Winkel um Z-Achse
Bezeichnung des Winkels bei einer Bewegung, die sich um die Z-Achse dreht.

D Werkzeugradius-Nummer
Bei Fräsbearbeitungen muss beim ersten Aufruf der Radiuskorrektur G41 / G42 die Werkzeugkorrektur-Nummer D angegeben werden, damit der Radius eingerechnet werden kann.

E Parameter
Dient als Parameterbezeichnung in Arbeitszyklen oder als zweiter Vorschubwert.

F Vorschub
Von englisch „feed“, wie Vorschub. Der Arbeitsvorschub wird in mm/min oder in mm/Umdrehung eingegeben.
Beispiel: F150 = 150 mm/Min beim Fräsen, F0.15 = 0,15 mm / Umdrehung beim Drehen.

G Weg-Funktionen
Alle Funktionen, die mit dem Koordinatensystem und den Achsbewegungen zusammenhängen. Siehe vorstehende Beschreibung der Einzelbefehle.

H Werkzeug-Länge
Von englisch „height“, wie Höhe. Bei Fräsbearbeitungen muss beim ersten Aufruf der Längenkorrektur G43 / G44 die Werkzeugkorrektur-Nummer H angegeben werden, damit die Länge eingerechnet werden kann.

I Interpolationsparameter X
Ist der Weg vom Anfangspunkt des Kreises zum Kreismittelpunkt in X-Richtung als inkrementeller Wert (Kettenmaß). Die Richtungsangabe vom... zum... legt auch gleichzeitig das Vorzeichen fest.

J Interpolationsparameter Y
Ist der Weg vom Anfangspunkt des Kreises zum Kreismittelpunkt in Y-Richtung.
Sonst wie I.

K Interpolationsparameter Z
Ist der Weg vom Anfangspunkt des Kreises zum Kreismittelpunkt in Z-Richtung.
Sonst wie I.
Abweichend von der Norm wird bei manchen Steuerungen mit I, J und K der Absolutabstand des Mittelpunktes zum Werkstücknullpunkt definiert

L Unterprogramm-Wiederholungen
Anzahl der Wiederholungen eines Unterprogramms in Verbindung mit P.
Bei manchen Steuerungen werden unter L die Unterprogrammnummer mit den ersten Ziffern und die Anzahl der Wiederholungen mit den letzten Ziffern bezeichnet. Siehe auch M98.

M Maschinen-Funktionen
Maschinenfunktionen, davon viele für den Maschinenhersteller frei verfügbar, um die speziellen Funktionen der Maschine anzupassen. Siehe vorstehende Beschreibung.

N Satznummer
Die Satznummer steht am Anfang einer Zeile und dient zum leichteren Auffinden von Programmzeilen oder als Sprungadresse. Manche Steuerungen benötigen in jeder Zeile eine Satznummer, andere schreiben eine Satznummer nur vor, wenn ein Sprungbefehl darauf zugreift. Es empfiehlt sich, die Satznummern in 5-er oder 10-er Schritten einzugeben, damit später leichter Korrektursätze eingefügt werden können.

/N Ausblendsatz
Ist nur wirksam, wenn der Schalter Ausblendsatz aktiv auf Ein steht. Sonst wie N.

O Programmnummer
Der Buchstabe O (nicht Null) bezeichnet die Hauptprogramm- und Unterprogramm-nummer, z. B. O1203 bedeutet Programm-Nummer 1203. Andere Steuerungen benutzen dafür den : (Doppelpunkt).

P Unterprogramm
Im Hauptprogramm wird die Unterprogrammnummer mit P aufgerufen, z. B. M98 P2014. P wird auch als Parameter bei G04 und in Arbeitszyklen benutzt.

Q Parameter
Wird als Parameter in verschiedenen Arbeitszyklen verwendet.

R Radius, Parameter
Dient häufig als Radiusangabe bei Kreisbewegungen anstelle von I, J und K. Dabei gilt: R+ bezeichnet einen Kreisbogen bis 180 Grad und R- einen Kreisbogen über 180 Grad. Ansonsten dient R als Parameter für die Rückzugsebene bei Bohrzyklen.

S Drehzahl
Von englisch „speed“ für Geschwindigkeit. Stellt die Drehzahl der Hauptspindel in Umdrehungen pro Minute ein (G97) oder beim Drehen auch eine konstante Schnittgeschwindigkeit, in Verbindung mit G96.

T Werkzeug-Nummer
Von englisch „tool“, wie Werkzeug. Hiermit wird beim Drehen der Werkzeugrevolver umgeschaltet und die Korrekturwerte angewählt. Z. B. T0404 = Werkzeug 4 und Korrekturnummer 4.
Beim Fräsen (Bearbeitungszentrum) wird das Werkzeug zum Wechseln vorbereitet und mit M06 gewechselt. Beispiel: T04 M06.

U Kettenmaß in X-Richtung
Vor allem bei Drehmaschinen anstelle von G91 für die X-Achse verwendet. Der programmierte Wert geht dabei von der letzten Position aus. Wird auch als Parameter in verschiedenen Arbeitszyklen verwendet.

V Kettenmaß in Y-Richtung
Vor allem bei Drehmaschinen anstelle von G91 für eine eventuell vorhandene Y-Achse verwendet. Auch als Parameter in verschiedenen Arbeitszyklen.

W Kettenmaß in Z-Richtung
Vor allem bei Drehmaschinen anstelle von G91 für die Z-Achse verwendet. Auch als Parameter in verschiedenen Arbeitszyklen.

X Weg in X
Zielpunkt eines Weges in X-Richtung. Entweder in Millimeter, Auflösungs-Feinheit bei Standard-Maschinen bis 3 Stellen hinter dem Komma oder in Zoll, Auflösungs-Feinheit bis 4 Stellen hinter dem Komma.
Bei G04 wird die Verweilzeit ebenfalls mit X bezeichnet.

Y Weg in Y
Zielpunkt eines Weges in Y-Richtung. Einheiten und Auflösung wie bei X.

Z Weg in Z
Zielpunkt eines Weges in Z-Richtung. Einheiten und Auflösung wie bei X.

( ) Anmerkung
Zur besseren Übersicht kann eine Anmerkung ins Programm geschrieben werden. Dazu muss die Anmerkung innerhalb der Klammern stehen. Die Steuerung behält den Inhalt zwar im Speicher, führt ihn aber nicht aus.

. , Punkt und Komma
Bei fast allen Steuerungen werden die Dezimalstellen durch einen Punkt anstatt eines Kommas abgetrennt (amerikanisches System), z. B. X=125,225mm wird als X125.225 in die Steuerung eingegeben.

Makros
Für die Rechenbefehle bei der Makroprogrammierung und zur Definition der Parameter werden je nach Steuerung verschiedene Zeichen benutzt,
z. B. @, #, R ,L.

Sonderzeichen
Es gibt noch die unsichtbaren Befehle für Leerzeichen, Zeilenvorschub usw. Der Befehl für Zeilenende (Zeilenvorschub) wird am Bildschirm häufig als ; (Strichpunkt) oder * (Stern) dargestellt.

Sprungbefehle
Viele Steuerungen beinhalten Sprungbefehle, zum Programmanfang (z. B. M47 für Endlosschleife), bei kontinuierlicher Werkstückzuführung, wie Stangenbearbeitung. Beim Fehlen einer solchen Funktion kann das gesamte Programm einfach in ein Unterprogramm umgewandelt werden und dann von einem extra Hauptprogramm aus beliebig oft aufgerufen werden.
Es existieren auch Sprungbefehle auf bestimmte Zeilennummern und Programmabschnitte mit wählbarer Anzahl der Wiederholungen.

Fortsetzung: Gruppen

Gruppen

Befehle innerhalb derselben Gruppe schließen sich gegenseitig aus und dürfen nicht im selben Satz stehen, weil alle Befehle innerhalb eines Satzes gleichzeitig wirksam sein sollen. Z. B. dürfen G01 und G02 oder M03 und M05 nicht in einem Satz stehen.

Selbsthaltende Gruppen für G-Befehle:
Gruppe 1 = G00, G01, G02, G03, G80, G81, G82, G84, G85, G86, G87, G88, G89
Bewegung
Gruppe 2 = G17, G18, G19 Ebenen-Auswahl
Gruppe 3 = G90, G91 Abstands-Modus
Gruppe 5 = G94, G95 Vorschub-Modus
Gruppe 6 = G20, G21, G70, G71 Einheiten
Gruppe 7 = G40, G41, G42 Werkzeugradius-Kompensation
Gruppe 8 = G43, G44, G49 Werkzeuglängen-Versatz
Gruppe 10 = G98, G99 Rückzugsebene bei Bohrzyklen
Gruppe 12 = G54, G55, G56, G57, G58, G59 Koordinatensystem-Auswahl
Gruppe 13 = G61, G64 Weg-Überwachung

Nicht-Selbsthaltende Gruppe für G-Befehle
Gruppe 0 = G04, G10, G28, G30, G53, G92

Selbsthaltende Gruppen für M-Befehle:
Gruppe 4 = M00, M01, M02, M30 Anhalten
Gruppe 6 = M06 Werkzeugwechsel
Gruppe 7 = M03, M04, M05 Spindeldrehung
Gruppe 8 = M07, M08, M09 Kühlung
(Sonderfall: M07 und M08 können gleichzeitig aktiviert sein)
Gruppe 9 = M48, M49 Drehzahl-/Vorschubregelung ermöglichen/unterdrücken

Fortsetzung: Priorität

Priorität – Reihenfolge der Ausführung

Obwohl die Befehle innerhalb eines Satzes angeblich gleichzeitig abgearbeitet werden, muss von der Steuerung aus Gründen der Logik eine Reihenfolge eingehalten werden, welche Funktion in dem betreffenden Satz wann einzuschalten ist (Priorität).

1 Kommentar (in Klammern)
2 Vorschub-Modus (G94, G95)
3 Vorschub (F)
4 Spindeldrehzahl (S)
5 Werkzeuganwahl (T)
6 Werkzeugwechsel (M6) und Werkzeugwechsel-Makros
7 Spindel Ein/Aus (M03, M04, M05)
8 Kühlung Ein/Aus (M07, M08, M09)
9 Drehzahl-/Vorschubregelung Ein/Aus (M48, M49)
10 Verweilzeit (G04)
11 Arbeitsebene (G17, G18, G18)
12 Längeneinheiten (G20, G21, G70, G71)
13 Schneidenradius-Kompensation Ein/Aus (G40, G41, G42)
14 Werkzeuglängen-Korrektur Ein/Aus (G43, G44, G49)
15 Werkstücknullpunkt (G54 - G59)
16 Wegüberwachung (G61, G64)
17 Abstands-Modus (G90, G91)
18 Rückzugsebene bei Bohrzyklen (G98, G99)
19 Korrekturwechsel (G10), Nullpunkt setzen (G92)
20 Bewegung (G00, G01, G02, G03, G12, G13, G80 bis G89 auch mit G53)
21 Stopp oder Wiederholung (M00, M01, M02, M30, M47, M99)

19.08 Programme zum Buch

Bitte die ZIP-Datei von meiner Webseite cnc-pausch.de herunterladen, entpacken und die Programme benutzen.

Enthält vollständige Projekte zu CNCezPRO mit den darin enthaltenen Programmen, Rohteilen, Werkzeugen und sonstigen Beschreibungen.
Einfach zu den vorhandenen CNCezPRO-Projekten hinzufügen und kann dann direkt verwendet werden.

Wer das nicht hat oder einen anderen Simulator bevorzugt, kann die einzelnen CNC-Programme mit der Endung .cnc nutzen.
Die Programme mit der Endung .cnc können mit dem Editor geöffnet werden oder nach Bedarf in andere Endungen umbenannt werden, z. B. .txt, .nc, .ncp, usw.

Die benötigten Werkzeuge zu den Programmen sind extra aufgelistet. Die Werkzeuge für CNC-T-Beispiele und für CNC-Turn sind die selben.
Die Werkstück-Rohmaße sind ebenfalls in einer eigenen Liste aufgeführt.

Die Prüfstücke CNC-M-Prüfstück und CNC-T-Prüfstück habe ich selbst programmiert. Alternative Programme (mit den PAL-spezifischen Befehlen) sind im Internet zu finden, ebenso die Original-Zeichnungen.

Die beiliegenden Projekte mit ihren Programmen sind folgendermaßen unterteilt:

Fräsen

CNC-M-Beispiele	Im Buch behandelte Programme
CNC-M-Grundplatte	Beispiel für Unterprogrammtechnik
CNC-Mill	G-Funktionen und Zyklen
CNC-M-Prüfstück	Von einer früheren Abschlussprüfung

Drehen

CNC-T-Beispiele	Im Buch behandelte Programme
CNC-Turn	G-Funktionen und Zyklen
CNC-T-Prüfstück	Von einer früheren Abschlussprüfung

Index

Stichwörter können auch mit der Suchfunktion Ihres Leseprogramms gefunden werden. Das geht oft genauer und schneller als mit einem gedruckten Index.

2 ½ D-Steuerung 12
2 D-Steuerung 12
3 D-Drucker 428
3 D-Modell 271
3 D-Simulation 333
3 D-Steuerung 12
45 Grad Werkzeug 307

A
Abenteuer CNC 17
Absolutbemaßung 110
Abspantechnik **53**
Achsmotor wechseln 417
Achsspezifische Maschinendaten 360
Allgemeine Maschinendaten 360
Allgemeine Programmierregeln 318
Analoger Maßstab 7
Andere Steuerungen 440
Angebot 421
Angetriebene Werkzeuge 303
Anhang **434**
Ankratzen vermeiden 395
Ankratzen 393
Anpaßsteuerung 10, 357
Antasten 392
Anzugsbolzen 36
Äquidistante 129, 142, 229, 233
Arbeitnehmer 431
Arbeitsbereich Drehmaschine 408
Arbeitsbereich Fräsmaschine 382
Arbeitsplan 101, 313
Arbeitsvorbereitung 313
Arbeitsweise 10
Auflistung der Werkzeuge 377
Aufstellplatz 423
Auftragsbestätigung 421

Ausblick 428
Ausbohren, Ausdrehen 166
Ausmessen Drehmaschine 409
Ausmessen Fräsmaschine 386
Ausmessen Horizontal-Fräsmaschine 389
Ausmessen Vertikal-Fräsmaschine 386
Außengewinde fräsen 124
Automaten 2
Automatisierung 2
Axial eingespanntes Werkzeug 303

B

Backen ausdrehen 46
Bahnsteuerung 11
Basic CNC Viewer 335
Be- und Entladen der Werkstücke 320
Bearbeitungszentrum 27
Bedingungen 310
Befehl 101
Befehle siehe CNC-Befehle
Begriffe 2
Beispiele Drehen 242
Beispiele Fräsen 184
Beispiele Simulation 335
Beispielprogramm Fräsen 106
Beschichtung von Werkzeugen 56
Betonfundament 425
Betriebsarten 347
Bewegungsrichtung Drehmeißel 234
Bezugspunkte 384, 409
Bidirektionales Werkzeugsystem 30, 41
Biegen 52
Bildschirm 341
Bildzeichen – Beispiele 356
Bohrbild 180
Bohren Fräsmaschine 164
Bohren, Senken berechnen 82
Bohrer 34
Bohrerspitzen 82
Bohrwerk 27
Bohrzyklen Drehen 237
Bohrzyklen Fräsen 169
Brennschneiden 50
Builder Parameter 360

C

C-Achse Drehmaschine 303
CAD 2, 270
CAM 2, 271
CBN kubisches Bornitrit 55
Centricator 387, 393, 410
Cermets 55

CIM 2, 428
CIM-Fabrik 320
CIM-Versuchsanlage 328
CNC 2
CNC-Bedienelemente 342
CNC-Befehle Grundlagen Fräsen 103
CNC-Befehle Kurzreferenz Drehen 258
CNC-Befehle Kurzreferenz Fräsen 213
CNC-Befehlslisten, Gesamtreferenz 453
CNC-Befehlslisten, Gruppen 472
CNC-Befehlslisten, Priorität 473
CNC-Bildzeichen 355
CNCezPRO 336
CNC-Programm 271, 313
CNCSimulator Pro 337
CNC-Stanzmaschinen 48
CNC-Steuerung metrisch und Zoll 91
CNC-Steuerung 3
CNC-Steuerung **339**
Computer 14, 19
Cutviewer 336

D
Dama de Elche 273
Datenübertragung und Speicherung 13
Datenübertragung 272
DeskEngrave 275
Diagnose 367, 416
Diagnosefunktionen 367
Diamant 56
Digitaler Maßstab 7
DIN 66025 106
Direkte Messung 6
DNC 2, 14
DNC-Server 272
Do It Yourself 416
Drahterodieren 49
Drahtmodell 331
Dreh- / Fräszentrum 41
Drehbeispiel Anschlag 243
Drehbeispiel Plandrehen 242
Drehbeispiel Radius, Kugel 245
Drehbeispiele Einstiche 247
Drehbeispiele Freistiche 251
Drehen Abspanen 225
Drehen Erste Schritte 220
Drehen Fase 223
Drehen Innenbearbeitung 227
Drehen Kegel 224
Drehen Kettenmaße 222
Drehen Nullpunkt 222
Drehen und Spiegeln 277

Drehgeber wechseln 417
Drehgeber 6, 9
Drehmaschine Einrichten **407**
Drehmaschinen 41
Drehmeißel Quadranten 234
Drehmeißel 43
Drehrichtung Drehmaschine 220
Drehstrommotor 4
Drehwerkzeuge 43
Drehzahl 58, 92
Drehzyklen 238
Dreibackenfutter 46
Dreiecke 70
Druckluftventil 419
Dynamische Simulation 330

E
Echte Achse 289
EIA-Code 13
Einführung Abspantechnik 54
Einführung Programmierung 101
Einführung Steuerungen 340
Einführung **1**
Einheitsdurchmesser 289
Einrichtblatt Drehmaschine 435
Einrichtblatt Fräsmaschine 436
Einrichtblatt 377
Einrichten Drehmaschine 412
Einrichten Fräsmaschine 404
Einrichtprogramm Mehrfachspannung 300
Einsatz von Robotern 319
Einsatzbereich 15
Einspannen Drehwerkzeuge 44
Einstiche 241
Empfehlungen **430**
Endmaß 388, 401, 410
Entgraten 307
EPROM 359
Erfahrungen 17
Erodieren 49
Externe Vermessung 370

F
Fanuc-Steuerung 106
Fase ohne Schneidenradiuskompensation 230
Fasen und Radien 264, 266
Feinkorrektur 374
Fernwartung 368
Fertigmeldung 419
Fertigungsverfahren 54
Flexibles Platzsystem 30
Förderband 319

Fortgeschrittene Programmierung **281**
Fotoelement 9
Fräsbeispiel Außenkontur 192
Fräsbeispiel Kreistasche 200
Fräsbeispiel Toleranzen 186
Fräsbeispiel Zapfen und Ringnut 189
Fräsbeispiele Nut – Langloch 194
Fräsbeispiele Rechtecktasche 202
Fräsbeispiele Schruppen, Schlichten 184
Fräsbeispiele S-Kurve erhaben 187
Fräsbild drehen 277
Fräsbild spiegeln 280
Fräsen Erste Schritte 109
Fräsen Grundlagen 98
Fräserformen 33
Fräsergröße 100
Fräsermittelpunktsbahn berechnen 129
Fräskopf um 45°-Prisma schwenkbar 31
Fräskopf zur 5-Achsen Bearbeitung 31
Fräsmaschine Einrichten **381**
Fräsmaschinen 24
Fräswerkzeuge 33
Fräszyklen 173
FreeCAD 270
Freiformfräsen 273
Freistiche 241
Fundamentplatten 423
Fusion 360 440

G
G –Code Kurzreferenz Drehen 258
G –Code Kurzreferenz Fräsen 213
G –Code Liste detailliert 453
G –Code Liste Grundlagen 103
G12 und G13 Mini-Kreistasche Fräsen 173
G34 Lochkreis fräsen 174
G35 Lochreihe fräsen 174
G70 Schlichtzyklus Drehen 238
G71 Schruppzyklus längs Drehen 238
G72 Rechtecktasche Fräsen 175
G72 Schruppzyklus plan Drehen 238
G73 Schruppzyklus konturparallel Drehen 239
G73 Tiefbohrzyklus Spänebrechen Fräsen 171
G74 Linksgewindezyklus Fräsen 171
G74 Unterbrochener Schnitt Drehen 237, 239
G75 Einstechzyklus Drehen 239
G75 Kreistasche Fräsen 175
G76 Feinbohrzyklus Fräsen 171
G76 Gewindezyklus Drehen 240
G80 Bohrzyklen aufheben Fräsen 169
G81 Bohrzyklus Fräsen 169
G82 Senkzyklus Fräsen 169

G83 Tiefbohrzyklus Drehen 237
G83 Tiefbohrzyklus Fräsen 169
G84 Gewindebohrzyklus Drehen 237
G84 Gewindebohrzyklus Fräsen 170
G85 Reibzyklus Fräsen 170
G86 Ausdrehzyklus Spindelstopp Fräsen 170
G87 Rückwärts Senken Fräsen 170
G88 Ausdrehzyklus manuell Fräsen 171
G89 Reibzyklus Verweilzeit Fräsen 171
G92 Gewindezyklus Drehen Fanuc 240
G98 Ausgangsebene bei Bohrzyklen Fräsen 172
G99 Rückzugsebene bei Bohrzyklen Fräsen 172
G-Code 101
Gebrauchtmaschine 421
Gegenlauffräsen 98
Gegenspindel 305
Geisterschicht 287
Geraden, Programmierhilfe 267
Gewinde metrisch und Zoll 91
Gewindebohrer 34, 166
Gewindefräser 168
Glasmaßstab wechseln 416
Glasmaßstab 9
Gleichlauffräsen 98
Gleichstrommotor 4
Grafisch unterstütze Steuerung 264, 266
Grafische Simulation 330
Gravieren 275
Grundbildzeichen 355
Grundsatz Programmierung 110

H
Handbuch 367
Hartmetalle 55
Hartmetallplatten 55
Helix-Programmierung 123
Höhenreißer 370
Hohlschaftkegel 36
Horizontalfräsmaschine 26, 109
HPC 55
HSC 55
HSCO 55
HSS 55
HSSE 55

I
IF und GOTO 311
Index 475
Indirekte Messung 6
Induktives Meßsystem 7
Industrieroboter 319
Inkrementalbemaßung 110, 114

Innengewinde fräsen 125
Insolvenz 421
Interpolation C-Achse Drehmaschine 304
Interpolation 116
ISO 6983 106
ISO-Code 13

K
Kantentaster 392, 398
Kartesische Koordinaten im Raum 65
Kartesische Koordinaten in der Ebene 62
Kartesische Koordinaten 62
Kegelsenker 60 Grad berechnen 88
Kegelsenker 90 Grad berechnen 87
Keine Radiuskorrektur Fräsen 129
Kettenmaße 110, 114
Klartext- Programmierung 264
Klemmung 4. Achse 301
Komplettbearbeitung Drehmaschine 303
Kongruenz 72
Konsolfräsmaschine 24
Kontur 130
Konturzugprogrammierung 264, 266
Konventionelle Drehmaschine 41, 220
Koordinaten **61**
Kostenfaktoren 15
Kreis mit R 118
Kreise, Programmierhilfe 268
Kreisinterpolation auf Zylinder 291
Kreisprogrammierung Drehen 228
Kreisprogrammierung Fräsen 116
Kronenrevolver 42
Kugelrollspindel, Kugelumlaufspindel 4, 5, 100
Kühlmittel 307
Kühlschmierstoffe 56
Kundendienst 416
Kurvenscheibe 2

L
Ladegeschirr 423
Lage Drehmeißel 229
Lageregelung 10, 357
Laserschneiden 50
Laserstrahl 428
Liefertermin 421, 423
Linearmaßstab 6
Literaturhinweise 433
Lochstreifen 3, 13, 18
Lochstreifenleser 14
Lochstreifenstanzer 14

M
M -Funktionen Kurzreferenz Drehen 260
M -Funktionen Kurzreferenz Fräsen 215
M -Funktionen Liste detailliert 465
M -Funktionen Liste Grundlagen 103
M.I.T. 3
Magnetbänder 14, 19
Makros 183, 308
Mantelfläche 305
Maschine aufstellen 423
Maschine kaufen 421
Maschinelles Programmieren 270
Maschinen **23**
Maschinen-Bedienelemente 352
Maschinendaten 359
Maschinen-Datenbits 360
Maschinen-Nullpunkt 107, 384, 409,
Maschinenpflege **414**
Maschinenschraubstock 39
Maßabweichungen Rundtisch 302
Mathematik **69**
Mathematische Funktionen 310
Mechanische Komponenten 4
Mehrfachspannung 4. Achse 292
Mehrfachspannung 40, 283, 284
Messerköpfe 33
Messmaschine 52
Messpunkt Drehmeißel 128, 229, 232
Meßsystem 4, 6
Messtaster 387, 393, 395, 410
Messwürfel 370
Meter Zoll 90
Metrisches System 90
Mitarbeiterschulung 422
Mobilkran 424
Monteur 416
Morsekegel 35, 38
MTS TopMill & TopTurn 338
Musterprogramm Fräsen 106

N
NC und CNC am Anfang 17
NC-Anbohrer 90 Grad berechnen 85
NC-Anbohrer 34, 164
NCPlot 335
NC-Steuerung 3
Neue Maschine **420**
Neumaschine 421
Nibbeln 48
Nullpunkt 107
Nullpunktverschiebung 107
Nummernsystem Unterprogramme 177

Nuten stoßen 303
Nutzung Arbeitszyklen 183

O
Ohne Schneidenradius Drehen 230
Optische Meßeinrichtung 370
Optisches Meßsystem 7
Organisatorische Veränderungen 15

P
Palette 423
Palettenbahnhof 287
Palettencodierung 319
Palettenwechsler 287
Parameter bei Makros 308
Parsons, John 3
Pendelbearbeitung 285
PM-Stähle 55
Polarkoordinaten im Raum 68
Polarkoordinaten in der Ebene 67
Polarkoordinaten 67
Portalfräsmaschine 27
Portalroboter 319
Postprozessor 271, 330
Probelauf 405, 413
Probleme 20
Programm 101
Programmaufbau 101
Programme anderer Steuerungen 441
Programme zum Buch 474
Programmierblatt Drehen 227, 437
Programmierblatt Fräsen 115, 438
Programmieren Drehen 218
Programmieren Fräsen 97
Programmieren in 5 Achsen 32
Programmierhilfen der Steuerung 264
Programmierhilfen Vorbemerkung 263
Programmierhilfen 262
Programmierregeln 318
Programmierung 20
Programm-Nullpunkt 385, 409
Programmschritte 104
Programmunterbrechung 406, 413
Programmwalze 2
Projekt Flaschenöffner 206
Prüfdorn 389
Punktsteuerung 11

Q
Quarzglas 8, 9

R

R8-Aufnahme 36
Radial eingespanntes Werkzeug 303
Radius ohne Schneidenradiuskompensation 231
Radiuskorrektur bei Außenkonturen 143
Radiuskorrektur bei Innenkonturen 145
Radiuskorrektur Fehlermöglichkeiten 146
Radiuskorrektur Fräsen abwählen 159
Radiuskorrektur Fräsen Einführung 126
Radiuskorrektur Fräsen G43 G44 162
Radiuskorrektur Fräsen Grundlagen 141
Radiuskorrektur Fräsen Typ A anwählen 147
Radiuskorrektur Fräsen Typ B anwählen 154
Rapid Prototyping 428
Rechenoperationen 310
Rechnen mit dem Speicher 96
Referenzmarke 8, 9
Referenzpunkt 107, 384, 409
Regeln 357
Reibahle 34, 165
Relief fräsen 274
Resolver 7
Rollenumlaufschuhe 5
Rotierende Bürsten 307
Rotierende Werkzeuge Drehmaschine 303
Rundschrift 276
Rundteiltisch 289
Rundtisch zur 5-Achsen Bearbeitung 31

S

Satz des Pythagoras 71
Satznummer 101
Satzvorlauf 406
Scara-Roboter 319
Schaftformen 35
Schleifen 52
Schlichtfräser 35
Schlittenführung 4
Schneidenradius Drehen An- und Abwählen 236
Schneidenradius Drehen Auswirkung 232
Schneidenradius Drehen Einführung 229
Schneidenradius Drehen Richtung 234
Schneidenradiuskompensation Drehen 229
Schneidstoffe 55
Schnittgeschwindigkeit 57, 92
Schnittgeschwindigkeits-Tabelle 60, 439
Schrägbett-Drehmaschine 41, 220
Schraubstock 395
Schruppfräser 35
Schruppschlichtfräser 35
Schulrabatt 422
Selbsthaltend 102

Senker 34, 165
Simulation **329**
S-Kurve gravieren 121
Softkeys 341
Sonstige Maschinen 48
Späne 307
Spannen Drehen 46
Spannen Fräsen 39
Spannpratzen 39
Spannskizze 377
Spannwürfel 292
Spannzangen 37
Spannzangenfutter Drehen 47
Spantiefe 59, 92
Spiralbohrer 118 Grad berechnen 83
Spiralbohrer 130 Grad berechnen 84
Spiralbohrer 34, 164
SPS 319
Standard Parameter 360
Stanzwerkzeuge 48
Stapler 424
Startsignal 419
Steckerfeldsteuerung 3
Steilkegel 36
Sternrevolver 42
Steuerbefehle 310
Steuern 357
Steuerungsarten 11
Stirnfläche 305
Stirnfräsen 98
Stirnrevolver 42
Streckensteuerung 11
Strichgrafik 330
Stromausfall 406
Stützpunkt 129

T
Tacho 4
Tangente, tangential 74
Tangenten 73
Taschenrechner 94
Tastatur 342
Tastkopf 394
Telefon-Hotline 367
Tiefenspanner 40
Tieflochbohren 165
Trapezspindel 4, 5
Turbocad 270
Typische Arbeitsschritte 16

U
Übersicht CNC-Befehle 453

Übersicht Programmierhilfen 266
Ultraschall 428
Unidirektionales Werkzeugsystem 30, 41
Universalroboter 319
Unterprogramme Drehen 241
Unterprogramme Fräsen 177
Unterschiede Fräsen und Drehen 219

V
Variablenzuweisung 310
VDI-Aufnahme 44, 45
Verhältnisrechnung 80
Verschachtelung von Werkstücken 51
Verspätung 425
Vertikalfräsmaschine 25, 109
Vierbackenfutter 46
Vierte Achse Mehrfachspannung 292
Vierte Achse 289
VisualMill 271
Vollhartmetall 55
Volumenmodell 330
Vorbemerkung Programmierhilfen 263
Vorgesetzter 432
Vorschub 59, 92

W
Walzenfräsen 98
Wartungsplan 415
Wasserstrahl 428
Wasserstrahlschneiden 50
Wear 375
Wendelnut 290
Werkstattprogrammierung 264
Werkstück einrichten Drehen 412
Werkstück einrichten Fräsen 404
Werkstücknullpunkt ausmessen 392, 410
Werkstück-Nullpunkt 107, 385, 409
Werkzeug einrichten Drehen 412
Werkzeug einrichten Fräsen 404
Werkzeug in der Drehmaschine ausmessen 411
Werkzeugbruch 406
Werkzeugkorrekturspeicher Drehmaschine 235, 376
Werkzeugkorrekturspeicher Fräsmaschine 153, 210, 375
Werkzeugmagazin 27
Werkzeugspannung Fräsen 36
Werkzeugträger-Bezugspunkt 385, 409
Werkzeugvoreinstellgerät 370
Werkzeugvoreinstellung 369
Werkzeugwechsler 27
WHILE, DO und END 311
WIDIA 55
Wie erging es mir selbst 21

Winkelberechnungen 95
Winkelfunktionen 71
Winkelgeschwindigkeit 289
WinUnisoft 336
Wirtschaftliche Faktoren 15
WOP 266

Z
Zahnradpumpe 320
Zentrierbohrer 34, 89
Zoll-System 90
Zukunft **427**
Zustellwinkel Gewindedrehen 240
Zyklenprogrammierung 264
Zylinderschaft 35

Stephan Pausch

DAS DICKE CNC-BUCH

Aus dem Inhalt:

Kapitel 1	Einführung
Kapitel 2	Maschinen
Kapitel 3	Abspantechnik
Kapitel 4	Koordinaten
Kapitel 5	Mathematik
Kapitel 6	Programmieren Fräsen
Kapitel 7	Programmieren Drehen
Kapitel 8	Programmierhilfen
Kapitel 9	Fortgeschrittene Programmierung
Kapitel 10	Simulation
Kapitel 11	CNC-Steuerung
Kapitel 12	Werkzeugvoreinstellung
Kapitel 13	Fräsmaschine Einrichten
Kapitel 14	Drehmaschine Einrichten
Kapitel 15	Maschinenpflege
Kapitel 16	Neue Maschine
Kapitel 17	Zukunft
Kapitel 18	Empfehlungen
Kapitel 19	Anhang