



Die Grundlagen der CNC-Programmierung

Mit SIM_WORK zum sicheren CNC-Programmierer

Bevor ein Werkstück auf CNC-Maschinen hergestellt werden kann, muss der Facharbeiter mithilfe einer technischen Zeichnung, vor seinen "geistigen Augen" den dazu erforderlichen Arbeitsablauf vom Anfang bis zum Ende durchspielen. Es muss festgelegt werden, welches Werkzeug in welcher Reihenfolge benötigt wird und welche Schnittgeschwindigkeiten sowie Vorschübe erforderlich sind. Dazu kommt noch die Art der Spannung unter Berücksichtigung von Hindernissen auf dem Maschinentisch. Erst dann kann ein fehlerfreies CNC-Programm geschrieben werden. Diese Denkweise kann dank SIM_WORK ausgiebig trainiert werden.



1 Der JetSleeve von Diebold sorgt dafür, dass beim Fräsen die Späne sofort weggeschleudert werden und dadurch der Nachteil des schlechten Spänefalls beim Senkrechtfräsen ab sofort Geschichte ist. Zudem sorgt diese Innovation dafür, dass sich die Fräserstandzeit mindestens verdoppelt.

Bei der manuellen Fertigungsweise kann man strenge Planungsregeln zur Werkstückfertigung etwas lockerer handhaben, da ein Facharbeiter dank seines Erfahrungsschatzes zu jeder Zeit den Fertigungsprozess im Griff hat. Eventuelle Unkorrektheiten werden sofort erkannt und korrigiert. Ein CNC-Programm darf hingegen keine groben Fehler enthalten. Ein einziges fehlerhaftes Vorzeichen genügt und der Maschinentisch fährt in die falsche Richtung, was eine teure Maschinenreparatur nach sich ziehen kann. Oft sind danach auch das Werkzeug und das Werkstück reif für die Schrottkiste.

Der Grund ist, dass anders als ein Mensch eine Steuerung keine logischen Entscheidungen nach dem Muster: "Es darf jetzt nicht weiter in die Richtung X- gefahren werden, da sonst das Werkstück zerstört wird" treffen kann. Diese Regel muss der Programmierer im Programm berücksichtigen.

Die erste einfache Kontur

Zur Planungsvorbereitung gehört die Überlegung, aus welchem Rohteil sich das Werkstück am kostengünstigsten herstellen lässt. Für das folgende Programmierbeispiel wird ein gezogenes und bereits abgesägtes Vierkantmaterial aus Aluminium mit den Maßen 100x100x22 ausgewählt. Die erste Aufgabe besteht darin, das Werkstück auf 20mm Dicke zu fräsen, um die Sägeunebenheiten zu entfernen.

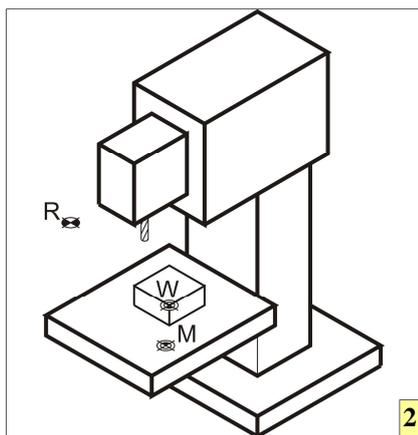
Für diese einfache Tätigkeit hat ein Facharbeiter zwei Möglichkeiten: Entweder er schreibt ein Programm, um per CNC-Maschine die Deck- und Bodenfläche zu bearbeiten, was im Fall großer Stückzahlen sowieso erste Wahl ist, oder er fräst die Flächen per Universalfräsmaschine manuell auf Maß. Natürlich kann das manuelle Bearbeiten der Flächen auch per CNC-Maschine durchgeführt werden, da einfache Fräsarbeiten auf dieser Maschinengattung ebenfalls ausgeführt werden können. Dazu eignen sich insbesondere sogenannte elektronische Handräder. Dies

ist gerade bei Einzelstücken oft sinnvoller und zeitsparender, als ein Programm dafür zu erstellen.

Da in diesem Kurs jedoch der Umgang und das Programmieren von CNC-Maschinen geübt werden sollen, wird nachfolgend beschrieben, welche Schritte nötig sind, um die gestellte Aufgabe mithilfe eines Programms zu lösen.

Maschine rüsten

Durch seine einfache Form bietet es sich an, das Werkstück in einen Maschinenschraubstock einzuspannen. Dieser wird also auf dem Maschinentisch befestigt und gegebenenfalls mit der Messuhr ausgerichtet, wenn keine Nutensteine für die sofortige korrekte Lage sorgen. Vielfach sind moderne CNC-Maschinen mit sogenannten Nullpunktspannsystemen ausgerüstet,



die das Spannen noch einmal schneller und genauer machen.

Die Arbeitsebenen G17, G18, G19

Steuerungen besitzen keine Augen, um zu erkennen, wie das Werkzeug zum Werkstück steht. Mit den Befehlen G17, G18 und G19 wird dem Missstand abgeholfen. Diese Befehle sagen der Steuerung, ob das Werkzeug waagrecht oder senkrecht eingespannt ist. Dadurch spielt es keine Rolle wie das Werkstück aufgespannt ist - es kann in jeder Spannlage bearbeitet werden.

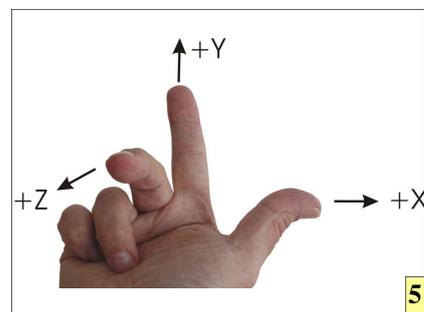
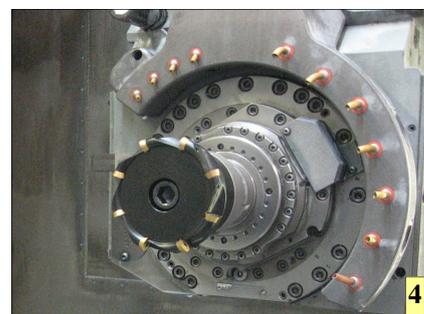
Bevorzugt wird häufig die waagrechte Arbeitsweise, da hier die Späne frei in die Maschinenwanne fallen können und die Fertigung nicht mehr beeinträchtigen können. Aus didaktischen Gründen werden in diesem Kurs jedoch alle Beispiele in senkrechter Bearbeitung ausgeführt.

Um zu verstehen, welcher Befehl nötig ist, um der Steuerung zu sagen, welche Lage das Werkzeug im Raum einnimmt, muss etwas weiter ausgeholt werden. CNC-Maschinen haben einen wesentlichen Stolperstein, der es anfangs nicht gerade erleichtert das CNC-Programmieren zu erlernen. Je nachdem, wie der Maschinenhersteller sein Produkt einstuft, sind die Achsen abweichend zu Maschinen anderer Hersteller bezeichnet.

Hersteller, die ihre Maschine als Waagrechtmaschine bezeichnen, ha-

ben korrekt nach DIN ihren Maschinen eine andere Achsenlage mitgegeben, als Hersteller, die ihre Maschine als Senkrechtmaschine verkaufen. Sehr häufig sind durch den An beziehungsweise Abbau des Senkrechtfräskopfes diese Maschinen umrüstbar. Die Achsenlage ändert sich dadurch jedoch nicht. Deshalb muss jeder Facharbeiter sich zunächst die Achsenlage jeder von ihm zu betreuenden Maschine genau ansehen.

Es hat sich bewährt, zunächst aus festem Papier ein Koordinatenmodell zu basteln, aus dem ersichtlich wird,

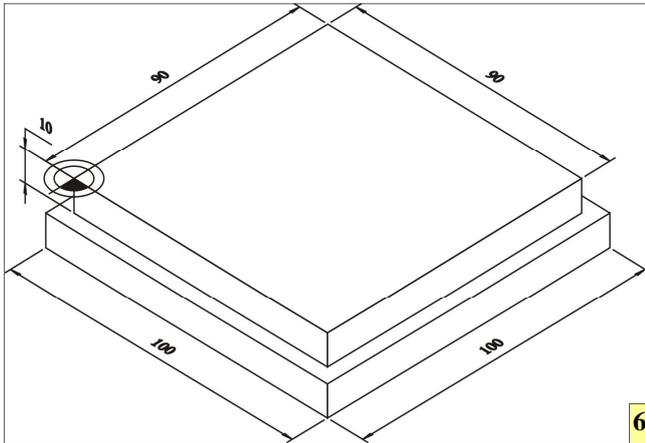


2 Nach dem Einschalten einer CNC-Maschine wird zunächst der Referenzpunkt (R) angefahren. Dieser Vorgang kann bei modernen Maschinen eventuell entfallen. Der Maschinennullpunkt (M) ist vom Hersteller vorgegeben und kann nicht verändert werden. Der Werkstücknullpunkt (W) ist der Startpunkt der Bearbeitung des Werkstücks.

3 Elektronische Handräder von modernen Maschinen ermöglichen trotz fehlender Handräder das manuelle Bearbeiten von einfachen Werkstücken auch auf CNC-Maschinen. Dafür sind die Handräder jedoch nicht hauptsächlich gedacht. Diese sollen vielmehr das Einrichten der Maschine, wie etwa die Ermittlung des Nullpunktes erleichtern.

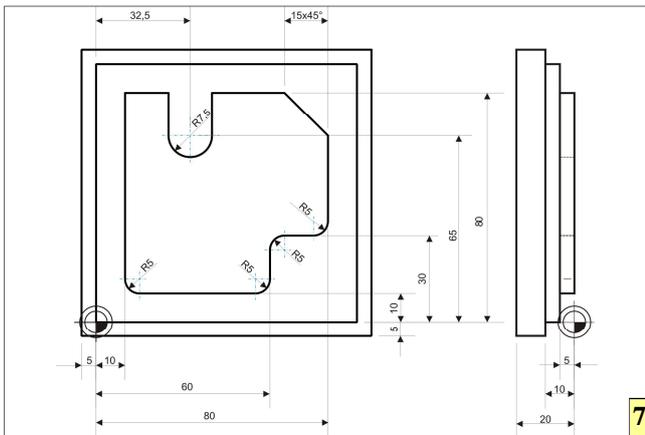
4 Beim Waagrechtfräsen ist der Spänefall günstiger als beim Senkrechtfräsen.

5 Mit drei Finger einer Hand kann rasch festgestellt werden, wie die CNC-Achsen im Raum angeordnet sind. Faustregel: Die Z-Achse geht immer durch die Arbeitsspindel.



6

6 Das Übungsteil wird aus einem Stück Aluminium hergestellt, das auf die Maße 90x90, 10 Tief vorgefräst wird.

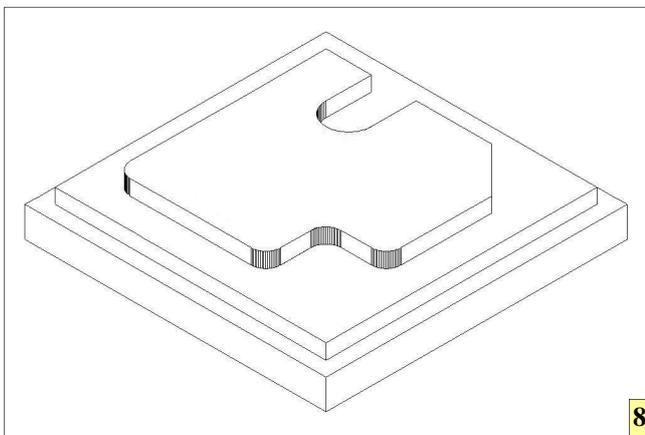


7

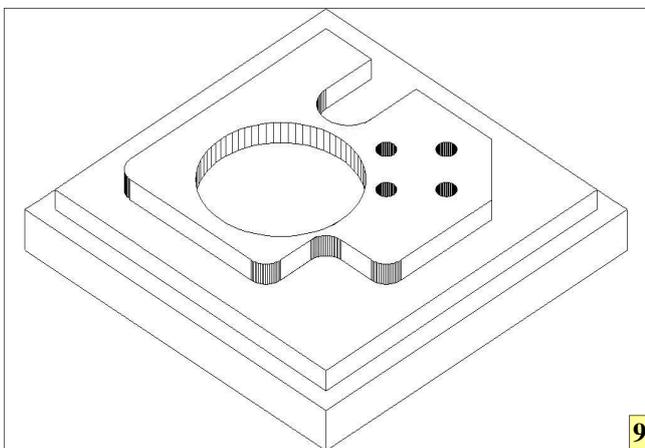
7 Ausgehend vom Nullpunkt werden Werkstücke nach Möglichkeit so bemächt, dass CNC-Programme rasch erstellt werden können.

8 Mittels einer isometrischen Darstellung ist es auch für weniger Geübte einfach, sich das zu fräsende Werkstück vorzustellen.

9 In einem späteren Kursteil wird das Werkstück noch mit Bohrungen versehen, die mittels Zyklen eingebracht werden.



8



9

wie die einzelnen Ebenen zueinander stehen, um dieses Thema leichter zu durchschauen. Alternativ können auch mit drei Fingern der Hand die Achsen dargestellt werden. Solche kleinen Hilfen ebenen gerade am Anfang einer CNC-Programmierer-Karriere den Einstieg in diese Technik, da es ungeheuer hilfreich ist, beispielsweise das Papier-Modell auf den Frästisch zu legen, um sich ein Bild von den jeweiligen Arbeitsebenen zu machen..

Die SIM_WORK zugrunde liegende Maschine ist eine Waagrechtfräsmaschine, an die im Bedarfsfall ein Senkrechtfräskopf angebaut werden kann. Da das Werkstück mit angebautem Senkrechtfräskopf bearbeitet werden soll, wird dieser Anbau nun vorgenommen. CNC-Maschinen besitzen jedoch oft keinen Sensor, der dies automatisch erkennt. Folgerichtig geht die Steuerung davon aus, dass das Werkzeug nach wie vor waagrecht gespannt wird. Entsprechend würden alle Fräsbewegungen falsch berechnet, wenn hier keine Korrektur vorgenommen wird.

Information ist alles

Um der Steuerung mitzuteilen, dass der Senkrechtfräskopf angebaut ist und daher das Werkzeug senkrecht steht, wird der Befehl G18 benötigt. Wenn nach dem Start von SIM_WORK die Referenzpunkte angefahren wurden und sich das Programm im Teach-in-Modus befindet, kann man die Wirkung dieses Befehls G18 sofort überprüft werden, da nach Eingabe dieses Befehls der Senkrechtfräskopf im 3D-Maschinenbild nach Betätigen der Return-Taste erscheint.

Zusätzlich verschwindet in der G-Befehlsstatuszeile die Zahl 17 und die Zahl 18 erscheint an der gleichen Stelle. Dadurch wird schon deutlich gemacht, dass die verschiedenen CNC-Befehle zu Gruppen zusammengefasst sind. Für angehende CNC-Programmierer ist es ganz wesentlich, dass diese sich der Gruppenzugehörigkeit von CNC-Befehlen stets bewusst sind, da sich diese gruppengebundenen Befehle gegenseitig über-

**Ebenenzuordnung
Waagrechtfräsmaschinen** **10**

G18: Werkzeug senkrecht, XZ-Ebene
G17: Werkzeug waagrecht, XY-Ebene
G19: Werkzeug ist in einem Winkelfräskopf eingespannt. (ZY-Ebene)

**Ebenenzuordnung
Senkrechtfräsmaschinen** **11**

G18: Werkzeug senkrecht, XY-Ebene
G17: Werkzeug waagrecht, XZ-Ebene
G19: Das Werkzeug ist in einem Winkelfräskopf eingespannt. (ZY-Ebene)

10,11 Beide Maschinentypen können durch An- beziehungsweise Abbau eines Senkrechtfräskopfes auf den jeweils anderen Maschinentyp umgerüstet werden. Die Lage des Koordinatensystems ändert sich dadurch nicht. Die Programmerstellung erfolgt in der Regel immer in der X/Y-Ebene.
Wichtig: Die Befehle G17 und G19 können mit SIM_WORK nicht verwendet werden.

schreiben. Dies bedeutet, dass ein Befehl einer Gruppe nur solange wirksam ist, bis ein anderer Befehl der gleichen Gruppe aufgerufen wird.

Dies kann man sich mit einem einfachen Beispiel aus dem Alltag bildlich vor Augen führen: In Zimmer A und B brennt je eine Lampe. Die Lampe in Zimmer A beziehungsweise B kann selbstverständlich nur durch einen Schalter gelöscht werden, der sich im entsprechenden Zimmer befindet. Ergo muss man, wenn die Lampe im Zimmer B gelöscht werden soll, in das entsprechende Zimmer B gehen und den dafür vorgesehenen Schalter betätigen. Erst dann wird diese Lampe auch gelöscht. Nichts anderes ist bei

den Befehlen G17 und G18 der Fall. Diese bilden zusammen mit dem Befehl G19 eine Gruppe, die die Lage des Werkzeugs im Raum festlegt.

Wenn einer dieser Befehl falsch eingegeben oder vergessen wurde, dann kann das die Ursache für einen Crash sein. Denn je nach Befehl entscheidet die Steuerung, welche Achse bewegt werden muss, um etwa einen Bohrer in ein Werkstück eindringen zu lassen.

Werkzeuge voreinstellen

Nachdem nun der Befehl G18 eingegeben wurde, könnte nun das Werkzeug in den Senkrechtfräskopf eingespannt werden, wenn bereits dessen Maße im Werkzeugspeicher stehen würden. Die

Angabe von Werkzeuglänge und -durchmesser im Werkzeugspeicher ist absolut wichtig, damit die Steuerung in der Lage ist, unter Berücksichtigung der Werkzeugabmessungen die Achsen der Maschine so zu steuern, dass das gewünschte Werkstück mit den gewünschten Maßen entsteht.

Werkzeuglänge und -durchmesser werden üblicherweise mit einem Werkzeugvoreinstellgerät ermittelt. Auf dem Markt gibt es dazu unterschiedlichste Angebote, die sich in ihrer Leistungsfähigkeit unterscheiden. Insbesondere für Kleinbetriebe reicht häufig ein einfaches Voreinstellgerät aus. Die gemessenen Werte werden von Hand in den Werkzeugspeicher der Steuerung eingegeben.

Um den Werkzeugspeicher von SIM_WORK aufzurufen werden die Tasten [Strg] + [I] gleichzeitig betätigt. In der Meldezeile hat man nun die Auswahl zwischen:

- Werkzeugspeicher
- Maschinenkonstantenspeicher
- Parameterspeicher
- Nullpunktspeicher

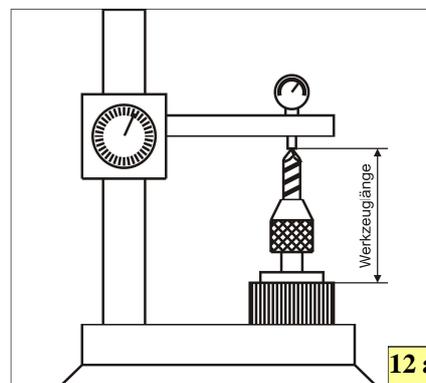
Alle diese Speicher können von hier aus durch Eingabe des ersten Buchstabens ausgewählt werden. Für den Werkzeugspeicher wird daher die Taste W betätigt.

Es werden nun die Felder 0..99 aufgebaut. Dies bedeutet, dass 100 Werkzeuge mit ihren Abmessungen abgespeichert werden können. Mit den Cursor-Tasten links [←], rechts [→], auf [↑] und ab [↓], können die Felder angesprochen werden.

Zum Bearbeiten des Werkstückes stehen zwei verschiedene Fräswerkzeuge zur Verfügung. Ein Messerkopf, um die Deckfläche abzufräsen und ein Schaftfräser, der zum Fräsen des Rechteckes benutzt wird. Der Messerkopf hat einen Durchmesser von 60mm. Die Werkzeuglänge wurde mit 100mm ermittelt. Der Schaftfräser hat einen Durchmesser von 12mm. Die Werkzeuglänge wurde mit 110mm ermittelt. In Feld 1 (Messerkopf) und 2 (Schaftfräser) werden nun die Werte dieser Werkzeuge eingegeben. Zu beachten ist, dass immer nur der Werkzeugradius und nicht der



12 Einfache, aber präzise Voreinstellgeräte wie das VEG4000 von Diebold sind für das Voreinstellen von Werkzeugen völlig ausreichend. Größere Geräte lohnen sich vor allem dann, wenn täglich sehr viele Werkzeuge vermessen werden müssen oder die Werkzeuge komplizierte Geometrien aufweisen.



12a Um die Maße der Werkzeuge korrekt zu ermitteln, genügen in der Regel einfache Werkzeugvoreinstellgeräte, die es in unterschiedlichen Ausführungen gibt. Es besteht auch die Möglichkeit, Werkzeuge direkt in der Maschine zu vermessen, was jedoch wegen der teuren Maschinenstillstandzeiten häufig nicht genutzt wird.

Nullpunktermittlung

Die X- und Z-Werte werden mithilfe eines Kantentasters ermittelt. Der Y-Wert ist etwas aufwendiger zu ermitteln: Man legt ein Endmaß mit der Länge 100 mm (es kann auch eine andere Länge haben) zwischen Werkstück und Spindelnase und verfährt den Tisch in der Höhe so, dass dieses Endmaß gerade noch zwischen Werkstück und Spindelnase passt. Der Wert, der

nun an der Anzeige für die Y-Achse unter ABS-WERT angezeigt wird, wird notiert. Von diesem Wert werden nun 100 mm als Verschiebewert abgezogen. Dies ist das Ergebnis, das in den NPV-Speicher für die Y-Achse eingegeben wird. Für die Nicht-Facharbeiter unter den Lesern ist es nicht so wichtig, diesen Vorgang nachvollziehen zu können, denn die NPV ist nur auf realen Maschinen genau zu beachten, um Ausschuss und Crash zu verhindern.

Werkzeugdurchmesser eingegeben wird!

Hinweis: Solange das Feld blau hinterlegt ist, kann es mit der Taste Backspace editiert werden.

Sobald die Werte eingegeben sind, können diese nun im Programm verwendet werden. Wenn man sich vertippt hat, dann bewegt man ganz einfach den Cursor mit der Leertaste auf das Feld mit dem falschen Wert und überschreibt diesen. Der Wert wird allerdings erst nach Betätigen der Return-Taste ersetzt.

Sobald in einem Feld ein Wert eingegeben wurde und das Feld verlassen wurde, ändert das Feld seine Farbe. An dieser Farbänderung kann man feststellen, dass in diesem Feld Werte abgelegt sind. Alle anderen Felder, die einen gelben Hintergrund haben, sind noch leer.

Sollen keine Werkzeugdaten mehr gespeichert werden, kann der Werkzeugdatenspeicher durch Drücken der Taste [ESC] verlassen werden. Nun wird wieder das Grundbild im unteren

Bildschirmmittel sichtbar. Aber auch jetzt ist es noch nicht möglich, die ersten "Späne" zu produzieren, da vorher noch der Nullpunkt am Werkstück gesetzt werden muss, denn die Steuerung weiß ja nicht, wo das Rohteil auf dem Maschinentisch platziert ist.

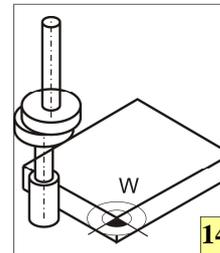
Nullpunkt setzen

Nullpunkte zu setzen kann sehr zeitraubend sein, schließlich muss man den Abstand der Werkstückoberfläche zur Spindelnase ermitteln sowie zwei Kanten am Werkstück mit der Spindelachsenmitte in Deckung bringen, um die nötigen Werte zu bekommen. Dieser Prozess ist am einfachsten und schnellsten mit einem 3D-Taster zu meistern. Aber auch Endmaße und Kantentaster werden dafür gerne genommen.

Sobald die Werte bekannt sind, werden diese im Nullpunktspeicher abgelegt. Dazu werden in SIM_WORK die Tasten [Strg] + [I] gleichzeitig betätigt. Es kann nun wieder zwischen verschiedenen Speichern gewählt werden. Der



13 Endmaße und...
14 ...Kantentaster sind eine Möglichkeit, um den Nullpunkt eines Werkstückes festzulegen.
15 Schneller geht es jedoch mit einem 3D-Taster.



Nullpunktverschiebungsspeicher wird durch Eingabe des Buchstaben "N" angesprochen. Es baut sich nun eine Feldreihe mit den Feldern 50-59 auf. Im Feld 54 werden die Werte eingegeben. Es könnten auch andere Felder wie etwa 57 verwendet werden. Die Felder 50,51 und 52 sind jedoch tabu! Der Grund wird etwas später erläutert.

Die Eingabe der Verschiebewerte erfolgt in der gleichen Weise wie die Eingabe von Werkzeuglänge und -radius in den Werkzeugspeicher.

Hinweis: SIM_WORK ist so programmiert, dass es beim versehentlichen Vergessen der Eingabe von Werkzeugdaten Standardwerte verwendet, die oft den Abbruch der Simulation verhindern. Auf realen Maschinen wäre diese Vorgehensweise jedoch fatal. Deshalb ist es extrem wichtig, auch im Trockentraining mit SIM_WORK so zu arbeiten, als wäre man an einer echten Maschine.

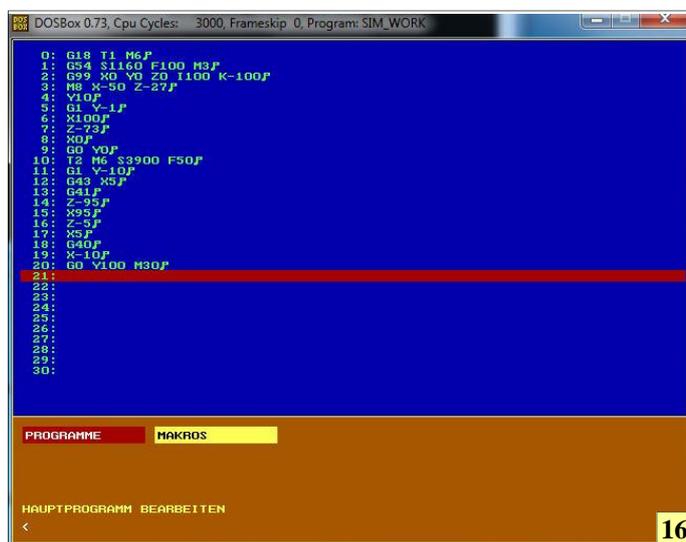
Vorschlag für die NPV-Werte: X:100 Y:110 Z:200. Mit der Taste [ESC] wird der NPV-Speicher verlassen.

Flexibilität ist alles

Die Felder 54-58 werden hauptsächlich verwendet, wenn mehrere Nullpunkte am Werkstück vorhanden sind, oder wenn mehrere Werkstücke auf einer Spannvorrichtung gespannt sind. Dadurch kann man jedem Werkstück seine eigenen Nullpunktkoordinaten zuordnen. Nullpunkte, die mit G54-G59 aktiviert wurden, können gelöscht werden. Dazu verwendet man den Befehl G53.

Eine einfache Kontur

Die Befehle, die bei den Experimenten mit "RESET-AXIS" eingegeben



16 Im Editor, der mit [Strg] + [K] aufgerufen wird, können längere Programme eingegeben werden. Auch die mittels Teach-In-Modus eingegebenen Programme werden hier abgelegt. Die Aufteilung in einen Hauptprogramm- und einen Makrobereich ermöglicht das Erstellen von verschachtelten CNC-Programmen. Durch Drücken der Taste [Esc] wird der Editor wieder verlassen.



wurden, sind im Speicher abgelegt worden. Wenn die Tasten [Strg] + [K] gleichzeitig gedrückt werden, wird der Editor aufgerufen. Dort können die Befehle nachgelesen werden. Mit [ESC] wird der Editor wieder verlassen. Um diese Befehle loszuwerden, muss der Speicher geleert werden. Dazu sind die Tasten [Strg] + [N] gleichzeitig zu drücken. Alle Speicher werden dadurch gelöscht. Leider auch der Werkzeug- und der Nullpunktspeicher. Daher müssen die Werte wieder genauso in die entsprechenden Speicher eingegeben werden, wie es bereits gezeigt wurde.

Programmeingabe

Per [Strg] + [B] wird die Wahl des Betriebsmodus aufgerufen. Durch Betätigen der Taste [M] wird der TEACH-IN-Modus gewählt und SIM_WORK ist bereit zur Programmeingabe. Das Programm wird nach jeder Befehlseingabe sofort simuliert, wenn es anhand der Befehle möglich ist. Zwischen den einzelnen Befehlen muss unbedingt je ein Leerzeichen stehen, da sonst SIM_WORK die Befehlszeile falsch auswertet. Es erfolgt bei Missachtung dieser Regel keine Fehlermeldung. Nach M6 fahren die Schlitten wie im Fall einer realen Maschine auf eine Werkzeugwechselposition. Bevor nun

Nullpunkt mit Reset-Axis setzen

Es gibt eine weitere Methode den Nullpunkt zu setzen: "RESET-AXIS". Durch gleichzeitiges Betätigen der Tasten [Strg] + [B] wird der Betriebsmodus aufgerufen. Ganz rechts in der nun erscheinenden Auswahlleiste steht "R=RESET_AXIS".

Angenommen, alle Achsen befinden sich auf dem Nullpunkt des Werkstückes, so muss nur noch die Taste [R] gedrückt werden. Es erscheint eine Aufforderung, den Verschiebewert einzugeben. Wenn kein Verschiebewert zu berücksichtigen ist, werden mittels der Taste [ESC] die Achsen auf null gestellt, was im IST-WERT-Feld über-

weitere Befehle eingegeben werden können, muss per [RETURN] der Werkzeugwechsel bestätigt werden. Die Schlitten fahren danach mit dem neuen Werkzeug an die ursprüngliche Position zurück. Wieder ein Hinweis, wie real SIM_WORK die Maschinenrealität abbildet.

Übrigens: Das Programm kann per [Strg] + [W] beliebig oft wiederholt werden.

Sichern von Programmen

Damit das erstellte CNC-Programm beim Ausschalten des Rechners nicht

prüft werden kann. Durch Drücken von [Strg] + [I] sowie anschließend [N] gelangt man in den Nullpunktspeicher. Im Feld 52 stehen jetzt plötzlich Zahlenwerte. Diese sind nichts anderes, als die absoluten Koordinaten der Achsen zum Zeitpunkt des Befehls "RESET-AXIS", der durch drücken der Taste [R] gegeben wurde.

Der Nullpunkt, der mit "RESET-AXIS" gesetzt wurde, kann mit G51 gelöscht und durch Eingabe von G52 wieder aktiviert werden. Man muss also nicht unbedingt mit den Achsen nochmals auf dem Werkstücknullpunkt stehen, um den Nullpunkt erneut zu gewinnen.

verloren geht, kann es gesichert werden. Zu diesem Zweck sind die Tasten [Strg] + [A] gleichzeitig zu drücken. In der nun folgenden Maske besteht die Möglichkeit, Programme, Makros und Werkzeugdaten abzuspeichern. Mit den Cursor-Tasten [←] [→] wird zwischen den verschiedenen Möglichkeiten durchgewechselt.

Im Eingabefeld können das Laufwerk, der Pfad und der Programmname angegeben werden. Ganz genauso, wie man es vom DOS-Betriebssystem gewöhnt ist. Leider gibt es bei Nutzung von DOSBox aber eine massive Einschränkung: Die Laufwerke und Pfade sind unsichtbar, wenn sie nicht

Der Verschiebewert

Wie bekannt, wird der Nullpunkt am Werkstück hauptsächlich mit dem 3D-Taster oder einem Kantentaster und einem Endmaß ermittelt. Um die korrekten Werte zu ermitteln, ist es notwendig, den Kantentasterradius beziehungsweise die Endmaßdicke zu berücksichtigen. Genau diese Werte sind die Verschiebewerte. Wenn in der X- und Z-Achse der Kantentasterradius berücksichtigt werden soll, werden bei einem Durchmesser von 10 mm einfach 5 beziehungsweise -5 bei den entsprechenden Achsen eingegeben. Für die Y-Achse muss der Wert -100 eingegeben werden. Mit der Leertaste springt der Cursor von Eingabefeld zu Eingabefeld. Nach Betätigung von [ESC] verrechnet die Steuerung die Verschiebewerte mit den absoluten Koordinaten.

Das erste CNC-Programm

```
G18 T1 M6
G54 S1160 F100 M3
G99 X0 Y0 Z0 I100 K-100
M8 X-50 Z-27
Y10
G1 Y-1
X100
Z-73
X0
G0 Y0
T2 M6 S3900 F50
X-10 Z20
G1 Y-10
G43 X5
G41
Z-95
X95
Z-5
X5
G40
X-10
G0 Y100 M30
```

Oberfläche planfräsen

Umrandung 90x90 fräsen

17 Das erste Programm fräst die Außenkonturen 90x90, 10 tief.

Werkzeugspeicher
([Strg]+[I]+[W])
T1 L100 R30
T2 L110 R6

Nullpunktspeicher
G54 ([Strg]+[I]+[N])
X: 100
Y: 110
Z: 200

Hinweis

SIM_WORK verwendet Standardwerte, wenn Werkzeugdaten versehentlich vergessen wurden, was oft den Simulationsabbruch verhindert. Auf realen Maschinen wäre diese Vorgehensweise fatal. Deshalb ist es extrem wichtig, auch im Trockentraining mit SIM_WORK so zu arbeiten, als wäre man an einer echten Maschine.

Simulation: Aus mathematischen Gründen hinkt die Simulation den eingegebenen Befehlen immer ein wenig nach.



Programmanalyse

Wie bei der Programmeingabe festzustellen war, ist das besondere an SIM_WORK, dass nach jeder Programmzeile sofort eine Simulation erfolgt. Hier eine Umschreibung der Wirkungsweise der Programmbefehle:

1. Zeile: **G18 T1 M6**

G18: Mit dem Befehl G18 wird der Steuerung mitgeteilt, dass ein Senkrechtfräskopf angebaut ist und das Werkzeug senkrecht steht.

T1: Das Werkzeug T1 wird vorbereitet.

M6: Der Frästisch fährt automatisch auf eine Werkzeugwechselposition. An dieser Stelle wird das Werkzeug eingesetzt. Die Maße des Werkzeuges T1 werden für die Werkstückbearbeitung verwendet. Dazu werden die Maße aus dem Werkzeugspeicher ausgelesen.

2. Zeile: **G54 S1160 F100 M3**

G54: Die Werte des NPV-Speichers 54 werden aktiviert.

S1160: Die Drehzahl der Arbeitsspindel wird auf 1160 U/Min festgelegt.

F100: Der Vorschub wird auf 100 mm pro Minute festgelegt.

M3: Die Arbeitsspindel dreht sich rechtsherum mit der Drehzahl, die unter S festgelegt wurde (hier 1160 U/min).

3. Zeile: **G99 X0 Y0 Z0 I100 J20 K-100**

G99: Erstellung eines Rohteils

X0,Y0,Z0: Startpunktkoordinaten des Rohteils
I100,J20,K-100: Ausdehnung des Rohteils relativ zum Startpunkt.

Bitte beachten Sie: Die Ausdehnung wird nicht vom Werkstücknullpunkt aus angegeben, sondern vom Startpunkt des Rohteils! Die Koordinatenwerte Y und J brauchen bei SIM_WORK nicht zwingend angegeben zu werden, da SIM_WORK nur eine zweidimensionale Darstellung des Rohteils ermöglicht.

Wichtig: Aus technischen Gründen ist es bei SIM_WORK notwendig, den Befehl G99 vor der ersten Fahrbewegung zu programmieren. Andernfalls kann es zu "Geisterbildern" kommen.

4. Zeile: **M8 X-50 Z-27**

Die Koordinate **X-50, Z-27** wird angefahren. Dies erfolgt im EILGANG, da die Einschaltstellung stets der Eilgang ist (G0). Betrachten Sie einmal die Anzeige der G-Funktionen in der Statuszeile, dann werden Sie feststellen, dass dort eine 0 steht. Möchten Sie diese Koordinate im Vorschub anfahren, so müssen Sie in die Programmzeile noch den Befehl G1 hinzufügen (**M8 G1 X-50 Z-27**). Damit die auftretende Zerspanungshitze abgeführt wird, muss Kühlmittelschmiermittel an die Arbeitsstelle gepumpt werden. Die Kühlmittelpumpe muss also aktiviert werden. Dies bewirkt der Befehl **M8**.

5. Zeile: **Y10**

Der Frästisch fährt im Eilgang nach oben. Dabei wird die Länge des Fräswerkzeuges, die im Werkzeugspeicher abgelegt ist, berücksichtigt. Der Tisch bleibt stehen, wenn zwischen Werkstückoberfläche und Fräterschneide noch **10** mm Abstand liegt.

6. Zeile: **G1 Y-1**

G1: Vorschub einschalten. Das heißt: Alle weiteren Achsenbewegungen erfolgen nun im festge-

legten Vorschub von 20 mm/min.

Y-1: Der Frästisch fährt im Vorschub nach oben. Das Fräswerkzeug steht 1 mm unter der Werkstückoberfläche.

7. Zeile: **X100**

8. Zeile: **Z-73**

9. Zeile: **X0**

Die Zeilen 7-9 bewirken ein **Planfräsen** der Werkstückoberfläche.

10. Zeile: **G0 Y0**

G0: Einschalten des Eilgangs.

Y0: Der Frästisch fährt im Eilgang nach unten, bis die Werkzeugschneide auf der früheren Werkstückoberfläche steht. (Diese wurde um 1mm abgefräst)

11. Zeile: **T2 M6 S3900 F50**

T2: Das Werkzeug Nr.: 2 wird vorbereitet

M6: Werkzeugwechsel mit automatischem Anfahren eines Werkzeugwechsellpunkts. Das heißt: Alle Achsen fahren auf einen sogenannten Werkzeugwechsellpunkt. An diesem Punkt wird das alte Werkzeug entfernt und das neue eingespannt. Dies kann je nach Maschinentyp von Hand oder automatisch mithilfe eines Werkzeugwechslers erfolgen. (SIM_WORK fordert nach M6 eine Quittierung des Wechsolvorgangs).

S3900: Die Drehzahl der Arbeitsspindel wird für Werkzeug 2 auf 3900 U/min festgelegt.

F50: Der Vorschub erfolgt mit 50 mm/min.

12. Zeile: **X-10 Z20**

Der Frästisch fährt im **Eilgang** auf die angegebene Startposition.

13. Zeile: **G1 Y-10**

Einschalten des Vorschubs (**G1**) und verfahren auf Frästiefe (**Y-10**).

14. Zeile: **G43 X5**

G43: Der Befehl G43 gehört zu einer Befehlsgruppe, die es ermöglicht, direkt nach den Zeichnungsmaßen das Programm zu erstellen. Zu dieser Gruppe gehören die Befehle: G43/G44/G41/G42. Diese Befehle errechnen aus den Zeichnungsmaßen sowie dem Werkzeugradius die sogenannte Äquidistantenbahn, auf der sich dann der Fräsermittelpunkt bewegt. Der Befehl G43 bewirkt, dass sich das Fräswerkzeug **BIS zur Kontur** bewegt.

X5: Erste Koordinate der Werkstückkontur. Da der Befehl G43 aktiv ist, fährt der Fräser nicht direkt auf diese Position, sondern bleibt um den Radius des Fräswerkzeuges von der Position weg. Im Beispiel ist die tatsächliche Position: Zeichnungskoordinate minus Fräserradius=tatsächliche Koordinate (5mm-6mm=-1mm). Diese Position ist der Beginn der Äquidistantenbahn.

15. Zeile: **G41**

Dieser Befehl gehört ebenfalls wie G43 zu der Befehlsgruppe, die fortlaufend die Äquidistantenbahn berechnen. Durch **G41** wird dem Rechner mitgeteilt, dass das Fräswerkzeug **LINKS von der Kontur** steht (Gleichlaufräsen).

16. Zeile: **Z-95**

17. Zeile: **X95**

18. Zeile: **Z-5**

19. Zeile: **X5**

Die Zeilen 16-19 ergeben die Kontur des Werkstückes. Da G41 aktiv ist, fährt der Fräser links von dieser Kontur entlang.

20. Zeile: **G40**

G40: Dieser Befehl schaltet die **Radiuskorrektur** wieder aus. Das heißt: Die Befehlsgruppe G43/G44/G41/G42 wird deaktiviert. Die fortlaufende automatische Berechnung der Äquidistantenbahn wird beendet. Alle nachfolgenden Koordinaten werden direkt angefahren.

21. Zeile: **X-10**

Verlassen des Werkstückes. Der Fräsermittelpunkt bewegt sich, nachdem G40 aktiv ist, direkt auf diese Koordinate zu und bleibt dann auf ihr stehen.

22. Zeile: **G0 Y100 M30**

G0: Eilgang einschalten.

Y100: Im Eilgang fährt der Tisch nach unten auf die angegebene Position.

M30: Programmende mit Rücksprung zum Programmumfang. Alle noch aktiven Befehle werden deaktiviert. Zum Beispiel wird die Spindel gestoppt und die Kühlmittelpumpe abgeschaltet.

Hinweis: Zum Werkzeugwechsel wäre auch der Befehl M66 möglich gewesen. Man muss dann jedoch selbst dafür Sorge tragen, dass genügend Zwischenraum zwischen Werkstück und Spindelnase bleibt, um das Werkzeug Ausbeziehungsweise Einwechseln zu können. Außerdem ist auf realen Werkzeugmaschinen stets darauf zu achten, dass nicht aus Versehen ein falsches Werkzeug eingewechselt wird. Denn dies würde mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem Crash führen, da die tatsächliche Werkzeuglänge nicht mehr mit dem im Werkzeugspeicher abgelegten Wert übereinstimmt.

gemountet sind. Daher werden Programme in der Regel nur im Verzeichnis abgelegt, in dem auch das Programm SIM_WORK steht. Zum Lernen sind diese Einschränkungen jedoch unerheblich und können mit einem kleinen Aufwand umgangen werden, was jedoch nicht Thema dieses Kurses ist.

Nach Drücken der Return-Taste wird das Programm abgespeichert. Als Extension wird TXT empfohlen, da dadurch das Programm mit jedem Editor geöffnet und ausgedruckt werden kann. Es können jedoch beliebige Extensionen für mit SIM_WORK erstellte CNC-Programme verwendet werden, da das Programm stets im ASCII-Code abgespeichert wird.

Laden von Programmen

Zum Laden von abgespeicherten CNC-Programmen dient die Tastenkombination [Strg] + [L]. In der nun aufgebauten Maske können Programme, Makros und Werkzeugdaten eingelesen werden. Die Bedeutung der Schalter "BTR-Betrieb" und "TEXT-

PUFFER" werden später in diesem Kurs erläutert. Nach Drücken der Return-Taste wird das Programm gesucht und bei Vorhandensein auf diesem Datenträger in den Speicher geladen. Andersfalls erfolgt eine Fehlermeldung. Durch Korrektur der Parameter (Name, Pfad et cetera) kann der Ladevorgang wiederholt werden. Um sich Schreibarbeit zu sparen, wird mit der Taste [F3] der letzte Befehl wieder aufgerufen. Dies funktioniert ebenso beim Speichern einer Datei.

Kontur mit Anspruch

Die Grundlage zum Verständnis der Handhabung von CNC-Maschinen und deren Programmierung ist nun gelegt. Das bisher erstellte Werkstück bildet die Ausgangsbasis für weitere, umfangreichere Bearbeitungen. Wie ersichtlich war, gestaltet sich das Fräsen einer Außenkontur nicht schwierig, da numerischen Steuerungen die Zeichnungsmaße direkt verwenden können.

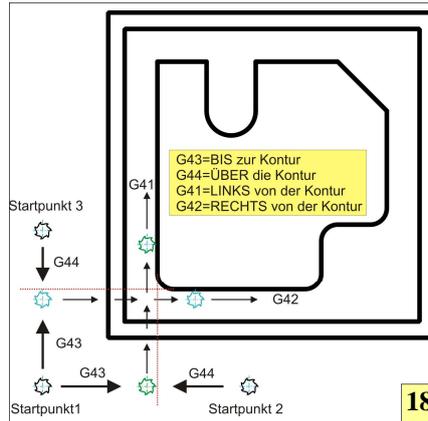
Das war nicht immer so. In der Anfangszeit der CNC-Technik musste die sogenannte Äquidistantenbahn vom Programmierer selbst berechnet werden, was sehr viel Zeit kostete und den Kreis der CNC-Programmierer stark einschränkte, da vertiefte mathematische Kenntnisse dazu nötig waren.

Bereits im ersten Programmbeispiel sind die Befehle G43, G44, G41 und G42 genutzt worden. Die Anwendung dieser Befehle soll im folgenden Beispiel vertieft werden, denn diese Befehle schaffen die Grundlage, auf das manuelle Programmieren einer Äquidistantenbahn zu verzichten, da über diese Befehle die Steuerung sich diese Bahn selbst berechnet.

Fräsen, ohne lange zu Rechnen

Eine sogenannte Äquidistantenbahn ist eine parallel zur Werkstückkontur verlaufende Bahn, auf der sich der Fräsermittelpunkt bewegt. Damit die Steuerung diese Äquidistante richtig berechnet, muss ihr durch G-Funktionen mitgeteilt werden, ob sich das Werkzeug beim Start BIS (G43) oder ÜBER (G44) die Kontur bewegt beziehungsweise ob es sich LINKS (G41) oder RECHTS (G42) von dieser Kontur befindet.

Mit dem Befehl G40 wird diese auto-



matische Berechnung der Äquidistantenbahn wieder aufgehoben. Der Fräser bewegt sich nun wieder direkt auf eine Koordinate zu, ohne den im Werkzeugspeicher abgelegten Fräseradius zu berücksichtigen.

Die Befehle G41/G42

Nachdem mit G43/G44 die Werkstückkante angefahren wurde, kommen die Befehle G41/G42 ins Spiel. Diese Befehle sagen der Steuerung, auf welcher Seite der Kontur sich der Fräser befindet. Der Befehl G41 meldet der Steuerung "Der Fräser steht Links". Wenn G42 aktiv ist, weiß die Steuerung hingegen "Der Fräser steht rechts".

Programmieranfänger haben immer wieder Schwierigkeiten, den richtigen Befehl auszuwählen, da auf dem ersten Blick die dahinterstehende Logik nicht erkennbar ist. Eine gute Hilfe ist es, sich im Geiste mit dem Fräser entlang der Kontur zu bewegen und sich dabei vorzustellen, auf welcher Seite der

18 Zum Anfahren an die Kontur werden die Befehle G43 und G44 benötigt. Je nach Position des Fräasers zum Startzeitpunkt muss genau überlegt werden, welcher Befehl benötigt wird, um die Zielposition zu erreichen. Von Startposition 1 aus benötigt man den Befehl G43 (BIS zur Kontur), von Startposition 2 jedoch den Befehl G44 (ÜBER die Kontur). Wenn sich der Fräser auf der Kontur befindet, muss der Steuerung mitgeteilt werden, ob sich der Fräser rechts (G42) oder links (G41) von der Kontur befindet. Diese Angaben benötigt die Steuerung, um die korrekte Äquidistante zu berechnen.

Kontur man sich befindet. Durch diese Methode wird man relativ rasch in die Lage versetzt, CNC-Programme zu erstellen.

Bevor das nächste Programm erstellt wird, gilt es zu bedenken, dass es in der Regel nicht möglich ist, die Kontur mit einem einzigen Fräser in einem Durchgang zu fräsen. Denn dadurch würden sogenannte Inseln stehen bleiben. Außerdem wäre die erzielte Oberflächengüte nicht besonders gut. Daher werden weitere Fräser genutzt, deren Daten in den Werkzeugspeicher einzugeben sind.

Werkzeugdaten sind das A und O

Bevor nun Werkzeugdaten in den Speicher eingegeben werden, sollten SIM_WORK-Neulinge durch gleichzeitiges Betätigen der Tastenkombination [Strg] + [N] alle Speicher löschen, um ein frisches System vorzufinden und so "unerklärlichen Fehlern" aus dem Weg zu gehen. SIM_WORK fordert auf, die Achsen X, Y, Z zu aktivieren. Nach Drücken der Return-Taste werden die Referenzpunkte aller Achsen gleichzeitig angefahren. SIM_WORK ist nun für ein neues Programm bereit.

Werkzeug T1 ist ein Messerkopf zum Planfräsen. Werkzeug T2 ist ein Schaftschlichtfräser für die Außenkontur. Werkzeug T3 ist ein Schaftschruppfräser für die Außenkontur. Werkzeug T4 ist ein Schaftschruppfräser für die Ausklinkung mit R7.5. Werkzeug T5 ist ein Schaftschlichtfräser für die Gesamtkontur.

Hinweis: Der Fräser T3 hat in Wirklichkeit einen Radius von R10 mm. Es wird jedoch im Speicher der Wert R11 eingegeben, da dadurch erreicht

Werkzeugspeicher															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
LANGE:		110.000										RADIUS:		6.000	

Nullpunktspeicher																			
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16				
X-MERT:		100.000										Y-MERT:		110.000		Z-MERT:		200.000	

Werkzeugspeicher ([Strg]+[I]+[W])
T1 L100 R30
T2 L110 R6
T3 L95 R11
T4 L80 R6
T5 L105 R4.5

Nullpunktspeicher G54 ([Strg]+[I]+[N])
X: 100
Y: 110
Z: 200

Bevor ein Programm gestartet werden kann, müssen Werkzeugmaße und Nullpunkte korrekt festgelegt werden.

wird, dass der Fräser um das Schlichtaufmaß von einem Millimeter von der tatsächlich gewünschten Kontur wegleibt. Die genaue Kontur wird dann mit Werkzeug T5 fertiggefräst, dessen Maße korrekt im Speicher einzugeben sind, um das gewünschte Werkstückmaß zu bekommen.

Anschließend sind noch die Werte für die Nullpunktverschiebung in den NPV-Speicher einzugeben.

Programm eingeben

CNC-Programme können wahlweise im TEACH-IN-Modus Zeile für Zeile eingegeben werden, um in der gleichzeitig erfolgenden Simulation zu beobachten, was die einzelnen Befehle bewirken. Alternativ bietet es sich an, das CNC-Programm zunächst komplett im Editor zu erstellen. In diesem Fall erfolgt die Simulation erst nach Verlassen des Editors. Als dritte Möglichkeit kann das Programm mit einem externen Editor erstellt und die Datei per Laden-Befehl eingelesen werden. Via [Strg] + [W] wird danach das Programm abgearbeitet und simuliert.

Die CNC-Programme sind in Bild 19 und Bild 20 ersichtlich. Es ist zu beachten, dass das Programmende noch nicht erreicht ist, da die Kontur noch nicht fertig programmiert ist. Dennoch fehlt der Programmende-Befehl M30 nicht. Dieser wird erst später entfernt.

Hinweis: Der Befehl G99 kommt im Programm zweimal vor. Nämlich in den Zeilen 3 und 4. Der erste G99-Befehl bewirkt die Darstellung der Außenkontur des Rohteils. Der zweite G99-Befehl zeichnet die bereits gefrästen Kanten des Werkstückes ein. Um bereits bearbeitete Konturen einzuzichnen, können also mehrere G99-Befehle verwendet werden.

Fase fräsen

Die Außenkontur ist nun fertig. Ein Grundsatz in der Metallbearbeitung lautet: Alle scharfen Kanten müssen entgratet werden. Daher werden nachfolgend die scharfen Kanten der Kontur gebrochen. Oder anders ausgedrückt: Es wird eine Fase gefräst. Zu diesem Zweck gibt es besondere Fräser: Sogenannte Fasenfräser, auch Winkelfräser genannt. Es gibt sie in verschiedenen Winkeln: 30 Grad, 45

Programm2 - Links von der Kontur	
G18 T3 M6	Kontur vorfräsen
G54 S2100 F40 M3	
G99 X0 Y0 Z0 I100 K-100	
G99 X5 Y0 Z-5 I90 K-90	
X-15 Z0 Y0	
G1 Y-5 M8	
G43 X15	
G41 Z-85	
X85	
Z-15	
X15	Nutz vorfräsen
G40 X0 Z0	
G0 Z10	
X65	
G1	
G44 X67	
G42	
G1 Z-33	
X90	
Z-10	
G0 Y5	Kontur fertigfräsen
G40 X0 Z0	
T4 M6 S3900 F40	
G0 X37.5 Z-95	
G1 Y-5	
Z-70	
G0 Y0	
X0 Z0	
T5 M6 S4000 F90	
G1 Y-5	
G43 X15	Ausschnitt kopieren für "Fase fräsen"
G41	
Z-85	
X30	
Z-70	
G3 X45 Z-70 R7.5	
G1 Z-85	
X70	
X85 Z-70	
Z-40	
G2 X80 Z-35 R5	
G1 X70	
G3 X65 Z-30 R5	
G1 Z-20	
G2 X60 Z-15 R5	
G1 X25	
G2 X15 Z-25 R10	
G1 Z-26	
Y5	
G40 X0 Z0 M30	

19

Programm 2 - Rechts von der Kontur	
G18 T3 M6	Kontur vorfräsen
G54 S2100 F40 M3	
G99 X0 Y0 Z0 I100 K-100	
G99 X5 Y0 Z-5 I90 K-90	
X-15 Z0 Y0	
G1 Y-5 M8	
G43 Z-15	
G42 X85	
Z-85	
X15	
Z-15	Nutz vorfräsen
G40 X0 Z0	
G0 Z10	
X65	
G1	
G44 X67	
G42	
G1 Z-33	
X90	
Z-10	
G0 Y5	Kontur fertigfräsen
G40 X0 Z0	
T4 M6 S3900 F40	
G0 X37.5 Z-95	
G1 Y-5	
Z-70	
G0 Y0	
X0 Z0	
T5 M6 S4000 F90	
G1 Y-5	
G43 Z-15	Ausschnitt kopieren für "Fase fräsen"
G42	
X60	
G3 X65 Z-20 R5	
G1 Z-30	
G2 X70 Z-35 R5	
G1 X80	
G3 X85 Z-40 R5	
G1 Z-70	
Z-85 X70	
X45	
Z-70	
G2 X30 Z-70 R7.5	
G1 Z-85	
X15	
Z-25	
G3 X25 Z-15 R10	
G0 Y5	
G40 X0 Z0 M30	

20

19,20 Programm 2 ist die Fortsetzung von Programm 1. Da die beiden Programme in diesem Kurs jedoch getrennt erstellt wurden, um den Lerneffekt zu sichern, mussten in beiden Programmen die Angaben des Rohteils je einmal vorgenommen werden. Dies wäre bei einem einzigen zusammenhängenden Programm nicht nötig gewesen. Um zu verstehen, wie die Befehle G41/G42 wirken, sind die Programme zum Fräsen links beziehungsweise rechts von der Kontur nebeneinander dargestellt.

Grad und 60 Grad. Vorzugsweise mit einem Werkzeugvoreinstellgerät werden der Werkzeugradius und die Werkzeuglänge ermittelt. Vorschlag: L=97mm R=6mm. Um nun die Fase mit dem richtigen Maß zu fräsen, ist es auch jetzt wieder notwendig, nicht den

tatsächlich gemessenen Werkzeugradius in den Werkzeugspeicher einzugeben, sondern einen entsprechend kleineren Wert. In diesem Fall wäre dies bei einer gewünschten Fase von 1x45 Grad ein Radius von fünf Millimeter. Die Werte L97 und R5 werden

im Werkzeugspeicher Nummer 6 abgelegt. Jetzt kommt der Clou: Das Programm der Außenkontur kann weiterverwendet werden! Es muss lediglich das Werkzeug 6 anstelle von Werkzeug 1 verwendet sowie Drehzahl und Vorschub entsprechend angepasst werden. In diesem Fall könnte bereits sinnvoll die Makroprogrammtechnik verwendet werden, doch dies ist ein eigenes Kurs-

www.weltderfertigung.de

Zum bereits im Speicher befindlichen Programm werden die nachfolgenden Befehlszeilen angefügt, um die Fase zu fräsen:

```
T6 M6 S800 F20
X-10
G1 Y-5
G43 X15
G41
Z-85
X30
Z-70
G3 X45 Z-70 R7.5
G1 Z-85
X70
X85 Z-70
Z-40
G2 X80 Z-35 R5
G1 X70
G3 X65 Z-30 R5
G1 Z-20
G2 X60 Z-15 R5
G1 X25
G2 X15 Z-25 R10
G1 Y5
G40 X0 Z0
M30
```

Ausschnitt aus "Kontur fertigfräsen"

Hinweis: Der Befehl M30 muss aus der letzten Zeile im vorherigen Programm gelöscht und an das neue Programm angefügt werden.

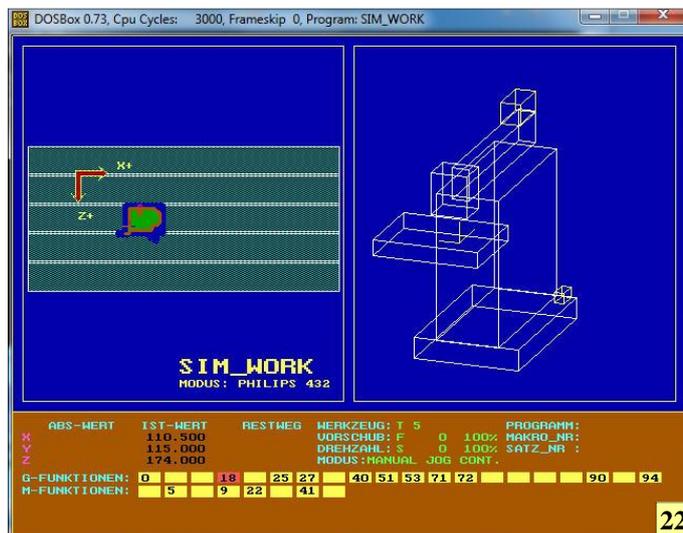
21

Abbruch

Die Simulation kann jederzeit über die Taste [ESC] abgebrochen werden. Dadurch kann beispielsweise ein Fräserbruch simuliert werden. Jede Achse kann durch [Shift] + [X], [Y] oder [Z] angewählt und mit den Tasten [+] und [-] bewegt werden. Dadurch könnte etwa das Freifahren des Fräasers geübt werden, da man sich vorher genau zu überlegen hat, ob die richtige Bewegung in positiver oder negativer Richtung erfolgen muss.

21 Mit dem Brechen der scharfen Kanten ist das CNC-Programm vollständig und kann abgespeichert werden. Mit der Tastenkombination [Strg] + [W] kann das Programm wiederholt werden.

22 Nach dem erfolgreichen Durchlauf des CNC-Programms präsentiert sich dem Lehrgangsteilnehmer als Ergebnis eine fehlerfreie Simulation der Werkstückbearbeitung.



22

**Goldring Tooling
Spindle Technology**

Innovation & Precision

„Der JetSleeve bringt Sie ganz groß raus!“

...mit dieser Weltneuheit sparen Sie 1 €/min

www.hsk.com