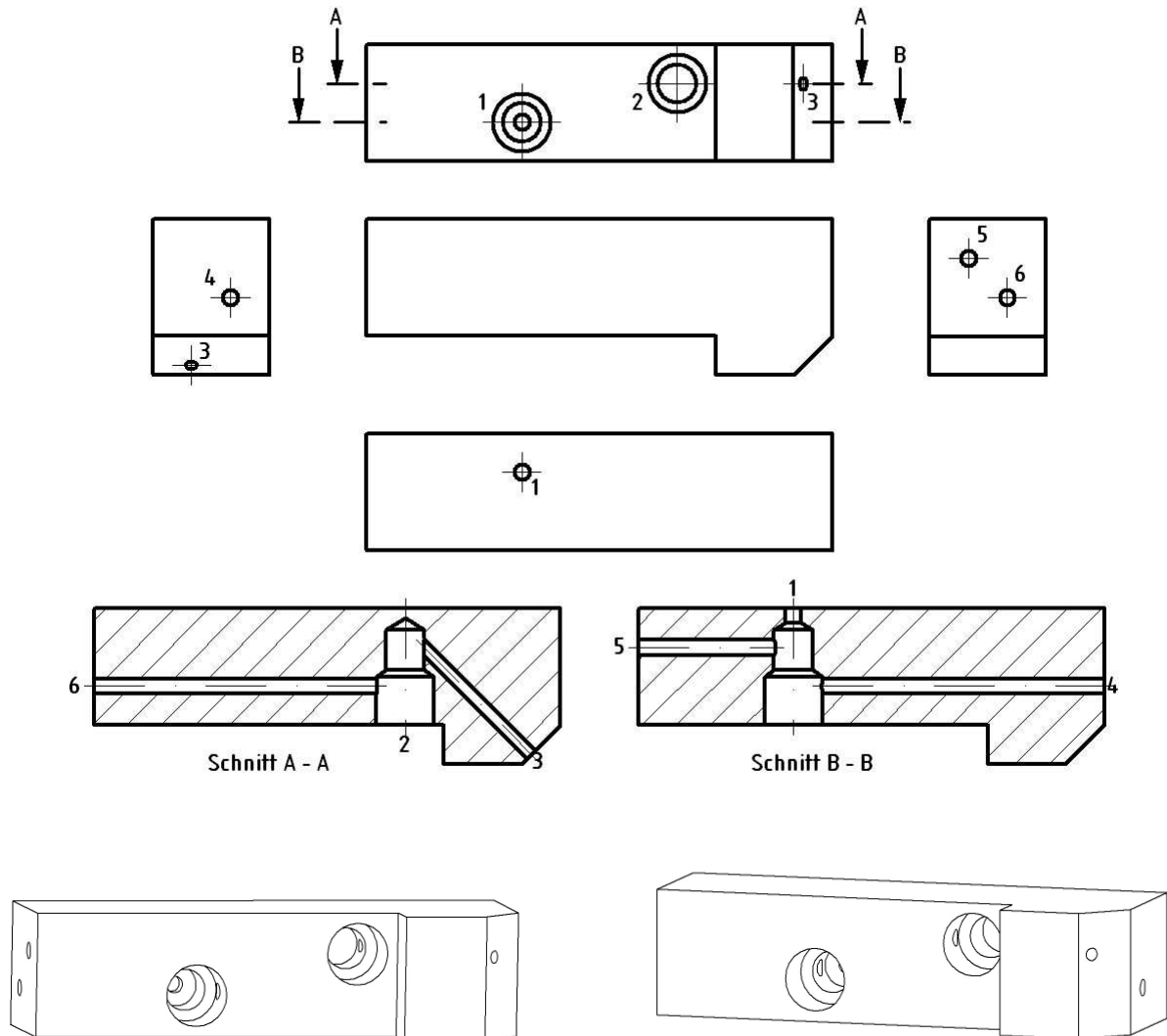


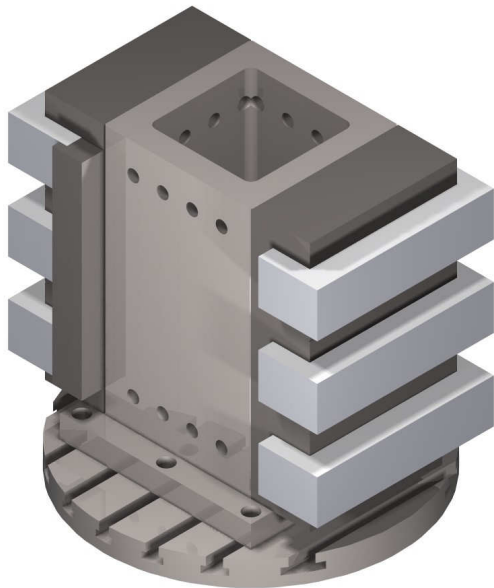
## Mehrfachspannung Vierte Achse



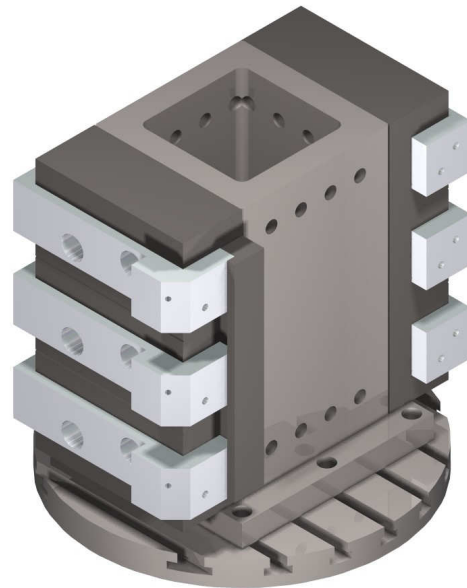
Ein Beispiel-Werkstück (Rohteil 120 X 40 X 30), welches von 3 Seiten bearbeitet werden soll. Auf Maßeintragungen wurde hier absichtlich verzichtet, weil nur der logische Ablauf untersucht werden soll. Es sind 2 Flächen zu fräsen, eine davon parallel, die andere unter einem Winkel von 45 Grad. Es gibt 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 farblich 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

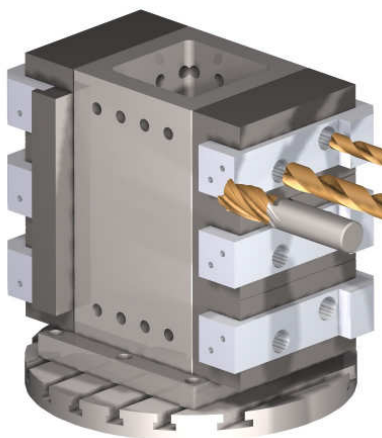
Auf dem linken Würfel sind 6 vorgearbeitete Rohteile aufgespannt, rechts sind die fertig bearbeiteten Werkstücke zu sehen. Hierzu werden zwei auswechselbare Spannplatten mit Anschlagleiste benutzt.

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).

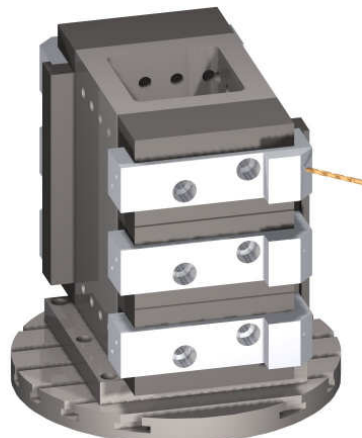
#### Vorgehensweise

Grundsatz:

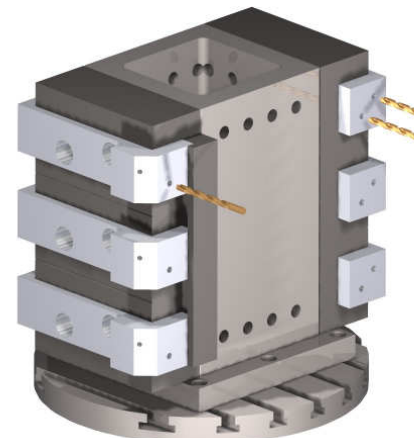
1. Möglichst wenige Werkzeugwechsel
2. Möglichst wenige Drehungen



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 Schafffräser 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

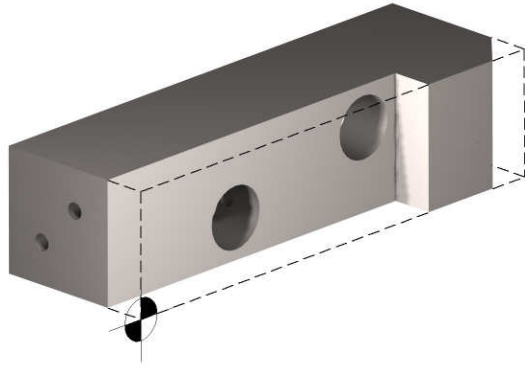
### T6 Spiralbohrer Ø 3 für 45 Grad-Bohrung (Nr. 3)

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.

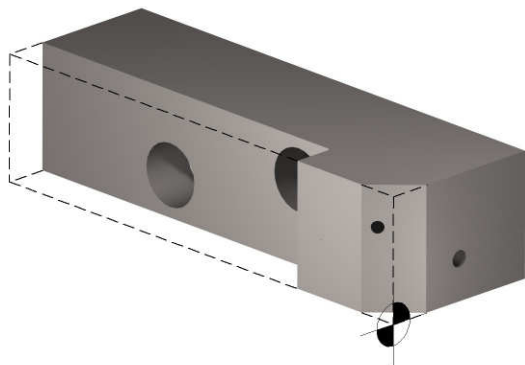
Um das Programm übersichtlich zu gestalten und mehrfache Programmierung der selben Bearbeitung zu vermeiden, stehen die Werkzeugwechsel, die Ansteuerung der Hauptspindel, die Drehungen, die Nullpunkte und die Sprünge zum nächsten Werkstück im Hauptprogramm.



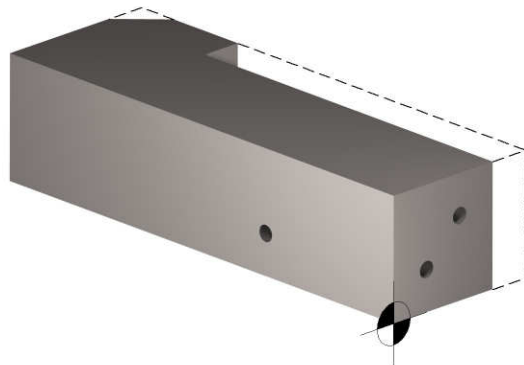
Nullpunkt G54 am Rohteil lange Seite links unten, Vorderkante lange Fläche, Bohrung 1 und 2



Nullpunkt G55 an der Rohteilkante unten bei Stellung 45 Grad 45 Grad-Fläche und Bohrung 3



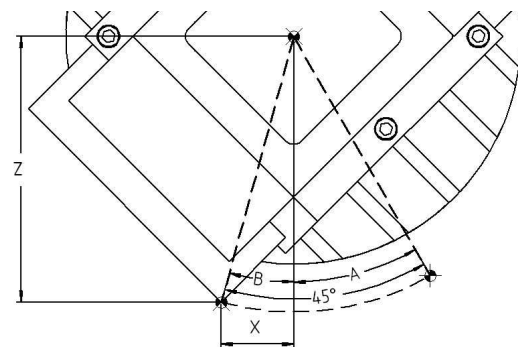
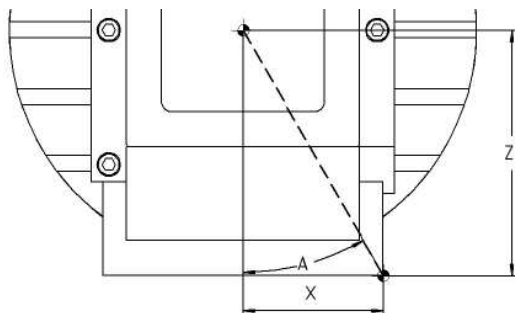
Nullpunkt G56 am Rohteil kurze Seite links unten Bohrung 4



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 ( $45^\circ - A$ ), 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 Werkzeugwechsellpunkt 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 Schwerzerspannung 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 Normlänge 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 dem selben Schema funktioniert. Dort werden dann nur noch die betreffenden Werte eingetragen und die Unterprogramme für die eigentliche Bearbeitung erstellt.