

BEAMICON

Bene's Affordable Mill Controller

5-Achs CNC Steuerung für Fräsmaschinen

Benutzerhandbuch

Bedienung und Programmierung

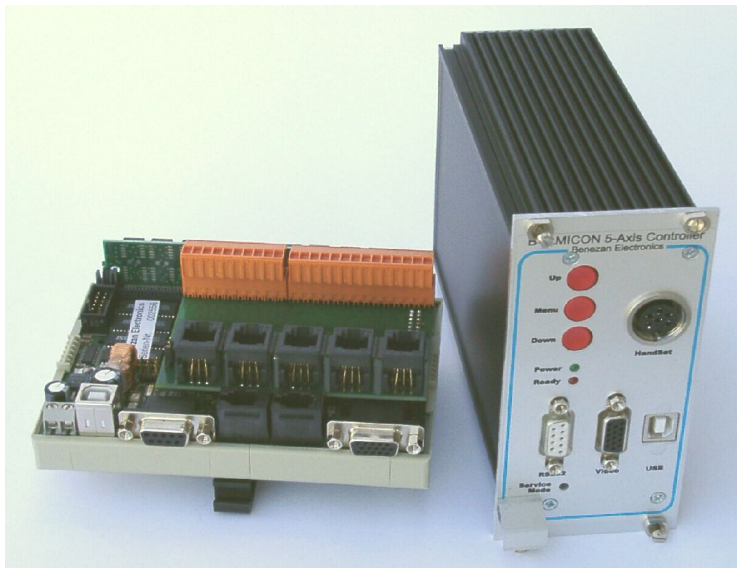


Abbildung 1: BEAMICON als 19"-Steckbaugruppe oder Low-Cost Variante für Hutschienmontage

In diesem Handbuch wird die Bedienung und Programmierung der Steuerung erklärt. Es wird davon ausgegangen, daß Fräsmaschine und Steuerung schon fertig aufgebaut und in Betrieb genommen sind. Informationen zum Thema Installation und Parametereinstellung entnehmen sie bitte dem separaten Installationshandbuch.

Inhalt

1 SICHERHEITSHINWEISE.....	4
2 GRUNDLAGEN DER BEDIENUNG.....	4
2.1 MENÜS UND FUNKTIONEN.....	5
<i>Programm Ausführen.....</i>	5
<i>Maschine einrichten.....</i>	5
<i>Dateisystem.....</i>	7
2.2 DATENÜBERTRAGUNG VOM PC.....	7
<i>Mit Terminalprogramm.....</i>	8
<i>Mit BEAMICON-Browser.....</i>	9
3 KOORDINATENSYSTEM.....	10
4 PROGRAMMIERUNG UND BEFEHLE.....	11
4.1 ADRESSBUCHSTABEN.....	11
4.2 G-BEFEHLE.....	11
<i>G0: Eilgang zu Punkt.....</i>	11
<i>G1: Geraden-Interpolation.....</i>	12
<i>G2 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn.....</i>	12
<i>G3: Kreisinterpolation gegen den Uhrzeigersinn.....</i>	12
<i>G2, G3: Helixinterpolation.....</i>	12
<i>G4: Verweilzeit.....</i>	13
<i>G52, G74: Referenzpunkt anfahren.....</i>	13
<i>G43: Werkzeuglängenkompensation aktivieren.....</i>	13
<i>G49: Werkzeuglängenkompensation aufheben.....</i>	13
<i>G53-G59: Nullpunktverschiebungen.....</i>	14
<i>G62: Kantenverrundung.....</i>	14
<i>G79: Werkzeuglängenvermessung.....</i>	14
<i>G73, G81-G89: Bohrzyklen.....</i>	14
<i>G84: Gewindebohren.....</i>	14
<i>Sonstige G-Befehle.....</i>	15
4.3 M-BEFEHLE.....	15
<i>M0: Programmierter Halt.....</i>	15
<i>M1: Programmabbruch.....</i>	16
<i>M2: Programmende.....</i>	16
<i>M3: Spindelmotor einschalten (vorwärts).....</i>	16
<i>M4: Spindelmotor einschalten (rückwärts).....</i>	16
<i>M5: Spindelmotor Stop.....</i>	16
<i>M6: Werkzeugwechsel ausführen.....</i>	16
<i>M8: Kühlmittelpumpe oder Späneabsaugung an.....</i>	16
<i>M9: Kühlmittelpumpe oder Späneabsaugung aus.....</i>	16
<i>M30: Programmende mit Rücksetzen (Neustart).....</i>	17
<i>M98: Unterprogrammaufruf.....</i>	17
<i>M99: Rückkehr aus Unterprogramm.....</i>	17
<i>M100-M199: Zusatzausgänge.....</i>	17

<i>Sonstige M-Befehle</i>	17
4.4 SONDERBEFEHLE.....	18
<i>L0: Aktuelle Position lesen</i>	18
<i>L43: Werkzeuglänge setzen</i>	18
<i>L54-59: Nullpunktspeicher 1-6 setzen</i>	18
<i>IF THEN, ENDIF: Bedingte Ausführung</i>	18
<i>CALL, RETURN, REPEAT</i>	19
<i>UNTIL: Stopbedingung</i>	19
4.5 BESONDERHEITEN.....	20
<i>Kompakter Code</i>	20
<i>Suchreihenfolge für Unterprogramme</i>	20
<i>Rechenformeln</i>	20
5 BESONDERHEITEN DER STEUERUNG.....	21
5.1 BREMS UND BESCHLEUNIGUNGSRAMPEN.....	21
5.2 OPTIMIERUNG BEI 3D-KONTUREN.....	22
5.3 REDEFINIERBARE BEFEHLE.....	22
5.4 WERKZEUGLISTE.....	23
6 ERWEITERUNGEN.....	24
6.1 SOFTWARE-OPTIONEN.....	24
<i>Unterprogrammaufrufe und Formeln</i>	24
<i>Werkzeugliste (manueller Wechsel)</i>	24
<i>Automatischer Werkzeugwechsel</i>	24
<i>Helixinterpolation</i>	24
<i>Synchrones Gewindeschneiden</i>	24
<i>Achsnachführung für 5D-Bearbeitung</i>	25
<i>Polygonglättung (Smoothing)</i>	25
<i>Korrektur von Geometriefehlern</i>	25
<i>Doppelter Portalantrieb</i>	25
7 ANHANG.....	26
7.1 KURZÜBERSICHT BEFEHLE UND ADRESSEN.....	26
7.2 FRAGEN UND ANTWORTEN.....	27
7.3 STICHWORTVERZEICHNIS.....	28

1 Sicherheitshinweise

Bitte beachten Sie, daß bei der Bedienung von CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen immer ein gewisses Verletzungsrisiko besteht, da sich Antriebe programmgesteuert und für den Bediener unerwartet in Bewegung setzen können.

Da dieses Handbuch nur die Bedienung der Steuerung an sich beschreibt, und diese auf den verschiedensten Maschinentypen eingesetzt werden kann, ist es hier nicht möglich, auf Besonderheiten der Maschinen, insbesondere bestimmte Sicherheitsvorrichtungen (Türverriegelungen, Schutzabdeckungen, Lichtschranken usw.) einzugehen. Bitte informieren Sie sich in den Unterlagen des Maschinenherstellers über die Sicherheitsvorschriften.



2 Grundlagen der Bedienung

Bei der Entwicklung der BEAMICON-Steuerung wurde größtenteils Wert auf eine möglichst einfache Bedienung gelegt. Alle Funktionen können, wie sie das vielleicht von Ihrem Handy gewohnt sind, mit nur drei Tasten ausgewählt werden. Mit den Tasten „Up“ und „Down“ kann der Auswahlbalken nach oben und Unten bewegt werden, mit der „Menu“-Taste wird die aktuell ausgewählte Funktion aktiviert. Noch bequemer geht es mit der externen Handsteuerung. Sie ist fast so klein wie ein TV-Fernsteuerung und wird über ein Spiralkabel an der Buchse „HandSet“ angeschlossen. Mit dem „digitalen Handrad“ können sie schneller an eine bestimmte Stelle fahren, und können beim manuellen Fahren so feinfühlig positionieren, als wäre das Handrad mechanisch an der Fräsmaschine montiert.



Abbildung 2:
Up/Down- und Menu-Tasten



Abbildung 3: Handsteuergerät

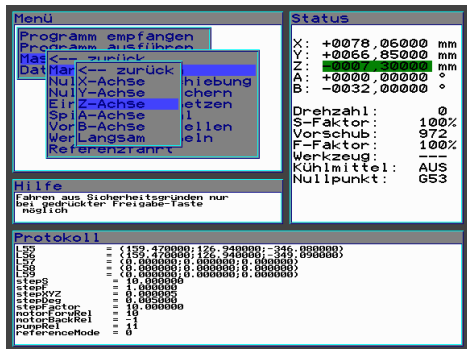


Abbildung 4: Bildschirmaufteilung

Der Bildschirm ist in vier Bereiche eingeteilt. Links oben ist das Menü-Fenster. Hier können sie mit den drei Bedientasten oder mit dem Handrad eine Funktion auswählen. Rechts ist das Status-Fenster. Dort werden die Koordinaten der aktuellen Position und der Zustand der Maschine angezeigt. In dem kleinen Fenster in der Mitte wird ein kurzer Hilfetext zur gerade aktiven Funktion angezeigt. Als letztes kommt unten das Protokoll-Fenster, in dem Ausgaben des laufenden Programms oder Meldungen ausgegeben werden.

2.1 Menüs und Funktionen

Die Menüs sind hierarchisch aufgebaut, d.h. vom Hauptmenü gelangen sie in Untermenüs, welche teilweise wiederum Untermenüs haben können. Mit „← zurück“ in der obersten Zeile eines Untermenüs gelangen sie wieder in das darüberliegende (Haupt-)Menü.

Programm Ausführen

Dies ist die eigentlich wichtigste Funktion. Sie startet ein CNC-Programm, welches sie aus der Liste der in der Steuerung gespeicherten Dateien auswählen können. Da die BEAMICON-Steuerung keine eigene Tastatur zur Texteingabe hat, müssen CNC-Programme vorher mit einem PC oder Workstation entweder mit einem CAD-Programm oder mit einem Texteditor erstellt und dann an die Steuerung übertragen werden (siehe Datenübertragung vom PC).

Wenn viele Dateien in der Steuerung gespeichert sind, ist die Liste eventuell länger als in das Fenster paßt. Wenn sie am unteren Rand weiter nach unten fahren, verschiebt sich die Liste automatisch. Permanent gespeicherte Programme sind mit einem Strich („-“) vor dem Namen markiert.

Achtung! Nach der Auswahl der Datei startet das Programm sofort. Achten Sie auf Ihre Sicherheit und darauf, daß das Werkzeug sich in einer Position befindet, wo keine Kollisionsgefahr besteht. Die Programmausführung kann jeder Zeit mit der Menü- oder Start/Stop-Taste unterbrochen und wieder fortgesetzt werden.



Maschine einrichten

Manuell fahren

In einem weiteren Untermenü können sie die Achse und die Geschwindigkeit (Langsam / Eilgang) auswählen. Nach der Auswahl einer Achse erscheint die entsprechende Koordinate im Status-Fenster rechts grün unterlegt. Mit der Up- und Down-Taste können sie jetzt die ausgewählte Achse positionieren. Bei kurzem Drücken wird nur Schrittweise gefahren, bei längerem Drücken kontinuierlich.

Wenn sie ein Handsteuergerät besitzen, können sie die Achse auch direkt mit der Taste „Achse“ auswählen und mit der Taste „Eilgang“ zwischen langsam und Eilgang umschalten. Um das Handrad zu aktivieren, müssen sie die Freigabetaste drücken. Beim Loslassen der Freigabetaste oder beim Erreichen der Verfahrgrenze stoppt die Steuerung die Bewegung sofort („elektronischer Anschlag“).

Um zurück in das Menü zu gelangen, drücken Sie die Menü-Taste oder die Start/Stop-Taste am Handsteuergerät.

Nullpunktverschiebung

In einem Untermenü können Sie eine Nullpunktverschiebung (siehe G53-G59: Nullpunktverschiebungen) auswählen und aktivieren oder aufheben.

Nullpunkt anfahren

In einem Untermenü können sie entweder den Maschinennullpunkt („Ursprung abs.“) oder einen gespeicherten Nullpunkt (G54-G59) auswählen und an die entsprechende Position fahren. Dies ist das gleiche, als wenn ein Programm wie zum Beispiel

```
G54  
G0 X0 Y0 Z0
```

ausgeführt würde. **Achtung!** Der ausgewählte Nullpunkt wird direkt auf kürzestem Weg angefahren. Anders als beim Befehl „Referenzfahrt“ wird die Z-Achse nicht vorher freigefahren. Achten sie also darauf,

daß das Werkzeug nicht im Werkstück steckt oder eine Spannvorrichtung im Weg ist. Die Steuerung gibt deshalb noch einmal eine Warnung aus, die bestätigt werden muß, bevor losgefahren wird.

Nullpunkt speichern

Diese Funktion speichert die aktuelle Werkzeugposition in einem der Nullpunktspeicher L54-L59, der in einem Untermenü ausgewählt werden kann. Die Nullpunktspeicher können mit G54-G59 in einem Programm oder mit den Menüs „Nullpunktverschiebung“ oder „Nullpunkt anfahren“ wieder abgerufen werden

Ein/Ausgänge setzen

Mit dieser Funktion kann man sich die Zustände von Eingängen (z.B. Endschalter) anschauen, oder Ausgänge (z.B. Kühlmittelpumpe) manuell an- und ausschalten. Dies wird v.a. bei der Inbetriebnahme oder für Testzwecke benötigt. Es kann jedoch auch einmal vorkommen, daß ein Programm einen Ausgang fälschlicherweise am Ende nicht abschaltet, wenn das Programm etwa abgebrochen wird bevor eine Spannvorrichtung geöffnet wird.

Beim ersten Drücken der Menü- oder Freigabetaste wird zuerst der aktuelle Zustand eines Ausgangs angezeigt. Bei jedem weiteren Drücken wechselt der Ausgang in den entgegengesetzten Zustand.

Vorschub einstellen

In einem Untermenü können Sie noch zwischen „Vorgabe“ und „Faktor“ auswählen. Vorgabe ist der Wert, der aktiv ist, wenn das CNC-Programm keinen expliziten Vorschubwert (mit „F“) einstellt. Faktor ist ein Wert zwischen 0 und 150%, der mit jedem Vorschubwert multipliziert wird. Hiermit ist es beispielsweise möglich, ein Programm probeweise nur halb so schnell oder noch langsamer ablaufen zu lassen.

Wenn Sie ein Handsteuergerät besitzen, gelangen Sie mit der „Vorschub ändern“-Taste sofort in dieses Menü. Sie können sogar während einem laufenden Programm den Vorschubfaktor verändern (sogenannter „Feed-Override“). In diesem Fall wird kein Menü angezeigt, sondern nur der Vorschubwert im Status-Fenster grün hinterlegt angezeigt.

Spindeldrehzahl einstellen

Analog zum Vorschub können Sie auch für die Spindeldrehzahl einen Vorgabewert und einen Faktor einstellen. Dies hat natürlich nur dann Auswirkungen, wenn sie einen Drehzahlregler (Frequenzumrichter) am Ausgang eines Erweiterungsmoduls oder an den Analogausgang der 19“-Einschubversion (V5) der Steuerung angeschlossen haben. Wenn sie ein Handsteuergerät besitzen, können Sie mit der „Drehzahl ändern“-Taste dies auch bei laufendem CNC-Programm tun.

Um die Einstellung auszuprobieren können sie bei stehender Maschine im Menü „Spindeldrehzahl einstellen, Vorgabe“ die Start/Stop-Taste drücken, um die Spindel ein- und auszuschalten.

Werkzeug wechseln

Wenn Sie die entsprechende Option besitzen (siehe Software-Optionen), können Sie ein Werkzeug aus der Liste auswählen. **Achtung!** Bei automatischem Werkzeugwechsel fährt die Maschine nach der Werkzeugauswahl sofort los.

Referenzfahrt

In einem Untermenü können Sie entweder direkt eine Referenzfahrt starten oder den Referenzfahrt-Modus einstellen. „Einmal“ bedeutet, daß die Steuerung nur einmal nach dem einschalten selbständig eine Referenzfahrt durchführt, später nur noch auf ausdrücklichen Befehl (empfohlen). „Nie“ bedeutet, die Steuerung führt keine selbständige Referenzierung durch (nur für Testbetrieb, nicht empfohlen, Kollisionsgefahr!). „Immer“ bedeutet, daß vor jedem Programmstart eine Referenzfahrt erzwungen wird.

Längenausgleich

Wenn Sie die entsprechende Option besitzen (siehe Software-Optionen), können sie hier den Längenausgleich für das aktuelle Werkzeug aktivieren oder ausschalten. Die Länge des Werkzeugs muß entweder in die Werkzeugliste eingetragen werden, oder mit einem automatischen Längentaster ermittelt werden.

Dateisystem

Dateien speichern

Die BEAMICON-Steuerung verfügt über flüchtigen (RAM-) und permanenten (Flash-) Speicher. Normalerweise werden Programme zunächst in den RAM-Speicher geladen, da dieser bis auf 32MB erweitert werden kann, und so auch großen Programmen Platz bietet, die meist nur ein einziges mal benötigt werden. Der Inhalt des RAM-Speichers geht beim Ausschalten der Maschine verloren.

Damit Programme für Serienteile oder immer wiederkehrende Bearbeitungsabläufe nicht jedesmal neu vom PC übertragen werden müssen, hat die Steuerung Flash-Speicher, der jedoch etwas langsamer als RAM- ist und vom Speicherplatz begrenzt ist (ca. 190kB).

In einem Untermenü erhalten Sie eine Liste der im RAM befindlichen Dateien. Sie können eine oder mehrere zum permanenten Speichern auswählen, die mit einem Stern markiert werden. Bei der Rückkehr ins Hauptmenü („← speichern“) werden diese dann gespeichert. Dies kann einige Sekunden dauern.

Dateien löschen

Sie erhalten eine Liste aller Dateien im RAM- und Flash-Speicher angezeigt, aus der sie eine oder mehrere auswählen können. Wie bei „Dateien speichern“ beschrieben, werden diese mit einem Stern markiert, und erst bei der Rückkehr ins Hauptmenü („← löschen“) tatsächlich gelöscht. Dies kann einige Sekunden dauern.

Programm prüfen

Wie bei „Programm ausführen“ aus dem Hauptmenü erhalten sie eine Liste aller Dateien in der Steuerung, von denen Sie eine auswählen können. Das Programm wird dann „zur Probe“ ausgeführt, ohne dass die Maschine dabei bewegt wird. Es werden jedoch alle Befehle auf korrekte Schreibweise und alle Zahlenwerte auf Einhaltung der zulässigen Grenzen überprüft. Dies ist nützlich, um ein handgeschriebenes Programm vor der Ausführung auf mögliche Tippfehler zu prüfen. Ansonsten würde solch ein Fehler möglicherweise erst nach langer Laufzeit der Maschine entdeckt.

Teilezähler zurücksetzen

Nach jeder erfolgreichen Programmausführung wird ein Zähler für die produzierte Teileanzahl (rechts unten im Statusfenster) erhöht. Mit dieser Funktion kann der Zähler auf Null zurückgesetzt werden.

2.2 Datenübertragung vom PC

Wie bereits erwähnt hat die BEAMICON-Steuerung keine eigene Tastatur für die Texteingabe. CNC-Programme müssen deshalb mit einem CAD-Programm auf einem PC oder einer Workstation oder – für einfache Programme – mit einem Texteditor erstellt werden, und an die Steuerung übertragen werden. Dies kann wahlweise über die serielle Schnittstelle (RS232) oder USB¹ geschehen.

¹ USB-Interface erforderlich, als Zubehör erhältlich

Mit Terminalprogramm

Die BEAMICON-Steuerung verwendet kein proprietäres Protokoll für die Datenübertragung sondern Klartext und das Y-Modem-Protokoll, so daß kein spezielles Programm für die Datenübertragung verwendet werden muß, sondern ein standard Terminalprogramm, wie es auf jeder Computerplattform (z.B. auch Apple, Linux usw.) vorhanden ist. Das meistverwendete Programm unter Windows ist „Hyperterm“ und ist unter Programme → Zubehör → Kommunikation → Hyperterm zu finden. Verbindungsaufbau und Einstellungen sind im Installationshandbuch beschrieben.

Nach dem Einschalten der BEAMICON erscheint die nebenstehende Meldung im Terminalfenster. Sie können jetzt Befehle (ein Buchstabe gefolgt von der Eingabetaste) eingeben. Diese Befehlschnittstelle ist unabhängig von der Bedienoberfläche der Steuerung mit den Menü-tasten oder dem Handrad und funktioniert auch während einem laufendem CNC-Programm („Multitasking“). Sie können also z.B. während sie ein Werkstück bearbeiten schon die Datei für das nächste übertragen.

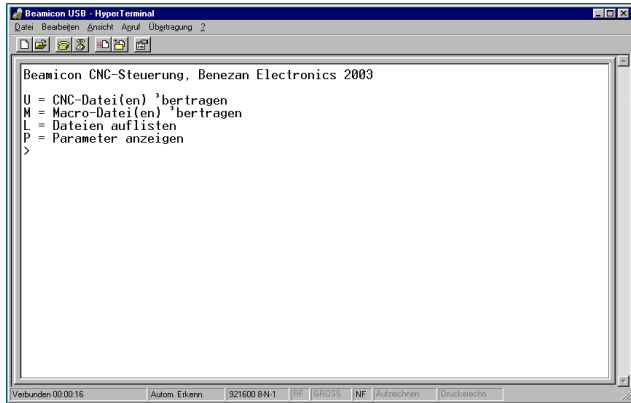


Abbildung 5: Einschaltmeldung im Terminalfenster

Nach der Eingabe des Befehls „U“ können sie eine Übertragung starten. Wählen sie dazu aus dem Menü Übertragung → Datei Senden und stellen Sie das Protokoll auf „Y-Modem“. Mit „Durchsuchen“, können sie die gewünschte Datei auswählen und mit „Senden“ die eigentliche Übertragung starten. Die währenddessen im Terminalfenster erscheinenden „C“ und „&“-Zeichen sind normal. Mit der Tastenkombination „Strg-X“ können Sie die Übertragung abbrechen und wieder in den Befehlsmodus gelangen.

Mit dem Befehl „L“ werden alle auf der Steuerung gespeicherten Dateien angezeigt. Die Parameterdatei und die Werkzeugliste (falls Sie diese Option besitzen) haben eine Sonderstellung. Näheres dazu ist im Installationshandbuch und im Kapitel „Werkzeugliste“ beschrieben. Macro-dateien sind spezielle Unterprogramme, z.B. für redefinierbare Befehle (siehe Kapitel Redefinierbare Befehle). Sie müssen mit dem Befehl „M“ anstatt „U“ übertragen werden, die Vorgehensweise ist die selbe. Werkzeugliste und Parameterdatei müssen mit „U“ übertragen werden. Mit dem Befehl „P“ können die gerade aktiven Parametereinstellungen angezeigt werden.

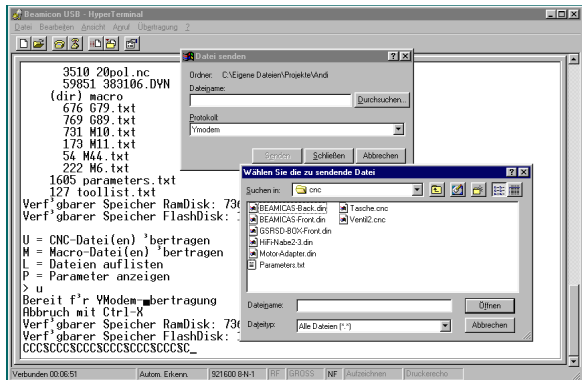


Abbildung 6: Auswahl der zu übertragenden Datei

Mit BEAMICON-Browser

Der Beamicon-Browser ist als Zubehör zur Steuerung erhältlich und erlaubt eine wesentlich einfachere und komfortablere Datenübertragung. Nachdem Schnittstelle und Baudrate eingestellt sind, können Sie mit „Connect“ die Verbindung zur Steuerung herstellen. Der Browser zeigt die Dateistruktur der Steuerung ähnlich dem Windows-Explorer an – links den Verzeichnisbaum, rechts die Liste der Dateien im ausgewählten Verzeichnis. Mit der Funktion „Upload“ können Sie eine Datei zum Senden an die Steuerung auswählen. Sie können alternativ aber auch eine Datei durch „Drag-And-Drop“ senden.

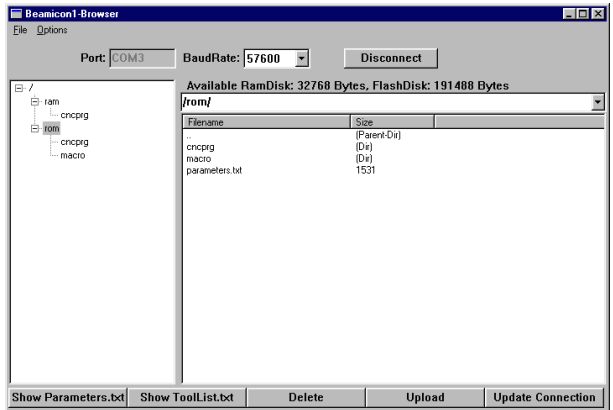


Abbildung 7: BEAMICON-Browser

Wählen Sie dazu die gewünschte Datei im Explorer oder auf dem Windows-Arbeitsplatz aus, ziehen Sie mit gedrückter Maustaste über die Dateiliste (rechte Fensterhälfte) im Beamicon-Browser und lassen die Maustaste dort los. Der Browser startet automatisch die Übertragung.

Mit „Delete“ kann eine ausgewählte Datei aus dem Speicher der Steuerung gelöscht werden. Dies geht natürlich nur, wenn sie nicht gerade von der Steuerung verwendet wird. Mit „Update Connection“ wird die Anzeige des Browsers aktualisiert, etwa nachdem Dateien über die Benutzeroberfläche der Steuerung gelöscht wurden. „Show Toollist“ und „Show Parameters“ dienen zum Anzeigen (und Editieren) von Werkzeugliste oder Parameterdatei. Dabei wird eine lokale Kopie auf dem PC erstellt, die anschließend wieder zur Steuerung übertragen werden muß.

3 Koordinatensystem

Für die Bedienung der Maschine und das Erstellen bzw. das Verständnis von CNC-Programmen ist es wichtig, die Zuordnung von Koordinaten und den Achsen der Maschine zu kennen. Das nebenstehende Bild zeigt eine typische 5-Achsmaschine.

Es gibt viele verschiedene Maschinentypen, die teilweise sehr unterschiedlich aufgebaut sind. Einige haben die Werkzeugachse senkrecht (wie hier), andere waagrecht (sog. „Horizontalspindel“). Manche bewegen das Werkstück auf einem Kreuztisch, bei anderen ist das Werkstück fest und es wird das Werkzeug in allen 3 Achsen bewegt. Auch bei den Schwenk-/Drehachsen ist es möglich, entweder das Werkzeug (siehe Bild) oder das Werkstück zu bewegen (Teilapparat/Drehtisch).

Bei allen Maschinen gleich ist jedoch die Anordnung der Achsen zueinander (weißes Koordinatensystem links im Bild). X- und Y-Achse spannen die Bearbeitungsebene (Maschinentisch) auf, wobei die X-Achse meist den größeren Verfahrweg hat. Die Z-Achse steht senkrecht auf dieser Ebene und ist zur Werkzeugachse parallel, wenn sich die Schwenkachsen in der Grundstellung befinden.

Von den Schwenk- bzw. Drehachsen sind wieder abhängig vom Maschinentyp nur zwei vorhanden, meistens entweder A und B oder B und C. Die A-Achse ist parallel zu X, B parallel zu Y und C parallel zu Z. Bei der oben abgebildeten Maschine gibt es z.B. eine B-Achse, die den Fräsmotor gelenkartig seitlich schwenkt. Fräsmotor und B-Gelenk sitzen unten an der C-Achse, die beides um die Hochachse (C parallel zu Z) drehen kann.

Zur Bestimmung der Bewegungsrichtungen sind folgende Regeln zu beachten:

- Positive Werte bedeuten, daß sich das Werkzeug in Pfeilrichtung bewegt, negative entgegengesetzt.
- Bewegt sich das Werkstück anstatt dem Werkzeug (z.B. X-Achse im Bild), kehrt sich die Richtung um, d.h. positive Werte bedeuten Bewegung entgegengesetzt der Pfeilrichtung im Koordinatensystem.
- Die Z-Achse zeigt nach oben, d.h. positive Z-Werte bedeuten vom Werkstück weg, negative zum Werkstück hin

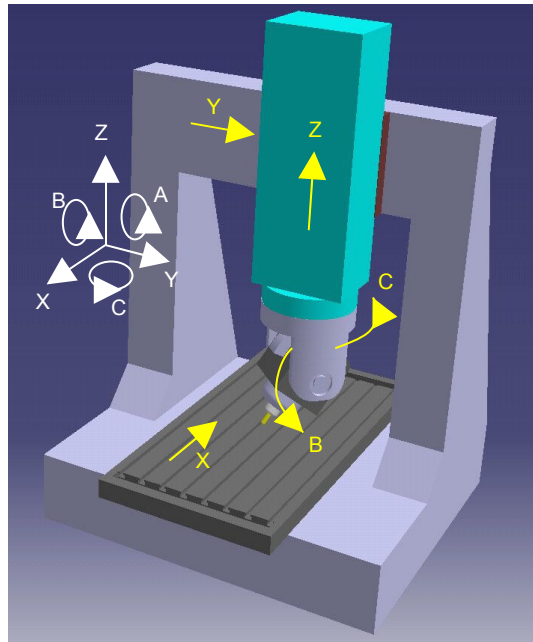


Abbildung 8: Anordnung der Achsen

4 Programmierung und Befehle

Die Programmierung von CNC-Bearbeitungsabläufen erfolgt nach DIN 66025 bzw. RS274, umgangssprachlich auch „G-Code“ genannt. Ein Programm besteht aus einem Vorspann, der beliebigen Text enthalten darf, dem Startzeichen „%“ und einem Hauptteil, der wiederum in einzelne Sätze (Zeilen) unterteilt wird. Jeder Satz besteht aus einem oder mehreren Worten, die wiederum aus einem Adressbuchstaben und einer Zahl zusammengesetzt sind.

4.1 Adressbuchstaben

Zeichen	Bedeutung	Einheit
A	Drehachse parallel zu X	°
B	Drehachse parallel zu Y	°
C	Drehachse parallel zu Z	°
D	Pseudoparameter für Werkzeugliste	mm
F	Vorschubgeschwindigkeit (Feed)	mm/min
G	Verfahr- oder Koordinatenbefehl	-
H	Verweilzeit	s
I	Zusatzparameter für X-Richtung	mm
J	Zusatzparameter für Y-Richtung	mm
K	Zusatzparameter für Z-Richtung	mm
L	Spezialbefehl (Parameterspeicher)	-
M	Steuerungsbefehl	-
N	Satznummer (Zeilennummer)	-
O	Programmnummer für Unterprogrammdefinition (Label)	-
P	Programmnummer oder Parameter (P0..P9) für Unterprogrammaufruf	-
R	Registernummer (Parameterspeicher)	-
S	Drehzahl für Werkzeugspindel	l/min
T	Werkzeugnummer (Tool)	-
U	Zweite X-Achse	mm
V	Zweite Y-Achse	mm
W	Zweite Z-Achse	mm
X	X-Achse (Hauptachse linear)	mm
Y	Y-Achse (Hauptachse linear)	mm
Z	Z-Achse (Hauptachse linear)	mm

Tabelle 1: Adressbuchstaben

4.2 G-Befehle

G0: Eilgang zu Punkt

Die Maschine fährt die Achsen (X, Y, Z, und A, B, C, falls vorhanden) so schnell wie möglich zu den angegebenen Koordinaten. Achsen, deren Koordinaten nicht angegeben sind, bleiben auf der bisherigen Position. Eine besondere Bahnform wird bei G0 nicht garantiert.

Beispiel: G0 X100 Y50 Z-20

fährt mit maximaler Geschwindigkeit zu den Raumkoordinaten (100;50;-20). Die Drehachsen (A, B, C, soweit vorhanden) werden nicht bewegt.

G1: Geraden-Interpolation

Die Maschine fährt mit dem momentan eingestellten Vorschub F auf linearem Weg zu den angegebenen Zielkoordinaten. Falls im aktuellen Satz kein F angegeben ist, gilt der zuletzt gesetzte Wert. „Linearer Weg“ bedeutet, daß der Fahrweg bei ausschließlichem Fahren der Achsen X, Y und Z eine Gerade darstellen. Bei gleichzeitigem Verfahren der Drehachsen erfolgt die Bewegung proportional, d.h. wenn die linearen Achsen 50% des Wegs zurückgelegt haben, haben die Drehachsen 50% des angegebenen Winkels zurückgelegt. In Abhängigkeit vom dem gerade aktiven Modus (Werkzeuglängenausgleich, Achsnachführung) ist der zurückgelegte Weg des Werkzeugs dann aber eventuell keine Gerade mehr.

Beispiel: G1 X100 A30

fährt die die X Achse zur Position 100mm und zeitgleich die Drehachse A zur Position 30°. Y, Z und B, C-Achse (soweit vorhanden) bleiben an der bisherigen Position stehen.

G2 Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn

Das Werkzeug beschreibt einen Kreisbogen im Uhrzeigersinn, wenn man von oben auf die ausgewählte Koordinatenebene schaut. Es kann entweder die XY, die YZ, oder die ZX-Ebene gewählt werden. Die Auswahl erfolgt durch die Angabe der Zusatzparameter I, J oder K. Es müssen immer genau zwei dieser drei Parameter angegeben werden. Die Koordinaten X, Y und Z bestimmen den Endpunkt des Kreisbogens, der Mittelpunkt wird mit I, J und K relativ zum Startpunkt (aktuelle Position) angegeben.

Beispiel: G1 X50 Y10 Z0
G2 X50 Y110 I0 J50

fährt einen Halbkreis in der XY-Ebene mit Mittelpunkt bei X=50 Y=60. Das X50 in der zweiten Zeile könnte auch weggelassen werden. Für einen Vollkreis ist der Startpunkt gleich dem Endpunkt und es können X und Y weggelassen werden. Ein gleichzeitiges Fahren der Drehachsen ist nicht erlaubt. Der Kreismittelpunkt darf sich außerhalb des zulässigen Verfahrbereichs der Fräsmaschine befinden, die Kreisbahn selbst muß aber natürlich vollständig innerhalb liegen.

G3: Kreisinterpolation gegen den Uhrzeigersinn

Dieser Befehl funktioniert analog zu G2, nur daß der Kreisbogen eben gegen den Uhrzeigersinn gefahren wird. Beachten Sie, daß G2 bei rechtsdrehender Spindel ein Gegenlauf- und G3 Gleichlaufräsen ergibt.

G2, G3: Helixinterpolation¹

Durch die Angabe der dritten Koordinate senkrecht zur Kreisebene (Z im Beispiel) kann ein Kreisbogen in eine Helix (Spiralbahn) umgewandelt werden. Dies wird z.B. beim Gewindefräsen oder zum spiralförmigen Eintauchen bei Fräsen ohne Mittenschneide benötigt. Falls mehr als eine Umdrehung gefahren werden soll, können einfach mehrere Teilstücke hintereinander angegeben werden. Die Steuerung fügt diese zusammen und fährt sie ohne Unterbrechung. Beispiel:

Beispiel: G1 X50 Y10 Z0
G2 X50 Y110 Z-5 I0 J50
G2 I0 J-50 Z-15

Es werden insgesamt 1½ Umdrehungen mit einer Steigung von 10mm je Umdrehung gefräst.

¹ nur mit Software-Option OPT-H

G4: Verweilzeit

Die Steuerung wartet die mit H angegebene Zeit (in Sekunden), bevor der nächste Befehl ausgeführt wird. Dies ist nützlich, wenn z.B. bei der Richtungsumkehr beim Gewindeschneiden oder beim Betätigen von pneumatischen Spannvorrichtungen eine gewisse Auslauf- oder Betätigungszeit abgewartet werden muß.

Beispiel: G4 H1.5

wartet 1,5 Sekunden. Soll G4 mehrfach mit der gleichen Zeit aufgerufen werden, reicht es, die Zeit (H) beim ersten mal anzugeben. Um die Kompatibilität mit bestimmten Steuerungen anderer Hersteller zu gewährleisten, kann zur Angabe der Verzögerungszeit auch mit dem Parameter F erfolgen. Dabei muß das F aber zwingend in der gleichen Zeile stehen, um Verwechslungen mit dem zuletzt eingestellten Vorschub zu vermeiden.

Der G4-Befehl kann mit dem UNTIL-Befehl kombiniert werden, um z.B. auf bestimmte Schalterzustände zu warten (siehe „UNTIL: Stopbedingung“ Seite 19).

G52, G74: Referenzpunkt anfahren

Die Steuerung führt für alle Achsen eine sogenannte Referenzfahrt durch, d.h. alle Achsen fahren nacheinander zuerst zum Endschalter, bis dieser betätigt wird, und danach wieder gerade soweit von ihm weg, daß er wieder frei ist. Aus Kompatibilitätsgründen mit anderen Steuerungen kann sowohl G74 als auch G52 verwendet werden. Diese Befehle werden normalerweise nicht benötigt, da die Steuerung vor dem Ausführen des ersten Programms nach dem Einschalten selbständig eine Referenzfahrt durchführt.

Eine wiederholte Referenzfahrt bei jedem Programmstart erhöht die Genauigkeit der Maschine nicht, sondern verschlechtert sie möglicherweise sogar, etwa wenn sich der Schaltpunkt der Endschalter durch Erwärmung verschiebt. Auch wegen dem unnötigen Zeitverlust wird deshalb empfohlen, diese Befehle nicht zu verwenden. Nach einem eventuellen Schrittverlust durch Kollision oder Überlastung kann die Referenzfahrt auch manuell über das Menü ausgelöst werden.

Normalerweise wird der G52- oder G74-Befehl ohne Parameter verwendet. Es wird dann für alle Achsen nacheinander eine Referenzfahrt durchgeführt. Man jedoch auch gezielt bestimmte Achsen auswählen (sogenannte „selektive Referenzfahrt“), indem man die jeweiligen Adressbuchstaben mit einer Null-Koordinate nach dem Befehl angibt.

Beispiel: G74 Z0 A0

führt nur mit der Z- und A-Achse eine Referenzfahrt durch, X und Y bleiben bei ihrer aktuellen Position. Unabhängig von der angegebenen Reihenfolge wird immer zuerst die Z-Achse zurückgefahren, damit ein eventuell im Werkstück stehendes Werkzeug nicht beschädigt wird. Soll eine bestimmte Reihenfolge der Achsen eingehalten werden, müssen mehrere getrennte G74- oder G52-Befehle in aufeinanderfolgenden Zeilen verwendet werden.

G43: Werkzeuglängenkompensation aktivieren

Bei allen nachfolgenden Fahrbefehlen wird die Länge des aktuellen Werkzeugs zur Z-Koordinate addiert. Die Werkzeuglänge steht im Z-Wert der zum aktuellen Werkzeug gehörenden Zeile in der Werkzeugliste. Zusätzlich wird noch die Länge des Nullwerkzeugs addiert (Offset für alle Werkzeuge).

G49: Werkzeuglängenkompensation aufheben

Die Längenkompensation wird aufgehoben, d.h. bei allen nachfolgenden Befehlen wird keine Werkzeuglänge mehr addiert.

G53-G59: Nullpunktverschiebungen

Die Befehle G54 bis G59 aktivieren den entsprechenden Nullpunktspeicher der Maschine, G53 stellt den ursprünglichen Zustand (den festen Maschinennullpunkt) wieder her. Die Nullpunktspeicher können dazu verwendet werden, den Koordinatennullpunkt an eine beliebige Stelle des Bearbeitungsraums zu legen, üblicherweise an eine Ecke oder den Mittelpunkt des Werkstücks.

Die Nullpunktspeicher können entweder manuell gesetzt oder über die Spezialbefehle L54-L59 innerhalb des Programms auf feste Werte gesetzt werden. Letzteres ist dann sinnvoll, wenn die Maschine über ein immer wieder gleich eingestelltes Spannsystem (Anschlag, Palettenwechsler usw.) verfügt, damit sichergestellt ist, daß sich ein bestimmtes Werkstück immer an der gleichen programmierten Position befindet

G62: Kantenverrundung

Mit diesem Befehl wird die automatische Kantenverrundung („Smoothing“) eingeschaltet¹. Polygonzüge, die aus vielen Liniensegmenten bestehen (schwarze Kurve), werden automatisch abgerundet, indem an den Ecken Bögen eingefügt werden. Um Rechenaufwand zu sparen, sind dies genaugenommen keine Kreisbögen sondern Parabeln, was aber bei kleinen Winkeln praktisch keinen Unterschied macht. Es kann ein Parameter I angegeben werden, der die Länge der Parabelstücke festlegt. Wird dieser kleiner als die Länge der Liniensegmente gewählt, bleiben zwischen den Parabeln noch gerade Linienstücke übrig (grüne Kurve). Wird sie größer gewählt, wird die Kurve noch stärker abgerundet, was zwar eine bessere Oberfläche aber auch eine gewisse Ungenauigkeit (blaue Kurve) zur Folge hat. Wird der I-Parameter weggelassen, setzt ihn die Steuerung automatisch auf die durchschnittliche Linienlänge des Polygons. Mit I=0 wird die Verrundung abgeschaltet. Beispiel:

G62 I0.5 (Parabellänge 0,5mm)

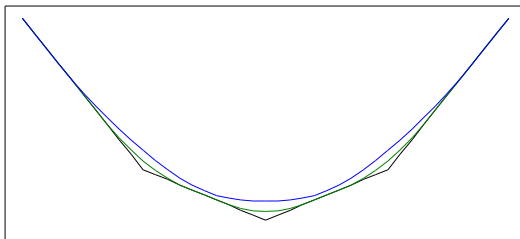


Abbildung 9: Kantenverrundung

Wird dieser kleiner als die Länge der Liniensegmente gewählt, bleiben zwischen den Parabeln noch gerade Linienstücke übrig (grüne Kurve). Wird sie größer gewählt, wird die Kurve noch stärker abgerundet, was zwar eine bessere Oberfläche aber auch eine gewisse Ungenauigkeit (blaue Kurve) zur Folge hat. Wird der I-Parameter weggelassen, setzt ihn die Steuerung automatisch auf die durchschnittliche Linienlänge des Polygons. Mit I=0 wird die Verrundung abgeschaltet. Beispiel:

G79: Werkzeuglängenvermessung

Hiermit wird das Unterprogramm (Macro „G79.txt“) für die automatische Werkzeuglängenvermessung aufgerufen. Die Implementierung ist maschinenabhängig (siehe auch L0: Aktuelle Position lesen).

G73, G81-G89: Bohrzyklen

Diese Befehle sind Maschinenabhängig definiert² (siehe auch „Redefinierbare Befehle“, Seite 22)

G84: Gewindebohren

Mit diesem Befehl kann mit einem Gewindebohrer ein Innengewinde geschnitten werden³. Dabei wird die Z-Achse mit der angegebenen Steigung entsprechend der Werkzeugspindeldrehung nachgeführt, bis die Zieltiefe erreicht ist. Dann wird der Gewindebohrer rückwärts wieder herausgedreht, bis die vorherige Starthöhe wieder erreicht ist. Beispiel:

¹ nur mit Software-Option OPT-S

² nur mit Software-Option OPT-FMU

³ nur mit Software-Option OPT-G, Spindel mit angeschlossenem Drehgeber erforderlich

G0 X100 Y20 Z5
G84 Z-10 F240 S300

Die Gewindesteigung errechnet sich dabei aus dem angegebenen Vorschub geteilt durch die Spindeldrehzahl ($F/S = 240\text{mm/min} / 300/\text{min} = 0,8\text{mm}$). F und S müssen dabei nicht zwingend in der selben Zeile stehen, sondern können auch schon vorher gesetzt worden sein. Einsteigung dazu kann die Steigung auch direkt mit dem K-Parameter angegeben werden:

G0 X100 Y20 Z5
G84 Z-10 K0.8 S300

Fährt zur Koordinate X=100, Y=50 und bohrt dort ein Gewindeloch mit 10mm Tiefe. Die Spindeldrehzahl ist 300/min und die Steigung 0,8mm (entspricht M5). Nach dem Gewindebohren befindet sich das Werkzeug wieder auf der Sicherheitshöhe Z=5. Für Linksgewinde muß ein negatives K angegeben werden (F und S dürfen nicht negativ sein).

Sonstige G-Befehle

Die folgenden G-Befehle sind der Steuerung zwar bekannt, werden jedoch ignoriert, weil sie lediglich eine Einstellung aktivieren, die sowieso immer gültig ist. Diese Befehle sind nur der Kompatibilität wegen vorhanden, weil sie z.B. von vielen Postprozessoren grundsätzlich an den Anfang eines CNC-Programms geschrieben werden.

Befehl	Funktion	Wird ignoriert weil...
G17	Ebenenauswahl XY für Kreisbögen	Ebene wird anhand der Parameter I und J erkannt
G18	Ebenenauswahl ZX für Kreisbögen	Ebene wird anhand der Parameter I und K erkannt
G19	Ebenenauswahl YZ für Kreisbögen	Ebene wird anhand der Parameter J und K erkannt
G21	Metrische Einheiten (mm)	Zollmaße (Inches) werden nicht unterstützt
G40	Werkzeugradiuskorrektur aufheben	Werkzeugradiuskorrektur wird nicht unterstützt
G50	Maßstab verändern aufheben	Maßstabskalierung wird nicht unterstützt
G69	Koordinatensystem drehen aufheben	Koordinatensystem drehen wird nicht unterstützt
G71	Metrische Einheiten (mm)	Zollmaße (Inches) werden nicht unterstützt
G90	absolute Maßangaben	relative Maße werden nicht unterstützt bzw. nur mit Formeln (z.B. X=X+1)
G94	Vorschub in mm/min	Vorschub in mm/Umdr. (G95)nur für Drehbänke
G97	Drehzahl in 1/min	Drehzahl in m/min (G96) nur für Drehbänke

Tabelle 2: Sonstige Befehle (ohne Auswirkung)

Es gibt außerdem noch eine zweite Gruppe von Befehlen, die bisher nicht erklärt wurde, weil sie maschinenabhängig sind und vom Benutzer selbst definiert werden können (siehe Redefinierbare Befehle).

4.3 M-Befehle

Diese Befehle dienen der Steuerung des Programmablaufs oder dem Schalten von Zusatzaggregaten.

M0: Programmierter Halt

Die Steuerung hält die Programmabarbeitung an und wartet auf eine manuelle Bestätigung des Bedieners durch die Menü- oder Freigabetaste. Der Benutzer kann ein laufendes Programm aber auch jederzeit über die Menü- oder Start/Stop-Taste anhalten, ohne daß im Programm ein M0 vorkommt.

Der M0-Befehl ist zum Austesten eines neuen Programms hilfreich, oder wenn zwischen mehreren Bearbeitungsschritten manuelle Kontrollmessungen oder eine visuelle Kontrolle erfolgen soll.

M1: Programmabbruch

Dieser Befehl sollte in normalen Programmen nicht verwendet werden. Er dient dazu, die Ausführung gezielt abzubrechen, wenn z.B. in Unterprogrammen Fehler auftreten, falls etwa beim Betätigen einer pneumatischen Spannvorrichtung der zugehörige Endlagenschalter nicht erreicht wurde. Dies kann mit IF THEN abgefragt werden.

M2: Programmende

Das laufende Programm wird an dieser Stelle beendet und alle Aggregate (Werkzeugspindel, Kühlmittel) abgeschaltet. Nach M2 stehende Sätze (Zeilen) werden nicht mehr ausgeführt. Siehe auch M30 (Ende mit Neustart)

M3: Spindelmotor einschalten (vorwärts)

Der Werkzeugspindelmotor wird in normaler, rechtsdrehender Richtung eingeschaltet. Die Drehzahl kann mit dem Parameter S in Umdrehungen je Minute eingestellt werden¹. Wird kein S angegeben, gilt die zuletzt eingestellte Drehzahl.

Beispiel M3 S6000

Die Spindeldrehzahl kann auch ohne vorheriges Abschalten des Motors nur durch Angabe eines neuen S-Wertes geändert werden.

M4: Spindelmotor einschalten (rückwärts)

Der Werkzeugspindelmotor wird entgegen der normalen Drehrichtung (linksdrehend) eingeschaltet, falls die Maschine dies zuläßt. Wie bei M3 kann die Drehzahl mit S gewählt werden¹.

M5: Spindelmotor Stop

Der Werkzeugspindelmotor wird abgeschaltet. Bei Programmende (M2 oder M30) wird der Motor auch automatisch abgeschaltet, falls M5 vergessen wurde.

M6: Werkzeugwechsel ausführen

Führt einen automatischen Werkzeugwechsel aus². Die Werkzeugnummer muß mit T angegeben werden.

Beispiel: T3 M6

ersetzt das momentan eingespannte Werkzeug durch das mit der Nummer 3.

M8: Kühlmittelpumpe oder Späneabsaugung an

Mit diesem Befehl wird das erste Zusatzaggregat (je nach Maschinentyp) angeschaltet. Falls noch mehrere Aggregate vorhanden sind, können diese über Schaltausgänge (M101...) angesteuert werden.

M9: Kühlmittelpumpe oder Späneabsaugung aus

Schaltet das erste Zusatzaggregat aus (je nach Maschinentyp). Bei Programmende (M2 oder M30) werden alle Aggregate automatisch ausgeschaltet, auch wenn M9 vergessen wurde.

¹ Nur bei Steuerung V4 und V5 (Einschubgehäuse). Bei V3 (Hutschienenmontage) ist das Erweiterungsmodul BEAMIEXT erforderlich.

² Nur mit Software-Option OPT-TL oder OPT-FMUTL

M30: Programmende mit Rücksetzen (Neustart)

Bricht wie M2 die Programmabarbeitung ab. Der Bediener kann das Programm mit einem Tastendruck aber auch neu starten. Dies ist bei einer Serienproduktion sinnvoll, wenn nacheinander mehrere gleiche Teile bearbeitet werden sollen.

M98: Unterprogrammaufruf¹

Das Unterprogramm mit der mit P angegebenen Nummer wird abgearbeitet, bis dort ein M99 erreicht wird. Danach wird mit dem Hauptprogramm normal fortgefahren. Unterprogramme dürfen wiederum andere Unterprogramme aufrufen („Schachtelung“) ein zyklischer Aufruf („Rekursion“) ist jedoch nicht erlaubt.

Beispiel: P203 M98 P1=20

ruft das Unterprogramm mit der Nummer 203 auf. Alle Unterprogramme müssen sich entweder in einer Datei mit der Programmnummer als Namen (z.B. „O203“) oder in einer gemeinsamen Datei „Subroutines.txt“ befinden. Zum Auffinden der Stelle innerhalb der Datei, an der das Unterprogramm beginnt, muß dort ein Label (z.B. „O203“) stehen. Falls erforderlich können mit den Variablen P0 bis P9 Parameter an das Unterprogramm übergeben werden. Diese können innerhalb des Unterprogramms mit Hilfe von Formeln (z.B. $X=P1*5+100$) ausgewertet werden.

M99: Rückkehr aus Unterprogramm

Dieser Befehl darf nur in Unterprogrammen stehen. Er bricht das Unterprogramm ab und kehrt zum Hauptprogramm an den Satz nach dem M98 zurück. Bei geschachtelten Unterprogrammaufrufen wird zum jeweils nächsthöheren Programm zurückgekehrt.

M100-M199: Zusatzausgänge

Falls ein oder mehrere Erweiterungsmodule angeschlossen sind, können deren Zusatzausgänge über die Befehle M100 bis M107 für das erste Modul, M110 bis M117 für das zweite usw. angesprochen werden. Die Einschubvarianten für 19-Zoll-Gehäuse (V4 und V5) haben bereits ein Erweiterungsmodul (8 Ausgänge) integriert. Die Zuordnung der Ausgänge und M-Befehle wird beim Einschalten der Steuerung im unteren Fenster angezeigt.

Die Befehle M1XX benutzen die sogenannte indizierte Schreibweise. Mit M101=1 wird z.B. der zweite Ausgang eingeschaltet, mit M101=0 wird er ausgeschaltet. Ein eingeschalteter Ausgang bedeutet, daß dort 24V (oder 12V, je nach Versorgungsspannung) anliegen, ausgeschaltet bedeutet 0V. Mit dem Sonderbefehl IF (siehe unten) können auch Eingänge (Schalterzustände) abgefragt werden.

Sonstige M-Befehle

Es gibt darüber hinaus noch weitere M-Befehle, die bisher nicht erklärt wurde, weil sie maschinenabhängig sind und vom Benutzer selbst definiert werden können (siehe Redefinierbare Befehle).

¹ nur mit Software-Option OPT-FMU oder OPT-FMUTL

4.4 Sonderbefehle

L0: Aktuelle Position lesen

Dieser Befehl dient ausschließlich der Realisierung von Sonderfunktionen in Unterprogrammen. Er bewirkt, daß die aktuelle Maschinenposition in die Variablen X, Y, Z und A, B, C (falls vorhanden) zurückgelesen wird, falls dies für nachfolgende IF-Abfragen oder Parameterübergabe benötigt wird. Bei normalen Fahrbefehlen (G0, G1-G3) ist die aktuelle Position und der Wert der X, Y und Z-Variablen immer gleich. Bei bedingtem Halt mit UNTIL oder bei Bohrzyklen und Gewindeschneiden kann sie jedoch abweichen.

L43: Werkzeuglänge setzen

Mit diesem Befehl kann die Länge des aktuellen Werkzeugs in der Werkzeugliste auf einen bestimmten Wert gesetzt werden. Dies ist eigentlich nur als Teil des G79-Macros erforderlich, um nach einer Längenvermessung die Werkzeugliste zu aktualisieren. Hierzu wird solange in Richtung Längentaster gefahren, bis dieser betätigt wird, und dann aus der aktuellen Position die Werkzeuglänge berechnet und mit L43 in die Werkzeugliste eingetragen. Beispiel:

```
G1 Z=100 F150 UNTIL M107=1 (Fahre nach unten bis Schalter an)
L43 R1=Z+76 (Z-Wert für aktuelles Werkzeug setzen)
```

Die Schalternummer (M107) und die Z-Werte (-100mm bzw. 76mm) sind hier willkürlich gewählt und müssen selbstverständlich an die Maschine angepasst werden. Wenn im Beispiel der Schalter bei Z=90 erreicht wird, würde $Z=76-90=-14$ in die Werkzeugliste eingetragen. Das gewünschte Werkzeug muß natürlich vorher mit T und M6 eingewechselt werden.

L54-59: Nullpunktspeicher 1-6 setzen

Die Nullpunktspeicher können dazu verwendet werden, den Koordinatennullpunkt an eine beliebige Stelle des Bearbeitungsraums zu legen, üblicherweise an eine Ecke oder den Mittelpunkt des Werkstücks (siehe auch G53-G59).

Die Nullpunktspeicher können entweder manuell gesetzt oder über die Spezialbefehle L54-L59 innerhalb des Programms auf feste Werte gesetzt werden. Letzteres ist dann sinnvoll, wenn die Maschine über ein immer wieder gleich eingestelltes Spannsystem (Anschlag, Palettenwechsler usw.) verfügt, damit sichergestellt ist, daß sich ein bestimmtes Werkstück immer an der gleichen, programmierten Position befindet. Beispiel:

```
L55 R1=5 R2=10 R3=-52
```

Dies setzt den zweiten Nullpunktspeicher auf die Koordinaten $X=5$, $Y=10$ und $Z=-52$. Die eigentliche Nullpunktverschiebung kann dann bei Bedarf mit dem Befehl G55 eingeschaltet und mit G53 wieder ausgeschaltet werden.

IF THEN, ENDIF: Bedingte Ausführung

Wenn ein Erweiterungsmodul angeschlossen ist (bei V4 und V5 bereits intern vorhanden), können auch zusätzliche Eingänge abgefragt werden. Dies ist für Anwendungen nützlich, wo der Zustand von Schaltern oder Sensoren überwacht werden muß, z.B. Füllstandskontrolle, Erkennung von Werkzeugbruch, Sicherheitsverriegelung o.ä. Die Bedingung wird durch einen Vergleich eines Schalteingangs mit einem festen Wert (0 oder 1) angegeben. Alle Befehle zwischen THEN und ENDIF werden nur dann ausgeführt, wenn die Bedingung erfüllt ist. Beispiel:

```
IF M100=1 THEN
    M2 (Abbruch, kein Werkstück im Magazin)
ENDIF
```

Eine zweite Anwendung ist die Auswertung von Parametern in Unterprogrammen:

```
IF T<=10 THEN (Werkzeug Nr. 1..10)
    G0 X-50 (erste Reihe Werkzeugmagazin)
ENDIF
IF T>10 THEN (Werkzeug Nr. 11..20)
    G0 X-100 (zweite Reihe Magazin)
ENDIF
```

Zulässige Vergleichsoperationen sind = (gleich), > (größer), >= (größer oder gleich), < (kleiner), <= (kleiner oder gleich) oder <> (ungleich). Die Vergleichsoperation besteht aus einer Variablen (Adressbuchstaben) auf der linken Seite, dem Vergleichsoperator und einer Formel oder Konstanten auf der rechten Seite. IF und THEN muß durch Leerzeichen von anderen Worten abgegrenzt werden, innerhalb der Vergleichsoperation sind Leerzeichen dagegen nicht erlaubt.

CALL, RETURN, REPEAT

Dies sind alternative Schreibweisen für den Unterprogrammaufruf¹ (M98) und die Rückkehr aus Unterprogrammen (M99). Der CALL-Befehl hat gegenüber dem standard M98-Befehl den Vorteil, daß nicht nur Programmnummern (P), sondern auch ganze Dateinamen und Labels angegeben werden können. Beispiel:

```
CALL Label@Datei.txt
```

Hiermit wird das Unterprogramm an der mit „Label“ bezeichneten Stelle in der Datei „Datei.txt“ aufgerufen. Die Befehle nach der Zeile in der „Label“ steht bis zum nächsten M99 oder RETURN werden ausgeführt und dann ins Hauptprogramm zurückgekehrt. Ebenso wie bei M98 können Parameter übergeben werden.

Soll ein Unterprogramm mehrmals ausgeführt werden, kann auch noch mit REPEAT eine Wiederholungsanzahl angegeben werden. Beispiel:

```
CALL Label@Datei.txt REPEAT=P0+1
```

Nach dem Gleichheitszeichen darf eine Konstante Zahl oder eine beliebige Formel stehen.

UNTIL: Stopbedingung

Mit dem Wort UNTIL kann eine Stopbedingung für einen Fahrbefehl (G0 oder G1) oder einen Wartebefehl (G4) angegeben werden. Die Maschine fährt dann solange in die angegebene Richtung bzw. wartet solange, bis entweder die Stopbedingung erfüllt ist, oder der Zielpunkt erreicht bzw. die Zeit abgelaufen ist. Dies ist nützlich, wenn mit einem Meßtaster bis zum Auslösen (Berühren des Werkstücks) gefahren werden soll, oder mit dem Fräser gegen einen Längenausgleichstaster gefahren werden soll. Beispiel:

```
G0 X0 Y0 Z0
G1 Z-20 UNTIL M107=1
```

Hier ist nur der Vergleich eines Schalteingangs mit einer Konstanten (0 oder 1) zulässig, es dürfen keine Variablen oder Formeln angegeben werden. UNTIL muß durch Leerzeichen von anderen Worten getrennt sein.

¹ Software-Option OPT-FMU erforderlich

4.5 Besonderheiten

Kompakter Code

Die BEAMICON Steuerung erlaubt auch, besondere Techniken anzuwenden, um den Speicherbedarf des Programms möglichst klein zu halten. Dazu können die Leerzeichen zwischen den Worten, oder auch G-Befehle, die in mehreren aufeinanderfolgenden Zeilen (Sätzen) wiederholt werden, weggelassen werden.

Beispiel:

Ausführlich	Verkürzt
G0 X50 Y20 Z5	G0X50Y20Z5
G1 Z-2	G1Z-2
G1 X60	X60
G1 Y22	Y22
G1 X50	X50
G0 Z5	G0Z5

Dieses Format wird hauptsächlich von CAD-Systemen (Postprozessoren) erzeugt. Für von Hand geschriebene Programme wird diese Vorgehensweise nicht empfohlen, weil die Übersichtlichkeit stark darunter leidet und die Dateien auch meistens nicht so lang sind, daß sich die Platzersparnis lohnt.

Suchreihenfolge für Unterprogramme

Wenn mit M98 ein Unterprogramm aufgerufen wird, sucht die Steuerung nach einem festgelegten Schema nach dem Programm. Es wird dann zuerst gesucht, ob eine Datei mit dem entsprechenden Namen (z.B. „O501.txt“) gibt. Falls ja, dann wird diese ausgeführt, falls nein, dann wird die Datei „Subroutines.txt“ nach dem passenden Label, d.h. einer Zeile, die „O501“ enthält, durchsucht.

Rechenformeln¹

Abweichend vom DIN- oder RS274-Standard ist es bei der BEAMICON-Steuerung zulässig, Berechnungsformeln für Koordinaten oder Parameter anzugeben. Um die Kompatibilität mit anderen Steuerungen zu wahren, wird empfohlen, dies nur in Unterprogrammen anzuwenden. Soll eine Koordinate oder ein Parameter nicht direkt (Zahlenwert) sondern über eine Formel angegeben werden, wird dies durch ein Gleichheitszeichen nach dem Adressbuchstaben signalisiert. Dies ist ähnlich der indizierten Schreibweise, (M101=0) allerdings muß nicht zwingend ein Index vorhanden sein. Beispiel:

G0 Y=T*40 (Fahre zu Werkzeugmagazin Position Nr. T)

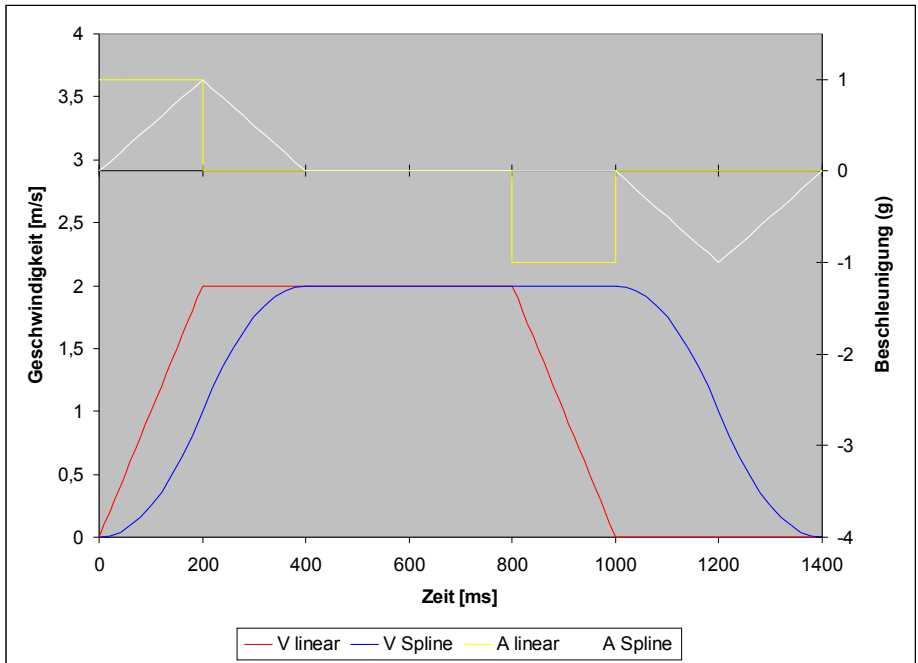
Bei Werkzeug Nummer 1 würde dies ein G0 Y40 zur Folge haben, bei Werkzeug Nr. 2 ein G0 Y80 usw. Zulässige Rechenoperationen sind + (Addition), - (Subtraktion), * (Multiplikation) und / (Division). Es gelten die üblichen Rechenregeln (Punkt vor Strich), falls nötig darf geklammert werden.

¹ nur mit Software-Option OPT-FU oder OPT-FMUTL

5 Besonderheiten der Steuerung

5.1 Brems und Beschleunigungsrampen

Da bei Werkzeugmaschinen relativ große Massen bewegt werden müssen, und die Servo- oder Schrittmotoren nur ein begrenztes Drehmoment haben, ist es ab einer bestimmten Geschwindigkeit immer erforderlich, diese langsam und kontinuierlich zu beschleunigen. Wegen der Kurvenform der Geschwindigkeit (siehe rote Kurve unten) wird dies als „Rampe“ bezeichnet. Herkömmliche Steuerungen verwenden meistens eine lineare Rampe, weil diese am einfachsten zu realisieren ist. Leider hat dies den Nachteil, daß der zugehörige Beschleunigungsverlauf unstetig ist, also Sprungstellen hat (gelbe Kurve).



Warum dies schlecht ist, veranschaulicht das folgende Beispiel: Stellen sie sich vor, sie fahren mit dem Auto zunächst eine konstante Geschwindigkeit und treten dann auf die Bremse. Durch die auftretenden Verzögerungskräfte (negative Beschleunigung) wird ihr Kopf dann zuerst nach vorne gezogen. In dem Moment, wenn der Wagen zum Stillstand kommt, fällt diese Kraft schlagartig weg und ihr Kopf schnell nach hinten gegen die Kopfstütze. Dies entspricht der roten bzw. gelben Kurve.

Um diese unangenehmen Effekt zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Bremse „sanft“ zu treten, und kurz vor dem Stillstand wieder langsam zu lösen. Dies entspricht der weißen Beschleunigungskurve, bei der die Beschleunigungs- und Bremskraft kontinuierlich zu- und abnimmt. Die Folge ist ein S-förmiger, sanfter Geschwindigkeitsverlauf, der keinen Ruck oder Stöße verursacht.

Genau dies macht die BEAMICON-Steuerung beim Anfahren und Abbremsen der Servoachsen. Die Beschleunigungskurve verläuft stetig und ohne Sprünge, die Geschwindigkeitsrampe ist S-förmig (sogenannter Spline). Der Nachteil der Methode ist eine längere Beschleunigungs- und Bremszeit bei gleicher maximaler Beschleunigung. In der Praxis wird dies aber dadurch zumindest teilweise ausgeglichen, daß wegen des fehlenden Rucks eine höhere maximale Beschleunigung vorgegeben werden kann, ohne daß es zu Schrittverlusten oder Überbeanspruchung der Antriebe kommt.

5.2 Optimierung bei 3D-Konturen

Beim Fräsen komplizierter Kurvenformen, insbesondere 3D-Freiformflächen, stoßen viele herkömmliche CNC-Steuerungen an ihre Grenzen. Um eine ausreichende Genauigkeit und geringe „Restkantigkeit“ zu erreichen, müssen die Fräsbahnen in sehr viele kleine Teilstücke zerlegt werden. Dies führt einerseits zu großen Datenmengen, Programme mit mehreren Megabyte sind keine Seltenheit, andererseits wird die Bearbeitungszeit immer länger, wenn die Steuerung keine entsprechenden Optimierungen durchführt, was wiederum ausreichend Prozessorleistung voraussetzt.

Viele einfache Steuerungen beschleunigen und bremsen bei jedem Liniensegment den Vorschub. Dies hat nicht nur eine unnötig lange Bearbeitungsdauer zur Folge sondern erhöht auch den Werkzeugverschleiß und vermindert die Oberflächengüte, da der Fräser an vielen Stellen nicht mit dem optimalen Vorschubwert arbeitet. Auch bei teuren Steuerungen namhafter Hersteller ist es durchaus üblich, daß sogenannte „High-Speed“-Optionen für teureres Geld zusätzlich erworben werden müssen.

Bei der BEAMICON-Steuerung dagegen erhalten sie dieses Feature standardmäßig und ohne Aufpreis. Es wird vorausschauend an jeder Übergangsstelle zwischen aufeinanderfolgenden Segmenten an Hand des Winkels und der momentanen Geschwindigkeit entschieden, ob abgebremst und wieder beschleunigt werden muß oder nicht. Beschleunigungs- und Bremsrampen können sogar über mehrere Segmentgrenzen hinweg gefahren werden. Die vorausschauende Optimierung (Lookahead) führt zu einem optimalen, über die gesamte Bahnlänge gleichmäßigen Vorschub und zu einer erheblich verkürzten Bearbeitungsdauer.

Die Steuerung hat immer ausreichend Reserve an Rechenleistung, die Bearbeitung „holpert“ auch an schwierigen Stellen nicht. Es können bis über 1000 Vektoren je Sekunde problemlos verarbeitet werden.

5.3 Redefinierbare Befehle

Die BEAMICON-Steuerung erlaubt es¹, bestimmte Befehle durch Unterprogramme zu ersetzen, und damit an Besonderheiten bestimmter Maschinen anzupassen. Mit den unterstützten Sonderbefehlen ist es auch möglich, Befehle, die bisher gar nicht unterstützt wurden (z.B. Bohren mit Spanbrechen, Gewindeschneiden) selbst zu programmieren. Folgende Befehle sind redefinierbar:

G73	Bohren mit Spanbrechen
G79	Werkzeuglängenvermessung
G81	Bohren
G82	Zapfensenken
G83	Tieflochbohren
G84	Gewindeschneiden
G85	Reiben
G86	Ausdrehen
G87	Hintersenken
G88	Zapfensenken
G89	Reiben

Tabelle 3: Redefinierbare Befehle

M3	Spindelmotor einschalten (vorwärts)
M4	Spindelmotor einschalten (rückwärts)
M5	Spindelmotor Stop
M6	Werkzeugwechsel ausführen
M8	Kühlmittelpumpe oder Späneabsaugung an
M9	Kühlmittelpumpe oder Späneabsaugung aus
M10	Rundtisch klemmen
M11	Rundtisch lösen
M41	Getriebestufe 1
M42	Getriebestufe 2
M43	Getriebestufe 3
M44	Getriebestufe 4

¹ nur mit Software-Option OPT-FU oder OPT-FMUTL

Immer wenn einer diese Befehle ausgeführt werden soll, wird geprüft, ob eine Datei mit dem Namen des Befehls plus „.txt“ existiert (z.B. „M6.txt“). Falls ja, wird diese Datei als Unterprogramm ausgeführt, ansonsten die Standarddefinition verwendet.

5.4 Werkzeugliste

In der Werkzeugliste sind alle wichtigen Informationen zu den Werkzeugen abgelegt, insbesondere die Zuordnung von Werkzeugnummern zu den Plätzen im Wechselmagazin (Slots) und die Daten für die Längenkompensation und die Achsnachführung für die 5-Achs-Bearbeitung. Die Werkzeugliste hat ein ähnliches Format wie ein normales Programm (G-Code), die Bedeutung ist jedoch teilweise abweichend.

Beispiel:

T0	P0	D0	Z55	""
T1	P1	D3	Z18	"S16000 F450"
T2	P2	D2	Z18	"S24000 F350"
T3	P3	D3.175	Z19.05	"S16000 F450"
T4	P4	D1.5	Z18	"S30000 F250"

T ist die Werkzeugnummer, mit der das Werkzeug im Hauptprogramm ausgewählt wird. P ist die Nummer des zugehörigen Platzes im Magazin des Werkzeugwechslers. Im Beispiel sind T- und P-Nummern gleich gewählt. Wenn die Anzahl der Slots für unterschiedliche Bearbeitungsvorgänge jedoch nicht ausreicht, oder wenn das Magazin komplett gewechselt werden kann, ist es auch wünschenswert, Slots mehrfach zu belegen (Natürlich nicht innerhalb eines Programms). Beispielsweise könnten die Werkzeuge T101 bis 199 wieder auf die Slots P1 bis P99 gelegt werden. Es muß dann natürlich darauf geachtet werden, daß innerhalb eines Programms nur entweder Werkzeuge von T1 bis 99 oder von T101 bis T199 verwendet werden.

D bezeichnet den Durchmesser des Werkzeugs. Dies hat im Moment reine Kommentarfunktion, da keine Radiuskompensation unterstützt wird. Es erhöht aber die Lesbarkeit der Liste und erleichtert das Wiederfinden von Werkzeugen.

Mit dem Z-Parameter wird die Länge des Werkzeugs angegeben. T0 hat hier eine Sonderfunktion. Erstens steht es für das Null- (nicht vorhandene) Werkzeug (T0 M6 bedeutet also Werkzeug auswerfen, kein neues einsetzen). Zweitens gilt die Länge von T0 als globaler Offset für alle anderen Werkzeuge. Die tatsächliche Länge des Werkzeugs T2 in obigem Beispiel ist also $73\text{mm} = 55\text{mm} + 18\text{mm}$. Dies ermöglicht einerseits die Einstellung der Maschinenabmessungen, ohne die komplette Liste ändern zu müssen. Andererseits muß bei 5-Achs-Maschinen mit schwenkbarem Werkzeugkopf der Abstand von Fräaserspitze zum Pivot-Punkt (Schnittpunkt der Schwenkachsen) mit diesem Parameter eingestellt werden.

Zum Schluß kann noch eine beliebige Befehlsfolge (Satz) zwischen Anführungszeichen ("") angegeben werden, die beim Werkzeugwechsel ausgeführt werden soll. Dies ist hilfreich, um z.B. Standardwerte für Spindeldrehzahl und Vorschub anzugeben. Denkbar ist auch die Angabe eines Unterprogrammaufrufs. Der eigentliche Werkzeugwechsel sollte jedoch wenn möglich durch Redefinition des M6-Befehls programmiert werden. Die Befehlsfolge wird vor dem eigentlichen Werkzeugwechsel ausgeführt. Falls im Hauptprogramm also beispielsweise

```
T2 M6 S20000
```

stehen würde, so überschreibt die S20000-Angabe im Hauptprogramm die S24000 aus der Werkzeugliste. Wird keine Befehlsausführung gewünscht, kann in der Werkzeugliste selbstverständlich auch ein leerer Text ("") stehen.

Bei aktiver Längenkompensation (G43) wird der Z-Wert aus der Werkzeugliste und zusätzlich der Z-Wert des Null-Werkzeugs zur aktuellen Z-Koordinate hinzuaddiert.

6 Erweiterungen

6.1 Software-Optionen

Um diese Kosten für die Softwareentwicklung gerecht zu verteilen, und den Preis der Einstiegsversion der BEAMICON Steuerung so günstig wie möglich zu halten, werden Sonderfunktionen, die nicht von allen Benutzern benötigt werden, als Option separat angeboten. Damit bezahlen nur diejenigen Anwender für Zusatzoptionen, die diese auch benötigen. Um eine Option nachträglich zu installieren muß die Hardware der Steuerung nicht verändert werden. Nach der Bestellung erhalten Sie per Mail einen Freischaltcode, der einfach in die Parameterdatei eingetragen wird. Für eine aktuelle Liste der verfügbaren Optionen und deren Preise, schauen Sie bitte auf unsere Homepage (<http://www.benezan.de>).

Unterprogrammaufrufe und Formeln

Ermöglicht den Aufruf von Unterprogrammen mit den M98- und M99-Befehlen und die Erstellung von Macros für redefinierbare Befehle. Unterprogramme können in einzelnen Dateien oder in einer gemeinsamen Funktionsbibliothek stehen. Es können Parameter an Unterprogramme übergeben werden (Variablen P0 bis P9), die dort in Berechnungen ausgewertet werden können (z.B. $X=P1*50+20$). (Bestellbezeichnung: OPT-FMU)

Werkzeugliste (manueller Wechsel)

Mit dieser Option können sie eine Werkzeugliste erstellen, in der für jedes Werkzeug ein Z-Längenoffset und weitere Parameter eingetragen werden. Der Werkzeugwechsel muß manuell erfolgen. Nach einem Wechsel wird automatisch der neue Längenoffset berücksichtigt. (Bestellbezeichnung: OPT-LT)

Automatischer Werkzeugwechsel

Es kann eine an die Maschine angepasste Sequenz für den automatischen Werkzeugwechsel programmiert werden. Die Optionen "Unterprogramme" und "Werkzeugliste" (siehe oben) sind mit eingeschlossen. Es werden auch ein automatischer Längentaster und Bohrzyklen unterstützt. Für diese Option sind zusätzliche Ein-/Ausgänge erforderlich, die bei der Einschubvariante V5 bereits intern vorhanden sind oder bei der Schaltschrankversion V3 mit dem Erweiterungsmodul BEAMIEXT nachgerüstet werden können. (Bestellbezeichnung: OPT-FMUTL)

Helixinterpolation

Ermöglicht es, spiralförmige Bahnen zu fahren, wie sie z.B. für das Fräsen von Gewinde benötigt werden. Dies erfolgt durch Angabe einer dritten Koordinate (entlang der Spiralachse senkrecht zur Kreisebene) bei den G2- und G3-Befehlen. (Bestellbezeichnung: OPT-H)

Synchrones Gewindeschneiden

Beim synchronen Gewindeschneiden kann die Bewegung der Z-Achse über einen Drehgeber mit der Umdrehung der Werkzeugspindel fest gekoppelt werden ("elektronisches Getriebe"). Der Gewindebohrer kann dann fest eingespannt werden, und es wird kein Ausgleichsfutter benötigt. Bei der BEAMICON V3 für Schaltschrankmontage ist zusätzlich das Erweiterungsmodul BEAMIEXT erforderlich. (Bestellbezeichnung OPT-G)

Achsnachführung für 5D-Bearbeitung

Die BEAMICON-Steuerung kann auch schon in der Grundversion gleichzeitig mit allen fünf Achsen fahren. Allerdings erfordert das Erstellen von 5-Achs-Programmen gute Fachkenntnis und erheblichen Rechenaufwand, da sich in Abhängigkeit von der Maschinengeometrie und der aktuellen Werkzeugposition bei jeder Winkeländerung (A/B/C-Achse) auch die relative Position des Werkzeugs zum Werkstück ändert. Mit der Option "Achsnachführung" gleicht die Steuerung diese Relativbewegung automatisch aus. Im Programm braucht nur noch die Position der Fräser Spitze (XYZ) und die Winkel des Normalenvektors (Fräserachse) angegeben werden. Damit können gängige Postprozessoren für die 5-Achsbearbeitung verwendet werden. (Auf Anfrage)

Polygonglättung (Smoothing)

Die BEAMICON-Steuerung unterstützt bereits in der Grundversion die automatische Optimierung von Kurven (Polygonzügen), so daß nicht bei jedem Stützpunkt angehalten und beschleunigt werden muß, wenn gewisse Winkel und Geschwindigkeitsdifferenzen nicht überschritten werden. Dies beschleunigt die Bearbeitung und erhöht die Qualität der Oberfläche bereits beträchtlich. Bei hohen Anforderungen an die Oberflächenoptik, etwa bei der Fertigung von Spritzguß-, Blas- oder Tiefziehformen für transparente Teile, kann es trotzdem darüber hinaus erforderlich sein, anstatt Polygonzügen aus geraden Linien solche mit abgerundeten Bögen einzusetzen. Mit dieser Option fügt die Steuerung automatisch Parabelbögen in Polygonzüge ein, um die Ecken abzurunden. (Bestellbezeichnung: OPT-S)

Korrektur von Geometriefehlern

Normalerweise wird davon ausgegangen, daß die Geometrie einer Maschine hundertprozentig stimmt, d.h. daß die Achsen exakt senkrecht zueinander stehen und die Steigung der Gewindespindeln genau stimmt. Für eine kostenoptimierte Fertigung oder nach einem Crash kann es unter Umständen günstiger sein, Ungenauigkeiten der Mechanik bewußt in Kauf zu nehmen, und diese mit der Elektronik auszugleichen. Diese Option bietet die Möglichkeit, Winkel- und lineare Steigungsfehler (Drehung, Scherung, Stauchung) auszugleichen. Nichtlineare Fehler (Durchbiegung, "Eiern" der Spindeln) können dagegen nicht ausgeglichen werden. (Bestellbezeichnung: OPT-C)

Doppelter Portalantrieb

Bei manchen Maschinen mit fahrbarem Portal (englisch „Gantry“) sind beide Seiten mit je einem extra Motor angetrieben. Diese Option erlaubt es, die beiden Motoren im Normalbetrieb parallel zu betreiben, bei der Referenzfahrt aber einzeln zu fahren, um das Portal exakt rechtwinklig auszurichten. Es können wahlweise bis zu zwei der Achsen X, Y, oder Z als Gantry-Antrieb definiert werden.

7 Anhang

7.1 Kurzübersicht Befehle und Adressen¹

Zeichen	Bedeutung	Einheit
A	Drehachse parallel zu X	°
B	Drehachse parallel zu Y	°
C	Drehachse parallel zu Z	°
D	Pseudoparameter für Werkzeugliste	mm
F	Vorschubgeschwindigkeit (Feed)	mm/min
G	Verfahr- oder Koordinatenbefehl	-
H	Verweilzeit	s
I	Zusatzparameter für X-Richtung	mm
J	Zusatzparameter für Y-Richtung	mm
K	Zusatzparameter für Z-Richtung	mm
L	Spezialbefehl (Parameterspeicher)	-
M	Steuerungsbefehl	-
N	Satznummer (Zeilennummer)	-
O	Programmnummer für Unterprogrammdefinition (Label)	-
P	Programmnummer oder Parameter für Unterprogrammaufruf	-
R	Registernummer (Parameterspeicher)	-
S	Drehzahl für Werkzeugspindel	1/min
T	Werkzeugnummer (Tool)	-
U	Zweite X-Achse	mm
V	Zweite Y-Achse	mm
W	Zweite Z-Achse	mm
X	X-Achse (Hauptachse linear)	mm
Y	Y-Achse (Hauptachse linear)	mm
Z	Z-Achse (Hauptachse linear)	mm

Befehl	Bedeutung	Seite
G0	Eilgang zu Punkt	11
G1	Geraden-Interpolation	12
G2	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn	12
G3	Kreisinterpolation gegen den Uhrzeigersinn	12
G4	Verweilzeit	12
G43	Werkzeuglängenkompensation aktivieren	13

Tabelle 4: Befehlsübersicht

Befehl	Bedeutung	Seite
G49	Werkzeuglängenkompensation aufheben	13
G52	Referenzpunkt anfahren	13
G53	Nullpunktverschiebung aufheben	14
G54	Nullpunktverschiebungen Speicher 1	14
G55	Nullpunktverschiebungen Speicher 2	14
G56	Nullpunktverschiebungen Speicher 3	14
G57	Nullpunktverschiebungen Speicher 4	14
G58	Nullpunktverschiebungen Speicher 5	14
G59	Nullpunktverschiebungen Speicher 6	14
G74	Referenzpunkt anfahren	13
G79	Werkzeuglängenvermessung	14
G84	Gewindebohren	14
G81-89	Bohrzyklen	14
M0	Programmierter Halt	15
M1	Programmabbruch (Fehler)	
M2	Programmende	16
M3	Spindelmotor einschalten (vorwärts)	16
M4	Spindelmotor einschalten (rückwärts)	16
M5	Spindelmotor Stop	16
M6	Werkzeugwechsel ausführen	16
M8	Kühlmittelpumpe oder Späneabsaugung an	16
M9	Kühlmittelpumpe oder Späneabsaugung aus	16
M30	Programmende mit Rücksetzen (Neustart)	17
M98 CALL	Unterprogrammaufruf	17
M99 RETURN	Rückkehr aus Unterprogramm	17
M100- M199	Zusatzausgänge	17
L43	Werkzeuglänge setzen (nach Vermessung)	18
L54-59	Nullpunktspeicher 1-6 setzen	18
IF THEN ENDIF	Bedingte Befehlsausführung	18
UNTIL	Stopbedingung setzen	19

¹ Befehle, die hier nicht aufgeführt sind, sind im Kapitel „Sonstige G-Befehle“ oder „Redefinierbare Befehle“ gelistet.

7.2 Fragen und Antworten

Frage: Wo finde ich Hinweise zum Einstellen der **Maschinenparameter**?

Antwort: Dieses Handbuch geht von einer fertig installierten und in Betrieb genommenen Fräsmaschine aus. Die elektrische Installation der Steuerung und die Einstellung der Parameter sind in einem extra Installationshandbuch beschrieben.

Frage: Warum akzeptiert die Steuerung nicht **mehrere G-Befehle je Zeile**?

Antwort: Die DIN-Norm erlaubt dies bei strenger Auslegung nicht, da keine eindeutige Reihenfolge der Wörter in einem Satz definiert ist. Beispielsweise wirkt bei G1 X10 Y20 F250 die Vorschubangabe für den ganzen Satz, obwohl er nach dem G-Befehl steht. Um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden, wurden deshalb mehrere G- oder M-Befehle je Satz verboten. Diese müssen immer in getrennte Zeilen geschrieben werden.

Frage: Warum unterstützt die Steuerung keine **relativen Maßangaben**?

Antwort: Relative Koordinatenangaben sind unübersichtlich, fehlerträchtig und eigentlich nur für Unterprogramme sinnvoll, wenn etwa ein Zyklus mehrmals hintereinander ausgeführt werden soll. In diesem Fall können auch Formeln (z.B. $X=X+1$) verwendet werden, wodurch die relative Angabe klar erkennbar ist.

Frage: Kann die Steuerung auch für Maschinen mit **weniger als 5 Achsen** eingesetzt werden?

Antwort: Ja, die Steuerung kann auch für Maschinen mit 3 Achsen (XYZ), wahlweise mit zusätzlichem Drehtisch (Teilapparat, 4. Achse) verwendet werden. Die 5. Achse kann auch für ein Werkzeug-Wechselmagazin verwendet werden.

Frage: Warum kosten die **Softwareoptionen** extra, wo doch die Software schon im Gerät eingebaut ist?

Antwort: Obwohl die Vervielfältigung der Software nichts kostet, kostet deren Entwicklung sehr viel Geld. Um diese Kosten gerecht zu verteilen wurde die Freischaltung der Optionen mit Lizenzcode eingeführt. Damit bezahlen nur diejenigen Anwender für Zusatzoptionen, die diese auch benötigen.

7.3 Stichwortverzeichnis

Abbruch.....	16	Halt.....	15
Absaugung.....	16	Handsteuergerät.....	6
Achsnachführung.....	12, 23	Hauptachse.....	11
Antworten.....	27	Hauptprogramm.....	17
Auswahlbalken.....	4	Helixinterpolation.....	12, 24
Bearbeitungsdauer.....	22	Hyperterm.....	8
Bedienung.....	4	Kantenverrundung.....	14
bedingte Ausführung.....	18	Kollision.....	13
Bedingung.....	18	Konstante.....	19
Befehle ^{ca}	22	Koordinaten.....	11, 18
Berechnung.....	20	Koordinatenebene.....	12
Beschleunigung.....	21	Koordinatensystem.....	10
Besonderheiten.....	21	Kreisbogen.....	12
Bewegungsrichtungen.....	10	Kreisinterpolation.....	12
Bohrzyklen.....	14	Kühlmittel.....	16
Browser.....	9	Label.....	20
CALL.....	19	Längenausgleich.....	7
Dateisystem.....	7	Längenkompensation.....	23
Drag-And-Drop.....	9	Längenvermessung.....	14, 18
Drehachse.....	11	Leerzeichen.....	20
Drehachsen.....	12	Linearer Weg.....	12
Drehrichtung.....	16	Liniensegmente.....	14
Drehzahl.....	11, 16	Lookahead.....	22
Drehzahlregler.....	6	löschen.....	7
Durchmesser.....	23	M-Befehle.....	15
Eilgang.....	5, 11	Magazin.....	23
Eingang.....	18, 19	Manuell fahren.....	5
Endschalter.....	13	Menü-Fenster.....	4
Erweiterungsmodul.....	17	Meßtaster.....	19
Faktor.....	6	Mittelpunkt.....	12
Feed-Override.....	6	Multitasking.....	8
Flash-Speicher.....	7	Neustart.....	17
Formel.....	20, 24	Nullpunkt.....	18
Fragen.....	27	Nullpunktspeicher.....	14
Freiformflächen.....	22	Nullpunktverschiebung.....	5, 14
Frequenzumrichter.....	6	Nullwerkzeug.....	23
G-Befehle.....	11	Oberflächengüte.....	22
G-Code.....	11	Offset.....	23
Gantry.....	25	Optimierung.....	22
Genauigkeit.....	13	Parabel.....	14
Geometriefehler.....	25	Pivot-Punkt.....	23
Geraden-Interpolation.....	12	Polygonglättung.....	25
Gewindebohren.....	14	Portalantrieb.....	25
Gewindefräsen.....	12	Programmende.....	16, 17
Gewindeschneiden.....	22, 24	Programmierung.....	11
Gleichlaufräsen.....	12	Programmnummer.....	11

prüfen.....	7	Werkzeugspindel.....	16
Radiuskompensation.....	23	Werkzeugwechsel.....	6, 16, 23, 24
RAM-Speicher.....	7	Wiederholung.....	19
Rampe.....	21	Winkel.....	12
Rechenformel.....	20	Wort.....	11
Referenzfahrt.....	6, 13	Y-Modem-Protokoll.....	8
Referenzpunkt.....	13	Zähler.....	7
Rekursion.....	17	Zusatzausgänge.....	17
REPEAT.....	19	Zusatzparameter I, J oder K.....	12
RETURN.....	19	5-Achs-Bearbeitung.....	23
RS232.....	7	5D-Bearbeitung.....	25
Ruck.....	22		
Satz.....	11		
Schrittverlust.....	13, 22		
Sekunde.....	13		
serielle Schnittstelle.....	7		
Sicherheitshinweise.....	4		
Sicherheitsvorschriften.....	4		
Smoothing.....	14		
Spanbrechen.....	22		
Speicherbedarf.....	20		
Spindeldrehzahl.....	6, 23		
Spindelmotor.....	16		
Spiralbahn.....	12		
Spline.....	22		
Startzeichen %.....	11		
Status-Fenster.....	4		
Steigung.....	15		
Stop.....	16		
Suchreihenfolge.....	20		
Teilezähler.....	7		
Terminalprogramm.....	8		
Uhrzeigersinn.....	12		
Unterprogramm.....	17, 20, 23		
Unterprogramme.....	24		
UNTIL.....	19		
USB.....	7		
Verfahrbereich.....	12		
Vergleich.....	19		
Verweilzeit.....	13		
Verzögerungszeit.....	13		
Vorgabe.....	6		
Vorschub.....	6, 12, 23		
Vorschubgeschwindigkeit.....	11		
Wechselmagazin.....	23		
Werkzeuglänge.....	18		
Werkzeuglängenausgleich.....	12		
Werkzeuglängenkompensation.....	13		
Werkzeugliste.....	13, 23, 24		
Werkzeugnummer.....	11, 23		