

Programmiersprachen
für die numerische
Werkzeugmaschinensteuerung

von

Ulrich Grupe



1974

Walter de Gruyter · Berlin · New York

Dr. Ulrich Grupe

Leiter der Zentralabteilung NC-Technik
bei VFW-Fokker, Bremen

© Copyright 1974 by Walter de Gruyter & Co., vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung, Georg Reimer, Karl J. Trübner, Veit & Comp., 1 Berlin 30 — Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden — Printed in Germany — Satz und Druck: Saladruck, 1 Berlin 36 — Buchbinder: Lüderitz & Bauer, 1 Berlin 60

Inhalt

Verzeichnis der Kurzzeichen und ihrer Bedeutungen	5
1. Einführung	7
2. Die numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine	8
2.1. Begriffsbestimmung	8
2.2. Das Prinzip der numerischen Werkzeugmaschinensteuerung	9
3. Grundlagen der Programmierung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen	13
3.1. Weginformationen	13
3.2. Schaltinformationen	15
3.3. Satzaufbau	16
3.4. Informationsträger und Codes	18
4. Die elektronische Datenverarbeitungsanlage	20
4.1. Die Zentraleinheit	22
4.2. Die E/A-Geräte	25
4.3. Die peripheren Speicher	26
4.4. Die Verbindungskanäle	28
5. Das Prinzip der maschinellen Programmierung	28
5.1. Einzwecksprachen	35
5.2. Vielzwecksprachen	38
6. Die Darstellung der Eingabeinformation	44
7. Definierende Sprachaussagen	51
7.1. Geometrische Definitionen	52
7.1.1. Basisdefinitionen für Punkt, Gerade u. Kreis	54
7.1.2. Verknüpfende Definitionen für Punkt, Gerade u. Kreis	57
7.1.3. Punktmusterdefinitionen	77
7.1.4. Konturdefinitionen	94
7.1.5. Definitionen höherer analytischer Kurven	104
7.1.6. Definitionen tabellierter Kurven	107
7.1.7. Definitionen beliebiger Raumflächen	109
7.2. Technologische Definitionen	115
7.2.1. Definitionen für die Lochbearbeitung	119
7.2.2. Definitionen für die Drehbearbeitung	126
7.2.3. Definitionen für die Fräsbearbeitung	129

8. Exekutive Sprachaussagen	135
8.1. Geometrische Exekutivanweisungen	136
8.1.1. Positionieranweisungen	137
8.1.2. Bahnbewegungsanweisungen	140
8.2. Technologische Exekutivanweisungen	151
8.3. Verknüpfende Exekutivanweisungen	155
9. Programmtechnische Sprachaussagen	165
9.1. Kontrollfunktionen	167
9.2. Repetitive Programmierung	170
Literatur	179
Verzeichnis der erläuterten Sprachworte	181
Verzeichnis der Stichworte	183

Verzeichnis der Kurzzeichen und ihrer Bedeutungen

a	Abstandswert
aa	arithmetischer Ausdruck
ap	Aktualparameter eines Macro-Aufrufs
b	Fasnlänge
b	Materialschlüsselnummer
d	Durchmesserwert
dw	Winkelinkrementwert
dx	Inkrementwert in X-Richtung
dy	Inkrementwert in Y-Richtung
dz	Inkrementwert in Z-Richtung
e	Werkzeugidentnummer
ex	x-Komponente des Einheitsvektors
ey	y-Komponente des Einheitsvektors
ez	z-Komponente des Einheitsvektors
f	Magazinplatznummer
fp	formaler Parameter
g	Spindlrückhubcharakteristik
h	Gewindesteigung in mm
ha	Länge der großen Halbachse einer Ellipse
hb	Länge der kleinen Halbachse einer Ellipse
hh	Länge der halben Hauptachse einer Hyperbel
hn	Länge der halben Nebenachse einer Hyperbel
i	Ordnungszahl
j	Fasendurchmesserwert
l	Längenwert der Werkzeugvoreinstellung
m	Fasewinkelwert
n	Anzahl
n	Drehzahl
no	Korrekturschalternummer
nw	Normalwert eines formalen Parameter
p	Gewindetyp-Schlüsselzahl
r	Radiuswert

rtf	Rauhtiefenwert beim Feinschlichten
rts	Rauhtiefenwert beim Schlichten
s	Vorschubwert
sa	Symbol einer Anweisung
sb	Symbol einer definierten Bohrbearbeitung
sd	Symbol einer definierten Drehbearbeitung
se	Symbol einer definierten Ebene
sel	Symbol einer definierten Ellipse
sf	Symbol einer definierten Fräsbearbeitung
sh	Symbol einer definierten Hyperbel
sk	Symbol eines definierten Kreis
skm	Symbol einer definierten Konturmarkierung
sks	Symbol eines definierten Kegelschnittes
skt	Symbol einer definierten Kontur
sl	Symbol einer definierten Gerade
sm	Symbol eines definierten Macros
so	Symbol einer definierten Oberfläche
sp	Symbol eines definierten Punkt
spm	Symbol eines definierten Punktmusters
sq	Symbol einer definierten Quadrik
st	Symbol eines definierten tabellierten Zylinders
sv	Symbol eines definierten Vektors
sz	Eintauchvorschubwert
t	Tiefenwert
ta	äußerer Toleranzwert
td	prozentualer Überdeckungsgrad
ti	innerer Toleranzwert
tia	beidseitiger Toleranzwert
ts	prozentualer Korrekturwert für den Vorschub
tv	prozentualer Korrekturwert für die Schnittgeschwindigkeit
v	Schnittgeschwindigkeitswert
w	Winkelwert
x	x-Kordinatenwert
y	y-Kordinatenwert
z	z-Kordinatenwert
zo	oberer z-Höhenwert einer Kontur
zu	unterer z-Höhenwert einer Kontur

1. Einführung

Ausgehend von theoretischen Vorarbeiten am Massachusetts Institute of Technology im Jahre 1949 wurden im Anfang der fünfziger Jahre in den Vereinigten Staaten von Amerika numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen entwickelt [12]. Diese Maschinen dienten dazu, komplizierte dreidimensionale Profile, hauptsächlich für die Luft- und Raumfahrtindustrie, zu erzeugen. Aufgrund der komplexen Geometrie dieser Teile war es von vornherein klar, daß die Steuerprogramme für derartige „3D-bahngesteuerte“ Maschinen mittels Digitalrechnern erstellt werden müssen. Dementsprechend wurde schon in der zweiten Hälfte der fünfziger Jahre, ebenfalls in den USA, das Programmiersystem APT (Automatically Programmed Tools) entwickelt, das es gestattet, in einer leicht erlernbaren Symbolsprache derartige Teile sowie deren Fertigungsablauf zu beschreiben [1].

Bald nach dem Bekanntwerden dieser Entwicklung stellte man fest, daß das Prinzip der numerischen Steuerung nicht nur für komplexe Teile fertigungstechnische Vorteile gegenüber den bisherigen manuellen Verfahren bietet. Auch bei geometrisch einfachen Teilen lassen sich mit diesem Prinzip Zeit- und Kostenvorteile erzielen, wenn die Stückzahlen den Einsatz von aufwendigen Automaten verbieten. Die numerische Steuerung sollte helfen, die Einzelteil- und Kleinserienfertigung zu rationalisieren.

Diese Überlegungen führten Anfang der sechziger Jahre zur Entwicklung von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, die für einfache Bohr-, Fräs- und Drehbearbeitungen geeignet waren. Die Steuerprogramme für diese Maschinen wurden damals hauptsächlich „manuell“, d. h. durch tabellarisches Aufschreiben der notwendigen Informationen und Ablochen mittels Schreibautomaten auf einem Lochstreifen, erstellt.

Mit fortschreitender Verbreitung dieser Maschinen und der

Entwicklung von aufwendigeren Anlagen die die fertigungstechnischen Möglichkeiten erweiterten, wuchs der Bedarf an Steuerprogrammen in Anzahl und Komplexität. Folgerichtig wurde auch die Entwicklung von entsprechenden Programmiersprachen auf dem Sektor der Formulierung technologischer Sachverhalte vorangetrieben, so daß komplexe Fertigungsabläufe einfach programmierbar wurden. Bedeutendster Vertreter dieser Richtung ist das in Deutschland entwickelte Programmiersystem EXAPT [11].

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, einen Überblick über die derzeitigen Möglichkeiten von Mehrzweck-Sprachen für die numerische Werkzeugmaschinensteuerung zu geben.

2. Die numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine

Es kann nicht der Sinn dieses einführenden Abschnittes sein, numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen ausführlich zu behandeln. Hierfür ist nicht der Raum; es muß auf die einschlägige Literatur verwiesen werden [12]. Notwendig ist aber, durch eine bewußt simplifizierende Darstellung einfache Ersatzvorstellungen zu entwickeln, die für das Verständnis der Programmiersprachen erforderlich sind.

2.1. Begriffsbestimmung

Der Begriff „numerische Steuerung“ ist unabhängig von der Werkzeugmaschine zu sehen und besagt ganz allgemein, daß die Dateneingabe – oder auch die Sollwertvorgabe – eines Steuerungssystems in numerischer, d. h. zahlenmäßiger, Form erfolgt. Im engeren Sinne besagt „numerische Steuerung“ allerdings nicht nur, daß irgendwelche Eingabedaten zahlenmäßig in irgendein Steuerungssystem eingegeben werden (was z. B. auch für das normale Telefonvermittlungssystem zutrifft), sondern genauer, daß diese Eingabedaten auf einem Informationsträger gespeichert sind, der maschinell – oder wenn man so will „automatisch“ – gelesen werden kann. Erst hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, eine Folge von

Steuerungsschritten, d. h. ein „Steuerprogramm“, selbsttätig ablaufen zu lassen. (In diesem Sinne ist z. B. ein Anrufwiederholer eine numerische Steuerung.)

2.2 Das Prinzip der numerischen Werkzeugmaschinensteuerung

Die Anwendung des Prinzips der numerischen Steuerung auf die Werkzeugmaschine ist naheliegend, da die Eingabeinformationen für den Fertigungsablauf – Werkstückzeichnung und Arbeitsplan – überwiegend zahlenmäßig vorliegen und der Herstellungsprozeß üblicherweise aus vielen Einzelschritten – auf der Ebene der von dem Werkzeug nacheinander anzufahrenden Positionen – besteht. Die prinzipielle Wirkungsweise der numerischen Werkzeugmaschinensteuerung soll anhand des in Abbildung 1 gezeigten Schemas erläutert werden.

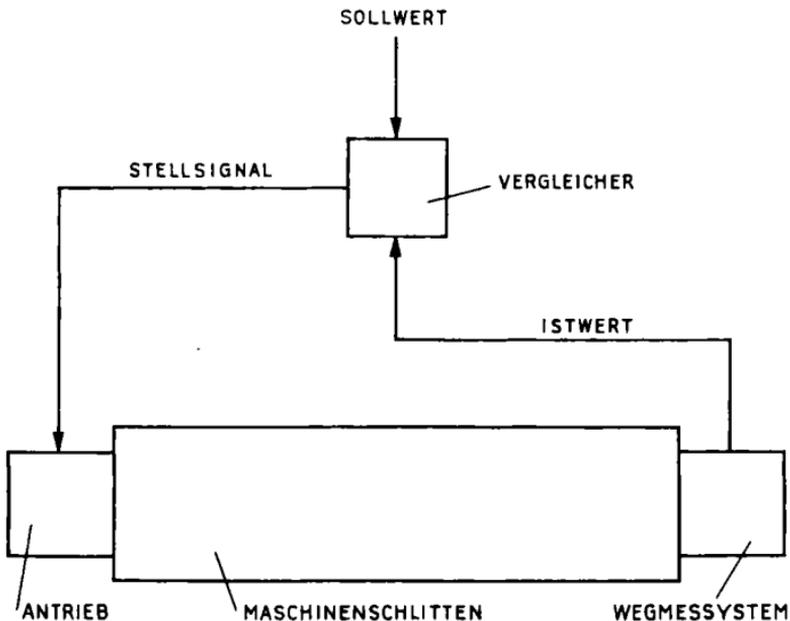


Abb. 1. Prinzip der numerischen Werkzeugmaschinensteuerung nach [12]

Die Bewegungen des Maschinenschlittens werden vom Wegmeßsystem erfaßt. Die Istwerte der jeweiligen Position werden im Vergleicher mit dem Sollwert verglichen. Die Differenz zwischen Soll- und Istwert bewirkt ein Stellsignal an das Antriebselement. Dieser geschlossene Signalkreis wird je nach Steuerungart als Abschalt- oder Regelkreis ausgeführt.

Ein Abschaltkreis gibt lediglich bei Übereinstimmung von Soll- und Istwert einen Abschaltbefehl an den Antrieb. Ein Regelkreis dagegen bewirkt, durch die Rückführung der Differenz zwischen Soll- und Istwert als Stellsignal, eine fortlaufende Veränderung des Antriebes.

Das in Abbildung 1 gezeigte Schema gilt nur für die Steuerung eines Schlittens. Sollen mehrere Achsen gesteuert werden, so sind alle gezeigten Elemente je einmal erforderlich. Ist dies der Fall, so ergibt sich ein weiteres Kriterium für die Leistungsfähigkeit einer Steuerung, nämlich der Funktionszusammenhang zwischen den gesteuerten Achsen. Das in Abbildung 2 gezeigte Schema soll diesen Begriff näher erläutern.

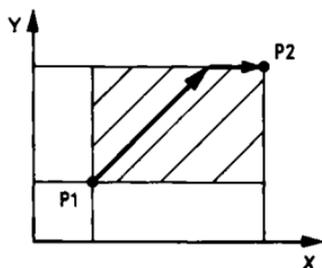
Die Darstellung A veranschaulicht die Wirkungsweise von Punkt- oder Positioniersteuerungen. Diese Steuerungsart ermöglicht das Anfahren von Positionen im Eilgang, ohne daß sich das Werkzeug im Eingriff befindet. Anschließend wird an der erreichten Position eine Bearbeitung in einer Achsenrichtung vorgenommen. Bewegt sich das Werkzeug, wie in der Abbildung angedeutet, vom Punkt P1 zum Punkt P2, so stellt diese Steuerungsart zwar das Erreichen der Position P2 sicher. Es lassen sich aber keine allgemeingültigen und präzisen Angaben über den gewählten Verfahrensweg machen. Es ist lediglich sichergestellt, daß dieser Verfahrensweg nicht außerhalb des durch P1 und P2 aufgespannten Rechtecks liegt. Klassische Anwendungsbeispiele für diese Steuerungsart sind Revolverstanzen, Bohrmaschinen und Lehrenbohrwerke.

Die Arbeitsweise der einfachen Streckensteuerung ist in der Darstellung B gezeigt. Diese Steuerungsart wird verwendet, wenn das Werkzeug im Eingriff entlang einer der gesteuerten Achsen verfahren wird, z. B. beim Rahmen-Fräsen. Der Unter-

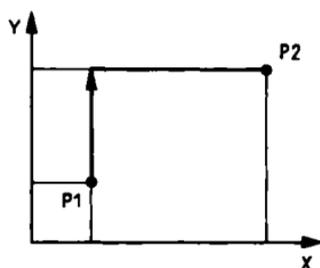
schied zur Punktsteuerung ist darin zu sehen, daß das Werkzeug mit definiertem, wählbarem Vorschub verfährt.

Anwendung findet diese Steuerungsart hauptsächlich in Dreh- und Fräsmaschinen, wobei hiermit nur geometrisch einfache Teile, d. h. beim Drehen Zylinder- und Planflächen und beim Fräsen glatte Flächen und rechtwinklige Taschen, bearbeitet werden können.

Die einfachste Steuerungsart mit Funktionszusammenhang zwischen den gesteuerten Achsen ist die unter C in Abbildung 2 dargestellte erweiterte Streckensteuerung. Neben dem achs-

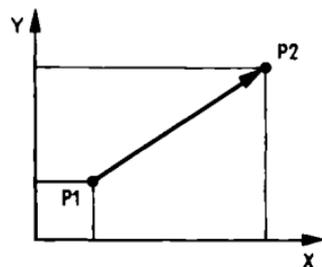


A. Punktsteuerung

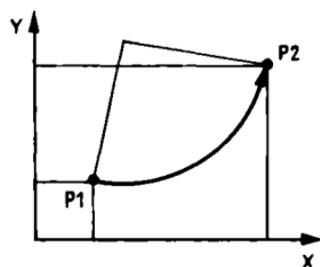


B. Einfache Streckensteuerung

A, B. Steuerungen ohne Funktionszusammenhang der gesteuerten Achsen



C. Erweiterte Streckensteuerung



D. Bahnsteuerung

C, D. Steuerungen mit Funktionszusammenhang der gesteuerten Achsen

Abb. 2. Arten numerischer Werkzeugmaschinensteuerung

parallelen Verfahren des Werkzeugs gestattet diese Steuerungsart auch die Bewegung entlang bestimmter Winkel. Man spricht hier häufig auch vom „Mitschleppen“ der zweiten Achse, da zwar aufgrund des gleichzeitigen Arbeitens der Antriebe eine schräge Bewegung stattfindet, das Erreichen der Sollposition aber nur an einer Achse registriert wird und zum Abschalten beider Antriebe führt.

Auch diese Steuerungsart findet hauptsächlich Anwendung bei Dreh- und Fräsmaschinen. Allerdings können neben den vorgenannten Formen auch bestimmte Schrägen erzeugt werden.

Die Darstellung D schließlich zeigt eine komplexe Form des Funktionszusammenhanges, der als Bahn- oder Stetigbahnsteuerung bezeichnet wird. Diese Steuerungsart gestattet nicht nur das Verfahren beliebiger Geraden, sondern auch die Bewegung längs bestimmter gekrümmter Kurven (z. B. Kreisbögen oder Parabel) aufgrund eines Programmsatzes. Durch Aneinanderreihung von vielen eng benachbarten Sollpositionen kann bei dieser Steuerungsart eine beliebig gekrümmte Kurve abgefahren werden und somit durch Krümmungskreisbögen oder Tangentenstücke angenähert werden.

Die Verknüpfung zweier Maschinenachsen zu einer zweidimensionalen Bahnsteuerung findet nicht nur bei Dreh- und Fräsmaschinen Verwendung, sondern auch beim Brennschneiden und Konturnibbeln und -stanzen.

Fräsmaschinen, speziell für komplexe dreidimensionale Teile der Luft- und Raumfahrtindustrie, werden häufig auch mit einer drei und mehr Achsen verknüpfenden Steuerung ausgerüstet. Dadurch gelingt es, das Fräs Werkzeug nicht nur auf jeder beliebigen Raumkurve zu führen, sondern auch noch die Werkzeugachse in einer definierten Richtung zur Werkstückoberfläche zu halten. Gesteuert wird in diesen Fällen, neben den drei translatorischen Achsen X, Y und Z, meist noch der dreh- und/oder kippbare Werkstücktisch und der schwenkbare Spindelkopf.

Neben dem bisher vorgestellten Prinzip der numerischen Werkzeugmaschinensteuerung, bei dem die drei Steuerungselemente Antrieb, Wegmeßsystem und Vergleicher zu einem Lageregel-

kreis verknüpft werden, verwendet man auch Schrittmotore als Antriebs-elemente. Durch den festen Zusammenhang zwischen elektrischem Stellsignal und mechanischer Reaktion in Form eines definierten Winkelschrittes kann bei diesen Antriebselementen die Messung der Ist-Position entfallen, so daß anscheinend sich der Lageregelkreis zu einer Steuerkette vereinfacht.

Bei genauer Untersuchung des Steuerungsprinzips bei Verwendung von Schrittmotoren wird man allerdings feststellen, daß der Lageregelkreis nicht entfallen ist, sondern lediglich komplett in den elektrischen Teil für die Signalerzeugung des Antriebs verlegt wurde, wobei das Wegmeßsystem durch Zählregister ersetzt wurde, das die an den Antrieb abgegebenen Impulse addiert, und somit ein elektrisches Äquivalent der durchgeführten Antriebsbewegungen darstellt.

3. Grundlagen der Programmierung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen

Im vorigen Abschnitt wurde bereits ausgeführt, daß die wesentliche Eigenschaft der numerischen Steuerung in dem selbsttätigen Ablauf vorpräparierter, d. h. programmierter Bewegungsabläufe zu sehen ist. Die Beschreibung derartiger Bewegungsabläufe oder genauer: von Fertigungsabläufen auf der Werkzeugmaschine, muß durch eine Kette von Eingabeinformationen – ein Steuerprogramm – erfolgen. Diese Eingabedaten bestehen, pro Einzelbewegung der Maschine, aus geometrischen Angaben über die anzufahrende Position und die Bewegungsart, was man kurz unter dem Begriff „Weginformation“ zusammenfaßt, und technologischen Angaben über die gewünschten Parameter des Zerspanungsprozesses, die man als „Schaltinformation“ bezeichnet. Diese einzelnen Eingabeinformationen müssen nach festen Regeln zu Sätzen zusammengefaßt werden, die auf einem Informationsträger, in einem Code verschlüsselt, abgespeichert werden.

3.1. Weginformationen

Unter den Begriff der Weginformation fallen in erster Linie die Koordinatenangaben, die benötigt werden, um durch die Aufrei-

hung von nacheinander anzufahrenden Positionen einen gesamten Bewegungsablauf festzulegen, wodurch die durchzuführende Bearbeitung, d. h. der Fertigungsablauf bestimmt wird. Je nach Anzahl der gesteuerten Schlittenbewegungen müssen hier entsprechend viele verschiedene Zahlenangaben erfolgen, die entweder die neue einzunehmende Position oder die zu durchfahrende Lageänderung angeben. Im ersteren Falle spricht man von einer absoluten Steuerung, da die Zielposition unabhängig von der derzeitigen Position (z. B. gemessen in Skalenteilen des Wegmeßsystems) angegeben ist. Im letzteren Falle spricht man von einer inkrementalen Steuerung, da an Stelle einer definierten Zielposition das zurückzulegende Weginkrement (ebenfalls gemessen in Skalenteilen des Wegmeßsystems) angegeben wird. Die zwei kennzeichnenden Größen für diese Positionsangaben sind das Auflösungsvermögen des Wegmeßsystems und der Verfahrbereich der gesteuerten Schlittenbewegung. Das Auflösungsvermögen des Wegmeßsystems beschränkt die erforderliche Zahlenangabe nach unten, da es unnötig ist, Bruchteile anzugeben, die durch die Wegmessung nicht mehr unterschieden werden. Der Verfahrbereich beschränkt die Zahlenangabe nach oben, da Positionen oberhalb des durch Endschalter begrenzten Bereiches möglicher Schlittenpositionen nicht erreichbar sind.

Neben diesen Positionsangaben für die gesteuerten Achsen werden bei kreisförmiger Bahnbewegung auch noch andere Parameter (meist die Mittelpunktskoordinaten des Kreises) benötigt, damit im Rechenwerk der Steuerung die Annäherung der gekrümmten Bahn durch eine Folge von Tangentenstücken ermittelt werden kann.

Ebenfalls zu dem Begriff der Weginformation werden Angaben gezählt, die unter der Bezeichnung Wegbedingung zusammengefaßt werden. Ursprünglich leitet sich dieser Name von der Angabe der Interpolationsart her, in der z. B. für Streckensteuerungen angegeben wird, ob und welche Achse mitgeschleppt werden soll, oder bei Bahnsteuerungen, ob linear oder zirkular und mit welchem Drehsinn auf dem Kreisbogen verfahren werden soll. Bei vielen Steuerungen kann hier auch zwischen genauer und Zirka-Positionierung unterschieden werden, da ein genaues

Einfahren einer Position aufgrund der gestuften Reduzierung der Verfahrgeschwindigkeit zeitaufwendig ist. Andererseits ist bei vielen Bearbeitungsschritten z. B. beim Überfräsen einer Fläche das genaue Einfahren einer Position nicht erforderlich. Schließlich müssen hier noch die Angaben zur Werkzeugkorrektur erwähnt werden. Um der Abnutzung der Werkzeuge Rechnung tragen zu können, ohne daß das Steuerprogramm geändert werden muß, haben viele Steuerungen einstellbare Ziffernschalter – sogenannte Korrekturschalter –, an denen die Differenz zwischen programmiertem Sollmaß und tatsächlichem Istmaß am Werkzeug, z. B. der Durchmesser des Fräasers oder die Länge des Bohrers, eingestellt werden kann. Da diese Differenzmaße nicht immer zum Tragen kommen und, wenn sie erforderlich sind, entweder zur Sollposition addiert oder von ihr subtrahiert werden, muß in der Angabe zur Werkzeugkorrektur diese Plus-Minus-Entscheidung getroffen werden. So weiß man zwar bei Programmierung eines Taschenfräsens nicht den Betrag der Differenz zwischen Soll- und Istdurchmesser des Fräasers; man weiß aber, daß diese Differenz beim Fräsen der linken Kante subtrahiert, an der rechten Kante dagegen addiert werden muß, damit die Tasche die gewünschten Abmaße erhält. Alle diese Angaben werden im allgemeinen durch mehrere Schlüsselzahlen angegeben.

3.2. Schaltinformationen

Die Bezeichnung Schaltinformation ist historisch begründet. Man faßt hierunter alle Angaben zusammen, die den Zerspanungsprozeß beeinflussen. Da die hauptsächlichsten Parameter wie Vorschub- und Schnittgeschwindigkeit, das zur Bearbeitung eingesetzte Werkzeug und der erforderliche Kühlmittelzufluß anfänglich durch elektro-mechanische Schaltgetriebe, Revolverköpfe und schaltbare Ventile realisiert wurden, ergab sich an Stelle eines abstrakten Begriffes wie Zerspanungsbedingungen oder Technologieinformationen der an der Durchführungsweise orientierte konkrete Begriff Schaltinformation.

Bei den beiden wesentlichen Größen – Vorschub und Schnittgeschwindigkeit – besteht einerseits die Notwendigkeit einen

großen Wertebereich verfügbar zu machen. Andererseits ist eine feinstufige Rasterung der einstellbaren Werte mit erheblichem Aufwand verbunden, so daß hier aus wirtschaftlichem Gesichtspunkte eine Grenze gegeben ist. Somit braucht man auch nicht die einstellbaren Werte als Zahlenwert der Maßeinheit, in der sie gemessen werden, anzugeben, sondern man kann die möglichen Werte nach einem Schlüssel durchnummerieren und dann durch Angabe dieser Schlüsselzahl kennzeichnen. So wird man z. B. die Angabe der Spindeldrehzahl, die im Bereich von 30 bis 300 U/min verstellbar sein möge, aber insgesamt aufgrund der Getriebekonstruktion nur 20 mögliche Drehzahlen zuläßt, nicht durch die gewählte Drehzahl von 300 U/min direkt bezeichnen sondern durch die Schlüsselzahl 20.

Eine Abkehr von diesem Prinzip der Kodierung der möglichen einstellbaren Werte ist nur dort erforderlich, wo die zu stellende Größe, wie bei den Weginformationen, innerhalb des Verstellbereich mit hinreichender Feinheit unterteilt wird, so daß man von kontinuierlicher Einstellbarkeit sprechen kann.

Diese kontinuierliche Einstellbarkeit ist für die Vorschubantriebe bei Bahnsteuerungen erforderlich, da die Bewegung (mit konstanter Geschwindigkeit) in einer beliebigen Richtung durch die Aufteilung der erforderlichen Komponenten des Geschwindigkeitsvektors auf die zwei oder mehr gemeinsam gesteuerten Achsen erfolgen muß. Neuerdings geht man teilweise – hauptsächlich bei Drehmaschinen – auch dazu über, die Spindeldrehzahl kontinuierlich einstellbar zu gestalten, um immer konstante Zerspanungsbedingungen einstellen zu können, was bei stufenweiser Schaltung, z. B. beim Plandrehen nicht gewährleistet ist.

3.3. Satzaufbau

Die in den vorstehenden Abschnitten erläuterten Weg- und Schaltinformationen erfordern einen übergeordneten Zusammenhang, da erst das Zusammenspiel des genauen Einfahrens einer bestimmten Position mit einer definierten Vorschubgeschwindigkeit bei einer gegebenen Spindeldrehzahl den ge-

wünschten Bearbeitungsschritt am herzustellenden Werkstück liefert.

Die jeweils zusammengehörigen Informationen müssen also unter einem übergeordneten Begriff erfaßt werden, um ein gemeinsames Wirksamwerden der geforderten Einzelbedingungen für Werkzeugbahn und -geschwindigkeit zu gewährleisten.

In Anlehnung an die Bezeichnungen für die Strukturierung von natürlichen Sprachen nennt man die einzelnen Angaben „Worte“ und die Zusammenfassung von Worten zur Beschreibung einzelner Bearbeitungsschritte „Sätze“. Allerdings sollte man vermeiden, aus der Übernahme der Bezeichnungen den Schluß zu ziehen, daß hier eine „Sprache“ vorliegt, die es gestattet, mit der Werkzeugmaschine oder deren Steuerung zu kommunizieren.

Die Probleme für einen Satzaufbau, der automatisch interpretierbar sein soll, lassen sich mit folgenden drei Fragen beschreiben:

1. wie werden die einzelnen Worte voneinander getrennt (Worttrennung),
2. wie werden die Wortinhalte angegeben (Wortbezeichnung) und
3. wie werden die Sätze voneinander getrennt (Satztrennung)?

Diese Fragen lassen sich anhand der historischen Entwicklung recht instruktiv beantworten.

Anfänglich vereinbarte man für jedes Wort eine feste Ziffernzahl und für jeden Satz eine feste Wortzahl. Dadurch konnten zwar spezielle Wort- und Satztrennzeichen entfallen, es mußten aber für alle Worte die Anzahl von Ziffern, die maximal in einem Wort nötig waren, angegeben werden. Dieser unnötige Schreibaufwand bzw. diese überflüssige Platzvergeudung auf dem Datenträger führten dazu, daß man die Ziffernzahl pro Wort variabel gestaltete und dafür ein Wort-Ende-Zeichen (meist das Tabulatorzeichen für Schreibautomaten) einführte.

Die Einführung der variablen Wortlänge bewirkte zwar eine wesentliche Verbesserung; aber mit der wachsenden Zahl der

gesteuerten Achsen und Hilfsfunktionen, die nicht in jedem Satz verändert wurden, wuchs das Bedürfnis, bestimmte Funktionen der Steuerung, d. h. bestimmte Worte des Satzes gezielt anzusprechen. Hierfür wurde die „Wortadressierung“ mittels vorangestellter Buchstaben gewählt. So wurden z. B. die translatorischen Koordinaten durch die Buchstaben X, Y und Z (sofern vorhanden) gekennzeichnet. Die detaillierte Erläuterung der möglichen Wortadressen und ihrer Bedeutungen würde in diesem Rahmen zu weit führen; es sei deshalb auf die einschlägige DIN-Norm 66025 verwiesen. Als Beispiel für die Programmdarstellung ist in Abbildung 3 ein Ausschnitt aus einem Steuerprogramm für eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine gezeigt.

3.4. Informationsträger und Codes

Will man versuchen, die Entscheidung für den Lochstreifen als derzeit meist gebrauchten Datenträger für Steuerprogramme von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen zu rechtfertigen, so müssen folgende Gründe angeführt werden:

1. der Gebrauch in der Umgebung von spanabhebenden Fertigungseinrichtungen erfordert einen robusten Datenträger, der gegen grobe Verschmutzung resistent ist,
2. die erforderlichen Lesegeschwindigkeiten sind relativ gering, (ca. 30–300 Zeichen/sek.), da sie den Verfahrensgeschwindigkeiten der gesteuerten Maschine anzupassen sind,
3. die zu speichernden Datenmengen pro Programm sind relativ gering (ca. 1000–1000 000 Zeichen)
4. die Abarbeitung der Daten erfolgt sequentiell, d. h. Satz für Satz.

Die drei ersten Gründe zielen im wesentlichen auf den Vergleich mit dem Magnetband, das zwar hohe Lesegeschwindigkeiten und Aufzeichnungsdichten zuläßt, aber sehr anfällig gegen Verschmutzung ist. Der vierte aufgeführte Grund ist das wesentliche Argument gegen die Verwendung von Lochkarten. Diese bieten aufgrund der leichten Austauschbarkeit von einzelnen Karten in einem Stapel eine Flexibilität, die

Satz Nr. N	Weg- bed. G	Koordinate			Vor- schub F	Dreh- zahl S	Werk- zeug T	Hilfs- befehl M	Bemerkung
		X	Y	Z					
% LF									
N 001	G 00			Z 710 00	F 99				
N 002		X 000 00							
N 003			Y 000 00						
N 004			Y 045 00					P 1	
N 005		X 045 00				S 75	T 01	M 03	
N 006				Z 570 00				M 03	
N 007				Z 514 00	F 02				
N 008				Z 570 00	F 99				
N 009		X 180 00						2 (11,5 φ)	
N 010				Z 514 00	F 02				
N 011				Z 570 00	F 99				
N 012			Y 105 00					3 (11,5 φ)	
N 013				Z 514 00	F 02				
N 014				Z 570 00	F 99				
N 015		X 045 00						4 (11,5 φ)	
N 016				Z 514 00	F 02				
N 017				Z 710 00	F 99		T 02	M 05	
N 018				Z 506 00		S 07		M 03	
N 019				Z 583 00	F 01			5 (Senken)	
N 020				Z 596 00	F 99				
N 021			Y 045 00					6 (Senken)	
N 022				Z 588 00	F 01				
N 023				Z 596 00	F 99				
N 024		X 180 00						7 (Senken)	
N 025				Z 588 00	F 01				
N 026				Z 596 00	F 99				
N 027			Y 105 00					8 (Senken)	
N 028				Z 583 00	F 01				
N 029				Z 710 00	F 99		T 03	M 05	
N 030		X 110 00						P 2	
N 031			Y 120 00					9 (Gew. bohr.)	
N 032				Z 546 00		S 81		M 03	
N 033				Z 525 00	F 01				
N 034				Z 546 00	F 99				
N 035		X 075 36						P 3	
N 036			Y 060 00					10 (Gew. bohr.)	
N 037				Z 525 00	F 01				
N 038				Z 546 00	F 99				
N 039		X 146 64						11 (Gew. bohr.)	
N 040				Z 525 00	F 01				
N 041				Z 710 00	F 99		T 04	M 05	
N 042				Z 526 00		S 77		M 03	
N 043				Z 521 00	F 06			12 (Gew.)	
N 044				Z 526 00					
N 045		X 075 36			F 99			13 (Gew.)	

Abb. 3. Steuerprogramm, tabellarisch aufgelistet