

7460231

SIEGFRIED

Leitfaden der elektronischen Steuerungs- und Regelungstechnik

TEIL **2** Grundlagen und Grundsaltungen
der Regelungstechnik

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN



TP 27
S1
T.2
TP 27
S 571
T.2

7460281

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Siegfried
Studienprofessor

Leitfaden der elektronischen Steuerungs- und Regelungstechnik

Teil 2: Grundlagen und Grundsaltungen
der Regelungstechnik



E7460281

Mit 143 Bildern, darunter 33 zweifarbige Diagramme,
15 zum Teil bebilderten Tabellen und einem Lesezeichen



FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

1972

Franzis-Verlag G. Emil Mayer KG

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages.
Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Bilder, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Satz: vpa, München, Druck: Offsetdruckerei Jos. Hablitzel, Dachau

Printed in Germany. Imprimé en Allemagne

ISBN 3-7723-5841-1

Vorwort

Mit diesem Lehrbuch liegt der zweite Teil des Werkes „Elektronische Steuerungs- und Regelungstechnik“ vor. Der erste Teil befaßt sich vorwiegend mit der digitalen Steuerungstechnik. Neben der Schaltalgebra behandelt er die elektronischen Verknüpfungsglieder, die Vielzahl der Flipflopschaltungen, Monoflops, Verzögerungsglieder, Schaltverstärker, elektronischen Stellglieder und schließlich eine große Zahl von elektronischen Steuerschaltungen.

Im vorliegenden Teil 2 werden zuerst die numerisch gesteuerten Arbeitsmaschinen behandelt, bei denen Steuerungs- und Regelungsaufgaben zusammentreffen. Der Verfasser, der neben seinem Lehrauftrag an der *Staatlichen Technikerschule für Elektronik* in Tettnang schon viele Fortbildungskurse für Ingenieure und Techniker aus der Industrie geleitet hat, widmete auch der Programmierung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen besondere Beachtung. Damit wird, gemäß den in den Fortbildungskursen gesammelten Erfahrungen, auch den Interessen der Fachleute aus dem Bereich *Maschinenbau* Rechnung getragen. Das Buch vermittelt somit auch dem Nichtelektroniker einen guten Überblick über dieses interessante, moderne Fachgebiet.

Die weiteren Abschnitte des Buches behandeln dann die Regelungstechnik. Hier hat der Verfasser versucht, eine Regelungstechnik aufzuzeigen, die nicht, wie meist üblich, Schüler und Studenten in Schrecken versetzt, weil sie rein theoretisch, mit viel Hochschul-Mathematik dargeboten wird. Diese „elektronische“ Regelungstechnik ist anschaulich und frei von mathematischem Ballast, weil man nur mit Hilfe der Elektronik simulieren und demonstrieren kann. So steht im Mittelpunkt aller Betrachtungen der Analog-Rechenverstärker, der als integrierter Verstärker heute so preiswert ist, daß auch derjenige, der dieses Buch für den Selbstunterricht verwendet, ohne große Kosten die vom Verfasser im Labor für Regelungstechnik an der *Elektronikschule Tettnang* erprobten Schaltungen nachbauen und untersuchen kann. Demjenigen, der selbst das Fach „Regelungstechnik“ unterrichtet, sollen die Schaltungen der verschiedenen Regelkreise Anregung zu eigenen Untersuchungen sein. Mit den beschriebenen Versuchen und der Demonstration der verschiedenen Regelungen lassen sich die Grundlagen der Regelungstechnik auch dem Nichtelektroniker näherbringen. Dem Elektro-

Vorwort

niker bietet das Studium dieser elektronischen Regelungstechnik zusätzlich eine ausgezeichnete Wiederholung der Grundlagen aus Elektrotechnik und Elektronik.

Da die Regelungstechnik einen besonders wichtigen Platz in der Technik der Zukunft einnimmt, ist dieses Buch für alle zu empfehlen, die den Anschluß an die moderne Technik nicht verlieren wollen. Hierbei spielt es keine besondere Rolle, aus welcher Fachrichtung der Leser kommt, ob er im Selbststudium oder durch den Besuch einer Schule oder eines Kurses die erforderlichen Kenntnisse erwerben will. 134 Bilder veranschaulichen den Stoff, 13 Tabellen fassen das Wesentliche zusammen und zahlreiche Merksätze enthalten in Kurzform das Wichtigste aus dem vorangegangenen Abschnitt.

Meine Kollegen H. Bernhard und K. Pusch haben mit ihren Anregungen und der Durchsicht des Manuskriptes viel zum Gelingen dieses Buches beigetragen. Ihnen gilt mein besonderer Dank! Ich danke auch dem Franzis-Verlag München für seine Mühe um eine sorgfältige Ausgestaltung des Werkes und die rasche Durchführung aller damit verbundenen Arbeiten!

Tettngang

H.J. Siegfried

Inhalt

1	Numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen	9
1.1	Einführung	9
1.2	Das Programm	14
1.2.1	Begriffe	14
1.2.2	Handprogrammierung	14
1.2.2.1	Ein Beispiel für die Handprogrammierung	18
1.2.2.2	Der Programmwurf	19
1.2.2.3	Die Programmtabelle	19
1.2.2.4	Der Lochstreifen	21
1.3	Maschinelle Informationsverarbeitung	25
1.3.1	Einlesen und Prüfen des Lochstreifens	25
1.3.2	Automatische Leserüberwachung	25
1.3.3	Steuereinheit mit Informationsverteiler	27
1.3.4	Numerische Regelung	27
1.3.5	Wegmessung, Positionsmessung	29
1.3.5.1	Die inkrementale Wegmessung	30
1.3.5.2	Absolute Wegmessung	33
1.3.6	Das Bedienungsfeld	37
1.4	Steuerungsarten	39
1.4.1	Punktsteuerung	39
1.4.2	Streckensteuerung	40
1.4.3	Bahnsteuerung	41
1.5	Symbolische Programmierung	42
1.5.1	Überblick über die symbolische Programmierung	42
1.5.2	Programmiersprachen	44
1.5.3	Der Aufbau der Programmiersprache EXAPT	45
1.5.4	Ein Programmierbeispiel	46
1.5.5	Weitere Möglichkeiten bei symbolischer Programmierung	50
1.5.6	Prüfung des Programms	52
1.5.7	Vergleich der symbolischen Programmierung mit der Handprogrammierung	53

Inhalt

1.6	Betrachtung der Wirtschaftlichkeit	53
1.7	Übungs- und Wiederholungsaufgaben	55
2	Einführung in die Regelungstechnik	57
2.1	Grundbegriffe der Regelungstechnik	57
2.2	Weitere Glieder des Regelkreises	62
2.3	Regelungsarten	63
2.4	Das Zeitverhalten von Regelkreisgliedern	64
2.4.1	Der Analog-Rechenverstärker	64
2.4.2	Methoden zur Untersuchung des Zeitverhaltens von Regelkreisgliedern	72
2.4.3	Lineare Regelkreisglieder	75
2.4.3.1	P-Glied	75
2.4.3.2	I-Glied	77
2.4.3.3	D-Glied	86
2.4.3.4	Das T_t -Glied	92
2.4.3.5	Regelkreisglied mit quadratischem Verlauf der Sprungantwort	94
2.4.4	Nichtlineare Regelkreisglieder	101
2.4.4.1	Verzögerungsglied 1. Ordnung	101
2.4.4.2	Verzögerungsglied 2. Ordnung	110
2.4.4.3	Verzögerungsglied 3. Ordnung	116
2.4.5	Ortskurven von Regelkreisgliedern	117
2.5	Übungs- und Wiederholungsaufgaben	121
3	Die Regelstrecke	123
3.1	Das Zeitverhalten von Regelstrecken	124
3.2	Dynamische Kenngrößen der Regelstrecke	125
3.3	Die Regelbarkeit einer Regelstrecke	128
3.4	Die Gleichung der Regelstrecke	129
3.4.1	Hintereinanderschaltung von Teilstrecken	130
3.5	Übungs- und Wiederholungsaufgaben	131
4	Die Regeleinrichtung	138
4.1	Reglertypen	139
4.1.1	P-Regler	139
4.1.2	I-Regler	141
4.1.3	D-Verhalten	143
4.2	Regler mit kombiniertem Verhalten	144
4.2.1	PI-Regler	144
4.2.2	PD-Regler	151

Inhalt

4.2.3	PID-Regler	157
4.3	Übungs- und Wiederholungsaufgaben	161
5	Der vollständige Regelkreis	163
5.1	Die Auswahl geeigneter Regler	163
5.1.1	Regelung einer Regelstrecke mit P-Verhalten	163
5.1.2	Regelung einer Regelstrecke mit I-Verhalten	169
5.1.3	Regelung einer Regelstrecke mit quadratischem zeitlichem Verlauf der Ausgangsgröße	173
5.1.4	Regelung einer Regelstrecke mit Totzeit	177
5.1.5	Regelung einer verzögerten Regelstrecke 1. Ordnung (Regelstrecke mit <i>einem</i> Speicher)	179
5.1.6	Regelung verzögerter Regelstrecken höherer Ordnung	182
5.2	Optimale Einstellung der Regler	183
5.2.1	Optimale Einstellung der Regler für eine verzögerte Regelstrecke 3. Ordnung (Beispiel)	187
5.2.2	Versuche an einer verzögerten Regelstrecke 4. Ordnung	190
5.3	Kombination von Steuern und Regeln	194
5.3.1	Störgrößenaufschaltung	194
5.3.2	Störtendenzaufschaltung	197
5.4	Mehrschichtige Regelungen – vermaschte Regelkreise	199
5.5	Rechnerische Behandlung eines einfachen Regelkreises	204
5.6	Unstetige Regelungen	211
5.6.1	Regelkreise mit Zweipunktregler	211
5.6.1.1	Verzögerte Regelstrecke 1. Ordnung mit Zweipunktregler	212
5.6.1.2	Zweipunktregler mit Rückführung	216
5.6.1.3	Verzögerte Regelstrecke höherer Ordnung mit Zweipunktregler	220
5.6.1.4	Der Zweipunktregler mit Rückführung an der verzögerten Regelstrecke höherer Ordnung	220
5.6.3	Dreipunktregler	222
5.7	Übungs- und Wiederholungsaufgaben	224

Inhalt

6 Anhang	226
6.1 Der Stand der modernen Regelungstechnik	226
6.1.1 Digitale Regelungstechnik	226
6.1.2 Prozeßregelung	227
6.1.3 Der Analogrechner in der Regelungstechnik	228
Literaturverzeichnis	234
Sachverzeichnis	235

1 Numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen

1.1 Einführung

Unter dem Begriff „Numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen“ findet man eine große Zahl von modernsten elektronisch gesteuerten Maschinen. Ihr Programm ist in einem Lochstreifen oder auf Magnetband gespeichert.

Eine besondere Gruppe bilden die *numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen*, zu denen Bohrwerke, Fräsmaschinen, Drehmaschinen, Schweißmaschinen, Maschinen für das Bohren gedruckter Schaltungen und Brennschneidmaschinen mit numerischer Steuerung gehören. Eine andere Gruppe umfaßt die *Zeichen- und Anreißmaschinen* sowie die Verdrahtungsmaschinen (wire wrap) mit Lochstreifensteuerung. Sie stellen nach dem im Lochstreifen gespeicherten Programm Zeichnungen her oder dienen zum Anreißen von großen Werkstücken. *Abtastmaschinen* nehmen die Maße von Modellen mit komplizierten Formen (z. B. im Karosseriebau) ab. Ein Drucker gibt die Maße in Tabellenform aus, oder die Ausgabe erfolgt in Lochstreifenform. Neben diesen Maschinen mit numerischer Steuerung baut man NC-Transferstraßen für die umfangreiche Bearbeitung von großen Werkstücken (Motorblöcke usw.)

Die Vorläufer dieser *NC-Maschinen* (*NC = numerical controlled = numerisch gesteuert*) waren die lochkartengesteuerten Jaquard-Webstühle. Man könnte sogar die noch älteren Musikautomaten zu den Vorläufern zählen. Gesteuert wurden diese durch Lochkarten oder Stiftwalzen.

Drehautomaten, wie man sie zur Herstellung von Schrauben, Muttern oder Kugellagerringen verwendet, haben ebenfalls eine Programmsteuerung. Diese Automaten gab es schon lange vor dem II. Weltkrieg. Das Programm besteht aus Kurvenscheiben, die bestimmte Werkzeuge während des Bearbeitungsvorganges führen. Diese Kurvenscheiben sind fest in der Maschine eingebaut. Will man das Programm ändern, so muß man diese Kurvenscheiben aus der Maschine ausbauen und durch andere ersetzen. Dabei läßt sich das Programm nur in sehr begrenztem Umfang ändern, weshalb sich solche Automaten nur dann eignen, wenn sehr große Stückzahlen von einem Teil (z. B. einer Schraube) hergestellt werden sollen.

Im Jahre 1948 vergab die US-Airforce einen Forschungsauftrag, der das Problem untersuchen sollte, ob sich auch Einzelstücke und Kleinserien auf

wirtschaftliche Weise automatisch herstellen ließen. Der damals schon beachtliche Stand der Elektronik ermöglichte es, daß dieser Forschungsauftrag zu einem positiven Ergebnis führte, und so konnte 1952 die erste numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine in Betrieb genommen werden. Seit 1960 stellt man solche Maschinen auch in Deutschland her.

Will man die Vorzüge der numerisch gesteuerten Arbeitsmaschinen, besonders der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, untersuchen, so sollte man zuerst die Arbeitsgänge bei der Herstellung eines Werkstückes auf herkömmliche Art mit denen vergleichen, die bei der Herstellung des Werkstückes auf einer numerisch gesteuerten Maschine erforderlich sind. Nach der herkömmlichen Methode sind folgende Arbeitsgänge erforderlich (**Bild 1.1.1**):

Der Konstrukteur macht einen Entwurf und fertigt eine Zeichnung an, die alle Maße des Werkstückes sowie Angaben über das Material und die Bearbeitung der Oberflächen enthält. Er entwirft auch *Spezialwerkzeuge* und *Vorrichtungen* zur Bearbeitung des Werkstückes.

Im Werkzeugbau stellt man die erforderlichen Spezialwerkzeuge her.

In der Fertigung durchläuft das Werkstück meist mehrere Abteilungen, wie Dreherei, Fräserei, Bohrerabteilung, Schleiferei usw. Der Bedienungsmann an der Maschine erhält eine Fertigungsanweisung, bestehend aus Konstruktionszeichnung, Fertigungsablauf, kalkulierten Zeiten und Termin für die Fertigstellung des Werkstückes. *Vorschubgeschwindigkeiten* und *Drehzahlen* bestimmt der Facharbeiter auf Grund seiner Erfahrung selbst, oder er entnimmt sie Tabellen. Oft bestimmt er auch selbst, welche der schon vorhandenen Werkzeuge und Vorrichtungen er zur Herstellung des betreffenden Werkstückes verwenden wird.

Das Material muß er oft selbst anreißen. Er spannt das Werkstück auf und richtet die Maschine ein. Die Bearbeitung beginnt. Nah eigenem Ermessen muß er das Werkzeug kühlen. Die Reihenfolge der Arbeiten liegt oft ebenfalls im Ermessen des Facharbeiters. Meist ist die Bearbeitung aufgeteilt in *Schruppen*, *Schlichten* und *Feinschlichten*. Durch *Messen* kontrolliert der Facharbeiter die Qualität seiner durchgeführten Arbeiten. Je nach Art des Werkstückes und der erforderlichen Bearbeitung ist das Werkstück unter Umständen mehrmals umzuspannen.

Wird das gleiche Werkstück auf einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine hergestellt, so verlagern sich die einzelnen Positionen des Herstellungsganges. Ein Teil der Umspannungen entfällt, und die Zahl der Spezialwerkzeuge ist geringer. Der Mann, der die Maschine bedient, muß nicht unbedingt Facharbeiter sein. Damit ergeben sich folgende Arbeitsgänge (**Bild 1.1.2**):

1.1 Einführung

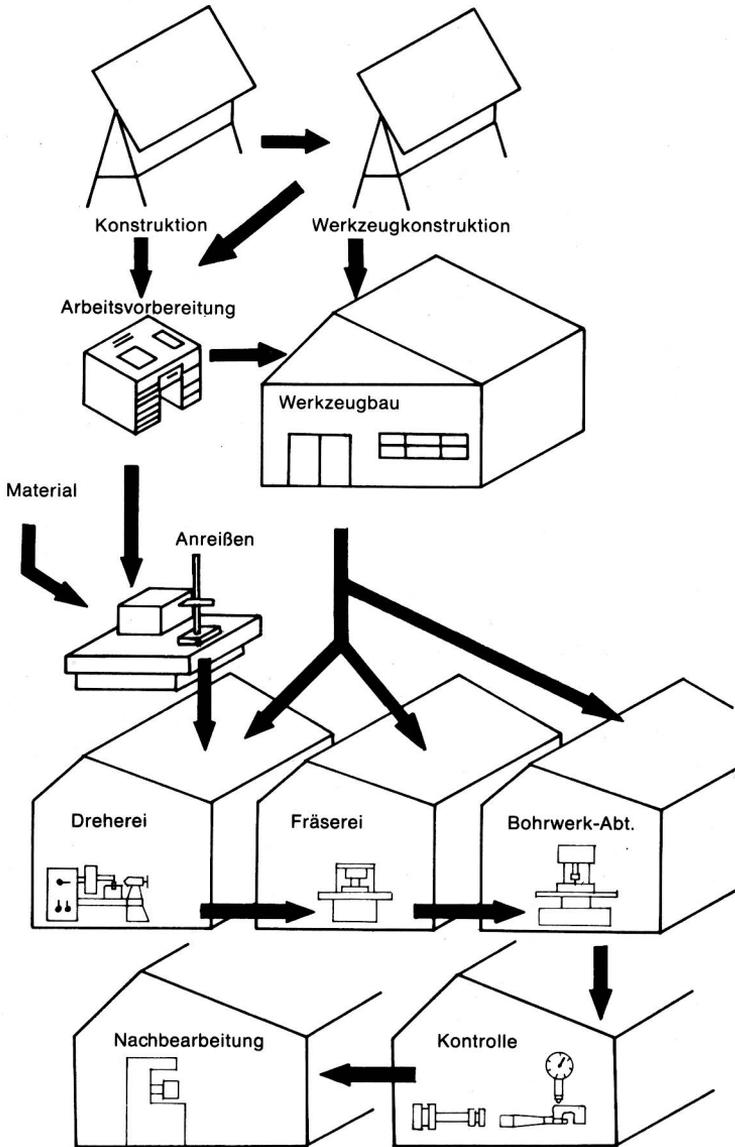


Bild 1.1.1 Werdegang eines Werkstückes bei der Bearbeitung nach herkömmlichen Methoden

1 Numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen

Die Tätigkeit des Konstrukteurs ist dieselbe wie im ersten Beispiel. Oft vereinfacht sich aber die Konstruktionsarbeit, da der Konstrukteur in *Kettenmaßen* vermaßen kann. Die Kalkulation des Arbeitsvorbereiters wird einfacher, da die Bearbeitungszeiten genau bekannt sind.

Der *Programmierer* legt die einzelnen Arbeitsgänge fest, die von der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine auszuführen sind. Dazu muß er die Koordinaten der Punkte festlegen, an welchen eine Bearbeitung auszuführen ist. Je nach Art der Steuerung bezieht er diese Koordinaten auf einen Maschinen-Nullpunkt (absolute Angabe), oder er reiht die Koordinaten in Form von Kettenmaßen aneinander. Die Wege von einem Bearbeitungspunkt zum nächsten muß der Programmierer in x-Richtung, y-Richtung und, wenn erforderlich, auch in z-Richtung aufschlüsseln. Der Maschinentisch mit dem aufgespannten Werkstück legt diese Wege bei den einfacheren Steuerungen nacheinander zurück (Reihenfolge: x-, y-, z-Richtung). Dabei arbeiten die Vorschübe zuerst im *Eilgang*, und kurz vor dem angesteuerten Punkt schaltet der Vorschubantrieb auf *Feingang* und dann auf *Schleichgang*.

Neben diesen *Weginformationen* programmiert der Programmierer auch *Schaltinformationen*, wie Werkzeugart, Spindeldrehzahlen, Vorschubgeschwindigkeiten, Hilfsbefehle wie Kühlmittel, Spannbefehl usw.

Der Programmierer muß Fachmann der Metallbearbeitung sein, denn er hält im Programm alle Angaben fest, die bei der herkömmlichen Bearbeitung der Erfahrung des Facharbeiters überlassen sind. Liegt das Programm in Form einer *Programmtabelle* vor, so überträgt es eine Hilfskraft mit einer *Spezialschreibmaschine* (Flexowriter) in einen *Lochstreifen*. Oft erleichtern *Datenverarbeitungsanlagen* dem Programmierer die Berechnungsarbeit. Bei der Verwendung einer *Programmiersprache* wird das Programm äußerst kurz und übersichtlich. Die Datenverarbeitungsanlage übernimmt dann die Routinearbeit des Programmierens und liefert gleich den fertigen Lochstreifen für die Steuerung der Werkzeugmaschine. Damit entlastet man den Programmierer weitgehend von der Routinearbeit und vermeidet somit Programmierfehler.

Der Bedienungsmann legt den Lochstreifen in die Leseeinrichtung der Werkzeugmaschinensteuerung ein, spannt das Material auf, richtet es ein und startet den automatischen Programmablauf. Die Bearbeitung erfolgt selbsttätig. Aufgaben des Bedienungsmannes sind: Bearbeitungskontrolle durch Nüchtmessen, Entfernen von Spänen, Eingriff bei eventuellem Defekt des Werkzeuges, bei unvorhergesehenen Härtestellen im Material, Korrekturen bei Werkzeugabnutzung oder Verwendung anderer als vorgesehener Werkzeuge und Werkzeugwechsel, sofern die Maschine kein Werkzeugmagazin für selbsttätigen Werkzeugwechsel besitzt.

zeugmaschine bezeichnet man als „Hardware“ ([engl.] = Eisenwaren, hier: Bauteile, Baugruppen). Als „Software“ ([engl.] = weiche Ware) bezeichnet man das Programm, Programmieranweisungen und Rechnerprogramme. Somit liegt die Hauptarbeit bei der Bearbeitung von Werkstücken mit Hilfe numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen auf der Software-Seite.

1.2. Das Programm

1.2.1 Begriffe

Auf der Maschinen- und Steuerungsseite (Hardware) unterscheidet man grundsätzlich:

- a) Punktsteuerung
- b) Streckensteuerung
- c) Bahnsteuerung

Auf der Programmierungsseite (Software) unterscheidet man:

1. Handprogrammierung (manuelle Programmierung) und
2. Symbolische Programmierung (Programmierung mit Hilfe einer Rechenanlage und einer Programmiersprache).

In den folgenden Abschnitten soll die Handprogrammierung für die einfachste Steuerung, die *Punktsteuerung*, behandelt werden.

1.2.2 Handprogrammierung

Die Punktsteuerung, die man z.B. bei Bohrwerken mit numerischer Steuerung verwendet, hat die Aufgabe, nacheinander verschiedene Punkte eines Werkstückes anzufahren und an diesen Punkten Arbeiten durchzuführen (z.B. Bohren).

Der erste Schritt bei der Programmierung ist die Festlegung der *Bearbeitungsfolge*.

Zu jedem Bearbeitungspunkt gehören eine *Weginformation* und eine *Schaltinformation*. Die einzelnen Punkte der Bearbeitungsfolge nennt man Sätze. Jeder Satz erhält eine *Satznummer*. Die Sätze bestehen wiederum aus *Worten*.

Das Programm enthält demnach folgende Informationen:

- Satznummern
- Weginformationen
- Schaltinformationen

Satznummern und Weginformationen fallen in numerischer Form, also in Form von Zahlen an. Sie werden unverschlüsselt programmiert. Damit die Steuerung zwischen *Satznummer*, *x*-, *y*- und *z*-*Weginformation* unterschei-

1.2 Das Programm

den kann, gehört zu jeder Information außer der Zahlenangabe eine sogenannte *Adresse*. Beim Lesen des Programms speichert die Steuerung die Satznummern, Weg- und Schaltinformationen auf ganz bestimmten Speicherplätzen. Die Adresse ist ein bestimmtes Wort zur Kennzeichnung eines bestimmten Speicherplatzes oder eines zusammenhängenden Speicherbereiches. In *DIN 66 025 : Programmaufbau für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen*, sind die Adreßbuchstaben für die verschiedenen Informationen festgelegt. Diese Norm löst die *VDI-Empfehlung 3259* und die darin enthaltenen Adreßbuchstaben ab. Da die Norm mit dem *ISO-Entwurf ISO/DR 1318* übereinstimmt (*ISO* = International Organisation for Standardization), erreicht man eine internationale Vereinheitlichung der Bezeichnungen.

Einige Adreßbuchstaben nach *DIN 66 025* sind:

N	Satznummer		
X	Weginformationen	}	in x-Richtung
Y			in y-Richtung
Z			in z-Richtung
F	Vorschubgeschwindigkeit	A	Drehbewegung um x-Achse
S	Spindeldrehzahl	B	Drehbewegung um y-Achse
T	Werkzeug	C	Drehbewegung um z-Achse
M	Zusatzfunktion	H	} frei verfügbar
G	Wegbedingung	L	

Einige Steuerungen arbeiten mit festen Wortlängen. Dadurch ergibt sich eine Prüfmöglichkeit beim „Lesen“ des Lochstreifens. Für Steuerungen mit festen Wortlängen gilt:

Satznummern	Adreßbuchstabe und 3 Ziffern Beispiel: N 005
Weginformationen	Adreßbuchstabe, Vorzeichen und 6 Ziffern Beispiele: X+002800; Y-001500
Schaltinformationen	Adreßbuchstabe und 2 Ziffern Beispiel: F 68

Mehrere dieser Worte bilden einen *Satz* oder *Block*. Jeder Satz enthält die Informationen für einen vollständigen Bearbeitungsvorgang. Die Anzahl der Worte in einem Satz ist beliebig.

1 Numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen

Die kleinste Wegeinheit, die sich programmieren läßt, hängt von der Genauigkeit der Maschine ab. Sie beträgt

1 mm bei Brennschneidemaschinen

0,1 mm bei Zeichenmaschinen,

0,01 mm bei Präzisionswerkzeugmaschinen.

Bei Maschinen für die feinmechanische Industrie gibt es noch kleinere Wegeinheiten.

Bei einer Werkzeugmaschine mit der Wegeinheit 0,01 mm wäre ein Verfahrensweg des Maschinenschlittens von 18 mm in +y-Richtung folgendermaßen zu programmieren, wenn die Steuerung für *feste Wortlängen* ausgelegt ist:

Y+001800, denn $18 : 0,01 = 1800$

Durch die sogenannten *führenden Nullen* ist diese Zahl auf sechs Stellen zu ergänzen, damit man die festgelegte Wortlänge erreicht.

Bei einigen Steuerungen braucht man diese führenden Nullen nicht zu programmieren. Dann lautet die Angabe:

Y+1800

Programmiert man *keine* führenden Nullen, so erreicht man eine Verkürzung des Lochstreifens.

Bei Maschinen mit *Inkremental-Wegmessung* programmiert man die Verfahrenswege, wobei man immer die Richtung, also + oder - mit angeben muß (Kettenmaßsystem).

Bei Maschinen mit *absolutem Wegmeßsystem* programmiert man nicht die Verfahrenswege sondern die *Bezugsmaße einer Position*, z.B.:

X 002500, Y 001800 bzw. ohne führende Nullen: X 2500, Y 1800

Bei verschiedenen Steuerungen sind die Bezugsmaße so festzulegen, daß keine negativen Werte auftreten können.

Bei Steuerungen, bei denen negative Bezugsmaße auftreten dürfen, schreibt man oft *nur* das Minuszeichen, *nicht* das Pluszeichen:

für $x = + 26,3$ mm (Bezugsmaß) programmiert man: X 002630

für $x = - 138,5$ mm programmiert man: X-013850

Da für Schaltinformationen nur 2 Ziffern zur Verfügung stehen, kann man Vorschubgeschwindigkeiten und Spindeldrehzahlen nur verschlüsselt codieren. Die Schlüsselzahlen für die zu programmierenden Zahlenwerte sind in *DIN 66 025, Blatt 3*, festgelegt (**Tabelle I**).

Die Spindeldrehzahl 500 U/min programmiert man: S 74

Für die Vorschubgeschwindigkeit 28 mm/min programmiert man: F 49

Halt programmiert man mit F 00 und *Eilgang* mit F 99

Die Werkzeugnummer besteht meist aus der Adresse T und einer 2-stelligen Zahl, z.B. T 05. Sie gibt den Platz des Werkzeuges im Werkzeugmagazin an (Platzcodierung). Bei einigen Steuerungen kann man auch mehrstellige