

# Kapitel 5

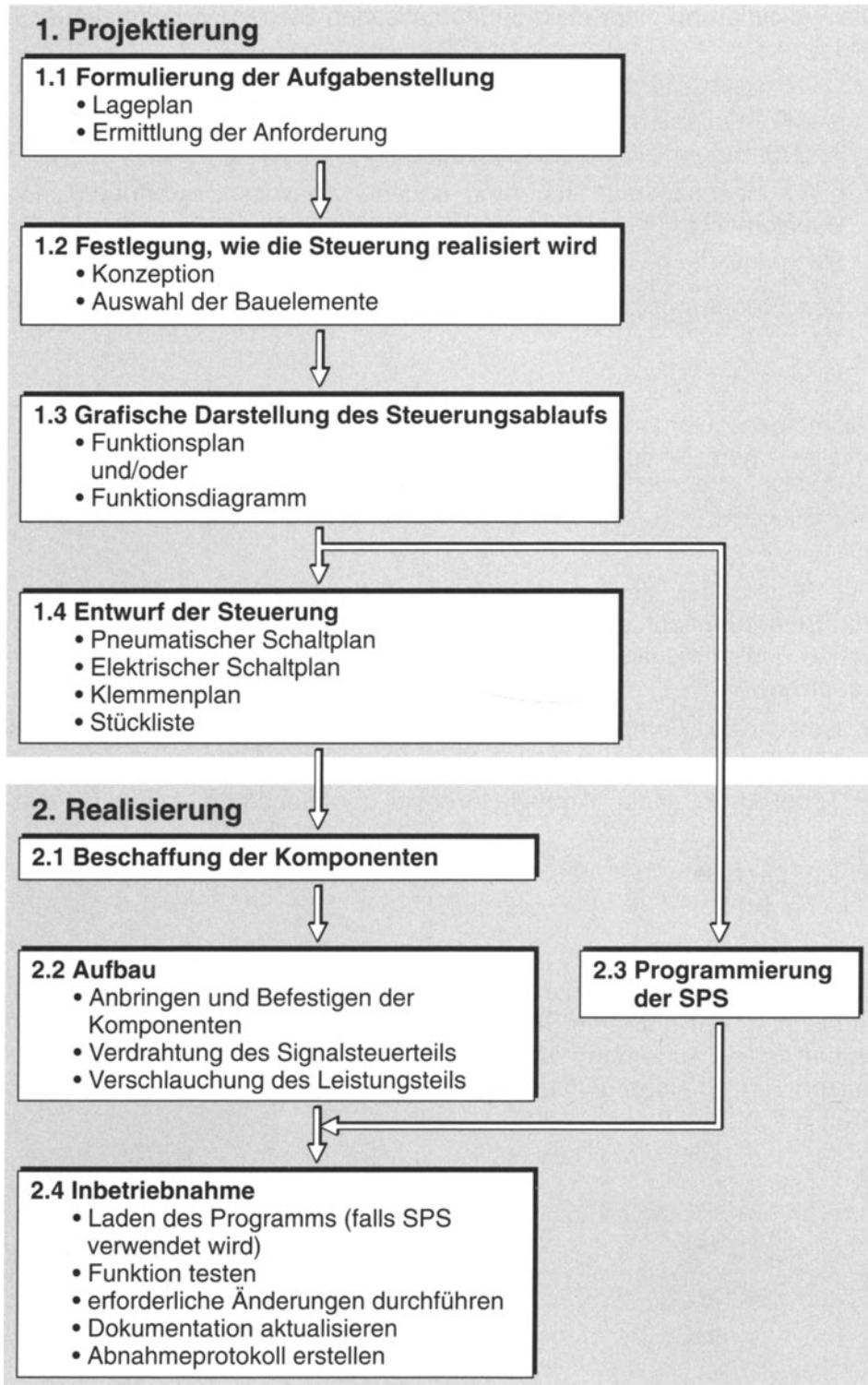
## Entwicklung einer elektropneumatischen Steuerung

### **5.1 Vorgehensweise bei der Steuerungs- entwicklung**

Das Einsatzgebiet elektropneumatischer Steuerungen reicht vom teilautomatisierten Arbeitsplatz bis zur vollautomatischen Produktionsanlage mit zahlreichen Stationen. Entsprechend stark variieren Steuerungsaufbau und Steuerungsfunktionsumfang. Elektropneumatische Steuerungen werden deshalb zugeschnitten auf das Projekt entwickelt. Die Entwicklung einer Steuerung umfasst

- die Projektierung (Erstellung der erforderlichen Pläne und Unterlagen),
- die Auswahl und Auslegung der elektrischen und pneumatischen Geräte,
- die Realisierung (Aufbau und Inbetriebnahme).

Ein systematisches, schrittweises Vorgehen hilft, Fehler zu vermeiden. Es erleichtert außerdem das Einhalten von Kosten- und Terminplänen. Bild 5.1 gibt eine Übersicht über die einzelnen Schritte der Steuerungsentwicklung.



*Bild 5.1:  
Vorgehensweise bei  
der Entwicklung und  
Realisierung einer elektro-  
pneumatischen Steuerung*

## 5.2 Vorgehensweise bei der Steuerungsprojektierung

Die Projektierung einer elektropneumatischen Steuerung beinhaltet (vgl. Bild 5.1):

- die Formulierung der Steuerungsaufgabe und die Festlegung der Anforderungen an die Steuerung,
- die Konzeption der Steuerung und die Auswahl der erforderlichen Bauelemente,
- die grafische Darstellung der Steuerungsaufgabe,
- den Steuerungsentwurf sowie die Erstellung von Plänen und Stücklisten.

Nachfolgend werden die verschiedenen Projektierungsschritte erläutert und an einem Beispiel veranschaulicht.

### Formulierung von Aufgabenstellung und Anforderungen

Die Steuerungsprojektierung beginnt mit der schriftlichen Formulierung der Steuerungsaufgabe. Sämtliche Anforderungen müssen sorgfältig, genau und eindeutig definiert werden. Folgende Hilfsmittel haben sich dabei bewährt:

- Listen bzw. Formulare, die das schnelle und vollständige Erfassen aller Anforderungen erleichtern (Tabelle 5.1),
- Tabellen, in denen Antriebe, Ventile und Sensoren aufgeführt werden,
- ein Lageplan, der die räumliche Anordnung der Antriebe veranschaulicht.

Die Anforderungen an die Steuerung müssen zwischen dem Steuerungsentwickler und dem Steuerungsbetreiber abgestimmt werden. Vorteilhaft ist es außerdem, wenn sich der Steuerungsentwickler am Einsatzort der Steuerung mit Umgebungs- und Einbaubedingungen vertraut macht.

<b>Bedienung</b>	erforderliche Bedienelemente
	erforderliche Betriebsarten
	Anzeigen und Warnleuchten
<b>Antriebe</b>	Antriebsanzahl
	für jeden Antrieb <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktion</li> <li>- erforderliche Kraft</li> <li>- erforderlicher Hub</li> <li>- Welche Bewegungsgeschwindigkeiten müssen einstellbar sein?</li> <li>- Abbremsen der Bewegungen</li> <li>- räumliche Anordnung</li> <li>- Zusatzfunktionen (z. B. Linearführung)</li> <li>- Grundstellung</li> </ul>
<b>Bewegungs- ablauf</b>	Reihenfolge der Antriebsbewegungen
	Schrittzahl des Bewegungsablaufs
	Weiterschaltbedingungen
	erforderliche Wartezeiten
	erforderliche Taktzeiten
	Kommunikation mit anderen Steuerungen
<b>Sensoren/ Signale</b>	erforderliche Näherungsschalter
	erforderliche Druckschalter, -sensoren
	weitere Sensoren
	weitere Ein- und Ausgangssignale
<b>Rand- bedingungen</b>	Einbauraum
	Verhalten bei Energieausfall
	Verhalten bei Not-Aus
	Verhalten bei anderen Fehlern
	Umgebungsbedingungen (Temperatur, Staub, Feuchtigkeit)
	erforderliche Schutzmaßnahmen
	weitere Anforderungen

*Tabelle 5.1:  
Liste zur Erfassung  
der Anforderungen an  
eine elektropneumatische  
Steuerung*

Konzeption einer  
elektropneumatischen  
Steuerung

Elektropneumatische Steuerungen können sehr unterschiedlich konzipiert werden, z. B.

- mit einer SPS oder mit Relais zur Signalverarbeitung,
- mit separat angeordneten Wegeventilen oder mit Wegeventilen, die auf einer Ventilinsel montiert sind,
- mit Standardzylindern oder mit Zylindern, die über Zusatzfunktionen verfügen (z. B. Linearführungen, Endlagendämpfung, Nuten zur Befestigung).

Die Konzeption der Steuerung beeinflusst entscheidend den weiteren Entwicklungsaufwand, d. h. den Aufwand für Steuerungsentwurf, -aufbau und -inbetriebnahme. Maßnahmen zur Aufwandsreduzierung sind z.B.

- ein modularer Steuerungsaufbau (Einsatz identischer Schaltungs- und Programmbausteine für unterschiedliche Steuerungen),
- die Verwendung moderner Bauelemente und Baugruppen (z. B. Bussysteme und Ventilinseln, vgl. Kap. 9).

Auswahl der  
Bauelemente

Liegt das Gesamtkonzept der Steuerung fest, werden die erforderlichen Bauelemente ausgewählt, d. h.:

- die pneumatischen Antriebe,
- die pneumatischen Ventile,
- die Bedienelemente,
- die Näherungsschalter, die Druckschalter usw.,
- die SPS bzw. die zu verwendenden Relaisarten.

Bevor mit dem Entwurf der Schaltpläne begonnen wird, muss geklärt sein

- wie viele Ablaufschritte erforderlich sind,
- welche Antriebe in den einzelnen Schritten betätigt werden,
- durch welche Sensorsignale bzw. nach welcher Wartezeit der nächste Ablaufschritt erfolgt.

Grafische Veranschaulichung der Steuerungsaufgabe

Die Klärung und Veranschaulichung des Ablaufs lässt sich am einfachsten mit grafischen Verfahren erreichen, z. B. mit einem Weg-Schritt-Diagramm, mit einem Weg-Zeit-Diagramm, mit einem Funktionsdiagramm oder mit einem Funktionsplan. Die verschiedenen Verfahren werden in den Kapiteln 6.1 und 6.2 erläutert.

Im letzten Schritt der Projektierung werden sämtliche Unterlagen erstellt, die zum Aufbau der Steuerung erforderlich sind. Hierzu zählen

- die Stückliste,
- der pneumatische Schaltplan,
- der elektrische Schaltplan,
- der Klemmenplan.

Steuerungsentwurf, Pläne und Stückliste

Die normgerechte Darstellung von Schalt- und Klemmenplänen wird in den Kapiteln 6.3 bis 6.7 erläutert. Kapitel 8 behandelt den Entwurf von Schaltplänen bei Relaissteuerungen.

### 5.3 Anwendungs- beispiel: Projektierung einer Hubvorrichtung

Eine Hubvorrichtung befördert Werkstücke von einer Rollbahn auf eine zweite, höher angeordnete Rollbahn. Die zugehörige elektropneumatische Steuerung soll projektiert werden.

Bild 5.2 zeigt den Lageplan der Hubvorrichtung. Sie weist drei pneumatische Antriebe auf:

- Antrieb 1A hebt die Werkstücke an.
- Antrieb 2A schiebt die Werkstücke auf die obere Rollbahn.
- Antrieb 3A dient als Stopper, der die Zufuhr von Werkstücken freigibt bzw. unterbricht.

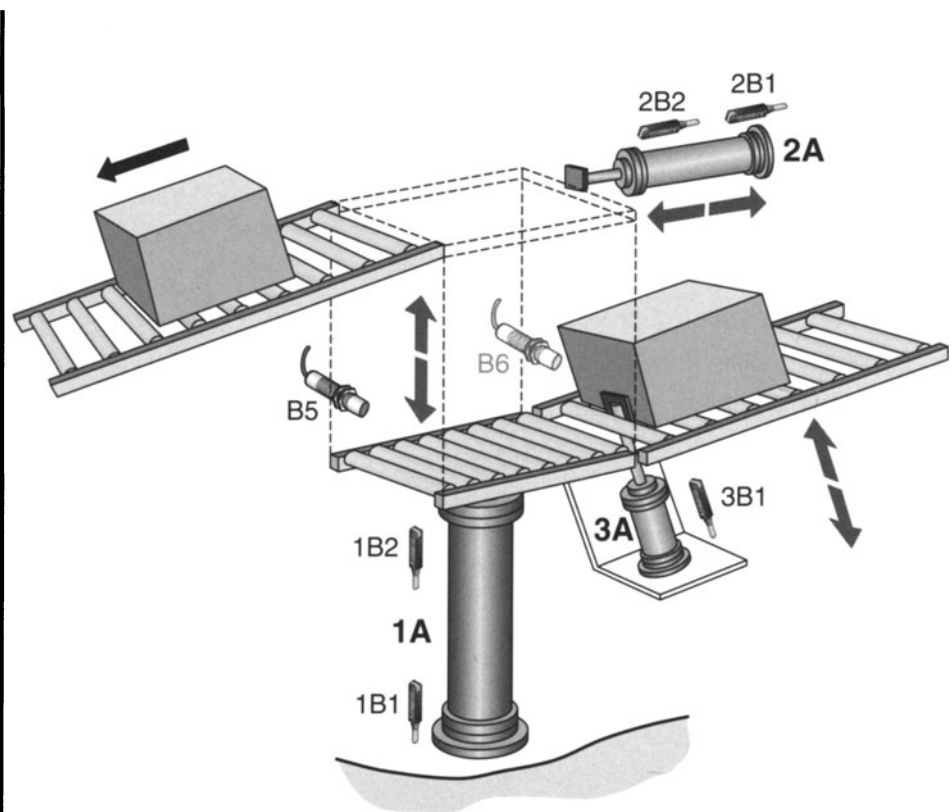


Bild 5.2:  
Lageplan der  
Hubvorrichtung

**Hinweis** Das notwendige Vereinzeln der Pakete ist an einer vorhergehenden Einrichtung bereits erfolgt. Der optische Näherungsschalter B6 wird bei der weiteren Projektierung der Hubvorrichtung nicht berücksichtigt.



Zylinder 1A benötigt einen Hub von 500 mm und eine Kraft von mindestens 600 N, Zylinder 2A einen Hub von 250 mm und eine Kraft von mindestens 400 N. Zylinder 3A benötigt einen Hub von 20 mm und eine Kraft von 40N. Die Ein- und Ausfahrgeschwindigkeiten der Kolbenstangen sollen bei den Zylindern 1A und 2A einstellbar sein. Die Steuerung muss ein weiches Abbremsen der Antriebe 1A und 2A ermöglichen.

Antriebe der  
Hubvorrichtung

Um Folgeschäden zu vermeiden, sollen bei Ausfall der elektrischen Energie die Kolbenstangen der Zylinder 1A und 2A sofort abbremsen und stehen bleiben. Die Kolbenstange des Stopperzylinders 3A soll ausfahren.

Der Bewegungsvorgang der Hubvorrichtung ist in Tabelle 5.2 dargestellt (vgl. Lageplan, Bild 5.2). Er umfasst vier Schritte.

Bewegungsvorgang  
der Hubvorrichtung

Schritt	Bewegung Kolbenstange Zylinder 1A	Bewegung Kolbenstange Zylinder 2A	Bewegung Kolbenstange Zylinder 3A	Ende des Schritts, Weiterschalt- bedingung	Bemerkung
1	keine	keine	Einfahren	B5 spricht an (Paket da)	Vorrichtung öffnen
2	Ausfahren	keine	Ausfahren	1B2 spricht an	Paket anheben
3	keine	Ausfahren	keine	2B2 spricht an	Paket ausschieben
4	Einfahren	Einfahren	keine	1B1, 2B1 sprechen an	Antriebe in Grundstellung bringen

*Tabelle 5.2:  
Bewegungsvorgang der Hubvorrichtung*

**Bedienung** Die Steuerung der Hubvorrichtung muss es ermöglichen, im Dauerzyklus (Dauerbetrieb) zu fahren. Zusätzlich erforderlich ist die Betriebsart Einzelzyklus, bei der der Ablauf genau einmal abgearbeitet wird.

Die Bedienung der Steuerung muss den einschlägigen Normen entsprechen (vgl. Kap. 7.4). Das Bedienfeld für die Hubvorrichtung ist in Bild 5.3 dargestellt.

Folgende Bedienfunktionen werden im Bezug auf die Hubvorrichtung genauer spezifiziert:

- “NOT-AUS”: Bei Betätigung muss nicht nur die elektrische, sondern zusätzlich die pneumatische Energieversorgung abgeschaltet werden.
- “Richten”: bringt die Anlage in die Grundstellung, d. h.: Die Kolbenstangen der Zylinder 1A und 2A fahren ein, die Kolbenstange von Zylinder 3A fährt aus.
- “Dauerzyklus Aus”: stoppt den Ablauf im Dauerzyklus. Ein Werkstück, das sich bereits in der Vorrichtung befindet, wird auf die obere Rollbahn befördert. Die Kolbenstangen der Zylinder 1A und 2A fahren ein. Danach befindet sich die Anlage in der Grundstellung.

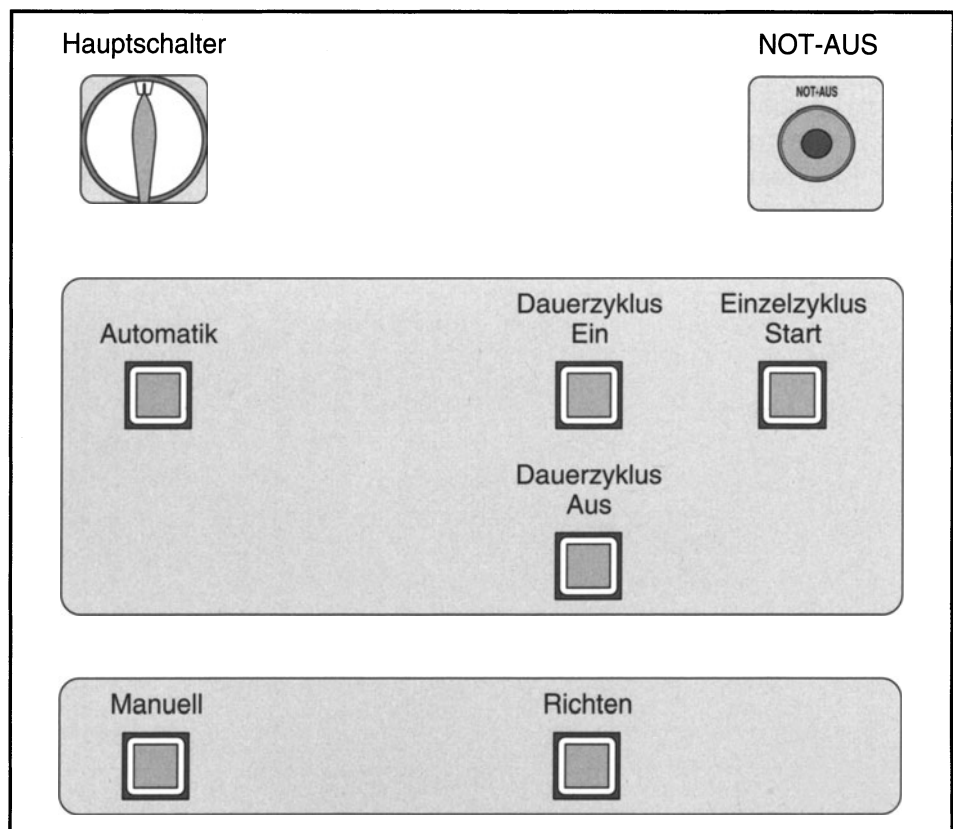


Bild 5.3:  
Bedienfeld der Steuerung  
für die Hubvorrichtung

Die Hubvorrichtung wird in einer Produktionshalle eingesetzt, deren Temperatur zwischen 15 und 35 Grad Celsius schwankt. Die pneumatischen Komponenten des Leistungsteils sowie die elektrischen Anschlüsse der Ventile sind spritzwassergeschützt und staubdicht auszuführen. Die elektrischen Komponenten des Signalsteuerteils werden in einen Schaltschrank eingebaut und müssen den einschlägigen Sicherheitsvorschriften genügen (vgl. Kap.7).

Umgebungsbedingungen

Zur Energieversorgung stehen zur Verfügung:

Energieversorgung

- Druckluftnetz ( $p = 0,6 \text{ MPa} = 6 \text{ bar}$ ),
- elektrisches Netz ( $U = 230 \text{ V}$  Wechselspannung).

Der elektrische Signalsteuerteil sowie der Hauptstromkreis sollen mit 24 V Gleichspannung betrieben werden. Es ist deshalb ein Netzteil zur Spannungsversorgung vorzusehen.

Die Signalverarbeitung der Hubvorrichtung wird als Relaissteuerung realisiert. Aufgrund der geringen Anzahl von Antrieben werden die Ventile separat montiert.

Gesamtkonzeption der Steuerung

Da die Linearführungen des Hubtisches und der Ausschiebevorrichtung bereits Bestandteile der Station sind, werden Zylinder ohne integrierte Führungen eingesetzt. Für die Antriebe 1A und 2A finden doppelwirkende Zylinder Verwendung. Antrieb 3A wird als einfachwirkender Stopperzylinder ausgeführt.

**Auswahl der Zylinder** Die Zylinderauswahl erfolgt, ausgehend von den Anforderungen bezüglich Kraft und Hub, unter Verwendung der Kataloge von Pneumatikherstellern.

Aufgrund der erforderlichen Antriebskraft muss Zylinder 1A einen Kolbendurchmesser von mindestens 40 mm, Zylinder 2A einen Kolbendurchmesser von mindestens 32 mm aufweisen.

Um ein weiches Abbremsen sicherzustellen, werden für die Antriebe 1A und 2A Zylinder mit integrierter, einstellbarer Endlagendämpfung verwendet. Geeignet sind z. B. folgende Zylinder:

Zylinder 1A: Festo DNGUL-40-500-PPV-A,

Zylinder 2A: Festo DNGUL-32-250-PPV-A.

Für den Antrieb 3A wird ein Stopperzylinder eingesetzt, der bei Ausfall der Druckluftversorgung ausfährt. Diese Anforderung erfüllt z. B. ein Zylinder vom Typ Festo STA-32-20-P-A.

**Auswahl der Wegeventile für die Steuerketten** Um bei den Antrieben 1A und 2A das geforderte Verhalten bei Energieausfall zu erreichen, werden federzentrierte 5/3-Wegeventile mit geschlossener Mittelstellung eingesetzt. Da die Bewegungen der Kolbenstangen relativ langsam erfolgen, reichen Ventile mit vergleichsweise kleiner Nennweite aus. Passend zum kleineren der beiden Zylinder finden Ventile mit 1/8-Zoll-Anschluss Verwendung. Geeignet sind z. B. Wegeventile vom Typ Festo MEH-5/3G-1/8.

Zur Betätigung des Stopperzylinders 3A wird ein federrückgestelltes 3/2-Wegeventil vom Typ Festo MEH-3/2-1/8 eingesetzt.

Die Druckluftzufuhr für alle drei Steuerketten muss abgesperrt werden, sobald die elektrische Energieversorgung ausfällt oder sobald NOT-AUS anliegt. Es ist deshalb ein zusätzliches elektrisch betätigtes, federrückgestelltes 3/2-Wegeventil erforderlich, das die Druckluftzufuhr nur freigibt, wenn die elektrische Energieversorgung ordnungsgemäß arbeitet und NOT-AUS nicht betätigt ist. Um einen ausreichenden Durchfluss sicherzustellen, wird ein Ventil vom Typ Festo CPE14-M1H-3GL-1/8 eingesetzt.

Zuschaltventil

Die Ein- und Ausfahrgeschwindigkeiten der Antriebe 1A und 2A werden durch Abluftdrosselung reguliert. Funktionsverschraubungen verringern den Verschlauchungsaufwand, da sie direkt in die Zylinderbohrung eingeschraubt werden. Erforderlich sind Verschraubungen mit Drossel-Rückschlagfunktion, z. B. vom Typ Festo GRLA-1/4 (Zylinder 1A) bzw. GRLA-1/8 (Zylinder 2A).

Geschwindigkeitsregulierung

Die Näherungsschalter werden passend zu den Zylindern ausgewählt. Zweckmäßigerweise finden positiv schaltende Sensoren Verwendung. Geeignet für die Zylinder 1A und 2A sind z. B. induktive Sensoren vom Typ Festo SMTO-1-PS-K-LED-24, für den Zylinder 3A Sensoren vom Typ Festo SMT-8-PS-KL-LED-24.

Auswahl der Näherungsschalter

Zur Steuerung der Vorrichtung (siehe Bewegungsablauf) werden für die Zylinder 1A und 2A je zwei Näherungsschalter benötigt, um vordere und hintere Endlage zu erkennen. Bei Zylinder 3A reicht ein Sensor zur Erkennung der vorderen Endlage.

Um festzustellen, ob sich ein Werkstück vor dem Stopperzylinder oder auf dem Hubtisch befindet, werden positiv schaltende Lichttaster eingesetzt, z. B. vom Typ Festo SOEG-RT-M18-PS-K.

Zuordnungstabelle für die Hubvorrichtung

Durch eine Auflistung der Zylinder, Magnetspulen, Sensoren, Bedien- und Anzeigeelemente werden die nachfolgenden Schritte der Projektierung vereinfacht (Tabelle 5.3). Komponenten, die zu einer Steuerkette gehören, sind in einer Zeile der Tabelle angeordnet.

Antrieb/ Funktion	betätigte Magnetspule			Näherungsschalter			Bedien- element	Bemerkung
	aus- fahren	ein- fahren	sonst.	ausge- fahren	eing- fahren	sonst.		
Zyl. 1A	1Y1	1Y2	–	1B2	1B1			Steuerkette 1
Zyl. 2A	2Y1	2Y2	–	2B2	2B1			Steuerkette 2
Zyl. 3A		3Y1	–	3B1				Steuerkette 3
Druckluft			0Y1					Zuschaltventil
						B5		Paket auf Hubtisch
							S1	Hauptschalter
							S2	NOT-AUS (Öffner!)
							S3	Manuell (MAN)
							S4	Automatik (AUT)
							S5	RICHTEN
							S6	Dauerzyklus EIN
							S7	Einzelzyklus START
							S8	Dauerzyklus AUS

*Tabelle 5.3:  
Zuordnungstabelle der Hubvorrichtung*

In Bild 5.4 ist das Weg-Schritt-Diagramm der Hubvorrichtung dargestellt. Es verdeutlicht, in welchen Schritten die Kolbenstangen der drei Zylinder aus- und einfahren und wann die Näherungsschalter ansprechen.

Weg-Schritt-Diagramm der Hubvorrichtung

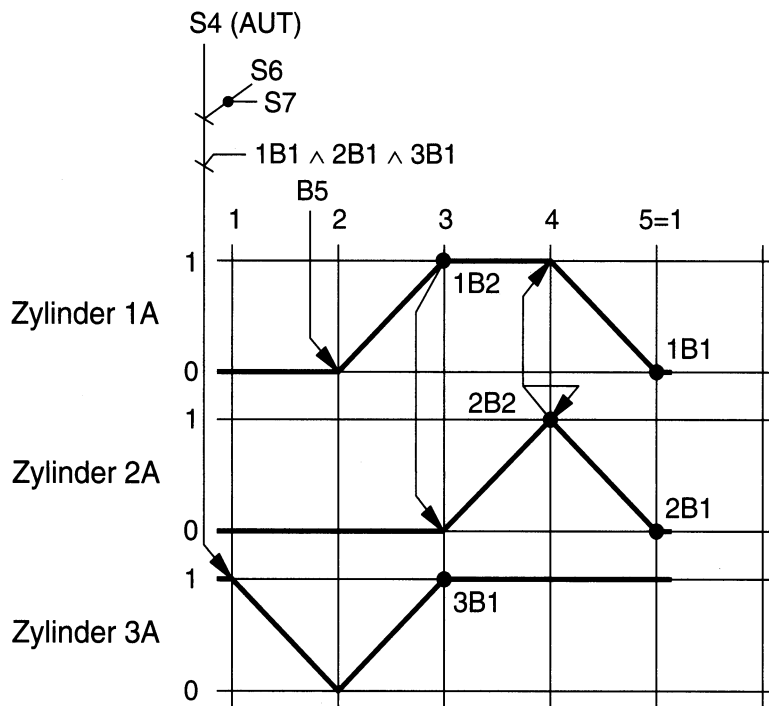


Bild 5.4:  
Weg-Schritt-Diagramm  
der Hubvorrichtung

Schaltpläne Bild 5.5 zeigt den elektrischen und pneumatischen Schaltplan der Hubvorrichtung. Jeder Antrieb wird durch ein Wegeventil betätigt. Mit dem zusätzlichen, durch die Spule 0Y1 betätigten Wegeventil wird die Druckluft eingeschaltet.

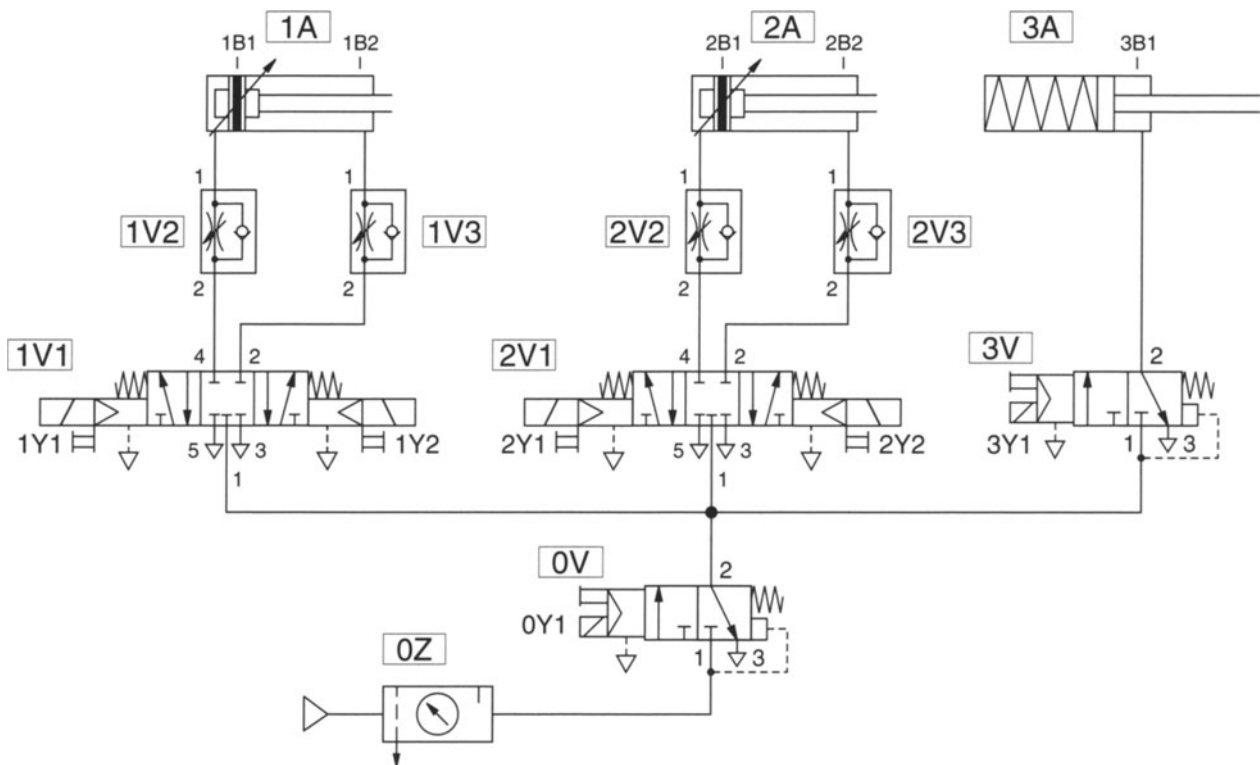


Bild 5.5:  
Pneumatischer Schaltplan der Hubvorrichtung

Die Entwicklung des elektrischen Schaltplans für die Steuerung der Hubvorrichtung wird in Kap. 8.8 erläutert. Der elektrische Schaltplan ist in den Bildern 8.22, 8.25 bis 8.27 sowie 8.29 und 8.30 dargestellt.



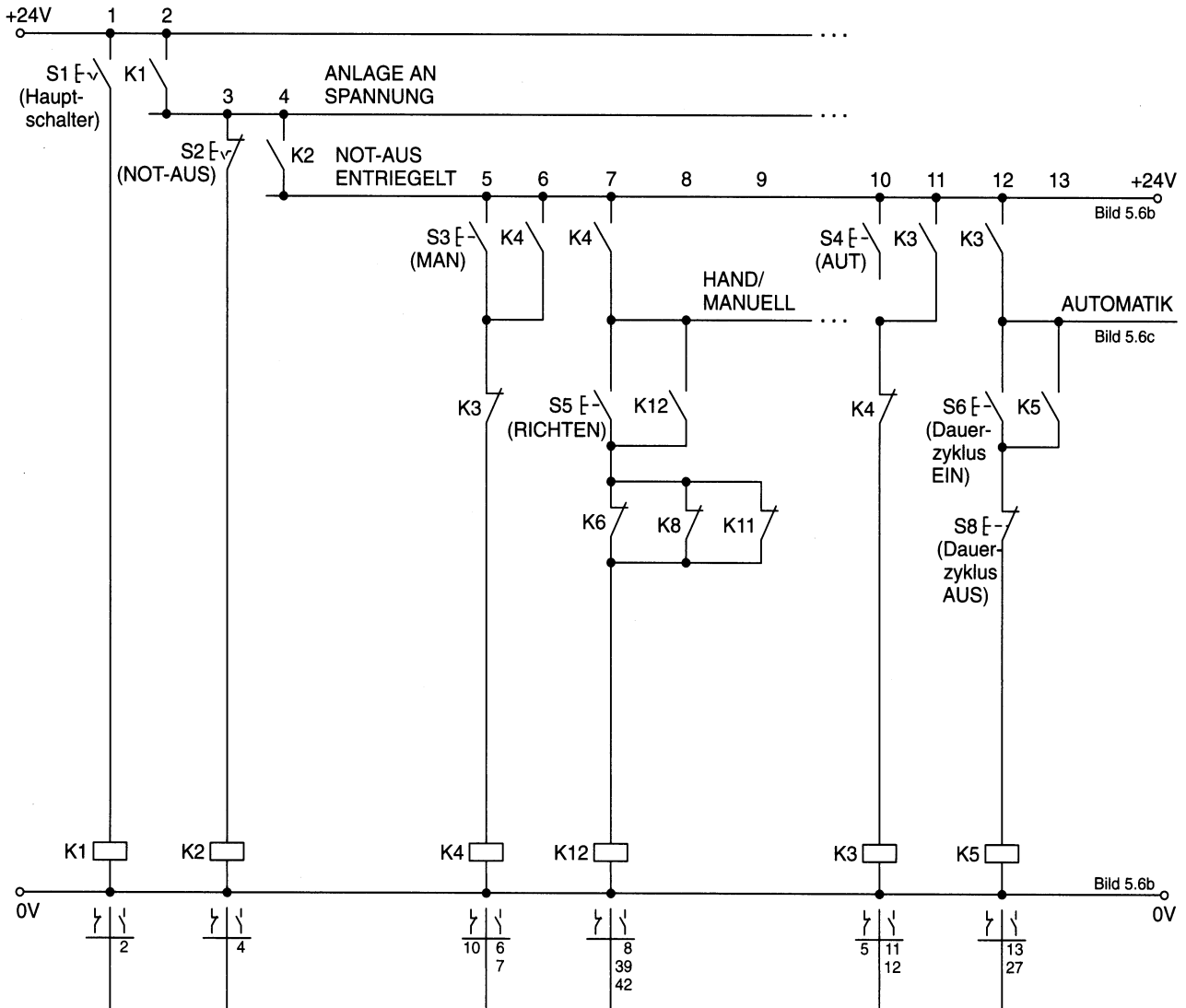


Bild 5.6a:  
Elektrischer Schaltplan der Hubvorrichtung – **Bedienelemente**

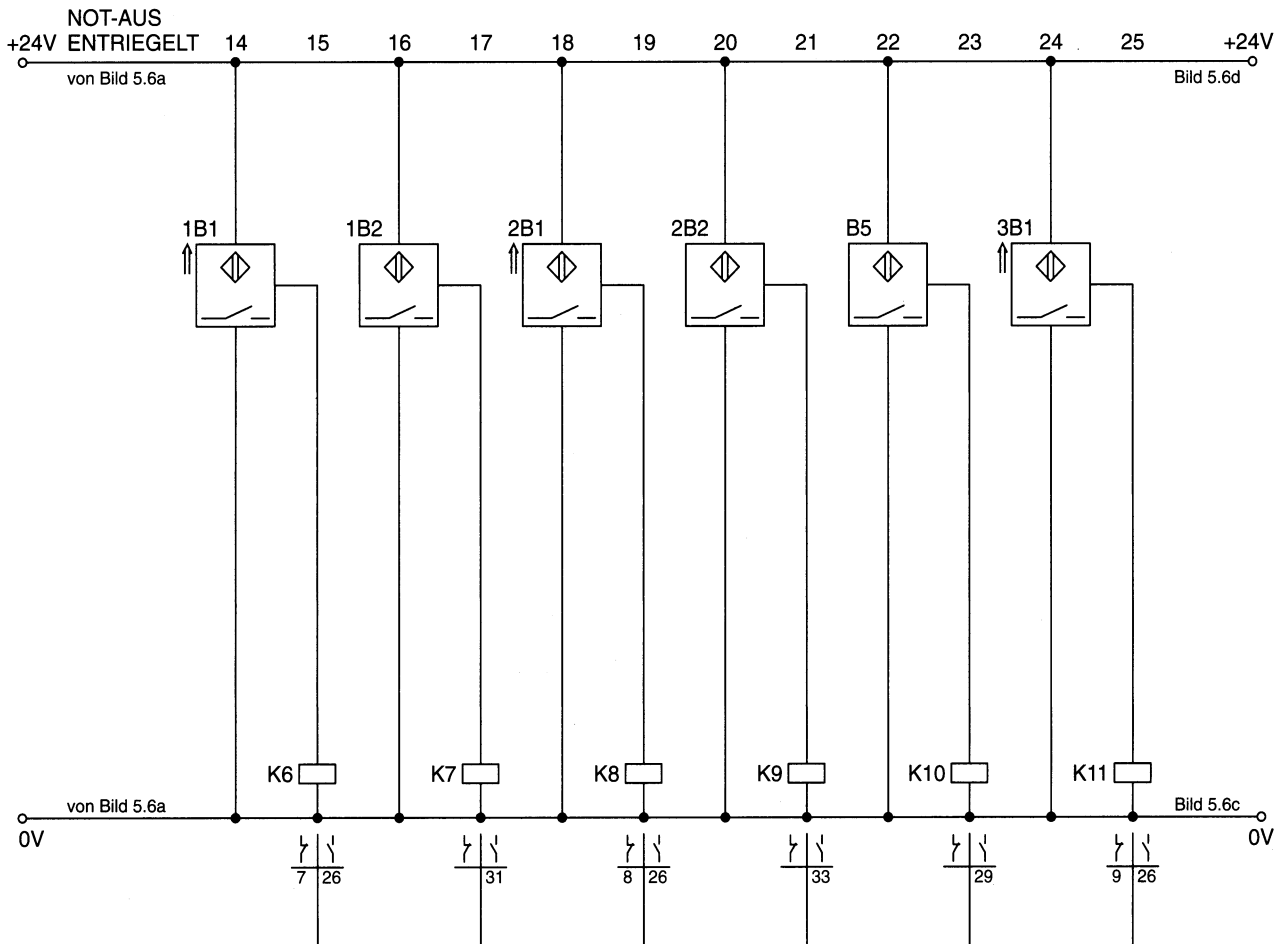


Bild 5.6b:  
Elektrischer Schaltplan der Hubvorrichtung – **Sensorauswertung**

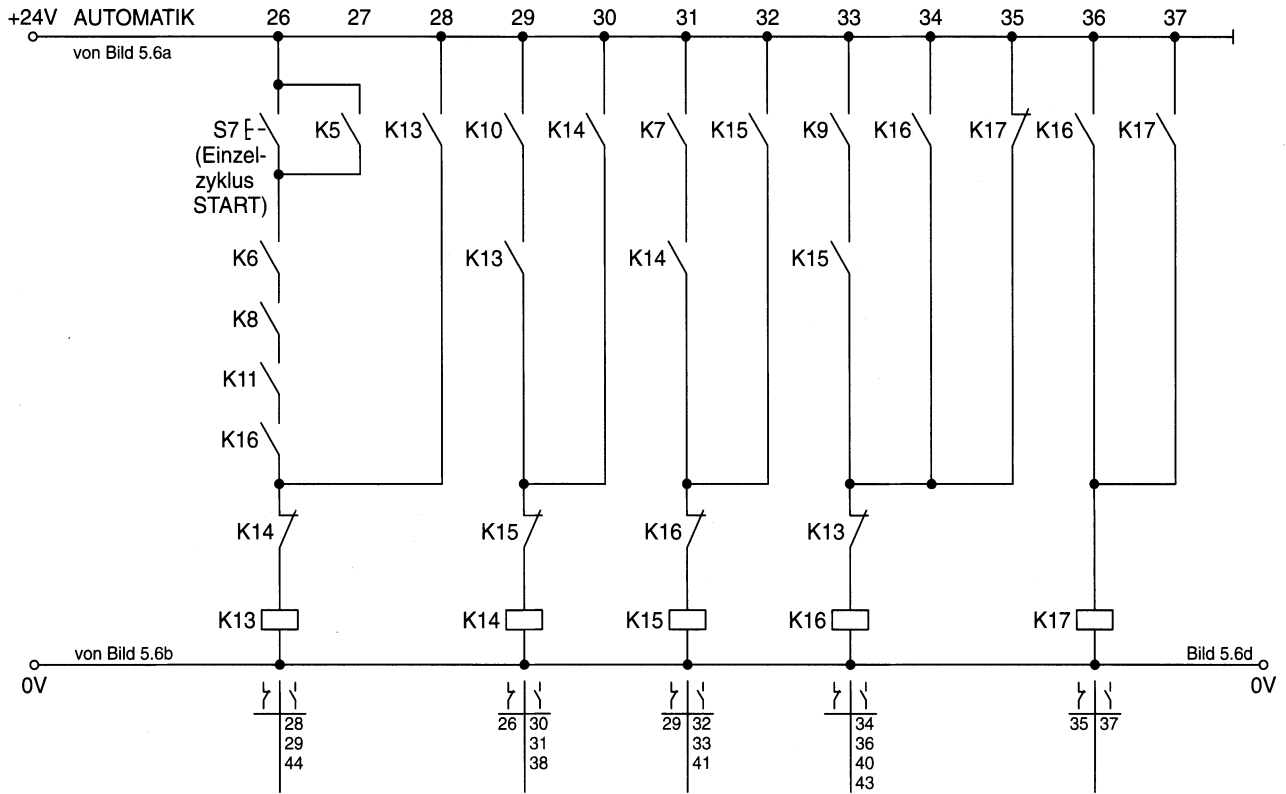


Bild 5.6c:  
Elektrischer Schaltplan der Hubvorrichtung – **Schaltung der Ablaufschritte**

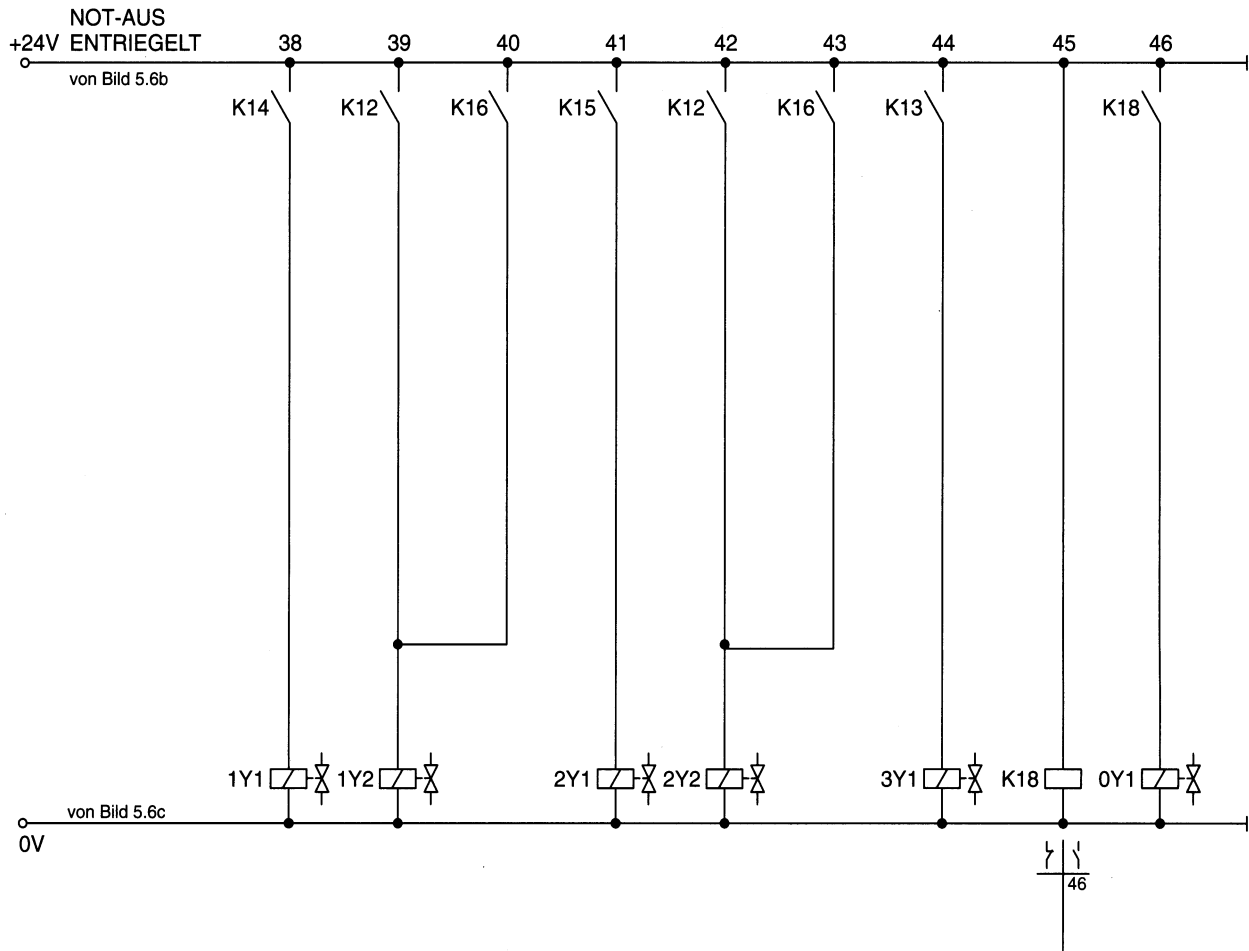


Bild 5.6d:  
Elektrischer Schaltplan der Hubvorrichtung – **Beschaltung der Magnetspulen**

Die Realisierung einer elektropneumatischen Steuerung beinhaltet

- die Beschaffung aller erforderlichen Bauteile,
- den Steuerungsaufbau,
- die Programmierung (falls eine SPS Verwendung findet),
- die Inbetriebnahme der Steuerung.

Für den Steuerungsaufbau müssen vorliegen:

- die vollständigen Schalt- und Klemmenpläne,
- alle elektrischen und pneumatischen Bauelemente gemäß Stückliste.

Um Fehler bei der Montage, Verschlauchung und Verdrahtung zu vermeiden, werden diese Arbeiten in einer festgelegten, gleichbleibenden Reihenfolge durchgeführt. Eine Möglichkeit besteht z. B. darin, den pneumatischen Leistungsteil stets ausgehend von der Energieversorgung über die Ventile hin zu den Zylindern zu verschlauchten.

Bei Verwendung einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) wird der Bewegungsablauf der pneumatischen Antriebe durch das Programm festgelegt. Ausgangsbasis für die Entwicklung des SPS-Programms ist entweder das Funktionsdiagramm oder der Funktionsplan. Die Programmentwicklung kann parallel zum Steuerungsaufbau durchgeführt werden.

#### **5.4 Vorgehensweise bei der Steuerungsrealisierung**

Vorgehensweise beim Steuerungsaufbau

Programmierung einer SPS

Als Werkzeug zur Programmentwicklung dient entweder ein Personalcomputer oder ein Programmiergerät. Die Programmentwicklung umfasst folgende Schritte (Bild 5.7):

- den Entwurf des Programms,
- die Eingabe des Programms in den Personalcomputer oder das Programmiergerät,
- die Übersetzung des Programms,
- den Test des Programms (zunächst, soweit möglich, in der Simulation, d.h. mit dem Personalcomputer bzw. dem Programmiergerät).

Programmfehler, die sich bei der Übersetzung oder beim Test zeigen, müssen behoben werden. Anschließend sind die folgenden Schritte der Programmentwicklung erneut zu durchlaufen. Dieser Vorgang muss so oft wiederholt werden, bis alle erkennbaren Fehler beseitigt sind (Bild 5.7).

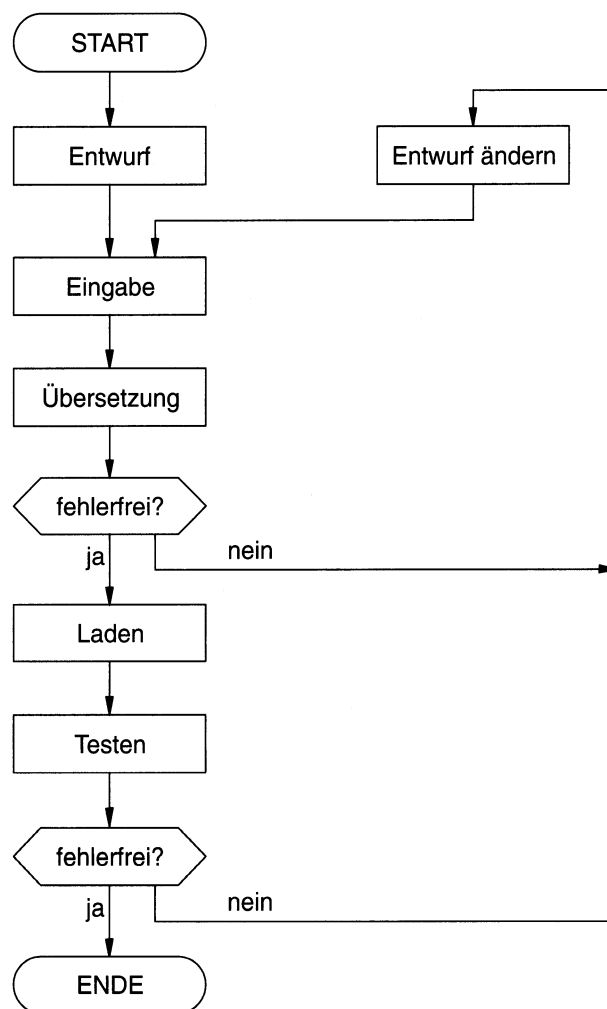


Bild 5.7:  
Entwicklung eines  
SPS-Programms

Der abschließende Funktionstest für das Programm kann erst bei der Inbetriebnahme der gesamten elektropneumatischen Steuerung erfolgen. Sind Steuerungsaufbau und Programmentwicklung beendet, wird das Programm in den Arbeitsspeicher der SPS geladen. Die elektropneumatische Steuerung ist damit für die Inbetriebnahme vorbereitet.

Die Inbetriebnahme dient dazu

- die Funktion der Steuerung unter allen in der Praxis auftretenden Randbedingungen zu testen,
- die erforderlichen Einstellungen an der Steuerung durchzuführen (Justage von Näherungsschaltern, Einstellen von Drosseln usw.),
- Fehler der Steuerung zu beheben.

Inbetriebnahme

Der pneumatische Leistungsteil sollte zunächst mit verringertem Versorgungsdruck betrieben werden. Dadurch vermindert sich das Risiko, dass bei Steuerungsfehlern Menschen zu Schaden kommen und/oder die Anlage beschädigt wird (z. B. bei der Kollision zweier Kolbenstangen).

Zum Abschluss der Inbetriebnahme muss die Dokumentation aktualisiert werden. Das bedeutet:

- aktuelle Einstellwerte eintragen,
- Schalt- und Klemmenpläne eventuell korrigieren,
- bei Bedarf Ausdruck des überarbeiteten SPS-Programms erstellen.

Einweisung des  
Wartungspersonals  
und Abnahmeprotokoll

Sobald die Steuerung fehlerfrei arbeitet und sich der Steuerungsbetreiber von der einwandfreien Funktion überzeugt hat, ist die Steuerungsentwicklung abgeschlossen. Zur Übergabe der Steuerung vom Steuerungsentwickler an den Steuerungsbetreiber gehören:

- die Konformitätserklärung,
- die Einweisung des Wartungs- und Bedienpersonals,
- die Übergabe der zur Wartung, Instandhaltung und Reparatur erforderlichen Unterlagen an das Wartungspersonal (Bild 5.8),
- die Erstellung eines Abnahmeprotokolls, das vom verantwortlichen Steuerungsentwickler und vom Steuerungsbetreiber gegengezeichnet wird.



*Bild 5.8:*  
Dokumentation zur  
Wartung, Instandhaltung  
und Reparatur einer  
elektropneumatischen  
Steuerung

Wartung,  
Instandhaltung und  
Reparatur

Störungen und Ausfälle einer Steuerung verursachen hohe Kosten, da für die Zeit des Steuerungsausfalls die Produktion bzw. Teile der Produktion stillstehen. Um Ausfälle zu vermeiden, werden in festgelegten Zeiträumen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten durchgeführt. Dabei werden verschleißgefährdete Komponenten vorbeugend ausgetauscht. Treten trotz dieser Maßnahme Defekte auf, müssen die ausgefallenen Komponenten repariert bzw. ersetzt werden. Wartung, Instandhaltung, Fehlersuche und Reparatur werden erleichtert durch eine übersichtliche, gut zugängliche Anordnung sämtlicher Steuerungskomponenten.