

Grundlagen der Automatisierungstechnik

562069



Bestell-Nr.: 562069
Stand: 01/2021
Autoren: F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz
Redaktion: A. Hüttner, R. Pittschellis
Grafik: Doris Schwarzenberger
Layout: 02/2008, F. Ebel

© Festo Didactic , Rechbergstraße 3, 73770 Denkendorf, Deutschland, 2021



+49 711 3467-0



www.festo-didactic.com



+49 711 34754-88500



did@de.festo.com

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das Recht, Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmusteranmeldungen durchzuführen.

Teile dieser Unterlagen dürfen vom berechtigten Verwender ausschließlich für Unterrichtszwecke vervielfältigt werden.

Hinweis

Soweit in dieser Broschüre nur von Lehrer, Schüler etc. die Rede ist, sind selbstverständlich auch Lehrerinnen, Schülerinnen etc. gemeint. Die Verwendung nur einer Geschlechtsform soll keine geschlechtsspezifische Benachteiligung sein, sondern dient nur der besseren Lesbarkeit und dem besseren Verständnis der Formulierungen.

Inhaltsverzeichnis

1	WIE ARBEITEN INGENIEURE?	7
1.1	TECHNISCHE ZEICHNUNGEN UND STÜCKLISTEN	8
1.2	SCHALTPLÄNE	11
1.3	ABLAUFPLÄNE UND PROGRAMME	12
1.4	TECHNOLOGIESCHEMA UND PRINZIPIKIZZE	13
1.5	BERECHNUNGEN UND SIMULATION	14
2	DIE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK ALS TEIL DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN	15
2.1	WICHTIGE HISTORISCHE ENTWICKLUNGSETAPPEN DER AUTOMATISIERUNGSTECHNIK	15
2.2	AUSWIRKUNGEN DER AUTOMATISIERUNG FÜR DEN MENSCHEN	17
3	GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK	19
3.1	GLEICHSTROM UND WECHSELSTROM	19
3.2	ELEKTRISCHER WIDERSTAND UND ELEKTRISCHE LEISTUNG	20
3.2.1	ELEKTRISCHER LEITER	20
3.2.2	ELEKTRISCHER WIDERSTAND	20
3.2.3	OHMSCHES GESETZ	21
3.2.4	ELEKTRISCHE LEISTUNG	21
3.3	FUNKTIONSWEISE EINES ELEKTROMAGNETEN	22
3.3.1	AUFBAU EINES ELEKTROMAGNETEN	23
3.3.2	ANWENDUNGEN VON ELEKTROMAGNETEN	23
3.4	FUNKTIONSWEISE EINES ELEKTRISCHEN KONDENSATORS	24
3.5	FUNKTIONSWEISE EINER DIODE	25
3.6	FUNKTIONSWEISE UND AUFBAU VON SCHALTERN	26
3.6.1	SCHLIEßER	26
3.6.2	ÖFFNER	27
3.6.3	WECHSLER	27
3.7	RELAIS UND SCHÜTZE	28
3.7.1	ANWENDUNGEN VON RELAIS	28
3.7.2	AUFBAU EINES RELAIS	29
3.7.3	ZEITRELAIS	30
3.8	FUNKTION UND AUFBAU DES NETZTEILS	32
3.9	MESSEN IM ELEKTRISCHEN STROMKREIS	33
3.9.1	VORGEHENSWEISE BEIM MESSEN IM ELEKTRISCHEN STROMKREIS	34
4	SENSOREN	37

4.1 NÄHERUNGSSCHALTER	37
4.1.1 MAGNETISCHE SENSOREN	38
4.1.2 ELEKTRONISCHE SENSOREN	39
4.1.3 INDUKTIVE NÄHERUNGSSCHALTER	40
4.1.4 KAPAZITIVE NÄHERUNGSSCHALTER	41
4.1.5 OPTISCHE NÄHERUNGSSCHALTER	42
4.2 DRUCKSENSOREN	45
4.2.1 MECHANISCHE DRUCKSCHALTER MIT BINÄREM AUSGANGSSIGNAL	45
4.2.2 ELEKTRONISCHE DRUCKSCHALTER MIT BINÄREM AUSGANGSSIGNAL	46
 5 GRUNDLAGEN DER PNEUMATIK	 47
 5.1 PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	 48
5.1.1 BASISEINHEITEN	48
5.1.2 ABGELEITETE EINHEITEN	48
5.1.3 NEWTONSCHES GESETZ	48
5.1.4 DRUCK	49
5.2 EIGENSCHAFTEN DER LUFT	50
5.2.1 BOYLE-MARIOTT'SCHES GESETZ	50
5.2.2 GAY-LUSSAC'SCHES GESETZ	51
5.2.3 ALLGEMEINE GASGLEICHUNG	52
5.3 DIE EINZELKOMPONENTEN EINER PNEUMATISCHEN STEUERUNG UND IHRE FUNKTION	53
5.4 FUNKTIONEN UND MERKMALE VON AKTOREN – PNEUMATIKZYLINDER	55
5.4.1 EINFACHWIRKENDER ZYLINDER	55
5.4.2 DOPPELTWIRKENDER ZYLINDER	55
5.4.3 GESCHWINDIGKEITSREGULIERUNG BEI EINFACHWIRKENDEN ZYLINDERN	56
5.4.4 GESCHWINDIGKEITSREGULIERUNG BEI DOPPELTWIRKENDEN ZYLINDERN	58
5.5 FUNKTIONEN UND MERKMALE VON PNEUMATIKVENTILEN	60
5.5.1 BEZEICHNUNG UND SYMBOLE VON PNEUMATIKVENTILEN	61
5.5.2 BETÄTIGUNGSARTEN VON PNEUMATIKVENTILEN	62
5.5.3 ANSTEUERUNG EINES EINFACHWIRKENDEN ZYLINDERS	62
5.5.4 ANSTEUERUNG EINES DOPPELTWIRKENDEN ZYLINDERS	63
5.6 FUNKTIONEN UND MERKMALE VON PNEUMATISCHEN ANTRIEBEN	64
5.6.1 GEFÜHRTE ANTRIEBE, KOLBENSTANGENLOSE LINEARANTRIEBE UND DREHANTRIEBE	64
5.6.2 PNEUMATISCHE GREIFER	65
5.6.3 GREIFEN MIT VAKUUM	67
5.7 DARSTELLUNG PNEUMATISCHER STEUERUNGEN IM SCHALTPLAN	71
5.7.1 SYMBOLBEZEICHNUNGEN IN SCHALTPLÄNEN	72
 6 ELEKTRISCHE ANTRIEBE	 75
 6.1 PHYSIKALISCH- TECHNISCHE GRUNDLAGEN DES GLEICHSTROMMOTORS	 75
6.1.1 ANSTEUERUNG VON GLEICHSTROMMOTOREN	78
6.1.2 HUBMAGNETE ALS EINFACHE STELLANTRIEBE	80
 7 GRUNDLAGEN DER STEUERUNGSTECHNIK	 81

7.1	AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE EINER SPEICHERPROGRAMMIERBAREN STEUERUNG (SPS)	83
7.2	MATHEMATISCHE GRUNDLAGEN – LOGISCHE GRUNDVERKNÜPFUNGEN	84
7.2.1	ALLGEMEINES	84
7.2.2	IDENTITÄT (JA-FUNKTION)	84
7.2.3	NEGATION (NICHT-FUNKTION)	85
7.2.4	KONJUNKTION (UND-FUNKTION)	86
7.3	DISJUNKTION (ODER-FUNKTION)	87
7.3.1	WEITERE LOGISCHE VERKNÜPFUNGEN	89
7.4	BEISPIELE FÜR DEN AUFBAU EINER STEUERUNG	91
8	ANWENDUNGEN VON RELAIS IN DER ELEKTROPNEUMATIK	93
8.1	DIREKTE UND INDIREKTE ANSTEUERUNGEN MIT RELAIS	93
8.1.1	DIREKTE STEUERUNG EINES EINFACHWIRKENDEN ZYLINDERS	94
8.1.2	INDIREKTE STEUERUNG EINES EINFACHWIRKENDEN ZYLINDERS	94
8.1.3	STEUERUNG EINES DOPPELTWIRKENDEN ZYLINDERS	95
8.2	LOGISCHE VERKNÜPFUNGEN MIT RELAIS	96
8.2.1	PARALLELSCHALTUNG (ODER-VERKNÜPFUNG)	96
8.2.2	REIHENSCHALTUNG (UND-VERKNÜPFUNG)	97
8.3	SIGNALSPEICHERUNG MIT RELAIS UND MAGNETIMPULSVENTIL	98
8.3.1	SIGNALSPEICHERUNG DURCH EINE RELAISSCHALTUNG MIT SELBSTHALTUNG	98
8.3.2	MANUELLE VORHUB- UND RÜCKHUBSTEUERUNG ÜBER RELAIS MIT SELBSTHALTUNG	99
8.3.3	SIGNALSPEICHERUNG DURCH EIN MAGNETIMPULSVENTIL	100
8.3.4	SELBSTTÄTIGE RÜCKHUBSTEUERUNG MIT MAGNETIMPULSVENTIL	101
8.3.5	VERGLEICH DER SIGNALSPEICHERUNG VON SELBSTHALTENDEM RELAIS UND MAGNETIMPULSVENTIL	101
8.4	VERZÖGERUNGSSCHALTUNGEN MIT RELAIS	102
8.4.1	STEUERUNG EINES ZYLINDERS MIT ZEITABLAUF	102
9	SPEICHERPROGRAMMIERBARE STEUERUNGEN (SPS)	103
9.1	ALLGEMEINES	103
9.2	LOGISCHE SYMBOLE DER STEUERSOFTWARE FLUIDSIM®	104
9.3	PROGRAMMIERUNG EINER VERKNÜPFUNGSSTEUERUNG MIT SPS	105
9.3.1	BEISPIEL 1: SELBSTHALTUNG	105
9.3.2	BEISPIEL 2: UND-VERKNÜPFUNG, ZEITGLIED	106
9.4	PROGRAMMIERUNG EINER ABLAUFSTEUERUNG MIT SCHRITTKETTEN	108

1 Wie arbeiten Ingenieure?

Die Technikwissenschaften sind neben den Geistes-, Sozial- und Naturwissenschaften eine eigenständige Disziplin mit eigenen Fachbegriffen, Vorgehensweisen und Werkzeugen. Selbstverständlich basieren und nutzen sie die Ergebnisse anderer Wissenschaften, insbesondere die der Mathematik und Physik, aber auch der Sozialwissenschaften. Andererseits basieren viele von deren wissenschaftlichen Erkenntnissen auf den Forschungsergebnissen der Technikwissenschaften.

Anders als die Naturwissenschaften sind die Technikwissenschaften nicht primär auf den reinen Erkenntnisgewinn und die Entdeckung vorhandener Gesetzmäßigkeiten gerichtet, sondern auf die Schaffung technischer Lösungen zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse.

Der Ingenieur fragt also immer, wie er ein Problem lösen kann. Dies führt zu typischen ingenieurwissenschaftlichen Arbeitsweisen wie dem Black-Box-Denken. Damit ist gemeint, dass Ingenieure technische Systeme für ihre Zwecke einsetzen, ohne genau wissen zu müssen, wie die einzelnen Bauteile und Baugruppen im Detail arbeiten. Es reicht dem Ingenieur die Erkenntnis, dass das Gerät bei einem bestimmten Input einen bestimmten Output liefert.

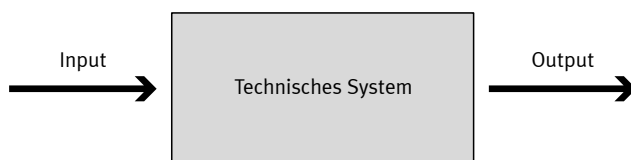


Abbildung 1.1: Black-Box Darstellung eines Technischen Systems

Dazu ein Beispiel: In automatisierten Maschinen werden Elektromotoren unterschiedlichster Größen und Leistungen verwendet. Der Konstrukteur der Maschine muss nicht wissen, wie der Elektromotor genau funktioniert. Es reicht völlig, wenn er den geeigneten Motor anhand von Kenngrößen wie Abmessungen, Drehmoment, Drehzahl, Stromverbrauch, Leistung etc. auswählen kann.

Völlig anders ist dagegen die Situation, wenn der Ingenieur selbst Elektromotoren konstruiert. In diesem Fall benötigt er detaillierte Kenntnisse von der Funktionsweise und den physikalischen Grundlagen des Elektromotors und seiner Bauteile.

Eine weitere Besonderheit der Ingenieurwissenschaften ist die Art und Weise der Darstellung technischer Lösungen. Die Techniker nutzen dazu standardisierte und damit international verständliche Beschreibungsmittel, die meist graphisch orientiert sind. Die wichtigsten davon sind:

- Technische Zeichnungen und Stücklisten
- Schaltpläne
- Ablaufpläne und Programme
- Technologieschemata und Prinzipskizzen

1.1 Technische Zeichnungen und Stücklisten

Die Gestalt von Produkten wird mit technischen Zeichnungen beschrieben. Hier werden die Abmessungen, Toleranzen, Oberflächenbeschaffenheit und Werkstoffe der Werkstücke (Maßzeichnungen) bzw. der Zusammenbau von Baugruppen (Zusammenbauzeichnung) detailliert dargestellt.

Die Anordnung der Ansichten eines Werkstücks auf dem Papier folgt der Klappregel, d.h. das Werkstück wird in verschiedenen Ansichten vor der Zeichenebene um je 90° gedreht und abgebildet. Maximal sind so sechs Ansichten möglich. In der Regel werden aber nur so viele Ansichten abgebildet, wie nötig sind, um alle Maße, die für die Fertigung benötigt werden, darzustellen. Ein Beispiel für eine Maßzeichnung ist in Abbildung 1.2 zu finden.

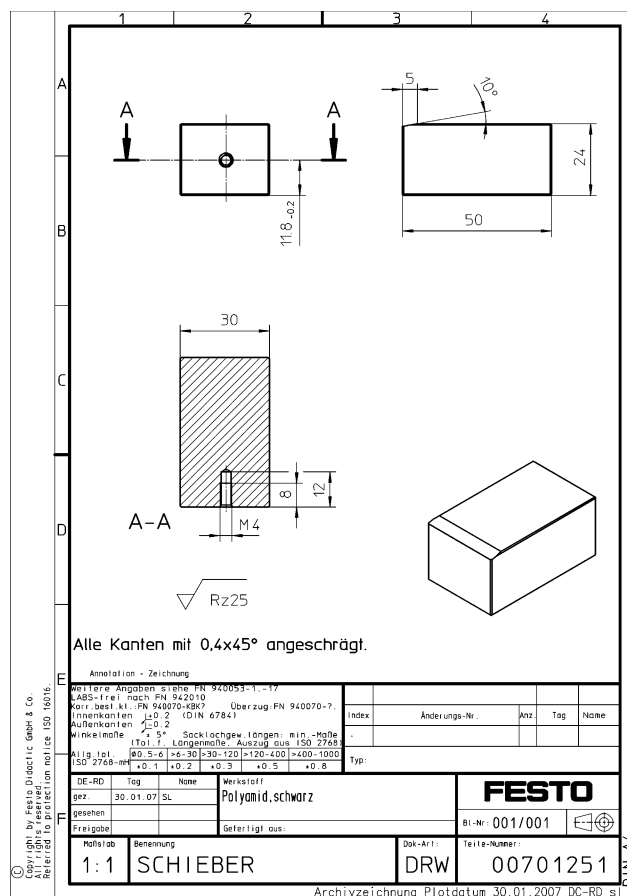


Abbildung 1.2: Maßzeichnung des Schiebers aus dem Stapelmagazin (Originalgröße A4)

Zusammenbauzeichnungen stellen dar, wie das fertige Produkt oder eine Baugruppe aus den Einzelteilen zusammengesetzt wird. Hier findet man nur wenige Maße, aber eine genaue Bezeichnung der Einzelteile (vgl. Abbildung 1.3).

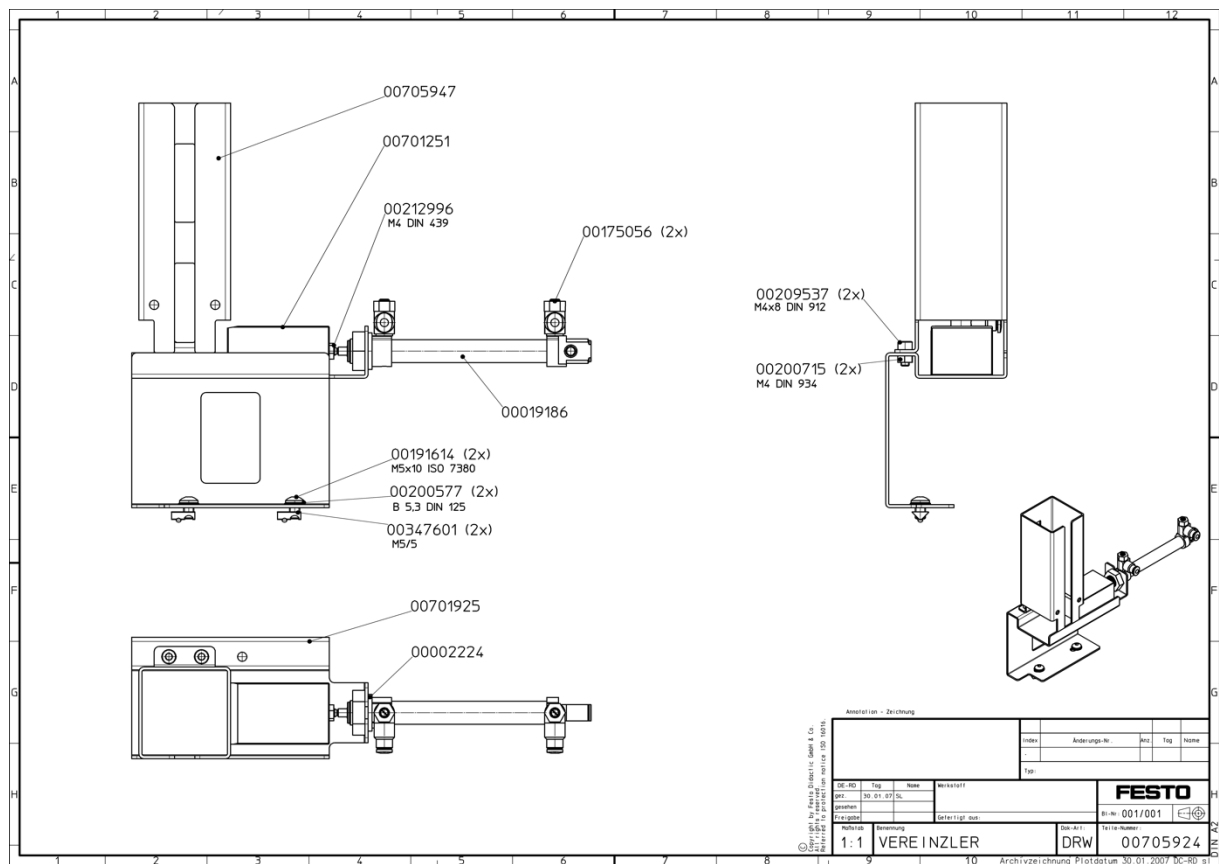


Abbildung 1.3: Zusammenbauzeichnung des Stapelmagazins (Originalgröße A3)

Diese Einzelteile werden in einer Stückliste zusammengestellt, die darüber Auskunft gibt, wie viele der jeweiligen Teile benötigt werden, um ein Produkt herzustellen (vgl. Tabelle 1.1).

Anzahl	Materialnummer	Bezeichnung
1	00705947	Fallrohr
1	00701251	Schieber
1	00701925	Grundkörper
1	00019186	Pneumatik-Zylinder DSNU 10-50-PA
2	00175056	Drossel-Rückschlagventil GRLA-M5-QS-4-LF-C
2	00191614	Linsenkopfschraube M5 x1 0 ISO 7380
2	00200577	Unterlegscheibe B 5,3 DIN 125
2	00347601	Hammermutter M5
2	00209537	Zylinderkopfschraube M4 x 8 DIN 912
2	00200715	Mutter M4 DIN 934
1	00002224	Dichtring

Tabelle 1.1: Beispiel einer Stückliste (zu Abbildung 1.3)

Jedes Bauteil hat eine eigene Maßzeichnung, nach der es hergestellt werden kann. Nur für Norm- oder Standardteile wie z. B. Schrauben und Kugellager oder andere Zukaufteile werden keine eigenen Zeichnungen angefertigt. Solche zugekauften Standardteile erkennt man in der Stückliste an Bezeichnungen, die auf die Norm hinweisen, wie DIN 125 oder ISO 7380.

Ingenieure verwenden wo immer möglich Normteile, da diese preiswert, in den exakt benötigten Mengen und in der geforderten Qualität von anderen spezialisierten Herstellern gekauft werden können, was zumeist preiswerter ist, als sie selbst zu produzieren. Das vereinfacht nicht nur die Konstruktion des eigenen Produkts sondern auch dessen Reparatur im Falle eines Defekts.

1.2 Schaltpläne

Während technische Zeichnungen die äußere Gestalt eines Produkts abbilden, stellen Schaltpläne dar, wie elektrische, pneumatische oder hydraulische Komponenten eines technischen Systems oder einer Anlage miteinander verschaltet werden. Unabhängig davon, wie die Komponenten tatsächlich aussehen, werden hier immer standardisierte Schaltzeichen verwendet, deren Symbolik sich auf die Funktion der Bauteile bezieht und nicht auf ihre äußere Gestalt. Schaltpläne sind daher wesentlich abstrakter als technische Zeichnungen.

Abbildung 1.4 zeigt den Schaltplan einer realen pneumatischen Schaltung.

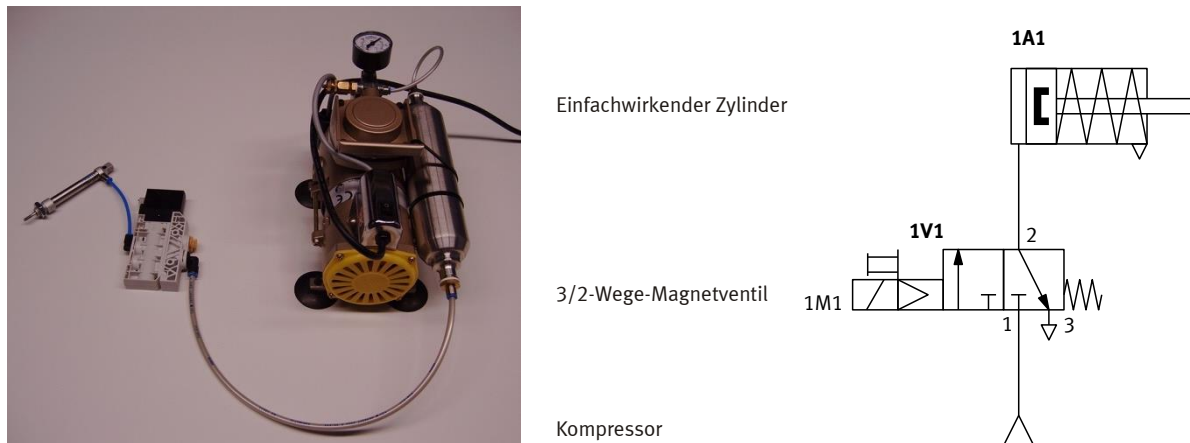


Abbildung 1.4: Reale Komponenten und Darstellung im (Pneumatik-)Schaltplan

Damit beim Aufbau der Schaltung die Übersicht gewahrt bleibt, werden Komponenten, Anschlüsse usw. durchnummeriert. In der Maschine werden die Komponenten in der gleichen Weise beschriftet, damit deren Funktion später im Schaltplan nachvollzogen werden kann.

1.3 Ablaufpläne und Programme

Die meisten modernen Steuerungen sind Programmsteuerungen. Dies bedeutet, dass ein Computerprogramm die einzelnen Phasen der Steuerung miteinander koordiniert und steuert. Für die verschiedensten Problemstellungen in der Technik wurden spezielle Programmiersprachen entwickelt, so z.B. Fortran (Formula Translation) für vorwiegend mathematische Aufgabenstellungen, Cobol (Common Business Oriented Language) für betriebswirtschaftliche Programme, Leiterdiagramm für Verknüpfungssteuerungen oder Basic (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code) als leicht zu erlernende, allgemein nutzbare Programmiersprache für Einsteiger.

Hier ein einfaches Beispiel für die Entwicklung eines einfachen Programms:

Bevor mit der eigentlichen Programmierung begonnen werden kann, wird der Algorithmus in Form eines Ablaufdiagramms entwickelt. In der Abbildung 1.5 ist ein Ablaufdiagramm für folgenden Steuerungsablauf dargestellt:

- die Taster 1 und 2 werden auf ihre Schaltzustände überprüft,
- besitzen beide Schalter den Zustand 1(ein), wird der Zylinder ausgefahren,
- in jedem anderen Fall wird die Abfrage wiederholt.

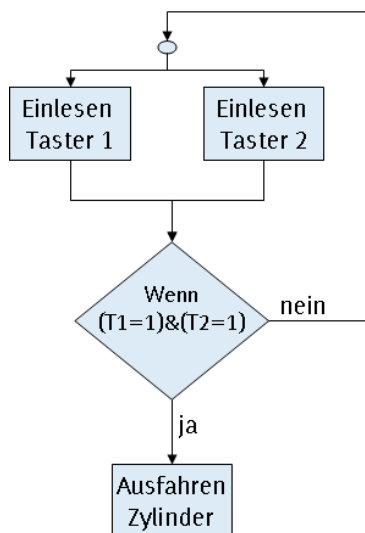


Abbildung 1.5: Ablaufdiagramm

Ein Basic-Programm für den in Abbildung 1.5 dargestellten Ablauf könnte z.B. sein:

```

10   T1 = Taster 1
20   T2 = Taster 2
30   If (T1 = 1) and (T2 = 1) then Zylinder ausfahren else goto 10
    
```

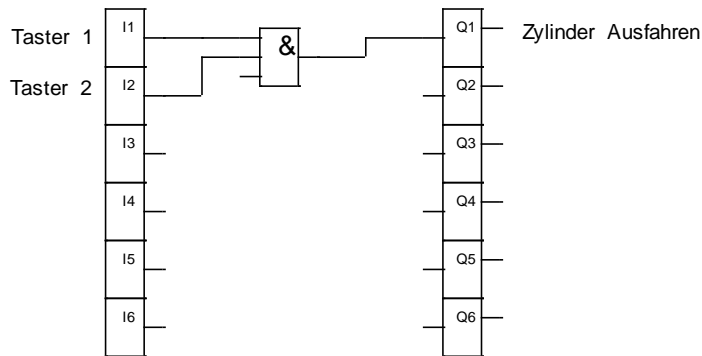


Abbildung 1.6: Logik-Programm

1.4 Technologieschema und Prinzipskizze

Ein Technologieschema oder auch Prinzipskizze wird benutzt, um die Funktion einer Maschine graphisch zu verdeutlichen. Die Darstellung kann je nach Zweck mehr oder weniger abstrakt sein, wichtig ist vor allem, das Zusammenwirken und die prinzipielle Anordnung der Bauteile und Baugruppen realitätsnah abzubilden. Um wichtige Zusammenhänge zu verdeutlichen, können steuerungstechnische Komponenten wie Sensoren oder Aktoren im Technologieschema mit den gleichen Kurzbezeichnungen wie im Programm oder im Schaltplan bezeichnet werden. Ein Beispiel findet sich in Abbildung 1.7.

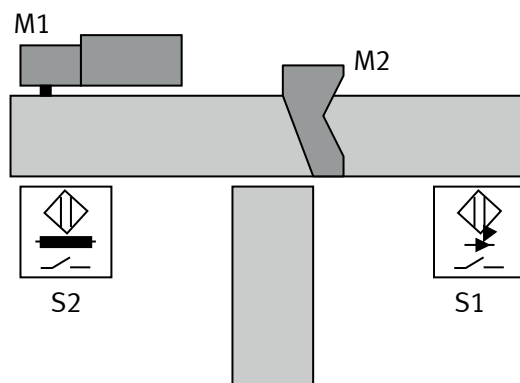
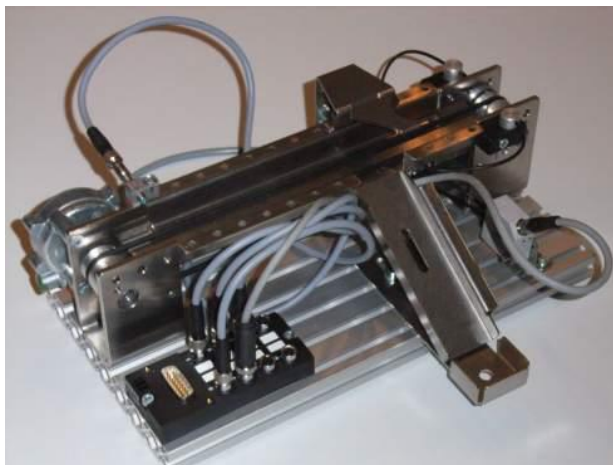


Abbildung 1.7: Bild und Prinzipskizze des Moduls „Transportband“

1.5 Berechnungen und Simulation

Berechnungen zur Auslegung von Bauelementen gehören zu den wichtigsten Schritten im gesamten Entwicklungsprozess. In vielen Fällen sind ausführliche Festigkeitsnachweise sogar ausdrücklich gesetzlich vorgeschrieben (z.B. beim Hausbau, im Flugzeugbau), um Gefahren durch zu schwach dimensionierte Maschinen abzuwenden. Auf alle Fälle sind Berechnungen sehr häufig notwendig, um die Funktionsfähigkeit der Maschinen unter allen Umständen sicherzustellen. Beispiele dafür sind die Berechnung von Kräften und Drehmomenten für die Auslegung von Antrieben oder die Berechnung von Stromstärken für die Auslegung von Stromleitungen.

Eng verwandt mit dem Thema Berechnung ist die Anwendung von Simulation. Ingenieure versuchen wo immer möglich, ihre Lösungen in der Simulation zu testen und zu optimieren, bevor ein (teurer) Prototyp aufgebaut wird.

Ein gutes Beispiel dafür ist das Programm FluidSIM®, mit dem die Schüler ihre pneumatischen, logischen oder elektrischen Schaltungen in der Simulation testen können, bevor sie diese tatsächlich aufbauen. Wenn die Schaltung funktioniert, kann diese dann auch benutzt werden, um das reale Modell anzusteuern. In diesem Fall ermöglicht die Anwendung von Simulation, dass mehrere Schüler gleichzeitig an einem Problem arbeiten können und weniger (teure) Trainingshardware benötigt wird.

2 Die Automatisierungstechnik als Teil der Technikwissenschaften

Beispiele für solche ingenieurtechnischen Einzelwissenschaften sind:

- der Maschinenbau,
- die Elektrotechnik,
- die Fertigungstechnik,
- die Bautechnik,
-

Gemeinsam ist ihnen das Erforschen, Hervorbringen und Anwenden von Technik. Ihre Differenziertheit erwächst aus dem Bearbeitungsgegenstand und der Ausrichtung der jeweiligen Fachrichtung.

Die Automatisierungstechnik ist eine Querschnittsdisziplin, die Erkenntnisse und wissenschaftliche Methoden aus mehreren anderen technischen Einzelwissenschaften nutzt. Nach DIN 19223 ist ein Automat ein künstliches System, das aufgrund der Verknüpfung von Eingaben mit den jeweiligen Zuständen des Systems Entscheidungen trifft, die ganz bestimmte gewollte Ausgaben zur Folge haben.

Zur Realisierung moderner automatischer Prozesse benötigt man drei Komponenten:

- Sensoren zur Erfassung der Systemzustände,
- Aktoren zur Ausgabe der Steuerungsbefehle,
- Steuerungen für den Programmablauf und zur Entscheidungsfindung.

2.1 Wichtige historische Entwicklungsetappen der Automatisierungstechnik

Heute denkt man beim Begriff „Automatisierungstechnik“ sofort an Industrieroboter und Computersteuerungen. Grundsätzlich begann die Automatisierungstechnik in Handwerk und Industrie aber viel eher, bereits mit der Nutzbarmachung der Dampfmaschine durch James Watt im Jahre 1769. Erstmals konnte menschliche oder tierische Arbeitskraft durch eine Maschine ersetzt werden.

Genutzt wurden die ersten Dampfmaschinen zur Entwässerung von Bergwerken und zum Antrieb von Werkzeugmaschinen. Dabei trieb eine einzige Dampfmaschine über eine komplizierte Struktur von Übertragungswellen und Lederriemen, so genannten Transmissionsriemen an der Decke der Maschinenhalle, mehrere Maschinen an.

1820 entdeckte der dänische Physiker Oersted den Elektromagnetismus, 1834 entwickelte Thomas Davenport den ersten Gleichstrommotor mit Kommutator (Polwender) und erhielt dafür ein Jahr später ein Patent. Trotzdem dauerte es noch bis 1866, bis der Elektromotor breite Anwendung fand. Die vollzog sich erst, nachdem Werner von Siemens die Dynamomaschine erfunden hatte und damit eine einfache Möglichkeit, elektrischen Strom in größeren Mengen zu generieren. Der Elektromotor löste die Dampfmaschine als Antriebselement ab.

1913 führte Henry Ford die erste Fließbandfertigung für das berühmte Modell T ein (Abbildung 2.1). Dies ermöglichte eine viel höhere Produktivität, denn die Arbeitszeit für ein Auto reduzierte sich von 750 auf nur 93 Stunden. Das war die Grundlage für die Serienfertigung von Autos. Die damit verbundene höhere Produktivität ermöglichte es der Firma Ford, ihren Arbeitern 1913 einen Tageslohn von 5 Dollar bei 8 Stunden täglicher Arbeitszeit zu zahlen. Der Preis für ein T-Modell sank auf ca. 600 US-Dollar. Das Automobil wurde zu einem Konsumgut für breitere Teile der Bevölkerung und nicht mehr nur für wenige besser Verdienende.

Wissenschaftliche Grundlage der Fließbandfertigung waren die Arbeiten des US-Amerikaners Frederick Winslow Taylor über die Arbeitsteilung, bei der die Produktion in viele einzelne, einfache Arbeitsschritte aufgeteilt wurde, die auch ungelernte Arbeiter ausführen konnten.

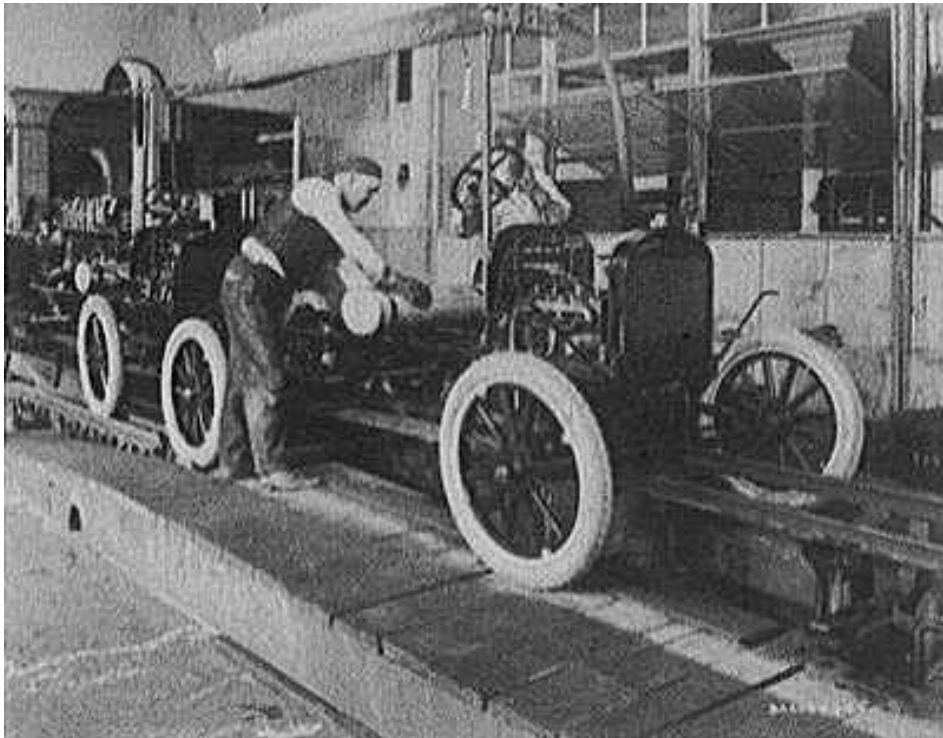


Abbildung 2.1: Fließbandproduktion bei Ford 1921

1873 wurde ein Patent für einen Vollautomaten zur Herstellung von Schrauben erteilt, bei dem Kurvenscheiben zur Speicherung der einzelnen Programmabläufe benutzt wurden.

1837 wurde von Joseph Henry ein elektromagnetischer Schalter erfunden, der in Anlehnung an die Relaisstationen der Post, wo die Postreiter ihre müden Pferde gegen frische tauschen konnten, Relais genannt wurde.

Zunächst wurden sie zur Signalverstärkung in Morsestationen verwendet. Später begann man damit, elektrische Steuerungen aus Relais aufzubauen. Diese Art von Steuerungen, bei der die Relais durch feste Verdrahtungen miteinander verbunden werden, nannte man verbindungsprogrammierte Steuerungen. Diese Bezeichnung ist auch heute noch üblich. Mit Relais konnten nun zwar komplexe Steuerungsaufgaben bewältigt werden, jedoch dauerte die Programmierung wegen der festen Verdrahtung immer noch relativ lange und die Fehlersuche gestaltete sich zeitaufwändig.

1959 stellte Joseph Engelberger den Prototyp eines Industrieroboters vor, der ab 1961 bei General Motors in der Automobilproduktion eingesetzt wurde. Er hatte noch hydraulische Antriebe. Später wurden Industrieroboter nur noch mit Elektromotoren ausgestattet.

1968 entwickelte ein Team der US-amerikanischen Firma Allen Bradley unter Leitung von Odo Struger die erste speicherprogrammierbare Steuerung (SPS). Nun war es möglich, ein Programm einfach zu ändern, ohne viele Relais umverdrahten zu müssen.

1970 begann der breite Einzug der Industrieroboter in die moderne Industrieproduktion. Deren Siegeszug hält bis heute an. Keine moderne Fertigung kommt in naher Zukunft ohne sie aus. Im Gegenteil, ihre Bedeutung wächst stetig. Allein in Deutschland gibt es weit über 100.000 Roboter, die meisten davon in der Automobilproduktion und ihren Zulieferfirmen.

2.2 Auswirkungen der Automatisierung für den Menschen

Ein wesentlicher Grund für die Einführung von automatisierten Systemen war und ist auch heute noch der Wunsch, Güter preiswerter als die Konkurrenz produzieren zu können. Die Automatisierungstechnik kann hier in mehrfacher Hinsicht helfen:

- In der automatisierten Produktion werden weniger Mitarbeiter benötigt.
- Die Produktion kann rund um die Uhr, bis auf wenige Wartungsintervallzeiten, laufen.
- Maschinen machen in der Regel weniger Fehler, so dass die Qualität der gefertigten Produkte konstant hoch ist.
- Die Durchlaufzeiten werden kürzer. Damit können größere Stückzahlen schneller ausgeliefert werden.
- Durch Automatisierung können Menschen von langweiliger, schwerer körperlicher oder gesundheitsschädlicher Arbeit entlastet werden (Humanisierung der Arbeitswelt).

Diesen durchweg positiven Auswirkungen der Automatisierungstechnik stehen aber auch andere, nicht immer positive Konsequenzen gegenüber:

- Der Wegfall von Arbeitsplätzen, insbesondere solchen mit geringen Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeiter (an Stelle von 10 ungelernten Montagearbeitern wird nun nur noch ein hoch qualifizierter Servicetechniker benötigt).
- Die Automation einer Fertigung verlangt von den Mitarbeitern, punktuell Entscheidungen zu treffen, deren Konsequenzen sie aufgrund der komplexen Anlagenstruktur nicht mehr vollständig durchschauen können.
- Der Kostenaufwand für ein solches automatisiertes System erhöht die Verantwortung des Einzelnen für den Erfolg des ganzen Unternehmens.

3 Grundlagen der Elektrotechnik

3.1 Gleichstrom und Wechselstrom

Eine der wichtigsten Grundlagen der Automatisierungstechnik ist die Elektrotechnik, denn die meisten technischen Systeme benötigen elektrische Energie sowohl für ihren Antrieb als auch zur Verarbeitung der ankommenden Signale. Daher wird im Folgenden ein Überblick über die wichtigsten elementaren Grundlagen der Elektrotechnik gegeben.

Eine einfache elektrische Schaltung besteht aus einer Spannungsquelle, einem Verbraucher sowie den Verbindungsleitungen zur Übertragung der elektrischen Energie. Dabei gilt für jeden elektrischen Stromkreis die einfache Regel: "Vom Erzeuger zum Verbraucher und zurück"! Physikalisch gesehen bewegen sich im elektrischen Stromkreis negative Ladungsträger, die Elektronen, über den elektrischen Leiter vom Minuspol der Spannungsquelle zum Pluspol. Diese Bewegung der Ladungsträger wird als elektrischer Strom bezeichnet. Ein elektrischer Strom kann nur fließen, wenn der Stromkreis geschlossen ist.

Man unterscheidet zwischen Gleich- und Wechselstrom:

- Wirkt eine Spannung im Stromkreis immer in der gleichen Richtung, so fließt ein Strom, der ebenfalls stets die gleiche Richtung hat. Es handelt sich um Gleichstrom bzw. um einen Gleichstromkreis.
- Beim Wechselstrom bzw. im Wechselstromkreis ändern Spannung und Strom ihre Richtung und Stärke in einem bestimmten Takt.

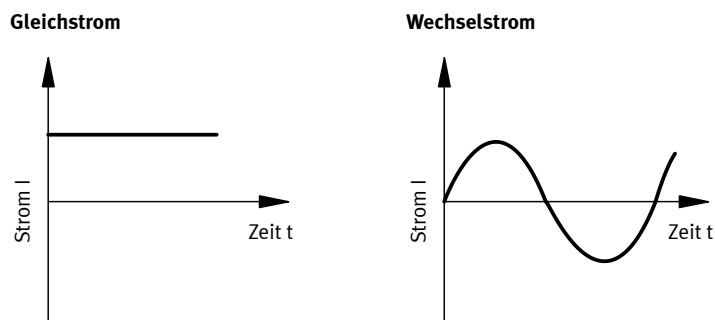


Abbildung 3.1: Zeitlicher Verlauf von Gleichstrom und Wechselstrom

Abbildung 3.2 zeigt einen einfachen elektrischen Gleichstromkreis, bestehend aus einer Spannungsquelle, elektrischen Leitungen, einem Stellschalter und einem Verbraucher (im Beispiel eine Glühlampe).

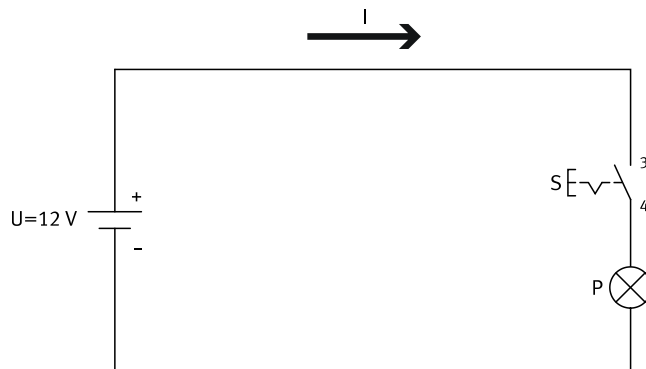


Abbildung 3.2: Gleichstromkreis

Technische Stromrichtung

Wird der Stellschalter geschlossen, fließt ein Strom I über den Verbraucher. Die Elektronen bewegen sich vom Minus- zum Pluspol der Spannungsquelle. Bevor die Existenz der Elektronen bekannt war, wurde die Stromrichtung von “plus” nach “minus” festgelegt. Diese Definition ist in der Praxis auch heute noch gültig. Man bezeichnet sie als technische Stromrichtung.

3.2 Elektrischer Widerstand und elektrische Leistung

3.2.1 Elektrischer Leiter

Unter einem elektrischen Strom versteht man die gerichtete Bewegung von Ladungsträgern. Ein Strom kann in einem Werkstoff nur fließen, wenn dort genügend freie Elektronen vorhanden sind. Werkstoffe, für die dies zutrifft, heißen elektrische Leiter. Besonders gute elektrische Leiter sind die Metalle Kupfer, Aluminium und Silber. In der Steuerungstechnik wird hauptsächlich Kupfer als Leitermaterial eingesetzt.

3.2.2 Elektrischer Widerstand

Jeder Werkstoff, auch ein guter elektrischer Leiter, setzt dem elektrischen Strom einen Widerstand entgegen. Er kommt dadurch zustande, dass die frei beweglichen Elektronen mit den Atomen des Leitermaterials zusammenstoßen und dadurch in ihrer Bewegung behindert werden. Bei elektrischen Leitern ist der Widerstand gering. Werkstoffe, die dem elektrischen Strom einen besonders hohen Widerstand entgegensetzen, heißen elektrische Isolatoren. Zur Isolation elektrischer Leitungen verwendet man Werkstoffe auf Gummi- und Kunststoffbasis.

3.2.3 Ohmsches Gesetz

Der Zusammenhang zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand wird durch das Ohmsche Gesetz beschrieben. Es besagt, dass sich in einem Stromkreis mit gegebenem elektrischen Widerstand die Stromstärke im gleichen Verhältnis wie die Spannung ändert, d. h.:

- Wächst die Spannung, steigt auch die Stromstärke an.
- Sinkt die Spannung, geht auch die Stromstärke zurück.

$$U = R \cdot I$$

U	= Spannung	Einheit: Volt (V)
R	= Widerstand	Einheit: Ohm (Ω)
I	= Stromstärke	Einheit: Ampère (A)

3.2.4 Elektrische Leistung

In der Mechanik lässt sich die Leistung über die Arbeit definieren. Je schneller eine Arbeit verrichtet wird, umso größer ist die erforderliche Leistung. Leistung bedeutet also: Arbeit pro Zeit.

Bei einem Verbraucher in einem Stromkreis wird elektrische Energie in Bewegungsenergie (z. B. Drehbewegung beim Elektromotor), Lichtstrahlung (z. B. elektrische Lampe) oder Wärmeenergie (z. B. elektrische Heizung, elektrische Lampe) umgewandelt. Je schneller die Energie umgesetzt wird, umso höher ist die elektrische Leistung. Leistung bedeutet hier also: umgewandelte Energie pro Zeit. Sie steigt mit wachsendem Strom und wachsender Spannung an.

Die elektrische Leistung eines Verbrauchers wird auch als elektrische Leistungsaufnahme bezeichnet.

$$P = U \cdot I$$

P	= Leistung	Einheit: Watt (W)
U	= Spannung	Einheit: Volt (V)
I	= Stromstärke	Einheit: Ampère (A)

Anwendungsbeispiel: Elektrische Leistung einer Spule

Die Magnetspule eines pneumatischen Ventils (z.B. das 4/2-Wege-Magnetventil der Station Handling) wird mit 24 V Gleichspannung versorgt. Der Widerstand der Spule beträgt 60 Ω .

- Berechnen Sie die elektrische Leistungsaufnahme der Magnetspule?

Die Stromstärke wird mit dem Ohmschen Gesetz errechnet:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24 \text{ V}}{60 \Omega} = 0,4 \text{ A}$$

Die elektrische Leistungsaufnahme ergibt sich aus dem Produkt von Stromstärke und Spannung:

$$P = U \cdot I = 24 \text{ V} \cdot 0,4 \text{ A} = 9,6 \text{ W}$$

Die Leistungsaufnahme der Magnetspule beträgt 9,6 W.

3.3 Funktionsweise eines Elektromagneten

In der Umgebung jedes stromdurchflossenen elektrischen Leiters baut sich ein Magnetfeld auf. Wird die Stromstärke erhöht, vergrößert sich das Magnetfeld. Magnetfelder üben auf Werkstücke aus Eisen, Nickel oder Kobalt eine anziehende Kraft aus. Diese Kraft steigt mit wachsendem Magnetfeld.

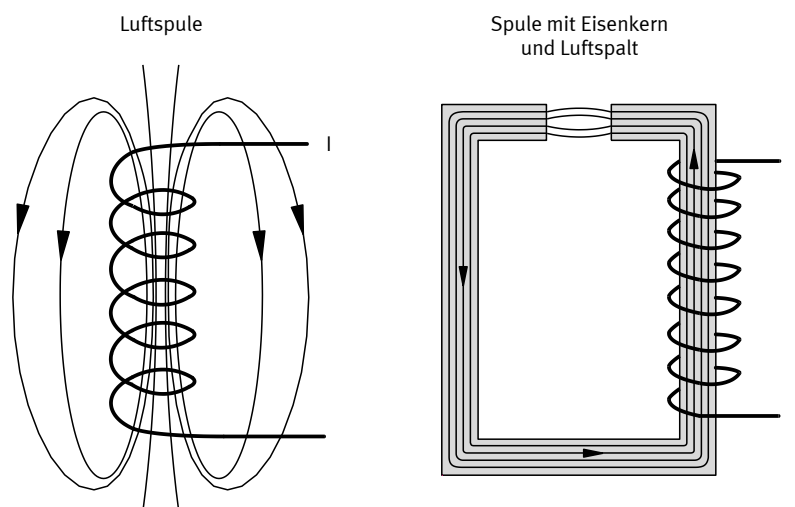


Abbildung 3.3: Elektrische Spule mit und ohne Eisenkern und deren magnetische Feldlinien

3.3.1 Aufbau eines Elektromagneten

Ein Elektromagnet ist folgendermaßen aufgebaut:

- Der stromdurchflossene Leiter wird in Form einer Spule gewickelt (Luftspule). Durch die Überlagerung der magnetischen Feldlinien aller Spulenwindungen (vgl. Abb. 3.3) verstärkt sich das Magnetfeld.
- In der Spule wird ein Eisenkern angebracht. Fließt ein elektrischer Strom, wird zusätzlich das Eisen magnetisiert. Dadurch lässt sich bei gleicher Stromstärke ein wesentlich höheres Magnetfeld erzeugen als mit einer Luftspule.

Beide Maßnahmen sorgen dafür, dass ein Elektromagnet schon mit einer kleinen Stromstärke eine hohe Kraft auf eisenhaltige Werkstücke ausübt.

3.3.2 Anwendungen von Elektromagneten

In elektropneumatischen Steuerungen dienen Elektromagnete in erster Linie dazu, die Schaltstellung von Ventilen, Relais oder Schützen zu beeinflussen. Dies soll am Beispiel eines federrückgestellten Wegeventils verdeutlicht werden:

- Fließt ein elektrischer Strom durch die Magnetspule, so wird der Kolben des Ventils betätigt.
- Wird der Stromfluss unterbrochen, drückt eine Feder den Ventilkolben in die Ausgangsstellung zurück.

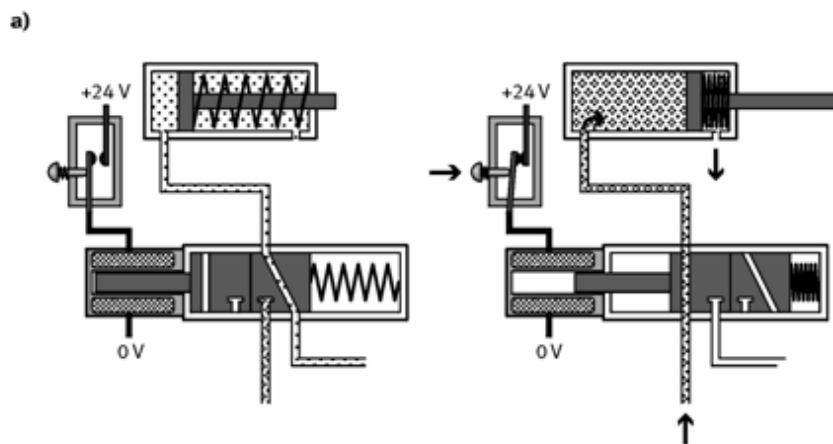


Abbildung 3.1: Funktionsweise eines Magnetventils

3.4 Funktionsweise eines elektrischen Kondensators

Ein Kondensator besteht aus zwei Leiterplatten, zwischen denen sich eine Isolierschicht (Dielektrikum) befindet. Verbindet man einen Kondensator mit einer Gleichspannungsquelle (Schließen des Tastschalters S1 in Abbildung 3.5), so fließt kurzzeitig ein Ladestrom. Die beiden Platten werden dadurch elektrisch geladen.

Unterbricht man anschließend die Verbindung zur Spannungsquelle (Öffnen des Tastschalters S1), so bleibt die Ladung im Kondensator gespeichert. Je größer die Kapazität eines Kondensators ist, desto mehr elektrische Ladungsträger speichert er bei gleicher Spannung. Eine wichtige Größenangabe für einen Kondensator ist die Kapazität C . Sie ist als das Verhältnis von zugeführter Ladungsmenge Q zur am Kondensator anliegenden Spannung U definiert:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Die Einheit der Kapazität ist "Farad" (F):

$$1\text{ F} = 1 \frac{\text{As}}{\text{V}}$$

Verbindet man den elektrisch geladenen Kondensator mit einem Verbraucher (Schließen des Tastschalters S2 in Abbildung 3.5), findet ein Ladungsausgleich statt. Es fließt ein elektrischer Strom durch den Verbraucher, bis der Kondensator vollständig entladen ist.

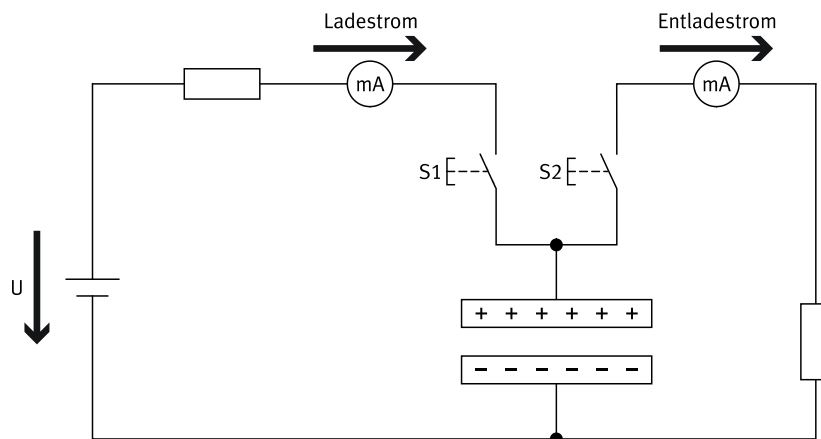


Abbildung 3.5: Funktionsweise eines Kondensators

3.5 Funktionsweise einer Diode

Dioden sind elektrische (Halbleiter)Bauelemente, die je nach Richtung des elektrischen Stromflusses einen unterschiedlich hohen Widerstand besitzen:

- Wird die Diode in Durchlassrichtung geschaltet, ist ihr Widerstand sehr gering, so dass der elektrische Strom fast ungehindert fließen kann.
- In Sperrichtung geschaltet ist ihr Widerstand extrem hoch, so dass kein Strom fließen kann.

Wird eine Diode in einen Wechselstromkreis eingebaut, so kann der Strom nur in einer Richtung fließen. Der elektrische Strom ist gleichgerichtet (vgl. Abbildung 3.6).

Die Wirkung einer Diode auf den elektrischen Strom lässt sich vergleichen mit der Wirkung eines Fahrradventils auf den Durchfluss der Luft, die in den Reifen hineingelassen, aber nicht wieder herausgelassen wird.

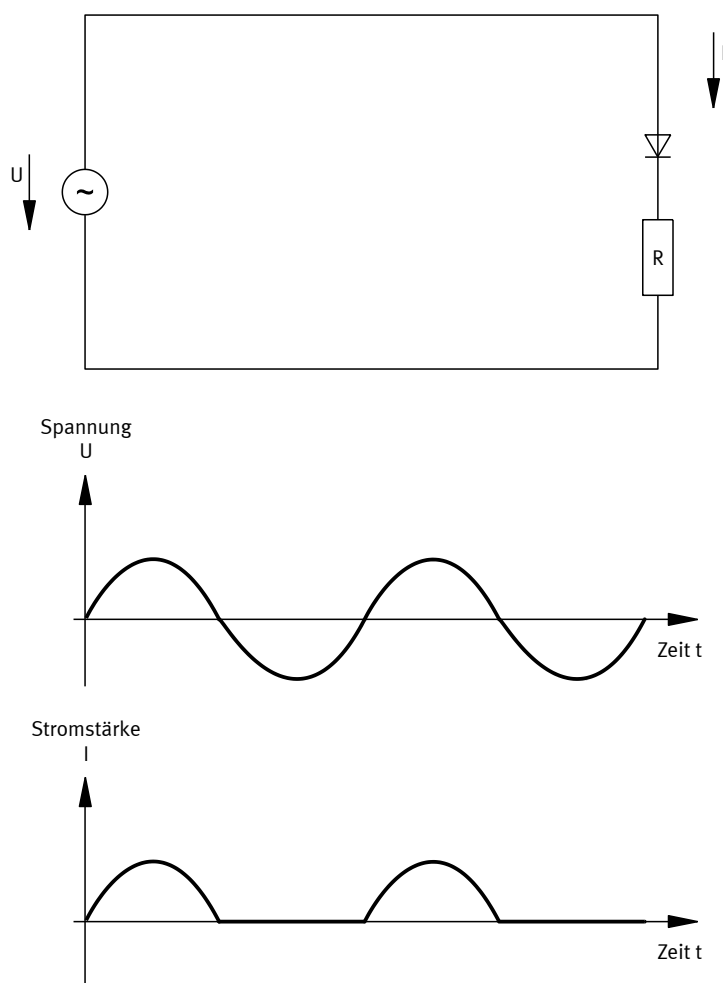


Abbildung 3.6: Funktionsweise einer Diode

3.6 Funktionsweise und Aufbau von Schaltern

Um im elektrischen Stromkreis einen Stromfluss zu ermöglichen oder auch zu unterbrechen, werden Schalter eingesetzt. Diese Schalter können nach ihrer Bauart entweder Tastschalter oder Stellschalter sein.

- Bei einem Tastschalter bleibt die gewählte Schaltstellung nur erhalten, solange er betätigt wird. Angewendet werden Tastschalter z. B. bei Hausklingelanlagen.
- Bei einem Stellschalter werden beide Schaltstellungen (EIN/AUS) mechanisch verriegelt. Eine Schaltstellung bleibt so lange erhalten, bis der Schalter erneut betätigt wird. Ein Anwendungsbeispiel sind Lichtschalter in Wohnräumen.

Ein weiteres Einteilungs- und Auswahlkriterium für Schalter ist ihr Schaltzustand in Ruhestellung, also unbetätigt.

3.6.1 Schließer

Bei einem Schließer ist der Stromkreis in der Ruhestellung des Tastschalters unterbrochen. Durch Betätigung des Schalters wird der Stromkreis geschlossen und der Verbraucher wird mit Strom versorgt. Nach Loslassen des Schalters bewegt sich der Tastschalter durch die Federkraft in seine Ruhestellung zurück, so dass der Stromkreis wieder unterbrochen wird.

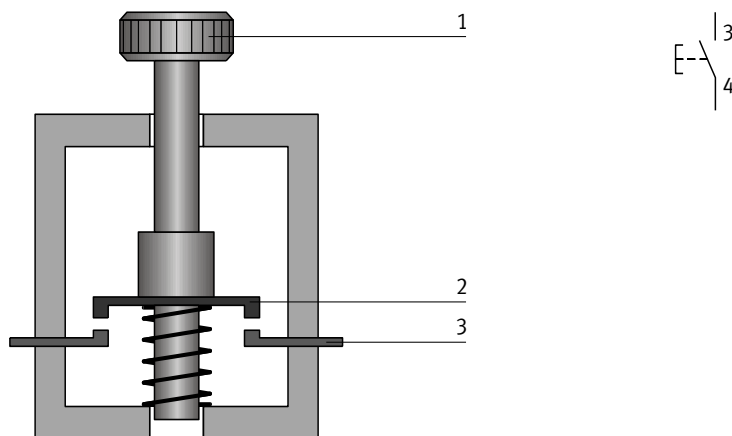


Abbildung 3.7: Schließer – Schnittbild und Schaltzeichen

3.6.2 Öffner

Bei einem Öffner ist der Stromkreis in der Ruhestellung des Tastschalters durch Federkraft geschlossen. Bei Betätigen des Tastschalters wird der Stromkreis unterbrochen.

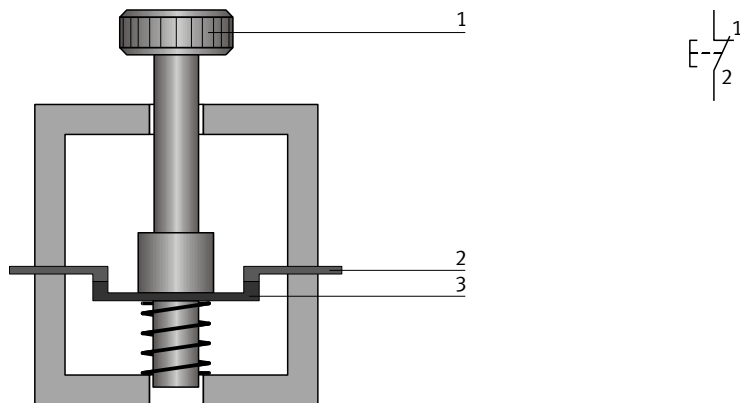


Abbildung 3.8: Öffner – Schnittbild und Schaltzeichen

3.6.3 Wechsler

Der Wechsler vereinigt die Funktionen des Öffners und des Schließers in einem Gerät. Wechsler werden eingesetzt, um mit einem Schaltvorgang einen Stromkreis zu schließen und einen anderen zu öffnen. Während des Umschaltens sind beide Stromkreise kurzzeitig unterbrochen.

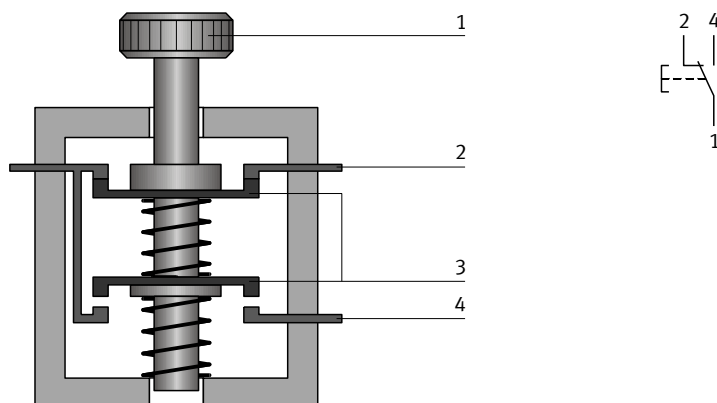


Abbildung 3.9: Wechsler – Schnittbild und Schaltzeichen

3.7 Relais und Schütze

3.7.1 Anwendungen von Relais

In elektropneumatischen Steuerungen werden Relais für folgende Funktionen eingesetzt:

- zur Signalvervielfachung
- zum Verzögern und Wandeln von Signalen
- zum Verknüpfen von Informationen
- zum Trennen von Steuer- und Hauptstromkreis

In rein elektrischen Steuerungen nutzt man sie zusätzlich zur Trennung von Gleich- und Wechselstromkreisen.

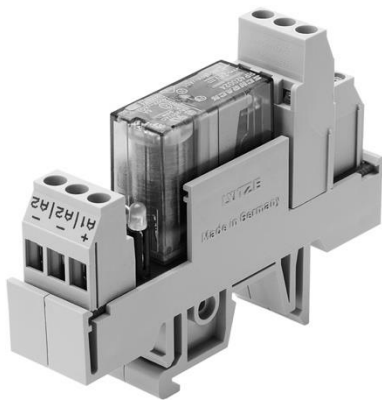


Abbildung: 3.10 Relais

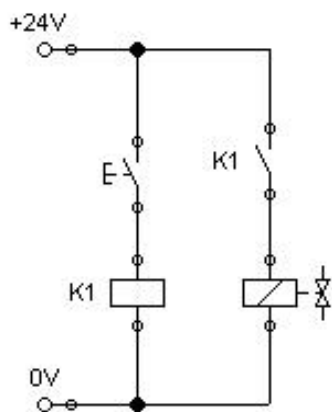


Abbildung 3.11: Schaltplan einer Relaisgrundsaltung

3.7.2 Aufbau eines Relais

Ein Relais ist ein elektromagnetisch betätigter Schalter, bei dem der Steuer- und der gesteuerte Stromkreis galvanisch voneinander getrennt sind. Es besteht im Wesentlichen aus einer Spule mit Eisenkern (vgl. (3)(1) in Abbildung 3.12), einem Anker als mechanischem Betätigungselement (4), der Rückholfeder (2) und den Schaltkontakten (6). Beim Anlegen einer Spannung an die Spule des Elektromagneten entsteht ein elektromagnetisches Feld. Dadurch wird der bewegliche Anker zum Spulenkern hingezogen. Der Anker wirkt auf die Kontakte des Relais, die je nach Anordnung geöffnet oder geschlossen werden. Wird der Stromfluss durch die Spule unterbrochen, bewirkt eine Feder die Rückstellung des Ankers in die Ausgangsstellung.

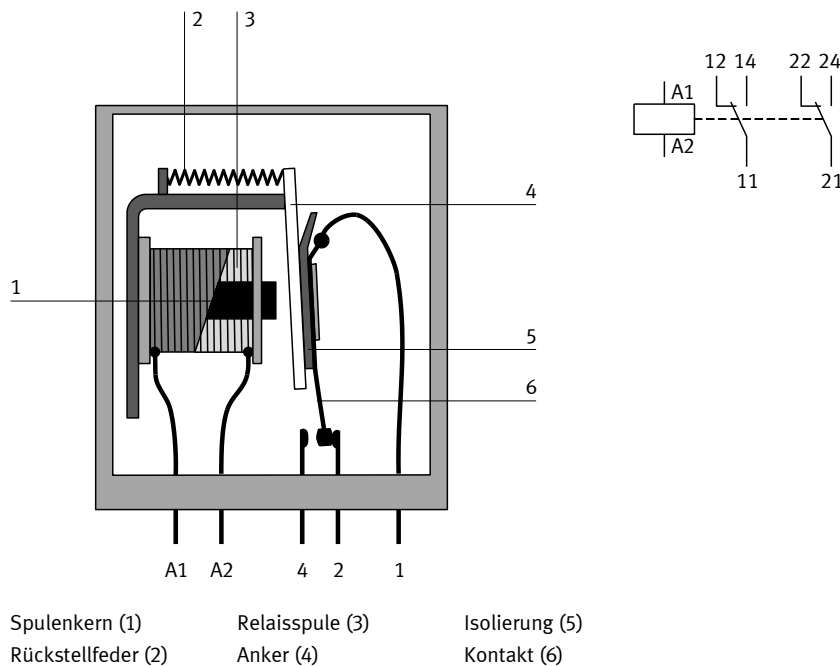


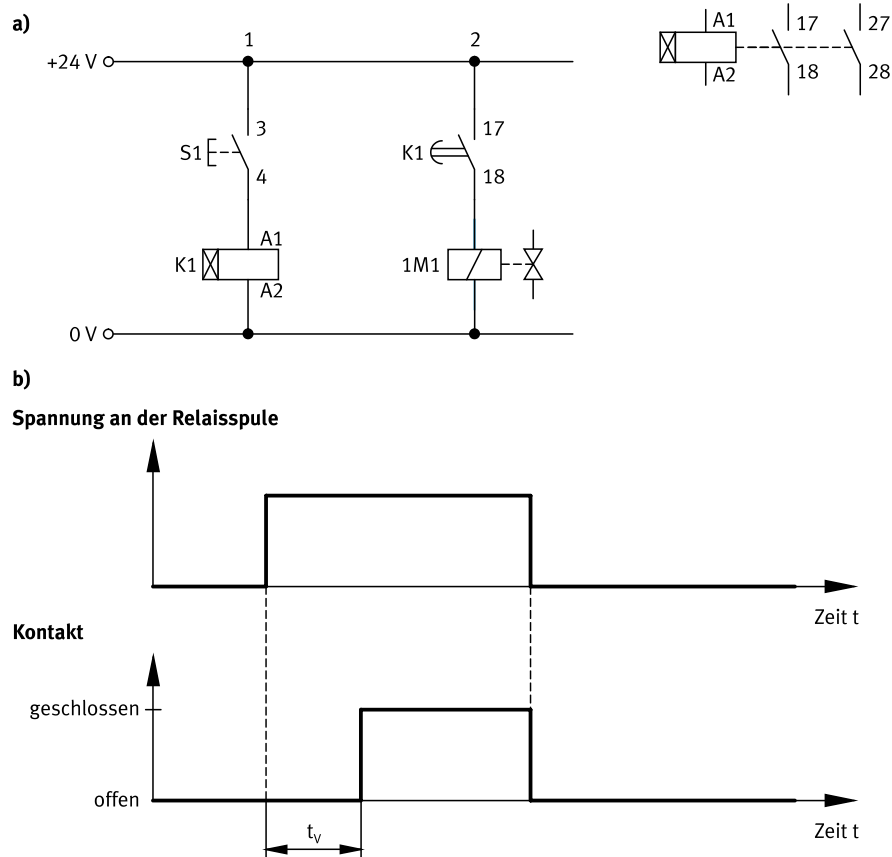
Abb.:3.12: Relais- Schnittbild und Schaltzeichen

Mit einer Relaisspule können ein oder mehrere Kontakte geschaltet werden. Neben dem oben beschriebenen Relaisstyp gibt es weitere Bauformen elektromagnetisch betätigter Schalter, z. B. das Remanenzrelais, das Zeitrelais und das Schütz.

3.7.3 Zeitrelais

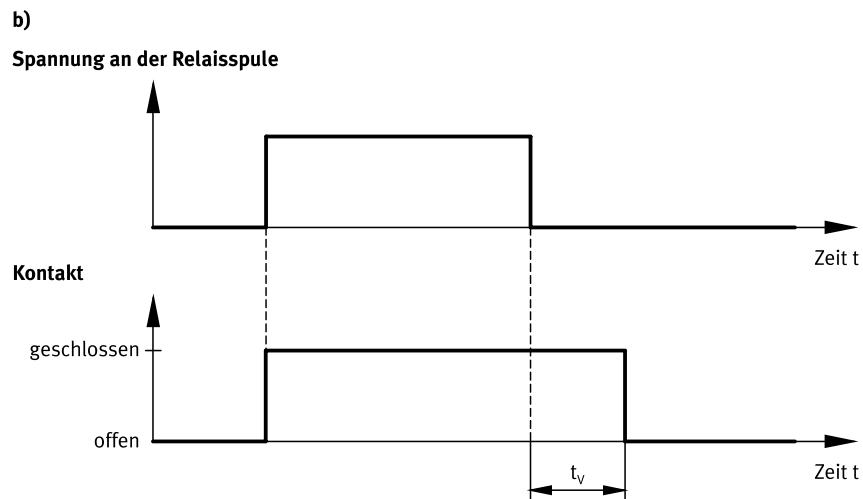
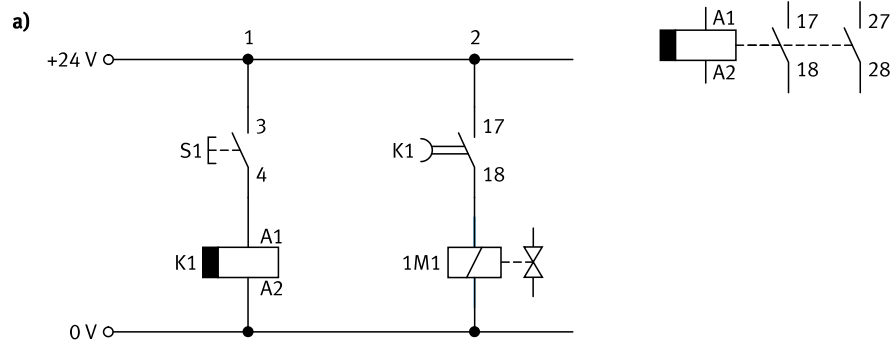
Bei Zeitrelais unterscheidet man zwischen anzugs- und abfallverzögerten Relais.

Beim anzugsverzögerten Relais zieht der Anker um eine vorgegebene Zeitspanne t_v verzögert an, das Abfallen erfolgt verzögerungsfrei. Beim abfallverzögerten Relais ist es umgekehrt. Entsprechend schalten die Kontakte (vgl. Abb.:3.13/3.14). Die Verzögerungszeit t_v kann eingestellt werden.



a) Darstellung im Schaltplan b) Signalverhalten

Abbildung 3.13: Anzugsverzögertes Relais



a) Darstellung im Schaltplan b) Signalverhalten

Abbildung 3.14: Abfallverzögertes Relais

3.8 Funktion und Aufbau des Netzteils

Steuerungen werden über das elektrische Netz mit Energie versorgt. Zu diesem Zweck verfügt die MecLab®-Steuerung über ein Netzteil (vgl. Abbildung 3.15). Die einzelnen Baugruppen des Netzteils haben folgende Aufgaben:

- Der Transformator dient zur Reduzierung der Betriebsspannung. Am Eingang des Transformators liegt die Netzspannung an (z. B. 230 V Wechselspannung), am Ausgang eine verringerte Spannung (z. B. 24 V Wechselspannung).
- Der Gleichrichter wandelt die Wechselspannung in eine Gleichspannung um. Der Kondensator am Gleichrichterausgang dient zur Spannungsglättung.
- Die Spannungsregelung am Ausgang des Netzteils ist erforderlich, um die elektrische Spannung unabhängig vom fließenden Strom konstant zu halten.

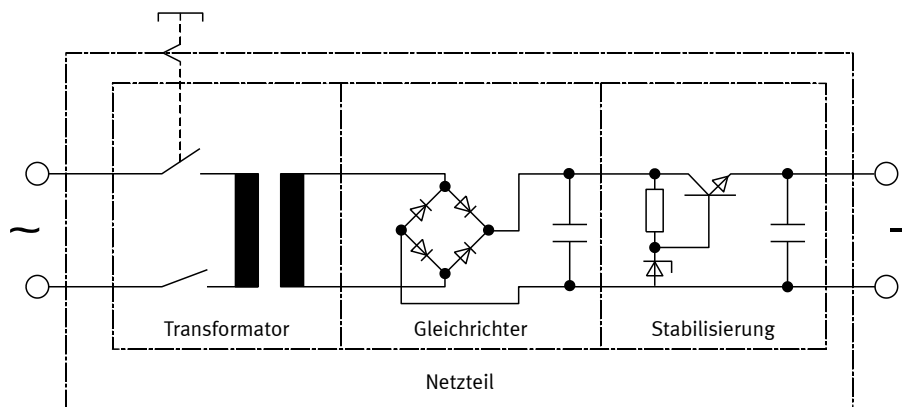


Abbildung 3.15: Baugruppen des Netzteils einer elektropneumatischen Steuerung



Sicherheitshinweise

- Wegen der hohen Eingangsspannung sind Netzteile Bestandteile der Starkstromanlage (DIN/VDE 100).
- Die Sicherheitsvorschriften für Starkstromanlagen sind zu beachten.

Arbeiten am Netzteil dürfen nur von dazu berechtigten Personen durchgeführt werden!!!

3.9 Messen im elektrischen Stromkreis

Messen bedeutet, eine unbekannte Größe (z. B. die Länge eines Pneumatikzylinders) mit einer bekannten Größe (z. B. mit der Skala eines Maßbandes) zu vergleichen. Ein Messgerät (z. B. ein Stahlmessstab) erlaubt es, diesen Vergleich durchzuführen. Das Ergebnis, der Messwert, besteht aus einem Zahlenwert und einer Einheit (z. B. 30,4 cm).

Elektrische Ströme, Spannungen und Widerstände werden meist mit Vielfachmessgeräten gemessen. Diese Messgeräte können zwischen verschiedenen Betriebsarten umgeschaltet werden:

- Wechselspannung/Wechselstrom und Gleichspannung/Gleichstrom.
- Strommessung, Spannungsmessung und Widerstandsmessung.

Es kann nur dann korrekt gemessen werden, wenn die richtige Betriebsart eingestellt ist und das Messgerät richtig in den Stromkreis geschaltet wurde.

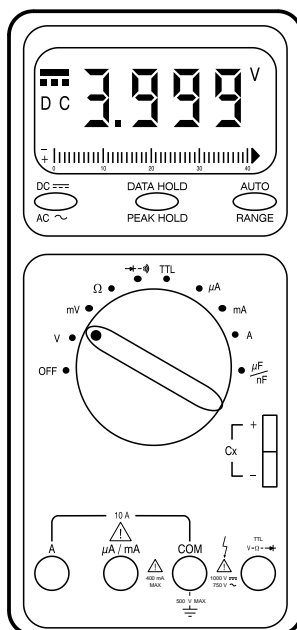


Abbildung 3.16: Vielfachmessgerät



Sicherheitshinweise

- Vergewissern Sie sich vor dem Messen, dass der Teil der Steuerung, an dem Sie messen wollen, nur mit einer elektrischen Spannung von maximal 24 V arbeitet!
- Messungen an Teilen einer Steuerung, die mit höherer Spannung arbeiten (z. B. 230 V), dürfen nur von Personen mit entsprechender Ausbildung bzw. Unterweisung durchgeführt werden.
- Bei unsachgemäßer Durchführung der Messung besteht Lebensgefahr!

3.9.1 Vorgehensweise beim Messen im elektrischen Stromkreis

Beim Messen im elektrischen Stromkreis ist in folgender Reihenfolge vorzugehen:

- Versorgungsspannung des Stromkreises abschalten.
- Gewünschte Betriebsart am Vielfachmessgerät einstellen (Strom oder Spannungsmessung, Gleich- oder Wechselspannung, bzw. Widerstandsmessung).
- Bei Zeigermessinstrumenten Nullpunkt kontrollieren und, falls erforderlich, abgleichen.
- Beim Messen von Gleichspannung/Gleichstrom Messgerät richtig gepolt anklemmen (Klemme “+” des Messgeräts an Pluspol der Spannungsquelle).
- Größten Messbereich wählen.
- Spannungsversorgung des Stromkreises einschalten.
- Zeiger bzw. Anzeige beobachten und schrittweise in kleineren Messbereich umschalten.
- Bei größtmöglichem Zeigerausschlag (kleinstmöglichem Messbereich) Anzeige ablesen.
- Bei Zeigerinstrumenten stets senkrecht auf die Anzeige schauen, um Ablesefehler zu vermeiden.

Spannungsmessung

Bei der Spannungsmessung wird das Messgerät parallel zum Verbraucher angeschlossen. Der Spannungsabfall über dem Verbraucher entspricht dem Spannungsabfall über dem Messgerät. Jedes Spannungsmessgerät (Voltmeter) besitzt einen Innenwiderstand. Um das Messergebnis möglichst wenig zu verfälschen, darf durch das Messgerät nur ein sehr kleiner Strom fließen, d. h.: Der Innenwiderstand des Voltmeters muss möglichst groß sein.

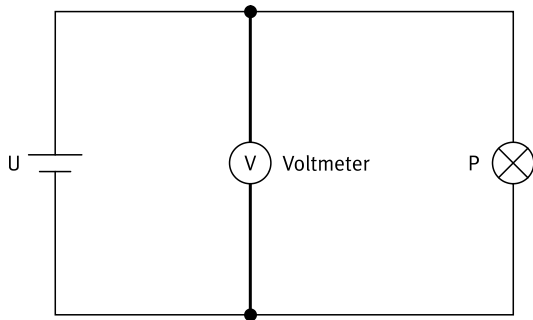


Abbildung 3.17: Spannungsmessung

Strommessung

Bei der Strommessung wird das Messgerät in Reihe zum Verbraucher angeschlossen. Der Verbraucherstrom fließt vollständig durch das Messgerät.

Jedes Strommessgerät (Ampèremeter) besitzt einen Innenwiderstand. Dieser zusätzliche Widerstand verringert den Stromfluss. Um den Messfehler möglichst klein zu halten, darf ein Strommessgerät nur einen sehr kleinen Innenwiderstand aufweisen.

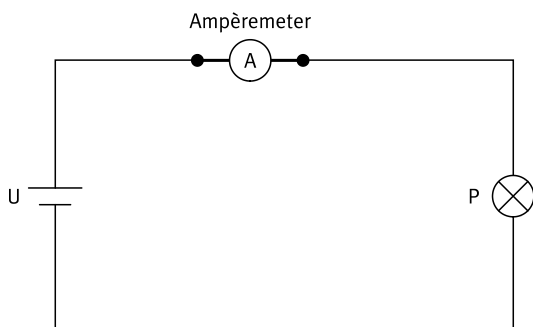


Abbildung 3.18: Strommessung

Widerstandsmessung

Der Widerstand eines Verbrauchers im Gleichstromkreis kann entweder direkt oder indirekt gemessen werden.

- Bei der indirekten Messung werden der Strom durch den Verbraucher und der Spannungsabfall über dem Verbraucher gemessen (Abbildung 3.19a). Beide Messungen können entweder nacheinander oder gleichzeitig durchgeführt werden. Anschließend wird der Widerstand nach dem Ohmschen Gesetz berechnet.
- Bei der direkten Messung wird der Verbraucher vom restlichen Stromkreis getrennt (Abbildung 3.19b). Das Messgerät wird in den Betriebsbereich "Widerstandsmessung" geschaltet und mit den beiden Klemmen des Verbrauchers verbunden. Der Wert des Widerstands wird direkt am Messgerät abgelesen.

Ist der Verbraucher defekt (z. B. die Magnetspule eines Ventils durchgebrannt), so ergibt die Messung des Widerstands entweder einen unendlich hohen Wert oder den Wert Null (Kurzschluss).

Achtung

Der Ohmsche Widerstand eines Verbrauchers im Wechselstromkreis ist nach der direkten Methode zu bestimmen!

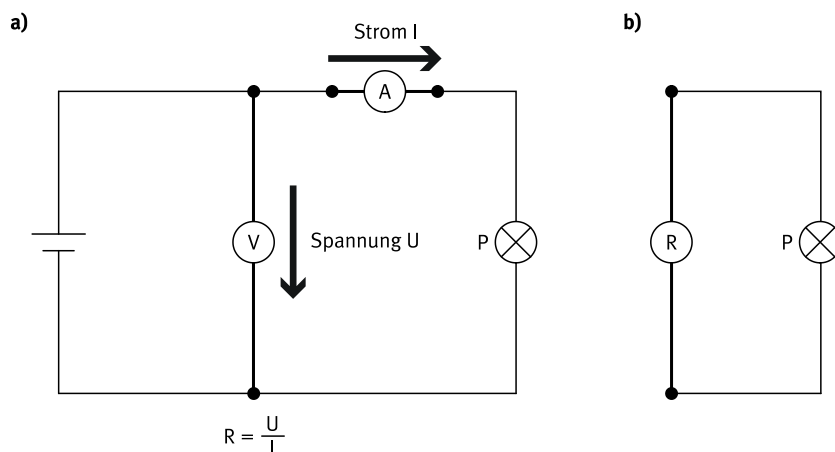


Abbildung 3.19: Widerstandsmessung

4 Sensoren

Sensoren haben die Aufgabe, Informationen zu erfassen und in auswertbarer Form an die Signalverarbeitung weiterzuleiten. In der Technik findet man sie für mannigfaltige Aufgaben, mit unterschiedlichen Bauformen und Wirkprinzipien. Daher ist es wichtig sie zu systematisieren. Sensoren können unter anderem eingeteilt werden nach:

- dem Wirkprinzip (optisch, induktiv, mechanisch, fluidisch,...)
- der Messgröße (Weg, Druck, Abstand, Temperatur, pH-Wert, Lichtstärke, Anwesenheit von Objekten,...)
- dem Ausgangssignal (analog, digital, binär, ...)

In der Automatisierungstechnik werden vorrangig Sensoren mit digitalem Ausgang verwendet, da sie viel störunempfindlicher sind als solche mit Analogausgang. Zudem können die in Digitaltechnik ausgeführten Steuerungen mit diesen Signalen direkt umgehen, ohne sie wie bei den Analogsignalen durch sogenannte Analog-Digitalwandler zunächst in digitale Signale umwandeln zu müssen.

Die in der industriellen Automatisierung am häufigsten verwendeten Sensoren sind die sogenannten Näherungsschalter, die die Anwesenheit (oder Annäherung) eines Werkstückes feststellen.

4.1 Näherungsschalter

Näherungsschalter schalten berührungsfrei und somit ohne äußere mechanische Betätigungskraft. Dadurch besitzen sie eine hohe Lebensdauer und eine große Zuverlässigkeit. Man unterscheidet:

- Sensoren mit mechanischem Schaltkontakt
Reedschalter
- Sensoren mit elektronischem Schaltausgang
 - induktive Näherungsschalter
 - kapazitive Näherungsschalter
 - optische Näherungsschalter

4.1.1 Magnetische Sensoren

Reedschalter sind magnetisch betätigte Näherungsschalter. Sie bestehen aus zwei Kontaktzungen, die sich in einem schutzgasgefüllten Glasröhrchen befinden. Durch Einwirkung eines Magneten wird der Kontakt zwischen den beiden Zungen geschlossen, so dass ein elektrischer Strom fließen kann (vgl. Abbildung 4.1). Bei Reedschaltern, die als Öffner arbeiten, werden die Kontaktzungen mit kleinen Magneten vorgespannt. Diese Vorspannung wird durch den dann wesentlich stärkeren Schaltmagneten überwunden.

Reedschalter weisen eine hohe Lebensdauer und eine geringe Schaltzeit (ca. 0,2 ms) auf. Sie sind wartungsfrei, dürfen aber nicht an Orten mit starken Magnetfeldern (z. B. in der Umgebung von Widerstandsschweißmaschinen oder Computertomographen) verwendet werden.

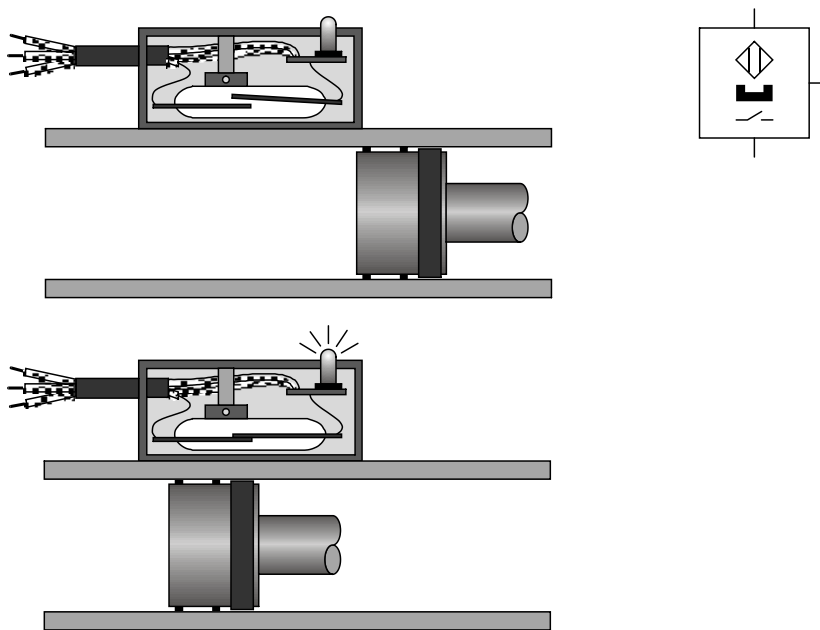


Abbildung 4.1: Reedschalter (Schließer) - Prinzipskizze und Schaltsymbol



Abbildung 4.2: Reedschalter- Realbild

4.1.2 Elektronische Sensoren

Induktive, optische und kapazitive Näherungsschalter zählen zu den elektronischen Sensoren. Sie weisen im Regelfall drei elektrische Anschlüsse auf:

- den Anschluss für die Versorgungsspannung
- den Anschluss für die Masse
- den Anschluss für das Ausgangssignal.

Bei elektronischen Sensoren wird kein beweglicher Kontakt umgeschaltet. Stattdessen wird der Ausgang elektrisch entweder mit der Versorgungsspannung verbunden oder auf Masse gelegt (= Ausgangsspannung 0 V).

Bezüglich der Polarität des Ausgangssignals gibt es zwei verschiedene Bauarten elektronischer Näherungsschalter:

- Bei positiv schaltenden elektronischen Sensoren hat der Ausgang die Spannung Null (AUS), wenn sich kein Teil im Ansprechbereich des Sensors befindet. Die Annäherung eines Werkstücks führt zum Umschalten des Ausgangs (EIN), so dass Versorgungsspannung anliegt.
- Bei negativ schaltenden Sensoren liegt am Ausgang Versorgungsspannung an, wenn sich kein Teil im Ansprechbereich des Sensors befindet. Annäherung führt zum Umschalten des Ausgangs auf die Spannung 0 V.

4.1.3 Induktive Näherungsschalter

Ein induktiver Näherungsschalter besteht aus einem elektrischen Schwingkreis (1), einer Kippstufe (2) und einem Verstärker (3) (vgl. Abbildung 4.3). Beim Anlegen einer Spannung an die Anschlüsse erzeugt der Schwingkreis ein (hochfrequentes) magnetisches Wechselfeld, das aus der Stirnseite des Sensors austritt.

Ein elektrischer Leiter, der in dieses Wechselfeld gebracht wird, führt zu einer „Dämpfung“ des Schwingkreises. Die nachgeschaltete Elektronik, bestehend aus Kippstufe und Verstärker, wertet das Verhalten des Schwingkreises aus und betätigt den Ausgang.

Mit induktiven Näherungsschaltern lassen sich alle elektrisch gut leitenden Materialien erkennen, neben Metallen beispielsweise auch Graphit.

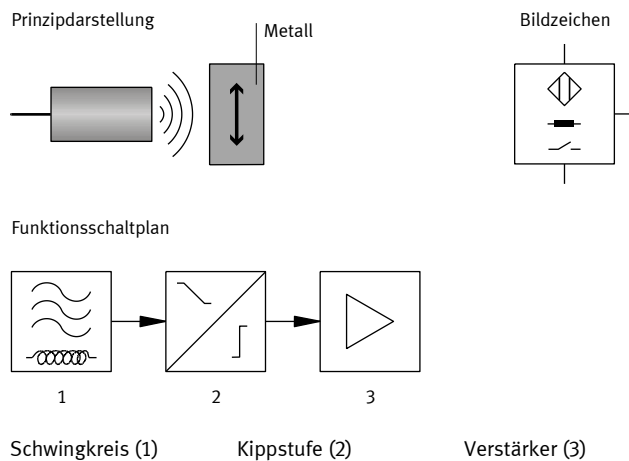


Abbildung 4.3: Induktiver Näherungsschalter- Prinzip, Funktion, Symbol



Abbildung 4.4: Induktiver Sensor-Abbildung

4.1.4 Kapazitive Näherungsschalter

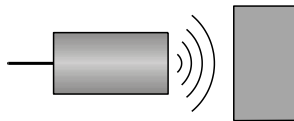
Ein kapazitiver Näherungsschalter besteht aus einem elektrischen Widerstand (R) und einem Kondensator (C), die zusammen einen RC- Schwingkreis bilden, sowie einer elektronischen Schaltung zur Auswertung der Schwingung.

Zwischen der aktiven Elektrode und der Masse-Elektrode des Kondensators wird ein elektrostatisches Feld aufgebaut. Auf der Stirnseite des Sensors bildet sich ein Streufeld. Wird ein Gegenstand in dieses Streufeld gebracht, so ändert sich die Kapazität des Kondensators (vgl. Abbildung 4.5).

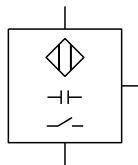
Der Schwingkreis wird gedämpft und die nachgeschaltete Elektronik betätigt den Ausgang.

Kapazitive Näherungsschalter reagieren nicht nur auf Materialien mit hoher elektrischer Leitfähigkeit (z. B. Metalle), sondern darüber hinaus auf alle Isolatoren mit großer Dielektrizitätskonstante, z. B. Kunststoffe, Glas, Keramik, Flüssigkeiten und Holz.

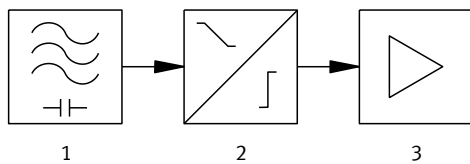
Prinzipdarstellung



Bildzeichen



Funktionsschaltplan



Schwingkreis (1)

Kippstufe (2)

Verstärker (3)

Abbildung 4.5: Kapazitiver Näherungsschalter- Prinzip, Funktion, Symbol

4.1.5 Optische Näherungsschalter

Optische Näherungsschalter verfügen immer über einen Sender und einen Empfänger. Sie setzen optische- rotes oder infrarotes Licht- und elektronische Bauteile und Baugruppen zur Erkennung eines Gegenstandes, der sich zwischen Sender und Empfänger befindet, ein.

Besonders zuverlässige Sender von rotem und infrarotem Licht sind Halbleiter-Leuchtdioden (LED). Sie sind klein, robust, preiswert, zuverlässig langlebig und einfach in technische Systeme einbaubar. Rotes Licht hat den Vorteil, dass es bei der Ausrichtung (Justierung) der optischen Achsen der Näherungsschalter ohne Hilfsmittel gesehen werden kann.

Als Empfangselemente werden bei optischen Näherungsschaltern Fotodioden oder Fototransistoren eingesetzt.

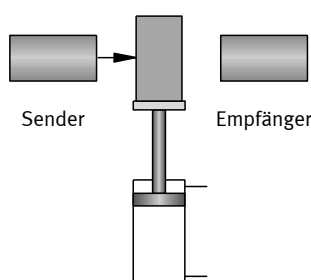
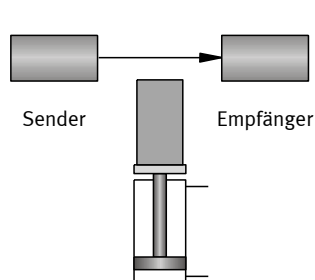
Man unterscheidet drei Arten von optischen Näherungsschaltern:

- Einweg-Lichtschanke
- Reflexions-Lichtschanke
- Reflexions-Lichttaster.

Einweg-Lichtschanke

Die Einweg-Lichtschanke weist räumlich voneinander getrennte Sender- und Empfängereinheiten auf. Die Bauteile sind so montiert, dass das Licht des Senders direkt auf den Empfänger (z. B. Fototransistor) strahlt (vgl. Abbildung 4.6). Gelangt ein Gegenstand, ein Werkstück oder auch ein Mensch zwischen Sender und Empfänger, wird der Lichtstrahl unterbrochen und ein Signal ausgelöst, das am Ausgang einen Schaltvorgang bewirkt (EIN/AUS).

Prinzipdarstellung



Bildzeichen

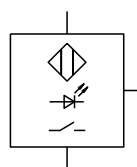


Abbildung 4.6: Einweg-Lichtschanke- Prinzipskizze und Schaltzeichen

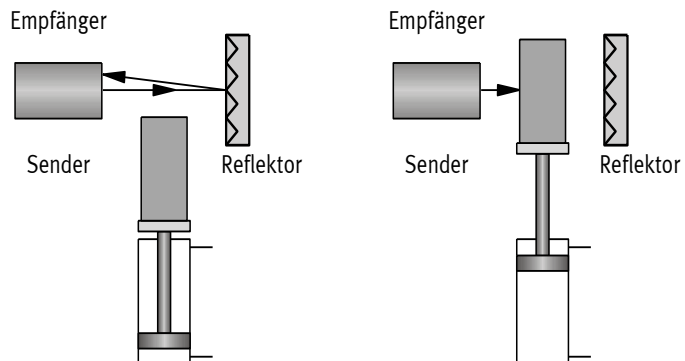


Abbildung 4.7: Gabel-Lichtschränke

Reflexions-Lichtschränke

Bei der Reflexions-Lichtschränke sind Sender und Empfänger in einem Gehäuse nebeneinander angeordnet. Der Reflektor strahlt das Licht des Senders auf den Empfänger zurück. Er wird so montiert, dass der vom Sender ausgesandte Lichtstrahl praktisch vollständig auf den Empfänger auftrifft. Gelangt ein Gegenstand, ein Werkstück oder auch ein Mensch zwischen Sender und Reflektor, wird der Lichtstrahl unterbrochen und ein Signal ausgelöst, das am Ausgang einen Schaltvorgang bewirkt (EIN/AUS).

Prinzipdarstellung



Bildzeichen

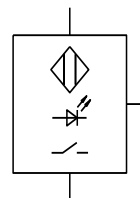


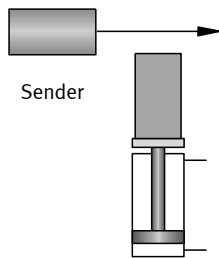
Abbildung 4.8: Reflexions-Lichtschränke – Prinzipskizze und Schaltzeichen

Reflexions-Lichttaster

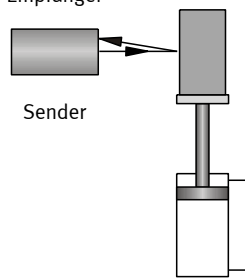
Sender und Empfänger des Reflexions-Lichttasters sind in einem Bauteil nebeneinander angeordnet. Im Unterschied zur Reflexions- Lichtschranke besitzt ein Reflexions- Taster keinen eigenen Reflektor. Er nutzt das Reflexionsvermögen des Gegenstandes bzw. Werkstücks aus, das in seinen Sendebereich gelangt. Trifft das Licht auf einen reflektierenden Körper, so wird es zum Empfänger umgelenkt und der Ausgang des Sensors wird geschaltet. Aufgrund dieses Funktionsprinzips kann ein Lichttaster nur dann eingesetzt werden, wenn das zu erkennende Werkstück bzw. Maschinenteil ein hohes Reflexionsvermögen (z. B. metallische Oberflächen, helle Farben) aufweist.

Prinzipdarstellung

Empfänger



Empfänger



Bildzeichen

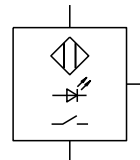


Abbildung 4.9: Reflexions-Lichttaster- Prinzipskizze und Schaltzeichen

4.2 Drucksensoren

Druckempfindliche Sensoren gibt es in unterschiedlichen Bauformen:

- mechanischer Druckschalter mit binärem Ausgangssignal
- elektronischer Druckschalter mit binärem Ausgangssignal
- elektronische Drucksensoren mit analogem Ausgangssignal

4.2.1 Mechanische Druckschalter mit binärem Ausgangssignal

Beim mechanisch arbeitenden Druckschalter wirkt der Druck auf eine Kolbenfläche. Übersteigt die vom Druck ausgeübte Kraft die Federkraft, so bewegt sich der Kolben und betätigt die Kontakte der Schaltelemente.

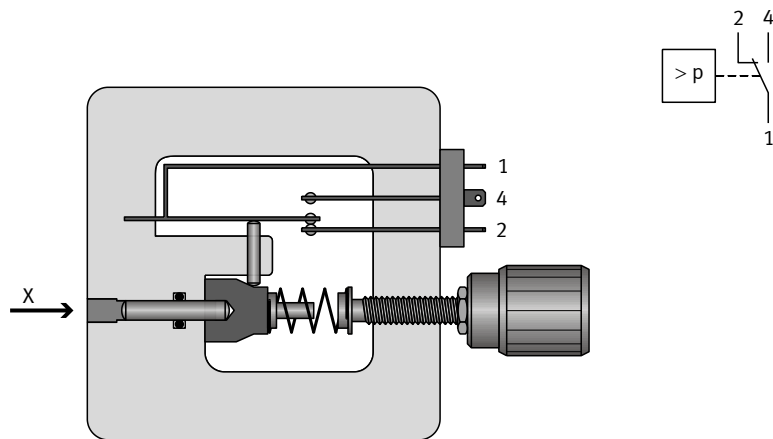


Abbildung 4.10: Kolbendruckschalter – Prinzipskizze und Schaltzeichen

4.2.2 Elektronische Druckschalter mit binärem Ausgangssignal

Typische Vertreter sind Membrandruckschalter, die, statt einen Kontakt mechanisch zu betätigen, den Ausgang elektronisch schalten. Dazu werden druck- oder kraftempfindliche Sensoren auf eine Membran aufgebracht. Das Sensorsignal wird von einer elektronischen Schaltung ausgewertet. Sobald der Druck einen bestimmten vorher definierten Wert überschreitet, schaltet der Ausgang.



Abbildung 4.11: Elektronischer Druckschalter und Schaltzeichen

5 Grundlagen der Pneumatik

Der Begriff Pneumatik stammt vom griechischen Wort „pneuma“, das soviel wie Wind oder Atem bedeutet. Man versteht darunter den Einsatz von Druckluft oder druckluftbetriebenen Systemen in der Technik. Eine moderne pneumatische Anlage in der Automatisierungstechnik besteht aus Teilsystemen zur:

- Erzeugung und Bereitstellung der Druckluft (Kompressor, Kühler, Filter),
- Verteilung der Druckluft (Rohrleitungen, Pneumatikschläuche, Kupplungsstücke),
- Steuerung der Druckluft (Druckventile, Wegeventile, Sperrventile)
- Verrichten von Arbeit mit der Druckluft (Zylinder, Drehantriebe).

Am häufigsten wird Druckluft eingesetzt, um mechanische Arbeit zu verrichten, d. h. um Bewegungen auszuführen und um hohe Kräfte zu erzeugen.

Pneumatische Antriebe haben die Aufgabe, die in der Druckluft gespeicherte Energie in Bewegungsenergie umzuwandeln.

Als pneumatische Antriebe finden meist Zylinder Verwendung. Sie zeichnen sich durch robusten Aufbau, große Variantenvielfalt, einfache Installation und ein günstiges Preis-Leistungsverhältnis aus. Diese Vorteile haben der Pneumatik in der modernen Technik ein weites Anwendungsfeld erschlossen. Weitere Vorteile sind:

Merkmale	Vorteile der Pneumatik
Menge	Luft ist praktisch überall in unbegrenzter Menge verfügbar.
Transport	Luft kann sehr einfach in Rohrleitungen über weite Strecken transportiert werden.
Speicherfähigkeit	Druckluft kann in einem Druckbehälter gespeichert und von dort entnommen werden. Der Druckbehälter (Flasche) kann zusätzlich noch transportabel sein.
Temperatur	Druckluft ist nahezu unempfindlich gegen Temperaturschwankungen. Dies garantiert einen zuverlässigen Betrieb selbst unter extremen Bedingungen.
Sicherheit	Druckluft bietet kein Risiko in Bezug auf Feuer- oder Explosionsgefahr.
Sauberkeit	Nichtgeölte entweichende Druckluft verursacht keine Umweltverschmutzung.
Aufbau	Die Arbeitselemente sind einfach in ihrem Aufbau und daher preiswert.
Geschwindigkeit	Druckluft ist ein schnelles Arbeitsmedium. Es können hohe Kolbengeschwindigkeiten und kurze Schaltzeiten erzielt werden.
Überlastsicherung	Pneumatische Werkzeuge und Arbeitselemente können bis zum Stillstand belastet werden und sind somit überlastsicher.

5.1 Physikalische Grundlagen

Luft ist ein Gasgemisch und hat die folgende Zusammensetzung:

- ca. 78 Vol. % Stickstoff
- ca. 21 Vol. % Sauerstoff

Zusätzlich sind Spuren von Wasserdampf, Kohlendioxid, Argon, Wasserstoff, Neon, Helium, Krypton und Xenon enthalten.

Zum besseren Verständnis der Gesetzmäßigkeiten der Luft sind nachfolgend die hierbei auftretenden physikalischen Größen aufgeführt. Die Angaben erfolgen in „Internationalen Einheitensystem“, kurz SI genannt.

5.1.1 Basiseinheiten

Größe	Formelzeichen	Einheiten
Länge	l	Meter (m)
Masse	m	Kilogramm (kg)
Zeit	t	Sekunde (s)
Temperatur	T	Kelvin (K, $0\text{ °C} = 273,15\text{ K}$)

5.1.2 Abgeleitete Einheiten

Größe	Formelzeichen	Einheiten
Kraft	F	Newton (N), $1\text{ N} = 1\text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$
Fläche	A	Quadratmeter (m^2)
Volumen	V	Kubikmeter (m^3)
Volumenstrom	q_v	(m^3/s)
Druck	p	Pascal (Pa) $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$ $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$

5.1.3 Newtonsches Gesetz

Kraft = Masse • Beschleunigung

$$F = m \cdot a$$

beim freien Fall wird a durch die Fallbeschleunigung $g = 9,81\text{ m/s}^2$ ersetzt

5.1.4 Druck

1 Pa entspricht dem Druck, den eine senkrecht wirkende Kraft von 1 N auf eine Fläche von 1 m² ausübt.

Der Druck, der direkt auf der Erdoberfläche herrscht, wird als atmosphärischer Druck (p_{amb}) bezeichnet. Dieser Druck wird auch Bezugsdruck genannt. Der Bereich oberhalb dieses Drucks heißt Überdruckbereich ($p_e > 0$), der Bereich unterhalb heißt Unterdruckbereich ($p_e < 0$). Die atmosphärische Druckdifferenz p_e berechnet sich nach der Formel:

$$p_e = p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}}$$

Dies wird durch das folgende Diagramm verdeutlicht:

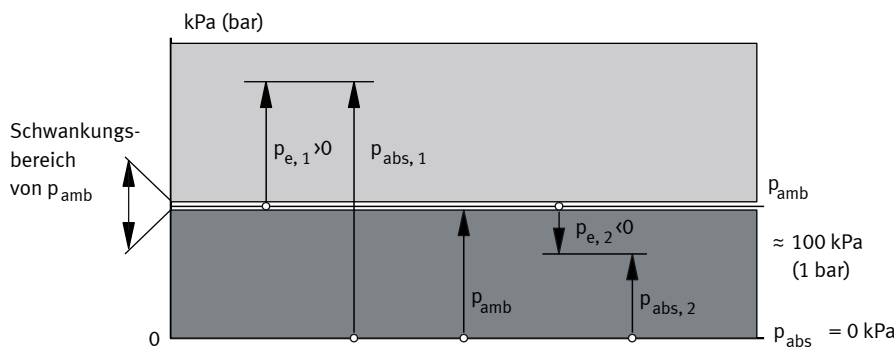


Abbildung 5.1: Luftdruck

Der atmosphärische Druck ist nicht konstant. Sein Wert ändert sich mit der geographischen Lage und dem Wetter.

Der absolute Druck p_{abs} ist der auf Druck Null – Vakuum – bezogene Wert. Er ist gleich der Summe des atmosphärischen Drucks und des Über- bzw. Unterdrucks. In der Praxis werden hauptsächlich Druckmessgeräte verwendet, die nur den Überdruck p_e anzeigen. Der absolute Druckwert p_{abs} ist ungefähr 100 kPa (1 bar) höher.

In der Pneumatik ist es üblich, sämtliche Angaben über Luftmengen auf den sogenannten Normzustand zu beziehen. Der Normzustand nach DIN 1343 ist ein durch Normtemperatur und Normdruck festgelegter Zustand eines festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffes.

- Normtemperatur $T_n = 273,15 \text{ K}$, $t_n = 0 \text{ °C}$
- Normdruck $p_n = 101325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar}$

5.2 Eigenschaften der Luft

Charakteristisch für die Luft ist die sehr geringe Kohäsion, d.h. die Kräfte zwischen den Luftmolekülen sind bei den in der Pneumatik üblichen Betriebsbedingungen zu vernachlässigen. Wie alle Gase hat daher auch die Luft keine bestimmte Gestalt. Sie verändert ihre Form bei geringster Krafteinwirkung und nimmt den ihr maximal zur Verfügung stehenden Raum ein.

5.2.1 Boyle-Mariott'sches Gesetz

Die Luft lässt sich verdichten (Kompression) und hat das Bestreben sich auszudehnen (Expansion). Diese Eigenschaften beschreibt das Boyle-Mariott'sche Gesetz: Das Volumen einer abgeschlossenen Gasmenge ist bei konstanter Temperatur umgekehrt proportional zum absoluten Druck, oder das Produkt aus Volumen und absolutem Druck ist für eine bestimmte Gasmenge konstant.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3 = \text{konstant}$$

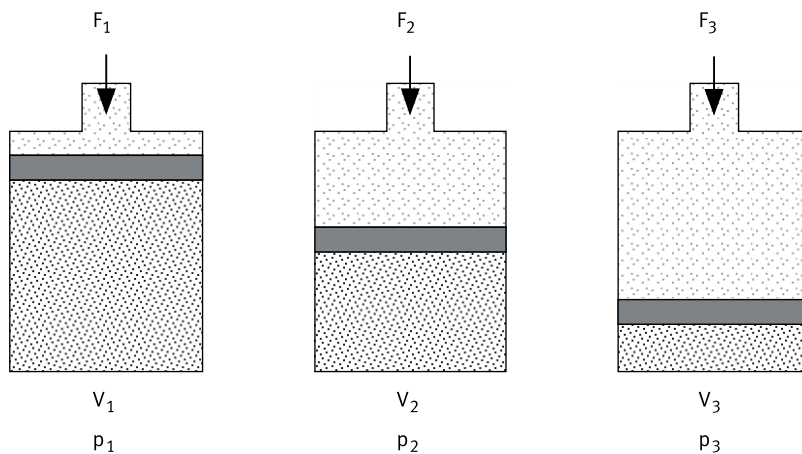


Abbildung 5.2: Boyle-Mariott'sches Gesetz

Rechenbeispiel

Luft wird bei atmosphärischem Druck auf 1/7 ihres Volumens verdichtet. Welcher Druck stellt sich ein, wenn die Temperatur konstant bleibt?

Lösung

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Anmerkung: } \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{7}$$

$$p_1 = p_{\text{amb}} = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$$

$$p_2 = 1 \cdot 7 = 700 \text{ kPa} = 7 \text{ bar absolut}$$

$$\text{Daraus folgt: } p_e = p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}} = (700 - 100) \text{ kPa} = 600 \text{ kPa} = 6 \text{ bar}$$

Ein Verdichter, der einen Überdruck von 600 kPa (6 bar) erzeugt, hat ein Verdichtungsverhältnis von 7:1.

5.2.2 Gay-Lussac'sches Gesetz

Luft dehnt sich bei konstantem Druck, einer Temperatur von 273 K und einer Erwärmung von 1 K um 1/273 ihres Volumens aus. Das Gay-Lussac'sche Gesetz lautet: Das Volumen einer abgeschlossenen Gasmenge ist der absoluten Temperatur proportional, solange der Druck nicht geändert wird.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad V_1 = \text{Volumen bei } T_1, V_2 = \text{Volumen bei } T_2$$

oder

$$\frac{V}{T} = \text{konstant}$$

$$\text{Die Volumenänderung } \Delta V \text{ ist: } \Delta V = V_2 - V_1 = V_1 \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_1}$$

$$\text{Für } V_2 \text{ gilt: } V_2 = V_1 + \Delta V = V_1 + \frac{V_1}{T_1} (T_2 - T_1)$$

Die vorstehenden Gleichungen gelten nur, wenn die Temperaturen in K eingesetzt werden. Um in °C rechnen zu können, ist die folgende Formel zu verwenden:

$$V_2 = V_1 + \frac{V_1}{273^\circ\text{C} + T_1} (T_2 - T_1)$$

Rechenbeispiel

0,8 m³ Luft mit der Temperatur $T_1 = 293 \text{ K}$ (20 °C) werden auf $T_2 = 344 \text{ K}$ (71 °C) erwärmt. Wie stark dehnt sich die Luft aus?

$$V_2 = 0,8 \text{ m}^3 + \frac{0,8 \text{ m}^3}{293 \text{ K}} (344 \text{ K} - 293 \text{ K})$$

$$V_2 = 0,8 \text{ m}^3 + 0,14 \text{ m}^3 = 0,94 \text{ m}^3$$

Die Luft hat sich um 0,14 m³ auf 0,94 m³ ausgedehnt.

Wird das Volumen während der Erwärmung konstant gehalten, ergibt sich für die Druckzunahme die folgende Formel:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

oder

$$\frac{p}{T} = \text{konstant}$$

5.2.3 Allgemeine Gasgleichung

Den prinzipiellen Gesetzmäßigkeiten wird die allgemeine Gasgleichung gerecht, die besagt:

Bei einer abgeschlossenen Gasmenge ist das Produkt aus Druck und Volumen geteilt durch die absolute Temperatur konstant.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{konstant}$$

Aus dieser allgemeinen Gasgleichung erhält man die vorher genannten Gesetze, wenn jeweils einer der drei Faktoren p , V oder T konstant gehalten wird.

- Druck p konstant ☐ ➔ isobare Änderungen
- Volumen V konstant ☐ ➔ isochore Änderungen
- Temperatur T konstant ☐ ➔ isotherme Änderungen

5.3 Die Einzelkomponenten einer pneumatischen Steuerung und ihre Funktion

Verdichter

Energielieferanten für Druckluftnetze sind Schrauben- oder Kolbenverdichter. Sie liefern einen Ausgangsdruck von 700 – 800 kPa (7 – 8 bar). Damit ist gewährleistet, dass trotz Leckagen (defekte Stellen, an denen Luft unbeabsichtigt entweichen kann) und Leitungsverlusten ein Arbeitsdruck von mindestens 600 kPa (6 bar) am Zylinder zur Verfügung steht.

Druckluftfilter

Druckluftfilter werden der Druckluftanlage zentral oder dezentral vorgeschaltet. Sie beseitigen angesaugte Schmutzpartikel und Kondensat. Ordnungsgemäß gefilterte Druckluft trägt erheblich zu einer hohen Lebensdauer nachgeschalteter Elemente bei.

Druckregelventil

Am Druckregelventil wird die erforderliche Druckhöhe für die einzelnen Anlagenteile eingestellt. Schwankungen im Druckluftnetz werden dadurch ausgeglichen. Der eingestellte Druck bleibt konstant, wenn am Reglereingang mindestens 50 kPa (0,5 bar) über dem gewünschten Sollruck vorhanden ist.

Einschaltventile

Trennen einzelne Druckluftnetze untereinander ab.

Steuerventile

Sperren die Druckluft ab und leiten sie zum gewünschten Zeitpunkt an die Arbeitselemente weiter. Von der richtigen Verschaltung der Elemente hängen Sicherheit und Zuverlässigkeit der Anlage ab.

Arbeitsventile

Sind dem Zylinderdurchmesser angepasst und versorgen diese mit der erforderlichen Druckluftmenge.

Zylinder

Pneumatikzylinder sind robuste Arbeitselemente mit geringer Störanfälligkeit und hoher Lebensdauer. Bei günstigen Abmessungen lassen sich hohe Geschwindigkeiten erzielen. Voraussetzung für einen störungsfreien Betrieb sind die richtige Auslegung und Montage.

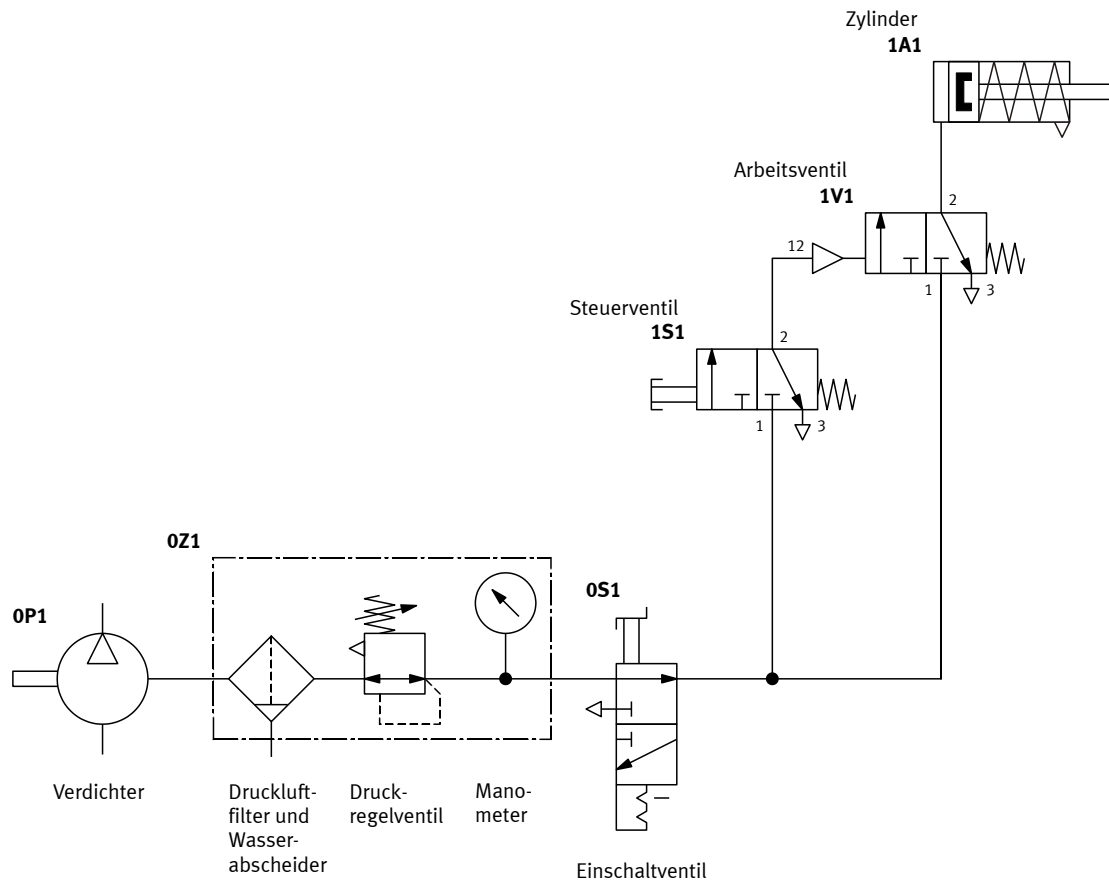


Abbildung 5.3: Wesentliche Bauteile und Baugruppen einer pneumatischen Steuerung

5.4 Funktionen und Merkmale von Aktoren – Pneumatikzylinder

5.4.1 Einfachwirkender Zylinder

Einfachwirkende Zylinder werden nur von einer Seite mit Druckluft versorgt und dort besteht eine Anschlussmöglichkeit zur Versorgung mit Druckluft. Daher können sie auch nur in eine Richtung Arbeit leisten. Vor der Rückstellung muss die Zylinderkammer entlüftet werden, dann kann die Einfahrbewegung der Kolbenstange durch die eingebaute Feder oder durch eine äußere Krafteinwirkung erfolgen (vgl. Abbildung 5.4). Die Entlüftung erfolgt durch eine Bohrung am Zylinderdeckel.



Abbildung 5.4: Realbild, Schnittdarstellung und Schaltsymbol eines einfachwirkenden Zylinders

5.4.2 Doppeltwirkender Zylinder

Doppeltwirkende Zylinder werden von beiden Seiten mit Druckluft versorgt. Diese Zylinder können daher auch in beide Richtungen Arbeit leisten. Die auf die Kolbenstange übertragene Kraft ist für den Vorhub etwas größer als für den Rückhub, da die mit Druckluft versorgte Fläche auf der Kolbenseite größer ist als die auf der Kolbenstangenseite (vgl. Abbildung 5.5).

Am doppeltwirkenden Zylinder befindet sich für jede Druckkammer ein Anschluss. Vor Umschaltung in die Gegenrichtung muss die entsprechende Kammer (Kolbenseite oder Kolbenstangenseite) zunächst entlüftet werden.

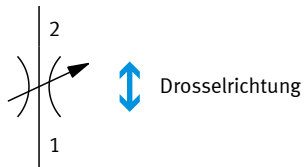


Abbildung 5.5: Realbild, Schnittdarstellung und Schaltsymbol eines doppeltwirkenden Zylinders

5.4.3 Geschwindigkeitsregulierung bei einfachwirkenden Zylindern

Drosselventil

An einem Drosselventil wird der Leitungsquerschnitt stufenlos verändert. Die Wirkung des reduzierten Volumenstromes ist in beiden Richtungen gleich.



Drossel-Rückschlagventil

Die Einstellung an der Drossel wirkt nur in einer Richtung. In der Gegenrichtung ist die Drossel unwirksam. Der Volumenstrom wird über das Rückschlagventil geleitet. Die Drosselrichtung ist auf den Elementen durch einen Pfeil gekennzeichnet.

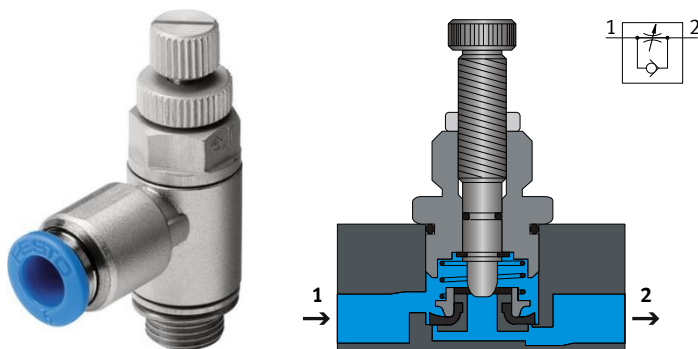
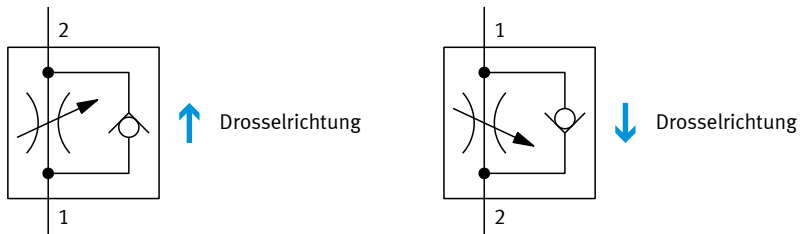
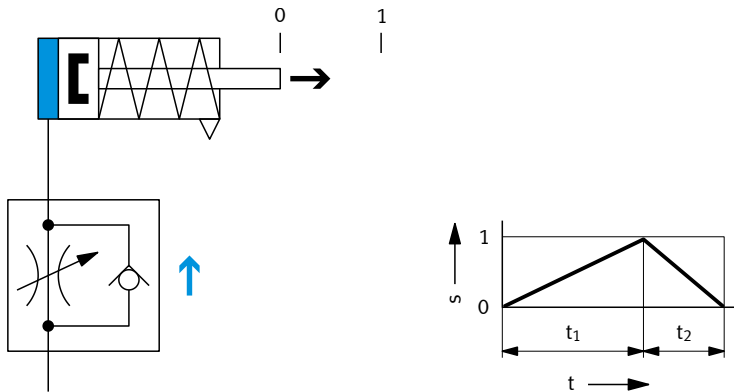


Abbildung 5.6: Realbild Drossel-Rückschlagventil; Schnittbild Drossel-Rückschlagventil und Schaltsymbol

Im Vorhub

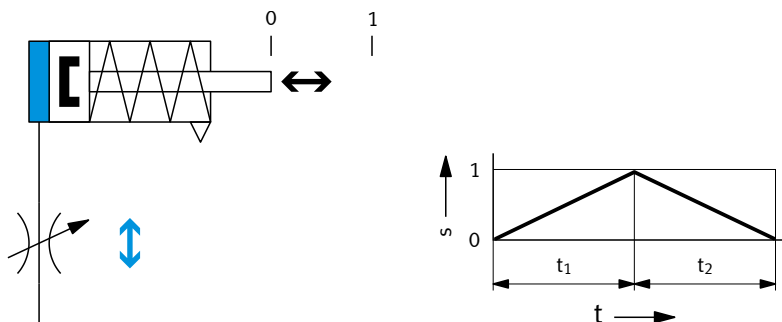
Die zugeführte Luft wird durch ein Drossel-Rückschlagventil reduziert. Dabei ist die eingestellte Geschwindigkeit nur im Vorhub wirksam. Beim Rückhub wird der Volumenstrom über das Rückschlagventil geleitet.



t_1 = einstellbar, t_2 = konstant (nicht einstellbar)

Im Vor- und Rückhub

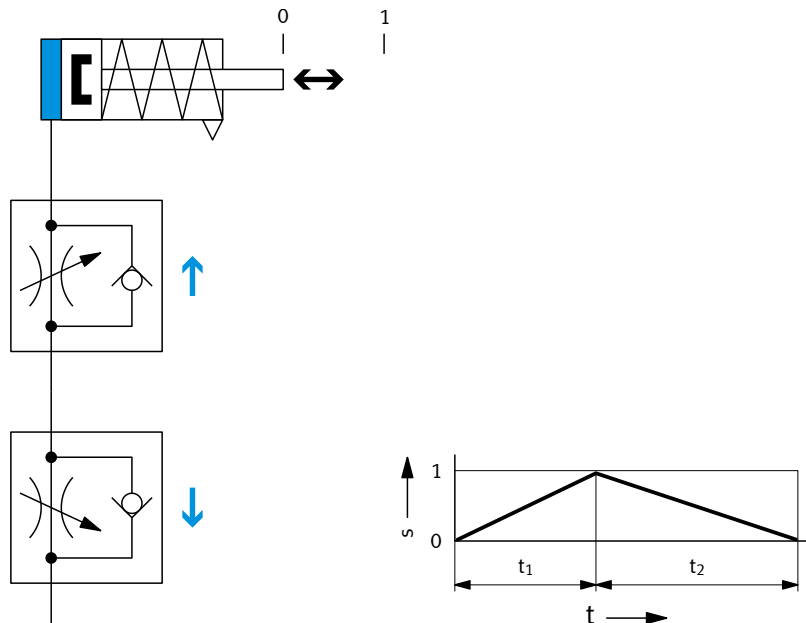
Die Drossel befindet sich am Druckluft zu- und abführenden Anschluss. Die eingestellte Geschwindigkeit ist im Vor- und Rückhub wirksam.



$t_1 = t_2$ = einstellbar

Durch zwei Drossel-Rückschlagventile

Die Geschwindigkeit kann für Vor- und Rückhub getrennt eingestellt werden.

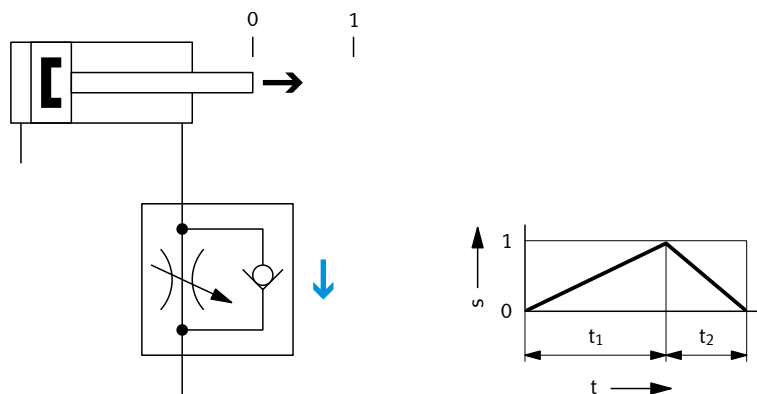


$t_1 = \text{einstellbar}$, $t_2 = \text{einstellbar}$

5.4.4 Geschwindigkeitsregulierung bei doppeltwirkenden Zylindern

Im Vorhub (Abluftdrosselung)

Das Drossel-Rückschlagventil befindet sich am entlüftenden Anschluss (Abluftdrosselung). Die abströmende Luft wird durch die Drossel geleitet. Die Abluftdrosselung ist bei doppeltwirkenden Zylindern die häufigste Methode. Die Geschwindigkeitsregulierung ist von der Last unabhängig.

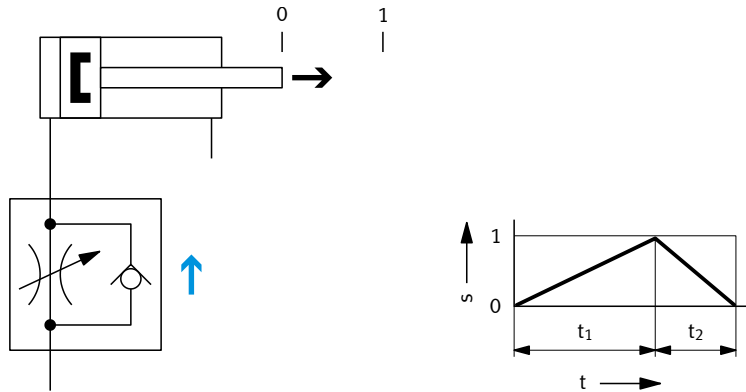


$t_1 = \text{einstellbar}$, $t_2 = \text{konstant (nicht einstellbar)}$

Im Vorhub (Zuluftdrosselung)

(Nicht geeignet bei vertikaler Anordnung des Zylinders)

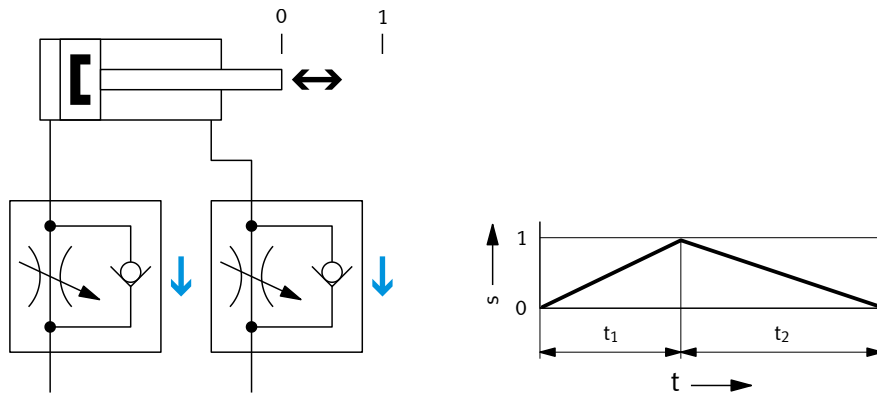
Das Drossel-Rückschlagventil befindet sich am Druckluft zuführenden Anschluss (Zuluftdrosselung). Die eingestellte Geschwindigkeit ist nur im Vorhub wirksam. Bei kleinsten Lastschwankungen an der Kolbenstange ergeben sich sehr große Ungleichmäßigkeiten der Vorschubgeschwindigkeit. Eine Last in Bewegungsrichtung des Zylinders beschleunigt den Zylinder über den eingestellten Wert.



t_1 = einstellbar, t_2 = konstant (nicht einstellbar)

Im Vor- und Rückhub

Abluftdrosselung durch zwei Drossel-Rückschlagventile. Die Geschwindigkeit kann für Vor- und Rückhub getrennt eingestellt werden.



t_1 = einstellbar, t_2 = einstellbar

5.5 Funktionen und Merkmale von Pneumatikventilen

Pneumatikventile steuern den Weg der Druckluft. Die Durchflussrichtung ist durch einen Pfeil gekennzeichnet. Die Betätigung kann manuell, mechanisch, pneumatisch oder elektrisch erfolgen. In automatisierten Anlagen werden in der Regel magnetisch betätigte Ventile benutzt, welche die Schnittstelle zwischen pneumatischer und elektrischer Steuerung bilden. Sie werden durch die Ausgangssignale des Signalsteuerteils geschaltet und sperren bzw. öffnen Verbindungen im pneumatischen Leistungsteil. Zu den wichtigsten Aufgaben elektrisch betätigter Wegeventile gehören:

- das Zuschalten bzw. Absperren der Druckluftversorgung
- das Ein- und Ausfahren von Zylinderantrieben.

Abbildung 5.7 und Abbildung 5.8 zeigen zwei Ausführungen realer Ventile.



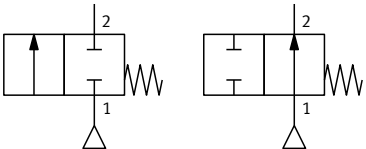
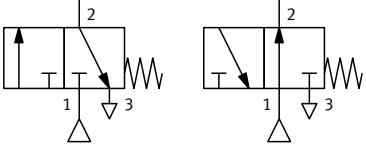
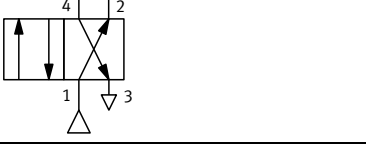
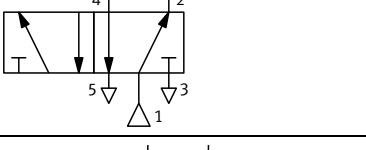
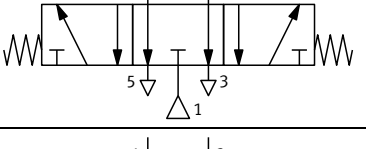
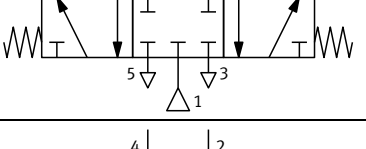
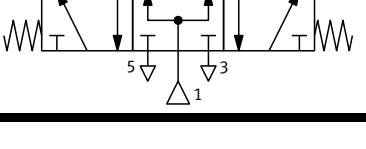
Abbildung 5.7: Handbetätigtes 3/2-Wege-Ventil mit Rastfunktion



Abbildung 5.8: Realbild 4/2-Wege-Magnetventil, monostabil mit Handhilfsbetätigung

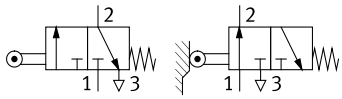
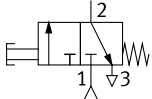
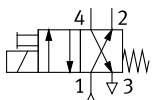
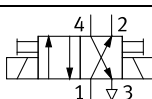
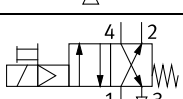
5.5.1 Bezeichnung und Symbole von Pneumatikventilen

Die folgende Tabelle gibt die wichtigsten Bauarten von Wegeventilen wieder.

Symbol	Bezeichnung	Funktion
	2/2-Wege-Ventil – in Ruhestellung geschlossen – in Ruhestellung geöffnet	Ventil mit zwei Schaltstellungen und zwei Anschlüssen
	3/2-Wege-Ventil – in Ruhestellung geschlossen – in Ruhestellung geöffnet	Ventil mit zwei Schaltstellungen und drei Anschlüssen
	4/2-Wege-Ventil	Ventil mit zwei Schaltstellungen und vier Anschlüssen
	5/2-Wege-Ventil	Ventil mit zwei Schaltstellungen und fünf Anschlüssen
	5/3-Wegeventil, Mittelstellung entlüftet	Der Kolben des Zylinderantriebs übt keinerlei Kraft auf die Kolbenstange aus. Die Kolbenstange ist frei beweglich.
	5/3-Wegeventil, Mittelstellung gesperrt	Die Kolbenstange bleibt stehen. Dies gilt auch, wenn sich die Kolbenstange nicht am Anschlag befindet.
	5/3-Wege-Ventil, Mittelstellung belüftet	Die Kolbenstange von Zylindern mit einseitiger Kolbenstange fährt mit verminderter Kraft aus.

5.5.2 Betätigungsarten von Pneumatikventilen

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Betätigungsarten von Wegeventilen.

Symbol	Bezeichnung	Funktion
	Rollenhebelventil, feder- rückgestellt, monostabil	Dieses Ventil wird durch Zylindernocken o. ä. betätigt. Es dient hauptsächlich der Endlagenabfrage.
	Handbetätigt, federrückgestellt, monostabil	Dieses Ventil wird von Hand betätigt und beim Loslassen von einer Feder zurückgestellt.
	Magnetventil mit Hand- hilfsbetätigung, federrückgestellt, monostabil	Dieses Ventil wird durch einen Magnet betätigt und von einer Feder zurückgestellt, sobald der Steuerstrom abgeschaltet wird.
	Magnetventil mit Hand- hilfsbetätigung, bistabil	Dieses Ventil wird durch Magnete betätigt und bleibt in der momentanen Lage, bis der jeweils andere Magnet betätigt wird.
	Magnetventil mit pneumatischer Vorsteuerung	Dieses Ventil wird durch einen Magnet betätigt. Der Magnet steuert einen pneumatischen Hilfskreis, der den Ventilschieber betätigt.

5.5.3 Ansteuerung eines einfachwirkenden Zylinders

Abbildung 5.9a zeigt ein elektrisch betätigtes Ventil, das die Bewegung eines einfachwirkenden Zylinderantriebs steuert. Es weist drei Anschlüsse und zwei Schaltstellungen auf.

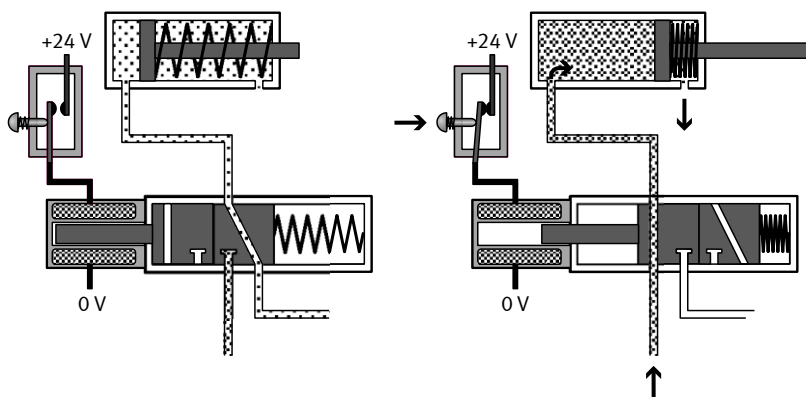
- Ist die Magnetspule des Wegeventils stromlos, wird die Zylinderkammer über das Wegeventil entlüftet. Die Kolbenstange ist eingefahren.
- Wird die Magnetspule von Strom durchflossen, schaltet das Wegeventil und die Zylinderkammer wird belüftet. Die Kolbenstange fährt aus.
- Wird die Magnetspule stromlos, schaltet das Ventil zurück. Die Zylinderkammer wird entlüftet und die Kolbenstange fährt ein.

5.5.4 Ansteuerung eines doppelwirkenden Zylinders

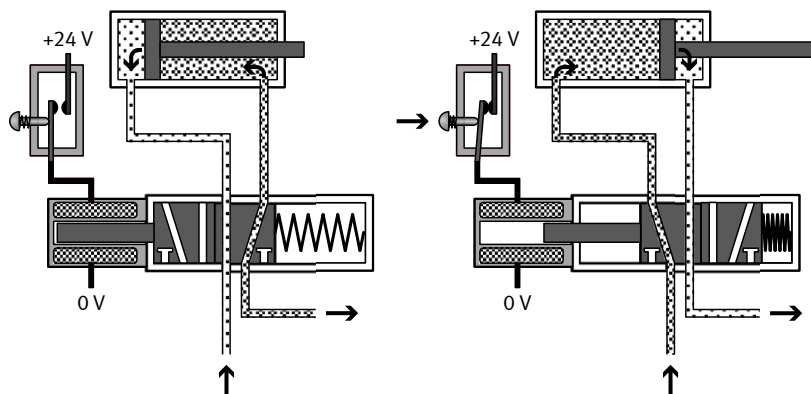
Der doppelwirkende Zylinderantrieb in Abbildung 5.9b wird durch ein Wegeventil mit fünf Anschlüssen und zwei Schaltstellungen betätigt.

- Ist die Magnetspule stromlos, so wird die linke Zylinderkammer entlüftet, die rechte Zylinderkammer hingegen belüftet. Die Kolbenstange ist eingefahren.
- Wird die Magnetspule von elektrischem Strom durchflossen, schaltet das Ventil. Die linke Zylinderkammer wird belüftet und die rechte Zylinderkammer wird entlüftet. Die Kolbenstange fährt aus.
- Wird die Magnetspule stromlos, schaltet das Ventil zurück und die Kolbenstange fährt ein.

a)



b)



a) einfachwirkend

b) doppelwirkend

Abbildung 5.9: Ansteuerung von Zylindern mit Magnetventilen

5.6 Funktionen und Merkmale von pneumatischen Antrieben

5.6.1 Geführte Antriebe, kolbenstangenlose Linearantriebe und Drehantriebe

Für Spezialanwendungen, vor allem in der Handhabungstechnik, werden häufig geführte pneumatische Antriebe verwendet (vgl. Abbildung 5.11). Anders als gewöhnliche Zylinder kann hier die Kolbenstange nicht verdreht und mit Kräften belastet werden. Je nach Ausführen handelt es sich um Gleitführungen für einfache Anwendungen mit geringer Belastung durch äußere Kräfte und begrenzter Genauigkeit oder um hochgenaue Kugelführungen, die erhebliche Kräfte und Momente aufnehmen können und natürlich entsprechend teuer sind.

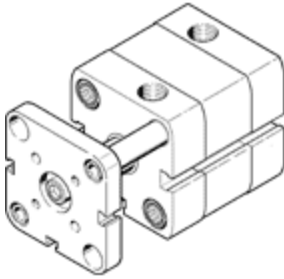


Abbildung 5.11: Geführter pneumatischer Antrieb

Eine andere Klasse von Antrieben sind die kolbenstangenlosen Zylinder (vgl. Abbildung 5.12). Diese besitzen keine Kolbenstange und sind deshalb besonders für große Hublängen geeignet.

Der kolbenstangenlose Zylinder ist nur geringfügig länger als der Zylinderhub, während der Zylinder mit Kolbenstange im ausgefahrenen Zustand mindestens doppelt so lang wie der Zylinderhub ist. Zusätzlich sind diese Antriebe meist mit hochwertigen Führungen ausgestattet.



Abbildung 5.12 Kolbenstangenloser pneumatischer Antrieb

Pneumatische Drehantriebe werden immer dort eingesetzt, wo eine Dreh- oder Schwenkbewegung gefordert ist.

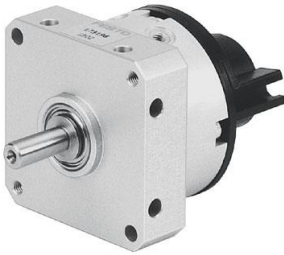
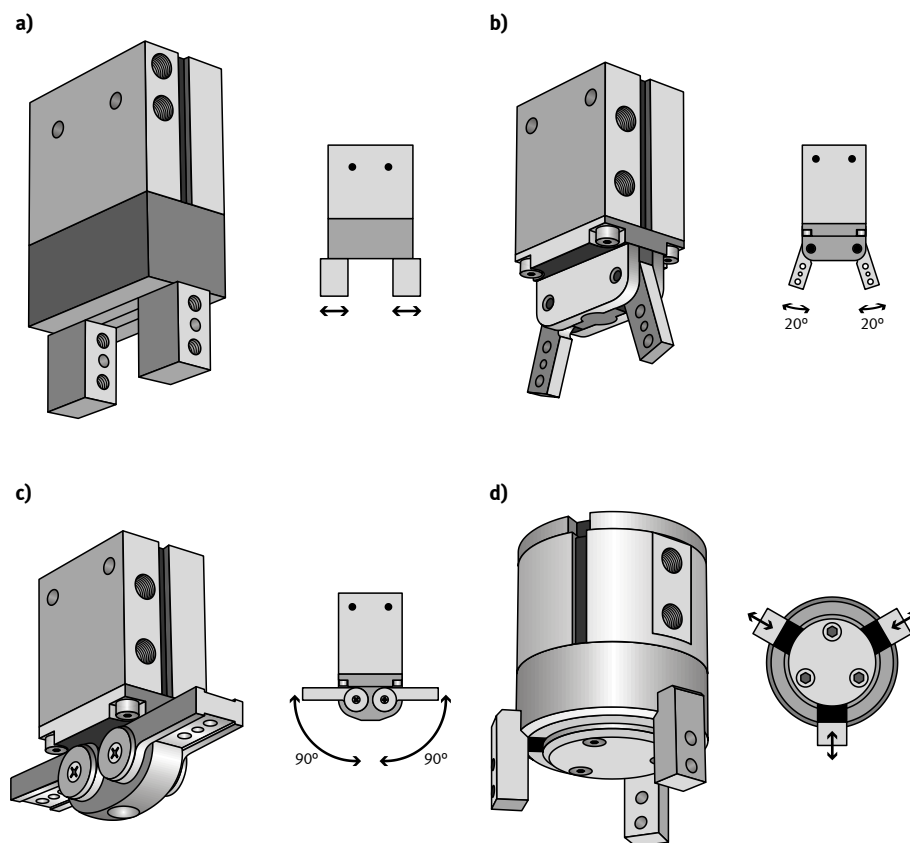


Abbildung 5.13 Pneumatischer Drehantrieb

5.6.2 Pneumatische Greifer

Pneumatisch angetriebene Greifer werden zur Handhabung von Werkstücken verwendet. In der folgenden Abbildung sind verschiedene Greifertypen dargestellt.



- a) Parallel-Greifer
- b) Winkel-Greifer
- c) Radial-Greifer
- d) 3-Punkt-Greifer

Abbildung 5.14: Pneumatische Greifer

Die folgende Abbildung (vgl. Abbildung 5.15) zeigt einen Schnitt durch den Winkelgreifer. Er wird durch einen doppelwirkenden Zylinder angetrieben. Es wird verdeutlicht, wie Greiferbacken (hier: für zylindrische Werkstücke) und Näherungsschalter am Greifer angebracht werden.

Die Auswahl von Greifertyp, Greiferbaugröße und Greiferbacken richtet sich nach Form und Gewicht der Werkstücke.

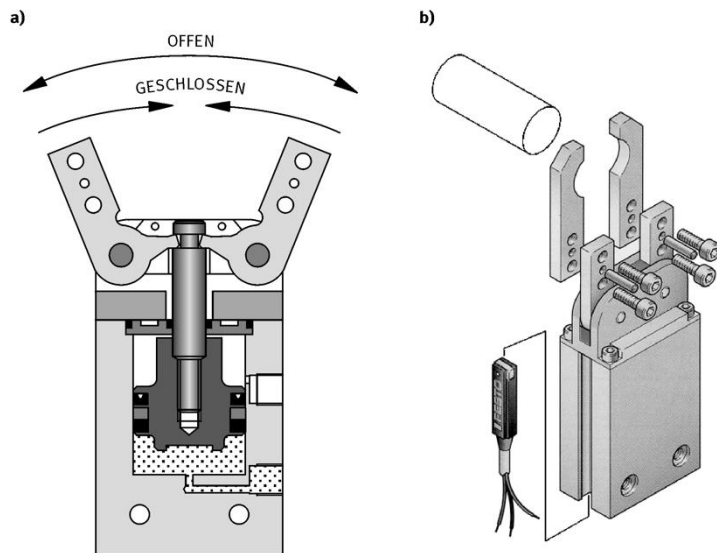


Abbildung 5.15: Winkelgreifer: Antriebsprinzip, Greiferbacken und Näherungsschalter

5.6.3 Greifen mit Vakuum

Neben mechanischen Greifern werden zum Festhalten von Gegenständen auch Vakuumgreifer verwendet. Ein Vakuumgreifer besteht aus dem Vakuumerzeuger (Pumpe oder Venturidüse), einem oder mehreren Saugnapfen und ggfs. aus Ventilen, mit denen das Vakuum gesteuert wird. 5.16 zeigt einen einfachen Vakuumgreifer in der Station Handling. Ein 3/2 Wege Ventil schaltet die Druckluftzufuhr zur Venturidüse (1), welche wiederum den Saugnapf (2) mit Vakuum versorgt.

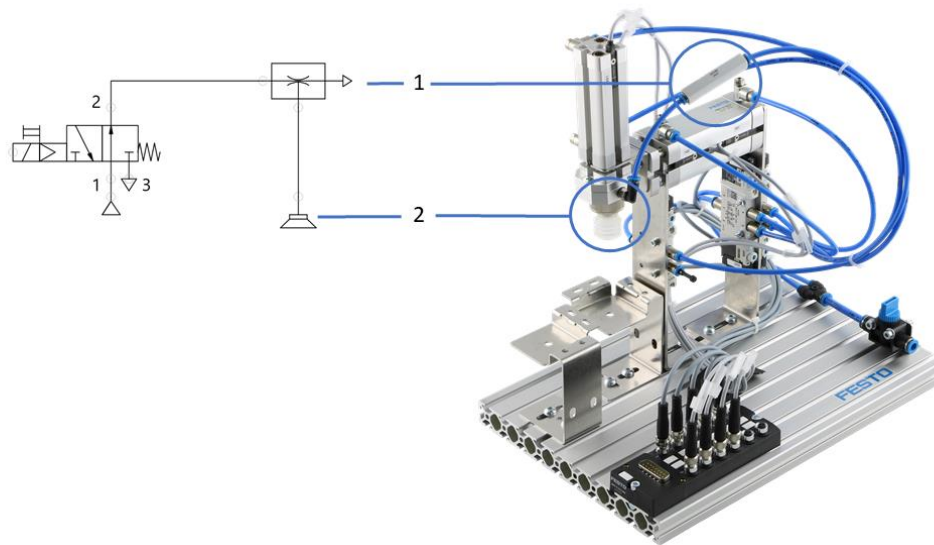


Abbildung 5.16: Aufbau eines Vakuumgreifers: Schaltplan / Realbild

Vakuum ist nach DIN 28 400, Teil 1 so definiert:

„Vakuum ist der Zustand eines Gases, dessen Teilchenanzahldichte geringer ist als die der Atmosphäre an der Erdoberfläche. Der Zustand eines Gases kann dann als Vakuum bezeichnet werden, wenn dessen Druck geringer ist als der Atmosphärendruck“.

Funktion

Ein Saugnapf haftet an einer Fläche, weil der Umgebungsdruck (p_u) höher ist als der Druck p_v innerhalb des Saugervolumens, das durch die Werkstückfläche verschlossen ist (5.17). In der Praxis ist der Umgebungsdruck konstant. Zur Erzeugung eines Unterdrucks wird der Sauger an eine Vakuumquelle angeschlossen. Je höher der erzeugte Unterdruck ist, desto größer ist die von außen auf den Sauger einwirkende Kraft. Diese Kraft nennt man Saugkraft oder Haltekraft und wird als theoretische Haltekraft vom Hersteller in der Regel angegeben.

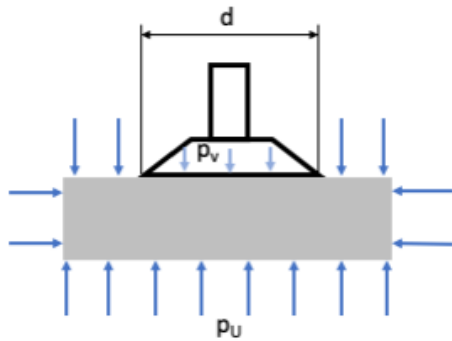


Abbildung 5.17: Der höhere Umgebungsdruck drückt das Werkstück gegen den kleineren Innendruck an den Saugnapf

Die maximal erreichbare Haltekraft F eines Vakuumgreifers ist damit abhängig von der Fläche des Saugnapfs A und dem Druckunterschied zwischen Umgebungsdruck p_u und dem Saugerinnendruck p_v :

$$F = (p_u - p_v)A = (p_u - p_v)\pi d^2$$

Für Saugerbelastungen senkrecht zur Saugfläche ist ein Sicherheitsfaktor 2, für Saugerbelastungen parallel zur Saugfläche ein Faktor 4 üblich.

Es gibt grundsätzlich zwei Verfahren zur Vakuumerzeugung, entweder mit Pumpen oder mit Ejektoren. Beide Verfahren haben zum Ziel, den Umgebungsdruck in einem Sauggreifer auf einen tieferen Druck abzusenken.

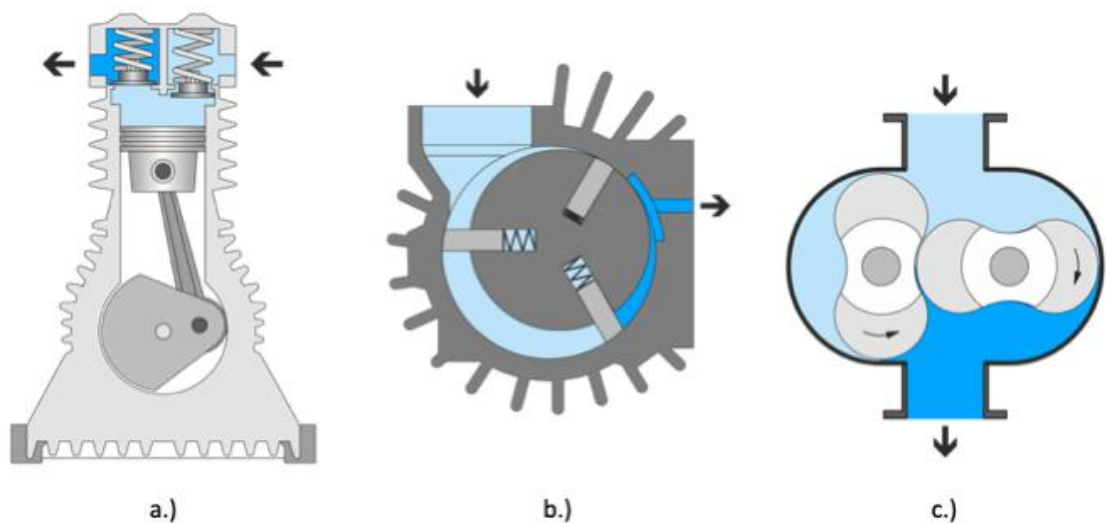


Abbildung 5.18: Typen von Vakuumpumpen: a.) Hubkolbenpumpe, b.) Drehschieberpumpe, c.) Wälzkolbenpumpe

Als Alternative zu Vakuumpumpen bieten sich Ejektoren an. Diese arbeiten nach dem Venturi-Prinzip. Die Druckluft strömt dabei durch eine Querschnittsverengung, die sogenannte Strahldüse des Ejektors. Hier steigert sich die Strömungsgeschwindigkeit der Luft auf Überschallgeschwindigkeit. Nach dem Austritt aus der Strahldüse expandiert die Luft und strömt durch die Fangdüse mit nachgeschaltetem Schalldämpfer aus. Bei diesem Vorgang entsteht in der Kammer um die Strahldüse ein Vakuum. Dieses führt zum Ansaugen von Luft im Sauganschluss.

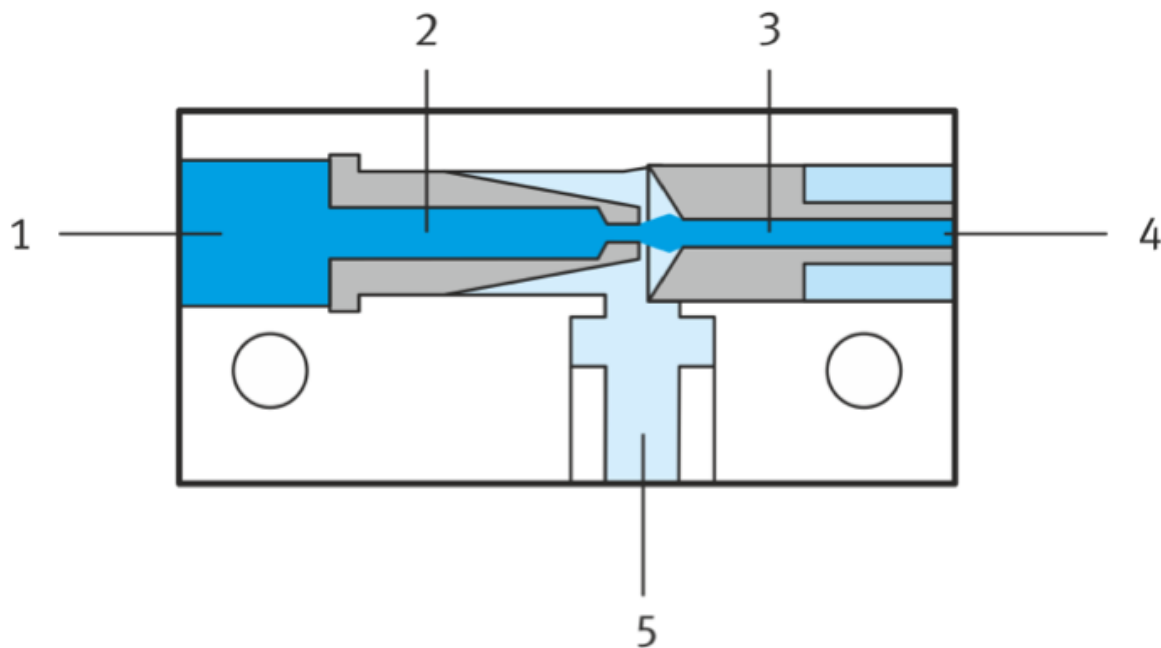


Abbildung 5.19: Ejektor – Schnittbild; 1: Druckluftanschluss, 2: Strahldüse, 3: Fangdüse, 4: Abluft, 5: Sauganschluss (Vakuum)

Venturidüsen sind kompakt und können sehr nahe am Saugnapf angebracht werden, verbrauchen im Betrieb Druckluft und sind verhältnismäßig laut und haben daher einen Schalldämpfer für die Abluft. Vakuumpumpen erzeugen höhere Vakuu, werden mit Strom betrieben, sind aber sehr groß und daher relativ weit entfernt von den Saugnapfen untergebracht.

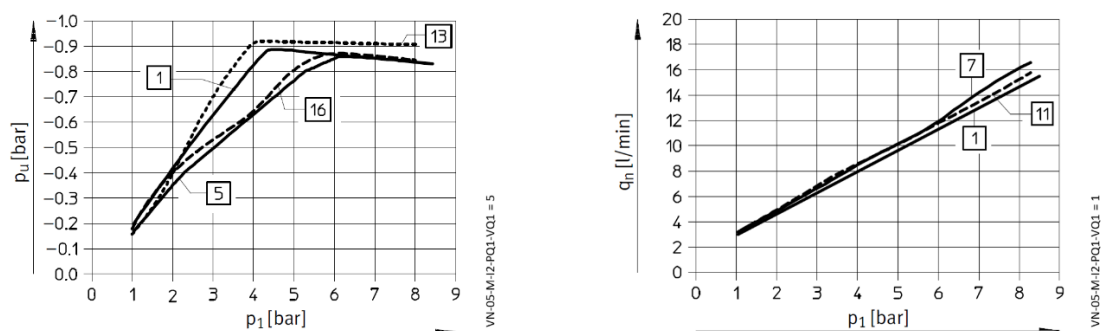


Abbildung 5.20: Kennlinien einer Venturidüse. Die bei MecLab verwendete Venturidüse ist Kennlinie 5 bzw. 1

- a) Vakuumdruck in Abhängigkeit vom Versorgungsdruck
- b) Luftverbrauch in Abhängigkeit vom Versorgungsdruck.

Abbildung 5.20 zeigt die Kennlinien einer Venturidüse. Kennlinie a zeigt das erreichbare Vakuum p_u in Abhängigkeit vom Versorgungsdruck p_1 . Es ist erkennbar, dass das beste Vakuum bei 3 – 4 bar erreicht wird. Mit steigenden Versorgungsdruck p_1 steigt aber auch der Druckluftverbrauch q_n und damit auch der Energieverbrauch der Venturidüse. Daher sollte immer mit dem größtmöglichen Saugnapfdurchmesser gearbeitet werden, um den Versorgungsdruck und damit den Energieverbrauch für eine bestimmte Haltekraft niedrig zu halten.

Ist das Werkstück porös oder hat eine Öffnung, entsteht eine Leckage und die Venturidüse muss ständig Luft absaugen, um das Vakuum zu halten. In gewissen Grenzen ist das möglich, wird die Leckage aber zu groß, ist kein sicheres Greifen mehr möglich. Dann kann man z.B. mehrere kleine Saugnapfe verwenden, die

um die Öffnung des Werkstücks herum angeordnet sind.

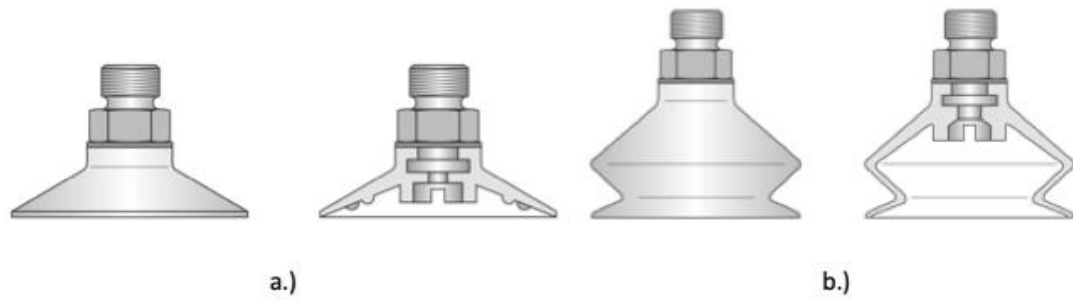


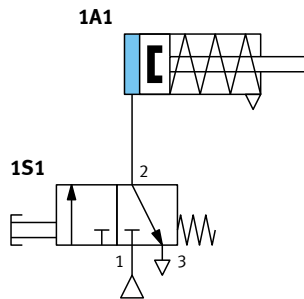
Abbildung 5.21: Verschiedene Bauarten von Saugnäpfen a) Tellersaugnapf b) Faltenbalgsaugnapf

Es gibt unterschiedliche Bauarten von Saugnäpfen (5.21). Tellersaugnapfe sind am weitesten verbreitet, sind einfach und bieten einen sicheren Halt des Werkstücks. Faltenbalgsaugnapfe können Höhenunterschiede besser ausgleichen, führen das Werkstück aber weniger präzise.

5.7 Darstellung pneumatischer Steuerungen im Schaltplan

Die einfachste Ansteuerung für einfach- und doppeltwirkende Zylinder ist die direkte Zylindersteuerung. Hierbei wird der Zylinder direkt, ohne das Zwischenschalten weiterer Wegeventile, über ein muskelkraftbetätigtes oder ein mechanisch betätigtes Ventil angesteuert.

Ausgangsstellung



Schaltstellung

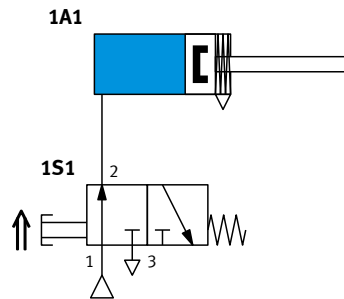


Abbildung 5.16: Schaltplan für eine direkte Ansteuerung mit handbetätigtem 3/2-Wege-Ventil

Die Symbole einzelner Elemente müssen in Schaltplänen im unbetätigten Zustand gezeichnet werden. Diese Darstellung bereitet dem Anfänger erfahrungsgemäß große Schwierigkeiten. Darum wird (entgegen der üblichen Standards) zum besseren Verständnis in den ersten Beispielen zusätzlich die jeweils durchgeschaltete Funktion (Schaltstellung) gezeigt. Der Pfeil vor dem Betätigungselement des 3/2-Wegeventils mit Drucktaster soll verdeutlichen, dass dieses Ventil betätigt ist (Abbildung 5.16 rechts).

5.7.1 Symbolbezeichnungen in Schaltplänen

Der Aufbau pneumatischer Schaltpläne, die Anordnung der Schaltzeichen sowie die Bauteilkennzeichnung und -nummerierung sind festgelegt in der DIN/ISO 1219-2. Der Schaltzustand der Ventile ist die Ausgangsstellung (Ruhestellung). Der Arbeitsteil (Zylinder mit Arbeitsventil) ist oben angeordnet. Der Steuerteil mit den Signaleingabeelementen ist darunter angeordnet.

Die Bezeichnung der Elemente erfolgt von unten nach oben und von links nach rechts (vgl. Abbildung 5.17).

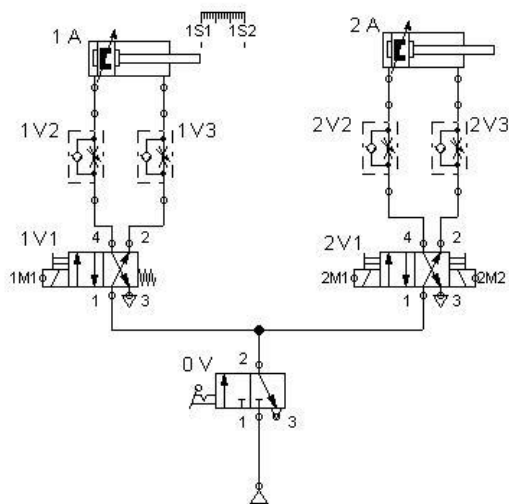


Abbildung 5.17: Bezeichnungen im pneumatischen Schaltplan

Beispiel zur Darstellung einer elektropneumatischen Schaltung und ihrer Funktion

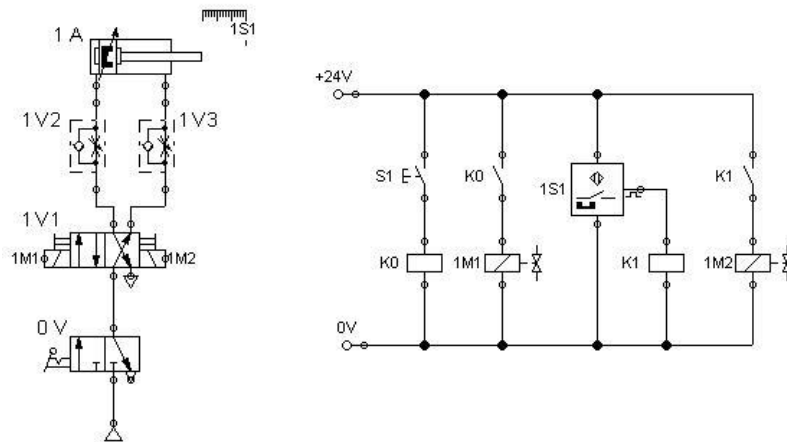


Abbildung 5.18: Darstellung einer elektropneumatischen Schaltung

Funktion der oben dargestellten elektropneumatischen Schaltung:

- Bei Betätigung des Handtasters S1 wird der Ventilmagnet 1M1 über einen Schließkontakt des Relais K0 geschaltet und der Zylinder 1A fährt aus.
- Bei Erreichen der vorderen Endlage schaltet der magnetische Endschalter 1S1 das Relais K1 und betätigt damit den Ventilmagneten 1M2. Damit fährt der Zylinder wieder in die hintere Endlage.

6 Elektrische Antriebe

Elektromotoren sind aus der heutigen Welt nicht mehr wegzudenken. Anders als die Pneumatik, die vor allem in der Produktion als einfache und zuverlässige Antriebstechnologie verwendet wird, werden Elektromotoren auch im privaten Umfeld genutzt. Beispiele dafür sind Waschmaschine, Fön, CD-Spieler, viele Spielzeuge, Küchenmaschinen, Ventilatoren, um nur Einige zu nennen. Auch im Automobil werden heute bei vielen Komfortfunktionen wie Sitzverstellung oder Fensterheber Elektromotoren als Antriebselement des technischen Systems genutzt.

Es gibt verschiedene Bauarten von Elektromotoren, die für spezielle Anwendungen konstruiert wurden:

- Einfache und preiswerte Gleichstromantriebe mit relativ geringer Leistung für mobile Anwendungen im Batteriebetrieb,
- Robuste Drehstrommotoren mit relativ hoher Leistung für den stationären Einsatz in der Industrie,
- Hochdynamische Servoantriebe für Werkzeugmaschinen oder Roboter mit hohen Anforderungen an Geschwindigkeit und Präzision,
- Schrittmotoren für einfache Bewegungsvorgänge, z.B. Zustellbewegungen bei Werkzeugmaschinen.

Elektromotoren können sowohl drehende (rotatorische) als auch lineare (translatorische) Bewegungen ausführen. Dabei gibt es für die verschiedenen Anforderungen Bauformen mit Leistungen von wenigen Milliwatt bis zu einigen Megawatt bzw. mit wenigen Gramm bis zu mehreren Tonnen Gewicht. Sie sind das heute in der Technik am meisten eingesetzte Antriebselement.

Nahezu alle elektrischen Antriebe beruhen auf dem Prinzip der elektromagnetischen Kraft oder Lorentzkraft. Im Folgenden wird das Funktionsprinzip eines permanenterregten Gleichstrommotors erläutert, weil dieser Motortyp relativ einfach zu verstehen und gleichzeitig sehr weit verbreitet ist.

6.1 Physikalisch- technische Grundlagen des Gleichstrommotors

Befindet sich ein Leiterdraht, der von einem Strom I durchflossen wird, in einem Magnetfeld B , so wirkt auf diesen Draht eine Kraft F . Die Richtung dieser Kraft kann man mit der sogenannten „Drei-Finger-Regel“ ermitteln. Dabei geht man davon aus, dass die magnetischen Feldlinien vom Nord- zum Südpol des Magneten gerichtet sind und der Strom im Draht vom Plus- zum Minuspol der Stromquelle fließt. Die drei Finger Daumen, Zeige- und Mittelfinger werden im jeweils rechten Winkel zueinander ausgerichtet, so dass sie ein kartesisches Koordinatensystem bilden.

Zeigt dann der Daumen in Richtung des Stromflusses (also von Plus- zum Minuspol), der Zeigefinger in Richtung des Magnetfeldes (Nord/Süd), zeigt der Mittelfinger in Richtung der wirkenden Kraft. In Abbildung 6.1 würde der Draht sich also nach vorn aus der Blattebene heraus bewegen.

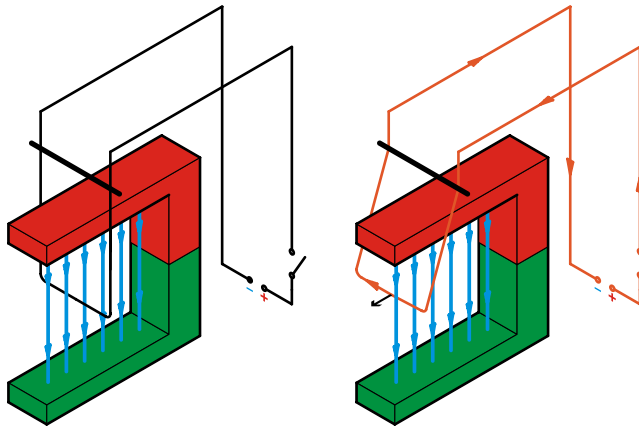


Abbildung 6.1: Lorentzkraft

Die Größe der Kraft hängt von der Stärke des Magnetfeldes, der Stromstärke und der Länge des Drahtes im Magnetfeld ab. Der Gleichstrommotor nutzt diese Kraftwirkung aus, um eine Drehbewegung zu erzeugen. Dazu wird eine Leiterschleife drehbar zwischen zwei Magnetpolen (Nord/Süd) angeordnet (Abbildung 6.2).

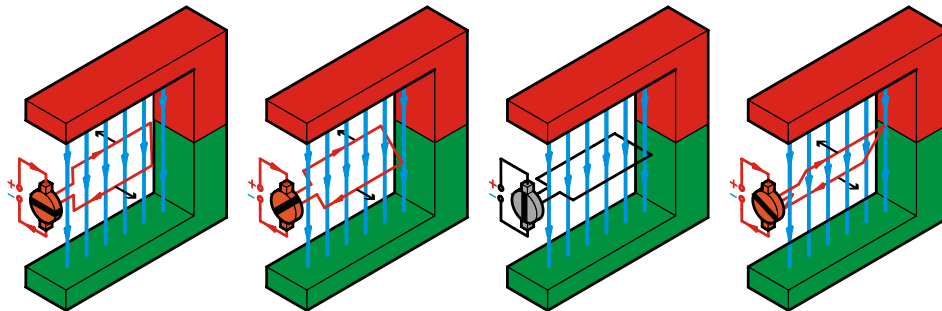


Abbildung 6.2: Funktionsweise eines Gleichstrommotors

Der Strom fließt durch die beiden Hälften der Leiterschleife in entgegengesetzter Richtung. Daher ist auch die Kraftwirkung auf die Hälften der Leiterschleife entgegengesetzt gerichtet. Es bilden sich auch hier ein Nord- und ein Südpol heraus, die von den Polen des Permanentmagneten angezogen (Nord/Süd bzw. Süd/Nord) oder auch abgestoßen (Süd/Süd bzw. Nord/Nord) werden. Beide Kräfte erzeugen ein Drehmoment, das die Leiterschleife weiterdreht. Nach höchstens einer halben Umdrehung der Leiterschleife wird durch den mechanischen Kommutator (Stromwender) der Strom umgepolt und der Vorgang wiederholt sich.

Der Kommutator ist hier das wesentliche Bauteil, da erst er aus dem einmaligen Vorgang der Kraftwirkung auf einen Strom durchflossenen Leiter eine Drehbewegung macht. Er besteht aus zwei metallischen, von einander isolierten Halbschalen, auf die durch Kohlebürsten der Strom übertragen wird.

Weil Gleichstrommotoren normalerweise kleine Drehmomente (M_d) bei hohen Drehzahlen (n) erzeugen, werden häufig Getriebe als Übertragungselemente vorgeschaltet, mit denen die Abtriebsdrehzahl (n_2) um das Übersetzungsverhältnis i gesenkt und das Abtriebsdrehmoment (M_{d_2}) um den gleichen Faktor erhöht wird. Es gilt

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_{d_2}}{M_{d_1}}$$

Getriebe gibt es in den unterschiedlichsten Bauformen. Abbildung 6.3 zeigt einen Gleichstrommotor mit Schneckengetriebe, bei dem die Abtriebswelle gegen die Motorwelle um 90° gedreht ist.

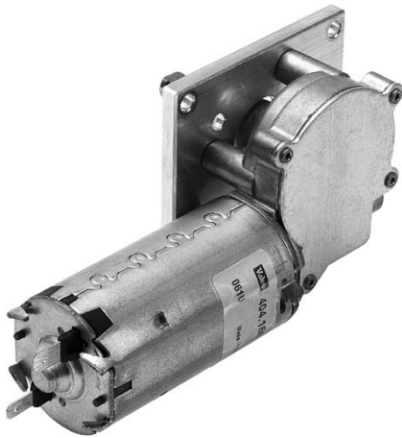


Abbildung 6.3: Gleichstrommotor mit Getriebe

6.1.1 Ansteuerung von Gleichstrommotoren

Der Gleichstrommotor beginnt zu laufen, wenn er an eine Stromquelle angeschlossen wird. Die Drehrichtung hängt dabei von der Polarität ab. Abbildung 6.4 zeigt die einfachste Möglichkeit der Ansteuerung, einmal mit geöffnetem Schalter (Motor aus) und mit geschlossenem Schalter (Motor an).

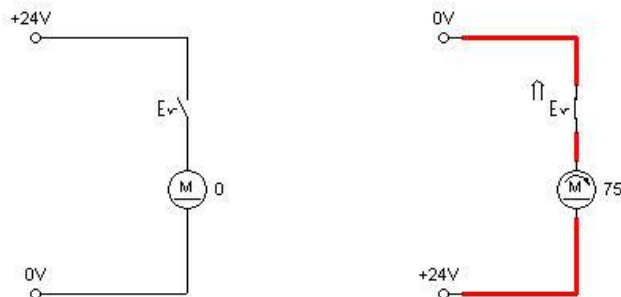


Abbildung 6.4: Ansteuerung eines Gleichstrommotors

Da Elektromotoren vergleichsweise hohe Ströme benötigen, erfolgt die Ansteuerung über Relais, um die Schalter nicht zu überlasten. Den entsprechenden Schaltplan zeigt Abbildung 6.5.

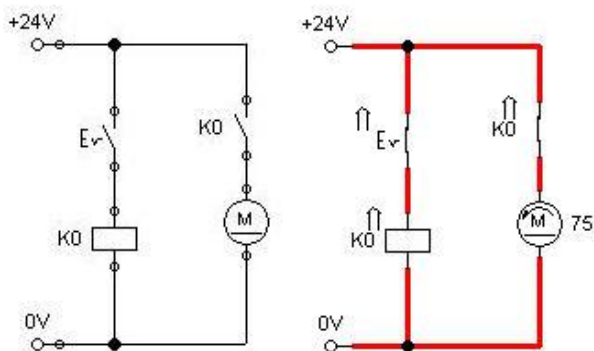


Abbildung 6.5: Ansteuerung eines Gleichstrommotors mit Relais

Um die Drehrichtung des Motors umzukehren, muss die Richtung des Stromes durch den Motor umgekehrt werden (Abbildung 6.6).

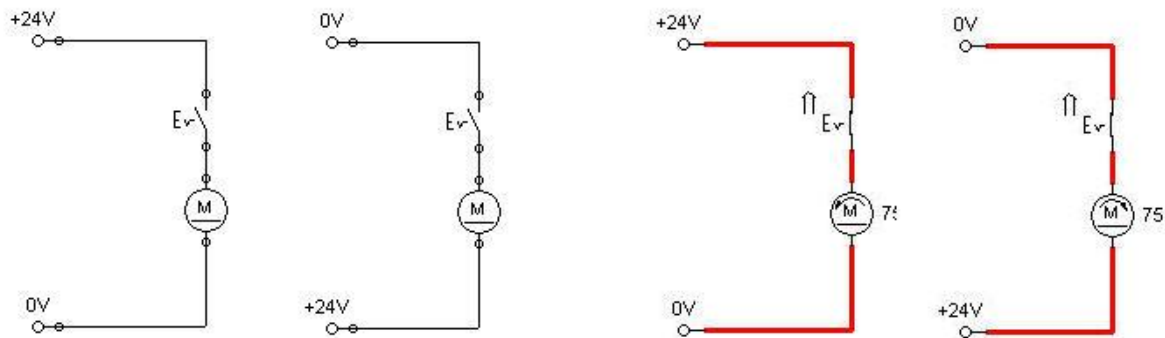


Abbildung 6.6: Drehrichtungsumkehr beim Gleichstrommotor

Weil es nicht möglich bzw. unpraktisch ist, ständig die Verdrahtung des Motors zu ändern, verwendet man die sogenannte Polwendeschalung zur Drehrichtungsumkehr bei Gleichstrommotoren (Abbildung 6.7).

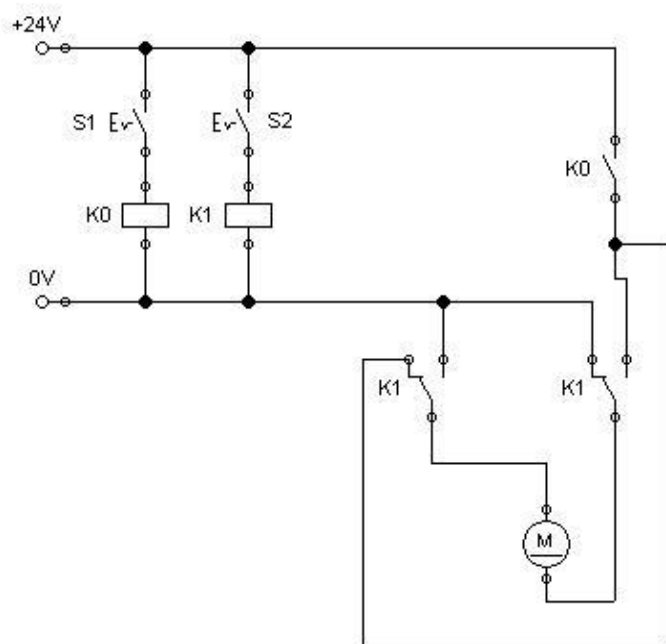


Abbildung 6.7: Polwendeschalung

Dabei wird der Motor über zwei Relais angesteuert. Das Relais K0 schaltet den Motorstrom an oder aus. Das Wechselrelais K1 polt den Motorstrom um, so dass der Motor vorwärts und rückwärts läuft.

6.1.2 Hubmagnete als einfache Stellantriebe

Ein weiterer elektrischer Antrieb ist der Hubmagnet, der für einfache Stellaufgaben geeignet ist. Hubmagnete betätigen beispielsweise die Kolbenschieber von Magnetventilen. Grundsätzlich sind sie überall dort einsetzbar, wo kleine lineare Hubbewegungen ausreichend sind.

Das Funktionsprinzip zeigt die Abbildung 6.8. Der Hubmagnet besteht im Wesentlichen aus einer Spule und einem Eisenkern. Die Spule erzeugt ein magnetisches Feld, wenn sie vom Strom durchflossen wird und übt dann eine Anziehungskraft auf den Eisenkern aus. Der Eisenkern wird dadurch in die Spule hineingezogen. Wird der Strom abgeschaltet, drückt eine Feder den Eisenkern wieder aus der Spule heraus. Eine Änderung der Stromrichtung bewirkt zwar eine andere Richtung des entstehenden magnetischen Feldes, aber der Eisenkern wird unabhängig davon immer vom Magnetfeld angezogen.

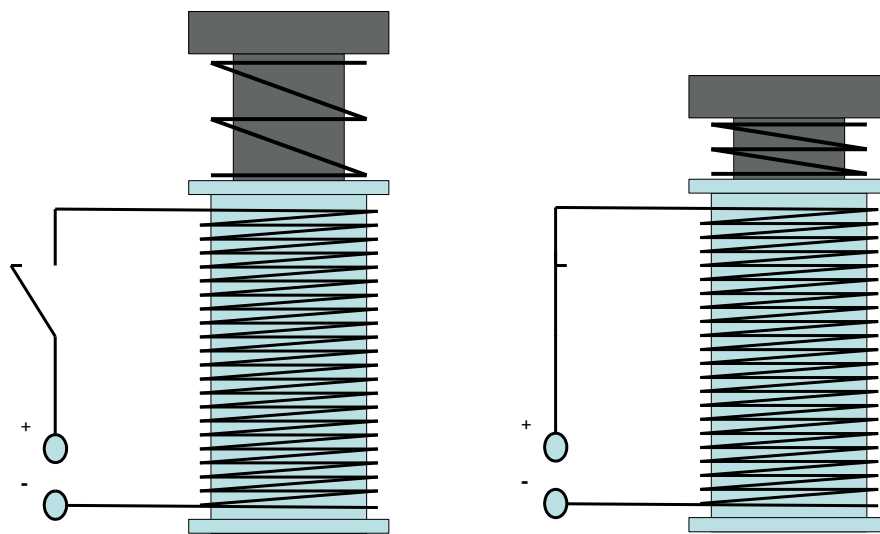


Abb. 6.8: Funktionsweise eines Hubmagneten

7 Grundlagen der Steuerungstechnik

Steuerungen sind neben den Aktoren und Sensoren ein zentrales Element der Automatisierungstechnik. Der Begriff Steuerung wird im weiten Sinne häufig stellvertretend für Einrichtungen verwendet, welche:

- Steuern,
- Regeln,
- Überwachen,
- (Prozess)-Daten sammeln,
- Kommunizieren,
- Diagnostizieren.

Unter Steuern im engeren Sinne wird in der Automatisierungstechnik das Beeinflussen eines Energie- oder Materialflusses durch eine oder mehrere Signale in einer offenen Steuerkette (DIN 19226) verstanden.

Steuerungen werden häufig für schrittweise ablaufende Vorgänge verwendet. Beispiele dafür sind das:

- Öffnen einer Tür, wenn jemand davor steht
- Schalten einer Ampel auf Rot nach einer bestimmten Zeit
- Einschalten einer Flurbeleuchtung nach Drücken des Lichtschalters und automatisches Abschalten nach einer bestimmten Zeit.

Solche Steuerungen sind durch einen offenen Verlauf gekennzeichnet, d.h. die Eingangsgröße (x) wird nicht durch die gesteuerte Ausgangsgröße (y) beeinflusst. Die Steuerung kann nicht auf mögliche Störgrößen reagieren. Im Beispiel drei bedeutet dies, die offene Zeitsteuerung der Flurbeleuchtung schaltet nach der vorgegebenen Zeit das Licht aus unabhängig davon ob die Person, die den Lichtschalter gedrückt hat und damit den Prozess auslöste, die Wohnungstür erreicht hat oder nicht. Eine offene Steuerkette wird wie in Abbildung 7.1 dargestellt.

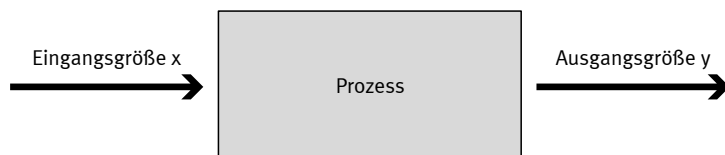


Abbildung 7.1: Offene Steuerkette

Eine Regelung dagegen erfasst permanent die Ausgangsgrößen(y) des Prozesses, vergleicht sie mit den Eingangsgrößen(x) und regelt dann den Prozess im Sinne einer Angleichung von Ausgangs- und Eingangsgröße selbstständig nach. Sie verfügt über einen geschlossenen Regelkreis und kann auf Störgrößen reagieren. Regelvorgänge sind meist kontinuierliche Vorgänge, bei denen die Ausgangsgröße auf einen bestimmten Wert gehalten werden soll. Beispiele hierfür sind:

- Wassertemperaturregelung im Aquarium
- Geschwindigkeitsregelung (Tempomat) in Kraftfahrzeugen
- Drehzahlregelung an einem Elektromotor

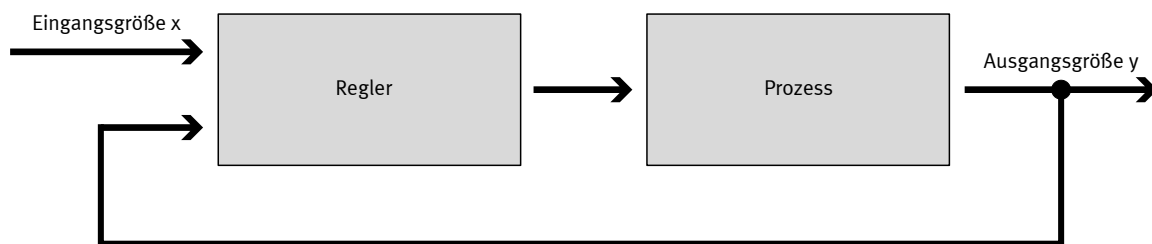


Abbildung 7.2: Geschlossener Regelkreis

In der Automatisierungstechnik werden viele Bezeichnungen für Steuerungstypen mit speziellen Funktionen geprägt. Einige Beispiele dafür sind:

- VPS – Verbindungsprogrammierten Steuerungen
VPS sind Steuerungen bei denen die Steuerungslogik oder das „Programm“ durch die Verbindung von Relais zustande kommt. Ein Beispiel dafür sind Kontaktsteuerungen. Sie sind meist aus Relais aufgebaut und werden für einfache Steuerungsprobleme eingesetzt. Ein typisches Einsatzgebiet dieser Steuerung ist die Ansteuerung von Elektromotoren.
- SPS – Speicherprogrammierbare Steuerungen (vgl. Abbildung 7.3)
SPS wurden entwickelt, um die wenig flexiblen Kontaktsteuerungen abzulösen. Sie bestehen aus einem Computer mit speziellen Ein- und Ausgangsbausteinen. Das Programm wird nicht durch die Verknüpfung einzelner Relais festgelegt, sondern liegt leicht veränderbar im Speicher der Steuerung. SPS verarbeiten hauptsächlich binäre Signale.
Im Lern- und Mediensystem MecLab® wird die echte SPS durch eine simulierte SPS in der Software FluidSIM® ersetzt. In FluidSIM® können neben Speicherprogrammierbaren Steuerungen auch Kontaktsteuerungen simuliert werden.
- CNC – Computerized Numerical Control
Diese Steuerungen werden zur Steuerung von Werkzeugmaschinen, also z.B. Bohr-, Fräs- und Drehmaschinen, eingesetzt. Die ersten automatischen Werkzeugmaschinen nutzten Holzmodelle, die abgetastet wurden und deren Form so auf das Werkstück übertragen wurde. Das Holzmodell wurde dann durch ein numerisches Modell ersetzt, bei dem die Koordinaten des Werkstücks in Form von zumeist dualen Zifferncodes gespeichert sind (daher Numerical Control). Hauptaufgabe der CNC-Steuerung ist die Umsetzung des mit Hilfe einer Software erstellten Computermodells des Werkstückes in einen Bewegungsablauf für das Werkzeug.
- RC – Robot Control
Robotersteuerungen sind speziell für die Steuerung von Industrierobotern entwickelt worden, ansonsten sind sie im Aufbau den CNC-Steuerungen ähnlich.

7.1 Aufbau und Funktionsweise einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS)

Weil die SPS die am häufigsten eingesetzte und auch die einfachste Steuerung ist, wird sie im folgenden näher betrachtet.



Abbildung 7.3: Speicherprogrammierbare Steuerung (Fa. Festo)

Hauptbestandteil einer SPS ist ein Mikroprozessorsystem. Durch die Programmierung des Mikroprozessors wird festgelegt:

- welche Steuerungseingänge (E1, E2, usw.) in welcher Reihenfolge eingelesen werden
- wie diese Eingangssignale verknüpft werden
- auf welche Ausgänge (A1, A2, usw.) die Ergebnisse der Signalverarbeitung ausgegeben werden

Bei einer SPS wird das Verhalten der Steuerung demnach nicht durch die Verschaltung von elektrischen Bauelementen (Hardware), sondern durch ein Programm (Software) bestimmt.

Abbildung 7.4 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer SPS.

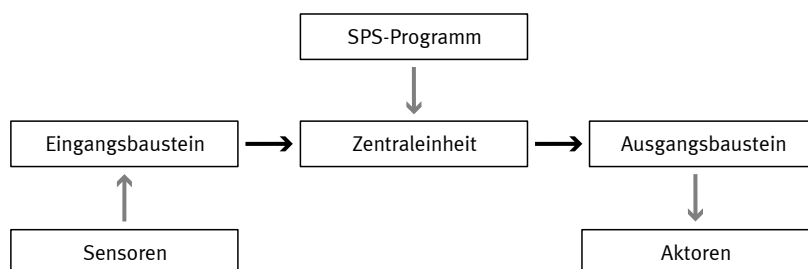


Abbildung 7.4: Systemkomponenten einer SPS

7.2 Mathematische Grundlagen – Logische Grundverknüpfungen

7.2.1 Allgemeines

Grundlage der meisten Steuerungen sind logische Grundfunktionen. Daher wird im Folgenden ein Überblick über die wichtigsten logischen Grundfunktionen gegeben. Logische Funktionen können in Tabellenform, in Form von Gleichungen, mit Relaischaltungen (Verknüpfungen) oder mit Logiksymbolen dargestellt werden (vgl. Kapitel 7.2.6). Logiksymbole werden in einer SPS zur Programmerstellung benutzt.

7.2.2 Identität (JA-Funktion)

Bei dem abgebildeten Taster handelt es sich um einen Schließer. Ist dieser nicht betätigt, so leuchtet die Lampe P1 nicht. Wird er dagegen betätigt, so leuchtet die Lampe P1.

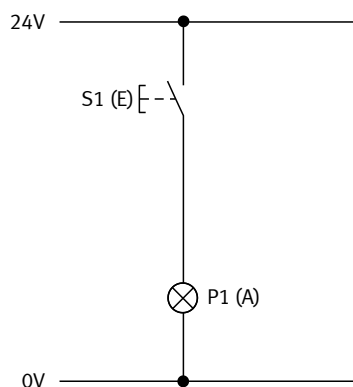


Abbildung 7.5 Schaltplan (Identität)

Als Signaleingang fungiert der Taster S1, den Ausgang bildet die Lampe. Den gegebenen Sachverhalt kann man in einer Funktions- oder Wertetabelle erfassen:

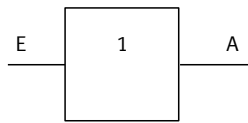
E	A
0	0
1	1

Funktionstabelle (Identität)

Damit lautet die Boolesche Gleichung:

$$E = A$$

Als logisches Bildzeichen (Symbol) der Identität gilt:



7.2.3 Negation (NICHT-Funktion)

Bei dem abgebildeten Taster handelt es sich um einen Öffner. Ist dieser nicht betätigt, so leuchtet die Lampe P1, wird er dagegen betätigt, so erlischt Lampe P1.

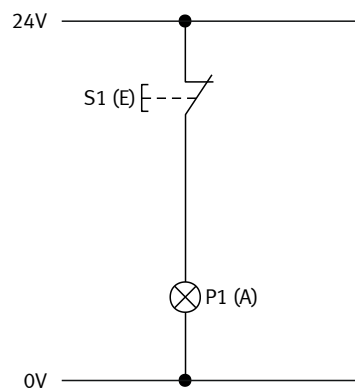


Abbildung 7.6 Schaltplan (Negation)

Als Signaleingang fungiert der Taster S1, den Ausgang bildet die Lampe. Den gegebenen Sachverhalt kann man in einer Funktions- oder Wertetabelle erfassen:

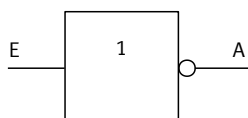
E	A
0	1
1	0

Funktionstabelle (Negation)

Damit lautet die Boolesche Gleichung:

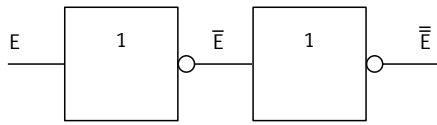
$$\bar{E} = A \quad (\text{lies: Nicht E gleich A})$$

Als logisches Bildzeichen (Symbol) gilt:



Werden 2 Negationen hintereinander geschaltet (Negation der Negation), so heben sich diese auf.

$$\bar{\bar{E}} = E$$



Zwei verknüpfte NICHT-Funktionen

7.2.4 Konjunktion (UND-Funktion)

Schaltet man zwei Schließer in Reihe, so leuchtet die angesteuerte Lampe nur dann, wenn beide Taster betätigt sind.

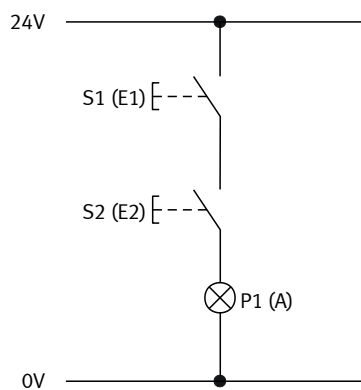


Abbildung 7.7 Schaltplan (Konjunktion)

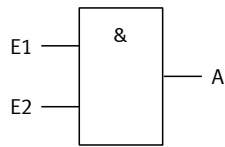
E1	E2	A
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Funktionstabelle (Konjunktion)

Die Funktionstabelle belegt den Zusammenhang. Der Ausgang wird erst dann 1, wenn sowohl Eingang 1 als auch Eingang 2 ein "1"-Signal aufweisen. Man spricht in diesem Fall von einer UND-Verknüpfung. Diese besitzt als Gleichung folgendes Aussehen:

$$E1 \wedge E2 = A$$

Als logisches Bildzeichen (Symbol) gilt:



Des Weiteren gelten für die Konjunktion folgende Rechenregeln:

$$a \wedge 0 = 0$$

$$a \wedge 1 = a$$

$$a \wedge \bar{a} = 0$$

$$a \wedge a = a$$

7.3 Disjunktion (ODER-Funktion)

Als weitere logische Grundfunktion gilt das ODER. Werden 2 Schließer parallel zueinander geschaltet, so leuchtet die Lampe immer dann, wenn mindestens ein Taster geschlossen wird.

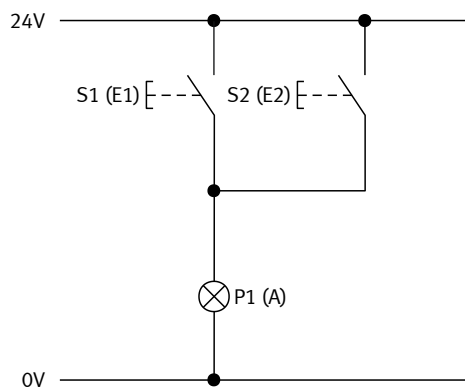


Abbildung 7.8 Schaltplan (Disjunktion)

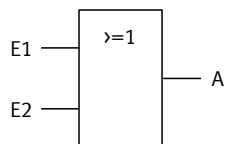
E1	E2	A
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Funktionstabelle (Disjunktion)

Als Gleichung sieht die ODER-Verknüpfung wie folgt aus:

$$E1 \vee E2 = A$$

Als logisches Bildzeichen (Symbol) gilt:



Folgende Rechenregeln gelten im Weiteren für die ODER-Verknüpfung:

$$a \vee 0 = a$$

$$a \vee 1 = 1$$

$$a \vee a = a$$

$$a \vee \bar{a} = 1$$

7.3.1 Weitere logische Verknüpfungen

Die Realisierung der NICHT-/UND-/ODER-Funktion mit Hilfe elektrotechnischer Schaltungen wurde bereits dargestellt. Natürlich lässt sich jede der Funktionen auch pneumatisch oder elektronisch realisieren. Darüber hinaus kennt die Boolesche Algebra noch weitere logische Funktionen. Nachfolgende Tabelle soll darüber einen Überblick geben.

Benennung	Funktionstabelle	Gleichung	Symbol nach EN 60617-12	Darstellung nach ISO 1219-1 pneumatisch	Darstellung nach EN 60617-7 elektrisch															
Identität	<table><tr><td>I</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I	Q	0	0	1	1	$Q=I$												
I	Q																			
0	0																			
1	1																			
Negation	<table><tr><td>I</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I	Q	0	1	1	0	$Q=\bar{I}$												
I	Q																			
0	1																			
1	0																			
Konjunktion (UND)	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$Q=I1 \wedge I2$			
I1	I2	Q																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		
Disjunktion (ODER)	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	$Q=I1 \vee I2$			
I1	I2	Q																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	1																		

Tabelle 7.1: Logische Verknüpfungen

Benennung	Funktionstabelle	Gleichung	Symbol nach EN 60617-12	Darstellung nach ISO 1219-1 pneumatisch	Darstellung nach EN 60617-7 elektrisch																				
Inhibition	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	$Q = I1 \wedge \bar{I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	0																							
0	1	0																							
1	0	1																							
1	1	0																							
Implikation	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	$Q = I1 \vee \bar{I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	1																							
0	1	0																							
1	0	1																							
1	1	1																							
NOR	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$Q = \overline{I1 \vee I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	1																							
0	1	0																							
1	0	0																							
1	1	0																							
NAND	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$Q = \overline{I1 \wedge I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	1																							
0	1	1																							
1	0	1																							
1	1	0																							
Speicher	<table><tr><td>S</td><td>R</td><td>Q</td><td>\bar{Q}</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>q^{n-1}</td><td>\bar{q}^{n-1}</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	S	R	Q	\bar{Q}	0	0	q^{n-1}	\bar{q}^{n-1}	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1				
S	R	Q	\bar{Q}																						
0	0	q^{n-1}	\bar{q}^{n-1}																						
0	1	0	1																						
1	0	1	0																						
1	1	0	1																						

Tabelle 7.1: Logische Verknüpfungen (Fortsetzung)

7.4 Beispiele für den Aufbau einer Steuerung

Der Signale verarbeitende Teil einer elektropneumatischen Steuerung umfasst drei Funktionsblöcke. Sein Aufbau ist beispielhaft in Abbildung 7.9 dargestellt.

- Die Signaleingabe erfolgt durch Sensoren bzw. durch Tast- und Stellschalter. In Abbildung 7.9 werden zwei Näherungsschalter (1B1/1B2) zur Signaleingabe verwendet.
- Die Signalverarbeitung erfolgt meist über eine Relais- oder eine speicherprogrammierbare Steuerung. Andere Formen der Signalverarbeitung haben in der Automatisierungspraxis eine wesentlich geringere Bedeutung. In Abbildung 7.9 übernimmt eine Relaissteuerung (K1/K2) die Signalverarbeitung.
- Die Signalausgabe geschieht mittels elektromagnetisch betätigter Wegeventile (1M1/1M2).

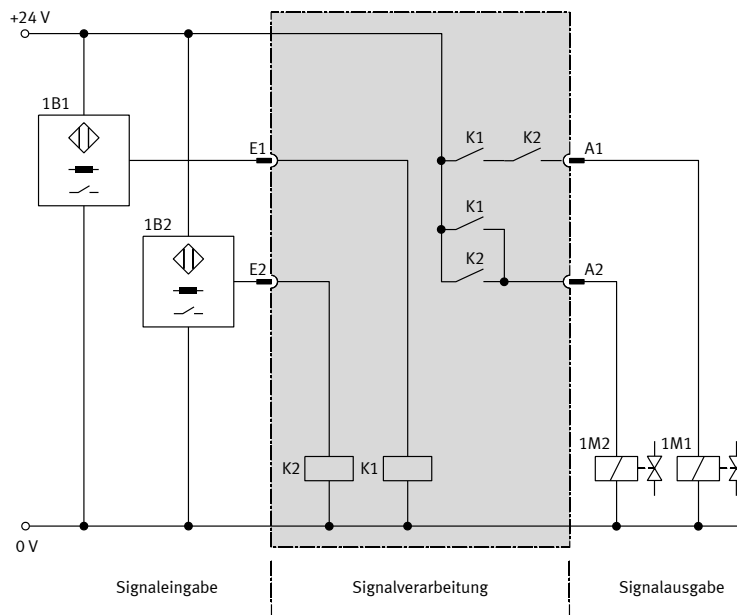


Abbildung 7.9: Signalsteuerteil mit Relaissteuerung (schematisch, Schaltplan nicht normgerecht)

Funktionsbeschreibung der Relaissteuerung in Abbildung 7.9:

- Die Bauelemente zur Signaleingabe, die induktiven Näherungsschalter 1B1 und 1B2, werden über die Steuerungseingänge (E1, E2, usw.) mit den Relaispulen (K1, K2, usw.) verbunden.
- Die Signalverarbeitung wird durch geeignete Verschaltung von mehreren Relaispulen und Relaiskontakten realisiert. In diesem Fall sind die Relaiskontakte zum Ausgang A1 als UND sowie die Kontakte zum Ausgang A2 als ODER- Verknüpfung verschaltet.
- Die Bauelemente zur Signalausgabe, Wegeventil-Magnetspulen 1M1 und 1M2, werden an die Steuerungsausgänge (A1, A2 usw.) angeschlossen. Sie werden über die Kontakte der Relais K1 und K2 betätigt.

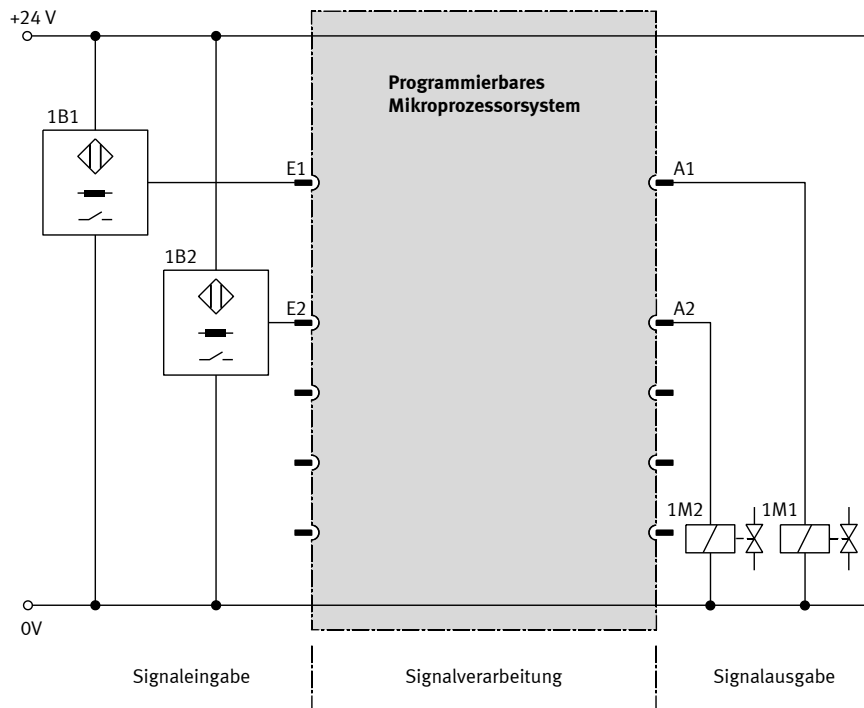


Abbildung 7.10: Signalsteuerteil mit speicherprogrammierbarer Steuerung (SPS)

In Abbildung 7.10 ist der Signalsteuerteil einer elektropneumatischen Steuerung dargestellt, bei der eine speicherprogrammierbare Steuerung zur Signalverarbeitung eingesetzt wird.

- Die Bauelemente zur Signaleingabe (in Abb. 7.10: die induktiven Näherungsschalter 1B1 und 1B2) sind mit den Eingängen der SPS (E1, E2) verbunden.
- Das programmierbare Mikroprozessorsystem der SPS übernimmt sämtliche Aufgaben der Signalverarbeitung.
- Die Bauelemente zur Signalausgabe (in Abb. 7.10: Wegeventil-Magnetspulen 1M1 und 1M2) sind mit den Ausgängen der SPS (A1, A2) verbunden. Die Betätigung erfolgt durch eine elektronische Schaltung, die Bestandteil des Mikroprozessorsystems ist.

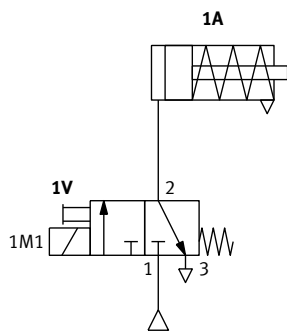
8 Anwendungen von Relais in der Elektropneumatik

Mit Relais lässt sich die komplette Signalverarbeitung einer elektropneumatischen Steuerung realisieren. Relaissteuerungen wurden früher in großen Stückzahlen hergestellt. Ihre Hauptvorteile sind ihr anschaulicher Aufbau und die leicht verständliche Funktionsweise. Da sie relativ zuverlässig funktionieren, sind Relaissteuerungen auch heute noch im industriellen Einsatz zu finden, z.B. in NOT-AUS-Schaltgeräten. Zunehmend werden sie aber durch speicherprogrammierbare Steuerungen zur Signalverarbeitung ersetzt.

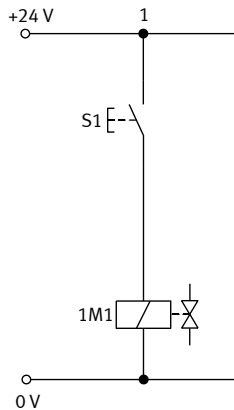
8.1 Direkte und indirekte Ansteuerungen mit Relais

Die Kolbenstange eines einfachwirkenden Zylinders soll bei Betätigung des Tasters S1 ausfahren und bei Loslassen des Tasters wieder einfahren. Abbildung 8.1a zeigt den zugehörigen pneumatischen Schaltplan.

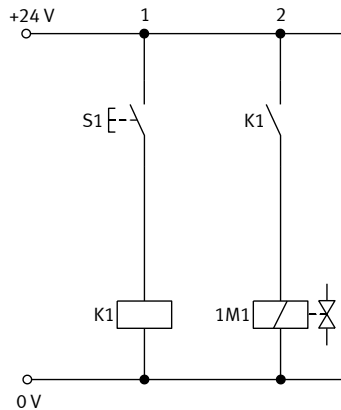
a)



b)



c)



a) pneumatischer Schaltplan

b) elektrischer Schaltplan für die direkte Steuerung

c) elektrischer Schaltplan für die indirekte Steuerung

Abbildung 8.1: Schaltpläne für die Steuerung eines einfach wirkenden Zylinders

8.1.1 Direkte Steuerung eines einfachwirkenden Zylinders

Der elektrische Schaltplan für die direkte Steuerung des einfachwirkenden Zylinders ist in Abbildung 8.1b dargestellt. Wird der Taster betätigt, fließt Strom durch die Magnetspule 1M1 des 3/2-Wegeventils. Der Elektromagnet zieht an, das Ventil schaltet in die betätigte Stellung und die Kolbenstange fährt aus. Ein Loslassen des Tasters führt zur Unterbrechung des Stromflusses. Der Elektromagnet fällt ab, das Wegeventil schaltet in die Grundstellung und die Kolbenstange fährt wieder ein.

8.1.2 Indirekte Steuerung eines einfachwirkenden Zylinders

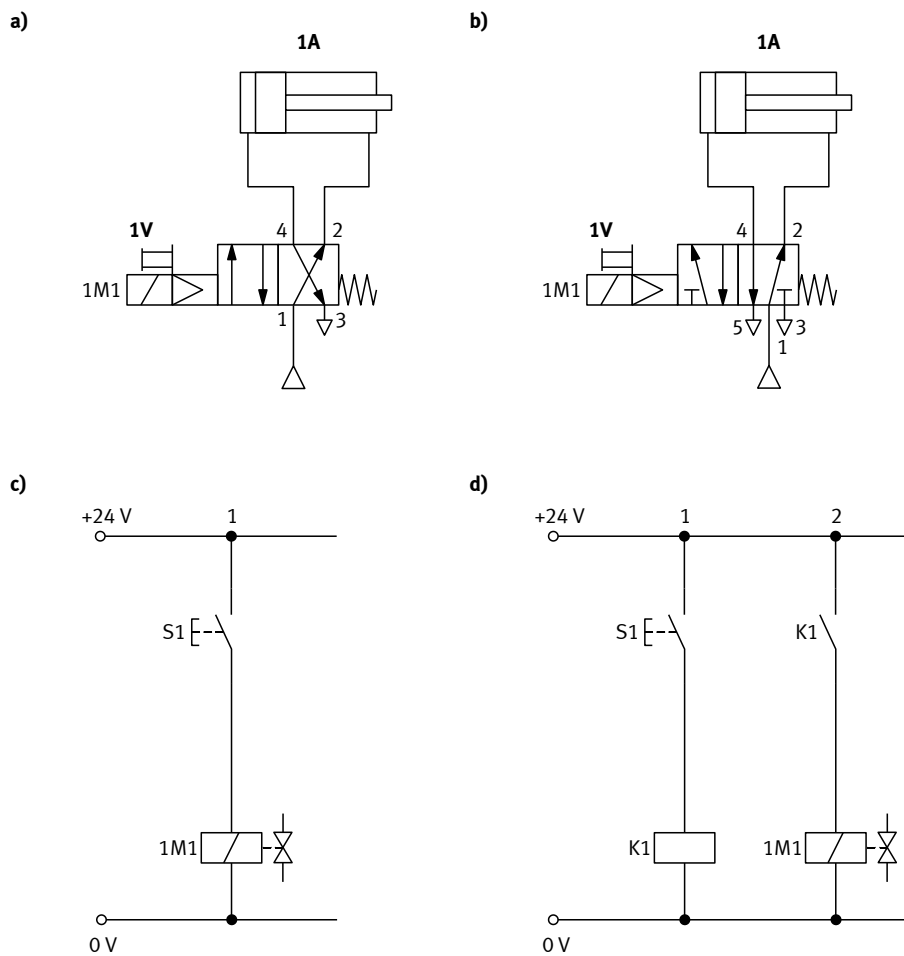
Wird der Taster bei der indirekten Steuerung betätigt (Abbildung 8.1c), fließt Strom durch die Relaispule. Der Kontakt K1 des Relais schließt und das Wegeventil schaltet. Die Kolbenstange fährt aus.

Durch das Loslassen des Tasters wird der Stromfluss durch die Relaispule unterbrochen. Das Relais fällt ab und das Wegeventil schaltet in die Grundstellung. Die Kolbenstange fährt ein. Das Ergebnis ist zunächst das Gleiche wie bei der direkten Steuerung. Die aufwendigere, indirekte Ansteuerung wird immer dann eingesetzt, wenn:

- Steuerstromkreis und Hauptstromkreis mit unterschiedlichen Spannungen arbeiten (z. B. 24 V und 230 V)
- der Strom durch die Spule des Wegeventils den für den Taster zulässigen Strom übersteigt (z. B. Strom durch die Spule: 0,5 A; zulässiger Strom durch den Taster: 0,1 A)
- mit einem Taster oder mit einem Stellschalter mehrere Ventile geschaltet werden
- umfangreiche Verknüpfungen zwischen den Signalen der verschiedenen Taster erforderlich sind

8.1.3 Steuerung eines doppeltwirkenden Zylinders

Die Kolbenstange eines doppeltwirkenden Zylinders soll bei Betätigung des Tasters S1 ausfahren und beim Loslassen des Tasters einfahren.



- a) pneumatischer Schaltplan mit 4/2-Wegeventil
- b) pneumatischer Schaltplan mit 5/2-Wegeventil
- c) elektrischer Schaltplan mit direkter Steuerung
- d) elektrischer Schaltplan mit indirekter Steuerung

Abbildung 8.2: Schaltpläne für die Steuerung eines doppeltwirkenden Zylinders

Der elektrische Signalsteuerteil bleibt gegenüber der Steuerung des einfachwirkenden Zylinders unverändert. Da zwei Zylinderkammern entlüftet bzw. belüftet werden müssen, kommt entweder ein 4/2- oder ein 5/2-Wegeventil zum Einsatz (Abbildung 8.2a bzw. 8.2b).

Die Bezeichnung 4/2- bzw. 5/2-Wegeventil bezeichnet die Anzahl der Anschlüsse (4 oder 5) und der Schaltstellungen (2) des Ventils.

8.2 Logische Verknüpfungen mit Relais

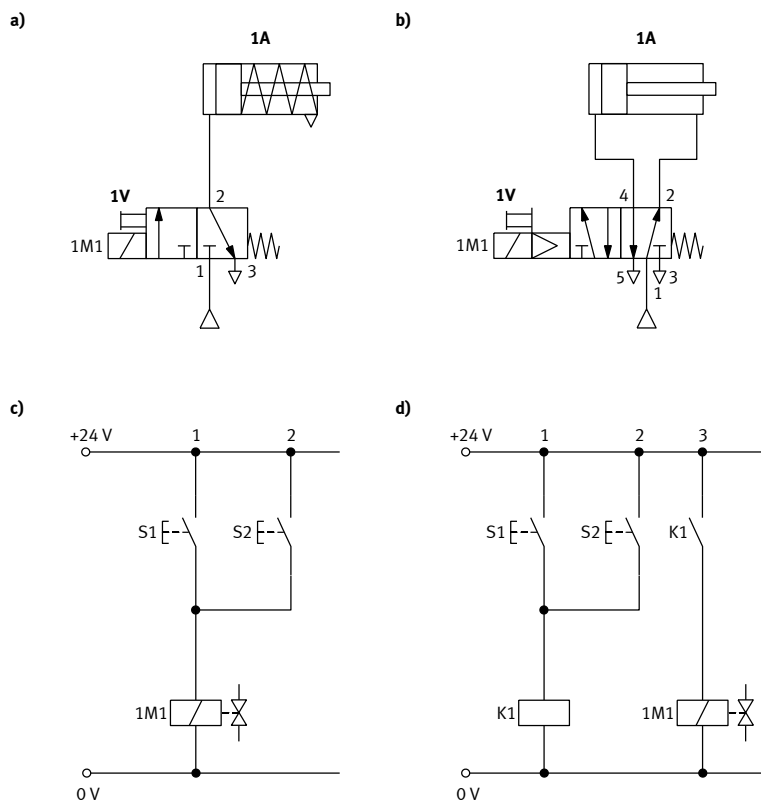
Um die technisch gewünschten Bewegungen von Pneumatikzylindern zu realisieren, müssen häufig Signale von mehreren Bedienelementen miteinander verknüpft werden.

8.2.1 Parallelschaltung (ODER-Verknüpfung)

Das Ausfahren der Kolbenstange eines Zylinders soll mit zwei unterschiedlichen Eingabeelementen, den Tastern S1 und S2, unabhängig voneinander ausgelöst werden.

Dazu sind die Kontakte der beiden Taster im Schaltplan parallel angeordnet (Abbildung 8.3c bzw. 8.3d).

- Solange kein Taster betätigt ist ($S1 \wedge S2 = 0$), bleibt das Wegeventil in der Grundstellung. Die Kolbenstange ist eingefahren.
- Wird mindestens einer der beiden Taster betätigt ($S1 \vee S2 = 1$), schaltet das Wegeventil in die betätigte Stellung. Die Kolbenstange fährt aus.
- Werden beide Taster freigegeben und damit geöffnet ($S1 \wedge S2 = 0$), schaltet das Ventil in die Grundstellung. Die Kolbenstange fährt ein.



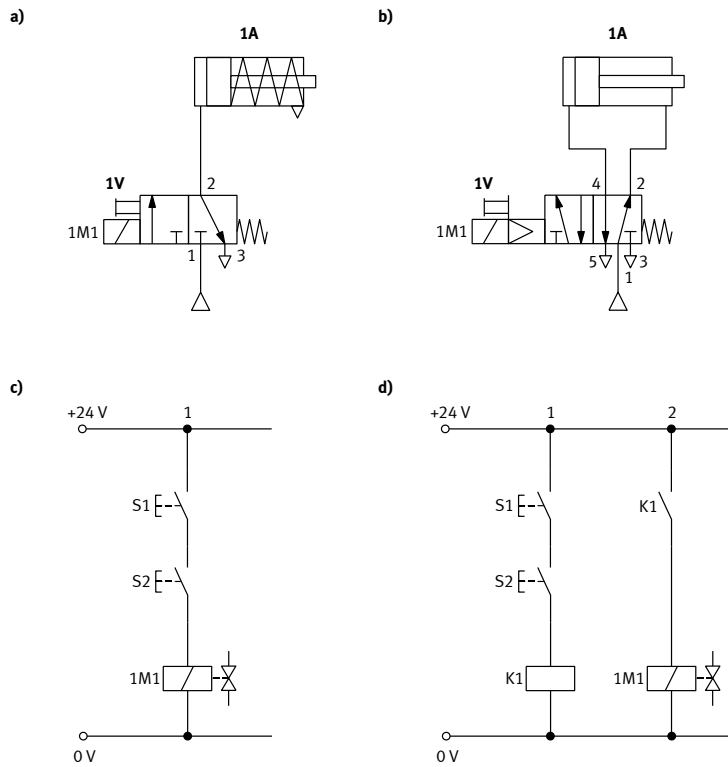
- a) pneumatischer Schaltplan mit einfach wirkendem Zylinder
 b) pneumatischer Schaltplan mit doppeltwirkendem Zylinder
 c) elektrischer Schaltplan mit direkter Steuerung
 d) elektrischer Schaltplan mit indirekter Steuerung

Abbildung 8.3: Parallelschaltung von zwei Kontakten (ODER-Verknüpfung)

8.2.2 Reihenschaltung (UND-Verknüpfung)

Die Kolbenstange eines Zylinders soll nur dann ausfahren, wenn beide Taster S1 und S2 betätigt werden. Dazu sind die Kontakte der beiden Taster im Schaltplan in Reihe angeordnet (Abbildung 8.4c bzw. 8.4d).

- Solange keiner oder nur einer der beiden Taster betätigt wird ($S1 \vee S2 = 0$), bleibt das Ventil in der Grundstellung. Die Kolbenstange ist eingefahren.
- Sind beide Taster gleichzeitig betätigt ($S1 \wedge S2 = 1$), schaltet das Wegeventil. Die Kolbenstange fährt aus.
- Wird mindestens einer der beiden Taster losgelassen ($S1 \vee S2 = 0$), schaltet das Ventil in die Grundstellung. Die Kolbenstange fährt ein.



- a) pneumatischer Schaltplan mit einfachwirkendem Zylinder
 b) pneumatischer Schaltplan mit doppeltwirkendem Zylinder
 c) elektrischer Schaltplan mit direkter Steuerung
 d) elektrischer Schaltplan mit indirekter Steuerung

Abbildung 8.4: Reihenschaltung von zwei Kontakten (UND-Verknüpfung)

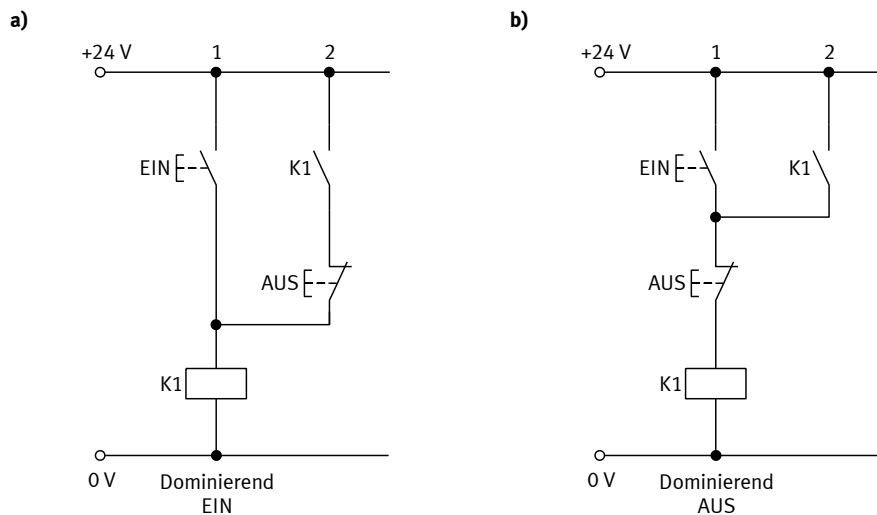
8.3 Signalspeicherung mit Relais und Magnetimpulsventil

Bei den bisher behandelten Schaltungen fährt die Kolbenstange nur aus, solange der Eingabetaster betätigt ist. Wird der Taster während des Ausfahrvorgangs losgelassen, fährt die Kolbenstange ein, ohne die vordere Endlage erreicht zu haben.

8.3.1 Signalspeicherung durch eine Relaisschaltung mit Selbsthaltung

Aus Gründen der Effektivität ist es in der Praxis meistens erforderlich, dass die Kolbenstange auch dann vollständig ausfährt, wenn der Taster durch den Bediener nur kurzzeitig betätigt wird. Dazu muss das Wegeventil auch nach Loslassen des Tasters in der angestrebten Position bleiben, d.h.: Die Betätigung des Tasters muss gespeichert werden.

Wird der Taster “EIN” der Schaltung in Abbildung 8.5a betätigt, so wird die Relaispule erregt. Das Relais zieht an und der Kontakt K1 schließt. Nach Freigabe des “EIN”-Tasters fließt über den Kontakt K1 weiterhin Strom durch die Spule und das Relais bleibt in der betätigten Stellung. Das “EIN”-Signal ist gespeichert. Es handelt sich um eine Relaisschaltung mit Selbsthaltung.



- a) dominierend setzend
- b) dominierend rücksetzend

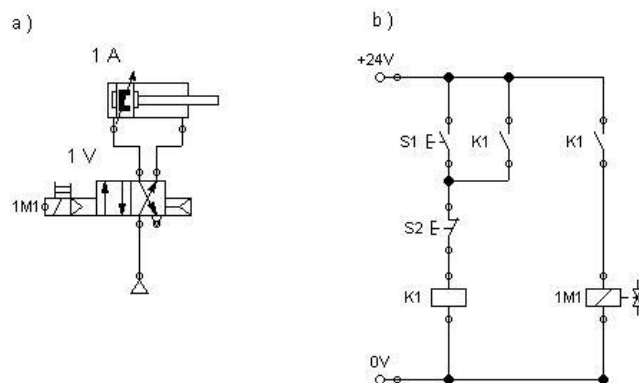
Abbildung 8.5: Selbsthalteschaltung mit Relais

Erst durch Betätigung des “AUS”-Tasters wird der Stromfluss unterbrochen und das Relais fällt ab. Werden die Taster “EIN” und “AUS” gleichzeitig betätigt, so wird die Relaispule erregt. Die Schaltung wird als dominierend (EIN) setzende Selbsthaltung bezeichnet.

Die Schaltung in Abbildung 8.5b zeigt das gleiche Verhalten wie die Schaltung in Abbildung 8.5a, sofern nur der Taster “EIN” oder nur der Taster “AUS” betätigt wird. Bei Betätigen beider Taster weicht das Verhalten ab: Die Relaispule wird nicht erregt. Diese Schaltung wird als dominierend rücksetzende Selbsthaltung bezeichnet.

8.3.2 Manuelle Vorhub- und Rückhubsteuerung über Relais mit Selbsthaltung

Die Kolbenstange eines Zylinders soll bei Betätigung des Tasters S1 ausfahren, bei Betätigung des Tasters S2 einfahren. Zur Signalspeicherung soll ein Relais mit Selbsthaltung verwendet werden.



a) pneumatischer Schaltplan mit doppeltwirkendem Zylinder

b) elektrischer Schaltplan

Abbildung 8.6: Manuelle Vor- und Rückhubsteuerung mit Signalspeicherung durch ein selbsthaltendes Relais

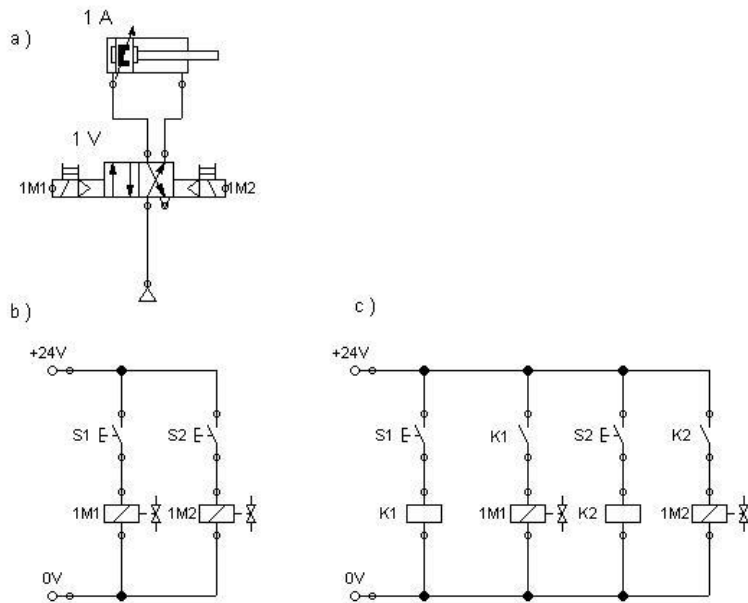
Bei Betätigung des Tasters S1 geht das Relais in die Selbsthaltung (Abbildung 8.6b). Über einen weiteren Relaiskontakt wird das Wegeventil betätigt. Die Kolbenstange fährt aus. Wird durch Betätigen des Tasters S2 die Selbsthaltung unterbrochen, fährt die Kolbenstange ein.

Da es sich um eine dominierend rücksetzende Relaischaltung handelt, führt das Betätigen beider Taster zum Einfahren der Kolbenstange bzw. zum Verharren in der hinteren Endlage.

8.3.3 Signalspeicherung durch ein Magnetimpulsventil

Ein Magnetimpulsventil ist ein Bauteil, das seine Schaltstellung auch dann beibehält, wenn die zugehörige Magnetspule nicht mehr erregt ist. Somit kann es die Funktion eines Speichers erfüllen.

Die Kolbenstange eines Zylinders soll durch ein kurzes Betätigen von zwei Tastern gesteuert werden (S1: Ausfahren, S2: Einfahren).



- a) pneumatischer Schaltplan mit doppeltwirkendem Zylinder
- b) elektrischer Schaltplan mit direkter Steuerung
- c) elektrischer Schaltplan mit indirekter Steuerung

Abbildung 8.7: Manuelle Vor- und Rückhubsteuerung mit Signalspeicherung durch Magnetimpulsventil

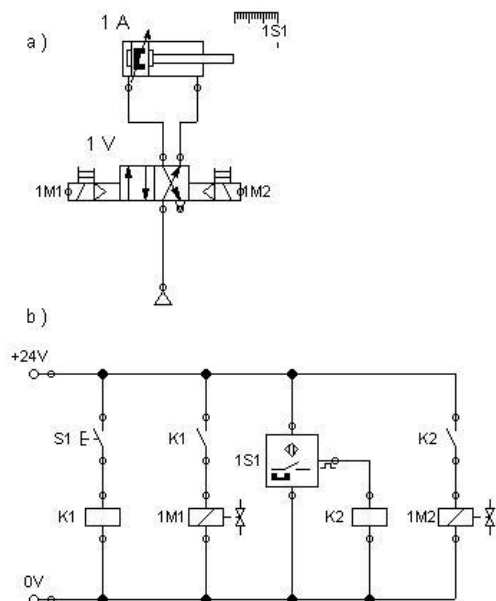
Die beiden Taster wirken direkt bzw. indirekt auf die Spulen eines Magnetimpulsventils (Abbildung 8.7b bzw. 8.7c).

Bei Betätigung des Tasters S1 zieht die Magnetspule 1M1 an. Das Magnetimpulsventil schaltet und die Kolbenstange fährt aus. Wird der Taster während des Ausfahrvorgangs losgelassen, fährt die Kolbenstange trotzdem bis zur vorderen Endlage, da das Ventil seine Schaltstellung beibehält.

Wird der Taster S2 betätigt, zieht die Magnetspule 1M2 an. Das Magnetimpulsventil schaltet erneut und die Kolbenstange fährt ein. Ein Loslassen des Tasters S2 beeinflusst den Bewegungsvorgang nicht.

8.3.4 Selbsttätige Rückhubsteuerung mit Magnetimpulsventil

Bei Betätigung des Taster S1 soll die Kolbenstange eines doppeltwirkenden Zylinders ausfahren. Nach Erreichen der vorderen Endlage muss die Kolbenstange selbsttätig wieder einfahren. Dazu wird ein magnetischer Endschalter 1S1 an der vorderen Endlage angebracht, der über das Relais K2 das Magnetventil (1M2) steuert. Die Abbildung 8.6b zeigt den Schaltplan der Rückhubsteuerung. Bei Betätigung des Tasters S1 fährt die Kolbenstange aus. Erreicht die Kolbenstange die vordere Endlage, kann über den Grenztaster 1S2 die Magnetspule 1M2 Strom erhalten (ziehen) und die Kolbenstange fährt ein.



a) pneumatischer Schaltplan

b) elektrischer Schaltplan mit indirekter Steuerung

Abbildung 8.8: Selbsttätige Rückhubsteuerung mit Signalspeicherung durch Magnetimpulsventil

8.3.5 Vergleich der Signalspeicherung von selbsthaltendem Relais und Magnetimpulsventil

Die Signalspeicherung kann im Leistungsteil der Steuerung durch ein Magnetimpulsventil oder aber im Signalsteuerteil durch ein Relais mit Selbsthaltung erfolgen. Die verschiedenen Schaltungen zeigen ein unterschiedliches Verhalten bei gleichzeitigem Vorliegen von Setz- und Rücksetzsignal sowie beim Ausfall der elektrischen Energie oder einem Defekt wie z.B. Kabelbruch (Tabelle 8.1).

Situation	Signalspeicherung durch Magnetimpulsventil	Signalspeicherung durch elektrische Selbsthaltung kombiniert mit federrückgestelltem Ventil	
		dominierend setzend	dominierend rücksetzend
Setz- und Rücksetzsignal gemeinsam	Ventilstellung unverändert	Ventil wird betätigt	Ventil geht in Ruhestellung
Ausfall der elektrischen Energieversorgung	Ventilstellung unverändert	Ventil geht in Ruhestellung	Ventil geht in Ruhestellung

Tabelle 8.1: Vergleich der Signalspeicherung durch Selbsthaltungsschaltung und Magnetimpulsventil

8.4 Verzögerungsschaltungen mit Relais

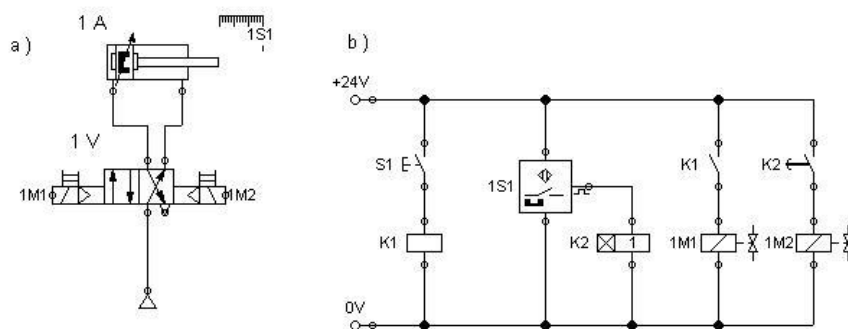
Bei vielen Anwendungen in der Automatisierungstechnik ist es erforderlich, dass die Kolbenstange eines Pneumatikzylinders für eine festgelegte Zeitspanne in einer Position verharrt. Dies gilt z. B. für den Antrieb einer Pressvorrichtung, die zwei Werkstücke solange gegeneinander drückt, bis der Klebstoff abgebunden und beide Teile unlöslich miteinander verbunden hat.

Für derartige Aufgabenstellungen werden anzugs- oder abfallverzögerte Relais eingesetzt. Das sind Relais, die mit einer vorher definierten Zeitverzögerung einen Schaltvorgang auslösen oder unterbrechen können.

8.4.1 Steuerung eines Zylinders mit Zeitablauf

Die Kolbenstange eines Zylinders soll nach einer kurzen Betätigung des Tasters S1 ausfahren, zehn Sekunden in der vorderen Endlage verharrn und anschließend selbsttätig wieder einfahren.

Die Abbildung 8.9b zeigt den elektrischen Schaltplan für ein verzögertes Einfahren. Bei Betätigung des Tasters S1 fährt die Kolbenstange aus. Ist die vordere Endlage erreicht, schließt der Grenztaster 1S1. Strom fließt durch die Spule des Relais K2. Bis die einstellbare Verzögerungszeit (hier: 1 Sekunde) abgelaufen ist, bleibt der Kontakt K2 geöffnet. Anschließend wird er geschlossen und die Kolbenstange fährt ein.



a) pneumatischer Schaltplan

b) elektrischer Schaltplan

Abbildung 8.9: Verzögertes Einfahren (anzugsverzögertes Relais, Speicherung über Magnetimpulsventil)

9 Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)

9.1 Allgemeines

Für komplexe Steuerungsprobleme werden heute vorwiegend Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) eingesetzt. Bei ihnen wird das Programm nicht durch die Verknüpfung einzelner Relais festgelegt, sondern durch eine entsprechende Software realisiert. SPS verarbeiten hauptsächlich binäre Signale.

Ihre Vorteile gegenüber den Kontakt- oder Verbindungsprogrammierten Steuerungen sind:

- Wenige Logikblöcke in der Software anstelle vieler realer Relais,
- geringerer Verdrahtungsaufwand,
- flexiblere Möglichkeit die Programme schnell und effektiv zu ändern,
- einfachere Fehlersuche,
- wesentlich kostengünstiger.

Im Lernsystem MecLab® wird anstelle einer echten Speicherprogrammierbaren Steuerung eine in der Software FluidSIM® simulierte SPS benutzt. Die Programmierung entspricht aber im Wesentlichen der einer einfachen Standard-SPS, wie zum Beispiel der in Abbildung 9.1 dargestellten Siemenssteuerung „LOGO!“.

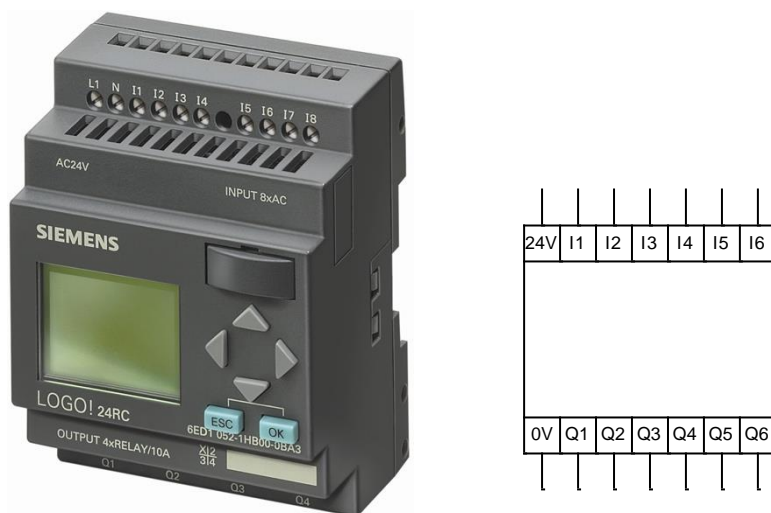


Abbildung 9.1: Bild der SPS „LOGO!“ von Siemens sowie das entsprechende Symbol in FluidSIM®

9.2 Logische Symbole der Steuersoftware FluidSIM®

Steuerungen können nur dann technisch sinnvoll eingesetzt werden, wenn ihre Abläufe genau zum richtigen Zeitpunkt, an der exakten Position und in der richtigen Reihenfolge erfolgen. Dazu ist neben einer zuverlässigen Hardware eine Software notwendig, mit der komplexe technische Abläufe geplant, aber auch gesteuert werden können und die eine Benutzeroberfläche besitzt, die internationale Standards beachtet. Die Software FluidSIM® entspricht diesen Anforderungen.

FluidSIM® bietet drei Möglichkeiten zur Entwicklung einer Steuerung:

- pneumatische Schaltkreise,
- elektrische Schaltkreise,
- logische Schaltkreise.

Alle diese Schaltkreisarten sind miteinander kombinierbar und der Simulationsmodus ermöglicht die Erprobung von Steuerungsfunktionen, bevor sie am realen Modul verwirklicht werden. So können durch rechtzeitige Überprüfung der entwickelten Lösung am Computer Schäden am Technischen System vermieden werden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Logiksymbole, die in FluidSIM® zur Verfügung stehen.

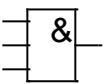
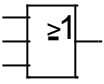
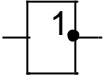
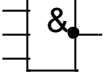
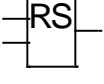
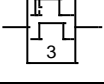
Symbol	Bezeichnung	Funktion
	UND	Schaltet den Ausgang auf 1, wenn alle Eingänge 1 sind. Nicht belegte Eingänge sind immer 1.
	ODER	Schaltet den Ausgang auf 1, wenn mindestens 1 Eingang 1 ist. Nicht belegte Eingänge sind immer 0.
	NICHT	Invertiert den Eingang.
	NICHT UND (NAND)	Schaltet den Ausgang auf 0, wenn alle Eingänge 1 sind. Nicht belegte Eingänge sind immer 1.
	Selbthalteglied	Schaltet den Ausgang auf 1, wenn der obere Eingang auf 1 gesetzt wird. Der Ausgang wird erst wieder auf 0 gesetzt, wenn der untere Eingang auf 1 gesetzt wird.
	Ein-/Ausschaltverzögerung	Wenn der Eingang auf 1 gesetzt wird, wird der Ausgang nach Ablauf der ersten eingestellten Zeit auf 1 gesetzt und nach Ablauf der zweiten eingestellten Zeit wieder auf 0 gesetzt.

Tabelle 9.1: Logiksymbole in FluidSIM®



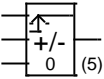
Symbol	Bezeichnung	Funktion
	Zeitschaltuhr	Der Ausgang wird nach Ablauf der Einschaltzeit auf 1 und nach Ablauf der Ausschaltzeit wieder auf 0 gesetzt. Der Vorgang kann wiederholt werden.
	Merker	Der Ausgang nimmt den Wert des Eingangs an. Erforderlich, weil manche Logikblöcke nicht mit dem Ausgang eines anderen Logikblockes verbunden werden dürfen.
	Zähler	Zählt, wie oft am mittleren Eingang der Wert 1 angelegt wurde. Nach Erreichen einer voreingestellten Anzahl von Zählimpulsen wird der Ausgang auf 1 gesetzt. Mit dem unteren Eingang kann die Richtung des Zählens eingestellt werden (vorwärts / rückwärts), mit dem oberen Eingang kann der Zähler zurückgesetzt werden.

Tabelle 9.1: Logiksymbole in FluidSIM® (Fortsetzung)

9.3 Programmierung einer Verknüpfungssteuerung mit SPS

9.3.1 Beispiel 1: Selbsthaltung

In Abbildung 9.2 ist eine Schaltung mit doppelwirkendem Zylinder und monostabilen 4/2 Wege-Ventil dargestellt. Dazu soll ein SPS-Programm erstellt werden, das die Kolbenstange ausfahren lässt, wenn ein Taster T1 betätigt wird. Die Kolbenstange soll wieder einfahren, wenn die hintere Endlage mit dem Näherungsschalter 1S1 erreicht wurde.

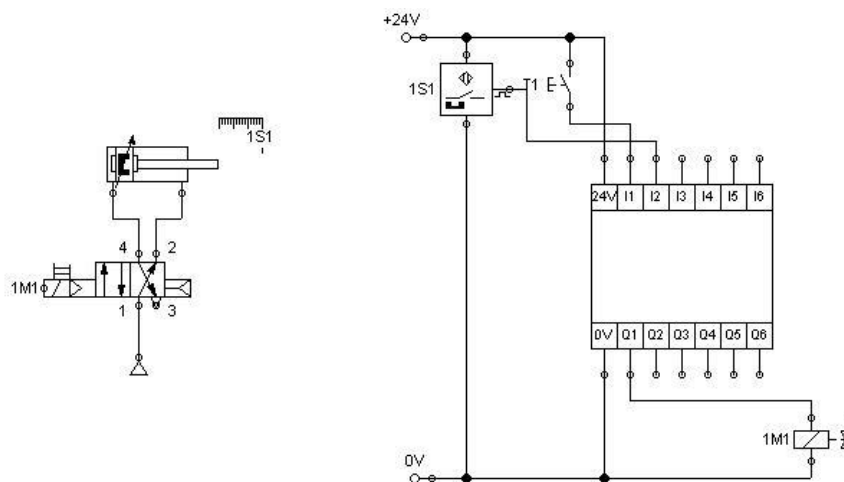


Abbildung 9.2: Pneumatischer Schaltplan mit Magnetventil und Endschalter

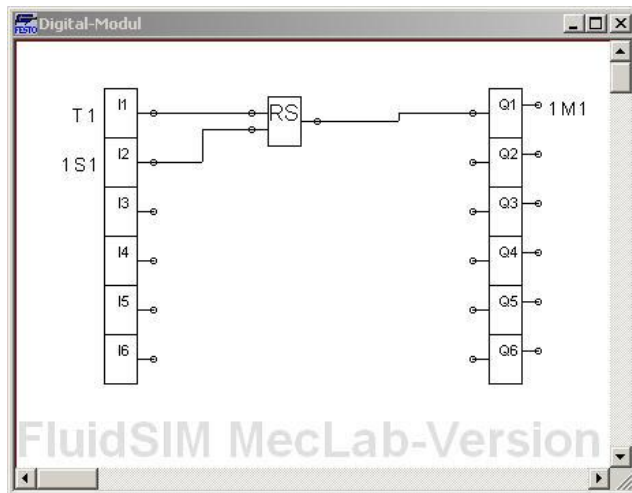


Abbildung 9.3: SPS-Programm zu Abbildung 9.2

In Abbildung 9.3 ist das dazugehörige SPS-Programm abgebildet. Am Eingang I1 der SPS ist der Taster T1 angeschlossen. Dieser aktiviert ein Selbsthalteglied, das den Ventilmagneten 1M1 einschaltet, der am Ausgang Q1 der SPS angeschlossen ist.

Wenn der Kolben des Zylinders 1A (vgl. Abbildung 9.2) die hintere Endlage erreicht hat, wird der Sensor 1S1 aktiviert, der an Eingang I2 der SPS angeschlossen ist. Das Selbsthalteglied und damit auch der Ausgang Q1 werden zurückgesetzt. Das Ventil geht in die Ausgangslage zurück und die Kolbenstange des Zylinders fährt ein.

9.3.2 Beispiel 2: UND-Verknüpfung, Zeitglied

In Abbildung 9.4 ist eine modifizierte pneumatische Schaltung dargestellt. Der Zylinder ist mit zwei Näherungsschaltern, jeweils einer in der vorderen und einer in der hinteren Endlage, ausgerüstet. Es soll ein Programm entwickelt werden, das den Zylinder ausfahren lässt, wenn er sich in der hinteren Endlage befindet und der Taster gedrückt wird. Die Kolbenstange soll dabei ganz ausfahren, exakt 3 Sekunden verharren und dann wieder einfahren.

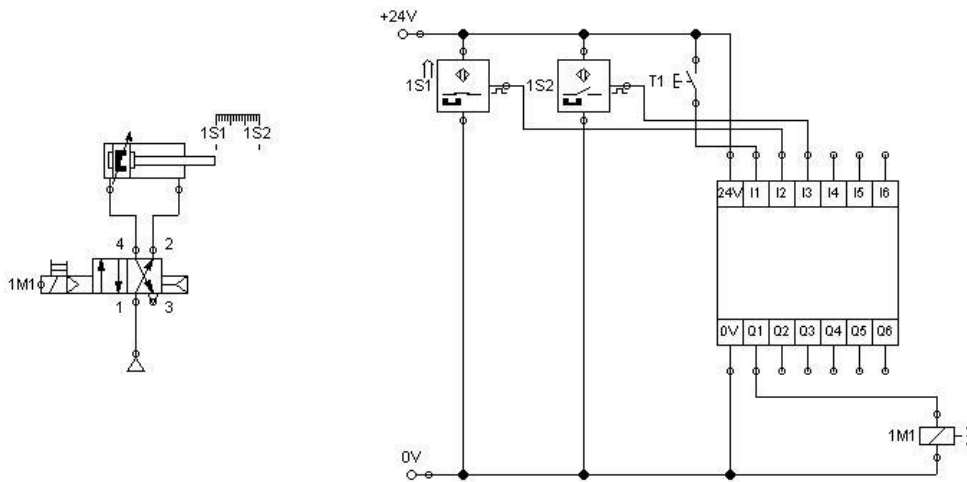


Abbildung 9.4: Zylinder mit zwei Endschaltern

In Abbildung 9.5 ist das dazugehörige SPS-Programm abgebildet. Die Eingänge I1 und I2, an denen der Starttaster und der Näherungsschalter 1S1 angeschlossen sind, wurden mit einer UND-Funktion verknüpft (Das High-Glied setzt den dritten, eigentlich unbenutzten Eingang ebenfalls auf 1). Befindet sich der Zylinder in der hinteren Endlage und wird der Taster gedrückt, führen alle Eingänge der UND-Funktion 1. Damit wird der Ausgang der UND-Funktion sowie zwangsläufig der Eingang des Selbsthaltegliedes ebenfalls auf 1 gesetzt und der Zylinder fährt aus.

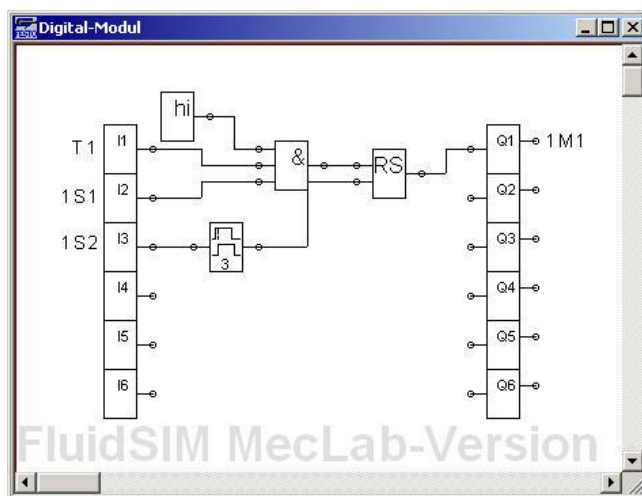


Abbildung 9.5: SPS-Programm zu Abbildung 9.4

Erreicht der Zylinder seine vordere Endlage, wird dadurch der Näherungsschalter 1S2 aktiviert, der den Eingang des Zeitgliedes auf 1 setzt. Nach Ablauf der eingestellten Verzögerungszeit wird der Ausgang des Verzögerungsgliedes auf 1 gesetzt und damit das Selbsthalteglied zurückgesetzt. Der Ventilmagnet 1M1 ist stromlos und der Zylinder fährt wieder ein.

9.4 Programmierung einer Ablaufsteuerung mit Schrittketten

Die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Verknüpfungssteuerungen reichen für einfache Steuerungsprobleme aus. Sollen aber Vorgänge gesteuert werden, bei denen zeitlich aufeinander folgende komplexe Schritte erfolgen sollen, kommt man mit dieser einfachen Art der Programmierung meist nicht mehr aus. Dazu wurde die Technik der Schrittkette entwickelt. Bei einer Schrittkette ist die Abarbeitung eines Schrittes eine Bedingung für den jeweils folgenden Schritt. Die jeweils gewonnene Information wird in Selbsthaltegliedern zwischengespeichert.

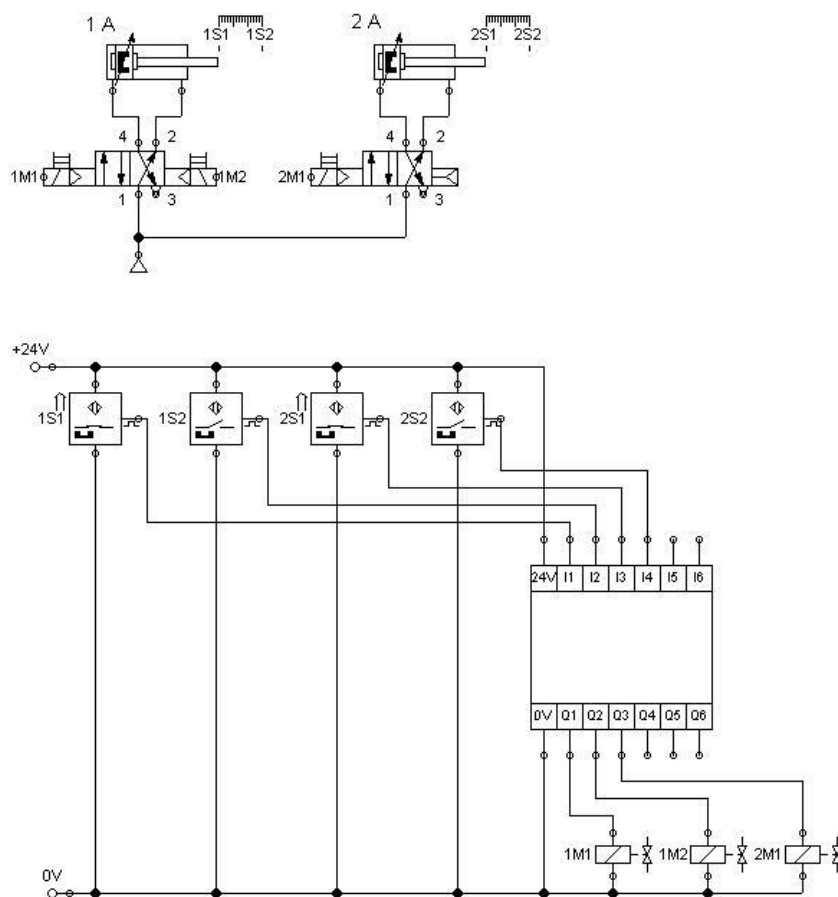


Abbildung 9.6: Schaltung mit zwei doppeltwirkenden Zylindern

Abbildung 9.6 zeigt einen Schaltplan für zwei Zylinder mit jeweils zwei Näherungsschaltern zur Kontrolle ihrer Endlage.

In Abbildung 9.7 ist das dazugehörige SPS-Programm abgebildet. Der Ablauf lässt sich wie folgt beschreiben:

- Wenn Näherungsschalter 1S1 und 2S1 aktiviert sind (beide Zylinder in Ausgangsstellung), wird über die UND-Funktion das Selbsthalteglied aktiviert. Dieses schaltet Ventilmagnet 1M1 ein, der Zylinder fährt aus (Schritt 1).
- Wenn Zylinder 1A seine vordere Endlage erreicht hat, aktiviert die zweite UND-Funktion das zweite Selbsthalteglied. Dadurch wird Ventilmagnet 2M1 geschaltet und Zylinder 2A fährt aus (Schritt 2). Schritt 2 kann aber nur verwirklicht werden, wenn Schritt 1 ausgeführt wurde, da der Ausgang des ersten Selbsthaltegliedes mit einem Eingang der UND-Funktion der zweiten Schaltung verbunden ist. Wenn Schritt 2 ausgeführt wird, setzt dieser über den Merker Schritt 1 zurück, indem das Selbsthalteglied zurückgesetzt wird.
- Wenn Schritt 2 ausgeführt wurde und beide Zylinder ihre vordere Endlage erreicht haben, wird Schritt 3 aktiviert. Dadurch wird Schritt 2 zurückgesetzt, der Ventilmagnet 1M2 aktiviert sowie der Ventilmagnet 2M1 ausgeschaltet. Beide Zylinder fahren wieder in ihre Ausgangslage zurück und der Zyklus beginnt von neuem.

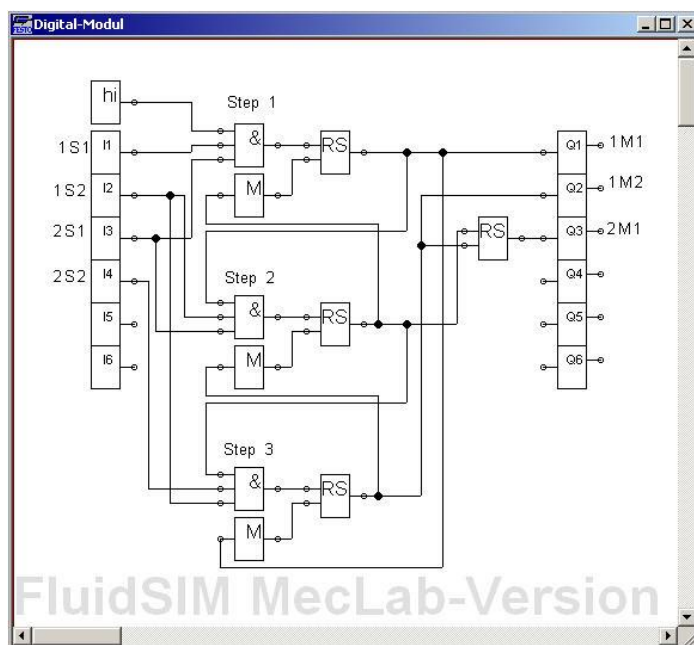


Abbildung 9.7: SPS-Programm mit Schrittkette

Zu beachten ist, dass die Ausführung jedes Schrittes die Bedingung für die Ausführung des jeweils nächsten Schrittes ist und den jeweils vorhergehenden wieder zurücksetzt. Mit dieser Technik sind im Prinzip beliebig lange Schrittketten und damit sehr komplexe Operationen möglich.

