

Reader

Nijgh*Versluys*
Ericastraat 18
3742 SG Baarn

Correspondentieadres:
Postbus 225
3740 AE Baarn

Customer Contact Center
Beroepsonderwijs en volwasseneneducatie

Telefoon : 035 – 548 22 22
Fax : 035 – 541 82 21
E-mail : bve@nijghversluys.nl
Internet : www.transfere.nl
www.transferw.nl
www.nijghversluys.nl

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten op fragmenten en illustraties te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

© 2005 Uitgeverij Nijgh*Versluys* B.V., Baarn, The Netherlands

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopiëren, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j^o het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van (een) gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

1	Pneumatische installaties	1
1.1	Energie	2
1.2	Opbouw van een persluchtsysteem	10
1.3	Lineaire compressoren	11
1.4	Roterende compressoren	14
1.5	Meertrapscompressoren	18
1.6	Compressorkeuze	19
1.7	Opbrengstregelingen bij compressoren	20
1.8	Compressortoebehoren	24
1.9	Persluchtleidingen	30
1.10	Opbouw van een vacuumsysteem	41
2	Pneumatische componenten	43
2.1	Mechanisatie en automatisering	44
2.2	Cilinders	47
2.3	Stuurventielen	54
2.4	Pneumatische hoofdschakel-elementen	59
2.5	Doorstroomregelventielen	61
2.6	Signaalgevers	63
2.7	Logische functies	69
2.8	Waarheidstabellen	74
3	Volgordebesturingen	77
3.1	Inleiding	78
3.2	Bewegingsdiagram, signalen, commando's en formules	79
3.3	Primaire en afkortsignalen	84
3.4	Pneumatisch schema volgordebesturing	87
4	Elektro-pneumatische besturingen en tijdschakelingen	91
4.1	Elektrische besturing	92
4.2	Tijdschakelingen	98
4.3	Principe van opkomtijdvertragers	100
4.4	Combinatorische besturingen met opkomtijdvertragers	102
4.5	Volgordebesturingen met opkomtijdvertragers	104
4.6	Principe van afvaltijdvertragers	105
4.7	Combinatorische besturingen met afvaltijdvertragers	106
4.8	Pulsvormers	108

Pneumatische installaties

1



1.1 Energie

1.1.1 Energievormen

De belangrijkste energievormen zijn:

- thermische energie;
- chemische energie;
- windenergie;
- waterkrachtenergie.

thermische energie Warmte is de belangrijkste energieform die we kennen. We noemen deze energieform *thermische energie*. Deze noemen we een primaire energieform.

Door energieomzetting kunnen we weer andere soorten energie maken.

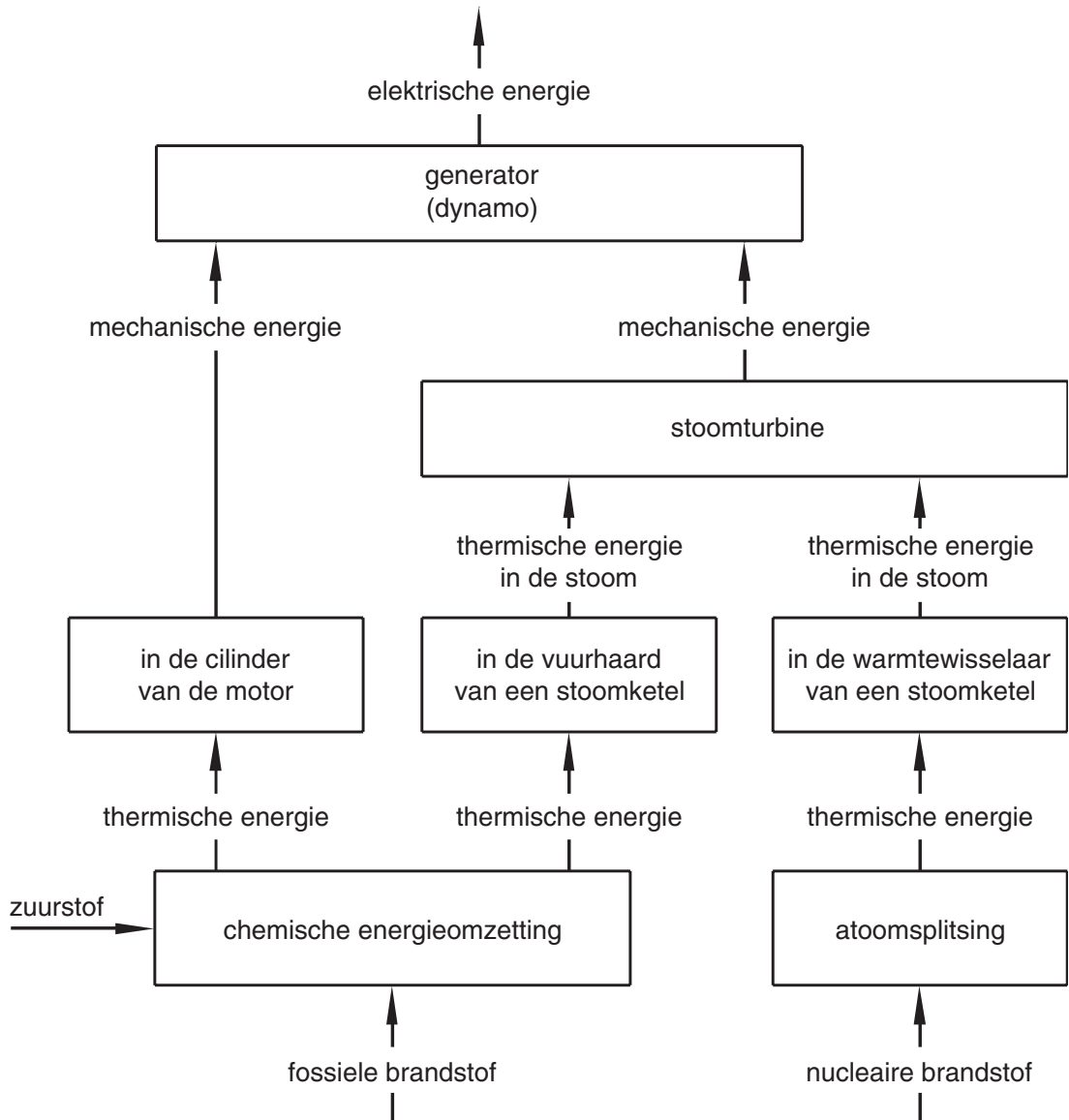
In figuur 1.1 zien we een indeling van de energiesoorten en energieomzettingen. We zien onderaan in figuur 1.1 twee soorten brandstoffen waarmee we warmte kunnen maken, ofwel: thermische energie. Deze brandstoffen noemen we *fossiele* en *nucleaire brandstoffen*.

mechanische energie Als we fossiele brandstoffen verbranden, krijgen we warmte. Deze warmte kan in de cilinder van een motor direct worden omgezet in beweging van bijvoorbeeld een as: *mechanische energie*. Een ander voorbeeld is de stoomketel. In een stoomketel kan warmte van water stoom maken. De warmte van de stoom wordt in een stoomturbine weer omgezet in roterende beweging (mechanische energie).

elektrische energie In figuur 1.1 wordt ook nucleaire brandstof genoemd. In een kernreactor wordt nucleaire brandstof door atoomsplitsing omgezet in warmte. In een stoomketel kunnen we met deze warmte van water weer stoom maken. De stoomturbine maakt hiervan weer beweging. Bijvoorbeeld om een generator aan te drijven. Deze generator maakt dan weer elektriciteit: *elektrische energie*.

De energievormen die we door omzetting uit mechanische energie kunnen maken, noemen we de *secundaire energievormen*. Deze zijn:

- pneumatische energie;
- hydraulische energie;
- elektrische energie.

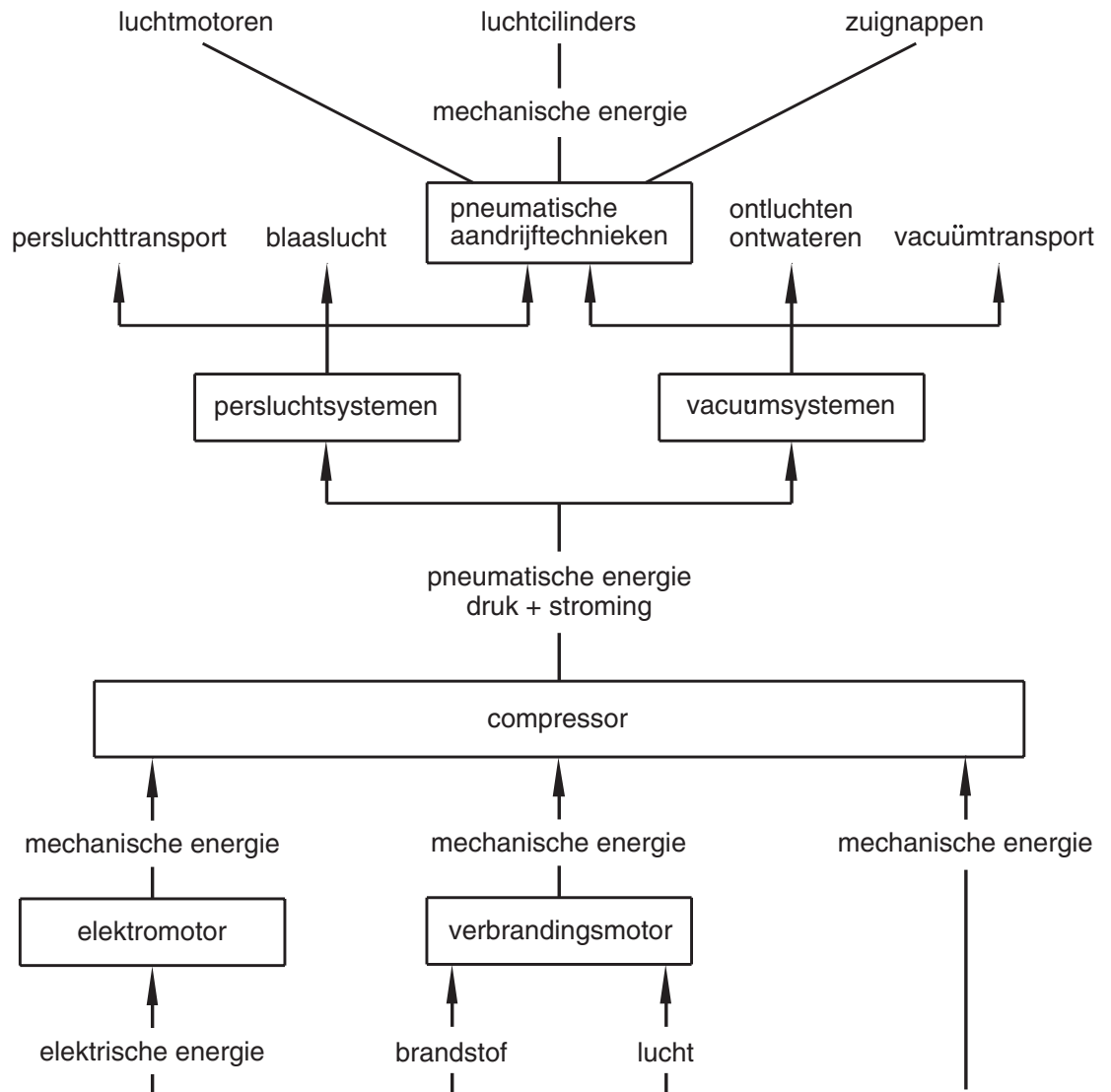


Figuur 1.1 Energie-omzetting

1.1.2 Pneumatische energie

Bij pneumatische energie wordt mechanische energie omgezet in perslucht, vacuüm of luchtstroming. Pneumatische energie verplaatst zich via een leidingstelsel naar een verbruikersplaats, waar deze energie weer wordt omgezet in bijvoorbeeld mechanische energie.

In figuur 1.2 zien we een overzicht met een aantal toepassingen.



Figuur 1.2 Omzetting van mechanische energie via pneumatische energie naar mechanische energie

Persluchtsystemen

Van perslucht is sprake als de druk hoger is dan de omgevingsdruk. Zo'n druk wordt gecreëerd door lucht samen te persen in een ruimte. De eenheid voor de persdruk is de pascal (symbool Pa). De pascal is de druk waarbij loodrecht op een oppervlak van 1 m^2 een gelijkmatig verdeelde kracht van 1 newton (N) wordt uitgeoefend.

$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ newton/m}^2$$

Zelfs bij normale drukken geeft de eenheid pascal in de industriële pneumatiek te grote maatgetallen. Daarom geven we ééntiende van de megapascal (MPa) de naam bar.

$$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 100\,000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa}$$

Voordelen van het gebruik van perslucht zijn:

- perslucht kan tijdens het gebruik zonder probleem in de werkruimte ontsnappen;
- aan het gebruik van perslucht is geen brand- of explosiegevaar verbonden;
- het gebruik van persluchtgereedschap, zie figuur 1.3, is in een stoffige en vochtige omgeving geen bezwaar;
- persluchtgereedschappen kunnen niet overbelast worden.



Figuur 1.3 Pneumatisch handgereedschap

In het algemeen delen we de toepassingen van persluchttechnieken onder in vier kwaliteitscategorieën, zoals weergegeven in tabel 1.1.

TABEL 1.1 TOEPASSINGEN VAN PERSLUCHT MET AANBEVOLEN KWALITEITSKLASSEN		
kwaliteits-klasse	concentratie vuildeeltjes in mg/m ³ bij 1 bar (10 ⁵ Pa) 20 °C en 60% RV	toepassing
4	4	reiniging van machinedelen industriële pneumatisch handgereedschap mechanisering van industriële machines
3	3	transport van korrelige stoffen drukregelaars
2	2	transport van poeders en levensmiddelen pneumatische regelinstrumenten meetlucht
1	1	fotografische industrie

Vacuümsystemen

Van vacuüm is sprake als de druk lager is dan de omgevingsdruk. Zo'n druk wordt gecreëerd door lucht af te pompen uit een ruimte. De omgevingsdruk is weersafhankelijk, maar ligt in de buurt van de atmosferische druk (de normdruk), die is vastgesteld op 1013 mbar. Drukmeters, of beter manometers, geven het positieve of negatieve verschil tussen de absolute druk en de omgevingsdruk. Bij een negatief verschil vermelden we het min-teken bij de gemeten drukwaarde of geven we aan dat er sprake is van onderdruk.

-1000 Pa = onderdruk van 1000 Pa (ten opzichte van de omgevingsdruk)

Vacuümprocessen komen veelvuldig voor in de verschillende sectoren in de industrie. Denk bijvoorbeeld aan zuignappen die onderdelen of producten oppakken. Zie figuur 1.4.



Figuur 1.4 Vacuümtechniek

Een ander voorbeeld van een industrieel vacuümsysteem is bijvoorbeeld het lijmen onder vacuüm. Moeten we grote oppervlakken lijmen, dan is het moeilijk om deze grote vlakken in een lijmkleem te zetten. Een lijmkleem voor het lijmen van de gelaagde zijwand van een caravan van $6 \times 2,4$ m is er gewoon niet. De hulp van onderdruk kunnen we nu als volgt gebruiken. Op een grote tafel worden de te lijmen onderdelen van de zijwand ingesmeerd met lijm en op elkaar gelegd. Hierover gaat een stevige plastic folie, die rondom met klemmen wordt vastgezet. De klemmen sluiten de folie luchtdicht af. Nu pompen we met een vacuümpomp de lucht onder de folie weg.

Met een kleine vacuümpomp van 1,5 kW en een onderdruk van 100 mbar kunnen we een gelijkmatige kracht op deze plaat brengen van ongeveer 1300 kN. Als we in plaats van vacuümtechniek een lijmpers hadden willen gebruiken, had deze wel erg moeten zijn.

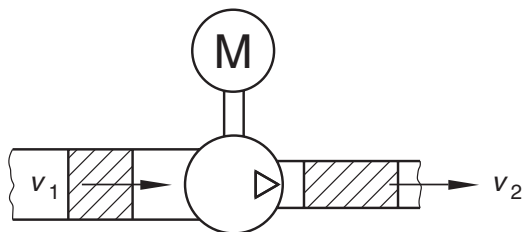
Echter, het opwekken van vacuüm heeft wel als nadeel dat het veel energie vereist.

We verdelen de toepassingen van vacuümtechnieken onder in vier categorieën van einddrukken, zoals weergegeven in tabel 1.2.

TABEL 1.2 SOORTEN VACUÛM EN DE TOEPASSINGEN ERVAN		
soort vacuüm	absolute einddruk in mbar	toepassing
grof	1000 tot 1	heffen en verplaatsen met zuignappen pneumatisch transport van korrels of poeder vacuümverpakken papierpulp en textiel ontwateren impregneren van hout destillatieprocessen in de (petro)chemie
fijn	1 tot 10^{-3}	indampen en vriesdrogen van voedingsmiddelen ontgassing van lampen, tl- en beeldbuizen
hoog	10^{-3} tot 10^{-7}	opdampen van dunne lagen op chips aangebren van optische coatings
ultrahoog	$< 10^{-7}$	wetenschappelijk onderzoek

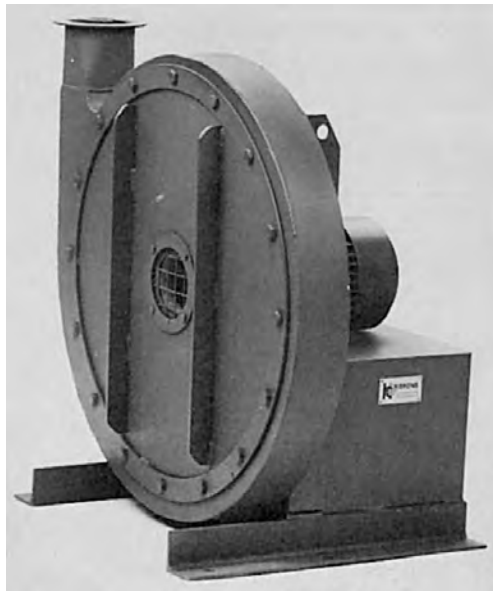
Persluchttransport

Voor het verplaatsen van lucht met een geringe drukverhoging maken we gebruik van *turbocompressoren*. Figuur 1.5 geeft het principe van een turbocompressor.



Figuur 1.5 Principe van een turbocompressor

In een turbocompressor wordt de mechanische energie van de ventilator volledig omgezet in snelheidsenergie van een hoeveelheid lucht of gas. Het toerental van de ventilator kan daarbij zeer hoog zijn, waardoor er een grote opbrengst ontstaat. De eenvoudigste toepassing van een turbocompressor is het ventileren van gebouwen zoals scholen, kantoren en dergelijke. Zie figuur 1.6.



a radiale turbocompressor

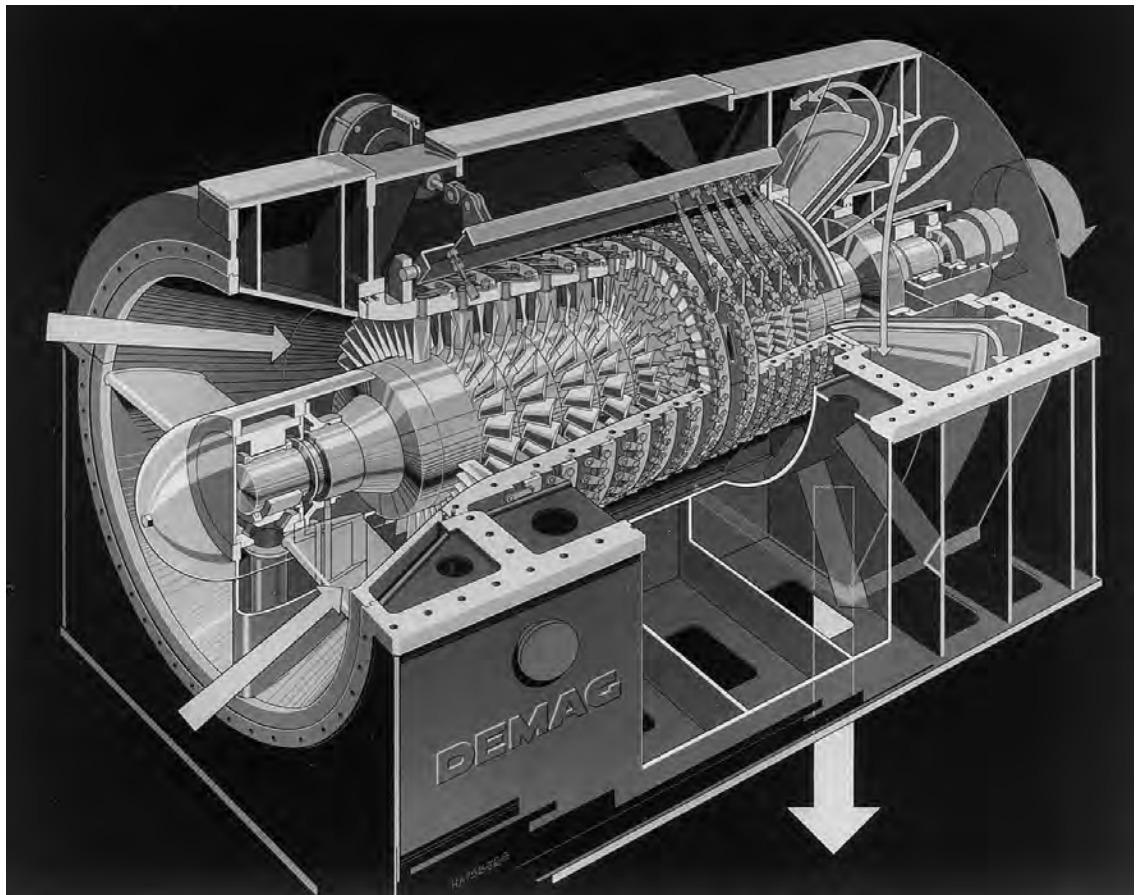


b axiale turbocompressor

Figuur 1.6 Uitvoeringen van een turbocompressor

In de chemische industrie en bij de aardgasdistributie wordt een aantal turbocompressoren in serie gezet. Hierdoor neemt de einddruk toe in een aantal trappen. Met deze meertraps-turbocompressoren zijn einddrukken te bereiken van $800 \cdot 10^5$ Pa bij een volumestroom van $28 \text{ m}^3/\text{s}$.

In gasturbines en straalmotoren worden eveneens meertraps-turbocompressoren toegepast. Zie figuur 1.7. De lucht wordt daarbij axiaal aangezogen door de eerste waaier. Deze waaier perst de lucht via verstelbare leidschoepen naar de tweede waaier, waar de druk verder stijgt. Omdat bij elke volgende trap de druk hoger wordt, wordt het volume van de lucht kleiner. Vandaar dat de opeenvolgende schoepen steeds korter zijn.



a doorsnede



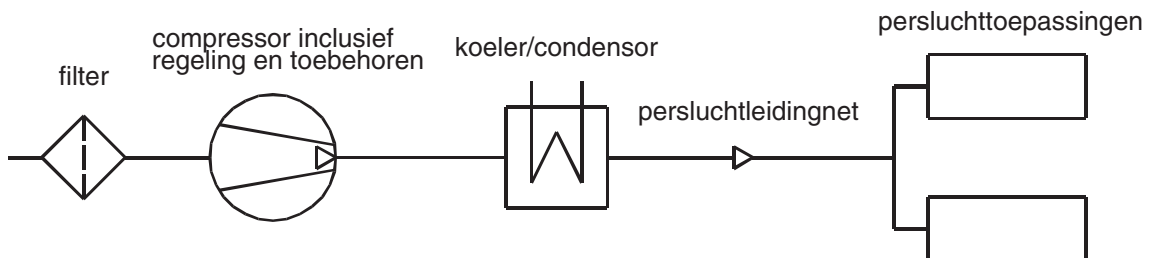
b toepassing als straalmotor

Figuur 1.7 Meertraps-turbocompressor

1.2 Opbouw van een persluchtstelsel

Figuur 1.8 toont een persluchtstelsel in zijn geheel. Zo'n stelsel bevat de volgende drie functies:

- compressor met regeling en toebehoren;
- leidingnet;
- persluchttoepassing.



Figuur 1.8 Schema van een persluchtstelsel

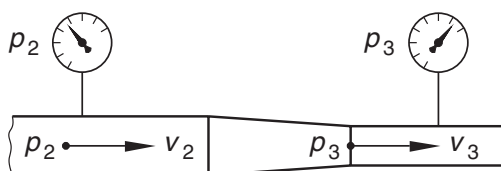
1.2.1 Indeling van compressoren

Bij het comprimeren van lucht of gas zijn twee hoofdmethoden te onderscheiden, namelijk:

- het verdichterprincipe;
- het verdringerprincipe.

Verdichterprincipe

Bij het verdichterprincipe wordt aan lucht of gas snelheidsenergie toegevoegd met een turbocompressor. Willen we echter geen hogere snelheid bereiken maar een hogere druk, dan maken we tevens gebruik van een *diffusor*. De diffusor heeft de vorm van een omgekeerde straalbuis, waaraan we perslucht met een snelheid v_2 en een druk p_2 toevoeren. Zie figuur 1.9.



Figuur 1.9 Diffusor

De snelheid van de perslucht neemt in de diffusor af tot de snelheid v_3 en daarbij neemt de druk toe tot p_3 . Bij de toename van de inwendige energie neemt niet alleen de druk toe, maar ook de temperatuur van de perslucht. Door de dubbele energie-omzetting is uiteindelijk het verlies bij verdichtercompressoren groter dan bij verdringercompressoren.

Verdringerprincipe

Bij het verdringerprincipe wordt de energie overgedragen door het verkleinen van de ruimte waarin zich lucht of gas bevindt. Deze ruimteverkleining (*compressie*) geeft een grotere druk en een hogere temperatuur. Ook werktuigen die werken volgens dit principe noemen we *compressoren*. Compressoren met het verdringerprincipe verdelen we in twee hoofdgroepen:

- lineaire compressoren;
- roterende compressoren.

1.3 Lineaire compressoren

1.3.1 Enkelwerkende zuigercompressoren

In figuur 1.10 zien we twee toepassingen van compressoren. Figuur 1.10a toont een éencilinder-zuigercompressor in een mobiele uitvoering zoals we die veel in de bouw gebruiken. In figuur 1.10b zien we een meercilinder-zuigercompressor met een vaste opstelling, zoals we die in een fabriek kunnen zien.

Een zuigercompressor bestaat uit een cilinder die aan de bovenkant afgesloten is met een cilinderdeksel. In deze cilinder bevindt zich een zuiger, zie figuur 1.11.



a éencilinder-zuigercompressor



b meercilinder-zuigercompressor

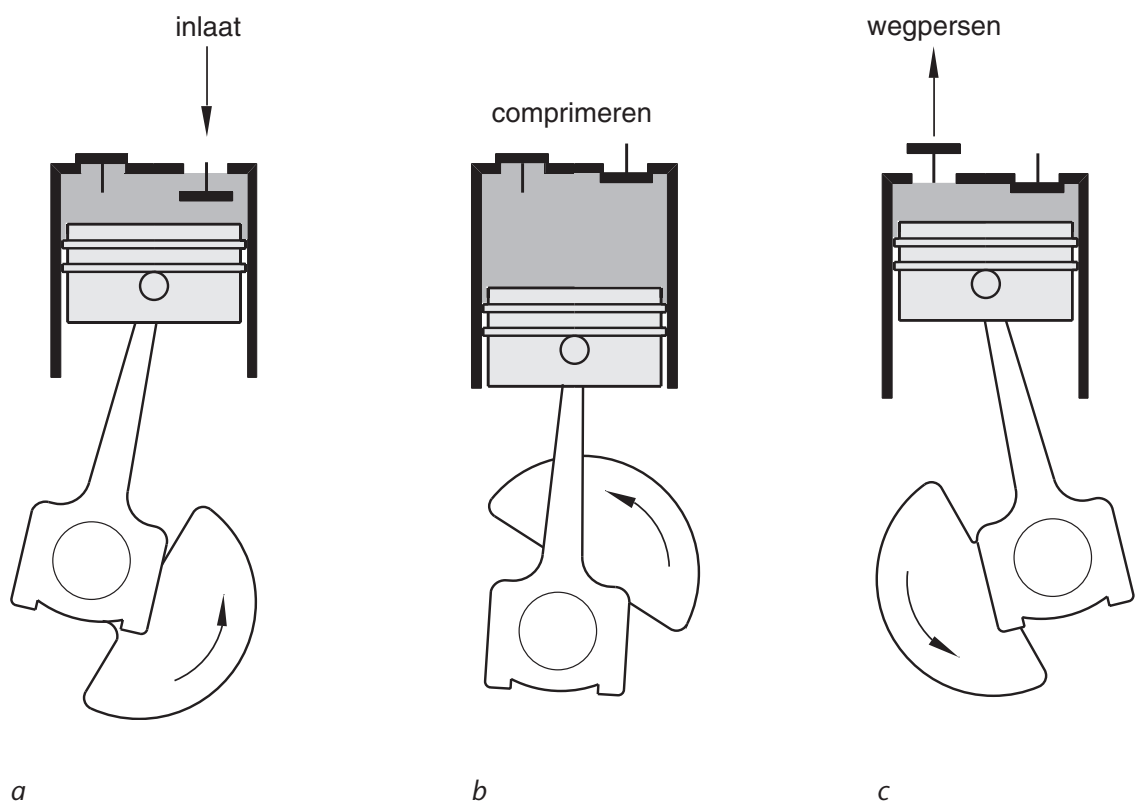
Figuur 1.10 Compressoren

De zuiger wordt aangedreven door een kruk-drijfstaangmechanisme. In het cilinderdeksel zijn twee vrij zwevende kleppen gemonteerd: de zuig- en de persklep. Deze twee kleppen openen en sluiten door een drukverschil aan beide zijden van de klep.

Wanneer de zuiger door de krukas naar beneden wordt getrokken, ontstaat door de volumevergroting in de cilinder boven de zuiger een onderdruk. De vrij zwevende zuigklep wordt door de atmosferische druk geopend, waardoor er lucht in de cilinder stroomt. Zie figuur 1.11a.

Wanneer de zuiger zijn onderste stand is gepasseerd, gaat de zuiger naar boven. Door het verkleinen van de ruimte in de cilinder wordt de lucht samengeperst en sluit de zuigklep.

De persklep blijft zolang gesloten tot de druk in de cilinder hoger is dan die in het luchtvat, zie figuur 1.11b. Daarna wordt de lucht via de persklep weggeperst. Zie figuur 1.11c.



Figuur 1.11 Schema zuigercompressor

Zuigercompressoren verdelen we in twee hoofdgroepen:

- enkelwerkende trunkzuiger-compressoren;
- dubbelwerkende kruishoofd-compressoren.

Enkelwerkende trunkzuiger-compressoren

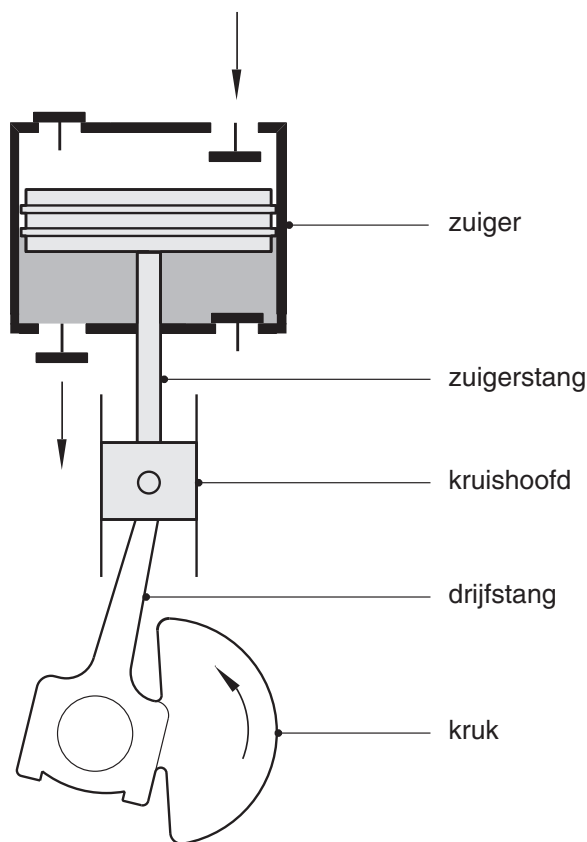
Bij dit type compressor verbinden we met een drijfstang de krukas direct met de trunkzuiger in een cilinder. Daarom kan alleen boven de zuiger compressie plaatsvinden. Vandaar de aanduiding *enkelwerkend*.

enkelwerkend

leibaankracht Dit type heeft het nadeel dat de drijfstang een kracht uitoefent op de zuiger, waardoor een zijwaartse kracht (*leibaankracht*) op de cilinder van de compressor ontstaat. Deze zijwaartse kracht geeft slijtage van de zuiger en de cilinder.

1.3.2 Dubbelwerkende zuigercompressoren

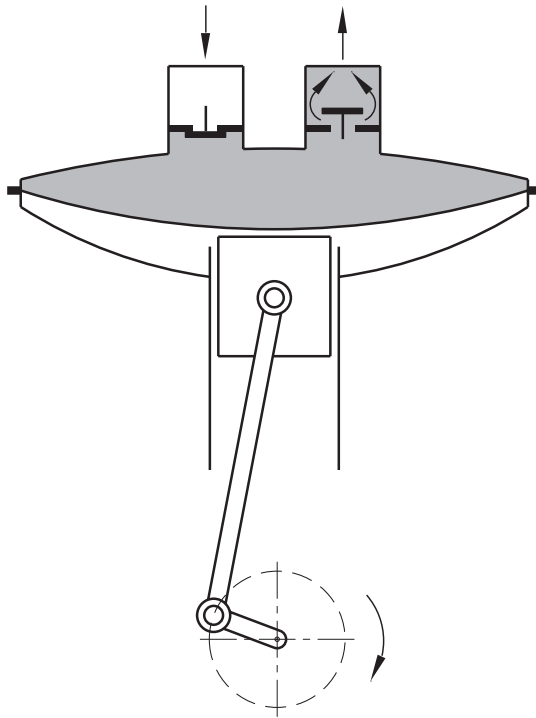
kruishoofd Figuur 1.12 geeft het schema van een dubbelwerkende kruishoofd-compressor. De zijwaartse kracht van de drijfstang vangen we nu op door een speciaal geconstrueerde leibaan, die we het *kruishoofd* noemen. Verder hebben we zowel onder als boven de zuiger kleppen aangebracht, waardoor we zowel onder als boven de zuiger kunnen comprimeren.



Figuur 1.12 Dubbelwerkende kruishoofd-compressor

1.3.3 Membraancompressoren

In figuur 1.13 is de zuiger door een membraan gescheiden van de aanzuigrimte. Het voordeel is dat de perslucht hier niet in contact komt met enig smeermiddel. De lucht blijft olievrij. Om deze reden passen we dit type compressor vooral in de levensmiddelen-, farmaceutische en chemische industrie toe. Een nadeel is dat de membraancompressor alleen geschikt is voor drukken en capaciteiten die lager zijn dan bij een zuigercompressor.



Figuur 1.13 Membraancompressor

1.4 Roterende compressoren

1.4.1 Eénassige roterende compressoren

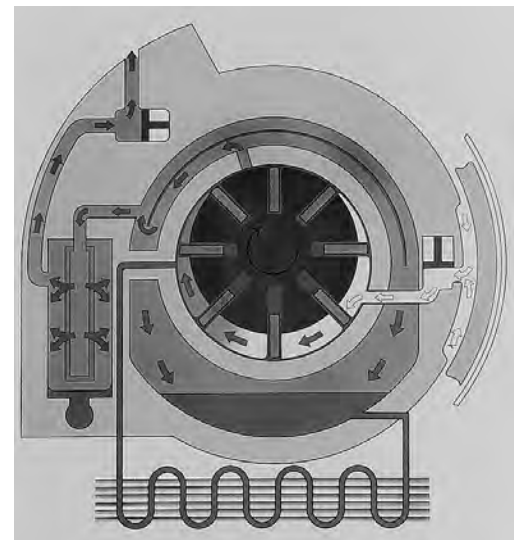
schotten-
compressor

Van dit type compressor gebruiken we alleen nog de *schottencompressor*. Hierbij is een rotor met radiaal bewegende schotten excentrisch in een stilstaand huis gemonteerd. Zie figuur 1.14.

Als de rotor draait, zorgt de centrifugaalkracht ervoor dat de schotten tegen de wand van het huis gedrukt worden.



Figuur 1.14 Schottencompressor



Aan de inlaat stroomt het gas de ruimten tussen de schotten in. Deze ruimten hebben hier een maximale inhoud. Bij het verder draaien van de rotor wordt de ruimte tussen de schotten kleiner, wat het gas comprimeert. Deze compressie gaat door totdat de uitlaat aan de linkerkant in verbinding komt met het gecompriëerde gas. Bij verder draaien van de rotor wordt het gas dan weggeperst via de uitlaat.

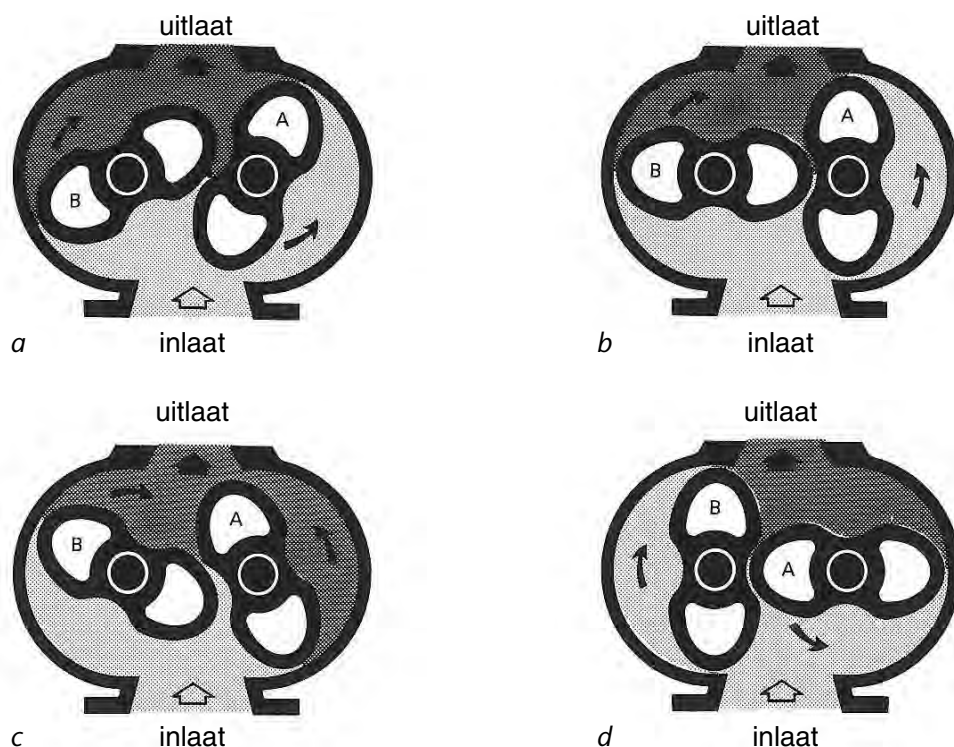
Als de compressor in bedrijf is, ontstaat er wrijving tussen de schotten en de wand van het huis. Daarom is het nodig dat we tussen de schotten en het huis smering toepassen. Het gas is dus niet smeermiddelvrij.

Schottencompressoren zijn eenvoudig van constructie, hebben geen kleppen, zijn zeer bedrijfszeker en vragen weinig onderhoud.

1.4.2 Tweeassige roterende compressoren

Rootsblower

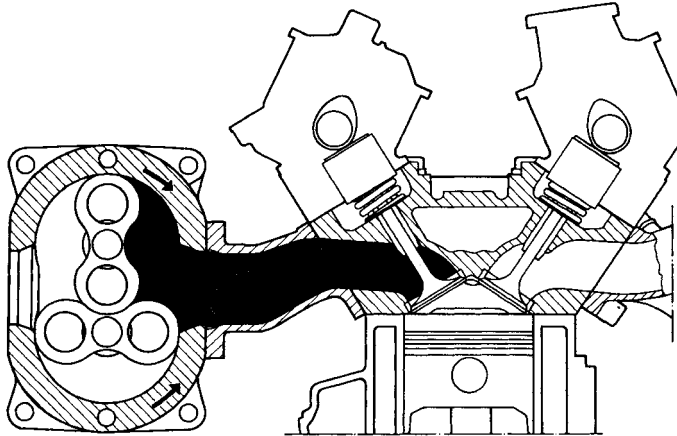
De *Rootsblower* bestaat uit een huis met twee rotors. Figuur 1.15 illustreert de werking. In de compressor wordt het gas verplaatst naar een kleinere ruimte, waardoor de druk wordt vergroot. Omdat de rotors elkaar en het huis niet raken is bij deze compressor geen smering nodig.



Figuur 1.15 Werking van de Rootsblower

Dit type compressor gebruiken we veel als vacuümpompen, en voor installaties lage druk die een grote volumestroom gas vragen met een *lage druk*.

Figuur 1.16 toont een uitvoeringsvorm van een Rootsblower die dient als drukvulgroep van een motor. Hiermee persen we onder geringe overdruk lucht in de cilinder van de motor.

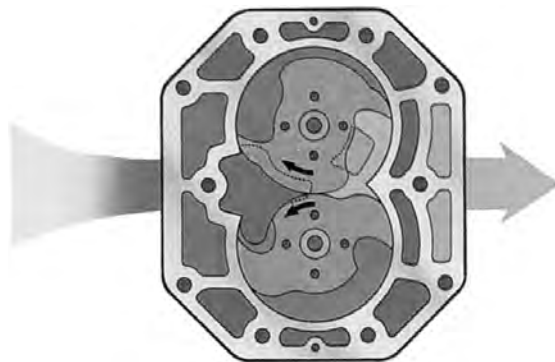


Figuur 1.16 Rootsblower als drukvulgroep

Tandcompressor

RDL-compressor

Dit type compressor, zie figuur 1.17, noemen we ook wel een *RDL-compressor* (Rotor-Dry-Lobe). Het principe lijkt een beetje op dat van de Rootsblower. Anders dan bij de Rootsblower vindt er echter in het huis van de compressor wel compressie plaats. Daarom is dit type compressor geschikt om zowel hoge drukken als een grote volumestroom te leveren. Doordat ook bij dit type de tandrotors elkaar niet raken, is ook hier smering overbodig. De compressor is onderhoudsarm en levert olievrij gas.



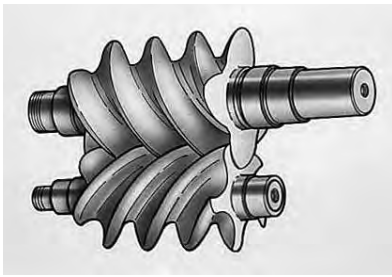
Figuur 1.17 Tandcompressor

Schroefcompressor

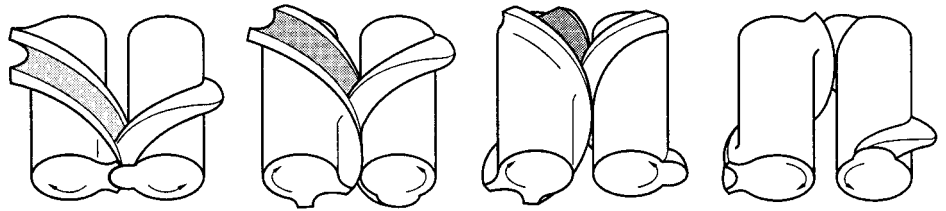
mannelijke rotor
vrouwelijke rotor

Bij de schroefcompressor bestaat het werkende gedeelte uit twee schroefvormige rotors, die in een huis zijn opgesloten. Figuur 1.18a toont deze rotors. De zogenoemde *mannelijke rotor* (rechts) bestaat uit vier lobben, de *vrouwelijke rotor* bestaat uit zeven groeven. Dit betekent dat de aandrijving zo moet zijn dat de mannelijke rotor sneller draait dan de vrouwelijke.

Deze compressor werkt doordat hij tijdens het draaien de lucht in de ruimten tussen de lobben en de groeven comprimeert.



a rotors

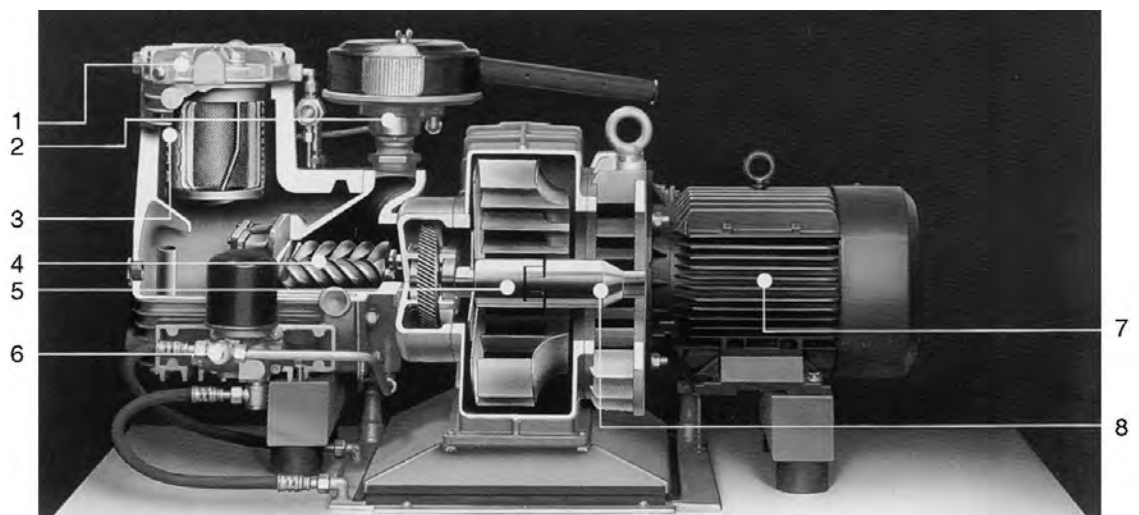


b werkingsprincipe

Figuur 1.18 Schroefcompressor

Figuur 1.18b geeft weer dat de ruimte steeds kleiner wordt langs de lengterichting van de rotors als deze draaien. Het gas dat toevloeft aan de linkerkzijde, wordt dus gecomprimeerd als de rotors draaien, en uiteindelijk afgeleverd aan de uitlaatpoort aan de rechterzijde van de compressor. De inlaat- en uitlaatpoort sluiten en openen automatisch met de draaiende rotors.

In figuur 1.19 is de gehele installatie van een schroefcompressor te zien. Omdat ook bij deze compressor geen metallisch contact optreedt, wordt er olievrije lucht geleverd.

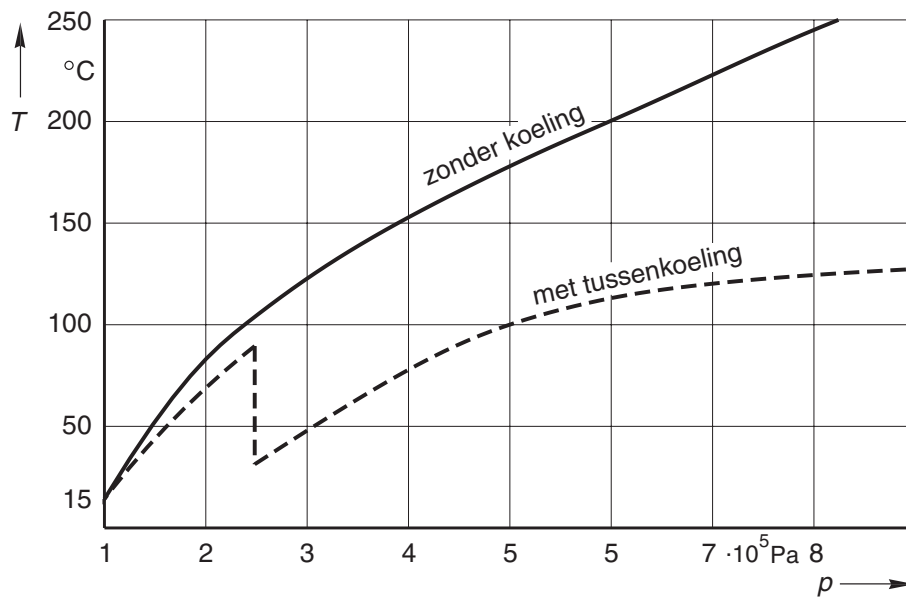


- | | | |
|--------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 persklependeksel | 4 schroeven | 7 aandrijfmotor |
| 2 zuigfilter | 5 koppelinghelft compressor | 8 koppelinghelft aandrijfmotor |
| 3 persfilter | 6 oliepersleiding | |

Figuur 1.19 Schroefcompressor-installatie

1.5 Meertrapscompressoren

Bij kleine compressoren met een gering vermogen wordt in een trap gecomprimeerd tot circa $7 \cdot 10^5$ Pa. De koeling van de compressor vindt plaats met behulp van koelribben. Bij grotere compressoren wordt meer warmte ontwikkeld, die moeilijk af te voeren is. Om de warmteontwikkeling te beheersen verdelen we bij grote compressoren de compressie over twee of meer trappen. Na iedere trap wordt de perslucht nagenoeg weer afgekoeld tot de begintemperatuur.



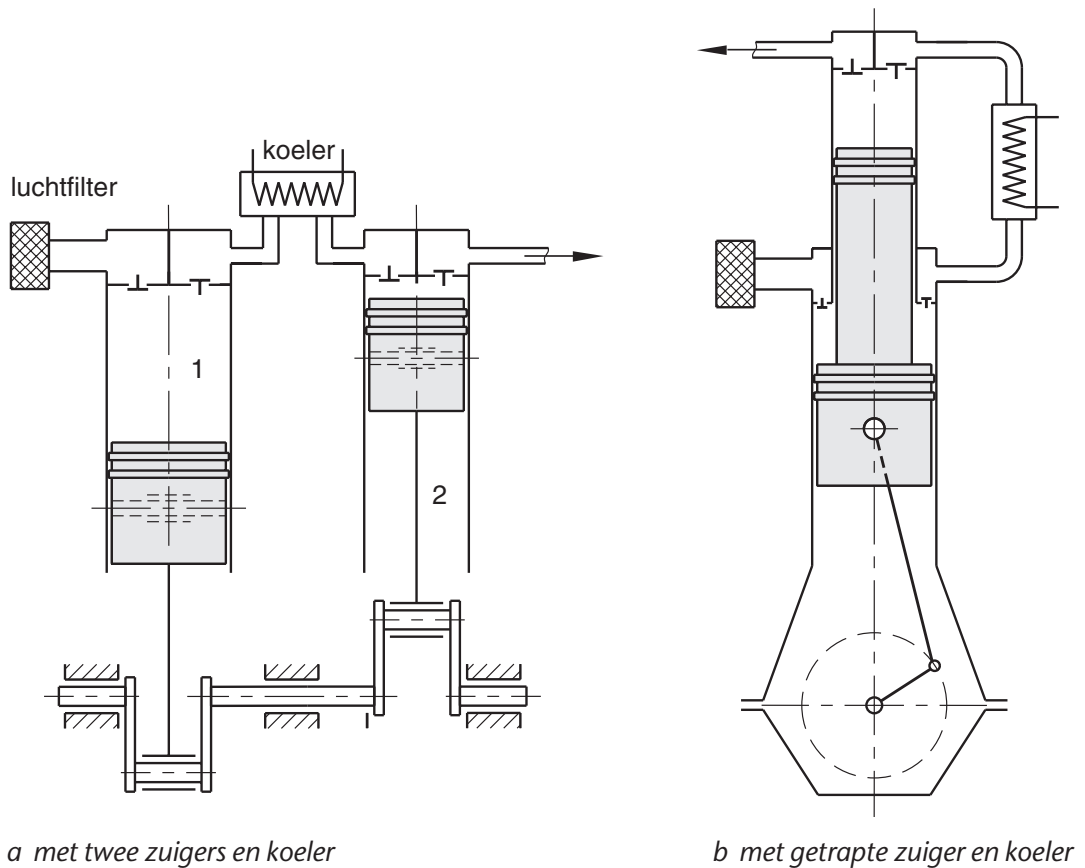
Figuur 1.20 Verloop van de compressietemperatuur bij ééntraps- en tweetrapscompressoren

In figuur 1.20 zien we dat de temperatuur in een ééntrapscompressor tweemaal zo hoog wordt als wanneer we comprimeren in twee trappen met tussenkoeling. Hierdoor wordt de hoeveelheid aangezogen lucht en daarmee het rendement bij een tweetrapscompressor hoger. Een tweede voordeel is dat de smeerolie niet boven de 207 °C komt, waarbij deze zou gaan verdampen.

Figuur 1.21 geeft twee voorbeelden van de werking van een tweetraps-zuigercompressor.

In figuur 1.21a wordt het gas door de eerste trap (cilinder 1) gezogen en samengeperst tot een bepaalde druk. De lucht gaat uit cilinder 1 via een tussenkoeler naar een tweede trap (cilinder 2). Daar wordt het gas dan gecomprimeerd tot de gewenste einddruk. Bij dit systeem plaatsen we dus beide trappen in aparte cilinders, die we naast elkaar aandrijven door een krukas.

Figuur 1.21b toont een tweetrapscompressor met een getrapte zuiger. Het gas wordt door de onderzuiger aangezogen en via een tussenkoeler naar de bovenzuiger weggeperst. Daar bereikt het gas de gewenste einddruk.



a met twee zuigers en koeler

b met getrapte zuiger en koeler

Figuur 1.21 Tweetrapscompressoren

1.6 Compressorkeuze

Uit de voorgaande paragrafen blijkt al dat elk type compressor voor een bepaald doel gebouwd wordt. Voor de persluchtproductie zijn van de roterende compressoren vooral de *schroefcompressor* en de *schottenpomp* zeer geschikt. In de industriële markt wordt de oliegeïnjecteerde 1-traps-schroefcompressor tot een einddruk van $15 \cdot 10^5$ Pa veel toegepast. Is olievrije perslucht noodzakelijk, dan kiezen we voor een 2-traps-schroefcompressor. Het nadeel van een 2-traps-schroefcompressor is de hoge investering door de toepassing van twee compressorblokken en tandwielsynchronisatie. Wanneer een hoge einddruk gewenst is, moeten we doorgaans een meertraps-zuigercompressor toepassen. Tabel 1.3 geeft een vergelijkend overzicht van veelvoorkomende compressoren.

TABEL 1.3 VERGELIJKEND OVERZICHT VAN VEEL VOORKOMENDE COMPRESSOREN

compressortype	persdruk in bar	capaciteit in m ³ /min	type stroming	kenmerken
Rootsblower, drooglopend	1,1–2,5, 1–2-traps	0–1000	sterk pulserend	ongevoelig voor vuil hoog energieverbruik eenvoudige toerenregeling
tandrotor, drooglopend	0–8	0–8	pulserend	start/stop-regeling hoog toerental
zuigercompressor, oliegesmeerd	1–500, 1–4-traps	0–5	pulserend	gunstig energieverbruik onderhoudsgevoelig lawaaierig
schroefcompressor, oliegesmeerd	15–20–30, 1–2–3-traps	0,8–90	licht pulserend	lage eindtemperatuur geringe slijtage hoger energieverbruik
schottenpomp, oliegesmeerd	4–8, 1–2-traps	0–100	licht pulserend	rustig bedrijf beperkte druk hoog olierestgehalte

1.7 Opbrengstregelingen bij compressoren

Een compressor perst het gecomprimeerde gas meestal weg naar een reservoir of een drukvat. Wanneer in dit reservoir de maximale druk wordt bereikt, moet de compressor dus stoppen met leveren. Bij aandrijvingen met elektromotoren kunnen we voor het regelen van de opbrengst van een compressor kiezen uit de volgende regelsystemen:

- afblaasregeling;
- aan/uit-regeling;
- vollast/nulllast-regeling;
- smoring van de aanzuiglucht;
- interne kortsluiting;
- verkleining van het werkzaam slagvolume bij zuigercompressoren;
- toerenregeling van de elektromotor.

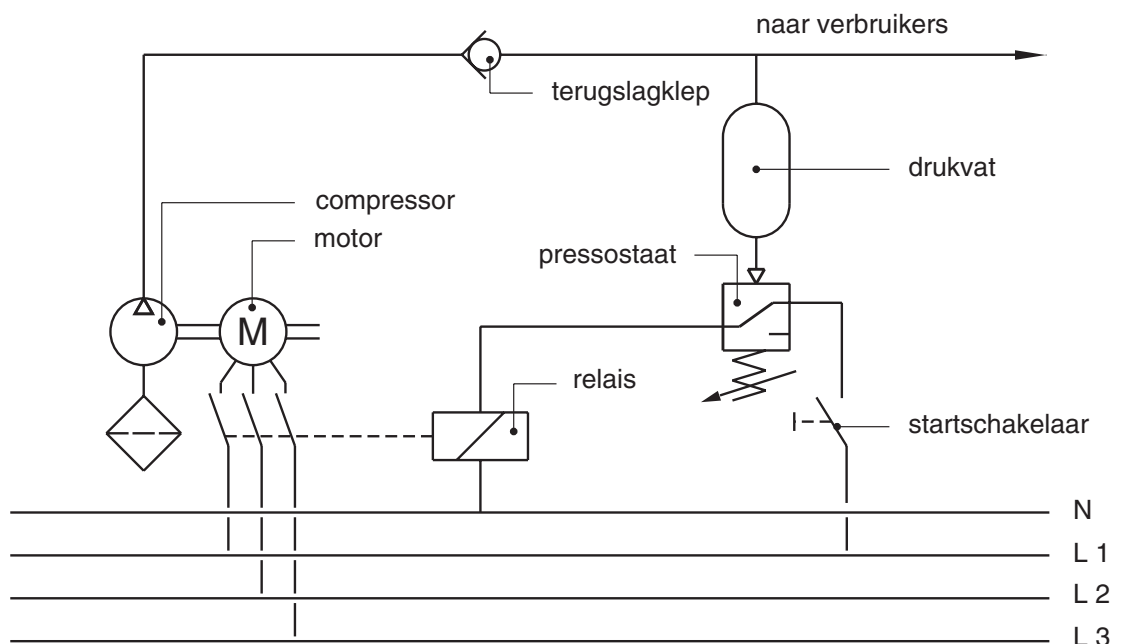
Afblaasregeling

Voor deze regeling wordt een overdrukventiel in de persleiding van het systeem geplaatst. Als de druk in het reservoir te hoog wordt, blaast het ventiel het te veel geproduceerde gas af. Door zijn eenvoud vinden we deze regeling vrij vaak in bijvoorbeeld vrachtauto's.

Aan/uit-regeling

Deze regeling vinden we uitsluitend bij kleine installaties, zoals in kleine werkplaatsen en tandartspraktijken. Op het reservoir is een pressostaat of drukschakelaar aangebracht, die we instellen op een maximale en minimale waarde. Als de druk in het reservoir onder de minimale waarde daalt, start de aandrijfmotor en komt de levering op gang. Bij een te hoge druk schakelt de pressostaat de aandrijfmotor uit. Zie figuur 1.22.

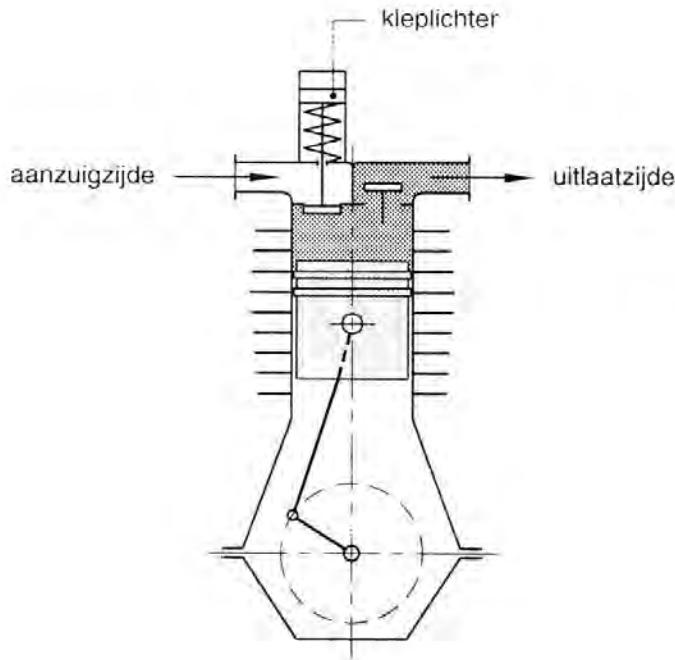
De aan/uit-regeling wordt beperkt door het aantal malen per uur dat een elektromotor ingeschakeld mag worden.



Figuur 1.22 Aan/uit-regeling met pressostaat

Vollast/nulllast-regeling

De vollast/nulllast-regeling wordt steeds meer toegepast. Bij deze regeling is op de zuigklep van een zuigercompressor een kleplicher aangebracht, die de zuigklep openhoudt als de druk te hoog wordt, zie figuur 1.23. De installatie loopt gewoon door, maar zuigt geen lucht meer aan en kan dus ook niet leveren (nullast).



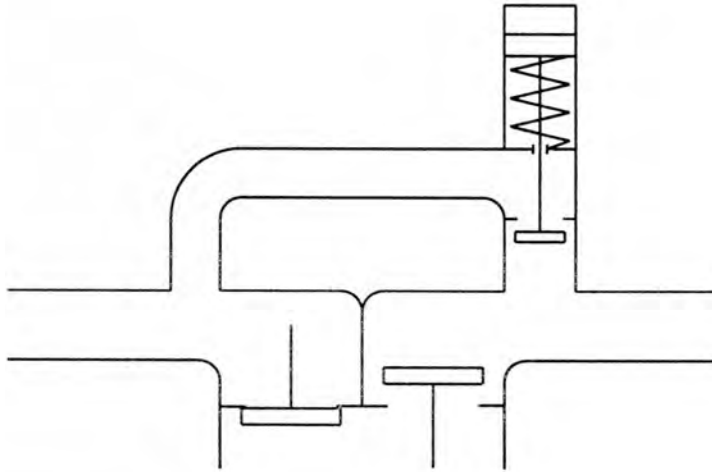
Figuur 1.23 Nullastregeling bij een zuigercompressor

Moderne elektronische regelingen maken het mogelijk de tijd waarin de compressor in nullast blijft op een intelligente wijze in te stellen. Deze regelingen vinden we op grotere persluchtinstallaties en werken doorgaans binnen nauwe drukmarges van 0,2 tot 0,5 bar.

Vaak zullen in een bedrijf meerdere compressoren opgesteld staan. Naast de grotere beschikbaarheid van de persluchtvoorziening heeft een dergelijke opstelling het voordeel dat de compressoren regeltechnisch op elkaar afgestemd worden. Op deze wijze kunnen we bij een wisselende persluchtvaart het aantal nullast-uren vaak onder de 20% brengen. Nullast-uren zijn het aantal bedrijfsuren waarin geen perslucht wordt afgenomen.

Interne kortsluiting

Bij de interne kortsluitregeling worden de pers- en zuigleiding door een klep met elkaar verbonden zodra de druk te hoog wordt, zie figuur 1.24. Ook nu loopt de installatie gewoon, maar deze verplaatst de lucht drukloos van de perszijde naar de zuigzijde en draait zo in nullast. De kortsluitregeling kunnen we toepassen op alle typen compressoren.



Figuur 1.24 Interne kortsluitregeling

Verkleining van het werkzaam slagvolume bij zuigercompressoren

In de praktijk worden ook nog regelingen toegepast waarbij de aanzuiging van lucht wordt gesmoord (bij deellast). Zeker als de installatie regelmatig in deellast moet draaien, is het hogere energieverbruik tijdens smoring een groot nadeel. Bij sommige compressoren kunnen we door middel van een schuif een deel van de lucht aan perszijde terug laten stromen naar zuigzijde. Ten opzichte van de zuiver smorende regeling is het energieverbruik van deze regeling lager.

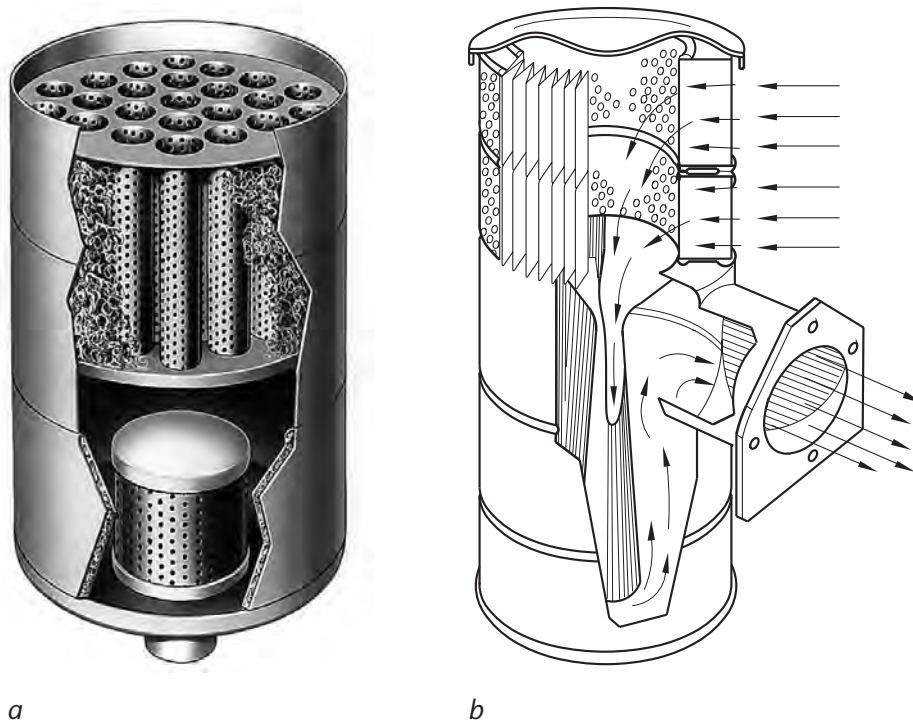
Toerenregeling van de elektromotor

Toerenregeling kan bij een schroefcompressor en een Rootsblower een goede capaciteitsregeling vormen. De volumestroom van deze compressoren is namelijk evenredig met het toerental. Bij compressoren aangedreven door verbrandingsmotoren is een variabel toerental relatief gemakkelijk. Bij compressoren aangedreven door asynchrone elektromotoren wordt het toerental bepaald door de netfrequentie van 50 Hz (3000 omw/min). Bij grotere installaties wordt het toerental soms geregeld door een relatief dure frequentieregelaar. Een frequentieregelaar zorgt voor de instelling van de gewenste frequentie en daarmee van het toerental van de compressor.

1.8 Compressortoebehoren

1.8.1 Aanzuigfilter

De lucht die een compressor aanzuigt bevat stof en waterdamp. Het stof wordt al opgevangen voordat de compressor de lucht in de compressor aanzuigt. Dit gebeurt door een aanzuigfilter, waarin we meestal een verwisselbaar papieren filterpatroon plaatsen. Verder voorzien we het aanzuigfilter meestal van een geluiddemper, omdat het aanzuigen van de lucht veel lawaai geeft. In figuur 1.25 is een doorsnede van zo'n combinatie van filter en geluiddemper weergegeven.



Figuur 1.25 Filter-geluiddemper

1.8.2 Drukvat

Het drukvat of drukreservoir dient om de druk in het gehele persluchtsysteem stabiel te maken. Het geeft aan het leidingnet voldoende reserve om een wisselende luchtafgifte op te vangen. De omvang van het drukvat is afhankelijk van de luchtopbrengst en de regeling van de compressor. Als vuistregel hanteren we dat bij een aan/uit-regeling de inhoud van het vat in liter overeenkomt met circa 50% van de persluchtopbrengst van de compressor in liter per minuut. Bij een intermitterende (onderbrekende) regeling kunnen we de inhoud van het vat terugbrengen tot circa 15% van de persluchtopbrengst van de compressor.

Het drukvat vangt tevens de van de compressor komende drukstoten op. Om een drukverhoging van meer dan 10% boven de maximale werkdruk te voorkomen moet het drukvat een veiligheidsklep hebben. Naar inhoud en werkdruk zijn er drie groepen drukvaten met verschillende keuringseisen, zie tabel 1.4.

TABEL 1.4 KEURINGSEISEN VOOR DRUKVATEN		
groep	druk in bar \times volume in liter	keuringseisen
A	$p \times V < 20$	geen
B	$20 < p \times V < 3000$	één keuring
C	$p \times V > 3000$	regelmatige keuring en een drukproef om de 6 jaar, inclusief inspectie van de binnenkant van het drukvat

1.8.3 Waterafscheider

Het drukvat heeft als voordeel dat door de grote oppervlakte ervan de perslucht wordt afgekoeld. Een gedeelte van de in de perslucht aanwezige vocht wordt als condensaat afgezet. Dit betekent wel dat de in het drukvat aanwezige perslucht verzadigd is met waterdamp. De aanwezige waterdamp kan in het pneumatisch systeem grote schade aanrichten.

De hoeveelheid waterdamp die in de lucht aanwezig is, kan variëren van vrijwel nul (droge lucht) tot een maximale hoeveelheid (de verzadigingshoeveelheid). Bevat de lucht in een bepaalde ruimte meer vocht dan de verzadigingshoeveelheid, dan zien we dat de overtollige hoeveelheid condenseert tegen bijvoorbeeld de ramen. In dat geval spreken we van een *relatieve vochtigheid* van 100%.

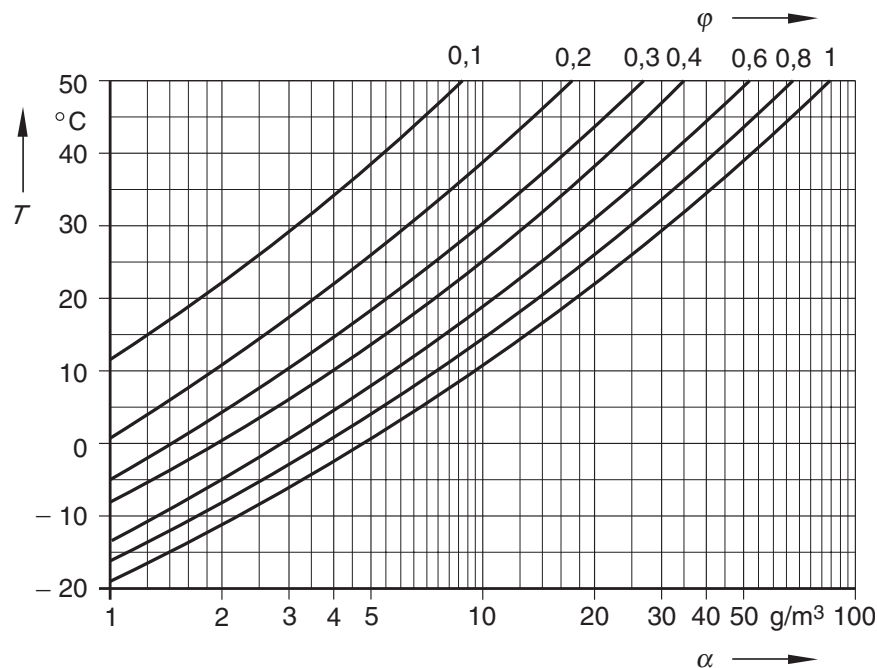
relatieve
vochtigheid

Nu is er voor elke temperatuur van de lucht een verzadigingshoeveelheid van de waterdamp. De hoeveelheid vocht in de lucht kunnen we meten met een zogenaemde *hygrometer*. Deze wijst een relatieve vochtigheid aan. Dit is de verhouding tussen de absolute (werkelijk in de lucht aanwezige) hoeveelheid vocht en de hoeveelheid die bij een bepaalde temperatuur maximaal aanwezig kan zijn. De relatieve vochtigheid φ is dus:

hygrometer

$$\varphi = \frac{\text{absolute vochtigheid}}{\text{verzadigingshoeveelheid}}$$

In figuur 1.26 is in een grafiek de hoeveelheid water (α) aangegeven die in lucht aanwezig kan zijn bij een bepaalde temperatuur T en relatieve vochtigheid φ . We kunnen hieruit bijvoorbeeld aflezen dat bij een relatieve vochtigheid van $\varphi = 0,6$ (= 60%) en een temperatuur van 20 °C er $10,6\text{ gram/m}^3$ waterdamp in de lucht aanwezig is.



Figuur 1.26 Relatieve vochtigheid

De relatieve vochtigheid van lucht is niet afhankelijk van de druk. Hierdoor is in de gecomprimeerde lucht die de compressor verlaat meer waterdamp aanwezig dan de verzadigingshoeveelheid.

Omdat de temperatuur van de gecomprimeerde lucht hoog is, condenseert deze waterdamp niet direct. In het drukvat koelt de lucht eerst af, daarna condenseert de overtollige waterdamp. Het condensaat kunnen we aan de onderkant van het drukvat aftappen.

VOORBEELD 1

Gegeven

Een compressor zuigt lucht aan met een temperatuur van 20 °C . De relatieve vochtigheid $\varphi = 0,8$. De aanzuigdruk $p_1 = 0,95 \cdot 10^5\text{ Pa}$ en de einddruk $p_2 = 7 \cdot 10^5\text{ Pa}$. Verder is figuur 1.27 gegeven.

Gevraagd

Bepaal de hoeveelheid condensaat die ontstaat na het comprimeren van de lucht.

Oplossing

Uit figuur 1.27 lezen we dat in 1 m^3 aangevoerde lucht een massa van 14 g waterdamp aanwezig is, zie punt A. Na de compressie en het afkoelen tot $20 \text{ }^\circ\text{C}$ is het volume verkleind tot:

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

$$0,95 \cdot 10^5 \text{ Pa} \times 1 \text{ m}^3 = 7 \cdot 10^5 \text{ Pa} \times V_2 \rightarrow V_2 = 0,1357 \text{ m}^3$$

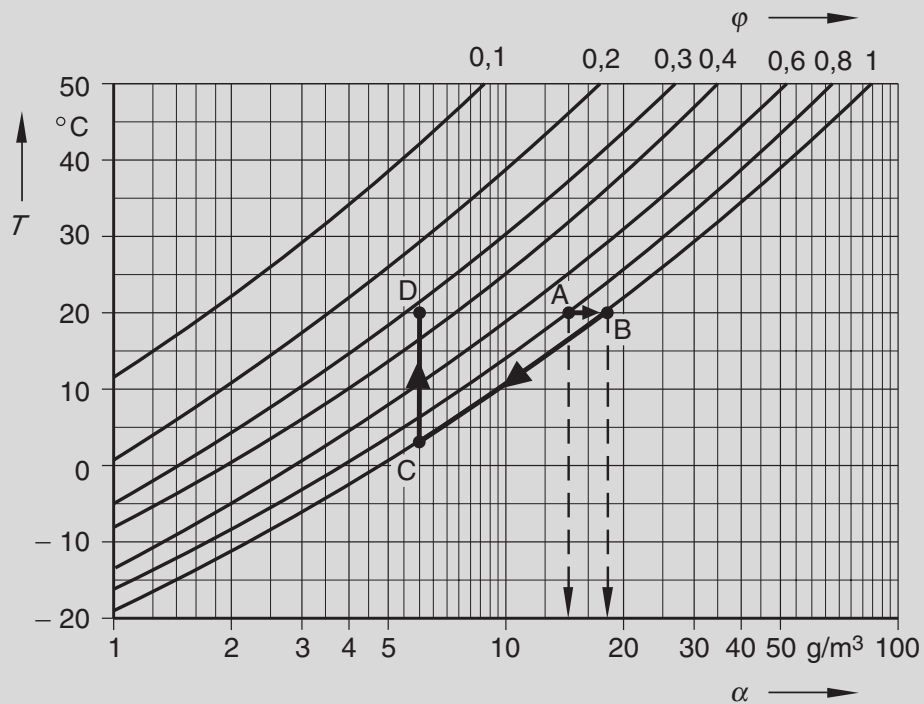
In deze $0,1357 \text{ m}^3$ is dus een massa van 14 gram waterdamp aanwezig. Bij een temperatuur van $20 \text{ }^\circ\text{C}$ kan maximaal 18 g/m^3 waterdamp aanwezig zijn, zie punt B in figuur 1.27. In $0,1357 \text{ m}^3$ kan dus maximaal aanwezig zijn:

$$0,1357 \times 18 = 2,4 \text{ g waterdamp.}$$

De hoeveelheid waterdamp die condenseert is dus:

$$14 - 2,4 = 11,6 \text{ g.}$$

Conclusie: per m^3 aangezogen lucht ontstaat 11,7 g condensaat.



Figuur 1.27

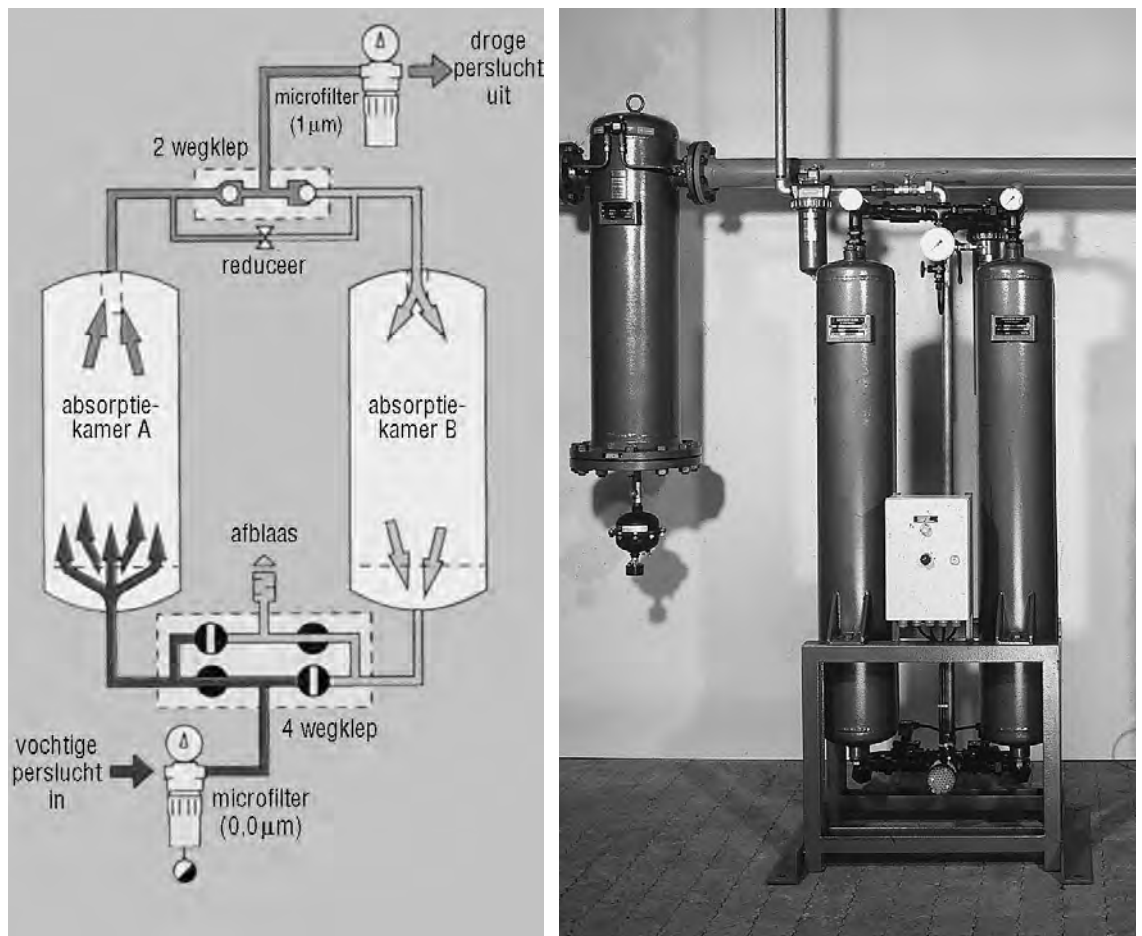
Voor het verwijderen van de verzadigde waterdamp uit de perslucht zijn er verschillende mogelijkheden. We kunnen met speciale absorberende middelen de waterdamp opvangen, maar de meest toegepaste methode is de zogenoemde koeldroging. Beide methoden worden nu besproken.

1.8.4 Absorptiedroger

Als we een persluchtleidingnet geheel of gedeeltelijk in de open lucht plaatsen, dan gaat de waterdamp van de lucht in de leidingen bij lage temperaturen condenseren en eventueel zelfs bevriezen. Dit veroorzaakt dan verstoppingen en corrosie (roestvorming).

Om dit te voorkomen kunnen we de lucht drogen met de zogenoemde *absorptiedroger*. Hierbij voeren we de lucht door een vloeistof absorberende stof, die al het in de lucht aanwezige water opneemt. Als absorberende stof kan silicagel (SiO_2) of actief aluminium (Al_2O_3) dienen.

Het probleem is dat deze absorberende stof met water verzadigd raakt. Om dit op te lossen nemen we in een dergelijke droger een regeneratie-eenheid op. De werking van dit droogstelsel leggen we uit aan de hand van figuur 1.28.



Figuur 1.28 Absorptiedroger

De absorptiedroger bestaat in principe uit twee absorptiekamers, A en B. Deze kunnen we inschakelen met kleppen.

In de figuur gaat de vochtige perslucht via een microfilter naar de absorptiedroger. Hierbij passeert de lucht eerst een vierwegklep, waarna deze in absorptiekamer A terechtkomt. Daar neemt de absorberende stof de waterdamp op. Vervolgens gaat de droge lucht naar het persluchtnet via een tweewegklep en een tweede microfilter.

regenereren

Terwijl absorptiekamer A in gebruik is, drogen we absorptiekamer B (*regenereren*). Daartoe verlagen we via een reduceerventiel de druk van een deel van de droge lucht uit kamer A, en voeren deze lucht door kamer B.

Eerder, toen kamer B in gebruik was, had de absorberende stof aldaar waterdamp geabsorbeerd. De droge lucht van lage druk die we nu uit kamer A toevoeren, neemt dit water echter weer op. Via een afblaassysteem voeren we deze lucht af naar de buitenlucht.

Bij het verzadigd raken van kamer A maken we met de vierwegklep kamer B actief, zodat we nu kamer A kunnen regenereren.

Een nadeel van dit systeem is dat een gedeelte van de perslucht weer naar de buitenlucht wordt afgevoerd.

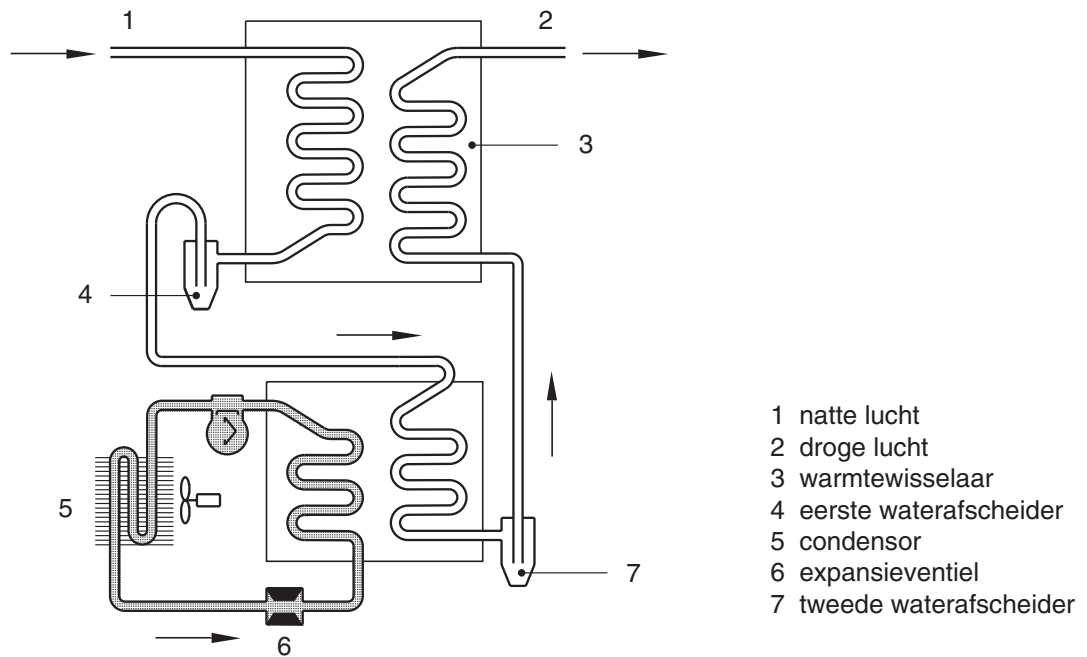
1.8.5 Koeldroger

Voor leidingsystemen in gebouwen waar de temperatuur niet beneden het vriespunt daalt, passen we meestal koeldrogers toe, zie figuur 1.29a. In figuur 1.29b zien we een schema van een koeldroger.



Figuur 1.29a Toepassing koeldroger

De natte lucht (1) passeert op zijn weg naar de eigenlijke koeldroger eerst een warmtewisselaar (3). Daar wordt een gedeelte van de warmte in de lucht afgevoerd. Ook passeert het een waterafscheider (4).



Figuur 1.29b Schema koeldroger

De werking van de koeldroger is net als die van een gewone koelkast. Hierin wordt de lucht tot minimaal 2 °C gekoeld. Bijna alle waterdamp condenseert hier en die wordt opgevangen in de waterafscheider (7). Zie ook figuur 1.27, de lijn B-C. De warmtewisselaar (3) verwarmt vervolgens de lucht, die daarna weer in het systeem terecht komt, zie figuur 1.27, punt D.

1.9 Persluchtleidingen

1.9.1 Het hoofdleidingnet

Het persluchtleidingnet kunnen we verdelen in een hoofdleidingnet en de verbindingen naar de verbruikers.

Voor de aanleg van een pneumatisch hoofdleidingsysteem moeten we met een aantal zaken rekening houden en bepaalde keuzes maken.

Zo kunnen we een ruimte of een bedrijf of een school van perslucht voorzien met een *ringleiding* of een *doodlopende leiding*. Aan deze leidingen worden dan de *aftakleidingen* naar de verbruikers vastgemaakt. Meestal bepaalt de vorm van de ruimte(s) de keuze tussen deze twee mogelijkheden. We passen meestal een ringleiding toe als de verbruikerspunten ver uit elkaar liggen.

De ringleiding heeft als voordeel dat hiervoor leidingen met een kleinere middellijn kunnen worden aangelegd. Wanneer we dit net op bepaalde plaatsen voorzien van afsluiters, dan hoeft in geval van leidingbreuk of vervanging van het leidingnet niet het gehele persluchtsysteem buiten werking te worden gesteld.

ringleiding
 aftakleiding

Als tweede mogelijkheid kunnen we kiezen voor een doodlopende leiding, wanneer de verbruikerspunten dicht bij elkaar liggen.

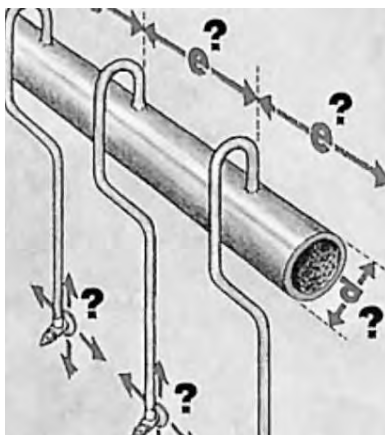
Bij beide systemen moeten we rekening houden met het feit dat persluchtleidingen aan temperatuurwisselingen kunnen blootstaan en dat hierdoor de leidingen zodanig gemonteerd moeten worden dat ze vrij kunnen uitzetten.

buffervat Bij beide systemen is het mogelijk om gedurende een korte tijd een grote luchtlevering te krijgen door in de leiding een *buffervat* te plaatsen. Hierdoor is het mogelijk om pieken in de luchtafname te overbruggen. De lucht zal rustiger uit het net in het buffervat nastromen en de drukval in het net zal kleiner worden.

In de hoofdpersluchtleiding zullen aftappunten moeten worden aangebracht om de verbruikers van lucht te voorzien. In de voorgaande paragrafen is al gesproken over het verschijnsel van vocht in de samengeperste lucht. Het is natuurlijk aan te bevelen om het vocht dat in de leiding ontstaat, niet in de verbruikerspunten te krijgen.

In figuur 1.30a zien we hoe we een aftakking op een hoofdleiding kunnen maken om te zorgen dat er geen water in de aftakleiding naar de luchtverbruikende installatie kan stromen. Ook is het zinvol om een leiding een beetje afschot te geven naar een bepaald laag punt.

Verder is het aan te bevelen op deze punten condensataaftapinstallaties te plaatsen om het eventueel gevormde water af te tappen. De condensataaftap, zie figuur 1.30b, kan uitgevoerd zijn met een vlotterinstallatie, die bij een bepaald waterniveau automatisch opent, of met een besturing die ervoor zorgt dat het water na een ingestelde tijd wordt afgetapt.



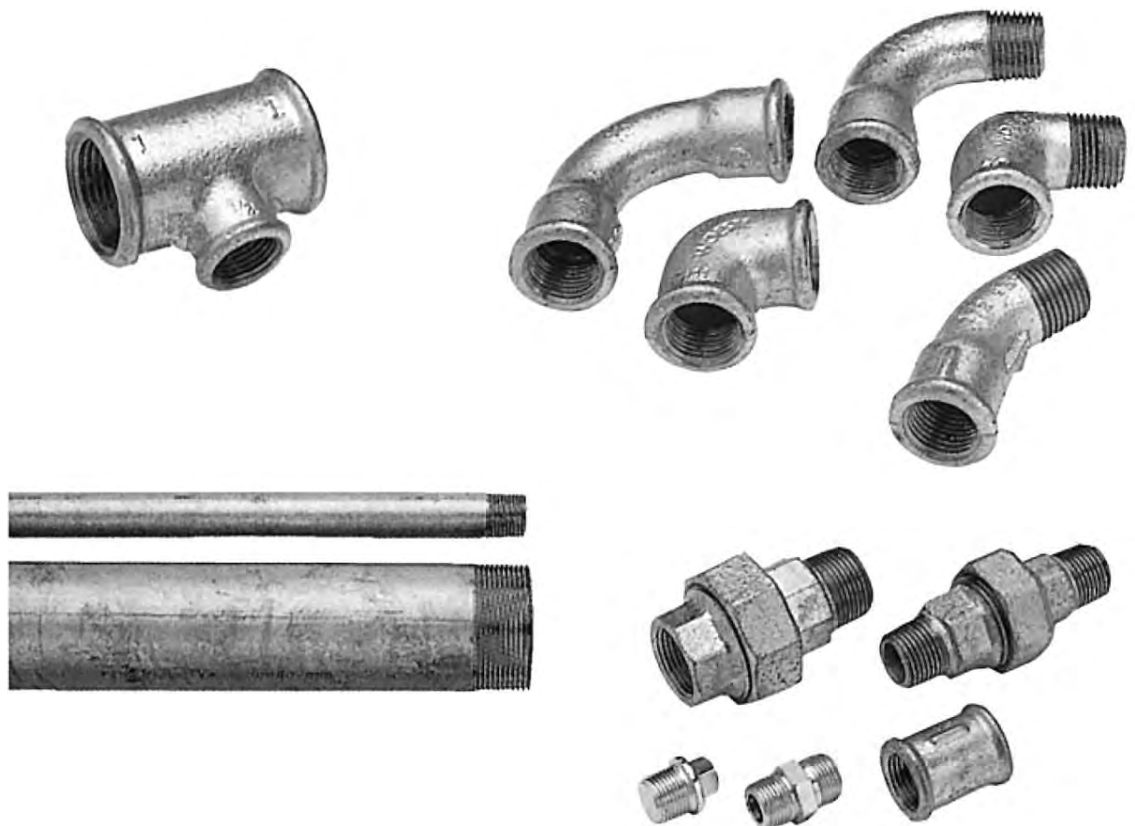
a aftakking



b condensataaftap

Figuur 1.30

Een persluchtleidingsysteem wordt opgebouwd uit stalen pijpen, roestvaststalen pijpen, koperen pijpen, kunststof pijpen of speciaal hiervoor geëxtrudeerde aluminium profielen, afhankelijk van de toepassing van het persluchtsysteem. Stalen pijpen zijn verkrijgbaar in verschillende uitvoeringen. Voor drukken lager dan $10 \cdot 10^5$ Pa gebruiken we stalen pijpen die genormaliseerd zijn volgens DIN 2440 en voor drukken hoger dan $10 \cdot 10^5$ Pa pijpen volgens DIN 2391C. Meestal zal men om roestvorming te voorkomen gebruikmaken van gegalvaniseerde stalen pijpen. Voor het verbinden van stalen pijpen tot een leidingsysteem gebruiken we lastechnieken of gefitte verbindingen, waarbij gebruik wordt gemaakt van schroefdraad. In figuur 1.31 is een aantal verbindingsmogelijkheden weergegeven, zoals T-stukken, bochten en koppelingen.



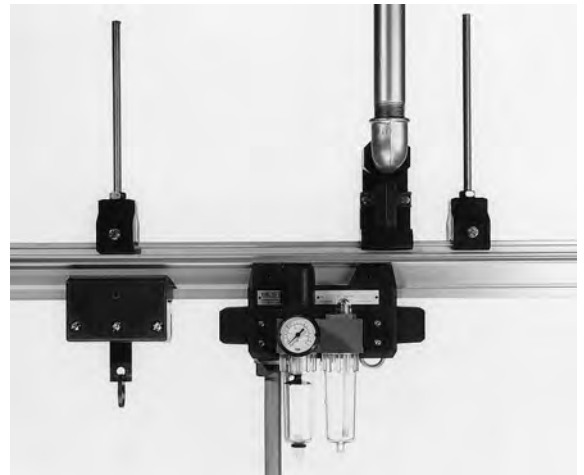
Figuur 1.31 Verbindingsmogelijkheden voor stalen pijpen

Het lassen voor het verbinden van leidingen heeft als nadeel dat hierdoor roestvorming aan de binnenzijde van de pijp ontstaat, en dat vuildeeltjes in de leiding achterblijven die met de luchtstroom worden meegenomen en schade toebrengen aan de ventielen of uitvoerorganen. Bij de gefitte systemen heeft men van dergelijke problemen weinig last.

De toepassing van koperen pijpen heeft het voordeel dat roestvorming wordt voorkomen en dat de montage van een leidingsysteem eenvoudiger is, omdat de verbindingen gesoldeerd worden. Door de gladde binnenzijde van deze pijpen is de stromingsweerstand relatief gering. Koperen pijpen zijn natuurlijk wel duurder dan stalen pijpen.

Kunststof pijpen hebben het voordeel dat ze gemakkelijk gemonteerd kunnen worden: de verbindingen worden gelijmd. De binnenkant van kunststof pijpen is zeer glad, zodat de stromingsweerstand heel klein is. Doordat kunststof pijpen gemakkelijk doorbuigen, zijn veel meer ophangbeugels nodig dan bij andere systemen. Ook is het gevaar aanwezig dat door onoordeelkundig gebruik van het leidingsysteem de leidingen kunnen barsten.

De speciaal geëxtrudeerde profielen worden meestal gebruikt in doodlopende hoofdleidingsystemen waar veel aansluitpunten nodig zijn. Ook kunnen Montagelijnen waar pneumatisch gereedschap wordt gebruikt, worden uitgevoerd met zogenoemde Besta-rails. In figuur 1.32 zien we een voorbeeld van een dergelijk systeem.



Figuur 1.32 Leidingsysteem van geëxtrudeerd aluminium

Het aluminium profiel heeft een zodanige doorsnede dat hierover een wagentje kan worden bewogen. Aan dit wagentje worden voorzieningen aangebracht waarmee lucht naar een bepaalde toepassing kan worden getransporteerd. Zo kan bijvoorbeeld een flexibele slang met een snelkoppeling worden gemonteerd, waaraan een gereedschapswerktuig kan worden vastgemaakt. Aan de onderzijde van het aluminium profiel zijn op bepaalde afstanden koppelplaten aangebracht waar het wagentje naartoe kan worden getrokken. Wanneer de slang wordt losgelaten, zal de koppeling automatisch totstandkomen. Ten opzichte van een conventioneel systeem is het Besta-railsysteem ergonomisch in gebruik.

1.9.2 Verbindingen naar verbruikers

aansluitslang

Voor het aankoppelen van een installatie of gereedschappen die pneumatische energie nodig hebben, gebruiken we meestal slangen. Hiervoor bestaan verschillende mogelijkheden, afhankelijk van de toepassing. Voor het koppelen van een installatie op een hoofdleidingsysteem gebruiken we meestal *aansluitslangen*, zie figuur 1.33. Deze slangen kunnen de trillingen die in de installatie worden opgewekt, isoleren ten opzichte van het hoofdleidingsysteem.



Figuur 1.33 Aansluitslang

klauwkoppeling
slangpilaar

Voor het aansluiten van gereedschap op een hoofdleidingsysteem kunnen we gebruikmaken van rubber of kunststof slangen, zie figuur 1.34a. Rubber slangen worden meestal toegepast wanneer grote hoeveelheden lucht over grote afstanden moeten worden verplaatst. Hierbij kiezen we voor een koppeling met een grote doorlaat, de zogenoemde *klauwkoppeling*.

In figuur 1.34b zijn klauwkoppelingen afgebeeld met de bijbehorende *slangpilaar*, waarmee de koppeling op de slang wordt vastgemaakt.



a rubber slang



b klauwkoppeling

Figuur 1.34

snelkoppeling

Voor het aansluiten van persluchtgereedschap gebruiken we meestal nylon of kunststof slangen. Deze slangen zijn verkrijgbaar met diverse middellijnen. De slangen worden met *snelkoppelingen* vastgemaakt aan een aftakking van het hoofdleidingsysteem en aan het gereedschap. Hierbij gebruiken we eerst slangpilaren die in de slang worden geschoven, waarna ze worden vastgezet met slangklemmen. Op deze slangpilaren wordt de snelkoppeling gemonteerd. In figuur 1.35 zien we voorbeelden van slangen, slangpilaren en slangklemmen.



Figuur 1.35 Slangen, slangpilaren en slangklemmen

Snelkoppelingen bestaan in principe uit twee gedeelten: de koppeling en een nippel. De verbinding komt tot stand door de nippel, die is vastgemaakt aan de slang, in de koppeling te schuiven. Het ontkoppelen gebeurt door een ring op de koppeling omhoog te schuiven, waarna de nippel uit de koppeling schuift. In figuur 1.36 zien we een snelkoppeling met nippel.



Figuur 1.36 Snelkoppeling met nippel

veiligheids-
koppeling

Een nadeel bij dit soort koppelingen is dat de slang tijdens het ontkoppelen onder druk staat, waarbij na het ontkoppelen de slang snel leegloopt, zodat deze kan gaan ‘slaan’. Omdat daardoor verwondingen kunnen ontstaan, is de zogenoemde *veiligheidskoppeling* ontwikkeld. Bij deze koppeling is een knop aangebracht, die bij het ontkoppelen twee keer moet worden ingedrukt. De eerste indrukking heeft tot gevolg dat het slanggedeelte wordt ontvlucht, waarna bij een tweede indrukking de nippel uit de koppeling zal glijden. In figuur 1.37 zien we een veiligheidskoppeling. De conventionele koppeling en de veiligheidskoppeling hebben dezelfde nippels.



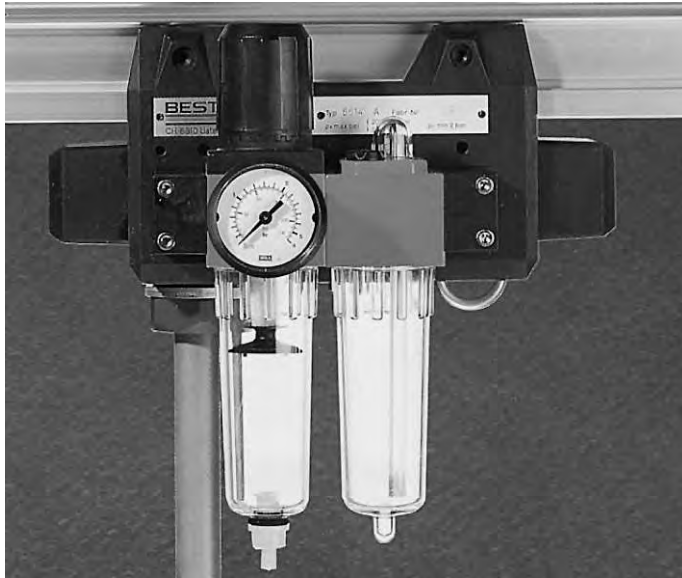
Figuur 1.37 Veiligheidskoppeling

1.9.3 Conditioneringseenheid

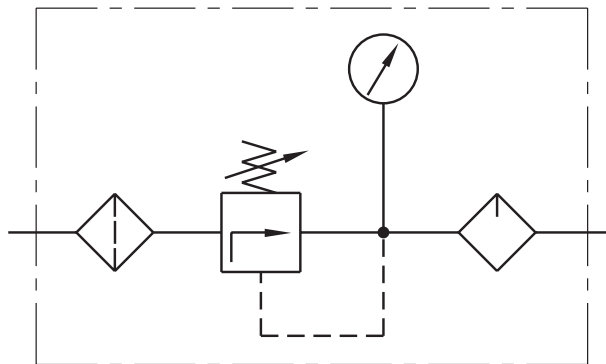
Voordat de perslucht uit het leidingsysteem aan een pneumatische installatie wordt toegevoegd, wordt deze door een *conditionerings-* of *verzorgingseenheid* geleid, zie figuur 1.38.

Een conditioneringseenheid is een combinatie van:

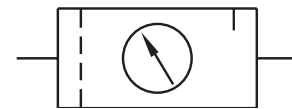
- een persluchtfilter;
- een reduceerventiel;
- een smeertoestel.



a uitvoering



b uitgebreid symbool

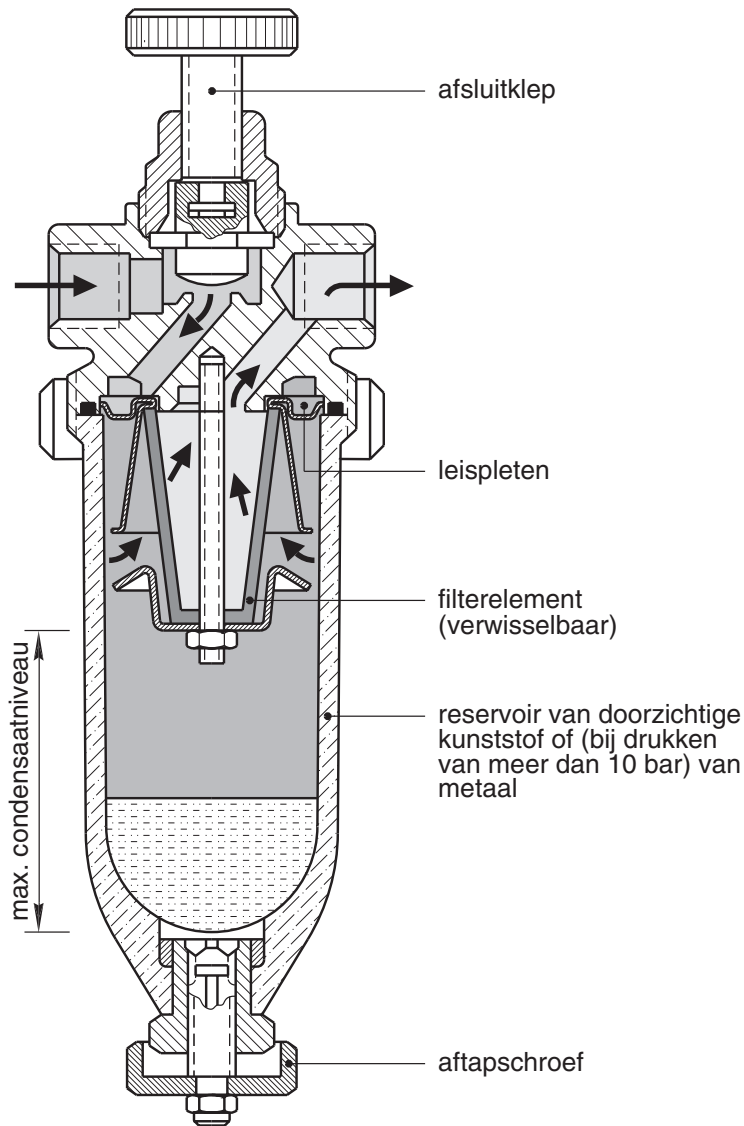


c vereenvoudigd symbool

Figuur 1.38 Conditioneringseenheid

Persluchtfilter

Verontreinigingen zoals stof, vuil en roest hebben nadelige invloeden op de glijvlakken, afdichtingen en de werking van pneumatische elementen. Om de perslucht van die verontreinigingen en eventueel water te ontdoen stromen deze via leispletten roterend in het reservoir van het persfilter, zie figuur 1.39. Grote verontreinigingen worden door de middelpuntvliedende kracht weggeslingerd en onder in het reservoir verzameld. Kleinere verontreinigingen worden tijdens het doorstromen naar de uitgang door de poriën van het filter tegengehouden. Uiteraard dienen we het filter en het reservoir regelmatig schoon te maken.



a doorsnede

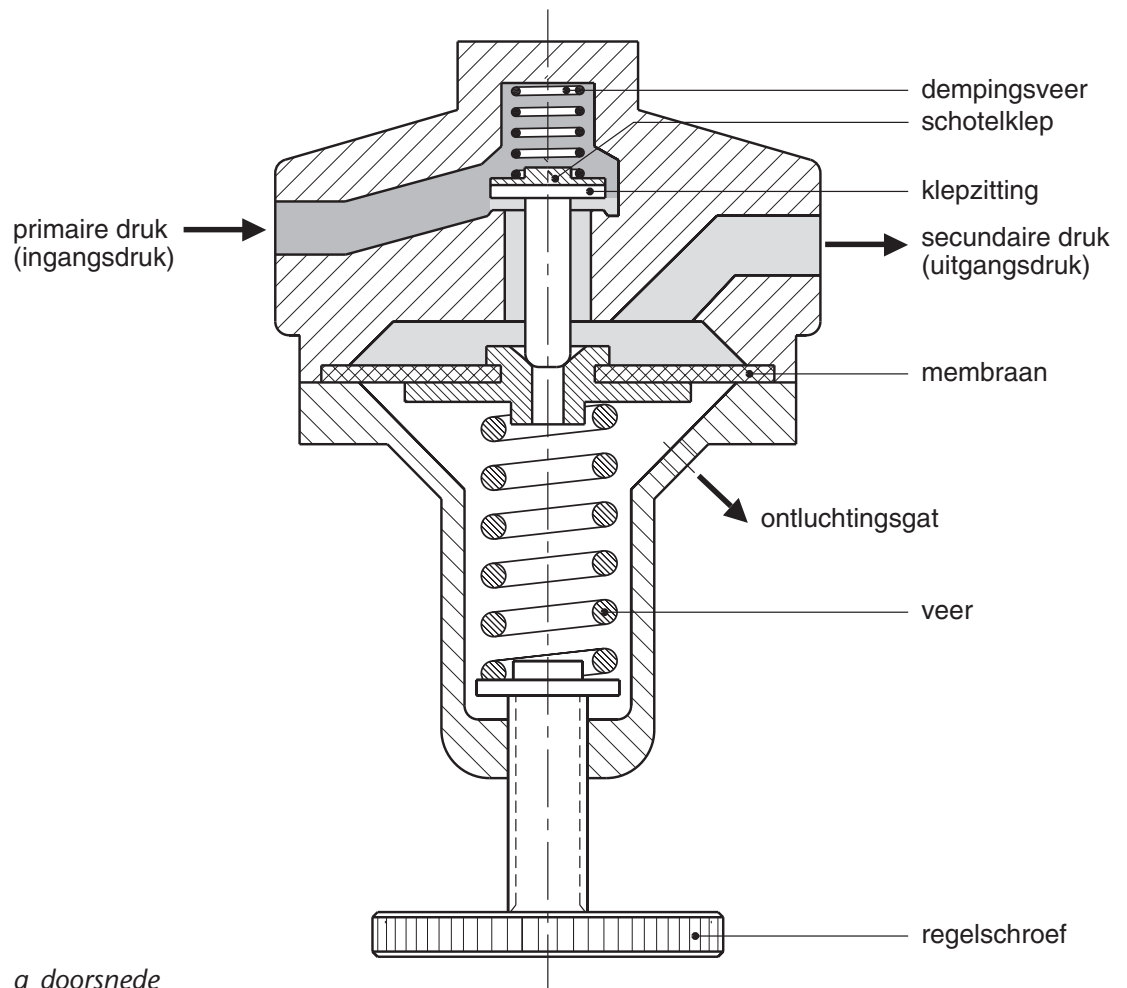


b symbool

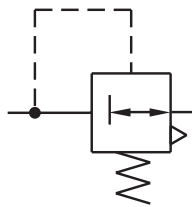
Figuur 1.39 Persfilter

Reduceerventiel

Het reduceerventiel heeft tot doel een lagere werkdruk in te stellen zodat deze onafhankelijk wordt van de variaties in de netdruk. De werkdruk wordt geregeld door een klep die aan de onderzijde gestuurd wordt door een membraan. Zie figuur 1.40.



a doorsnede



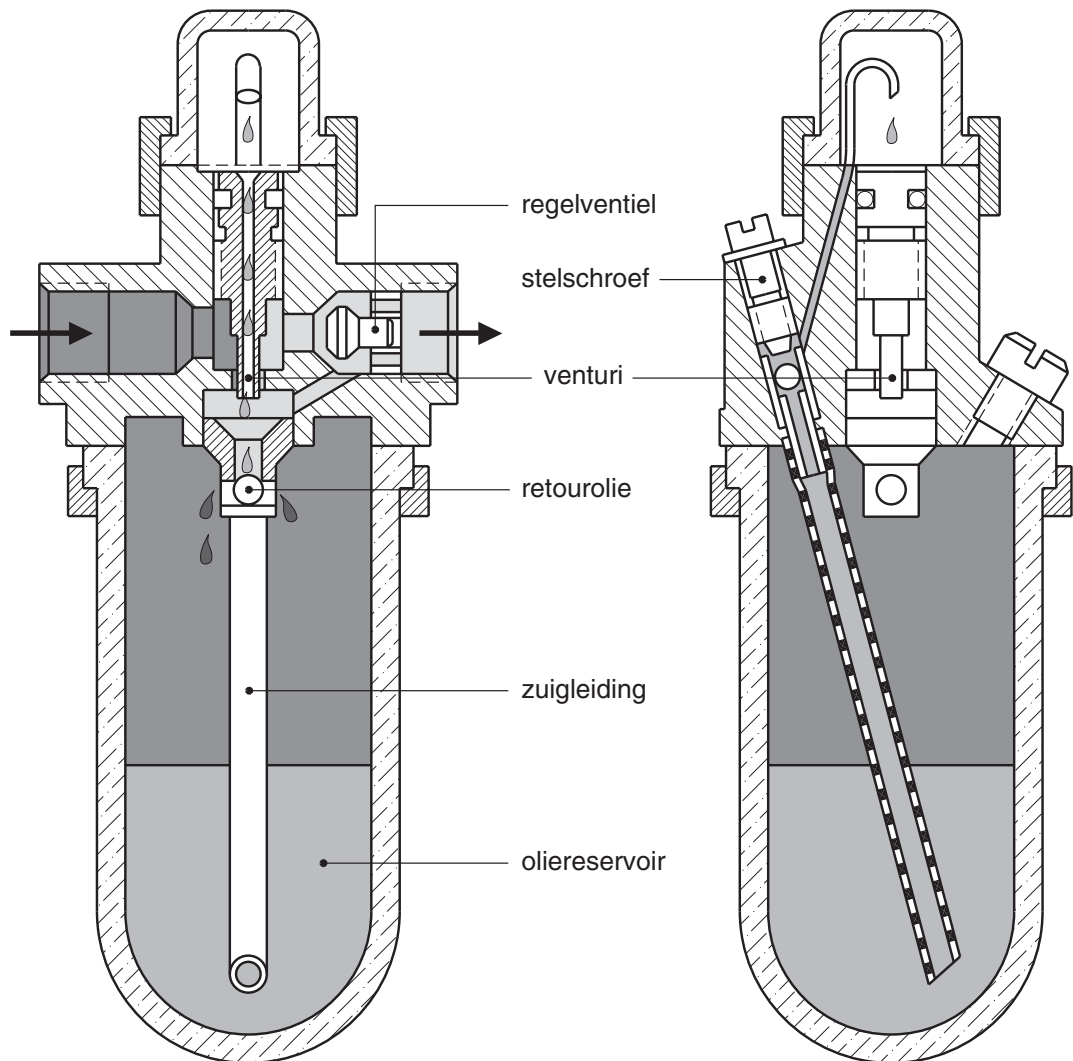
b symbol

Figuur 1.40 Reduceerventiel

De opwaartse klepkracht wordt bepaald door een veer met regelschroef, waarmee de gewenste werkdruk (secundaire druk) ingesteld wordt. De neerwaartse klepkracht wordt hoofdzakelijk bepaald door de werkdruk aan de bovenzijde van het membraan. Neemt de werkdruk naar de verbruiker af, dan wordt door de veerkracht het membraan verder opengestuurd. Hierdoor stroomt de perslucht sneller toe en loopt de werkdruk weer op. Het membraan zal tegen de ingestelde veerkracht in neerwaarts bewegen. De klep sluit weer enigszins door de netdruk (primaire druk) aan de bovenzijde van de klep. Om drukschommelingen te voorkomen is aan de bovenzijde van de klep een dempingsveer aangebracht.

Smeertoestel

Om de weerstand door wrijving en de slijtage aan glijdende onderdelen te verminderen kunnen we de perslucht eventueel van een olienevel voorzien met behulp van een smeertoestel. Zie figuur 1.41. Doorgaans is dit alleen nodig bij grotere cilinders en persluchtmotoren die langdurig achtereen in bedrijf zijn. Bijkomend voordeel van olieverneming is dat de verschillende pneumatische onderdelen in de installatie beschermd worden tegen corrosie.



a twee doorsneden



b symbol

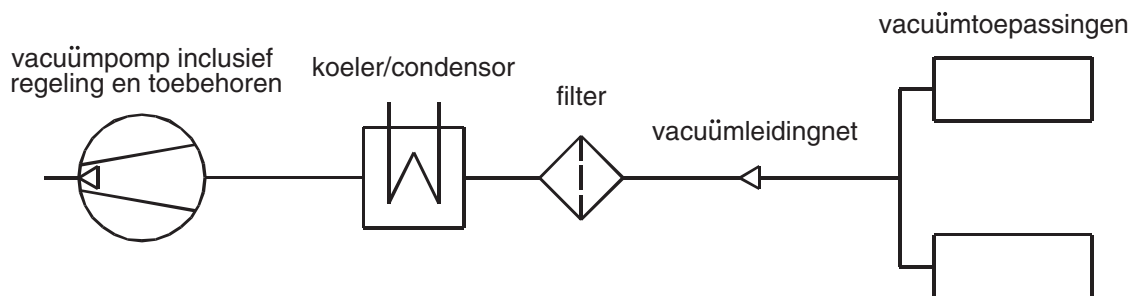
Figuur 1.41 Smeertoestel

Een smeertoestel werkt volgens het *venturi-principe*. De lagere druk in de venturi wordt gebruikt om de olie uit een reservoir te zuigen en met de lucht te vermengen. Via een regelschroef wordt een deel van de perslucht via de venturi geleid. In de zuigleiding voor de olie zit een klepje dat het terugstromen van de olie tijdens de stilstand van de installatie voorkomt. De hoeveelheid toe te voeren olie regelen we door middel van een stelschroef. Overtollige oliedruppels vallen na het passeren van de venturi terug in het reservoir.

1.10 Opbouw van een vacuümsysteem

Figuur 1.42 toont een vacuümsysteem in zijn geheel. Zo'n systeem bevat de volgende drie functies:

- vacuümpomp, met regeling en toebehoren;
- vacuümdistributienet;
- vacuümtoepassing.



Figuur 1.42 Schema van een vacuümsysteem

Het creëren van vacuüm gebeurt door een vacuümpomp in te schakelen. Wanneer hoge eisen aan de onderdruk worden gesteld, dan kunnen we meerdere typen vacuümpompen in serie schakelen. Behalve aan het soort vacuüm worden er ook eisen aan de evacuatielijd gesteld. De *evacuatielijd* is de tijd waarbinnen de vacuümruimte op de gewenste vacuümdruk moet worden gebracht. Om een korte evacuatielijd te verkrijgen moeten we vacuümpompen met een grote capaciteit kiezen of kunnen we vacuümpompen parallel schakelen. De uitvoeringsvormen van vacuümpompen komen overeen met de uitvoeringsvormen van compressoren. Tabel 1.5 geeft van de meest toegepaste industriële vacuümpompen een overzicht van de belangrijkste kenmerken. Op identieke wijze als bij een compressor moeten we de vacuümpomp beschermen tegen verontreinigingen door de intredende lucht te filteren. Een verschil met de compressorinstallatie is dat waterdamp alleen voorkomen kan worden door de intredende lucht te koelen met behulp van een condensator.

evacuatielijd

TABEL 1.5 KENMERKEN VAN INDUSTRIËLE VACUÛMPOMPEN

pomptype	minimale onderdruk in mbar	capaciteit in m ³ /h	kenmerken
Rootsblower, drooglopend	100	200–100.000	gevoelig voor temperatuurverschillen en verontreinigingen
zuigerpomp, drooglopend	80	1–1000	eenvoudig principe zwaar in uitvoering
membraanpomp, drooglopend	80 enkeltraps 5 meertraps	0,1–15	geschikt voor agressieve media snelle slijtage van het membraan
schroefpomp, oliegesmeerd	0,1	70–2500	geschikt voor vochtige media goed regelbaar koeling vaak noodzakelijk
schottenpomp, oliegesmeerd	0,1 enkeltraps 0,001 meertraps	1–1600	trillingsvrij en goed regelbaar gevoelig voor verontreinigingen

Pneumatische componenten

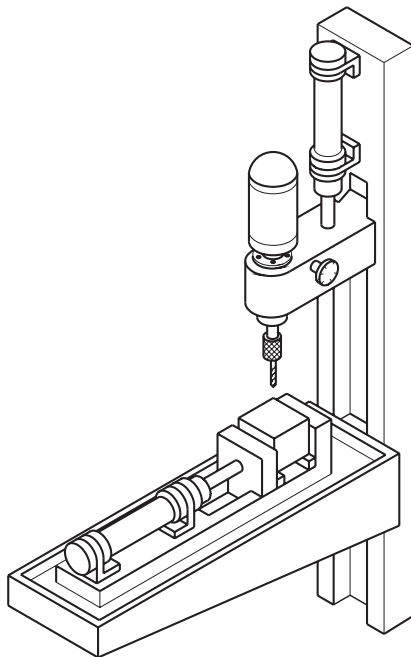
2



2.1 Mechanisatie en automatisering

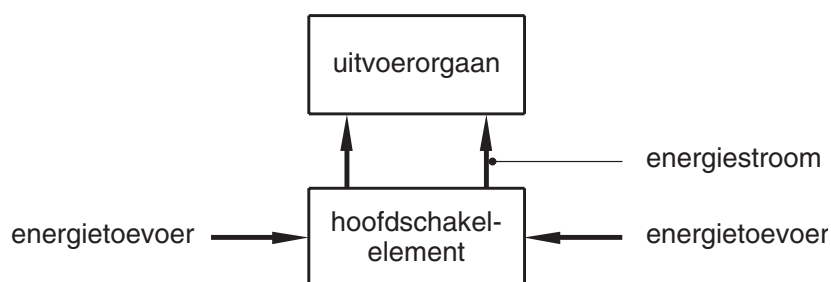
2.1.1 Inleiding

Lucht onder druk geeft de energie aan een pneumatisch uitvoerorgaan. In de boorunit van figuur 2.1 nemen we cilinders voor rechtlijnige bewegingen, zoals het spannen van het werkstuk en de aanzetbeweging van de boor. Voor de ronddraaiende boorbeweging kunnen we een luchtmotor nemen. In de praktijk worden bij pneumatische booreenheden de rechtlijnige en ronddraaiende bewegingen zelfs gecombineerd in één booreenheid.



Figuur 2.1 Pneumatische boorunit

Om in bedrijf te komen moet een uitvoerorgaan aangesloten worden op een energiestroom. We kunnen denken aan een schakelaar die wel of geen elektrische stroom laat lopen door een elektromotor. Zo'n schakelaar noemen we in dit geval een hoofdschakel-element, zie figuur 2.2.



Figuur 2.2 Aansluiting op een energiestroom

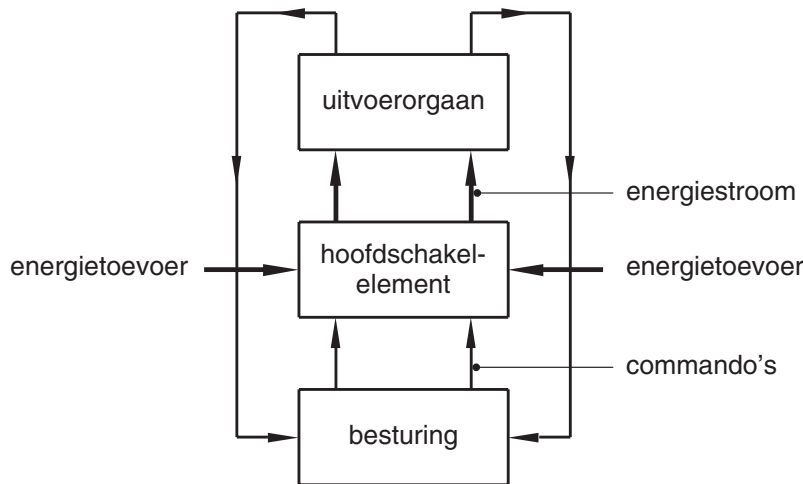
mechanisering

Bij deze aandrijftechnieken leidt de mens de productie in goede banen door zelf de machines te bedienen. Als technische hulpmiddelen alle routinehandelingen overnemen en de productie zelfwerkend verloopt, spreken we van *mechanisering*.

besturing
logisch systeem

De technische hulpmiddelen nodig voor mechanisering noemen we meestal *besturingen*. Hiermee kunnen we routinehandelingen en het geheugengebruik van de mens laten overnemen door *logische systemen*. Hierbij ontvangt een hoofdschakel-element commando's van een besturing.

In figuur 2.3 zien we de plaats van het hoofdschakel-element in een blokschema.



Figuur 2.3 Blokschema met hoofdschakel-element

2.1.2 Signalen en signaalgevers

In figuur 2.4 zien we een voorbeeld van een geautomatiseerde productie-eenheid. Zo'n eenheid bevat een groot aantal uitvoerorganen, die ten opzichte van elkaar op een bepaalde manier bewegen.

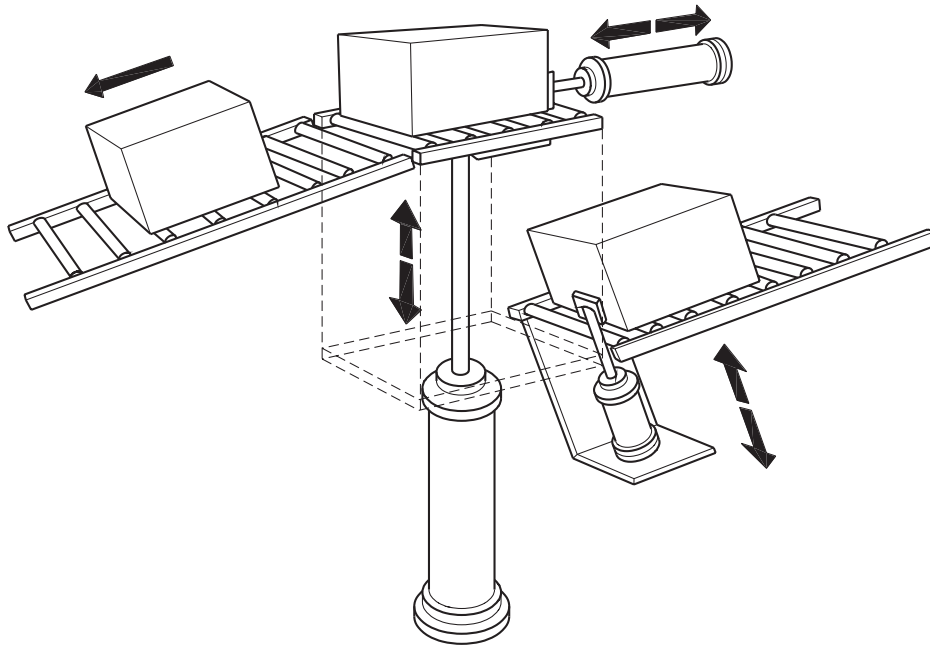
Als we een productie-eenheid willen automatiseren, moeten we een besturings-systeem aan de uitvoerorganen koppelen. Een besturingssysteem kan alleen werken als er informatie wordt toegevoerd.

Het systeem moet weten in welke posities de verschillende uitvoerorganen zich bevinden. Alleen dan kan het systeem op de juiste wijze de handeling commanderen. Er moeten dus componenten zijn die aangeven:

- de stand van uitvoerorganen;
- de positie van een product;
- de hoogte van een vloeistofniveau;
- enzovoort.

signaalgever

Zulke componenten noemen we informatie-elementen of *signaalgevers*.

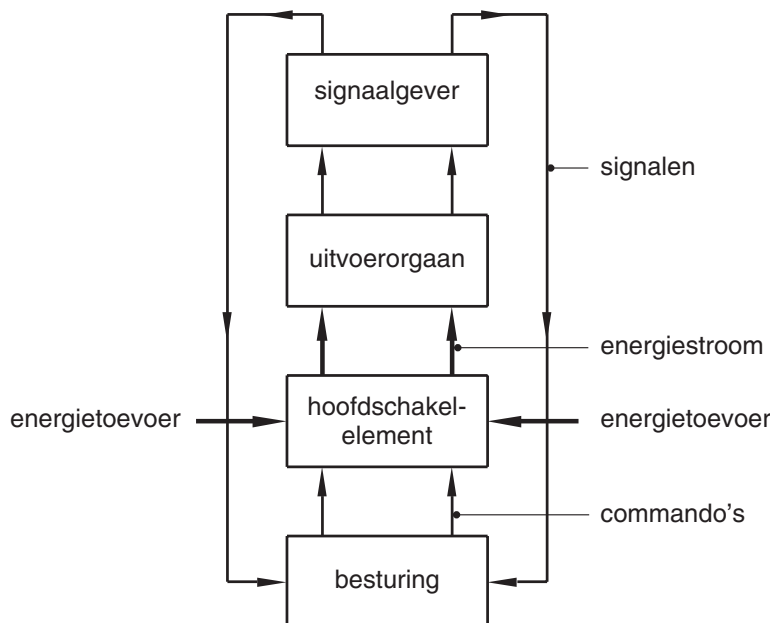


Figuur 2.4 Geautomatiseerde productie-eenheid

2.1.3 Besturingen

Het besturingssysteem ontvangt informatie uit het proces en vertaalt deze informatie in commando's voor de uitvoerorganen. Zie figuur 2.5.

Figuur 2.5 Blokschema van een geautomatiseerd proces

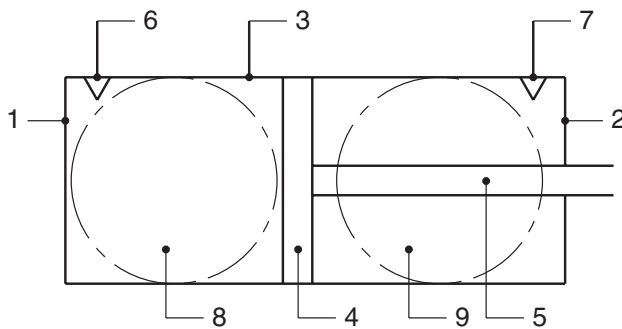


Het besturingssysteem bestaat uit een aantal pneumatische of elektrische elementen. Ook kunnen we de besturing met een computer (PLC) uitvoeren.

2.2 Cilinders

De uitvoerorganen van pneumatische besturingen zijn in hoofdzaak *persluchtcilinders*. We kunnen ze op een eenvoudige wijze, zonder hulpmiddelen, gebruiken voor lineaire aandrijvingen. Tijdens de heen-en-weergaande slag wordt de statische energie van de perslucht omgezet in mechanische arbeid, beweging en kracht.

In figuur 2.6 zien we enkele algemene aanduidingen bij persluchtcilinders.



- | | |
|----------------|---|
| 1 bodemzijde | 6 persluchtaansluiting aan de bodemzijde |
| 2 dekselzijde | 7 persluchtaansluiting aan de dekselzijde |
| 3 cilinderbuis | 8 zuigeroppervlak |
| 4 zuiger | 9 ringoppervlak |
| 5 zuigerstang | |

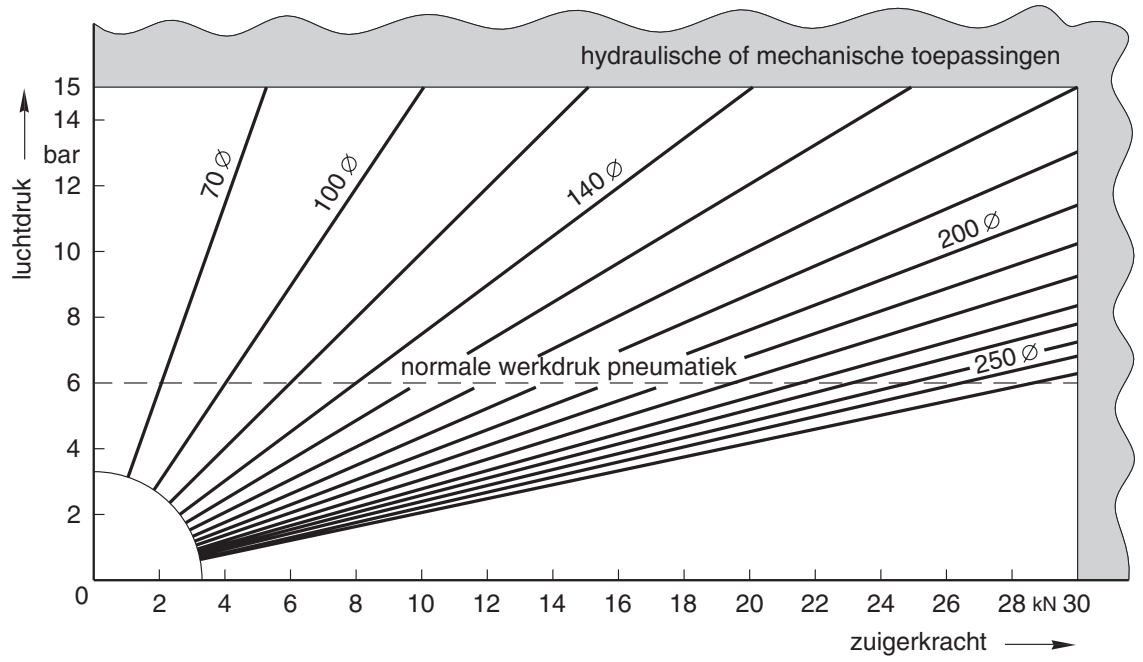
Figuur 2.6 Aanduidingen bij persluchtcilinders

Het toepassingsgebied van persluchtcilinders wordt begrensd door de snelheid, kracht en slaglengte. Pneumatiek is uitermate geschikt voor hoge snelheden. Het toepassingsgebied ligt hoofdzakelijk tussen 0,05 en 1 m/s. De kracht die een persluchtcilinder levert, wordt bepaald door de werkdruk en het zuigeroppervlak. Figuur 2.7a geeft de waarden van de cilinderkracht bij de gekozen werkdruk en de cilindermiddellijn. Hieruit blijkt dat persluchtcilinders bruikbaar zijn tot een kracht van 30 kN.

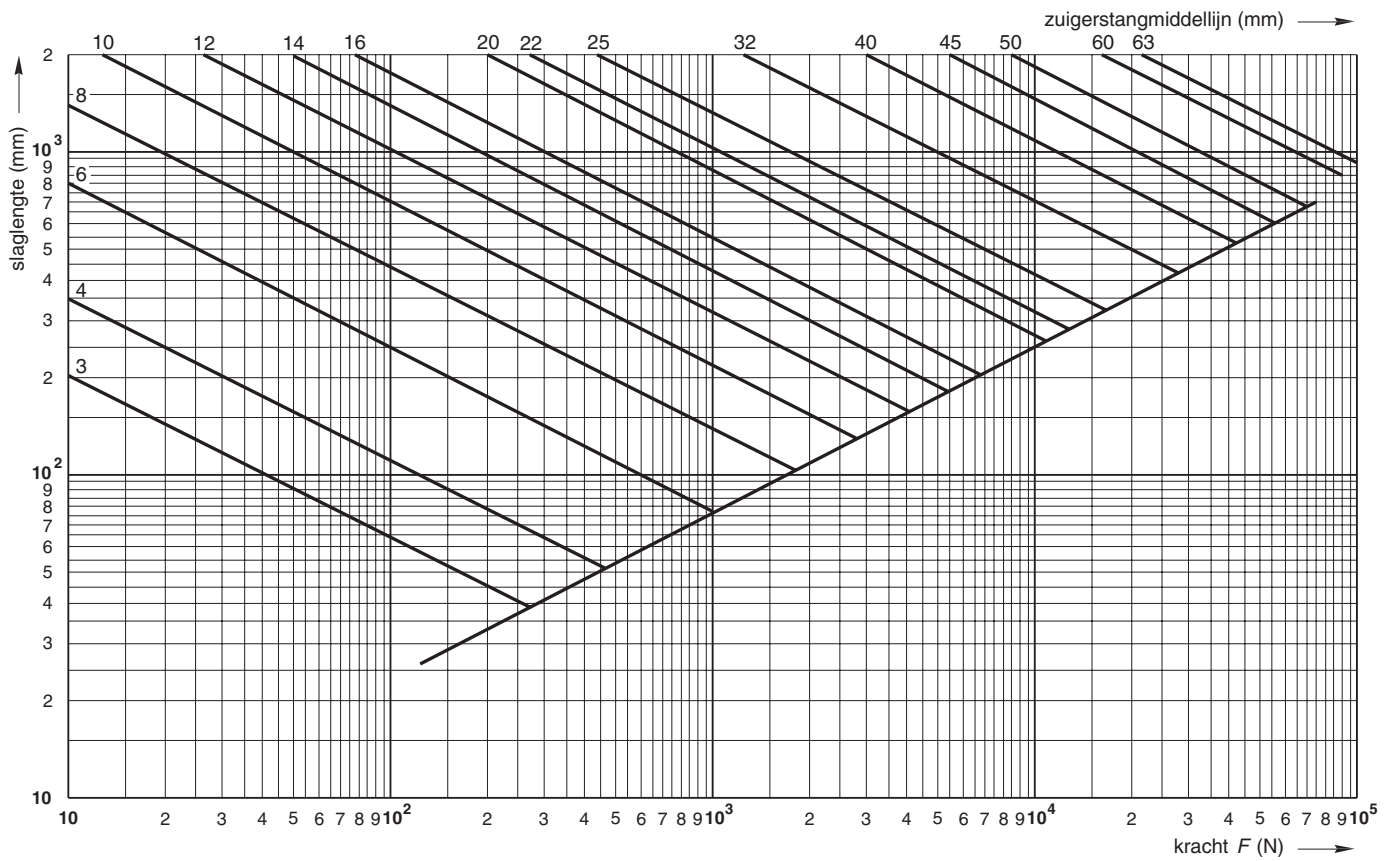
Een zuigerstang wordt tijdens de uitgaande slag in toenemende mate belast op knik. De knikbelasting is daarbij afhankelijk van:

- de bevestiging van de cilinder en de zuigerstang;
- de grootte van de kracht en/of slaglengte.

Uitgaande van de ongunstigste bevestiging geeft figuur 2.7b de minimaal vereiste zuigerstangmiddellijn afhankelijk van de kracht en de slaglengte.



a cilinderkracht als functie van de cilindermiddellijn en de werkdruk



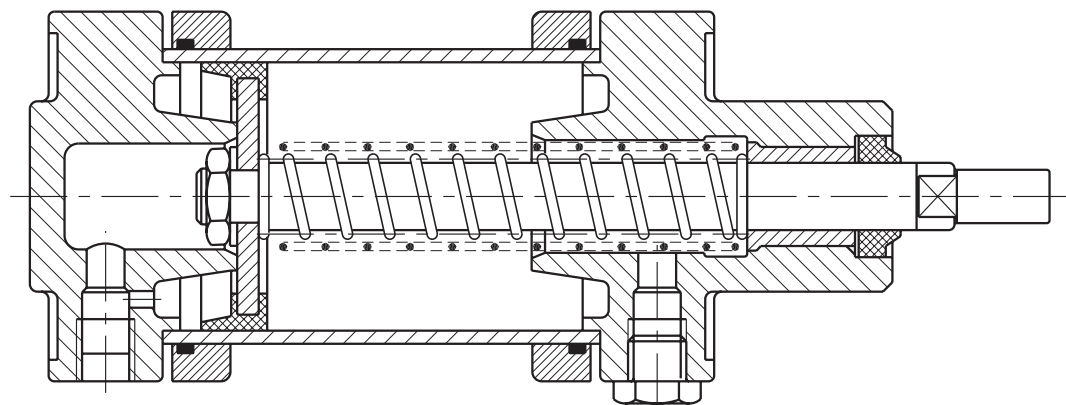
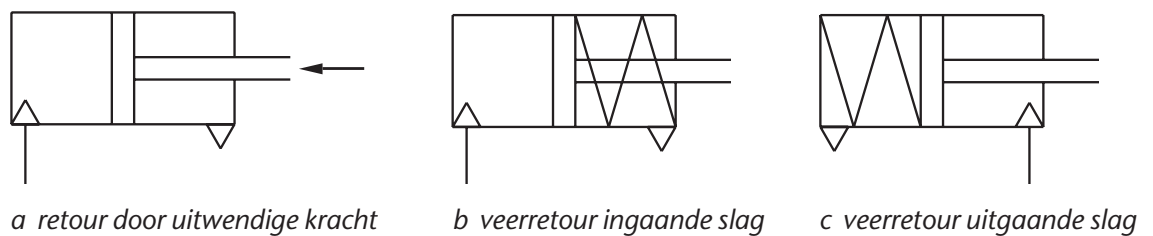
b zuigerstangmiddellijn als functie van de kracht en slaglengte

Figuur 2.7

2.2.1 Enkelwerkende cilinders

Bij enkelwerkende persluchtcilinders kan de perslucht slechts aan één kant op de zuiger werken en dus kracht leveren in één richting. We kunnen dus geen zware onderdelen aan de cilinder bevestigen die ook bij de teruggaande slag van de zuiger verplaatst moeten worden. De ingaande slag vindt plaats door een ingebouwde terugbrengveer of door uitwendige krachten op de zuigerstang. Zie figuur 2.8a en b. Aan de stangzijde is een ontluchting aanwezig om daar een drukopbouw tijdens de uitgaande slag te voorkomen. Door deze opening kan de lucht wegstromen die in deze ruimte aanwezig is.

De uitgangspositie van een enkelwerkende cilinder kan overigens zowel een ingeschoven als een uitgeschoven zuigerstang zijn. Zie figuur 2.8b en c.



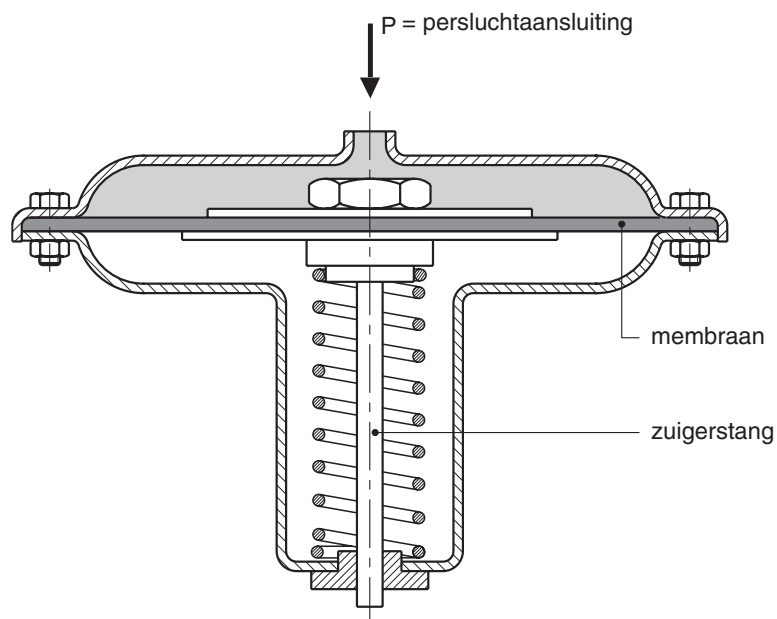
d doorsnede

Figuur 2.8 Enkelwerkende cilinder

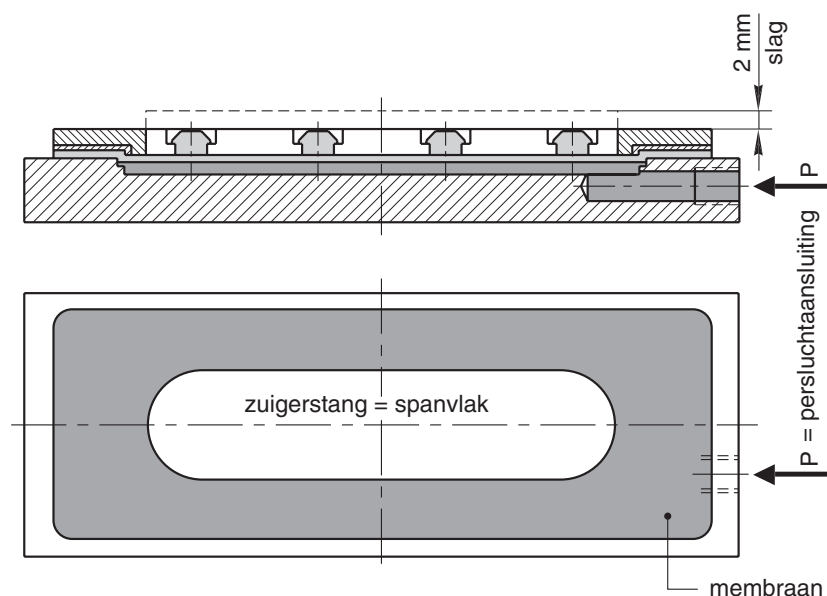
De enkelwerkende cilinder wordt samengesteld uit naadloos getrokken stalen, aluminium of messing buis en twee deksels van meestal grijs gietijzer of een aluminium gietlegering. Zie figuur 2.8d. De bodem en het deksel worden door schroefdraad, rolforceren of met flenzen aan de cilinderbuis bevestigd. De zuiger is meestal voorzien van een V-vormige manchet. Tijdens de werkslag drukt de perslucht de lip van de manchet tegen de zuigerwand en dicht zo de zuiger af. De zuigerstang wordt geleid door een bus in de dekselzijde. Om beschadiging door vuil te voorkomen zit aan de buitenzijde van de bus een schraapring. Door de ingebouwde veer is de slaglengte van de enkelwerkende cilinder beperkt tot meestal 100 mm.

De veerkracht bedraagt gewoonlijk 10 tot 15% van de perskracht van de cilinder bij $6 \cdot 10^5$ Pa (6 bar).

Enkelwerkende cilinders passen we vaak toe als spancilinders. Een van de eenvoudigste uitvoeringen van een spancilinder is de membraancilinder. Zie figuur 2.9a. Hierin zit een membraan van hardrubber, kunststof of metaal geklemd tussen twee metalen schalen. De zuigerstang is bevestigd in het hart van de membraan. De zuigerstang van een membraancilinder kan ook vlak zijn en op die manier direct een metalen spanvlak vormen. Zie figuur 2.9b.



a membraancilinder met terugbrengveer

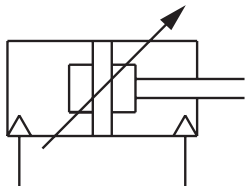


b membraancilinder met teruggaande slag door de membraanspanning

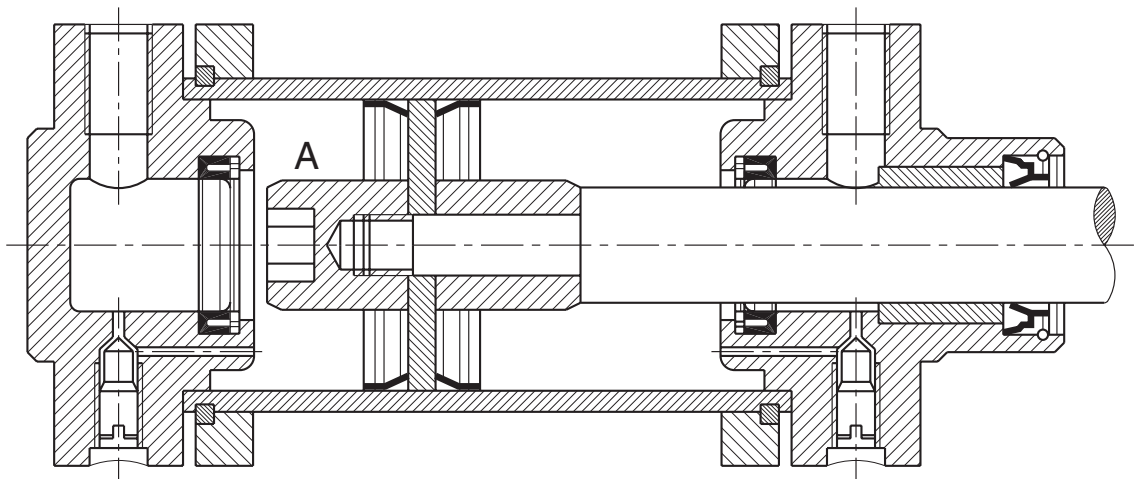
Figuur 2.9 Enkelwerkende spancilinders

2.2.2 Dubbelwerkende cilinders

Dubbelwerkende persluchtcilinders hebben altijd twee persluchtaansluitingen: één aan elke zijde van de zuiger. De dubbelwerkende cilinder kan daarmee kracht leveren in beide bewegingsrichtingen. De basisconstructie en de benamingen van de onderdelen komen overeen met die van de enkelwerkende cilinder. In figuur 2.10b zien we dat de zuiger nu een dubbele lipafdichting heeft.



a symbol



b doorsnede

Figuur 2.10 Dubbelwerkende cilinder

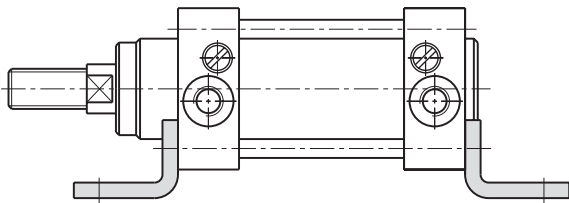
Vaak worden dubbelwerkende persluchtcilinders voorzien van een instelbare buffer. Een dergelijke buffer is nodig wanneer de cilinder zelf grote massa's in de eindstanden moet afremmen. We zien in figuur 2.10b dat aan het einde van de slag prop A de normale luchttuitlaat afsluit. Daardoor wordt de lucht in de bufferruimte samengeperst. Deze samengeperste lucht kan slechts langzaam via een instelbare smoring wegstromen. Bij het omkeren van de bewegingsrichting wordt een terugslagklepje geopend, zodat geen smoring optreedt van het instromen van de lucht. De zuigerstang schuift zodoende met volle kracht en snelheid uit de bufferzone.

Normalisering maakt het mogelijk gelijkwaardige pneumatiekcilinders van verschillend fabrikaat onderling te verwisselen, zie tabel 2.1. Er is echter een groot assortiment aan sterk uiteenlopende persluchtcilinders, die lang niet allemaal voldoen aan de geldende normen.

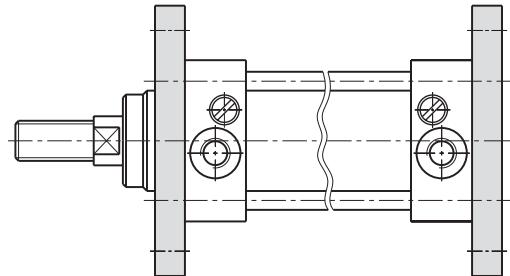
TABEL 2.1 GENORMALISEERDE AFMETINGEN VAN DOUBBELWERKENDE PERSLUCHTCILINDERS

zuiger- middellijn, mm	standaard-slaglengten mm	slaglengte min./max., mm	drukkracht bij 6 bar, N	terugtrekkracht bij 6 bar, N	aan- sluiting	buffer- lengte, mm
8	10, 25, 40, 50, 80, 100	1 tot 100	24	16	M5	
10	10, 25, 40, 50, 80, 100	1 tot 100	40	32	M5	
12	10, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200	1 tot 200	55	38	M5	
16	10, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200	1 tot 200	104	87	M5	17
20	10, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320	1 tot 300	170	140	G	15,5
25	10, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320	1 tot 500	267	220	G	17
32	25, 160	1 tot 2000	450	380	G	19
40	40, 200	1 tot 2000	710	590	G	21
50	50, 250	1 tot 2000	1130	940	G	23
63	80, 320	1 tot 2000	1800	1610	G	23
80	100, 400	1 tot 2000	2900	2610	G	30
100	125, 500	1 tot 2000	4550	4260	G	30
125		1 tot 2000	7360	6880	G	45
160		1 tot 2000	12 060	11 110	G	50
200		1 tot 2000	18 840	17 890	G	50
250		10 tot 1100	29 450	28 280	G1	58
320		10 tot 1100	48 250	46 380	G1	67

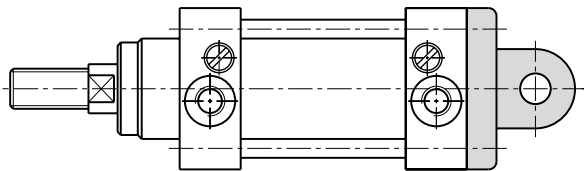
Ook de montagemogelijkheden van dubbelwerkende cilinders zijn genormaliseerd. Zie figuur 2.11. Overigens gelden de normen voor dubbelwerkende persluchtcilinders ook bij enkelwerkende cilinders met een overeenkomstige constructie.



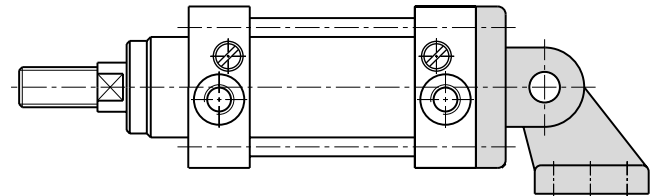
a voetbevestiging



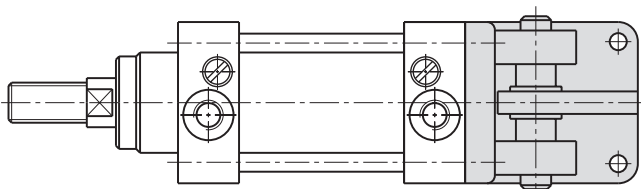
b flensbevestiging



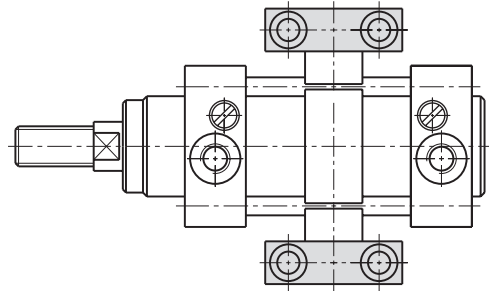
c scharnierflens



d scharnierflens met contrascharnier



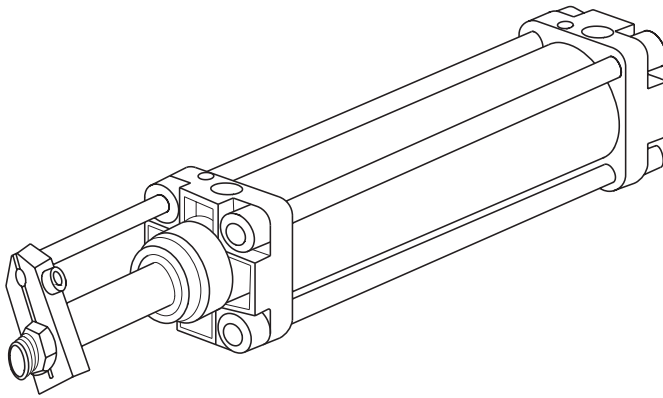
e scharnierflens met sferisch lager voor zijdelingse speling van $\pm 5^\circ$



f schommeljuk-bevestiging

Figuur 2.11 Montagemogelijkheden van dubbelwerkende persluchtcilinders

Doordat de zuigerstang een ronde vorm heeft kan deze gaan verdraaien, wat in veel toepassingen geen bezwaar is. Als we een standaardcilinder rotatievrij willen laten bewegen, kan dit alleen met een leistung die we door middel van een juk met de zuigerstang verbinden. Zie figuur 2.12a. Er zijn ook standaard-geleide-eenheden verkrijgbaar voor diverse cilinderuitvoeringen. Zie figuur 2.12b. Deze kunnen door de betrekkelijk geringe afstand tussen de geleistung en de zuigerstang slechts geringe dwarskrachten opnemen.



a gemonteerde leistang



b standaard-geleide-eenheid

c aandrijfmodule

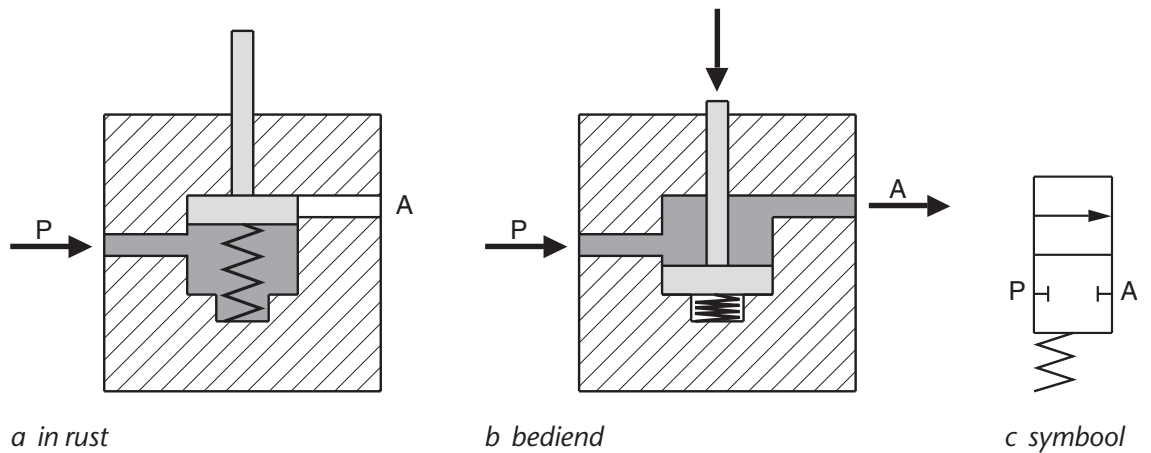
Figuur 2.12 Borging tegen verdraaiing

We kunnen ook op een cilinder een extern geleide-eenheid bouwen. Zo'n complete aandrijfmodule biedt wel de mogelijkheid om betrekkelijk grote krachten op cilinders op te nemen. Zie figuur 2.12c.

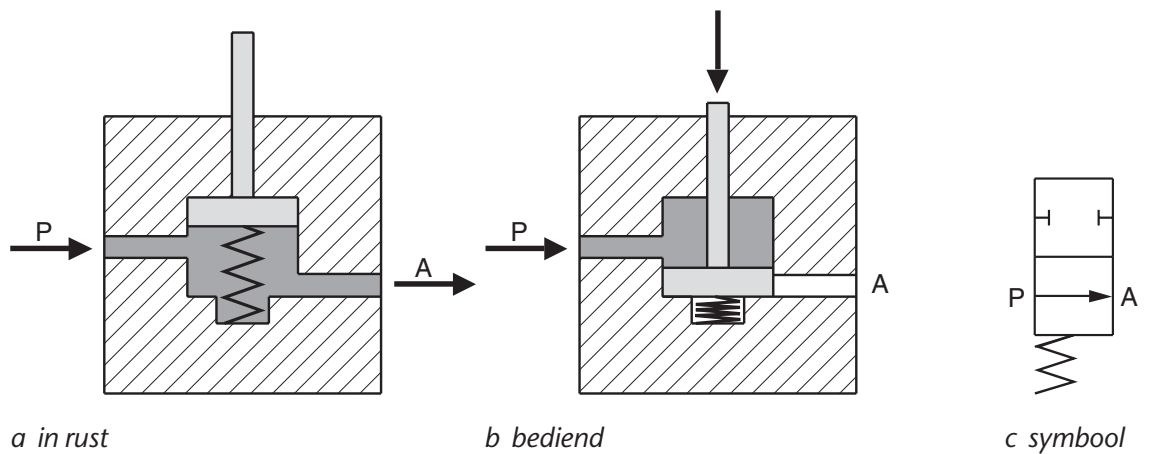
2.3 Stuurventielen

Met stuurventielen zorgen we ervoor dat de perslucht na bediening wel of niet door kan stromen. Stuurventielen worden naar hun functie aangeduid om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van hun toepassing. Zo bezit het normaal gesloten 2/2-ventiel van figuur 2.13:

- *twee* wegen: de persluchtaansluiting P en de verbruikersaansluiting A;
- *twee* schakelstanden: de ruststand en de bediende stand.



Figuur 2.13 Principe van een normaal gesloten 2/2-ventiel



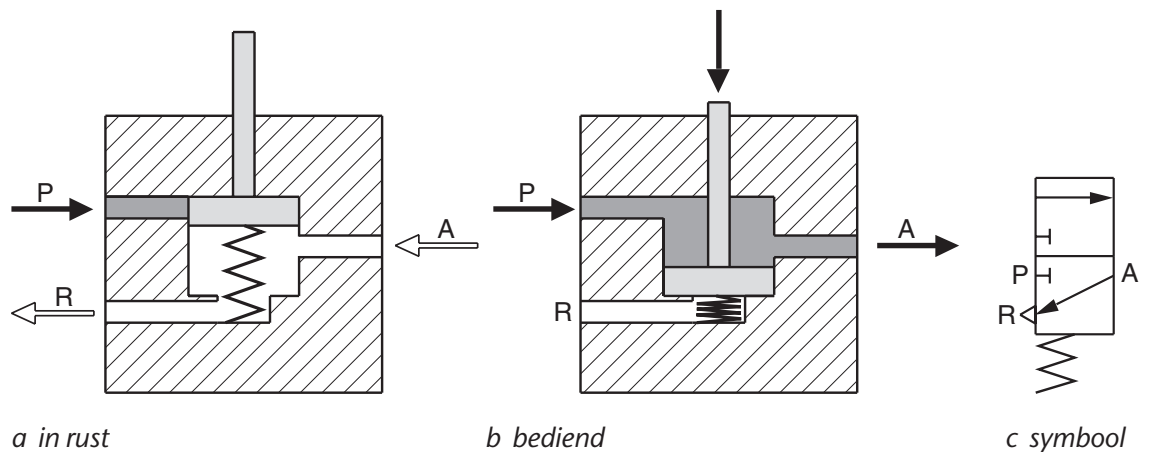
Figuur 2.14 Principe van een normaal geopend 2/2-ventiel

Een normaal gesloten ventiel is een ventiel dat in rust gesloten is, zie figuur 2.13a, en de doorstroming van perslucht vrijgeeft wanneer het ventiel bediend is, zie figuur 2.13b.

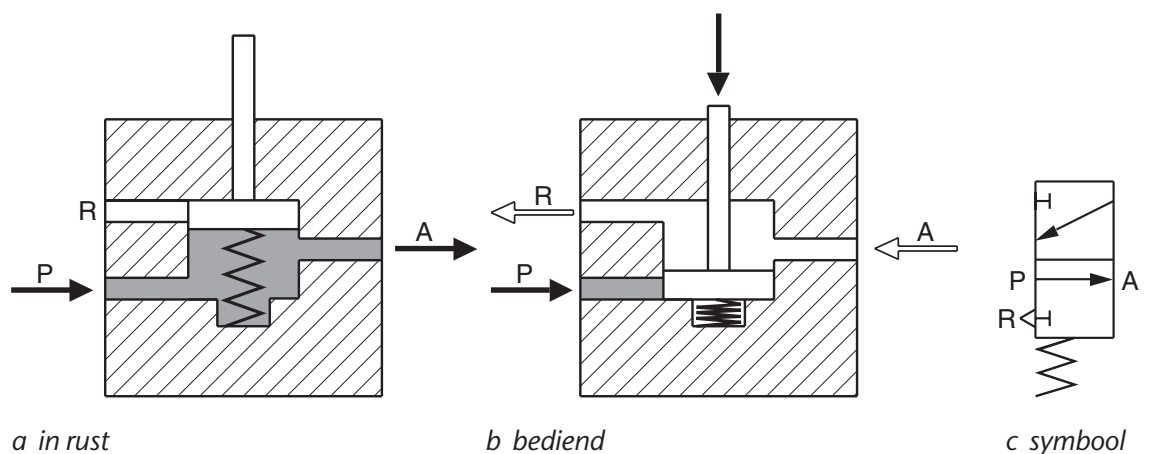
Bij een normaal geopend ventiel is dat juist andersom. Zie figuur 2.14.

2/2-ventielen passen we in pneumatische installaties weinig toe. De reden is dat dit ventiel alleen perslucht doorlaat of afsluit. Een cilinder moet nadat hij zijn werkslag gemaakt heeft, ontvlucht worden om weer in zijn ruststand te komen. Daarvoor is op zijn minst een 3/2-ventiel nodig. In het normaal gesloten 3/2-ventiel van figuur 2.15 is in rust de persluchtaansluiting P afgesloten en de verbruikersaansluiting A via de ontvluchting R met de omgevingslucht verbonden. Met een 3/2-ventiel kunnen we een enkelwerkende cilinder besturen.

Bij de symbolische weergave van figuur 2.15c moeten we ons voorstellen dat de beide vakken van het symbool beurtelings tussen de aansluitingen met de letters P, A en R geschoven worden. De veer aan de onderzijde van het ventiel zorgt automatisch voor de ruststand. Anders dan bij het normaal gesloten ventiel van figuur 2.15 stroomt bij het normaal geopende ventiel van figuur 2.16 de perslucht juist in de ruststand door naar de enkelwerkende cilinder.



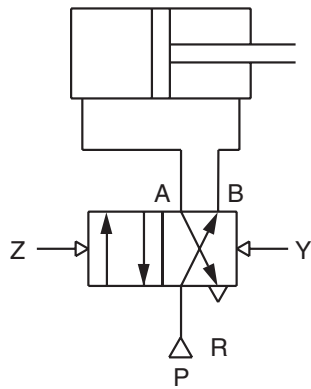
Figuur 2.15 Principe van een normaal gesloten 3/2-ventiel



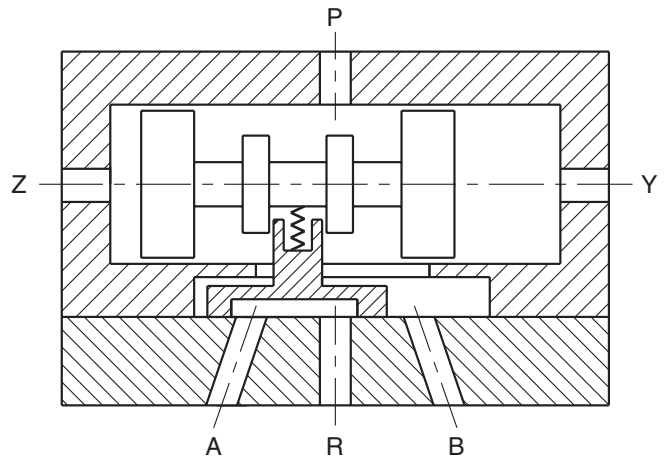
Figuur 2.16 Principe van een normaal geopend 3/2-ventiel

In figuur 2.17 zien we een pneumatische cilinder die is aangesloten op een 4/2-ventiel, dat wil zeggen een ventiel met 4 aansluitingen en 2 standen. Het ventiel wordt aan beide zijden direct pneumatisch bediend. Als we lucht plaatsen op stuurpoort Z, dan schuift het ventiel om. De werklucht P stroomt nu via poort A naar de cilinder en deze loopt uit. Pas nadat er lucht is gezet op stuurpoort Y, komt het ventiel weer in de getekende stand. Doordat het ventiel aan twee zijden wordt bediend, spreken we ook wel van een *bistabiel ventiel*. Figuur 2.18 laat zien hoe we ons de constructie van dit ventiel kunnen voorstellen.

bistabiel ventiel

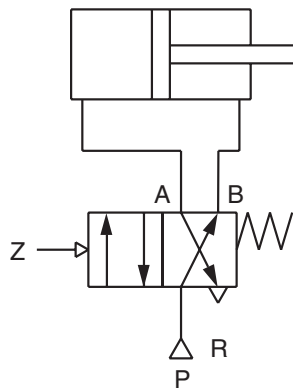


Figuur 2.17 Schema 4/2-ventiel

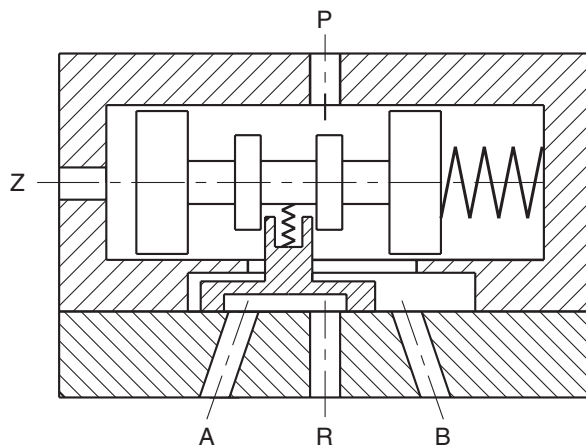


Figuur 2.18 Constructie 4/2-ventiel

In figuur 2.19 zien we dezelfde situatie als in figuur 2.17. Alleen wordt het ventiel nu aan één zijde met lucht (Z), en aan de rechterzijde met een veer bediend. In deze constructie moet op stuurpoort Z een constant commando worden gegeven om de cilinder te laten uitlopen en deze stand te handhaven. We spreken nu van een *monostabiel* bediend 4/2-ventiel. Figuur 2.20 geeft de constructie weer.



Figuur 2.19 Schema monostabiel 4/2-ventiel



a schets

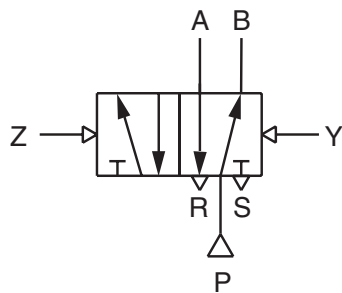


b toepassing

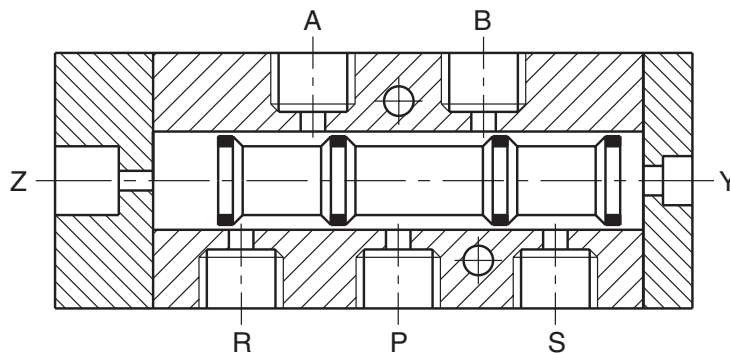
Figuur 2.20 Constructie monostabiel 4/2-ventiel

Aan figuur 2.20 zien we dat het 4/2-ventiel moeilijk te maken is, en dat het storingsgevoelig is. Om deze problemen te omzeilen, passen we tegenwoordig heel vaak een 5/2-ventiel toe in plaats van een 4/2-ventiel. Dit bestaat uit een ronde schuif en is dus makkelijker te produceren. Het is ook minder storingsgevoelig.

In figuur 2.21 zien we het symbool van het 5/2-ventiel, waarbij opvalt dat het enige verschil met een 4/2-ventiel de twee ontluchtingen zijn. In figuur 2.22 zien we dan nog de constructie van het 5/2-ventiel.



Figuur 2.21 Schema 5/2-ventiel



a schets



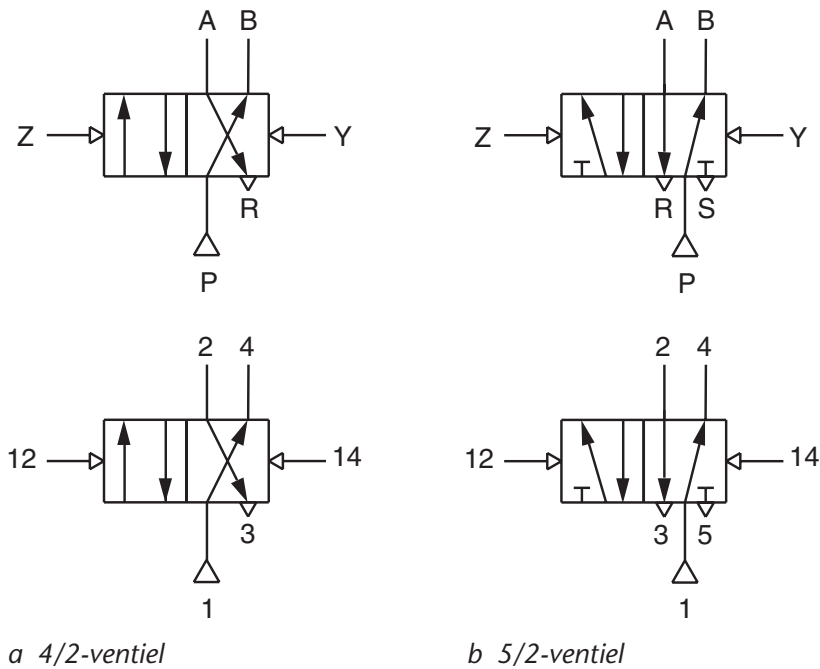
b toepassing

Figuur 2.22 Constructie 5/2-ventiel

Codering

Om ventielen op de juiste wijze te kunnen aansluiten, past het bedrijfsleven tegenwoordig twee coderingen toe. Zie tabel 2.2. De cijfercode is genormaliseerd. In figuur 2.23 zien we een 4/2-ventiel en een 5/2-ventiel tweemaal weergegeven, waarbij de twee coderingen zijn toegepast.

TABEL 2.2 MONTAGECODES VOOR VENTIELEN EN DE BETEKENIS ERVAN		
lettercodes	cijfercodes	betekenis
P	1	perslucht of oliedrukleiding
R, S	3, 5	ontluchtingen of retourleidingen
A, B	2, 4	werkleidingen
Z, Y	12, 14	stuurleidingen

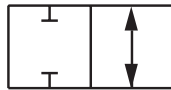


Figuur 2.23 Montagecodes

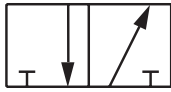
2.4 Pneumatische hoofdschakel-elementen

De ventielen voor het bedienen van pneumatische uitvoerorganen zoals cilinders en motoren noemen we pneumatische hoofdschakel-elementen.

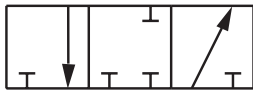
Hoofdschakel-elementen worden in zeer veel uitvoeringsvormen op de markt gebracht. In figuur 2.24 zien we een aantal twee-, drie- en vierwegventielen afgebeeld.



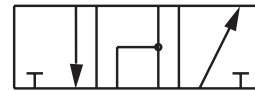
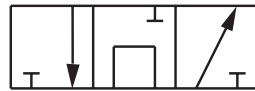
a 2/2-ventiel



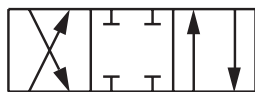
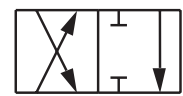
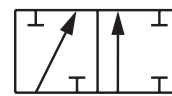
b 3/2-ventiel



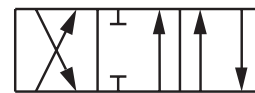
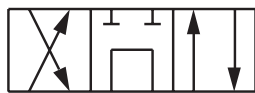
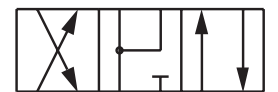
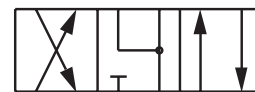
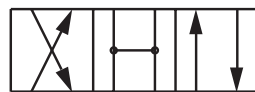
c 3/3-ventielen



d 4/2-ventielen



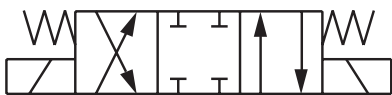
e 4/3-ventielen



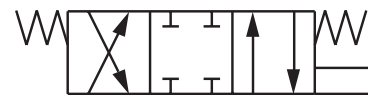
Figuur 2.24 Diverse hoofschakel-elementen

In figuur 2.25 zien we een 4/3-ventiel dat achtereenvolgens bediend wordt door:

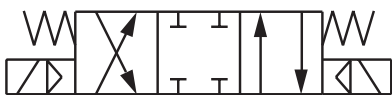
- directe elektrische sturing;
- drukknopsturing;
- indirecte elektrische sturing;
- directe pneumatische sturing.



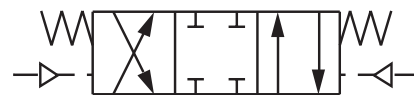
a directe elektrische sturing



b drukknopsturing



c indirecte elektrische sturing



d directe pneumatische sturing

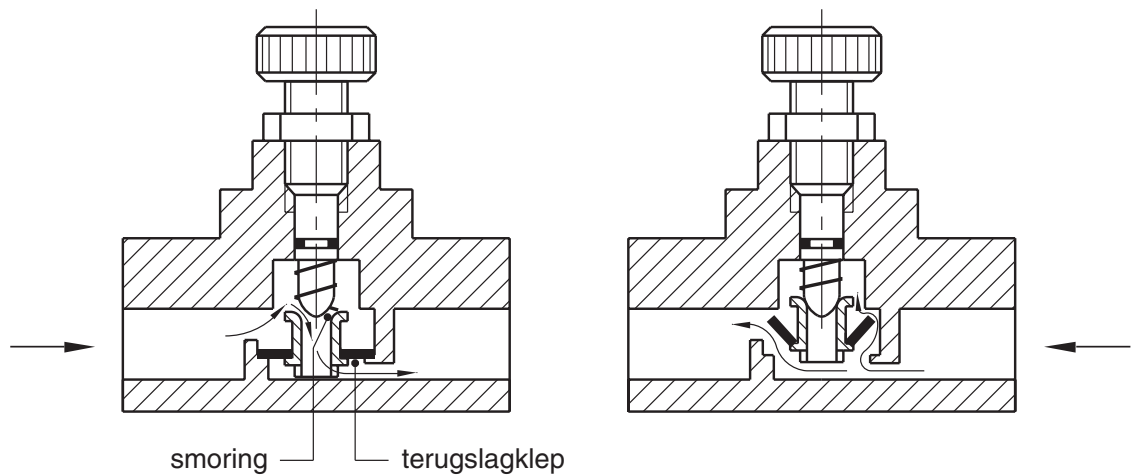
Figuur 2.25 Bedieningsvoorbeelden van hoofschakel-elementen

2.5 Doorstroomregelventielen

2.5.1 Verlagen cilindersnelheid

instelbaar
doorstroom-
regelventiel

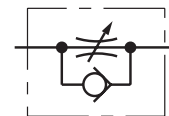
Om de snelheid te verlagen waarmee een cilinder uit- en inloopt, passen we in de aansluiting naar de cilinder *instelbare doorstroomregelventielen* toe. Deze ventielen bestaan uit een smoring en een terugslagklep. Zie figuur 2.26. Aan de linkerzijde ingebrachte lucht moet de smoring passeren, omdat de terugslagklep gesloten blijft. Aan de rechterzijde ingebracht, stroomt de lucht via de terugslagklep snel door het ventiel.



a doorsnede



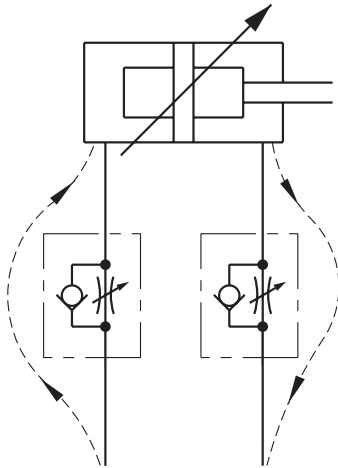
b toepassing



c logisch symbool

Figuur 2.26 Instelbare doorstroomregelventielen

In figuur 2.27 zien we hoe we de instelbare doorstroomregelventielen op een cilinder aansluiten. Hierbij moeten we op het volgende letten: de werklucht naar de cilinder moet snel de cilinder instromen, terwijl de retourlucht gesmoord de cilinder moet verlaten (*afvoersmoring*).



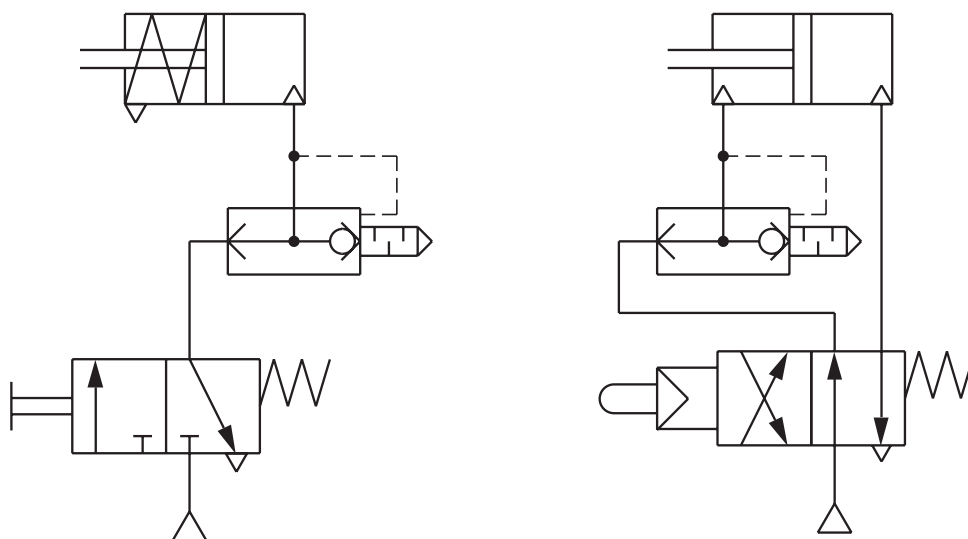
Figuur 2.27 Toepassing van doorstroomregelventielen

slip-stick-effect

Smoring van de ingaande werklucht zal maken dat de zuiger schokkend beweegt. Dit komt omdat de werklucht hier onvoldoende tijd krijgt om druk op te bouwen zodra de zuiger gaat bewegen. Dit heet het *slip-stick-effect*.

2.5.2 Verhogen cilindersnelheid

Om de ingaande zuigersnelheid te vergroten passen we een snelontluchtventiel toe. Zie figuur 2.28.

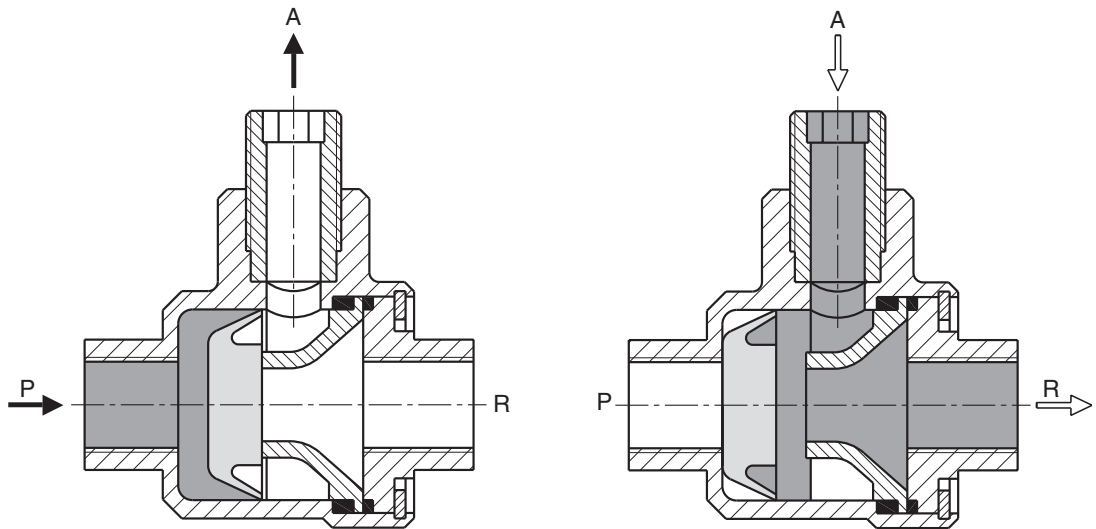


a montage op een enkelwerkende cilinder

b montage op een dubbelwerkende cilinder

Figuur 2.28 Principe van een snelontluchtventiel

Tijdens de doorstroming van de perslucht naar de cilinder zien we in figuur 2.29a dat de perslucht een manchet op het ontluchtkanaal R van het snelontluchtventiel drukt. De perslucht stroomt langs de slappe lippen van de manchet naar de



a tijdens de doorstroming naar de cilinder

b tijdens het ontluchten van de cilinder

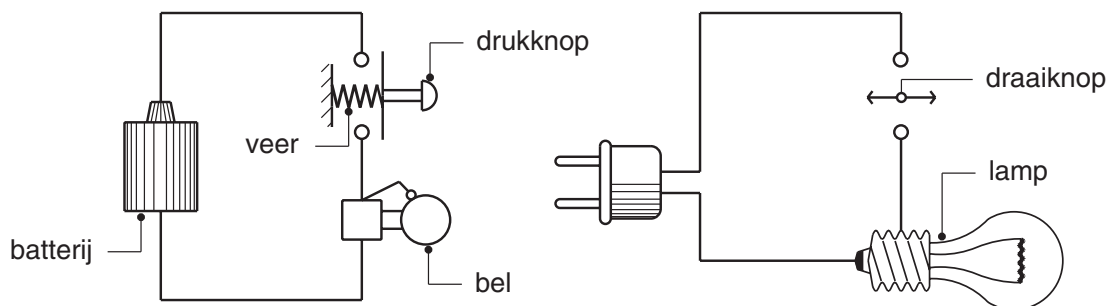
Figuur 2.29 Snelontluchtventiel

cilinderaansluitpoort A. De manchet dicht het ontluchtungskanaal R af totdat de toevoer van perslucht naar de cilinder ophoudt. Zodra de retourlucht uit de cilinder gaat stromen, drukt deze de manchet tegen het persluchtkanaal P. De dichtlippen zorgen daarbij voor een volledige afsluiting. De afgewerkte perslucht stroomt van A naar R, direct de omgevingslucht in. Het zal duidelijk zijn dat het snelontluchtventiel het doelmatigst werkt als we het ventiel zo dicht mogelijk bij de cilinderaansluiting monteren.

2.6 Signaalgevers

2.6.1 Mono- en bistabiele signalen

Een signaalgever kan een *monostabiel* of een *bistabiel* signaal afgeven. Dit bekijken we aan de hand van figuur 2.30.



a monostabiel

b bistabiel

Figuur 2.30 Monostabiel en bistabiel signaal

monostabiel

In figuur 2.30a zien we de drukknop van bijvoorbeeld een huisbel. Als we deze indrukken, dan krijgen we een signaal dat weer wegvalt zodra we de drukknop loslaten. We spreken in dit geval van een *monostabiel* signaal: een signaal dat optreedt zolang de signaalgever bediend is.

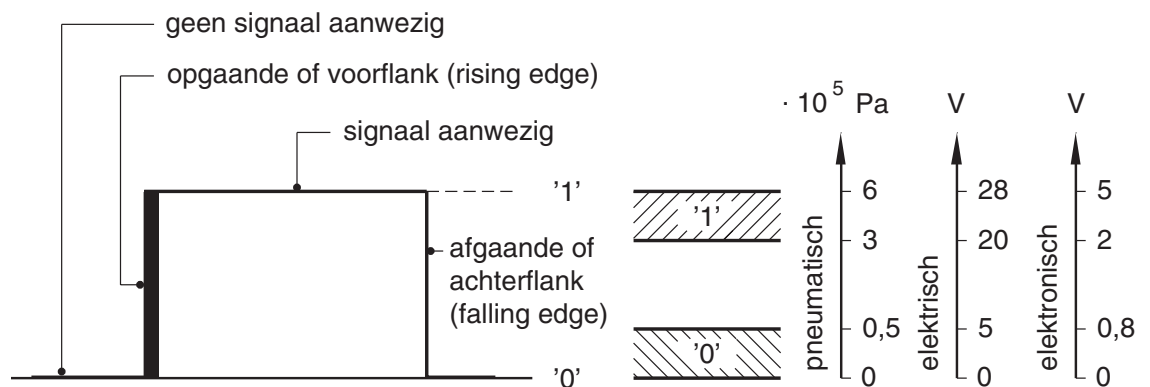
Een monostabiel signaal wordt geleverd door een monostabiele signaalgever; deze kenmerkt zich door één stabiele stand (mono = één), namelijk de ruststand.

bistabiel

Een *bistabiel* signaal kunnen we ons als volgt voorstellen. In figuur 2.30b zien we een signaallamp die wordt bediend door een draaiknopschakelaar of een tuimelschakelaar. Als de signaalgever (in dit geval de draaiknop) wordt bediend, gaat de lamp branden. Als de bediening vervalt, blijft de schakelaar gewoon in de gesloten stand staan. Het signaal blijft dus gehandhaafd (de lamp blijft branden). Pas wanneer we de draaiknop weer bedienen, vervalt het signaal. Zo'n bistabiel signaal wordt afgegeven door een bistabiele signaalgever, met als kenmerk twee stabiele standen (bi = twee).

Signalen kunnen we langs pneumatische of elektrische weg doorgeven.

Figuur 2.31 toont de druk- en spanningsgrenzen waarbinnen we van geen signaal (een logische 0) of een signaal (logische 1) spreken.



Figuur 2.31 Digitale signalen

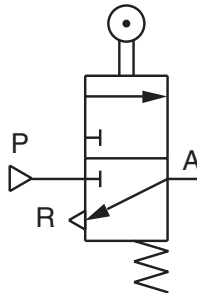
2.6.2 Pneumatische signaalgevers

In figuur 2.32 zien we een voorbeeld van een veel toegepaste signaalgever: het 3/2-ventiel (drie aansluitingen, twee standen).

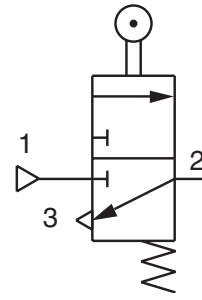
In figuur 2.33 zien we van een ander 3/2-ventiel een foto, een schema van de doorsnede en het symbool.



a uitvoering



b lettercodering

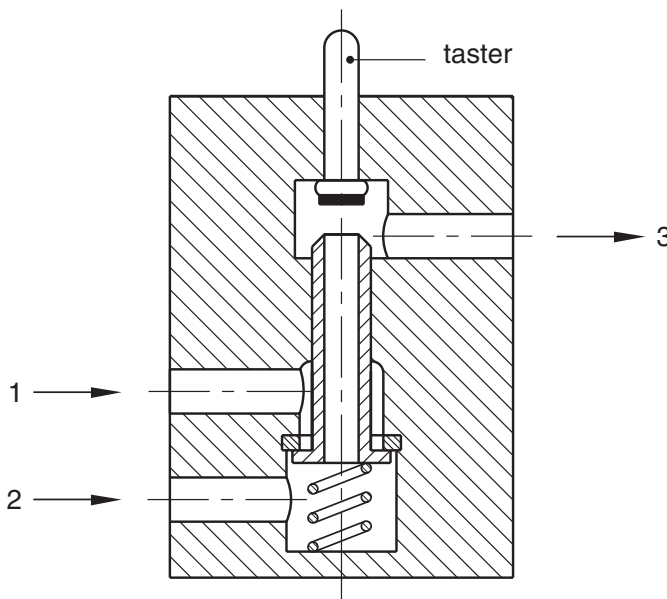


c cijfercodering

Figuur 2.32 3/2-ventiel

taster Een *taster* bedient het ventiel van figuur 2.33 direct. Als er geen bediening plaatsvindt, wordt de stuurlichtleiding (poort 2) via poort 3 ontlucht. Poort 1 is gesloten.

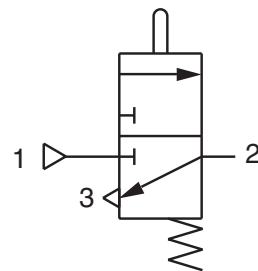
Het indrukken van de taster geeft de verbinding 1-2. Poort 3 wordt nu gesloten. Gevolg is een uitgaand signaal. In de tussenstand zijn alle poorten even gesloten. De volledige naam van dit ventiel luidt: 3/2-ventiel, tasterbediend, veerretour, normaal gesloten.



b schema doorsnede



a uitvoering

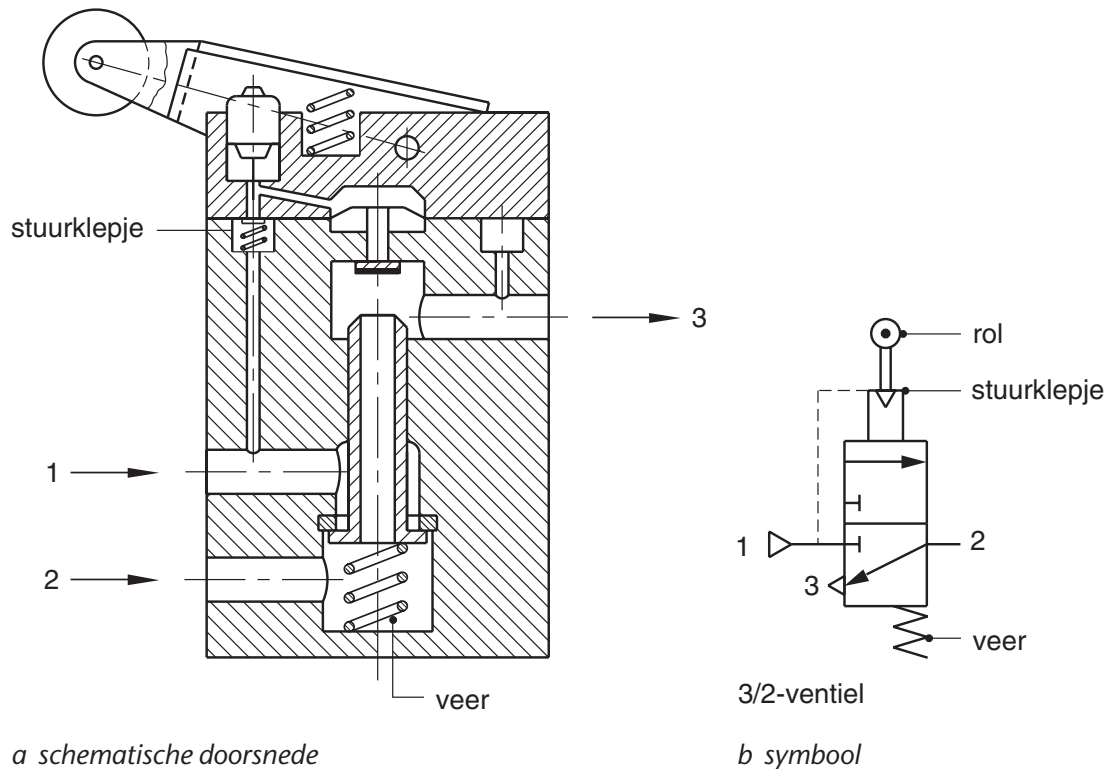


c symbool

Figuur 2.33 3/2-ventiel, tasterbediend, veerretour, normaal gesloten

indirect
bediend
ventiel

Voor direct bediende ventielen is een bepaalde bedieningskracht nodig. Soms kan die kracht niet worden geleverd. Denk bijvoorbeeld aan een (te) licht product dat een signaalgever moet indrukken om zijn aanwezigheid aan de besturing kenbaar te maken. We gaan in zo'n geval over op *indirect bediende ventielen*. In figuur 2.34 zien we een indirect rolbediend 3/2-ventiel.








Figuur 2.34 3/2-ventiel, indirect rolbediend, veerretour, normaal gesloten

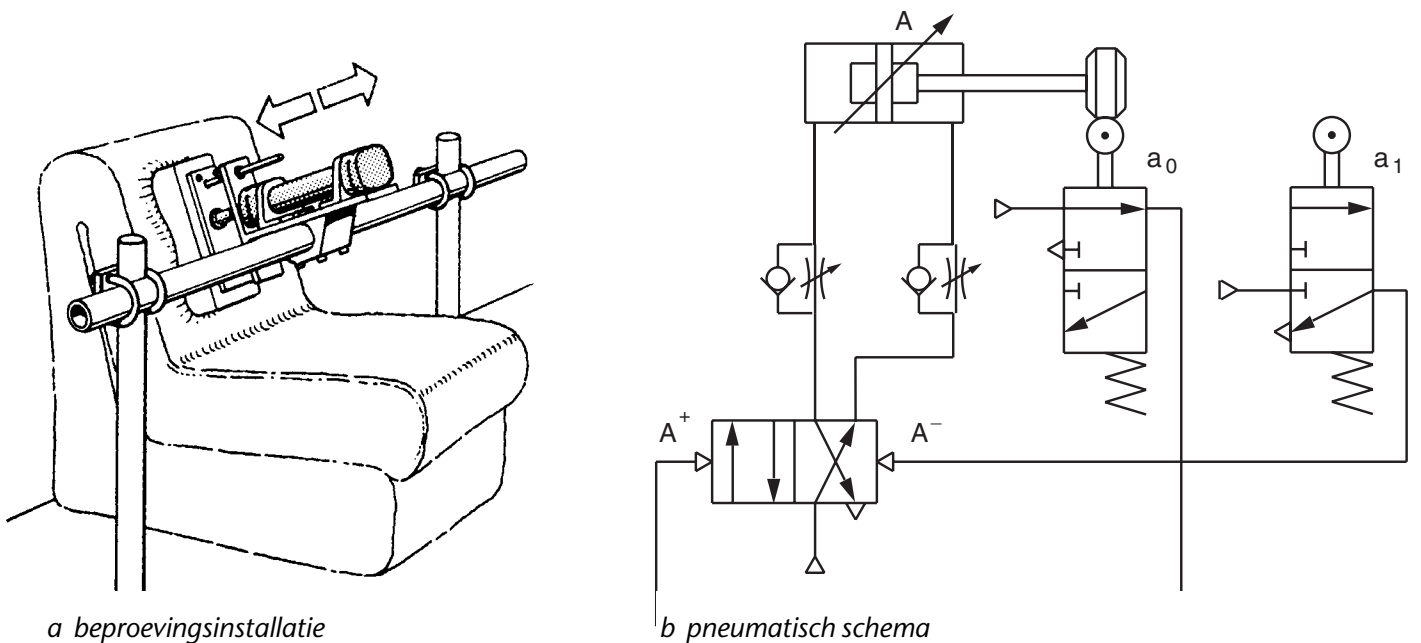
De bedieningshefboom met rol bedient nu niet direct de hoofdschuif, maar een stuurklepje van geringe afmetingen. Daardoor is de bedieningskracht klein. Het stuurklepje laat werklucht toe boven een membraan met groter oppervlak. Door het membraan wordt nu het ventiel geschakeld.

Het bedienen van ventielen kan op verschillende manieren gebeuren. In tabel 2.3 zien we de symbolische weergave van een aantal directe bedieningen. Elektrische bedieningen zijn hier achterwege gelaten.

In figuur 2.35a zien we de pneumatische beproevingsinstallatie van een stoel weergegeven. We willen dat de luchtcilinder geheel geautomatiseerd een pulserende beweging maakt. Figuur 2.35b geeft een indruk hoe de beweging van deze cilinder A geautomatiseerd wordt.

TABEL 2.3 BEDIENINGEN VAN SIGNAALGEVERS			
	drukknop		lucht door drukverhoging
	pedaal		lucht door drukverlaging
	hefboom		sleutel
	hefboom met arrêtering		rol
	draaiknop		veer (retour)
	taster		

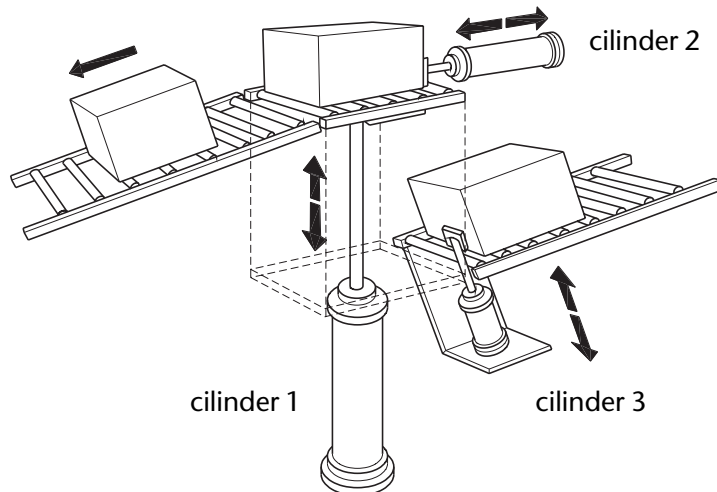
De rolbediende signaalgevers in figuur 2.35b zorgen om beurten voor het omschakelen van het bistabiele hoofdschakel-element. Merk op dat het getekende schema *luchtdrukloos* is, met het hoofdschakel-element in de ruststand.



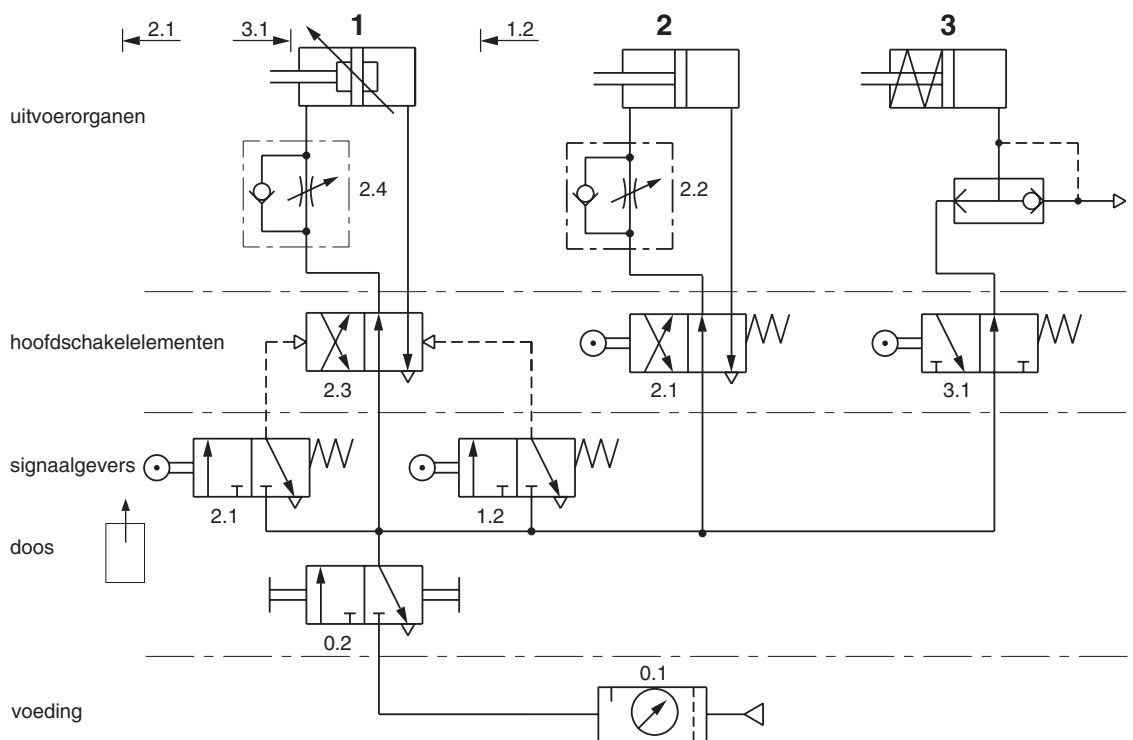
Figuur 2.35 Automatiseringsvoorbeeld

Figuur 2.36a toont opnieuw de opstelling van figuur 2.4: een heftafel voor het overbruggen van een niveauverschil.

Het schakelschema van figuur 2.36b is zo opgezet dat wanneer de heftafel omhoog gaat, de toevoerbaan wordt afgesloten door de enkelwerkende cilinder 3. Hierdoor kunnen de aankomende dozen niet van de transportbaan vallen. De dubbelwerkende cilinder 1 heft een doos van de lage naar de hoge baan en is voorzien van een buffer. De dubbelwerkende cilinder 2 schuift de doos op de hoger gelegen afvoerbaan, waarna hefcilinder 1 weer omlaag gaat.



a schematische opstelling



b schakelschema

Figuur 2.36 Heftafel

We hebben nu te maken met meerdere uitvoerorganen en signaalgevers. In zo'n geval moeten we het pneumatisch schema overzichtelijker tekenen dan in het automatiseringsvoorbeeld van figuur 2.35. We plaatsen dan ten eerste alle uitvoerorganen aan de bovenzijde van het schema, inclusief eventuele smoorventielen en snelonluchters. Direct onder de uitvoerorganen worden de bijbehorende hoofdschakel-elementen getekend. Ten slotte komen aan de onderzijde van het pneumatisch schema de signaalgevers en de voedingseenheid. Zie figuur 2.36b.

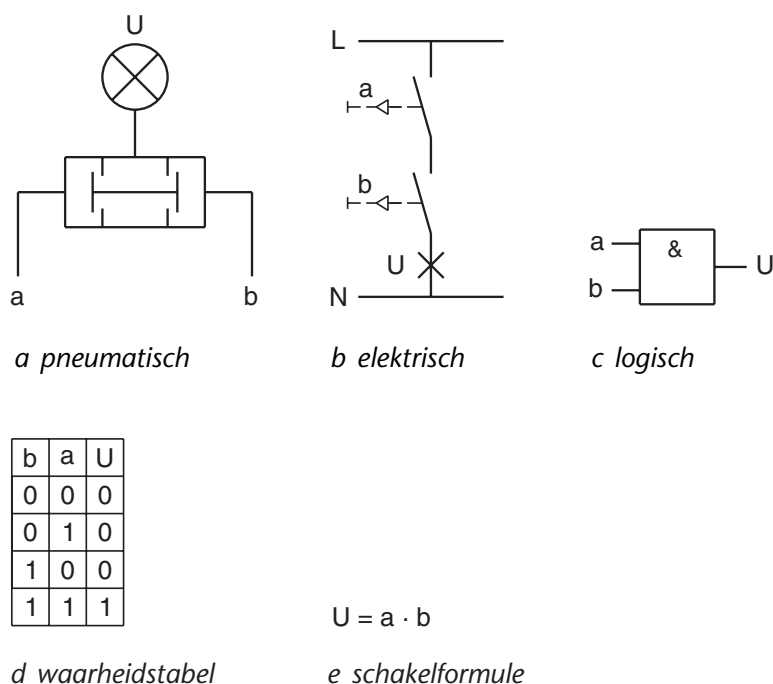
Met een numerieke code geven we nu aan waar de verschillende pneumatische componenten in werkelijkheid gemonteerd worden. Zo wordt bijvoorbeeld het rolbediende hoofdschakel-element 3.1 zodanig gemonteerd dat dit bediend wordt zodra hefcilinder 1 in zijn ruststand komt.

2.7 Logische functies

2.7.1 Logische basisfuncties: de EN-functie

Een besturingssysteem wordt opgebouwd met logische basisfuncties. We onderscheiden de EN-functie en de OF-functie. In deze paragraaf bespreken we de EN-functie.

De EN-functie biedt ons de mogelijkheid om twee of meer signalen te *combineren* tot een besturingscommando. In figuur 2.37 zien we een overzicht van de EN-functie.



Figuur 2.37 De EN-functie

De volgende punten dienen ter toelichting op figuur 2.37.

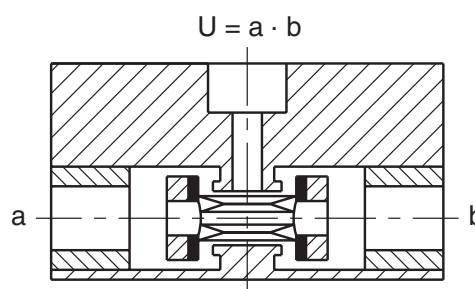
- De pneumatische EN-functie bestaat uit een klepje met twee zittingen. Stel, we bieden aan op de linkerpoort signaal $a = 1$ (luchtdruk), en op de rechterpoort signaal $b = 0$. Het klepje schuift dan naar rechts, en voorkomt dat de 1 naar de uitgang U wordt doorgestuurd. Er kan alleen uitgangssignaal $U = 1$ ontstaan als geldt $a = 1$ EN $b = 1$. De constructie zien we in figuur 2.38.
- Het elektrisch schema is eenvoudig. Lamp U brandt pas als de contacten a EN b beide bediend zijn.
- Het logisch symbool van figuur 2.37c geeft een EN-functie voor twee ingangssignalen weer. Maar er kunnen ook meer ingangssignalen zijn.
- De waarheidstabel van figuur 2.37d is nu opgezet voor twee ingangsvARIABLEN. Er zijn nu vier mogelijke combinaties:
 - $b = 0$ en $a = 0$
 - $b = 0$ en $a = 1$
 - $b = 1$ en $a = 0$
 - $b = 1$ en $a = 1$

Uit de waarheidstabel leren we dat het commando U pas wordt gegeven als beide signalen aanwezig zijn. Dus als geldt $b = 1$ EN $a = 1$.

- In de schakelformule van figuur 2.37e zien we de EN-functie als een zwevende punt weergegeven.



a weergave

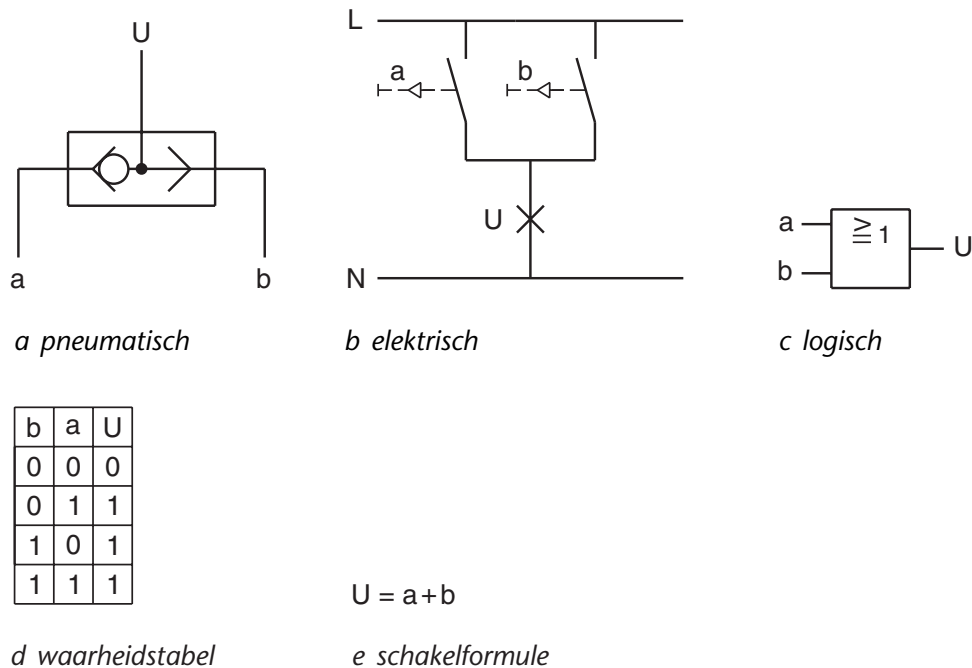


b schema

Figuur 2.38 Constructie van de pneumatische EN-functie (tweedrukventiel)

2.7.2 Logische basisfuncties: de OF-functie

De OF-functie geeft ons de mogelijkheid om twee of meer signalen te combineren tot een besturingscommando. Het verschil met de EN-functie is dat één aanwezig signaal voldoende is om een besturingscommando te realiseren. Figuur 2.39 geeft een overzicht van de OF-functie.

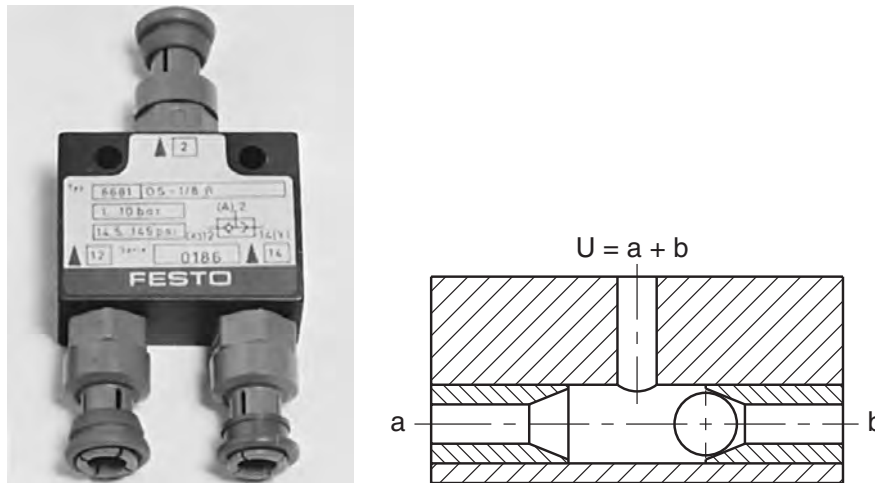


Figuur 2.39 De OF-functie

De volgende punten dienen ter toelichting op figuur 2.39.

wisselventiel

- Het pneumatisch symbool van een OF-functie wordt weergegeven door een *wisselventiel* (zie ook figuur 2.40). Als op één van de poorten een signaal 1 wordt aangeboden, treedt er een uitgangssignaal op. Het kogelklepje sluit de ingang af waar geen signaal aanwezig is. Daar ontstaat dan geen vals signaal. Ook als beide signalen a en b aanwezig zijn wordt de uitgang van het OF-ventiel 1.
- Elektrisch geven we de OF-functie weer door een parallelschakeling van contacten. Zie figuur 2.39b.
- Het logisch symbool zien we in figuur 2.39c.
- In de waarheidstabel van figuur 2.39d zien we dat een groot aantal signaalcombinaties het besturingscommando U oplevert. We kunnen stellen: een EN-functie verkleint het aantal mogelijkheden om een commando te maken, maar een OF-functie vergroot dat aantal juist.
- In de schakelformule van figuur 2.39e wordt de OF-functie voorgesteld door een plus-teken (+ uitspreken als OF).



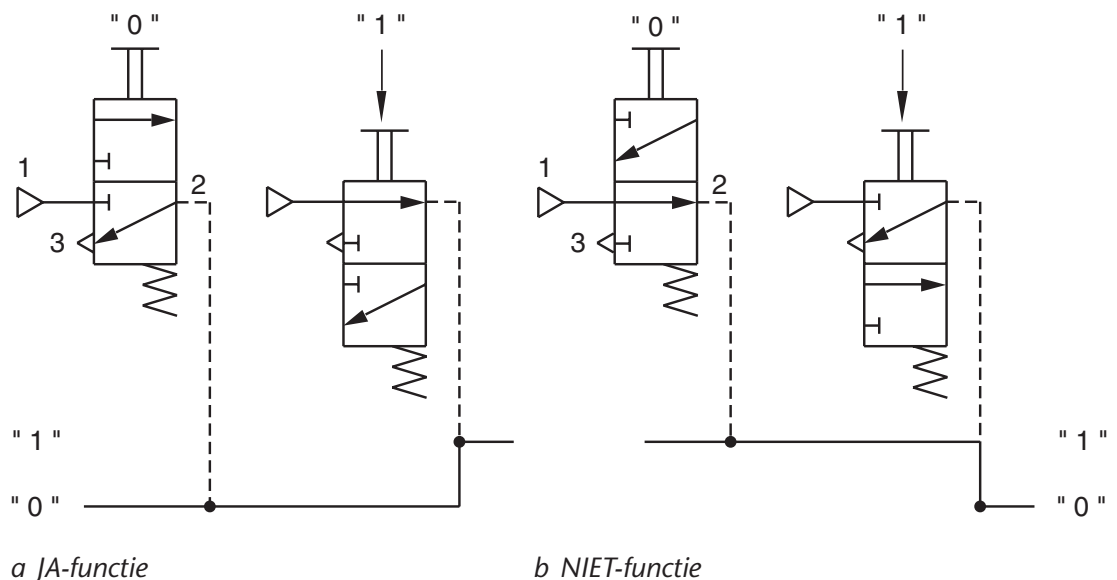
Figuur 2.40 Constructie van de pneumatische OF-functie (wisselventiel)

2.7.3 De JA-functie en de NIET-functie

JA-functie
NIET-functie

Een besturing gebruikt behalve de basisfuncties ook nog andere functies. Later zien we bijvoorbeeld nog de geheugen- en tijdfuncties. Andere voorbeelden zijn de *JA-functie* en de *NIET-functie*.

In figuur 2.41a komt er bij een onbediend ventiel geen stuurlucht uit poort 2. Zodra het ventiel wordt bediend, wordt er een '1' op de werkluchtpoort 2 aangeboden.



Figuur 2.41 JA-functie en NIET-functie van een 3/2-ventiel

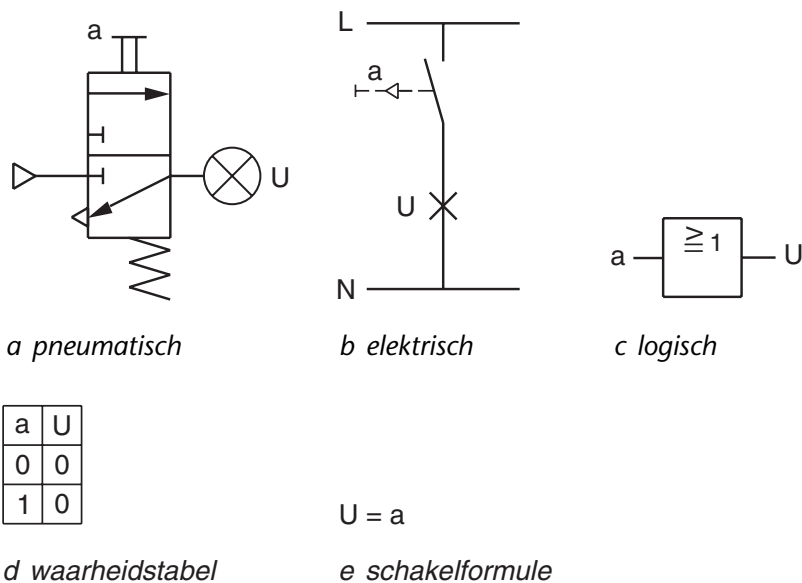
Onthoud het volgende.

- Als de bediening op een 3/2-ventiel 1 is en er ook een logische 1 wordt uitgestuurd, spreken we van een *JA-functie*. Dit ventiel staat ook bekend onder de naam 3/2-ventiel normaal gesloten. Dat wil zeggen: als het ventiel in ruststand staat, is het uitgaande signaal een logische 0.
- Als de poorten van een 3/2-ventiel anders worden aangesloten, ontstaat symbolisch het ventiel van figuur 2.41b. Bij dit ventiel is de werking juist andersom. Als het ventiel NIET wordt bediend, krijgen we juist wel een signaal uit de werkluchtpoort 2. We spreken nu van een *NIET-functie*. De naam van dit ventiel is 3/2-ventiel normaal geopend. Als het ventiel in ruststand staat, is het uitgaande signaal logisch 1. De NIET-functie keert het ingangssignaal om. We spreken van het *inverteren* van een signaal.

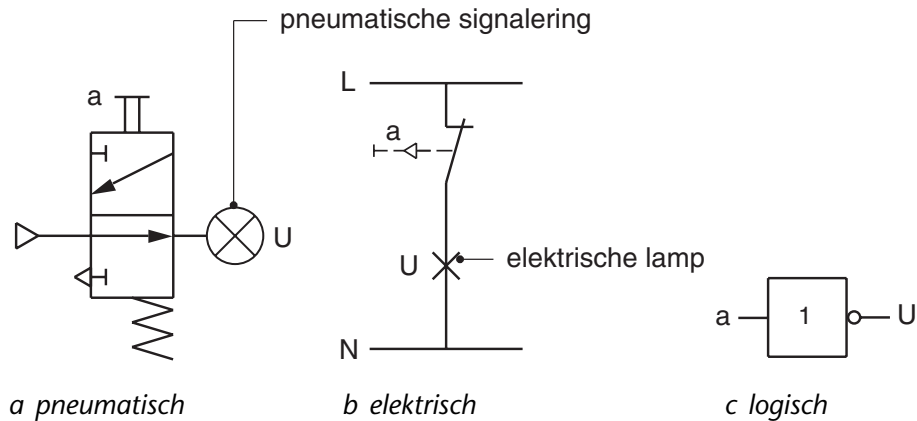
inverteren

In de figuren 2.42 en 2.43 zien we overzichten van de JA-functie en de NIET-functie.

De JA-functie is de geïnverteerde waarde van de functie NIET. Beide functies kunnen we ook toepassen om een signaal te versterken.



Figuur 2.42 De JA-functie



a	U
0	1
1	0

$$U = \bar{a}$$

d waarheidstabel

e schakelformule

Figuur 2.43 De NIET-functie

2.8 Waarheidstabellen

waarheidstabel

Bij de behandeling van de basisfuncties hebben we kennis gemaakt met *waarheidstabellen*. We gebruikten ze om de toestand van de uitgang van een basisfunctie bij de verschillende mogelijke toestanden van de ingangssignalen vast te stellen. Zo onderzochten we bij welke combinaties van de ingangssignalen het uitgangscmando optreedt.

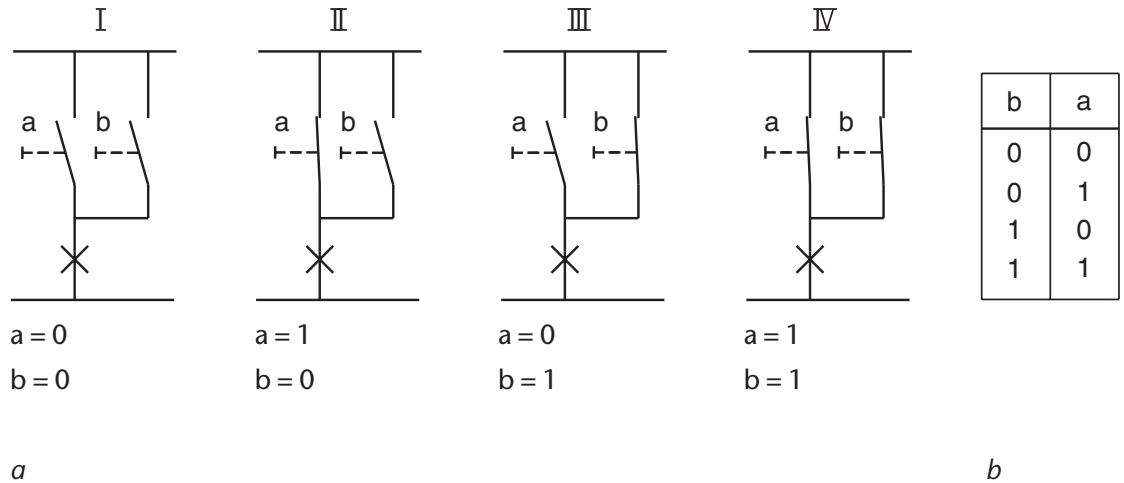
In een waarheidstabel zijn de nullen en enen zodanig gerangschikt dat alle voorkomende combinaties van ingangssignalen één keer voorkomen.

Omdat elk signaal (= variabele) maar twee toestanden kent (0 of 1), heeft een tabel voor één variabele maar twee regels. Zie figuur 2.44.

a
0
1

Figuur 2.44 Waarheidstabel voor één variabele

Als we twee variabelen hebben, is het aantal combinatiemogelijkheden al opgelopen tot vier. Zie figuur 2.45a. De waarheidstabel voor twee variabelen telt dan ook vier regels. Zie figuur 2.45b.



Figuur 2.45 Combinatiemogelijkheden met twee variabelen

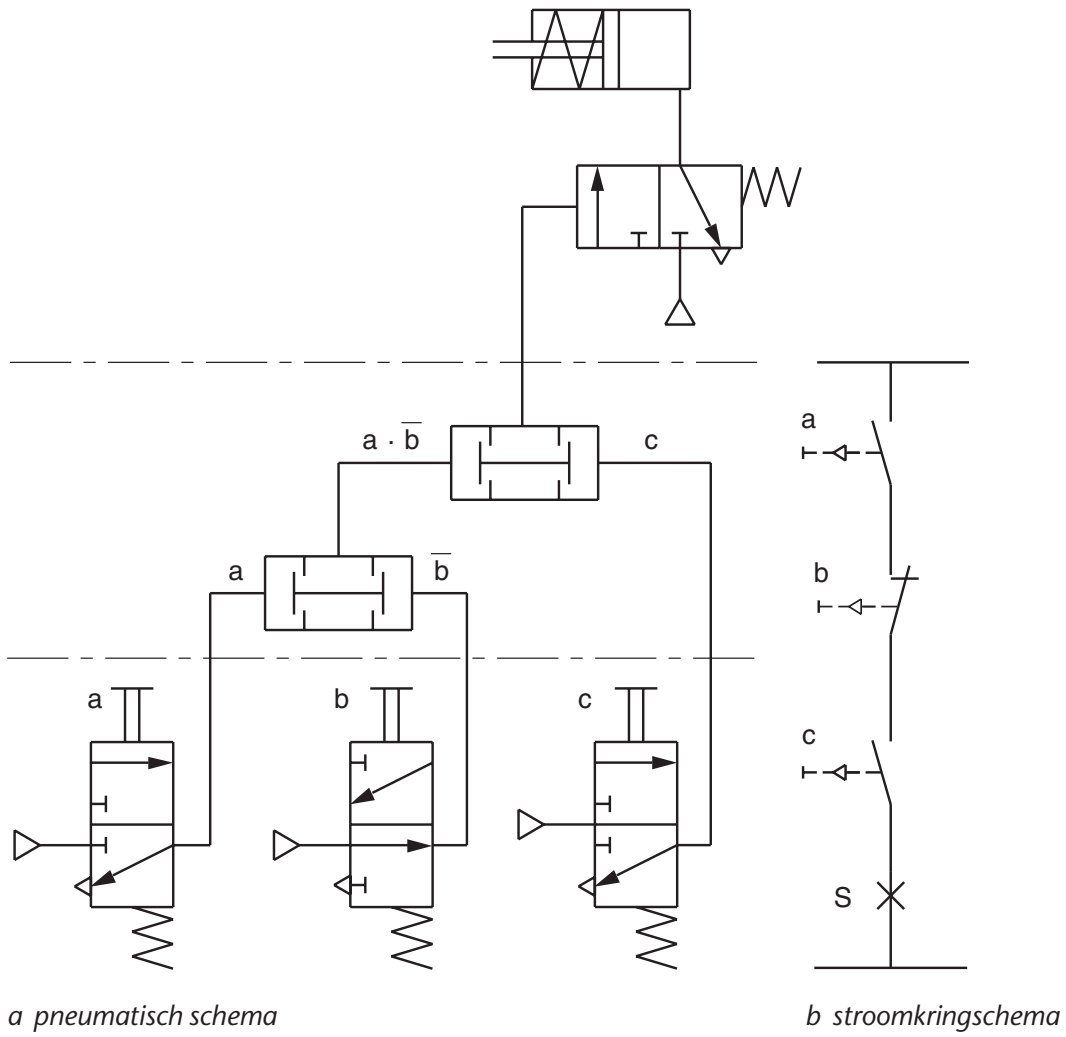
Om te onderzoeken bij welke signaalcombinaties we het commando S krijgen, vullen we een waarheidstabel in voor drie variabelen. Zie tabel 2.4. Een signaalcombinatie waar een 1 genoteerd is, geeft het commando S.

De combinatorische besturing van deze signaallamp kunnen we weergeven met de volgende besturingsformule:

$$S = a \cdot \bar{b} \cdot c$$

TABEL 2.4 WAARHEIDSTABEL VOOR DRIE VARIABELEN				
c	b	a	$a \cdot \bar{b} \cdot c$	S
0	0	0	$0 \cdot 1 \cdot 0$	0
0	0	1	$1 \cdot 1 \cdot 0$	0
0	1	0	$0 \cdot 0 \cdot 0$	0
0	1	1	$1 \cdot 0 \cdot 0$	0
1	0	0	$0 \cdot 1 \cdot 1$	0
1	0	1	$1 \cdot 1 \cdot 1$	1
1	1	0	$0 \cdot 0 \cdot 1$	0
1	1	1	$1 \cdot 0 \cdot 1$	0

In figuur 2.46 zien we de schema's bij de gegeven besturingsformule.



Figuur 2.46 Besturingsschema's

Volgordebesturingen

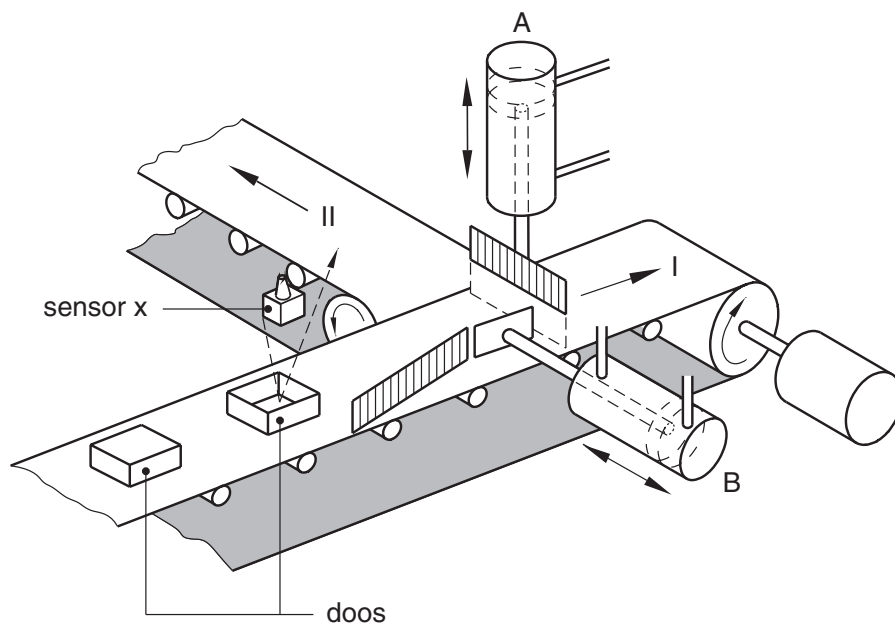
3



3.1 Inleiding

In de automatiseringstechniek gebeurt het vaak dat een machine zodanig door een besturingseenheid wordt gecommandeerd, dat de uitvoerorganen volgens een vaste volgorde een commando ontvangen.

In figuur 3.1 zien we een voorbeeld met twee cilinders A en B. De installatie moet doosjes op een transportband controleren op de aanwezigheid van een deksel. Dit gebeurt met een sensor x die een signaal geeft als een doosje zonder deksel passeert. De doosjes zonder deksel worden dan door de cilinders A en B naar een tweede transportband geschoven.



Figuur 3.1 Installatie met volgordebesturing

volgorde-
installatie

De volgorde waarin de beide cilinders bewegen zal altijd dezelfde zijn. Daarom spreken we hier van een *volgorde- of sequentiële installatie*. Om de cilinders in de juiste volgorde te laten bewegen is een *volgordebesturing* nodig. De voorwaarden voor het werken van deze besturing zijn vastgelegd in de zogenoemde *besturingsvoorwaarden*.

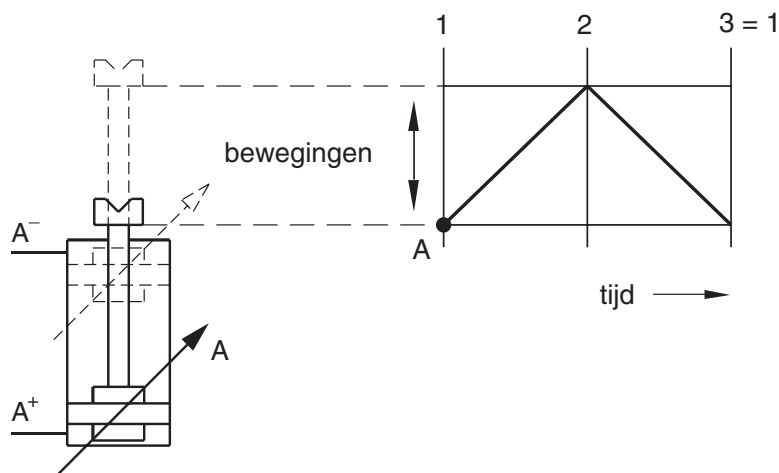
De besturingsvoorwaarden waaraan de installatie in figuur 3.1 moet voldoen zijn:

- nadat sensor x signaleert dat een doos zonder deksel passeert, loopt cilinder A uit door een A⁺-commando;
- zodra de doos door het schot aan de zuigerstang van cilinder A is gestopt, wordt deze met cilinder B door een B⁺-commando naar de tweede transportbaan geschoven;

- hierna keren beide cilinders terug naar hun uitgangsposities door middel van een A^- - en een B^- -commando;
- beide cilinders zijn uitgevoerd met signaalgevers.

3.2 Bewegingsdiagram, signalen, commando's en formules

In figuur 3.2 zien we een dubbelwerkende cilinder A. Naast deze cilinder zien we drie tijdlijnen: 1, 2 en 3. Het feit dat deze lijnen even ver uit elkaar liggen, suggereert dat de tijden tussen de lijnen even groot zijn. Dat is niet het geval. De tijden tussen de tijdlijnen zijn afhankelijk van de snelheid van de uitvoerorganen. Het enige dat ze aangeven is dat in de tijd tussen twee tijdlijnen één of meerdere handelingen plaatsvinden. In dit geval worden tussen deze tijdlijnen de bewegingen van cilinder A weergegeven.

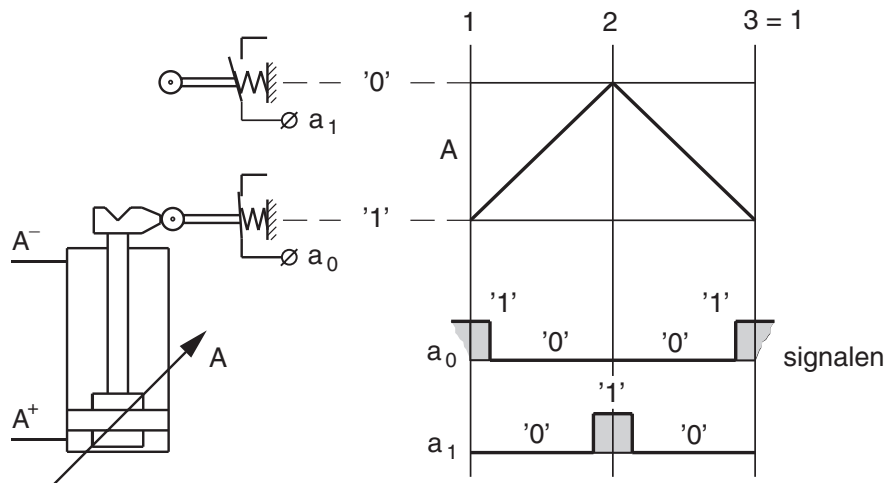


Figuur 3.2 Bewegingsdiagram

We zien dat op tijdlijn 1 de cilinder in de ingetrokken stand staat. Hier is dit de ruststand van de cilinder. Na een A^+ -commando zal de cilinder uitlopen gedurende de tijd tussen de tijdlijnen 1 en 2. Op tijdlijn 2 staat de cilinder dan in de uitgeschoven stand. Na een A^- -commando zal de cilinder tussen de tijdlijnen 2 en 3 weer inlopen, zodat op tijdlijn 3 de cilinder weer in de ingeschoven stand (ruststand) staat. De tijdlijnen 1 en 3 zijn dus gelijk.

Om te signaleren in welke stand de cilinder staat, worden twee signaalgevers, a_0 en a_1 , naast de zuigerstang geplaatst, zie figuur 3.3.

Let op: de cilinder en de commando's geven we aan met hoofdletters; signaalgevers en signalen geven we aan met kleine letters.

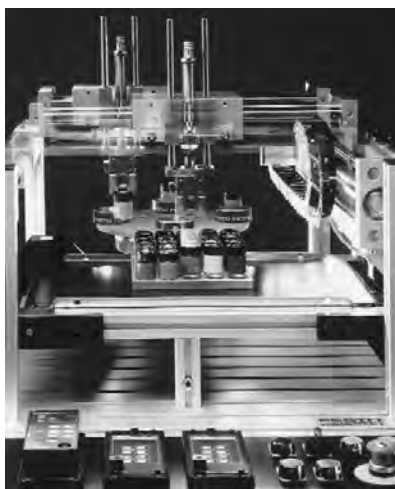


Figuur 3.3 Signalen

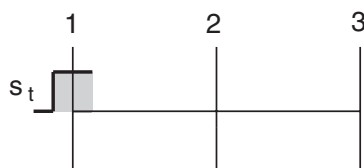
In de ruststand (tijdlijn 1) zal a_0 bediend zijn en een logische '1' geven, terwijl a_1 in de uitgeschoven stand een logische '1' geeft. De logische waarden die door de signaalgevers worden afgegeven ('1' of '0') worden in een signaal-tijddiagram onder het bewegingsdiagram uitgezet, zie figuur 3.3. Zo zien we achtereenvolgens:

- op tijdlijn 1 zijn $a_0 = '1'$ en $a_1 = '0'$;
- direct na tijdlijn 1 zal door het uitlopen van de cilinder het signaal a_0 wegvallen;
- even voor tijdlijn 2 wordt $a_1 = '1'$, direct na deze tijdlijn wordt a_1 weer '0';
- even voor tijdlijn 3 zal de teruglopende cilinder a_0 weer bedienen.

Om de bewegingen van cilinder A te starten, wordt een startsignaal s_t aan de beide vaste signaalgevers toegevoegd, zie figuur 3.4.



a



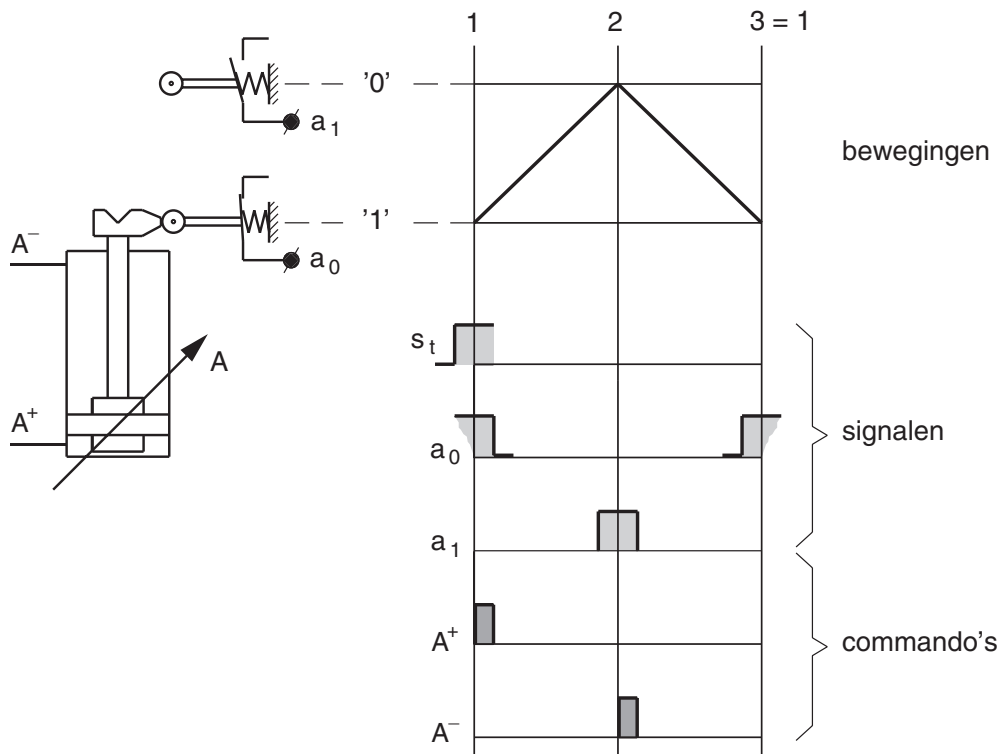
b

Figuur 3.4 Startsignaal

Omdat het startsignaal meestal door een mens gegeven wordt en dus onvoorspelbaar in zijn lengte is, houden we alleen rekening met het startsignaal op tijdlijn 1.

Om het hoofdschakel-element de gelegenheid te geven om te schakelen (schakel-tijd), laten we het startsignaal voor tijdlijn 1 opkomen, zodat het commando precies op tijdlijn 1 start.

In figuur 3.5 zien we dat onder de signalen de benodigde commando's voor de bewegingen van de cilinder zijn ingetekend.



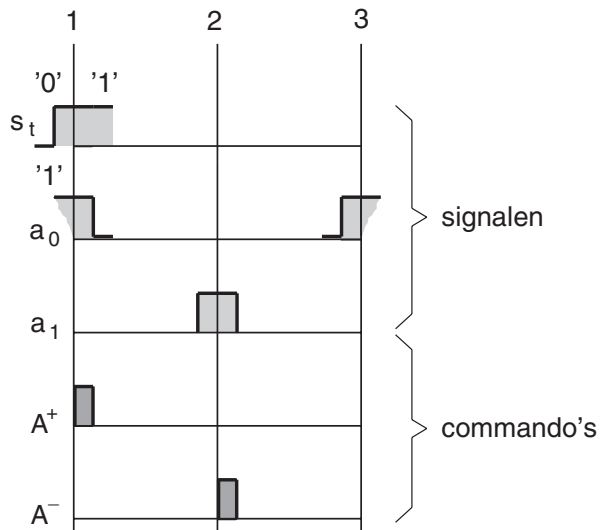
Figuur 3.5 Commando's

Het A^+ -commando start op tijdlijn 1 en moet kort zijn, omdat op tijdlijn 2 het A^- -commando wordt gegeven en er geen twee commando's op dezelfde tijdlijn aanwezig mogen zijn. Ook het A^- -commando op tijdlijn 2 zal om deze reden kort zijn. In figuur 3.6 zien we de signalen en commando's gezamenlijk weergegeven.

Voor het vinden van de besturingsformules van het uitgewerkte voorbeeld bestaat de volgende routine:

- *tijdlijn 1, het A^+ -commando*

Voordat we tot het geven van een A^+ -commando overgaan, moeten we eerst controleren of de cilinder in de ruststand staat. We kunnen dit doen door de logische waarde van de signaalgever op te nemen die tijdens de laatste beweging werd bediend. Hier gaat het daarbij om het signaal a_0 . Als dit aanwezig is, zal de installatie in de ruststand staan. Een nieuw A^+ -commando



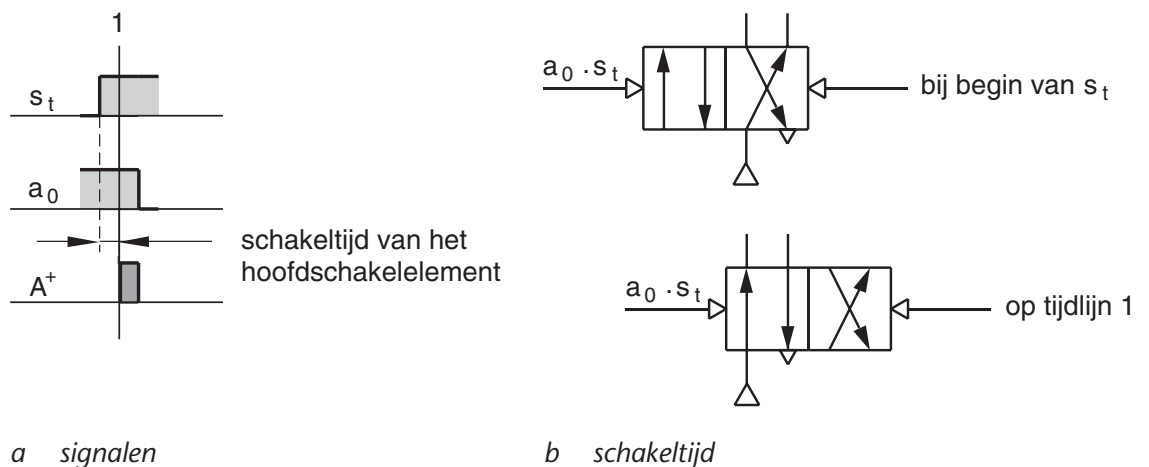
Figuur 3.6 Signalen en commando's

primair signaal

moet dus met dit signaal beginnen; we noemen dit het *primaire signaal* voor het A^+ -commando. Dit signaal, dat wegvalt door het uitlopen van de cilinder A, is kort en zal dus in combinatie met het startsignaal een kort commando A^+ opleveren, zie figuur 3.7a.

– *tijdlijn 2, het A^- -commando*

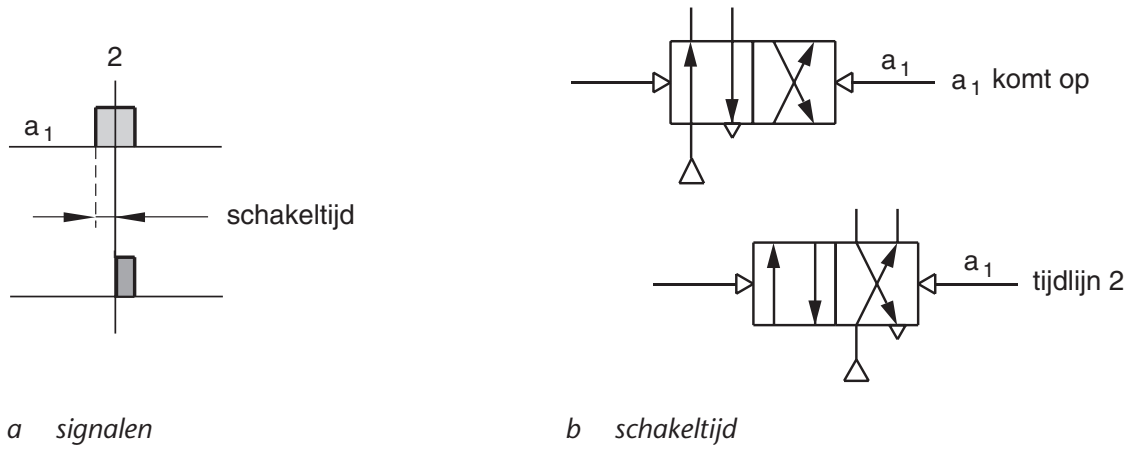
Het primaire signaal voor het A^- -commando is in dit geval het signaal a_1 , dat signaleert dat cilinder A in de uitgeschoven stand staat.



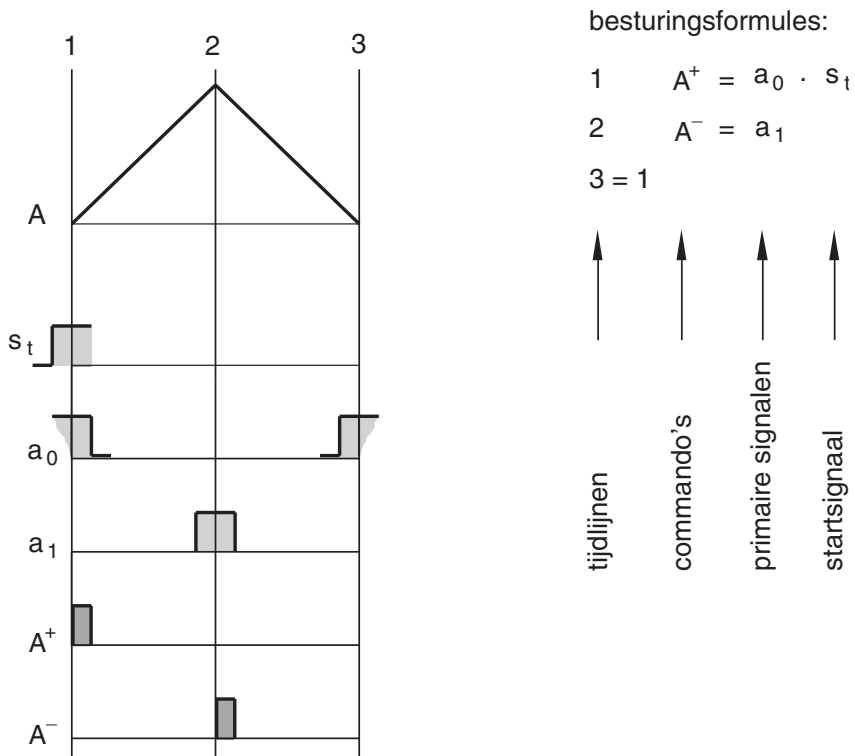
Figuur 3.7 Het A^+ -commando

De reden dat het startsignaal s_t voor tijdlijn 1 gegeven wordt en het opkomen van het A^+ -commando plaatsvindt op tijdlijn 1, zien we in figuur 3.7b. Daar wordt duidelijk dat tussen het moment van het aansturen van het 4/2-ventiel en het opkomen van het commando een zekere schakeltijd zit. Het A^- -commando wordt gegeven door signaalgever a_1 , zie figuur 3.8. Ook hier hebben we te maken met een schakeltijd.

Tot slot zien we in figuur 3.9 de totale uitwerking van het vinden van de besturingsformule van deze volgordebesturing.



Figuur 3.8 Het A⁻-commando



Figuur 3.9 Besturingsformules

Samengevat verloopt het uitwerken van de besturingsformules als volgt:

- schrijf de nummers van de tijdlijnen onder elkaar;
- schrijf achter elk nummer de commando's die op die tijdlijn worden gegeven;
- schrijf achter de commando's de primaire signalen waar deze commando's het gevolg van zijn.

Nogmaals, we houden voor het noteren van de besturingsformules de volgende afspraken aan:

- een commando wordt genoteerd met een hoofdletter;
- signalen worden met kleine letters aangegeven.

3.3 Primaire en afkortsignalen

Om een commando te kunnen samenstellen met behulp van de beschikbare signalen moeten we enkele afspraken nakomen:

- een commando mag pas tot uitvoer worden gebracht als het voorgaande commando is uitgevoerd;
- er mogen op één tijdslijn geen twee commando's voor eenzelfde uitvoerorgaan plaatsvinden.

Om deze afspraken te kunnen nakomen zijn de beschikbare signalen te verdelen in:

- primaire signalen;
- afkortsignalen.

Primaire signalen

Bij iedere volgordebesturing is het noodzakelijk dat we signaleren dat een voorgaande beweging is volbracht. We doen dit door voor een volgende bewegingscyclus de signalen van de vorige te gebruiken. Deze signalen noemen we dan de *primaire signalen* van een volgordebesturing.

Onder primaire signalen verstaan we die signalen die het volbrengen van een of meer bewegingen signaleren en die gebruikt worden om de volgende beweging te commanderen.

Afkortsignalen

In een aantal gevallen is het noodzakelijk dat we bepaalde signalen afkorten, omdat anders de commando's te lang worden. Hierbij moeten we uitgaan van het feit dat op een bepaalde tijdslijn nooit een plus- en een min-commando samen mogen optreden.

Onder een afkortsignaal verstaan we dat signaal dat in combinatie met een primair signaal een commando met de gevraagde lengte oplevert.

VOORBEELD 5.1**Gegeven**

De besturingsvoorwaarden van een volgordebesturing zijn:

- Na een startsignaal s_t zal een cilinder A uitlopen onder invloed van een A^+ -commando.
- Nadat is gesignaleerd dat de cilinder A in zijn uiterste stand is aangekomen, zal cilinder B uitlopen door middel van een B^+ -commando, terwijl cilinder A in de uitgeschoven stand blijft staan.
- Nadat is gesignaleerd dat cilinder B zijn uiterste stand heeft bereikt, zal zowel cilinder A als cilinder B inlopen onder invloed van een A^-B^- -commando.
- Nadat deze bewegingen zijn volbracht, zal de installatie weer in de ruststand staan.

Gevraagd

- a Teken aan de hand van de besturingsvoorwaarden een bewegingsdiagram.
- b Stel aan de hand van het diagram de besturingsformules op.

Oplossing

In figuur 3.10 zien we het bewegingsdiagram gecombineerd met de signalen en commando's weergegeven. Dit gecombineerde diagram noemen we een *W-S-diagram* (weg-signaaldigram).

W-S-diagram

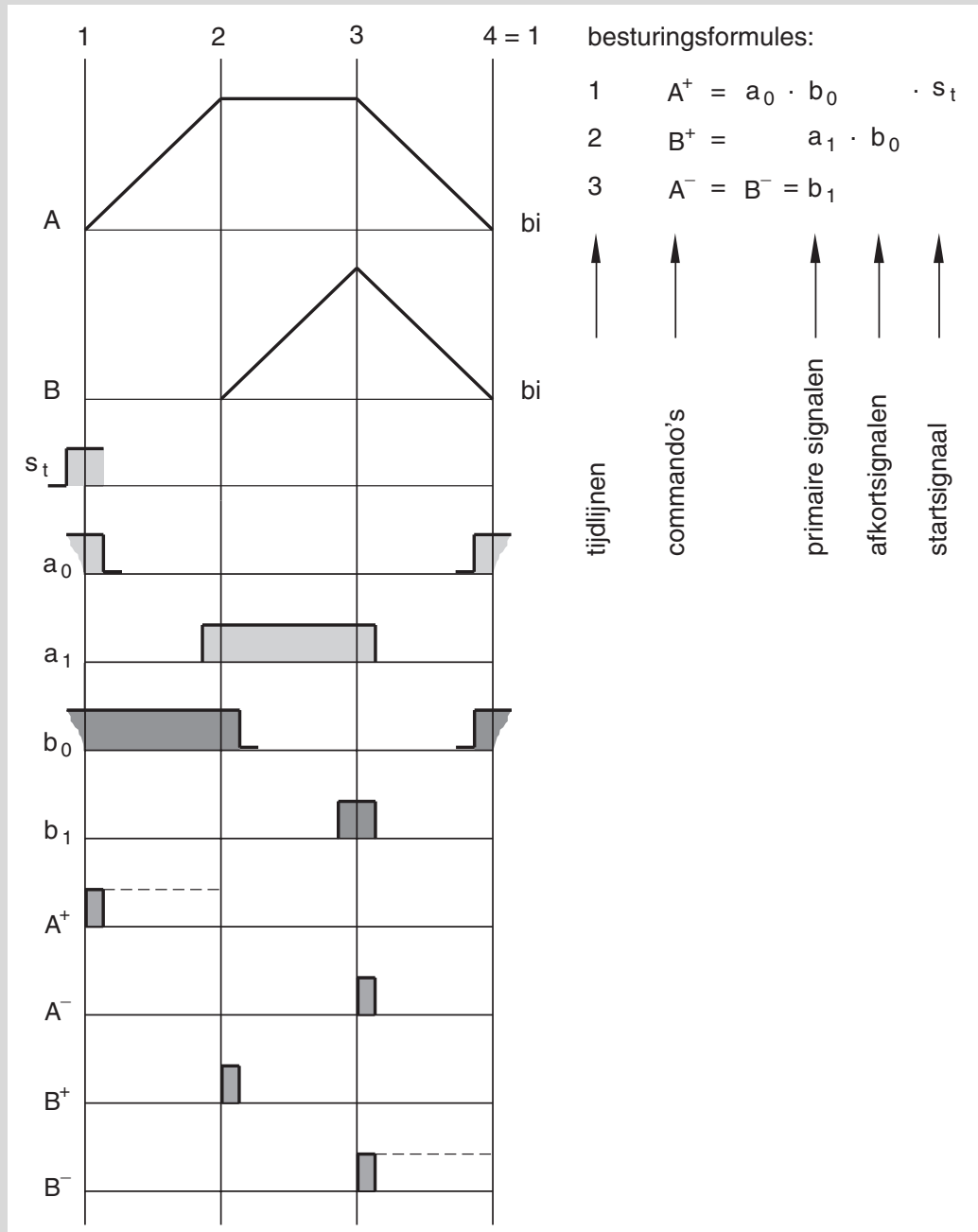
We zien bij de getekende commando's dat het commando A^+ mag doorlopen tot tijdlijn 2, maar dat de commando's B^+ en A^- kort moeten zijn, om aan de afspraak te voldoen dat geen plus- en min-commando van een cilinder op eenzelfde tijdlijn aanwezig mogen zijn.

Het uitlezen van de commando's verloopt nu als volgt:

- De primaire signalen voor het A^+ -commando op tijdlijn 1 zijn de signalen die als laatste opkwamen tijdens de vorige cyclus. Dit zijn dus de signalen a_0 en b_0 . Gezamenlijk geven deze signalen verbonden door een EN-functie een kort A^+ -commando. Hieraan wordt dan nog het startsignaal s_t toegevoegd.
- Nadat cilinder A is uitgelopen, zal signaalgever a_1 worden bediend. Dit signaal is dus het primaire signaal voor het volgende commando B^+ . Daar echter op tijdlijn 3 een B^- -commando plaatsvindt, is het signaal a_1 te lang, omdat dit een commando tot tijdlijn 3 zou maken. Om dit commando af te korten maken we gebruik van één van de andere signalen. In dit geval kunnen we a_1 afkorten met het signaal b_0 , dat dan een verkort commando B^+ oplevert.

- Na het uitlopen van cilinder B is signaal b_1 het primaire signaal voor het inlopen van de cilinders A en B door de A^-/B^- -commando's.

Aan de hand van deze formules kan nu een besturing samengesteld worden.



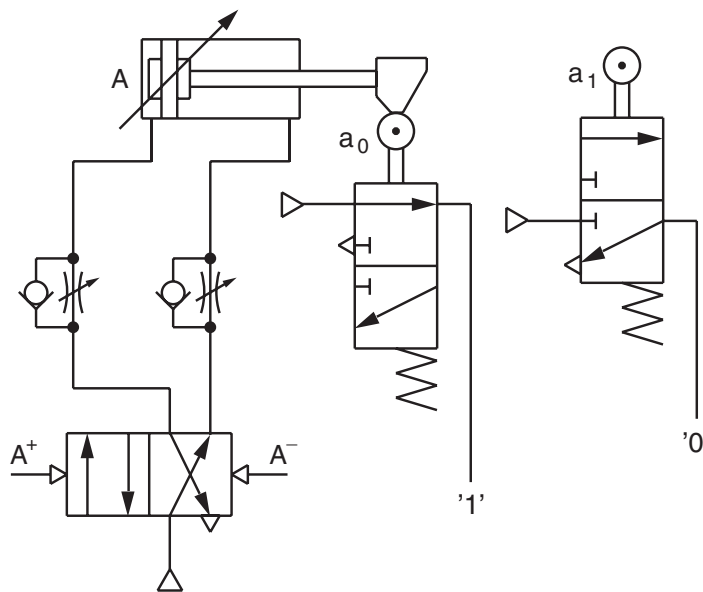
Figuur 3.10 W-S-diagram

3.4 Pneumatisch schema volgordebesturing

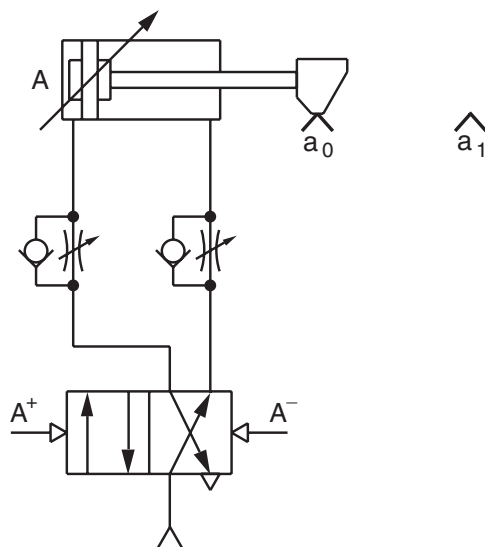
Wanneer met behulp van het W-S-diagram de besturingsformules zijn vastgesteld, is de volgende stap het vertalen van deze besturingsformules in schema's.

In figuur 3.11 zien we cilinder A met de signaalgevers a_0 en a_1 , het hoofdschakel-element en de instelbare doorstroomregelventielen.

Om de opzet van het pneumatisch schema overzichtelijker te maken, gaan we de signaalgevers a_0 en a_1 verplaatsen, waarbij we de oorspronkelijke plaats aangeven met a_0 en a_1 , onder een \wedge , zie figuur 3.12.

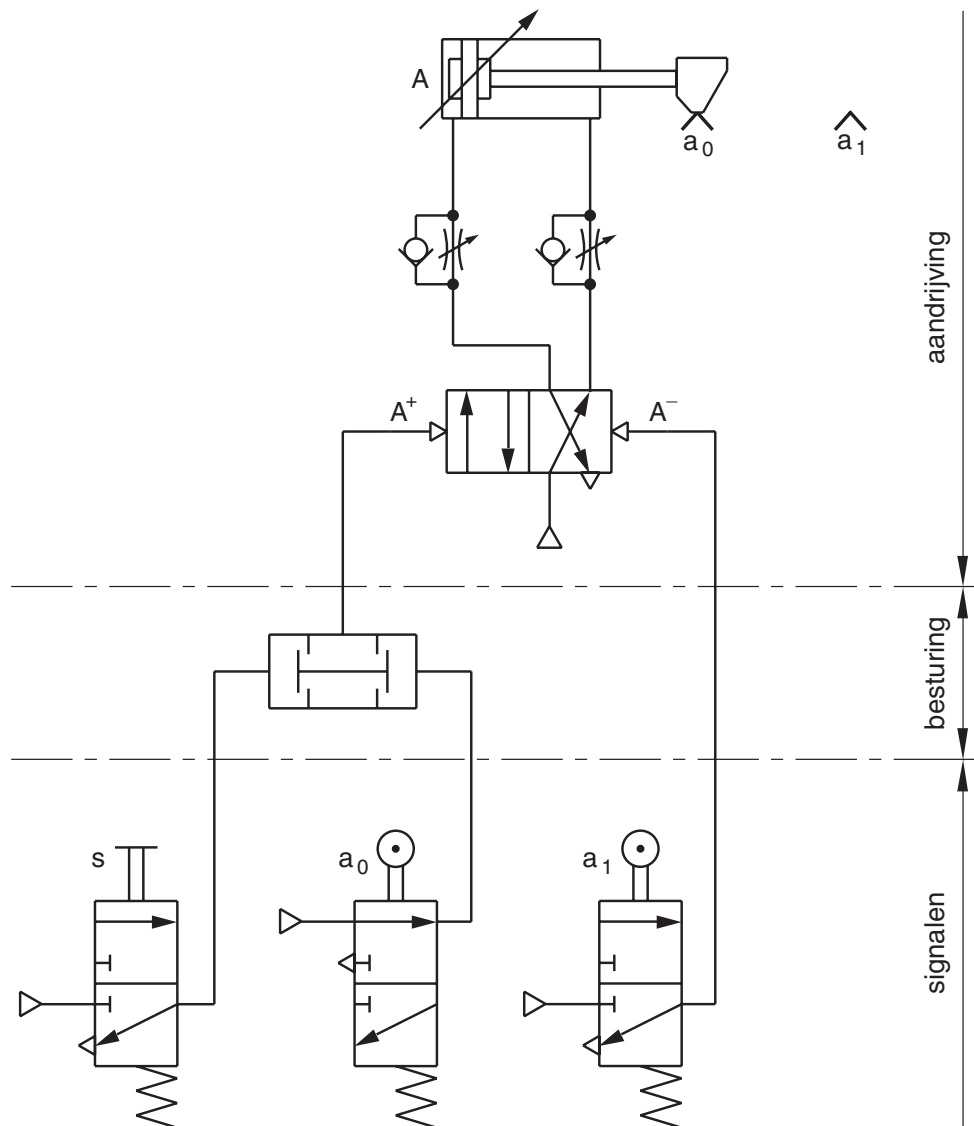


Figuur 3.11 Uitvoerorgaan met ventielen



Figuur 3.12 Symbolische aanduiding van de signaalgevers

Bij het tekenen van besturingsschema's proberen we zo logisch mogelijk te werk te gaan, door eerst de cilinders met de hoofdschakel-elementen en de instelbare doorstroomregelventielen te tekenen. Onder deze organen trekken we dan een hartlijn, als teken dat alles wat boven deze lijn staat tot de aandrijving behoort, zie figuur 3.13.

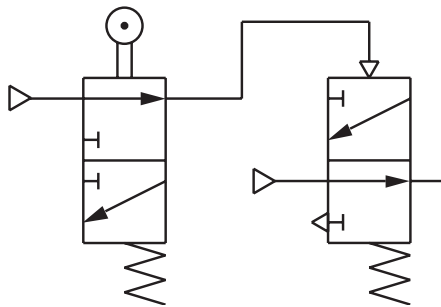


Figuur 3.13 Plaats van de componenten

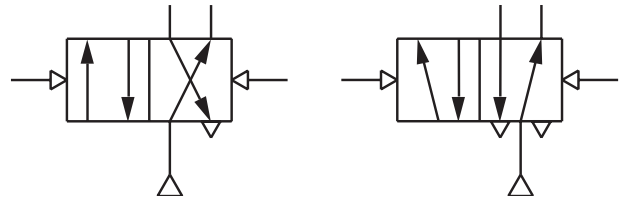
Op enige afstand onder de eerste hartlijn tekenen we een tweede. Onder deze hartlijn worden de signaalgevers getekend en tussen de hartlijnen de logische componenten, die de eigenlijke besturing vormen. De plaatsen van de signaalgevers en de logische componenten worden zodanig gekozen dat ze aan een aantal tekenregels voldoen.

Pneumatische tekenregels:

- ruststand
 - het pneumatisch schema geeft de *ruststand* van de uitvoerorganen weer;
 - de signaalgevers aan de uitvoerorganen worden getekend zoals de situatie in de ruststand is;
- luchtdrukloos
 - een pneumatisch schema wordt *luchtdrukloos* getekend, zoals bijvoorbeeld in figuur 3.14 is weergegeven;
 - een hoofdschakel-element wordt in de ruststand aangesloten op het *rechterdeel* van het ventiel, zie figuur 3.15;
 - teken geen gebogen of schuine lijnen;
 - zorg voor zo min mogelijk kruisingen.



Figuur 3.14 Luchtdrukloos

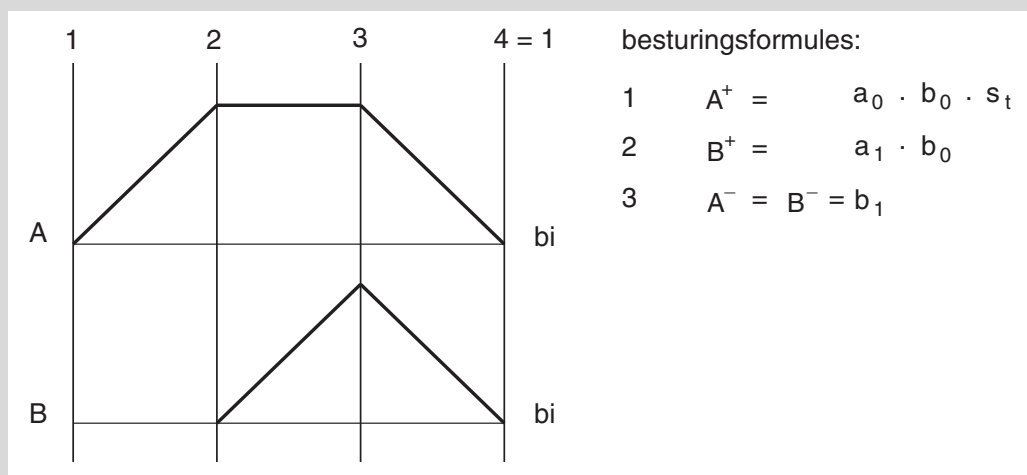


Figuur 3.15 Hoofdschakel-elementen

VOORBEELD 5.2

Gegeven

Van een volgordebesturing zien we in figuur 3.16 het bewegingsdiagram met de uitgewerkte besturingsformules.

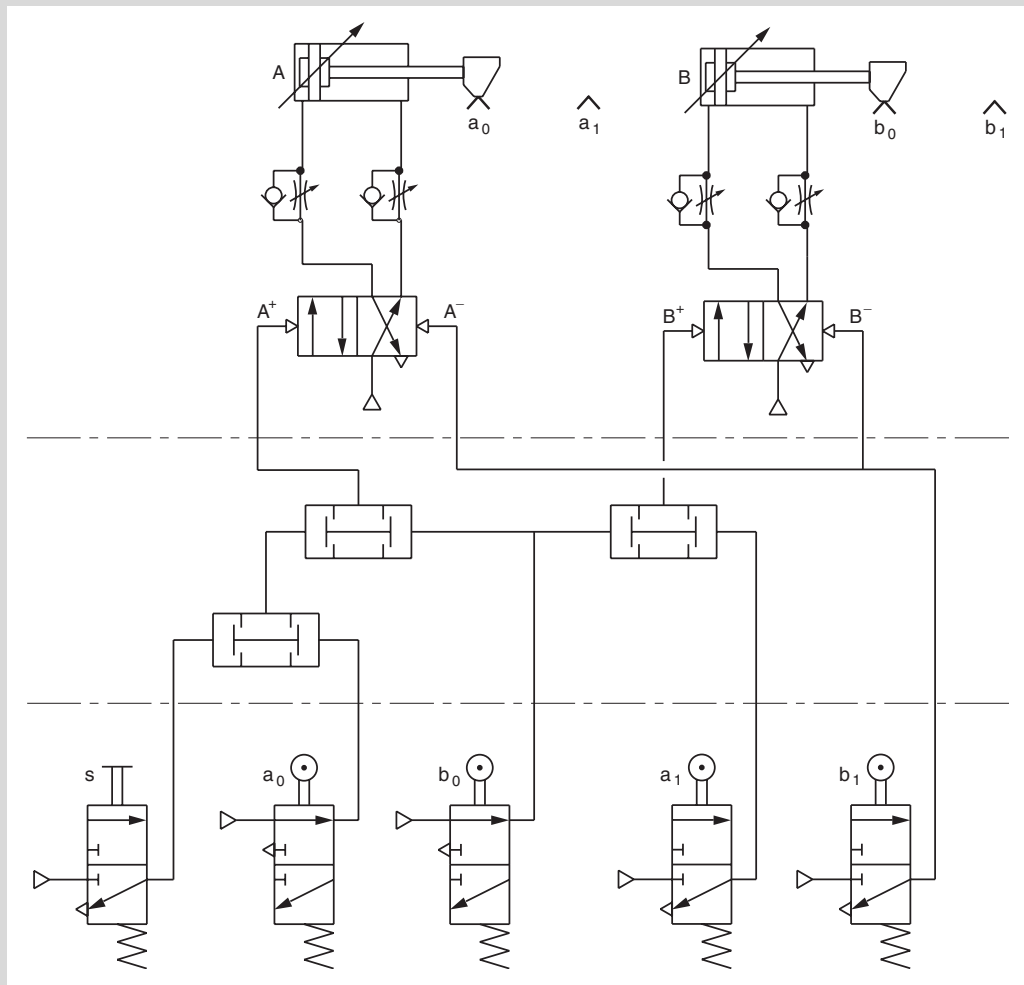


Figuur 3.16 Bewegingsdiagram met besturingsformules

Gevraagd

Teken vanuit deze besturingsformules een pneumatisch schema.

Oplossing



Figuur 3.17 Voorbeeld van een pneumatisch schema

Elektro-pneumatische besturingen en tijdschakelingen

4



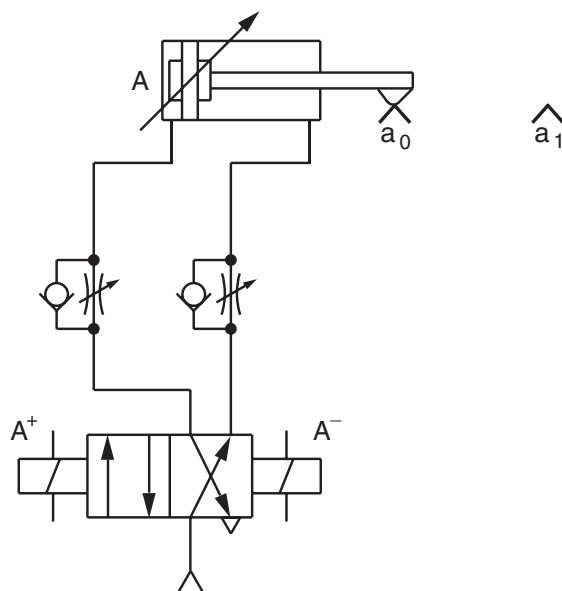
4.1 Elektrische besturing

In figuur 4.1 zien we een cilinder A die van lucht wordt voorzien via een dubbel elektrisch gestuurd 4/2-ventiel. Hierbij krijgen we de commando's A^+ en A^- door de spoel links of rechts van het ventiel te bekrachtigen.

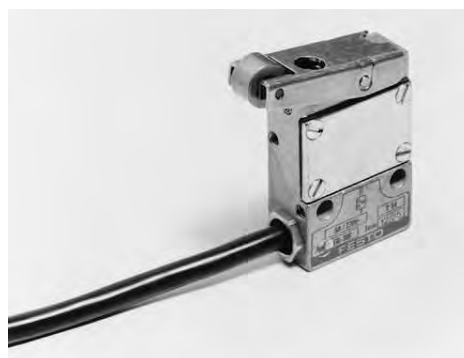
Nu moeten we de signaalgevers ook elektrisch uitvoeren. Het grote voordeel van het elektrisch overbrengen van signalen is dat dit over grote afstanden zonder merkbare tijdvertraging kan plaatsvinden. Het verzenden van een pneumatisch signaal vergt wel enige tijd, omdat de luchtleiding tussen signaalgever en ontvanger eerst op schakeldruk moet komen.

elektrische
signaalgever

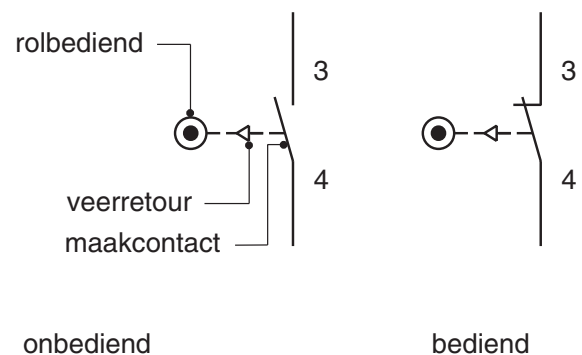
In figuur 4.2 zien we een rolbediende *elektrische signaalgever*.



Figuur 4.1 Cilinder gecommandeerd door een dubbel elektrisch direct gestuurd 4/2-ventiel



a uitvoering



b symbool van onbediend en bediend maakcontact

Figuur 4.2 Elektrische signaalgever met maakcontact

De werking van deze signaalgever is zeer eenvoudig. Bij het inschakelen van de rol schakelt een inwendig contact om. We spreken van het *maken* van het contact. Het symbool zien we in figuur 4.2b, waar het contact ontstaat tussen de aansluitingen met de codes 3 en 4.

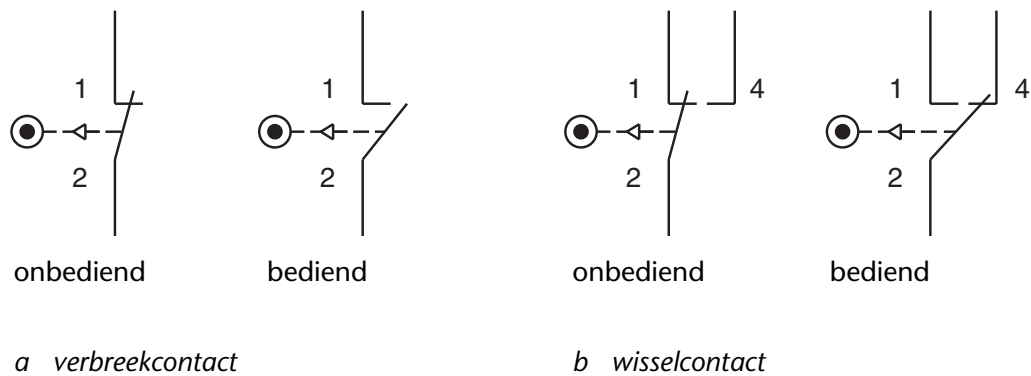
De horizontale streeplijn met het driehoekje is het symbool van het bedieningsmechanisme en de veer die het contact weer opendrukt als de rol onbediend raakt. Als we een *maakcontact* in een elektrisch schema gesloten moeten tekenen, zetten we bij punt 3 een horizontaal streepje om het gesloten contact duidelijk te laten uitkomen in het schema.

Ook kan het bedienen van een signaalgever juist een contact verbreken. Zie figuur 4.3a. In dit geval spreken we van een *verbreekcontact*. Als een signaalgever tijdens het bedienen zowel een contact verbreekt als een contact maakt, spreken we van een *wisselcontact*. Zie figuur 4.3b.

maakcontact

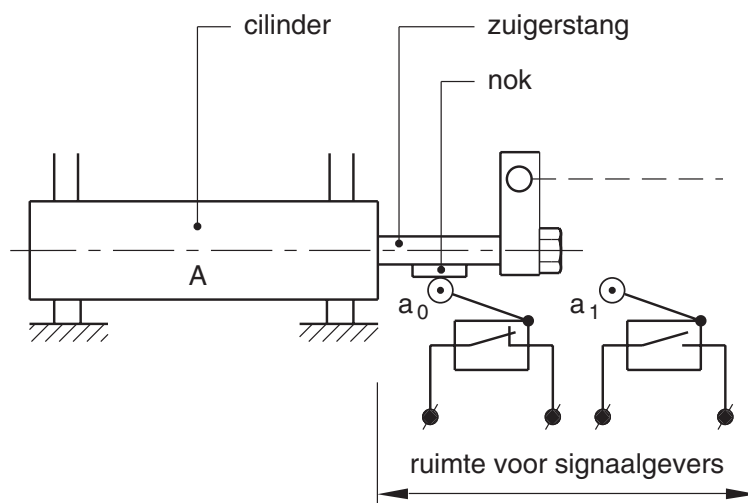
verbreekcontact

wisselcontact



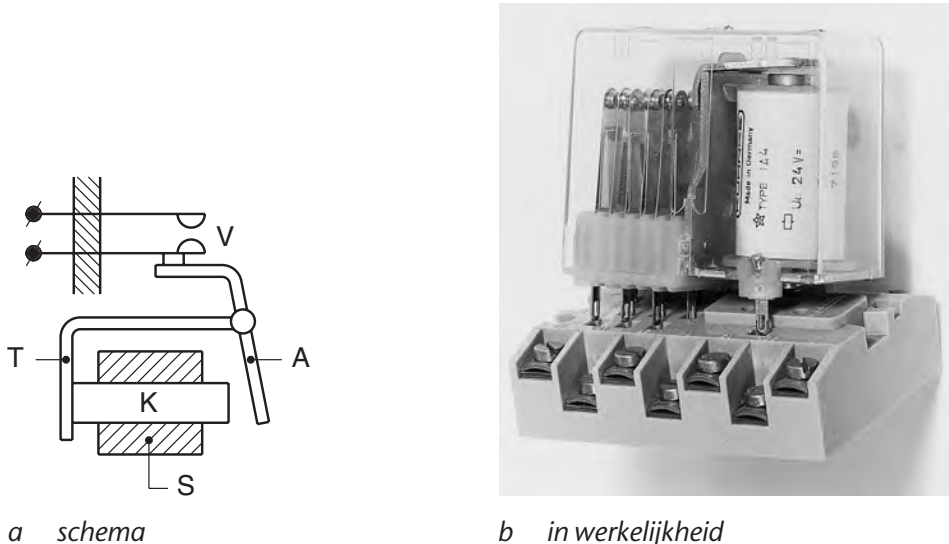
Figuur 4.3 Rolbediend verbreek- en wisselcontact

In figuur 4.4 zien we een schema van een pneumatische cilinder A met twee signaalgevers a_0 en a_1 die worden bediend door een nok op de zuigerstang. Daardoor kunnen we de stand van de cilinder vaststellen.



Figuur 4.4 Cilinder met rolbediende signaalgevers

relais Het meest gebruikte elektrische hoofdschakel-element is het *elektrische relais*. In figuur 4.5 zien we het principe van een hoekankerrelais. Rond om een zachtstalen kern K die aan een juk T is vastgezet, is een spoel S gewikkeld. Verder is op het juk scharnierend een zachtstalen anker A aangebracht. Wanneer er een gelijkspanning over de spoel wordt gezet, wordt de kern magnetisch. Daarna trekt deze het anker A aan, zodat de verende contacten V sluiten.



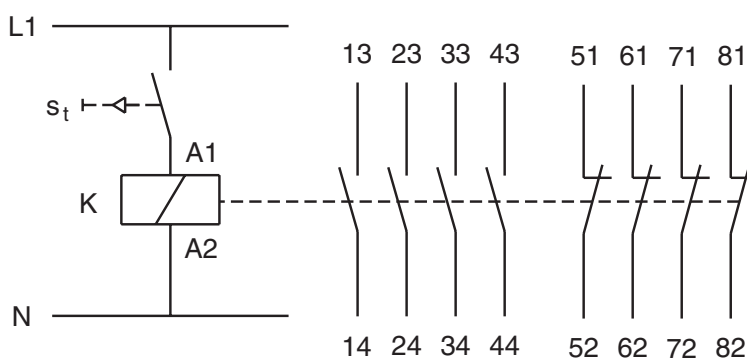
a schema

b in werkelijkheid

Figuur 4.5 Hoekankerrelais

In werkelijkheid heeft een relais meestal 4, 6 of 8 hulpcontacten. Dus door een relatief lage spanning op de spoel aan te brengen, kunnen we met deze hulpcontacten meerdere systemen schakelen.

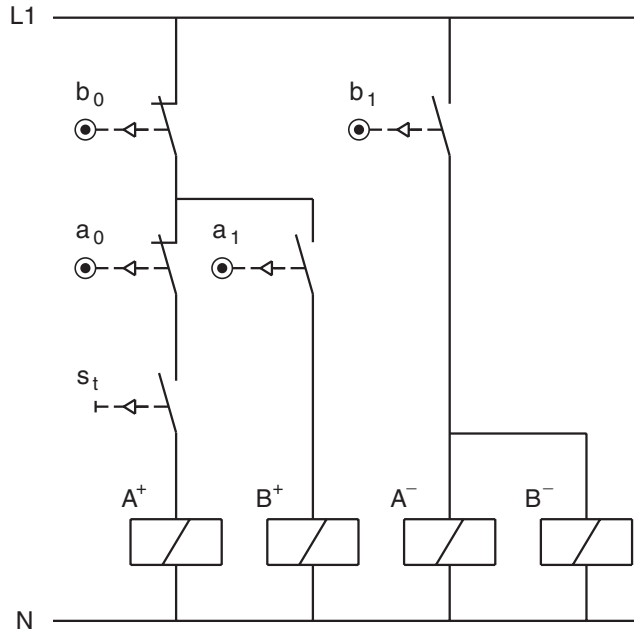
In figuur 4.6 zien we een deel van een stroomkring, met aan de bovenzijde de stroomvoerende draad (fase) L1 en aan de onderzijde de nul N. Tussen deze twee geleiders is een schakelaar s_t aangesloten op een relais K. Dit hulprelais schakelt 8 hulpcontacten, waarvan 4 maakcontacten en 4 verbreekcontacten.



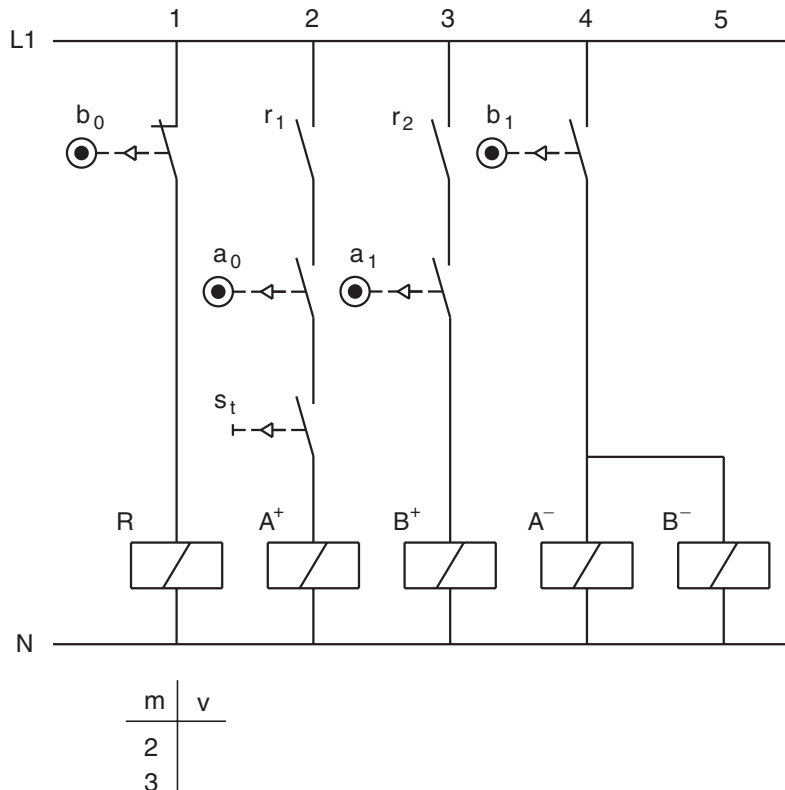
Figuur 4.6 Hulprelais

In figuur 4.7 zien we het elektrische stroomkringschema van de volgorde-schakeling uit figuur 4.17 in het vorige hoofdstuk.

Volgens de normalisatie tekenen we elektrische schema's van boven naar beneden. Omdat we de signaalgever b_0 tweemaal gebruiken, moeten we deze boven in het schema plaatsen, zodat we zowel het A^+ - als het B^+ -commando direct met deze signaalgever kunnen uitvoeren. Om de zaak goed uit te voeren, gebruiken we nu de signaalgever b_0 en een hulprelais met twee hulpcontacten, zie figuur 4.8.



Figuur 4.7 Stroomkringschema

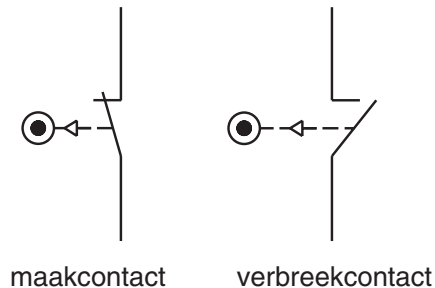


Figuur 4.8 Schema met relais

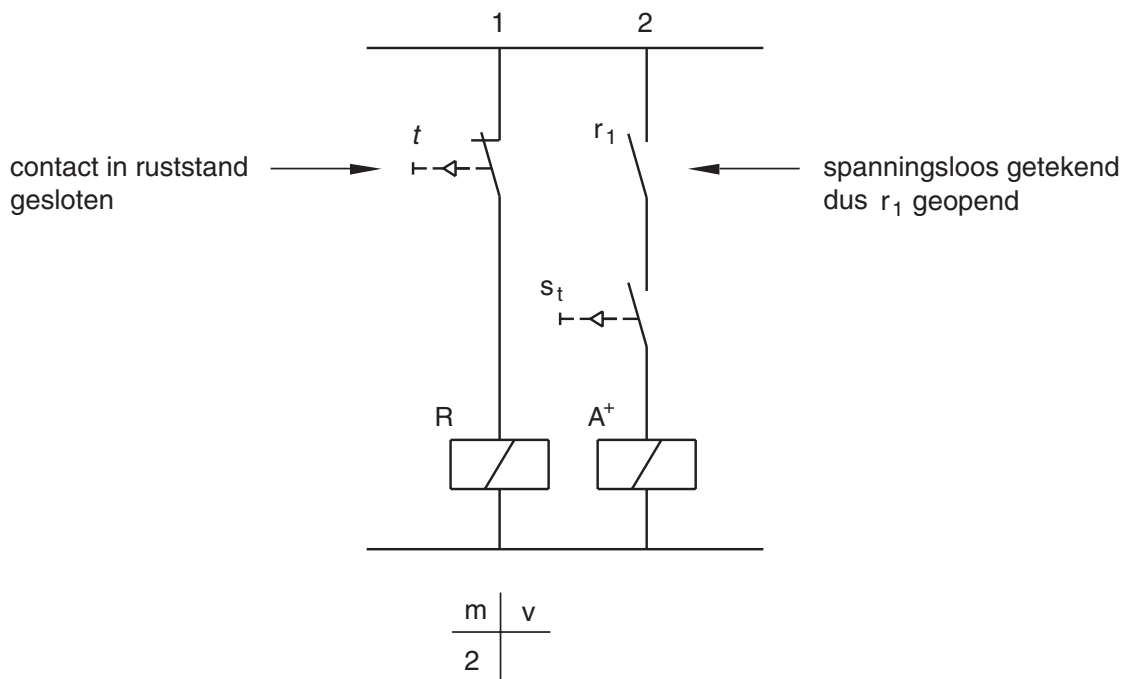
Wanneer we in een stroomkringschema een hulprelais gebruiken, gaan we ertoe over om alle besturingstakken te nummeren. Daarna plaatsen we onder het desbetreffende relais een tabel waarin we aangeven in welke tak we een maakcontact (m) of een verbreekcontact (v) van dit relais hebben.

Tot slot geven we hier de tekenregels voor stroomkringschema's:

- In een stroomkringschema vinden we alleen het elektrische gedeelte van een besturing.
- Het elektrisch schema geeft de situatie weer als de uitvoerorganen in de ruststand staan.
- In figuur 4.9 worden een bediend maakcontact en verbreekcontact weergegeven.
- Stroomkringschema's tekenen we *spanningsloos*. Dit betekent dat bij relais de hulpschakelaars (contacten) *onbediend* zijn. Zie figuur 4.10.
- Spoel en contacten van een relais tekenen we onafhankelijk van elkaar.



Figuur 4.9 Bediende contacten



Figuur 4.10 Stroomkringschema

Elektrische geheugenschakelingen

In figuur 4.11 zien we het stroomkringschema van een geheugenschakeling. Als we de set-knop indrukken, wordt relais Q bekrachtigd en schakelen de contacten q₁ en q₂ om.

Als we het set-contact loslaten, blijft de relaisspoel via contact q₁ bekrachtigd.

overneemcontact

We noemen contact q₁ het *overneemcontact*.

overneem-schakeling

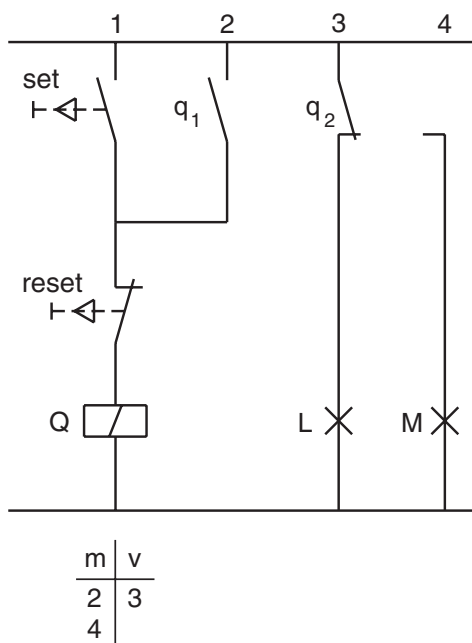
De geheugenschakeling noemen we ook wel een *overneemschakeling* of een *houdschakeling*. Het relais kan alleen bekrachtigd worden of blijven als de reset niet wordt bediend. Zodra de reset wordt bediend, is relais Q niet langer bekrachtigd en keren de contacten q₁ en q₂ naar de ruststand terug.

Bij gelijktijdige bediening van set en reset wordt relaisspoel Q niet bekrachtigd.

We stellen dus vast dat de reset dominant is.

In formulevorm:

$$Q = (\text{set} + q) \cdot \overline{\text{reset}} \tag{4.1}$$

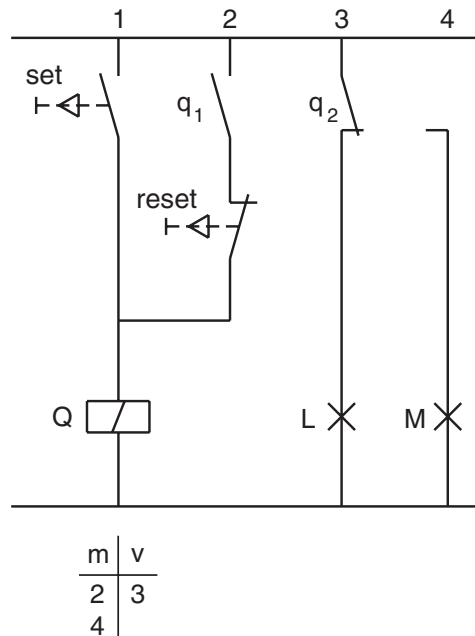


Figuur 4.11 Geheugenschakeling met reset dominant

De geheugenschakeling met dominantie in de set zien we in het schema van figuur 4.12. Het overnemen van het set-sigitaal gebeurt op dezelfde manier als in de geheugenschakeling van figuur 4.11. We zien hier dat het resetsignaal met een EN-functie aan het contact q₁ verbonden is. Als nu de set en de reset tegelijk bediend worden, overheerst de set.

In formulevorm:

$$Q = \text{set} + q \cdot \overline{\text{reset}} \quad (4.2)$$



Figuur 4.12 Geheugenschakeling met set dominant

Omdat we in een elektrische geheugenschakeling altijd een overneemcontact nodig hebben, vinden we daar altijd een dominantie.

4.2 Tijdschakelingen

In processen is het vaak noodzakelijk om een tijdschakeling in te bouwen. Deze schakeling kan op verschillende manieren in de besturing ingrijpen. We geven enkele voorbeelden.

Opkomstijvertragers

Een reeds uitgevoerd commando moet na enige tijd gevolgd worden door een ander commando. Een pers mag pas een ingaande slag hebben bijvoorbeeld 40 seconden nadat de perscilinder is uitgelopen. We gebruiken dan een *opkomstijvertrager*.

Afvaltijdvertragers

Een uitvoerorgaan moet gedurende een bepaalde tijd nadat het commando vervallen is nog dienst doen. We denken hierbij bijvoorbeeld aan een automatische deuropener die de deur na het passeren van een persoon nog enige tijd openhoudt. We gebruiken dan een *afvaltijdvertrager*.

Pulsvormers

Een (te) lang signaal kunnen we inkorten met een *pulsvormer*.

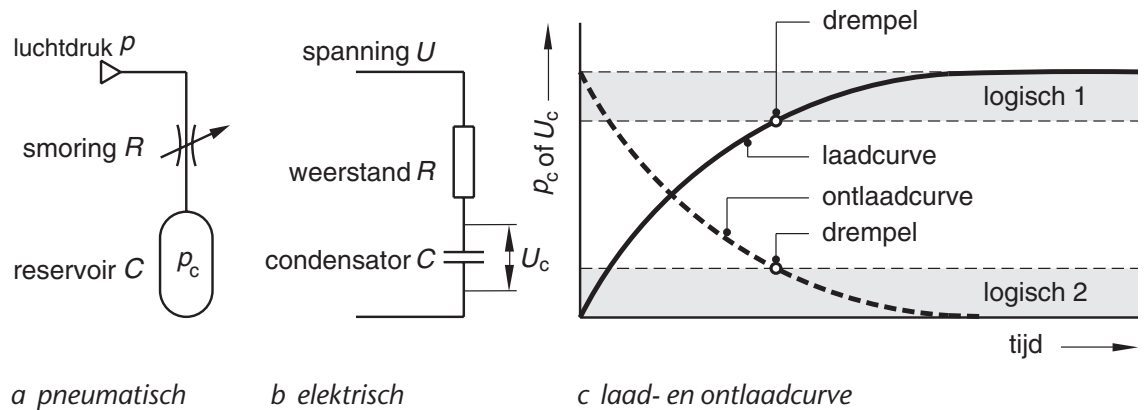
Principe van tijdschakelingen

Tijdschakelingen berusten meestal op het principe van de RC -schakeling.

resistance
capacity

Een RC -schakeling is een combinatie van een weerstand R (*resistance*) en een capaciteit C (*capacity*).

In figuur 4.13 zien we een pneumatische en een elektrische RC -schakeling weergegeven. Afhankelijk van de doorlaat van de smoring R loopt de druk p_c in het reservoir C op volgens de *laadcurve* in figuur 4.13c.



Figuur 4.13 RC -schakelingen

Met hetzelfde principe neemt de spanning over de condensator U_C toe tot de maximale waarde, die gelijk is aan de spanning U .

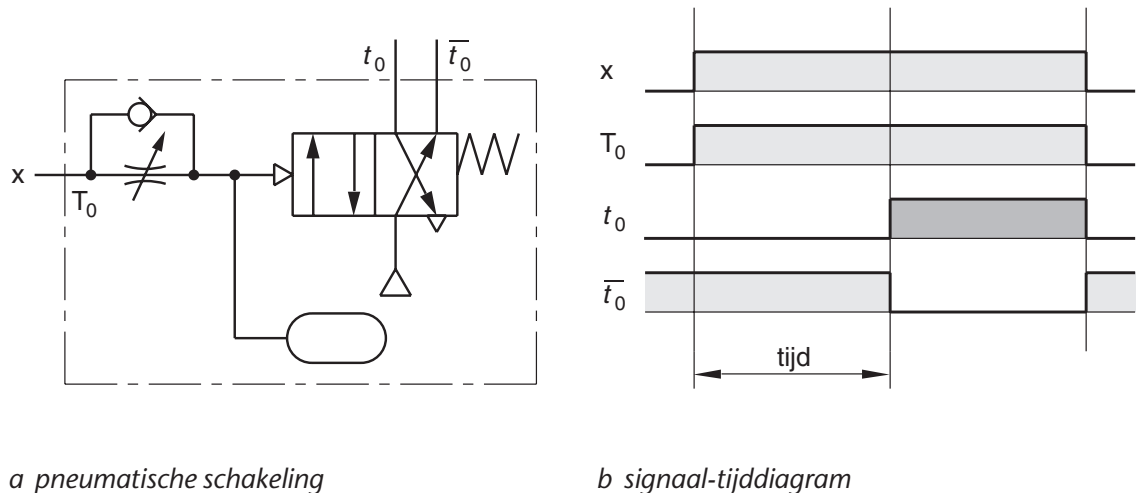
De druk in het reservoir of de spanning over de condensator wordt op een bepaald moment groter dan een bepaalde drempelwaarde. Zie figuur 4.13c. De reservoirdruk of de condensatorspanning sluit of opent een digitaal element (een ventiel of een contact).

Het ontladen van een reservoir of condensator verloopt volgens de gestippelde curve van figuur 4.13c.

4.3 Principe van opkومتijdvertragers

In figuur 4.14a zien we de pneumatische uitvoering van een opkومتijdvertrager. In het signaal-tijddiagram van figuur 4.14b zien we een ingangssignaal x dat dienstdoet als commando T_0 . De besturingsformule luidt dus:

$$T_0 = x$$



Figuur 4.14 Opkومتijdvertrager

opkومتijd-
vertrager Een opkومتijdvertrager is een tijdschakeling waarbij het uitgangssignaal vertraagd opkomt, maar tegelijk met het tijdcommando afvalt.

Dit werkt als volgt:

- via de instelbare smoring wordt het luchtreservoir gevuld, het terugslagklepje staat hierbij dicht;
- zodra de luchtdruk in het reservoir hoog genoeg is, schakelt het 4/2-ventiel om (we spreken van de schakeldruk);
- als het 4/2-ventiel is omgeschakeld, geldt voor het uitgangssignaal $t_0 = \text{logisch } 1$ en $\bar{t}_0 = \text{logisch } 0$;
- zodra het ingangssignaal vervalst, wordt het reservoir via de terugslagklep snel ontladen, waardoor het monostabiele 4/2-ventiel naar de ruststand schakelt.

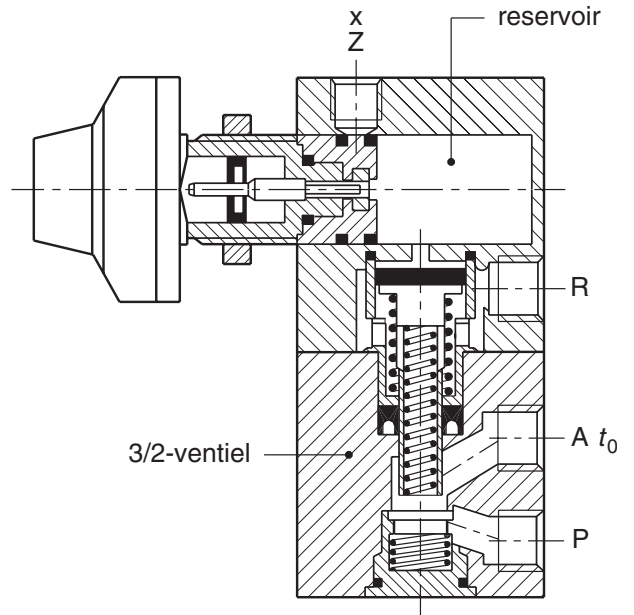
Als we alleen het signaal nodig hebben en niet het geïnverteerde signaal \bar{t}_0 , hebben we aan een monostabiel normaal gesloten 3/2-ventiel (JA-functie) voldoende.

In figuur 4.15 zien we een uitvoering van een pneumatische opkومتijdvertrager met ingebouwd reservoir.

In figuur 4.16 zien we een elektrische opkomtijdvertrager. Het relais­symbool heeft bij deze tijdschakeling een extra vlak met een kruisje. Door het bedienen van contact x wordt het hulprelais T_0 bekrachtigd.



a uitvoering

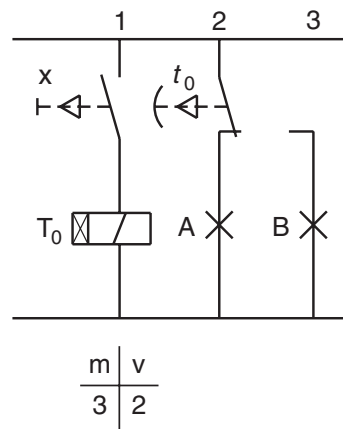


b schema

Figuur 4.15 Pneumatische opkomtijdvertrager met ingebouwd reservoir



a uitvoering



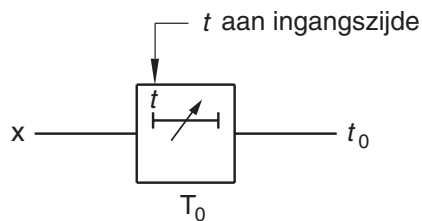
b stroomkringschema

Figuur 4.16 Elektrische opkomtijdvertrager

remparachute

Na de ingestelde tijd schakelen de hulpcontacten om, waarvan er in figuur 4.16 één getekend is. In dat schema dooft lampje A en gaat lampje B branden. De vertraagde werking wordt in het schema aangegeven met een *remparachute* op het contact.

In een logisch schema gebruiken we het symbool van figuur 4.17.



Figuur 4.17 Logisch symbool opkomstijvertrager

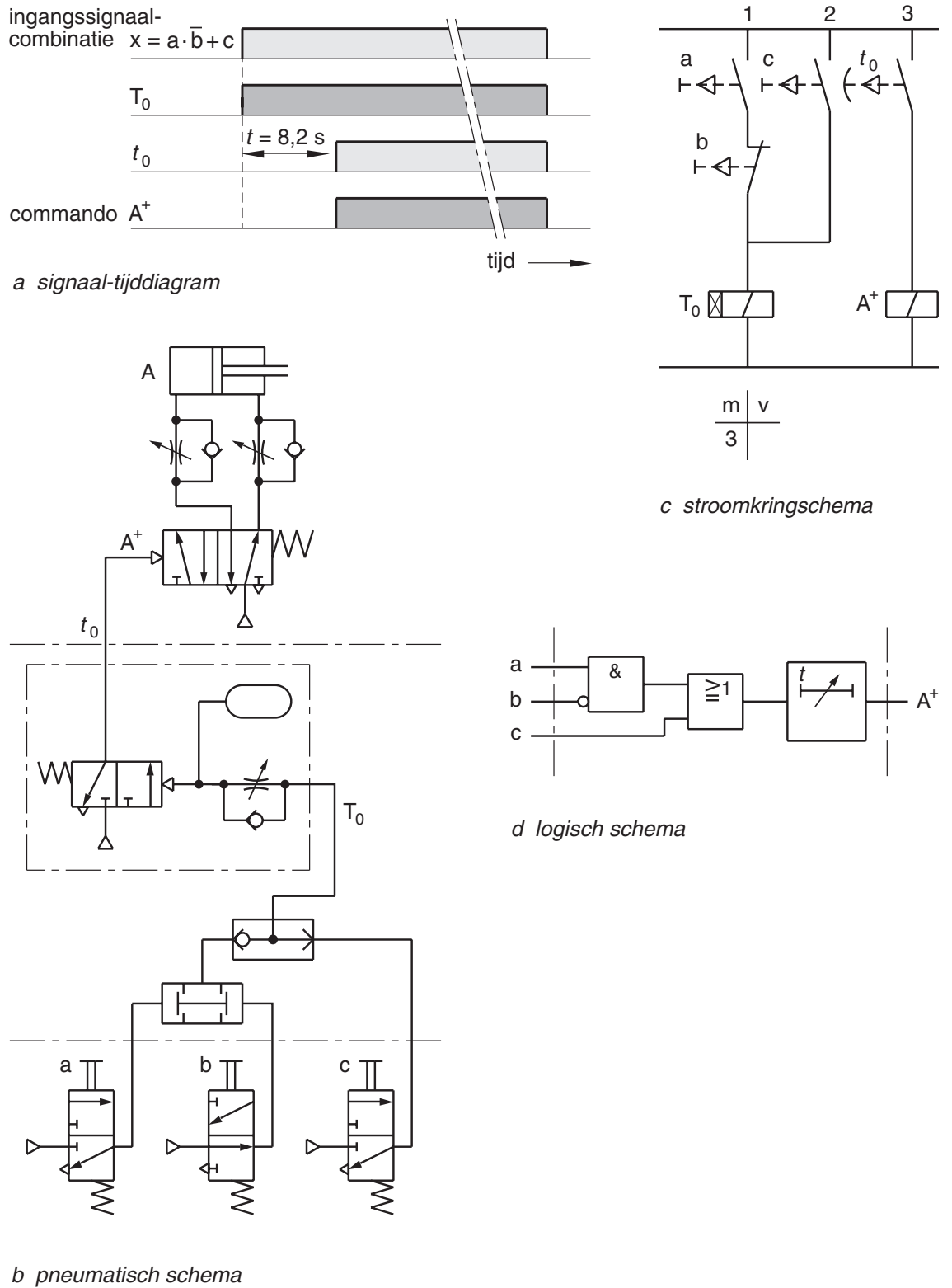
4.4 Combinatorische besturingen met opkomstijvertragers

Bij combinatorische besturingen moeten signaalgevers of opnemers eerst een aantal voorwaarden signaleren. Pas als daaraan is voldaan, wordt een commando op een hoofdschakelement gegeven.

Als we echter een tijdschakeling gaan gebruiken in een combinatorische besturing, dan moet ook deze een commando ontvangen. Met het uitgangssignaal t uit de tijdschakeling kan dan weer een commando aan een hoofdschakel-element worden gegeven, eventueel in samenwerking met andere signalen.

In het signaal-tijddiagram van figuur 4.18a vinden we de verschillende signalen en commando's terug die we uit de besturingsvoorwaarden hebben ingetekend. In figuur 4.18b tot en met d zien we de schema's.

Als het tijdcommando binnen de opkomstij van 8,2 seconden vervalst, hebben we in het geheel geen uitgaande slag van cilinder A.



Figuur 4.18 Schema's opkومتijdvertrager

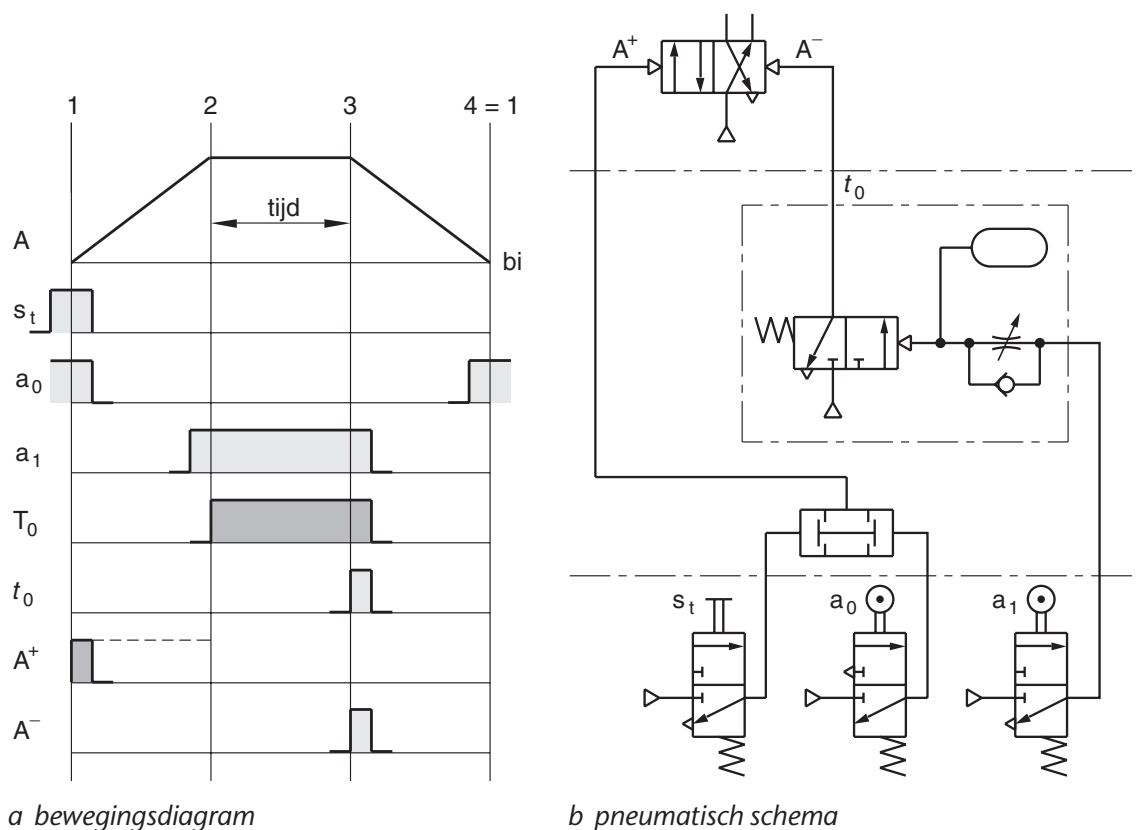
4.5 Volgordebesturingen met opkومتijdvertragers

In volgordebesturingen worden meestal opkومتijdvertragers gebruikt. Als we in een volgordebesturing een tijdschakeling moeten gebruiken, kunnen we dit herkennen in het bewegingsdiagram. Als er namelijk tussen twee tijdlijnen geen bewegingen zijn die een signaal opleveren, moeten we op die plaats een tijdschakeling opnemen.

In figuur 4.19 zien we de bewegingen van een cilinder A, die tussen de tijdlijnen 1 en 2 uitloopt.

Tussen de tijdlijnen 2 en 3 blijft de cilinder in de uitgeschoven stand staan, waarna hij tussen de tijdlijnen 3 en 4 weer inloopt.

Om de tijd tussen de tijdlijnen 2 en 3 te overbruggen, wordt door de signaalgever a_1 een opkومتijdvertrager gecommandeerd. Met het uitgangssignaal t_0 wordt dan het A^- -commando gegeven.



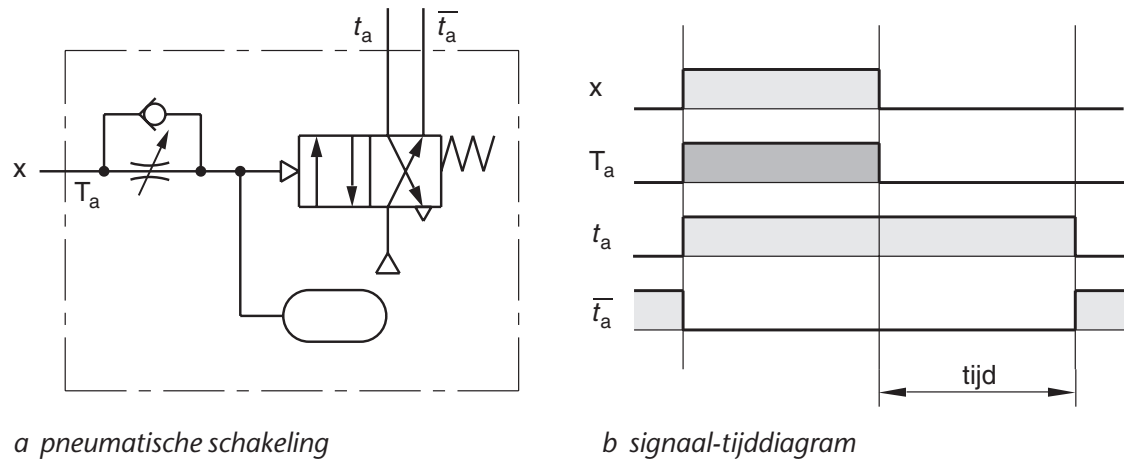
- Besturingsformules
- 1 $A^+ = a_0 \cdot s_t$
 - 2 $T_0 = a_1$
 - 3 $A^- = t_0$

Figuur 4.19 Volgordebesturing met tijd

4.6 Principe van afvaltijdvertragers

In figuur 4.20 zien we het signaal-tijddiagram van een afvaltijdvertrager. In het signaal-tijddiagram zien we het ingangssignaal x dat dienstdoet als commando T_a . De besturingsformule luidt dus:

$$T_a = x$$



a pneumatische schakeling

b signaal-tijddiagram

Figuur 4.20 Afvaltijdvertrager

afvaltijdvertrager Een afvaltijdvertrager is een tijdschakeling waarbij het uitgangssignaal tegelijk met het tijdcommando opkomt, maar vertraagd na dit commando afvalt.

Dit gaat als volgt:

- Via de terugslagklep wordt het luchtreservoir zeer snel gevuld, zodat het ventiel zeer snel schakelt en het signaal t_a bijna direct opkomt.
- Zodra commando T_a vervalt, sluit de terugslagklep en stroomt het reservoir via de smoring leeg.
- Als de druk in het reservoir tot beneden de schakeldruk van het ventiel is gedaald, brengt de veer het ventiel naar de ruststand.

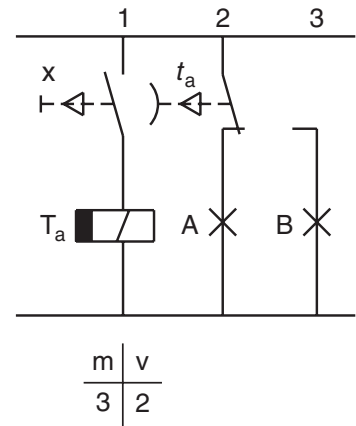
Zoals bij de opkomtijdvertrager kunnen we het tijdsignaal t_a inverteren tot \bar{t}_a .

In figuur 4.21 zien we het schema van de elektrische afvaltijdvertrager. Het relaisymbool heeft bij deze tijdschakeling een zwart vlakje. We zien dat de remparachute op het relaiscontact juist zo staat, dat geremd wordt tijdens de beweging naar de ruststand.

Als signaalgever x wordt bediend, schakelt contact t_a direct om. Lamp A dooft en lamp B gaat branden. Bij het onbediend raken van x valt de bekrachtiging van relais T_a direct weg. Maar contact t_a valt pas na een zekere tijd af.



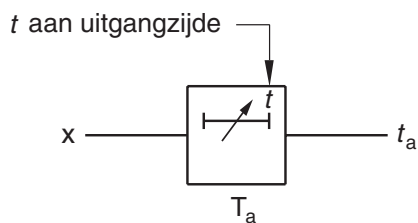
a uitvoering



b stroomkringschema

Figuur 4.21 Elektrische afvaltijdvertrager

Voor het tekenen van een logisch besturingsschema gebruiken we het symbool van figuur 4.22.



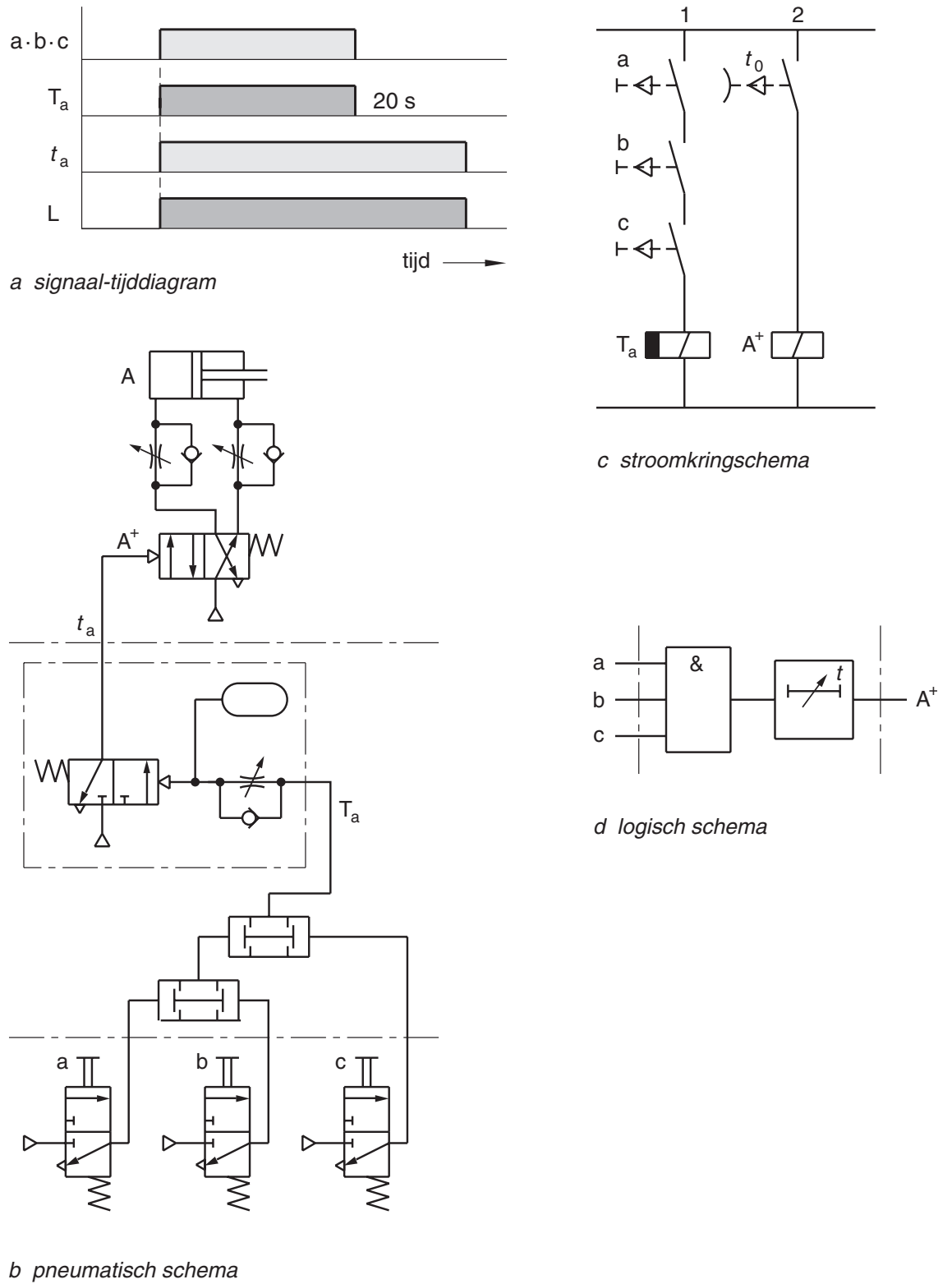
Figuur 4.22 Logisch symbool afvaltijdvertrager

4.7 Combinatorische besturingen met afvaltijdvertragers

In figuur 4.23 zien we het pneumatisch schema, het stroomkringschema en het afvalbesturing

Een signaalcombinatie $a \cdot b \cdot c$ van drie signaalgevers geeft het commando voor de uitgaande slag van een monostabiel bediende cilinder (A) van een lijmpers.

De signaalcombinatie hebben we maar een korte periode, zodat we het A^+ -commando moeten verlengen. De afvaltijdvertraging werkt 20 seconden.



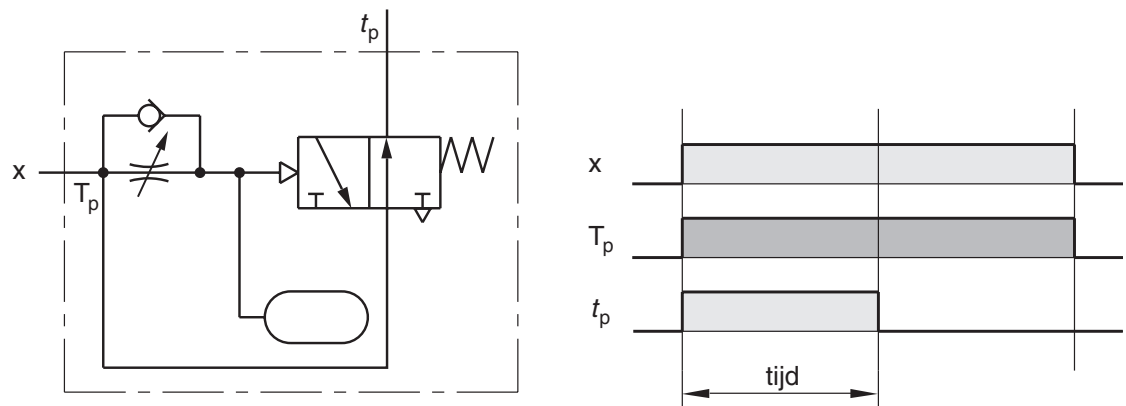
Figuur 4.23 Schema's afvaltijdvertrager

4.8 Pulsvormers

Om een kort pulssignaal te krijgen, kunnen we een *pulsvormer* gebruiken.

Bij de pulsvormer in figuur 4.24a is het commando T_p aanvankelijk direct met de uitgang t_p verbonden. Zodra het reservoir via de smoring op schakeldruk is gekomen, sluit het normaal open 3/2-ventiel de doorgang naar de signaaluitgang af.

Bij het vervallen van het commando wordt het reservoir via de terugslagklep snel ontladen.



a pneumatische schakeling

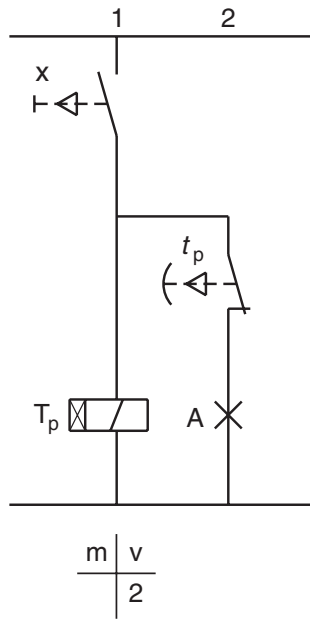
b signaal-tijddiagram

Figuur 4.24 Pulsvormers

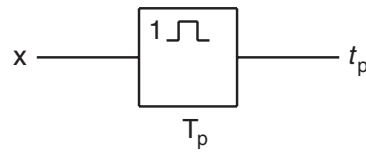
In figuur 4.25 zien we het stroomkringschema en het logisch symbool van een elektrische pulsformer met een gewone opkومتijdvertrager. De schakeling vormt door het bedienen van contact x direct een puls. Zodra de opkومتijd verlopen is, schakelt de tijdschakeling de puls weer af.

Het symbool in het hulprelais stelt een opkومتvertraging voor. Dit relais gebruiken we vaak voor ruitenwissers en in alarminstallaties. We noemen het ook wel een *blinkrelais*.

blinkrelais



a stroomkringschema



b logisch symbool

Figuur 4.25 Elektrische pulsvormer

