

## 15 Drukmeting

Drukmetingen vormen een belangrijke groep. Vaak zijn druk- en verschildrukmetingen rechtstreeks belangrijke parameters in het te regelen proces. Anderzijds kunnen vele fysische grootheden gemeten worden op basis van druk- of verschildrukmetingen, zoals metingen van niveau, debiet en temperatuur.

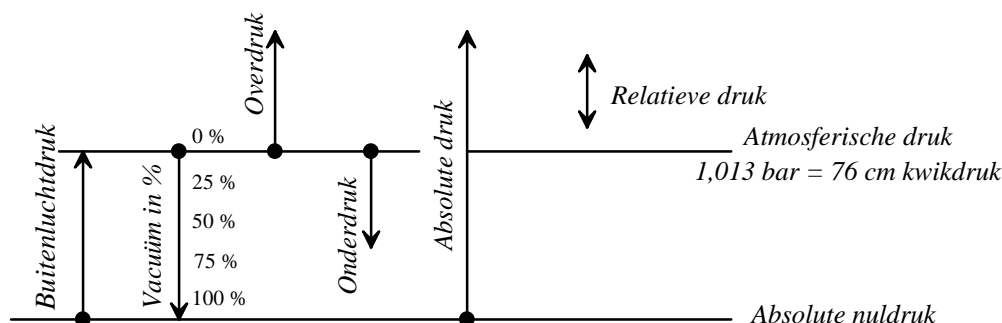
### 15.1 Definities en begrippen

Druk is gedefinieerd als "de kracht die op een bepaald oppervlak inwerkt" of :

$$P = F/S$$

Dit is op zichzelf een vrij duidelijke definitie. Moeilijker wordt het echter wanneer we de plaats in de ruimte of, voor ons op de aarde, de atmosfeer mee in rekening willen brengen. Elk voorwerp op aarde is immers onderhevig aan de atmosferische druk. Bij gegeven kracht  $F$  op oppervlak  $S$ , ontstaat er een druk die samen met de atmosferische druk een resultante zal vormen. We moeten dus bij het meten van een druk steeds aangeven t.o.v. welke referentie dit gebeurt.

Figuur 3.24 geeft de verschillende mogelijkheden weer. De zwarte stip duidt steeds de referentie aan. De pijl duidt de eigenlijke gemeten druk aan.

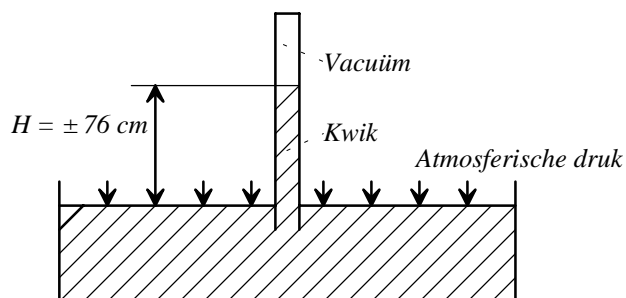


**Figuur 3.24:** Verschillende mogelijke referenties bij drukmetingen.

De *vacuüm druk* is de mate van onderdruk uitgedrukt in procenten vacuüm. De atmosferische druk is 0% vacuüm. De absolute nuldruk is 100% vacuüm.

De *hydrostatische druk* is, naar analogie met de kolom lucht die op elke oppervlakte-eenheid van de aarde drukt, de druk die een vloeistofkolom uitoefent op de wanden en bodem van die kolom. Zo zal een kwikkolom in een buis volgens figuur 3.25 een hydrostatische druk uitoefenen welke in evenwicht is met de atmosferische druk. De lengte van de kwikkolom is een maat voor de hydrostatische druk onderaan in de kolom en in dit geval dus ook voor de atmosferische druk. Op die manier kan dus gemakkelijk de atmosferische druk gemeten worden.

Tot hier toe werden alleen *statische drukken* beschreven nl., drukken veroorzaakt door een stof in rust. Een *dynamische druk* ontstaat als gevolg van de stromingssnelheid (kinetische energie) van een fluïdum.



**Figuur 3.25:** Drukmeting als hoogte-vloeistofkolom.

## 15.2 Eenheden

Omdat druk zich onder vele vormen kan manifesteren, bestaan er ook veel eenheden van druk. De officiële SI-eenheid voor druk is Pascal:  $\text{Pa} = [\text{N}/\text{m}^2]$ . Hieruit afgeleid is de eenheid bar = 100.000 Pa of  $10 \text{ N}/\text{cm}^2$ .

Verder geeft 1 atm de atmosferische druk weer gelijk aan 760 mmKK (mm-kwikkolom).

Onderdruk of vacuümdruk wordt uitgedrukt in mbar, % of meestal in mmKK = Torr. Tenslotte wordt in de persluchtregeltechniek nog vaak de Engelse drukeenheid PSI = 'Pounds per Square Inch' gebruikt.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de omrekeningsfactoren tussen de verschillende eenheden.

	Pa	bar	atm	Torr	$\text{kg}/\text{cm}^2$	PSI
Pa	1	E-5	$9,87 \cdot 10^{-6}$	0,01	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$14,5 \cdot 10^{-5}$
bar	E5	1	0,99	750,06	1,02	14,50
atm	101325,00	1,01	1	760,00	1,03	14,70
Torr	133,32	$1,33 \cdot 10^{-3}$	0,0013	1	0,00	0,02
$\text{kg}/\text{cm}^2$	$0,98 \cdot 10^5$	0,98	0,9679	735,60	1	14,22
PSI	6894,60	0,07	0,07	51,72	0,07	1,00

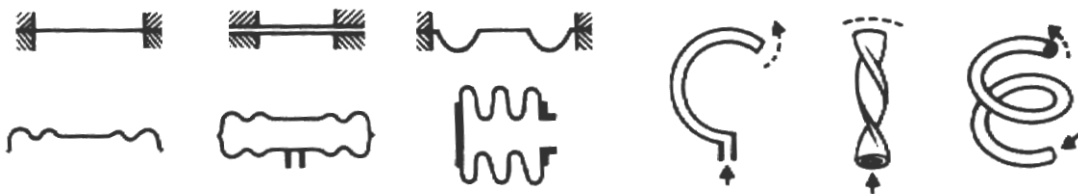
**Tabel 3.1:** Omrekeningstabel.

### 15.3 Druksensoren: een overzicht

In deel II zijn reeds verschillende principes om druk te meten aan bod gekomen. We geven hier nog even een overzicht:

In een *elastische vervormingsopnemer* levert de te meten druk een bepaalde arbeid op een meetelement. Evenwicht ontstaat wanneer de tegenkracht, opgeroepen door het materiaal van de sensor, even groot wordt als de kracht die de te meten druk levert. De verplaatsing die het meetelement ondergaat, is evenredig met de grootte van de druk, zolang het materiaal zich in het elastische gebied bevindt. Dit betekent dat het element niet overbelast mag worden, daar er zich dan plastische vervormingen zouden voordoen.

De drie belangrijkste elastische vervormingsopnemers zijn de *Bourdon-veer*, de *balg* en het *membraan*. Men noemt ze ook wel eens de primaire drukmeetelementen omdat ze rechtstreeks met het te meten medium in contact komen. Figuur 3.26 geeft enkele voorbeelden.

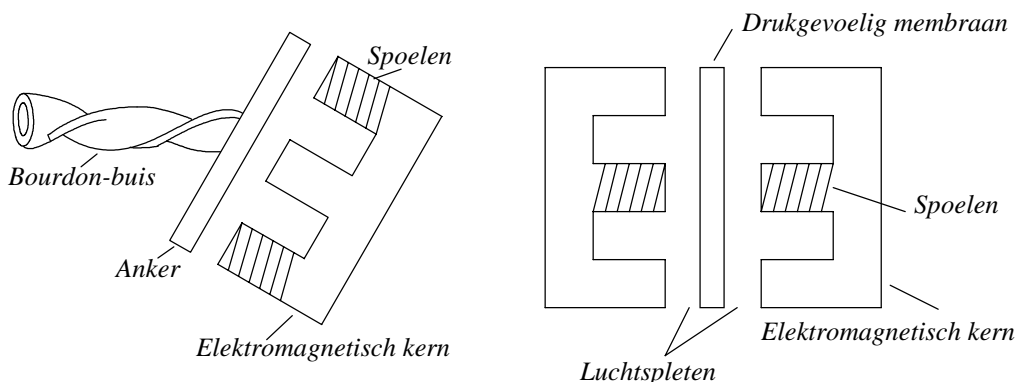


**Figuur 3.26:** Voorbeelden elastische elementen.

Indien het elastische element met een 'wijzer' verbonden is, krijgen we een rechtstreekse uitlezing van de druk. Meestal wordt er echter een elektronische meetomvorming toegepast.

De elektronische zenders bestaan uit een elektrisch detectiesysteem, een elektronische versterker, elektrische leidingen om het signaal over te brengen en een elektronische verwerkingseenheid, die de signaalgrootte op het display brengt of dadelijk de informatie gebruikt om b.v. de regelactie te sturen. Als detectiesysteem komen zowel *potentiometrische*, *capacitieve* als *inductieve* (b.v. LVDT) methoden in aanmerking. Verder zijn er nog de *piëzo-elektrische* en *piëzo-resistieve* opnemers.

Figuur 3.27 geeft (bij wijze van voorbeeld) de opstelling voor een drukmeting gebaseerd op een reluctantie omvorming (zie hoofdstuk 9.3).



**Figuur 3.27:** Drukopnemers met reluctantie-omvormer.

*Piëzo-elektrische* drukopnemers komen enkel in aanmerking voor dynamische metingen. Ze zijn temperatuurgevoelig en vereisen ruisarme voedingskabels en bijzondere versterkers, eigen aan het gebruik van een piëzo-elektrisch kristal. Daar tegenover staat echter het grote dynamische meetbereik (tot 60 bar), de grote bandbreedte en de kleine en stevige bouw.

De volgende paragrafen bespreken verder nog de halfgeleider (*piëzo-resistieve*) druksensor en geven enkele praktische voorbeelden.

#### 15.4 Halfgeleider of piëzo-resistieve druksensoren

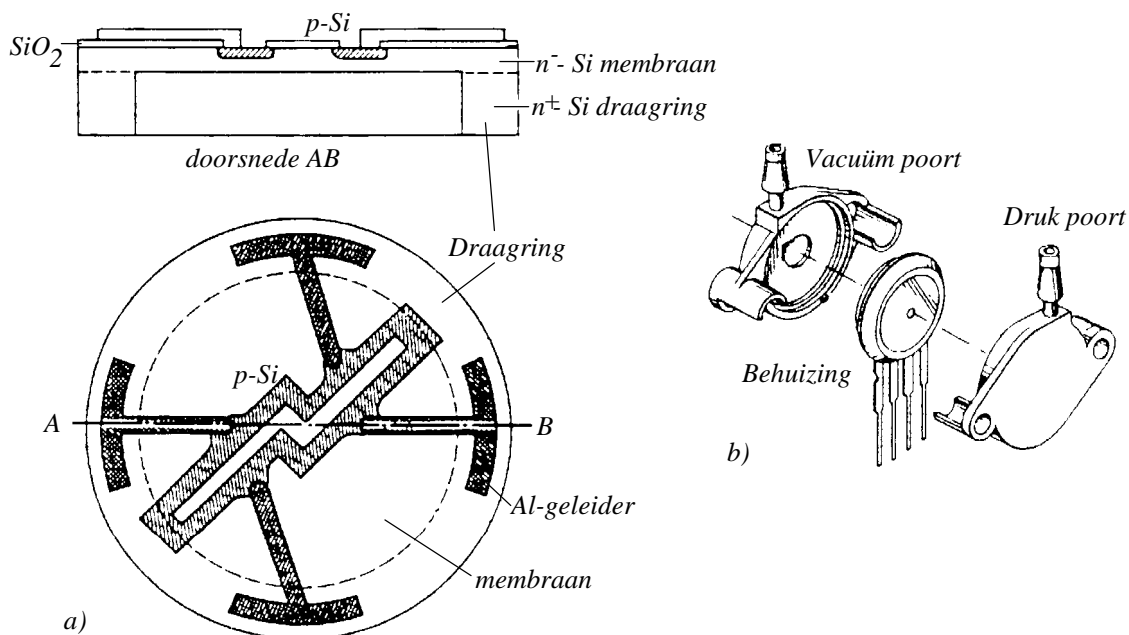
##### Principe

De werking van dit type sensoren is gebaseerd op het piëzo-resistief gedrag van halfgeleiders: ten gevolge van een druk op het halfgeleidermateriaal ontstaat er een verschuiving van atomen die gepaard gaat met een weerstandsverandering. In halfgeleiders is dit piëzo-resistief effect honderd maal groter dan de weerstandsverandering ten gevolge van de vervorming. De kern van dit type sensoren bestaat uit een meetcel die opgebouwd is uit de systeemchip en een silicium-membraan waarin weerstandsbaantjes geïntegreerd zijn. Die baantjes zijn geplaatst in een Wheatstone-brug en een buiging van het membraan tengevolge van externe druk veroorzaakt een onbalans van de brugschakeling welke een maat is voor de externe druk. De *k*-factor is ongeveer gelijk aan 120.

##### Kenmerken

De weerstandsverandering is anisotroop dit wil zeggen dat de verandering afhankelijk is van de richting waarin de druk inwerkt op het halfgeleidermembraan. De weerstandscoefficienten kunnen zowel positief als negatief zijn en worden onder meer bepaald door de graad van dopering, door de dikte en de oppervlakte van het membraan en door de ordening van de weerstandsbanen. De gevoeligheid is in de orde grootte van 13 mV brugspanning per volt voedingsspanning per bar verschuldruk.

Figuur 3.28 geeft een voorbeeld van opbouw en uitvoeringsvorm.



**Figuur 3.28:** Halfgeleider druksensor: a) opbouw en b) mogelijke uitvoeringsvorm.

### *Voordelen*

De betrouwbaarheid en gevoeligheid van dit type sensoren is groot. Bovendien is de lineariteit zeer goed (afwijkingen tot 0,5%). De uitgangsspanning is relatief groot en de druk- en temperatuurhysteresis blijven beperkt. Het meetbereik gaat van enkele Pa tot een paar duizend bar. Tenslotte bieden deze sensoren nog een aantal praktische voordelen zoals een grote levensduur, compacte constructie en lage kostprijs.

### *Nadelen*

Tengevolge van de grote temperatuursafhankelijkheid van het halfgeleidermateriaal moet men de nodige compensatielogica voorzien. Tegenwoordig wordt deze logica meer en meer geïntegreerd op het sensor-IC zelf. Door onnauwkeurigheden bij het technische proces is er soms een nulpuntsfout: de brug is dan niet volledig in evenwicht als er geen drukbelasting is.

*Nauwkeurigheid:* 0,1 % van MW (momentane waarde) + 0,02 % / 10K van MW.

## 15.5 Capacitieve drukopnemer

De capacitieve drukopnemer bestaat in verschillende uitvoeringsvormen. We onderscheiden *olievrije* of *oliege vulde*, *relatieve* of *absolute*, al dan niet *differentiële* (verschil-) drukopnemers.

Figuur 2.27.b geeft de basisuitvoering weer. Dit is een *relatieve* of *absolute olievrije* drukopnemer. De druksensor bestaat typisch uit keramische platen met daarop een opgedampte goudlaag. De afstand tussen de twee 'platen' (het meetmembraan en de basis) is 25 µm. Door de druk verkleint de afstand tussen de platen hetgeen een capaciteitsverhoging geeft die recht evenredig is met de druk. Afhankelijk van het drukbereik hebben de membranen een dikte van 0,2 tot 1,6 mm. Het capacitieve olievrije meetprincipe zorgt voor een zeer kleine responstijd.

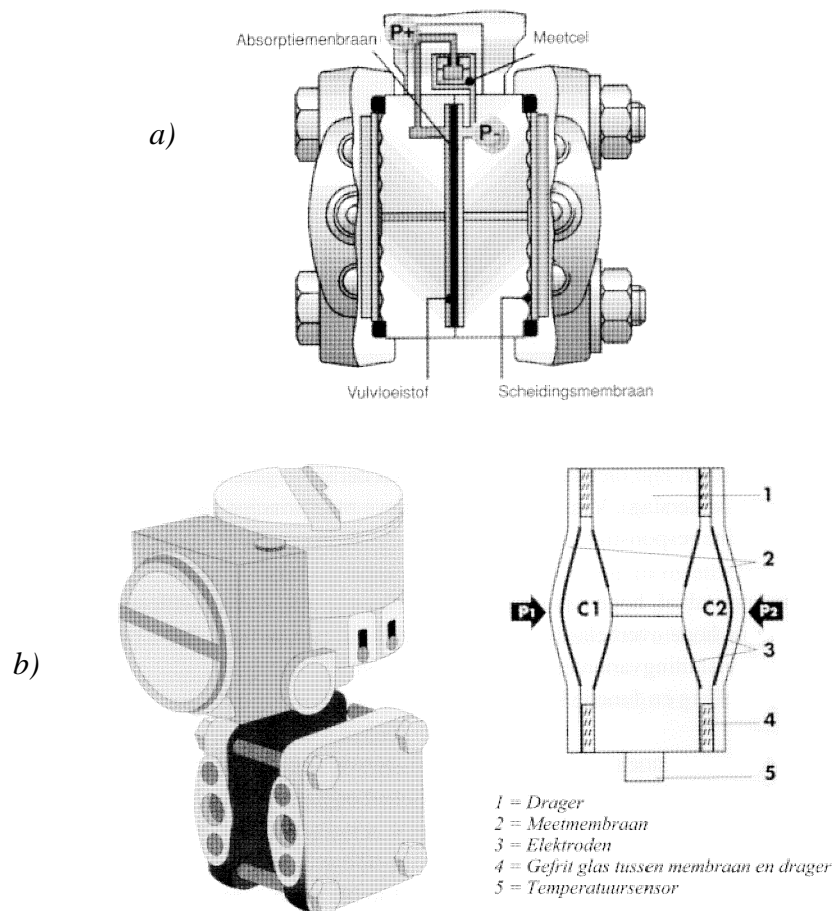
Figuur 3.29.a geeft een voorbeeld van een *oliege vulde verschildrukopnemer*. De oliekanalen verbinden de drukmembranen met de meetcel. Deze meetcel moet niet noodzakelijk capacitief zijn.

Bij de *differentiële capacitieve verschildrukopnemer* uit figuur 3.29.b staan de twee meetkamers eveneens via een klein verbindingskanaaltje en een zeer geringe hoeveelheid olie met elkaar in verbinding. Door drukverhoging aan een zijde van de opnemer zal het membraan iets naar binnen gedrukt worden en is door verkleining van de afstand tussen de platen een capaciteitsverhoging meetbaar. Tegelijkertijd zorgt de olieverplaatsing aan de andere zijde ervoor dat het membraan iets naar buiten gedreven wordt, waardoor een capaciteitsverlaging optreedt. Dit maakt een differentiële meetprincipe mogelijk. Door op beide zijden van de sensor druk uit te oefenen wordt alleen het drukverschil gemeten. Deze sensoropbouw maakt drukverschilsensoren bestand tegen zeer hoge statische drukken bij zeer kleine meetbereiken.

### *Voordelen:*

De olievrije opnemers zijn zeer robuust en stabiel, hebben een hoge nauwkeurigheid en een lage temperatuurcoëfficiënt. De differentiële verschildrukopnemers zijn geschikt voor zeer kleine meetbereiken vanaf 1 mbar.

Keramische sensoren zijn bijzonder drukstootbestendig. Sensoren met metaalmembranen kunnen daarentegen meten bij hoge statische drukken, tot 700 bar.



**Figuur 3.29:** a) Oliegevulde verschildrukopnemer, b) Differentiële capacitieve verschildrukopnemer.

#### Nadelen:

Keramische sensoren hebben altijd een Viton, EPDM of Kalrez afdichting tussen het membraan en de metallische body-aansluiting. Absolute keramische sensoren kunnen tot 'slechts' 40 bar meten. Sensoren met metaalmembranen zijn kwetsbaarder voor sterke drukstoten en abbrasieve producten.

#### Nauwkeurigheid:

Absolute drukopnemers: 0,1 % van MW + 0,02 % /10 K van MW.

Differentiële Verschildrukopnemers: 0,1 % van SE (schaaleindwaarde). +0,06%/10K van SE.