

Reader

reader periode 2 leerjaar 1

J. Kuiper

Transfer *Database*



ThiemeMeulenhoff ontwikkelt leermiddelen voor Primair Onderwijs, Algemeen Voortgezet Onderwijs, Beroepsonderwijs en Volwasseneneducatie en Hoger Beroepsonderwijs.

Meer informatie over ThiemeMeulenhoff en een overzicht van onze leermiddelen: www.thiememeulenhoff.nl of via onze klantenservice (088) 800 20 16.

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2013.

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 fotokopieën, 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 16 Auteurswet j^o het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl., dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp (www.cedar.nl/pro). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie www.auteursrechtenonderwijs.nl.

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

1	Gasdruk en drukmeters	1
1.1	Druk van een gas	1
1.2	Luchtdruk	2
1.3	Drukmeters	4
2	Eigenschappen van dampen	11
2.1	Verdampen van vloeistoffen	11
2.2	Onverzadigde en verzadigde dampen	12
2.3	Wet van Boyle	14
2.4	Vochtige lucht	15
3	Eigenschappen van gassen	17
3.1	Ideaal gas	17
3.2	Wet van Boyle	18
3.3	Wetten van Gay-Lussac	20
3.4	Algemene gaswet	23
3.5	Dichtheid van een gas	24

1 Gasdruk en drukme- ters

1 DRUK VAN EEN GAS

Een gas bestaat uit een groot aantal moleculen. De moleculen zijn zeer klein en bevinden zich gemiddeld op grote afstand van elkaar. Ze bewegen met grote snelheid door de ruimte waarin het gas zich bevindt. Daarbij botsen ze met elkaar en met de wanden van die ruimte. Het gas oefent druk uit door de botsingen van zijn moleculen tegen de wanden.

De druk van een gas drukken we uit in pascal. Het symbool is Pa. Een gasdruk van 1 Pa is een zeer lage gasdruk. Daarom gebruiken we vaak de eenheden kPa en bar. De eenheid bar is geen SI-eenheid, maar wordt in de praktijk nog veel gebruikt. Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillende drukeenheden.

<i>Naam</i>	<i>Symbool</i>	<i>Definitie</i>
pascal	Pa	$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$
kilopascal	kPa	$1\text{kPa} = 10^3 \text{ Pa}$
bar	bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$

Tabel 1 Eenheden van druk

Oefeningen

- 1 Reken om:
a 0,8 bar = Pa

- b 250 kPa = Pa

c $2,4 \text{ bar} = \dots \text{ kPa}$

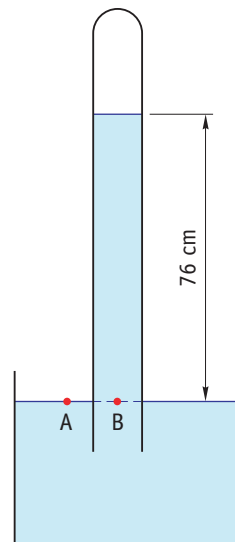
d $25 \text{ kPa} = \dots \text{ bar}$

2 **LUCHTDRIJK**

Lucht bestaat voor ongeveer 78% uit stikstof en 21% uit zuurstof. Bovendien bevat lucht naast kleine hoeveelheden edelgassen ook waterdamp en koolstofdioxide. De hoeveelheden hangen sterk af van de omstandigheden.

Lucht oefent een bepaalde druk uit. De grootte van die luchtdruk is voor het eerst gemeten door de Italiaanse natuurkundige Torricelli. Hij maakte daarvoor gebruik van vloeistofdruk.

We vullen een ongeveer 1 meter lange buis met kwik en plaatsen deze omgekeerd in een bak met kwik. Het kwik in de buis zakt tot er een kwikkolom met een lengte van ongeveer 76 cm blijft staan. Boven het kwik in de buis is een vacuüm (luchtledig) ontstaan. De situatie is in figuur 1 getekend.



Figuur 1 – Buis van Torricelli

De druk die de lucht in A op het kwik in de bak uitoefent is gelijk aan de druk in B, omdat A en B in één horizontaal vlak liggen (hoofdwet van de hydrostatica). De kwikkolom in de buis veroorzaakt de druk in B. Deze druk kunnen we berekenen met de volgende formule voor de vloeistofdruk.

$$p = \rho \cdot h \cdot g \quad (1)$$

p	de druk	Pa
ρ	de dichtheid	kg/m ³
h	de hoogte van de vloeistofkolom	m
g	de versnelling van de zwaartekracht	N/kg

We gebruiken in onze vraagstukken de waarde $g = 9,8 \text{ N/kg}$.

Vb. 1

Bereken de luchtdruk als de kwikkolom in figuur 1 een lengte van 76 cm heeft.

Gegeven

$$h = 76 \text{ cm}$$

$$\rho_{\text{kwik}} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Gevraagd

$$p_{\text{lucht}}$$

Oplossing

$$h = 76 \text{ cm} = 0,76 \text{ m}$$

$$p_B = \rho_{\text{kwik}} \cdot h \cdot g \Rightarrow p_B = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 0,76 \text{ m} \times 9,8 \text{ N/kg} = 101300 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{lucht}} = p_A \text{ en } p_A = p_B \Rightarrow p_{\text{lucht}} = 101300 \text{ Pa}$$

Een luchtdruk van 101.300 Pa noemden we vroeger een druk van 1 atmosfeer (atm). Deze eenheid is geen SI-eenheid en wordt tegenwoordig niet meer gebruikt. Als alternatief wordt de eenheid bar gebruikt. 1 bar is ongeveer gelijk aan 1 atmosfeer. Andere eenheden die gebruikt zijn of nog steeds gebruikt worden zijn de millibar en de hectopascal. In Tabel 2 staat een overzicht van de eenheden.

Eenheid	Symbol	Definitie
pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
hectopascal	hPa	1 hPa = 100 Pa
kilopascal	kPa	1 kPa = 103 Pa
bar	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa = 100 kPa
millibar	mbar	1 mbar = 10 ⁻³ bar = 100 Pa
cm kwikdruk	cmHg	1 cmHg = 1.333 Pa
atmosfeer	atm	1 atm = 101.300 Pa

Tabel 2 – Eenheden voor luchtdruk

Oefeningen

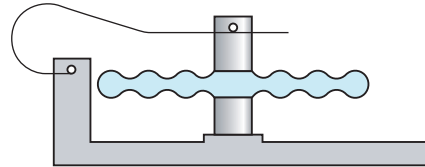
- 2** Bereken de luchtdruk als de lengte van de kwikkolom in de buis van Torricelli 77 cm is.
-
- 3** We vullen een lange slang met water en houden hem omgekeerd in een ton met water. Vervolgens lopen we met het dichte einde van de slang langs een buitentrap omhoog naar de vierde verdieping van een gebouw. De luchtdruk is 101 kPa. Bereken de lengte van de waterkolom die in de slang blijft staan.
-
- 4** Artsen geven de bloeddruk nog steeds op met de eenheid mm kwikdruk, zonder echter die eenheid te noemen. Iemand heeft dan bijvoorbeeld een onderdruk van 80. Reken deze waarde om in kPa.
-

3 DRUKMETERS

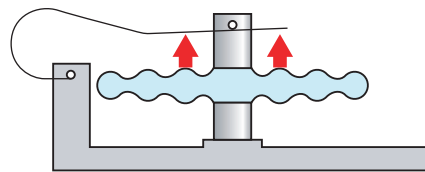
De luchtdruk meten we met een barometer. Voor nauwkeurige metingen gebruiken we een kwikbarometer. In zijn eenvoudigste vorm is dit een buis van Torricelli. Kwikbarometers zijn kwetsbaar en kwik is giftig, vooral de damp. Daarom gebruiken we in de praktijk meestal een metaalbarometer.

Een metaalbarometer bestaat uit een flexibele metalen doos waar bijna alle lucht uitgepompt is. Zie figuur 2. Als de externe luchtdruk afneemt, gaan de wanden van de doos van elkaar af. De ene wand van de doos zit vast aan de achterkant van het instrument. De beweging van de andere wand wordt mechanisch overgebracht op een wijzer die langs een schaalverdeling draait. De schaalverdeling kunnen we aan de voorkant van het instrument aflezen. We ijkten de schaalverdeling met behulp van een kwikbarometer.

De barograaf bestaat uit een metaalbarometer met een schrijfpenn in plaats van een wijzer. De pen schrijft de uitslag op grafiekpapier. Het grafiekpapier is vastgemaakt op een ronddraaiende trommel.



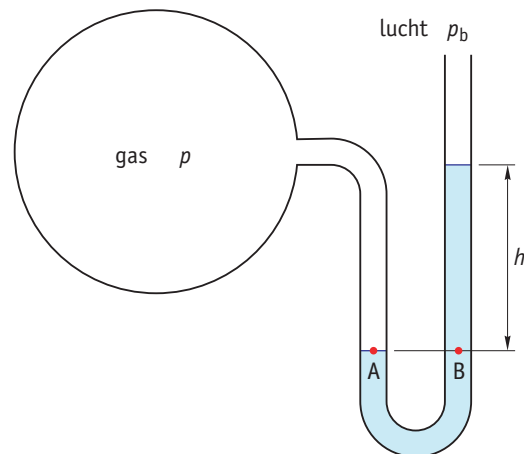
Figuur 2 – Metaalbarometer



Figuur 3 – Metaalbarometer

De druk van een afgesloten hoeveelheid gas meten we met een manometer. We onderscheiden vloeistofmanometers en metaalmanometers.

Een vloeistofmanometer bestaat uit een U-buis die gedeeltelijk gevuld is met een vloeistof. Als we de gasdruk in een ruimte willen meten, sluiten we het ene been van de U-buis aan op die ruimte. Het andere been is open en staat in contact met de buitenlucht. Tussen de vloeistofspiegels in de beide benen van de U-buis ontstaat een hoogteverschil. Zie figuur 3.



Figuur 3 – Vloeistofmanometer - overdruk

In een horizontaal vlak in een vloeistof is de druk in alle punten gelijk. De druk in punt A is dus gelijk aan de druk in punt B. In formulevorm wordt dit:

$$p_A = p_B$$

In punt A heerst de druk van het gas. In punt B heerst de druk van een vloeistofkolom plus de luchtdruk boven de kolom. Als we dit invullen in deze formule krijgen we:

$$p = p_{\text{over}} + p_b$$

p	de druk van het gas
p_{over}	de druk door de vloeistofkolom
p_b	de luchtdruk

De manometer geeft het verschil tussen de druk van het gas en de luchtdruk aan. In dit geval noemen we dat de overdruk, omdat de druk van het gas groter is dan de luchtdruk. We kunnen de lengte h van de kolom meten en daarmee de overdruk berekenen met de formule 1.

$$p_{\text{over}} = \rho \cdot h \cdot g$$

Naast de vloeistofmanometer moeten we een barometer gebruiken om de luchtdruk te meten.

Vb. 2

We sluiten een kwikmanometer aan op een gastank. Op de schaal van de manometer lezen we een hoogteverschil van 140 mm af. Het kwik staat aan de luchtkant het hoogst. De luchtdruk is 101,0 kPa.

- Bereken de overdruk.
- Bereken de absolute druk van het gas.

Gegeven

$$p_b = 101,0 \text{ kPa}$$

$$h = 140 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{kwik}} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \text{ (Zie tabellenboek.)}$$

Gevraagd

- p_{over}
- p

Oplossing

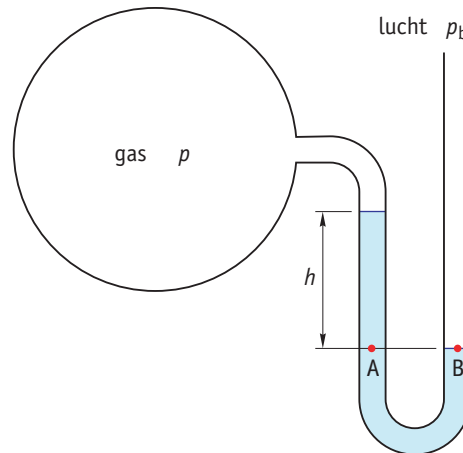
$$\text{a. } h = 140 \text{ mm} = 0,140 \text{ m}$$

$$p_{\text{over}} = \rho \cdot h \cdot g \Rightarrow p_{\text{over}} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 0,140 \text{ m} \times 9,8 \text{ N/kg} = 18,7 \cdot 10^3 \text{ Pa} = 18,7 \text{ kPa}$$

$$\text{b. } p = p_{\text{over}} + p_b \Rightarrow p = 18,7 \text{ kPa} + 101,0 \text{ kPa} = 119,7 \text{ kPa}$$

Vb. 3

Als de druk van het gas kleiner is dan de luchtdruk spreken we van onderdruk. De vloeistofspiegel aan de kant van het gas is dan lager dan aan de luchtkant. Zie figuur 4.



Figuur 4 – Vloeistofmanometer - onderdruk

De druk in het punt A is nu de som van de druk van het gas en de druk van de vloeistofkolom. In punt B is de druk gelijk aan de luchtdruk.

$$p + p_{\text{onder}} = p_b$$

De absolute druk van het gas kunnen we berekenen met de formule:

$$p = p_b - p_{\text{onder}}$$

Voor de onderdruk geldt:

$$p_{\text{onder}} = \rho \cdot h \cdot g$$

We sluiten een U-buis aan op een gasreservoir. De U-buis is gevuld met olie met een dichtheid van 850 kg/m^3 . We meten een hoogteverschil van 80 mm tussen de vloeistofspiegels. De spiegel aan de kant van het gasreservoir is het hoogst. De luchtdruk is 101,3 kPa. Zie figuur 4.

- Bereken de onderdruk.
- Bereken de druk van het gas.

Gegeven

$$p_b = 101,3 \text{ kPa}$$

$$h = 80 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{olie}} = 850 \text{ kg/m}^3$$

Gevraagd

- a. p_{onder}
 b. p

Oplossing

a. $h = 80 \text{ mm} = 0,080 \text{ m}$

$$p_{\text{onder}} = \rho \cdot h \cdot g \Rightarrow p_{\text{onder}} = 850 \text{ kg/m}^3 \times 0,080 \text{ m} \times 9,8 \text{ N/kg} = 666 \text{ Pa} = 0,7 \text{ kPa}$$

b. $p = p_b - p_{\text{onder}} \Rightarrow p = 101,3 \text{ kPa} - 0,7 \text{ kPa} = 100,6 \text{ kPa}$

Oefeningen

- 5** We sluiten een U-buis aan op een gastank. De U-buis is gevuld met petroleum met een dichtheid van $0,79 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Het hoogteverschil tussen de petroleumspiegels is 400 mm. De petroleum staat aan de open kant het hoogst. De luchtdruk is 101,3 kPa.

- a** Bereken de overdruk van het gas in de tank.

- b** Bereken de (absolute) druk van het gas in de tank.

- 6** We sluiten een met olie gevulde U-buis aan op een gastank. Het hoogteverschil tussen de oliespiegels is 760 mm. De olie staat aan de kant van de gastank het hoogst. De luchtdruk is 1,02 bar. De dichtheid van de olie is 850 kg/m^3 .

- a** Is de druk die de U-buis aangeeft een onder- of een overdruk? Bereken deze druk.

- b** Bereken de absolute druk van het gas in de tank in kPa.

- 7 We sluiten een met water gevulde U-buis aan op het aardgasnet. De overdruk in het aardgasnet is 30 mbar. Bereken het hoogteverschil tussen de twee waterspiegels in de U-buis in cm.

Met vloeistofmanometers kunnen we moeilijk grote drukverschillen meten. Bovendien zijn ze kwetsbaar. Daarom gebruiken we in de praktijk bijna altijd metaalmanometers. Een metaalmanometer bevat een metalen trommeltje dat door de te meten druk van een gas van vorm verandert. De vormverandering wordt mechanisch omgezet in de uitslag van een wijzer langs een schaalverdeling. De manometer kan ook een gekromd metalen buisje bevatten dat van vorm verandert als we de manometer aansluiten op een gasreservoir. Alle metaalmanometers geven een onder- of een overdruk aan.

Oefeningen

- 8 Een bandenspanningsmeter geeft een overdruk van 2,2 bar aan. Bereken de absolute druk van de lucht in de band. De luchtdruk is 1,1 bar.

Antwoorden

- 1a** 80.000 Pa
- b** 250.000 Pa
- c** 240 kPa
- d** 0,25 bar

- 2** 102,6 kPa

- 3** 10,3 m

- 4** 10,7 kPa

- 5a** 3,1 kPa
- b** 104,4 kPa

- 6a** 6,3 kPa
- b** 95,7 kPa

- 7** 30,6 cm

- 8** 3,3 bar

2

Eigenschappen van dampen

1 VERDAMPEN VAN VLOEISTOFFEN

Als we vloeistof in een open bakje doen, is deze na enige tijd volledig verdampt. Verdampen gebeurt doordat moleculen aan het oppervlak van de vloeistof daarvan ontsnappen.

De moleculen in een vloeistof bewegen met een snelheid die afhangt van de temperatuur en botsen voortdurend met andere moleculen. De moleculen worden door aantrekkende krachten (cohesie) bij elkaar gehouden.

Een molecuul aan het oppervlak van de vloeistof kan aan de aantrekkende krachten van de buurmoleculen ontsnappen als het door botsingen een voldoende grote, omhoog gerichte snelheid krijgt.

Elke seconde verlaat een groot aantal vloeistofmoleculen de vloeistof terwijl er ook weer dampmoleculen in de vloeistof terugkeren. Het netto-aantal moleculen dat de vloeistof definitief verlaat, hangt af van vier factoren:

1. De temperatuur van de vloeistof.

Als de temperatuur van de vloeistof stijgt, neemt de gemiddelde snelheid van de moleculen toe. Hierdoor zullen er meer moleculen zijn die een voldoende grote snelheid hebben om aan de aantrekkende krachten te ontsnappen.

2. De grootte van het vloeistofoppervlak.

Als het oppervlak van de vloeistof groter is, zijn er meer moleculen in een positie om te kunnen ontsnappen.

3. De aard van de vloeistof.

Een vloeistof waarin de cohesie groot is, zal moeilijker verdampen dan een vloeistof met kleinere cohesie. Zo is de cohesie in kwik veel groter dan in water. Kwik verdampt daardoor veel minder snel dan water.

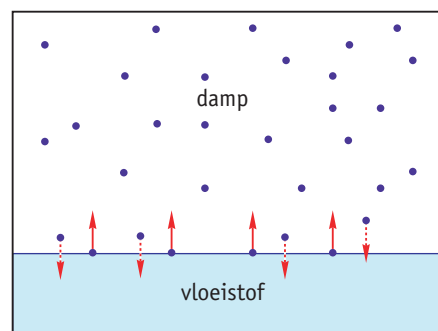
4. Aantal dampmoleculen boven de vloeistof.

Als er meer dampmoleculen boven de vloeistof zijn, zullen er ook meer dampmoleculen teruggaan in de vloeistof (condenseren). De netto-verdampingssnelheid neemt daardoor af. Om deze reden wordt in een droogtrommel de waterdamp voortdurend weggepompt om het droogproces te versnellen.

In een open bakje gaat het verdampen van de vloeistof door tot alle vloeistof verdwenen is. Vloeistoffen die zeer snel verdampen, zoals ether en aceton, noemen we vluchtige vloeistoffen. Het verdampen van een vloeistof kost energie, waardoor de vloeistof afkoelt. Als we een vluchtige vloeistof als aceton op onze huid laten verdampen, kunnen we de temperatuurdaling duidelijk voelen.

2 ONVERZADIGDE EN VERZADIGDE DAMPEN

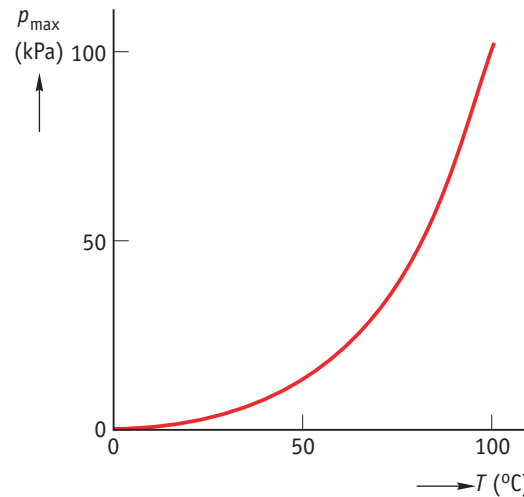
We laten nu water in een afgesloten vat bij een constante temperatuur verdampen. Omdat de temperatuur constant is, is het aantal moleculen dat per seconde verdampt ook constant. Een gedeelte van deze moleculen zal weer terugkeren naar de vloeistof (condenseren). Zie figuur 1.



Figuur 1 – Verzadigde damp

Na verloop van tijd komen er steeds meer moleculen in de damp en neemt dus ook het aantal moleculen dat condenseert toe. Het aantal moleculen dat per seconde condenseert, is evenredig met het aantal moleculen per volume-eenheid in de damp. Op een gegeven moment zal het aantal moleculen dat per seconde condenseert gelijk zijn aan het aantal moleculen dat per seconde verdampt. In die evenwichtssituatie blijft het aantal moleculen in de damp constant. Dit aantal is het maximale aantal moleculen dat de damp onder de gegeven omstandigheden kan bevatten. We noemen de damp dan *verzadigd*.

Als het aantal moleculen in de damp maximaal is, is de druk van de damp ook maximaal. Die maximale dampdruk p_{\max} hangt uitsluitend af van de temperatuur en van de soort damp. De maximale dampdruk neemt sterk toe met de temperatuur. Zie figuur 2.



Figuur 2 – Maximale dampdruk van waterdamp

Vluchtige vloeistoffen hebben bij dezelfde temperatuur een hogere maximale dampdruk dan niet-vluchtige vloeistoffen. Zo is bij $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ de maximale dampdruk van ether $57,8\text{ kPa}$, van waterdamp $2,34\text{ kPa}$ en van kwik $0,00016\text{ kPa}$.

Als in een afgesloten vat alle vloeistof verdampt is voordat de maximale dampdruk bereikt is, spreken we van een onverzadigde damp. De heersende dampdruk is dan kleiner dan de maximale dampdruk. Onverzadigde dampen gedragen zich als gassen. We mogen de gaswetten toepassen zolang de damp onverzadigd is. In de praktijk betekent dit dat de dampdruk kleiner dan p_{\max} moet blijven.

Als in een gesloten vat na enige tijd zowel vloeistof als damp aanwezig zijn, is de damp verzadigd. De dampdruk is dan de maximale dampdruk bij de heersende temperatuur.

Oefeningen

- 1** Zoek in een tabellenboek de maximale dampdruk van waterdamp op bij $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- 2** Zoek in een tabellenboek de maximale dampdruk bij $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ op van kwikdamp en van alcohol damp.

- 3** Een cilinder is afgesloten door een zuiger. In de cilinder bevinden zich zowel waterdamp als water met een temperatuur van 18 °C.
- a** Hoe groot is de druk van de waterdamp in de cilinder?

- b** Door de zuiger te verplaatsen maken we het volume van de waterdamp 20% kleiner. De temperatuur blijft daarbij constant. Hoe groot is nu de druk van de waterdamp? Verklaar je antwoord.

3 WET VAN BOYLE

Bij constante temperatuur en constante hoeveelheid damp geldt voor onverzadigde dampen de Wet van Boyle.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \quad (1)$$

p_1	druk in toestand 1	Pa
p_2	druk in toestand 2	Pa
V_1	volume in toestand 1	m ³
V_2	volume in toestand 2	m ³

- Vb. 1** Een cilinder is afgesloten door een zuiger. In de cilinder bevindt zich onverzadigde etherdamp met een druk van 20 kPa en een temperatuur van 20 °C. Het volume is 5,0 dm³.
- a. We verkleinen het volume bij constante temperatuur tot 3,0 dm³. Bereken de druk van de etherdamp.
- b. We verkleinen het volume bij constante temperatuur verder tot 1,5 dm³. Bereken de druk van de etherdamp.

Gegeven

$$p_1 = 20 \text{ kPa}$$

$$V_1 = 5,0 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = 3,0 \text{ dm}^3$$

Gevraagd

$$p_2$$

Oplossing

$p_{\max}(20\text{ °C}) = 57,8\text{ kPa}$ (Zie tabellenboek.)

$$\text{a. } p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow 20\text{ kPa} \times 5,0\text{ dm}^3 = p_2 \times 3,0\text{ dm}^3 \Rightarrow p_2 = \frac{20 \times 5,0}{3,0} = 33,3\text{ kPa}$$

$$p_2 < p_{\max} \Rightarrow p_2 = 33,3\text{ kPa} ;$$

$$\text{b. } p_1 \cdot V_1 = p_3 \cdot V_3 \Rightarrow 20\text{ kPa} \times 5,0\text{ dm}^3 = p_3 \times 1,5\text{ dm}^3 \Rightarrow p_3 = \frac{20 \times 5,0}{1,5} = 66,7\text{ kPa}$$

$$p_3 > p_{\max} \Rightarrow \text{condensatie} \Rightarrow p_3 = p_{\max} = 57,8\text{ kPa}$$

Oefeningen

- 4** In een cilinder bevindt zich $2,0\text{ dm}^3$ onverzadigde waterdamp met een druk van $1,20\text{ kPa}$ en een temperatuur van 40 °C . We verkleinen het volume bij constante temperatuur tot $0,3\text{ dm}^3$.

Wat is de einddruk van de waterdamp in de cilinder? Verklaar je antwoord.

4 VOCHTIGE LUCHT

Vochtige lucht is een mengsel van lucht en waterdamp. De druk is de som van de drukken van de lucht en de waterdamp. We mogen de Wet van Boyle toepassen op de afzonderlijke componenten. Voor de waterdamp geldt natuurlijk weer dat de damp onverzadigd moet blijven.

- 5** In een compressor bevindt zich $10,0\text{ dm}^3$ vochtige lucht met een temperatuur van 20 °C . De druk van de waterdamp is $0,95\text{ kPa}$. We comprimeren de vochtige lucht tot een volume van $2,0\text{ dm}^3$. De temperatuur blijft 20 °C . Bereken de druk van de waterdamp.

- 6** In een cilinder bevindt zich $1,5\text{ dm}^3$ vochtige lucht met een temperatuur van 22 °C . De druk van de waterdamp is $1,3\text{ kPa}$. We comprimeren de vochtige lucht bij constante temperatuur. Bereken het volume waarbij nog net geen condensatie van waterdamp optreedt.

Antwoorden

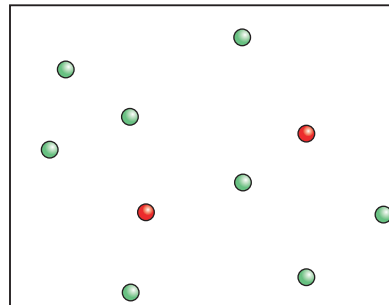
- 1** 1,70 kPa ; 38,55 kPa
- 2** $810 \cdot 10^{-3}$ kPa ; $0,0178 \cdot 10^3$ kPa
- 3a** 2,06 kPa
b 2,06 kPa
- 4** 7,38 kPa
- 5** 2,34 kPa .
- 6** $0,739 \text{ dm}^3$

3 **Eigenschappen van gassen**

1 **IDEAAL GAS**

De moleculen van een gas bewegen met grote snelheid door de ruimte waarin het gas zich bevindt.

Omdat de moleculen zeer klein zijn is hun totale eigen volume minder dan één duizendste van de beschikbare ruimte. De moleculen bevinden zich dus op relatief grote afstand van elkaar. Zie figuur 1. Daardoor zijn de aantrekkende krachten die de moleculen op elkaar uitoefenen zeer klein.



Figuur 1 – Model van een gas

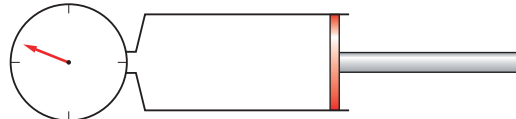
De moleculen botsen voortdurend met elkaar en met de wanden van de ruimte. De gemiddelde snelheid van de moleculen is constant als de temperatuur constant is, en neemt toe als de temperatuur stijgt. De druk van een gas wordt bepaald door het totale aantal botsingen van de moleculen per seconde tegen 1 m^2 van de wanden van de ruimte waarin het gas zich bevindt. Als dit aantal botsingen op de één of andere manier groter wordt, neemt de druk van het gas toe.

Als we de aantrekkende krachten tussen de moleculen en het eigen volume van de moleculen mogen verwaarlozen, spreken we van een ideaal gas. Zeer verdunde gassen zijn ideale gassen. In de praktijk noemen we een gas ideaal als de wet van Boyle voor dat gas geldt.

Omdat in een ideaal gas geen aantrekkende krachten tussen de moleculen werken, kan een ideaal gas niet condenseren! Dit betekent dat gassen met een temperatuur dicht bij het condensatiepunt en gassen met relatief veel moleculen per volume-eenheid niet ideaal kunnen zijn. In deze gevallen mag ook het eigen volume van de gasmoleculen niet meer verwaarloosd worden.

2 WET VAN BOYLE

We sluiten een metaalmanometer aan op een met lucht gevulde doseerspuit. De zuiger bevindt zich in de uiterste stand. Zie figuur 2.



Figuur 2 – Doseerspuit met manometer

We gaan nu het volume van de ingesloten lucht kleiner maken door de zuiger langzaam naar links te bewegen. De druk wordt daardoor groter. We meten bij een aantal volumes de druk van de lucht. De meetresultaten staan in een tabel. Zie tabel 1.

$V(\text{cm}^3)$	300	250	200	150	100	50
$p(\text{bar})$	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0	6,0

Tabel 1

We zien aan de getallen dat het product van volume V en druk p steeds dezelfde waarde heeft. Dit betekent dat druk en volume omgekeerd evenredig zijn. Deze eigenschap staat bekend als de wet van Boyle. In formulevorm luidt deze wet:

$$p \cdot V = \text{constant} \quad (1)$$

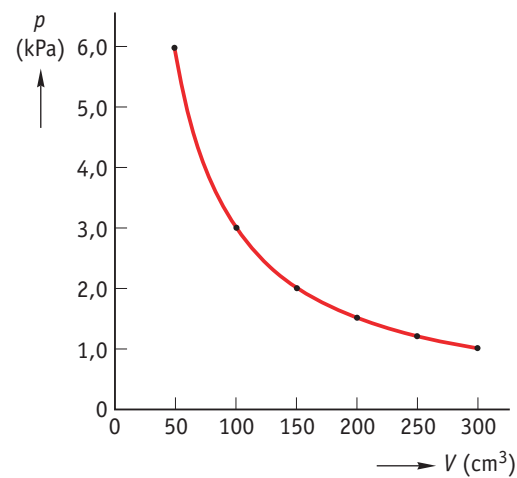
De wet van Boyle geldt voor alle ideale gassen, mits de hoeveelheid gas en de temperatuur van het gas constant blijven. Praktisch gebruiken we deze formule meestal in de vorm:

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

De indexen hebben betrekking op verschillende toestanden van een gas. De eenheden van p en V mogen we willekeurig kiezen, als die maar links en rechts van het is-teken gelijk zijn.

De toestand van een gas wordt vastgelegd door de toestandsgrootheden druk, volume, temperatuur en massa. Bij de wet van Boyle zijn de laatste twee constant. Ze staan daarom niet in de formule.

We kunnen de resultaten van de tabel in een p, V -diagram uitzetten. Zie tabel 1 en figuur 3. De grafiek is een hyperbool. In de natuurkunde noemen we de grafiek bij constante temperatuur een isotherm.



Figuur 3 – Wet van Boyle

Vb. 1

Een hoeveelheid gas heeft een volume van $0,45 \text{ m}^3$ een druk van $102,0 \text{ kPa}$. We verkleinen het volume bij constante temperatuur tot $0,12 \text{ m}^3$. Bereken de nieuwe druk van het gas.

Gegeven

$$V_1 = 0,45 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,12 \text{ m}^3$$

$$p_1 = 102 \text{ kPa}$$

Gevraagd

$$p_2$$

Oplossing

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow 102 \text{ kPa} \times 0,45 \text{ m}^3 = p_2 \times 0,12 \text{ m}^3 \Rightarrow$$

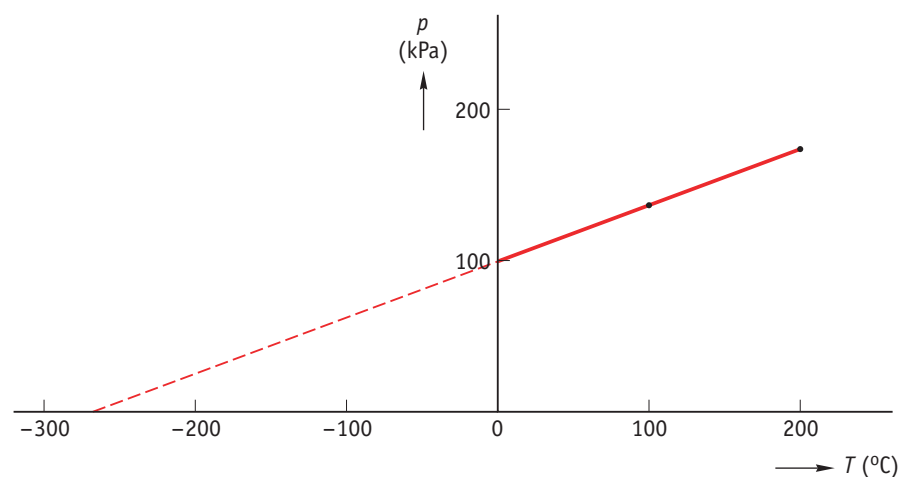
$$p_2 = \frac{102 \cdot 0,45}{0,12} = 383 \text{ kPa}$$

Oefeningen

- 1 Een doseerspuit bevat 25 cm^3 lucht met een druk van 102 kPa . We verkleinen het volume bij constante temperatuur tot 10 cm^3 . Bereken de druk van de lucht.
- 2 Een cilinder is afgesloten door een beweegbare zuiger en bevat $0,6\text{ dm}^3$ gas met een druk van 100 kPa . We oefenen een kracht op de zuiger uit. Hierdoor wordt de druk 250 kPa . De temperatuur van het gas blijft constant. Bereken het volume van het gas.

3 WETTEN VAN GAY-LUSSAC

Als we een hoeveelheid gas verwarmen in een cilinder met een constant volume, stijgt de temperatuur van het gas en neemt de druk toe. De resultaten van een proef in een p, T -diagram zijn in een figuur uitgezet. Zie figuur 4. Door de meetpunten gaat een rechte lijn. Als we deze lijn doortrekken wordt de horizontale as bij een temperatuur van -273°C gesneden. Dit punt noemen we het absolute nulpunt. Bij deze temperatuur bewegen de moleculen niet meer. De druk van het gas is dan 0 Pa .



Figuur 4 – Drukwet van Gay-Lussac

De temperatuurschaal waarbij het absolute nulpunt de waarde nul heeft noemen we de absolute temperatuurschaal met als eenheid K (Kelvin). Dit absolute nulpunt van 0K ligt bij een temperatuur van -273°C zodat geldt dat $0\text{K} \hat{=} -273^{\circ}\text{C}$. Op beide schalen is alleen het nulpunt verschoven. De grootte van de schaaleenheden is gelijk gebleven. Daarom geldt algemeen:

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

Op de absolute temperatuurschaal van Kelvin gaat de lijn die de meetpunten verbindt door het nulpunt. Dit betekent dat de druk p evenredig is met de absolute temperatuur T . Het quotiënt van druk en absolute temperatuur is dan constant. Dit is de drukwet van Gay-Lussac. In formulevorm luidt deze wet:

$$\frac{p}{T} = \text{constant} \quad (2)$$

Deze wet geldt voor alle ideale gassen mits de hoeveelheid gas en het volume constant blijven. In de praktijk gebruiken we deze formule meestal in de vorm:

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

Als we een hoeveelheid gas verwarmen in een cilinder die is afgesloten door een vrij beweegbare zuiger blijft de druk van het gas constant. Het volume wordt groter en de temperatuur stijgt. Het volume V blijkt evenredig te zijn met de absolute temperatuur T . Dit is de volumewet van Gay-Lussac. In formulevorm luidt deze wet:

$$\frac{V}{T} = \text{constant} \quad (3)$$

De wet geldt voor alle ideale gassen mits de hoeveelheid gas en de druk constant blijven.

Vb. 2

Een hoeveelheid stikstof heeft een volume van $0,6\text{m}^3$, een druk van 100kPa en een temperatuur van 27°C (toestand 1). We verwarmen de stikstof bij een constant volume tot een temperatuur van 87°C (toestand 2). Daarna verwarmen we de stikstof bij constante druk tot een temperatuur van 147°C (toestand 3).

- Bereken de druk in toestand 2;
- Bereken het volume in toestand 3.

Gegeven

$$V_1 = 0,6 \text{ m}^3$$

$$V_2 = V_1$$

$$p_1 = 100 \text{ kPa}$$

$$p_3 = p_2$$

$$T_1 = 27^\circ\text{C}, T_2 = 87^\circ\text{C} \text{ en } T_3 = 147^\circ\text{C}$$

Gevraagd

a) p_2

b) V_3

Oplossing

a) $T_1 = 27^\circ\text{C} \hat{=} 27 + 273 = 300 \text{ K}$

$$T_2 = 87^\circ\text{C} \hat{=} 87 + 273 = 360 \text{ K}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow \frac{100 \text{ kPa}}{300 \text{ K}} = \frac{p_2}{360 \text{ K}} \Rightarrow p_2 = \frac{100 \times 360}{300} = 120 \text{ kPa}$$

b) $T_3 = 147^\circ\text{C} \hat{=} 147 + 273 = 420 \text{ K}$

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{0,6 \text{ m}^3}{360 \text{ K}} = \frac{V_3}{420 \text{ K}} \Rightarrow V_3 = \frac{0,6 \times 420}{360} = 0,7 \text{ m}^3$$

Oefeningen

- 3** Een cilinder bevat $5,0 \text{ dm}^3$ lucht met een druk van 101 kPa en een temperatuur van 20°C . We verwarmen de lucht bij constant volume tot een temperatuur van 60°C . Bereken de druk van de lucht.

- 4** Een cilinder met een vrij beweegbare zuiger bevat 750 cm^3 gas met een temperatuur van 17°C . We verwarmen de lucht tot een temperatuur van 77°C . Bereken het volume van het gas.

- 5** Een autoband bevat lucht met een overdruk van $2,2 \text{ bar}$ en een temperatuur van 20°C . De auto staat in de zon. Hierdoor stijgt de overdruk in de band tot $2,5 \text{ bar}$. De luchtdruk is $1,0 \text{ bar}$. Bereken de temperatuur van de lucht in de band in $^\circ\text{C}$. We nemen aan dat het volume constant blijft.

4 ALGEMENE GASWET

De twee wetten van Gay-Lussac en de wet van Boyle vormen samen de algemene gaswet.

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{constant} \quad (4)$$

In deze formule is T de absolute temperatuur in K. De algemene gaswet geldt voor ideale gassen mits de hoeveelheid gas constant is. De constante is evenredig met de hoeveelheid gas. In het onderwerp thermodynamica komen we hier op terug.

De algemene gaswet gebruiken we meestal in de vorm:

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

Let op dat we de eenheden van druk en volume weer vrij mogen kiezen als die maar links en rechts van het is-teken gelijk zijn. De temperatuur moeten we echter altijd in Kelvin invullen!

Vb. 3

In een bal zit $5,6 \text{ dm}^3$ lucht met een druk van $1,80 \text{ bar}$ en een temperatuur van 20°C . Als de bal een tijdje in de zon heeft gelegen is het volume van de lucht in de bal $5,7 \text{ dm}^3$ en de temperatuur 60°C geworden. Bereken de druk van de lucht in de bal.

Gegeven

$$\begin{aligned} V_1 &= 5,6 \text{ dm}^3, V_2 = 5,7 \text{ dm}^3 \\ p_1 &= 1,80 \text{ bar} \\ T_1 &= 20^\circ\text{C}, T_2 = 60^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Gevraagd

$$p_2$$

Oplossing

$$T_1 = 20^\circ\text{C} \hat{=} 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$T_2 = 60^\circ\text{C} \hat{=} 60 + 273 = 333 \text{ K}$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1,80 \text{ bar} \times 5,6 \text{ dm}^3}{293 \text{ K}} = \frac{p_2 \times 5,7 \text{ dm}^3}{333 \text{ K}} \Rightarrow$$

$$p_2 = \frac{1,80}{293} \cdot \frac{5,6}{5,7} \cdot \frac{333}{1} = 2,01 \text{ bar}$$

Oefeningen

- 6** In een compressor bevindt zich $5,0 \text{ dm}^3$ lucht met een druk van 100 kPa en een temperatuur van 300 K . De lucht wordt samengeperst tot een volume van $2,0 \text{ dm}^3$. De temperatuur van het gas stijgt daarbij tot 340 K . Bereken de druk van de lucht.
-
- 7** In een fietspomp met de zuiger in de bovenste stand bevindt zich 400 cm^3 lucht met een druk van 101 kPa en een temperatuur van 20°C . We drukken de zuiger naar beneden tot het volume van de lucht 145 cm^3 is. De druk is dan 300 kPa . Bereken de temperatuur in $^\circ\text{C}$ van de lucht in de fietspomp.
-

5 DICHTHEID VAN EEN GAS

We pompen een bepaalde massa gas in een cilinder die afgesloten is met een vrij beweegbare zuiger. Het volume dat het gas dan inneemt zal afhangen van de druk en de temperatuur. Omdat het volume afhankelijk is van de druk en de temperatuur is de dichtheid dat ook. De dichtheid van een gas wordt in een tabel opgegeven bij standaardomstandigheden. Deze staan in de tabel vermeld. We kiezen als standaardomstandigheid een temperatuur van 273 K (0°C) en een druk van $101,3 \text{ kPa}$. De standaardomstandigheid geven we aan met de index n (normaal). Er geldt:

$$\rho_n = \frac{m}{V_n}$$

Als we de massa van een hoeveelheid gas willen berekenen kunnen we deze formule beter in de volgende vorm gebruiken.

$$m = \rho_n \cdot V_n \quad (5)$$

Meestal zijn de omstandigheden niet standaard. In dat geval kunnen we V_n berekenen met behulp van de algemene gaswet.

Vb. 4 Bereken de massa van 300 m^3 aardgas met een temperatuur van 20°C en een druk van 104 kPa .

Gegeven

$$V = 300 \text{ m}^3$$

$$p = 104 \text{ kPa}$$

$$T = 20^\circ\text{C}$$

$$\rho_n = 0,833 \text{ kg/m}^3 \text{ (273 K; 101,3 kPa) (zie zakboek)}$$

Gevraagd

m

Oplossing

$$T = 20^\circ\text{C} \hat{=} 20 + 273 = 293 \text{ KA}$$

$$\frac{p_n \cdot V_n}{T_n} = \frac{p \cdot V}{T} \Rightarrow \frac{101,3 \text{ kPa} \times V_n}{273 \text{ K}} = \frac{104 \text{ kPa} \times 300 \text{ m}^3}{293 \text{ K}} \Rightarrow$$

$$V_n = \frac{104}{293} \cdot \frac{300}{101,3} \cdot \frac{273}{1} = 287 \text{ m}^3$$

$$m = \rho_n \cdot V_n \Rightarrow m = 0,833 \text{ kg/m}^3 \times 287 \text{ m}^3 = 239 \text{ kg}$$

Oefeningen

- 8** In een luchtballon bevindt zich $6,50 \text{ dm}^3$ helium met een druk van 150 kPa en een temperatuur van 17°C .
Bereken de massa van het helium in de ballon.
-

Antwoorden

- 1** 255 kPa
- 2** 0,24 dm³
- 3** 115 kPa
- 4** 905 cm³
- 5** 47°C
- 6** 283 kPa
- 7** 42°C
- 8** 1,60 g