

Druk

- § 1 Druk
- § 2 Druk van de dampkring
- § 3 Druk in vloeistoffen
- § 4 Wet van Pascal; hydraulische pers
- § 5 Andere eenheden van druk

§ 1 Druk

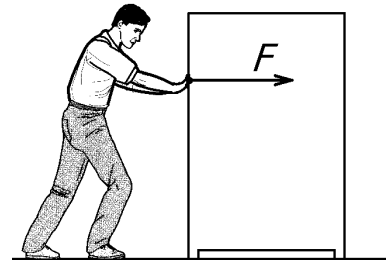
Voorbeeld

Een jongen en een meisje lopen naast elkaar op het strand. De jongen is de zwaarste van de twee. Maar toch laat het meisje diepere voetsporen in het zand na. Zie de figuur hiernaast. Dat komt doordat het meisje kleinere voeten heeft en haar gewicht dus op een kleiner oppervlak van het strand drukt. In de natuurkunde zeggen we dat de *druk* onder haar voeten groter is. Wat we precies onder druk verstaan, wordt hierna besproken. Maar daarvoor moet eerst het begrip kracht worden behandeld.



Kracht

Iwan duwt tegen een kast. Zie de figuur hiernaast. De kracht van Iwan op de kast wordt in de figuur met een pijl weergegeven. De richting van de pijl geeft de richting van de kracht aan. De letter F is de afkorting van "force" en geeft aan dat de pijl een kracht voorstelt.

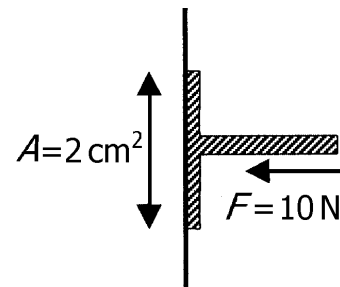


Om aan te geven hoe groot een kracht is, gebruiken we de eenheid newton (afgekort N). Deze eenheid is in het dagelijks leven nogal klein. Je kunt er namelijk hooguit een blokje van 100 gram mee optillen. Als Iwan in het bovenstaande voorbeeld met een kracht van 120 newton tegen de kast duwt, dan wordt dit kort opgeschreven als: $F = 120 \text{ N}$.

Voorbeeld van druk

In de figuur hiernaast wordt een stempel met een kracht van 10 newton tegen een vlakke muur gedruwd. Dus geldt: $F = 10 \text{ N}$.

De voorkant van de stempel (dus waarmee tegen de muur gedruwd wordt) heeft een oppervlakte van 2 vierkante centimeter. Omdat oppervlakte in het Engels "area" (afgekort A) is, wordt dit kort opgeschreven als: $A = 2 \text{ cm}^2$.



Onder de druk verstaan we nu de kracht per vierkante centimeter. Op twee vierkante centimeter van de muur werkt een kracht van tien newton. Op één vierkante centimeter werkt dus een kracht van vijf newton. De **druk** op de muur is dan dus 5 N per cm^2 . Omdat druk in het Engels "pressure" (afgekort p) is, wordt dit kort opgeschreven als: $p = 5 \text{ N/cm}^2$.

In dit voorbeeld werd de druk berekend door de kracht te delen door de oppervlakte (want 10 N gedeeld door 2 cm^2 is 5 N/cm^2). Zoals hierna zal blijken geldt dit algemeen.

Druk algemeen

De algemene omschrijving van druk is de volgende.

De druk is gelijk aan de kracht per eenheid van oppervlakte.

In het voorbeeld hiervoor was de eenheid van oppervlakte de vierkante centimeter.

Om het schrijfwerk te verminderen maakt men gebruik van symbolen. Deze symbolen zijn in de volgende tabel opgesomd.

Grootheid	Eenheid
F = kracht	N = newton
A = oppervlakte	cm ² = vierkante centimeter
p = druk	N/cm ² = newton per vierkante centimeter

Formule waarmee de druk uitgerekend kan worden

De druk kan met de volgende formule uit de kracht en de oppervlakte berekend worden.

$$p = \frac{F}{A}$$

Neem het volgende voorbeeld. Op een bureautafel wordt een zak zout (1 kilogram) gestrooid. Het zout wordt zo goed mogelijk over de tafel verspreid. De kracht van het zout op de tafel bedraagt 10 N. De oppervlakte van het tafelblad is 9000 cm². De druk (p) op het tafelblad kan dan op de volgende manier berekend (en opgeschreven) worden.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{10 \text{ N}}{9000 \text{ cm}^2} = 0,0011 \text{ N/cm}^2$$

Het berekenen van de kracht

In sommige situaties moet de kracht uitgerekend worden in plaats van de druk. Dan moet de bovenstaande formule in een andere vorm geschreven worden namelijk:

$$F = p \times A$$

Stel bijvoorbeeld dat iemand met één voet op het strand staat. Als verder nog gegeven is dat de voet op 25 cm² zand drukt en de druk onder de voet 26 N/cm² is, dan kan de kracht (F) op het zand als volgt berekend worden.

$$F = p \cdot A = 26 \text{ N/cm}^2 \cdot 25 \text{ cm}^2 = 650 \text{ N}.$$

Het berekenen van de oppervlakte

Als de oppervlakte uitgerekend moet worden in plaats van de druk of de kracht, dan gebruiken we de volgende vorm van de formule.

$$A = \frac{F}{p}$$

Stel bijvoorbeeld dat een pocketboek op tafel ligt. Als de kracht op de tafel 3 N bedraagt en de druk onder het boek $0,012 \text{ N/cm}^2$ is, dan kan de oppervlakte van de onderkant van het boek (A) op de volgende manier uitgerekend worden.

$$A = \frac{F}{p} = \frac{3 \text{ N}}{0,012 \text{ N/cm}^2} = 250 \text{ cm}^2$$

Formuledriehoek

In het bovenstaande is er sprake van één formule die op drie verschillende manieren geschreven kan worden. Om verwarring te voorkomen wordt vaak de “formuledriehoek” gebruikt.

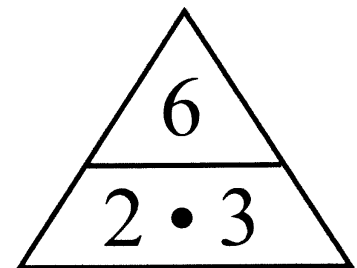
De werking van de formuledriehoek wordt hieronder uitgelegd, eerst met getallen en daarna met letters.

Zie hiernaast de driehoek met de getallen 2, 3 en 6.

Als je je vinger op de zes legt zie je nog staan: “twee keer drie”. Lees dit als “zes is gelijk aan twee keer drie”.

Als je je vinger op de twee legt zie je nog staan: “zes gedeeld door drie”. Lees dit als “twee is gelijk aan zes gedeeld door drie”.

Als je je vinger op de drie legt zie je nog staan: “zes gedeeld door twee”. Lees dit als “drie is gelijk aan zes gedeeld door twee”.

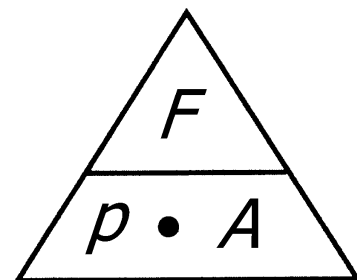


In een echte formuledriehoek staan er letters in plaats van cijfers. Verder is de werking hetzelfde. Zie nu de onderste driehoek hiernaast.

Als je je vinger op de p legt zie je dat de druk gelijk is aan de kracht gedeeld door de oppervlakte.

Als je je vinger op de F legt zie je dat de kracht gelijk is aan de druk keer de oppervlakte.

Als je je vinger op de A legt zie je dat de oppervlakte gelijk is aan de kracht gedeeld door de druk.



In het algemeen is de formuledriehoek te gebruiken voor alle formules met één deling of één vermenigvuldiging.

Opgaven bij § 1

Opgave 1

Jan en Joke lopen op de vloer. Jan is zwaarder dan Joke. Toch is de druk onder Jokes schoenen groter. Leg uit hoe dat komt.

Opgave 2

Leg met behulp van druk uit waarom een scherp mes gemakkelijker snijdt.

Opgave 3

Bij een gymzaal van een sportschool staat het hiernaast getekende bord. Leg uit waarom.



Opgave 4

Het symbool voor oppervlakte is A .

De eenheid van oppervlakte is cm^2 .

Vul nu op dezelfde manier de volgende open plekken in.

Het symbool voor kracht is _____.

De eenheid van kracht is _____.

Het symbool voor druk is _____.

De eenheid van druk is _____.

Opgave 5

Geef de formule (in letters) waarmee je de druk kunt uitrekenen uit de kracht en de oppervlakte.

Opgave 6

Joris duwt met zijn duim op de muur. De kracht op de muur bedraagt 33 N. Deze kracht werkt op een oppervlakte van 3 cm^2 . Bereken de druk op de muur.

Opgave 7

Rik staat met twee schaatsen op het ijs. Het (totale) contactoppervlak tussen de schaatsen en het ijs is 2 cm^2 . De druk onder de schaatsen is 300 N/cm^2 . Bereken de kracht van Rik op het ijs.

Opgave 8

Een tegel ligt op zand. De kracht op het zand is 6 N. De druk op het zand is $0,03 \text{ N/cm}^2$. Bereken de oppervlakte van de onderkant van de tegel.

Opgave 9

Op de bodem van een zwembad heerst een druk van 13 N/cm^2 . Bereken de kracht die het water uitoefent op 15 cm^2 bodemoppervlak.

Opgave 10

De dampkring oefent een kracht op je linker schouderblad uit van 170 N. De oppervlakte van het schouderblad is 17 cm^2 . Bereken de druk van de dampkring.

Opgave 11

Je duwt met een vinger met een kracht van 20 N op de tafel. De druk op de tafel onder je vinger is 12 N/cm^2 . Bereken hoe groot de oppervlakte is waarmee je vinger contact met de tafel maakt.

Opgave 12

Een volwassen man rijdt afwisselend op zijn toerfiets en op zijn racefiets. Zijn racefiets heeft veel smallere banden. Daarom moet hij deze banden veel harder oppompen. Leg dat uit.

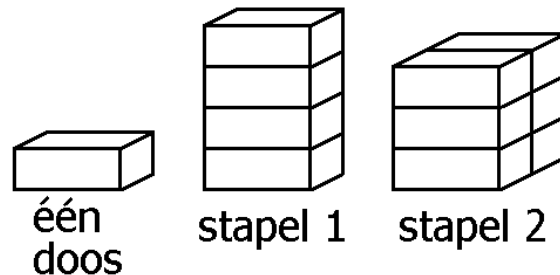
Opgave 13

Kees probeert een punaise in de vloer te duwen. De oppervlakte van de bovenkant van de punaise is $0,7 \text{ cm}^2$ en van de punaïsepunt $0,1 \text{ cm}^2$. Bereken hoeveel keer de druk aan de onderkant groter is dan aan de bovenkant.

Opgave 14

In de figuur hiernaast zijn alle dozen aan elkaar gelijk.

Vul de volgende open plekken in.



De kracht op de grond van stapel 1 is _____ keer groter dan de kracht van één doos.

De oppervlakte onder stapel 1 is _____ keer groter dan de oppervlakte onder één doos.

De druk onder stapel 1 is _____ keer groter dan de druk onder één doos.

De kracht op de grond van stapel 2 is _____ keer groter dan de kracht van één doos.

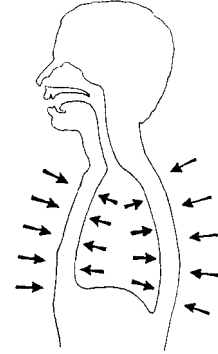
De oppervlakte onder stapel 2 is _____ keer groter dan de oppervlakte onder één doos.

De druk onder stapel 2 is _____ keer groter dan de druk onder één doos.

§ 2 Druk van de dampkring

De druk van de dampkring

Rond de aarde bevindt zich een laag lucht. Deze wordt de dampkring genoemd. De lucht in de dampkring wordt net als elk voorwerp door de aarde aangetrokken. Natuurlijk weegt lucht niet veel. Maar omdat de dampkring tientallen kilometers dik is wordt er toch een enorme druk opgebouwd. De luchtdruk op zeeniveau ligt namelijk rond de 10 N/cm^2 . Deze druk komt bijvoorbeeld overeen met de druk die je krijgt als je op elke vierkante centimeter van een tafelblad een gewicht van één kilogram laat rusten!

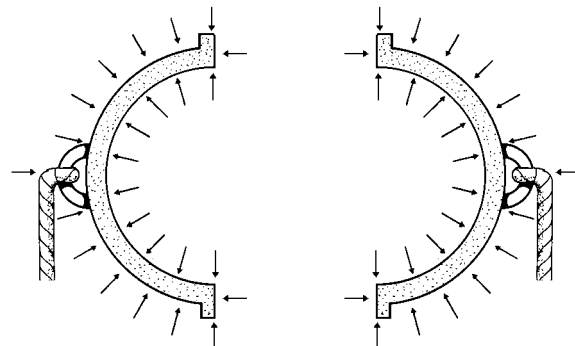


Je vraagt je misschien af waarom de luchtdruk je borstkas niet in elkaar duwt. Dat komt doordat de lucht in je longen (en in andere ruimtes van je lichaam) een even grote tegendruk levert. Zie de pijltjes in de figuur hiernaast.

Maagdenburger halve bollen

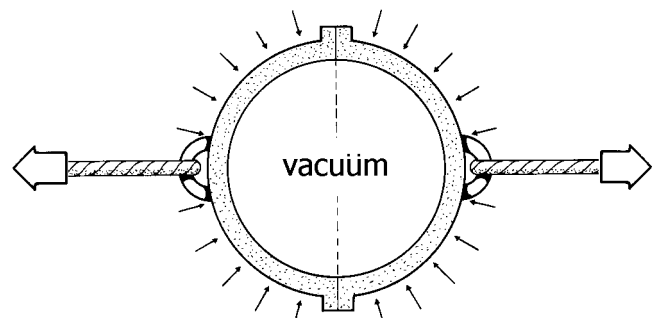
Maagdenburger halve bollen zijn twee losse halve bollen die tegen elkaar aan gezet kunnen worden. Zie de figuur hiernaast.

In het bovenste plaatje zijn de bolhelften los van elkaar. De luchtdruk werkt dan zowel op de buitenkant als op de binnenkant van de bollen. Zie de pijltjes in het plaatje. De luchtdruk geeft dan geen merkbaar effect.



De luchtdruk werkt zowel op de buitenkant als op de binnenkant van de bollen. Zie de pijltjes.

In het onderste plaatje zijn de bolhelften echter tegen elkaar aan gezet en is de lucht binnen de bol weggepompt. We spreken dan van "vacuüm" in de bol. Nu duwt de luchtdruk de bollen naar elkaar toe. Zelfs met grote krachtinspanningen krijg je de bollen niet van elkaar. Dit laat zien hoe groot de luchtdruk is.



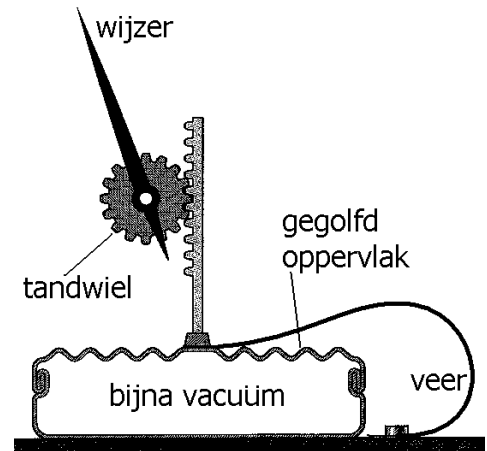
De luchtdruk werkt alleen aan de buitenkant. De bollen worden tegen elkaar geduwd.

De naam van de bollen komt van de proef die Otto von Guericke in 1654 in de Duitse stad Maagdenburg uitvoerde. Zestien paarden waren niet in staat om de twee bolhelften van elkaar te scheiden.

Variatie van de luchtdruk, bar, barometer

De luchtdruk op zeeniveau schommelt rond de 10 N/cm^2 . Deze druk wordt ook wel een **bar** genoemd. Er geldt dus:
1 bar = 10 N/cm^2

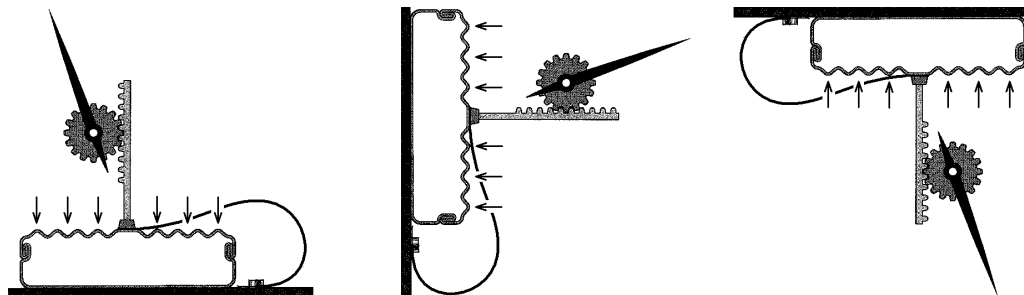
De luchtdruk is meestal niet precies 1 bar. Afwijkingen tot 5% zijn mogelijk. In dit verband spreken we van een hoge- en een lagedrukgebied. Een apparaat dat de luchtdruk van de dampkring meet (en met name de variaties daarop) heet een **barometer**. De doorsnede van een metaalbarometer is in de figuur hiernaast weergegeven. Deze barometer bevat een metalen doos, die bijna vacuüm is. De doos heeft een gegolfd oppervlak. Neemt de druk van de buitenlucht iets toe, dan buigt het gegolfd oppervlak een beetje naar beneden. Hierdoor zullen het tandwiel en de daaraan bevestigde wijzer verdraaien.



In hogere luchtlagen is de lucht ijler. Zo is de luchtdruk op 6 km hoogte nog maar 0,53 bar en op 12 km hoogte nog maar 0,27 bar.

De luchtdruk is in alle richtingen even groot

De dampkring rust als het ware op het aardoppervlak. Toch is het niet zo dat de druk alleen maar naar beneden werkt. Integendeel. De luchtdruk is in alle richtingen even groot. Dat blijkt bijvoorbeeld als we de barometer in verschillende standen zetten. Steeds wijst de barometer hetzelfde aan. Zie de onderstaande figuur.



De luchtdruk (zie pijltjes) is in alle richtingen even groot.

Voorbeeld van een opgave

Een kubusvormig blokje van ijzer rust op tafel. Elke zijde van het blokje is 3 cm lang. Zie de figuur hiernaast. Bereken de kracht die de dampkring op zijvlak X uitoefent. Doe hetzelfde voor zijvlak Y.

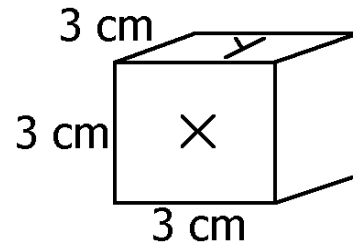
Oplossing (geldig voor zowel zijvlak X als voor zijvlak Y).

De oppervlakte van elk zijvlak is $3\text{ cm} \times 3\text{ cm} = 9\text{ cm}^2$.

De druk van de dampkring is 1 bar. Dit is gelijk aan 10 N/cm^2 .

De kracht op elk zijvlak is dus:

$$F = p \cdot A = 10\text{ N/cm}^2 \cdot 9\text{ cm}^2 = 90\text{ N}.$$



Overdruk en onderdruk

Je spreekt van een overdruk als de druk op een bepaalde plaats hoger is dan de druk van de buitenlucht. Je spreekt van een onderdruk als de druk juist lager is dan de druk van de buitenlucht.

Stel dat je een kogel in een pijp wegschiet door in de pijp te blazen. Zie de bovenste figuur hiernaast. Door het blazen heerst er dan in de pijp een grotere druk dan die van de buitenlucht. Als de druk van de dampkring bijvoorbeeld precies 1,0 bar is en de luchtdruk in de pijp 1,1 bar, is de door de longen veroorzaakte overdruk 0,1 bar (dit is ongeveer het maximum haalbare).



Omgekeerd kun je de lucht in de pijp ook opzuigen. Als je dan een bal tegen het andere uiteinde van de pijp houdt, zal de bal niet naar beneden vallen maar tegen de buis aan blijven zitten. In dat geval heerst er in de pijp een (kleine) onderdruk. Zie de onderste figuur hiernaast. Longen kunnen een onderdruk leveren van ongeveer 0,1 bar. Bij een dampkringdruk van 1,0 bar is de druk in de buis dan 0,9 bar.



Het is onjuist om te denken dat in dit laatste geval de lucht in de pijp de bal naar zich toe trekt. Lucht kan namelijk alleen maar duwen, nooit trekken! Dat de bal tegen de pijp aan blijft zitten, komt door de duwkracht van de buitenlucht.

Opgaven bij § 2

Opgave 1

Hoe groot is de druk (in bar) van de dampkring op zeeniveau?
Geef een afgeronde waarde.

Opgave 2

Met welk apparaat meet je de luchtdruk van de dampkring?

Opgave 3

Bereken de kracht die de lucht van de dampkring op één vierkante centimeter huidoppervlak uitoefent (op zeeniveau).

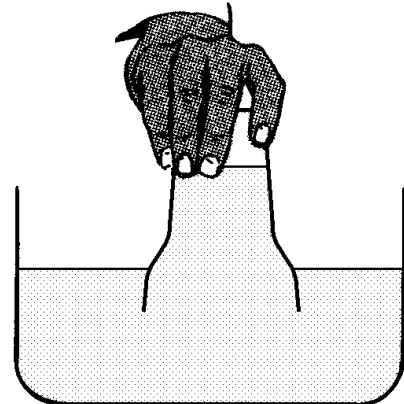
Opgave 4

Een kubusvormig blokje van koper rust op tafel. Elke zijde van het blokje is 2 cm lang. Bereken de kracht die de dampkring op elk van de zijvlakken uitoefent.

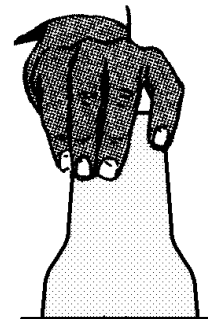
Opgave 5

Mario dompelt een bierglas onder in een bak met water. Dan trekt hij het glas omhoog met de onderkant naar boven. Zie figuur hiernaast. In het bierglas zit nog een kleine hoeveelheid lucht. Deze lucht heeft een onderdruk.

Het blijkt dat het water in het glas mee naar boven gaat. Mario beweert dat dit komt doordat de lucht in het glas het water omhoog trekt. Wat vind je van zijn mening?

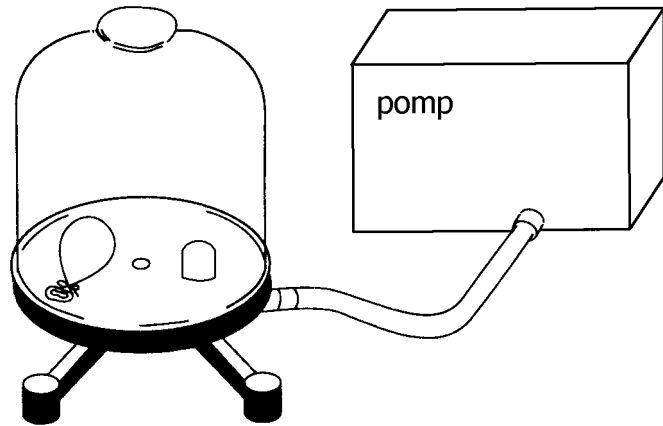


Het bierglas uit de vorige vraag wordt nu geheel gevuld met water. Op het glas wordt een blaadje dun karton of stevig papier gelegd. Het glas wordt daarna voorzichtig omgekeerd waarbij het papier op zijn plaats gehouden wordt. Als het glas is omgekeerd, kan het papier losgelaten worden. Het water stroomt dan niet uit het glas. Zie de figuur hiernaast. Leg uit hoe dat komt.



Opgave 6

Onder een glazen stolp liggen een negerzoen en een slap opgeblazen ballon die goed dichtgeknoopt is. Zie de figuur hiernaast. Men pompt lucht uit de stolp. Je ziet de ballon dan groter worden en het schuim in de negerzoen opzwellen.



Waarom wordt de ballon groter?
Kies een van de volgende mogelijkheden.

- a) Omdat de lucht in de ballon steeds harder tegen de binnenkant van de ballon duwt.
- b) Omdat de lucht in de stolp steeds zwakker tegen de buitenkant van de ballon duwt.
- c) Omdat de lucht in de stolp aan de buitenkant van de ballon gaat trekken.

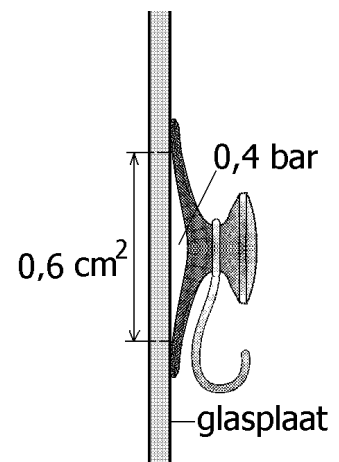
Leg uit waarom het schuim in de negerzoen opzwellt.

Opgave 7

In de figuur hiernaast is een zuignap op een glasplaat geduwd. De zuignap valt niet naar beneden. Dit komt doordat de luchtdruk tussen de zuignap en de glasplaat veel kleiner is dan de druk van de buitenlucht.

In deze opgave is de druk tussen de zuignap en de glasplaat 0,4 bar. De druk van de buitenlucht is 1,0 bar.
Bereken het drukverschil tussen de linker- en rechterzijde van de zuignap. _____ bar.

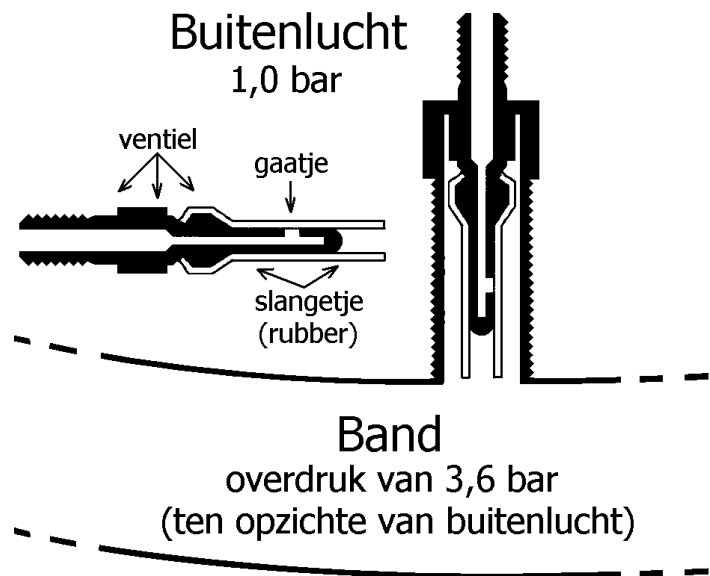
Door dit drukverschil wordt de zuignap voortdurend op de glasplaat geduwd. Bereken met welke kracht dit gebeurt (gebruik in je berekening dus het drukverschil). Ga hierbij uit van $0,6 \text{ cm}^2$ vrij glasoppervlak.



Opgave 8

In de figuur hiernaast zijn een los fietsventiel en een fietsventiel gemonteerd in een band afgebeeld. De band is in verhouding te klein weergegeven in de figuur. In de band heerst een overdruk van 3,6 bar. In het ventiel zit een gaatje dat wordt afgesloten door een rubberen slangetje.

Waarom zorgt de overdruk in de band ervoor dat het slangetje het gaatje luchtdicht afsluit?



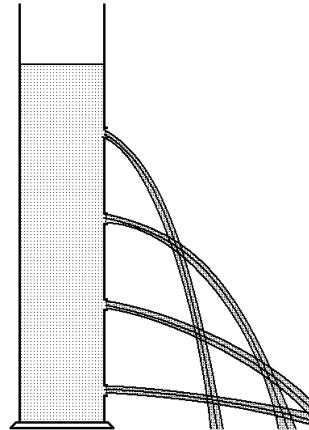
Waarom sluit het slangetje het gaatje niet af tijdens het oppompen van de band?

Bereken de kracht die de lucht in de band op elke vierkante millimeter van de binnenband uitoefent.

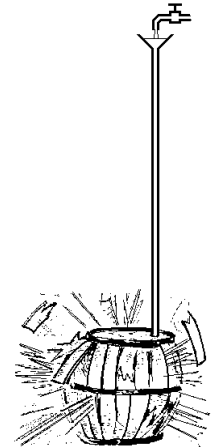
§ 3 Druk in vloeistoffen

Twee experimenten

Een maatcilinder bevat een aantal openingen op verschillende hoogten. De maatcilinder wordt gevuld met water. Door de openingen stroomt water naar buiten. Zie de figuur hiernaast (linker figuur). Het water stroomt het krachtigst uit de onderste opening en het zwakst uit de bovenste opening. Blijkbaar neemt de druk in het water toe bij toenemende diepte.



Hoe lager in de vloeistof, des te hoger de druk is.



Een vloeistofkolom kan een grote druk veroorzaken.

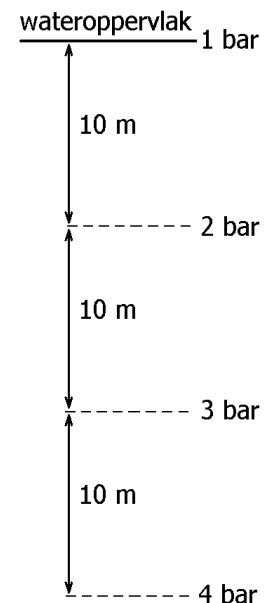
Een regenton wordt geheel met water gevuld. Daarna wordt een 10 m lange pijp in de ton geplaatst. Zie de figuur hiernaast (rechter figuur). Vervolgens wordt ook de pijp met water gevuld. Op een bepaald moment spat de regenton uit elkaar. Blijkbaar veroorzaakt de waterkolom (in de pijp) een enorme druk in de regenton.

De druk in water van bijvoorbeeld een meer

In zoet water geldt (bij benadering) dat bij elke meter die je dieper komt, de druk met 1 newton per vierkante centimeter stijgt. Als je dus tien meter naar beneden zwemt, stijgt de druk met 10 N/cm^2 . Omdat 10 N/cm^2 gelijk is aan 1 bar, kun je ook het volgende zeggen.

Elke daling van 10 m in stilstand water heeft een drukstijging van 1 bar tot gevolg.

In verreweg de meeste gevallen bevindt de dampkring zich boven het wateroppervlak. De druk bij het wateroppervlak is dan dus één bar. Op een diepte van 10 m is de druk dan 2 bar. Van deze 2 bar is 1 bar afkomstig van de dampkring en 1 bar van de bovenliggende 10 m water. Zie ook de figuur hiernaast. Op dezelfde manier vind je dat de druk op een diepte van 20 m gelijk is aan 3 bar. Enzovoort.



Rekenvoorbeeld

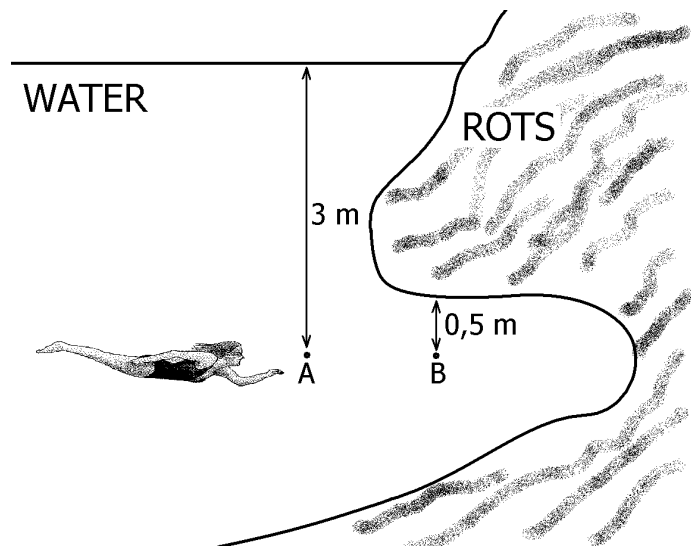
Een boot is in het midden van de Rijn gezonken en ligt op de bodem. De boot heeft een patrijspoort (een cirkelvormig raam) met een oppervlakte van 250 cm^2 . De patrijspoort bevindt zich 15 m onder het wateroppervlak. De kracht van het rivierwater op de patrijspoort kan dan als volgt berekend worden. Hierbij wordt het effect van stroming verwaarloosd.

$$p = 1 \text{ bar} + 1,5 \text{ bar} = 2,5 \text{ bar} = 25 \text{ N/cm}^2$$

$$F = p \cdot A = 25 \text{ N/cm}^2 \cdot 250 \text{ cm}^2 = 6250 \text{ N}.$$

Druk in een horizontaal vlak

Een vrouw zwemt onder water op een diepte van 3 m. Zie de figuur hiernaast. De druk op die diepte is 1,3 bar (zie de uitleg hiervoor). Na korte tijd bevindt zij zich onder een overhellende rots. Eigenlijk merkt zij niet dat er minder water boven haar zit. Het wordt hooguit wat donkerder. Maar de druk is nog steeds 1,3 bar.



De bovenstaande situatie is een voorbeeld van de zogenoemde hoofdwet van de hydrostatica. Deze luidt als volgt.

In eenzelfde stilstaande vloeistof is de druk in een horizontaal vlak overal even groot.

In de figuur bijvoorbeeld liggen de punten A en B in hetzelfde horizontale vlak. De druk in A en B zijn dan ook gelijk (namelijk 1,3 bar).

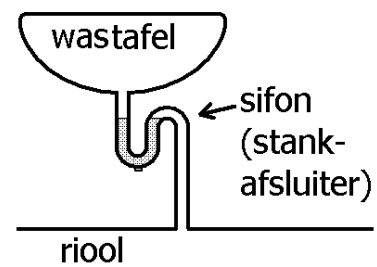
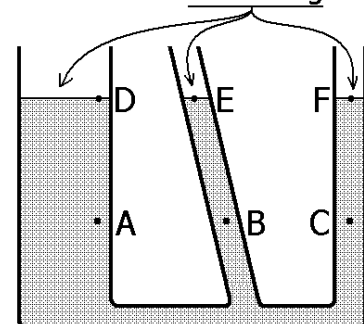
Toepassing van de hoofdwet op communicerende vaten

In de figuur hiernaast staan drie buizen via de onderkant met elkaar in verbinding. We spreken dan van communicerende vaten. De buizen zijn gevuld met één en dezelfde vloeistof. Uit de hoofdwet van de hydrostatica volgt dan dat de druk in de punten A, B en C (dit zijn punten in hetzelfde horizontale vlak) gelijk is.

Stel dat de buizen aan de bovenkant open zijn (dat wil zeggen niet afgesloten met bijvoorbeeld een deksel). De druk bij de vloeistofoppervlakken (dus in de punten D, E en F) is dan gelijk aan de druk van de dampkring. Uit de hoofdwet van de hydrostatica volgt dan dat deze oppervlakken op dezelfde hoogte liggen.

Een toepassing van communicerende vaten vind je bij een sifon onder een wastafel. Zie de figuur hiernaast. Hiermee wordt voorkomen dat de rioollucht het huis in komt.

De vloeistof staat in alle vaten even hoog.



Opgaven bij § 3

Opgave 1

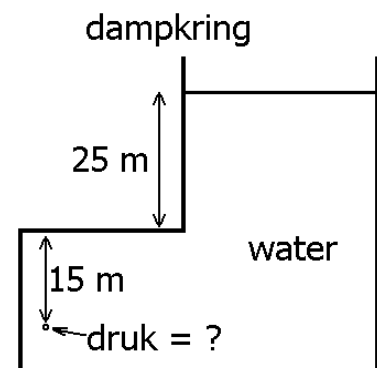
Hoe luidt de hoofdwet van de hydrostatica?

Opgave 2

Een meer is 20 m diep. Hoe groot is de druk op die diepte? Geef je antwoord in bar en in N/cm^2 .

Opgave 3

De figuur hiernaast stelt een testbassin voor onderzeeboten voor. Hoe groot is de druk op de aangegeven plaats?



Opgave 4

Een schoolgebouw heeft een waterkraan in de kelder en een waterkraan op zolder. Met een manometer (drukmeter) meet je de druk van het water bij beide kranen. In de kelder lees je 3,0 bar af en op zolder 1,8 bar.

Bereken het hoogteverschil tussen beide kranen als je ervan uitgaat dat het water in de leidingen stil staat.

Opmerking

De manometer geeft de 'overdruk' van het water. Dat is de extra druk ten opzichte van de omgevingsdruk (= druk van de dampkring = 1 bar). In deze opgave maakt dat niet uit omdat de twee afgelezen waarden (3,0 bar en 1,8 bar) van elkaar moeten worden afgetrokken.

Opgave 5

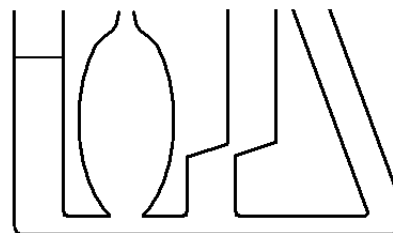
Jan zwemt op 5 m diepte in een rivier. Hij heeft een duikbril op. De glazen van de duikbril hebben ieder een oppervlakte van 25 cm^2 . Bereken de kracht die het water op beide glazen samen uitoefent.

Opgave 6

In de tekst worden twee voorwaarden genoemd waaronder de vloeistofoppervlakken in communicerende vaten even hoog zijn. Welke twee voorwaarden zijn dat?

Opgave 7

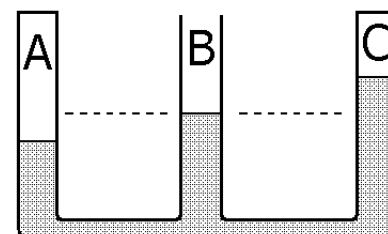
In de figuur hiernaast staan vier buizen via de onderkant in verbinding met elkaar. In de buizen zit alcohol. In de linker buis is de hoogte van het alcoholoppervlak aangegeven. Teken in de figuur de alcoholoppervlakken in de andere buizen.



Opgave 8

In de figuur hiernaast staan drie buizen via hun onderkanten in verbinding met elkaar. In de buizen zit water. De buizen A en C zijn aan de bovenkant afgesloten met een deksel. Onder deze deksels zit lucht opgesloten.

Beantwoord de onderstaande vragen door de vloeistofhoogtes met elkaar te vergelijken.



a.

Leg uit of er een overdruk of een onderdruk in de lucht in buis A heerst.

b.

Leg uit of er een overdruk of een onderdruk in de lucht in buis C heerst.

Opgave 9

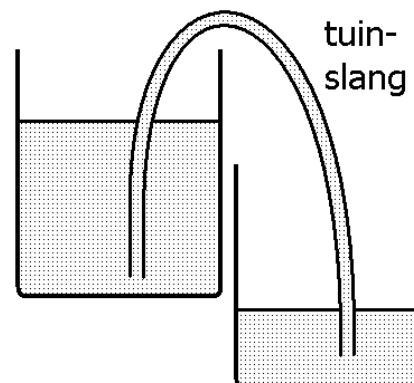
In de figuur hiernaast wordt water overgeheveld van het ene naar het andere bekeerglas.

a.

Leg uit waarom we ook nu over communicerende vaten kunnen spreken.

b.

Wanneer zal het stromen van water door de tuinslang stoppen?



c.

Stel dat het rechter bekeerglas plotseling wordt weggehaald zonder dat de stand van de slang verandert. Wat zal er dan gebeuren?

Opgave 10

In de figuur hiernaast is een U-buis afgebeeld. De buis is gevuld met water en olie.

a.

Vul op de volgende open plek 1, 2 of 3 in.

De druk in punt A is gelijk aan de druk in punt ____.

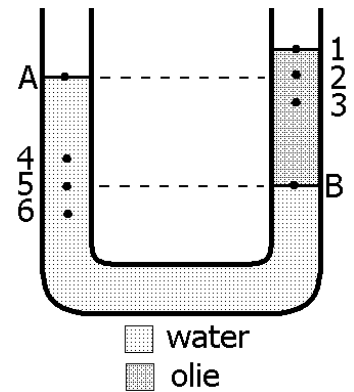
Leg je keuze uit.

b.

Vul op de volgende open plek 4, 5 of 6 in.

De druk in punt B is gelijk aan de druk in punt ____.

Leg je keuze uit.



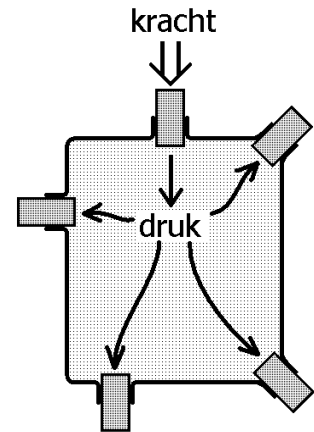
§ 4 Wet van Pascal; hydraulische pers

Wet van Pascal

Vloeistoffen zijn vrijwel niet samendrukbaar. Als je op een vloeistof een druk uitoefent, geldt daarom de wet van Pascal. Deze luidt als volgt.

De druk die op een vloeistof wordt uitgeoefend, plant zich in alle richtingen onverminderd voort.

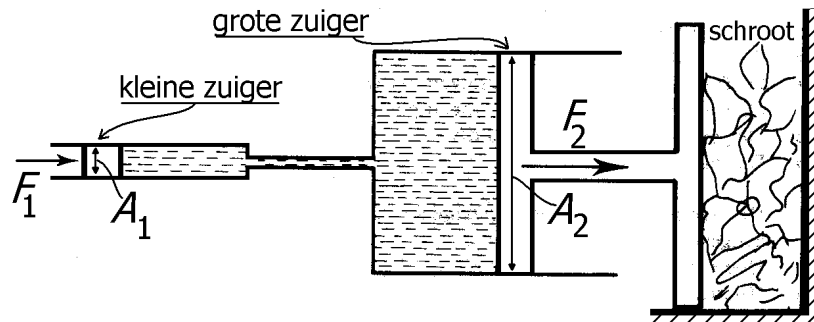
Zie bijvoorbeeld de fles in de figuur hiernaast. De fles is helemaal gevuld met water. Op de fles passen vijf kurken. Als je op één kurk een kracht uitoefent, vliegen alle kurken van de fles af. De vloeistof geeft de druk in alle richtingen door.



Hydraulische pers

De wet van Pascal wordt bijvoorbeeld toegepast in een hydraulische pers. Hiermee kun je onder andere schroot

samenpersen. Zie de figuur hiernaast. Een hydraulische pers bevat een kleine en een grote zuiger. De kleine zuiger wordt naar rechts



geduwd, waardoor de druk in de vloeistof stijgt. Door deze verhoogde vloeistofdruk wordt de grote zuiger ook naar rechts geduwd en wordt het schroot samengeperst.

Een hydraulische pers werkt als een krachtversterker. Met een kleine kracht op de kleine zuiger krijg je een grote kracht op de grote zuiger. Dit is mogelijk doordat de druk in de vloeistof overal gelijk is (wet van Pascal). Stel dat de oppervlakte van de grote zuiger tien keer zo groot is als die van de kleine zuiger. De kracht op de grote zuiger is dan ook tien keer zo groot als die op de kleine zuiger. In de figuur zijn deze oppervlakten aangegeven met A_1 en A_2 en de krachten met F_1 en F_2 .

Getallenvoorbeeld van de hydraulische pers

Stel dat de kleine zuiger met een kracht van 500 N naar rechts wordt geduwd en dat de oppervlakte van deze zuiger 10 cm^2 bedraagt. Voor de druk in de vloeistof geldt dan:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{500 \text{ N}}{10 \text{ cm}^2} = 50 \text{ N/cm}^2.$$

Als de grote zuiger een oppervlakte heeft van 200 cm^2 , geldt voor de kracht op deze zuiger:

$$F = p \cdot A = 50 \text{ N/cm}^2 \cdot 200 \text{ cm}^2 = 10000 \text{ N}.$$

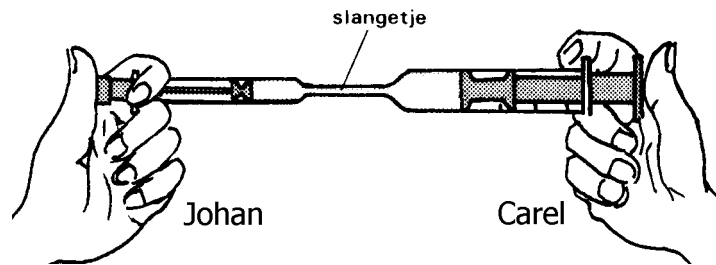
Opgaven bij § 4

Opgave 1

Hoe luidt de wet van Pascal?

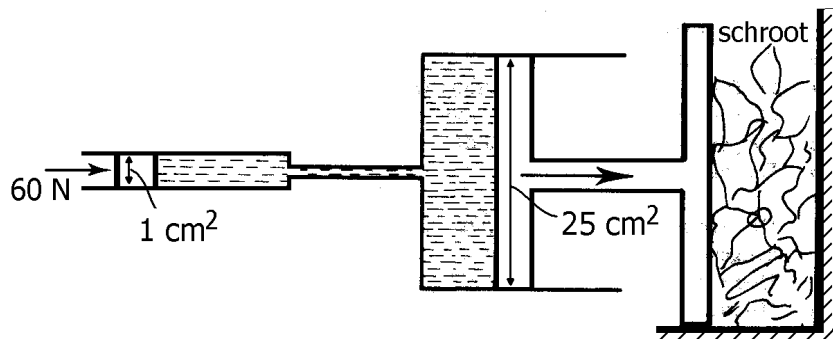
Opgave 2

Twee injectiespuiten zijn gevuld met water en met elkaar verbonden via een slangetje. Zie de figuur hiernaast. Johan probeert de kleine spuit leeg te spuiten en Carel de grote spuit. Johan en Carel zijn even sterk. Wie zal er winnen en waarom?



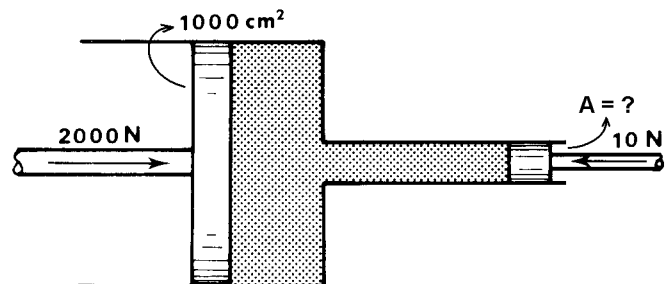
Opgave 3

In de figuur hiernaast wordt schroot samengeperst. Bereken welke kracht op het schroot werkt.



Opgave 4

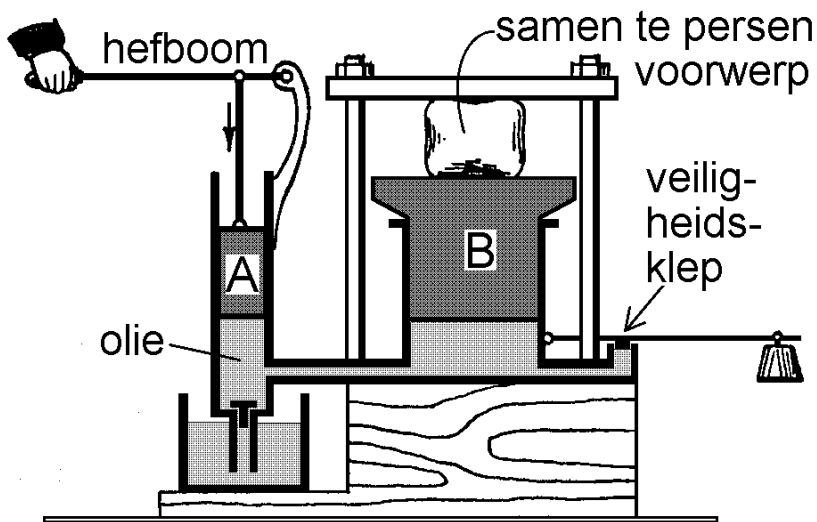
In de figuur hiernaast is een hydraulisch werktuig getekend. Op de grote zuiger wordt een kracht van 2000 N uitgeoefend. Om de kleine zuiger op zijn plaats te houden, is er slechts een kracht van 10 N nodig. Bereken de oppervlakte van de kleine zuiger.



Opgave 5

In de figuur hiernaast is een ouderwetse hydraulische pers getekend. Hiermee kan een voorwerp worden samengeperst. Via een hefboom wordt zuiger A naar beneden geduwd. Dankzij de werking van de hefboom is de kracht op zuiger A vijf keer zo groot als de duwkracht van de hand.

Zuiger A heeft een oppervlakte van 100 cm^2 . Als zuiger A omlaag beweegt, wordt zuiger B omhoog geduwd. Zuiger B heeft een oppervlakte van 800 cm^2 .



a.

Stel dat het voorwerp met een kracht van 1000 N moet worden samengeperst. Bereken dan de kracht waarmee de hand de hefboom naar beneden moet duwen.

De pers heeft een veiligheidsklep. Deze springt open als de druk in de olie te groot wordt. Dit is het geval als de hand met 400 N op de hefboom duwt.

b.

Bereken bij welke druk in de olie de veiligheidsklep open springt.

§ 5 Andere eenheden van druk

Andere eenheden van druk

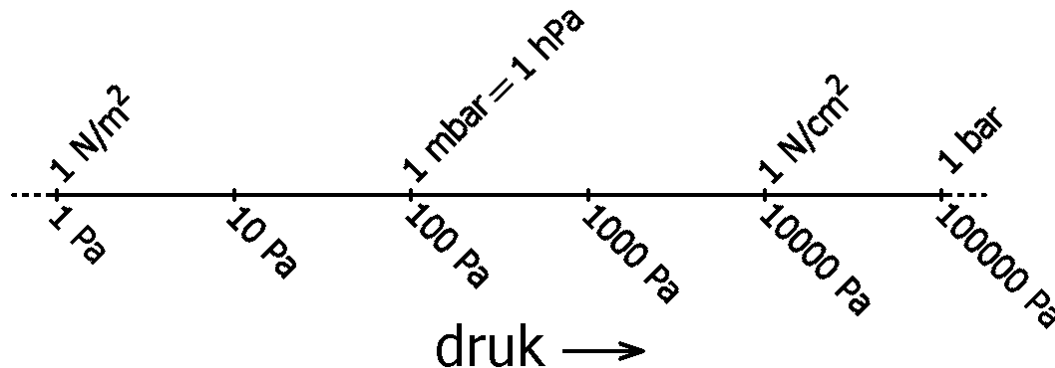
In de voorgaande paragrafen werden de volgende eenheden voor druk gebruikt:

- *newton per vierkante centimeter* (N/cm^2)
- *bar*

In deze paragraaf maken we kennis met een aantal andere eenheden voor druk, namelijk:

- *newton per vierkante meter* (N/m^2)
- *pascal* (Pa)
- *millibar* ($mbar$)
- *hectopascal* (hPa)

In de onderstaande figuur zie je het onderlinge verband tussen al deze eenheden. Langs de as neemt de druk toe van 1 pascal (links) tot 100.000 pascal (rechts). Uit de figuur blijkt dat 1 pascal gelijk is aan 1 newton per vierkante meter. Ook blijkt dat 1 millibar gelijk is aan 1 hectopascal en dat 1 bar gelijk is aan 10 newton per vierkante centimeter (dit wisten we trouwens al). In deze paragraaf wordt het een en ander toegelicht.



Pascal

Stel dat je 100 gram zout gelijkmatig over een tafelblad met een oppervlakte van één vierkante meter verdeelt. Dan oefent het zout een kleine kracht op het tafelblad uit, namelijk 1 newton.

De druk op het tafelblad is dan dus 1 *newton per vierkante meter* ($1 N/m^2$).

Natuurkundigen hebben met elkaar afgesproken dat deze eenheid ook **pascal** (afgekort **Pa**) genoemd kan worden.

Er geldt dus per definitie (afpraak):

1 pascal = 1 newton per vierkante meter

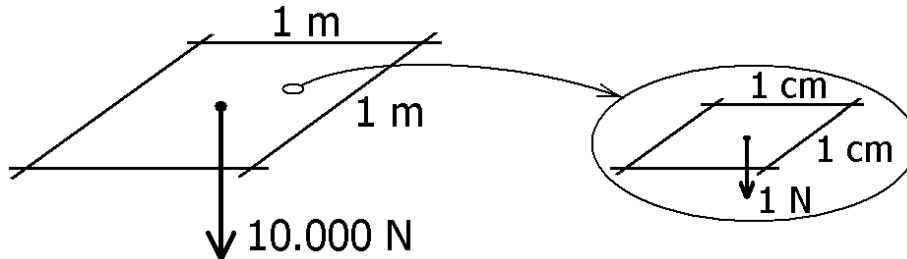
De eenheid pascal is zeer klein. Ga dat maar na bij het proefje met het zout. Het blijkt ook uit de bovenstaande figuur. De pascal staat namelijk helemaal aan de linker kant van de as.

Newton per vierkante centimeter en newton per vierkante meter

Er geldt:

1 newton per vierkante centimeter = 10.000 newton per vierkante meter.

Dit is makkelijk te begrijpen als we bedenken dat er in elke m^2 precies 10.000 cm^2 passen. Stel bijvoorbeeld dat de druk op een vloer 10.000 N/m^2 is. Dat betekent dat er op elke m^2 van de vloer een kracht van 10.000 N werkt. Zie ook de onderstaande figuur. Dan werkt er op elke cm^2 van de vloer dus een kracht van 1 N . De druk op de vloer is dan dus ook 1 N/cm^2 .



Hectopascal en millibar

In weerberichten werd vroeger de millibar (mbar) als eenheid van luchtdruk gebruikt. Tegenwoordig gebruikt men de hectopascal (hPa). Toch zijn beide eenheden precies even groot. Zie namelijk de betekenis van de voorvoegsels milli en hecto in de onderstaande tabel.

naam voorvoegsel	symbool	betekenis in woorden	betekenis in cijfers
hecto	h	honderd	100
milli	m	duizendste	$\frac{1}{1000}$

Uit deze tabel volgt:

1 hectopascal = 100 pascal en

1 millibar = 0,001 bar.

En omdat 1 bar gelijk is aan 100.000 pascal, volgt hieruit: 1 millibar = 100 pascal.

Dus geldt:

1 hectopascal = 1 millibar.

De druk van de dampkring op zeeniveau ligt meestal tussen 980 hPa en 1030 hPa.

Gemiddeld is deze druk 1013 hPa.

Opmerking

In de voorgaande paragrafen gingen we gemakshalve steeds uit van een luchtdruk van 1000 hPa (= 1 bar) zonder rekening te houden met mogelijke variaties hierop. De hierbij gemaakte fouten waren gelukkig klein.

Opgaven bij § 5

Opgave 1

Noem zes eenheden van druk in volgorde van klein naar groot. Geef hierbij aan welke van deze eenheden gelijk aan elkaar zijn.

Opgave 2

Leg uit waarom de eenheid hectopascal vaak handiger in het gebruik is dan de eenheid pascal.

Opgave 3

Vul getallen in.

$$1 \text{ N/cm}^2 = \text{_____ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = \text{_____ Pa}$$

$$1 \text{ hPa} = \text{_____ Pa}$$

$$1 \text{ mbar} = \text{_____ Pa}$$

$$1 \text{ mbar} = \text{_____ bar}$$

$$1 \text{ hPa} = \text{_____ mbar}$$

Opgave 4

Langs snelwegen staan hectometerpaaltjes. Hoe groot zal de afstand tussen deze paaltjes dus zijn?

Opgave 5

Weerkundigen gebruiken weerkaarten die de luchtdruk in een bepaald gebied weergeven. Zie de figuur hiernaast.

Hierin zijn de punten met dezelfde luchtdruk met elkaar verbonden. De lijnen die zo ontstaan heten isobaren (iso wil zeggen: gelijk). De getallen bij de isobaren geven de luchtdruk in hPa weer.

a.
Schat de luchtdruk op Texel.

b.
Schat de laagste luchtdruk op de kaart.

