

In deze afbeelding zie je een astronaut in een ruimtepak die met een stoort stoel met stuwmotoren manoeuvreert buiten het ruimtestation (niet in de foto te zien). Zulke activiteiten buiten een ruimtevaartuig worden EVA's genoemd: *extravehicular activities*. Het pak zorgt dat de astronaut warm blijft en lucht heeft in het vacuüm van de ruimte, maar het zorgt ook dat de druk om het lichaam van de astronaut heen hetzelfde is als op aarde. In deze paragraaf leer je over druk.

## Extra stof bij hfd 3: Luchtdruk

In paragraaf 3.5 en 3.6 van *Overal* hebben we gezien hoe **luchtdruk** te verklaren is met het molecuulmodel: kleine deeltjes genaamd moleculen botsen van binnenuit tegen de wand van bijvoorbeeld een ballon. Door deze continue barrage van botsende moleculen ervaart de ballonwand een kracht van binnenuit naar buiten. Zo zijn alle verschijnselen die met luchtdruk te maken hebben te verklaren.

In een kleine ballon met een inhoud van 1,0 L stuiteren maar liefst zo'n  $1,2 \times 10^{21}$  moleculen in het rond. Gemiddeld botsen er zo'n  $5,0 \times 10^{16}$  luchtmoleculen per seconde tegen elke  $\text{cm}^2$  aan binnenoppervlak van de ballon.

Ook de lucht om ons heen bestaat uit rondstuiterende moleculen en oefent dus ook kracht uit. Gemiddeld duwt de lucht op elke  $\text{cm}^2$  met een kracht van 10 newton. Over kracht en de eenheid newton (symbool: N) leer je meer in *Hoofdstuk 4: Kracht en Beweging*, maar deze grootte ben je al wel tegengekomen in *Hoofdstuk 1*. Voor nu kun je onthouden dat het door deze kracht lijkt alsof er op elke  $\text{cm}^2$  een massa van 1,0 kg drukt. De luchtdruk op **zeeniveau** om ons heen is dus 10 N per  $\text{cm}^2$ .

Druk is een grootte die wordt aangegeven met als symbool de kleine letter p. Helemaal volledig kun je dus schrijven: "op zeeniveau geldt:  $p = 10 \text{ N/cm}^2$ ".

Andere eenheden voor luchtdruk zijn:

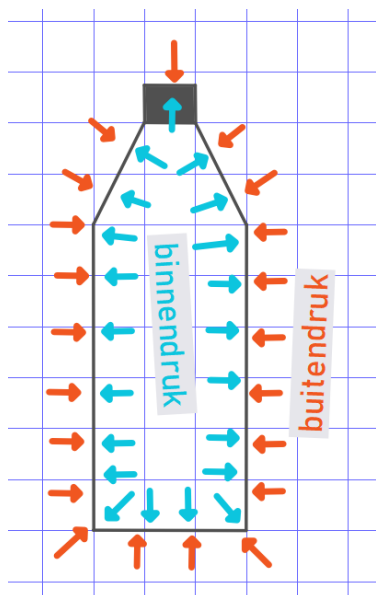
- ✓ bar: 1 bar = 1000 mbar = 10 N/cm<sup>2</sup>
- ✓ atmosfeer: 1 atm = 10 N/cm<sup>2</sup>
- ✓ pascal 100.000 Pa = 10 N/cm<sup>2</sup>
- ✓ kilopascal: 100 kPa = 10 N/cm<sup>2</sup>

In de rest van dit boek werken we alleen met de N/cm<sup>2</sup> als eenheid van druk.



Figuur 10: De krachtmeters die je in Hfd1 bent tegengekomen. Hoe harder je er aan trekt, hoe verder ze uitrekken.

## Binnendruk, buitendruk en drukverschil



Figuur 41: Een 0,5L-flesje met de dop stevig aangedraaid. Lucht duwt van binnenuit en van buitaf tegen de wand van het flesje.

Mogelijk vraag je jezelf af waarom holle voorwerpen zoals een leeg plastic colaflesje niet in elkaar gedrukt wordt door die kennelijk enorme kracht die de lucht om ons heen op alles uitoefent. Het antwoord is dat er binnenin het flesje ook lucht is die van binnen naar buiten duwt. Omdat deze druk buiten het flesje even groot is als de druk binnen het flesje gebeurt er niets. De druk binnenin het flesje noem je **binnendruk**. De druk buiten het flesje noem je **buitendruk**. Tussen de binnendruk en de buitendruk kan een **drukverschil** bestaan. Als je een flesje normaal leegdrinkt en dan de dop er weer op draait zal de binnendruk en de buitendruk even groot zijn. Het drukverschil is dan nul en er gebeurt verder niks.

Plaats je nu echter het flesje met afgesloten dop onder een vacuümstolp en zuig je de lucht onder de stolp weg met een pomp dan zal voor het flesje de buitendruk steeds verder afnemen. De binnendruk verandert niet omdat de lucht binnenin het flesje niet weggepompt wordt: de dop zit er immers op. Desondanks verandert het drukverschil wel. Je kunt zeggen dat er een steeds grotere **overdruk** ontstaat **in het flesje**. Hierdoor zwelt het flesje een beetje op. Hoe groot het drukverschil is kun je uitrekenen:

Voorbeeld 1: Een glazen flesje van 0,5 L blijft nog net heel als de druk in het flesje wordt verlaagd naar  $5,7 \text{ N/cm}^2$ . Dit experiment heb je uitgevoerd bij normale druk op zeeniveau, dus  $10 \text{ N/cm}^2$ . Reken uit wat het drukverschil is tussen de ruimte binnen het flesje en de omgeving buiten het flesje.

*Uitwerking:* De binnendruk is  $5,7 \text{ N/cm}^2$ . De buitendruk is  $10 \text{ N/cm}^2$ . Het verschil tussen deze twee is  $4,3 \text{ N/cm}^2$  en de buitendruk is groter, dus de kracht op het flesje is netto dus naar binnen gericht.

Voorbeeld 2: Je hebt een ballon opgeblazen waardoor er binnenin een overdruk van  $7,9 \text{ N/cm}^2$  is ten opzichte van de druk buiten de ballon. De luchtdruk is die dag  $9,8 \text{ N/cm}^2$ . Hoe groot is de druk binnenin de ballon dan?

*Uitwerking.* Buiten de ballon heerst die dag een luchtdruk van  $9,8 \text{ N/cm}^2$  en de druk binnenin is  $7,9 \text{ N/cm}^2$  hoger, dus de binnendruk is  $17,7 \text{ N/cm}^2$ .

## Tussentijdse oefenopgaven overdrukverschil

1. In je fietsband heerst een binnendruk van  $25 \text{ N/cm}^2$ . Buiten de band is de luchtdruk die dag  $10 \text{ N/cm}^2$ . Bereken de overdruk in de band.
2. In een opgeblazen ballon heerst een overdruk van  $18,5 \text{ N/cm}^2$ . De binnendruk in de ballon is  $29,0 \text{ N/cm}^2$ . Reken de buitendruk uit.
3. In een spuitbus met haarlak heerst een overdruk van  $33,1 \text{ N/cm}^2$ . De buitendruk is die dag  $10,2 \text{ N/cm}^2$ . Bereken de binnendruk in de spuitbus.



Figuur 42: Een vacuümstolp. De lucht onder de stolp van worden weggepompt via het kraantje.

# Rekenen aan luchtdruk, kracht en oppervlakte

Je kunt rekenen aan luchtdruk, oppervlakte en kracht met deze formule:

In woorden:  $druk = \frac{kracht}{oppervlakte}$       in symbolen:  $p = \frac{F}{A}$

De eenheid van druk is N/cm<sup>2</sup>. De eenheid van kracht is N. Hoewel we kracht nog niet behandeld hebben kun je hier wel aan rekenen en je kunt onthouden dat een kracht van 10 N nodig is om 1,0 kg opgetild te houden op aarde. De letter A staat weer voor oppervlakte zoals we die in *Hoofdstuk 1: Introductie* zagen. Let er op dat we hier als eenheid cm<sup>2</sup> gebruiken.

De twee andere vormen van de formule kun je zelf herleiden met de makkelijke-getallentechniek. Deze vormen zijn:

kracht uitrekenen:  $F = p \cdot A$       oppervlakte uitrekenen:  $A = \frac{F}{p}$

Voor het werken met deze formules heb je de basisvaardigheden uit *Hoofdstuk 1: Introductie* nodig, namelijk dat je eenheden kunt omrekenen (§2), dat je kunt werken met voorvoegsels (§2), dat je formules kunt herleiden (§8) en dat je weet hoe je rekenvraagstukken kunt aanpakken (§9).

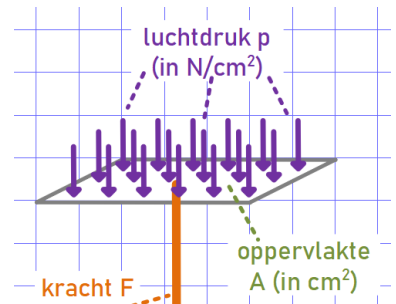
**Voorbeeld 3:** Een zuignap met een oppervlakte van 12 cm<sup>2</sup> wordt tegen een glazen ruit aangedrukt zodat alle lucht er onder vandaan geduwd wordt. Er heerst die dag een luchtdruk van 10 N/cm<sup>2</sup>. Reken uit hoe hard de lucht de zuignap tegen de ruit aanduwt.

*Uitwerking:* Gebruik de vorm van de formule waarmee je de kracht kunt uitrekenen. De gegevens staan al in de juiste eenheden dus die kun je zo invullen.

Formule invullen:  $F = p \cdot A = 10 \text{ N/cm}^2 \cdot 12 \text{ cm}^2 = 120 \text{ N}$

Denk er weer om dat je een volledig antwoord geeft, dus met een grootte, een waarde en een eenheid.

Let op: in een situatie met een drukverschil tussen binnendruk en buitendruk kun deze formule ook gebruiken. Je vult dan dit **drukverschil** in voor de p. Zie het voorbeeld op de volgende bladzijde.



Figuur 43: De luchtdruk p kun je je voorstellen als miljarden kleine krachtjes (de paarse pijltjes) die bij elkaar een grote kracht F lijken te vormen (de oranje pijl) op een oppervlak met grootte A.



Voorbeeld 4: Later heb je een zuignap maar je duwt niet alle lucht er onder uit waardoor er een binnendruk van  $3,7 \text{ N/cm}^2$  onder de zuignap blijft heersen. De buitendruk is weer  $10 \text{ N/cm}^2$ . Reken uit met welke kracht de zuignap nu tegen de ruit wordt geduwd.

*Uitwerking:* In dit voorbeeld moet je een tussenstap zetten voordat je de drukformule kunt gebruiken. Je moet namelijk eerst het drukverschil bepalen.

*Tussenstap:* de buitendruk is  $10 \text{ N/cm}^2$  en de binnendruk is  $3,7 \text{ N/cm}^2$ , dus het drukverschil is  $6,3 \text{ N/cm}^2$ . Dit drukverschil vullen we in voor  $p$  in de formule.

Formule invullen:  $F = p \cdot A = 6,3 \text{ N/cm}^2 \cdot 12 \text{ cm}^2 = 63 \text{ N}$

De zuignap wordt nu dus netto minder hard tegen de glazen ruit aangedrukt omdat er nog lucht onder de zuignap is die terugduwt.



Voorbeeld 5: Je neemt een fietspomp en je houdt het ventiel met je vinger dicht. Je duwt de zuiger met het handvat zo ver mogelijk naar beneden zodat er nog net geen lucht ontsnapt. De zuiger in de pomp heeft een oppervlak van  $40 \text{ cm}^2$  en je duwt met een kracht van  $50 \text{ N}$  tegen het handvat. Wat is dan de overdruk in de pomp onder de zuiger die je veroorzaakt met deze kracht? En wat is de echte druk in de pomp?

*Uitwerking:* Je weet de kracht en het oppervlak, dus je kunt de extra druk die je met deze kracht veroorzaakt binnenin de pomp uitrekenen.

Formule invullen:  $p = \frac{F}{A} = \frac{50 \text{ N}}{40 \text{ cm}^2} = 1,2 \text{ N/cm}^2$

*Eindantwoord:* deze overdruk komt bovenop de normale druk ( $10 \text{ N/cm}^2$ ) die binnen en buiten de pomp heerst als je er niet tegen het handvat duwt. De totale druk in de pomp is dan dus  $11,2 \text{ N/cm}^2$ . De overdruk is de waarde die de drukmeter op de pomp aangeeft.

Voorbeeld 6: Je wilt een telefoonhouder met een zuignap gebruiken om je telefoon aan de voorruit van je auto vast te maken. Om de telefoon te dragen moet de zuignap minstens met een kracht van  $125 \text{ N}$  tegen de ruit geduwd worden door de luchtdruk. Onder de zuignap heerst nog een druk van  $1,6 \text{ N/cm}^2$ . Welk oppervlak moet de zuignap minstens hebben zodat deze je telefoon kan dragen? Ga uit van de normale buitendruk op zeeniveau.



*Uitwerking:* Voordat je de eindberekening maakt met de drukformule reken je als tussenstap eerst het drukverschil uit:  $10 \text{ N/cm}^2 - 1,6 \text{ N/cm}^2 = 8,4 \text{ N/cm}^2$ . Dit drukverschil vul je in in de drukformule, samen met de kracht. Om de oppervlakte uit te rekenen gebruik je de formule in de daarvoor geschikte vorm:

Formule invullen:  $A = \frac{F}{p} = \frac{125 \text{ N}}{8,4 \text{ N/cm}^2} = 14,9 \text{ cm}^2$

De drukformule is de drie-letterformule die hoort bij dit hoofdstuk. Let er op dat je bij rekenopgaven over luchtdruk vaak eerst als tussenstap het drukverschil moet uitrekenen. Alleen als een binnendruk nul is (zie voorbeeld 3) kun je de buitendruk rechtstreeks in de drukformule invullen. Voor rekenopgaven over luchtdruk kun je ook prima het driestappenplan uit paragraaf 8 van hoofdstuk 1 gebruiken.



# Oefenopgaven bij §4

## A. Basisopgaven om te kijken of je de stof snapt

4. Bekijk de vijf rekenvoorbeelden in deze paragraaf. Bedek de uitwerkingen en maak deze voorbeelden alsof het opgaven zijn. Schrijf ze ook zo op in je schrift.

5. Je hebt een zuignap met een oppervlak van  $20 \text{ cm}^2$  tegen de koelkastdeur gedrukt. Onder deze zuignap heerst vacuüm. Bereken de kracht waarmee de zuignap tegen de koelkastdeur gedrukt wordt. Ga uit van een buitendruk van  $10 \text{ N/cm}^2$ .

6. Om jam langer houdbaar te maken kun je deze in een glazen potje onder lage druk stoppen zoals in de afbeelding. S.t.el, van een bepaald potje is de druk onder het deksel  $1,2 \text{ N/cm}^2$ . De buitendruk die dag is  $10,1 \text{ N/cm}^2$ .

Reken uit wat het drukverschil is.

Het oppervlak van het deksel is  $35 \text{ cm}^2$ . Bereken de kracht waarmee het tegen de pot wordt aangedrukt.

7. Er bestaan speciale zuignappen om glazen platen mee op te tillen. Deze zuignappen moeten minstens een kracht van  $200 \text{ N}$  kunnen leveren. Ga in deze opgave uit van een buitendruk van  $10 \text{ N/cm}^2$ .

- a. Onder zuignap A heerst een druk van  $1,6 \text{ N/cm}^2$ . Deze zuignap heeft een oppervlak van  $32 \text{ cm}^2$ . Bereken de kracht die de zuignap uitoefent op de ruit.
- b. Onder zuignap B heerst ook een druk van  $1,6 \text{ N/cm}^2$ . Deze zuignap is precies groot genoeg om de benodigde kracht te kunnen leveren. Reken uit wat het oppervlak van deze zuignap is.
- c. Zuignap C kan ook precies  $200 \text{ N}$  leveren en heeft een oppervlak van  $50 \text{ cm}^2$ . Reken uit wat de binnendruk onder deze zuignap is.

8. In de tekst van deze paragraaf staat dat de luchtdruk op zeeniveau ongeveer  $10 \text{ N/cm}^2$  is. Dit komt overeen met  $100 \text{ kPa}$ . Kijk in de figuur hiernaast. Geef de luchtdruk op deze hoogten. Gebruik je geodriehoek om nauwkeurig af te lezen.

- a.  $5 \text{ km}$
- b.  $10 \text{ km}$
- c.  $20 \text{ km}$

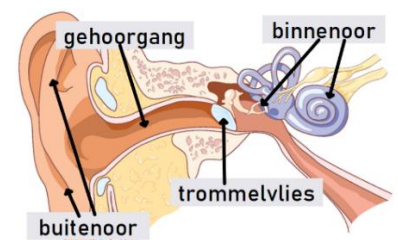
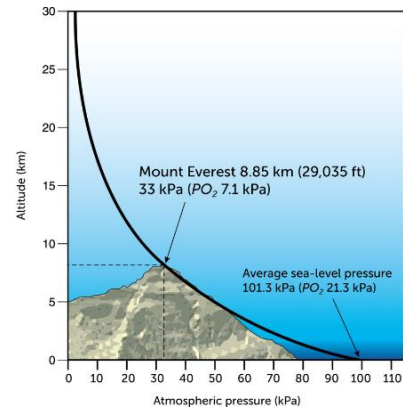
9. Bekijk de afbeelding van een drukmeter hiernaast. Lees de drukmeter af en schrijf de waarde compleet op, inclusief grootheid en eenheid. De meter geeft de druk in bar. Reken de waarde om naar  $\text{N/cm}^2$  en schrijf deze weer compleet op.

10. Luchtdruk kan aan voorwerpen stevigheid geven. Noem drie voorwerpen die hun stevigheid te danken hebben aan luchtdruk.

11. Bekijk afbeelding X. Je hebt een zak chips gekocht en bent toen een eind de bergen in gereden. Je bevindt je nu op een hoogte van  $2000 \text{ meter}$  en je haalt de zak chips uit je rugzak. Deze is helemaal bol komen te staan. Leg uit hoe dit kan.

12. Bekijk de schematische afbeelding van je oor in afbeelding. Het trommelvlies is een luchtdichte barrière tussen je buitenoer en je binnenoer. Als er drukverschil is tussen je binnenoer en je buitenoer staat het trommelvlies bol, wat pijnlijk kan zijn.

- a. Leg uit welke kant op het trommelvlies doorbuigt als je met de auto een berg oprijdt.
- b. In het vliegtuig kunnen je oren ook pijn gaan doen bij het opstijgen. Leg uit hoe dit komt.



## B. Extra oefenen met de basis voor een ruime voldoende

13. Je pompt je fietsband op met een pomp die ook een drukmeter heeft. De drukmeter van de pomp geeft de overdruk in de band t.o.v. de druk buiten de band aan. De luchtdruk om je heen is op die dag  $10 \text{ N/cm}^2$ . Beantwoord deze vragen:

- Welke druk heerst in de band als de drukmeter aangeeft  $p = 15 \text{ N/cm}^2$ ?
- Als er een druk van  $46 \text{ N/cm}^2$  in de band heerst, welke waarde geeft de drukmeter dan aan?
- Meestal geeft zo'n drukmeter de overdruk in de band aan in de eenheid bar. Welke waarde geeft de meter aan als de druk in de band drie keer zo groot is als de buitendruk?



14. Je drukt een zuignap met haakje met haakje op een tegelwand zodat de luchtdruk onder de zuignap nul is. Buiten de zuignap heerst een druk van  $10,2 \text{ N/cm}^2$ . De oppervlakte van de zuignap is  $16 \text{ cm}^2$ .

- Bereken met hoeveel kracht de zuignap tegen de tegelwand wordt aangedrukt.
- Je wilt een zuignap met haakje kopen dat minstens  $25 \text{ N}$  kan leveren aan kracht. Reken uit hoe groot de oppervlakte van deze zuignap minstens moet zijn.

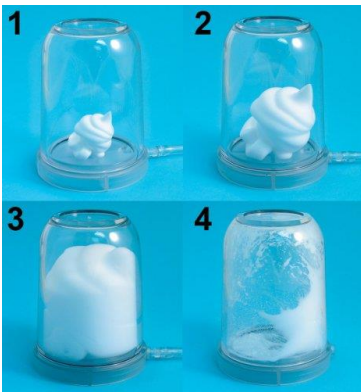
15. In een cilinder zoals op de afbeelding hieronder zit lucht met een druk van  $18 \text{ N/cm}^2$ . De zuiger in de cilinder heeft een oppervlak van  $28 \text{ cm}^2$ . De luchtdruk buiten de cilinder is  $10 \text{ N/cm}^2$ .

- Reken uit met hoeveel kracht de lucht van binnenuit tegen de zuiger aanduwt.
- Reken uit met hoeveel kracht de lucht buiten de cilinder tegen de zuiger aanduwt.



16. Bekijk de afbeelding van een hoeveelheid scheerschuim onder een vacuümschijf hiernaast. Het schuim bestaat uit water met veel kleine luchtbelletjes erin. Als je de lucht onder de schijf wegpomp zwelt het schuim enorm op. Leg uit hoe dat komt.

17. Als je fietsband is leeggelopen, heerst er dan vacuum in je band? Wat wordt hier bedoeld met "leeg"? En welke druk heerst er in een lekke fietsband?



## C. Moeilijke opgaven als je gaat voor een hoog cijfer

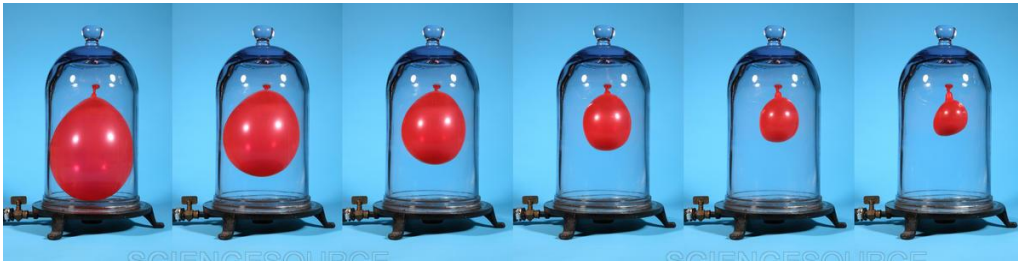
18. In de afbeelding hiernaast zie je een model van de longen dat in een flesje ingebouwd is. De rode ballonnetjes stellen de longen voor. Het blauwe rubberen vlies waar je met je hand aan trekt is een spier in je buikholte: het middenrif. In dit model zit de dop op de fles zodat er geen lucht de ballonnetjes in of uit kan stromen.

- Leg uit wat er gebeurt als je zoals in de afbeelding aan het middenrif trekt.
- Stel dat de dop niet op de fles had gezeten. Wat was er dan gebeurd als je het middenrif omlaag trekt?

19. Je drukt een zuignap met haakje met haakje op een tegelwand zodat de luchtdruk onder de zuignap nul is. Buiten de zuignap heerst een druk van  $10,2 \text{ N/cm}^2$ . De oppervlakte van de zuignap is  $16 \text{ cm}^2$ .

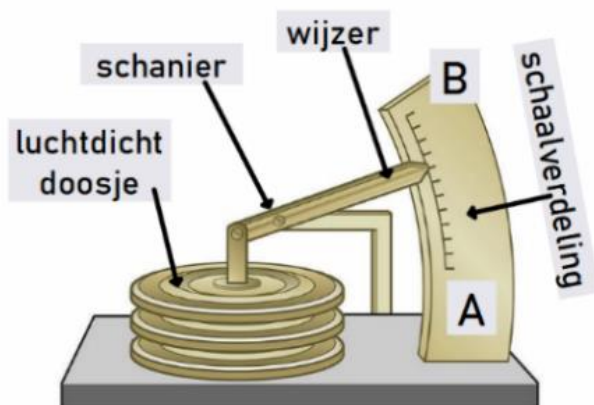
- Bereken met hoeveel kracht de zuignap tegen de tegelwand wordt aangedrukt en reken ook uit hoeveel massa de zuignap dan zou moeten kunnen dragen.
- Je wilt een zuignap met haakje kopen dat minstens een massa van  $2,5 \text{ kg}$  kan dragen. Reken uit hoe groot de oppervlakte van deze zuignap minstens moet zijn.

20. Bekijk de serie foto's in afbeelding hieronder. Dit is een *dichtgeknoopte* ballon onder een vacuümstolp. Stel de foto's zijn van links naar rechts in de tijd genomen. Dus de linkerfoto is als eerste genomen en de meest rechterfoto als laatste. Lief hier lucht de *stolp* in of uit?

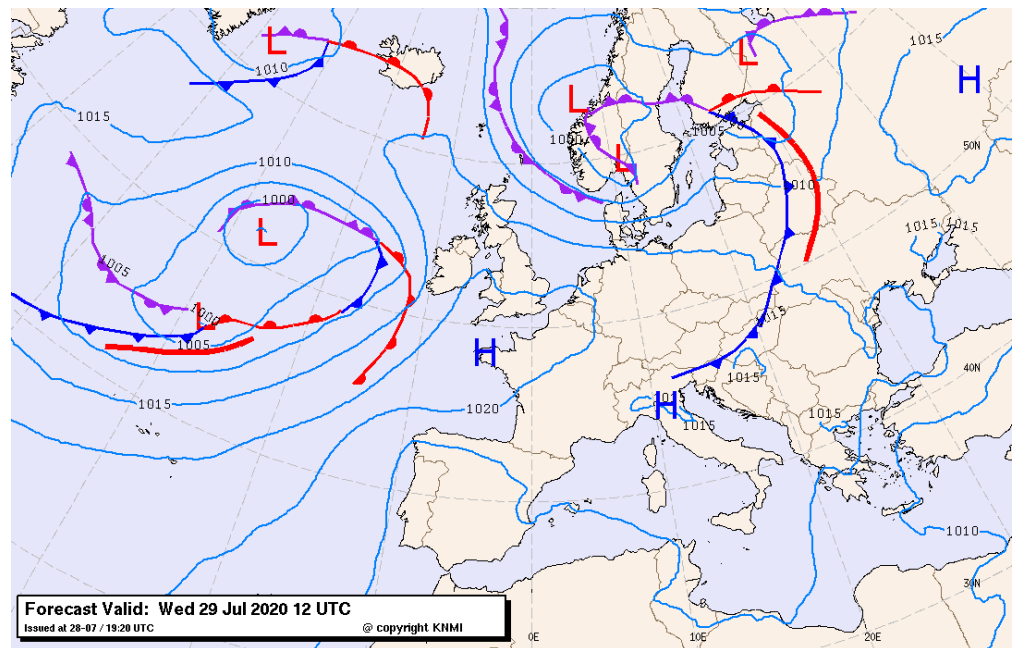


21. Bekijk de afbeelding hieronder. Je ziet hier een schematische tekening van een barometer. Dit is een apparaat waarmee je druk kunt meten.

- Leg uit hoe de barometer werkt. Begin je uitleg bijvoorbeeld met: "Als de druk buiten het doosje toeneemt, dan...".
- Leg uit of de hoogste druk op de schaalverdeling bij punt A of bij punt B staat.



22. Bekijk de weerkaart van 29 Juli 2020. Je ziet waar de hogedrukgebieden en lagedrukgebieden die dag hingen boven Europa. Voorspel in welke richting de wind in Nederland woei die dag.



23. In de afbeelding hieronder zie je een oude tekening van een duikerklok. Zulke duikklokken bestaan uit een soort omgekeerde emmer die onder water wordt gelaten aan een touw vanaf een schip. Een paar zware gewichten onderaan zorgen dat de klok met de opening naar beneden gericht blijft. Een duikerklok kon gebruikt worden om onderzoek aan de bodem uit te voeren als de duikers langer onder water wilden blijven.

- Leg uit waarom er geen water in het zitgedeelte van de klok komt.
- Bereken waarom de duikers niet oneindig lang onder water konden blijven op deze manier.
- Bekijk afbeeldingen van duikerklokken op internet en leg uit welke oplossing moderne klokken tegen dit probleem hebben.

