

## LPD 26 De leerlingen illustreren de wet van Archimedes in sport- en bewegingssituaties.

Samenhang tweede graad: II-Nat-da LPD 23

- ✓ De Archimedeskracht wordt vectorieel behandeld.
- ✓ Voorbeelden van sport- of bewegingssituaties die je kan bestuderen:
  - het drijfvermogen van een zwemmer;
  - de weging van een persoon onder water (om bv. het vetgehalte te bepalen);
  - het gebruik van een loodgordel bij duikers om te zinken en van hun trimvest om op dezelfde diepte te blijven of om terug op te stijgen;
  - de invloed van in- en uitademen op je drijfvermogen.
- ✓ Het aangrijpingspunt van de Archimedeskracht valt niet altijd samen met het zwaartepunt, met eventueel een rotatie tot gevolg. Dit is van belang bij de bestudering van de stabiliteit van boten (bv. kajak, gebruik van zwaard bij zeilboten) of bij aquagym.

Hier en daar zie je een kwantitatieve benadering. Deze is niet bedoeld voor leerlingen in een DA-finaliteit. Ze is bedoeld als achtergrond voor de leraren, om het volledige plaatje te kunnen begrijpen.

## De Archimedeskracht

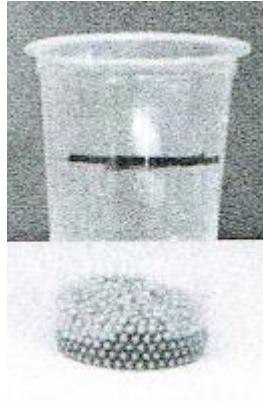
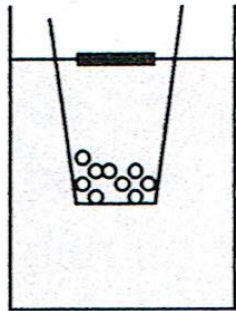
- In een zwembad lijkt je minder te wegen.
  - Om een drankbekertje gedeeltelijk onder water te houden, moet je een kracht uitoefenen.
- ⇒ Een vloeistof oefent een opwaartse kracht uit op een ondergedompeld voorwerp.  
Deze kracht noemen we de Archimedeskracht ( $F_A$ )



## De grootte van de Archimedeskracht

Een bekertje met ballast (loodkorreltjes of zand) drijft met merkstreep ter hoogte van het wateroppervlak.

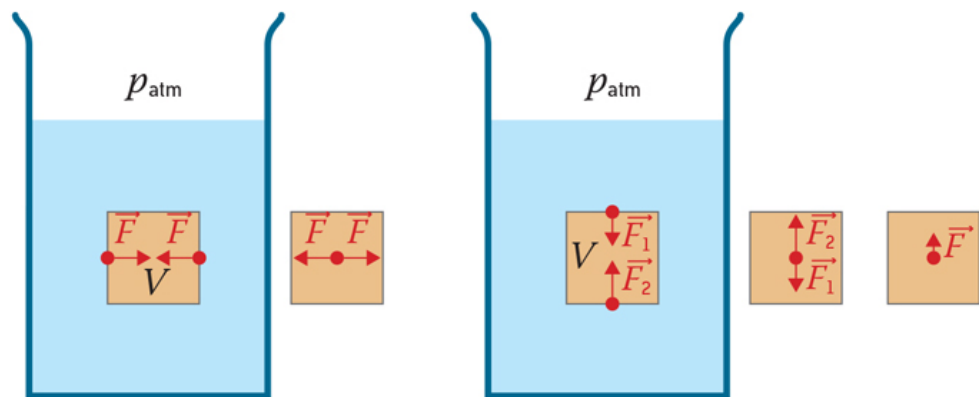
- Bepaal de massa met een balans.
- Giet de ballast uit het bekertje.
- Plaats het bekertje vervolgens op de balans, en giet er water bij tot de balans terug dezelfde waarde aangeeft.
- Je merkt dat het bekertje even hoog in het water drijft (dus aan het merkstreepje).



Besluit: Een voorwerp dat wordt ondergedompeld in een vloeistof, ondervindt een opwaartse kracht die even groot is als het gewicht van het volume verplaatste vloeistof.

In formulevorm:  $F_A = G_{\text{verpl.vl.}} = m_{\text{verpl.vl.}} \cdot g = \rho_{\text{vl.}} \cdot V_{\text{verpl.vl.}} \cdot g$

Verklaring:



Een (kubusvormig) voorwerp ondervindt als gevolg van de hydrostatische druk

- een even grote kracht op het linker- als op het rechtervlak  $\Rightarrow F_{\text{res}} = 0$
- een even grote kracht op het voor- als op het achtervlak  $\Rightarrow F_{\text{res}} = 0$
- een resulterende opwaartse kracht ( $F$ ) aangezien de kracht  $F_2$  op het benedenvlak groter is dan de kracht  $F_1$  op het bovenzvlak

Samengevat: de Archimedeskracht is een gevolg van het verschil in hydrostatische druk onderaan in vergelijking met bovenaan.

Opmerking: de wet van Archimedes is ook geldig voor gassen.

Een voorwerp dat zich in een gas bevindt, ondervindt een opwaartse kracht die even groot is als het gewicht van het verplaatste volume gas.

Vermits de massadichtheid van een gas heel klein, zie je dat maar duidelijk bij voorwerpen met een heel kleine massadichtheid, zoals een ballon met Helium gevuld, een hete luchtballon, een Zeppelin.



### Zinken, zweven, stijgen en drijven

Experiment: wat gebeurt er met

- Cu, Fe, Al in water? .....
- kurk in water? .....
- paraffine in een alcohol/water-mengsel? .....

(Door het gepaste mengsel van alcohol/water kan je een paraffineblokje doen zweven.)

Verklaring: op een ondergedompeld lichaam werken 2 krachten:

- de zwaartekracht:

$$F_z = m_{vwp} \cdot g = \rho_{vwp} \cdot V_{vwp} \cdot g$$

- de opwaartse stuwkracht:

$$F_A = G_{verpl.vl} = m_{verpl.vl} \cdot g = \rho_{vl} \cdot V_{verpl.vl} \cdot g$$

Dompelen we nu even grote lichamen uit verschillende stoffen gemaakt in eenzelfde vloeistof onder, dan kunnen zich 3 gevallen voordoen:

- zinken;
- zweven;
- stijgen en drijven.

**Zinken:** als  $F_Z > F_A$

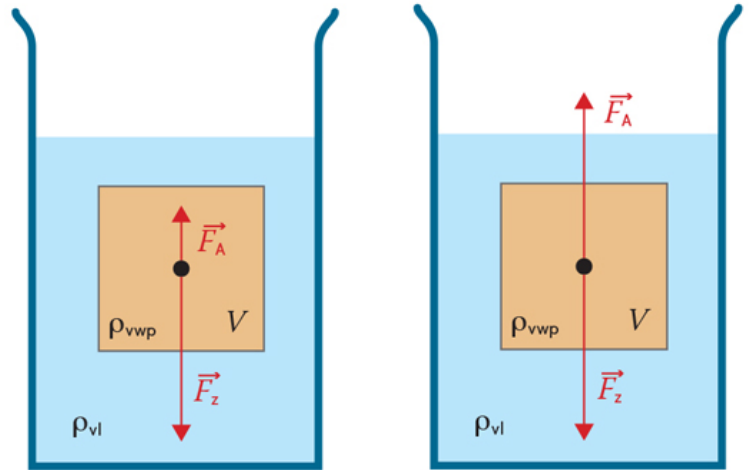
$$\Rightarrow \rho_{vwp} \cdot V_{vwp} \cdot g > \rho_{vl} \cdot V_{verpl.vl.} \cdot g$$

$$\Rightarrow \rho_{vwp} > \rho_{vl}$$

**Zweven:** als  $F_Z = F_A$

$$\Rightarrow \rho_{vwp} \cdot V_{vwp} \cdot g = \rho_{vl} \cdot V_{verpl.vl.} \cdot g$$

$$\Rightarrow \rho_{vwp} = \rho_{vl}$$



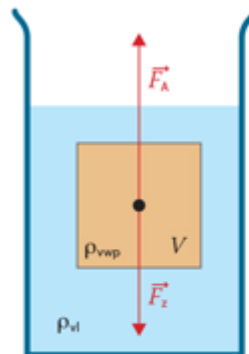
**Stijgen en drijven:**

a) stijgen

Als  $F_Z < F_A$

$$\Rightarrow \rho_{vwp} \cdot V_{vwp} \cdot g < \rho_{vl} \cdot V_{verpl.vl.} \cdot g$$

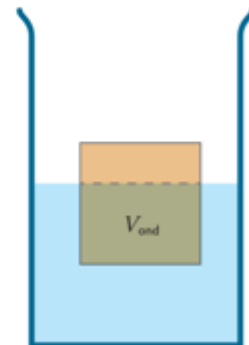
$$\Rightarrow \rho_{vwp} < \rho_{vl}$$



b) drijven

als het lichaam aan de oppervlakte komt wordt het ondergedompeld deel kleiner en wordt  $F_A$  kleiner.

Op een bepaald moment treedt er evenwicht in en is  $F_A' = F_Z$



**Besluit:** of een voorwerp gaat zinken, zweven, stijgen/drijven wordt bepaald door de massadichtheid van het voorwerp in vergelijking met de massadichtheid van de vloeistof.

Illustratie 1:

Het zoutgehalte van de Dode Zee is zo groot dat het een grotere massadichtheid heeft dan het menselijk lichaam, waardoor je drijft.

[Travel Video - Floating in the Dead Sea - Swimming in the Dead Sea in Israël - YouTube](#)



## Illustratie 2:

Een blik Cola gaat zinken in water. Een blik Cola Zero gaat niet zinken. In Cola Zero gebruikt men een kunstmatige zoetstof i.p.v. suiker, waarvan men er minder nodig heeft. Daarom heeft Cola Zero een kleinere massadichtheid dan gewone Cola.

Zie [Is Cola Light ook echt lichter dan gewone Cola? - YouTube](#)

Extra proef: om aan te tonen dat het gaat om de massadichtheid en niet om de massa neem je twee blikjes Cola Zero en maak je ze aan elkaar vast met een elastiek. Ook dan zal de Cola Zero drijven.

## Bewegen onder water

[Natuurkunde.nl - De Natuurkunde van de Duiksport](#)

De massadichtheid van het menselijk lichaam is net een beetje groter dan die van zeewater. Een duiker ondervindt daardoor van het water een opwaartse kracht die bijna even groot is als de zwaartekracht. Als de zwaartekracht bv. 800 N is, dan is de opwaartse kracht 790 N en blijft er maar 10 N over. Je hebt onder water een kracht van slechts 10 N nodig om 80 kg op te tillen. Dat betekent dat de duiker gemakkelijk in het water kan “zweven” maar ook dat lopen over de zeebodem nauwelijks mogelijk is. Als je op de bodem staat is de kracht van de bodem op jouw voeten zo klein, dat je je niet effectief kan afzetten. Bovendien is de weerstand die je van het water ondervindt veel groter dan wat je aan luchtrijving gewend bent. Als je je onder water wilt verplaatsen, kan je dat nog het beste zwemmend doen.

Soms nemen duikers extra gewichten mee om in het water snel te kunnen afdalen. Dit gebeurt dan met een loodgordel. Het uitvoeren van werkzaamheden onder water (b.v. het hanteren van een hamer) is vanwege de opwaartse kracht en de grotere wrijving veel moeilijker dan op land.

De loodgordels maakt men vast aan het trimvest. Het trimvest bevat reservoirs die je via de zuurstoffles kan vullen, om terug naar boven te kunnen stijgen.

### Samengevat:

- met de loodgordel maak je je massadichtheid groter om te kunnen zinken;
- door het trimvest te vullen met gas, maak je je massadichtheid kleiner om terug te kunnen opstijgen.



## Drijfvermogen van een zwemmer

Wedstrijdzwemmers dragen neopreen zwemshorts en tri-atleten zelfs volledige pakken in neopreen.

Neopreen is een kunstmatige vorm van rubber. Zeker bij een volledig pak is je gemiddelde massadichtheid iets kleiner, waardoor je iets hoger in het water ligt. Het neopreen zorgt dus voor een kleine extra Archimedeskracht.

Als het gaat om enkel een short krijg je extra drijfvermogen ter hoogte van het middel en de bovenbenen. Dit zorgt ervoor dat je benen iets minder zakken en je lichaam mooi horizontaal in het water ligt.

Dit is ook heel interessant om bij het trainen de techniek van de armen beter te oefenen. Door de extra Archimedeskracht ter hoogte van middel en benen, kan je je aandacht focussen op je armen om zo je armtechniek te verbeteren.

[Werkt die neopreen zwemshort? \(het staat natuurlijk fantastisch, maar toch\) - Vahalis Triathlon](#)

## Vetgehalte bepalen via hydrostatische weging

Een meer geavanceerde methode om je vetpercentage te meten is de hydrostatische weging. Hydrostatische weging wordt ook wel onderwater weging genoemd.

Bij een onderwater weging meet je je gewicht in een speciale waterbak. Dat onderwater gewicht wordt vergeleken met je normale gewicht (buiten de waterbak).

Botten en spierweefsel wegen zwaarder dan water.

Vet daarentegen weegt minder dan water. Een persoon met een hoog percentage vetvrije massa (spieren, botten, etc) weegt daarom zwaarder in een watertank, dan een persoon met een hoog vetpercentage.

Het nadeel van deze methode is dat het vrij prijzig is. Tevens is het niet overal mogelijk.



Bron: [Vetpercentage meten? Lees hier de 6 manieren! \(+vetpercentage tabel\)](#) ([improvefitness.nl](http://improvefitness.nl))

## Stabiliteit van een schip

Onderstaande scans zijn afkomstig uit Algemene Natuurkunde, 2 Fluida, A. Depover e.a., D/1980/0041/15, ISBN 90 264 6351 0

### 2.6.4 Evenwicht van drijvende lichamen

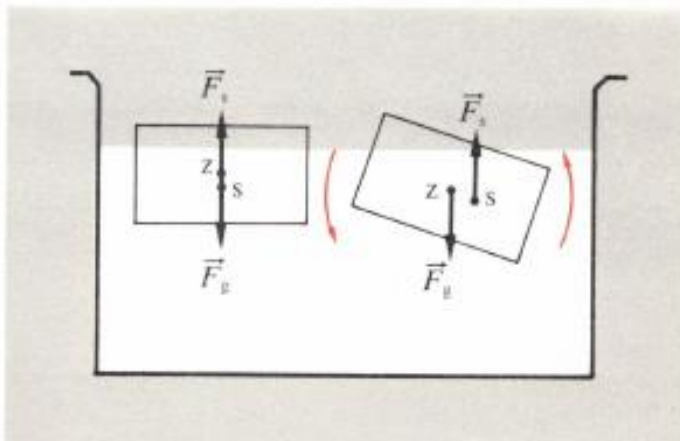
a.  $\triangle$  *Proef* : Een houten blokje van willekeurige vorm wordt in een bak water geplaatst. We gaan na, in welke standen het in evenwicht blijft.

*Waarneming* : Slechts bij welbepaalde standen is het blokje in evenwicht.

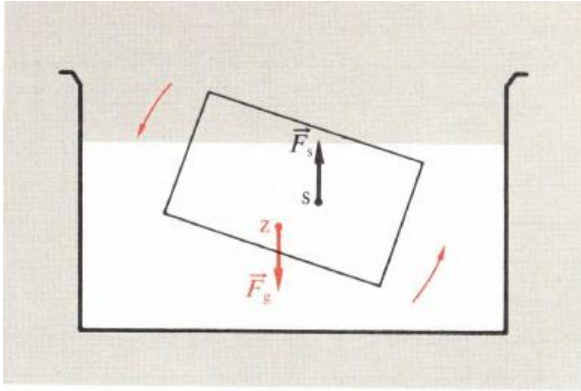
*Verklaring* : Op het blokje werken twee krachten : de stuwkracht  $\vec{F}_s$  die aangrijpt in het zwaartepunt van de verplaatste vloeistof (stuwpunt of perspunt) en de zwaartekracht  $\vec{F}_g$  die aangrijpt in het zwaartepunt van het lichaam (*Fig. 2.6-6*). Wordt de stand van het lichaam gewijzigd, dan verandert ook het stuwpunt en het zwaartepunt van plaats. Slechts wanneer  $z$  en  $s$  op dezelfde verticale liggen zal het blokje in evenwicht zijn. Er kunnen hier echter verschillende gevallen onderscheiden worden.

#### b. Evenwichtstoestanden bij drijvende lichamen

De vaartuigen, die in de praktijk worden gebruikt, zijn



2.6 - 6 Evenwicht van een drijvend lichaam



2.6 - 7 Stabiel evenwicht bij een drijvend lichaam

over het algemeen geen homogene lichamen. Bovendien speelt de lading een grote rol. Het is belangrijk, dat we hier ook de verschillende evenwichtsmogelijkheden kennen.

1° Eenvoudigste geval : Ligt het zwaartepunt onder het stuwpunt, dan is het lichaam in stabiel evenwicht (Fig. 2.6-7).

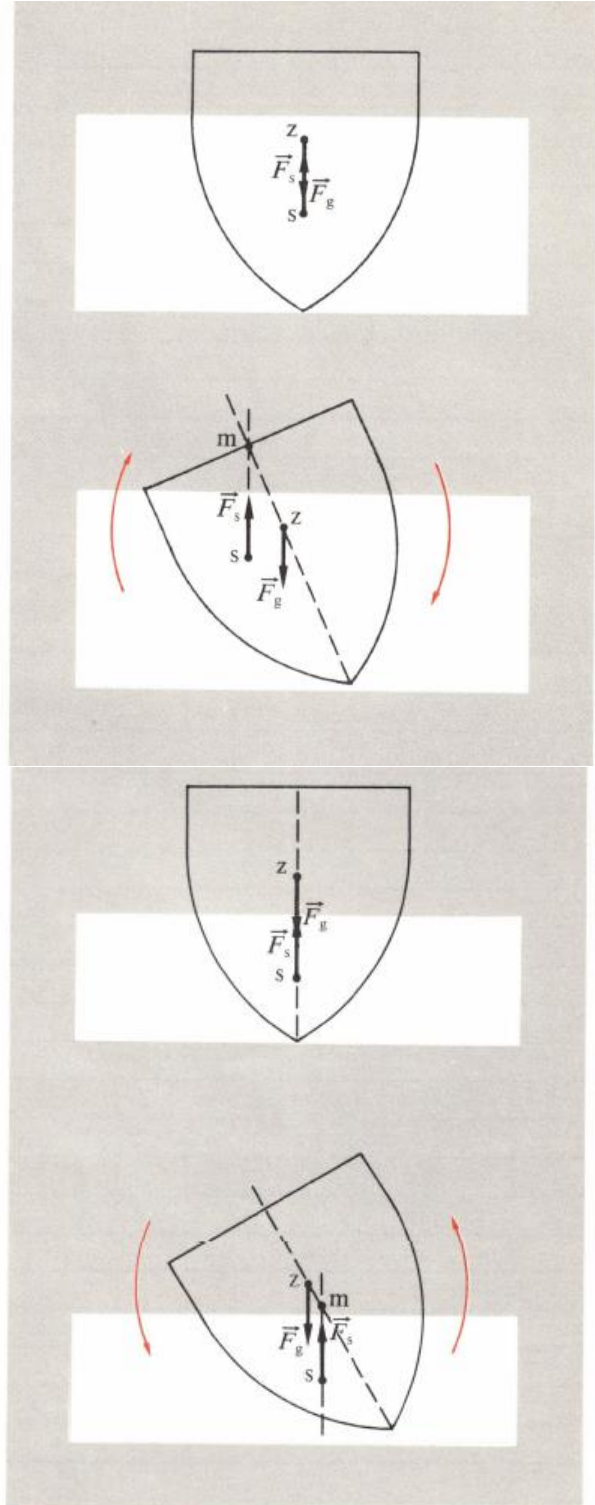
Dit is normaal het geval bij een schip, dat zwaar geladen is en waarbij de zware goederen (en de motoren!) helemaal onderaan in het ruim zitten. Er ontstaat dan een koppel van krachten ( $\vec{F}_g$ ,  $\vec{F}_s$ ), dat het schip naar zijn stand terug drijft.

2° Algemeen geval : Het drijvende lichaam, meestal een boot of een schip, is onderworpen aan twee krachten :  
 — De opwaartse stuwkracht  $\vec{F}_s$ , die afhangt van de verplaatste hoeveelheid vloeistof en waarvan het aangrijpingspunt, het stuwpunt, het meetkundig zwaartepunt is van het ondergedompelde deel.

— De zwaartekracht  $\vec{F}_g$ , die aangrijpt in het zwaartepunt van het geheel 'schip, lading en toebehoren', en dat een zeer moeilijk te definiëren punt is dat verandert door allerlei factoren (o.a. door de manier, waarop de goederen gestapeld zijn, de stand van het schip...).

Op het eerste gezicht zou men kunnen denken, dat een schip, dat 'hoog' in het water ligt, en waarbij het zwaartepunt dus hoger dan het perspunt ligt, bij de minste slagzij helemaal zal kapseizen. Als we aandachtig fig. 2.6-6 bekijken, zien we dat dit niet noodzakelijk zo is. Alles hangt ervan af, hoe het krachtenkoppel ( $\vec{F}_g$ ,  $\vec{F}_s$ ) zich gedraagt. Bestuderen we dit even aan de hand van figuren (Fig. 2.6-8 a, b, c en d).

Evenwichtsvoorwaarde is natuurlijk, dat ( $\vec{F}_g$ ,  $\vec{F}_s$ ) geen



2.6 - 8 a, b, c, d Mogelijke evenwichtsstanden bij een drijvend schip



koppel vormen; bijgevolg moeten, bij het evenwicht,  $z$  en  $s$  zich op dezelfde verticaal bevinden. Bij een schip, zelfs als het op een kalme zee vaart, wordt deze stand slechts af en toe ingenomen. *Alles hangt er nu van af, hoe het schip zich bij het verlaten van deze stand zal gedragen.*

— Daar het perspunt het meetkundig zwaartepunt is van het ondergedompeld deel, zal tijdens het slingeren dit meetkundig punt steeds van plaats veranderen. Het zwaartepunt van schip en toebehoren heeft ten opzichte van het schip een vaste stand (zolang niet teveel goederen gaan rondslingeren en alles voldoende is vastgesjord!).

— Bij *fig. 2.6-8 a* is het schip in een evenwichtsstand. Het zwaartepunt ligt boven het perspunt; beide liggen op één verticaal.

— Bij *fig. 2.6-8 b* heeft het schip een andere stand ingenomen. Het perspunt is veranderd, en de verticaal door het zwaartepunt (beschouwd ten opzichte van het schip) heeft nu ten opzichte van het water een schuine stand ingenomen. We merken eerst op, dat volgens de figuur er een krachtenkoppel ontstaat,  $(\vec{F}_s, \vec{F}_g)$  dat het schip naar zijn oorspronkelijke stand teruggedrijft. We zien ook, *dat de verticaal door  $s$  en de verticaal door  $z$  elkaar snijden in een welbepaald punt, het METACENTRUM  $m$ , DAT BOVEN  $z$  LIGT.* Het evenwicht is (meta) stabiel.

— Bij *fig. 2.6-8 c* ligt het geladen schip 'te hoog'. Inderdaad, in *fig. 2.6-8 d* zien we wat er gebeurt, als de evenwichtsstand verlaten wordt: het krachtenkoppel  $(\vec{F}_g, \vec{F}_s)$  doet het schip nu helemaal kapseizen. Het metacentrum ligt nu onder het zwaartepunt. Het evenwicht is labiel.

Samenvattend kunnen we zeggen :

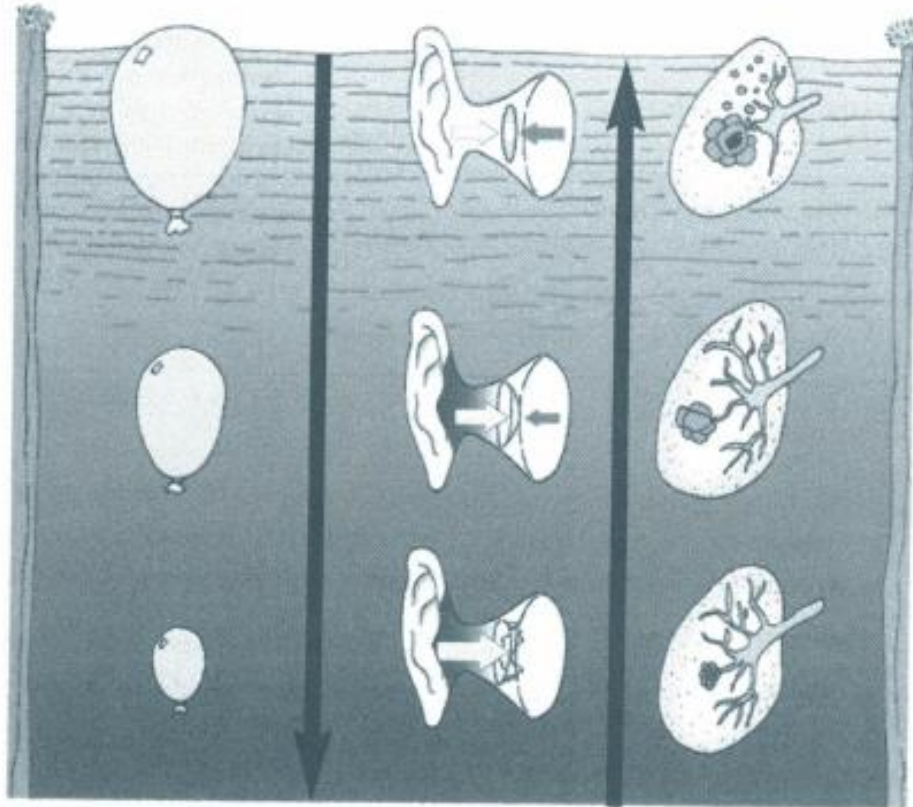
Bij een drijvend lichaam hebben we een evenwichtstoestand, als het zwaartepunt en het perspunt op dezelfde verticaal liggen. Ligt het metacentrum hoger dan het zwaartepunt, dan is het evenwicht (meta)stabiel; ligt het metacentrum lager dan het zwaartepunt, dan is het evenwicht labiel.

Onderstaande scans hebben te maken met de gevaren van de duiksport, maar niets met de Archimedeskracht:

**DIEPZEEDUIKEN,  
HOE ONGEVALLLEN VERMIJDEN?**

Duikongevallen ontstaan door het verschil tussen de hydrostatische druk en de luchtdruk in sommige lichaamsholten (zoals het middenoor

en de longen). Ze zijn een gevolg van de wet van Boyle-Mariotte en kunnen zowel bij het opstijgen als het afdalen voorkomen.



## OORLETSELS

Het trommelvlies sluit het middenoor van de uitwendige gehoorgang af. Aan de andere kant wordt het middenoor via een nauw kanaal (de buis van Eustachius) verbonden met de neus-keelholte. Bij spreken, geeuwen, slikken of kauwen wordt de buis van Eustachius aan de kant van de mondholte even geopend. Zo ontstaat er drukevenwicht tussen de lucht in de keelholte en in het middenoor.

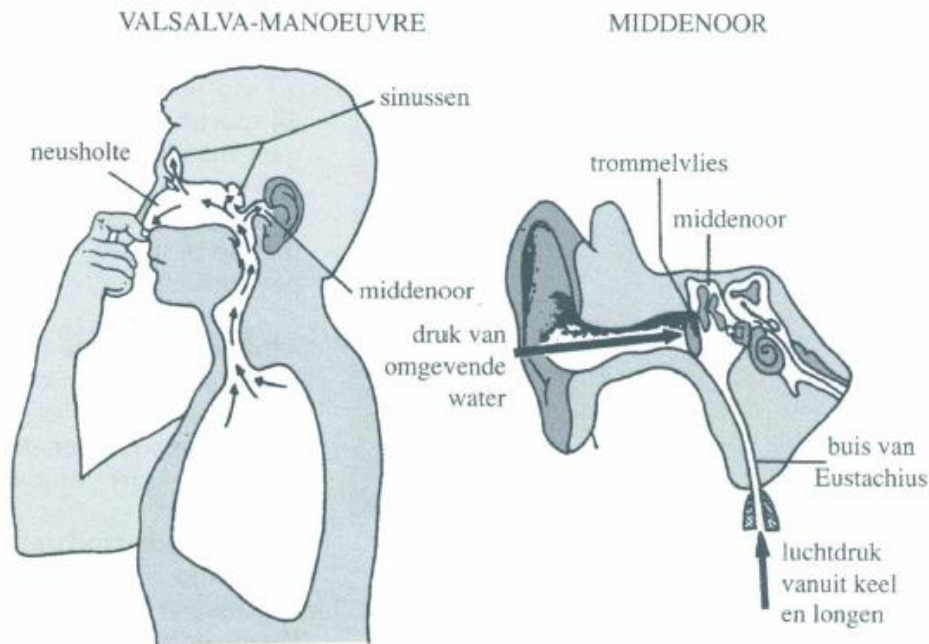
Als bij het duiken die buis van Eustachius niet wordt geopend (de duiker maakt geen kauwbewegingen tijdens het duiken) rekt het trommelvlies naar binnen toe uit. Kleine maar pijnlijke bloedingen kunnen er het gevolg van zijn.

Verwaarloost de duiker dit signaal en duikt hij toch dieper, dan kan het trommelvlies scheuren. Water stroomt dan het middenoor binnen en

door de plotselinge afkoeling wordt het nabije evenwichtsorgaan gestoord. De duiker weet dan niet meer wat onder of boven is.

Duikers vermijden dit door speciale technieken toe te passen. Met gesloten mond en dichtgeknepen neus perst hij de lucht in de neusholte samen. Onder die verhoogde druk opent de buis zich even waardoor de lucht in het middenoor binnenstroomt en het evenwicht zich herstelt. Dit heet 'equilibreren', of het klaren van de oren. In duikersjargon heeft men het over 'de Valsalva-manoeuvre' (figuur 10.12).

Bij het opstijgen gebeurt het omgekeerde. De uitwendige (dit is de hydrostatische) druk daalt en het middenoor gaat in overdruk, als de lucht niet via de buis van Eustachius ontsnapt. Gewoonlijk gebeurt dit automatisch, maar het kan voorvallen dat allebei de oren niet gelijktijdig hun overdruk kwijtraken. Met opnieuw evenwichtsstoornissen tot gevolg. Dit kan verholpen worden door trager op te stijgen.



## **OVERDRUK IN DE LONGEN**

Longoverdruk ontstaat wanneer bij het opstijgen de lucht uit de longen niet kan ontsnappen. (Bijvoorbeeld bij ongecontroleerd opstijgen in geval van een noodsituatie). Omdat de buitendruk vermindert zullen, volgens de wet van Boyle-Mariotte, de longen uitzetten. Longblaasjes kunnen dan scheuren, samen met de capillaire bloedvaten die eraan grenzen. Luchtbellen komen dan in de bloedbanen terecht en verstoppen eventueel kleine bloedvaten.

Dit wordt luchtembolie genoemd. Organen krijgen zo te weinig zuurstof. Verlamming, bewusteloosheid of zelfs hartstilstand kan dan optreden.

Bij het scheuren van het longvlies kan ook lucht in de borstkas terecht komen. De long zal dan ineenschrompelen. Gevolg: hevige pijn en zuurstoftekort.

Bij vlug stijgen neemt dus de uitwendige druk te vlug af. De lucht kan niet vlug genoeg uit de longen worden verwijderd.

## DECOMPRESSIE-ONGELUKKEN

Een decompressie-ongeluk kan tot een ernstige duikersziekte leiden. De oorzaak is de vorming van stikstofbelletjes in het lichaam. In tegenstelling met zuurstofgas, wordt stikstofgas door het menselijk lichaam niet verbruikt. Het stikstofgas wordt wel, vanuit de longen, door het hele lichaam heen getransporteerd en in de weefsels opgenomen tot het verzadigingspunt bereikt is.



11.13

Hoe dieper je duikt, hoe langer het duurt voor het weefsel zich van de opgehoopte hoeveelheid stikstofgas kan ontdoen.

Stijg je nu te vlug op, dan blijven de stikstofbellen in het weefsel. De gevormde stikstofbelletjes zullen volgens de wet van Boyle-Mariotte bij vlug opstijgen uitzetten, met als gevolg spierkramp, pijn in de gewrichten, ademnood, moeilijk horen en zien, bewusteloosheid. Vroeger werkten duikers hoofdzakelijk in een duikerklok (un caisson). Zo spreekt men nu nog van de 'caissonziekte'.

Een duiker met klachten die een 'deco-ongeluk' doen vermoeden, moet zo vlug mogelijk naar een hyperbare kamer overgebracht worden.

Daar wordt de druk geleidelijk weer opgevoerd, zodat het volume van de stikstofbelletjes opnieuw vermindert. Daarna zal de druk volgens welbepaalde schema's langzaam vermindert worden en krijgt het stikstofgas tijd om uit de weefsels te diffunderen.

Om dit te voorkomen duiken sportduikers binnen de zogenaamde *nultijd*. Dit betekent dat de planning voor een duik zo gemaakt wordt dat je op ieder moment van de duik naar de oppervlakte kunt terugkeren, zonder dat het nodig is om een stop te maken. Men spreekt van *duiken zonder decompressiestop*.

Naast sportduiken bestaan er nog professionele duikactiviteiten zoals bij de marine, voor onderzoek en 'technical diving'. In deze gevallen is er sprake van *decompressieduiken*. Hierbij nemen de duikers, door de duur en/of de diepte van de duik zoveel stikstof op dat decompressiestops absoluut noodzakelijk zijn. Zo moeten ze hun opstijging een aantal maal met een stop onderbreken.

Bij sportduiken, het duiken binnen de nultijd, gaat men niettemin een *veiligheidsstop* inlassen op een diepte van 5 meter gedurende 3 minuten. Daarenboven is het belangrijk niet te snel op te stijgen, nl. niet sneller dan 18 meter per minuut.

Afhankelijk van de diepte waarop een sportduiker duikt, beschikt hij over een zekere nultijd. Deze kan afgelezen worden op tabellen of aangegeven worden door een 'duikcomputer', die als een horloge om de pols wordt gedragen.

Gebeurt er dan toch iets onvoorziens, waardoor de nultijd overschreden wordt, dan moet de sportduiker een *nooddecompressie* uitvoeren. Wanneer hij de nultijd met 5 minuten of minder overschrijdt, dan dient de decompressiestop op 5 m diepte 8 minuten te duren. Als hij aan de oppervlakte komt mag hij gedurende de volgende 6 uren niet meer duiken. Wanneer de nultijd met meer dan 5 minuten overschreden wordt, dan is een decompressiestop op 5 meter van minimum 15 minuten aanbevolen, wanneer de luchtvoorraad dit toestaat. Hierna mag hij gedurende 24 uren niet meer duiken.

# De Archimedeskracht in sportsituaties

## 1. Inleiding

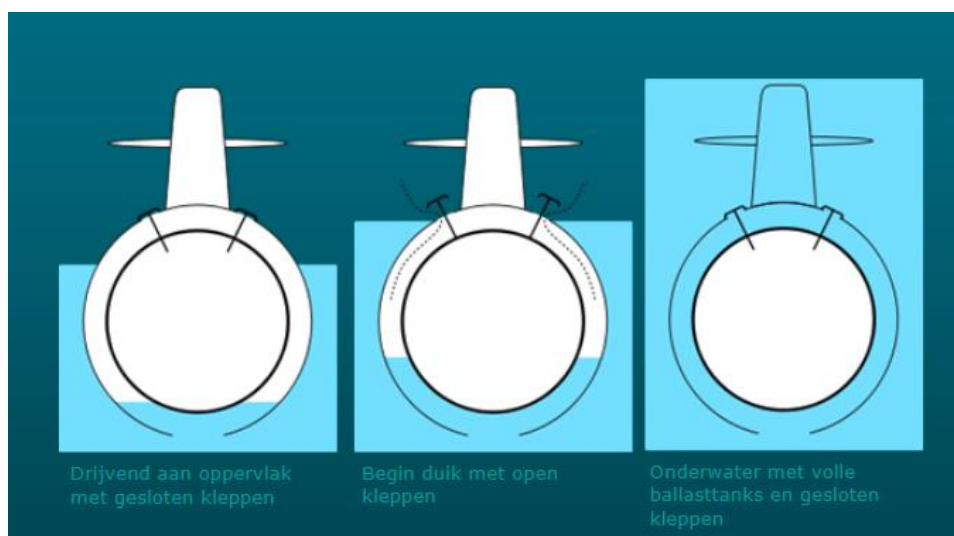
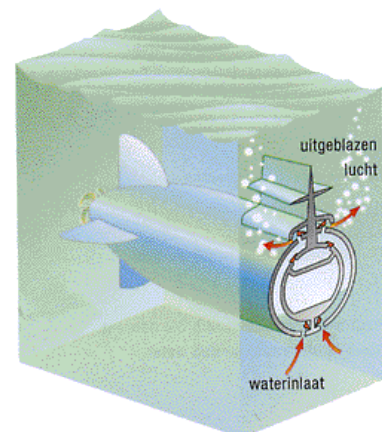
- Een kind, dat nog niet kan zwemmen, gebruikt een zwemband om op het water te blijven drijven.



- Een diepzeeduiker gebruik gewichten om te kunnen duiken.



- Een onderzeeër ondervindt een opwaartse kracht in het water. Om onder water te gaan worden zijn ballasttanks (= luchtkamers) gevuld met water.



- Wanneer we een lege emmer (met groot volume, maar een kleine massa) proberen onder te duwen in water ondervinden we een opwaartse kracht die dit onderduwen tegenwerkt.

Wanneer we een emmer gevuld met water (met groot volume en grote massa) opheffen en vervolgens in water laten zakken merken we dat we veel minder kracht moeten uitoefenen om deze emmer te kunnen dragen.

- Als je een muntstuk laat vallen in water dan zakt deze naar beneden. Maar als je hetzelfde muntstuk op een bootje legt met een groot grondoppervlak dan zakt dit bootje wel deels in het water, maar het zinkt niet.



**Deze voorbeelden tonen aan dat op een voorwerp dat volledig of gedeeltelijk wordt ondergedompeld in een vloeistof een gewichtsvermindering ondervindt. Op een voorwerp ondergedompeld in water werkte een opwaartse kracht in. Deze kracht noemen we de Archimedeskracht.**

De principes hiervan leerde je kennen in het vierde jaar en worden hier beknopt herhaald.



## 2. Kenmerken van Archimedeskracht



### 2.1 Grootte van de Archimedeskracht

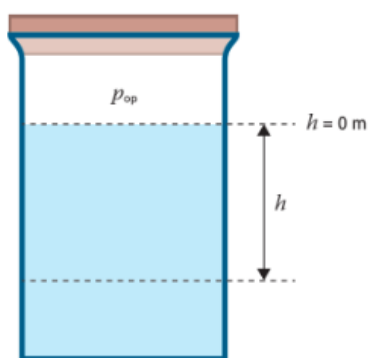
In een vat gevuld met vloeistof kan men op verschillende dieptes de druk bepalen.

De druk, op een bepaalde diepte, is gelijk aan de som van de druk die wordt uitgeoefend op de oppervlakte van de vloeistof en de druk veroorzaakt door de bovenliggende vloeistof.

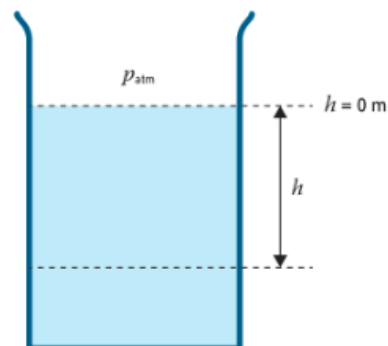
De totale druk  $p$  op een diepte  $h$  in een vloeistof met dichtheid  $\rho_{vl}$  is dus gelijk aan:

$$p = \rho_{vl} \cdot g \cdot h + p_{opp}$$

De druk op het oppervlak  $p_{opp}$  is bij een open vat is deze gelijk aan de atmosferische druk ( $p_{opp} = p_{atm}$ ).



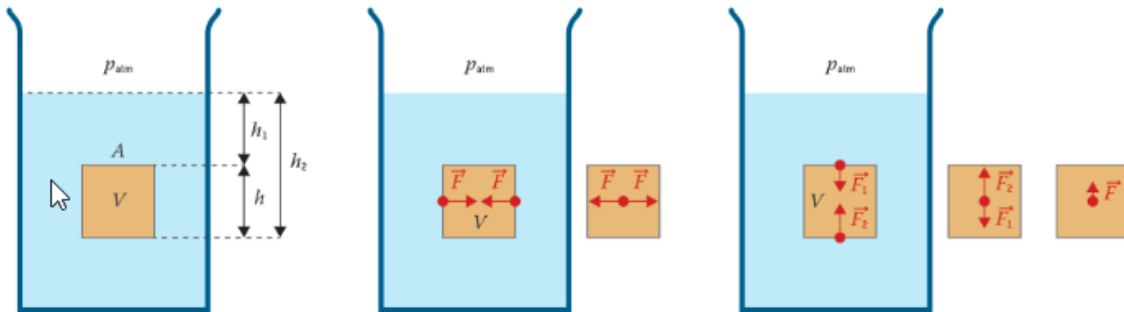
*gesloten vat*



*open vat*



Wanneer we een voorwerp in een vloeistof onderdompelen, zal de druk in de vloeistof op het voorwerp inwerken.



Als we een kubus met volume  $V$  en met zijvlakken met oppervlakte  $A$  onderdompelen, dan zal de druk op het linker- en rechterzijvlak gelijk zijn (dezelfde diepte) en gezien de vlakken even groot zijn zullen de krachten erop dus ook even groot zijn maar een tegengestelde zin hebben. Hun som is dus nul. ( $F = p \cdot A$ )

Hetzelfde is waar voor het voor- en het achtervlak.

Het boven- en ondervlak liggen echter niet even diep. De druk en de bijhorende krachten die deze ondervinden zullen dus niet gelijk zijn.

Op het bovenzvlak werkt een druk  $p_1$  en dus een loodrechte kracht  $\vec{F}_1$  die naar onder gericht is. De grootte van deze kracht is gelijk aan  $F_1 = p_1 \cdot A = (\rho_{vl} \cdot g \cdot h_1 + p_{atm}) \cdot A$

Op het ondervlak werkt een druk  $p_2$  en dus een loodrechte kracht  $\vec{F}_2$  die naar boven gericht is. De grootte van deze kracht is gelijk aan  $F_2 = p_2 \cdot A = (\rho_{vl} \cdot g \cdot h_2 + p_{atm}) \cdot A$

Gezien  $h_2 > h_1$  is  $F_2 > F_1$  en werkt er dus op de kubus een resulterende opwaartse verticale kracht  $\vec{F}$  met als grootte

$$\begin{aligned} F &= F_2 - F_1 = (\rho_{vl} \cdot g \cdot h_2 + p_{atm}) \cdot A - (\rho_{vl} \cdot g \cdot h_1 + p_{atm}) \cdot A \\ &= \rho_{vl} \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \cdot A = \rho_{vl} \cdot g \cdot V_{vw} \end{aligned}$$

Deze opwaartse kracht noemen we de **Archimedeskracht**  $\vec{F}_A$ .

### Opmerkingen:

- Ook in **gassen** ondervinden voorwerpen deze opwaartse duwkracht.
- Er kan aangetoond worden dat deze formule ook geldt voor **niet regelmatige voorwerpen**. De vorm van het voorwerp speelt geen rol.
- Ook voorwerpen die slechts **gedeeltelijk ondergedompeld** zijn ondervinden de Archimedeskracht.
- Het volume van het voorwerp dat ondergedompeld wordt, is ook wel gelijk aan het volume van de vloeistof die verplaatst is door het voorwerp.

De **zwaartekracht op het volume** verplaatste vloeistof is gelijk aan

$$F_z = m_{vl} \cdot g = \rho_{vl} \cdot V_{vl} \cdot g = \rho_{vl} \cdot V_{vw} \cdot g = F_A$$

**De opwaartse kracht die een voorwerp ondervindt als het wordt ondergedompeld in een vloeistof of een gas is dus even groot als de zwaartekracht die inwerkt op het verplaatste volume vloeistof of gas.**

- Het aangrijpingspunt van de Archimedeskracht wordt ook het **drukpunt** (of vormzwaartepunt) van het voorwerp genoemd.

Het is het geometrisch zwaartepunt van het deel van het lichaam dat zich in de vloeistof bevindt, of ook het zwaartepunt van de door het voorwerp verplaatste vloeistof.

## 2.2 Zinken, zweven en drijven

Voorwerpen kunnen in een gas of een vloeistof kunnen:

- **drijven** een boot op water,
- **zinken** een golfbal die je in een meer laat vallen zakt naar de bodem,
- **zweven** een duiker die op een bepaalde diepte in het water blijft  
een warme luchtballon zweeft in het lucht.



Wat een voorwerp zal doen in een bepaalde vloeistof of gas hangt af van de verhouding van de grootte van de opwaarts gerichte Archimedeskracht tot de neerwaarts gerichte zwaartekracht.

De groottes van de inwerkende krachten zijn dan:

- $F_z = m_{vw} \cdot g = \rho_{vw} \cdot V_{vw} \cdot g$
- $F_A = \rho_{vl} \cdot V_{vw} \cdot g$

Indien een voorwerp **volledig ondergedompeld** is dan is het volume van het voorwerp gelijk aan het volume van de verplaatste vloeistof (of gas):  $V_{vw} = V_{ond}$ .

Welke kracht dan het grootst is, hangt dus af van **de grootte van de dichtheid van de vloeistof ten opzichte van die van het voorwerp**.

**Zinken**       $\rho_{vw} > \rho_{vl} \Leftrightarrow F_z > F_A$

Indien de dichtheid van het voorwerp groter is dan die van de vloeistof dan zal de zwaartekracht groter zijn dan de Archimedeskracht en dan zal het voorwerp zinken.

**Zweven**       $\rho_{vw} = \rho_{vl} \Leftrightarrow F_z = F_A$

Indien de dichtheden van het voorwerp en de vloeistof gelijk zijn dan zullen de inwerkende krachten even groot zijn en zal er dus geen resulterende kracht zijn. Het voorwerp blijft ter plaatse en zweeft dus in de vloeistof.

**Drijven**       $\rho_{vw} < \rho_{vl} \Leftrightarrow F_z < F_A$

Indien de dichtheid van het voorwerp kleiner is dan die van de vloeistof zal de Archimedeskracht de grootste zijn en zal het voorwerp naar boven geduwd worden.

**Van zodra het voorwerp aan de oppervlakte komt, wordt het ondergedompelede volume kleiner en zal de grootte van de Archimedeskracht afnemen totdat deze even groot is als de zwaartekracht.**

$$F_z = F_A$$

$$\rho_{vw} \cdot V_{vw} \cdot g = \rho_{vl} \cdot V_{ond} \cdot g$$

Het ondergedompelede volume kan dan bepaald worden met volgende formule

$$V_{ond} = \frac{\rho_{vw}}{\rho_{vl}} \cdot V_{vw}$$

Het voorwerp zal dan drijven op de vloeistof.

### 3.Toepassingen in sport- en bewegingssituaties

#### 3.1 Zwemmen

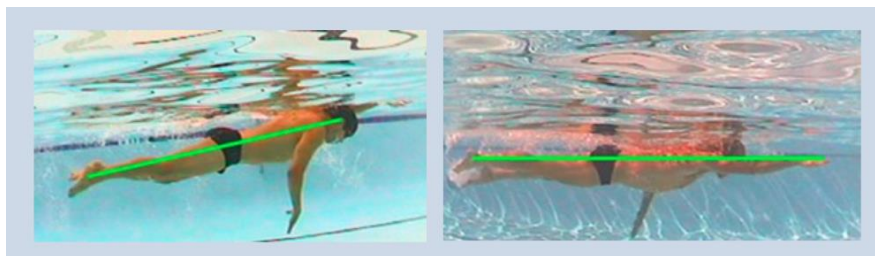
*Inleiding: "wereldrecord" - 100 meter vrije slag (Cesar Cielo Filho) - canvas*

Goede zwemresultaten kunnen bekomen worden door

- de voorwaartse stuwing zo groot mogelijk te maken en
- door de weerstand in het water zo veel als mogelijk te verlagen.

De voorwaartse stuwing wordt beïnvloed door de kracht en de zwemtechniek van de zwemmer. Bij deze aspecten is er geen invloed van de Archimedeskracht.

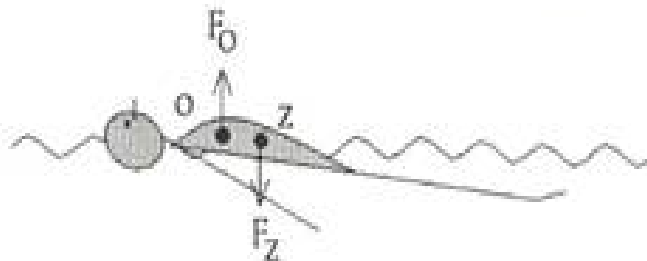
De weerstand van het water wordt voornamelijk beïnvloed door de ligging van de zwemmer in het water.

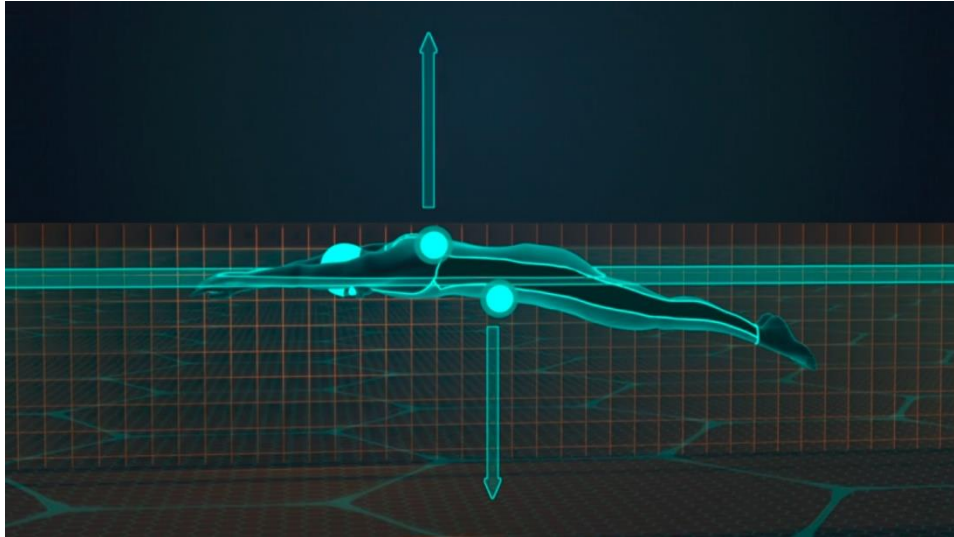


Hoe hoger en hoe vlakker de zwemmer in het water ligt hoe minder de weerstand.

Enerzijds kan de zwemmer hieraan werken door zijn zwemtechniek te verbeteren. Maar anderzijds wordt de ligging ook grotendeels bepaald door de lichaamsbouw.

De ligging in het water wordt bepaald door het krachtenkoppel van de zwaartekracht en de Archimedeskracht.





Hoe zwaarder het onderlichaam hoe meer het onderlichaam naar onder getrokken wordt in het water en hoe schuiner iemand zal liggen.

Vrouwen hebben over het algemeen een hoger vetpercentage in het onderlichaam dan mannen. Gezien vet niet zwaar is zullen vrouwen dus eenvoudiger een vlakke positie kunnen aannemen in het water.

Zeer explosieve en sterke mensen hebben dan weer zware beenderen met een grote spiermassa. Zij zullen dus van nature uit meer schuin liggen in het water.

Daarnaast heeft ook het materiaal (zwempak) dat de zwemmers aandoen een invloed op de ligging in het water. Op de Olympische Spelen in Beijing (2008) werd maar liefst 25 keer het wereldrecord verbeterd. Gemiddeld sneuvelde dat jaar bijna elke drie dagen een wereldrecord. Ook in 2009 bleef het wereldrecords regenen, terwijl topprestaties en wereldrecords meestal uitblijven na een olympisch jaar. De oorzaak van al deze WR's ligt bij de technologische ontwikkeling van de zwempakken: enerzijds zorgen deze nieuwe zwempakken voor minder weerstand bij het zwemmen, anderzijds vergroten ze ook het drijfvermogen. Een groter drijfvermogen heeft ook als gevolg dat zwemmers minder diep in het water liggen zodat hun weerstand verkleint. Een eenvoudige manier om het drijfvermogen te vergroten is twee of drie (meestal waterafstotende) zwempakken over elkaar dragen.

Ook de stof waaruit zwempakken worden gemaakt, is bepalend. Zo zorgden de Arena X-glide en Jaked 01 in 2009 voor een nieuwe evolutie. Deze zwempakken zijn gemaakt uit polyurethaan of rubber en laten geen water door. Door het materiaal en de ingesloten luchtzakjes verbetert het drijfvermogen. Ook neopreen, een synthetisch rubber, wordt gebruikt voor zwempakken omdat het het drijfvermogen van zwemmers vergroot.



Door de kritiek op al deze wereldrecords kon de internationale zwemfederatie (FINA) niet anders dan vanaf 1 januari 2010 hun reglement verstrengen. Zo mag een deelnemer aan zwemcompetities slechts één zwempak dragen. Er zijn geen beperkingen op het aantal badmutsen. Alle zwemkleding moet uit textiel gemaakt zijn. Bij mannen mag het pak niet boven navel of onder de knie komen, bij vrouwen mag de hals niet bedekt zijn, mag het niet verder dan de schouders reiken en niet tot onder de knie. FINA publiceert ook een lijst met toegestane badpakken.

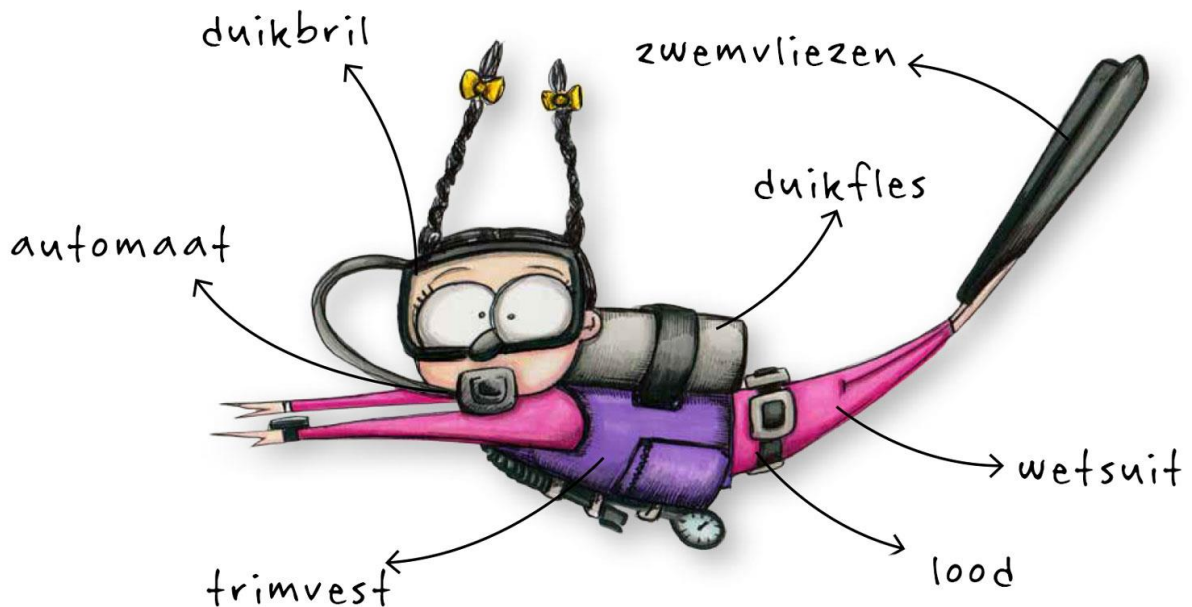


Gelukkig gelden al deze regels niet voor kinderen die leren zwemmen. Voor hen mag dit badpak met schuimrubber wel nog!

## 3.2 Duipzeeduiken

Om correct te duiken zijn er verschillende elementen die in acht moeten genomen worden (luchtverbruik planning, juiste duikfles,...).

We bespreken enkel de elementen die beïnvloed worden door de Archimedeskracht.



Tijdens het duiken ondervindt het geheel van een duiker en duikuitrusting de Archimedeskracht.

Afhankelijk van de verhouding van de dichtheid van het water tot de dichtheid van de duiker met duikuitrusting zal deze dus gaan zinken, zweven, stijgen of drijven.

Hierbij gelden volgende opmerkingen:

- Tijdens het duiken wordt een "neutraal drijfvermogen" nagestreefd. De duiker zal dan zweven in het water op een bepaalde diepte. De duiker mag niet zinken om te voorkomen dat hij de natuurlijke habitat beschadigt door bijvoorbeeld te gaan staan op een koraalrif. De duiker mag ook niet stijgen of gaan drijven want dan kan hij natuurlijk niet duiken.
- Een duiker mag na het duiken niet ongecontroleerd stijgen (te snel) want dit geeft risico op longoverdruk en decompressieongeval.
- De grootte van de opwaartse stuwkracht heeft te maken met het drukverschil tussen boven- en ondervlak. Dit drukverschil is op elke diepte hetzelfde en dus is de opwaartse stuwkracht op elke diepte hetzelfde. Maar dit geldt natuurlijk enkel voor



niet vervormbare lichamen. Vervormbare lichamen, zoals duikers met hun trimvest en duikpak, zullen naargelang ze dieper gaan een grotere druk ondervinden en dus een kleiner volume innemen. De opwaartse Archimedeskracht zal dus kleiner worden als de duiker dieper gaat.

Een duiker houdt rekening met bovenstaande elementen door eerst te gaan uitloden met een loodgordel en vervolgens te gaan uittrimmen met een trimvest.



### **Uitloden**

Dit gebeurt voordat de duiker het water ingaat.

Indien een duiker met zijn uitrusting het water ingaat, zal hij een resulterende opwaartse kracht ondervinden en beginnen te drijven. Om dit te voorkomen moet hij zorgen dat zijn massa vergroot zonder dat zijn volume noemenswaardig vergroot (= grotere zwaartekracht, maar Archimedeskracht blijft gelijk). De duiker doet om dit te bekomen een loodgordel aan en voegt daar loden elementen aan toe. Lood heeft een groot soortelijk gewicht, dus grote massa voor beperkt volume.



Hoeveel lood hangt af van de geplande duikdiepte en het volume van de duikuitrusting.

Zout water is zwaarder dan zoet water dus is bij duiken in zout water de Archimedeskracht groter. Bij duiken in zout water moet een duiker dus meer lood toevoegen.

### **Uittrimmen**

Door het uitloden kan een duiker op een bepaalde diepte perfect zweven in het water.

Natuurlijk moet de duiker eerst op die diepte geraken en op het einde van zijn duik weer naar de oppervlakte gaan. Hij wil met andere woorden ook kunnen zinken of stijgen.

Tijdens het stijgen vermindert de druk op de duiker en neemt hij meer volume in.

De opwaartse stuwkracht zal dus toenemen waardoor de duiker nog sneller gaat stijgen. Dit moet gecontroleerd worden om ongelukken te voorkomen.

Maar daarnaast wil hij ook soms tijdens zijn duik op een grotere diepte zweven. Maar daar is dan een hogere druk, wat een kleiner volume dus kleinere opwaartse stuwkracht tot gevolg heeft dus zou de duiker dan steeds verder zinken.

Eens in het water kan de duiker natuurlijk geen lood toevoegen of wegnemen van zijn loodgordel om dit te kunnen regelen.

Daarvoor heeft een duiker ook steeds een trimvest aan. Dit is een vest waar lucht in- en uit kan gelaten worden. Hierdoor verandert het volume van de duiker en verandert dus de opwaartse stuwkracht op de duiker.

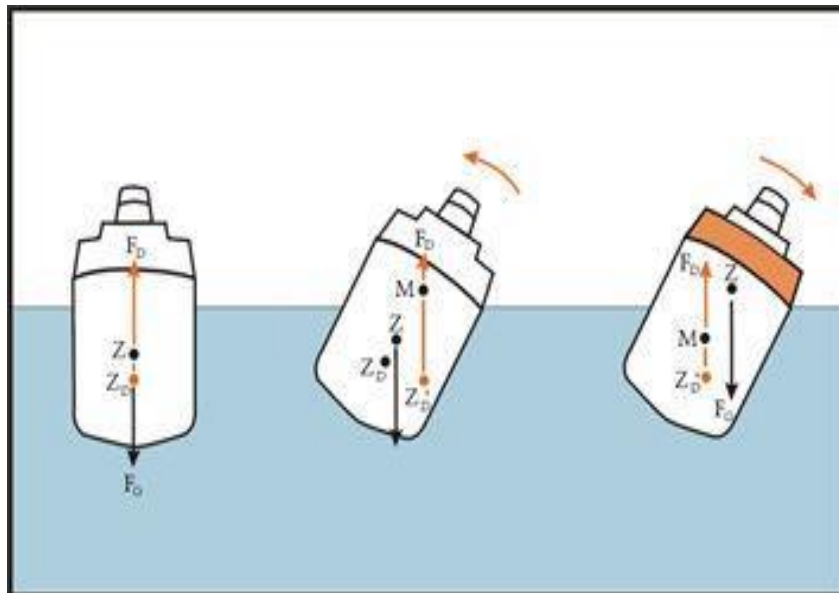


Door het trimvest meer of minder te vullen kan de duiker het stijgen, zweven of zinken perfect onder controle houden.

### 3.3 Stabiliteit van zeilboten

Uiteraard is het voor gelijk welke sport waarbij een boot gebruikt wordt (kano, zeilen, roeien,...) belangrijk dat het drijfvermogen groot genoeg is om het nodige gewicht te kunnen dragen. De boot mag niet zinken. Daarom heeft elke boot een maximale ladingscapaciteit. Dit hangt af van zijn grootte, vorm en het gebruikte materiaal. Bijvoorbeeld een optimist (kleine zeilboot) kan slechts één volwassen persoon dragen. Daarnaast is het ook belangrijk dat een boot stabiel in het water ligt.

Op een boot die in het water ligt werkt de zwaartekracht in op het zwaartepunt ( $Z$  op de tekening). De Archimedeskracht werkt in op het zogenaamde drukpunt  $Z_D$  dit is het zwaartepunt van het oppervlak van de doorsnede onder de waterlijn.  $Z$  kan boven of onder  $Z_D$  liggen.



Belangrijk is wat er gebeurt indien een boot door een tijdelijke verstoring scheef in het water komt te liggen. Het oppervlak onder de waterlijn verandert dan van vorm en het drukpunt verschuift ( $Z'_D$  op de middelste en rechtse tekening).

De opwaarts gerichte Archimedeskracht snijdt de symmetrielij van het schip in het metapunt  $M$ . De ligging van het zwaartepunt  $Z$  ten opzichte van dit metapunt  $M$  is bepalend voor de stabiliteit van een boot. Als  $Z$  onder  $M$  ligt (middelste tekening) dan vormen de Archimedeskracht en de zwaartekracht een teruggedrijvend koppel en zal het schip zich weer oprichten. Als dit niet het geval is (de rechtse tekening) dan zal het krachtenkoppel het schip doen kantelen.

Daarom is het bijvoorbeeld belangrijk dat op een boot de lading en de bemanning verdeeld wordt over de boot.

### 3.4 Eskimoteren kajak

Bij het kajakken kan het gebeuren dat de kajakker met zijn boot omslaat.



De kajakker bevindt zich dan onder water en zwaartepunt en drukpunt bevinden zich op een lijn. De boot zal dus niet vanzelf terug rechtkomen. De kajakker moet dan door middel van een beweging met zijn lichaam en/of zijn peddel zorgen dat het drukpunt naast het zwaartepunt komt te liggen zodat de zwaartekracht en Archimedeskracht dan een krachtenkoppel vormen dat de boot weer recht trekt. Deze techniek heet eskimoteren.

## 4 Oefeningen

1. Een duiker met duikuitrusting heeft een totale massa van 95 kg. In zoet water is hij perfect uitgelood met 5 kg lood.

Hoeveel kg lood moet hij toevoegen om in zout water ook in evenwicht te zijn?

*Dichtheid zuiver zoetwater: 1,000 kg/dm<sup>3</sup>*

*Dichtheid zoutwater: 1,025kg/dm<sup>3</sup>*

2. Twee bollen met dezelfde straal zijn volledig ondergedompeld in een vloeistof. De vloeistoffen hebben respectievelijk een massadichtheid  $\rho_{vl,1}$  en  $\rho_{vl,2}$ . De massadichtheid van de eerste bol is  $\rho_1$  en deze van de tweede bol  $\rho_2$ . Beide bollen ondervinden slechts dezelfde opwaartse kracht als

- $\rho_1 = \rho_2$
- $\rho_{vl,1} = \rho_{vl,2}$
- nooit
- altijd

Motiveer je antwoord.

3. Een bal wordt volledig onder water gehouden juist onder het wateroppervlak. De bal wordt dan verplaatst naar een plaats lager in het water. Vergeleken met de kracht om de bal juist onder het wateroppervlak te houden, is de kracht om de bal op dezelfde plaats dieper in het water te houden:
- Groter
  - Hetzelfde
  - Kleiner
  - Onmogelijk om te bepalen

Motiveer je antwoord.

4. Loïc speelt waterpolo. Hij duwt zijn bal ( $m = 420 \text{ g}$ , omtrek = 68 cm) volledig onder water. Bereken de grootte van de Archimedeskracht op de bal.

5. Een zwemplank ( $\rho = 34 \text{ kg/m}^3$ ,  $l = 45 \text{ cm}$ ,  $b = 29 \text{ cm}$ ,  $h = 3,0 \text{ cm}$ ) springt uit het zwembad als je hem onderduwt. Bereken de zwaartekracht en Archimedeskracht op de plank.

6. De Brit Tom Daley haalde op de Olympische Spelen in Londen (2012) brons op het schoonspringen van de 10-metertoren.

Bereken zijn volume heeft hij als het water na zijn sprong een opwaartse kracht van 650 N op hem uitoefent?

7. Koning Hiero van Syracuse had aan een goudsmid de opdracht gegeven een kroon voor hem te maken. Toen de kroon werd afgeleverd, verdacht Hiero de edelsmid ervan dat hij een gedeelte van het meegegeven goud had vervangen door het goedkopere zilver. Hiero vroeg daarom aan Archimedes of hij deze wandaad zou kunnen bewijzen, zonder de kroon te beschadigen. Stel dat Archimedes een dynamometer ter beschikking had. Hij hangt de kroon eraan en leest 33,60 N af. Daarna dompelt hij de kroon in water ( $\rho = 0,998 \text{ g/cm}^3$ ) en leest hij 31,60 N af.

Meer info: <https://www.youtube.com/watch?v=xfg4cyw8eQg>

Heeft de koning gelijk?

Bewijs met een volledige berekening! ( $\rho_{\text{goud}} = 19,3 \text{ g/cm}^3$  en  $\rho_{\text{zilver}} = 10,5 \text{ g/cm}^3$ )

8. Een drijvende ijsberg in zeewater kan zeer gevaarlijk zijn voor schepen omdat het meeste ijs zich onder water bevindt.

Bereken hoeveel procent van een ijsberg bevindt zich onder water.

Veronderstel  $\rho_{\text{ijs}} = 917 \text{ kg/m}^3$  en  $\rho_{\text{zeewater}} = 1030 \text{ kg/m}^3$ .

9. Je piratenschip is gezonken en je drijft op een surfplank in het midden van de oceaan. Tot de lading op je surfplank hoort ook een schat met gouden munten. De surfplank blijft amper drijven. Om zo hoog mogelijk in het water te blijven, wat moet je doen?

(Veronderstel dat je de schat echt niet overboord wilt gooien.)

- De schat bovenop het vlot laten liggen.
- De schat onderaan het vlot vastmaken.
- Hang de schat aan een touw vastgemaakt aan het vlot en gooi in het water.

Motiveer je antwoord.

10. Is dit onderstaande stelling juist of fout? Motiveer je antwoord.

*"Wanneer je met je zeilboot van de Noordzee de schelde binnenvaart, drijf je dieper."*

11. Een strandbal met straal 28,0 cm wordt volledig in de zee ondergedompeld.

De Archimedeskracht op de strandbal bedraagt 1050 N.

Bereken de dichtheid van het zeewater.

12. Wat gebeurt er als je zou gaan surfen in een zee van benzine ( $\rho = 660 \text{ kg/m}^3$ )?

Heb je nog een kans om boven te blijven of zal je zinken we verdrinken?

*Negeer hierbij het feit dat benzine schadelijk is voor het lichaam als je erin zou zwemmen.*

# 5 Watersportstage

## 5.1 Windsurfen (leestekst)

### Lees onderstaand artikel en maak vervolgens een schematische samenvatting

Om te kunnen windsurfen heb je een surfplank nodig waarop een mast en een zeil is gemonteerd. En uiteraard moet er wind zijn.

Er zijn verschillende disciplines in het windsurfen (slalom, wave, freestyle,...).



Voor elke discipline is er een verschillende vorm van plank nodig. Maar de belangrijkste eigenschap van de plank is het volume en het bijhorende drijfvermogen, veroorzaakt door de opwaarts gerichte Archimedeskracht. (*150 liter drijfvermogen wil zeggen dat de plank een gewicht van 150 kg kan laten drijven (surfer, mast, ...)*). Hoe groter het drijfvermogen hoe stabielere de plank maar hoe minder wendbaar en trager.

Je kiest de plank dus naargelang welke discipline je wilt beoefenen, je eigenlichaamsgewicht en je surfniveau.

Grofweg kan je surfplanken indelen in zinkers en drijvers.

- Drijvers zijn grote stabiele planken die ook met een surfer erop blijven drijven. Deze planken zijn geschikt voor minder ervaren surfers die eerst op de plank gaan staan en vervolgens pas het zeil uit het water trekken om te beginnen surfen.
- Zinkers zijn kleinere en meer wendbare planken die niet blijven drijven als een surfer erop gaat staan. De surfer moet een zeker minimum snelheid hebben zodat het geheel vooruit geduwd wordt op het water en niet zinkt. Dit kan echter enkel bekomen worden als de surfer direct snelheid maakt op het moment dat hij zijn voeten op de plank zet. Daarvoor moet de surfer in staat zijn om een strandstart (beachstart) of een waterstart te maken. Bij een strandstart staat de surfer op de bodem en duwt hij eerst het zeil omhoog. Van zodra de wind in het zeil pakt en de dus voorwaarts gestuwd wordt, zet de surfer zijn voeten op de plank en vertrekt hij.

Bij het waterstarten ligt de surfer in het water en duwt hij al zwemmende het zeil een beetje omhoog. De wind zal dan het zeil en de surfer die eraan hangt verder omhoog duwen. Van zodra de surfer kan zal hij zijn voeten op de plank zetten en beginnen te surfen.



**Schematische samenvatting:**



## 5.2 Onderzoekopdrachten

### Opdracht 1: Berekenen percentage onder water van een onbelaste surfplank

*Veronderstel dat de plank stabiel en in rust op stilstaand water drijft.*

- a. Bepaal de dichtheid van het zeewater (= vloeistof  $vl$ ).

*Materiaal: tafelweegschaal, maatcilinder en zeewater*

$$\rho_{vl} = \frac{m_{vl}}{V_{vl}} =$$

Opgelet!

Meet enkel de massa van de vloeistof (dus zonder de massa van de maatcilinder!)

- b. Bepaal de dichtheid van een surfplank (= voorwerp  $vw$ ).

*Materiaal: personenweegschaal, meetlint en surfplank*

$$\rho_{vw} = \frac{m_{vw}}{V_{vw}} =$$

Opgelet!

Het volume van de plank (= voorwerp) kan je misschien aflezen of opzoeken. Indien dit niet mogelijk is, probeer je het volume te berekenen door de plank te benaderen als een balk (hoogte – lengte – breedte).

- c. Bereken het ondergedompeld volume van de onbelaste surfplank.

- d. Bereken tenslotte het percentage onder water van de onbelaste surfplank.

## Opdracht 2: Berekenen percentage onder water van een belaste surfplank

Bedenk zelf hoe je het percentage onder water van een belaste surfplank kan berekenen.

Dit wil zeggen van wanneer jij op de plank zou staan.

*Veronderstel nog steeds dat de plank stabiel en in rust op stilstaand water drijft.*

a. Korte beschrijving van je methode.

b. Geef je hypothese.

= Wat verwacht je? Groter of kleiner percentage onder water t.o.v. opdracht 1?  
Motiveer je antwoord.

c. Bereken vervolgens het percentage onder water van de belaste surfplank.

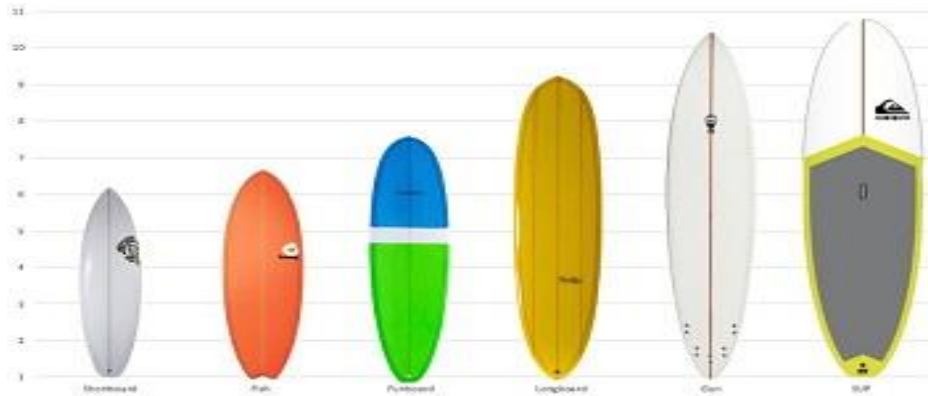
d. Geef je reflectie

= Is je resultaat volgens je verwachting? Motiveer je antwoord.

### Opdracht 3: Vergelijk twee verschillende planken

Voer opdracht 2 opnieuw uit maar met een andere surfplank.

Kies een plank uit die sterk verschilt van je eerste plank.



a. Beschrijf kort het verschil tussen de twee planken.

b. Geef je hypothese.

= Wat verwacht je? Groter of kleiner percentage onder water t.o.v. opdracht 1?  
Motiveer je antwoord.

c. Bereken vervolgens het percentage onder water van de belaste surfplank.

d. Geef je reflectie

= Is je resultaat volgens je verwachting? Motiveer je antwoord.