

# Duiken in de USS Barometer

Een pot water met een hoogte van 18 meter is net als een kwikbarometer die gebruikt wordt om de luchtdruk te meten. De echte barometer is een glazen buisje van ongeveer 6,35 mm in diameter, gevuld met kwik en met zijn open kant op de kop in een klein plasje kwik. Het kwik aan de bovenkant van het buisje zakt ongeveer 2,5 cm naar beneden weg van de afgesloten bovenkant en blijft daar op een hoogte van ongeveer 76 cm boven het niveau van het kwikplasje hangen. De lengte van de kolom is gelijk aan een druk - de atmosferische of barometerdruk - 14,7 pounds per square inch absoluut (psia).\* Als er een storm opsteekt of als de barometer een berg wordt opgedragen (dat is wat de "natuurfilosofen" rond 1600 deden) zakt de hoogte van de kwikkolom naarmate de barometerdruk zakt.

De kwikkolom staat boven het kwikplasje omdat de omgevingsdruk op het oppervlak van het plasje het kwik de buis induwt. De "lege" ruimte bovenin is in werkelijkheid gevuld met kwikdamp. Om dit punt te illustreren zou je een barometer kunnen maken met zeewater in plaats van met kwik (voorkomt fysiek contact met kwik, omdat dat giftig is). Als het afgesloten einde van de met zeewater gevulde buis langzaam boven zeeniveau gebracht zou worden, zou hij helemaal met water gevuld blijven totdat hij op een hoogte van 10 m. zou komen. Boven deze hoogte zou het water weggetrokken worden van het eind van de buis, blijven hangen op 10 meter en niet verder meer stijgen, ongeacht hoe hoog de buis omhoog gehaald zou worden. Als de buis groot genoeg was om in te duiken, zou de duiker merken dat de druk afnam als hij of zij opsteeg. Dit werkt op precies dezelfde manier als in een kwikbarometer, behalve dat de vloeistof water is. Er zijn zoetwaterbarometers gemaakt, maar in plaats van 76 cm lang waren ze 11 meter lang - 11 meter zoet water = 1 bar atmosferische druk = 76 cm kwik - 10 meter zeewater. De lege ruimte boven aan de kolom is in werkelijkheid waterdamp met een druk van 0,05 atmosfeer absoluut (ata).

De zuigpomp Een waterbarometer en een zuigpomp hebben een heleboel overeenkomsten. Als je de bovenkant van de barometer opent voor de atmosfeer, valt het water terug naar zeeniveau. Sluit nu de bovenkant af en creëer een vacuüm met een zuigpomp om het zeewater weer in de buis op te zuigen. Het water zal tot 11 meter stijgen en stoppen. Bij een zoetwaterput is het onmogelijk om water op te pompen van een diepte groter dan 11 meter en wel om dezelfde reden dat water in een zoetwaterbarometer niet hoger zal stijgen dan 10 meter - meer waarom dit zo is later. Duiken op hoogte Wat is er gebeurd met de vis die de pot in Shayne Pembertons schildpaddenvijver inzwom en wat zou er gebeuren met een duiker in een waterbarometer?

Ten eerste moeten we bedenken dat de druk op zeeniveau op de bodem van de waterkolom 1 bar (1 ata) is en de druk in de ruimte 10 meter hoger 0,05 bar (de druk van de waterdamp). Als de duiker naar boven in de waterkolom tot een hoogte van 5 meter zou zwemmen, zou de absolute druk teruglopen tot een halve bar (0,5 ata), gelijk aan de barometerdruk op een hoogte van 5.486 meter. Als de duiker naar 7 meter zou zwemmen zou de druk teruglopen naar 0,3 bar, gelijk aan een hoogte van 9.144 meter. De top van Mt. Everest is ongeveer 8.839 meter en het ruimtepak van een astronaut heeft een druk gelijk aan een hoogte van 9.235 meter. Deze duiker bevindt zich in een kunstmatige wereld met twee zeer onwaarschijnlijke duikproblemen.

Ten eerste zal een duiker die lucht ademt op 8 meter in de waterkolom het bewustzijn verliezen vanwege een tekort aan zuurstof (hypoxie), want de partiële zuurstofdruk op 10.000 meter hoogte is slechts 0,06 bar oftewel gelijk aan 6 procent op zeeniveau. Om hypoxie te voorkomen is het ruimtepak van een

astronaut met zuiver zuurstof gevuld. Ten tweede zal de duiker een invaliderende of dodelijke hoogte decompressieziekte (DCZ) oplopen als de stikstof opgelost in zijn of haar weefsels bellen vormt. Om DCZ te voorkomen ademen astronauten zuivere zuurstof gedurende wel vier uur op zeeniveau om opgeloste stikstof uit te wassen voordat ze decomprimeren tot de druk in het ruimtepak.

Denk eens aan deze kunstmatige wereld: een kolom van samendrukbare lucht van meer dan 33.480 meter is vervangen door een 10 meter hoge kolom van niet samendrukbaar zeewater. Ieder van deze kolommen drukt met hetzelfde gewicht op het oppervlak van de oceaan. Duiken in een waterbarometer zou een knappe manier zijn om zowel meter- als absolute druk te onderwijzen, behalve dan voor de hypoxie en DCZ. Kokend koud. Waarom is de kolomhoogte in een zeewaterbarometer beperkt tot 10 meter en waarom kan water niet omhooggepompt worden van putten dieper dan 11 meter zoet water? Dat is vanwege het koken. Op kamertemperatuur - 22°C - is de druk van waterdamp 0,05 bar of 0,7 psi. Als water verwarmd wordt, stijgt de druk van de damp en als de temperatuur 100°C bereikt is de druk van de waterdamp 14,7 psi of 1 bar. Water kookt dus als de druk van zijn damp gelijk is aan de absolute druk.

Bekijken we het eens anders. Als je de bergen ingaat, kookt water bij een lagere druk (damp) omdat de barometerdruk lager is. Het omgekeerde geldt voor een snelkookpan, waarbij de druk in de pan verhoogd wordt om het koken uit te stellen tot een hogere temperatuur. Decompressiebellen Er is een les hier betreffende bellen die tijdens decompressie gevormd worden. Bellen worden gevormd als de som van alle partiële drukken van de opgeloste gassen (stikstof, zuurstof, kooldioxide, helium, enz) - plus de druk van de waterdamp - uitstijgt boven de absolute druk. Dit staat bekend als "oververzadiging". Tijdens duiken echter, is de waterdampdruk, anders dan bij koken, veel lager dan de opgeloste stikstof partiële druk, dus is het stikstof in plaats van waterdamp dat de belvorming aandrijft.

Sommige decompressietheoretici stellen dat het mogelijk is om grotere oververzadiging te weerstaan voordat er zich bellen in het bloed en de weefsels vormen, maar dat deze overmatige oververzadiging klein lijkt als dat inderdaad mogelijk is. "Stille" bellen die geen DCZ tekenen of symptomen veroorzaken kunnen tenslotte aanwezig zijn na alle duiken, behalve de heel triviale. Ultrasoon bellendetectie vindt regelmatig bellen in mensen bij een oververzadiging van slechts 0,4 bar (6 psi; 4 mzw). Misschien staat een grote oververzadiging in de decompressietheorie wel voor stille bellen die te klein zijn of zich op de verkeerde plek bevinden om symptomen te veroorzaken.

Er zit zelfs een nog exotischer les in bellenformatie: waterdamp verlaat het wateroppervlak alleen als er een aangrenzend gasoppervlak is. Als er geen gasoppervlaktes in de waterbarometer zouden zijn, zou het mogelijk zijn de waterkolom duizenden voeten of meters in de lucht te verheffen en het de bovenkant te laten aanraken. Het mag dan misschien vreemd lijken, maar de druk aan de bovenkant van de kolom zou honderden bar minder zijn dan de atmosferische druk. Dit is experimenteel aangetoond met heel schoon water en met water dat oververhit was zonder te koken, zelfs als de waterdampdruk honderden malen groter is dan de atmosferische druk. Als er zich uiteindelijk een bel van zuivere waterdamp vormt, heeft het water zijn "elastische" kracht bereikt en breekt of scheurt in stukken. Dit wordt de novo belvorming genoemd, of bellen die "uit het niets" gevormd worden. De werkelijkheid is dat bellen vrijwel altijd door "iets" gevormd worden en dat iets is een kleine gasholte of dat nu in het water is of in ons. Wie zei dat natuurkunde saai was?

## **Over de auteur**

Richard Vann kwam bij het Duke Center for Diving Medicine and Environmental Physiology met een doctoraat in biomedische technologie. Hij onderzoekt belvorming en uitwisseling van inerte gassen. Hij

ontwikkelde decompressieprocedures gebruikt bij het wetenschappelijk duiken en door astronauten op EVA's van het ruimtestation. Vann is Vice President of Research bij DAN.