

VAN HOESERLANDE Patrick, Ir
Wandelweg 21
2980 HALLE-ZOERSEL
Tel. : 03/385.17.10
Fax : 03/385.17.10
e-mail :
Patrick.VanHoeserlande@advalvas.be



Cursusboek

‘Decompressie’

Cursusboek voor de Ondernemersopleiding ACEBE "Operator voor Onderwaterwerken"

Lesgever : Patrick VAN HOESERLANDE, Ir
CMAS 2* Instructeur, Inshore Diver

0 **INHOUDSTABEL**

0	INHOUDSTABEL.....	2
1	Situering van het onderwerp	4
1.1	Voorwoord.....	4
1.2	Referenties	4
1.3	Waarom?	4
2	Herhaling begrippen uit de Fysica	5
2.1	De soorten drukken	5
2.1.1	De barometrische of atmosferische druk.....	5
2.1.2	De hydrostatische druk.....	5
2.1.3	De relatieve en absolute druk.....	5
2.2	De partiele druk (wet van Dalton).....	6
2.3	De gaswetten	7
2.3.1	Inleiding	7
2.3.2	De Wet van Boyle en Mariotte.....	7
2.3.3	De Wet van Guy-Lussac	7
2.3.4	De algemene gaswet.....	8
2.4	Het oplossen van gassen in vloeistoffen en de wet van Henry	8
2.4.1	Definitie	8
2.4.2	Verzadiging (saturatie).....	9
2.4.3	Ontzadiging.....	9
2.4.4	Periode	9
2.4.5	Oververzadiging (sursaturatie).....	10
2.5	Diffusie en osmose.....	10
3	Lucht als duikgas	12
3.1	De samenstelling van lucht	12
3.1.1	Stikstof (N ₂)	12
3.1.2	Koolzuurgas (CO ₂).....	12
3.1.3	Koolmonoxide (CO)	13
4	Decompressiemodellen	14
4.1	Generaties van tabellen volgens Haldane	14
4.1.1	1 ste generatie (Haldane).....	14
4.1.2	2 de generatie (Shilling & Wilgrube, Alinat).....	14
4.1.3	3 de generatie (Workman).....	14
4.2	Saturatie – desaturatie in het lichaam.....	15
4.3	Berekeningsmethode.....	16
4.4	Andere modellen	19
4.4.1	Bubbles and surface tension.....	19
4.4.2	Bubbles and diffusion	20
4.4.3	The Varying Permeability Model.....	21
4.4.4	The gelatin experiments	22
4.4.5	Applying VPM to diving.....	23
4.4.6	The Reduced Gradient Bubble Model.....	24
5	Zuurstof en Nitrox (Zuurstof als stikstofvervanger)	25
5.1	Zuurstof (O ₂).....	25
5.2	Zuurstofvergiftiging.....	25
5.3	Equivalente luchtdiepte.....	27
5.4	Nitrox-productie.....	27
5.4.1	Partiële-drukmethode	28
5.4.2	Continue mengen	28
5.5	Zuurstof als therapeutisch gas.....	29
5.5.1	Wanneer 100 % O ₂ toedienen?	29
5.5.2	Wanneer is minder dan 100 % O ₂ ook goed?	29
5.5.3	Hoe lang toedienen?.....	29
5.5.4	Wat doet O ₂ ?	29

5.5.5	Veiligheidsvoorschriften	30
5.5.6	Toediening van O ₂	30
5.5.7	Toedieningssystemen	30
6	Heliox en Trimix (Helium als stikstofvervanger)	32
6.1	Helium (He)	32
6.2	Een korte geschiedenis van het duiken met gasmengsels	33
6.3	HPNS (High Pressure Nervous Syndrome)	33
6.4	Equivalent Narcotische Diepte (END) en het mengen van Trimix	34
7	Andere duikmengsels	36
7.1	Hydrox (Waterstof als stikstofvervanger)	36
7.2	Argon (Ar)	36
7.3	Neon (Ne)	36

1 Situering van het onderwerp

1.1 Voorwoord

Het cursusboek dat voor je ligt is een eerste benadering van het domein. Het bevat stukken uit verschillende referentiewerken aangevuld met persoonlijke notities.

Dit cursusboek is verre van compleet. Opbouwende commentaar en opmerkingen zijn meer dan welkom.

1.2 Referenties

www.deepocean.net

www.decompression.org

www.hhssoftware.com

NELOS cursus Sportduiken

NELOS cursus NITROX Gevorderd

NELOS cursus TRIMIX

US Navy Diving Manual 20 januari 1999 Rev 4

1.3 Waarom?

De kennis van het fenomeen decompresseren en de verschillende modellen laat toe om:

- Decompressieongevallen vermijden
- Bestrijding van decompressieongevallen

2 Herhaling begrippen uit de Fysica

2.1 De soorten drukken

2.1.1 De barometrische of atmosferische druk

De atmosfeer, die de aardbol omringt, is samengesteld uit lucht. Deze lucht, die een gewicht heeft, oefent een bepaalde druk uit op de aarde. De barometer laat toe deze waarde op te meten (uitvinding van Toricelli, wis- en natuurkundige °1608 - †1647).

Een barometrische buis, gevuld met kwik, met een lengte van één meter wordt omgekeerd in een bad met kwik geplaatst. Het kwik in deze buis, dat dus in verticale positie staat, zakt en stabiliseert zich vervolgens op 760 mm boven het kwikniveau in het bad (dit op zeeniveau). Een evenwicht zal bereikt worden wanneer de atmosferische druk gelijk is aan de druk, uitgeoefend door het gewicht van de kwikzuil d.i. 1013 mbar.

De dichtheid van deze luchtlagen, samengedrukt door de erboven gelegen luchtlagen, verhoogt gelijkmatig tot aan het aardoppervlak. Men moet stijgen tot ongeveer 5000 m om een atmosferische waarde te meten, welke gelijk is aan de helft van die op de grond.

2.1.2 De hydrostatische druk

Eén liter lucht weegt aan de oppervlakte van onze aardbol 1,293 g. Daarentegen weegt één liter water 1 kg. De drukveranderingen zullen zich in het water dus veel vlugger opvolgen dan in lucht. De oppervlakte eenheid wordt uitgedrukt in vierkante centimeter (cm²). Er is dus een waterzuil van 10 m hoogte nodig om één dm³ te bekomen (0,1 dm x 0,1 dm x 100 dm = 1 dm³) die op zich dan evenwaardig is aan 1 kg. Rekening houdend met de verschillende soortelijke gewichten en het feit dat water bijna onsamendrukbaar is, is het bewezen dat elke 10 m de druk met 0,981 bar verhoogt in zoet water en 1,007 bar in zout water.

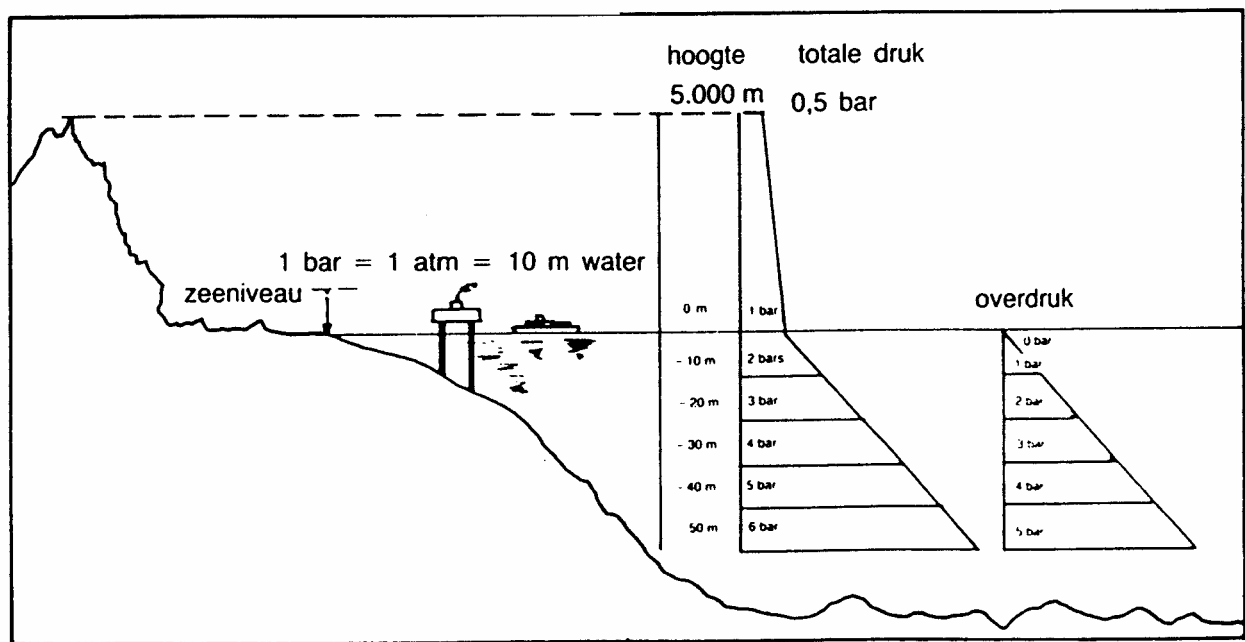
Gemakshalve stellen we dat de druk, uitgeoefend door een 10 m lange waterzuil, weergegeven op de opmeetapparatuur, gelijk is aan 1 bar.

2.1.3 De relatieve en absolute druk

In de praktijk wordt de druk opgemeten d.m.v. een manometer die het nulpunt aangeeft bij atmosferische druk. Met dit apparaat meten we het verschil tussen de omgevende druk en de atmosferische druk m.a.w. de "relatieve druk". Indien we de omgevende druk meten in verhouding met het vacuüm bekomen we de absolute druk. Dit onderscheid is belangrijk, zodat we steeds nauwkeurig moeten omschrijven, indien het een druk betreft, als het om relatieve (ATU) of absolute druk (ATA) gaat.

Men kan dus stellen dat de absolute druk gelijk is aan de relatieve druk (bv. water = 1 bar per 10 m) verhoogt met de atmosferische druk (lucht = 1 bar).

$$p_{\text{abs}} = p_{\text{atm}} + (d / 10)$$



2.2 De partiële druk (wet van Dalton)

In om het even welk mengsel van gassen is het nuttig om te weten hoeveel druk er door ieder afzonderlijk gas uitgeoefend wordt, m.a.w. de "partiële druk".

De biologische effecten van een gas ten opzichte van ons organisme zullen bepaald worden door de partiële druk van het betreffende gas zelf en niet door de totale druk van het gasmengsel. De giftigheid, de oplosbaarheid of de diffusie van een gas zal afhangen van zijn eigen druk. De partiële druk (pp) is bepaald door de wet van DALTON (Engelse scheikundige °1766 -†1844).

BIJ EEN GEGEVEN TEMPERATUUR, IS DE TOTALE DRUK, UITGEOEFEND DOOR EEN GASMENGSEL, GELIJK AAN DE SOM VAN DE DRUKKEN, UITGEOEFEND DOOR IEDER GAS AFZONDERLIJK, WANNEER DIT ALLEEN AANWEZIG ZOU ZIJN EN HET TOTALE VOLUME ZOU INNEMEN.

De partiële druk is dus gelijk aan het product van de beschouwde gasfractie en de absolute druk van het gasmengsel

PARTIELE DRUK = FRACTIE X ABSOLUTE DRUK

Deze formule wordt soms ook de T van Dalton genoemd:

$$\frac{PP_{gas}}{fgas} = P_{abs}$$

2.3 De gaswetten

2.3.1 Inleiding

In de natuur hebben we de gewoonte om drie verschillende aggregatietoestanden te onderscheiden: vaste stoffen, vloeistoffen en gassen. In de duikwereld spelen gassen een zeer belangrijke rol. Het is dus noodzakelijk de gaswetten te kennen en te begrijpen.

De gaswetten (dus ook de Wet van Dalton) zijn gebaseerd op wat we een ideaal gas(mengsel) noemen, dit betekent dat de moleculen van het gas(mengsels) noch chemisch, noch fysisch met elkaar reageren (dus lage druk en hoge temperatuur).

2.3.2 De Wet van Boyle en Mariotte

Terwijl de vloeistoffen en de vaste stoffen als onsamendrukbaar beschouwd worden, ondergaan gassen bij drukveranderingen een volumeverandering, omgekeerd evenredig met de drukveranderingen, op voorwaarde dat de temperatuur constant blijft. Dit verschijnsel wordt weergegeven in de wet van Boyle en Mariotte.

BIJ EEN CONSTATE TEMPERATUUR, IS HET VOLUME VAN EEN GAS OMGEKEERD EVENREDIG AAN DE ABSOLUTE DRUK, TERWIJL DE DICHTHEID DIRECT EVENREDIG IS AAN DE ABSOLUTE DRUK.

of $P \times V = \text{constant}$

2.3.3 De Wet van Guy-Lussac

Door de botsing van moleculen op een wand wordt er druk gecreëerd. Deze druk staat in relatie tot de temperatuur.

BIJ CONSTANT VOLUME IS DE DRUK VAN EEN HOEVEELHEID GAS RECHT EVENREDIG MET ZIJN TEMPERATUUR IN KELVIN.

Of $\frac{p}{T} = \text{constante}$

Dezelfde wet geldt ook voor het volume en luidt dan:

BIJ CONSTATE DRUK IS HET VOLUME VAN EEN HOEVEELHEID GAS RECHT EVENREDIG MET ZIJN TEMPERATUUR IN KELVIN.

Of $\frac{V}{T} = \text{constante}$

2.3.4 De algemene gaswet

De combinatie van de Wet van Boyle-Mariotte en de Wet van Guy-Lussac geeft de Algemene Gaswet:

Voor een ideaal gas geldt:

$$PV = nRT$$

2.4 Het oplossen van gassen in vloeistoffen en de wet van Henry

Wanneer een gas in aanraking komt met een vloeistof zal er door middel van diffusie een gedeelte van dit gas oplossen in deze vloeistof. De hoeveelheid van dit opgeloste gas wordt begrensd door de verzadiging van de vloeistof en wordt bepaald door de wet van Henry.

2.4.1 Definitie

BIJ EEN CONSTATE TEMPERATUUR EN BIJ VERZADIGING, ZAL DE HOEVEELHEID VAN HET OPGELOSTE GAS IN EEN VLOEISTOF EVENREDIG ZIJN MET DE DRUK UITGEOEFEND DOOR DIT GAS IN CONTACT MET DIE VLOEISTOF.

Invloedsfactoren op het oplossen (DRAATT):

- de druk
- het raakoppervlak
- de aard van het gas (bv. O₂, N₂, He)
- de aard van de vloeistof (bv. bloed, vetten, spieren)
- de temperatuur
- de tijd van het contact

Er is steeds gas dat oplost in de vloeistof en dat vrijkomt uit de vloeistof. Dit evenwicht verschuift volgens de verzadigingstoestand.

Indien we een mengsel van gassen hebben, zal de hoeveelheid gas evenredig zijn aan de partiële druk.

Er is geen enkele beïnvloeding van het ene gas ten opzichte van het andere die de oplosbaarheid verhoogt of verlaagt.

Volgende tabel geeft de oplosbaarheid weer van verschillende gassen in water en in vetten.

	H ₂	He	N ₂	Ar
Oplosbaarheid in water	0,017	0,009	0,013	0,027
Oplosbaarheid in vetten	0,036	0,015	0,067	0,140

2.4.2 *Verzadiging (saturatie)*

Verzadiging is de maximale hoeveelheid gas, die een vloeistof kan opnemen bij een constante druk en temperatuur. De verzadiging wordt niet onmiddellijk bereikt, de boog die de verzadiging weergeeft, heeft een exponentiële vorm.

2.4.3 *Ontzadiging*

De wijze van elimineren van een gas uit een vloeistof gebeurt identiek als het oplossen. De desaturatieboog zal omgekeerd en symmetrisch zijn ten opzichte van de verzadigingsboog.

2.4.4 *Periode*

Een periode is de verlopen tijd, wanneer de hoeveelheid opgelost gas gelijk is aan de helft van de opgeloste hoeveelheid bij een volledige verzadiging.

Nemen we een bepaalde hoeveelheid vloeistof in een vat met om het even welke vorm, en stellen we dit bloot aan een gas met een bepaalde druk p . We zullen dan een onmiddellijke oplossing krijgen aan de gescheiden oppervlakte.

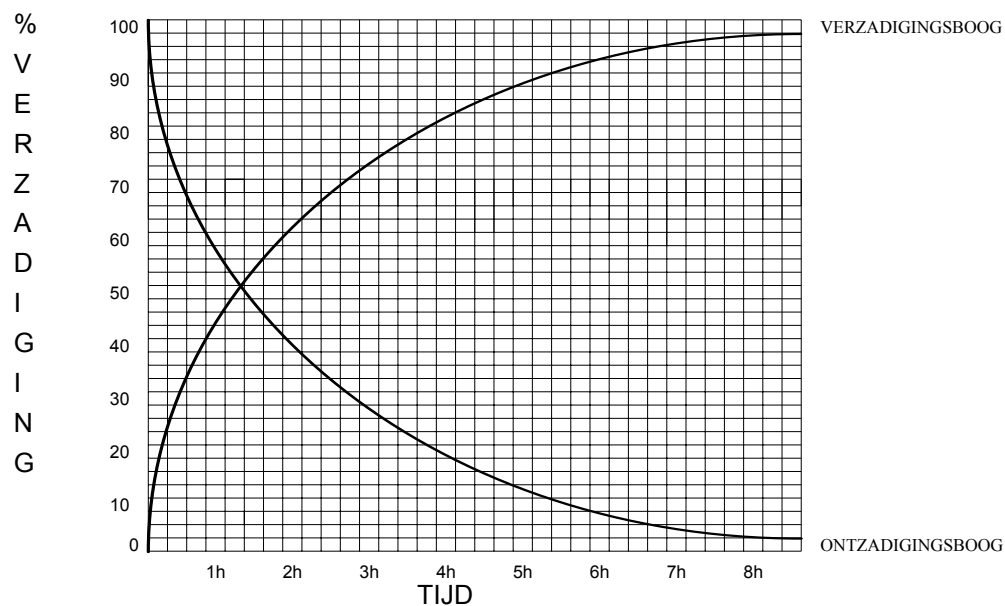
Dit fenomeen zal des te sneller gebeuren naargelang de oppervlakte en het drukverschil groter is. De uitwisseling gebeurt snel bij het begin, wanneer het verschil in spanning tussen de buitenomgeving en de weefsels groter is, maar zij vertraagt progressief naargelang het verschil in spanning verkleint en de verzadiging nadert.

We kunnen dus aannemen dat:
a/ Gedurende de eerste periode, 50% van het gas zich in de vloeistof oplost en deze laatste dus een verzadiging van 50% zal bereiken.
b/ Dat gedurende de tweede periode, de helft van het overgebleven, niet opgelost gas m.a.w. 50%

van 50% = 25% zal oplossen en dat de vloeistof dus een verzadiging van 75% zal bereiken.
c/ Enz.

Initiële verzadiging

1 ste periode:		50%verzadiging
2 de periode:		75% verzadiging
3 de periode:		87,5% verzadiging
4 de periode:		93,75% verzadiging
5 de periode:		96,87% verzadiging
6 de periode:		98,43% verzadiging



Praktisch spreken we van volledige verzadiging of ontzadiging na 6 periodes.

2.4.5 Oververzadiging (sursaturatie)

Indien er te veel gas in de vloeistof opgelost is, is er een toestand van oververzadiging. Indien de druk van het gas te snel afneemt, kunnen er bellen gevormd worden (vb. Spa fles).

2.5 Diffusie en osmose

Het basismechanisme dat een vloeistof doorheen een buis laat stromen, is het drukverschil tussen beide uiteinden van de buis. Dit drukverschil is verantwoordelijk voor de verplaatsing van een massa vloeistof van de ene plaats naar de andere.

Een tweede mechanisme dat dit zelfde resultaat bereikt, is het bestaan van een concentratieverschil tussen twee punten in plaats van een drukverschil. Wanneer de concentratie (het aantal moleculen per volume eenheid) hoger is in één gebied dan in het andere, dan zullen de moleculen vloeien van het gebied van hoge concentratie naar het gebied met lage concentratie.

De twee fundamentele processen die gebruik maken van dit transportfenomeen zijn diffusie en osmose, waarbij osmose kan omschreven worden als een diffusie van water doorheen een membraam. Eenmaal er een concentratie evenwicht bereikt is, houdt het proces op.

Toepassingen: gasuitwisseling ter hoogte van de longen.

3 Lucht als duikgas

3.1 De samenstelling van lucht

Component	Symbool	Vol %	Moleculaire Massa	Narcotisch vermogen	Opmerkingen
Stikstof	N ₂	78,084	28	1	Veilige limiet : 70 m
Zuurstof	O ₂	20,946	32		Veilige limiet zuivere O ₂ : 8 m
Argon	Ar	0,934	40	2,32	Veilige limiet : 30 m
Koolzuur	CO ₂	0,033			Hypercapnie
Waterstof	H ₂	0,003	2	0,55	Explosief indien % > 4%
Helium	He		4	0,23	Vluchtig, warmteverlies
Neon	Ne		20	0,28	Veilige limiet : 90 m
Krypton	Kr		84	7,14	
Xenon	Xe		131	25,64	
Radon	Rn				
Koolstofmonoxide	CO				Uitlaat motoren!

3.1.1 Stikstof (N₂)

Stikstof vormt één der twee hoofdbestanddelen van lucht. Het is een inert gas dat kleur-, geur- en smaakloos is. Op zich, is het niet in staat om leven of verbranding in stand te houden. Stikstof beschikt over een bedwelmend vermogen die afhangt van zijn partiële druk in de lucht, of het ingeademde mengsel. Bij diepe duiken zal een autonome luchtduiker psychische stoornissen ondervinden, meestal te zien aan de gedragingen van de duiker, maar soms zonder enig uiterlijk symptoom. Deze stoornissen kunnen echter op elk moment een onbedachtzame handeling of een paniecreactie met catastrofale gevolgen met zich meebrengen.

3.1.2 Koolzuurgas (CO₂)

Dit gas wordt geproduceerd door de normale verbranding van voedsel in het lichaam. We weten dat warmte en energie voortgebracht worden in het lichaam dankzij de oxidatie van de koolstof en waterstof, aangevoerd door het voedsel. Dit ingewikkeld proces, stofwisseling genaamd, heeft als afvalproducten water en koolzuurgas die respectievelijk langs de nieren en de longen afgevoerd worden. Aangezien een gedeelte van de zuurstof gebruikt wordt voor de oxidatie van waterstof, zal het volume van het terug afgevoerde koolzuurgas gewoonlijk kleiner zijn dan het verbruikte zuurstofvolume. In rust wordt er bij elke 250 ml verbruikte zuurstof slechts 200 ml koolzuurgas afgevoerd. Het koolzuurgas, fysiologisch noodzakelijk voor ons lichaam, wordt,

indien nodig, afgevoerd maar kan soms per ongeluk aangevoerd worden. Ons organisme behoudt het nodige en elimineert het overbodige gas via de ademhaling, dit in het geval dat de ademhaling normaal verloopt. Deze toestand wordt "normocapnie" genoemd. De "hypercapnie" (koolzuurvergiftiging) kan voorkomen als gevolg van:

- inwendige oorzaken: (de stofwisseling) bv. buiten adem zijn.
- uitwendige oorzaken: bv. slechte vulling van de flessen.

De giftigheid van CO₂ zal in functie zijn van zijn partiële druk in de ingeademde lucht en ze zal dus verhogen met de diepte. De hypercapnie ademhaling, schijnbaar onbeduidend aan de oppervlakte, kan hinderlijke en vervolgens gevaarlijke gevolgen hebben op diepte. De volgende tabel geeft de verhouding weer tussen de partiële CO₂ druk en de fysiologische effecten op de mens.

DIEPTE	ABSOLUTE DRUK	% CO ₂	PD CO ₂	FYSIOLOGISCHE EFFECTEN
0m	1 bar	1	0.01	niet voelbaar
10m	2 bar	1	0.02	lichte hyperventilatie
30m	4 bar	1	0.04	buiten adem, hoofdpijn
50m	6 bar	1	0.06	buiten adem, bedwelming
60m	7 bar	1	0.07	buiten adem, duizeligheid braakneigingen, zware bedwelming
70m	8 bar	1	0.08	duizeligheid, verwarring, bewustzijnsverlies

3.1.3 Koolmonoxide (CO)

Dit is een uiterst giftig gas, gevormd door de onvolledige verbranding van koolstofhoudend materiaal. De toevallige aanwezigheid van CO met een waarde van méér dan 1% in de samengeperste lucht in duikflessen, is een vervuiling die meer voorkomt dan men denkt. De oorzaak hiervan is de slechte opstelling van de luchtaanzuiging van de compressor, zoals te dicht bij een motoruitlaat of in een slecht geventileerde ruimte, of zonder rekening te houden met de wind zodat deze laatste uitlaatgassen meevoert naar de luchtaanzuiging.

4 Decompressiemodellen

4.1 Generaties van tabellen volgens Haldane

Hoewel er al vele eeuwen duikers zijn, stond men pas rond de helft van vorige eeuw technisch voldoende ver om mensen een redelijk lange tijd onder water te laten verblijven, of om werken onder samengeperste lucht toe te laten. Een aantal van deze “caissonarbeiders” en helmduikers ver toonden na hun terugkeer onder atmosferische druk storingen die we nu als verschijnselen van een decompressieongeval herkennen. Soms lieten deze ongevallen geen sporen na, dan weer maakten ze het slachtoffer ongeneeslijk gebrekkig, soms was er een dodelijke afloop.

De toenmalige geneeskunde stond machteloos tegenover deze “caissonziekte” en er ontstonden allerlei theorieën, de ene al fantastischer dan de andere.

4.1.1 1 ste generatie (Haldane)

Het is PAUL BERT die rond 1870 in zijn werk “De barometrische druk” de juiste oorzaak van deze ongevallen aangeeft en voor het eerst een wijze van decompresseren uitwerkt die het risico op een ongeval sterk verlaagt.

In 1907 ontwikkelt de Britse natuurkundige JOHN HALDANE een eerste echte duiktabel: ze is gebaseerd op de saturatieformule zoals ze in een later deel van dit hoofdstuk wordt gegeven. De tabellen die volgens deze Haldane-methode werden opgesteld, noemt men de tabellen van de eerste generatie. Ze kenmerken zich door een klein aantal weefsels (5,10,20,40,**75**) te beschouwen en een voor elk weefsel gelijke kritische oververzadigingscoëfficiënt ($K.O.C.$) = 2.

4.1.2 2 de generatie (Shilling & Wilgrube, Alinat)

Wanneer men ontdekt dat deze KOC's voor elk weefsel maar ongeacht van de diepte verschillen, worden de tabellen van de tweede generatie ontworpen: os. de U.S. Navy Duiktabellen 1943 door Shilling en Willgrube.

Commandant ALINAT van de G.E.R.S. zet deze tabellen om in het metriek stelsel en ontwikkelt een manier om opeenvolgende duiken te berekenen. Deze GERS-tabel zal in België tot 1980 in gebruik blijven.

4.1.3 3 de generatie (Workman)

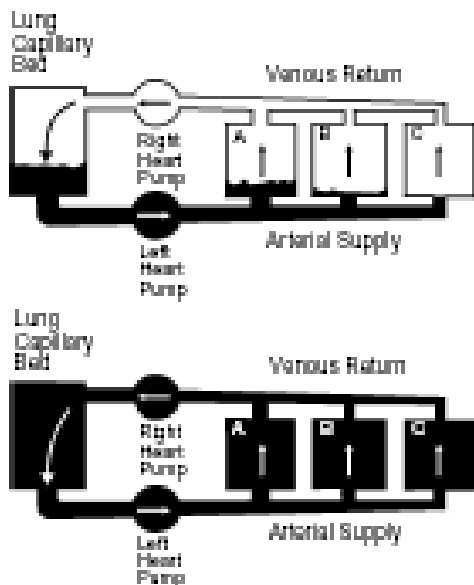
In 1965 publiceert WORKMAN, een specialist van de US Navy, de theorie dat de KOC niet enkel verschilt van weefsels tot weefsel, maar ook afhangt van de hoeveelheid opgeloste stikstof (d.w.z. ook afhankelijk is van de diepte). De fysioloog SPENCER kan deze theorie in 1968 met de door hem ontworpen bellendetector (die op het Doppler steunt) proefondervindelijk bevestigen.

Op basis van de theorie van Workman worden dan de tabellen van de derde generatie opgesteld:

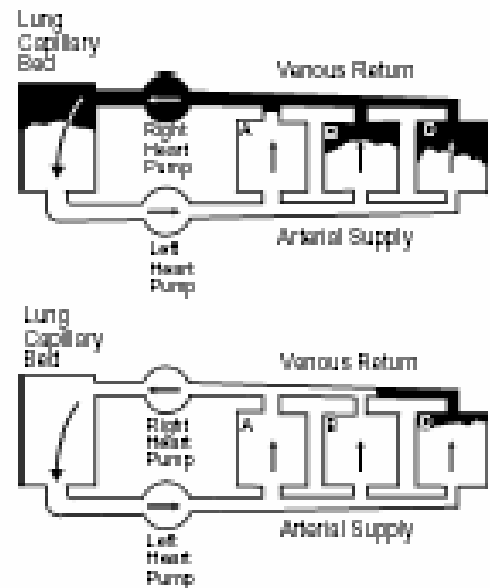
- U.S.NAVY1970
- Huidige BRITISH NAVY

- FRANSE COMEX (vooral voor o.w.-arbeid) door C. AGARATE
- ZWITSERSE TABELLEN van BÜHLMANN
- CABARROU-Tabel (vooral voor professioneel gebruik)
- en waarschijnlijk nog RUSSISCHE, JAPANSE, enz.

4.2 Saturatie – desaturatie in het lichaam

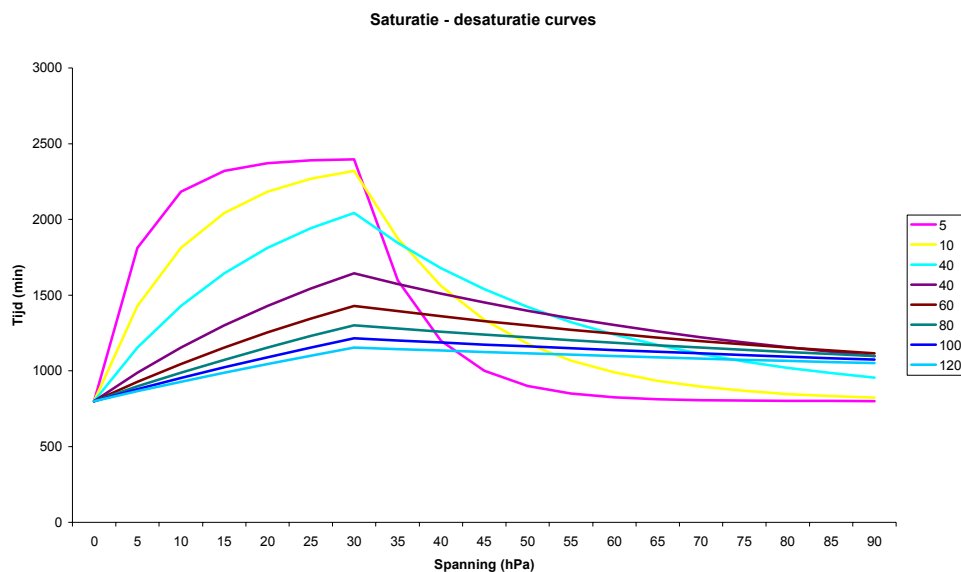


Figuur 1: Saturatie van de weefsels



Figuur 2: Desaturatie van de weefsels

- Diepte neemt toe -> druk stijgt (Pascal)
- Lucht inademen onder verhoogde druk -> pp N₂ stijgt (Dalton)
- Bij dalen : pp N₂ in gas > pp N₂ in vloeistof -> verzadigen (Henry)
- Bij stijgen : pp N₂ in vloeistof > pp N₂ in gas -> ontzadigen (Henry)
- Druk neemt af -> volume van de bel neemt toe (Boyle & Mariotte)



Figuur 3: Verzadigingscurve per weefsel

4.3 Berekeningsmethode

Het is de bedoeling een idee te geven over de wijze waarop duiktabellen worden opgesteld en hoe in het algemeen de saturatie en desaturatie van het lichaam kan berekend worden.

Daarvoor steunen we op gegevens die gediend hebben bij de opstelling van de U.S. Navy-tabel 1970, maar ook de andere tabellen worden op een gelijkaardige wijze berekend.

De U.S. Navy 1970-tabel gebruikte een stijgsnelheid van 18 m/min.

Bij de voorbeeldberekeningen werd gebruik gemaakt van afgeronde cijfers:

- ppN in atmosfeer 0,78 bar afgerond 0,8 bar
- Amerikaanse voet: 30,45 cm afgerond 30 cm

Hieruit volgt dat de resultaten van de berekeningen, die volgens de hier gebruikte methode gebeuren, soms in andere trappen resulteren dan de in de U.S. Navy-tabel gepubliceerde.

Fysiologisch bekeken, gedragen grote delen van ons lichaam zich als vloeistoffen: ze gaan (ten gevolge van de wet van Henry) gassen oplossen indien ze een druk van deze gassen ondergaan. Dit geldt voor elke gasdruk waar ons lichaam aan wordt blootgesteld, maar de wijze waarop we stikstof opnemen is voor duikers het belangrijkste.

Het lichaam bestaat uit vele verschillende weefsels, die zich alle als een andere vloeistof gedragen: ze hebben dus alle een verschillende periode. Omdat het onmogelijk is voor elk denkbare periode berekeningen te maken, beschouwt men bij het opstellen van een tabel het lichaam als bestaande uit een beperkt aantal weefsels met perioden die verantwoord gekozen zijn: bij de US Navy-tabellen zijn dit respectievelijk de weefsels met periode van: 5 - 10-20 -40-80- 120 min voor de duiken waarbij een successieve duik binnen de 12 u kan volgen, en perioden van 160 - 200 - 240 min voor duiken dieper dan 57 m, waarbij een successieve duik verboden is.

Het begrip weefsel bij tabelberekening staat dus voor een denkbeeldig weefsel met een bepaalde periode. Het heeft dus geen anatomische betekenis, enkel een wiskundige.

Bij het begin van een duik heeft elk weefsel een stikstofspanning van 0,8 bar. Wanneer de duiker afdaalt wordt hij aan een grotere stikstofdruk onderworpen. Dit verschil tussen de N buiten en de N in een weefsel, noemt men de gradiënt. Wanneer er een gradiënt ontstaat, gaat het weefsel stikstof opnemen. Bij snelle weefsels (kleine periode) zal die gradiënt snel worden overbrugd, bij trage weefsels (grote periode) zal het lang duren voor de spanning in het weefsel gelijk wordt aan de stikstofdruk buiten (verzadiging treedt op na 6 perioden!).

Om de spanning in een weefsel te kennen, moeten we dus bij de begin- spanning dat deel van de gradiënt bijtellen dat reeds door het weefsel werd doorlopen:

SPANNING in weefsel = BEGINSpanning + GRADIËNTxTIJDSFACTOR

In de meeste werken vindt men daarvoor volgende formule:

$$p_{og} = p_o + (p - p_o) (1 - e^{-kt})$$

p_{og} : spanning van het opgeloste gas in het weefsel
 p_o : beginspanning in het weefsel bij de start van het drukverschil
 p : partiële druk van de ingeademde N_2 (= 0,8 x omgevingsdruk)
 t : tijd die het weefsel aan het drukverschil werd onderworpen
 $p - p_o$: gradiënt
 $1 - e^{-kt}$: tijdsfactor (afhankelijk van de periode en de tijd)

Deze tijdsfactor kan herwerkt worden tot $1 - 0,5^{(t/T)}$.
 T is de periode van het weefsel.

Waarna de formule wordt:

$$p_{og} = p_o + (p - p_o) (1 - 0,5^{(t/T)})$$

Een belangrijk deel van het rekenwerk bestaat uit het berekenen van de tijdsfactor.

Een vloeistof gaat gas afgeven als de partiële druk van het gas boven de vloeistof kleiner wordt dan de spanning van het gas opgelost in de vloeistof. Dit desatureren wordt door dezelfde formule geregeld als het satureren.

Een weefsel zal beginnen met stikstofafgave wanneer $p < p_o$. Voor het rekenwerk betekent dit dat de gradiënt dan negatief wordt, waardoor de spanning van de stikstof in het weefsel (p_{og}) daalt.

Vermits in elk weefsel de spanning van het opgeloste gas verschillend is, zullen ze elk op een verschillend moment van het stijgen beginnen te desatureren. De tragere weefsels zullen bij het stijgen in het begin nog stikstof opslaan, terwijl de snellere reeds stikstof afgeven. Dit afgeven van stikstof is ongevaarlijk wanneer het voldoende traag gebeurt: als echter grote massa's stikstof snel vrijkomen, ontstaat belvorming met een decompressieongeval als gevolg.

Belvorming blijkt te ontstaan wanneer de verhouding spanning opgelost gas (p_{og}) / omgevingsdruk te groot wordt. Deze verhouding noemt men de oververzadigingscoëfficiënt. De grenswaarde die niet mag

overschreden worden wanneer men belvor ming wil vermijden, noemt men de kritische oververzadigingscoëfficiënt (KOC). Deze KOC verschilt van weefsel tot weefsel en verschilt per weefsel nog naargelang de opgeloste hoeveelheid stikstof (die in verband staat met de diepte).

Het bepalen van de verschillende KOC's gebeurde proefondervindelijk: o.a. door middel van een bellendetector op basis van het Doppler. Tegelijkertijd werd rekening gehouden met een aantal andere factoren die de stikstofuitwisseling met de omgeving kunnen beïnvloeden: de watertemperatuur en het door de duiker ontwikkelde vermogen. Deze bedragen bij de U.S. Navytabel 10°C en 100 Watt.

Een duiker moet dus voorkomen dat hij tijdens het stijgen de KOC van een weefsel voor zijn diepte overschrijdt. Dit gebeurt door de stijgsnelheid te begrenzen tot 10 m/minuut en door de stijging te onderbreken als een KOC benaderd wordt (dit is dus een trap maken).

Om te vermijden dat telkens voor elk weefsel per nieuw bereikte diepte de oververzadigingscoëfficiënt moet berekend worden, heeft Workman - een onderzoeker van de U.S. Navy laboratoria - voor alle weefsels en voor elke bereikbare diepte de KOC omgezet in een toegelaten stikstofspanning. Deze toegelaten stikstofspanningen worden "M" (moments) genoemd en kregen de kPa (kilopascal) als eenheid mee (1 kPa = 0,01 bar, of 100 kPa = 1 bar). 1 kPa komt dus overeen met de druk uitgeoefend door een waterkolom van 1 dm.

Om veilig te duiken volstaat het nu om tijdens het stijgen bij elke diepte de pog per weefsel met de toegelaten M te vergelijken en niet verder te stijgen wanneer een M zal overschreden worden.

Diepte	Periode ppN ₂	5	10	20	40	80	120	160	200	240
		Toegelaten p _{og}								
0	80	270	240	205	172	156	152	148	144	140
3	104	330	290	250	212	191	185	179	174	170
6	128	390	340	295	252	226	218	210	204	200
9	152	450	390	340	292	261	251	241	234	230
12	176	510	440	385	332	296	284	272	264	260
15	200	570	490	430	372	331	317	303	294	290
18	224	630	540	475	412	366	350	334	324	320
21	248	690	590	520	452	401	383	365	354	350
24	272	750	640	565	492	436	416	396	384	380
27	296	810	690	610	532	471	449	427	414	410
30	320		740	655	572	506	482	458	444	440
33	344		790	700	612	541	515	489	474	470
36	368		840	745	652	576	548	520	504	500
39	392			790	692	611	581	551	534	530
42	416			835	732	646	614	582	564	560
45	440				772	681	647	613	594	590
48	464				812	716	680	644	624	620
51	488					751	713	675	654	650
54	512					786	746	706	684	680
57	536					821	779	737	714	710
60	560						812	768	744	740
63	584							799	774	770
66	608							830	804	800
69	632									
72	656									
75	680									
78	704									
81	728									
84	752									
87	776									
90	800									
Toename van M/3 m		60	50	45	40	35	33	31	30	30

Figuur 4: “M” van WORKMAN: toegelaten spanning in kPa per weefsel en per diepte.

4.4 Andere modellen

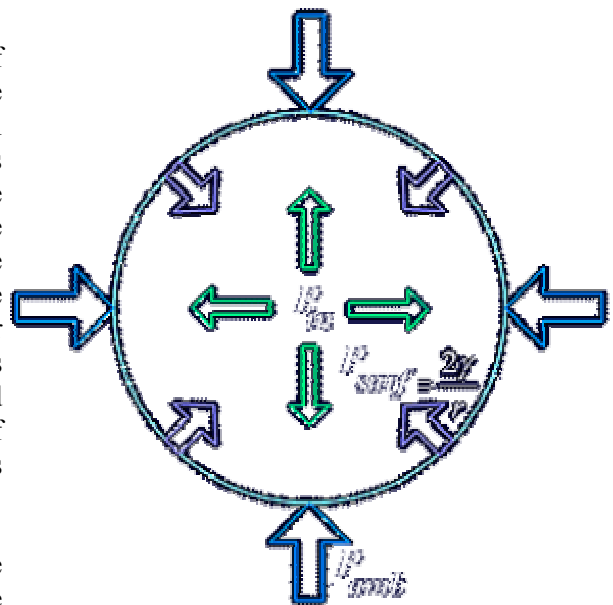
In classic decompression theory according to Haldane and successors a certain amount of supersaturation of the divers tissue with dissolved inert gas is allowed. The divers tissue is divided in a number of hypothetical tissue compartments. A certain limit (M-value) is associated with each compartment to supersaturation levels of dissolved inert gas in the compartment (tissue tension). This theory suggests efficient decompression by pulling the diver as close to the surface as possible with constraint that in all tissue compartments the supersaturated tissue tension remains within the limits. By pulling the diver as close to the surface the pressure gradient between the supersaturated tissue tension and the pulmonary (or arterial) gas is maximized. This enhances the elimination of the excess gas in the tissue. This theory is mainly empirical and based on experiment. At the moment most diving tables and computers are based on this theory.

Since the early days, diving has become more sophisticated by diving deeper and longer, the use of other breathing mixtures, etc. Some tech divers have made their own adaptations to the decompression schedules by inserting depression stops at greater depth ('deep stops', sometimes called 'Pyle stops' after Richard Pyle). These divers report feeling better when using these deep stops. This suggests that classic decompression theory fails in some situations and cannot be extrapolated to every diving situation. In order to gain insight in the principles of decompression, forming of bubbles during decompression has been studied for the last three decades. This has resulted in new theories like the Varying Permeability Model (VPM) by Yount et al. and the Reduced Gradient Bubble Model (RGBM). Bubble theories do not only take into account the dissolved gas (like the Haldane models), but also the free gas in the divers body. In this chapter we will have a look at some features of bubble theory. Lots of mathematics will be presented. The most important equations however, will be highlighted.

4.4.1 Bubbles and surface tension

Consider a small air bubble in a glass of water. For the moment we neglect the solubility of the air in water. The small amount of air within the bubble is surrounded by a surface. The surface consists of water molecules which are unbound to one side. An unbound molecule represents more energy than a molecule which is completely surrounded by other water molecules. A *surface tension* γ is associated with this surface between air and water. The surface tension is the amount of energy per unit of surface area and is expressed in J/m^2 or N/m .

A system will always try to minimize energy. Surface tension tends to minimise the bubble's surface. Hence, a bubble tends to collapse. However, collapsing a bubble decreases its volume. This will increase the gas pressure in the bubble (Boyle's law),



Figuur 5: In equilibrium the internal pressure in the bubble is equal to the sum of the ambient pressure and the skin pressure due to the surface tension

until equilibrium is established: the internal pressure compensates the surface tension.

From this equation we learn that the smaller the bubble, the higher the pressure inside. You can experience the radius dependency of the pressure by trying to blow a balloon (bubble principles perfectly apply to a balloon up to the point where the balloon explodes). To get the first blow of air into the balloon (small radius) is a hell of a job, whereas it becomes easier if the balloon becomes larger.

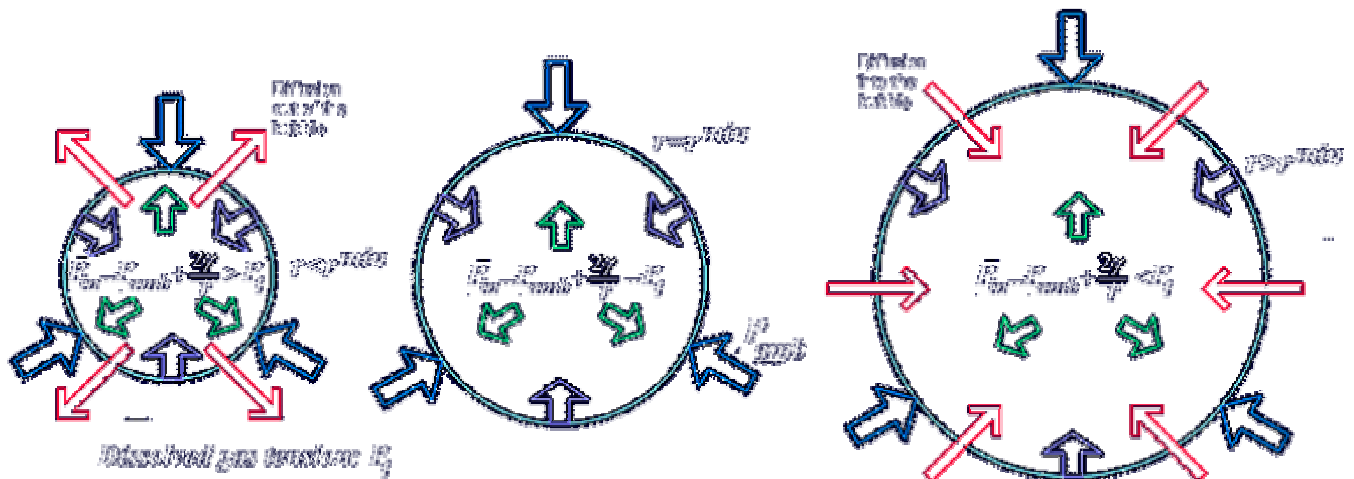
4.4.2 Bubbles and diffusion

When we have a bottle of beer things get a bit more complicated (Usually the opposite holds, but when we look at the bubbles it might be). Bubbles in beer contain Carbon Dioxide. There is also Carbon Dioxide in solution in the beer. Carbon Dioxide can diffuse from the solution into the bubble or vice versa, depending on the partial pressure of the Carbon Dioxide in solution and in the bubble. If we assume that the bubble consist of only Carbon Dioxide, the Carbon Dioxide pressure in the bubble is given by equation (1) and depends on the radius of the bubble.

We define the partial pressure of the Carbon Dioxide in solution in the beer to be P_t . (If we regard the bottle of beer as a primitive model for a diver, we could call it 'tissue tension'). If the bottle is closed, the partial pressure of the Carbon Dioxide in solution P_t is in equilibrium with the ambient pressure P_{amb} . If we assume there is only Carbon Dioxide gas in the (closed) beer bottle, the beer is saturated with Carbon Dioxide and P_t will be equal to P_{amb} (we can neglect hydrostatic pressure). The pressure in the bubble P_{in} will be higher than P_t due to the surface tension. Gas from within the bubble will diffuse into solution and the bubble will collapse. So every bubble will collapse eventually due to this gradient $P_{in}-P_t$. This is why in a closed bottle of beer there are no bubbles and there is no foam. However, if we open the bottle things will be different. The ambient pressure will drop, whereas the value of P_t remains the same, at least for the moment. In this case P_t is larger than P_{amb} : the beer is supersaturated with Carbon Dioxide.

Given an ambient pressure P_{amb} and the partial pressure P_t of the Carbon Dioxide in solution, there is a critical bubble radius r_{min} at which the pressure inside the bubble P_{in} equals P_t .

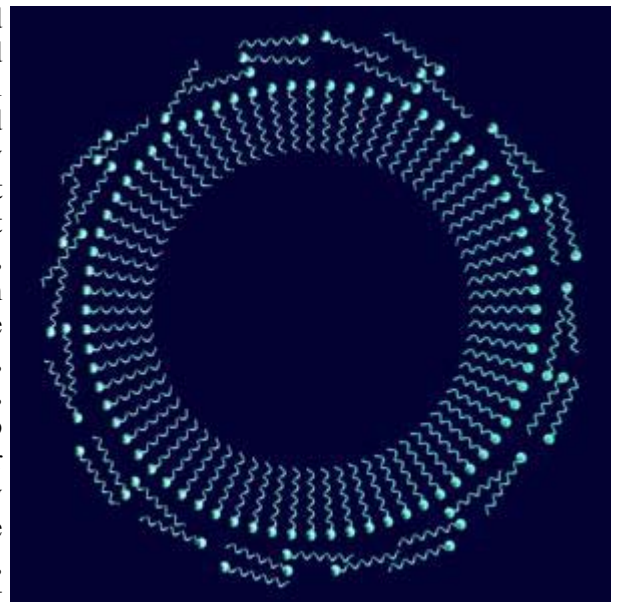
For bubbles which size exceeds this critical size the pressure P_{in} in the bubble is smaller than the partial pressure P_t of the Carbon Dioxide in solution. Carbon Dioxide will diffuse from solution into the bubble. The bubble will grow. For bubbles smaller than the critical size, the opposite holds: gas from the bubble diffuses into solution and the bubble shrinks until it collapses completely. Bubbles at the critical size are in equilibrium, though it is an unstable equilibrium.

**Figuur 6**

So every bubble with a radius larger than r_{min} will start to grow. When we look at our opened bottle of beer we see bubbles becoming visible and heading for the surface, where they form foam. If you scrutinize a bubble you'll see that it grows during ascent. Its diameter might have doubled or tripled when it arrives at the surface. You might think this is due to Boyle's law. However it takes an ascent of several meters for a bubble to double its diameter. The growth of the bubble is due to the diffusion described above.

4.4.3 The Varying Permeability Model

According to previous chapter, in a supersaturated situation any bubble exceeding a critical size r_{min} will grow (and will disappear by floating to the surface) and any bubble smaller than this size will collapse. In a normal non-supersaturated situation, r_{min} approaches infinity. Any bubble will collapse. So we do not expect any bubbles around after a while. You might expect that if no initial bubbles are around, there is no bubble to grow on supersaturating the liquid. The tensile strength of water is estimated on 1000 atm, making immense supersaturations possible, before bubbles (voids) are created. If no initial bubbles would be present in the water making up the diver, a diver could easily dive to a kilometer depth and pop up to the surface without any problems. In practice, this is not the case. Bubbles form on modest decompression as low as 1 atm. Here comes in the Varying Permeability Model (VPM). The VPM was initially defined by Yount et al. [2] in order to give a quantitative explanation on the formation of bubbles in

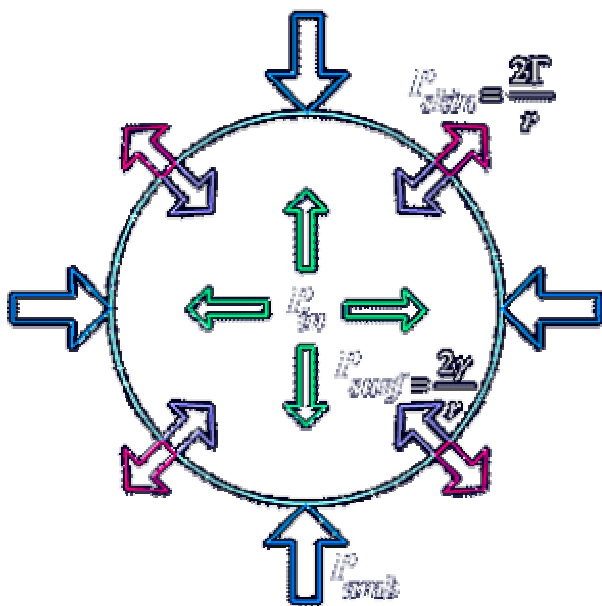


Figuur 7: Skins of varying permeability are the base of the VPM

decompressed gelatin [1] (as model for divers tissue). Later on, they showed this model can be used to calculate dive tables as well [3], [4]. In next paragraphs we will have a look at the gelatin theory. Later on we will apply the theory to diving.

4.4.4 The gelatin experiments

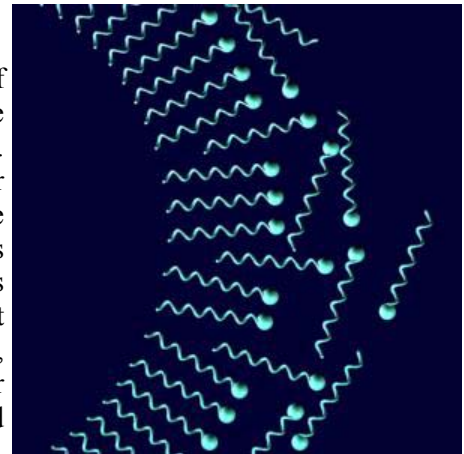
Experiments on gelatin have been performed, by David Yount and other researchers. The advantage of gelatin over water is that any bubble appearing during decompression gets trapped and won't flow to the surface. In this way they can be observed and counted. Yount applied the rudimentary pressure of Figure 4 to gelatin samples: Gelatin samples were made at ambient pressure $P_{amb}=P_0$ of 1 atm. The samples were rapidly compressed in a 100% Nitrogen atmosphere to $P_{amb}=P_m$. The samples were left at a pressure $P_{amb}=P_s=P_m$ for more than 5 hours. This period was long enough to fully saturate the sample at this pressure, so that $P_t=P_s$. After this, the samples were rapidly decompressed to a final pressure $P_{amb}=P_f$. After this decompression, bubbles formed in the sample. The number of bubbles were counted. Pressure changes are regarded fast: during the changes no gas is taken up or removed from any bubble. Basic concepts



Figuur 8: Pressures acting on the surface of the bubble.

According to the VPM, in aqueous media like water and gelatin stable gaseous cavities are present. They are called *nuclei*. Radii range from a few $1/100 \mu\text{m}$ up to around $1 \mu\text{m}$. Any nucleus in water larger will flow to the surface and disappear. Whereas an ordinary bubble with these radii would collapse under normal conditions (no supersaturation), these nuclei appear to be exceptionally stable and have a long life. Yount proposed this stability is due to an elastic skin made up of surfactant, as shown schematically in Figure 3. Surfactant consists of (hydrophobic) surface active molecules, which are aligned. During the compression stage, these skins are permeable for gas up to a pressure of around 8 atm. Diffusion through the skin takes place. The pressure P_{in} of the gas in the nucleus is equal to the dissolved gas tension P_t in the surrounding liquid. Above this pressure, the skin becomes impermeable. Upon decompressing (reducing the ambient pressure) the skins are regarded permeable. The skin gives rise to a 'surface compression' Γ which opposes the regular surface tension γ of the water/air surface.

Upon compressing and decompressing, variation of the size of the nucleus becomes too large to be supported by varying distances between molecules. Surfactant molecules have to be expelled from or taken up into the skin in order to compensate for the area decrease resp. increase of the nucleus. This is schematically shown in Figure 6. The skin is surrounded by an amount of surfactant, which is not part of the skin. This amount acts as a reservoir, taking up or supplying surfactant molecules from or to the skin. The reservoir molecules are not aligned and cannot support a pressure gradient.



The initial compression (defining P_{crush}) is important for $P_{\text{ss}}^{\text{min}}$. During this stage nuclei are crushed to a smaller size, making them less active in bubble formation. The secret lies in equation/assumption (15), which states that no regeneration of the bubble size takes place during saturation. It implies that a descent during a dive should be as quick as possible, the deepest part of the dive should be at the start of the dive and deeper dives should precede shallower dives in a repetitive dive situation. These facts have been empirically found during a century of decompression research.

4.4.5 Applying VPM to diving

In this section we will apply the VPM to a diving situation and describe a method to generate diving tables. Whereas the VPM theory of previous sections applies to a special situation of fully saturated gelatin in a 100% Nitrogen atmosphere, situations during diving are different. The assumption that the severity of DCS is proportional to the absolute number of bubbles leads to very safe diving tables, not covering all of the conditions of modern diving tables and often leading to unacceptable long decompression periods. The VPM was reformulated, as described in this section, to fit it with conventional diving tables. Conventional diving tables were regarded as valid measurements.

The derivation of the theory below is based on a number of more or less ad hoc assumptions. The most important assumptions concern the relationship between decompression symptoms and the amount of free gas (bubbles) in the divers tissue:

- There is an amount of bubbles N_{safe} which can be tolerated by the divers body, independent of all circumstances (like tissue tension, degree of supersaturation, etc). The initial critical radius corresponding to this number is $r_{0\text{min}}$.
- The actual number of bubbles N_{actual} may be higher than N_{safe} as long as the total volume V of all free gas always remains below a critical value V_{crit} . This is called the 'critical-volume hypothesis'. A initial radius $r_{0\text{new}}$ smaller than $r_{0\text{min}}$ is associated with this number.
- The volume of free gas V inflates at a rate proportional to P_{ss} ($N_{\text{actual}} - N_{\text{safe}}$), where P_{ss} is the saturation $P_t - P_{\text{amb}}$.

4.4.6 *The Reduced Gradient Bubble Model*

Bruce Wienke extended the VPM by incorporating repetitive diving, including multi day diving. This resulted in the Reduced Gradient Bubble Model.

5 Zuurstof en Nitrox (Zuurstof als stikstofvervanger)

5.1 Zuurstof (O₂)

Tweede bestanddeel van lucht, eveneens kleur-, geur- en smaakloos. Het is onontbeerlijk voor elk dierlijk leven. Indien dit gas alleen, of in een mengsel ingeademd wordt, dan moet, om de functies van het organisme normaal te laten verlopen, de partiële druk rond de 0,21 bar liggen (normoxie). De partiële O₂ druk mag niet lager komen dan 0,17 bar om beschermd te zijn tegen de gevaren van zuurstoftekort (hypoxie). Deze toestand is niet voelbaar bij een normaal individu, aangezien het mogelijk is om met een pp O₂ van 0,155 bar te leven (dit is de zuurstofwaarde van lucht op 2500 m hoogte, die het drukevenwichtsniveau vormt van de meeste verkeersvliegtuigen op lange afstandsvluchten).

De eerste symptomen van hypocapnie kunnen verschijnen bij een pp O₂ van 0,12 bar. Indien deze drukwaarde niet bereikt wordt, kan dit gevaar opleveren, zoals bij het beklimmen van een berg. Wanneer de drukwaarde slechts 0,10 bar bedraagt, kan er een bewustzijnsverlies optreden. Dit is niet onmiddellijk het geval wanneer de druk progressief daalt.

Zuurstof kan ook giftig worden indien het onder te hoge pp ingeademd wordt. Het optreden van deze verschijnselen hangt af van de pp O₂, van de tijdsperiode en van de individuele gevoeligheid. Het kan al optreden vanaf een pp O₂ van 1,5 bar.

Het menselijk lichaam verbruikt zuurstof volgens zijn stofwisseling en zijn longventilatie en in functie van de geleverde spierarbeid. De volgende tabel geeft de dubbele verhouding weer tussen het geleverde werk, de verbruikte O₂ en de longventilatie.

Activiteit	O ₂ verbruik (l/min)	Ventilatie (l/min)
Rust	0,4	8
Licht werk	0,8	18
Middelmatig werk	1,3	30
Zwaar werk	1,7	40
Heel zwaar werk	2,5	60

5.2 Zuurstofvergiftiging

Er is een enorm grote individuele variatie voor de gevoeligheid aan CZS-zuurstofvergiftiging vastgesteld. Deze variatie is niet alleen geldig tussen personen onderling, maar ook voor dezelfde persoon in de tijd. De ene dag treden reeds na enkele minuten ernstige symptomen op. Terwijl de andere dag dezelfde persoon vrijwel geen symptomen vertoont na een lange blootstellingstijd.

De symptomen zijn erg onvoorspelbaar. Dit maakt ze moeilijk te klasseren. Er lijken zich 2 tendenzen af te tekenen:

- Een eerste waarbij eender welk deel van het CZS kan beïnvloed worden.
- Een tweede die tot convulsies leidt, al dan niet voorafgegaan door trillingen van bepaalde gezichtsspieren (vooral liptrillingen).

Om de belangrijkste symptomen te onthouden geven we hier een ezelsbruggetje onder het woord: SNAPDOOS.

S <u>S</u> piertrekkingen en -trillingen	Komen vooral voor in de gezichtsspieren. vnl. de lippen Ze vormen de voornaamste en meest typische aanwijzing dat het om een CZS-zuurstofvergiftiging gaat.
N <u>N</u> ausea	Misselijkheid, braakneigingen
A <u>A</u> demhaling	Weerstand, hijgen, grommende ademhaling, apneu, hikken
P <u>P</u> sychisch	Ongerustheid, euforie, dromerige toestand, verwarring, angst
D <u>D</u> uizeligheid	Duizeligheid, vertigo
O <u>O</u> gen	Lichtflitsen, verminderd gezicht
O <u>O</u> ren	Auditieve hallucinaties, kloppen, belgerinkel
S <u>S</u> tuiptrekkingen	Op zichzelf niet gevaarlijk. <u>Dodelijk in duikomstandigheden.</u>

Figuur 9: SNAPDOOS: de belangrijkste symptomen van een CZS zuurstofvergiftiging.

Er kunnen ook nog andere symptomen voorkomen zoals : onaangename geuren en smaken, paresthesieën, transpiratie, gezichtsbleekheid, verminderde spiercoördinatie, vermoeidheid, bradycardie, verhoogde bloeddruk

Elk symptoom kan zowel afzonderlijk als in combinatie met andere symptomen optreden.

Om de verhoging van het percentage van CZS-vergiftiging en om het aantal OTU's (Oxygen Toxicity Units) te bepalen moet je eerst de partiële zuurstofdruk op de relevante diepte bepalen met je ademmengsel bepalen. Kijk vervolgens voor die partiële zuurstofdruk in de eerste kolom. Daarnaast staat het CZS-percentages per minuut en het aantal opgenomen OTU's per minuut voor die specifieke diepte (partiële zuurstofdruk). De OTU's staan schuin afgedrukt. Vermenigvuldig het CZS-percentages per minuut met het aantal minuten en / of het aantal OTU's per minuut met het aantal minuten op die welbepaalde diepte (welbepaalde partiële zuurstofdruk) om de totale opname of blootstelling te vinden voor dat gedeelte van de duik. Noteer dat de totale CZS-blootstelling nooit 80 % mag overschrijden en dat het aantal OTU's beneden de 300 moet gehouden worden voor iedereen die duikt.

Noteer ook dat 1 OTU overeenkomt met het inademen van zuivere zuurstof bij een omgevingsdruk van 1 bar gedurende 1 minuut. Zie ook onderstaande tabel.

P_{po2}	CZS- %/min	OTU's/min		P_{po2}	CZS- %/min	OTU's/min
0,55	0,12	0,15		1,2	0,42	1,32
0,6	0,14	0,27		1,25	0,51	1,4
0,65	0,16	0,37		1,3	0,56	1,48
0,7	0,18	0,47		1,35	0,61	1,55
0,75	0,2	0,56		1,4	0,65	1,63
0,8	0,22	0,65		1,45	0,73	1,7
0,85	0,25	0,74		1,5	0,83	1,78
0,9	0,28	0,83		1,55	1,12	1,85
0,95	0,31	0,92		1,6	2,22	1,92
1,0	0,33	1		1,65	6,25	2
1,05	0,37	1,08		1,7	10	2,07
1,1	0,42	1,16		1,75	22,5	2,14
1,15	0,44	1,24		1,8	50	2,21

Figuur 10: OTU's/min volgens partiële zuurstofdruk.

5.3 Equivalente luchtdiepte

Het principe van equivalente lucht diepte (ELD) ook genoemd EAD (Equivalent Air Depth) gaat op als we een mengsel gebruiken met minder stikstof. We kunnen dit dan gelijkstellen voor trapbepaling met het ondieper gebruiken van lucht. Bijvoorbeeld: we gebruiken een 28% mengsel op 40 meter, met welke diepte komt dit overeen indien we lucht zouden gebruiken (21%)? We rekenen de ppN₂ uit: $(1-0.28) \times 5 = 3.6$ bar ppN₂. Om uit te rekenen met welke AP dit overeenkomt rekening houdend met een ppN₂ van 0.79 (lucht) maken we de bewerking: $3.6 \text{ bar} / 0.79 = 4.556962$ bar, we bekomen dus een equivalente lucht diepte van 35.6 meter.

Om dit in formulevorm uit te drukken:

$$\text{ELD} = (((1 - \text{frO}_2) \times p_{\text{abs}}) / 0.79) - 1) \times 10$$

5.4 Nitrox-productie

Er bestaan verschillende methoden voor het aanmaken van nitrox. Zo kan het mengen van het gas reeds plaatsvinden voordat we het als kant en klaar product naar de duikfles overhevelen. Vaak echter vindt de menging van het gas pas in de duikfles zelf plaats, omdat we beurtelings zuurstof en lucht toevoegen. Verder kunnen we een onderscheid maken tussen de systemen waarbij we zuurstof toevoegen en die waarbij we stikstof verwijderen.

5.4.1 *Partiële-drukmethode*

Bij die methode moet de vuller vooraf berekenen hoeveel extra zuurstof hij in de fles moet pompen om het gewenste mengsel te bekomen.

Daarna hevelt hij zuurstof onder hoge druk over vanuit een zuurstoffies (100 % O₂) in de lege of gedeeltelijk gevulde fles. Vervolgens vult hij de fles verder met gewone perslucht tot de normale einddruk.

Gedurende bepaalde stadia van het vulproces komt vrijwel zuivere zuurstof onder vrij hoge druk in aanraking met de binnenwand van de fles. Daarom dient deze laatste absoluut zuurstofzuiver zijn. Gewone, oliegesmeerde compressoren mogen we dan ook enkel gebruiken op voorwaarde dat we de lucht dubbel filteren”.

Op dit ogenblik bestaan er reeds compressoren en luchtfilters die een voldoende zuiverheid van de perslucht kunnen garanderen.

De partiële-druk vulmethode is de goedkoopste manier om nitrox aan te maken, maar ze vergt veel aandacht vanwege de vuiler.

Vanuit een compressor of bufferfies laten we gewone lucht naar een filtersysteem stromen. Daar worden koolwaterstoffen en andere verontreinigende deeltjes verwijderd. Vervolgens stroomt de gezuiverde lucht naar een trommel waarin zich duizenden haarfijne holle membraanvezels bevinden. De zuurstof in de aangevoerde lucht kan gemakkelijker door die membraanvezels dringen dan de stikstof, zodat er aan de andere kant van het membraan een zuurstofrijk mengsel (van stikstof en zuurstof) ontstaat. De stikstofrijke lucht verlaat het systeem via een ander kanaal.

Binnen bepaalde grenzen kunnen we het gewenste zuurstofpercentage vrij nauwkeurig bekomen. Dit gebeurt door het debiet door de trommel op te voeren of te verminderen.

Na dat “zeefproces” stroomt het zuurstofrijke mengsel naar een compressor en vandaar naar de nitrox-bufferfies en/of duikflessen.

Met dit systeem is het echter vrijwel onmogelijk om zuurstofpercentages boven 40 % te bekomen.

5.4.2 *Continue mengen*

Via een injectiesysteem spuiten we zuurstof onder atmosferische druk in de aangezogen lucht. Vervolgens vindt in de mengspiraal een grondige menging plaats, zodat we een homogeen mengsel bekomen. Na analyse passeert het mengsel door een olievrije compressor. De installatie dient daarom niet te beschikken over speciale voorzieningen voor zuurstof onder hoge druk. Door het gebruik van een olievrije compressor zal het mengsel ook niet met koolwaterstoffen verontreinigd kunnen worden en beschikken we over een uiterst veilig en gemakkelijk mengsysteem voor mengsels met zuurstofpercentages van 21 % tot 50 %.

Momenteel worden in dit systeem ook wel oliegesmeerde compressoren ingeschakeld. In dat geval moeten we de normale olie wel door speciale oliën vervangen.

5.5 Zuurstof als therapeutisch gas

5.5.1 *Wanneer 100 % O₂ toedienen?*

- Decompressie-ongeval of vermoeden van
- Longoverdruk of vermoeden van
- CO-intoxicatie of vermoeden van
- Tegenaanwijzingen voor O₂ : GEEN

5.5.2 *Wanneer is minder dan 100 % O₂ ook goed?*

- Bewusteloos, spontaan ademend slachtoffer (geen vermoeden van deco, longoverdruk of CO-intoxicatie)
- Slachtoffer in shock of na verdrinking (geen vermoeden van deco, longoverdruk of CO-intoxicatie)

5.5.3 *Hoe lang toedienen?*

- Tot in het hyperbaar centrum.
- Enkel onderbreken om slachtoffer te laten drinken.
- Nooit debiet verminderen om te “sparen”.

5.5.4 *Wat doet O₂?*

- Decompressieongeval:
 - Bel verkleinen
 - Weefsels vrijwaren van O₂-tekort
 - CO-intoxicatie:
 - CO versneld uitwassen
- Andere:
 - Weefsels vrijwaren van O₂-tekort
 - Shock bestrijden

5.5.5 Veiligheidsvoorschriften

- Nooit olie of vet (brandgevaar)
- Nooit roken, nooit in nabijheid van vuur
- Zuurstofgebruik in gesloten ruimtes kan leiden tot hoge concentraties en brandgevaar opleveren
- Alleen flessen en ontspanners geschikt voor zuurstof gebruiken; geen ombouw van luchtflessen en luchtontspanners
- Keuring

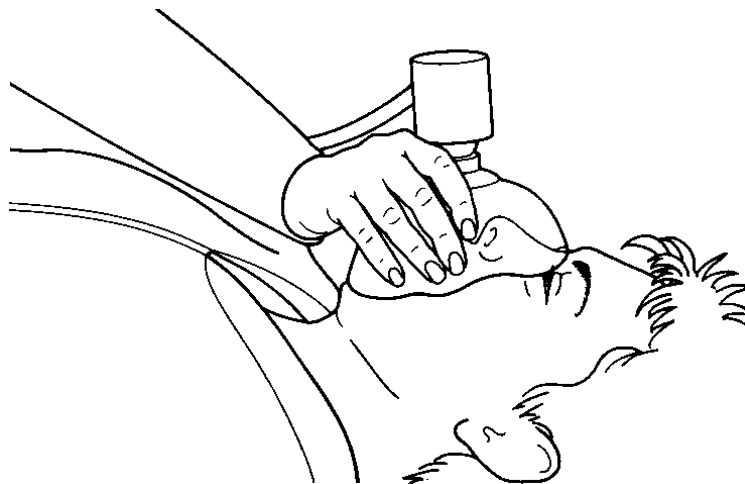
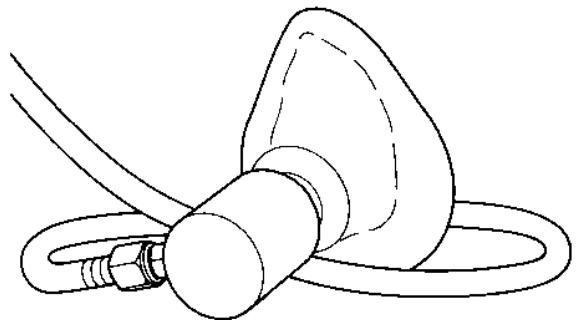
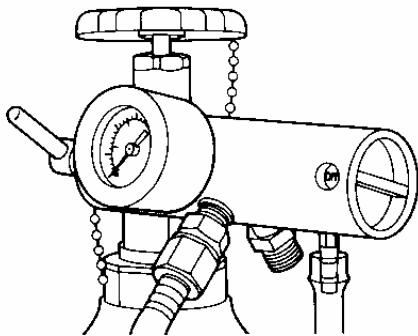
5.5.6 Toediening van O₂

- Volle fles met ontspanner en manometer
- Debietmeter: minstens 15 l/min (niet bij “on-demand” systeem)

5.5.7 Toedieningssystemen

- Masker met zak en kleppen
 - Wegwerpmasker.
 - Zak zorgt voor voorraad zuurstof, kleppen zorgen voor éénrichtingsverkeer van zuurstof.
 - Debiet rond de 15 l/min.
 - Bereikte concentratie: 70 %.
 - Goedkoop.
 - Te gebruiken bij bewusteloos slachtoffer.
- “On-demand” systeem
 - Tweetraps-ontspanner.
 - Geen debietinstelling nodig.
 - Geen tekort - geen verspilling.
 - Duur - zwaar.
 - Moeilijker bij bewusteloos slachtoffer.
 - Bereikte concentratie tot 100 %.

- “WENOLL” apparaat
 - Gesloten systeem: recuperatie van uitgeademde zuurstof met CO₂-absorber.
 - Zeer gering verbruik - grote autonomie.
 - Duur
 - Doorgedreven opleiding vereist.
 - Bereikte concentratie boven de 90 %.
 - Stikstofuitwassing?



6 Heliox en Trimix (Helium als stikstofvervanger)

6.1 Helium (He)

Lichter gas dan stikstof, gebruikt bij het duiken op grote diepten. Het is aanwezig in de atmosfeer maar uiterst duur om te vervaardigen. Gemengd met zuurstof (heliox) of met zuurstof en stikstof (trimix) wordt er een kunstmatig ademhalingsgas gecreëerd, waarvan de vergiftigingsverschijnselen veel minder zijn dan met lucht (Helium verwekt slechts neurologische verschijnselen tussen 200m en 300m). Buiten dit voordeel zijn er toch ook enkele nadelen aan verbonden:

- Helium geleidt warmte veel beter dan lucht zodat de temperatuur van het ademhalingsgas een grote rol speelt bij het duiken en dat het gas moet voorverwarmd worden. Helium is een goede warmtegeleider (dus een slechte isolator) en zal daardoor de warmte snel onttrekken aan de duiker die zijn droogpak bijvoorbeeld vult met een heliumrijk gasmengsel. Ook via de ademhaling kan de warmte sneller afgevoerd worden in tegenstelling met bijvoorbeeld lucht.;
- De viscositeit brengt een stemverhoging (Donald Duck stemmetje) met zich mee die het gebruik van een apparaat, om de verstaanbaarheid te verbeteren, noodzakelijk maakt;
- Het gas is erg vluchtig, zodat lekken moeilijk te dichten zijn.

Bij duiken dieper dan 140 à 180 m kan helium verantwoordelijk zijn voor een ander fysiologisch effect: zeker bij te snelle afdalingen en dat bekend staat als HPNS (High Pressure Nervous Syndrome). De bespreking van dit effect komt later uitgebreider aan bod.

Door het feit dat helium een licht gas is, zal het een totaal ander gedrag vertonen dan stikstof en dit resulteert opnieuw in speciale tabellen of computermodellen voor heliumdecompressies. Hierbij is het kenmerkend dat er korte stops zullen ingevoerd worden op grotere dieptes (deep stops). Heliumdecompressie kan verminderd worden indien we nitrox aanwenden op geringere dieptes. Helium is een effectief en interessant gas in een uitgebreid scala van duikdieptes en blijkt het meest superieure inerte gas te zijn om toe te passen bij het duiken. Helium dringt zeer snel in de weefsels door (tot 2,65 keer sneller dan stikstof) en verlaat deze weefsels eveneens zeer snel.

Moleculair gewicht van He is 4,003 g/mol	Oplosbaarheid in water = 9,7 mg/l
Moleculair gewicht van N ₂ is 28,016 g/mol	Oplosbaarheid in water = 28,9 mg/l
Moleculair gewicht van O ₂ is 32,000 g/mol	Oplosbaarheid in water = 26 mg/l

Gas	Narcotisch waarde	Schaal
Helium (He)	4,6	Minst
Neon (Ne)	3,8	
Waterstof(H ₂)	1,83	
Stikstof(N ₂)	1	Standaard
Argon (Ar)	0,43	
Krypton (Kr)	0,14	
Xenon (Xe)	0,039	Meest

Figuur 11: Toxiteit des gassen.

6.2 Een korte geschiedenis van het duiken met gasmengsels

Helium werd voor het eerst gebruikt als duikgas door professor Eilhu Thompson (1919). Verschillende experimentele duiken met helium brengen Max Nohi naar een diepte van 127 m (1937) en de US-navy gebruikt heliox om de onderzeeor USS Squalus te bergen (1939). Heliox saturatieduiken worden vanaf 1965 toegepast.

Later; vanaf 1970, wordt helium gebruikt door sportduikers. Ook wordt mengselduiken veelvuldig toegepast bij grotduiken tot op zeer grote diepte (meer dan 210 m) door Sheck Exley en Jochen Hasemeyer.

In 1987 start Sheck Exley met het geven van cursussen mengselduiken voor grotduikers. Enkele jaren later komen er ook cursussen trimix en aanverwanten op de markt voor duiken in open water. In 1994 maakt een team succesvolle duiken met mengsels naar de Lusitania; een wrak dat gelegen is op een diepte van 100 meter. Het team bestond uit zowel Amerikanen als Britten.

6.3 HPNS (High Pressure Nervous Syndrome)

HPNS is een fysisch effect als gevolg van een hoge gradient (drukverschil) tussen de verschillende weefselcompartimenten in ons lichaam, veroorzaakt door het ademen van helium. Dit effect wordt versterkt door een snelle toename van de druk naar dieptes groter dan 120 meter (door snel te dalen naar deze grote dieptes bijvoorbeeld). Symptomen:

- Spiertrekkingen
- Toestand van half slapen (minder bewust zijn of microslaap) er treden veranderingen op in de elektrische activiteit van de hersenen
- Minder trek in eten

- Braken
- Duizeligheid
- Visuele vervormingen (Vertigo of tunnelzicht)
- Concentratiemoeilijkheden
- Desorientatie.

Deze effecten kunnen gereduceerd worden bij traag en getrapt drukken en door het toevoegen van kleine hoeveelheden stikstof om de weefsels niet te “forceren”. Willen we het HPNS fenomeen goed begrijpen, dan moeten we ons de structuur van de eel voor ogen nemen. Een eel bestaat uit cytoplasma (celvocht) dat afgesloten is door een cel- membraan met een dikte van 0,01 micron. In het cytoplasma drijft de celkern. Het celmembraan heeft als taak om de juiste stoffen door te laten en af te staten. Ook chemische en elektrische signalen worden door het membraan doorgelaten. Door de verhoging van de (hydrostatische) druk wordt een narcotisch effect bekomen. Dit narcotisch en verdovend effect wordt beïnvloed door rijkheid aan lipiden in de membranen. Een verhoogde hydrostatische druk en vooral snijkveranderingen hebben een verminderd lipide volume tot gevolg en dit leidt tot biochemische veranderingen in de cellen. Uiteindelijk zullen de neurotransmitters geprikkeld worden met de hoger genoemde symptomen als gevolg hiervan. De volgende structuren in ons lichaam kunnen hierdoor aangetast worden: de hersenstam, het lagere hersencentrum, het ruggenmerg, en het perifere zenuwstelsel.

De volgende factoren kunnen HPNS beïnvloeden:

- De hydrostatische druk,
- De individuele gevoeligheid,
- De snelheid van samendrukken,
- Het temperend effect van stikstof in het mengsel (relaxeren van de weefsels). Dit is essentieel voor duiken dieper dan 180 m. Door de stikstof is snellere samendrukking mogelijk. Deze voordelen wegen op tegen de nadelen van het narcotische effect. Studies wijzen inderdaad uit dat trimix meer narcotisch dan heliox en nitrox.

6.4 Equivalent Narcotische Diepte (END) en het mengen van Trimix

De Equivalente Narcotische Diepte (END) is de overeenkomstige of equivalente diepte bij duiken met lucht waarbij de duiker de narcotische effecten van stikstof nog volledig onder controle heeft; zelfs onder uitzonderlijke stressomstandigheden.

Narcose kan in de hand gehouden worden door gebruik te maken van Heliox (een mengsel van zuurstof en van helium). Heliox zal echter vlugger HPNS veroorzaken dan trimix. Trimix zal echter vlugger narcotisch zijn dan heliox. Heliox zal over het algemeen duurder zijn. Een verstandige keuze van het mengsel in functie van de diepte zal door de duiker moeten gemaakt worden.

Trimix stelt ons ook in staat om een goede oplossing te vinden voor de zuurstofbelasting van het centrale zenuwstelsel. We overschrijden met het bodemmengsel nooit een partiële zuurstofdruk van 1,5 bar en we beperken dit veiligheidsalve tot 1,4 bar.

Stel:

Gewenste diepte: 80 meter.

Maximum toegelaten partiële zuurstofdruk is 1,4 bar (zie CZS).

Maximum toegelaten partiële stikstofdruk is 3,6 bar (zie END).

Besluiten:

Omgevingsdruk is 9 bar

Partiële heliumdruk $p_{He} = 9 - 1,4 - 3,6 = 4$ bar

$$frO_2 = \frac{p_{pO_2}}{p_{abs}} = \frac{1,4}{9} = 0,155$$

$$\% O_2 = 15,5 \%$$

$$frN_2 = \frac{p_{pN_2}}{p_{abs}} = \frac{3,6}{9} = 0,4$$

$$\% N_2 = 40 \%$$

$$frHe = \frac{p_{pHe}}{p_{abs}} = \frac{4}{9} = 0,445$$

$$\% He = 44,5 \%$$

$$\% He = 100 - 15,5 - 40 = 44,5 \%$$

Dit levert ons het volgende trimix-mengsel op: trimix 15,5/44,5/40. We ronden steeds af naar de grotere decimaal dus: Trimix 15/45/40. We merken op dat bij het aanduiden van een trimix-mengsel men eerst de fractie zuurstof noteert, daarna de fractie helium en tenslotte de fractie stikstof. Aan deze algemeen geldende afspraak moeten we ons zeer consequent houden omdat er anders ernstige (levensgevaarlijke) vergissingen kunnen gemaakt worden tijdens het samenstellen van het mengsel. Meestal wordt tijdens de analyse enkel en alleen het zuurstofpercentage gemeten (men heeft meestal geen helium- of stikstofanalysers ter beschikking). Draait men per ongeluk de percentages stikstof en helium om dan kan het zijn dat er te grote narcotische waarden bekomen worden. In dit voorbeeld maakt het echter niet veel uit.

7 Andere duikmengsels

7.1 Hydrox (Waterstof als stikstofvervanger)

Gemakkelijk te winnen gas door middel van elektrolyse van water. Het was lang het monopoly van de Zweedse Marine, maar tegenwoordig wordt het weinig gebruikt. Waterstof heeft als groot voordeel dat het zelfs lichter is dan Helium, zodat bedwelmende symptomen nog dieper optreden, maar heeft als groot nadeel dat een mengsel van zuurstof en waterstof enorm explosief wordt indien het zuurstofpercentage meer dan 4% bedraagt.

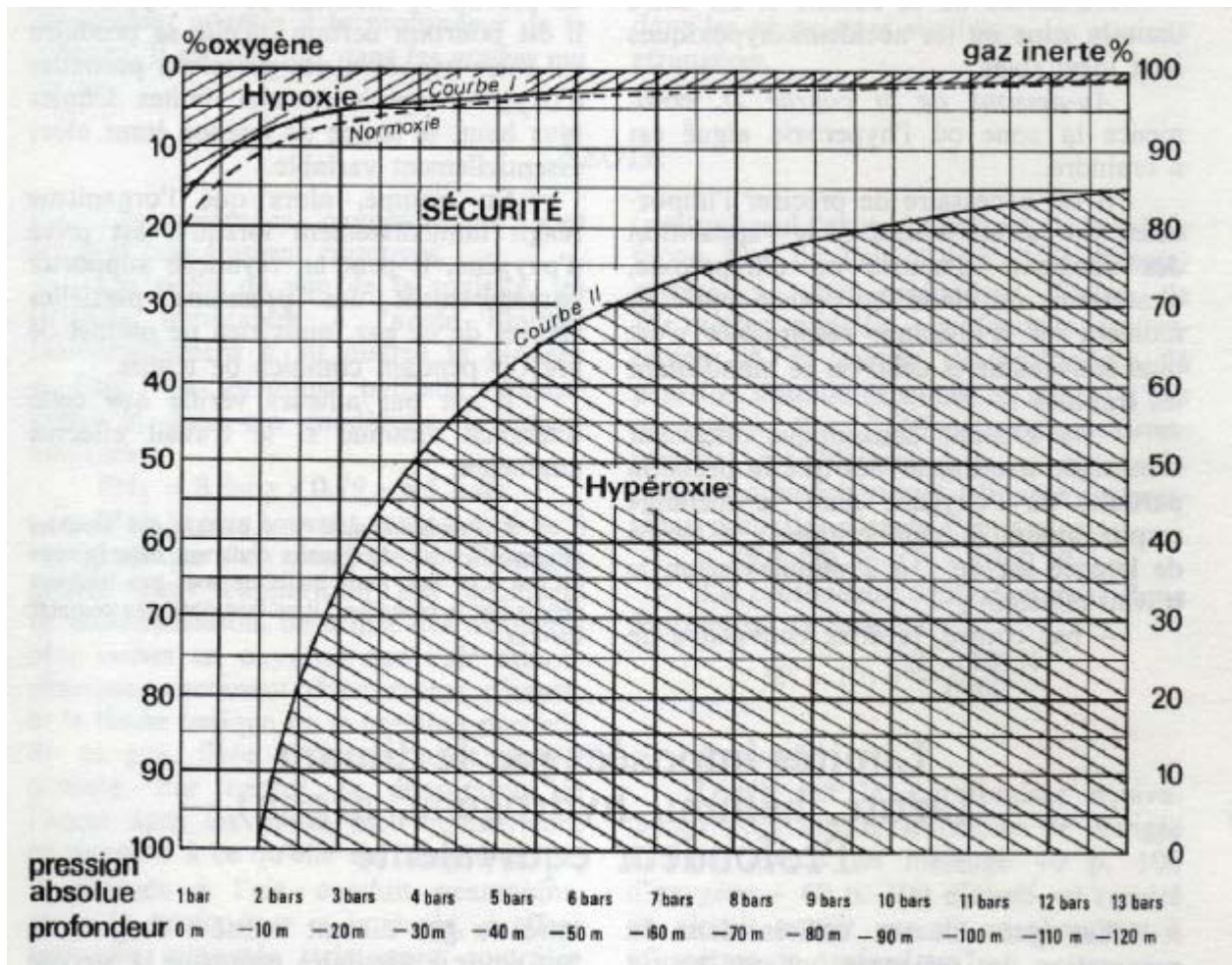
7.2 Argon (Ar)

Door het hoog moleculair gewicht wordt het niet gebruikt om duikmengsels te maken. Het veroorzaakt al bedweltingsverschijnselen bij een kleinere partiële druk dan stikstof (30m). Dit gas is een goede isolator en wordt in het technisch duiken soms als isolatiegas in droogpakken gebruikt.

7.3 Neon (Ne)

Uiterst zeldzaam gas, het werd enkele keren experimenteel gebruikt (diepte van bedweltingsverschijnselen: 90m).

Bijlage A : Hypoxie - Hyperoxie



Bijlage B : Luchttabellen

Tables AIR STANDARD simplifiée (MF 1992) (EXTRAIT)

Intervalle avant plongée: 12 heures

Vereenvoudigd standaard luchtduiktabel Table air/standard simplifié <u>Interval tussen twee duiken / Intervalle entre deux plongées: 12 u/h</u>										
<i>DIEPTE PROFONDEURS</i>	<i>Maximale bodemtijd in minuten Temps maximum au fond en minutes</i>									
12 m	165	170	180	195	210	240	-	-	-	-
15 m	80	90	100	110	115	130	-	-	-	-
18 m	50	55	60	70	75	80	-	-	-	-
21 m	35	40	45	50	55	60	-	-	-	-
24 m	25	30	35	40	45	50	-	-	55	-
27 m	20	25	30	33	35	-	-	40	45	-
30 m	15	20	25	28	30	-	-	35	38	-
33 m	12	15	20	23	-	-	25	30	32	-
36 m	10	15	17	20	-	-	22	25	27	-
39 m	8	10	15	17	-	-	20	22	24	-
42 m	7	10	13	14	-	-	18	20	-	-
45 m	6	10	12	13	-	-	15	18	-	-
48 m	5	8	10	12	-	-	15	-	-	-
51 m	5	7	8	-	-	15	-	-	-	-
54 m	-	5	7	-	-	10	-	-	-	-
57 m	-	5	6	-	-	10	-	-	-	-
60 m	-	5	-	-	-	8	-	-	-	-
DECOSTOPS PALIERS	STIJSNELHEID: 9 m / minuut VITESSE DE REMONTEE: 9 m / minute									
12 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 m	-	-	-	-	-	-	3	3	3	-
3 m	-	3	5	7	10	15	7	12	15	-

Tijd min	Trap 3	S
60	A	
120	B	
210	C	
6		
50	B	
75	C	
100	D	
135	E	
9		
30	B	
45	C	
60	D	
75	E	
95	F	
120	G	
12		
15	B	
25	C	
30	D	
40	E	
50	F	
60	G	
70	H	
80	I	
90	J	
100	K	
110	L	
120	M	
15		
15	C	
25	D	
30	E	
40	F	
50	G	
60	H	
70	I	
80	J	
90	K	
100	L	
110	M	
120	N	
140		
160		

Tijd min	Trap 3	S
15	C	
20	D	
25	E	
30	F	
40	G	
50	H	
55	I	
60	J	
70	K	
80	L	
100	M	
21		
10	C	
15	D	
20	E	
30	F	
35	G	
40	H	
45	I	
50	J	
60	K	
70	L	
80	M	
90	N	
100		
24		
5	B	
10	C	
15	D	
20	E	
25	F	
30	G	
35	H	
40	I	
50	K	
60	L	
70	M	

Tijd min	Trappen 6 3	S
10	C	
15	E	
20	F	
25	G	
30	H	
40	J	
50	L	
60	M	
70	N	
30		
10	D	
15	E	
20	F	
25	H	
30	I	
40	K	
50	L	
60	N	
33		
10	D	
15	F	
20	G	
25	H	
30	J	
40	L	
50	M	
60	N	
36		
5	C	
10	D	
15	F	
20	H	
25	I	
30	J	
40	L	
50	N	
39		
5	C	
10	E	
15	F	
20	H	
25	J	
30	M	
40	N	

NELOS 1994
STUGSNELHEID 10m./min.
NAAR DE U.S. NAVY 1993

SUCCESIEVE DUIKEN												
TUSSENTIJD IN UREN EN MINUTEN												
A												0:10 12:0
B												0:10 3:21 12:0
C												0:10 1:40 4:50 12:0
D												0:10 1:10 2:39 5:49 12:0
E												0:10 0:55 1:58 3:25 6:35 12:0
F												0:10 0:46 1:30 2:29 3:58 7:06 12:0
G												0:10 0:41 1:16 2:00 2:59 4:26 7:36 12:0
H												0:10 0:37 1:07 1:42 2:24 3:21 4:50 8:00 12:0
I												0:10 0:34 1:00 1:30 2:03 2:45 3:44 5:13 8:22 12:0
J												0:10 0:32 0:55 1:20 1:48 2:21 3:05 4:03 5:41 8:51 12:0
K												0:10 0:29 0:50 1:12 1:36 2:04 2:39 3:22 4:20 5:49 8:59 12:0
L												0:10 0:27 0:46 1:05 1:26 1:50 2:20 2:54 3:37 4:36 6:03 9:13 12:0
M												0:10 0:26 0:43 1:00 1:19 1:40 2:06 2:35 3:09 3:53 4:50 6:19 9:29 12:0
N												0:10 0:25 0:40 0:55 1:12 1:31 1:54 2:19 2:48 3:23 4:05 5:04 6:33 9:44 12:0
↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓												
Diepte	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C B A
12	213	187	161	138	116	101	87	73	61	49	37	25 17 7
15	142	124	111	99	87	76	66	56	47	38	29	21 13 6
18	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17 11 5
21	87	80	72	64	57	50	43	37	31	26	20	15 9 4
24	73	68	61	54	48	43	38	32	28	23	18	13 8 4
27	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11 7 3
30	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10 7 3
33	51	47	42	38	34	31	27	24	20	16	13	10 6 3
36	46	43	39	35	32	28	25	21	18	15	12	9 6 3
39	40	38	35	31	28	25	22	19	16	13	11	8 6 3
42	38	35	32	29	26	23	20	18	15	12	10	7 5 2
45	35	32	30	27	24	22	19	17	14	12	9	7 5 2
48	33	31	28	26	23	20	18	16	13	11	9	6 4 2
51	31	29	26	24	22	19	17	15	12	10	8	6 4 2
54	29	27	25	22	20	18	16	14	11	10	8	6 4 2
57	28	26	24	21	19	17	15	13	10	10	8	6 4 2
STRAFTIJD IN MINUTEN												

NELOS 94

naar US NAVY 93

Bijlage C : Tabellen i.v.m. zuurstof

TABEL 1

PARTIËLE ZUURSTOFDRUKKEN (PPO₂) IN FUNCTIE VAN DUIKDIEPTE EN ZUURSTOFFERCENTAGE

in bar (alle waarden werden naar boven afgerond)
de duikdiepten zijn in meter zeewater

		Z U U R S T O F P E R C E N T A G E																			
		21%	22%	23%	24%	25%	26%	27%	28%	29%	30%	31%	32%	33%	34%	35%	36%	37%	38%	39%	40%
D U I K D I E P T E	9	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76
	10	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80
	11	0,44	0,46	0,48	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84
	12	0,46	0,48	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,84	0,86	0,88
	13	0,48	0,51	0,53	0,55	0,58	0,60	0,62	0,64	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,78	0,81	0,83	0,85	0,87	0,90	0,92
	14	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,74	0,77	0,79	0,82	0,84	0,86	0,88	0,91	0,94	0,96
	15	0,53	0,55	0,58	0,60	0,63	0,65	0,68	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80	0,83	0,85	0,88	0,90	0,93	0,95	0,98	1,00
	16	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	0,68	0,70	0,73	0,75	0,78	0,81	0,83	0,86	0,88	0,91	0,94	0,96	0,99	1,01	1,04
	17	0,57	0,59	0,62	0,65	0,68	0,70	0,73	0,76	0,78	0,81	0,84	0,86	0,89	0,92	0,95	0,97	1,00	1,03	1,05	1,08
	18	0,59	0,62	0,64	0,67	0,70	0,73	0,76	0,78	0,81	0,84	0,87	0,90	0,92	0,95	0,98	1,01	1,04	1,06	1,09	1,12
	19	0,61	0,64	0,67	0,70	0,73	0,75	0,78	0,81	0,84	0,87	0,90	0,93	0,96	0,99	1,02	1,04	1,07	1,10	1,13	1,16
	20	0,63	0,66	0,69	0,72	0,75	0,78	0,81	0,84	0,87	0,90	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20
	21	0,65	0,68	0,71	0,74	0,78	0,81	0,84	0,87	0,90	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21	1,24
	22	0,67	0,70	0,74	0,77	0,80	0,83	0,86	0,90	0,93	0,96	0,99	1,02	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,22	1,25	1,28
	23	0,69	0,73	0,76	0,79	0,83	0,86	0,89	0,92	0,96	0,99	1,02	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,22	1,25	1,29	1,32
	24	0,71	0,75	0,78	0,82	0,85	0,88	0,92	0,95	0,99	1,02	1,05	1,09	1,12	1,16	1,19	1,22	1,26	1,29	1,33	1,36
	25	0,74	0,77	0,81	0,84	0,88	0,91	0,95	0,98	1,02	1,05	1,09	1,12	1,16	1,19	1,23	1,26	1,30	1,33	1,37	1,40
	26	0,76	0,79	0,83	0,86	0,90	0,94	0,97	1,01	1,04	1,08	1,12	1,15	1,19	1,22	1,26	1,30	1,33	1,37	1,40	1,44
	27	0,78	0,81	0,85	0,89	0,93	0,96	1,00	1,04	1,07	1,11	1,15	1,18	1,22	1,26	1,30	1,33	1,37	1,41	1,44	1,48
	28	0,80	0,84	0,87	0,91	0,95	0,99	1,03	1,06	1,10	1,14	1,18	1,22	1,25	1,29	1,33	1,37	1,41	1,44	1,48	
	29	0,82	0,86	0,90	0,94	0,98	1,01	1,05	1,09	1,13	1,17	1,21	1,25	1,29	1,33	1,37	1,40	1,44	1,48		
	30	0,84	0,88	0,92	0,96	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20	1,24	1,28	1,32	1,36	1,40	1,44	1,48			
	31	0,86	0,90	0,94	0,98	1,03	1,07	1,11	1,15	1,19	1,23	1,27	1,31	1,35	1,39	1,44	1,48				
	32	0,88	0,92	0,97	1,01	1,05	1,09	1,13	1,18	1,22	1,26	1,30	1,34	1,39	1,43	1,47					
	33	0,90	0,95	0,99	1,03	1,08	1,12	1,16	1,20	1,25	1,29	1,33	1,38	1,42	1,46						
	34	0,92	0,97	1,01	1,06	1,10	1,14	1,19	1,23	1,28	1,32	1,36	1,41	1,45	1,50						
	35	0,95	0,99	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,26	1,31	1,35	1,40	1,44	1,49							
	36	0,97	1,01	1,06	1,10	1,15	1,20	1,24	1,29	1,33	1,38	1,43	1,47								
	37	0,99	1,03	1,08	1,13	1,18	1,22	1,27	1,32	1,36	1,41	1,46									
	38	1,01	1,06	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,34	1,39	1,44	1,49									
	39	1,03	1,08	1,13	1,18	1,23	1,27	1,32	1,37	1,42	1,47										
40	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50											
41	1,07	1,12	1,17	1,22	1,28	1,33	1,38	1,43	1,48												
42	1,09	1,14	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,46													
43	1,11	1,17	1,22	1,27	1,33	1,38	1,43	1,48													
44	1,13	1,19	1,24	1,30	1,35	1,40	1,46														
45	1,16	1,21	1,27	1,32	1,38	1,43	1,49														
46	1,18	1,23	1,29	1,34	1,40	1,46															
47	1,20	1,25	1,31	1,37	1,43	1,48															
48	1,22	1,28	1,33	1,39	1,45																
49	1,24	1,30	1,36	1,42	1,48																
50	1,26	1,32	1,38	1,44	1,50																
51	1,28	1,34	1,40	1,46																	
52	1,30	1,36	1,43	1,49																	
53	1,32	1,39	1,45																		
54	1,34	1,41	1,47																		
55	1,37	1,43	1,50																		
56	1,39	1,45																			
57	1,41	1,47																			
58	1,43	1,50																			
59	1,45																				
60	1,47																				
61	1,49																				

		Z U U R S T O F P E R C E N T A G E									
		41%	42%	43%	44%	45%	46%	47%	48%	49%	50%
D U I K D I E P T E	9	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95
	10	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
	11	0,86	0,88	0,90	0,92	0,95	0,97	0,99	1,01	1,03	1,05
	12	0,90	0,92	0,95	0,97	0,99	1,01	1,03	1,06	1,08	1,10
	13	0,94	0,97	0,99	1,01	1,04	1,06	1,08	1,10	1,13	1,15
	14	0,98	1,01	1,03	1,06	1,08	1,10	1,13	1,15	1,18	1,20
	15	1,03	1,05	1,08	1,10	1,13	1,15	1,18	1,20	1,23	1,25
	16	1,07	1,09	1,12	1,14	1,17	1,20	1,22	1,25	1,27	1,30
	17	1,11	1,13	1,16	1,19	1,22	1,24	1,27	1,30	1,32	1,35
	18	1,15	1,18	1,20	1,23	1,26	1,29	1,32	1,34	1,37	1,40
	19	1,19	1,22	1,25	1,28	1,31	1,33	1,36	1,39	1,42	1,45
20	1,23	1,26	1,29	1,32	1,35	1,38	1,41	1,44	1,47	1,50	
21	1,27	1,30	1,33	1,36	1,40	1,43	1,46	1,49			
22	1,31	1,34	1,38	1,41	1,44	1,47					
23	1,35	1,39	1,42	1,45	1,49						
24	1,39	1,43	1,46	1,50							
25	1,44	1,47									
26	1,48										

TABEL 2

EQUIVALENTE LUCHTDIEPTE IN FUNCTIE VAN DIUKDIEPTE EN ZUURSTOFPERCENTAGE

in meter zeewater (standaardafroning)
de duikdiepten zijn in meter zeewater

		Z U U R S T O F P E R C E N T A G E																			
		21%	22%	23%	24%	25%	26%	27%	28%	29%	30%	31%	32%	33%	34%	35%	36%	37%	38%	39%	40%
D	9	9,0	8,8	8,5	8,3	8,0	7,8	7,6	7,3	7,1	6,8	6,6	6,4	6,1	5,9	5,6	5,4	5,2	4,9	4,7	4,4
	10	10,0	9,7	9,5	9,2	9,0	8,7	8,5	8,2	8,0	7,7	7,5	7,2	7,0	6,7	6,5	6,2	5,9	5,7	5,4	5,2
	11	11,0	10,7	10,5	10,2	9,9	9,7	9,4	9,1	8,9	8,6	8,3	8,1	7,8	7,5	7,3	7,0	6,7	6,5	6,2	5,9
	12	12,0	11,7	11,4	11,2	10,9	10,6	10,3	10,1	9,8	9,5	9,2	8,9	8,7	8,4	8,1	7,8	7,5	7,3	7,0	6,7
	13	13,0	12,7	12,4	12,1	11,8	11,5	11,3	11,0	10,7	10,4	10,1	9,8	9,5	9,2	8,9	8,6	8,3	8,1	7,8	7,5
	14	14,0	13,7	13,4	13,1	12,8	12,5	12,2	11,9	11,6	11,3	11,0	10,7	10,4	10,1	9,7	9,4	9,1	8,8	8,5	8,2
	15	15,0	14,7	14,4	14,1	13,7	13,4	13,1	12,8	12,5	12,2	11,8	11,5	11,2	10,9	10,6	10,3	9,9	9,6	9,3	9,0
	16	16,0	15,7	15,3	15,0	14,7	14,4	14,0	13,7	13,4	13,0	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,1	10,7	10,4	10,1	9,7
	17	17,0	16,7	16,3	16,0	15,6	15,3	14,9	14,6	14,3	13,9	13,6	13,2	12,9	12,6	12,2	11,9	11,5	11,2	10,8	10,5
	18	18,0	17,6	17,3	16,9	16,6	16,2	15,9	15,5	15,2	14,8	14,5	14,1	13,7	13,4	13,0	12,7	12,3	12,0	11,6	11,3
U	19	19,0	18,6	18,3	17,9	17,5	17,2	16,8	16,4	16,1	15,7	15,3	15,0	14,6	14,2	13,9	13,5	13,1	12,8	12,4	12,0
	20	20,0	19,6	19,2	18,9	18,5	18,1	17,7	17,3	17,0	16,6	16,2	15,8	15,4	15,1	14,7	14,3	13,9	13,5	13,2	12,8
	21	21,0	20,6	20,2	19,8	19,4	19,0	18,6	18,3	17,9	17,5	17,1	16,7	16,3	15,9	15,5	15,1	14,7	14,3	13,9	13,5
	22	22,0	21,6	21,2	20,8	20,4	20,0	19,6	19,2	18,8	18,4	17,9	17,5	17,1	16,7	16,3	15,9	15,5	15,1	14,7	14,3
	23	23,0	22,6	22,2	21,7	21,3	20,9	20,5	20,1	19,7	19,2	18,8	18,4	18,0	17,6	17,2	16,7	16,3	15,9	15,5	15,1
	24	24,0	23,6	23,1	22,7	22,3	21,8	21,4	21,0	20,6	20,1	19,7	19,3	18,8	18,4	18,0	17,5	17,1	16,7	16,3	15,8
	25	25,0	24,6	24,1	23,7	23,2	22,8	22,3	21,9	21,5	21,0	20,6	20,1	19,7	19,2	18,8	18,4	17,9	17,5	17,0	16,6
	26	26,0	25,5	25,1	24,6	24,2	23,7	23,3	22,8	22,4	21,9	21,4	21,0	20,5	20,1	19,6	19,2	18,7	18,3	17,8	17,3
	27	27,0	26,5	26,1	25,6	25,1	24,7	24,2	23,7	23,3	22,8	22,3	21,8	21,4	20,9	20,4	20,0	19,5	19,0	18,6	18,1
	28	28,0	27,5	27,0	26,6	26,1	25,6	25,1	24,6	24,2	23,7	23,2	22,7	22,2	21,7	21,3	20,8	20,3	19,8	19,3	
I	29	29,0	28,5	28,0	27,5	27,0	26,5	26,0	25,5	25,1	24,6	24,1	23,6	23,1	22,6	22,1	21,6	21,1	20,6		
	30	30,0	29,5	29,0	28,5	28,0	27,5	27,0	26,5	25,9	25,4	24,9	24,4	23,9	23,4	22,9	22,4	21,9			
	31	31,0	30,5	30,0	29,4	28,9	28,4	27,9	27,4	26,8	26,3	25,8	25,3	24,8	24,3	23,7	23,2				
	32	32,0	31,5	30,9	30,4	29,9	29,3	28,8	28,3	27,7	27,2	26,7	26,2	25,6	25,1	24,6					
	33	33,0	32,5	31,9	31,4	30,8	30,3	29,7	29,2	28,6	28,1	27,6	27,0	26,5	25,9						
	34	34,0	33,4	32,9	32,3	31,8	31,2	30,7	30,1	29,5	29,0	28,4	27,9	27,3	26,8						
	35	35,0	34,4	33,9	33,3	32,7	32,2	31,6	31,0	30,4	29,9	29,3	28,7	28,2							
	36	36,0	35,4	34,8	34,3	33,7	33,1	32,5	31,9	31,3	30,8	30,2	29,6								
	37	37,0	36,4	35,8	35,2	34,6	34,0	33,4	32,8	32,2	31,6	31,1									
	38	38,0	37,4	36,8	36,2	35,6	35,0	34,4	33,7	33,1	32,5	31,9									
P	39	39,0	38,4	37,8	37,1	36,5	35,9	35,3	34,7	34,0	33,4										
	40	40,0	39,4	38,7	38,1	37,5	36,8	36,2	35,6	34,9	34,3										
	41	41,0	40,4	39,7	39,1	38,4	37,8	37,1	36,5	35,8											
	42	42,0	41,3	40,7	40,0	39,4	38,7	38,1	37,4												
	43	43,0	42,3	41,7	41,0	40,3	39,6	39,0	38,3												
	44	44,0	43,3	42,6	41,9	41,3	40,6	39,9													
	45	45,0	44,3	43,6	42,9	42,2	41,5	40,8													
	46	46,0	45,3	44,6	43,9	43,2	42,5														
	47	47,0	46,3	45,6	44,8	44,1	43,4														
	48	48,0	47,3	46,5	45,8	45,1															
E	49	49,0	48,3	47,5	46,8	46,0															
	50	50,0	49,2	48,5	47,7	47,0															
	51	51,0	50,2	49,5	48,7																
	52	52,0	51,2	50,4	49,6																
	53	53,0	52,2	51,4																	
	54	54,0	53,2	52,4																	
	55	55,0	54,2	53,4																	
	56	56,0	55,2																		
	57	57,0	56,2																		
	58	58,0	57,1																		
D	59	59,0																			
	60	60,0																			
	61	61,0																			
U																					
I																					
K																					

TABEL 3

EQUIVALENTE LUCHTDIEPTE VOOR RECHTSTREEKS GEBRUIK MET DE LUCHTTABELLEN

in meter zeewater (standaardafroning)
de duikdiepten zijn in meter zeewater

		Z U U R S T O F P E R C E N T A G E																			
		21%	22%	23%	24%	25%	26%	27%	28%	29%	30%	31%	32%	33%	34%	35%	36%	37%	38%	39%	40%
D U I K D I E P T E	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	6	6	6	6	6	6	6
	10	12	12	12	12	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	6	6	6	6
	11	12	12	12	12	12	12	12	12	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	6
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	9	9	9	9	9	9
	13	15	15	15	15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	9	9	9	9	9
	14	15	15	15	15	15	15	15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	9	9
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9
	16	18	18	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	12	12	12	12	12	12	12
	17	18	18	18	18	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	12	12	12	12	12
	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	12	12	12
	19	21	21	21	18	18	18	18	18	18	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	20	21	21	21	21	21	21	18	18	18	18	18	18	18	18	15	15	15	15	15	15
	21	21	21	21	21	21	21	21	21	18	18	18	18	18	18	18	18	15	15	15	15
	22	24	24	24	21	21	21	21	21	21	21	18	18	18	18	18	18	18	18	15	15
	23	24	24	24	24	24	21	21	21	21	21	21	21	18	18	18	18	18	18	18	18
	24	24	24	24	24	24	24	24	21	21	21	21	21	21	21	18	18	18	18	18	18
	25	27	27	27	24	24	24	24	24	24	24	21	21	21	21	21	21	18	18	18	18
	26	27	27	27	27	27	24	24	24	24	24	24	21	21	21	21	21	21	21	18	18
	27	27	27	27	27	27	27	27	24	24	24	24	24	24	21	21	21	21	21	21	21
	28	30	30	30	27	27	27	27	27	27	24	24	24	24	24	24	21	21	21	21	
	29	30	30	30	30	30	27	27	27	27	27	27	24	24	24	24	24	24	21		
	30	30	30	30	30	30	30	27	27	27	27	27	27	24	24	24	24	24			
	31	33	33	30	30	30	30	30	30	27	27	27	27	27	24	24	24				
	32	33	33	33	33	30	30	30	30	30	30	27	27	27	27	27	27				
	33	33	33	33	33	33	33	30	30	30	30	30	30	30	30	30	27				
	34	36	36	33	33	33	33	33	33	33	30	30	30	30	30	30	27				
	35	36	36	36	36	33	33	33	33	33	30	30	30	30							
	36	36	36	36	36	36	36	33	33	33	33	33	30								
	37	39	39	36	36	36	36	36	33	33	33	33									
	38	39	39	39	39	36	36	36	36	36	33	33									
	39	39	39	39	39	39	36	36	36	36	36										
	40	42	42	39	39	39	39	39	39	36	36	36									
	41	42	42	42	42	39	39	39	39	39	36										
	42	42	42	42	42	42	39	39	39												
D U I K D I E P T E	43	45	45	42	42	42	42	39	39												
	44	45	45	45	42	42	42	42													
	45	45	45	45	45	45	42	42													
	46	48	48	45	45	45	45														
	47	48	48	48	45	45	45														
	48	48	48	48	48	48															
	49	51	51	48	48	48															
	50	51	51	51	48	48															
	51	51	51	51																	
	52	54	54	51	51																
	53	54	54	54																	
	54	54	54	54																	
	55	57	57	54																	
	56	57	57																		
	57	57	57																		
	58	60	60																		
	59	60																			
	60	60																			
	61	63																			
D U I K D I E P T E																					

TABEL 4

TOENAME VAN DE LONGZUURSTOFBELASTING IN FUNCTIE VAN DIUKDIEPTE EN ZUURSTOFPERCENTAG
in OTU per minuut (standaardafroning)
duikdiepten in meter zeeewater

		Z U U R S T O F P E R C E N T A G E																			
		21%	22%	23%	24%	25%	26%	27%	28%	29%	30%	31%	32%	33%	34%	35%	36%	37%	38%	39%	40%
D U I K D I E P T E	9							0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6
	10					0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
	11				0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
	12			0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
	13		0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9
	14	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
	15	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0
	16	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1
	17	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1
	18	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2
	19	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3
	20	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3
	21	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4
	22	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4
	23	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5
	24	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6
	25	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6
	26	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7
	27	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7
	28	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	
	29	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8		
	30	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7			
	31	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7				
	32	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7					
	33	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7						
	34	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8						
35	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8								
36	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7									
37	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7										
38	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8										
39	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7											
40	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8											
41	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7												
42	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7													
43	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8													
44	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7														
45	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8														
46	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7															
47	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8															
48	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7																
49	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7																
50	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8																
51	1,4	1,5	1,6	1,7																	
52	1,5	1,6	1,7	1,8																	
53	1,5	1,6	1,7																		
54	1,5	1,6	1,7																		
55	1,6	1,7	1,8																		
56	1,6	1,7																			
57	1,6	1,7																			
58	1,7	1,8																			
59	1,7																				
60	1,7																				
61	1,8																				
D U I K D I E P T E		ZUURSTOF PERCENTAGE																			
		41%	42%	43%	44%	45%	46%	47%	48%	49%	50%										
	9	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9										
	10	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0										
	11	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2		
	12	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	
	13	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	
	14	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	
	15	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	
	16	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	
17	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9		
18	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0		
19	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1		
20	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2		
21	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3		
22	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4		
23	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5		
24	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6		
25	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7		
26	1,7																				

TABEL 5**MAXIMALE DIUKDIEPTEN IN FUNCTIE VAN DE GEWENSTE MAXIMALE PPO₂**

in meter zeewater (Alle diepten werden naar beneden afgerond.)

			GEWENSTE MAXIMALE PPO ₂		
			1,3 bar	1,4 bar	1,5 bar
Z U U R S T O F P E R C E N T A G E	21%		51	56	61
	22%		49	53	58
	23%		46	50	55
	24%		44	48	52
	25%		42	46	50
	26%		40	43	47
	27%		38	41	45
	28%		36	40	43
	29%		34	38	41
	30%		33	36	40
	31%		31	35	38
	32%		30	33	36
	33%		29	32	35
	34%		28	31	34
	35%		27	30	32
	36%		26	28	31
	37%		25	27	30
	38%		24	26	29
	39%		23	25	28
	40%		22	25	27
	41%		21	24	26
	42%		20	23	25
	43%		20	22	24
	44%		19	21	24
	45%		18	21	23
	46%		18	20	22
	47%		17	19	21
	48%		17	19	21
	49%		16	18	20
	50%		16	18	20

Tabel 6A

TIJDSLIMIETEN IN FUNCTIE VAN DE ppO_2

ppO_2 (in bar)	Maximaal toegelaten duur voor enkelvoudige blootstelling (in minuten)	Totaal maximaal toegelaten duur voor alle blootstellingen binnen een periode van 24 u. (in minuten)
0,5	---	---
0,6	720	720
0,7	570	570
0,8	450	450
0,9	360	360
1,0	300	300
1,1	240	270
1,2	210	240
1,3	180	210
1,4	150	180
1,5	120	180

TABEL 6B

TOENAME CZS-ZUURSTOFBELASTING

ppO ₂ (in bar)	Toename CZS-zuurstofbelasting (in % / minuut)
0,5	0
0,6	0,14
0,7	0,18
0,8	0,22
0,9	0,28
1,0	0,33
1,1	0,42
1,2	0,48
1,3	0,56
1,4	0,67
1,5	0,83

De ppO₂ steeds naar een hogere waarde afronden!

Bijlage D : Trimix tabellen**Decompression Stops (fsw)**

Depth (fsw)	Bottom Time (min.)	Time to First Stop (min sec)	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	Charter O ₂ Partial
60 Max O ₂ =40.0% Min O ₂ =14.0%	10	2:00																			0
	20	2:00																			0
	30	2:00																			0
	40	2:00																			0
	60	0:40																10	11	16	1
	80	0:40																10	13	23	2
70 Max O ₂ =40.0% Min O ₂ =14.0%	100	0:40																10	16	21	2
	120	0:40																10	17	28	2
	10	2:20																			0
	20	2:20																			0
	30	2:20																			0
	40	1:00																10	10	16	1
80 Max O ₂ =38.0% Min O ₂ =14.0%	60	1:00																10	14	24	2
	80	1:00																10	18	30	2
	100	1:00																10	19	34	2
	120	1:00																10	21	37	2
	10	2:40																			0
	20	2:40																			0
90 Max O ₂ =34.0% Min O ₂ =14.0%	25	2:40																			0
	30	1:20																10	11	16	1
	40	1:20																10	13	21	2
	60	1:20																10	18	32	2
	80	1:20																10	21	38	2
	100	1:20																10	24	42	3
90 Max O ₂ =34.0% Min O ₂ =14.0%	120	1:20																10	25	45	3
	10	3:00																			0
	20	3:00																			0
	30	1:40																10	13	21	2
	40	1:40																10	16	26	2
	60	1:40																10	21	38	2
Decompression Stops (fsw)	80	1:40																10	25	45	3
	100	1:40																10	28	50	3
	120	1:40																10	29	53	3