

Duiken met de computer



1 Inhoud

1	INHOUD	1
2	HET NUT VAN DE DUIKCOMPUTER	3
2.1	MENSELIJKE FOUTEN UITGESLOTEN.....	3
2.2	MULTI LEVEL DUKEN.....	3
2.3	EXTRA VEILIGHEID.....	3
2.4	CONTINUE ONTZADIGING.....	3
3	SOORTEN DUKCOMPUTERS	4
3.1	ELEKTRONISCHE DIEPTEMETER/TIMER MET ELEKTRONISCHE TABELLEN.....	4
3.2	NULTIJD BEREKENAAR.....	4
3.3	DE "ECHTE" DUKCOMPUTER.....	4
3.4	NITROX-COMPUTER.....	5
3.5	LUCHT-GEÏNTEGREERDE COMPUTER.....	5
4	WETENSCHAPPELIJKE ACHTERGROND	6
4.1	WERKINGSPRINCIPE.....	6
4.2	WEEFSELS.....	6
4.3	HET GEDRAG VAN DE WEEFSELS IN DE DUKER.....	7
4.3.1	<i>De anatomie van de mens</i>	7
4.3.2	<i>Besluit</i>	8
4.4	MICROBELLEN.....	9
4.4.1	<i>Ontstaan van microbellen</i>	9
4.4.1.1	Hoge gradiënten en periode van het weefsel.....	9
4.4.1.2	Afkoeling van de huid.....	9
4.4.2	<i>Detectie</i>	9
4.4.3	<i>Levensduur</i>	10
4.4.4	<i>Invloed van de microbellen</i>	10
4.4.5	<i>Verdere metingen tonen aan</i>	11
4.4.6	<i>Hoe lang blijven microbellen in het lichaam?</i>	11
4.4.7	<i>Besluit</i>	11
4.5	FACTOREN DIE DE BELVORMING BEÏNVLOEDEN.....	12
4.5.1	<i>gladheid van de vaatwand</i>	12
4.5.2	<i>aanwezigheid van CO₂ of vetembolen</i>	12
4.5.3	<i>Longfilter</i>	12
5	HOOFDPUNTEN UIT DE GEBRUIKSAANWIJZING	13
5.1	VERBODEN DUKPROFIELEN.....	13
5.1.1	<i>Invers duikprofiel</i>	13

5.1.2	<i>Jo-Jo Duiken</i>	13
5.1.3	<i>Jo-Jo tijdens de trappen</i>	13
5.1.4	<i>Successieve duik met kort oppervlakte interval</i>	13
5.1.5	<i>2e duik dieper dan de eerste</i>	13
5.1.6	<i>Wat doe je als je toch een dergelijk duikprofiel gemaakt hebt?</i>	14
5.2	% KANS OP EEN DECOMPRESSIE ONGEVAL	14
5.3	BERGMEER / PERSOONLIJKE INSTELLING	15
5.4	VLIEGEN NA DUIKEN	15
6	GEVAREN VERBONDEN AAN HET GEBRUIK VAN DE DUIKCOMPUTER	16
6.1	DUIKEN OP DE NULTIJD GRENS	16
6.2	OPSTIJGEN TOT AAN HET PLAFOND	16
6.3	MENTALITEIT	17
6.4	AIR GEÏNTEGREERD ZONDER REKENING VAN DE LUCHT BENODIGD VOOR DE OPSTIJGING	17
6.5	BESEF VAN ZEER ZWARE FOUTEN	17
7	PRAKTISCH DUIKEN MET DE COMPUTER	18
7.1	KEN JE COMPUTER EN DIE VAN JE BUDDY	18
7.2	PLANNING VAN DE DUIK	18
7.3	BACK-UP	18
7.4	VEILIGHEIDSTRAP	18
7.5	VERZWAREN VAN TRAPPEN	18
8	VEERTIEN PUNTEN VAN HET NELOS VEILIGHEIDSCOMMITEE	19



2 Het nut van de duikcomputer

2.1 menselijke fouten uitgesloten

hoe dieper we duiken hoe meer de stikstof invloed heeft op ons denkvermogen en hoe groter de kans op vergissingen wordt. Bij diepe duiken is de bodemtijd al zeer gering en door het verminderd concentratievermogen gaat het nog langer duren om de trappen te berekenen en dat met een grotere kans op vergissingen. De computer zorgt dan voor een bijkomend gemak. Uiteraard moet een duik op voorhand gepland worden zodat zowel de maximum diepte, de bodemtijd en de trappen op voorhand bepaald zijn. Het voordeel is er dan enkel in het slechte geval dat er van de planning afgeweken wordt.

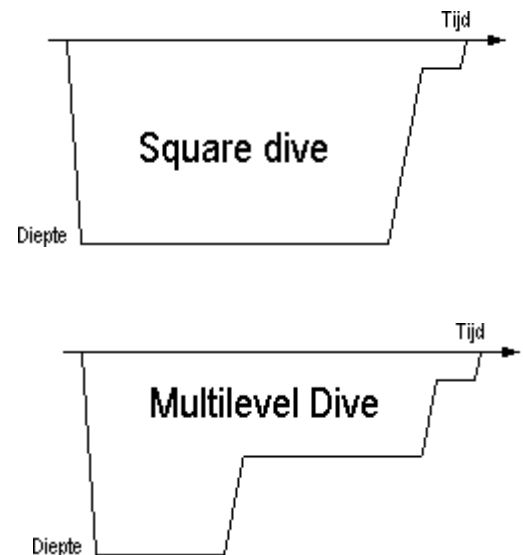
2.2 multi level duiken

Het grote voordeel komt boven als we een duikprofiel doen dat helemaal niet lijkt op een "square dive" of een rechthoekig duikprofiel. Een rechthoekig duikprofiel wil zeggen dat we na de onderdompeling onmiddellijk naar de maximum diepte duiken, daar de

volledige bodemtijd verblijven en dan direct opstijgen (aan de voorgeschreven snelheid) tot op trapdiepte. In dit geval is onze verzadiging maximaal.

Gaan we echter multi level duiken, dan verblijf ik bijvoorbeeld 10 minuten op -30 meter en 20 minuten op -15 meter. Met de duiktabel moet ik dan 30 minuten op 30 meter nemen om de trappen te bepalen terwijl ik in werkelijkheid veel minder stikstof opgenomen heb

omdat ik de grootste tijd doorgebracht heb op -15 meter. Volgens de computer zal je dan ook geen trap moeten maken (alhoewel NELOS voorschrijft om toch een veiligheidstrap te maken)



2.3 Extra veiligheid

Sommige computers laten toe om het decompressiemodel te verzwaren door ze in bergmeermode te zetten of een soortgelijke persoonlijke verzwaringscoëfficiënt toe te passen. De vraag is natuurlijk wie doet dat want iedereen vindt zichzelf fit genoeg om te duiken en langere trappen dan de rest van de duikgroep is alleen maar vervelend voor de anderen dus telt die veiligheid toch niet mee. Vergelijk maar eens de reactie van de duikgroep vroeger op duikers die met een Scubapro DC12 doken: doe die maar uit of je duikt niet mee.

De duiktabellen zijn ontworpen door de US-Navy die steeds doken met jonge, fitte marines die bij elke duik de caisson naast zich hadden, gereed voor gebruik. De US-Navy tabel is getest met 564 manduiken waarvan zo'n 26 decompressie ongevallen optraden¹ wat door de US-Navy als goed werd bevonden gezien de aanwezigheid van een recompressiekamer. Als recreatief duiker heb je die luxe meestal niet en wil je dus een decompressiemodel dat veel strenger is zoals het Bühlmann of Hahn model met slechts 1 op 10000 decompressie ongevallen.

2.4 continue ontzadiging

Volgens de duiktabel ontzadig je maar tijdens de trappen terwijl je in werkelijkheid bij het uitduiken na een diepe duik van -40 m op zo'n 15 tot 10 meter al zeer veel stikstof afgeeft. Het kan dus zijn dat op die manier je trap al verdwenen is voor je op trapdiepte komt. De computer berekent elke seconde de stikstofopname en afgifte van elk weefsel.

¹ Deeper into diving Blz. 185

3 Soorten duikcomputers

3.1 Elektronische dieptemeter/timer met elektronische tabellen

dit was het prilste begin van de elektronica voor de duiker. De eerste duikcomputer was de Suunto SME. Het was nog geen computer maar maakte wel de stap mogelijk om met de elektronische metingen meer te doen dan enkel uitlezen op een display (scherm) en daarbij een trap aanduidde die dezelfde was dan op de US-Navy tabel. Hij maakte zelf geen berekeningen, gebruikte geen algoritme maar raadpleegde enkel een elektronische tabel. De diepte was zeer nauwkeurig (tot op 0.1 meter) tegenover 10% fout met de analoge dieptemeters (dat is 4 meter fout op 40 meter diepte). De timer startte automatisch als je dieper dan 1.4 meter dook; je kon dus niet meer vergeten je uurwerk in te stellen.

3.2 Nultijd berekenaar

dit is in feite een echte duikcomputer maar als je trap hebt geeft hij niet aan hoelang; hij geeft enkel aan dat je er één hebt. Dit type computer berekent iedere seconde hoeveel tijd je op die diepte nog kan verblijven alvorens je een trap hebt.

Aangezien je volledig in het ongewisse bent over de duur van je decompressie mag je dit instrument dus niet gebruiken voor decompressieduiken, enkel voor nultijd duiken. Aangezien wij allemaal vroeg of laat decompressieduiken doen is het afgeraden zulk een computer aan te schaffen. Voorbeelden hiervan zijn de ALADIN Sport, de Suunto companion, Scubapro NC12



3.3 De "Echte" duikcomputer

Deze computer geeft een volledige informatie zowel binnen de nultijd (door de resterende nultijd aan te geven) als daarbuiten door de totale stijgtijd en het plafond te geven en soms de duur van de eerste trap. Het plafond is de diepte waarboven je niet mag komen omdat er dan belvorming optreedt (= decompressie ongeval).



3.4 Nitrox-computer

Bij deze echte duikcomputer kan het ademmengsel ingesteld worden in %. Dat kan zowel gewone lucht zijn (21%) of elk ander NITROX mengsel. Ook de maximale ppO₂ kan ingesteld worden. Voor de NELOS is dit 1,5 bar. Naast de gewone decompressie berekend hij ook de zuurstofbelasting. Dit zowel voor het effect van Paul Bert (% CNS) als ook voor Lorrain-Smith (%OTU). Merk op dat de recente duikcomputers deze functies allemaal geïntegreerd hebben zodat het merendeel van de duikcomputers nu op de markt NITROX-computers zijn.



3.5 Lucht-geïntegreerde computer

Deze echte duikcomputer meet bijkomend de druk in de duikfles en geeft aan hoelang je nog op deze diepte kan verblijven met dit luchtverbruik totdat je op reserve komt (standaard ingesteld op 30 bar). De computer verhoogt zijn reserve niet altijd met de diepte en houdt ook geen rekening met lucht die je nodig hebt om trappen uit te voeren! Vaak wordt luchtverbruik gebruikt om bij inspanning de decompressie te verzwaren. Let op, niet alle duikcomputers met ingebouwde manometer zijn ook werkelijk lucht-geïntegreerd.



4 Wetenschappelijke achtergrond

4.1 Werkingsprincipe

Een duikcomputer bestaat uit 5 delen:

de invoer via sensoren en drukknoppen

de klok die het ritme geeft voor de processor en die tevens de tijd kan meten

de microprocessor die alle berekeningen uitvoert volgens een bepaald rekenmodel (het algoritme) en deze gegevens onthoudt in z'n geheugen

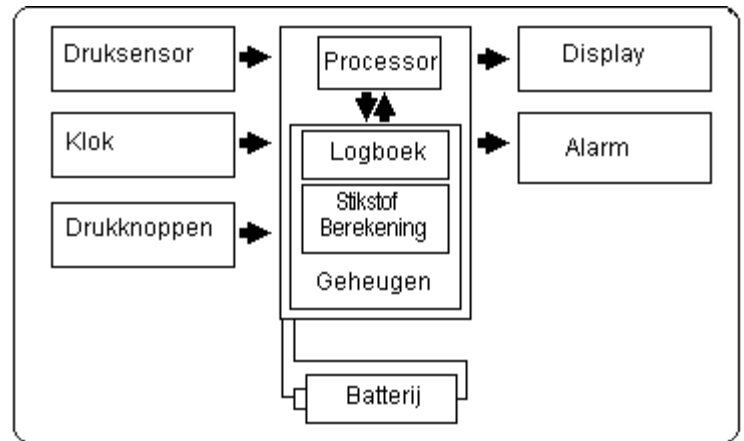
de batterij die de processor voedt

de uitvoer via het display of het scherm waarop de gegevens af te lezen zijn of een zoemer bij alarmsignaal.

Bij het in werking stellen van de duikcomputer wordt de omgevingsdruk gemeten en de computer neemt aan dat je verzadigd bent aan deze omgevingsdruk. Bij het onderdompelen start de timer en iedere seconde opnieuw meet hij de omgevingsdruk. De computer berekent dan voor elk weefsel wat de nieuwe druk is van het opgeloste stikstof uit de drukmeting, het tijdsverschil en de periode van het weefsel. Dan bepaalt de computer of je binnen of buiten de nultijd bent voor dat weefsel en hoelang het nog zal duren om ofwel de decompressiegrens te bereiken ofwel om terug te ontzadigen op de trapdiepte. De restnultijd van het weefsel dat de kortste restnultijd heeft wordt uitgelezen ofwel de traptijd van het weefsel dat de langste trap heeft. Om de stikstof opname of afgifte te berekenen gebruiken de computers nog steeds het oeroude algoritme van Haldane. Haldane stelde een exponentieel verloop van ver-en ontzadiging voorop waarbij het verzadigen even snel gebeurt als het ontzadigen (zelfde periode). Na de duik zal de computer al deze berekeningen blijven doen totdat de druk van het opgeloste gas terug gelijk is aan de omgevingsdruk en dan schakelt de computer uit of in sleep mode (Aladin).

4.2 Weefsels

Ieder weefsel wordt gekenmerkt door haar periode. Dit is de tijd die nodig is om bij een drukverandering de helft van het aangelegde drukverschil te bereiken. Zo heeft een weefsel met periode 10 minuten bijvoorbeeld bij een duik naar 40 meter 10 minuten nodig om verzadigd te raken op een druk gelijk aan 20 meter en nog eens 10 minuten om verzadigd te raken op een druk van 30 meter, en nog eens 10 minuten om verzadigd te raken op een druk van 35 meter...enz. Het is onmogelijk om van echte weefsels hun periode te meten en deze te gebruiken in een berekeningsmodel voor de decompressie. De periode van een echt weefsel verandert immers met de doorbloeding van het weefsel, met het vetgehalte,... enz. Daarom heeft men een aantal weefsel genomen waarvan de periodes sterk uiteen liggen zodat alle mogelijke weefsels die belang kunnen hebben voor het sportduiken vertegenwoordigd worden. Voor de US-navy tabellen zijn dit 5', 10', 20', 40', 80', 120', 160', 200' en 240'. Weefsels met een nog kortere periode zijn zo tolerant gebleken dat het met de stijgsnelheid die wij gebruiken niet mogelijk is om kritisch te verzadigen. Workman ontdekte immers dat de weefsels allemaal een andere tolerantie hebben voor oververzadiging : hoe sneller het weefsel (kleine periode) hoe meer oververzadiging vooraleer er belvorming optreedt. Weefsels met nog langere periodes kunnen niet verzadigd geraken omdat onze duiken te kort zijn in vergelijking met de periode. De duikcomputer gebruikt weefsels met periodes van 5' tot 640 minuten! Het ZH-L8 ADT computermodel dat door de ALADIN-computer wordt gebruikt gebruikt 8 weefsels met periodes van 5 tot 640 minuten. Het oorspronkelijke ZH-L16 model had 16 weefsels met periodes van 4 tot 635 minuten.



4.3 Het gedrag van de weefsels in de duiker

In de praktijk zijn er grote verschillen zodat de theorie niet altijd opgaat en het berekeningsmodel fouten maakt. Als die fouten in de veilige richting gaan, zal de computer slechts te streng zijn, maar helaas is dat niet altijd het geval.

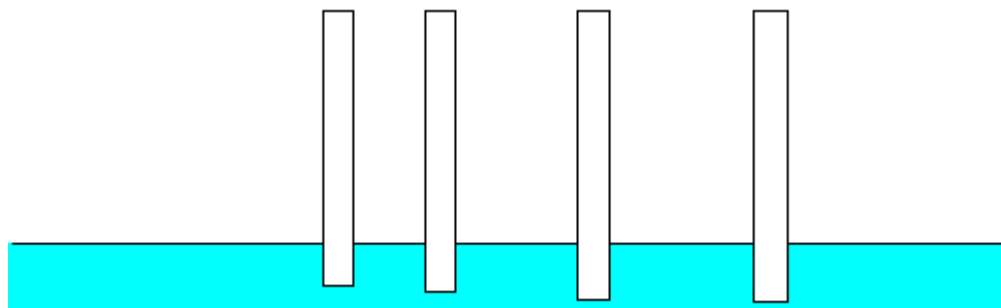
Weefsels ontzadigen trager dan ze verzadigen. Er zijn meerdere oorzaken: de anatomie van de mens, de aanwezigheid van microbellen, vasoconstrictie op het einde van de duik door de koude², invloed van de omliggende weefsels, Andere factoren zoals inspanning, ventilatie,... enz. Hierdoor worden vooral berekeningsfouten gemaakt bij herhaaldelijk opstijgen (jo-jo) want dan wordt de fout van elke opstijging opgeteld wat een grote fout maakt. Ook bij korte tussentijden maakt de computer een grote fout omdat je in het begin van het oppervlakteinterval (2 uur) zeer slecht ontzadigd.

Wat voor de decompressie van belang is, is wanneer er belvorming optreedt zodat je net onder deze limiet een maximale ontzadiging hebt (in theorie). Belvorming hangt van zeer veel factoren af (zie verder Belvorming) zodat men een statistische limiet moet nemen voor de toegestane oververzadiging waar een zeer groot percentage van de duikers onder vallen. Het is dus niet gegarandeerd dat jij niet toevallig die éne bent waarvoor de computer niet streng genoeg is. Er is gebleken dat op duiken waar je zeer veel stikstof opneemt (zeer lange duiken of zeer diepe duiken) je zoveel risico loopt dat het model niet zo safe is! Het RGBM is trouwens een grotendeels statistisch model dat nultijden berekend naargelang het ingestelde percentage decompressieongevallen³.

4.3.1 De anatomie van de mens

Een weefsel is niet in contact met de lucht op omgevingsdruk, maar bevindt zich ergens in het lichaam waar het moet verzadigen, eerst via de longen, dan het bloed en mogelijk ook via de huid. Het gevolg is dat de stikstof veel trager tot in de weefsels geraakt bij het verzadigen maar daar ook weer trager uit verdwijnt. Zo kan het zelfs gebeuren dat de stikstofdruk in een weefsel nog stijgt als we al aan de oppervlakte zijn omdat een achterliggend weefsel ontzadigd in het beschouwde weefsel. Men spreekt hier technisch van een hogere orde verschijnsel. Dit maakt het onmogelijk om een juist model te hebben van de ver- en ontzadiging in het menselijk lichaam.

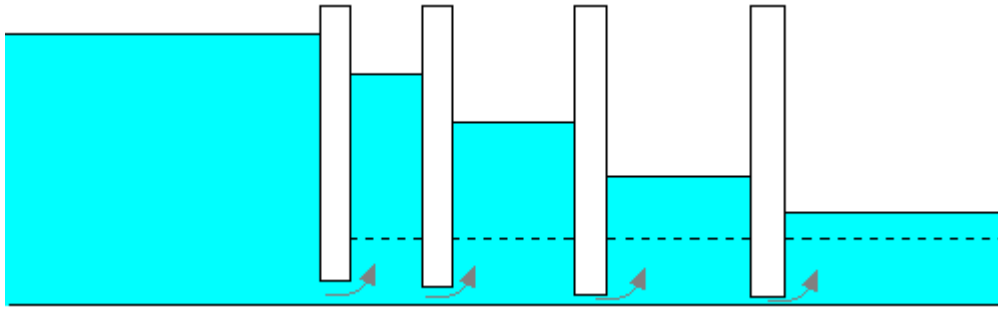
Zo is het bijvoorbeeld mogelijk dat weefsels nog steeds aan het verzadigen zijn terwijl je aan de oppervlakte bent. Om dit aan te tonen wil ik graag de vergelijking maken met communicerende vaten die achter elkaar geplaatst zijn (in serie) in plaats van allemaal in contact met het buitenwater links (in parallel). De hoogte van de waterkolom in de vaten stelt de verzadiging voor. Voor de duik is het lichaam verzadigd met een bepaalde hoeveelheid stikstof. De druk van de opgeloste stikstof is in alle weefsels even groot (figuur 1)



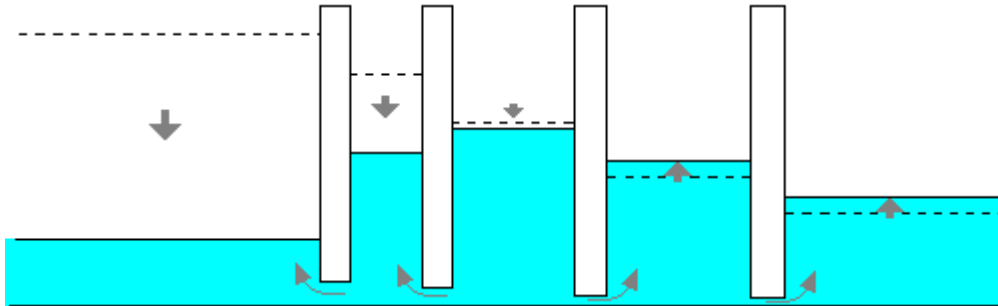
Tijdens de duik stijgt plots de druk van de ingeademde lucht en zullen alle weefsels verzadigen. Het dichtst bij de omgeving gelegen weefsel het snelst en hoe verder, hoe trager.

² Zie bijlagen Project DAN

³ Zie bijlagen Het Reduced Gradient Bubble Model van Bruce Wienke



Stel dat we op dit ogenblik terug naar de oppervlakte duiken, dan zullen de weefsels ontzadigen als de druk in de omringende weefsels lager is.



Weefsel één zal ontzadigen. In het begin zal het stikstof afgeven aan de buitenwereld en aan weefsel twee dat op dat ogenblik minder stikstof bevat. Nadien zal weefsel twee nog stikstof afgeven aan het eerste weefsel (zoals voorgesteld in de figuur). Weefsel twee zal zowel naar weefsel één als naar weefsel drie ontzadigen omdat de druk van de opgeloste stikstof op dat ogenblik bij beiden lager is. Weefsels drie en vier nemen nog steeds stikstof op aangezien de druk in het tweede weefsel nog steeds groter is dan bij hen.

We kunnen ook inzien dat het gedrag van een weefsel niet enkel afhangt van de druk van de omringende weefsel, maar ook van de weerstand (opening). Indien de opening van weefsel drie naar vier groter is dan van drie naar twee, dan zal weefsel drie ontzadigen omdat er meer stikstof naar weefsel vier gaat dan er van weefsel twee opgenomen wordt. In de werkelijkheid zijn niet enkel de stikstofspanningen van belang maar ook de stikstofstromen! De stikstofstromen worden bepaald door de gradiënten (drukverschillen) en door de diffusie- en perfusieweerstanden.

Een tweede belangrijk verschil is dat de oplosbaarheid van stikstof in de verschillende weefsels niet hetzelfde is. Met andere woorden: er is een verschil tussen de hoeveelheid opgeloste stikstof en de druk van de opgeloste stikstof. Een weefsel met een grote oplosbaarheid zal meer stikstof bevatten dan een weefsel met een kleine oplosbaarheid als ze dezelfde p_g hebben. Het weefsel met de grote oplosbaarheid zal grotere stikstofstromen veroorzaken. Het is inderdaad niet enkel het drukverschil dat het optreden van een decompressieongeval bepaalt, maar evenzeer de hoeveelheid stikstof die door onze aderen stroomt. De longen kunnen immers maar een beperkte hoeveelheid microbellen uit de bloedbaan filteren. Is die hoeveelheid te groot, dan wordt de weerstand te groot en zullen er shunts openen waardoor de microbellen de longfilter passeren met alle gevolgen vandien.

4.3.2 *Besluit*

Het model dat de duikcomputer gebruikt zal steeds verschillend zijn van de werkelijkheid en deze verschillen zullen groot worden in bepaalde omstandigheden waarnaar men verwijst in de handleiding. Ongeacht hoe streng het model is gemaakt, het kan de invloeden niet juist bepalen en bijgevolg geen correcte decompressie geven.

4.4 Microbellen

Brian Hills ontdekte in 1966 dat microbellen gevormd kunnen worden als de oververzadiging groot wordt, lang voordat er sprake is van belvorming met decompressieongeval tot gevolg. Hij toonde dit aan met behulp van wetten uit de thermodynamica. Hun bestaan kon pas later door Spencer worden aangetoond door middel van de door hem ontwikkelde doppler detector.

4.4.1 Ontstaan van microbellen

Wanneer microbellen juist ontstaan is nog steeds onderwerp van research. Temeer daar niet alle microbellen gedetecteerd kunnen worden. Toch duiden de metingen enkele oorzaken aan:

- Hoge gradiënten, dicht tegen de maximale waarde die het “Moment” aangeeft
- Afkoeling van de huid
- Herhalingsduiken
- De periode van het weefsel
- De totale decompressietijd
- Duikdiepte

Opvallend is ook dat de stijgsnelheid géén invloed heeft op het ontstaan van microbellen!

4.4.1.1 Hoge gradiënten en periode van het weefsel

Uit metingen is gebleken dat vooral de snelle en gemiddelde weefsels aanleiding geven voor de vorming van microbellen. Mogelijk ontstaan in trage weefsels ook microbellen maar die niet in de circulatie terecht komen. Een evenredige reductie van het toegestane moment met 30% voor T5 tot 0% voor T160 gaf een zeer goed resultaat⁴.

4.4.1.2 Afkoeling van de huid.

De afkoeling van de huid blijkt naast de te hoge gradiënten de grootste oorzaak te zijn in het ontstaan van microbellen. Als de huid tijdens de duik afkoelt vernauwen de vaten en kan de opgeloste stikstof niet meer afgevoerd worden. Het achteraf terug opwarmen zet massaal microbellen vrij in de circulatie. We worden hier herinnerd aan de bezwarende factoren.

4.4.2 Detectie

Microbellen die zich in de bloedbaan bevinden en die groot genoeg zijn (>20µm) kunnen gedetecteerd worden met een “Doppler-detector”. Niet alle microbellen zijn echter zo groot zodat we nooit met zekerheid kunnen zeggen dat er geen aanwezig zijn als we er geen detecteren. Bellen die zich in weefsels bevinden kunnen gedetecteerd worden door “ultrasoon monitoring” met een frequentie van rond de 1 MHz.

Bij de “Doppler methode wordt de hoeveelheid microbellen die de longslagader passeren vaak aangeduid met de “Spencer schaal”. Zie onderstaande tabel.

0	Geen aanwezigheid van microbellen
1	Af en toe wordt een microbel gedetecteerd, maar in een grote minderheid van hartcycli
2	Veel detectie van bellen maar nog steeds in minder dan de helft van de hartcycli.
3	Alle hartcycli bevatten microbel-signalen maar hun geluid domineert niet over het hartgeluid.
4	Voortdurend zijn microbel-signalen aanwezig en hun geluid overstemt het normale hartgeluid

⁴ Zie het Proportional M-Value Reduction Concept in het DAN Safety Laboratory 1 in de bijlagen

4.4.3 Levensduur

Door hun zeer kleine afmeting moeten ze inwendig een zeer grote druk hebben om aan de sterke oppervlakte spanning van de bel te weerstaan.

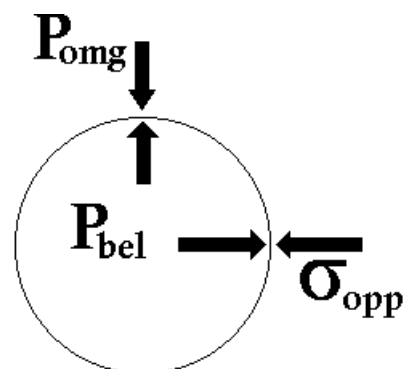
$$\sigma = \frac{F}{l}$$

$$\Leftrightarrow \sigma = \frac{p_{bel} \times \text{Oppervlakte}}{\text{Omtrek}}$$

$$\Leftrightarrow \sigma = \frac{p_{bel} \cdot \pi \cdot r^2}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

$$\Leftrightarrow \sigma = \frac{p_{bel} \cdot r}{2}$$

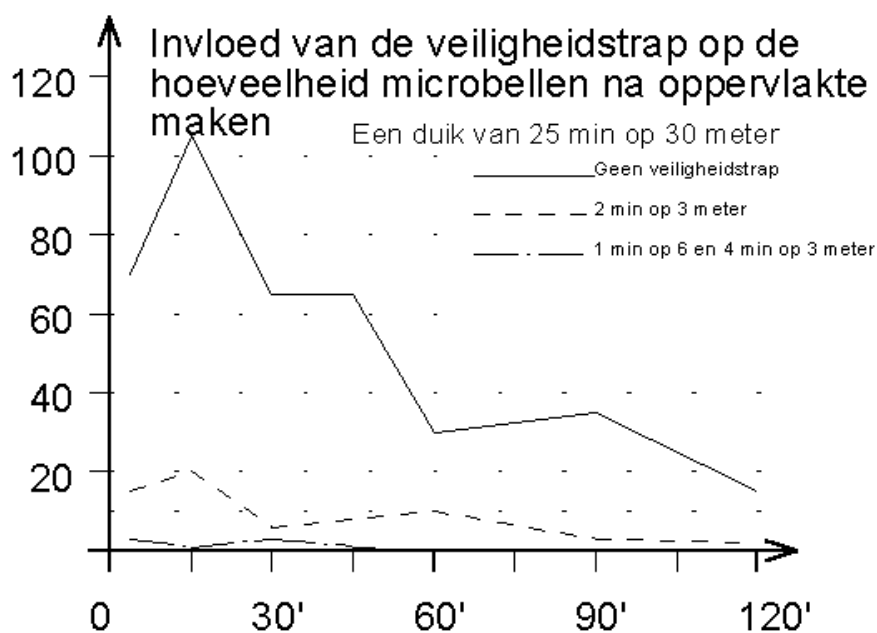
$$\Leftrightarrow p_{bel} = \frac{2 \cdot \sigma}{r}$$



Hierdoor zal het gas binnenin de bel snel terug oplossen door diffusie doorheen de bel. Een microbel leeft dus maar zeer kort. Een microbel die de kans krijgt om te groeien, wordt stabiel en kan veel langer overleven (stijgsnelheid). Normaal gesproken worden microbellen door de longen uit het bloed gefilterd (longfilter) maar als het aanbod te groot is verstoppt de longfilter en kunnen er toch microbellen in het slagaderlijk bloed geraken van de grote bloedsomloop. We lopen dan een reële kans op decompressieziekte. Ook als de longfilter tijdelijk niet werkt (Valsalva) kan dit gebeuren.

4.4.4 Invloed van de microbellen

De aanwezigheid van microbellen vertraagt in sterke mate het ontzadigingsproces zodat de ontzadiging door de computer berekend, niet juist meer is. Een studie met de Doppler detector op duikers die een duik van 25 minuten op 30 meter gedaan hadden zonder en met veiligheidstrap leverde verrassende resultaten op.



Door 5 minuten veiligheidstrap te doen waren er na minder dan één uur al géén microbellen meer zodat de ontzadiging ook aan de oppervlakte veel beter verloopt. Er is een rechtstreeks verband tussen het aantal circulerende microbellen en de kans op het optreden van de decompressieziekte. Het voorkomen van de vorming van microbellen is dus een belangrijk onderdeel van het veilig en verantwoord duiken. Een decompressieongeval kan optreden indien het aanbod van microbellen te groot wordt of wanneer een microbel stabiel wordt door te groeien.

4.4.5 Verdere metingen tonen aan

Stikstof eliminatie op een diepte van 15 meter of ondieper verloopt sneller of even snel als aan de oppervlakte na 40minuten duiken op 30 meter⁵. Merk op dat je op deze diepte volgens je duikcomputer nog steeds aan het verzadigen bent!

Ontzadigen verloopt beter op –6 meter dan aan de oppervlakte als er slechts korte intervallen zijn tussen opeenvolgende duiken.¹ Bij de US-Navy blijft een duiker tussen twee diepe duiken op een druk van 9 meter of ondieper zonder oppervlakte te maken.

De eerste twee uur na een duik ontzadig je aan de oppervlakte praktisch niet!¹

4.4.6 Hoe lang blijven microbellen in het lichaam?

Zoals bovenstaande grafiek aantoont neemt het aantal circulerende microbellen af in de tijd, afhankelijk van de wijze van opstijgen. Indien we redelijk conservatief zijn opgestegen en 5 minuten extra trap gedaan hebben op grotere diepte, dan kunnen we stellen dat we na 2 uur geen circulerende microbellen meer hebben. Indien we stijgen tot aan het plafond kunnen dat gerust 4 uren worden. Nochtans zijn er ook niet-circulerende microbellen die opgesloten zitten in de weefsels en er zeer plaatselijk de ontzadiging blokkeren. Deze bellen kunnen niet door de doppler-detector opgespoord worden en kunnen zeer lang in de weefsels blijven zitten. Bij een operatie, 4 weken na een duik is er bij de anesthesie met een stikstofhoudend gas een decompressieongeval opgetreden door stikstofdifusie in de nog aanwezige microbellen in de gewrichten van de duiker. De duiker had geen klachten over decompressieziekte na de duik⁶.

4.4.7 Besluit:

Voorkom het ontstaan van microbellen, ze kunnen zeer lang invloed hebben op je decompressie zonder dat je duikcomputer er rekening mee houdt.

Doe steeds een veiligheidstrap

Indien je trap moet doen, stijg niet onmiddellijk naar trapdiepte, maar doe een veiligheidstrap 6 meter dieper dan je éérste trap. (Neem voor veiligheidstrap een ruimer begrip; nl de trap die je 6 meter dieper doet dan je plafond).

Zorg steeds voor een voldoende groot oppervlakte interval. **De opstijging tijdens de eerste duik bepaalt het risico van de tweede duik!**

⁵ Deeper into diving blz. 100

⁶ Deeper into diving blz. 53

4.5 Factoren die de belvorming beïnvloeden

4.5.1 gladheid van de vaatwand

ouderdom is een bezwarende factor omdat de vaatwand niet meer zo glad is maar veel rimpels vertoont. In deze rimpels ontstaat gaskernen die bij een grote stikstof oververzadiging groeien en belletjes uitzaaien (microbellen) zodat hiermee rekening dient gehouden te worden.

4.5.2 aanwezigheid van CO₂ of vetembolen

Net zoals in de keuken condensatie op de ramen tijdens het koken eerst ontstaat waar er een vette vinger op het raam staat, zo zullen bellen ook vroeger gevormd worden waar er kernen van CO₂ of vetembolen aanwezig zijn. De hoeveelheid vetembolen worden bepaald door de cholesterol. De aanwezigheid van CO₂ wordt bevorderd door inspanning (dus geen inspanning tijdens de trappen), algemene vermoeidheid en door alcohol.

4.5.3 Longfilter

De longen filteren al de microbellen uit het bloed. Teveel microbellen kunnen de longfilter tijdelijk verstoren zodat de shunts openen en er microbellen in het slagaderlijk bloed geraken van de grote bloedsomloop. Tijdens de opstijging kunnen microbellen stabiel worden en groeien zodat ze verstoppingen kunnen veroorzaken of gewoonweg kernen vormen waar de belvorming kan beginnen. De longfilter werking wordt tijdelijk verstoord door bijvoorbeeld valsalva te doen of hard blazen om het trimvest op te blazen. De longfilter werking wordt blijvend verstoord door het roken.



5 Hoofdpunten uit de gebruiksaanwijzing

5.1 Verboden duikprofielen

Het wiskundig model dat de computer gebruikt om de stikstofopname in het bloed te simuleren is bij bepaalde duikprofielen niet streng genoeg. De decompressietijd die de computer dan geeft is dus te weinig. Grote fouten maakt het model bij volgende duikprofielen:

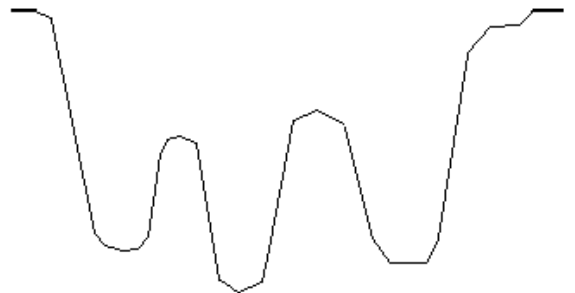
5.1.1 Invers duikprofiel

Dit wil zeggen dat er zeer langzaam en multi-level wordt afgedaald naar de maximum diepte en dan vanaf de maximum diepte wordt opgestegen direct naar de trapdiepte. Het is het omgekeerde profiel van een normale duik.



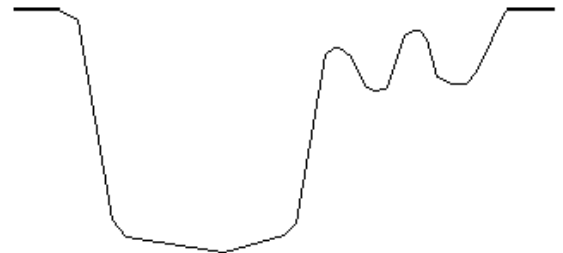
5.1.2 Jo-Jo Duiken

Veel opstijgingen en afdalingen tijdens één duik tot een diepte waar je in grote oververzadiging raakt. Dit is het geval indien je stijgproeven doet na al een tijdje op diepte te verblijven of bij het opstijgen tot aan de oppervlakte.



5.1.3 Jo-Jo tijdens de trappen

Dit wil zeggen dat je niet constant op de trapdiepte blijft. Voornamelijk op de trapdiepte maak je microbellen aan en is jo-jo uit den boze.



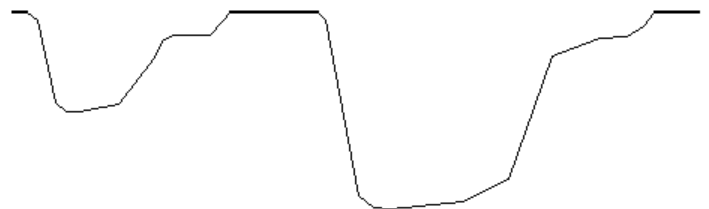
5.1.4 Successieve duik met kort oppervlakte interval

Zoals aangehaald bij factoren die de ontzadiging beïnvloeden (microbellen) ontzadigen we zeer slecht de eerste 2 uur na de duik. Je zou een oppervlakte interval van minimaal 4 uur moeten aanhouden vooraleer terug te duiken.



5.1.5 2e duik dieper dan de eerste

Met de tabellen is het afgeraden de tweede duik dieper te doen dan de eerste. De computer heeft hiertegen toch geen bezwaar. Uit statistieken blijkt dat de meeste decompressieongevallen bij successieve duiken gebeuren en vooral waar de 2e duik dieper was dan de eerste. Vaak ligt de oorzaak hier echter bij het slecht opstijgen en dus microbellen aanmaken tijdens de eerste duik!



5.1.6 Wat doe je als je toch een dergelijk duikprofiel gemaakt hebt?

We kunnen een onderscheid maken tussen situaties waar je een grote oververzadiging gehad hebt een waar de kans groot is dat je microbellen aangemaakt hebt en situaties waar je dit niet hebt zoals een invers duikprofiel of mogelijk een successieve met een kort interval.

Indien je een grote oververzadiging gehad hebt, dan zullen microbellen de uitwassing van stikstof sterk verhinderen. Trappen verlengen heeft niet veel effect meer want de stikstof zit opgesloten. Het vormen van microbellen kan een bepaalde traagheid hebben en het is daarom zeker niet slecht om terug een tiental meters te zakken en vanaf dan enkele extra diepere stops in te lassen volgens de procedure verzwaren van trappen. Ondanks dat we enkele jaren geleden de regel van halve diepte en 12-9-6-3 overboord hebben gegoooid, was dit helemaal geen slechte procedure volgens de laatste bevindingen op decompressiegebied.

Indien je een invers duikprofiel hebt gemaakt, dan is het raadzaam je trappen te verzwaren om de snelle drukafname af te remmen.

Indien je een successieve duik maakt met een kort oppervlakteinterval kunnen er zich twee situaties voordoen. Je bent de eerste duik zeer conservatief gestegen zodat je nooit boven 80% van de M-values gekomen bent. Dit is volgens de berekeningen een enorme toename van trappen en is zeer moeilijk in te schatten indien je hiervoor geen instrument hebt (de UWATEC-smart computers hebben dit ingebouwd). Het aantal ontstane microbellen zal dan zo gering zijn dat de ontzadiging tijdens het oppervlakteinterval niet belemmerd werd. Er moeten dan geen extra voorzorgen genomen worden bij de tweede duik. Merk echter op dat microbellen die in de weefsels ontstaan er weken in kunnen vastzitten en dat op die manier de eerste duik toch als een successieve beschouwd kan worden met lokaal weefsel dat niet kunnen ontzadigen heeft en nog steeds problemen kan veroorzaken.

Uiteraard zullen heel wat eerste duiken minder conservatief beëindigd zijn. Je hebt dan aan de oppervlakte zeer weinig stikstof afgegeven en je doet als het ware een consecutieve duik. Het verzwaren van je trappen is dan een minimaal te nemen veiligheid.

Besluit: ongeacht de situatie, het komt er steeds op aan de trappen te verzwaren.

5.2 % kans op een decompressie ongeval

Zoals reeds aangehaald werd bij het nut van de duikcomputer (extra veiligheid) is er bij elke duik een kans dat je een decompressieongeval krijgt. Uiteraard is die kans afhankelijk van de duur van de decompressie of als je letterlijk je computer volgt, van het decompressiemodel dat de computer gebruikt. Bij de US-Navy tabel is dat 5% of 1 op 20 duiken. De Buhlman 1986 tabellen zijn getest door 544 manduiken in Zwitserland op altitudes variërend van 1000 tot 2600 meter zonder één enkel decompressieongeval en bijkomend in het Titicaca-meer op 3800 meter hoogte met 290 manduiken⁷. Gelukkig doen we niet veel square duiken zodat er toch altijd voldoende veiligheid is ingebouwd bij het gebruik van de tabel. Bij de duikcomputer is dat ongeveer 1 op 10000

⁷ Deeper into diving Blz. 251

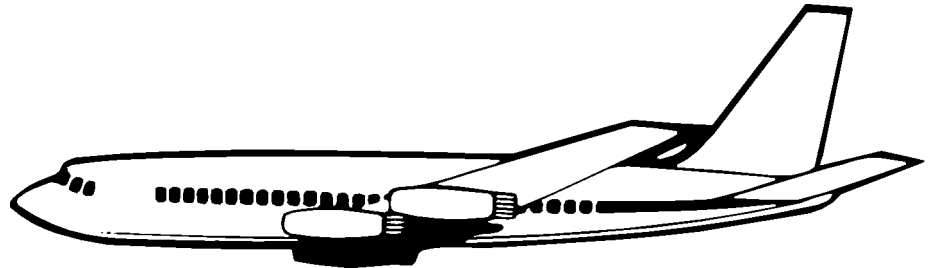
5.3 Bergmeer / persoonlijke instelling

Er zijn twee soorten bergmeer procedures. Ofwel meet uw duikcomputer geregeld de luchtdruk (ook als hij uit staat) en bij een daling van de luchtdruk zal hij automatisch in de juiste bergmeermode staan. Dit is het geval bij de ALADIN modellen. A-climatiseren is hier dus niet nodig want de computer weet hoelang je al op deze hoogte vertoeft. Bij deze modellen is het niet mogelijk om het decompressiemodel te verzwaren. Ofwel moet je zelf de computer in bergmeermode zetten (SÛUNTO) en moet je op deze altitude minstens 24 uur verblijven alvorens te gaan duiken zodat je stikstofniveau voor de duik hetzelfde is als die van de omgeving. Bij deze modellen kan je de altitude (meestal in stappen) nog verhogen zodat je een strenger decompressiemodel gebruikt.

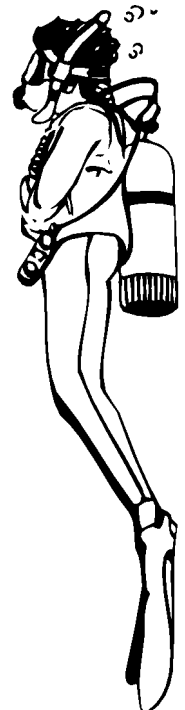


5.4 Vliegen na duiken

Sommige oude duikcomputers gaven bij korte ondiepe duiken een redelijk korte "no-flight time" of niet-vliegtijd aan. Zo kon het gebeuren dat je 4 uur na de duik al kon vliegen



terwijl de tabellen een minimale tijd van 12 uur gaven. Welnu, de computers hebben zich moeten aanpassen om problemen te voorkomen. Krijg maar eens een decompressieongeval in een vliegtuig midden boven de oceaan. Het is een must om 12 of zelfs 24 uur te wachten na de laatste duik alvorens te vliegen. Houdt hier dus rekening mee tijdens het plannen van je vakantie. Plan de laatste dag een uitstap zodat je zeker niet in de verleiding geraakt om...



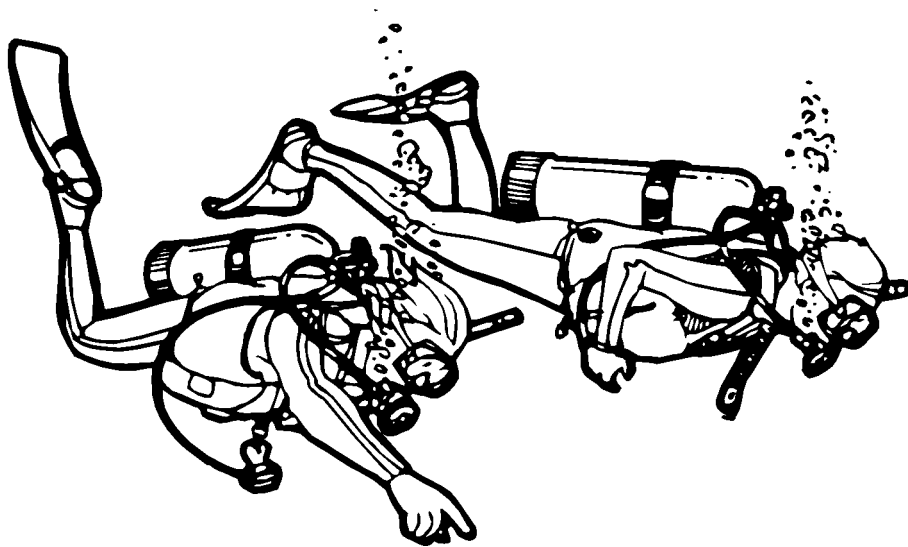
6 Gevaren verbonden aan het gebruik van de duikcomputer

6.1 duiken op de nultijd grens

Veronderstel de volgende duik: Je duikt naar -40 meter en verblijft daar totdat je computer zegt dat je resterende nultijd nog 0 minuten is. Daarom stijg je op naar -35 meter en nu krijg je opnieuw 2 minuten resterende nultijd. Na 2 minuten stijg je op tot -30 meter en nu krijg je opnieuw 5 minuten nultijd. Na 5 minuten stijg je weer op naar -25 meter ...enz.

Tijdens je verblijf op -40 meter zal je vooral je snelste weefsel verzadigen tot aan de limiet. Als je dan stijgt dan is het een ander weefsel dat bijna aan z'n limiet zit en dat dan ook nog opgeladen wordt. Het snellere weefsel kan nog niet ontzadigen en indien het dat al wel kan zal dat zeer traag gebeuren omdat het drukverschil veel te klein is. Het gevolg is dat er nu al twee weefsel tot aan de limiet gevuld zijn. Stijg je dan nog enkele meters dan zal er nog een derde weefsel volledig vullen tot op de limiet. Op deze manier zullen op de duur alle weefsels zoveel gevuld zijn dat het kleinste foutje fataal wordt of dat ze bij het opstijgen allemaal zoveel microbellen vormen dat het aanbod plots veel te groot wordt zodat de longfilter deze grote hoeveelheid microbellen er niet meer uit kan filteren.

Ondanks dat je zeer nauwkeurig doet wat je computer je zegt, heb je een zeer grote kans op een decompressieongeval.



6.2 opstijgen tot aan het plafond

Zoals reeds vermeld bij de microbellen zorgen zij ervoor dat indien je stijgt met de voorgeschreven stijgsnelheid tot aan de trapdiepte, je zoveel microbellen aanmaakt dat je zeer slecht ontzadigt. Metingen hebben aangetoond dat je na een duik op -45 meter beter ontzadigt op -15 m dan aan de oppervlakte!! Het is dus zeer verstandig om de opstijging te stoppen lang voor je op trapdiepte aankomt en dan langzaam naar deze diepte te gaan (enkele minuten). Maak met andere woorden je veiligheidstrap 6 meter dieper dan je eerste trap. Hierdoor zal je tijdens je oppervlakteinterval ook beter ontzadigen.

6.3 mentaliteit

De computer berekent alles op elk moment van de duik. Alhoewel de computer de mogelijkheid biedt om een planning te maken door de simulator wordt dit in de praktijk bijna nooit toegepast. Meestal wordt er gedoken zonder planning! Je zult wel zien welke trappen je moet maken. Bij gebrek aan ervaring op de duikdiepte kan je dan wel eens verschieten van het luchtverbruik en de hoeveelheid trappen. Voor je duik moet je weten wat je nodige luchtvoorraad is, je nultijd en de trappen bij de geplande tijd. Bij grote duikdieptes komt er na het verstrijken van de nultijd zeer snel een grote hoeveelheid trap bij.

6.4 air geïntegreerd zonder rekening van de lucht benodigd voor de opstijging

zoals vermeld bij de soorten duikcomputers verhoogt hij zijn reserve niet met de diepte en houdt ook geen rekening met lucht die je nodig hebt om trappen uit te voeren! Hier is ervaring op diepte veel belangrijker zodat je weet hoelang je nog kan verblijven met die hoeveelheid lucht tot aan je reserve. Let erop dat, volgens het NELOS reglement diep duiken je hoeveelheid reservelucht toeneemt met de diepte omdat de totale stijgtijd toeneemt.

6.5 besef van zeer zware fouten

Sommige fouten mag je gewoonweg niet maken. Zo zal de computer tijdens een onderbreking van trappen enkel een vervelend piepgeluid maken om je aan te sporen om terug naar trapdiepte te gaan. De ernst van de fout kan hij niet aangeven want het is goed mogelijk dat op dat ogenblik al een bel gevormd is die echter nog geen symptomen geeft (silent- bubble). Om dan terug naar onder te gaan is zinloos, de bel zal niet meer verdwijnen en zal waarschijnlijk een pathologische bel worden. Voor de computer is een overschrijding van de opstijgsnelheid op -40 m even erg als een te grote opstijgsnelheid op -5 meter. Op deze geringe diepte mag een te snelle opstijging gewoonweg niet gebeuren na een diepe duik want de aanwezige microbellen hebben dan de kans om stabiel te worden en zodoende pathologische bellen te worden.

Indien je de regels van het veilig en verantwoord duiken niet goed kent besef je niet wat je fout is als je computer dit signaleert. Dit werkt onverantwoord duikgedrag in de hand



7 Praktisch duiken met de computer

7.1 Ken je Computer en die van je buddy

Het is belangrijk om te weten hoe jouw duikcomputer reageert op hoge gradienten (hoge oververzadiging van je weefsels ten opzichte van de omgevingsdruk). Heb je een recente duikcomputer die deze hoge gradienten voorkomt door diepere stops te geven, dan zijn deze regels al ingebouwd in je computer en hoef je ze niet nogeens toe te passen. Heeft jouw computer nog een oude berekeningsmodel dat enkel je 3-meter trap verlengt, dan doe je er goed aan deze regels in acht te nemen. Dit is zeker iets wat je vraagt aan je buddy tijdens de briefing als je met dat model nog niet vertrouwd bent! Denk erom: **de computer is een hulpmiddel en met behulp van de strengste computer bepaal je de decompressie.**

7.2 Planning van de duik

Een planning maken voor elke duik is een noodzaak voor de veiligheid. Deze planning houdt eveneens in dat je de duikparameters van tevoren vastlegt of limieten bepaald. Vooraleer je onder water vertrekt moet je dan ook weten hoeveel trap je maximaal kan verwachten. Hiervoor gebruik je de duiktabel (of de Bühlmann tabel) of de ingebouwde planner van de computer. Indien je een successieve duik doet hebben de gegevens van de planner betrekking op je verzadigingstoestand op dat ogenblik. Indien je dat een half uur voor de duik doet wordt de decompressie dus korter omdat je interval nog een half uur langer duurt.

7.3 Back-up

Er moet steeds een back-up aanwezig zijn om de duik veilig te kunnen eindigen. Gezien de duikcomputer een persoonlijk instrument is kan de duikcomputer van je buddy niet als back-up voor jouw gebruikt worden tenzij je exact hetzelfde duikprofiel gedaan hebt doordat je verbonden bent door een korte buddy-line. Indien je duikprofiel slechts weinig verschilt van dat van je buddy, kan je op deze computer je trappen doen mits verzwaring.

7.4 Veiligheidstrap

Doe steeds een veiligheidstrap in de brede betekenis en stijg extra langzaam tussen trappen. In de brede betekenis wil zeggen dat een veiligheidstrap gezien wordt als een trap van 3 minuten, 6 meter dieper dan je plafond (éérste trap). Van de veiligheidstrap tot aan de trapdiepte stijg je trager dan 10 meter per minuut. Door de veiligheidstrap uit te voeren verminder je het aantal microbellen en verbeter je de ontzadiging. Hierdoor kan je op veilige manier een successieve duik doen.

7.5 Verzwaren van trappen

Om je trappen te verzwaren doe je een trap van 3 minuten, 9 meter dieper dan je plafond (eerste trap). Volgens de computer ben je hier nog aan het verzadigen en zal je dus meer trap aangeven. In werkelijkheid is hier je ontzadiging veel beter dan op trapdiepte zodat je een dubbele veiligheid creëert. Je kan dit nog combineren met de procedure trappen op zware zee: de trap van drie meter gewoon op 6 meter doen, alwaar je computer trager ontzadigt, maar waar je in werkelijkheid beter ontzadigt.

8 Veertien punten van het NELOS veiligheidscomité

1. Lees de handleiding ! Ze bevat belangrijke informatie over je computer.
2. Duikcomputers kunnen alleen gebruikt worden door geoefende duikers ! De handleiding of de duikcomputer vervangt geen degelijke duikopleiding.
3. Doe een veiligheidstrap ! De oude gewoonte blijft een goede gewoonte. Indien je trappen hebt, doe een veiligheidstrap 3 meter dieper dan je eerste trap.
4. Duik nooit dieper dan 57 meter zonder speciale veiligheidsmaatregelen !
5. Herhalingsduiken. Maak geen successieve duiken dieper dan 30 meter zonder een tussentijd van meer dan één uur te hebben. Bij successieve duiken maak je altijd je diepste duik als éérste duik.
6. Altijd het diepste punt éérst ! Doe nooit inverse duikprofielen.
7. De duikcomputer geeft steeds de grens aan. Hoe dichterbij je tegen de grens aan duikt, hoe meer kans op een decompressie ongeval.
8. De duikcomputer is een persoonlijk instrument ! Twee duikers hebben nooit exact hetzelfde profiel of dezelfde reststikstof. Laat nooit iemand anders met jouw computer duiken. De trappen die jouw computer aangeeft zijn niet geldig voor iemand anders in je duikgroep (zonder computer).
9. Indien je ergens fouten hebt gemaakt tegen de regels van je computer, maak dan geen duiken meer de eerste 24 uur !
10. Begin nooit te duiken met een computer indien je voordien (binnen 24 uur) al duiken hebt gemaakt zonder deze computer !
11. Bergmeren ! Er zijn twee soorten: degene die zich automatisch aanpassen aan de verminderde omgevingsdruk en waarmee je dan direct kunt gaan duiken. Degene die je in bergmeermode moet zetten maar dan moet je al wel 24 uur op deze hoogte vertoeven zodat je lichaam aangepast is aan de verminderde hoeveelheid stikstof.
12. Zorg voor back-up materiaal in een duikgroep bij je buddy bv.
13. Voorbereid zijn op technische mankementen. Indien je computer faalt maak geen duik of indien je computer faalt tijdens de duik beëindig de duik met je backup materiaal en maak een veiligheidstrap.
14. Vergeet niet wat in het veiligheidsreglement staat ! De strengste decompressiemethode van de groep wordt toegepast en je tabellen heb je nog steeds verplicht bij!