

Aanpassingen aan duiken bij walvisachtigen

Joop F. Bakker

Voor de meeste mensen zijn walvissen geheimzinnige, doch interessante zoogdieren. Ze worden gezien als redders van mensen, als symbool van de overwinning over de oceanen. Deze zoogdieren evolueerden omstreeks het Midden-Eoceen (Paleoceen, 70 tot 46 miljoen jaar geleden) uit landzoogdieren, wier voorouders daarvoor vanuit zee met moeite het land als leefmilieu binnengedrongen waren. Deze voorouders van de walvissen (Cetacea), de Mesonychidae (Creodonta) waren vleeseters, die zich tegen het einde van het Krijt (135 tot 70 miljoen jaar geleden) afsplitsten en in het begin van het Paleoceen naar zee gingen.

Onder de huidige Cetacea vindt men het grootste dier dat ooit onze planeet bevolkte: de Blauwe Vinvis (*Balaenoptera musculus*), met een lengte variërend van 9 tot 33 meter en een gewicht tot 130.000 kilogram. In de orde van de walvisachtigen (Cetacea) wordt een onderverdeling aangebracht in twee suborden: de baard- of baleinwalvissen (Mystacoceti) en de tandwalvissen (Odontoceti). De baleinwalvissen leven van kril, een verzamelnaam voor allerlei soorten klei-

ne kreeftjes die in het water zweven. Dit kril komt in bepaalde delen van de oceanen op tamelijk geringe diepte in reusachtige hoeveelheden voor. Met behulp van de baleinen (uitgezakte plooiën van het dak van de mondholte) zeven deze walvissen het kril uit het water. Vanwege deze voedingsgewoonte bestaat bij Mystacoceti niet de noodzaak tot grote diepte te duiken. Anders ligt het bij de tandwalvissen (Odontoceti), die hun zwemmende prooi op grote diepte achtervolgen of opzoeken. Een extreem voorbeeld is de Potvis (*Physeter catodon*), die zijn prooi, meest grote pijlintkvissen, opzoekt op een diepte van 1100 meter tot waarschijnlijk zelfs 3000 meter. Hoe kan een potvis een druk overleven van meer dan 100 bar, terwijl hij geen last heeft van stikstofvergiftiging, zuurstofvergiftiging of decompressieziekte, die op deze diepte een zeer sterke invloed zouden moeten hebben? De aanpassingen die een rol spelen bij de ogenschijnlijk paradoxale prestaties van walvissen en andere duikende dieren (zoals b.v. de Weddellzeehond en de pinguïn, zie tabel) lopen we nu vervolgens na.

Tabel

Maximum diepte en duiktijd voor een aantal duikende zoogdieren en vogels (vrij naar: Hempleman en Lockwood, 1978)

Soort	Diepte (m)	Tijd (min.)
Potvis (<i>Physeter catodon</i>)	1134	75
Butskop (<i>Hyperoodon compullatus</i>)	?	120
Gewone Vinvis (<i>Balaenoptera physalis</i>)	500	30
Blauwe Vinvis (<i>Balaenoptera musculus</i>)	100	50
Dolfijn (<i>Delphinus delphis</i>)	260	?
Tuimelaar (<i>Tursiops truncatus</i>)	300	15
Grijze Zeehond (<i>Halichoerus grypus</i>)	145	18
Weddellzeehond (<i>Leptonychotes weddelli</i>)	600	70
Bever (<i>Castor canadensis</i>)	?	15
Keizerspinguin (<i>Aptenodytes forsteri</i>)	265	18
Aalscholver (<i>Phalacrocorax carbo</i>)	37	1,2
Pinguin (<i>Pygoscelis</i>)	12	7
Mens: Jacques Mayol	100	3,6
Mens: R. Foster	?	5,6

DE PROBLEMEN

Een goede aanpassing aan het leefmilieu wordt weerspiegeld in een optimale bouw (anatomie) en werking (fysiologie) van het lichaam van elk dier. Dit vinden we ook terug in de anatomie en fysiologie van walvissen. Voor een goed begrip van de veelsortigheid in de aanpassingen is het noodzakelijk een beeld te hebben van de problemen waarmee (zoog)dieren bij het duiken geconfronteerd worden.

Zoals alle zoogdieren zijn ook Cetacea voor hun zuurstofvoorziening aangewezen op longademhaling met lucht. Zij begeven zich tijdens het duiken in een medium waar dit onmogelijk is. Met andere woorden: hoe regelen duikende zoogdieren hun zuurstofvoorziening?

Zoogdieren zijn warmbloedige dieren. Stromend water is een zeer goede warmtegeleider, ongeveer 100 maal beter dan lucht. Hoe handhaven Cetacea en andere warmbloedige dieren hun lichaamstemperatuur van 35-40°C in een leefomgeving die 3-25°C is?

Duiken brengt een niet geringe drukverhoging met zich mee. Elke 10 meter zeewaterkolom (35%) komt overeen met een drukverhoging van ruim 1 bar. Voor een potvis betekent dit op 1100 meter diepte een omgevingsdruk van 111 bar. Hoe zijn die problemen opgelost met betrekking tot drukvastheid van holten (longen, schedel), viscositeitsveranderingen¹⁾ van bloed (een waterige oplossing van eiwitten en zouten) en de narcotische verschijnselen van stikstof onder druk?

ZUURSTOFVOORZIENING

Voor bijna alle planten en dieren is zuurstof (O₂) een levensnoodzaak. Zonder zuurstof, dat slechts in geringe mate oplost in water, is leven op aarde eigenlijk onmogelijk. Een uitzondering

¹⁾ Viscositeit betekent de stroperigheid van een vloeistof. Water heeft b.v. een lage viscositeit, stroop een zeer hoge.

hierop vormen enkele micro-organismen, zoals gisten en bacteriën, die zonder zuurstof kunnen of moeten leven. Zuurstof moet dus elke cel kunnen bereiken. Bij kleine dieren (b.v. ééncelligen) is dit geen probleem. Bij deze dieren kan de benodigde zuurstof gemakkelijk van alle kanten binnendringen. De in het water opgeloste zuurstof passeert gemakkelijk de celwand van de ééncellige, terwijl in verhouding de oppervlakte van de celwand groot is ten opzichte van de inhoud van de cel. Heel anders is dit het geval bij grotere dieren! Het lichaam van b.v. de

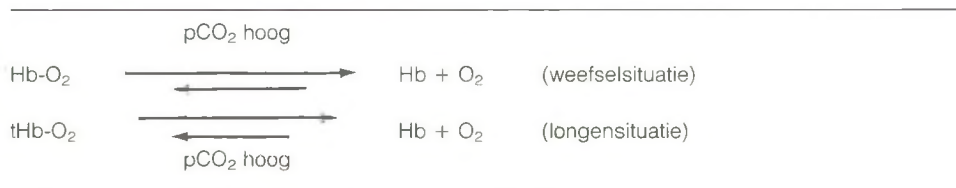
dolfijn bevat miljarden cellen, dicht opeengepakt. Het raakvlak van de gemeenschappelijke huid van deze miljarden cellen met de buitenwereld is zeer klein ten opzichte van het totale celwandoppervlak. Toch moeten ook deze cellen van zuurstof worden voorzien. Hiertoe hebben grotere dieren gedurende de evolutie een zuurstoftransportsysteem ontwikkeld: het bloed. In het bloed bevinden zich talrijke rode bloedlichaampjes waarin de rode bloedkleurstof, haemoglobine, ligt opgeslagen. In de longen wordt zuurstof gebonden aan haemoglobine (Hb) en



Afb. 1 Een bulrugwalvis zeeft het kril uit het water met behulp van zijn baleinen. Foto dr. Silvia Earle.

Figuur 1

Ontleding van zuurstofgeladen haemoglobine (Hb-O₂) in Hb en O₂



het aldus ontstane Hb-O₂-complex (haemoglobine-zuurstofverbinding) wordt op zijn beurt in de rode bloedlichaampjes naar de organen en weefsels getransporteerd. (Figuur 1) In de weefsels ontbindt het Hb-O₂-complex in O₂ en Hb. De vrijgekomen zuurstof kan nu door de weefselcellen opgenomen en verbruikt worden. Vanwege het grote belang van zuurstof voor de goede werking van lichaamscellen, vooral die van hart, hersenen en bijniere, vinden we vooral in de bloedsomloop, de zuurstofopslag en de ademhalingsorganen van duikende dieren veel ingrijpende aanpassingen. Duikende dieren bezitten meer bloed en haemoglobine (tot 3,5 maal zoveel) dan vergelijkbare landdieren. Omdat een oplossing van zwevende deeltjes in een vloeistof (= sol) visceuzer wordt bij toenemende druk (sol wordt dan een gel) is bij duikers het aantal rode bloedlichaampjes (= zwevende deeltjes) in het bloed (= vloeistof) sterk in aantal verminderd. Bij extreem diepe duikers (b.v. de potvis) vinden we echter toch nog een extra zwaar uitgevoerd hart (dubbele hartpunt) en dikwandiger aderen en slagaders.

HET BOHR-EFFECT

De haemoglobine van duikende dieren bezit enkele afwijkende eigenschappen. Hiervoor moeten we in de eerste plaats bedenken dat hoe hoger de partiële zuurstofdruk (pO₂) wordt, hoe meer zuurstof aan de haemoglobine gebonden wordt (hoge O₂-verzadiging). Dat betekent dat in plaatsen met een hoge pO₂ (longen) veel zuurstof aan de haemoglobine vast gaat zitten, maar dat op plaatsen met een lage pO₂ (weefsels,

m.n. spieren, hersenen etc.) deze zuurstof weer van de haemoglobine loslaat, d.w.z. ter beschikking van deze weefsels komt. Hierbij voegt zich nog een tweede verschijnsel, het z.g. Bohr-effect, dat deze werking vergroot. Bij een hoge koolzuurgas-concentratie (= hoge partiële kooldioxidedruk, pCO₂) wordt de O₂-verzadiging van haemoglobine nog eens extra verlaagd, d.w.z. dat nóg meer zuurstof vrijkomt in weefsels waar een hoge verbranding plaatsvindt (alweer spieren, hersenen...). Dit Bohr-effect is bij duikende zoogdieren groter dan bij landzoogdieren. Bovendien is van belang de zuurstofbinding van myoglobine. Myoglobine is een eiwit, dat zeer sterk verwant is aan haemoglobine en in zijn voorkomen beperkt is tot de spieren. Duikende dieren bezitten meer myoglobine dan vergelijkbare landdieren, bij de potvis is het spierweefsel zelfs vrijwel zwart gekleurd door de hoge concentratie myoglobine. Myoglobine is dan ook de belangrijkste bron van zuurstof voor de skeletspieren. Een tweede afwijkende eigenschap van de haemoglobine van duikers is de hoge pO₂(50). Deze waarde geeft aan bij welke pO₂ haemoglobine voor 50% verzadigd is. De pO₂(50) hangt dus nauw samen met het Bohr-effect, is de pO₂(50) hoog dan wordt het Hb in de longen snel bij hoge pO₂ verzadigd en is de ontleding in de weefsels eveneens snel.



Afb. 1a Butskop, *Hyperoodon ampullatus* (Forster)

DE DUIKREFLEX

Ondanks de zojuist genoemde aanpassingen in het bloedvaatstelsel, bleken deze niet voldoende als verklaring voor de lange duiktijden. Scholander zag dit probleem in en begon te experimenteren met duikende eenden. Zijn laboratoriumopstelling: een eend vastgebonden op een plank, die via een scharnier zodanig geplaatst kan worden dat de eend, naar keuze van de experimenter, met de kop boven of onder water ligt, wordt nog steeds veelvuldig gebruikt om de door Scholander in 1940 gedefinieerde „duikreflex” te demonstreren. Scholander merkte op, dat zodra de eend met de kop ondergedompeld werd, een aantal veranderingen in het lichaam plaatsvonden:

1. er treedt hartslagvertraging (bradycardie) op, veroorzaakt door
2. verminderde doorbloeding (vasoconstrictie) van skeletspieren, longen, nieren en spijsverteringsstelsel, terwijl
3. de bloeddruk gelijk blijft;
4. alleen organen die niet zonder zuurstof kunnen (hart, hersenen en bijnieren) blijken normaal doorbloed of krijgen meer bloed;
5. door de afname van metabolische activiteit (spijsvertering, verbranding) daalt de lichaamstemperatuur langzaam.

Bovengenoemde punten vatte hij samen onder de term „duikreflex”. Dat eenden (en andere dieren) dit niet onbeperkt kunnen volhouden is duidelijk. In de beginfase van de experimenten op dit gebied van gedwongen of geforceerde duiken sneuvelde dikwijls een aantal proefdieren. Latere onderzoekers (o.a. Butler in 1979) vonden deze manier van experimenteren, b.v. ook toegepast met vastgebonden zeehonden, wel tamelijk ruig. Zij startten experimenten waarbij het proefdier een zendertje meekrijgt, dat hem niet hindert in zijn bewegingen zodat hij volledig zijn eigen zin kan doen. Hoewel het verschijnsel op zich al eerder was waargenomen, kwamen Butler en enkele andere onderzoekers tot de conclusie, dat in 98% van het aantal gemaakte duiken helemaal geen duikre-

flex optreedt. Integendeel, het dier duikt net zolang als het zuurstof in zijn lichaam heeft en laat het alleen bij hoge uitzondering (gevaar, verkeningsduiken, verstoring) zover komen dat de zuurstof in zijn lichaam uitgeput raakt (waarbij de duikreflex optreedt).

NIET TE LANG ZONDER ZUURSTOF

Wat is nu het belang van het niet optreden van zuurstoftekorten? Bij het verteren van voedsel komen grondstoffen voor de verbranding vrij. Deze verbranding levert de benodigde energie voor de activiteit van spiercellen en dergelijke. De meest gebruikte grondstof voor de verbranding is glucose. Bij gebrek aan zuurstof wordt dit onvolledig verbrand en ontstaat melkzuur (lactaat), dat spiervermoeidheid (spierpijn) veroorzaakt. Bovendien wordt per gram glucose 16 maal zo weinig energie geproduceerd indien er een zuurstoftekort is. Tijdens een duik, waarbij zuurstoftekort ontstaat, treden derhalve de volgende verschijnselen op:

1. er moet 16 maal zoveel grondstof verbrand worden als bij een aërobe (= met zuurstof) duik,
2. de spieren worden eerder moe door
3. de ophoping van lactaat, dat – na aan de oppervlakte gekomen te zijn – tijdens een lange, tijdrovende rustperiode verwerkt moet worden tot onschadelijke stoffen (zie fig. 2 hersteltijd).

Naar verhouding kunnen duikende dieren meer lactaat ophopen dan landdieren. Dit is te danken aan hun sterk bufferende bloed, het grote volume bloed en de rol van het calcium, dat zuur buffert en voor dit doel wordt vrijgemaakt uit de beenderen. Al redenerend kwam men tot beduidende voordelen indien een dier net zolang dook als zuurstof aanwezig was en beslist niet veel langer. In het geval van de Weddell-zeehond is voor een duik van 40 minuten een hersteltijd van 60 minuten noodzakelijk. Bij een duiktijd van 20 minuten is deze hersteltijd slechts 5 minuten. In het eerste geval benut de Weddell-zeehond 40'

duiktijd van de totaal benodigde tijd (100'), in het tweede geval benut de zeehond echter $4 \times 20' = 80'$ van de totaal benodigde tijd ($80' + (4 \times 5') = 20'$ rusttijd = 100'). Netto zit de zeehond twee maal zo lang onder water en heeft daardoor tweemaal zoveel kans een prooi te bemachtigen. Ook is de oppervlaktetijd korter, waardoor de kans kleiner wordt dat de zeehond door een belager gegrepen wordt. Verder levert het aëroob verbranden de mogelijkheid om naast glucose ook vet te verbranden, dat per molecuul 3,25 maal zoveel ATP (= energie), 2,25 maal zoveel warmte en 2 maal zoveel water oplevert als glucose. Dit is belangrijk voor de warmte- en water-huishouding.

ADEMHALINGSORGANEN EN DUIKZIEKTEN

Een tweede belangrijke schakel in de zuurstofvoorziening is het ademhalingsorgaan: longen, luchtpijp enz. Bij duikende dieren is het tevens het meest kwetsbare onderdeel dat ook nog aanleiding kan geven tot diverse duikziekten. De longen zijn soepele, gasgevulde holten, die bij toenemende omgevingsdruk samengeperst wor-

den en uiteindelijk dichtklappen (longcollaps). Voor mensen is een longcollaps bijzonder schadelijk en leidt vaak tot de dood. Bij echte duikers, b.v. dolfinen, kunnen de longen geheel dichtklappen zonder dat dit een schadelijke nawerking heeft. Hiertoe zijn de longen, borstkas en luchtpijp uitgerust met speciale, voornamelijk anatomische aanpassingen. In tegenstelling tot de mens hebben Cetacea voornamelijk zwevende ribben en slechts enkele vast met het borstbeen verbonden ribben. Bovendien hebben deze vaste ribben scharnierputten, waardoor de hele borstkas (thorax)-wand dicht kan klappen. Door het ontbreken van collageen bindweefselverbindingen tussen longen en longvliezen en door een extreem soepel middenrif kunnen de longen praktisch geheel samenklappen.

Door de aanwezigheid van bloedvatcapillairen, die opzwellen tijdens een duik, wordt een gedeelte van het longvolume opgevuld met bloed, dat onsamendrukbaar is en als zuurstofreservoir dient. Door de aanwezigheid van sfincters (sluitspiertjes) rond de kleinste bronchiën, de bron-

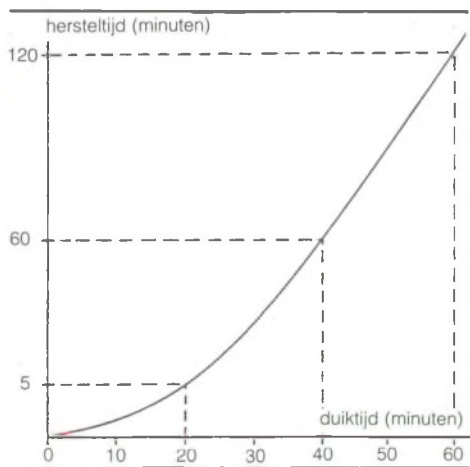


Fig. 2 Grafische voorstelling van de benodigde tijd die bij verschillende duiktijden nodig is om het melkzuur uit het bloed te verwijderen.



Afb. 2 De Weddell-zeehond, *Leptonychotes weddelli* (Lesson, 1826) is een in het Zuidpoolgebied algemeen voorkomende zeehond. Het zijn grote dieren van 2,5 tot 3 m lengte met een gewicht van 250 tot 400 kg. Zij zijn uitstekende duikers, die een diepte van 600 m halen en meer dan een uur onder water kunnen blijven. Door middel van geluiden zijn zij in staat niet alleen hun buit, hoofdzakelijk bestaande uit vis, hoewel zij ook pijlintvissen verorberen, op te sporen maar ook de terugweg naar de gaten in het ijs te vinden. De jongen worden in de periode september-oktober op het ijs geboren. Zij zijn dan al ruim een meter lang.

chioli, kunnen de Cetacea de longblaasjes volledig afsluiten. Het restant lucht wordt in de luchtpijp geperst, die eventueel óók nog kan dichtklappen, doordat ook de kraakbeeningen rond de luchtpijp scharnietjes bezitten. Doordat de longblaasjes, of alveoli, sneller worden afgesloten dan de bronchioli, wordt het gasuitwisselingsoppervlak, de alveoli, snel van de stikstof en de zuurstof in het restant longlucht afgesloten (zie fig. 3). Het in de alveoli gevangen luchtrestant wordt snel door de long-capillairen geabsorbeerd. In deze toestand kan geen overmaat stikstof of zuurstof oplossen waardoor een uitstekende bescherming wordt verkregen tegen decompressieziekte, stikstofnarcose en zuurstofvergiftiging. Men is er echter nog niet zeker van of deze duikende zoogdieren met volle of met lege longen hun duik beginnen, dan wel tijdens de duik uitademen. Behalve aanpassingen aan druk

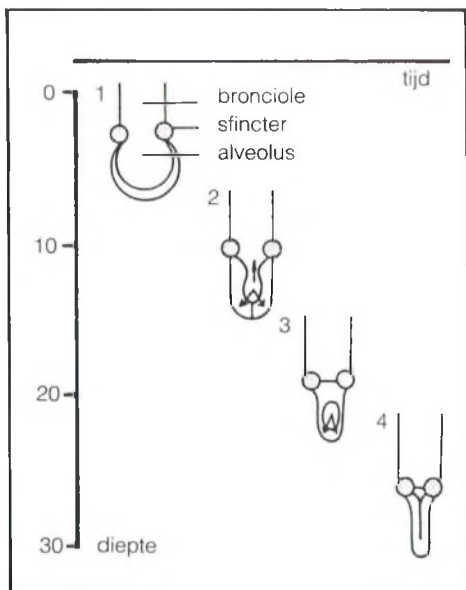


fig. 3 De compressie- en absorptiecollaps van de alveoli (longblaasjes): 1-2 compressiecollaps van de alveoli; 3-4 absorptiecollaps van de alveoli met opvolgende sluiting van de sfincter (sluitspiertje). Naar Kooyman et al. (1972).

hebben Cetacea ook zeer effectieve longen. De vitale capaciteit van Cetacea (en Pinnipedia) is 90% van het totale longvolume (bij de mens 75%), terwijl de luchtsnelheden 2,5-5 maal zo hoog zijn als bij de mens. Alsof dit nog niet genoeg is, kunnen ze ook nog veel langer hun maximale uitademingssnelheid handhaven. Wordt bij de mens de maximale uitademingsnelheid gehandhaafd tot 80% van de vitale capaciteit, bijv. bij *Tursiops* en *Phocaena* is dit 20% (zie fig. 4). Door deze aanpassingen behoeven deze zoogdieren slechts kort aan de oppervlakte te verblijven om hun gehele zuurstofvoorraad te verversen. Dit verkleint de kans aan een roofdier ten prooi te vallen.

HET SKELET

Ten behoeve van het duiken en zwemmen hebben zich aan het skelet enkele veranderingen voorgedaan. De ontwikkeling van de horizontale zwemstaart bij de Cetacea ging ten koste van de achterste ledematen en het bekken. Om de krachtoverbrenging nog efficiënter te maken verstarde bij zeehonden het enkelgewicht. Door de mens werd dit nagebootst in de wedstrijdzwemvliezen met geharnaste enkels (afb. 3). Ter verhoging van de drukweerstand van de schedel verdwenen de schedelholten bij diepduikende walvissen. Aanpassingen in de borstkas werden al genoemd.

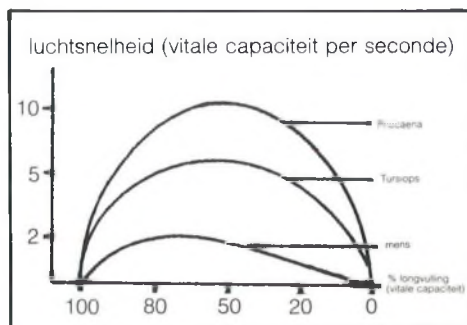


Fig. 4 De maximale uitademingsnelheid bij *Phocaena*, *Tursiops* en de mens, uitgedrukt in vitale capaciteit per seconde.



Afb. 3 Een speciaal duikpak, vervaardigd door de Nieuwzeelandse firma Moray Industries, wordt door de duikster Jan Doak gedragen bij de studie van dolfijnen in de wateren rond Nieuw-Zeeland, genaamd Project Interlock. De benen zijn met elkaar verbonden om zo de staartvin van een dolfijn na te bootsen. De buik is wit en de rug is zwart gekleurd. Foto Michael Donoghue.

WARMTEWISSELAAR

Een ander groot probleem bij zwemmende en duikende warmbloedige dieren is de afkoeling. Ook menselijke duikers kampen met dit probleem, dat groter wordt naarmate de omringende watertemperatuur afneemt (b.v. offshore). Duikende zoogdieren bezitten een dikke speklaag (bij de potvis b.v. 12 cm dik) als warmteïsolatie. Al op een diepte van 6 cm is in dit vetweefsel de kerntemperatuur van 37°C bereikt. Aangezien vetweefsel iets wordt ingedrukt tijdens een duik waarborgt de overcapaciteit de isolerende functie. De uitstekende delen, zoals vinnen en flippers, zijn voorzien van een warmtewisselaar (afb. 4): het warme arteriebloed gaat door de arterie naar de rugvin. Deze arterie is aan de basis van de rugvin omgeven met venen die terugkeren uit de rugvin. De warmte van het slagaderlijke bloed wordt nu afgegeven aan het koude venebloed, dat uit de rugvin terugkeert. Het effect is dat het venebloed het lichaam zo min mogelijk afkoelt.

SPERMACETI-ORGAAN

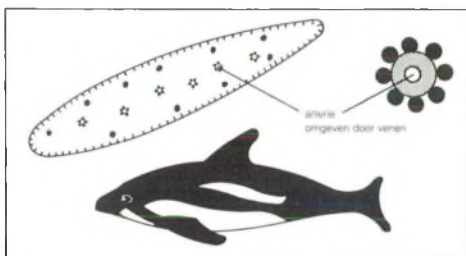
Ten slotte de misschien wel meest bekende aanpassing: het spermaceti-orgaan. Dit bijzondere orgaan komt slechts bij drie soorten walvissen voor:

de Potvis (*Physeter catodon*)

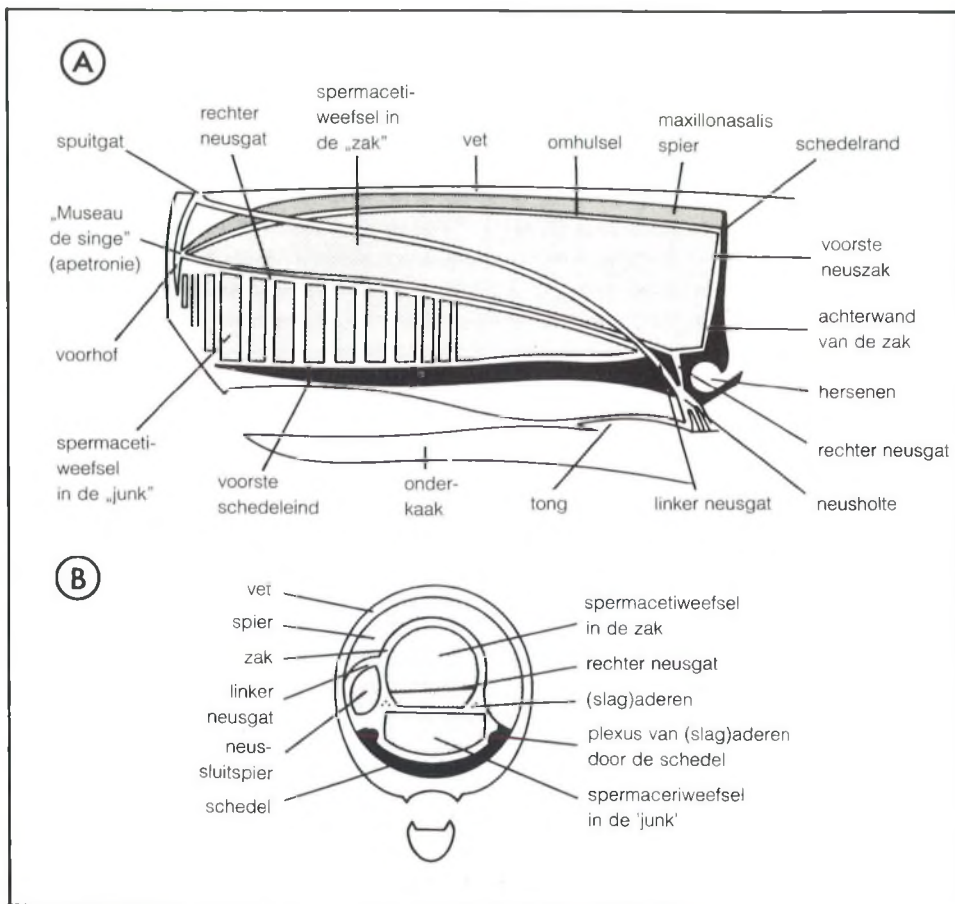
de Dwergpotvis (*Kogia breviceps*) en

de Butskop (*Hyperoodon ampullatus*)

Bij de potvis heeft Clarke (1978) de bouw en de werking uitgezocht. Het spermaceti-orgaan is gevuld met spermaceti (een vloeibare was) dat zich in een grote holte (de zak) en in een radiator-achtige structuur (de junk) bevindt (zie afb. 5). Spermaceti-was stolt bij 30°C (hoge dichtheid = zwaar) en is volledig vloeibaar bij 37°C (lage dichtheid = licht), tussen 30 en 37°C is het smelttraject, waarbij de was verschillende dichtheden bezit. Door middel van een uitgebreid capillairstelsel, een zogenaamd wondernet, kan de potvis de was afkoelen indien het bloed uit de huid afkomstig is en verwarmen indien het bloed uit de lichaamskern afkomstig is. Door zeewater



Afb. 4 De ligging van de arteriën (slagaders) en venen (aders) in de rugvin van een witflankdolfijn (*Lagenorhynchus acutus*). Rond de arterie (open cirkel) liggen de venen (gevulde cirkels). Ook zijn losliggende venen onder de huid aanwezig.



Afb. 5 Het spermaceti-organ van de potvis (*Physeter catodon*). Schematische lengtedoorsnede (A) en dwarsdoorsnede (B) door de kop van een volwassen potvis. Het spuitgat en het linker neusgat zijn zichtbaar gemaakt, hoewel zij links van een echte doorsnede zouden liggen. Naar Clarke (1978).



Afb. 6 Bultrugwalvissen in Glacier Bay, Alaska. Foto dr. Silvia Earle.

in zijn rechter neusgat te zuigen kan de potvis de spermaceti-olie zeer snel afkoelen. Door volledige afkoeling van de spermaceti-olie stolt deze en neemt het schijnbare gewicht van de potvis toe en zinkt deze (duiken). Tijdens de afdaling regelt de potvis zijn schijnbare gewicht door de olie gedeeltelijk op te warmen respectievelijk af te koelen. Zo kan hij zich op elke diepte volledig uittrimmen. Moet de potvis omhoog, dan wordt de olie verwarmd en begint de opstijging. De hele procedure van duiken en opstijgen kan zodoende zonder één zwembeweging uitgevoerd worden. Dit spaart vanzelfsprekend energie. Walvisjagers schieten potvissen aan het eind van hun duik: ze blijven dan drijven omdat alle spermaceti-was vloeibaar is. De mens heeft een alternatief bedacht voor dit geperfectioneerde trimorgaan: het trimvest, dat echter met volumeveranderingen werkt als gevolg van het inblazen of uitatmen van lucht.

SLOT

Een gedeelte van de aanpassingen die duikende zoogdieren gedurende de evolutie hebben verworven, wordt door menselijke duikers aangeleerd om hoge prestaties op dit gebied te bereiken. Zo is Jacques Mayol in staat door langdurige yoga-oefeningen zijn long-volume zeer klein te laten worden (extreem flexibel middenrif) en verkrijgen sponzenduikers en parelduikers meer haemoglobine dan de gemiddelde mens ten gevolge van hun lange verblijf onder water. Prestaties als die van duikende zeezoogdieren zal de mens echter nooit bereiken. Dat is

ook niet noodzakelijk, maar misschien dwingen deze dieren wat meer respect af dan tot nu toe uit de houding van vele mensen is gebleken. Ondanks de door de Internationale Whaling Commission bewerkstelligde vangstbeperkingen, zijn de walvissen nog niet uit de gevarenzone. Van de mogelijkheid om buiten het walvisvaartverdrag walvissen voor wetenschappelijk onderzoek te vangen maken verschillende landen ruimer gebruik dan voor de wetenschap nuttig en nodig lijkt

LITERATUUR

- BUTLER, P.J. & A.J. WOAKES 1979. Changes in heart rate and respiratory frequency during natural behaviour of ducks, with particular reference to diving. *J. Exp. Biol.* 79: 283-300.
- CLARKE, M.R. 1978. Buoyancy control as a function of the spermaceti organ in the Sperm whale. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 58: 27-71.
- HEMPLEMAN, H.V. & A.P.M. LOCKWOOD 1978. *The physiology of diving in man and other animals. Studies in Biology*, nr. 99, Edward Arnold (London) 58 pp.
- KOOIMAN, G.L., J.P. SCHROEDER, D.M. DENISON, D.D. HAMMOND, J.J. WRIGHT & W.P. BERGMAN. 1972. Blood nitrogen tensions of seals during simulated deep diving. *Am. J. Physiol.* 223(5): 1016-1020.
- SCHOLANDER, P.E. 1940. Experimental investigations on respiratory function in diving mammals and birds. *Hvalrad. Skr.* 22: 1-131.