

De zwevende nau ilus

T.J. Weisscher-van Rijn



Afb. 1 *Nautilus pompilius* in het Artisaquarium. Foto A. van den Nieuwenhuizen.

Ongeveer 65 miljoen jaar geleden zag het leven in de oceaan er heel anders uit dan nu. Tot de belangrijkste grote zeebewoners behoorden ongetwijfeld de schelpdragende inktvissen: weekdieren die in de buitenste kamer van een in compartimenten verdeelde schelp leven. Deze dominantie dankten zij aan de ontwikkeling van een neutraal zweefvermogen, d.w.z. een lichaamsgewicht gelijk aan of bijna gelijk aan dat van het gewicht van het door hen verplaatste zeewater. Mede hierdoor konden zij zich losmaken uit de grote groep van bodembewoners, om zo de eerste grote, vrijzwemmende carnivoren in zee te worden.

Hun grote bloeitijd hadden zij 225 tot 65 miljoen jaar geleden, waarna hun aantal begon af te nemen. Deze afname wordt wel in verband gebracht met de opkomst van de beenvissen: dieren met eveneens een neutraal zweefvermogen, wat zij danken aan het bezit van een zwemblaas die met gas gevuld kan worden.

De ontwikkelingslijn van deze gekamerede inktvissen lijkt dood te lopen in de 4 recente Nautilus-soorten.

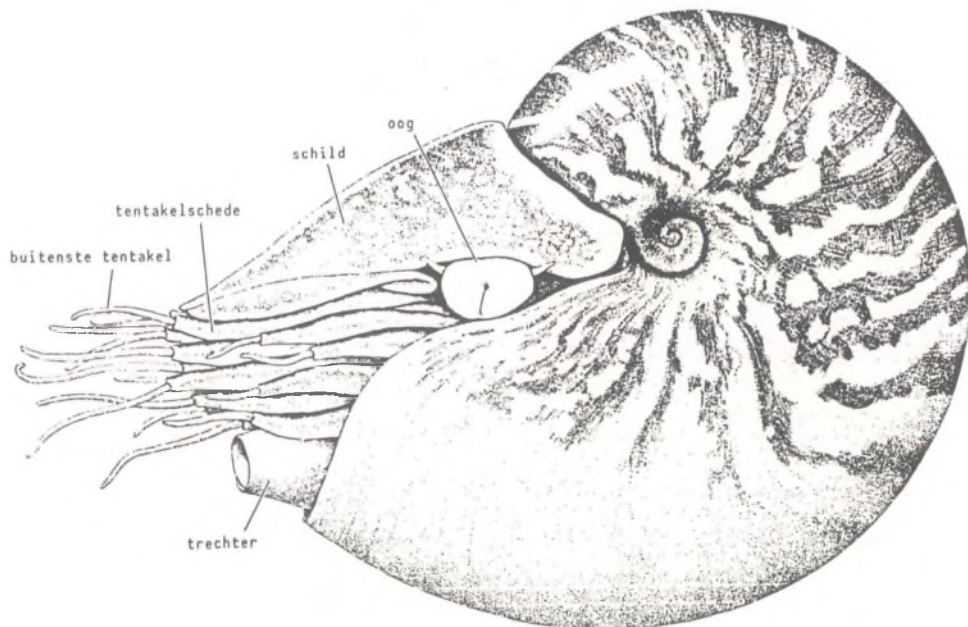
ZOÖLOGISCHE BESCHRIJVING

De lichaamsbouw van een Nautilus verschilt in vele opzichten van die der overige inktvissen.

De uitwendige schelp is goed ontwikkeld, symmetrisch gebouwd en in kamers verdeeld. Een buisvormige verlenging van het lichaam, de siphonbuis, loopt door de gehele schelp.

De ingewandszak bevat, omgeven door de mantel, alle inwendige organen (afb. 3). De mantel scheidt de schelp af, het achterste gedeelte van de mantel vormt de schotten die de schelp in kamers verdelen.

De ruimte tussen de mantel en de ingewandszak is aan de onderzijde open. Deze ademruimte bevat de 4 grote kieuwen. In dit opzicht wijkt de Nautilus af van alle andere inktvissen die slechts 2 kieuwen bezitten. Het ademhalingswater kan vrij-



Afb. 2 *Nautilus macromphalus* Sowerby. Habitus (uitwendige vorm). Naar Ward c.s. 1980.

elijk in en uit de ademruimte langs de kieuwen stromen voor zuurstofopname en koolzuurafgifte. Het instromende water kan echter ook voor een ander doel worden gebruikt, namelijk voor de voortbeweging. De mantelranden sluiten zich dan rond het halsgedeelte. Door de kleine opening die zo ontstaat, de trechter, wordt het water met kracht naar buiten geperst. Hierdoor ontstaat een naar achteren gerichte kracht die het dier in staat stelt te „zwemmen”. De trechter kan alle kanten op gericht worden en op die manier kan de Nautilus elke gewenste richting uitzwemmen.

De kop draagt de 80-90 armen, een veel groter aantal dan bij welke andere inktvis ook. Zo'n vangarm is kort en bestaat uit een dikke schacht en een dunne geringde tentakel, die in de schacht als in een schede teruggetrokken kan worden. De scheden van de voorste (bovenste) 4 vangarmen zijn vergroeid en vormen het opvallende „schild”: als het dier zich in de schelp terugtrekt, blijft alleen dit schild zichtbaar.

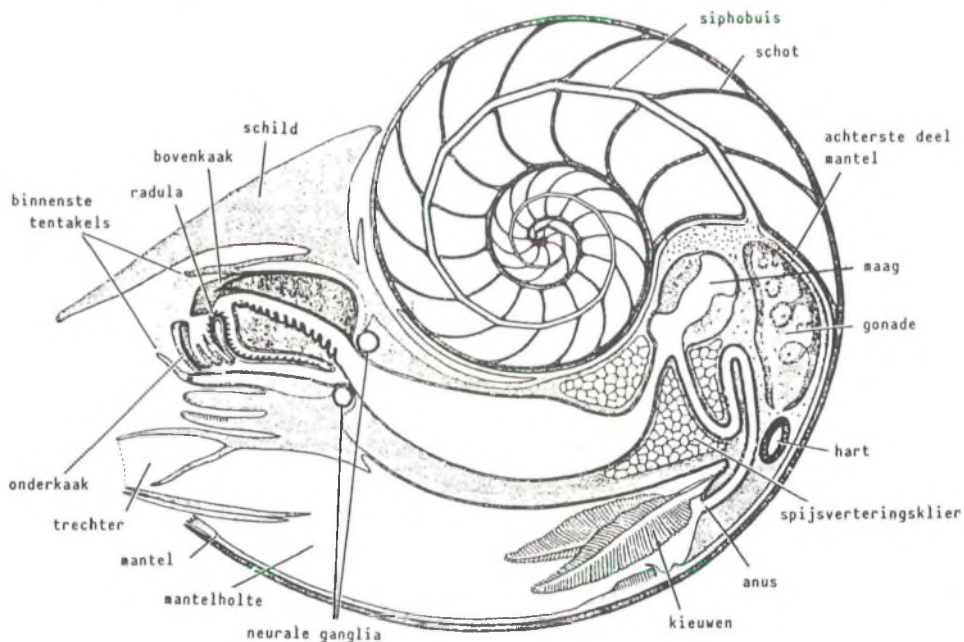
De overige vangarmen omgeven in 2 onvolledige kransen (binnen 42-52, buiten 38) de mondopening. Een deel van deze vangarmen is bij het mannetje veranderd in een gemodificeerde vangarm voor de paring, de zogenaamde hectocotylus (zie ook Vita Marina, febr./maart 1969).

Aan de buikkant (dus onder de mond) is de krans onderbroken door de trechter.

Naar hun functie kan men de vangarmen onderscheiden in smaakorganen en in grijporganen. Er zijn geen zuignappen, maar de armen zijn bedekt met een kleverige stof die als hulp dient bij het vasthouden van de prooi.

De radula bestaat uit meerdere rijen met in elke rij 13 tanden en dient uitsluitend voor het naar binnen werken van het voedsel. Daarbij bezit de Nautilus zoals alle inktvissen een papegaaisnavelvormige kaak waarmee zelfs pantsers van krabben en schedels van vissen kunnen worden doorgebeten.

De ogen zijn eenvoudig, bekervormig, zonder



Afb. 3 *Nautilus macromphalus* Sowerby. Doorsnede. Inwendige structuur en schelp. Naar Ward.

lens of glasachtig lichaam; dit is duidelijk verschillend van de hoogontwikkelde ogen van de andere inktvissen.

De dieren zijn van gescheiden geslacht. Het wijfje produceert ongeveer 10 grote eieren per jaar. Vergelijk dit met vele andere inktvis-soorten waarbij duizenden eieren per jaar per wijfje geen uitzondering is.

LEVENSWIJZE

De Nautilus is een nachtelijke bodemjager en is aan te treffen op dieptes van 50 tot 650 meter.

VERSPREIDING

Het woongebied van de Nautilus-soorten is beperkt tot de tropische gedeeltes van de Indische en de Stille Oceaan.

SYSTEMATIEK (naar Grzimek, 1973)

- Stam : Mollusca (Weekdieren)
Onderstam : Conchifera (Schelpdraggers)
Klasse : Cephalopoda (Inktvissen)
Onderklasse: Tetrabranchiata of Nautiloidea
Familie : Nautilidae
Geslacht : Nautilus
Soorten : *N. pompilius* L., 1758
N. macromphalus Sowerby, 1849
N. scrobiculatus (Lightfoot, 1786)
N. belauensis Saunders, 1981

HET ZWEEFVERMOGEN

De indeling van de schelp in kamers lijkt erop te wijzen dat de Nautilus zijn gewicht reguleert op een wijze zoals bijvoorbeeld een onderzeeër dat doet, namelijk door het vullen van de kamers met lucht bij het stijgen en met water bij het dalen. Recent onderzoek echter (Ward e.d., 1980) toont aan dat de Nautilus niet in staat is de kamers van zijn schelp te vullen met water: hij kan deze alleen legen. Daarbij blijkt dit legingsproces ten eerste enkel de nieuwste kamers te betreffen en ten tweede zeer langzaam te verlopen, maximaal 1 ml. per dag. Het doel hiervan is de handhaving

van de gewichtsloosheid in zee, het zogenaamde neutrale zweefvermogen. Het dier „zweeft” nu op elke diepte en hoeft geen moeite te doen om ongewenst zinken of drijven tegen te gaan.

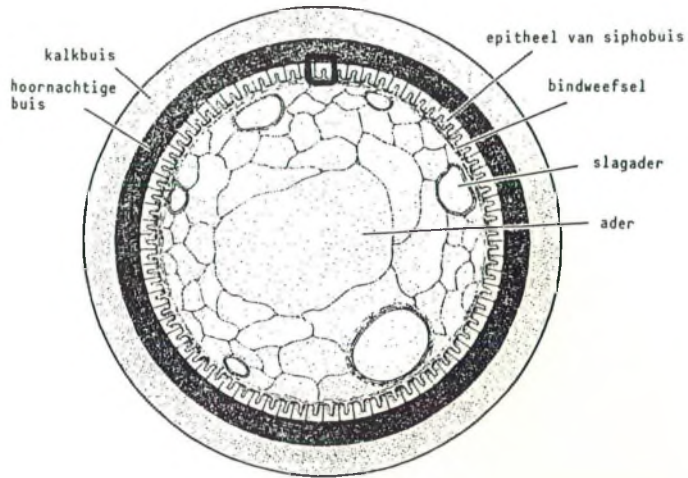
Tijdens de groei van het dier zet het telkens een schot achter zich af in de schelp en vormt zo een nieuwe kamer. Deze nieuwe kamer is dan nog gevuld met de kamervloeistof, maar deze vloeistof wordt langzaam verwijderd. Het extra drijfvermogen wat door dit legen ontstaat, compenseert het toenemende gewicht van het groeiende dier. Hiermee blijft het neutrale zweefvermogen gehandhaafd en weegt het dier nooit meer dan enkele grammen in zeewater, terwijl in lucht (op het land) het dier zo'n 1600 gram weegt.

Het verwijderen van de vloeistof gebeurt door de siphobuis (afb. 4). Dit is een streng levend weefsel omgeven door een kalkbuis die vanuit het achterste gedeelte van het lichaam door alle kamers van de schelp spiraliseert. Binnenin het weefsel ligt een netwerk van bloedvaten. De kalkomhulling heeft een zeer belangrijke functie. Het omringende zeewater oefent namelijk een druk uit op het lichaam van de Nautilus en deze druk wordt overgebracht op het bloed. De bloeddruk in de siphobuis is dan gelijk aan de bloeddruk die door het hart wordt opgebouwd plus de druk van het omringende zeewater. Dit geeft op een diepte van bijvoorbeeld 400 meter een totale druk van meer dan 40 atmosfeer. Aangezien de druk in een lege kamer 1 atmosfeer bedraagt zou de siphobuis, wanneer er geen stevige kalkomhulling zou zijn, naar buiten toe scheuren.

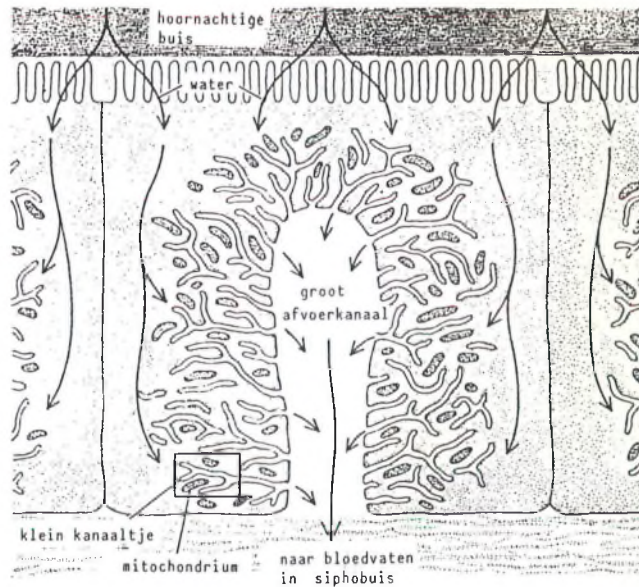
De vraag is nu: hoe wordt de kamervloeistof verwijderd?

De samenstelling van de kamervloeistof lijkt erg veel op die van het Nautilus-bloed en op die van het zeewater wat betreft de concentratie opgeloste stoffen zoals K^+ , Na^+ en Cl^- ; deze zijn praktisch gelijk. Het is niet zeker of de kamervloeistof een filtraat van het bloed, een afscheiding van de siphobuis of gemodificeerd zeewater is.

Stel nu de volgende theorie: de cellen van de wand van de siphobuis vervoeren de opgeloste stoffen vanuit de kamervloeistof naar het bloed in



Afb. 4 Dwarsdoorsnede door de siphobuis. Het gedeelte in het vierkantje bovenaan wordt vergroot weergegeven in afb. 5. Naar Ward c.s. 1980.



Afb. 5 Detail van een gedeelte van de wand van de siphobuis (zie ook atb. 4). Naar Ward c.s. 1980.

de siphobuis. Daarmee zou dan de concentratie opgeloste stoffen in de kamervloeistof lager worden dan die in het bloed, en door osmose (zie intermezzo) zou er vervolgens water vanuit de kamer naar het bloed stromen. Vanuit het bloed wordt het dan via de nieren uitgescheiden. Op deze wijze zou de kamer gelegeerd worden.

Echter: de vaak veel hogere druk in de oceaan (de druk dus in het bloed in de siphobuis) in vergelijking met die in de kamer leidt ertoe dat er veel eerder water vanuit de siphobuis de kamer in zal lopen dan omgekeerd. Stel de concentratie opgeloste stoffen in de kamervloeistof O. Dan is het osmotische proces vanuit de kamer richting siphobuis dus maximaal. Uit berekeningen blijkt dat in de bovengenoemde situatie er bij een druk van 24 atmosfeer (dat is op een diepte van 230 meter) water in de omgekeerde richting zal lopen, dus vanuit de siphobuis naar de kamer. Maar aangezien de concentratie opgeloste stoffen in de kamervloeistof altijd groter dan nul is, zal dat dus al bij een lagere omgevingsdruk (d.w.z. op geringere diepte) gebeuren.

Aangezien er Nautilussen aangetroffen zijn op een diepte van 600 meter met lege kamers blijkt bovengenoemde theorie te eenvoudig. Een aangepaste versie, de zogenaamde lokale-osmose-theorie, lijkt beter te kloppen met de feiten (afb. 5).

De cellen die de wand van de siphobuis vormen, de epitheelcellen, blijken grote holtes te bevatten aan de zijde waarmee ze aan de bloedvaten grenzen. Deze holtes fungeren als opvang-, en afvoerkanalen voor vloeistoffen afkomstig uit een veel fijner kanaalstelsel.

Het legingsproces verloopt als volgt: opgeloste stoffen in de kamervloeistof diffunderen (zie intermezzo) door de poreuze kalklaag in de siphopitheelcellen. Enzymen op de wand van deze epitheelcellen pompen deze opgeloste stoffen in de kleine kanaaltjes. De energie voor dit actieve proces wordt geleverd door de mitochondriën, de energieleveranciers van levende cellen, die daar in grote hoeveelheden aanwezig zijn.

De concentratie opgeloste stoffen kan nu lokaal zo hoog worden dat er water door osmose naar

binnen stroomt, ondanks de hoge druk diep in de oceaan die het water in omgekeerde richting wil laten stromen. Dit systeem van fijne kanaaltjes mondt zoals gezegd uit in grotere afvoerkanalen. Het water zal nu naar deze grotere kanalen stromen en via de open zijde van zo'n kanaal (zie afb. 5) naar het bloed. Vanuit het bloed wordt het via de nieren uitgescheiden.

Een kamer wordt eerst grotendeels gelegeerd voordat er een nieuwe kamer wordt gevormd. Pas als het niveau van de kamervloeistof in de nieuwste kamer onder het niveau van de siphobuis is gedaald, begint de vorming van een nieuw schot. De resterende vloeistof wordt langzaam d.m.v. capillaire werking van de kamerwand verwijderd. Zo zijn er nooit meer dan 2 à 3 kamers met vloeistof. De Nautilus kan dus enkel de laatste kamers legen. Wel heeft het dier de mogelijkheid de snelheid van dit legen te variëren, al naar gelang de omstandigheden.

Uit proeven waarbij de laatste kamer met extra vloeistof werd gevuld, bleek dat het legingsproces dan werd versneld. De omgekeerde situatie, waarbij de kamer door de onderzoekers gedeeltelijk werd leeggezogen, leidde tot een veel langzamer legingsproces dan onder normale omstandigheden.

De vraag rijst waarom de Nautilus een levende siphobuis bezit die door alle kamers loopt en niet enkel door de laatste 2 of 3. Het lijkt veel eenvoudiger om de lege kamers permanent af te sluiten. Men vermoedt dat de siphobuis een rudiment is van een orgaan dat bij de voorouders van de Nautilus de lege kamers wel kon vullen of legen. Deze dieren, nu uitgestorven, zouden dan veel mobieler zijn geweest dan de recente Nautilus. Tot slot kan nog gezegd worden dat in de lege kamers de vloeistof vervangen blijkt te zijn door een gas. Dit gas is waarschijnlijk eenvoudig uit het bloed gediffundeerd en draagt niet bij tot het zweefvermogen: aangezien vacuum niets weegt en gas altijd nog iets zal dit gas het zweefvermogen zelfs iets doen afnemen.

De Nautilus groeit niet onbeperkt door, het dier bereikt zijn maximale grootte na ongeveer 3 jaar, en deze stop in de groei valt samen met het bereiken

INTERMEZZO

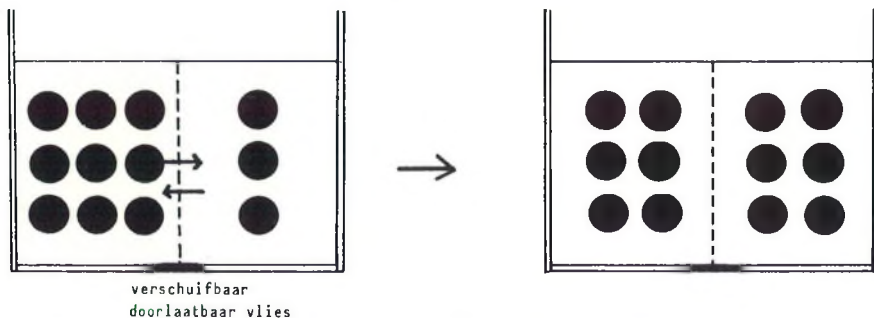
DIFFUSIE

Diffusie: de verplaatsing van deeltjes van een plaats met een hoge deeltjes-concentratie naar één met een lage concentratie totdat een evenwicht is bereikt.

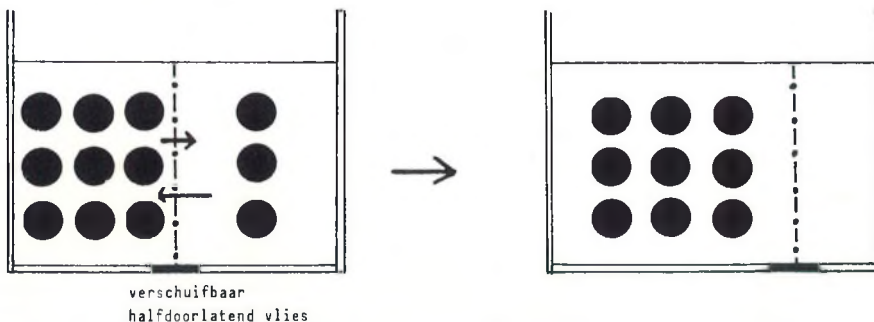
OSMOSE

Osmose: de diffusie van water door een halfdoor-

latend vlies. Een halfdoorlatend vlies is een vlies dat wel het water, maar niet de daarin opgeloste stoffen laat passeren. Er verplaatst zich dus water van een plaats met een hoge waterconcentratie naar één met een lage. Anders gezegd: er verplaatst zich water van een plaats met een lage concentratie van opgeloste stoffen naar een plaats met een hoge concentratie.



diffusie: de concentratie opgeloste stof is gelijk in beide compartimenten door vrije uitwisseling van water en opgeloste stof.



osmose: de concentratie opgeloste stof is gelijk in beide compartimenten door verplaatsing van water.

en deze stop in groei valt samen met het bereiken van de geslachtsrijpe leeftijd. Aan de schelp is deze groeistop te zien aan de grootte van de laatste 2 à 3 kamers: deze zijn duidelijk kleiner dan die daarvoor. De schelp heeft dan in totaal 30

of meer compartimenten. Het neutrale zweefvermogen wat dan is bereikt, zal in stand gehouden worden zolang de siphobuis de druk van de omgeving zal weerstaan.

Hoe oud een Nautilus kan worden is niet bekend.

LITERATUUR

- GRAAF, Fr. de, 1979. Nautilus, een levend fossiel. Het Zeeaquarium, 29 (11).
- GREENWALD, L. & P. WARD, 1982. On the source of cameral liquid in the chambered Nautilus. The Veliger, 25 (2).
- GRZIMEK, B., 1973. Het leven der dieren, Deel III. Weekdieren en Stekelhuidigen.
- MOUTZOURIDES, S.G., 1986. The buoyancy mechanism of Nautilus. La Conchiglia, jrg. XVIII, (208-209), 11-13.
- WARD, P., L. GREENWALD & O. GREENWALD, 1980. The buoyancy of the chambered Nautilus. Scientific American, 243 (4).
- WARD, P., L. GREENWALD & Y. MAGNIER, 1981. The chamber formation cycle in Nautilus macromphalus. Paleobiology, 7 (4): 481-493.



De Nautilus is in vele landen een geliefkoosd object om op postzegels af te beelden.