

## Duikende zeezoogdieren

Evolutiebologen en fysiologen vragen zich af hoe de fenomenale duikcapaciteit van zeezoogdieren zich heeft ontwikkeld nadat deze dieren het land weer verruilden voor het water. Om die vraag te beantwoorden, onderzoeken ze bij zeezoogdieren de aanpassingen op organismaal en moleculair niveau.

Zeezoogdieren variëren enorm in grootte en gewicht: een zeeolifant-mannetje kan tot 4000 kg zwaar worden, de gewone zeehond 'maar' 150 kg. Zeeolifanten (zie afbeelding 1) zijn experts in duiken; ze kunnen langer dan twee uur onder water blijven zonder adem te halen. Als een zeeolifant onder water op jacht gaat, treedt de 'duikreflex' op: een sterke daling van de hartslagfrequentie en een vaatvernauwing, waardoor de bloedtoevoer naar perifere organen vermindert.

afbeelding 1



De maximale duiktijd blijkt relatief langer te zijn bij de zwaardere soorten zeezoogdieren. Dat heeft onder andere te maken met hun lage oppervlakte-inhoud ratio.

Twee beweringen over een relatief lage oppervlakte-inhoud ratio zijn:

- 1 Er is minder energie nodig voor warmteopwekking.
- 2 De dode ruimte van de longen is groter.

2p **24** Welke van deze beweringen kan of welke kunnen de langere duiktijd van de zwaardere soorten zeezoogdieren verklaren?

- A geen van beide
- B alleen 1
- C alleen 2
- D zowel 1 als 2

2p **25** Welk deel van het zenuwstelsel van een zeezoogdier is voornamelijk actief bij de duikreflex?

- A het animale zenuwstelsel
- B het orthosympatische deel van het autonome zenuwstelsel
- C het parasympathische deel van het autonome zenuwstelsel

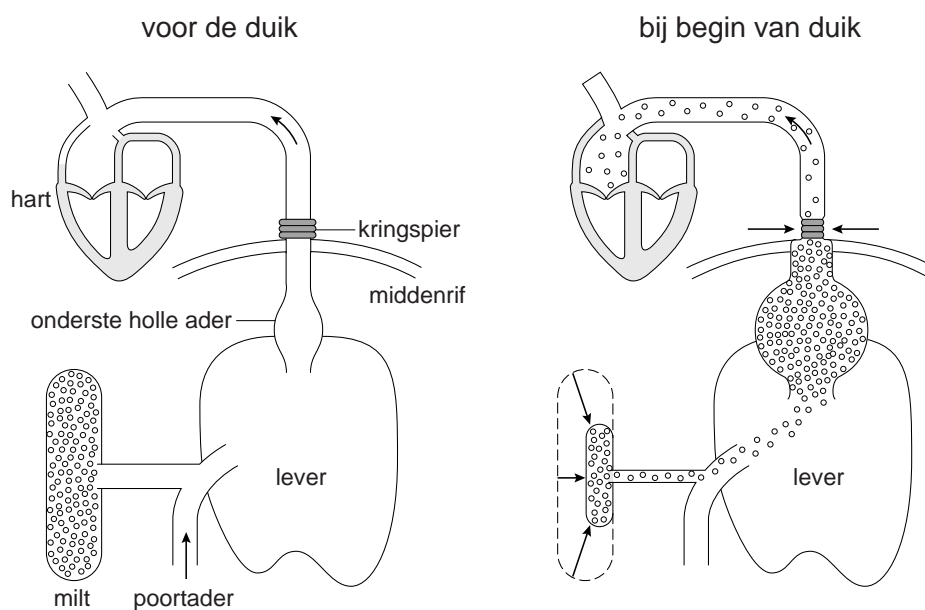
- 2p 26 Leg uit hoe de reflexmatige vaatvernauwing tijdens de duik bijdraagt aan het verlengen van de duiktijd.

De prikkel voor het optreden van de duikreflex is het nat worden van het voorhoofd van het dier. Met dat gegeven konden de Canadese onderzoekers Thornton en Hochachka in het laboratorium duikfysiologisch onderzoek doen aan jonge zeeolifanten.

Een van de waarnemingen is dat het volume van de milt, direct bij het begin van een 'laboratoriumduik' door samentrekking meer dan halveert. Na de duik ontspant de milt en vult die zich weer met rode bloedcellen die verzadigd zijn met zuurstof.

Een ander opvallend resultaat is het ontstaan van een met bloed gevulde ruimte tussen het middenrif en de lever, doordat bij de duikreflex een kringspier om de holle ader samentrekt en zo de toevoer naar het hart reguleert. Beide veranderingen zijn in afbeelding 2 schematisch weergegeven.

**afbeelding 2**



- 2p 27 Beschrijf hoe deze twee veranderingen bijdragen aan het verlengen van de duiktijd.

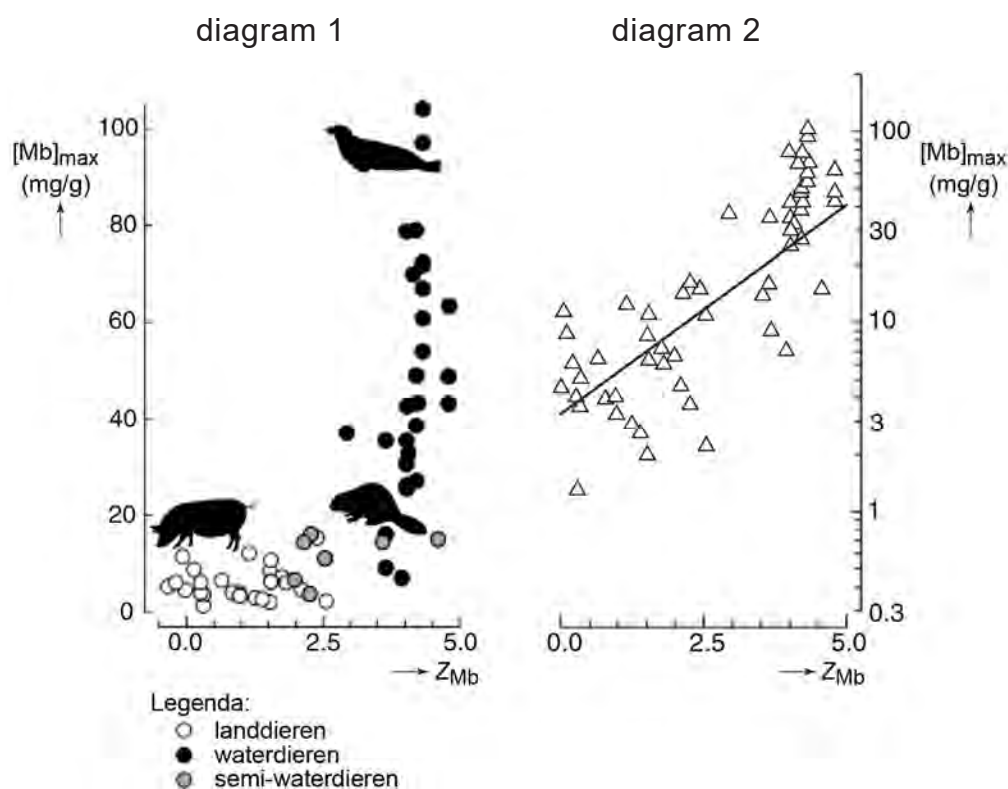
Zeezoogdieren hebben behalve de duikreflex nog meer aanpassingen die de lange duiktijden mogelijk maken. Zo hebben ze een relatief hoog gehalte aan myoglobine, tot wel twaalf keer zo hoog als bij mensen. Myoglobine is een aan hemoglobine verwant eiwit dat aanwezig is in spieren en daar als zuurstofreservoir functioneert.

Myoglobine van zoogdieren bestaat uit één globine-eiwit met één heemgroep. Het globine-eiwit bestaat uit 153 aminozuren met acht alfa-helices.

- 2p **28** Welke omschrijving geeft informatie over de secundaire structuur van myoglobine?
- A één globine-eiwit
  - B één heemgroep
  - C acht alfa-helices
  - D 153 aminozuren

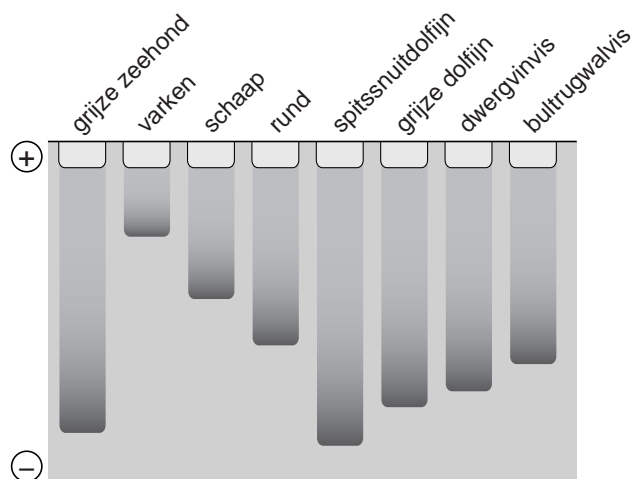
De relatieve hoeveelheid myoglobine in het spierweefsel van zoogdieren is een indicatie voor de duikcapaciteit. Daarom bepaalden de Britse onderzoekers Mirceta en Berenbrink in spierweefsel van verschillende land- en waterzoogdieren de maximale myoglobineconcentratie, de  $[Mb]_{max}$ . Ook bepaalden ze de aminozuurvolgorde van die myoglobine-moleculen en daarmee berekenden ze de netto positieve lading van deze eiwitten, de  $Z_{Mb}$ . Er bleek een duidelijke correlatie (zie afbeelding 3): hoe hoger de berekende positieve lading ( $Z_{Mb}$ ), hoe hoger de  $[Mb]_{max}$ . In diagram 1 is voor de  $[Mb]_{max}$  een lineaire schaal gebruikt, in diagram 2 zijn dezelfde gegevens in een logaritmische schaal uitgezet.

afbeelding 3



Om de betrouwbaarheid van hun berekening van de  $Z_{Mb}$  te testen lieten de onderzoekers myoglobines van verschillende zoogdieren in een elektroforese-gel lopen. De resultaten daarvan staan in afbeelding 4.

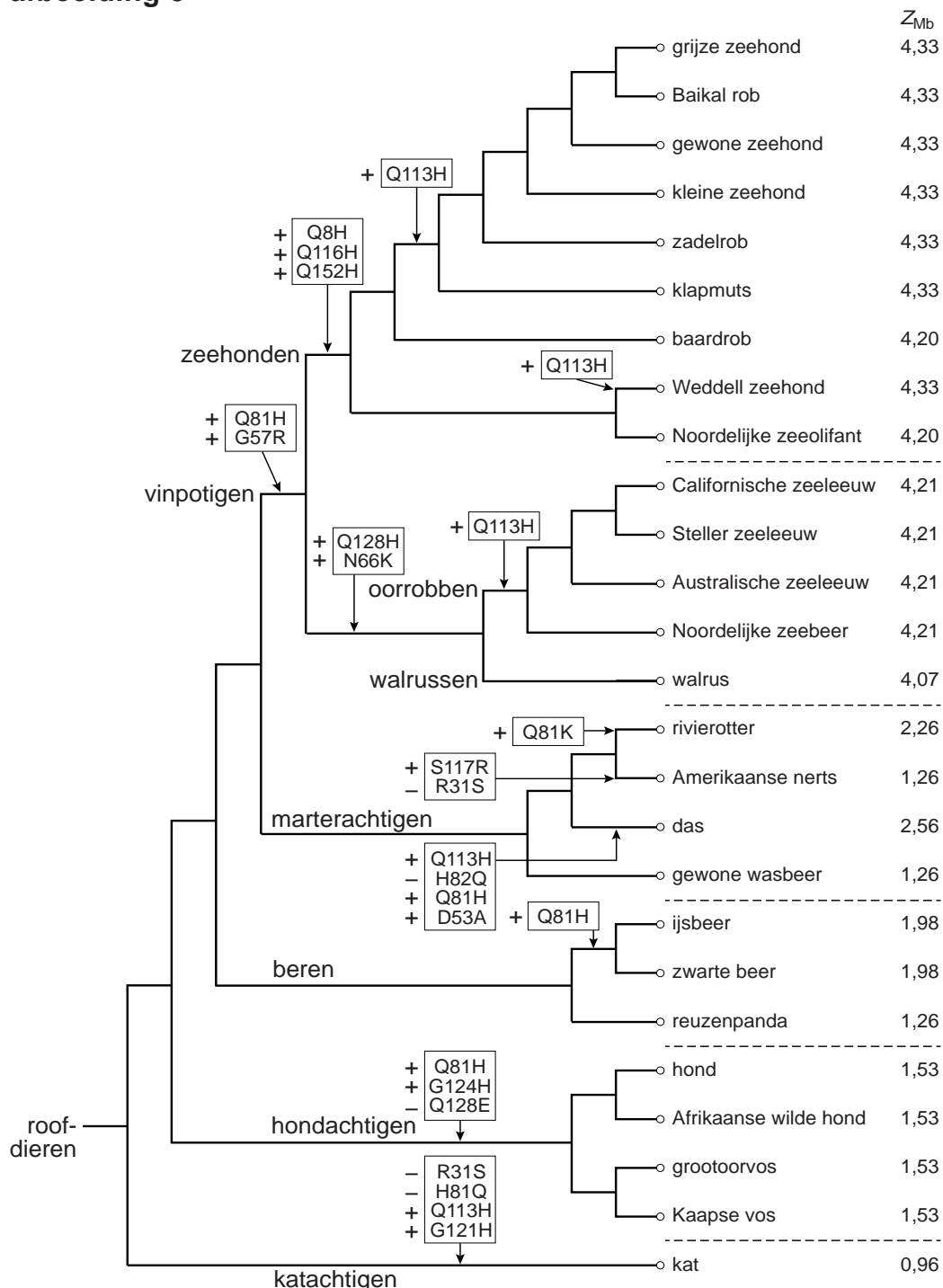
**afbeelding 4**



2p **29** Leg uit dat de resultaten van de elektroforese (afbeelding 4) de gegevens over de  $Z_{Mb}$  in de diagrammen van afbeelding 3 bevestigen.

In afbeelding 5 zijn de  $Z_{Mb}$ -waarden in verband gebracht met de veranderingen in myoglobine in de loop van de evolutie van de roofdieren.

afbeelding 5



Op een aantal plaatsen zijn de mutaties in de aminozuurvolgorde van myoglobine gegeven waardoor de lading is veranderd: +Q113H betekent in dit schema dat het 113e aminozuur van myoglobine is veranderd van glutamine (Q) in histidine (H) waardoor de lading positiever (+) is geworden.

In afbeelding 5 zijn de verschillen in de primaire structuur van myoglobine weergegeven zoals die bekend zijn van nu levende roofdieren. De onderzoekers veronderstellen dat de  $Z_{Mb}$  van de laatste gemeenschappelijke voorouder van de roofdieren 1,26 bedraagt.

2p 30 Leg uit op welke gegevens in afbeelding 5 die veronderstelling is gebaseerd.

Een groot deel van de gegevens uit deze stamboom is verkregen door analyse van basenvolgorde in het DNA, en niet door het bepalen van aminozuurvolgorde in myoglobine.

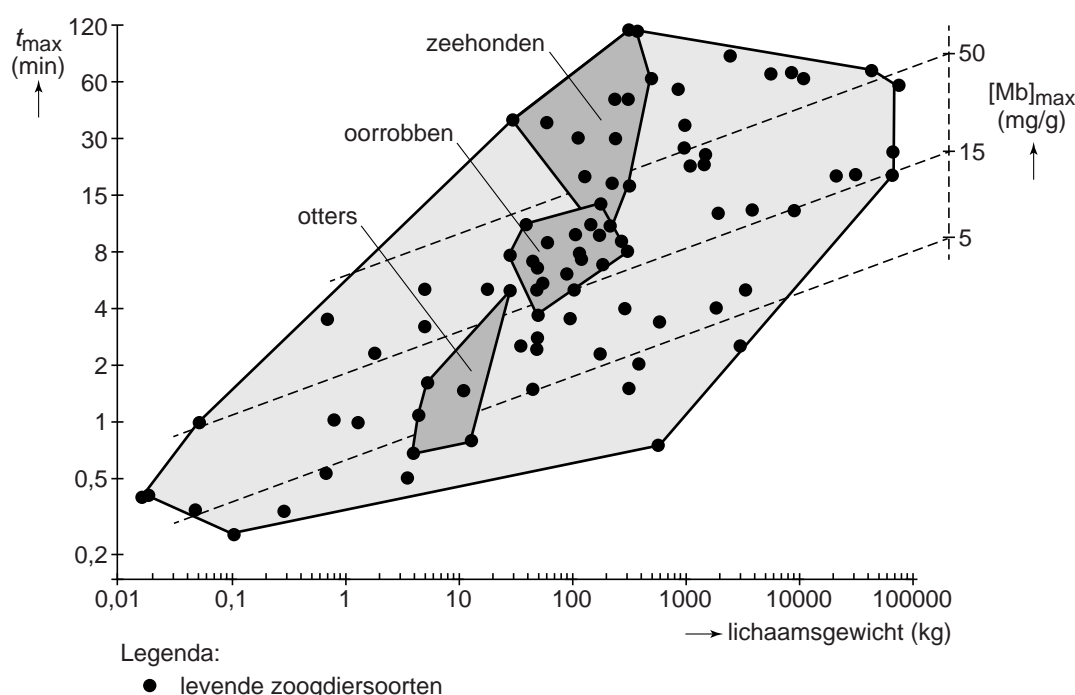
Op basis van de geanalyseerde basenvolgorde in het DNA kun je wel met zekerheid de aminozuurvolgorde van de myoglobine bepalen, maar andersom niet.

1p 31 Waarom kun je op basis van de aminozuurvolgorde **niet** de basenvolgorde in het DNA bepalen?

Het bepalen van de duiktijd van zeezoogdieren in de natuur is een complex en duur onderzoek. Mirceta en Berenbrink hebben een formule afgeleid waarmee ze een goede schatting kunnen maken van de maximale duiktijd van dieren ( $t_{max}$ ) op basis van het lichaamsgewicht en de  $[Mb]_{max}$ . Op deze manier kunnen ze ook een uitspraak doen over de duiktijd van dieren waarvan weinig of geen metingen bekend zijn, en zelfs van uitgestorven dieren.

Het verband tussen die drie grootheden voor nu levende zoogdieren is grafisch weergegeven in afbeelding 6.

afbeelding 6



afbeelding 7

De uitgestorven *Enaliarctos* (zie afbeelding 7) wordt beschouwd als een voorouder van de vinpotigen die de overgang van land naar water markeert.



Uit vergelijking tussen fossiele skeletten van *Enaliarctos* en de bouw van huidige zeezoogdieren is afgeleid dat het lichaamsgewicht van *Enaliarctos* ongeveer 80 kilo moet zijn geweest. Mirceta en Berenbrink hebben berekend dat de  $Z_{Mb}$  van *Enaliarctos* ongeveer 3 is.

Met bovenstaande gegevens, het verband tussen  $Z_{Mb}$  en  $[Mb]_{max}$  (in afbeelding 3 diagram 2 op pagina 14) en de gegevens in het diagram van afbeelding 6 op pagina 17 is het mogelijk de maximale duiktijd ( $t_{max}$ ) van dit uitgestorven dier te benaderen.

- 2p 32 Wat was waarschijnlijk de maximale duiktijd van *Enaliarctos* op basis van deze gegevens?
- A ongeveer 1,5 minuten
  - B ongeveer 4 minuten
  - C ongeveer 8 minuten
  - D ongeveer een kwartier
  - E ongeveer een half uur