

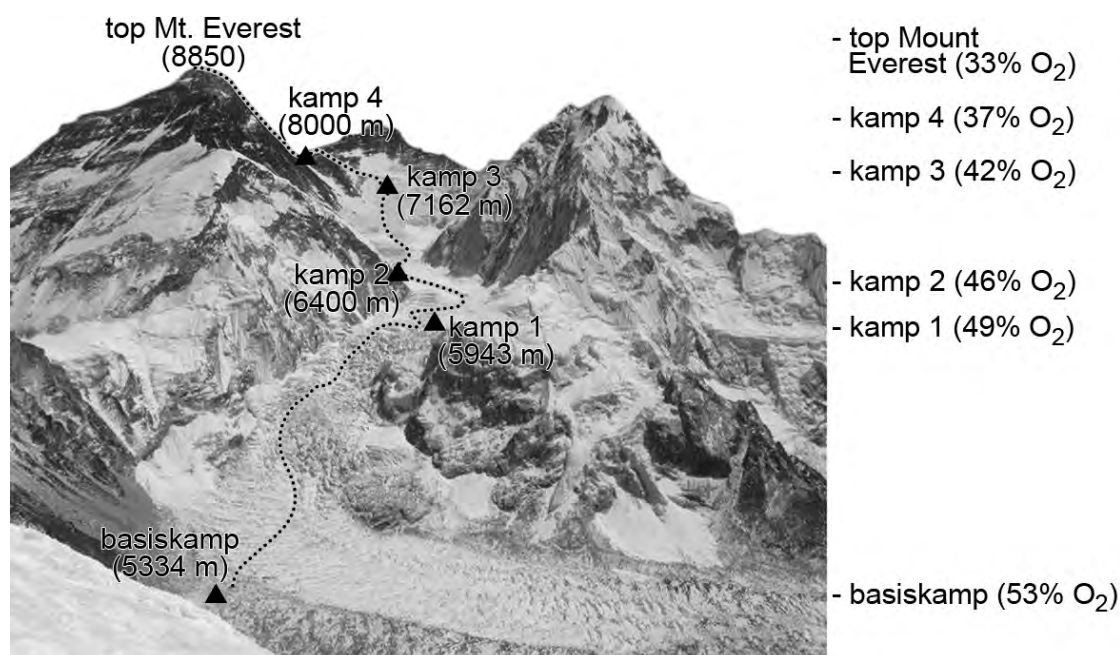
Tenzij anders vermeld, is er sprake van normale situaties en gezonde organismen.

Hoogteziekte

Wandelen en klimmen hoog in de bergen is niet zonder risico's. Een daarvan is hoogteziekte. Zonder adequaat handelen kan hoogteziekte een dodelijke afloop hebben.

Naarmate je hoger komt neemt de luchtdruk af. De ijle lucht bevat nog steeds 21 procent zuurstof, maar elke ademteug bevat als je hoger komt steeds minder zuurstofmoleculen. In afbeelding 1 is de relatieve hoeveelheid zuurstof ten opzichte van zeeniveau aangegeven op verschillende hoogten van de Mount Everest. Zo bevat een ademteug ter hoogte van het basiskamp nog maar 53 procent van het aantal zuurstofmoleculen in vergelijking met een ademteug op zeeniveau.

afbeelding 1



Een laag zuurstofgehalte in het bloed kan hoogteziekte veroorzaken. Hoogteziekte merk je aan hoofdpijn met daarbij misselijkheid, slaperigheid en/of vermoeidheid. De gevoeligheid voor hoogteziekte verschilt van persoon tot persoon en is niet gekoppeld aan leeftijd, geslacht, conditie of ervaring.

Hoogteziekte kan, indien onbehandeld, uitmonden in hersenoedeem (vochtophoping in de hersenen) en longoedeem (vochtophoping in longweefsel) en is dan levensbedreigend.

Wanneer je overnacht op grote hoogte, kan het gebeuren dat je ademhaling tijdens de slaap een abnormaal patroon vertoont. Het ademen houdt zo nu en dan op: je ademhaling vertraagt eerst, stopt vervolgens 10 tot 15 seconden waarna je enige tijd versneld ademt. De ademhaling vertraagt dan weer en de cyclus herhaalt zich.

Dit abnormale adempatroon is het gevolg van regulatie door het ademcentrum. Het ademcentrum reageert onder andere op de $p\text{CO}_2$ en de $p\text{O}_2$ in het bloed.

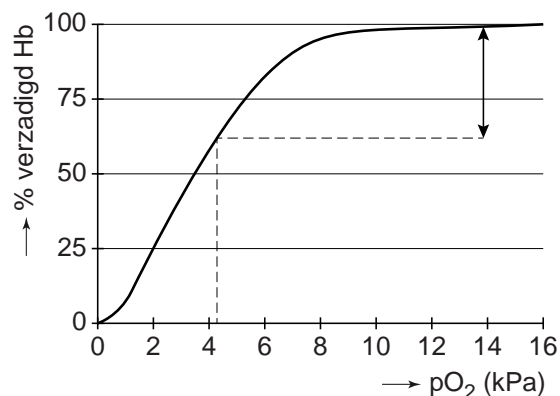
- 2p 1 Welke verandering in de $p\text{O}_2$ of de $p\text{CO}_2$ is mogelijk de oorzaak van het zo nu en dan stoppen van de ademhaling op grote hoogte?
- A een hoge $p\text{CO}_2$ van het bloed
 - B een hoge $p\text{O}_2$ van het bloed
 - C een lage $p\text{CO}_2$ van het bloed
 - D een lage $p\text{O}_2$ van het bloed

De gaswisseling verbetert na een verblijf van enige weken op grote hoogte: door de invloed van een bepaald hormoon neemt de zuurstofopname geleidelijk toe. In de uitwerkbijlage is een aanzet gegeven van de regelkring waarbij dit hormoon betrokken is.

- 3p 2 Maak de regelkring af zodat duidelijk wordt hoe deze leidt tot een betere zuurstofopname na een lang verblijf op grote hoogte. Doe het als volgt:
- Vul de naam in van het hormoon, van een celtype, van een orgaan en van een specifiek onderdeel of weefsel in een orgaan.
 - Geef bij drie pijlen aan of het stimulering (+) of remming (-) betreft.

In afbeelding 2 is de zuurstofverzadigingscurve van hemoglobine (Hb) weergegeven, bepaald onder laboratoriumomstandigheden.

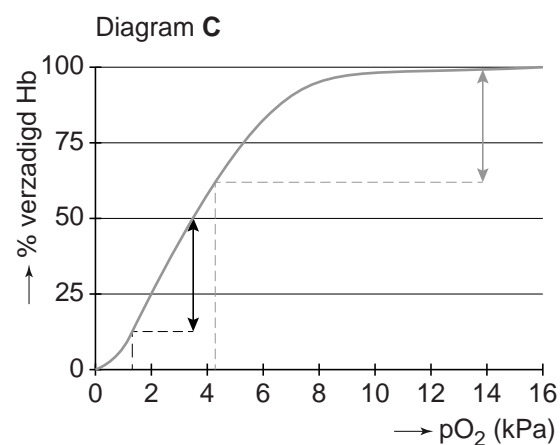
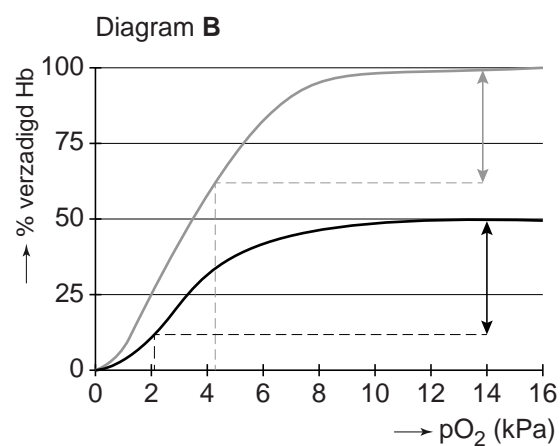
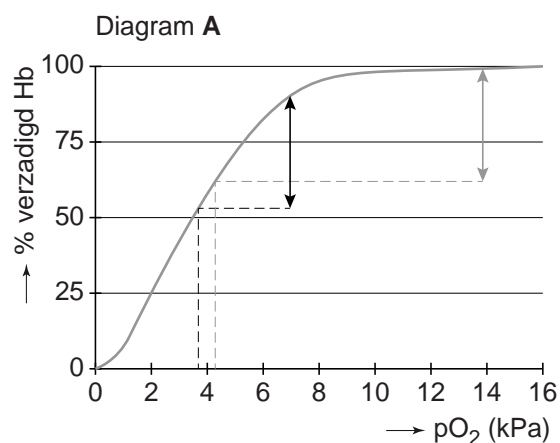
afbeelding 2



Op zeeniveau is de zuurstofverzadiging van hemoglobine bijna maximaal. Vertaald naar de situatie in een mens komt dat overeen met een zuurstofspanning in de lichaamsslagaders van ongeveer 14 kPa. Door het verbruik van zuurstof in spieren en andere organen en weefsels, neemt de zuurstofverzadiging in het bloed af. In afbeelding 2 geeft de dubbele pijl een indicatie van de zuurstofafgifte in de organen en weefsels als de zuurstofspanning er is gedaald tot 4,2 kPa.

Een klimmer, op weg naar de top van de Mount Everest, verblijft enige tijd in kamp 1 (zie afbeelding 1) waar veel minder zuurstof in de lucht aanwezig is dan op zeeniveau. Hierdoor is de zuurstofspanning in het bloed van de lichaamsslagaders ongeveer de helft van normaal. In afbeelding 3 zijn drie diagrammen A, B en C getekend met daarin in grijs opgenomen het diagram met hulplijnen van afbeelding 2.

afbeelding 3



In de diagrammen is op drie manieren getracht de zuurstofspanning in de lichaamsaders van deze klimmer ter hoogte van kamp 1 te schatten. Ga ervan uit dat alle andere factoren (zoals hematocrietwaarde, pH, hartminuutvolume, ademfrequentie) gelijk blijven.

- 2p 3 Welk diagram (in afbeelding 3) laat op een juiste manier zien wat de zuurstofspanning van het aderlijk bloed van deze klimmer zou zijn?
- A diagram A
 - B diagram B
 - C diagram C

Een laag zuurstofgehalte in de longblaasjes beïnvloedt de doorbloeding van de longen. In longdelen met een lage pO_2 vernauwen de slagadertjes. Hierdoor wordt de bloedstroom verlegd naar zuurstofrijkere longblaasjes. Als gevolg van deze veranderde doorbloeding kan echter longoedeem ontstaan. De situatie verslechtert dan snel.

- 3p 4 – Leg uit hoe vaatvernauwing in longslagadertjes kan leiden tot longoedeem,
– en hoe als gevolg daarvan de zuurstofverzadiging van het bloed in de longen verder verslechtert.

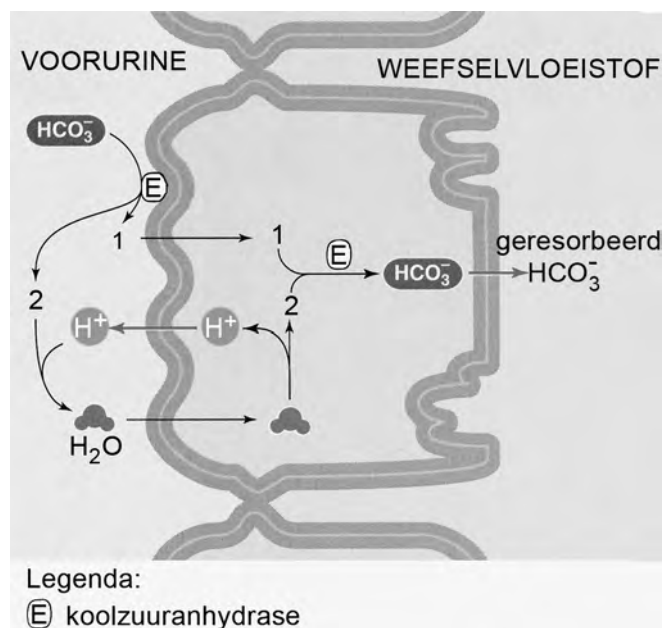
De precieze oorzaak van hersenoedeem, een ander symptoom van hoogteziekte, is nog onbekend. Klimmers met beginnend hersenoedeem zijn te herkennen aan een 'dronkemansloop' als gevolg van een gebrekkige coördinatie van spierbewegingen. Ook verandert het gedrag; ze zijn verward en kunnen hun aandoening ontkennen en behandeling weigeren.

- 2p 5 Welk deel van de hersenen van een klimmer met hoogteziekte functioneert vooral minder goed bij een dronkemansloop? En welk deel bij verward gedrag?

	dronkemansloop	verward gedrag
A	hersenslam	grote hersenen
B	hersenslam	kleine hersenen
C	grote hersenen	hersenslam
D	grote hersenen	kleine hersenen
E	kleine hersenen	hersenslam
F	kleine hersenen	grote hersenen

Een veel gebruikt medicijn om een snellere aanpassing aan hoogte mogelijk te maken en daardoor de kans op hoogteziekte te verkleinen, is acetazolamide. Acetazolamide remt het enzym koolzuuranhydrase. Dit enzym is in veel typen cellen aanwezig, zoals rode bloedcellen. In de epitheelcellen van de nierbuisjes is koolzuuranhydrase betrokken bij de regulatie van de pH van het inwendig milieu (zie afbeelding 4).

afbeelding 4



In dit schema zijn twee tussenproducten met respectievelijk nummer 1 en nummer 2 aangegeven.

1p **6** Noteer de formules van deze twee tussenproducten.

Door het gebruik van acetazolamide daalt de pH van het bloed.

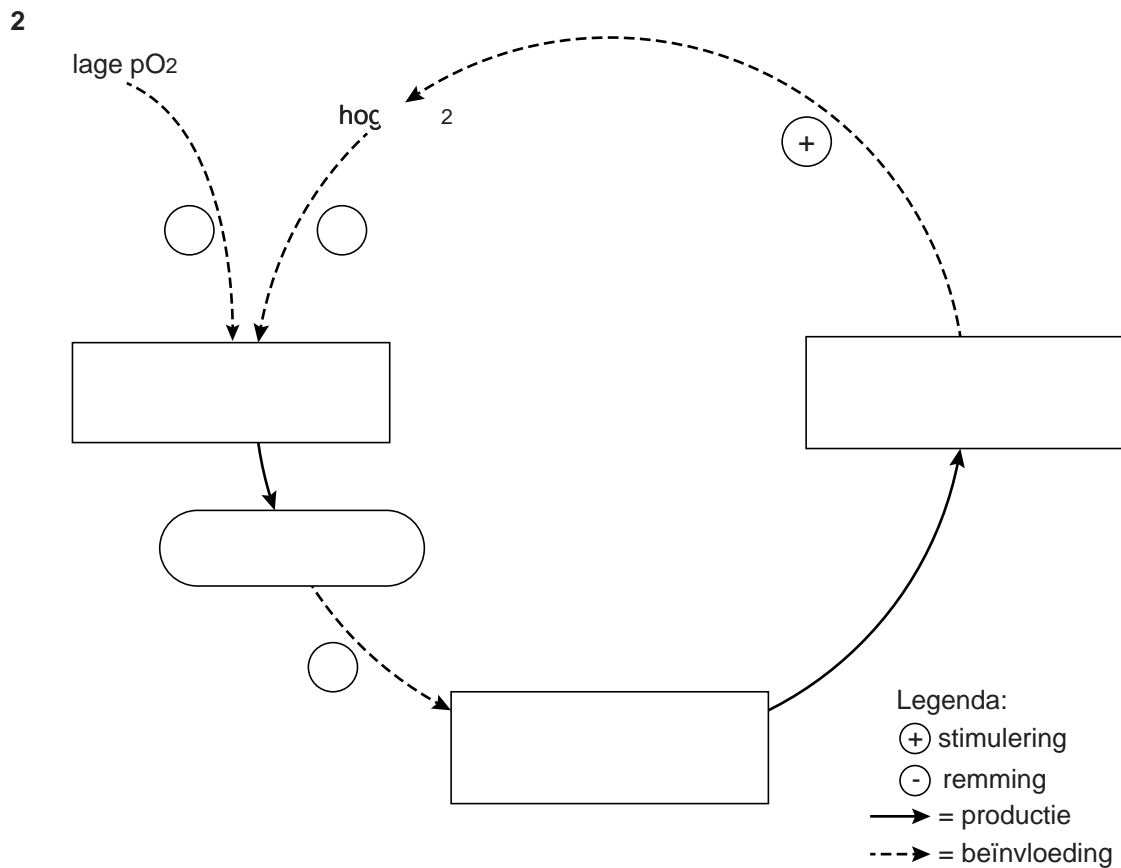
2p **7** Leg dit uit aan de hand van de gegevens in afbeelding 4.

Een klimmer neemt even pauze en slikt een acetazolamidetablet. Door de verlaagde pH van zijn bloed gaat hij dieper ademhalen en verbetert de zuurstofverzadiging van het slagaderlijk bloed.

2p **8** Welk te meten longvolume van de klimmer wordt dan vergroot?

- A het ademvolume in rust (V_T)
- B het inademingsreservevolume (V_{IR})
- C het uitademingsreservevolume (V_{UR})
- D de vitale capaciteit (V_{VC})
- E de totale longcapaciteit (V_{TC})

uitwerkbijlage



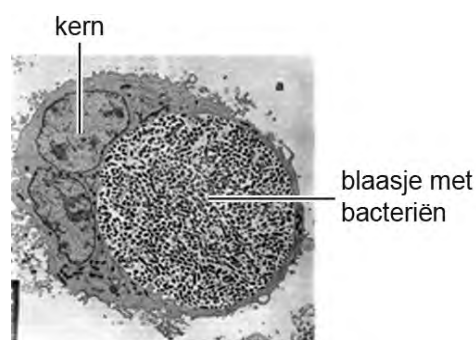
Q-koorts

Vanaf 2007 werden in Nederland voor het eerst veel mensen getroffen door de Q-koorts. Zij waren besmet met de bacterie *Coxiella burnetii*. In 2010 werd vaccinatie van geiten en schapen verplicht, waardoor er nu nauwelijks nog nieuwe besmettingen gemeld worden.

Coxiella burnetii is een sporevormende intracellulaire bacterie die zeer besmettelijk is: iemand kan al ziek worden van slechts één bacterie. De bacterie komt voor in geiten maar ook in runderen, schapen en vogels, terwijl deze dieren daar zelden ziek van worden. Mensen worden meestal besmet via stofdeeltjes in de lucht, afkomstig van de droge mest van besmette dieren. Besmetting veroorzaakt in ongeveer de helft van de gevallen koorts, hoofdpijn en andere klachten. Dit wordt acute Q-koorts genoemd.

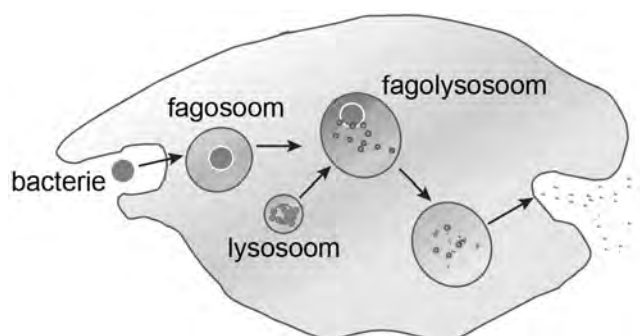
Maanden daarna kan chronische Q-koorts ontstaan als de bacteriën zich vermeerderen in macrofagen. Dit leidt tot vermoeidheidsklachten en is gevaarlijk voor zwangere vrouwen en voor mensen met hartkleproblemen. In afbeelding 1 is een macrofaag afgebeeld met een blaasje vol met *C. burnetii* bacteriën.

afbeelding 1



De opname van een bacterie door een macrofaag is in afbeelding 2 weergegeven. Na opname kan zich een fagolysosoom vormen.

afbeelding 2



Fagocytose van een bacterie door een macrofaag leidt doorgaans tot de activatie van het specifieke immuunsysteem.

2p 9 Leg uit wat de rol is van een fagolysosoom in dit proces.

In het geval van *C. burnetii* kan er iets anders gebeuren: de bacterie blijft in leven in het fagolysosoom en vermeerderd zich daar.

Gevolg hiervan is dat de cellulaire immuunrespons wordt verhinderd.

2p 10 Welke afweerreactie wordt door deze verhindering van de cellulaire immuunrespons voorkomen?

- A antistofproductie door geactiveerde B-lymfocyten
- B fagocytose van geïnfecteerde cellen door macrofagen
- C lysis van geïnfecteerde cellen door Tc-cellen

C. burnetii kan worden verspreid via voedsel, drinkwater en via de lucht. Dat laatste is het gevaarlijkst.

2p 11 – Waardoor is de kans dat je ziek wordt kleiner wanneer de bacterie je bereikt via voedsel of drinkwater?
– Waardoor is de kans dat je ziek wordt groter wanneer de bacterie je bereikt via de lucht?

Het antibioticum tetracycline is werkzaam tegen de bacterie *C. burnetii*. Deze stof bindt aan bacteriële ribosomen waardoor deze minder goed functioneren. De bacteriën kunnen zich daardoor niet meer vermenigvuldigen en verdwijnen uit het lichaam.

2p 12 Leg uit hoe tetracycline de vermenigvuldiging van de bacteriën stopt.

Dankzij de verplichte vaccinatie van jonge schapen en geiten tegen Q-koorts en hervaccinatie van de oudere dieren komt de ziekte nog maar zelden voor.

1p 13 Waarom moet elk jaar hervaccinatie van alle oudere dieren plaatsvinden?

Stress versnelt evolutie van Mexicaans visje

Evolutie gaat sneller als epigenetische mechanismen een rol spelen. Dit is aangetoond bij een zoetwatervisje, de Mexicaanse tetra.

Stress blijkt de evolutie van de Mexicaanse tetra *Astynax mexicanus* te versnellen. In pikdonkere grotten, onderdeel van een ondergronds rivierenstelsel, wordt een variant van de vis aangetroffen die zijn ogen heeft verloren door een bijzonder evolutionair mechanisme. Afbeelding 1 toont twee tetra's met normale ogen (riviertetra) en de variant zonder ogen (grottentetra).

afbeelding 1



Een Amerikaans team van ontwikkelingsbiologen en genetici onderzocht of de mutaties die leiden tot de oogloze vissen pas in de populatie in de grotten zijn ontstaan of al (verborgen) aanwezig waren in de populatie riviertetra's met normale ogen.

De oogloze grottentetra is ontstaan uit een tetra mét ogen. Kennelijk is in grotten het bezit van ogen een evolutionair nadeel.

1p 14 Geef hiervoor een verklaring.

Het komt regelmatig voor dat een riviertetra bij toeval een grot inzwemt. De plotselinge overgang naar een leven in een ondergrondse rivier leidt tot stress bij de vissen. Ze komen terecht in omstandigheden waar minder voedsel is en een lagere zuurstofspanning. Het water in de grotten heeft bovendien een lagere osmotische waarde dan in de bovengrondse rivier.

Vissen doen aan osmoregulatie door netto meer of minder zouten op te nemen via de kieuwen en uit het voedsel in de darmen. Ook kunnen ze de mate van reabsorptie van zouten uit de voorurine regelen.

Wanneer *A. mexicanus* migreert van een bovengrondse naar een ondergrondse rivier moet hij zich snel aanpassen aan de veranderde osmotische waarde van zijn nieuwe leefomgeving.

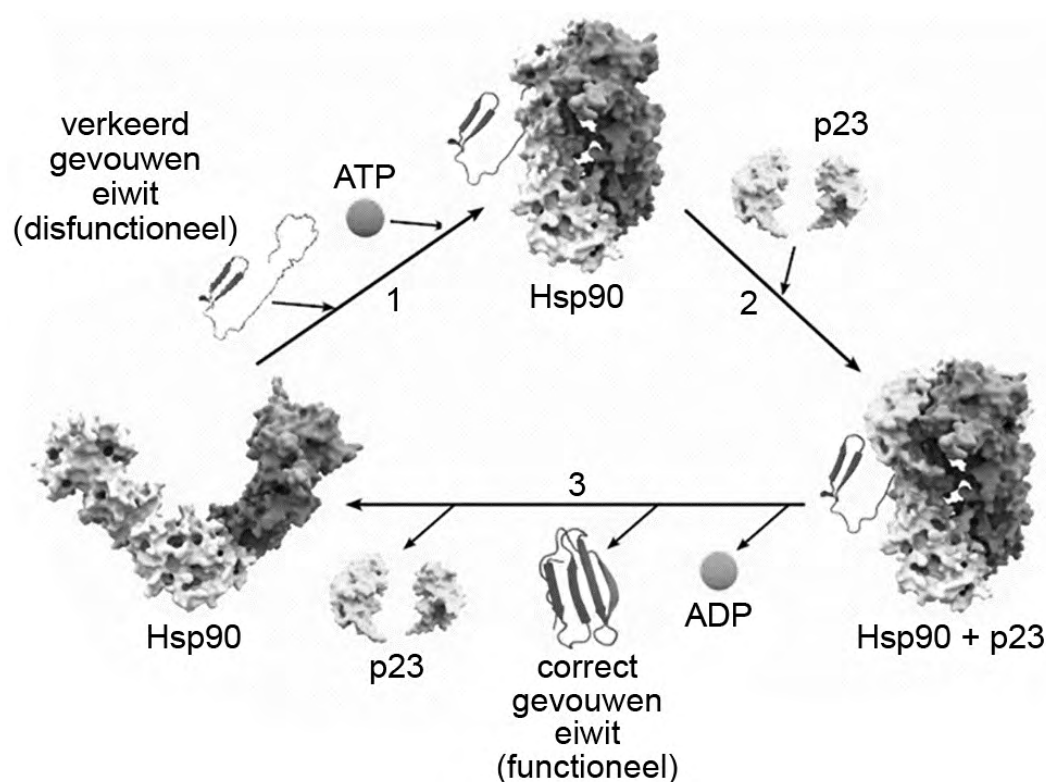
2p 15 Op welke wijze kan zo'n migrerende riviertetra zijn osmotische waarde trachten te handhaven in de grotten?

- A de opname van zouten via de kieuwen verlagen
- B meer drinken
- C urine produceren met een lagere zoutconcentratie
- D zoutere feces produceren

Nadat riviertetra's in grotten terechtkwamen en daar bleven, ontstonden er onverwacht snel oogloze varianten. Het snelle ontstaan van de oogloze dieren kan niet verklaard worden door nieuwe mutaties. Er zijn namelijk zo'n 15 tot 20 mutaties nodig voor het kleiner worden en verliezen van de ogen.

De onderzoekers veronderstelden dat deze mutaties al in de riviertetra's aanwezig waren, maar onderdrukt werden door een overmaat van het eiwit Hsp90 (Heat shock protein). Hsp90 behoort tot de chaperonnes: eiwitcomplexen die helpen bij het tot stand brengen en herstellen van de correcte vouwing van andere eiwitten, die daardoor weer functioneel worden. In afbeelding 2 is weergegeven hoe dat gebeurt.

afbeelding 2



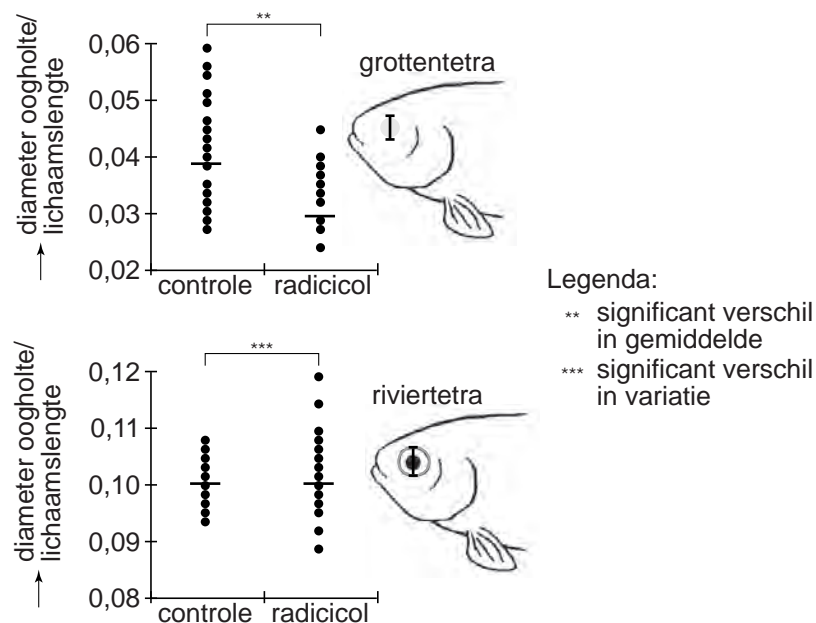
Een Hsp90 complex gaat een binding aan met een verkeerd gevouwen eiwit en ATP (1). Hierna worden p23-eiwitten aan het complex gebonden (2). Na verbruik van ATP kan het chaperoncomplex de correcte vouwing van het eiwit herstellen. Het correct gevouwen eiwit wordt losgelaten (3), de p23-eiwitten komen los en Hsp90 kan opnieuw een verkeerd gevouwen eiwit binden.

Bij de riviertetra's leidt de aanwezigheid van een overmaat Hsp90 tot minder afwijkende eiwitten in de cel en een onderdrukking van de fenotypische variatie.

- 2p 16 Welke structuur van een disfunctioneel eiwit (zie afbeelding 2 op pagina 11) kan door Hsp90 worden hersteld?
- A alleen de primaire structuur
 - B alleen de secundaire structuur
 - C alleen de tertiaire structuur
 - D alleen de primaire en secundaire structuur
 - E alleen de secundaire en tertiaire structuur
 - F de primaire, secundaire en tertiaire structuur

De stress ten gevolge van het milieu in de grotten leidt tot meer verkeerd gevouwen eiwitten. De cellen van de grottentetra hebben dan te weinig Hsp90 om de correcte vouwing van alle eiwitten uit te voeren. Om het effect van een tekort aan functioneel Hsp90 te onderzoeken, werden embryo's van zowel de riviertetra als de grottentetra blootgesteld aan radicicol, een Hsp90-remmer. Toen deze embryo's uitgegroeid waren tot volwassen tetra's van ongeveer gelijke grootte werden de lichaamsgrootte en de grootte van de oogholte gemeten. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in afbeelding 3.

afbeelding 3



Twee beweringen over de experimenten met radicol zijn:

- 1 Een lage concentratie werkzaam Hsp90 tijdens de embryonale ontwikkeling leidt tot een gemiddeld kleinere oogholte diameter bij volwassen grottentetra's;
- 2 Een lage concentratie werkzaam Hsp90 tijdens de embryonale ontwikkeling leidt tot een beperkte variatie in oogholte diameter bij volwassen riviertetra's.

- 2p 17 Welke bewering wordt of welke beweringen worden ondersteund door de resultaten weergegeven in afbeelding 3?
- A geen van beide
 - B alleen 1
 - C alleen 2
 - D zowel 1 als 2

De hoeveelheid Hsp90 in cellen heeft volgens de onderzoekers invloed op de snelheid van de evolutie.

Vier situaties die leiden tot het ontstaan van de grottentetra uit de riviertetra (met de 15 à 20 in dit verband relevante mutaties) zijn hieronder weergegeven:

- 1 De vissen ervaren stress;
- 2 De vissen hebben een overmaat aan Hsp90;
- 3 De vissen hebben een tekort aan Hsp90;
- 4 De vissen migreren naar grotten.

- 1p 18 Welke volgorde van situaties verklaart de snelle aanpassing van een riviertetra die leidt tot het fenotype grottentetra? Noteer de vier nummers van de gebeurtenissen in de juiste volgorde.

Uit de experimenten met tetra's leiden de onderzoekers af dat omgevingsstress bij riviertetra's die in grotten terechtkomen, aanvankelijk leidt tot een vergrote fenotypische variatie.

Bij de populaties grottentetra's die in de grotten leven, wordt echter maar weinig fenotypische variatie gevonden.

- 3p 19
- Leg uit waardoor bij tetra's die in de grotten gaan leven er aanvankelijk in de populatie een vergrote fenotypische variatie ontstaat.
 - Verklaar dat bij de tetra's die langdurig in de grotten verblijven, de fenotypische variatie gering is geworden.

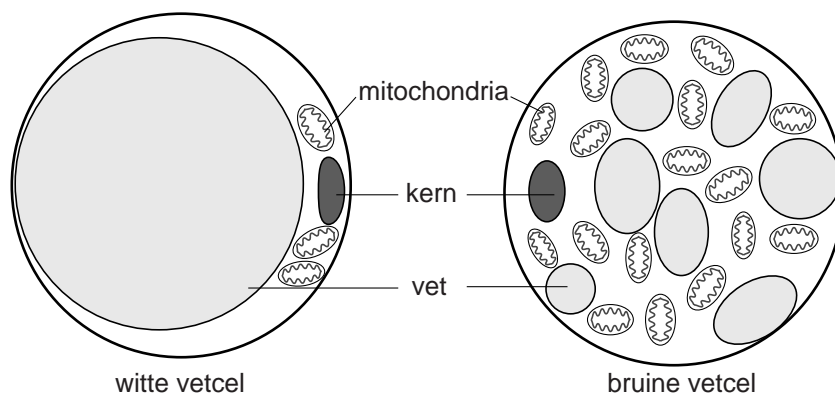
Bruin vet

In de winter kun je een minder warme trui aantrekken en de thermostaat een graadje lager zetten. Bruin vet zorgt er dan voor dat je extra vet verbrandt om warmte op te wekken. Maar lukt het ook om zo af te vallen?

Wij hebben twee soorten vetweefsel. Wit vetweefsel met witte vetcellen dient vooral voor het aanleggen van een reservevoorraad brandstof die bij schaarste weer wordt afgegeven. Bruin vetweefsel met bruine vetcellen slaat ook vet op, maar dat is bedoeld om actief te verbranden en zo extra warmte op te wekken.

De bouw van witte en bruine vetcellen is schematisch weergegeven in afbeelding 1.

afbeelding 1



Het verschil in functie van witte en bruine vetcellen komt tot uiting in de verschillen in bouw van beide celtypen.

- 2p **20** Leg uit, aan de hand van twee typische kenmerken van de bruine vetcel (afbeelding 1), hoe deze is aangepast aan de beschreven functie.

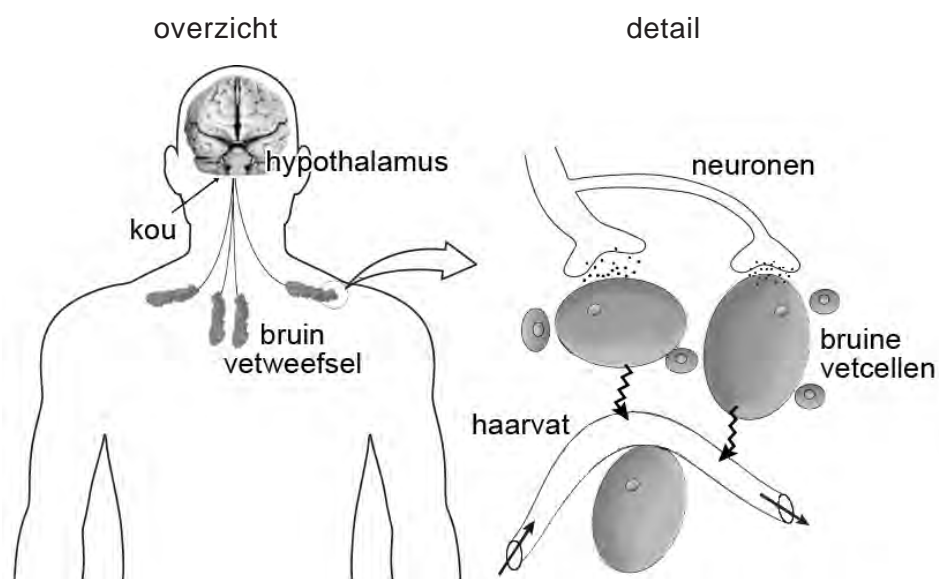
Warmte komt vrij bij het transport van energierijke elektronen in mitochondria. De mitochondria in de bruine vetcellen kunnen meer warmte opwekken doordat ze een speciaal membraanewit bezitten: thermogenine. Thermogenine is een protonkanaal dat zich, net als de membraancomplexen van de ademhalingsketen, bevindt in het mitochondriale binnenmembraan. Via thermogenine diffunderen protonen (H^+) terug naar de matrix, waardoor alleen warmte ontstaat.

In de uitwerkbijlage is schematisch het dubbele membraan van een mitochondrium weergegeven, met een aantal eiwitcomplexen van de ademhalingsketen, ATP-synthetase en het thermogenine. Bij de versnelde aerobe dissimilatie waarbij zowel extra warmte als ATP wordt opgewekt, passeren grote hoeveelheden protonen het mitochondriale binnenmembraan.

- 2p 21 Geef in de uitwerkbijlage met vijf pijlen de richting aan waarin de protonenstromen zich dan door de vijf eiwitcomplexen verplaatsen.

Bruin vetweefsel wordt actief in de kou. Bij lage temperaturen ontstaan er, aangestuurd door de hypothalamus, impulsen in neuronen die verbonden zijn met bruin vetweefsel (zie afbeelding 2, overzicht). Daar wordt noradrenaline afgegeven, dat de bruine vetcellen stimuleert tot meer dissimilatie (zie afbeelding 2, detail). Het vetweefsel wordt al geactiveerd bij een luchttemperatuur van 18 graden Celsius en wordt actiever wanneer de temperatuur verder daalt.

afbeelding 2



De activiteit van de bruine vetcellen wordt onder andere door het zenuwstelsel geregeld.

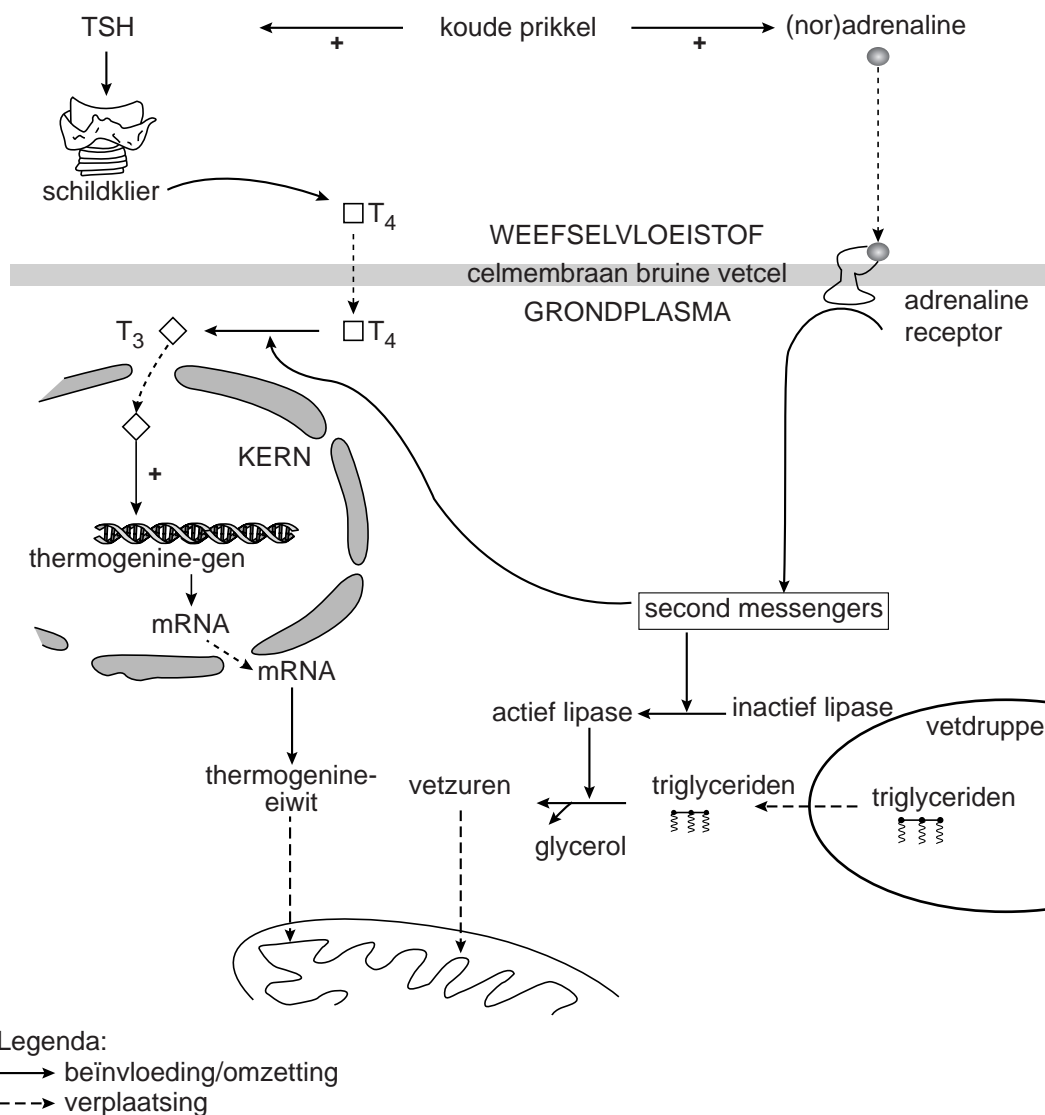
- 2p 22 Welk deel van het zenuwstelsel is voor stimulatie van de bruine vetcellen verantwoordelijk?
- A het animale zenuwstelsel
 - B het orthosympatische zenuwstelsel
 - C het parasympatische zenuwstelsel

Bruin vetweefsel is beter doorbloed dan wit vetweefsel. Dat is onder andere van belang voor de aanvoer van zuurstof en glucose.

2p 23 Geef twee andere redenen waarom voor de specifieke functie van bruin vetweefsel een goede doorbloeding van belang is.

De activatie van de bruine vetcellen door koude kan ook in gang gezet worden door een verhoogde afscheiding van schildklierstimulerend hormoon (TSH). De mechanismen die vervolgens leiden tot meer warmteproductie zijn in afbeelding 3 weergegeven. Door de aanwezigheid van vetzuren wordt het in de mitochondria ingebouwde thermogenine geopend.

afbeelding 3



Een toename van thyroxine (T4) in het bloed leidt na omzetting in T3 tot meer warmteproductie.

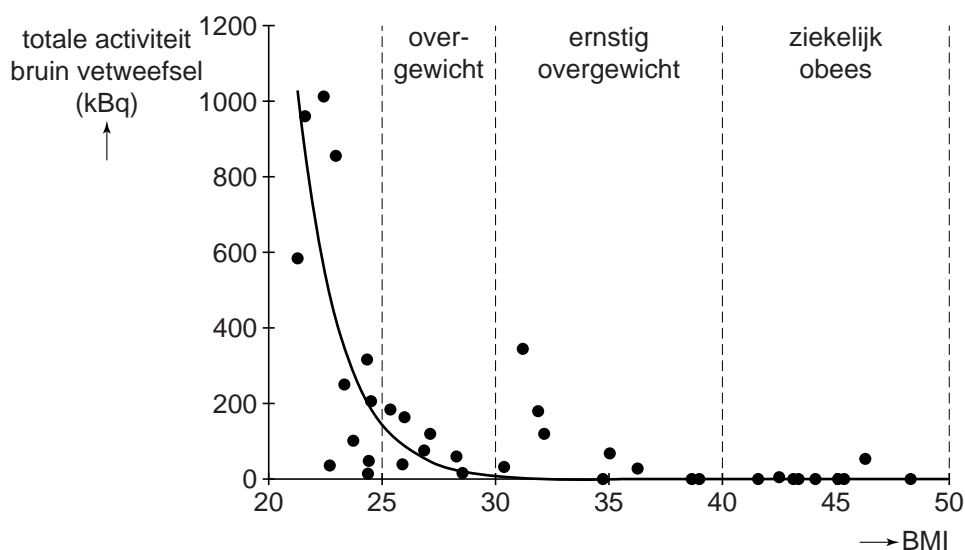
- 2p **24** Wat is het werkingsmechanisme van dit T3?
- A het opent het thermogeninekanaaltje in mitochondria van bruine vetcellen
 - B het opent het thermogeninekanaaltje in mitochondria van schildklierzellen
 - C het stimuleert transcriptie van het thermogenine-gen in bruine vetcellen
 - D het stimuleert transcriptie van het thermogenine-gen in schildklierzellen

De bij koude afgegeven (nor)adrenaline leidt tot een verhoogde warmteproductie in bruine vetcellen.

- 2p **25** Beschrijf hoe de afgifte van (nor)adrenaline op twee manieren leidt tot een verhoogde warmteproductie in deze cellen.

Kunnen mensen geholpen worden met afvallen door de leefomgeving kouder te maken? Door toediening van radioactief gemerkte glucose (¹⁸Fluoro-Deoxy-Glucose) aan proefpersonen kan de metabolische activiteit van weefsel met een PET/CT-scan gemeten worden. De activiteit van het bruin vetweefsel na een koudeprikkel varieert sterk tussen mensen onderling, en blijkt gerelateerd aan hun BMI (afbeelding 4). De BMI is een maat voor de verhouding tussen gewicht en lichaamslengte.

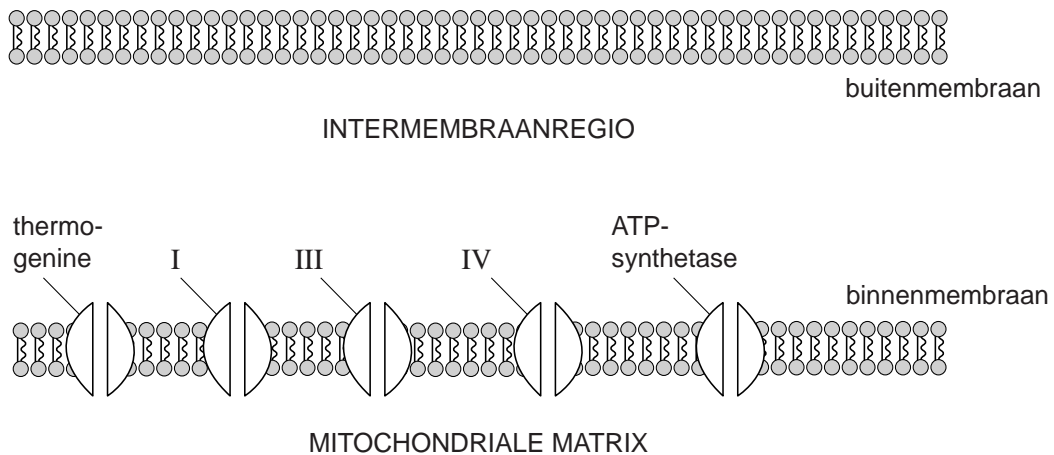
afbeelding 4



- 2p **26** Beredeneer aan de hand van de resultaten van dit experiment (afbeelding 4) in hoeverre het regelmatig verblijven in een koudere omgeving, bijvoorbeeld door in de winter de thermostaat in de kamer lager te zetten, kan helpen bij het afvallen. Beschrijf het resultaat waarop je conclusie baseert.

uitwerkbijlage

21

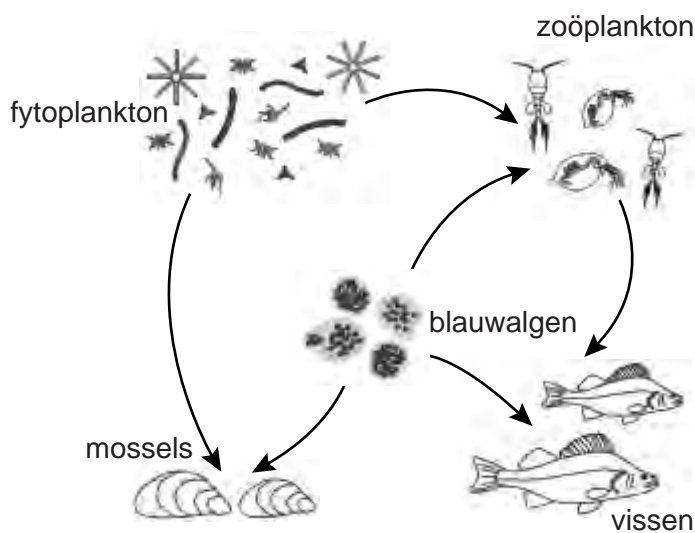


Groene soep door blauwalgen voorkomen

In de provincie Zeeland werden in een warme zomer duizenden dode watervogels uit het Volkerak-Zoommeer gevist. Volgens het ministerie van Verkeer en Waterstaat waren ze gestorven door toxines van de blauwalgen in het water. Onderzocht wordt hoe zo'n calamiteit kan worden voorkomen.

De hoeveelheid blauwalgen in het Volkerak-Zoommeer wordt door verschillende andere organismen beïnvloed. Afbeelding 1 toont deze beïnvloeding in een vereenvoudigd voedselweb.

afbeelding 1



- 2p **27** Beargumenteer dat je aan de hand van dit voedselweb (afbeelding 1) **niet** kunt bepalen of een toename van het aantal vissen een toename of een afname van de blauwalgen zal veroorzaken.

De blauwalgen in het Volkerak-Zoommeer produceren microcystines: kleine eiwitten die schadelijk zijn voor de lever.

In de levers van de dode watervogels werden hoge concentraties microcystines gevonden, ook bij watervogels die geen blauwalgen eten.

- 1p **28** Verklaar waardoor hoge concentraties microcystines ook gevonden worden in watervogels die geen blauwalgen eten.

In de zomer kan het zuurstofgehalte in plassen en meren gevaarlijk dalen als gevolg van de blauwalgenbloei. Milieudeskundigen denken dat er daardoor ook massale vissterfte zal optreden.

- 2p **29** Beschrijf hoe algenbloei uiteindelijk kan leiden tot een verlaging van het zuurstofgehalte in het water.

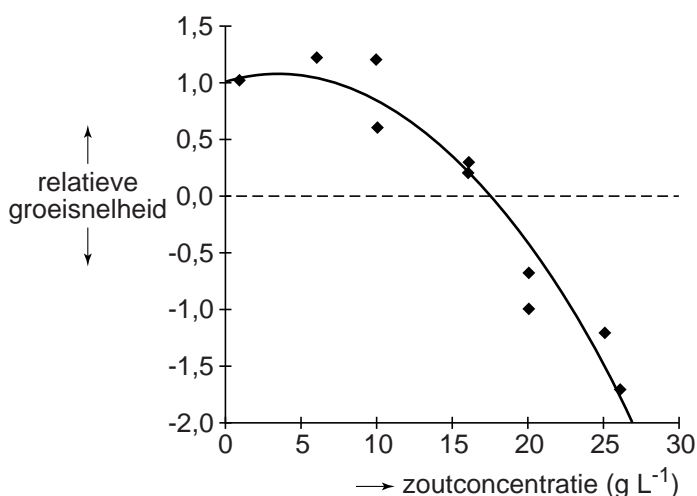
In 1987 werden dammen geplaatst die het Volkerak-Zoommeer van de zee (Oosterschelde) scheidde. In eerste instantie leek dit een gunstige maatregel voor de natuur in het gebied. Er groeiden zeldzame waterplanten en er kwamen veel vogels op af. Maar op den duur kwamen er ook steeds meer blauwalgen.

Jolanda Verspagen, aquatisch microbioloog van het onderzoeksinstituut IBED, onderzocht hoe de blauwalgenbloei kan worden bestreden.

Microcystis blauwalgen die de problemen veroorzaken, gedijen het best in zoet water en zomerse temperaturen. Verspagen stelde voor de blauwalg te bestrijden door zeewater met een zoutconcentratie van 32 gram per liter binnen te laten in het Volkerak-Zoommeer, waar de zoutconcentratie 1,0 g per liter is.

In een laboratoriumexperiment (temperatuur 20°C) werd bij verschillende zoutconcentraties van het water de relatieve groeisnelheid van *Microcystis* bepaald ten opzichte van de groeisnelheid in het meer. De resultaten van het experiment zijn weergegeven in afbeelding 2.

afbeelding 2



Door het binnenlaten van zeewater in het Volkerak-Zoommeer zou in de zomerperiode een zoutconcentratie van maximaal 26 gram per liter kunnen worden bereikt. In de winter vindt er echter ook afwatering van de Rijn en de Maas plaats, waardoor de zoutconcentratie dan zou variëren tussen 7 en 18 gram per liter.

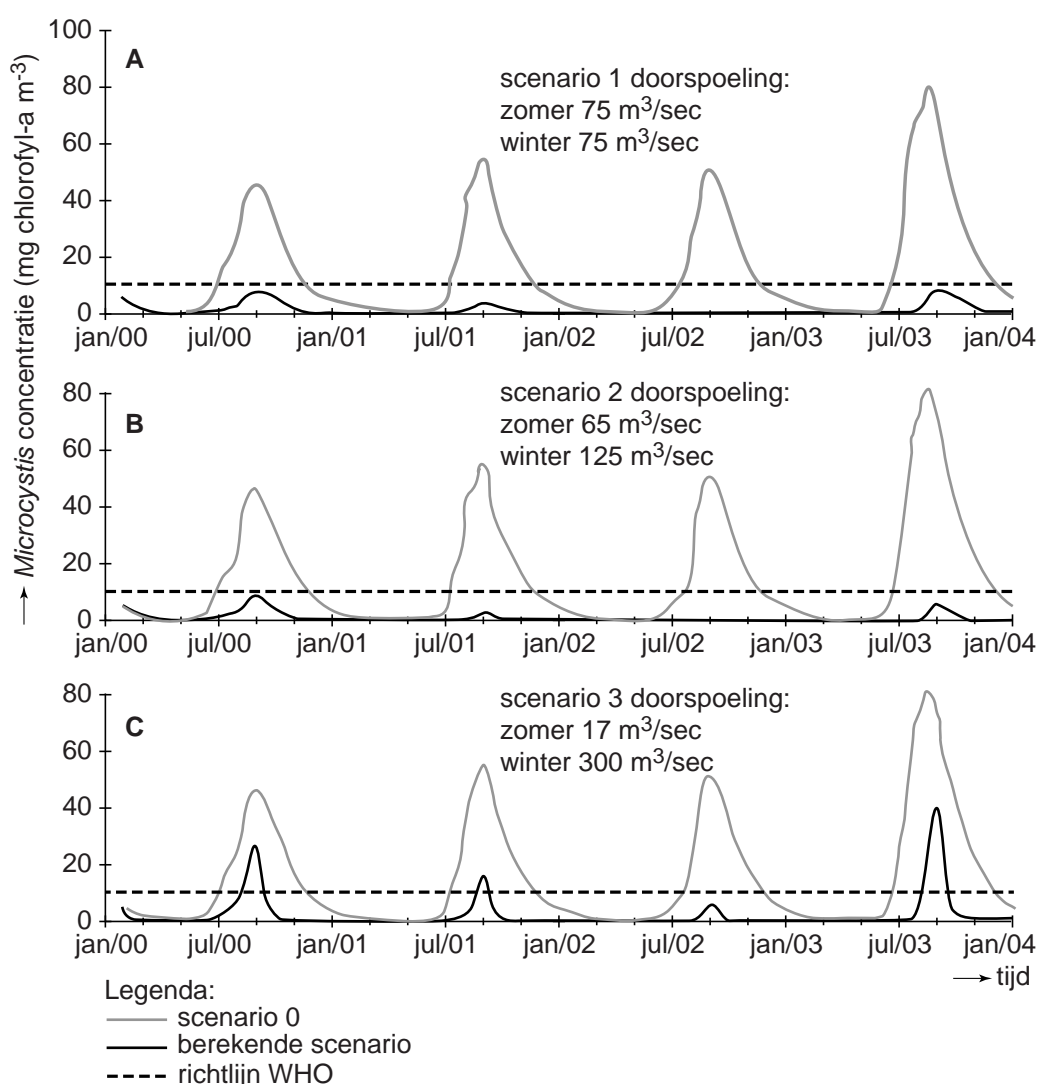
Uit bovenstaande gegevens is af te leiden dat het inlaten van zeewater in de winter **geen** zinvolle maatregel is.

2p **30** Geef twee argumenten hiervoor.

Een andere mogelijkheid om algenbloei te voorkomen, is het wegspoelen van de algen, door vanuit het Hollands Diep extra rivierwater het Volkerak-Zoommeer in te laten stromen.

Met behulp van een computermodel berekende Verspagen de concentratie van *Microcystis* in het Volkerak-Zoommeer bij het doorspoelen in de zomer en in de winter met verschillende hoeveelheden water. De resultaten van drie berekende scenario's (1, 2 en 3), vergeleken met de praktijksituatie zonder extra doorspoelen (scenario 0) zijn weergegeven in afbeelding 3. De stippellijn geeft de maximale concentratie *Microcystis* aan die volgens de WHO (wereldgezondheidsorganisatie) verantwoord is voor de gezondheid van mensen.

afbeelding 3



In de huidige situatie kan maximaal 125 m³ water per seconde worden doorgespoeld, voor hogere waarden moeten de sluizen aangepast worden.

Over het tegengaan van door de WHO als ongezond beschouwde algenconcentraties in het Volkerak-Zoommeer wordt een aantal uitspraken gedaan:

- 1 Het doorspoelen volgens scenario 2 kan ongezonde concentraties algen voorkomen;
- 2 In de winter is een doorspoeling van 300 m^3 per seconde nodig om ongezonde algenconcentraties te voorkomen.
- 3 Het verhogen van de doorspoeling is vooral in de winter belangrijk om ongezonde concentraties algen te voorkomen.

- 2p 31 Noteer de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar op je antwoordblad en schrijf erachter of de betreffende uitspraak wel of niet wordt ondersteund door de computersimulaties van Verspagen (afbeelding 3).

De wolf komt eraan

Het gaat goed met de wolf (zie afbeelding 1). Sinds zijn terugkeer in Duitsland rukt hij met een gemiddelde snelheid van 50 kilometer per jaar op richting ons land. Nederland zal zich moeten voorbereiden op de komst van de wolf. Wat zijn de mogelijkheden?

Na 150 jaar afwezigheid worden de laatste jaren steeds vaker wolven of wolvensporen waargenomen. In 2015 trok een jonge wolf enige dagen door Noordoost-Nederland. Uit DNA-onderzoek bleek deze afkomstig te zijn van een roedel uit Duitsland. Een roedel is een familiegroep bestaande uit ten minste een mannetje en een vrouwtje, met hun jongen. Als de jongen rond de twee jaar oud zijn, gaan ze vaak in hun eentje op stap. Zenders hebben aangetoond dat ze dan 1000 tot 1500 kilometer ver kunnen lopen.

afbeelding 1



- Soms wordt het opduiken van een dier, zoals de wolf in Nederland, gelijk gesteld aan vestiging van een soort. Dat is biologisch gezien niet juist.
- 1p 32 Aan welke eis moet ten minste worden voldaan om te kunnen spreken van de vestiging van de wolf als soort in Nederland?

- De komst van een exoot, een plantensoort of diersoort die eerder nog niet voorkwam, leidt soms tot ecologische problemen.
- 2p 33 Beschrijf twee ecologische problemen die na vestiging van een exoot kunnen ontstaan.

Voor de vestiging van een gezonde populatie zijn niet veel wolven nodig wijst onderzoek in Zweden uit. Daar was de wolf in 1960 verdwenen, totdat in 1983 een wolvenpaar werd aangetroffen, 900 kilometer van de dichtstbijzijnde Fins-Russische populatie. Jarenlang bleef het bij één kleine roedel, maar vanaf 1991 begon de populatie snel te groeien. Momenteel leven er in Zweden ongeveer tweehonderd exemplaren. Uit genetisch onderzoek van weefsel- en bloedmonsters verzameld tussen 1984 en 2001, bleek dat alle Zweedse wolven geboren vóór 1991 afkomstig waren van dat ene wolvenpaar.

Het onderzoek was gebaseerd op het vergelijken van marker-allelen: stukjes niet-coderend DNA die verschillen tussen niet-verwante individuen. De onderzoekers vergeleken marker-allelen van verschillende delen van het DNA uit de monsters:

- autosomale chromosomen;
- X-chromosomen;
- Y-chromosomen;
- mitochondriaal DNA.

De onderzoekers baseren hun conclusie op het aantal verschillende allelen van een marker die in het DNA zijn aangetroffen. Eventuele recombinatie binnen de marker-locus wordt buiten beschouwing gelaten.

- 3p **34** Noteer het maximale aantal verschillende marker-allelen (minimaal één, maximaal vier) dat bij de Zweedse wolven, geboren vóór 1991, op een bepaalde locus is aangetroffen:
- van een autosomale marker;
 - van een X-chromosomale marker;
 - van een Y-chromosomale marker.

In de Zweedse wolvenpopulatie van ná 1991 dook ineens ‘vers bloed’ op. Er werden nieuwe allelen aangetroffen van de onderzochte markers, die afkomstig moeten zijn van één geïmmigreerde wolf, waarvan het DNA nog niet was bemonsterd. De komst van dit mysterieuze mannetje ging gepaard met een versnelde groei van de populatie.

- 2p **35** Leg uit waardoor de komst van ‘vers bloed’ goed is voor een dergelijke kleine wolvenpopulatie.

Genen kunnen liggen

- 1 op autosomale chromosomen;
- 2 op X-chromosomen;
- 3 op Y-chromosomen;
- 4 op mitochondriaal DNA.

- 2p **36** Noteer de nummers 1 tot en met 4 onder elkaar op je antwoordblad en schrijf erachter of dit deel van de genenpool is veranderd door de nakomelingen van dit mannetje.

Inmiddels leven er in Duitsland enkele roedels wolven op zo'n 200 kilometer van de Nederlandse grens. Ook Nederland heeft gebieden waar de wolf zich zou kunnen vestigen.

Op de Veluwe leven ongeveer 12.000 hoefdieren zoals reeën, edelherten en zwijnen. Een schatting uit Rusland is dat daar gemiddeld één wolf per 100 hoefdieren leeft. Dat zou kunnen betekenen dat op de Veluwe plaats is voor ongeveer 120 wolven.

In Zweden werd het aantal van 120 wolven veel sneller bereikt dan op de Veluwe mogelijk zou zijn.

Gegevens over de situatie in Zweden en op de Veluwe zijn:

- 1 In Zweden is het leefgebied groter dan op de Veluwe;
- 2 In Zweden is er een hogere dichtheid prooidieren dan op de Veluwe;
- 3 In Zweden is de draagkracht van het ecosysteem groter dan die van de Veluwe.

2p **37** Welk gegeven kan of welke gegevens kunnen verklaren dat de waargenomen groei van de wolvenpopulatie in Zweden sneller is dan de hypothetische groei op de Veluwe?

- A alleen 1
- B alleen 2
- C alleen 1 en 2
- D alleen 1 en 3
- E alleen 2 en 3
- F 1, 2 en 3

In Nederland gaat het steeds beter met de wilde hoefdieren. Om de aantallen hoefdieren te reguleren vindt jaarlijks afschot plaats. Zo werden in de winter van 2012-2013 in de Oostvaardersplassen bijna duizend edelherten afgeschoten.

De wolf zou geïntroduceerd kunnen worden om op een natuurlijke manier het aantal edelherten in de Oostvaardersplassen te reguleren en de biodiversiteit te verhogen.

2p **38** Noteer nog twee biologische argumenten, met een toelichting, om de wolf in te zetten als alternatief voor het afschieten van dieren.