

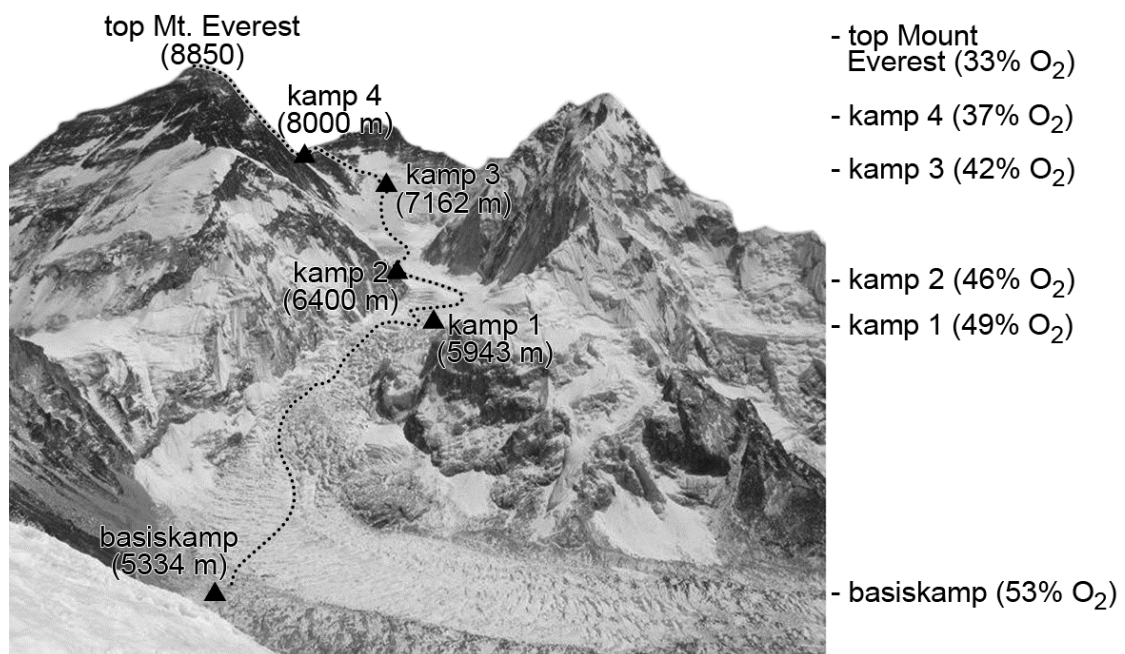
Tenzij anders vermeld, is er sprake van normale situaties en gezonde organismen.

## 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

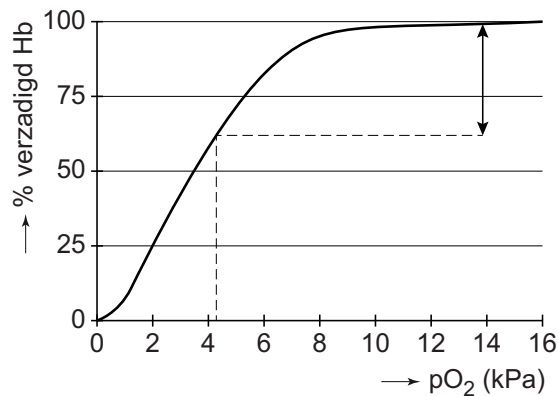
De gaswisseling verbetert na een verblijf van enige weken op grote hoogte: door de invloed van een bepaald hormoon neemt de zuurstofopname geleidelijk toe. In de uitwerkbijlage is een aanzet gegeven van de regelkring waarbij dit hormoon betrokken is.

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.

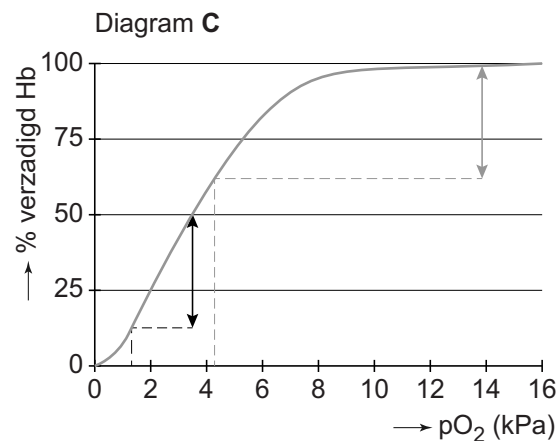
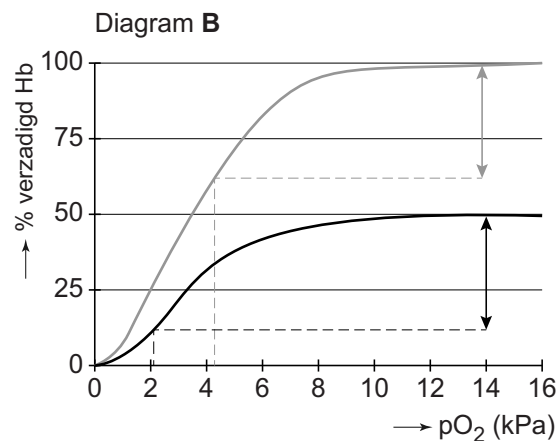
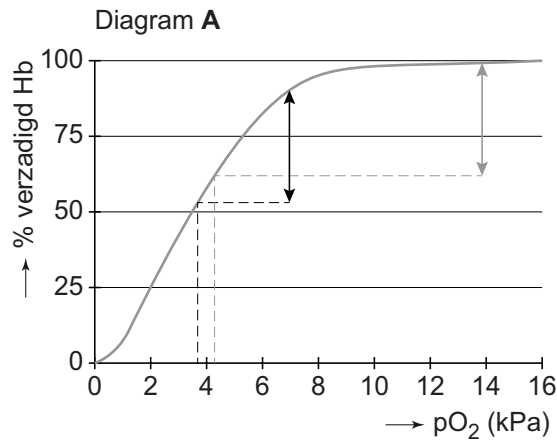
### afbeelding 2



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.

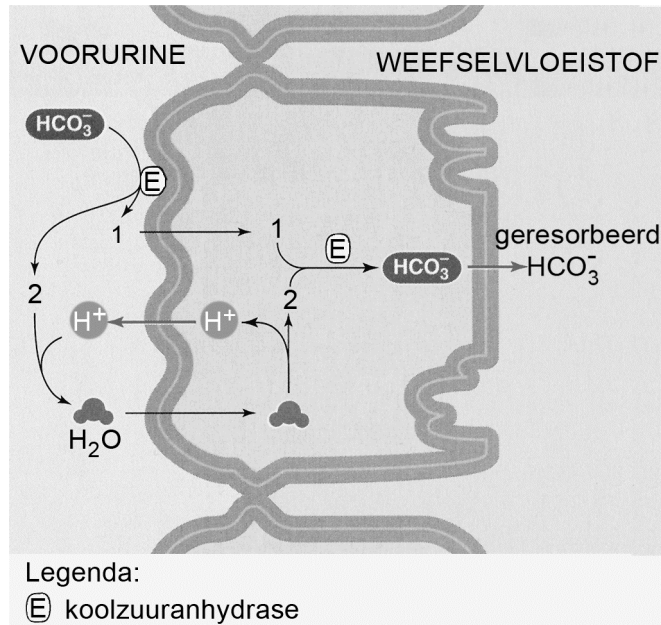
De precieze oorzaak van hersenoedeem, een ander symptoom van hoogteziekte, is nog onbekend. Klimmers met beginnend hersenoedeem zijn te herkennen aan een 'dronkemansloop' als gevolg van een gebrekkige coördinatie van spierbewegingen. Ook verandert het gedrag; ze zijn verward en kunnen hun aandoening 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	hersenstam	grote hersenen
B	hersenstam	kleine hersenen
C	grote hersenen	hersenstam
D	grote hersenen	kleine hersenen
E	kleine hersenen	hersenstam
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 ademen 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 ( $V_{TC}$ )