

BVJ

BIOLOGIE VOOR JOU



MAX

BIOLOGIE 6

VWO

NAAM EN KLAS

MALMBERG

BVJ

BIOLOGIE VOOR JOU

**Biologie voor
de bovenbouw**

6 VWO

EINDREDACTIE

Claud Biemans
Arthur Jansen

AUTEURS

Carin van Haren
Arthur Jansen
Sander Michon
Sjon van de Sant
Elke de Schrevel
Michelle Sparnaaij



RELEASE 7.0

Malmberg 's-Hertogenbosch
www.biologievoorjou.nl

Thema 12

VOEDING EN VERTERING

ORIËNTATIE

Suikertaks	8
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

BASISSTOF

1 Voedingsstoffen	10
2 Het verteringsstelsel	21
3 Chemische vertering	29
4 Resorptie	37
5 Gezonde voeding	45

SAMENHANG

Het dieet van de toekomst	54
---------------------------	----

EXTRA STOF

De werking van de verteringsenzymen	
Leren en werken	

ONDERZOEK

Practica	56
----------	----

AFSLUITING

Samenvatting	59
Examenopgaven	64

Thema 13

TRANSPORT

ORIËNTATIE

Doping en een bloedpaspoort	70
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

BASISSTOF

1 Het bloed	72
2 Transportsystemen bij dieren	80
3 Het hart	87
4 Het bloedvatenstelsel	96
5 De bloedvaten	104
6 Weefselvloeistof en lymfe	114

SAMENHANG

De ziekte van Lyme	120
--------------------	-----

EXTRA STOF

De bloedsomloop bij amfibieën en reptielen	
Ideeën voor onderzoek	

ONDERZOEK

Practica	122
----------	-----

AFSLUITING

Samenvatting	126
Examenopgaven	130

Thema 14

GASWISSELING EN UITSCHIEDING

ORIËNTATIE

De marathon	136
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

BASISSTOF

1 Gaswisseling	138
2 Longventilatie	153
3 De lever	162
4 De nieren	170
5 De huid	183

SAMENHANG

Walvissen	188
-----------	-----

EXTRA STOF

Leren en werken: longarts	
Ideeën voor onderzoek	

ONDERZOEK

Practica	190
----------	-----

AFSLUITING

Samenvatting	197
Examenopgaven	202

Thema 15

AFWEER

ORIËNTATIE

Als je afweersysteem je ziek maakt	208
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

BASISSTOF

1 Mechanische en chemische afweer	210
2 Aangeboren afweer	219
3 Verworven afweer	225
4 Immuniteit	237
5 Transplantatie en bloedtransfusie	244

SAMENHANG

Poep, een veelbelovend medicijn?	252
----------------------------------	-----

EXTRA STOF

Vaccinatie tegen baarmoederhalskanker	
Ideeën voor onderzoek	

ONDERZOEK

Practica	254
----------	-----

AFSLUITING

Samenvatting	258
Examenopgaven	263

Thema 16

SAMENHANG IN DE BIOLOGIE

1 Energie, de basis van leven	271
2 Energie uit voedsel	273
3 De evolutie van energieopslag bij mensen	277
4 De energiestroom in een ecosysteem	280
5 Mensen beïnvloeden de energiebalans van de aarde	283
6 Organisatieniveaus	285

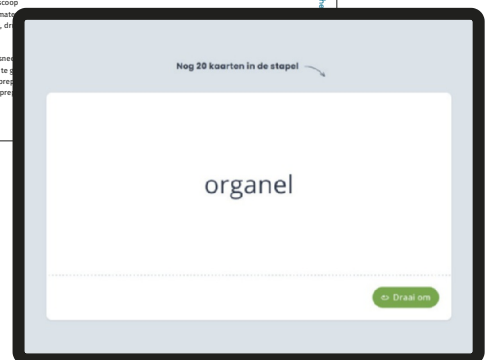
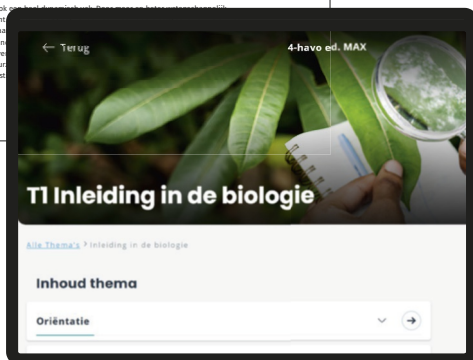
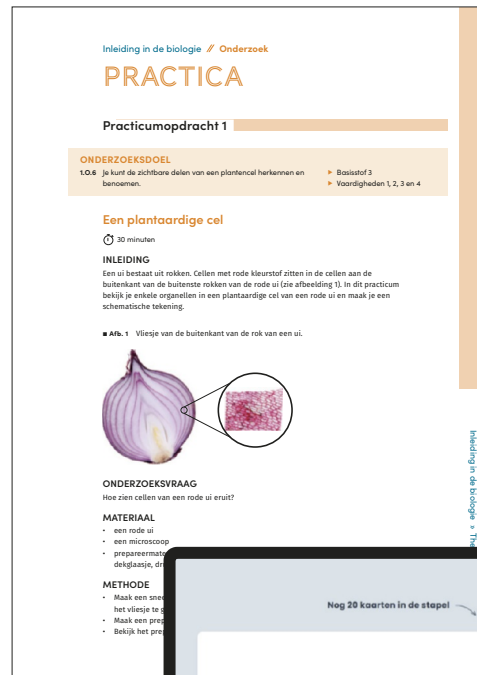
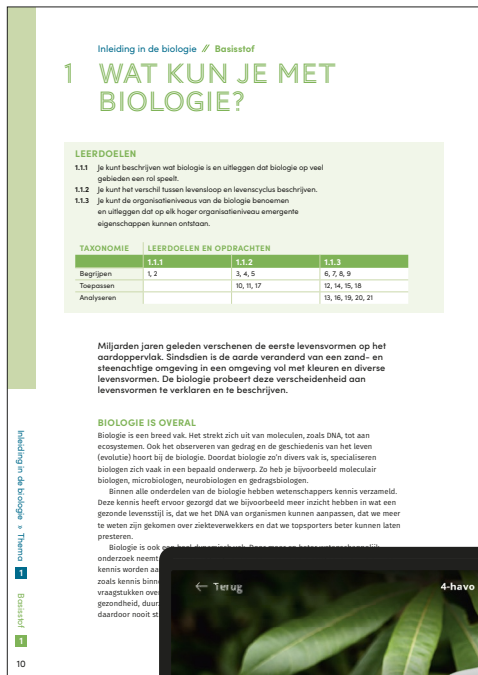
EXAMENTRAINER

1 Het centraal examen	288
2 BiNaS gebruiken	290
3 Open vragen	297
4 Meerkeuzevragen	307
5 Leren voor het centraal examen	310
6 Antwoorden oefenopgaven	311

Register	316
Colofon	318

AAN DE SLAG MET BIOLOGIE VOOR JOU

Biologie is overal om je heen. Met *Biologie voor jou* heb je alles binnen handbereik om dit te ervaren, te beleven en te ontdekken! Je leert waar het vak om draait en welke rol biologie speelt in het dagelijkse leven.



WERK IN JE BOEK ÉN ONLINE!

Er zijn twee boeken per leerjaar (uitgezonderd leerjaar 6: één boek) en er is een online leeromgeving. Je docent kiest wat je online doet (met laptop, tablet of telefoon) en wat in je boek.

Elk thema start met de Oriëntatie (inclusief Voor-kennistoets en Voorkennisfilmpjes), gevolgd door de Basisstof, Samenhang, Extra stof, Onderzoek en Afsluiting. Aan het begin van elke basisstof staat met leerdoelen aangegeven wat je gaat leren en op welk taxonomieniveau je het geleerde oefent bij de opdrachten. In het onderdeel *Onderzoek* vind je de vaardigheden en ga je met practica aan de slag. In de *Afsluiting* vind je de samenvatting en examenopgaven ter voorbereiding op het examen.

VOORDELEN VAN ONLINE

- Je ziet snel wat je goed of fout doet.
- Je leert de begrippen met de *Flitskaarten*.
- Je meet of je de stof beheerst met de *Test jezelf*, *Oefentoets* en *Examenopgaven*.
- Je kunt op een hoger of lager niveau en leerjaar werken.
- Je docent volgt hoe het met je gaat.

SAMENHANG

Aan het einde van elk thema is er een onderdeel *Samenhang*. Met de *Samenhang* ontdek je hoe de leerstof van belang is in de wereld om je heen. Ook leer je verbanden te zien tussen de verschillende basisstoffen van het thema en is er aandacht voor de interactie tussen de verschillende organisatie-niveaus. Een goede oefening voor het examen!

GOEDE VOORBEREIDING OP DE TOETS EN HET EXAMEN!

Een thema eindigt met een Afsluiting (*Samenvatting* en *Examenopgaven*). In de online leeromgeving vind je ook *Flitskaarten*, *Test jezelf* en de *Examentrainer*.

In thema 16 *Samenhang in de biologie* leer je de samenhang tussen biologische eenheden en processen nog beter te begrijpen.

Inleiding in de biologie / Samenhang

EXPEDITIE SPITSBERGEN

LEERDOELEN

1.5.1 Je kunt verschillende typen van natuurwetenschappelijk onderzoek toelichten voor verschillende organisatie-niveaus van de biologie.

1.5.2 Je kunt de biologische vakvaardigheden ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op planten en dieren.

In juli 2022 vertrok een grote groep wetenschappers in de richting van Spitsbergen om onderzoek te doen naar de gevolgen van klimaatverandering. Het idee voor deze Nederlandse poolexpeditie ontstond toen bioloog Maarten Loonen een lijst met rendierschedels op een zolder van de Rijksuniversiteit Groningen vond. De rendierschedels waren afkomstig van eerder onderzoek op het eiland Edgeøya, dat ten oosten ligt van Spitsbergen (zie afbeelding 1). Van 1968 tot en met 1988 hebben Nederlandse wetenschappers daar veel data verzameld over planten en dieren, een gevaarlijke klus vanwege de vele ijsberen.

In 2015 en 2022 kreeg het onderzoeksproject een vervolg. Het klimaat is de afgelopen decennia milder geworden en het zee-ijis is veel eerder weg dan vroeger. Door nieuwe waarnemingen te vergelijken met oude waarnemingen is het mogelijk om de gevolgen van klimaatverandering op planten en dieren te bestuderen. Van bepaalde gebieden was precies bekend hoe de vegetatie er in 1977 uitzag. 'We hebben daar in 2015 weer gekeken en we zijn verbaasd', zegt Loonen. 'Er zijn stukken die vroeger helemaal kaal waren en nu zijn begroeid, en omgekeerd. De vraag is natuurlijk of dit komt door de opwarming van het poolgebied of dat andere factoren een rol spelen.' Voor conclusies was het in 2015 nog te vroeg. 'We gaan met kisten vol onderzoeksmateriaal naar huis en moeten dat nog bestuderen en interpreteren.'

Lineke Woelders, paleo-ecoloog, bestudeert met haar team de invloed van klimaatverandering op de vegetatie op Spitsbergen. In 2018 zocht zij veel poolgebied. Uit de groei van groene in een meerje op temperatuursrijke onderzoekers schied het poolgebied.

Afb. 1 Ligging van het eiland Edgeøya in Spitsbergen.

1.2 Organen, weefsels en cellen

Test jezelf

Test jezelf

Zo werkt Test jezelf

- Met Test jezelf test je jouw kennis van leerdoelen.
- Je kunt sensorisch stoppen en later verder gaan.
- Als je klaar bent, zie je welke leerdoelen je beheerst en welke niet.
- Je krijgt geen cijfer voor een Test jezelf.

Deze Test jezelf gaat over

Leerdoel A

Je kunt: organen, weefsels, organen, weefsels en cellen bij een mens herkennen en kenmerken en functies beschrijven.

Leerdoel B

Je kunt: beschrijven dat groepen cellen in een weefsel, organen of orgaanweefsel een gezamenlijke functie uitoefenen.

Leerdoel C

Je kunt: bij (delen van) organismen het verband aangeven tussen vorm en functie.

Inleiding in de biologie / Afsluiting

EXAMENOPGAVEN

HUDMONDJES IN DE MIDDELEEUWEN

Bron: examen van 2013-1, vraag 21.

De cellen van verse bladeren die in een herbarium worden opgenomen, doorlopen als gevolg van uitdroging achtereenvolgens: verlies van turgo, grensplasmolyse, plasmolyse, celdood.

Op 1 Krimpt het blad als gevolg van verlies aan turgo? En krimpt het blad als gevolg van voortschrijdende plasmolyse?

Krimpt blad door verlies van turgo?	Krimpt blad door voortschrijdende plasmolyse?
A ja	ja
B ja	nee
C nee	ja
D nee	nee

VEROUDERING EN VERJONGING

Bron: examen van 2013-1, vraag 36.

Bij onderzoek naar veroudering bij mensen is sprake van een methodologisch probleem, de gemiddelde levensduur van een mens is namelijk langer dan de gemiddelde carrière van een wetenschapper. Een oplossing is om cross-sectioneel onderzoek te doen. Een grote groep proefpersonen wordt daarbij verdeeld in leeftijdscategorieën en gedurende een bepaalde korte periode, bijvoorbeeld een jaar, per leeftijdscategorie onderzocht op verouderingsverschijnselen. Aan dit cross-sectioneel onderzoek kleven nadelen.

Twee aspecten van cross-sectioneel onderzoek zijn:

- Doordat de proefpersonen niet allen in dezelfde periode zijn opgegrepen, kunnen gezondheidsverschillen tussen de leeftijdscategorieën ook worden veroorzaakt door verschillen in omgevingsfactoren.
- Personen die op jonge leeftijd een slechtere gezondheid hadden, zijn minder vertegenwoordigd in de hogere leeftijdscategorieën.

Op 2 Vermindert aspect 1 de betrouwbaarheid of de validiteit van het onderzoek? En aspect 2?

aspect 1	aspect 2
A betrouwbaarheid	betrouwbaarheid
B betrouwbaarheid	betrouwbaarheid
C validiteit	validiteit
D validiteit	validiteit

1 Examentrainer

Opdrachten

Opdracht 6

Koraal

Nieuw pdf examen havo 2013-1, vragen 21 en 22.

Lees bron 4.

De poliepen leven in helder water tot hooguit negenig meter diepte waarvan de temperatuur mag variëren tussen 25 °C en 29 °C. Dat koraal niet op grotere diepten voorkomt, komt doordat zij in symbiose met algen leven. Beide organismen profiteren van deze samenlevingsvorm.

Lig uit dat deze symbiose tussen poliep en alg niet op grotere diepten kan voorkomen.

VOORDELEN VAN HET BOEK

- Je hebt snel overzicht in wat je gaat leren.
- Je leest lange teksten op papier.
- Je markeert in de tekst en maakt aantekeningen.

BETEKENIS SYMBOLEN

-  Deze opdracht maak je het best in je boek.
-  Ga naar de online leeromgeving voor handige extra's.
-  Een uitdagende opdracht uit de biologie-olympiade.
-  Met dit practicum ben je zó lang bezig.



Thema 12

VOEDING EN VERTERING

Heterotrofe organismen nemen voedsel op om in leven te blijven. Het eten van voedsel is de start van het proces dat je vertering noemt. In het verteringsstelsel wordt het voedsel verteerd tot kleine moleculen. Via het bloed worden deze verteringsproducten aan de cellen geleverd voor de dissimilatie en de voortgezette assimilatie. Onverteerde voedselresten verlaten het lichaam met de ontlasting.

Inhoud

■ ORIËNTATIE

Suikertaks	8
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

■ BASISSTOF

1 Voedingsstoffen	10
2 Het verteringsstelsel	21
3 Chemische vertering	29
4 Resorptie	37
5 Gezonde voeding	45

■ SAMENHANG

Het dieet van de toekomst	54
---------------------------	----

■ EXTRA STOF

De werking van de verteringsenzymen	
Leren en werken	

■ ONDERZOEK

Practica	56
----------	----

■ AFSLUITING

Samenvatting	59
Examenopgaven	64

SUIKERTAKS

Een zoete smaak is een signaal voor koolhydraten en energie. Het is dan ook niet gek dat veel mensen houden van zoet (zie afbeelding 1). De voorkeur voor zoet is er al bij pasgeboren baby's; borstvoeding smaakt ook lichtzoet. Het eten van koolhydraten activeert het beloningscentrum in je hersenen. Glucose zorgt voor afgifte van de stof dopamine, die een prettig gevoel geeft.

Suiker (sacharose) behoort tot de koolhydraten. Suiker is een disacharide en bij de vertering ervan ontstaan fructose en glucose. Glucose is de belangrijkste brandstof voor je cellen. Al vrij snel na het eten van een voedingsmiddel of maaltijd met koolhydraten stijgt het glucosegehalte van je bloed. Het hormoon insuline zorgt ervoor dat je cellen de glucose snel opnemen. Ook kan glucose worden opgeslagen in de vorm van glycogeen. Je lichaam kan maar een beperkte hoeveelheid glycogeen opslaan. Als je veel glucose

binnenkrijgt, dan zet je lichaam deze stof om in vet. Ook de fructose die vrijkomt bij de vertering van suiker draagt bij aan de aanmaak van vetten in je lichaam. Van het eten van te veel suiker kun je dus dik worden.

De cijfers liegen er niet om: 50% van de Nederlandse volwassenen heeft overgewicht en 15% heeft obesitas. Ook steeds meer jongeren hebben overgewicht. Van de kinderen en jongeren van 2 tot 25 jaar had 17% in 2022 overgewicht. Vooral 18- tot 25-jarigen zijn vaak te zwaar.

■ **Afb. 1** Veel mensen houden van zoet.



Overgewicht heeft grote gevolgen. Het kan leiden tot veel lichamelijke klachten, zoals een grotere kans op diabetes, een verhoogd risico op hart- en vaatziekten en meer kans op sommige vormen van kanker. Je kunt ook last krijgen van psychische klachten, zoals een depressie of angststoornissen. Daarnaast brengt overgewicht flinke kosten met zich mee. Mensen met overgewicht zijn vaker langdurig ziek en maken meer kosten binnen de gezondheidszorg. Ook hebben zij vaker psychische klachten. Alles bij elkaar lopen deze kosten in Nederland in de tientallen miljarden.

Het is dus niet gek dat er van alles wordt geprobeerd om mensen gezonder te laten eten. Maar dat is lastig. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) adviseert om maximaal 10% van je dagelijkse energie uit 'vrije' suikers te halen. Daarmee worden toegevoegde suikers bedoeld, maar ook suikers die van nature aanwezig zijn in bijvoorbeeld honing en

vruchtensappen. Maar veel mensen overschrijden deze norm: negen van de tien jongeren (7-18 jaar) en zes van de tien volwassenen (19-69 jaar).

Een aantal Europese landen heeft daarom een zogenoemde 'suikertaks' ingevoerd. De suikertaks is een belasting op vrije suikers. Hierdoor gaat de prijs van producten met veel suiker omhoog. Het doel van zo'n prijsmaatregel is mensen minder ongezonde producten te laten kopen en eten. In Nederland is op 1 januari 2024 de belasting op frisdranken verhoogd. De WHO adviseert naast het invoeren van een suikertaks ook een taks op producten met veel verzadigd vet en zout.

Een andere mogelijkheid om gezonder eten te stimuleren is een subsidie op fruit, groente en andere gezonde voedingsmiddelen of het verlagen van de btw op dergelijke producten.

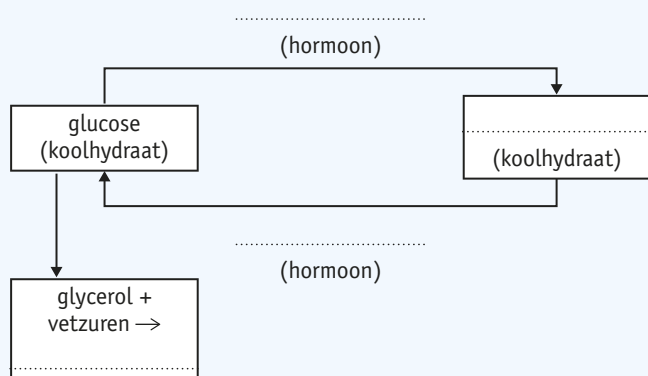
Opdrachten

- 1 Een pasgeboren baby heeft een aangeboren voorkeur voor een zoete smaak.
Waarom is dit letterlijk van levensbelang?
- 2 Het eten van glucose stimuleert de afgifte van dopamine en activeert het beloningscentrum in je hersenen.
Tot welke groep van stoffen behoort dopamine?



- 3 Na het eten van voedingsmiddelen met koolhydraten stijgt het glucosegehalte van je bloed. Niet alle glucose gebruik je direct als brandstof. Een deel ervan sla je op.
Vul het schema in afbeelding 2 op de juiste manier verder in.

■ **Afb. 2** Regelkring verwerking en opslag van glucose.



- 4 De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) adviseert om maximaal 10% van je dagelijkse energie uit 'vrije' suikers te halen. Het Voedingscentrum plaatst een kanttekening bij dit advies. Ook een inname van minder dan 10% van je dagelijkse energie uit 'vrije' suikers zou kunnen leiden tot overgewicht.
Leg dit uit.
- 5 Er zijn verschillende mogelijkheden om mensen aan te zetten tot gezonder eten, zoals een taks of een subsidie.
Wat is jouw mening over de suikertaks? Leg je antwoord uit.



[Ga naar de Voorkennistoets en het Voorkennisfilmpje.](#)

1 VOEDINGSSTOFFEN

LEERDOEL

12.1.1 Je kunt de kenmerken en functies noemen van zes groepen voedingsstoffen en van voedingsvezel.

- Vaardigheid 7 (thema 1)
- Practica 1 en 2

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	12.1.1
Begrijpen	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Toepassen	9, 10, 12, 16, 17ac
Analyseren	11, 13, 14, 15, 17b

Om alle stofwisselingsprocessen in je lichaam goed te laten verlopen, heb je ongeveer vijftig verschillende voedingsstoffen nodig. Die krijg je bijna allemaal binnen door gevarieerd te eten en te drinken.

VOEDING

Eten en drinken is voor jou, als heterotroof organisme, noodzakelijk om in leven te blijven. Zo krijg je de stoffen binnen die nodig zijn voor de stofwisselingsprocessen in je lichaam. Alles wat je eet of drinkt, noem je voedingsmiddelen. Voedingsmiddelen bevatten **voedingsstoffen**: de bruikbare bestanddelen van voedingsmiddelen. Er zijn zes groepen voedingsstoffen: eiwitten, koolhydraten, vetten, water, mineralen en vitaminen. Daarnaast bevat je voedsel voedingsvezels.

Al deze stoffen vervullen verschillende functies in je lichaam. Sommige voedingsstoffen gebruik je als **bouwstof** voor de vorming van organische moleculen bij de voortgezette assimilatie. Deze moleculen zijn nodig voor de vorming van (delen van) cellen en weefsels. Vooral voor groei en ontwikkeling van het lichaam en voor vervanging van afgestorven cellen zijn bouwstoffen nodig. **Brandstoffen** zijn voedingsstoffen die energie kunnen leveren voor de dissimilatie (verbranding). De energie die daarbij vrijkomt, is nodig om te bewegen, om je lichaamstemperatuur op peil te houden en voor groei, ontwikkeling en herstel. Koolhydraten (glycogeen) en vetten zijn de voedingsstoffen die je lichaam kan opslaan als **reservestof**.

Je hebt voedingsstoffen van alle zes groepen nodig om gezond te blijven. Een tekort aan voedingsstoffen kan ziekte veroorzaken.

EIWITTEN (PROTEÏNEN)

Eiwitten of proteïnen zijn ketens van enkele tientallen tot meer dan duizend aminozuren (zie **BiNaS** tabel 67H). Er zijn dierlijke en plantaardige eiwitten. Dierlijke eiwitten zitten in voedingsmiddelen zoals vlees, vis, melk, kaas en eieren. Plantaardige eiwitten zitten onder andere in brood, graanproducten, peulvruchten, noten en paddenstoelen (zie afbeelding 1). In het verteringsstelsel worden eiwitmoleculen uit het voedsel gesplitst in afzonderlijke aminozuurmoleculen, die worden opgenomen in het bloed. Via het bloed worden de aminozuren naar de lever vervoerd en van daaruit naar

alle organen van het lichaam. Bij de eiwitsynthese worden de **aminozuren** in de cellen weer aan elkaar gekoppeld tot eiwitmoleculen.

In eiwitten van mensen komen twintig verschillende aminozuren voor. Volwassenen kunnen twaalf van deze aminozuren zelf maken als ze niet voldoende in het voedsel voorkomen. Deze **niet-essentiële aminozuren** worden in de lever gevormd uit andere aminozuren door overplaatsing van een aminogroep ($-NH_2$). Dit proces heet transaminering. De andere acht aminozuren kun je niet, of in onvoldoende hoeveelheden zelf aanmaken. Daarom moeten deze **essentiële aminozuren** in je voedsel voorkomen (zie **BiNaS** tabel 67H1).

Eiwitten zijn belangrijke bouwstoffen van cellen en weefsels. Ze maken bijvoorbeeld deel uit van tussencelstof, zoals de collageenvezels in beenweefsel en kraakbeenweefsel. Ook reguleren eiwitten bijna alle processen in een organisme. Ze zijn betrokken bij het transport van stoffen, bij de celcommunicatie (het overbrengen van signalen van de ene cel naar de andere) en bij chemische reacties. Ook spelen ze een rol bij de bloedstolling en bij immuniteit.

Je lichaam kan eiwitten ook als brandstof gebruiken. Eiwitten worden dan eerst omgezet in glucose, die je vervolgens verbrandt. Bij de verbranding van 1 g eiwit komt 17 kJ aan energie vrij. Wanneer er niet voldoende glucose beschikbaar is, verbrand je de eiwitten uit je spieren. Hierdoor neemt je spiermassa af. Ook een overschot aan eiwitten en aminozuren in je voeding wordt in je lichaam omgezet in glucose. Bij de dissimilatie van eiwitten ontstaat ammoniak, die je in de lever omzet in ureum. Ureum wordt uitgescheiden met de urine. Er ontstaan ook stoffen die deel uitmaken van de glycolyse, bijvoorbeeld pyrodruivenzuur, dat na verdere dissimilatie energie levert.

■ **Afb. 1** Voedingsmiddelen die veel eiwitten bevatten (dierlijk en plantaardig).



■ **Afb. 2** Voedingsmiddelen die veel koolhydraten bevatten.



KOOLHYDRATEN (SACHARIDEN)

In afbeelding 2 zie je voedingsmiddelen die veel **koolhydraten** (sachariden; zie **BiNaS** tabel 67F) bevatten. Zoete vruchten, jam, stroop en honing bevatten veel glucose, fructose (beide **monosachariden**) en sacharose (een **disacharide**). Brood, aardappelen, rijst en macaroni bevatten veel **zetmeel** (een **polysacharide**). Melk bevat lactose (een disacharide). Dierlijk voedsel bevat relatief weinig koolhydraten.

Koolhydraten zijn belangrijke brandstoffen in je lichaam. Als je 1 g koolhydraten verbrandt, komt er 17 kJ aan energie vrij. Door koolhydraten te eten, kun je in het grootste deel van je energiebehoefte voorzien. Als je te veel koolhydraten eet, zorgt het hormoon insuline ervoor dat een klein deel daarvan wordt omgezet in de polysacharide glycogeen, dat je als reservestof opslaat in je lever en in spieren. Het grootste deel van de overtollige koolhydraten zet je om in vet en wordt opgeslagen onder de huid (in het onderhuidse bindweefsel) of rondom organen (vooral spieren, hart en nieren).

Koolhydraten kunnen ook dienen als bouwstoffen. Een DNA-molecuul bevat bijvoorbeeld de monosacharide desoxyribose en ATP bevat de monosacharide ribose. In celmembranen spelen koolhydraatketens een rol bij de herkenning van de cel door andere cellen.

Voedingsvezels zijn koolhydraten die niet kunnen worden verteerd door enzymen van de mens. Voorbeelden zijn **cellulose** en pectine. Een deel van de voedingsvezels kan in de dikke darm wel worden afgebroken door de enzymen van bacteriën. Voedingsvezels zijn afkomstig uit de celwanden van plantaardige voedingsmiddelen. Ze bevorderen de darmwerking en de stoelgang. Ook zorgen voedingsvezels voor een verzadigd gevoel, waardoor je niet zo snel te veel eet. Hierdoor behoud je gemakkelijker een gezond gewicht.

VETTEN (LIPIDEN)

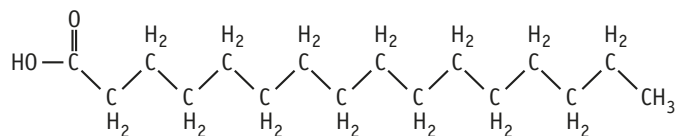
Voedingsmiddelen als halvarine, zonnebloemolie, vlees, vis, kaas, noten, koek, snacks en sauzen bevatten **vetten**, ofwel lipiden (zie afbeelding 3). Veel vetmoleculen zijn opgebouwd uit een **glycerolmolecuul** en drie **vetzuurmoleculen** (zie **BiNaS** tabel 67G). Deze vetten en oliën noem je triglyceriden. De vetzuren kunnen verzadigd of onverzadigd zijn (zie afbeelding 4). Bij een verzadigd vetzuur zijn alle bindingsplaatsen van de C-atomen bezet door waterstofatomen. Bij een onverzadigd vetzuur is dat niet het geval. Tussen C-atomen die niet volledig zijn bezet door waterstofatomen, zit een dubbele binding. Vooral plantaardige oliën (bijvoorbeeld olijf- en zonnebloemolie) en vis bevatten veel onverzadigde vetzuren. Dierlijke vetten bevatten veel verzadigde vetzuren.

■ **Afb. 3** Voedingsmiddelen die veel vetten bevatten.



1 producten die verzadigde vetten bevatten

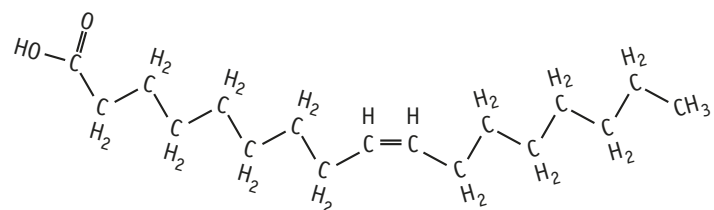
■ **Afb. 4** Vetzuurmoleculen.



1 structuurformule van een verzadigd vetzuur (palmitinezuur)



2 producten die onverzadigde vetten bevatten



2 structuurformule van een (enkelvoudig) onverzadigd vetzuur (oliezuur)

Je lichaam kan glycerol en de meeste vetzuren uit andere organische stoffen vormen. Daardoor hoeft je voedsel maar weinig vetten te bevatten. Alleen enkele onverzadigde vetzuren moeten in je voedsel voorkomen. Een voorbeeld van deze essentiële vetzuren is linolzuur (zie **BiNaS** tabel 67G2).

Vetten dienen vooral als brandstof en reservestof. Bij de verbranding van 1 g vet komt 38 kJ aan energie vrij. Als je te veel vetten eet, sla je ze als reserve-energiebron op onder je huid en rondom je organen. Het vet onder de huid heeft een warmte-isolerende functie.

Vetten dienen ook als bouwstoffen. Fosfolipiden (vetachtige stoffen) vormen een belangrijk bestanddeel van (cel)membranen. Bij fosfolipiden is een vetzuur vervangen door een fosforzuur. Sommige vitaminen (A, D, E en K) zijn oplosbaar in vet, waardoor je ze alleen via vet binnenkrijgt. **Cholesterol** is een vet dat je voor een klein deel via je voeding binnenkrijgt. De meeste cholesterol wordt aangemaakt door de lever. Cholesterol komt voor in celmembranen en wordt gebruikt bij de productie van hormonen, gal en vitamine D.

Opdrachten **KENNIS**

- 1 Ongeveer 50% van het drooggewicht van een cel van een mens bestaat uit eiwitten. Verschillende typen eiwitten vervullen uiteenlopende functies. Maak het overzicht compleet door tabel 1 verder in te vullen. Kies bij de voorbeelden uit: *actine – amylase – ATPase – celskelet – collageenvezels – DNA-polymerase – FSH – insuline – myosine – natrium-kaliumpomp – receptoreiwit voor acetylcholine op de spiervezels – receptoreiwit voor neurotransmitters op postsynaptisch membraan – testosteron*.

Tabel 1

Functie eiwit	Type eiwit	Voorbeeld
Vervoeren van stoffen door membranen	Transporteiwitten	
Katalyseren van chemische omzettingen	Enzymen	
Op gang brengen van cellulaire respons wanneer een signaalmolecuul bindt	Receptoren	
Overbrengen van signalen van de ene cel naar de andere via het bloed	Hormonen	
Mogelijk maken van beweging van spieren	Motoreiwitten	
Vorm geven aan cellen en weefsels	Structuureiwitten	

- 2 In je lichaam worden eiwitten opgebouwd uit aminozuren. Welke drie organellen zijn betrokken bij de synthese van eiwitmoleculen?
- 3 Koolhydraten worden opgeslagen in de vorm van glycogeen. Dit bevindt zich voornamelijk in de lever en de spieren. Waarom is dit functioneel?

- 4 Leg uit waarom het Voedingscentrum adviseert zilvervliesrijst te eten in plaats van witte rijst.
- 5 Als je te veel eiwitten met je voedsel binnenkrijgt, wordt het overschot niet opgeslagen in je lichaam, maar verbrand.
Leg uit dat je dik kunt worden van te veel eiwitten in je voedsel.
- 6 Waarom kun je vet een efficiëntere opslag van energie noemen dan koolhydraten?

WATER

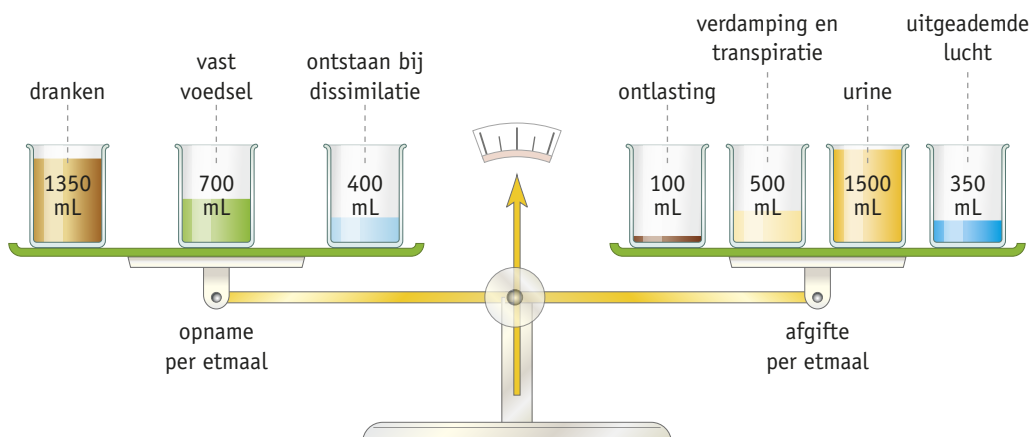
Alle dranken, maar ook groenten en fruit, zijn voedingsmiddelen die veel water bevatten (zie afbeelding 5). Organismen bestaan voor het grootste deel uit water. Een volwassen menselijk lichaam bevat ongeveer 60% water. Water is onder andere een belangrijke bouwstof voor je lichaamscellen en een oplosmiddel voor allerlei stoffen. Samen met de opgeloste stoffen bepaalt water de osmotische waarde van de vloeistoffen in je lichaam. Water is ook een transportmiddel, bijvoorbeeld in bloed. Verder speelt water een belangrijke rol bij de regeling van de lichaamstemperatuur. Door verdamping van het water uit zweet koelt je lichaam af.

■ **Afb. 5** Voedingsmiddelen die veel water bevatten.



Ook met uitgeademde lucht, urine en ontlasting raakt je lichaam water kwijt. Dit verlies wordt voor een klein deel aangevuld door het water dat bij dissimilatie ontstaat. De rest wordt aangevuld door eten en drinken (zie afbeelding 6). Als je lichaam plotseling veel water kwijtraakt (bijvoorbeeld bij hevig braken of diarree), kan dit levensbedreigend zijn.

■ **Afb. 6** Waterbalans: de gemiddelde waarden per etmaal.



MINERALEN (VOEDINGSZOUTEN)

In afbeelding 7 zie je voedingsmiddelen die veel mineralen (voedingszouten) bevatten. Mineralen zijn anorganische stoffen, zoals calcium, fosfor, kalium en natrium. Je hebt dagelijks allerlei soorten mineralen nodig om de processen in je lichaam goed te laten verlopen. Ze functioneren als beschermende stof. Gezonde voeding bevat voldoende mineralen. Van het mineraal natrium krijgen veel mensen zelfs te veel binnen via keukenzout (natriumchloride).

Sommige mineralen gebruik je als bouwstoffen. Zo zorgt calcium ervoor dat je botweefsel hard is en geeft het stevigheid aan tandbeen. Ook fosfor geeft stevigheid aan botten en tanden. Mineralen kunnen ook andere functies vervullen. Calcium is bijvoorbeeld nodig om je bloed te laten stollen. Kalium zorgt er samen met natrium voor dat neuronen impulsen kunnen geleiden.

Mineralen die je in zeer kleine hoeveelheden nodig hebt, noem je sporelementen. Voorbeelden zijn chroom, fluor, jodium en ijzer. Fluor versterkt het tandglazuur. Ijzer is nodig voor de vorming van hemoglobine (een zuurstofbindend molecuul in rode bloedcellen). Sporelementen zijn vaak bestanddelen van enzymen en hormonen. Zo speelt chroom een rol bij de werking van insuline en bevat het schildklierhormoon jodium.

■ **Afb. 7** Voedingsmiddelen die veel mineralen bevatten.



■ **Afb. 8** Voedingsmiddelen die veel vitaminen bevatten.



VITAMINEN

De voedingsmiddelen in afbeelding 8 bevatten veel vitaminen. Vitaminen zijn organische stoffen die nodig zijn om de processen in je lichaam goed te laten verlopen. Net als mineralen dienen ze als beschermende stof. Je geeft ze aan met een letter. Belangrijke vitaminen zijn A, B, C, D en K. Vitamine B is een verzamelnaam voor verschillende vitaminen: het vitamine B-complex. De afzonderlijke B-vitaminen geef je aan met cijfers, bijvoorbeeld B1 en B6.

Vitamine K kan worden gemaakt door bacteriën in je dikke darm. Alle andere vitaminen kunnen niet in je lichaam worden gevormd en moeten daardoor in je voedsel aanwezig zijn. Sommige vitaminen zijn in je voedsel aanwezig als provitaminen. Uit een provitamine kan je lichaam dan zelf de vitamine vormen. Uit provitamine D bijvoorbeeld kan je lichaam onder invloed van zonlicht vitamine D in de huid aanmaken.

Net als sporelementen zijn veel vitaminen in je lichaam bestanddelen van enzymen. Ze zijn dus nodig om stofwisselingsreacties goed te laten verlopen. Bij gebrek aan vitaminen ontstaan gebreksziekten (zie afbeelding 9 en tabel 2).

Ook als je te veel vitaminen binnenkrijgt, kun je ziek worden. Volgens de Gezondheidsraad bevat gevarieerde voeding voldoende vitaminen en provitaminen. Alleen bepaalde risicogroepen, zoals zwangere vrouwen of veganisten, hebben extra vitaminen D, K, B11 (foliumzuur) of B12 nodig. In tabel 2 en **BiNaS** tabel 82A vind je een overzicht van de kenmerken van vitaminen.

■ **Afb. 9** O-benen door een tekort aan vitamine D (rachitis).



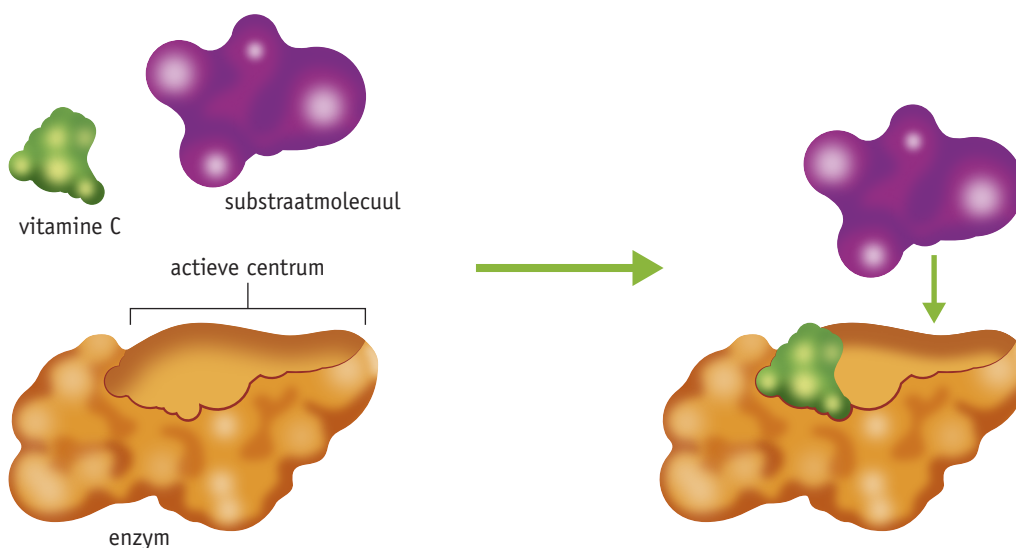
Tabel 2 Kenmerken van enkele vitaminen.

Vitamine	Is nodig voor	Komt voor in	Gebreksziekte
A	- de aanmaak van cellen en de weefselstructuur van de huid - de vorming van epitheelcellen in huid, haar, luchtpijp, tandvlees en longweefsel - een goede werking van de staafjes in het netvlies	- melk, boter, margarine, lever, ei, vis - provitamine A komt voor in tomaten, worteltjes	- slecht zien in de schemering (nachtblindheid) - verhoornen van het hoornvlies (leidt tot blindheid) - schilferen van de huid - verminderde weerstand
B1	een goede werking van het zenuwstelsel en de spieren	vlees, ei, gist, volkorenbrood, peulvruchten, granen, aardappelen	- vermoeidheid - zenuwontstekingen - spierverlammingen (beriberi)
C	- de vorming van bindweefsel en bloedvaten - een goede lichaamsweerstand - de darmen; bevordert de absorptie van ijzer in de darmen	fruit (vooral citrusvruchten), kool en andere bladgroenten, nieuwe aardappelen	- vermoeidheid - verminderde weerstand - tandvleesbloedingen - inwendige bloedingen (scheurbuik)
D	- de resorptie van calcium en het vastleggen van calcium in beenderen en het gebit - een goede werking van de spieren en het immuunsysteem	- margarine, eidooier, vette vis, paddenstoelen - kan in de huid worden gevormd onder invloed van ultraviolette straling in zonlicht	- ontkalken van beenderen - vergroeiingen (rachitis)
K	een goede bloedstolling	groene bladgroenten, fruit, melk, melkproducten, vlees, eieren, granen	stoornissen in de bloedstolling (bloedingen)

Opdrachten **KENNIS**

- 7 Vitamine C is onmisbaar voor de vorming van collageen. Collageen zorgt voor stevigheid en elasticiteit van bindweefsels in onder andere je huid, botten, bloedvaten en tussen je organen. Bij de productie van collageen worden, zoals bij een touw, drie collageenvezels met behulp van verschillende enzymen in elkaar gedraaid voor een stevigere structuur. Afbeelding 10 geeft de werking van een van deze enzymen weer.
- Leg uit dat vitamine C nodig is om de chemische reactie in het enzym te laten verlopen.
 - Naar schatting heeft de ziekte scheurbuik sinds het jaar 1500 aan twee miljoen zeelieden het leven gekost. Symptomen die horen bij scheurbuik zijn onder andere bloedend tandvlees en blauwe plekken die ontstaan door spontane inwendige bloedingen.
Verklaar deze symptomen. Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 82A.

■ **Afb. 10** De werking van een enzym bij de vorming van collageen.



- 8
- Waarom geven veel ouders hun opgroeiende kinderen in de wintermaanden extra vitamine D?
 - Voor welke doelgroep is het toedienen van extra vitamine K van belang?
Leg je antwoord uit. Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 82A.
 - Volwassenen die langdurig antibiotica gebruiken, kunnen een tekort aan vitamine K krijgen, met als gevolg dat de bloedstolling langzamer gaat.
Leg uit hoe een tekort aan vitamine K kan ontstaan door antibiotica te gebruiken.

Opdrachten **INZICHT**

- 9 Woestijnratten kunnen onder extreem droge omstandigheden leven. Het voornaamste probleem van woestijndieren is waterverlies via de uitgeademde lucht. Woestijnratten hebben speciale neusbeenderen waarop de waterdamp in de uitademingslucht condenseert, waarna ze het water opnieuw in hun lichaam opnemen. Woestijnratten eten insecten, zaden en ander plantaardig materiaal.
Woestijnratten hoeven nooit te drinken. Op welke twee manieren komen zij toch aan voldoende water?

- 10 Een kaliumtekort komt niet vaak voor. Je kunt het onder andere herkennen aan verzwakte spieren.
- Leg uit hoe een kaliumtekort leidt tot verzwakte spieren.
 - Leg uit dat je van mineralen en vitaminen die dienen als cofactor om enzymen goed te laten werken, maar zeer kleine hoeveelheden in je voeding nodig hebt.
- 11 Waterintoxicatie of watervergiftiging kan ontstaan wanneer iemand te veel water drinkt. In 2022 overleed een Nederlands 18-jarig meisje nadat ze een grote hoeveelheid water had gedronken. Ze was onder invloed van drugs.
- Leg uit welke gevolgen het drinken van te veel water heeft voor de lichaamscellen.
 - Kenmerken die horen bij een waterintoxicatie zijn onder andere opgezwollen handen en voeten, maar ook hoofdpijn. Verklaar deze hoofdpijn.
- 12 Rachel kan kiezen tussen een banaan en een avocado als tussendoortje. Een avocado levert bijna twee keer zoveel energie als een banaan. Leg met behulp van tabel 3 uit waardoor een avocado veel meer energie levert dan een banaan.

Tabel 3 Samenstelling van banaan en avocado.

	Energie	Energie	Water	Eiwit	Koolhydraten	Suikers	Vet	Verzadigd vet	Enkelvoudig onverzadigd vet	Meervoudig onverzadigd vet	Cholesterol	Vezels
Eenheid per 100 g	kcal	kJ	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	g
Banaan	86	363	76,8	1,2	18,8	18,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	2,0
Avocado	188	790	70,4	2,6	1,5	1,4	18,1	3,8	11,3	2,0	0,0	6,4

- 13 Gedurende de zoogperiode bij een schaap is de hoeveelheid bloed die naar de melkklieren stroomt drie keer zo groot als in de periode waarin het schaap niet zoogt. Van de glucose die wordt aangevoerd, wordt 60 tot 90% door de cellen van de melkklieren opgenomen. Bij een schaap in de zoogperiode werd met ^{14}C (radioactief koolstof) gemerkte glucose in een ader ingespoten. Iets later werd radioactiviteit in de melk aangetoond. De ^{14}C die in de melk werd gemeten, bevond zich vooral in twee van de in tabel 4 genoemde bestanddelen. Welke twee bestanddelen zijn dat? Leg je antwoord uit.

Tabel 4 Samenstelling van bloedplasma en van melk van een zogend schaap.

Bestanddelen	In bloedplasma (in gram per 100 g)	In melk (in gram per 100 g)
Eiwitten	7,0	1,3
Glucose	0,1	0,0
Lactose	0	7,1
Vetten	0,7 – 1,0	4,1
Water	91,0	87,0

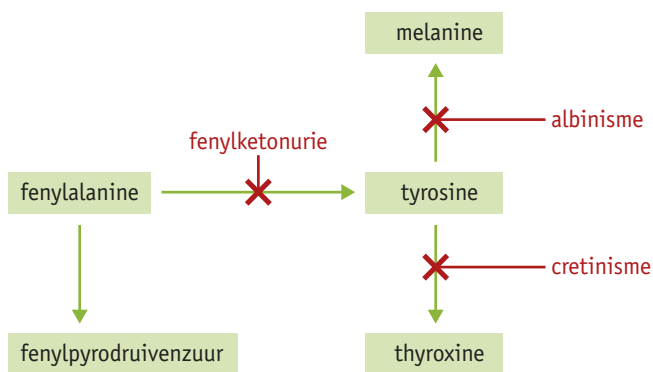
- 14 Fenylketonurie (PKU) is een aangeboren stofwisselingsziekte waarbij de omzetting van het aminozuur fenylalanine naar een ander aminozuur tyrosine niet goed kan plaatsvinden. Dit komt doordat het enzym fenylalaninehydroxylase niet goed werkt, waardoor dit aminozuur zich in het bloed en het ruggenmergvocht ophoopt. Hierdoor treedt een chemisch proces op, waardoor zenuwcellen beschadigd raken. Dit leidt uiteindelijk tot hersenbeschadiging.

Kinderen bij wie kort na de geboorte PKU wordt gediagnosticeerd, moeten zich hun hele leven houden aan een strikt dieet zonder eiwitten.

Tyrosine is een uitgangsstof voor de aanmaak van een aantal belangrijke hormonen en neurotransmitters, zoals de schildklierhormonen en dopamine. Ook is tyrosine de voornaamste grondstof van het pigment melanine (zie afbeelding 11).

- a Welke symptomen zal iemand met onbehandelde PKU door het tekort aan tyrosine onder andere vertonen?
- b Tyrosine is een niet-essentieel aminozuur.
Geldt dat ook voor PKU-patiënten? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 11** De werking van een enzym bij de vorming van collageen.



📺 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

TIK ... TOK!

Nietsvermoedend tik je je eitje open bij het ontbijt op zondagochtend. Er blijkt een embryo van een kip in te zitten! Zou je het nog opeten? Waarschijnlijk niet. Sterker nog, je gruwelt misschien al bij het idee alleen. Toch wordt zo'n ei met daarin een zich ontwikkelend embryo in Zuid-Aziatische landen gezien als een delicatessen. Een *balut* wordt het genoemd (zie afbeelding 12): een ei, meestal van een eend, met daarin een bijna volledig ontwikkeld embryo, dat wordt gekookt of gestoomd.

In Canada kan het zijn dat je *Rocky Mountain oysters* krijgt voorgeschoteld. Als je nu denkt: oesters, die lust ik wel, lees dan toch even verder. Rocky Mountain oysters zijn geen oesters. Het zijn de testikels van stieren of zwijnen. Zonder het velletje en met een laagje paneermeel, gefrituurd en geserveerd met een beetje cocktailsaus. Smullen toch?

In Korea kun je genieten van *sannakji*: levende stukjes octopus, besprenkeld met sesamzaadjes. De stukjes octopus maken nog stuiptrekkende bewegingen wanneer het gerecht wordt geserveerd en de zuignapjes op de tentakels zijn nog actief. Blijven ze vastzitten in je keel, dan bestaat er een kans dat je stikt in de tentakels. Een risicovol hapje.

Ook Nederlanders houden er rare eetgewoontes op na. De traditionele haring met uitjes zal niet door iedereen worden gewaardeerd. Maar als je moet kiezen tussen een 'Hollandse nieuwe' en een balut ...

■ Afb. 12 Een balut, een Zuid-Aziatische lekkernij.



Opdrachten

- 15 Een balut-ei wordt gekookt en gegeten als het tussen de 17 en 21 dagen oud is. Het embryo is dan al ver, maar nog niet volledig ontwikkeld. Welk mineraal krijg je wel binnen als je een balut eet en niet als je een gewoon gekookt ei eet?
- 16 Tegen het eten van levende dieren zoals de sannakji bestaan ethische bezwaren. Noem zo'n ethisch bezwaar.
- 17 Bij fermentatie worden bacteriën, schimmels en gisten gebruikt om een voedingsmiddel te maken. Bekende voorbeelden van gefermenteerde producten zijn yoghurt, bier en zuurkool. De micro-organismen zetten suikers

in een product om in alcohol of melkzuur. Dit geeft het product de typerende smaak.

- a Om welke vorm van dissimilatie gaat het bij fermentatie? Leg je antwoord uit.
- b Voedingsmiddelen die besmet raken met een schimmel of bacterie kunnen bederven. Wat is het verschil tussen fermenteren en het bederven van voedsel?
- c Gefermenteerde voedingsmiddelen zijn soms beter verteerbaar. Leg uit hoe dat komt.

2 HET VERTERINGS-STELSEL

LEERDOELEN

- 12.2.1** Je kunt de bouw, werking en functies van de verteringsorganen van de mens beschrijven en de relatie tussen bouw en functie uitleggen.
- 12.2.2** Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen verteringsorganen en verteringsstelsels van de mens en van andere eukaryoten.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	12.2.1	12.2.2
Begrijpen	18, 19, 20	21, 22
Toepassen	23	24b, 26a, 28bd, 29
Analyseren		24a, 25, 26b, 27, 28ac

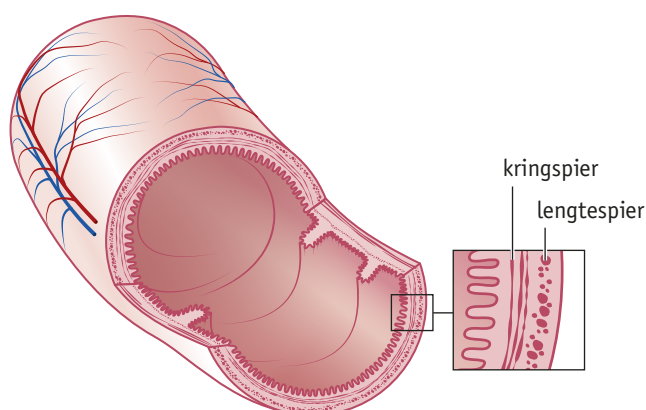
Bij je spijsvertering zijn allerlei organen betrokken. Via je mond komt voedsel binnen en via je anus verlaten onverteerde resten je lichaam. Onderweg wordt het voedsel verteerd en neem je voedingsstoffen uit het voedsel op in je bloed.

HET DARMKANAAL

In het darmkanaal (verteringskanaal) vindt (**spijs**)**vertering** van het voedsel plaats (zie **BiNaS** tabel 82C). Grote organische moleculen (eiwitten, koolhydraten en vetten) uit de voedselbrij worden met behulp van enzymen afgebroken tot kleine moleculen: de **verteringsproducten**. Die neem je vervolgens via de cellen van je darmwand op in je bloed. In je lichaam kun je van deze kleine moleculen tijdens de voortgezette assimilatie weer grote moleculen maken.

In de wand van het hele darmkanaal bevinden zich **kringspieren** en **lengtespieren** (zie afbeelding 13). Door het afwisselend samentrekken van deze spieren ontstaat de **darmperistaltiek**. Hierdoor wordt de voedselbrij voortgeduwd, gekneed en goed

■ **Afb. 13** Kringspieren en lengtespieren in het darmkanaal.

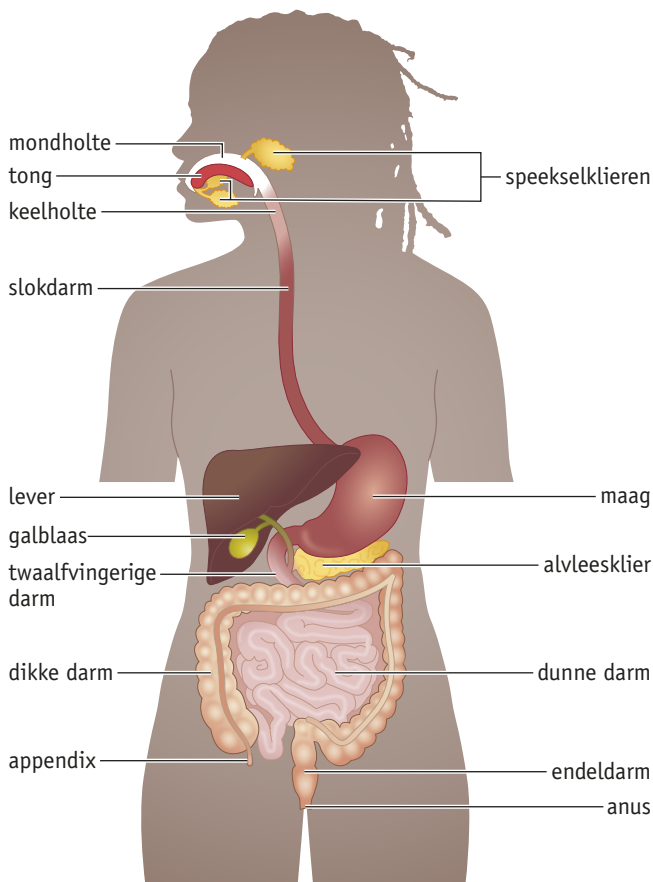


gemengd met de **verteringssappen** die verteringsklieren afgeven aan de voedselbrij in het darmkanaal (zie **BiNaS** tabel 82F). Veel verteringssappen bevatten enzymen.

De darmperistaltiek wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel. Je kunt de peristaltische bewegingen dus niet bewust versnellen of vertragen. Voedingsvezels en lichaamsbeweging stimuleren de darmperistaltiek, vooral in de dikke darm. Hierdoor verloopt de stoelgang goed.

In afbeelding 14 is het verteringsstelsel van de mens getekend. Het voedsel ondergaat in je darmkanaal allerlei bewerkingen. Het kauwen van voedsel met je gebit en het kneden en mengen van de voedselbrij door de darmperistaltiek noem je **mechanische vertering**. Hierdoor kunnen enzymen uit verteringssappen beter op het voedsel inwerken. De bewerking van voedsel door enzymen noem je **chemische vertering**.

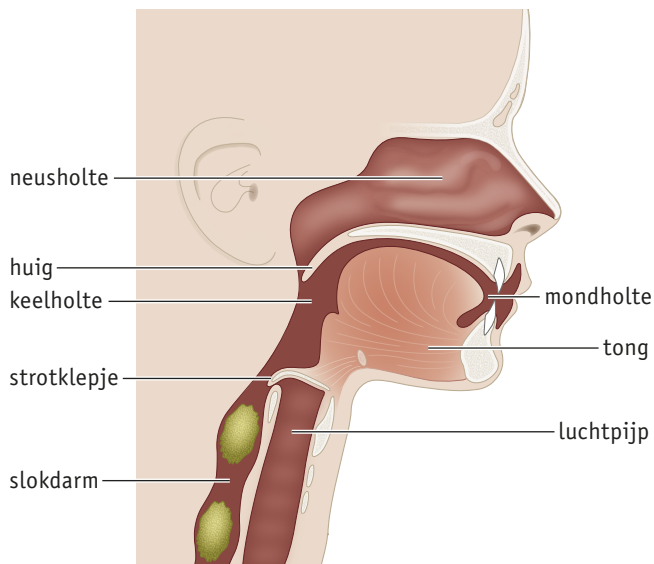
■ **Afb. 14** Het verteringsstelsel van de mens.



DE VERTERINGSORGANEN

Snijtanden en hoektanden gebruik je vooral voor het afbijten van stukken voedsel. Voedsel kauwen doe je met je kiezen. Door te kauwen verdeel je het voedsel in kleine stukjes, waardoor het totale oppervlak wordt vergroot. Ook meng je het voedsel met speeksel. De enzymen in speeksel kunnen daardoor goed op het voedsel inwerken en het inslikken van de voedselbrokken gaat gemakkelijker, doordat speeksel slijmerig is. Met de tong duw je het gekauwde voedsel naar de keelholte. Voedsel in de keelholte veroorzaakt prikkels die de slikreflex in werking zetten (zie afbeelding 15). De neusholte wordt afgesloten met de huig. Tegelijkertijd beweegt het strottenhoofd iets omhoog en het strotklepje kantelt naar achteren. Daardoor wordt de toegang naar de luchtpijp afgesloten. Het voedsel kan dan alleen de **slokdarm** in.

■ Afb. 15 De slikreflex.

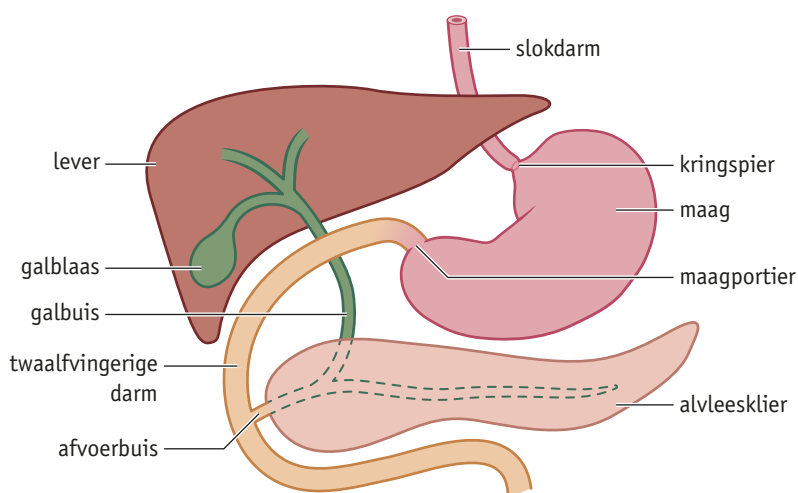


Het slikken zet in de slokdarm peristaltische bewegingen in werking, zodat het voedsel naar de **maag** wordt getransporteerd. De maag heeft bij de ingang en uitgang een kringspier die de passage van voedsel reguleert. De kringspier tussen slokdarm en maag ontspant na het slikken, waardoor het voedsel in de maag terechtkomt. In de maag wordt het voedsel tijdelijk opgeslagen, doordat de andere kringspier (de maagportier of *pylorus*) de uitgang afsluit. Gemiddeld blijft een maaltijd drie tot vier uur in de maag, zodat verteringssappen goed op het voedsel kunnen inwerken.

Kliertjes in de wand van de maag voegen maagsap toe aan het ingeslikte voedsel. Maagsap bevat onder andere een enzym, zoutzuur (HCl) en slijm. Het zoutzuur zorgt voor een sterk zuur milieu in de maag. Dit doodt bacteriën die met het voedsel zijn meegekomen. Het slijm vormt een beschermende laag tegen de binnenzijde van de maagwand. Dit verhindert dat het maagsap de epitheelcellen van de maagwand aantast.

Van tijd tot tijd ontspant de maagportier. Een kleine hoeveelheid voedsel gaat dan door naar de **twalfvingerige darm**. Die vormt het eerste gedeelte van de dunne darm. In de twalfvingerige darm monden de afvoerbuizen van de lever en de alvleesklier uit (zie afbeelding 16).

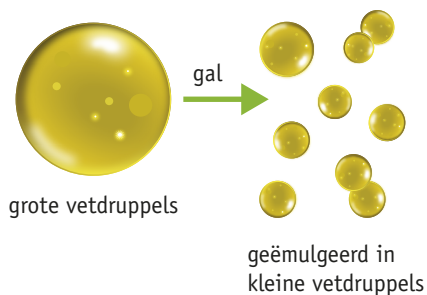
■ Afb. 16 De ligging van de maag, lever, galblaas, alvleesklier en twalfvingerige darm.



GAL, ALVLEESSAP EN DARMSAP

De lever produceert **gal**. Gal wordt tijdelijk opgeslagen in de **galblaas**. De galblaas geeft gal af via de galbuis als vethoudend voedsel de wand van de twaalfvingerige darm passeert. Gal bevat galkleurstoffen en galzuren. De **galkleurstoffen** zijn afbraakproducten van dode rode bloedcellen. Ze geven de bruine kleur aan de ontlasting. De galzuren worden omgezet in galzouten. Deze **galzouten** verdelen grote vetdruppels in het voedsel in kleine druppeltjes. Dit heet **emulgeren** (zie afbeelding 17). Dat is nodig, omdat vetten en oliën niet mengen met water, maar grote druppels vormen (zie afbeelding 18). Door emulgeren wordt de totale oppervlakte van de vetdruppels veel groter en kunnen de enzymen er beter op inwerken. De vertering van vetten verloopt dan sneller.

■ Afb. 17 Gal emulgeert vetten.



■ Afb. 18 Water met vetdruppels.



De **alvleesklier** (pancreas) produceert alvleessap. Dit komt via een afvoerbuys terecht bij het voedsel in de twaalfvingerige darm. In de wand van de dunne darm bevinden zich kliertjes die darmsap afscheiden. Alvleessap en darmsap bevatten verschillende enzymen.

Opdrachten KENNIS

- 18 a Door veel plantaardig voedsel te eten, kun je een verstopping (constipatie) voorkomen. Leg dat uit.
b Kan er voedsel van je mond in je maag komen als je op je hoofd staat? Leg je antwoord uit.
- 19 Leg uit op welke manier de mechanische vertering de chemische vertering ondersteunt.
- 20 Gal is geen enzym. Leg dat uit.

VERTERING BIJ DIEREN

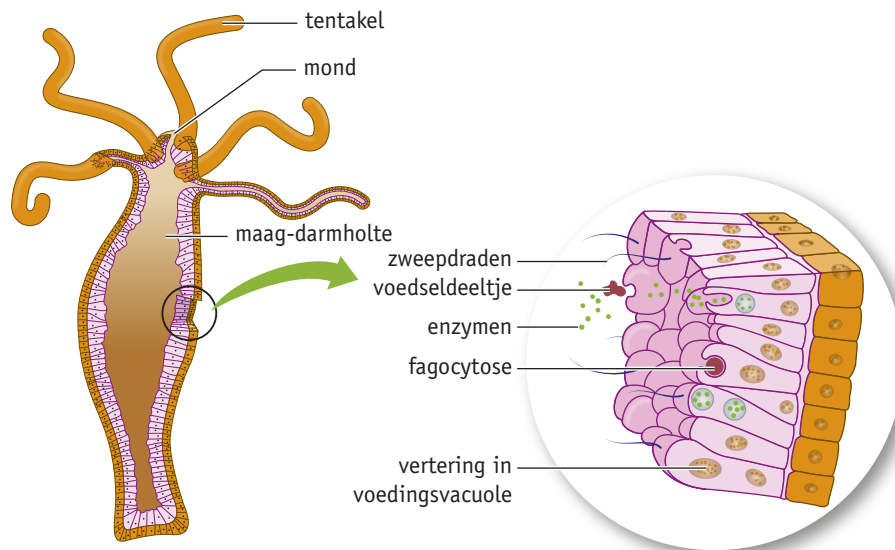
De meeste heterotrofe organismen kunnen vrij bewegen en hebben aanpassingen om voedsel te bemachtigen, op te nemen en te verwerken. De manier waarop voedsel wordt verteerd, verschilt per organisme.

Sommige eencellige organismen nemen voedsel op door fagocytose: het instulpen van het celmembran en het afsnoeren van blaasjes. Bij amoeben en pantoffeldiertjes versmelten deze voedingsvacuolen met lysosomen, waarin zich verteringsenzymen bevinden. De verteringsproducten die dan ontstaan, worden via het membraan van de

voedingsvacuole opgenomen in het cytoplasma. Bij deze organismen vindt de vertering in de cel plaats. Dit noem je intracellulaire vertering.

Eenvoudige meercellige organismen hebben een ingewikkeldere bouw en spijsverteringsstelsel. De vertering vindt meestal plaats in een speciale ruimte in het lichaam: de maag-darmholte. Deze holte heeft slechts één opening die mond en anus tegelijk is en komt onder andere bij de zoetwaterpoliep voor (zie afbeelding 19). De cellen van de poliep geven enzymen af die voedseldeeltjes afbreken buiten de cel, in de maag-darmholte. Dit noem je extracellulaire vertering. De vertering wordt afgemaakt, doordat de poliep de afgebroken voedseldeeltjes door fagocytose opneemt in de cellen en daar verder verteert.

■ Afb. 19 Lengtedoorsnede van een zoetwaterpoliep (hydra).



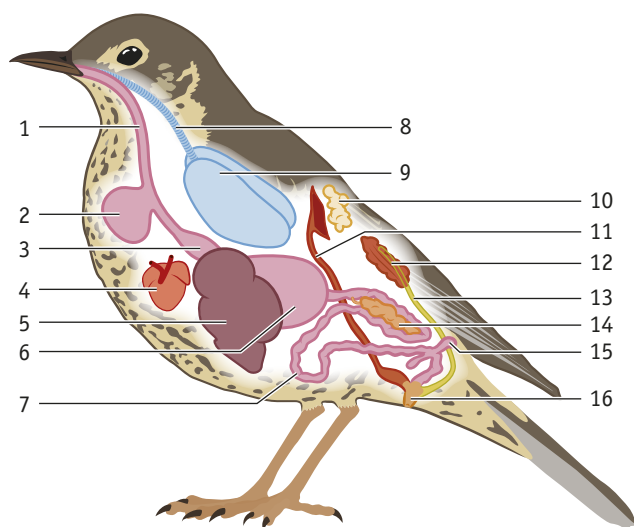
Complexer gebouwde organismen, zoals rondwormen, hebben een darmkanaal met een mond en een anus. De ingang van het darmkanaal is bij deze dieren een orgaan om voedsel mee te grijpen en naar binnen te werken. Een doorlopend spijsverteringskanaal maakt eenrichtingsverkeer van het voedsel mogelijk. Hierdoor kan het voedsel veel efficiënter worden bewerkt en verwerkt. De vertering vindt extracellulair in het darmkanaal plaats. De cellen van het darmkanaal nemen alleen de bruikbare eindproducten van de vertering op.

Bij veel dieren bestaat het darmkanaal uit gespecialiseerde compartimenten. In elk compartiment worden bepaalde voedingsstoffen verteerd en opgenomen, doordat de omstandigheden daar optimaal zijn voor de bijbehorende verteringsenzymen. Vogels en sommige insecten hebben een krop om voedsel tijdelijk op te slaan en te waken. De maag is bij veel organismen het gedeelte van het darmkanaal waar de eerste vertering plaatsvindt. In de rest van het darmkanaal vindt de verdere vertering plaats. Ongewervelde dieren en vogels gebruiken vaak hun maag voor het kauwen (spiermaag). Vogels hebben voor deze spiermaag nog een kliermaag, waarin zoutzuur en pepsine worden afgescheiden voor de vertering. Uit deze adaptaties blijkt dat dieren organen bezitten die zijn aangepast aan hun leefwijze.

- 21 a Leg uit waarom sommige vogelsoorten steentjes inslikken die terechtkomen in de spiermaag.
- b Het verteringsstelsel van vogels bevat een krop: een holte in de keel waar het voedsel tijdelijk wordt opgeslagen (zie afbeelding 20). Het voedsel wordt vanuit de krop geleidelijk doorgegeven aan de maag. Het voedsel kan echter ook terug naar de snavel (reflux).
In welke situatie is deze reflux voor een vogel functioneel?
- c Welk deel van het menselijk verteringsstelsel heeft een vergelijkbare functie als de spiermaag van een vogel?
- d Sommige vogelsoorten slikken schelpjes in. Deze komen terecht in de spiermaag. De schelpjes bevatten calcium. Dit mineraal hebben vogels nodig voor de opbouw van hun skelet. Daarnaast heeft calcium voor vogels nog een belangrijke functie. Welke functie is dat?
- e Uilen slikken hun prooi in z'n geheel in. Niet alle delen van de prooi kunnen worden verteerd in het verteringsstelsel van de uil. Niet-verteerde delen persen ze samen tot een zogenoemde 'braakbal' en spugen ze uit.
Leg uit dat het bestuderen van zo'n 'braakbal' informatie levert over het ecosysteem waarin een uil leeft.

■ **Afb. 20** Het verteringsstelsel van een vogel.

inwendige organen van een vogel



1 slokdarm	5 lever	9 longen	13 urineleider
2 krop	6 spiermaag	10 eierstok	14 alvleesklier
3 kliermaag	7 dunne darm	11 eileider	15 blindedarm
4 hart	8 luchtpijp	12 nier	16 cloaca

- 22 Eencellige organismen voeden zich door middel van fagocytose en intracellulaire vertering.
Leg uit waarom deze manier van vertering niet geschikt is voor grotere organismen.

- 23** Bij een voedselinfectie krijg je met je voedsel een ziekmakende hoeveelheid micro-organismen binnen. Sommige van deze micro-organismen produceren afvalstoffen die giftig zijn voor de mens. Een voedselinfectie gaat vaak gepaard met buikkrampen.
- Leg uit hoe deze buikkrampen tot stand komen.
 - Waarom zijn deze symptomen in het geval van een voedselinfectie functioneel?
 - Bij uitzondering treedt een antiperistaltische beweging op in het verteringsstelsel. Leg uit in welke situatie dit is.
 - Waarom is deze antiperistaltische beweging in het geval van een voedselinfectie functioneel?
- 24** Soms komt er wat van de zure inhoud van de maag in de slokdarm terecht. De wand van de slokdarm is hier niet goed tegen bestand. Het geeft een onprettig gevoel en je spreekt van 'brandend maagzuur'.
- Verklaar dat dit relatief vaak voorkomt bij mensen met overgewicht en zwangere vrouwen.
 - Om 'brandend maagzuur' te voorkomen, kan een arts maagzuurremmers voorschrijven. Deze medicijnen maken het maagsap minder zuur. Welke nadelen kan het gebruik van maagzuurremmers met zich meebrengen?
- 25** Ingedikte gal in de galblaas of galbuis kan leiden tot galstenen (zie afbeelding 21). Galstenen kunnen de galbuis verstoppen en de afgifte van gal belemmeren. Om deze diagnose te stellen, zal een arts informeren naar de klachten van de patiënt. Vervolgens wordt er een bloedonderzoek uitgevoerd en kan er een scan of echo worden gemaakt. Ook een onderzoek van de ontlasting behoort tot de mogelijkheden.
- Naar welke twee kenmerken in de ontlasting zal in dit geval worden gekeken? Leg je antwoord uit.
 - Indien nodig wordt bij galstenen door middel van een operatie de gehele galblaas verwijderd. Welk voedingsadvies zal een patiënt krijgen bij wie de galblaas is verwijderd?
- 26** Een te hoge inname van vitamine A kan nadelige gevolgen hebben voor de gezondheid, zoals hoofdpijn, misselijkheid, vermoeidheid en schade aan ogen en skelet. Ook kan te veel vitamine A aangeboren afwijkingen bij baby's veroorzaken. Vitamine A wordt bij mensen en dieren in de lever opgeslagen.
- Leverworst bevat 4,5 mg vitamine A per 100 gram. De aanbevolen dagelijkse hoeveelheid vitamine A voor zwangere vrouwen is 750 µg.
- Bereken hoeveel leverworst een zwangere vrouw maximaal per dag mag eten.
 - Leg uit waarom het voor zwangere vrouwen verstandig is om minder leverworst te eten dan je bij vraag a hebt berekend.
- 27** Het verteringsstelsel van een vogel lijkt in sommige delen op dat van de mens. Er zijn ook verschillen (zie afbeelding 20). Welk groot verschil is er tussen de anus van een mens en de cloaca van een vogel?

■ **Afb. 21** Galstenen.



 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

WAT KUN JE LEREN VAN POEP?

Poep, je kunt het vies vinden, maar ook interessant. Poep zegt veel over zowel het voedsel als de gezondheid van de eigenaar. Door te kijken naar poep kun je onderscheid maken tussen carnivoren (vleeseters), omnivoren (alleseters) en herbivoren (planteneters).

Een carnivoor heeft naar verhouding de minste poep, die smeugig is en stinkt. Carnivoren hebben een relatief kort verteringsstelsel.

Het verteringsstelsel van herbivoren is in verhouding tot hun lichaam lang. Hun poep is droog en de hoeveelheid is groot. Een aanzienlijk deel van wat ze eten, poepen ze onverteerd weer uit. Het verteringsstelsel van herbivoren bevat meestal veel levende micro-organismen. Deze micro-organismen helpen de herbivoren met de vertering van het plantaardig voedsel, dat voor een deel bestaat uit de voor zoogdieren onverteerbare stof cellulose. Desondanks zie je in de poep van bijvoorbeeld paarden of olifanten nog duidelijk de plantaardige vezels terug.

Misschien wel de meest 'inefficiënte eter' is de reuzenpanda (zie afbeelding 22). Een reuzenpanda eet

bamboe, maar dat is voor het dier eigenlijk helemaal geen geschikt voedsel. Hij kan het namelijk zó slecht verteren, dat hij meer dan 80% weer uitpoept. Een reuzenpanda is dan ook eigenlijk een roofdier met het korte en simpele darmstelsel van een vleeseter. Reuzenpanda's hebben geen vezelafbrekende bacteriën in hun darmen. Microbiologen die het DNA van darmbacteriën in reuzenpandapoep onder de loep namen, zagen de darmflora van een vleeseter. Om toch aan voldoende voedingsstoffen te komen, eten reuzenpanda's soms wel veertien uur per dag tot wel een derde van hun gewicht aan bamboe.

■ Afb. 22 Een reuzenpanda.



Opdrachten

- 28** Een volwassen reuzenpanda weegt gemiddeld 120 kg en kan wel 100 drollen per dag produceren. Bamboe bestaat uit 50% cellulose, 20% hemicellulose, 23% lignine en 7% overige stoffen. Reuzenpanda's verteren ongeveer 8% van de cellulose en 27% van de hemicellulose. Lignine en de overige stoffen zijn niet verteerbaar.
- a** Bereken hoeveel onverteerd bamboe een reuzenpanda met een gemiddeld gewicht uitpoept via zijn ontlasting als hij een derde van zijn gewicht aan bamboe eet.
 - b** Leptine is een verzadigingshormoon dat aan de hersenen het signaal geeft dat je voldoende hebt gegeten. Het gen voor de aanmaak van leptine is bij reuzenpanda's verminderd actief.

Leg uit dat dit het voor reuzenpanda's gemakkelijker maakt om te overleven op een bamboedieet.

- c** Wetenschappers hebben ontdekt dat reuzenpanda's in vergelijking met andere beren kleine hersenen, nieren en levers hebben. Wat is hiervan het voordeel?
- d** Waarom is het voor andere planteneters gemakkelijker dan voor de reuzenpanda om voldoende voedingsstoffen en energie uit planten te halen?

- 29** De poep van herbivoren bevat relatief veel onverteerde resten. Leg uit dat deze poep hierdoor meer geschikt is om als mest te gebruiken dan de poep van carnivoren.

3 CHEMISCHE VERTERING

LEERDOELEN

12.3.1 Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden verteerd in het verteringsstelsel.

12.3.2 Je kunt de werking van verteringsenzymen beschrijven.

► Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)

► Practicum 3

📁 Practica 4 en 5

TAXONOMIE

LEERDOELEN EN OPDRACHTEN

	12.3.1	12.3.2
Begrijpen	30, 32ad, 34, 35	31, 32bc, 33, 43
Toepassen	39, 41, 42a, 46a	42b, 44
Analyseren	36, 37, 38, 40, 45, 46b	

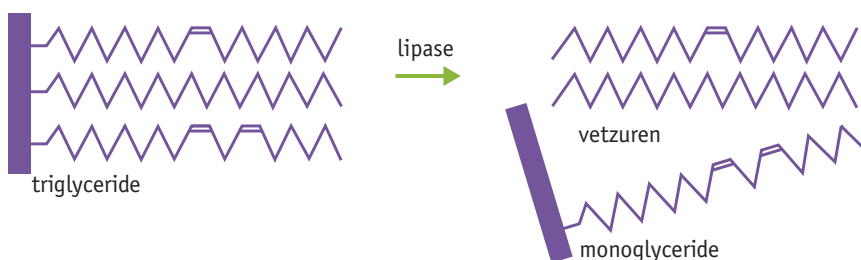
Je eet en drinkt onder andere omdat je lichaam voedingsstoffen nodig heeft. Het voedsel dat je binnenkrijgt, verwerk je tot steeds kleinere brokstukken. Daarbij spelen enzymen een belangrijke rol. Uiteindelijk kun je de voedingsstoffen via je darmkanaal in je bloed opnemen.

HET VERTERINGSPROCES

In je verteringsstelsel breek je voedingsmiddelen af tot opneembare voedingsstoffen. Niet alle voedingsstoffen in je voedsel hoeft je af te breken. Monosachariden, water, mineralen en vitaminen kunnen zonder vertering in je bloed worden opgenomen. Eiwitten, disachariden, polysachariden en vetten moet je eerst verteren.

Eiwitmoleculen breek je met **enzymen voor eiwitvertering** af tot afzonderlijke aminozuurmoleculen. Moleculen van polysachariden en disachariden worden door **enzymen voor koolhydraatvertering** gesplitst tot monosachariden. Vetmoleculen (triglyceriden) verteert je met **enzymen voor vetvertering** tot afzonderlijke glycerolmoleculen en vetzuurmoleculen. Bij een deel van de vetmoleculen wordt het laatste vetzuur niet afgesplitst en ontstaat een monoglyceride (zie afbeelding 23).

■ **Afb. 23** De vertering van een triglyceride door het enzym lipase.



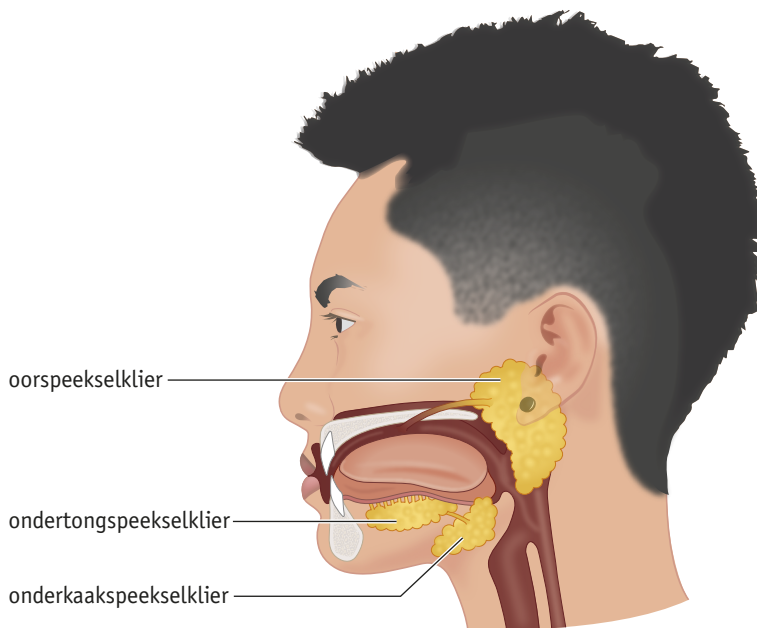
De werking van enzymen wordt beïnvloed door de pH en de temperatuur. Voor alle verteringsenzymen is de lichaamstemperatuur (37 °C) de optimale temperatuur. Het pH-optimum verschilt per enzym.

De enzymen die een rol spelen bij de spijsvertering staan in **BiNaS** tabel 82E en 82G. Een overzicht van de spijsverteringssappen waarin deze enzymen voorkomen, vind je in **BiNaS** tabel 82F.

SPEEKSEL EN MAAGSAP

De chemische vertering begint in je mond. Drie paar **speekselklieren** produceren één tot anderhalve liter speeksel per etmaal (zie afbeelding 24). Het autonome zenuwstelsel regelt de speekselaflgifte. Prikkeling van je zintuigen doordat je voedsel ziet of ruikt, kan leiden tot verhoogde speekselproductie. Je gaat dan 'watertanden'.

■ **Afb. 24** De ligging van de speekselklieren.



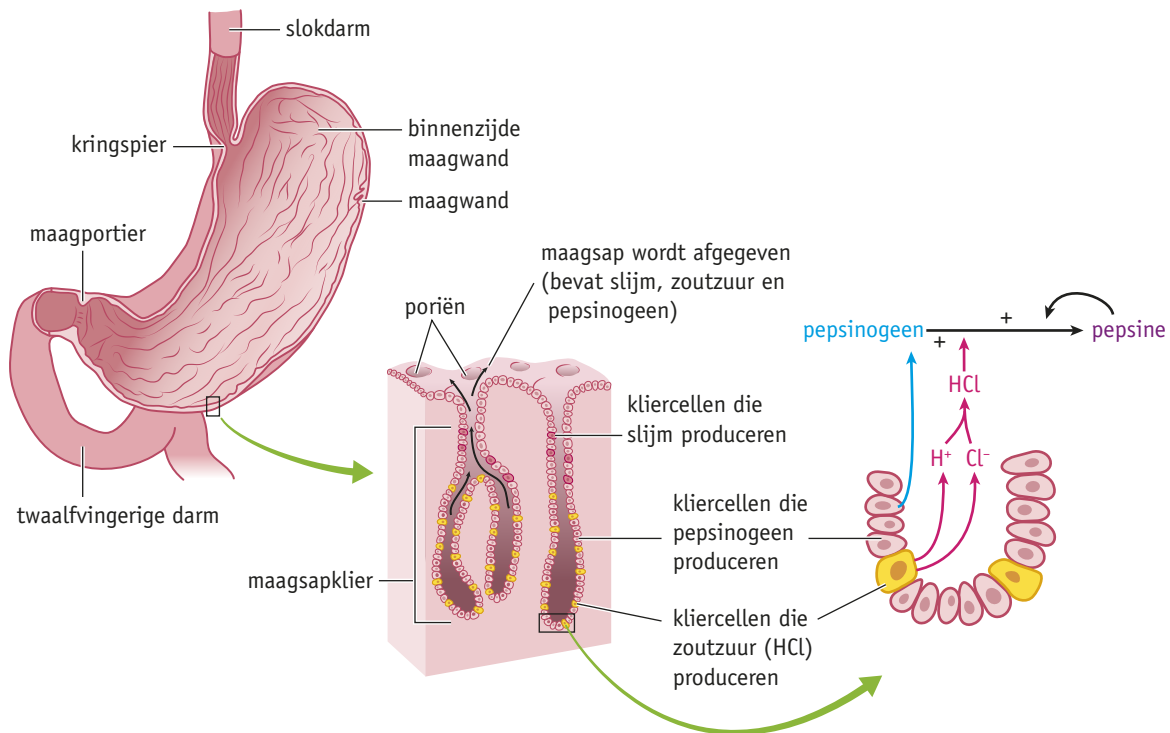
Speeksel bevat het enzym amylase, dat een deel van het zetmeel in het voedsel afbreekt tot maltose (een disacharide). Amylase is werkzaam bij een pH van ongeveer 6 tot 7,5. Het pH-optimum is 6,6. Als voedsel in de maag komt, dringt het zure maagsap geleidelijk in de voedselbrij door. Daardoor daalt langzaam de pH van de voedselbrij. Het gevolg hiervan is dat de amylase die met de voedselbrij mee in de maag is terechtgekomen, na enige tijd onwerkzaam wordt.

Als je voedsel ziet of ruikt, stimuleert het autonome zenuwstelsel klieren in de maagwand om de bestanddelen van maagsap te produceren (zie afbeelding 25). Als het voedsel in de maag is aangekomen, regelt het hormoon gastrine uit de maagwand de productie van maagsap. Een maagsapklier bestaat uit verschillende typen cellen. Een type kliercellen produceert H^+ -ionen en Cl^- -ionen, andere cellen produceren slijm, en weer andere pepsinogeen.

Pepsinogeen is een inactief **pro-enzym**. Na afscheiding in de maag vormen H^+ -ionen en Cl^- -ionen zoutzuur (HCl opgelost in water). Onder invloed van zoutzuur wordt het inactieve pepsinogeen geactiveerd tot het enzym pepsine. Pepsine activeert zelf ook pepsinogeen. Hierdoor is het activeren van pepsinogeen een proces dat zichzelf versterkt. Dit is een voorbeeld van positieve terugkoppeling.

Onder invloed van het enzym pepsine worden eiwitmoleculen gesplitst. De verteringsproducten zijn enkele nog vrij lange aminozuurketens: polypeptiden. Pepsine is alleen werkzaam in een sterk zuur milieu. Het pH-optimum is 2,5.

■ **Afb. 25** De maag en de productie van maagsap.

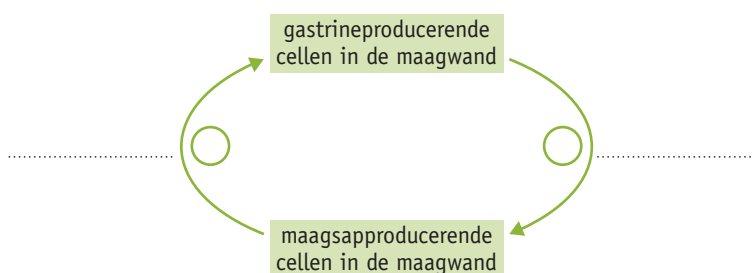


Opdrachten

KENNIS

- 30 In de slokdarm worden geen enzymen aan de voedselbrij toegevoegd. Toch vindt er vertering plaats. Leg dat uit.
- 31 Leg uit dat voor de vertering van vetten andere enzymen nodig zijn dan voor de vertering van eiwitten.
- 32 De productie van maagsap is onder andere afhankelijk van het hormoon gastrine, dat door klieren in de maagwand wordt gevormd wanneer de maagwand wordt opgerekt. De productie van gastrine neemt af zodra de pH van de maaginhoud door de afgifte van zoutzuur lager wordt dan 3. In afbeelding 26 is een schema van het regelmechanisme voor de productie van maagsap getekend.
- Vul in het schema twee stoffen in en noteer in de rondjes een + of een -.
 - Is bij dit regelmechanisme sprake van positieve terugkoppeling of van negatieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.
 - Waarom is het regelmechanisme van afbeelding 26 nodig?
 - Maagsapklieren scheiden H^+ -ionen, Cl^- -ionen en pepsinogeen af. Leg uit waarom het functioneel is dat de maagsapklieren geen zoutzuur en pepsine afscheiden.

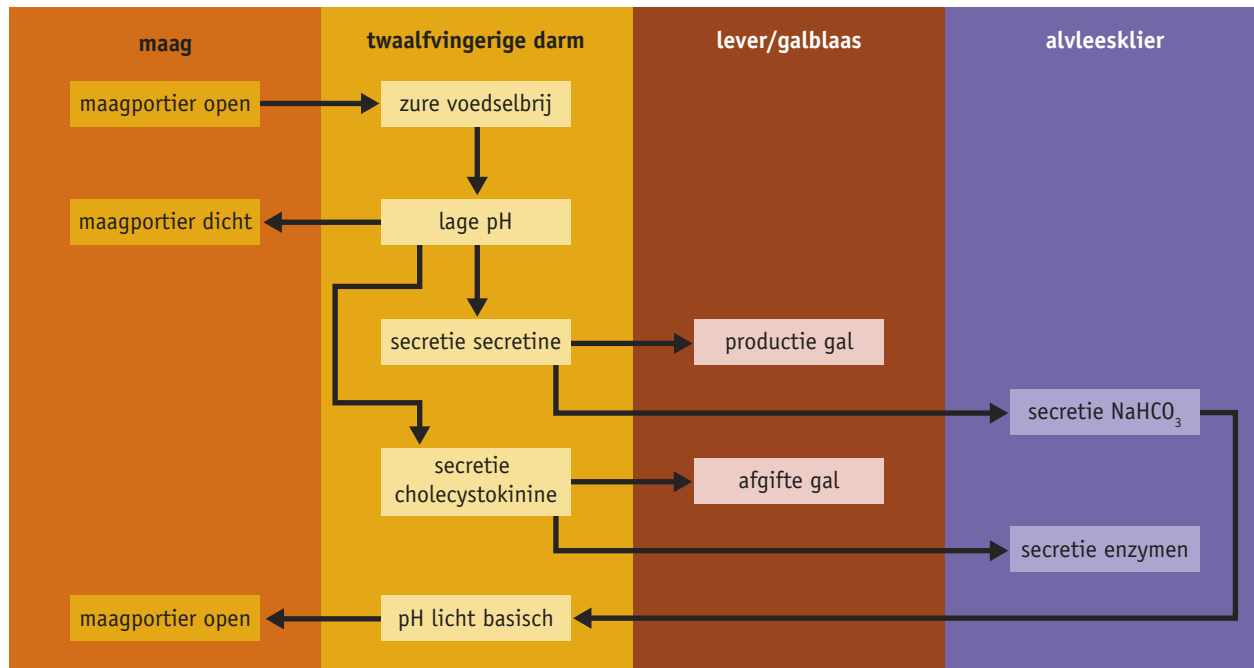
■ **Afb. 26** Productie van maagsap onder invloed van gastrine.



ALVLEESSAP

Het openen en sluiten van de maagportier is afhankelijk van de pH in de twaalfvingerige darm (zie afbeelding 27). Als een kleine hoeveelheid zure voedselbrij uit de maag in de twaalfvingerige darm komt, wordt de pH in de twaalfvingerige darm laag. Het gevolg is dat de kringspier van de maagportier samentrekt. De maagportier wordt daardoor gesloten. Ook stimuleert de zure voedselbrij bepaalde cellen in de wand van de twaalfvingerige darm tot secretie van de hormonen secretine en cholecystokinine.

■ Afb. 27 Regelmechanismen onder invloed van de pH in de twaalfvingerige darm.



Secretine stimuleert de lever tot het produceren van gal en de alvleesklier tot de secretie van natriumwaterstofcarbonaat (NaHCO_3), dat basisch is en HCl uit de maag neutraliseert. Hierdoor stijgt de pH in de twaalfvingerige darm langzaam tot pH 8 à 9. Het gevolg is dat de kringspier van de maagportier ontspant. Er wordt dan weer een nieuwe hoeveelheid zure voedselbrij toegelaten tot de twaalfvingerige darm.

Cholecystokinine stimuleert de galblaas tot de afgifte van gal en stimuleert de alvleesklier tot de secretie van enzymen. De meeste enzymen in alvleessap hebben een pH-optimum van ongeveer 8. Gal zorgt ervoor dat lipase goed kan inwerken op vetten.

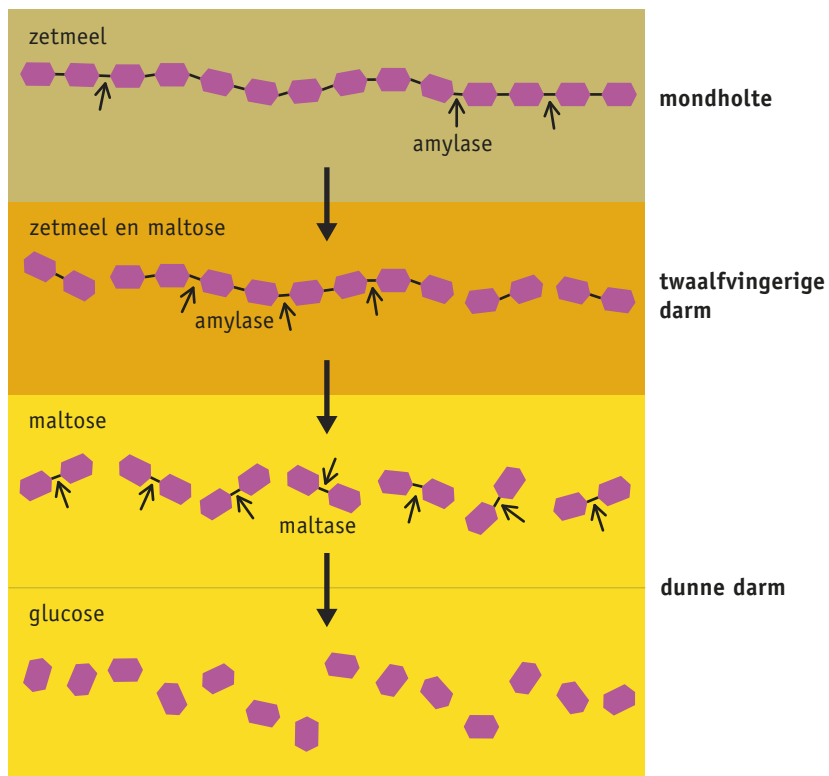
Alvleessap bevat het pro-enzym trypsinogeen en verschillende enzymen: peptidasen, amylase, lipase, DNA-ase en RNA-ase. In de wand van de twaalfvingerige darm wordt het enzym enterokinase gevormd, dat trypsinogeen activeert tot trypsine. Trypsine splitst moleculen van lange polypeptiden in korte polypeptiden. Peptidasen breken deze polypeptiden verder af tot dipeptiden, tripeptiden en aminozuren. Amylase splitst zetmeel in maltose. Lipase breekt triglyceriden af tot glycerol, vetzuren en monoglyceriden. DNA-ase en RNA-ase splitsen DNA en RNA in nucleotiden.

DARMSAP

Door de vertering van vetten komen er steeds meer vetzuren in de twaalfvingerige darm vrij. Hierdoor daalt langzaam de pH van de voedselbrij. Als de voedselbrij in de dunne darm aankomt, is de pH ongeveer 7.

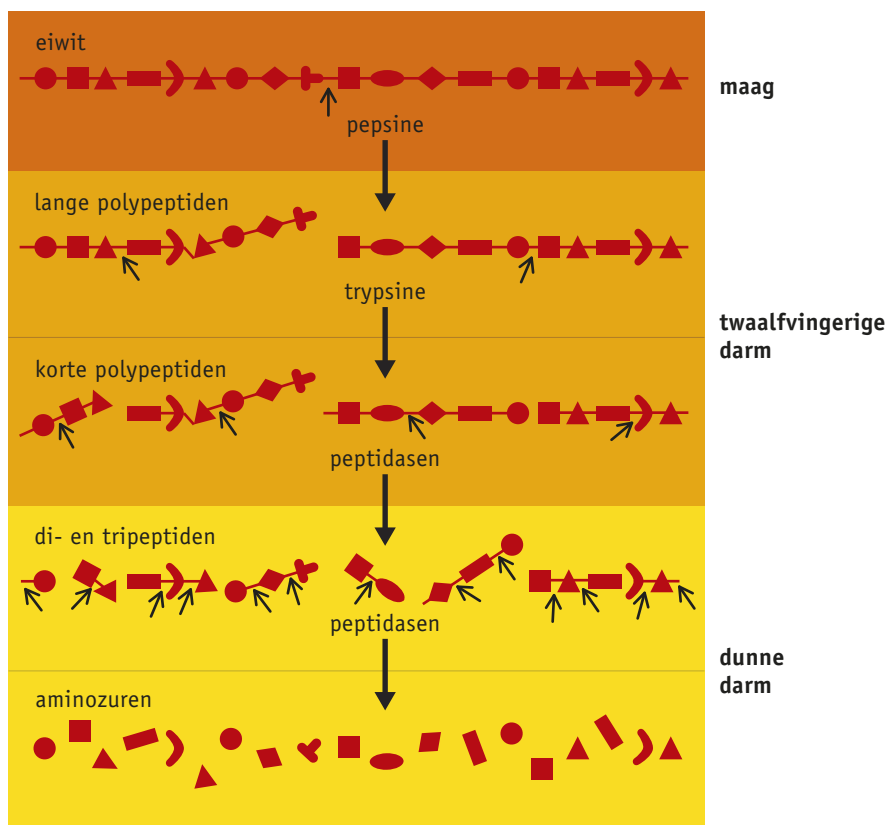
In de dunne darm wordt de vertering van voedingsstoffen voltooid. Darmsap bevat onder andere de enzymen maltase, sacharase, lactase en peptidasen. Maltase splitst een maltosemolecuul in twee glucosemoleculen. Hiermee is de vertering van zetmeel voltooid. In afbeelding 28 is de vertering van zetmeel schematisch weergegeven.

■ **Afb. 28** De vertering van zetmeel.



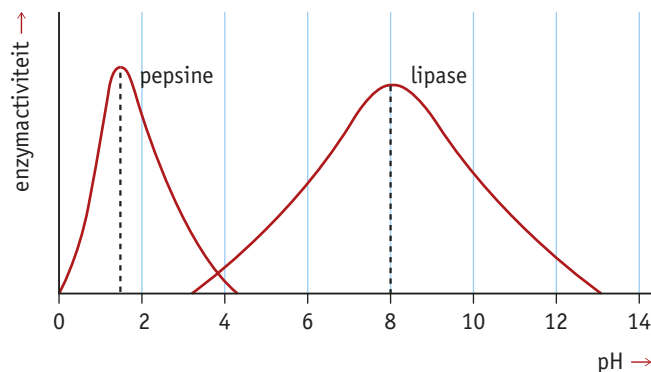
Sacharase verteert sacharose (riet- of bietsuiker) en lactase verteert lactose (melksuiker). In afbeelding 29 is de vertering van een eiwit vanaf de maag tot aan de dunne darm schematisch weergegeven. Peptidasen in het darmsap breken de resterende di- en tripeptiden af tot aminozuren. Hiermee is de vertering van eiwitten voltooid.

■ **Afb. 29** De vertering van een eiwit.



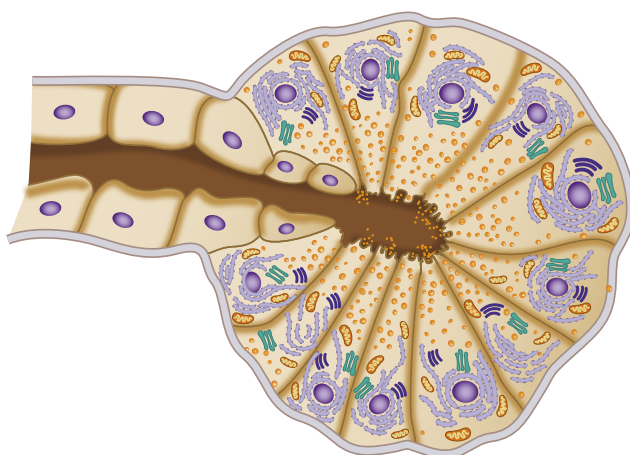
- 33 In afbeelding 30 is het verband tussen de pH en de activiteit van pepsine en lipase in een diagram weergegeven.
- Welk van beide enzymen is het gevoeligst voor veranderingen in de pH? Leg je antwoord uit.
 - Welk van beide enzymen heeft de hoogste optimum pH-waarde? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 30** Het verband tussen de pH-waarde en de activiteit van pepsine en lipase.



- 34 Kliercellen in de alvleesklier (zie afbeelding 31) produceren peptidasen, lipase en andere enzymen en geven die af aan het afvoerkanaal.
- Welk hormoon zorgt ervoor dat de enzymen uit de alvleesklier werkzaam zijn in de twaalfvingerige darm? Leg je antwoord uit.
 - Welk organel komt in deze kliercellen in hoge mate voor? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 31** Kliercellen in de alvleesklier.



35 β -cel in de alvleesklier

Naar: Voorronde Biologie Olympiade Bovenbouw 2020, vraag 1.

Al snel nadat je gegeten hebt, komen verteringsproducten in je bloedsomloop terecht. Een van de stoffen die snel in concentratie kan toenemen, is glucose. Glucose komt onder andere vrij bij de vertering van bietsuiker (sacharose) en van zetmeel. Verteringssappen zijn:

- 1 speeksel
- 2 maagsap
- 3 alveessap
- 4 dunne-darmsap

- Welk van deze verteringssappen bevat of welke bevatten enzymen die nodig zijn voor de vertering van bietsuiker tot opneembare producten?
- Welk van deze verteringssappen bevat of welke bevatten enzymen die nodig zijn voor de vertering van zetmeel tot opneembare producten?

- 36** In de twaalfvingerige darm stijgt de pH van de voedselbrij.
Welke stoffen veroorzaken in de dunne darm weer een lichte daling van de pH?
- 37** Uit onderzoek blijkt dat bij mensen die maagzuurremmers gebruiken ongeveer 20% van de darmflora anders van samenstelling is in vergelijking met mensen die geen maagzuurremmers gebruiken. Ook hebben deze mensen een verhoogde kans op darminfecties.
Hoe kun je dit verklaren?
- 38** Voorafgaand aan de afgifte van enzymen vinden verschillende processen plaats. Enkele van deze processen zijn:
- 1 afgifte aan het endoplasmatisch reticulum;
 - 2 fusie van endosomen met het celmembraan;
 - 3 afsnoering van blaasjes (endosomen) van het golgisysteem;
 - 4 translatie;
 - 5 transport van het endoplasmatisch reticulum naar het golgisysteem;
 - 6 vorming van mRNA.
- Wat is de juiste volgorde waarin deze processen plaatsvinden?
- 39** Uit **BiNaS** tabel 82E blijkt dat ook DNA en RNA substraten zijn. De alvleesklier en dunne darm produceren enzymen om deze moleculen te verteren.
Verklaar waarom deze enzymen in je verteringsstelsel nodig zijn.
- 40** Bij patiënten met diabetes komt met regelmaat exocriene pancreasinsufficiëntie (EPI) voor. De alvleesklier maakt bij deze aandoening te weinig enzymen aan, waardoor de vertering en opname van voedingsstoffen niet goed verloopt.
- a Verklaar dat een van de symptomen van deze aandoening een vette ontlasting is.
 - b Verklaar dat zonder behandeling EPI kan leiden tot vitaminetekorten en de gevolgen daarvan.
- 41** De alvleesklier heeft zowel een endocriene als een exocriene functie.
Geef van beide een voorbeeld.
- 42**
- a In tegenstelling tot de meeste insecten kan een huisvlieg (*Musca domestica*) geen voedsel met kaken verkleinen. Hij zuigt vloeibaar voedsel op met een slurfachtige zuigsnuit. Op vast voedsel brengt een huisvlieg eerst meerdere keren speeksel aan. Leg uit waarom de huisvlieg dit doet.
 - b Zeesterren hebben een maag met kliercellen. Ze kunnen hun maag uitstulpen en daarmee via een kiertje tussen de kleppen een mossel binnendringen.
Wat moet er vervolgens gebeuren om de voedingsstoffen van de mossel te kunnen opnemen?

 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

IS MELK GOED VOOR ELK?

Je lichaam is 24 uur per dag druk bezig met het produceren van allerlei enzymen. Zolang alles goed werkt, merk je er niets van. Pas als er iets niet meer wordt geproduceerd, ontstaat er een probleem, zoals in het geval van lactose-intolerantie.

Mensen die lactose-intolerant zijn, maken het enzym lactase niet of onvoldoende aan en kunnen daardoor lactose niet goed verteren. Lactose komt dan onverteerd in de dikke darm terecht en wordt daar afgebroken door de darmbacteriën. Hierbij komen gassen en bepaalde vetzuren vrij. Daarnaast trekt lactose in de dikke darm vocht aan. Er kunnen klachten ontstaan zoals buikpijn, winderigheid en diarree.

In Nederland is ongeveer 5% van de volwassenen lactose-intolerant. Wereldwijd is lactose-intolerantie meer regel dan uitzondering. Gemiddeld is 65% van de wereldbevolking lactose-intolerant en in sommige landen in Azië of Afrika loopt dat percentage zelfs op tot bijna 100%.

Baby's en jonge kinderen kunnen lactose vrijwel altijd gewoon verteren (zie afbeelding 32). Na enkele jaren neemt de activiteit van het LCT-gen af, waardoor lactose-intolerantie ontstaat. Alleen bij bevolkingsgroepen met een mutatie in het LCT-gen blijft dit gen ook na de zuigelingenperiode op

hetzelfde niveau tot expressie komen. Een mutatie op een van beide allelen is voldoende om normale porties lactosebevattende voedingsmiddelen te kunnen verdragen.

Als je lactose-intolerant bent, kun je natuurlijk alle producten met lactose vermijden. Tegenwoordig kan het ook anders. Er bestaan tabletten die het enzym lactase bevatten. Met deze tabletten kan iemand met lactose-intolerantie toch een keer genieten van een softijsje.

■ **Afb. 32** Baby's en jonge kinderen kunnen lactose meestal wel verteren.



Opdrachten

- 43 Noteer het orgaan waar lactase wordt geproduceerd en beschrijf de omzetting die dit enzym bewerkstelligt.
- 44 Een koemelkallergie is de meest voorkomende voedselallergie bij baby's. Het lichaam reageert dan overgevoelig op de eiwitten die in koemelk zitten. Het afweersysteem start een afweerreactie tegen deze eiwitten. Leg het verschil uit tussen een koemelkallergie en lactose-intolerantie.
- 45 Het vermijden van alle melkproducten kan leiden tot een tekort aan bepaalde voedingsstoffen, zoals calcium en vitamine B12.

Welke alternatieve producten adviseer je aan iemand met lactose-intolerantie? Gebruik eventueel internet.

- 46 Bij een lactosetolerantietest wordt bloed afgenomen bij een nuchter persoon (iemand die nog niets heeft gegeten). Vervolgens krijgt de persoon een lactoseoplossing te drinken en wordt om de dertig minuten nog een aantal keer bloed afgenomen.
 - a Wat wordt gemeten in het bloed dat wordt afgenomen?
 - b Welke meetuitslag toont aan dat de proefpersoon lactose-intolerant is?

4 RESORPTIE

LEERDOEL

12.4.1 Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden opgenomen in het darmkanaal.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	12.4.1
Begrijpen	47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55
Toepassen	56, 58, 59, 60a, 61, 62ac, 63
Analyseren	57, 60b, 62b

Een maaltijd doet er 24 tot 30 uur over om vanuit je mond je anus te bereiken. In die periode worden er zoveel mogelijk voedingsstoffen uit opgenomen in je bloed. Ook water uit de voedselbrij neem je op in je bloed, zodat je via je ontlasting niet te veel vocht verliest.

DE DUNNE DARM

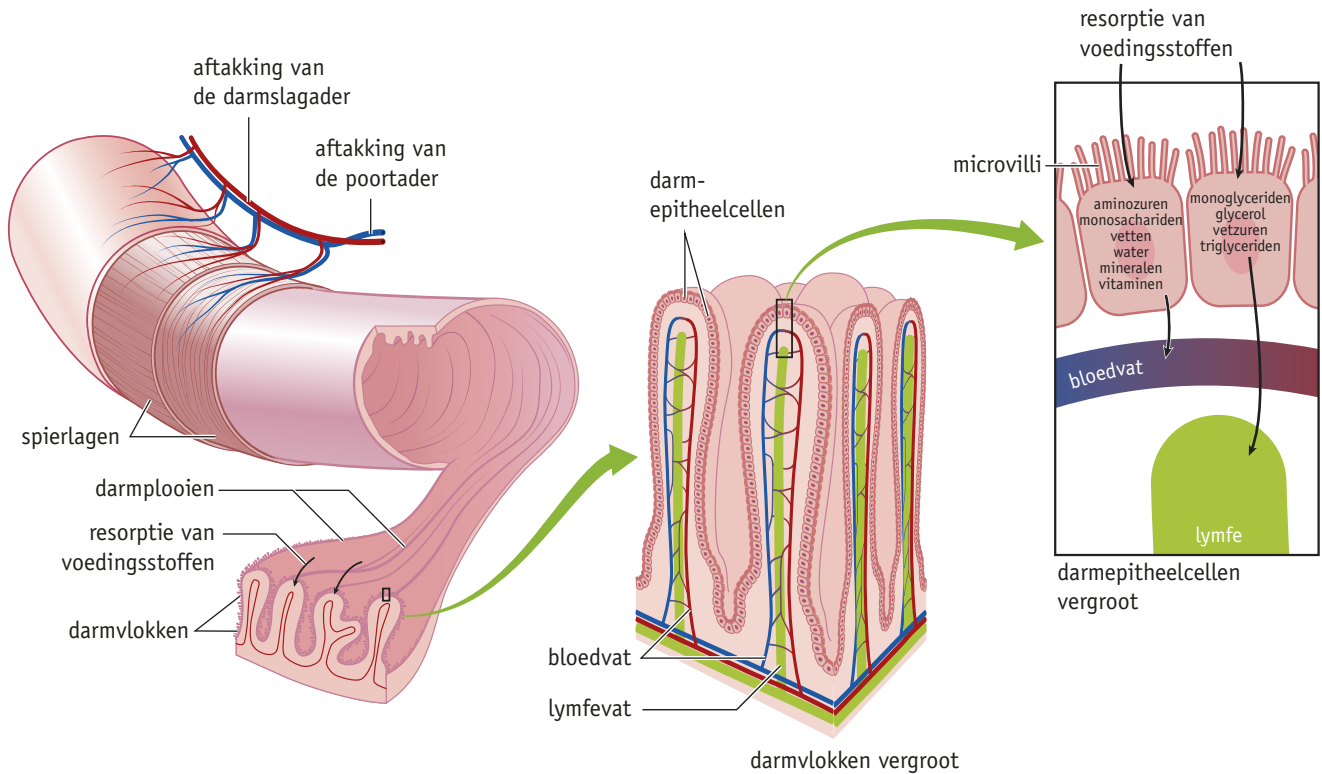
Na de twaalfvingerige darm komt de voedselbrij in je **dunne darm** terecht. Hier worden de meeste voedingsstoffen uit de voedselbrij opgenomen in je bloed. Opname van voedingsstoffen vindt ook plaats in andere delen van het verteringsstelsel. De opname van alcohol begint bijvoorbeeld al in de mond en in de maag.

De dunne darm van een volwassen persoon is ongeveer zes meter lang. De wand is sterk geplooid (zie afbeelding 33). Op de darmplooiën bevinden zich uitstulpingen: de **darmvlokken** (*villi*, enkelvoud: *villus*). De buitenste laag cellen van de darmvlokken is het darmepitheel (darmdekweefsel). De cellen van het darmepitheel hebben een groot aantal microscopisch kleine uitstulpingen: de microvilli. Door de darmplooiën, de darmvlokken en de microvilli is het oppervlak voor de opname van stoffen zeer groot. In **BiNaS** tabel 82C is de bouw van de dunne darm weergegeven.

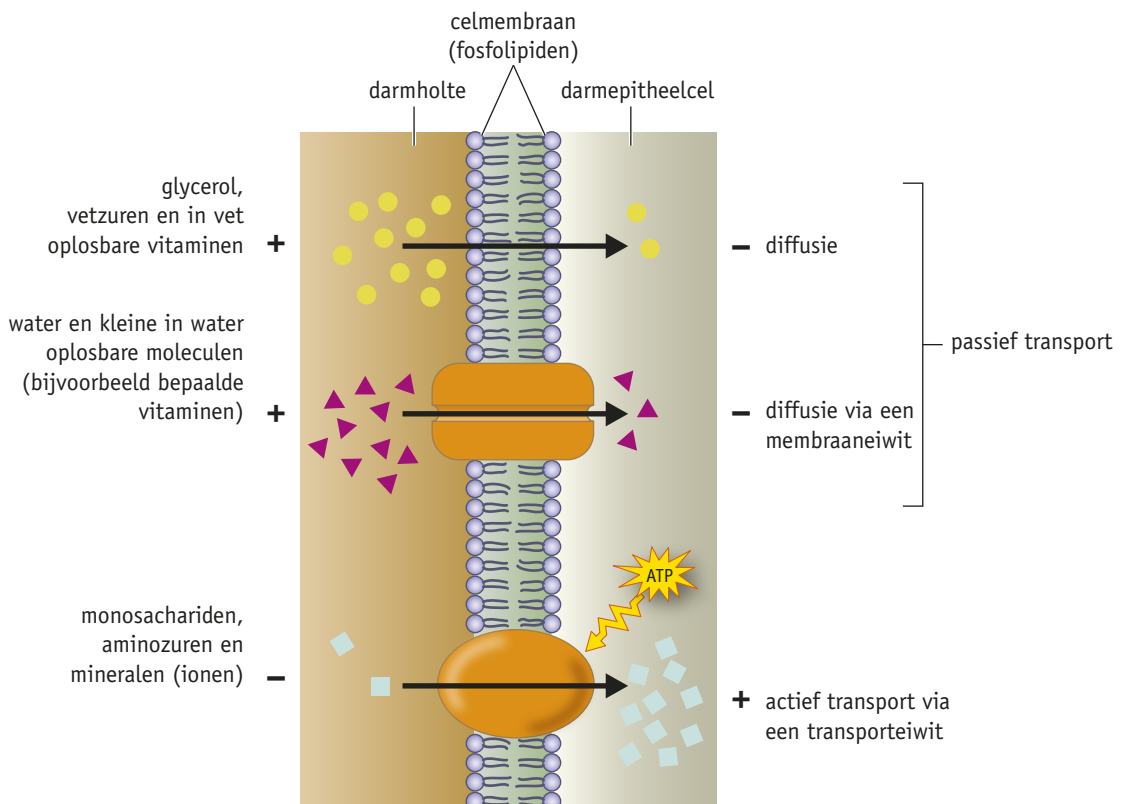
De cellen van het darmepitheel nemen water, voedingsstoffen en verteringsproducten op uit de voedselbrij. Dat gebeurt door diffusie via fosfolipiden, aquaporines (waterkanaaltjes) of transporteiwitten in het celmembraan en door **actief transport** (zie afbeelding 34). Bij actief transport nemen darmepitheelcellen stoffen op tegen het concentratieverval in. Stoffen gaan dan via transporteiwitten in het membraan van een lage concentratie in de darmholte naar een hoge concentratie in de darmepitheelcellen. De energie die nodig is voor actief transport komt uit de omzetting van ATP. Er vindt ook selectie van stoffen plaats. Het darmepitheel neemt van sommige stoffen veel moleculen op en van andere weinig.

Darmvlokken bevatten bloedvaten en lymfevaten (zie afbeelding 33). De opname van stoffen via de darmwand in het bloed en de lymfe noem je **resorptie** (Latijn: *resorbere* = weer opnemen). Voor resorptie is energie nodig. Daarom vindt er veel dissimilatie in de cellen van het darmepitheel plaats.

■ Afb. 33 De bouw van de dunne darm.



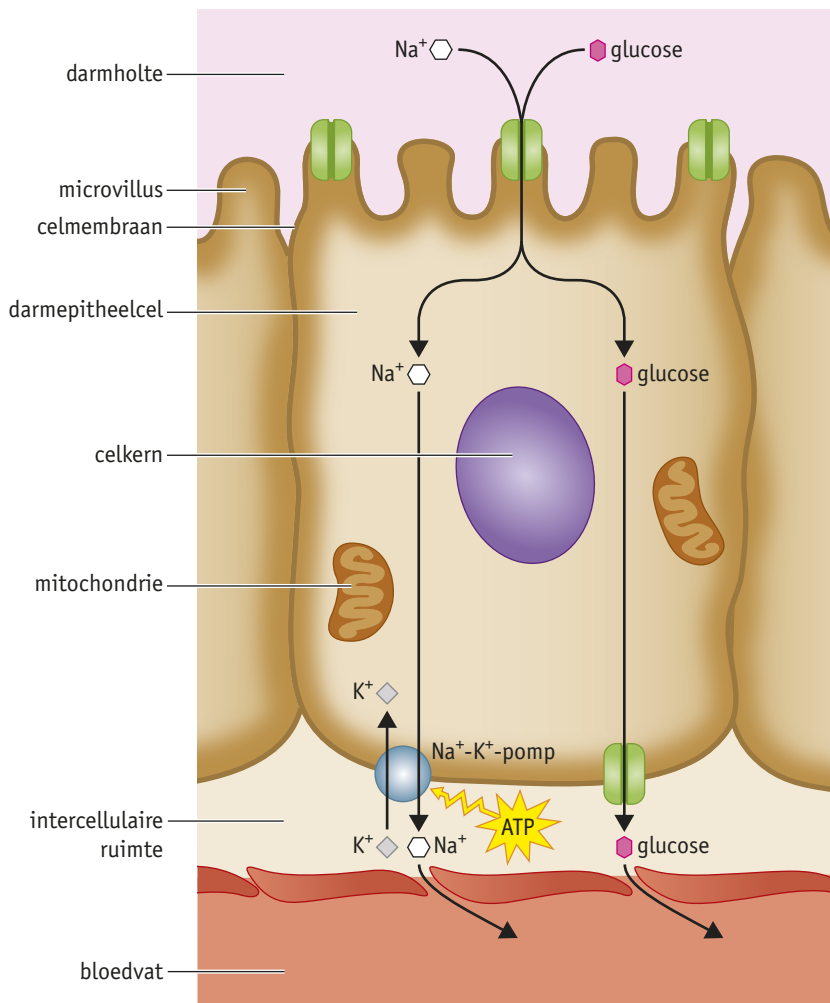
■ Afb. 34 De opname van voedingsstoffen in darmepitheel.



In afbeelding 35 is het transport van glucose en Na^+ -ionen weergegeven. Aan de buitenzijde van de cel binden glucosemoleculen en Na^+ -ionen aan transporteiwitten en worden de glucosemoleculen en Na^+ -ionen aan de binnenzijde van de cel afgegeven. De drijvende kracht achter dit proces is de natrium-kaliumpomp, die voortdurend Na^+ -ionen vanuit de cel in de extracellulaire ruimte pompt. De energie hiervoor wordt geleverd door ATP. Aminosuren en andere ionen dan Na^+ worden op een vergelijkbare manier getransporteerd.

Door actief transport van ionen ontstaat er een verschil in osmotische waarde tussen de darmholte en de darmepitheelcellen. Hierdoor gaat het grootste deel van het water in de voedselbrij door osmose via aquaporines van de darmholte naar de darmepitheelcellen.

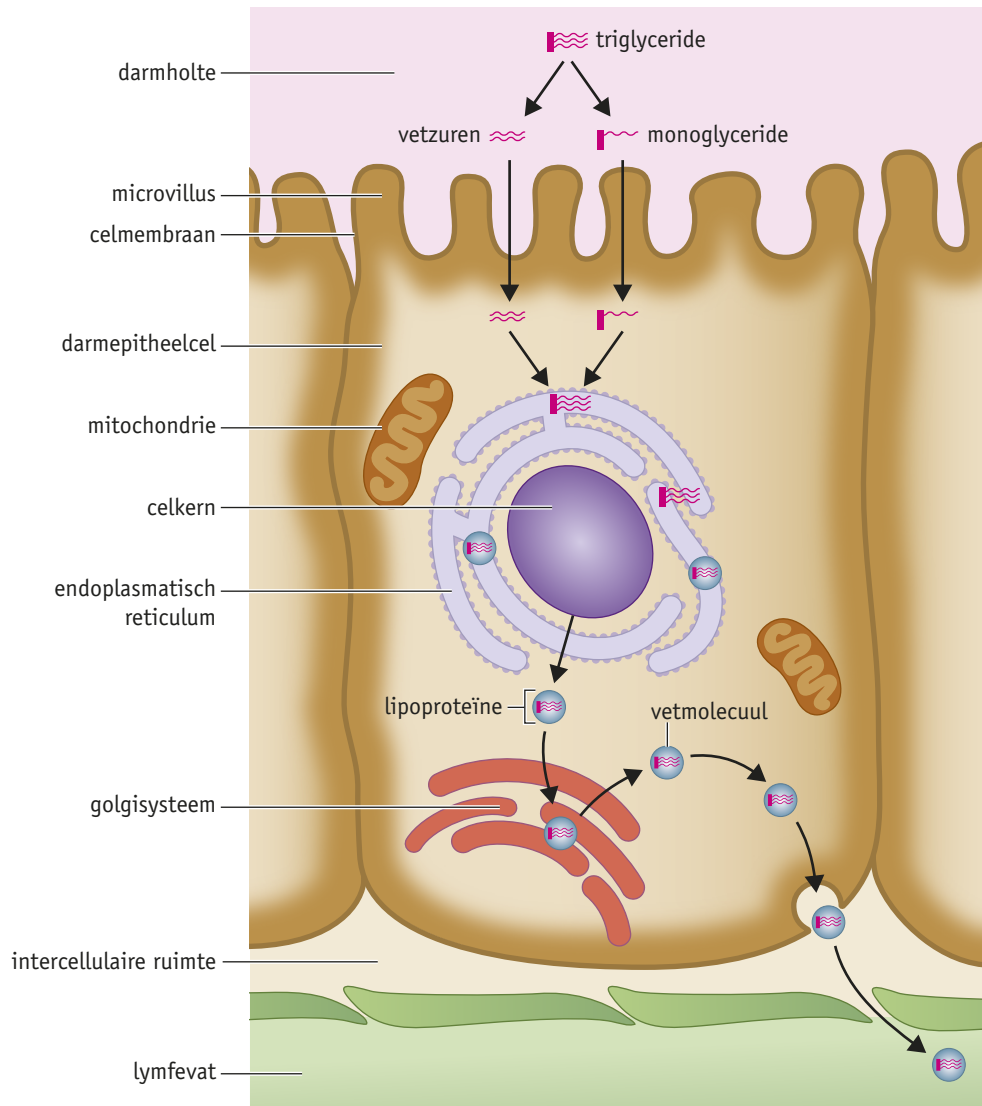
■ **Afb. 35** Opname van glucose en Na^+ -ionen door een darmepitheelcel.



De meeste stoffen worden uit de darmepitheelcellen opgenomen in je bloed. De haarvaten van een groot deel van het darmkanaal (van de maag tot en met de dikke darm) verenigen zich tot één afvoerend bloedvat: de poortader. Via de poortader stroomt bloed met de opgenomen stoffen naar de lever. De lever zorgt voor de afbraak of opslag van de opgenomen stoffen en voor de opbouw van nieuwe stoffen.

Uit de monoglyceriden, vetzuren en de glycerol die darmepitheelcellen opnemen, worden in de cel weer triglyceriden gevormd (zie afbeelding 36). Om deze vetten in een waterige omgeving te kunnen transporteren, worden ze omgeven door een manteltje van fosfolipiden en eiwitten. Deze lipoproteïnen worden afgegeven aan de intercellulaire ruimten tussen de darmepitheelcellen en vervolgens opgenomen in de lymfevaten. Via het lymfestelsel komen ze in de bloedsomloop terecht.

■ Afb. 36 Resorptie van vetten.



Opdrachten **KENNIS**

- 47 Bij een patiënt met coeliakie gaan de darmvlokken kapot door ontstekingen als gevolg van het eten van gluten.
 - a Leg uit dat dit op termijn bij kinderen kan leiden tot een groeiachterstand.
 - b Welke cellen bevatten de meeste mitochondriën: epitheelcellen van de slokdarm of epitheelcellen van de dunne darm? Leg je antwoord uit.
- 48 Leg uit dat de opname van ionen via actief transport van belang is voor de opname van water door de darm.
- 49 Verklaar dat transport van vetten in lymfe en bloed plaatsvindt in lipoproteïnen.
- 50 De lever krijgt bloed aangevoerd via de leverslagader en via de poortader. De samenstelling van het bloed in deze bloedvaten is meestal niet hetzelfde. Noem een verschil in samenstelling van dit bloed bij een persoon die in de afgelopen uren een maaltijd heeft gegeten.

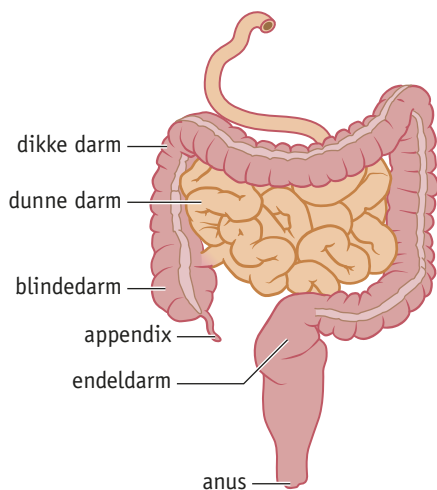
DE DIKKE DARM EN DE ENDELDARM

De onverteerde voedselresten komen terecht in je **dikke darm**. De dikke darm is ongeveer anderhalve meter lang. In de dikke darm wordt veel van het nog resterende water uit de brij van onverteerde voedselresten geresorbeerd. Dat is nodig, omdat je anders te veel vocht verliest en uitdroogt. Ook mineralen (voedingszouten) worden in de dikke darm geresorbeerd.

Vlak onder de overgang van dunne darm naar dikke darm ligt de blindedarm (zie afbeelding 37). Aan de onderkant van de blindedarm zit een uitstulping: de appendix (het wormvormig aanhangsel). Bij 'blindedarmontsteking' is niet de blindedarm ontstoken, maar de appendix. Die wordt dan operatief verwijderd. De blindedarm blijft zitten.

In de dikke darm leven veel **darmbacteriën**: de darmflora. Sommige darmbacteriën produceren enzymen voor de vertering van stoffen die niet door de verteringsenzymen van de mens worden verteerd, zoals cellulose in voedingsvezels. Darmbacteriën maken het enzym cellulase voor de vertering van cellulose. Andere soorten darmbacteriën produceren stoffen die belangrijk zijn voor de mens, bijvoorbeeld vitamine K.

■ **Afb. 37** De ligging van dunne darm, blindedarm met appendix, dikke darm en endeldarm met anus.



De onverteerde voedselresten die na de dikke darm nog zijn overgebleven, worden verzameld in de **endeldarm**. Ook in de endeldarm vindt nog resorptie van stoffen plaats. Hiervan wordt gebruikgemaakt bij het toedienen van medicijnen in zetpillen: het bloed uit de haarvaten van de endeldarm komt niet in de poortader terecht en stroomt dus niet rechtstreeks naar de lever.

De endeldarm wordt afgesloten door een kringspier: de anus. De ontlasting (feces) bestaat uit onverteerde voedselresten, water en zeer veel bacteriën.

Opdrachten **KENNIS**

- 51 Bij het toedienen van sommige medicijnen is het belangrijk dat deze medicijnen niet direct in de lever terechtkomen. Toediening in de vorm van zetpillen is dan een goede oplossing.
In welke situaties kan het gebruik van medicatie in de vorm van een zetpil nog meer de voorkeur hebben?
- 52 Diarree gaat vaak gepaard met buikkrampen.
Waardoor worden deze buikkrampen veroorzaakt?

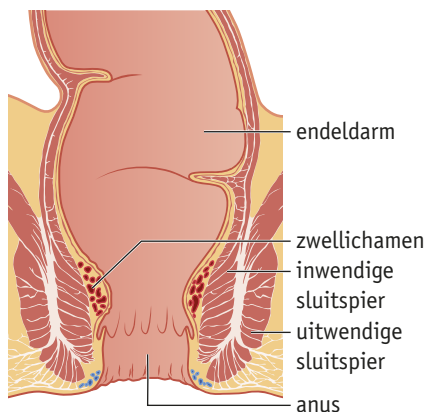
- 53** Het is normaal om dagelijks zo'n tien tot twintig winden te laten. Gas in de darmen kan verschillende oorzaken hebben, zoals het inslikken van lucht tijdens het eten of het drinken van koolzuurhoudende dranken.
Wat is de belangrijkste bron van gasvorming in de darmen?
- 54** Het woord 'flora' wordt gebruikt als het over bloemen en planten gaat.
Leg uit waarom 'darmflora' geen juiste omschrijving is voor de organismen die in je dikke darm leven.
- 55** De celwanden van plantaardige cellen bevatten cellulose. Mensen maken voor deze polysacharide geen verteringsenzymen aan. Hierdoor is de celinhoud van plantaardige cellen niet bereikbaar voor verteringsenzymen.
- a** Leg uit dat je plantaardig voedsel gemakkelijker verteerbaar maakt als je het kookt.
 - b** Bij zoogdieren kun je op grond van de voedselkeuze onder andere herbivoren (plantenetters) en carnivoren (vleeseters) onderscheiden. Herbivoren leven voor hun spijsvertering samen met cellulasevormende micro-organismen. Desondanks gaat de vertering van cellulose uit de celwanden van plantaardige cellen langzaam.
Bij welke groep dieren zal het darmkanaal in verhouding tot de lichaamslengte het langst zijn? Leg je antwoord uit.

Opdrachten INZICHT

- 56** De samenstelling van het darmmicrobioom is bij iedereen anders. Toch kan een analyse van de aantallen en soorten bacteriën een indicatie geven over je gezondheid. Bij een vermoeden van een darmaandoening hoeft er dan bij een patiënt niet altijd direct een inwendig darmonderzoek (coloscopie) plaats te vinden, maar kan er eerst een 'poepmonster' worden geanalyseerd.
Wat is daarvan het voordeel?
- 57** Diarree kan ontstaan door de aanwezigheid van virussen of bacteriën in het darmkanaal. Bij ernstige vormen van diarree (bijvoorbeeld bij cholera) kan het verlies aan Na^+ -ionen en het daarmee gepaard gaande vochtverlies levensbedreigend zijn. Om uitdroging te voorkomen, kan de patiënt ORS (*oral rehydration solution*) drinken. ORS bevat glucose, NaCl , trinitriumcitraat en KCl .
- a** Door inname van ORS neemt de Na^+ -ionenconcentratie in de darm toe.
Leg uit welk effect dit heeft op de opname van glucose door het darmepitheel.
 - b** In de celmembranen van cellen van het darmepitheel bevinden zich ook transporteiwitten voor het transport van Na^+ -ionen en aminozuren. Hiervan wordt gebruikgemaakt bij de toediening van een ander type ORS, waaraan het aminozuur alanine wordt toegevoegd. Hierdoor is de energiewaarde van de oplossing hoger dan die van standaard-ORS. Dat de energiewaarde wordt verhoogd met een aminozuur en niet met glucose, heeft verschillende redenen. Drie leerlingen doen hierover een uitspraak.
Mabel zegt dat door een hogere glucoseconcentratie in de darm het waterverlies van het lichaam kan toenemen.
Is deze uitspraak juist? Leg je antwoord uit.
 - c** Pien zegt dat door alanine de osmotische waarde van het weefselvocht wordt verlaagd, terwijl die door glucose wordt verhoogd.
Is deze uitspraak juist? Leg je antwoord uit.
 - d** Ahlam zegt dat er door gebruik van transporteiwitten voor zowel glucose als voor aminozuren per tijdseenheid meer Na^+ -ionen kunnen worden opgenomen.
Is deze uitspraak juist? Leg je antwoord uit.

- 58** Koeien hebben bacteriën in hun pens. Deze bacteriën verteren gras en maken vetzuren vrij die de koe opneemt. Door deling komen er steeds nieuwe bacteriën. Een deel stroomt met de voedselbrij door naar de volgende magen en wordt daar verteerd. Bij een paard leven de bacteriën die cellulose verteren in de blindedarm. Ze worden uitgescheiden met de ontlasting. Leg uit wat het nadeel hiervan is.
- 59** De blindedarm van een koala is ongeveer twee meter lang en daarmee veel langer dan die van de meeste zoogdieren. De blindedarm en de dikke darm van een koala bevatten micro-organismen die cellulase aanmaken. Een koalajong gaat na enkele maanden moedermelk over op het eten van 'pap': een vloeibaar goedje afkomstig uit de blindedarm van de moeder. Het jong likt dit op uit de anus van de moeder. De werkelijke poep wordt niet door het jong gegeten. Wat maakt deze 'pap' zo geschikt voor de koalajongen in de overgangsfase van moedermelk naar het eten van eucalyptusbladeren?
- 60** Aan de binnenkant van de endeldarm, kort voor de anus, bevindt zich een netwerk van zwellichamen (zie afbeelding 38). De zwellichamen vormen een sponsachtig netwerk van bloedvaatjes, bedekt door een dun laagje slijmvlies.
- a** Wat is het belang van deze zwellichamen?
 - b** Door verschillende oorzaken kunnen de zwellichamen in de endeldarm opzwellen en gaan uitpuilen. Soms zelfs tot buiten de anus. Er is dan sprake van inwendige of uitwendige aambeien. Aambeien kunnen jeuken, bloeden of ontstoken raken. Verklaar dat aambeien soms ontstaan door het eten van te weinig vezelrijke voedingsmiddelen.

■ **Afb. 38** Doorsnede van de endeldarm en de anus.



 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

WERELDTOILETDAG!

Ieder jaar wordt op 19 november Wereldtoilettag 'gevierd'. Het klinkt misschien gek, want in Nederland heeft elke woning een of meer toiletten. We gaan gemiddeld zes tot acht keer per dag naar het toilet, zonder daar al te veel bij na te denken. Maar dat is lang niet overal ter wereld zo vanzelfsprekend. 'Bijna iedereen ter wereld heeft een mobiele telefoon, maar dat kun je niet zeggen van wc's. Dat is gek', vindt Valentin Post, die werkt voor WASTE. WASTE is een organisatie die sanitaire voorzieningen opzet in landen die dat zelf niet goed kunnen.

Ruim twee miljard mensen beschikken niet over een hygiënisch toilet en schoon drinkwater (zie afbeelding 39). De kans op een ziekte die ernstige diarree veroorzaakt, neemt daardoor flink toe. Diarree is daardoor voor kinderen van 5 jaar en jonger wereldwijd een van de belangrijkste doodsoorzaken.

Een veelvoorkomende ziekte die ernstige diarree kan veroorzaken is cholera. De waterdunne diarree wordt veroorzaakt door de gifstof choleratoxine, uitgescheiden door de bacterie *Vibrio cholerae*. Cholera gaat vaak vanzelf over, maar is toch een gevaarlijke ziekte. Door de diarree raken patiënten

soms wel een liter vocht per uur kwijt, waardoor sterfte door uitdroging al gauw op de loer ligt. De ziekte wordt verspreid via besmet drinkwater.

Investeren in goede sanitaire voorzieningen loont. Je kunt er veel levens mee redden. En daarnaast: als minder mensen ziek worden, bespaar je een heleboel geld op de gezondheidszorg.

■ Afb. 39 Toilet in Bangladesh.



Opdrachten

- 61 Na besmetting vestigt de *Vibrio cholerae*-bacterie zich in de dunne darm en scheidt choleratoxine uit. Deze gifstof wordt opgenomen door de epitheelcellen van de darm, waardoor de werking van de ionkanalen verandert. De afgifte van chloride, bicarbonaat, natrium en kalium aan de darmholte neemt flink toe.
Verklaar met dit gegeven het ontstaan van de diarree.
- 62 Patiënten met uitdrogingsverschijnselen krijgen ORS (*Oral Rehydration Solution*) toegediend. ORS is water met daarin zouten en suiker opgelost. Het doel is de vocht- en zoutbalans van het lichaam zo snel mogelijk weer te herstellen.
 - a Waarom werkt ORS voor dit doeleinde beter dan gewoon water?
 - b Welke nog snellere methode dan het drinken van ORS kun je toepassen om de vocht- en zoutbalans van het lichaam te herstellen?
 - c Verklaar waarom ORS zowel zouten als suiker bevat.
- 63 In landen waar cholera veel voorkomt, krijgen moeders het advies om borstvoeding te geven in plaats van flesvoeding.
Waarom zal dit advies worden gegeven?

5 GEZONDE VOEDING

LEERDOELEN

12.5.1 Je kunt beargumenteren wat gezonde voeding is.

12.5.2 Je kunt aangeven wat de gezondheidsrisico's zijn van ongezonde of te veel voeding.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	12.5.1	12.5.2
Begrijpen	64, 65a, 68	65b, 66, 67
Toepassen	69, 73, 74	72abcd
Analyseren	71, 75	70, 72e

Mensen worden steeds ouder, maar niet per se gezonder. Overgewicht vormt wereldwijd een steeds groter wordend probleem en het aantal welvaartsziekten stijgt. Wat gezonde en verantwoorde voeding is, is soms lastig te bepalen.

GEZOND ETEN

Maatregelen die je kunt nemen om gezondheidsproblemen te voorkomen, noem je ook wel **preventie**. Preventieve maatregelen die leiden tot een betere gezondheid zijn onder andere gezonde voeding en regelmatige lichaamsbeweging. Door gezond te eten verklein je het risico op welvaartsziekten zoals obesitas, hart- en vaatziekten, diabetes type 2 en kanker. Gezond eten voorkomt ook de risicofactoren voor het ontstaan van deze ziekten, zoals hoge bloeddruk, een hoog cholesterolgehalte en overgewicht. Maar wat gezond eten is, weten voedingsdeskundigen nog altijd niet precies.

Het Voedingscentrum geeft adviezen over gezonde voeding en informatie over voedingsstoffen, voedingsmiddelen en voedingspatronen in relatie tot gezondheid. Als hulpmiddel is hiervoor de Schijf van Vijf samengesteld (zie afbeelding 40).

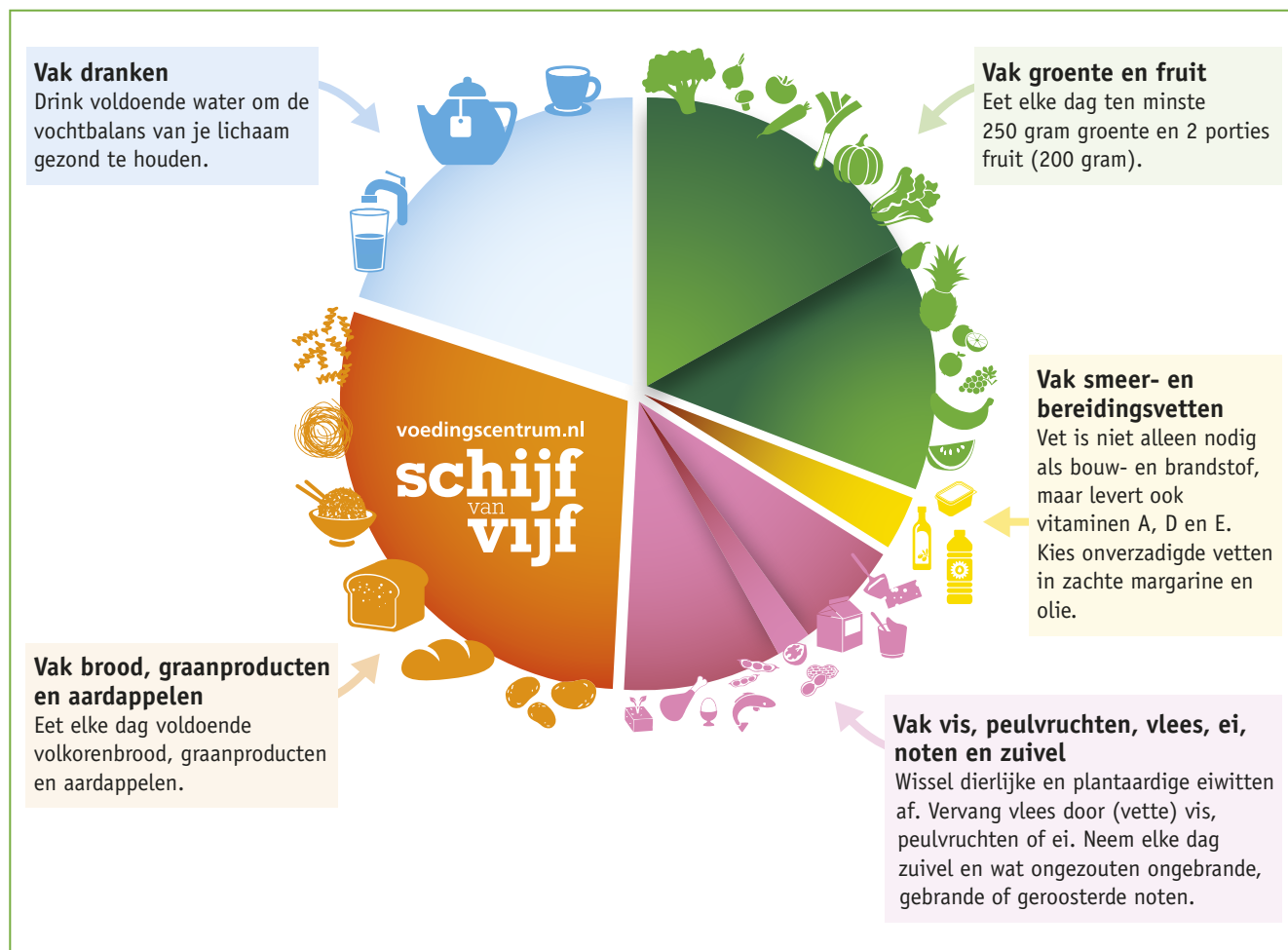
Als je eet volgens de Schijf van Vijf, krijg je de optimale combinatie van voedingsstoffen binnen. Uit de grotere vakken moet je meer voedingsmiddelen kiezen dan uit de kleinere vakken. De grote vakken bevatten plantaardige voedingsmiddelen. Voedingsmiddelen die niet voorkomen in de Schijf van Vijf, kun je beter niet of niet te vaak eten. Deze voedingsmiddelen bevatten bijvoorbeeld te veel zout, suiker, verzadigd vet of te weinig vezels en hebben daardoor een negatief effect op je gezondheid.

VERLEIDINGEN

Gezondheidsorganisaties zoals het Voedingscentrum adviseren om vooral onbewerkt, vers en plantaardig voedsel te eten. Maar het assortiment voedingsmiddelen in winkels bestaat voor een groot deel uit sterk bewerkt voedsel: voedingsmiddelen met veel kleurstoffen, smaakstoffen, geurstoffen, suiker, verzadigd vet en zout, en weinig mineralen, vitaminen en vezels.

Veel mensen vinden deze voedingsmiddelen lekker, waardoor ze geneigd zijn er veel van te eten of te drinken. Deze voedingsmiddelen zijn bovendien overal verkrijgbaar, waardoor je continu in de verleiding komt. Wanneer je deze sterk bewerkte voedingsmiddelen eet, krijg je veel suiker en verzadigd vet binnen. Sterk bewerkte voedingsmiddelen dragen hierdoor bij aan het ontstaan van welvaartsziekten. De app van het Voedingscentrum (Mijn Eetmeter) kan een hulpmiddel zijn om gezondere keuzen te maken.

■ Afb. 40 De Schijf van Vijf.



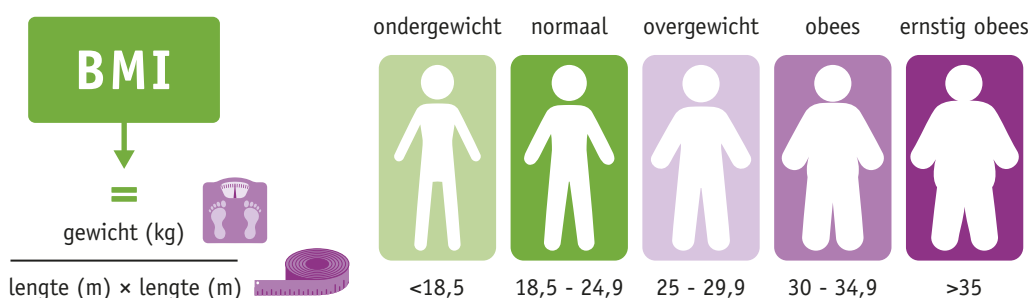
EEN GEZOND GEWICHT

De hoeveelheid voedsel die je nodig hebt, is vooral afhankelijk van je energiebehoefte. De energiebehoefte in rust (de basale stofwisseling) hangt onder andere af van je geslacht, leeftijd en lichaamsgewicht en de omgevingstemperatuur. Als je actief bent, is je energiebehoefte afhankelijk van de lichamelijke inspanning die je verricht.

Als je via je voeding regelmatig meer energie binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, kun je zwaarder en dikker worden. Dat komt doordat je een teveel aan vet opslaat in het onderhuidse bindweefsel en rondom organen in je buik (buikvet). De voornaamste functie van dit vetweefsel is de opslag van energie. Het dient ook als isolatie en bescherming en ondersteuning van organen. Te veel buikvet vergroot het risico op de eerdergenoemde aandoeningen. Volwassen vrouwen hebben te veel buikvet wanneer hun tailleomvang groter is dan 80 cm. Bij mannen wordt de grens overschreden bij 94 cm. Ook als je via je voeding minder energie en voedingsstoffen binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, kun je ziek worden.

Met de Body Mass Index (BMI) kun je bepalen of je een gezond gewicht hebt (zie afbeelding 41). De BMI is bedoeld voor volwassenen en is een maat voor het gewicht in verhouding tot je lichaamslengte. Er wordt geen rekening gehouden met de verhouding van vet-, spier- en botweefsel. De BMI-meting is daardoor alleen betrouwbaar wanneer je een gemiddelde lichaamsbouw hebt. Je berekent je BMI door je gewicht in kg te delen door je lengte in meter in het kwadraat (gewicht (kg) / lengte (m)²). Volwassenen met een BMI tussen de 18,5 en 25 hebben een gezond gewicht (zie afbeelding 41). Als je BMI te hoog of te laag is, heb je meer risico op ziekten.

■ **Afb. 41** De Body Mass Index (BMI).

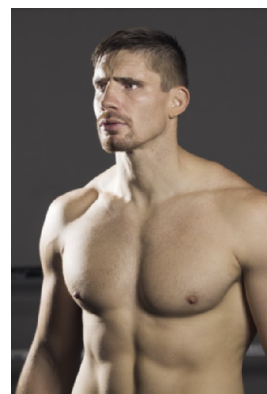


Je kunt overgewicht kwijtraken als je met je voedsel minder energie binnenkrijgt dan je verbruikt. Het is niet verstandig om zomaar minder te gaan eten. Je moet wel elke dag voldoende voedingsstoffen binnenkrijgen om gezond te blijven. Beter is het om producten te kiezen met een gezondere samenstelling, tussendoortjes te laten staan en meer te bewegen om af te vallen. Wanneer je veel kilo's kwijt wilt, kun je je het best laten adviseren door een diëtist. Dat geldt ook als je ondergewicht hebt en wilt aankomen.

Een te laag gewicht brengt gezondheidsrisico's met zich mee, omdat er een grote kans is op een tekort aan voedingsstoffen. Hierdoor heb je minder afweer en voel je je lusteloos en moe. Je lichaam gebruikt dan reservevoorraden uit vet- en spierweefsel. Hierdoor wordt je vet- en spierweefsel afgebroken. Vooral de afbraak van spierweefsel is nadelig. Als het ondergewicht lang aanhoudt, neemt bovendien de kans op botbreuken toe.

Opdrachten **KENNIS**

- 64 **a** Welke vakken in de Schijf van Vijf dragen het meest bij aan de inname van voedingsvezels?
b Frisdranken staan niet in de Schijf van Vijf. Leg dat uit.
- 65 **a** Wat is het effect van de omgevingstemperatuur op je basale metabolisme?
b De energiebehoefte van tieners is, vergeleken met die van volwassenen, relatief hoog. Leg uit hoe dit komt.
- 66 **a** Rico Verhoeven is kickbokser (zie afbeelding 42). Hij is 1,97 m lang en weegt 126,2 kg. Bereken zijn BMI.
b Leg uit dat je de uitkomst van de BMI-meting bij sporters als Rico Verhoeven niet volgens de standaard richtlijnen moet interpreteren.



■ **Afb. 42** Rico Verhoeven.

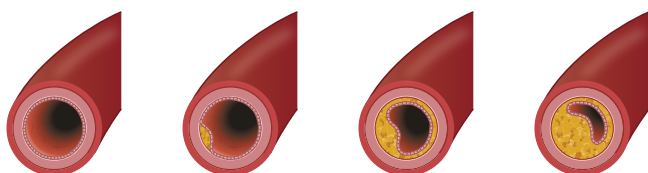
CHOLESTEROL

Omdat cholesterol een belangrijke bouwstof is, kun je niet zonder. Vetten zoals cholesterol worden in je bloed vervoerd in lipoproteïnen. Dat zijn verbindingen van vetten en eiwitten. Er bestaan verschillende soorten lipoproteïnen, waaronder LDL (Lage Dichtheid Lipoproteïne) en HDL (Hoge Dichtheid Lipoproteïne).

LDL vervoert cholesterol van de lever via het bloed naar de rest van je lichaam. Cholesterol is belangrijk voor het maken van hormonen, het opbouwen van celmembranen en andere lichaamsprocessen. LDL-cholesterol dat in het bloed blijft, kan zich afzetten tegen beschadigingen aan de binnenwand van bloedvaten die zijn ontstaan door roken, verhoogde bloeddruk of ouderdom. Hierdoor worden de bloedvaten nauwer (zie afbeelding 43). Dit kan op den duur leiden tot hart- en vaatziekten. Een hoog LDL-gehalte is daarom ongunstig.

HDL neemt LDL-cholesterol uit het bloed op en voert het af naar de lever, waar het wordt afgebroken en via de gal wordt uitgescheiden. HDL verlaagt zo het LDL-cholesterolgehalte van het bloed, waardoor de afzetting van LDL-cholesterol in de bloedvaten minder wordt. Het kan er zelfs toe leiden dat de afgezette cholesterol in de bloedvaten wordt afgebroken. Hierdoor wordt de kans op hart- en vaatziekten weer kleiner. Een hoog HDL-gehalte is daarom gunstig.

■ **Afb. 43** Vernauwing van een bloedvat door afzetting van LDL-cholesterol.



Verzadigde vetzuren in je voeding zorgen voor een toename van LDL-cholesterol. Onverzadigde vetzuren zorgen juist voor een toename van HDL-cholesterol. Een hoog cholesterolgehalte kan onder andere worden veroorzaakt door overgewicht, het eten van veel verzadigd vet, diabetes en erfelijke aanleg. Een verhoogd cholesterolgehalte is een risicofactor voor hart- en vaatziekten. Als je wilt weten of je een verhoogde kans hebt op hart- en vaatziekten, zegt de waarde van het totale cholesterolgehalte niet genoeg (zie tabel 5). Een arts kijkt daarvoor ook naar de verhouding LDL en HDL ofwel de cholesterol-HDL-ratio. Hoe hoger het HDL, des te beter is de afvoer van overtollige LDL-cholesterol naar de lever. De cholesterol-HDL-ratio bereken je door het totale cholesterolgehalte te delen door het HDL-cholesterolgehalte. Wanneer de ratio kleiner is dan 5, is er geen verhoogde kans op hart- en vaatziekten.

Tabel 5 Betekenis van de resultaten van een cholesterolmeting.

Het cholesterolgehalte is:	Het cholesterolgehalte is:
lager dan 5,0 mmol/L	normaal
5,0 – 6,4 mmol/L	licht verhoogd
6,5 – 7,9 mmol/L	verhoogd
hoger dan 8,0 mmol/L	sterk verhoogd

VOEDSEL EN HET MILIEU

De productie van voedsel heeft invloed op het milieu. Bestrijdingsmiddelen, mest, transport, zoetwatergebruik en energiegebruik hebben gevolgen voor de leefomgeving. Vanwege de groeiende wereldbevolking en de stijgende welvaart moet de voedselproductie toenemen. Er wordt veel onderzoek gedaan om voedseltekort in de toekomst te voorkomen en op een duurzame manier voedsel te produceren.

De volgende tips van het Voedingscentrum kunnen je helpen om duurzame keuzen te maken:

- 1 Eet minder vlees: kies vaker peulvruchten en noten.
- 2 Verspil zo min mogelijk voedsel: koop en kook niet te veel.
- 3 Eet genoeg (niet te veel of te weinig) en niet te veel snacks en snoep.
- 4 Drink vooral kraanwater, thee en koffie.
- 5 Eet voldoende zuivel en kaas, maar niet meer dan nodig.
- 6 Kies seizoensproducten en let op de herkomst.
- 7 Kies voor duurzaamheidskeurmerken (zie afbeelding 44).

■ Afb. 44 Duurzaamheidskeurmerken.



Opdrachten KENNIS

- 67 Sommige mensen hebben een verhoogd cholesterolgehalte van het bloed (hypercholesterolemie), terwijl ze voedingsmiddelen met veel cholesterol vermijden.
- Wat is de oorzaak van het verhoogd cholesterolgehalte bij deze mensen?
 - In tabel 6 is de gemiddelde samenstelling van Edammer kaas en van pindakaas weergegeven.
Geef twee redenen waarom een boterham met pindakaas beter past in een cholesterolverlagend dieet dan een boterham met Edammer kaas.
 - Er wordt ook wel gesproken over 'goed' en 'slecht' cholesterol. Met welk woord wordt het HDL en met welk het LDL bedoeld? Leg je antwoord uit.

Tabel 6 Samenstelling van Edammer kaas en pindakaas.

	Energie	Energie	Water	Eiwit	Koolhydraten	Suikers	Vet	Verzadigd vet	E.o.v.*	M.o.v.**	Cholesterol	Vezels
Eenheid per 100 g	kcal	kJ	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	g
Edammer kaas 40+	313	1310	45,5	26,1	0,0	0,0	23,4	15,5	6,0	0,7	71,0	0,0
Pindakaas	625	2613	3,0	26,0	12,0	6,0	52,0	9,2	23,0	17,5	0,0	6,0

*enkelvoudig onverzadigd vetzuur

** meervoudig onverzadigd vetzuur

- 68 Bekijk de zeven tips om duurzamer te eten.
- Leg uit waarom het drinken van kraanwater duurzamer is dan het drinken van sappen of frisdrank.
 - Welk bijkomend gezondheidsvoordeel heeft het drinken van kraanwater boven het drinken van sappen of frisdrank?
 - Zoek op internet op wat de seizoensproducten (groente en fruit) van dit moment zijn. Voor welke daarvan zou jij vaker willen kiezen om duurzamer te eten?

Opdrachten INZICHT

- 69 Als je in de groei bent, is het extra belangrijk om de voedingsstoffen binnen te krijgen die bijdragen aan je botopbouw.
Uit welke vakken van de Schijf van Vijf moet je voedingsmiddelen gebruiken om de juiste voedingsstoffen daarvoor binnen te krijgen?

- 70** Rozijnen en gedroogd fruit bevatten sulfieten. Sulfieten zijn conserveermiddelen met de E-nummers E220 tot en met E228. De ADI (Aanvaardbare Dagelijkse Inname) voor sulfiet is 0,7 mg/kg lichaamsgewicht. De 6-jarige Cato eet graag rozijnen (zie afbeelding 45), maar haar moeder is bang dat ze te veel sulfiet binnen zal krijgen. Cato weegt 21 kg. Bereken of deze angst gegrond is.

■ Afb. 45 Een doosje rozijnen.

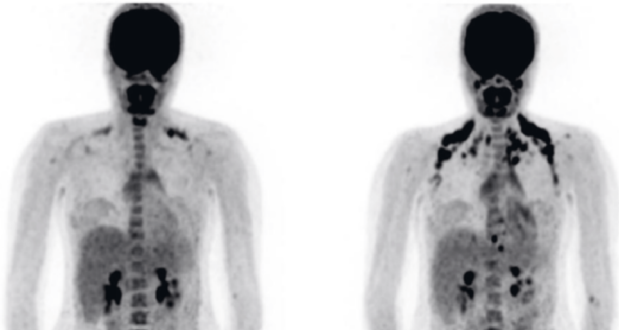


- 71** Op de ingrediëntenlijst van een verpakt voedingsmiddel staat het ingrediënt dat er het meest in voorkomt als eerste vermeld. Daarna het ingrediënt dat er dan het meest in voorkomt, enzovoort.
- a Noteer van vijf verpakte tussendoortjes (eten of drinken) die jij vaak eet of drinkt, of suiker bij de eerste drie ingrediënten staat. Kijk daarvoor op de verpakking of zoek de ingrediënten van het product op internet op. Let op: suiker kent veel varianten die onder verschillende namen vermeld kunnen zijn.
 - b Noteer drie varianten van suiker die je hebt gevonden in de ingrediëntenlijst van de producten die je hebt bekeken.
 - c In het Nationaal Preventieakkoord staan afspraken om Nederlanders gezonder te maken door roken, problematisch alcoholgebruik en overgewicht terug te dringen. De Nederlandse overheid werkt hierin samen met maatschappelijke organisaties en bedrijven. Met de Nederlandse Vereniging Frisdranken, Waters en Sappen (FWS) zijn afspraken gemaakt over het terugdringen van het aantal calorieën dat consumenten via deze dranken innemen. Dit wordt onder andere gerealiseerd door de vermindering van suiker in bestaande producten, door de introductie van steeds meer dranken met vrijwel geen suiker (zero/light) en door de introductie van kleinere verpakkingen. Wat is jouw mening over deze afspraken? Leg je antwoord uit.
- 72** In afbeelding 46 is een onderzoek naar de activiteit van bruin vetweefsel beschreven.
- a Formuleer een onderzoeksvraag bij het experiment.
 - b Formuleer een hypothese bij de onderzoeksvraag.
 - c Baby's hebben nog niet veel wit vetweefsel en ze kunnen niet rillen. Ongeveer 5% van het lichaamsgewicht van baby's bestaat uit bruin vetweefsel. Leg uit waarom bruin vetweefsel heel belangrijk is voor baby's.
 - d Een Nederlandse jongen van 1 jaar oud is gemiddeld 76,6 cm groot en weegt 9,6 kg. Een volwassen Nederlandse man is gemiddeld 180,8 cm groot en weegt 84,9 kg. Bereken met deze gegevens het lichaamsoppervlak van een jongen van 1 jaar oud en dat van een volwassen man. Gebruik daarvoor de formule:

$$\text{lichaamsoppervlak (in m}^2\text{)} = \sqrt{\frac{\text{gewicht in kg} \times \text{lengte in cm}}{3600}}$$

- e Gebruik de informatie over lengte, gewicht en lichaamsoppervlak om te verklaren waarom bruin vet voor een baby belangrijker is dan voor een volwassene.

Afb. 46 Onderzoek naar de activiteit van bruin vetweefsel.

Onderzoek	De activiteit van bruin vet
Inleiding	Mensen hebben wit en bruin vetweefsel. Vet in het onderhuidse bindweefsel en buikvet bestaat uit wit vetweefsel. Bruin vetweefsel zit bij volwassenen in de gebieden boven de sleutelbeenderen en rond de aorta. De belangrijkste functie van bruin vetweefsel is het produceren van lichaamswarmte door de verbranding van vetzuren en glucose. Bruin vetweefsel heeft veel haarvaten en is daardoor goed doorbloed. Doordat de vetcellen van bruin vetweefsel veel mitochondriën bevatten, heeft het een bruine kleur.
Onderzoeksvraag	
Hypothese	
Experiment	Een aantal volwassen proefpersonen verblijft tien achtereenvolgende dagen zes uur per dag in een kamer met een temperatuur van 16 °C. Ze zijn gekleed in een korte broek en een T-shirt. Tijdens hun verblijf voeren ze alleen zittende activiteiten uit en mogen ze zich niet te veel inspannen. Om de twee uur krijgen ze een kop soep of thee aangeboden. Broodjes zijn onbeperkt verkrijgbaar. De activiteit en omvang van het bruine vetweefsel worden gemeten door bodyscans bij de proefpersonen uit te voeren.
Resultaat	Uit het experiment blijkt dat: • de activiteit van bruin vetweefsel bij de proefpersonen gemiddeld hoger is bij lagere temperaturen; • de gemiddelde hoeveelheid bruin vetweefsel bij de proefpersonen na het experiment is toegenomen.  1 voor het experiment 2 na het experiment ■ Scans van bruin vetweefsel in dezelfde persoon voor en na het experiment. In afbeelding 1 is bruin vetweefsel zichtbaar ter hoogte van het sleutelbeen. In afbeelding 2 is veel meer bruin vetweefsel zichtbaar.
Conclusie	Wanneer volwassenen langere tijd aan kou worden blootgesteld, is de activiteit van bruin vetweefsel hoger en neemt de hoeveelheid bruin vetweefsel toe.

FOOD TECHNOLOGY

Een nieuwe smaak drinkyoghurt of een luxedessert voor kerst. Soep die minder zout bevat, maar nog steeds net zo lekker is. Als je eens goed rondkijkt in de supermarkt, ontdek je steeds nieuwe producten.

Pleun is werkzaam als productontwikkelaar.

‘Aan het verschijnen van zo’n nieuw product in de supermarkt gaat een heel traject vooraf’, vertelt ze. ‘Het ontwikkelen van een product begint met een nieuw idee, of een vraag van een klant. Daarna ga ik aan het werk in onze proefkeuken. Als ik denk dat ik een goed recept heb ontwikkeld, komt een spannend moment: het laten proeven door collega’s. Zijn ze enthousiast, dan is het ontwikkelingsproces nog niet klaar. Ik zoek leveranciers voor de ingrediënten en ga de fabriek in om te testen of we het product op grotere

schaal kunnen maken. We voeren houdbaarheidstesten uit en bepalen de voedingswaarde. En natuurlijk wordt er een mooie verpakking ontworpen.’

Productontwikkeling is teamwerk. Pleun werkt als productontwikkelaar samen met de marketingafdeling, de productieafdeling in de fabriek en de afdeling ‘sales’ binnen het bedrijf. Het product moet niet alleen worden ontwikkeld, maar ook worden geproduceerd en verkocht voor een goede prijs.

‘Mijn werk is veelzijdig’, aldus Pleun. ‘Ik heb contact met klanten, leveranciers en collega’s van verschillende afdelingen. De ene dag zit ik achter de computer, de andere dag sta ik in de proefkeuken of de fabriek. En wat is er leuker dan uiteindelijk je eigen product terug te zien in je winkelmandje?’

Opdrachten

- 73 a** Een productontwikkelaar moet creatief en innovatief zijn. Leg dat uit.
- b** Zou het beroep van productontwikkelaar iets voor jou zijn? Leg je antwoord uit.
- 74** Een productontwikkelaar is niet alleen bezig met het ontwikkelen van nieuwe producten. Regelmatig moeten bestaande producten worden aangepast of verbeterd. Ze worden bijvoorbeeld gezonder of duurzamer gemaakt.
- a** Bedenk een aanpassing om een product gezonder te maken.
Noem het product en de aanpassing.
- b** Bedenk een aanpassing om een product duurzamer te maken.
Noem het product en de aanpassing.
- 75** In de supermarkt vind je tegenwoordig veel verspakketten (zie afbeelding 47). Zou jij zo’n verspakket een duurzaam product noemen? Geef zowel een argument voor als tegen.

■ Afb. 47 Een verspakket voor nasi.



HET DIEET VAN DE TOEKOMST

LEERDOELEN

- 12.S.1** Je kunt de argumenten om klimaatvriendelijk te eten toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 12.S.2** Je kunt de biologische vakvaardigheid ecologisch denken toepassen op duurzaam eten.

Koolhydraatarm, eiwitrijk, *intermittent fasting*, maaltijdshakes ... op het gebied van diëten is er voor elk wat wils. Een nieuwkomer is het 'klimaatvriendelijke dieet'. Dit dieet is niet bedoeld om af te vallen. Het klimaatvriendelijke dieet betekent dat je voedsel eet dat geproduceerd is met zo min mogelijk belasting van het milieu.

Een belangrijk aspect van het klimaatvriendelijke dieet is het eten van meer planten en minder dieren (zie afbeelding 1). De veehouderij zorgt voor 14,5% van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen en draagt daarnaast flink bij aan land- en watergebruik, ontbossing, mestproblemen, bodemuitputting, enzovoort. Het klimaatvriendelijke dieet bevat dus (veel) minder dierlijke producten zoals vlees, zuivel en eieren.

Ook let je bij dit dieet op de herkomst van de producten. Een kiwi of mango is lekker, maar wordt niet in Nederland geteeld. Het transport van voedsel vanaf de andere kant van de wereld is niet klimaatvriendelijk. Daarnaast kan het veel afval schelen als je in de winkel let op de hoeveelheid verpakkingsmateriaal van de producten die je koopt.

Niet alleen wat je eet, maar ook wanneer je het eet maakt verschil. Dat betekent voor ons geen aardbeien en sperziebonen in januari, want die groeien hier op dat moment niet. Toch is een product uit Nederland niet altijd de meest duurzame keuze. Gewassen verbouwen in een kas kan meer energie kosten dan het transport per vrachtwagen of boot binnen Europa. Voor het maken van een weloverwogen keuze is dus rekenwerk nodig.

Wat je zeker nooit moet doen is voedsel weggooien. Toch doen we dat massaal. Grofweg een derde van de voedingsmiddelen die voor mensen zijn geproduceerd, wordt niet opgegeten. Dat is omgerekend zo'n 1,3 miljard ton voedsel per jaar. Zonde van het voedsel zelf, maar ook van alle energie, water, enzovoort die zijn gebruikt om het voedsel te produceren.

Volgens Olivier de Schutter, voormalig rapporteur voedsel voor de Verenigde Naties, zouden we bereid moeten zijn meer geld uit te geven aan ons voedsel. 'In de jaren 1950 besteedden we nog zo'n 30% van ons inkomen aan voedsel, nu is dat nog maar 13%. Tegelijkertijd geven we miljarden euro's meer uit aan gezondheidszorg als gevolg van onze ongezonde levensstijl.'

Klimaatvriendelijk eten is ook lekker. Hans Dagevos, consumptiesocioloog aan de Wageningen Universiteit, zegt: 'Op een nieuwe manier koken en eten kan juist heel verrijkend en verrukkelijk zijn. Er wordt je niets afgepakt, je krijgt er meer mogelijkheden bij. Maar dit proces kost tijd.'

■ **Afb. 1** Plantaardige vervangers van dierlijke zuivel.



Opdrachten

- 1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *aardbei – dier – eiwit – gewas – klimaat – plant*.

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

- 2 **a** In de tekst worden vijf tips genoemd om klimaatvriendelijker te eten. Noteer deze vijf tips.
- b** Als jij zelf klimaatvriendelijker wil gaan eten, welke tip(s) zou(den) voor jou dan het meest nuttig zijn? Leg je antwoord uit.
- 3 Groenten zoals broccoli en sperziebonen zijn los verkrijgbaar bij de supermarkt of groentewinkel, maar ook als gesneden en gewassen variant. Welke variant pas het best in het klimaatvriendelijke dieet? Leg je antwoord uit.
- 4 Op de verpakking van een product staat vermeld tot wanneer het product houdbaar is. Er wordt onderscheid gemaakt tussen een 'ten minste houdbaar tot'-datum (THT) of een 'te gebruiken tot'-datum (TGT).
- a** Zoek op wat het verschil is tussen een THT- en een TGT-datum.
- b** Leg uit waarom het klimaatvriendelijk is om op zoveel mogelijk producten een THT-datum te zetten in plaats van een TGT-datum.
- c** Op welke (groepen) producten verwacht je een TGT-datum? Leg je antwoord uit.
- 5 Het klimaatvriendelijke dieet is eigenlijk helemaal niet nieuw. Vijftig tot honderd jaar geleden werd er in Nederland misschien zelfs wel klimaatvriendelijker gegeten dan nu. Leg dat uit.

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

12.O.1 Je kunt met indicatoren eiwitten, glucose, zetmeel en vitamine C aantonen.

► Basisstof 1

Voedingsstoffen aantonen

⌚ 50 minuten

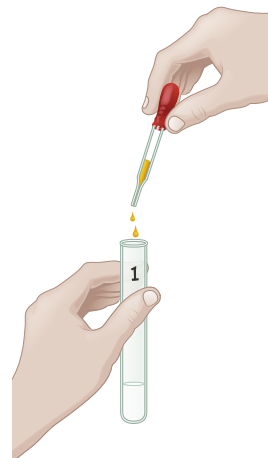
INLEIDING

Sommige voedingsstoffen kun je aantonen met indicatoren. In deze practicumopdracht onderzoek je welke kleurveranderingen er optreden als je met indicatoren een voedingsstof aantoot.

MATERIAAL

- reageerbuisrek
- vier reageerbuizen
- watervaste stift
- waterbad 70 °C
- bekerglas van 500 mL
- mes (of een spatel)
- eiwit van een ongekookt kippenei
- glucose
- zetmeel
- vitamine C-oplossing
- biureetreagens in een flesje met een druppelpipet
- fehlingsreagens in een flesje met een druppelpipet
- jodiumoplossing in een flesje met een druppelpipet
- DCPIP-oplossing in een flesje met een druppelpipet

■ **Afb. 1** Druppels toevoegen met een druppelpipet.



METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Plaats het reageerbuisrek in een warmwaterbad van 70 °C.
- Eiwitten: doe een beetje eiwit in reageerbuis 1. Voeg ongeveer 3 mL water toe en schud de buis voorzichtig. Voeg dan enkele druppels biureetreagens toe (zie afbeelding 1).
- Glucose: doe een mespunt glucose in reageerbuis 2. Voeg ongeveer 3 mL water toe en schud tot de glucose is opgelost. Voeg vervolgens ongeveer tien druppels fehlingsreagens toe. Zet de buis vijf minuten in het reageerbuisrekje in het waterbad.
- Zetmeel: doe een mespunt zetmeel in reageerbuis 3. Voeg ongeveer 3 mL water toe. Voeg vervolgens enkele druppels jodiumoplossing toe. Schud de buis.
- Vitamine C: doe een beetje vitamine C-oplossing in reageerbuis 4. Voeg één druppel DCPIP-oplossing toe. Schud de buis.

RESULTAAT

Maak een tabel van de voedingsstoffen en hun indicator en noteer welke kleurverandering je waarneemt.

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

12.O.2 Je kunt met indicatoren eiwitten, glucose, zetmeel en vitamine C in voedingsmiddelen aantonen.

- ▶ Basisstof 1
- ▶ Vaardigheid 7 (thema 1)

Voedingsstoffen in voedingsmiddelen aantonen

 50 minuten

INLEIDING

In deze practicumopdracht onderzoek je met indicatoren of eiwitten, glucose, zetmeel en vitamine C in bepaalde voedingsmiddelen voorkomen.

MATERIAAL

- reageerbuisrek
- vier reageerbuizen
- watervaste stift
- waterbad 70 °C
- bekerglas van 500 mL
- mes en schaalte of een vijzel
- voedingsmiddelen, bijvoorbeeld brood, worst, ui, melk, sinas
- biureetreagens in een flesje met een druppelpipet
- fehling'sreagens in een flesje met een druppelpipet
- jodiumoplossing in een flesje met een druppelpipet
- DCPIP-oplossing in een flesje met een druppelpipet

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Neem een voedingsmiddel. Maak een vast voedingsmiddel goed fijn.
- Doe in elke reageerbuis een kleine hoeveelheid voedingsmiddel. Voeg aan de reageerbuizen ongeveer 2 mL water toe en schud de buizen. Als het voedingsmiddel vloeibaar is, doe je in elke reageerbuis ongeveer 2 mL van het voedingsmiddel.
- Onderzoek met behulp van de indicatoren of het voedingsmiddel eiwitten, glucose, zetmeel of vitamine C bevat. Verwarm de buizen waaraan je fehling'sreagens hebt toegevoegd vijf minuten in het waterbad.
- Noteer je resultaten.
- Onderzoek vervolgens op dezelfde manier enkele andere voedingsmiddelen.
- Maak tussendoor de buizen steeds goed schoon.

RESULTAAT

- Noteer in een overzicht welke voedingsmiddelen je hebt onderzocht en geef aan welke voedingsstoffen de voedingsmiddelen bevatten.
- Vergelijk je gegevens met die van medeleerlingen. Probeer de oorzaak te achterhalen als de resultaten niet overeenkomen.

ONDERZOEKSDOEL

12.O.3 Je kunt de werking van het enzym amylase in speeksel aantonen.

► Basisstof 3

De werking van speeksel

 50 minuten

INLEIDING

In deze practicumopdracht onderzoek je de werking van amylase in speeksel. Je gebruikt daarbij jodiumoplossing en fehling'sreagens als indicatoren.

MATERIAAL

- reageerbuisrek
- negen reageerbuizen
- watervaste stift
- pipet van 2 mL
- bekeerglas met gedestilleerd water
- zetmeeloplossing van 2%
- waterbad
- jodiumoplossing in een flesje met een druppelpipet
- fehling'sreagens in een flesje met een druppelpipet
- bekeerglas
- een waterbad van 70 °C en een waterbad van 37 °C

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 9.
- Verzamel speeksel in je mond. Vul reageerbuis 9 tot ongeveer 1,5 cm hoogte met speeksel. Dun, waterig speeksel geeft een beter resultaat dan dik, slijmerig speeksel.
- Verdun het speeksel met een gelijke hoeveelheid gedestilleerd water. Meng goed.
- Pipetteer in reageerbuis 1 en 2 elk 1 mL gedestilleerd water.
- Pipetteer in reageerbuis 3 en 4 elk 1 mL speekseloplossing.
- Spoel de pipet goed schoon.
- Pipetteer in reageerbuis 5 tot en met 8 elk 2 mL zetmeeloplossing.
- Zet de reageerbuizen in het waterbad bij 37 °C. Laat de buizen vijf minuten op temperatuur komen.
- Doe de inhoud van reageerbuis 1 bij die van reageerbuis 5, die van 2 bij die van 6, die van 3 bij die van 7 en die van 4 bij die van 8. Laat reageerbuis 5 tot en met 8 nog tien minuten in het waterbad staan bij 37 °C.
- Voeg aan reageerbuis 5 en 7 elk vijf druppels jodiumoplossing toe. Voeg aan reageerbuis 6 en 8 elk tien druppels fehling'sreagens toe. Schud de buizen. Zet reageerbuis 6 en 8 vijf minuten in het waterbad van 70 °C.

RESULTAAT

Maak een overzicht van je resultaten.

CONCLUSIE

- 1 Welke conclusie kun je trekken?
- 2 Leg uit dat buis 5 en 6 als controleproef dienen.

SAMENVATTING

12.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt de kenmerken en functies noemen van zes groepen voedingsstoffen en van voedingsvezel.

- Voedingsmiddelen: alles wat je eet en drinkt.
- Voedingsstoffen: de bruikbare bestanddelen van voedingsmiddelen.
 - Als bouwstoffen voor organische moleculen bij de voortgezette assimilatie (voor groei en ontwikkeling, voor vervanging van afgestorven cellen en voor herstel van verwondingen).
 - Als brandstoffen om energie te leveren voor de dissimilatie (om te kunnen bewegen, voor het op peil houden van de lichaamstemperatuur en voor groei, ontwikkeling en herstel).
 - Als reservestof voor gebruik op een later moment.
- Eiwitten (proteïnen):
 - Eiwitten zijn ketens van enkele tientallen tot meer dan duizend aminozuren (zie **BiNaS** tabel 67H).
 - Functie: vooral bouwstof, komt voor in tussencelstof (collageen, kraakbeen, been), nodig bij het transport van stoffen (transporteiwitten), de celcommunicatie (signalen overbrengen: hormonen, neurotransmitters), chemische reacties (enzymen), immuniteit (antistoffen) en bloedstolling (stollingseiwitten).
 - Een teveel wordt niet opgeslagen, maar wordt omgezet in glucose en verbrand.
 - Essentiële aminozuren (zie **BiNaS** tabel 67H1): moeten in het voedsel aanwezig zijn, omdat ze niet of in onvoldoende hoeveelheden in het lichaam van de mens kunnen worden gevormd.
 - Niet-essentiële aminozuren: kunnen door de mens zelf aangemaakt worden uit andere aminozuren (transaminering).
- Koolhydraten (sachariden, zie **BiNaS** tabel 67F):
 - Functie: vooral brandstof, ook bouwstof (o.a. in DNA, in ATP en in celmembranen).
 - Een teveel aan opgenomen koolhydraten wordt omgezet in glycogeen of vet en opgeslagen.
 - Een monosacharide is een eenvoudige sacharide die bestaat uit één ringvormig molecuul. Bijvoorbeeld glucose.
 - Een disacharide bestaat uit twee monosachariden. Bijvoorbeeld lactose.
- Een polysacharide bestaat uit vele monosachariden. Bijvoorbeeld zetmeel en cellulose.
- Voedingsvezel: stoffen afkomstig van plantaardige voedingsmiddelen die niet door enzymen van de mens kunnen worden verteerd.
 - Functie: de darmwerking bevorderen.
- Vetten (lipiden, zie **BiNaS** tabel 67G):
 - Functie: vooral brandstof, ook bouwstof (fosfolipiden in membranen), oplosmiddel voor sommige vitaminen (A, D, E en K).
 - Triglyceriden: vetmoleculen die zijn opgebouwd uit een glycerolmolecuul en drie vetzuurmoleculen.
 - Een teveel aan opgenomen vetten wordt opgeslagen onder de huid en rondom organen.
 - Essentiële vetzuren (zie **BiNaS** tabel 67G2): moeten in het voedsel aanwezig zijn omdat ze niet in het lichaam van de mens kunnen worden gevormd.
 - Cholesterol is een vetachtige stof die voornamelijk wordt aangemaakt door de lever. Cholesterol komt voor in celmembranen en wordt gebruikt bij de productie van hormonen, gal en vitamine D.
- Water:
 - Functie: bouwstof (in lichaamscellen).
 - Dient ook als oplosmiddel en transportmiddel en bepaalt samen met de opgeloste stoffen de osmotische waarde van vloeistoffen in het lichaam.
 - Organismen bestaan voor het grootste deel uit water.
- Mineralen (voedingszouten):
 - Functie: bouwstof (bijvoorbeeld calcium en fosfor in de tussencelstof van beenweefsel en tandbeen).
 - Spoorelementen: mineralen die in geringe hoeveelheden in het voedsel aanwezig zijn. Spoorelementen zijn vaak bestanddeel van enzymen of hormonen.
- Vitaminen:
 - Functie: bouwstof (o.a. als bestanddeel van enzymen).
 - Bij een tekort aan vitaminen in het voedsel ontstaan gebreksziekten. Een teveel kan ook schadelijk zijn.

- Vitaminen (zie **BiNaS** tabel 82A; behalve vitamine K) kunnen niet in het lichaam worden gevormd en moeten dus in het voedsel aanwezig zijn. Sommige vitamines kunnen in het lichaam worden gevormd uit provitamines (die in het voedsel aanwezig moeten zijn).

12.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt de bouw, werking en functies van de verteringsorganen van de mens beschrijven en de relatie tussen bouw en functie uitleggen.

- Darmperistaltiek:
 - Het afwisselend samentrekken van kringspieren en lengtespieren in de wand van het darmkanaal waardoor de voedselbrij wordt voortgeduwd, gekneet en gemengd met de verteringssappen.
- Verteringssappen:
 - Worden aan de voedselbrij afgegeven door verteringsklieren en bevatten enzymen (zie **BiNaS** tabel 82F).
- (Spijs)vertering: in het darmkanaal (verteringskanaal, zie **BiNaS** tabel 82C).
 - Mechanische vertering: kauwen en kneden (darmperistaltiek).
 - Chemische vertering: enzymen in verteringssappen breken voedingsstoffen af tot moleculen die cellen in de darmwand kunnen opnemen.
 - Voedingsstoffen worden afgebroken tot verteringsproducten die in het bloed kunnen worden opgenomen.
- Mondholte:
 - Gebit: voedsel afbijten en verkleinen (kauwen).
- Keelholte:
 - Slikreflex: de huid sluit de neusholte af en het strotklepje sluit de luchtpijp af.
- Slokdarm: verbindt de keelholte met de maag.
- Maag:
 - Functie: tijdelijke opslagplaats van voedsel.
 - Kringspieren bij de ingang en de uitgang (maagportier) kunnen de maag afsluiten.
 - Maagsapklieren produceren maagsap.
 - Zoutzuur (HCl) in maagsap zorgt voor een sterk zuur milieu waardoor bacteriën in het voedsel worden gedood.
 - Slijm in maagsap beschermt de maagwand tegen het maagsap.
- Lever:
 - Functie voor de spijsvertering: produceert gal.
 - Gal bevat galkleurstoffen en galzuren.
 - Gal wordt tijdelijk opgeslagen in de galblaas en afgevoerd via de galbuis.

- Gal emulgeert vetten (het maakt de vetdruppeltjes kleiner).
- Alvleesklier (pancreas): produceert alvleessap.
- Twaalfvingerige darm (eerste deel van de dunne darm): vermengt gal en alvleessap met de voedselbrij.
- Dunne darm: darmsapklieren produceren darmsap.

12.2.2

Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen verteringsorganen en verteringsstelsels van de mens en van andere eukaryoten.

- Fagocytose: opnemen van voedsel in de cel door het afsnoeren van blaasjes (voedingsvacuole).
 - Voedingsvacuole: een blaasje met voedingsstoffen dat ontstaat door instulping en afsnoering van het celmembraan.
- Intracellulaire vertering: vertering in de cel.
- Extracellulaire vertering: vertering vindt plaats in een speciale ruimte in het lichaam.
 - Maag-darmholte: een holte in het lichaam met maar één opening die mond en anus tegelijk is en waarin vertering van voedsel plaatsvindt.

12.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden verteerd in het verteringsstelsel.

- Speeksel: bevat slijm en amylase.
 - Speekselklieren: produceren speeksel.
 - Slijm: maakt het voedsel glad, waardoor het inslikken gemakkelijker gaat.
 - Amylase (pH-optimum 6,6) verteert zetmeel tot maltose.
 - De speekselproductie wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel.
- Maagsap: bevat zoutzuur, slijm en pepsinogeen (een inactief pro-enzym).
 - De productie van maagsap wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel (voedsel zien en/of ruiken) en door het hormoon gastrine (als het voedsel in de maag is aangekomen) uit de maagwand.
 - Een inactief pro-enzym: een niet-actief enzym dat door chemische reacties met andere stoffen wordt omgezet in een actief enzym.
 - Zoutzuur (HCl) activeert pepsinogeen in maagsap tot pepsine.
 - Pepsine (pH-optimum 2,5) activeert pepsinogeen tot pepsine (positieve terugkoppeling).

- Pepsine verteert eiwitten tot lange polypeptiden (vrij lange aminozuurketens).
- Bij een lage pH in de twaalfvingerige darm is de maagportier samengetrokken.
- Bij een licht basische pH in de twaalfvingerige darm is de maagportier ontspannen.
- Gal: de galblaas geeft gal af als vethoudend voedsel de wand van de twaalfvingerige darm passeert.
 - Galkleurstoffen: afbraakproducten van dode rode bloedcellen.
 - Galzuren: worden omgezet in galzouten en emulgeren vetten; dit vergroot het totale oppervlak van de vetdruppels.
 - Bij een lage pH produceren cellen in de wand van de twaalfvingerige darm de hormonen secretine en cholecystokinine.
 - Secretine regelt de productie van gal door de lever.
 - Cholecystokinine regelt de afgifte van gal door de galblaas.
- Alvleessap: de alvleesklier geeft alvleessap af als de pH in de twaalfvingerige darm laag is.
 - Bevat natriumwaterstofcarbonaat (NaHCO_3), trypsinogeen (een inactief pro-enzym), peptidasen, amylase, lipase, DNA-ase en RNA-ase.
 - Secretine stimuleert de alvleesklier tot de secretie van natriumwaterstofcarbonaat (NaHCO_3) dat HCl uit de maag neutraliseert (de pH stijgt in de twaalfvingerige darm tot pH 8 à 9).
 - Trypsinogeen wordt in de twaalfvingerige darm geactiveerd tot trypsine onder invloed van enterokinase uit de wand van de twaalfvingerige darm.
 - Trypsine: verteert lange polypeptiden tot korte polypeptiden.
 - Peptidasen: verteren polypeptiden tot di- en tripeptiden en aminozuren.
 - Lipase: verteert vetten (triglyceriden) tot glycerol, vetzuren en monoglyceriden. Door de vrijgekomen vetzuren daalt de pH van de voedselbrij.
 - DNA-ase en RNA-ase splitsen DNA en RNA in nucleotiden.
- Darmsap:
 - Bevat maltase, sacharase, lactase en peptidasen.
 - Maltase verteert maltose tot glucose.
 - Sacharase verteert sacharose tot glucose en fructose.
 - Lactase verteert lactose tot glucose en galactose.

- Zie **BiNaS** tabel 82E en 82G (enzymen).
- Zie **BiNaS** tabel 82F (verteringssappen).

12.3.2

Je kunt de werking van verteringsenzymen beschrijven.

- Enzymen katalyseren de spijsvertering.
 - Een enzym is specifiek voor een reactie.
 - De werking is afhankelijk van de pH-waarde en de temperatuur.
 - Eiwitmoleculen worden met enzymen voor eiwitvertering afgebroken tot afzonderlijke aminozuurmoleculen.
 - Moleculen van polysachariden en disachariden worden door enzymen voor koolhydraatvertering gesplitst tot monosachariden.
 - Vetmoleculen (triglyceriden) worden met enzymen voor vetvertering verteerd tot afzonderlijke glycerolmoleculen en vetzuurmoleculen of monoglyceriden.

12.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden opgenomen in het darmkanaal.

- Dunne darm:
 - Darmwand: groot oppervlak door darmplooiën, darmvlokken (villi) en microvilli (uitstulpingen van darmepitheelcellen).
 - Darmepitheel: de buitenste laag cellen van de darmvlokken. Functie: opname van water, voedingsstoffen en verteringsproducten.
- Resorptie: de opname van stoffen in het bloed en de lymfe via de darmwand.
 - Kan plaatsvinden in het hele darmkanaal.
 - In de dunne darm vindt de meeste resorptie plaats door het grote oppervlak.
- Resorptie door:
 - passief transport: diffusie via de fosfolipiden, porie-eiwitten of transporteiwitten in het membraan;
 - actief transport (energie nodig uit de omzetting van ATP): darmepitheelcellen nemen stoffen op tegen het concentratieverval in en er vindt selectie van stoffen plaats.
- Darmepitheelcellen:
 - Aminozuren, monosachariden (o.a. glucose), water, mineralen en vitaminen worden afgegeven aan het bloed.

- Uit monoglyceriden, vetzuren en glycerol worden weer triglyceriden gevormd, die als lipoproteïnen worden afgegeven aan de intercellulaire ruimten tussen de darmepitheelcellen en via de lymfevaten worden opgenomen in het bloed.
- Het bloed uit de haarvaten van de maag tot en met de dikke darm stroomt door de poortader naar de lever.
- Blindedarm met appendix (wormvormig aanhangsel):
 - Bij blindedarmontsteking is de appendix ontstoken.
- Dikke darm:
 - Functie: resorptie van water, mineralen, glucose en vitamine K.
 - Bij diarree wordt niet voldoende water uit de brij van onverteerde voedselresten geresorbeerd.
 - Darmbacteriën (darmflora): sommige soorten produceren cellulase dat cellulose uit de celwanden van plantaardig voedsel verteert. Andere soorten produceren stoffen die belangrijk zijn voor de mens, zoals vitamine K.
- Endeldarm met anus:
 - Functie: verzamelen en tijdelijk opslaan van onverteerde voedselresten (ontlasting of feces).
 - Anus: kringspier die de endeldarm afsluit.
 - Zie **BiNaS** tabel 82C (verteringsorganen).

12.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt beargumenteren wat gezonde voeding is.

- Door preventie kun je gezondheidsproblemen voorkomen. Preventieve maatregelen die leiden tot een betere gezondheid zijn onder andere gezonde voeding en regelmatige lichaamsbeweging.
 - Door gezond te eten verklein je het risico op welvaartsziekten zoals obesitas, hart- en vaatziekten, diabetes type 2 en kanker.
- Voor informatie over voedingsstoffen, voedingsmiddelen en voedingspatronen in relatie tot gezondheid kun je de Schijf van Vijf gebruiken.
- Onbewerkt, vers en plantaardig voedsel is gezonder.
 - Sterk bewerkte voedingsmiddelen bevatten vaak veel kleurstoffen, smaakstoffen, geurstoffen, suiker, verzadigd vet en zout, en weinig mineralen, vitaminen en vezels.
 - Wanneer je veel sterk bewerkte voedingsmiddelen eet, heb je een verhoogde kans op welvaartsziekten zoals obesitas, diabetes type 2 en hart- en vaatziekten.

12.5.2

Je kunt aangeven wat de gezondheidsrisico's zijn van ongezonde of te veel voeding.

- Als je meer energie via je voeding binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, kun je zwaarder en dikker worden door opslag van vet in het onderhuidse bindweefsel en rondom organen in je buik (buikvet).
 - De energiebehoefte van een mens is o.a. afhankelijk van het geslacht, de leeftijd, de omgevingstemperatuur, het lichaamsgewicht en de lichamelijke inspanning.
 - Te veel buikvet verhoogt de kans op hart- en vaatziekten, diabetes en kanker.
 - Door met je voedsel minder energie binnen te krijgen dan je verbruikt, val je af.
 - Door je tailleomtrek te meten en de Body Mass Index (BMI) te gebruiken, kun je bepalen of je een gezond gewicht hebt.
 - Bij een te lage (ondergewicht) of te hoge (overgewicht) BMI heb je een grotere kans op ziekten.
- Cholesterol wordt in je bloed vervoerd door lipoproteïnen.
 - Cholesterol is een belangrijke bouwstof en je kunt niet zonder.
- LDL (Lage Dichtheid Lipoproteïne) vervoert cholesterol van de lever via het bloed naar de rest van je lichaam.
 - Cholesterol wordt opgenomen in cellen die het nodig hebben voor bijvoorbeeld het maken van hormonen en het opbouwen van celmembranen.
 - Overtollige LDL-cholesterol in het bloed kan zich afzetten tegen beschadigingen aan de binnenwand van de bloedvaten, waardoor deze kunnen dichtslibben en hart- en vaatziekten kunnen ontstaan.
 - Verzadigde vetzuren verhogen het LDL-gehalte.
- HDL (Hoge Dichtheid Lipoproteïne) voert LDL uit het bloed af naar de lever waar het wordt afgebroken.
 - HDL verlaagt het cholesterolgehalte van het bloed.
 - Onverzadigde vetzuren verhogen het HDL-gehalte.
- De cholesterol-HDL-ratio bepaalt of je een verhoogde kans hebt op hart- en vaatziekten.
 - Deel het totale cholesterolgehalte door het HDL.
 - Bij een ratio kleiner dan 4 is er geen verhoogde kans op hart- en vaatziekten.

- De productie van voedsel heeft invloed op het milieu, bijvoorbeeld door het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, mest, zoetwater en energie en door transport.
 - Door de groeiende wereldbevolking en welvaart stijgt de vraag naar voedingsmiddelen.
 - Onderzoek naar nieuwe productieprocessen moet voedseltekort in de toekomst voorkomen en duurzaamheid bevorderen.

SAMENHANG

- 12.S.1 Je kunt de argumenten om klimaatvriendelijk te eten toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 12.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheid ecologisch denken toepassen op duurzaam eten.

ONDERZOEK - PRACTICA

- 12.O.1 Je kunt met indicatoren eiwitten, glucose, zetmeel en vitamine C aantonen.
- 12.O.2 Je kunt met indicatoren eiwitten, glucose, zetmeel en vitamine C in voedingsmiddelen aantonen.
- 12.O.3 Je kunt de werking van het enzym amylase in speeksel aantonen.



[Ga naar de Flitskaarten en de Oefentoets.](#)

EXAMENOPGAVEN

LACHGAS, GEEN ONSCHULDIGE PARTYDRUG

Naar: examen vwo 2022-1, vraag 37 t/m 39.

Lachgas (N_2O) wordt door jongeren steeds vaker gebruikt als partydrug. Zij beschouwen het als een relatief onschadelijk middel dat je een lachkick bezorgt. Vwo-scholier Lia liep ernstige zenuwschade op door het gebruik van lachgas. Bij lachgasgebruik wordt een ballon gevuld met het gas. Vervolgens wordt een paar keer in- en uitgeademd in de ballon. Hierdoor ontstaat een kortdurend vrolijk gevoel. Dit gevoel ontstaat waarschijnlijk doordat lachgas NMDA-receptoren in synapsen in de hersenen blokkeert. Er ontstaat ook duizeligheid door een tijdelijk zuurstofgebrek in de hersenen.

Het is niet altijd meteen duidelijk dat zenuwschade het gevolg kan zijn van lachgasgebruik. Lia kreeg minder gevoel in haar benen en ze kreeg moeite met lopen. Toen ze met deze klachten bij haar huisarts kwam, verwees die haar door naar een neuroloog. De neuroloog onderzocht haar beenreflexen en vermoedde een probleem in de impulsgeleiding als gevolg van aantasting van de myelineschedes. Na doorvragen van de neuroloog biechtte Lia op dat zij in de weken voorafgaand aan haar klachten regelmatig lachgas had gebruikt. Lachgasgebruik was een zeer plausibele verklaring voor haar klachten, omdat lachgas vitamine B12 inactieveert. Functioneel vitamine B12 is onmisbaar voor de vorming van myeline in de cellen van Schwann.

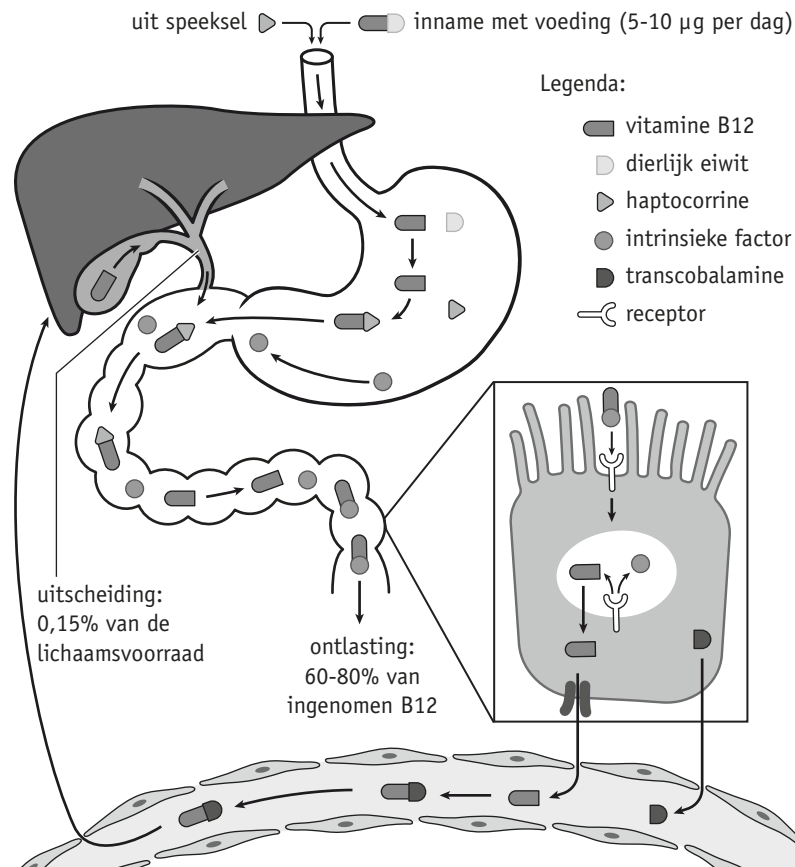
Afbeelding 1 laat op vereenvoudigde wijze zien hoe vitamine B12 uit de voeding via enkele omzettingen terecht kan komen in het bloed.

Bij opname van vitamine B12 zijn drie verschillende eiwitten betrokken: haptocorrine, intrinsieke factor en dierlijk eiwit uit de voeding. Elk van deze eiwitten heeft bepaalde eigenschappen die dat eiwit geschikt maken voor zijn rol in de vitamine B12-opname. Enkele eigenschappen van drie betrokken eiwitten zijn:

- 1 wordt alleen afgebroken door proteasen (eiwitsplitsende enzymen) uit de alvleesklier;
- 2 wordt afgebroken door proteasen uit de maag en de alvleesklier;
- 3 is bestand tegen proteasen uit de maag en de alvleesklier.

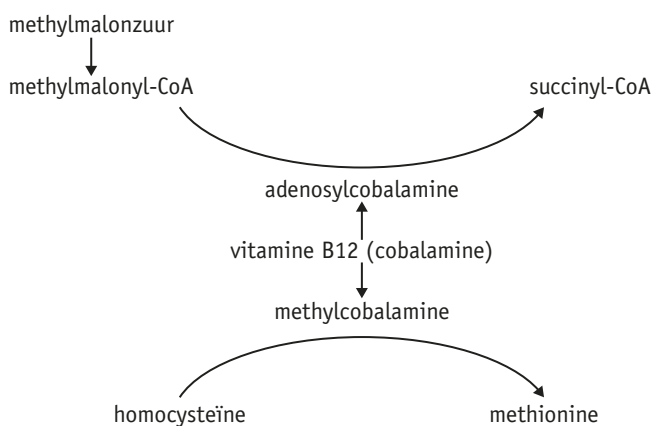
- 1p **1** Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of de betreffende eigenschap een eigenschap is van haptocorrine, van intrinsieke factor of van dierlijk eiwit.

■ **Afb. 1** De opname van vitamine B12.



Een bloedonderzoek kan geen onderscheid maken tussen functioneel en niet-functioneel vitamine B12. Daarom wordt het tekort aan functioneel vitamine B12 indirect aangetoond. In afbeelding 2 is te zien dat twee vormen van vitamine B12 als cofactor betrokken zijn bij bepaalde enzymatische omzettingen.

■ **Afb. 2** Vitamine B12 als cofactor bij enzymatische omzettingen.



Het bloedonderzoek bij Lia toonde aan dat ze inderdaad een tekort had aan functioneel vitamine B12.

- 2p **2** Welke bloedwaarden van methylmalonzuur en homocysteïne wijzen op een tekort aan functioneel vitamine B12?

	Concentratie methylmalonzuur	Concentratie homocysteïne
A	verhoogd	verhoogd
B	verhoogd	verlaagd
C	verlaagd	verhoogd
D	verlaagd	verlaagd

Nadat Lia vitamine B12-injecties kreeg, verdwenen de symptomen snel. Vitamine B12 kan ook als pil worden ingenomen.

- 1p **3** Verklaar waarom een injectie met vitamine B12 te verkiezen is boven orale toediening van vitamine B12 via een pil.

DE FIPRONILCRISIS IN DE PLUIMVEESECTOR

Naar: examen vwo 2022-2, vraag 10 en 11.

In 2017 werd de pluimveesector in Nederland en België getroffen door de fipronilcrisis. Voor de bestrijding van vogelmijt waren stallen van legkippen gereinigd met het verboden middel fipronil. Deze stof was door de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) aangetroffen in eieren en in producten waarin eieren verwerkt worden. Miljoenen eieren werden uit de supermarkten gehaald en vernietigd. De Duitse warenautoriteit publiceerde cijfers over eieren die afkomstig waren uit België. Er werden hoeveelheden fipronil gemeten van 0,0031 tot 1,2 mg/kg. Volgens de normwaarden mag een kortdurende blootstelling aan fipronil bij mensen niet boven de 0,009 mg/kg lichaamsgewicht komen.

Over de gemeten hoeveelheden werden door toxicologen in de media diverse beweringen gedaan. Een citaat: 'Een kind dat 10 kg weegt en één ei binnenkrijgt, zit net op de uiterste waarde voor acute toxische effecten.'

- 2p **4**
- Noteer de berekening waarop deze bewering is gebaseerd, uitgaande van een ei van 75 gram.
 - Geef een argument waaruit blijkt dat deze bewering niet altijd waar is.

Naast de norm voor kortdurende blootstelling wordt ook een andere norm gehanteerd: de aanvaardbare dagelijkse inname (ADI) van 0,0002 mg/kg lichaamsgewicht die iedere dag geconsumeerd kan worden zonder dat er effecten op de gezondheid optreden.

- 2p **5** Geef een argument waarom deze norm strenger is dan de norm voor kortdurende blootstelling.

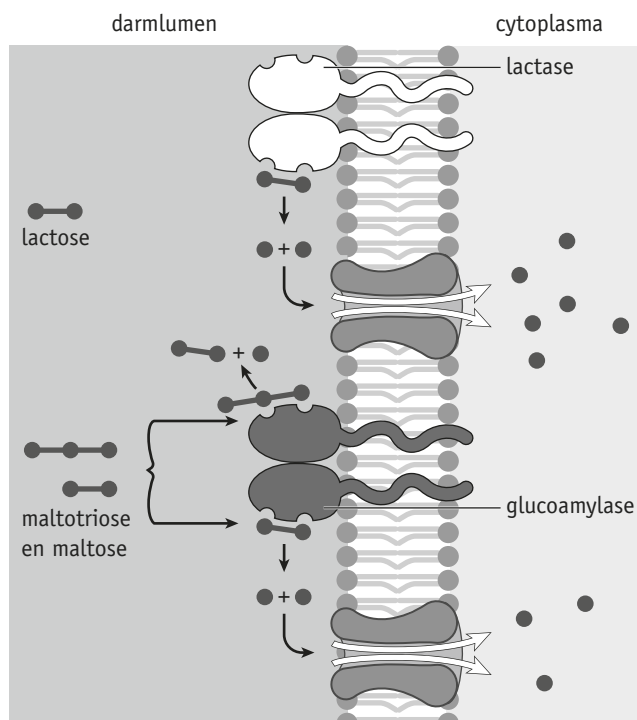
DE ZIEKTE VAN CROHN

Naar: examen vwo 2021-3, vraag 30.

In Nederland zijn er waarschijnlijk meer dan vijftigduizend patiënten met de ziekte van Crohn. De ziekte van Crohn is een chronische ontstekingsziekte van de darm. Erfelijkheid en omgevingsfactoren beïnvloeden de kans dat iemand de ziekte krijgt. Ook het darmbioom – het totaal aan micro-organismen in de darm – lijkt een rol te spelen. De ontstekingen ontstaan door sterke afweerreacties in het spijsverteringskanaal. Door de ontstekingen beschadigt het darmepitheel.

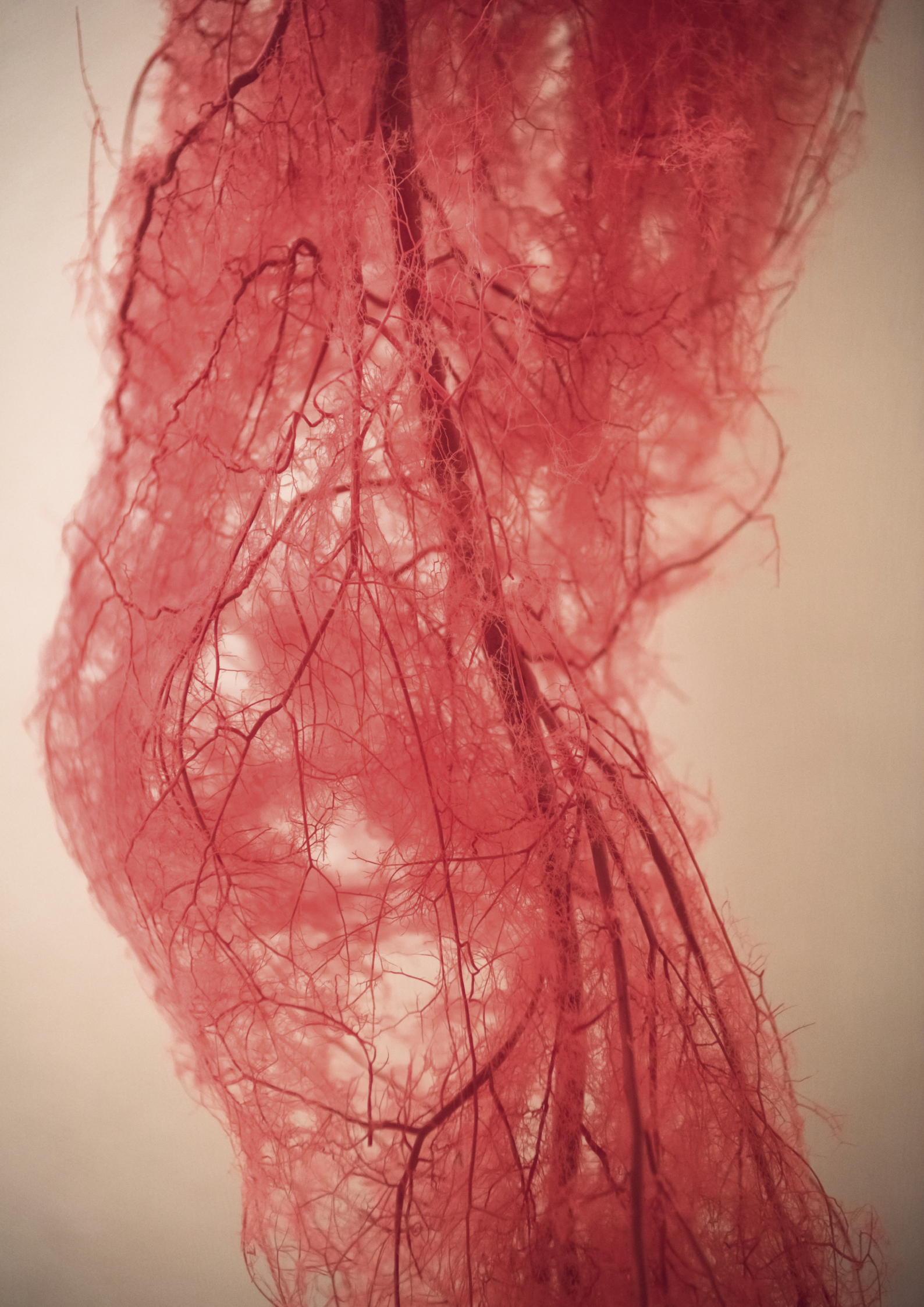
Een van de symptomen van de ziekte is vermoeidheid. De oorzaak is mogelijk een vermindering van het aantal darmvlokken in de dunne darm door de ontstekingen. In afbeelding 3 is de werking van verschillende typen membraaneiwwitten van darmepitheelcellen in een darmvlok vereenvoudigd weergegeven.

■ **Afb. 3** De werking van verschillende typen membraaneiwwitten van darmepitheelcellen in een darmvlok.



- 3p 6
- Beschrijf aan de hand van afbeelding 3 twee verschillende gevolgen van een kleinere hoeveelheid darmvlokken.
 - Verklaar hoe dit uiteindelijk leidt tot vermoeidheid.

 [Ga naar de Examentrainer.](#)



Thema 13

TRANSPORT

Een samenleving kan niet zonder transport. Water, elektriciteit, gas, levensmiddelen en afvalstoffen worden via wegen en leidingen aan- en afgevoerd. Bij organismen is dat niet anders. Alle cellen van meercellige organismen hebben stoffen nodig en geven afvalstoffen af. Om alle cellen te bereiken, bezitten deze organismen speciale transportsystemen. De organen zijn bijvoorbeeld verbonden met vaten die stoffen kunnen aanvoeren en afvoeren. Bij mensen en de meeste dieren zorgt een hart meestal voor de circulatie van de vloeistof in de vaten. In dit thema leer je over de bouw en werking van deze transportsystemen.

Inhoud

■ ORIËNTATIE

Doping en een bloedpaspoort	70
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

■ BASISSTOF

1 Het bloed	72
2 Transportsystemen bij dieren	80
3 Het hart	87
4 Het bloedvatenstelsel	96
5 De bloedvaten	104
6 Weefselvloeistof en lymfe	114

■ SAMENHANG

De ziekte van Lyme	120
--------------------	-----

■ EXTRA STOF

De bloedsomloop bij amfibieën en reptielen	
Ideeën voor onderzoek	

■ ONDERZOEK

Practica	122
----------	-----

■ AFSLUITING

Samenvatting	126
Examenopgaven	130

DOPING EN EEN BLOEDPASPOORT

Iedere zomer wanneer de Tour de France start (zie afbeelding 1), begint de discussie rondom dopinggebruik bij wielrenners opnieuw. De wielrensport heeft veel aan populariteit ingeboet door dopingschandalen van bekende renners zoals zevenvoudig tourwinnaar Lance Armstrong. Veel renners gebruikten middelen zoals anabole steroïden, epo (een hormoon voor de aanmaak van rode bloedcellen) en andere vormen van bloeddoping (zie afbeelding 2), zoals het afnemen en terug injecteren van lichaamseigen bloedcellen.

Maar ook andere sporten zijn niet dopingvrij. Zo testte de Kazachstaanse voetballer Aýbol Abiken in 2022 positief op meldonium. Dit is een medicijn dat in Oost-Europa ook wel wordt voorgeschreven als behandeling bij een beroerte, omdat dit het zuurstoftransport positief beïnvloedt. In 2020 zou het olympisch team van Rusland eigenlijk geschorst zijn vanwege dopingschandalen. Grigori Rodtsjenkov, een voormalig hoofd van een dopinglab in Moskou, had verteld over een dopingnetwerk, met medewerking van de Russische staat, onder andere gericht op topsporters die deelnamen aan de Olympische Spelen. Maar dat jaar werden de spelen

uitgesteld vanwege corona en het Russische team mocht in 2021 toch deelnemen. Dit zorgde voor veel discussie.

Om het gebruik van doping in topsport te bestrijden en dopingcontroles zoveel mogelijk gelijk te trekken, werd in 1999 het WADA (World Anti-Doping Agency) opgericht. Deze organisatie heeft de afspraken rondom dopinggebruik en controle opgesteld. Al in 2009 introduceerde het WADA een biologisch paspoort, ook wel bekend als een bloedpaspoort, dat als bewijs kan dienen bij dopingzaken. In dit elektronische document worden gedurende meerdere jaren de resultaten van bloed en urinecontroles van atleten bijgehouden.

■ **Afb. 1** Wielrenners in de Tour de France.



■ **Afb. 2** Bloeddoping leidt tot betere sportprestaties.



Ieder jaar moeten atleten meerdere dopingcontroles ondergaan, waarbij hun bloed en urine worden onderzocht. Doordat deze afnamemomenten plaatsvinden tijdens trainingsfasen en bij wedstrijden, kun je al deze metingen samen gebruiken om een beeld te krijgen van de 'normale' bloedwaarden van een atleet. Afwijkende waarden vallen dan bij een controle op. Er worden zowel hematologische gegevens verzameld als gegevens over het gebruik van steroïden. Hematologisch onderzoek geeft informatie over

het aantal bloedcellen dat in iedere milliliter bloed aanwezig is. Aan de hand hiervan wordt ingeschat of een atleet valspeelt door middel van een vorm van bloeddoping. Bij steroïdenonderzoek wordt urine onderzocht op de aanwezigheid van stoffen die kunnen duiden op het gebruik van anabole steroïden.

Afwijkende waarden bij een dopingcontrole willen niet altijd meteen zeggen dat er sprake is van dopinggebruik. Zo kunnen afwijkende waarden bij het hematologisch onderzoek ook komen door hoogtetra training of bepaalde ziekten. De concentratie van bepaalde steroïden in het bloed varieert enorm gedurende de menstruatiecyclus van vrouwelijke atleten. Dit maakt de interpretatie van de gevonden waarden soms heel lastig.

Het gebruik van doping in topsport wordt streng gecontroleerd door het WADA. Amateursporten staan niet onder controle van een dopingautoriteit. De dopingautoriteiten maken zich wel zorgen over de toename van het gebruik van anabole steroïden bij jongeren in de sportschool. In België kun je wel al in de sportschool worden gevraagd om deel te nemen aan een dopingcontrole.

Opdrachten

- 1 Welk type bloedcellen wordt voornamelijk beïnvloed door bloeddoping? Leg je antwoord uit.
- 2 Sommige wielrenners en andere atleten nemen bloed bij zichzelf af. Hieruit worden rode bloedcellen gehaald, zodat ze die op een later tijdstip terug kunnen spuiten in hun lichaam. De rode bloedcellen worden bewaard in een fysiologische zoutoplossing, omdat ze anders onbruikbaar zijn.
Leg uit waarom je rode bloedcellen moet bewaren in een fysiologische zoutoplossing. Gebruik de volgende begrippen: *bloedplasma* – *osmotische waarde* – *rode bloedcel* – *vorm*.
- 3 Aýbol Abiken testte in 2022 positief op het middel meldonium.
Leg uit waarom dit middel ook wel wordt voorgeschreven als medicijn bij het behandelen van een beroerte.
- 4 Bij een dopingcontrole wordt onder andere gekeken naar de hoeveelheid rode bloedcellen per milliliter.
Hoe zou je aan de hand van deze waarde kunnen zien of een atleet gebruikmaakt van bloeddoping? Leg je antwoord uit.
- 5 De dopingautoriteiten maken zich zorgen om het gebruik van anabole steroïden bij jongeren in de sportschool. Vooral jongemannen tussen de 20 en 30 jaar gebruiken deze middelen om de ontwikkeling van spiermassa te bevorderen. Geef een biologische reden waarom het gebruik van anabole steroïden onder jongeren een reden tot bezorgdheid is.



[Ga naar de Voorkennistoets en het Voorkennisfilmpje.](#)

1 HET BLOED

LEERDOELEN

13.1.1 Je kunt de bestanddelen van bloed met hun kenmerken en functies benoemen.

► Practicum 1

13.1.2 Je kunt het proces van bloedstolling beschrijven en uitleggen hoe complicaties bij bloedstolling kunnen worden voorkomen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	13.1.1	13.1.2
Begrijpen	1, 2, 3, 4, 5	
Toepassen	10ab	6, 9b
Analyseren	7, 8, 10cd	9acd, 10e

Je bloed is een bijzonder weefsel dat zich door heel je lichaam verspreidt. In de waterige vloeistof lossen bouwstoffen, afvalstoffen, brandstoffen, signaalstoffen en zelfs vetachtige stoffen op. De meedrijvende (delen van) cellen laden en lossen zuurstof, verwijderen indringers en dichten lekkages.

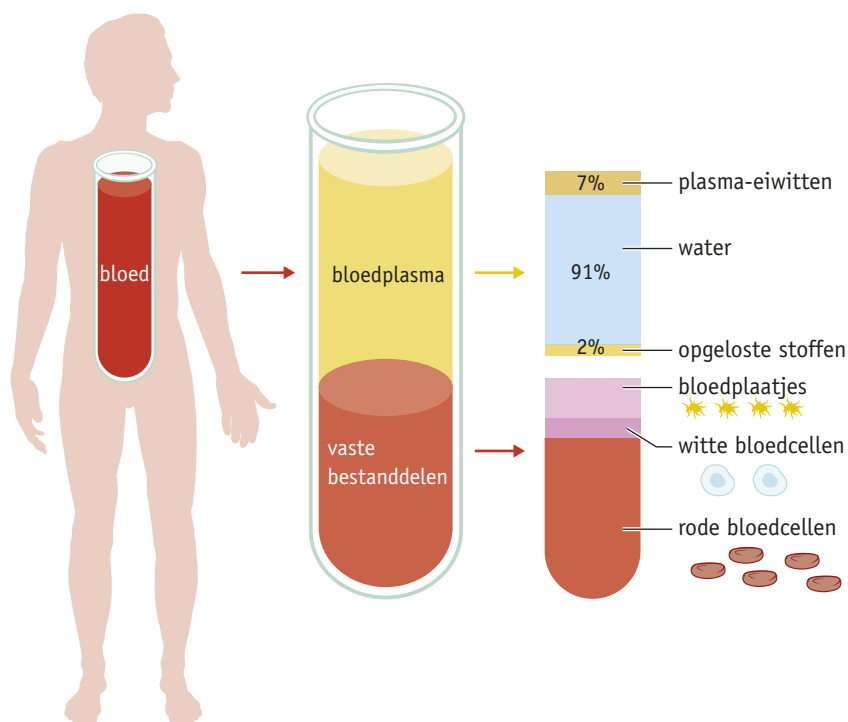
BLOEDPLASMA

In afbeelding 1 zie je de gemiddelde **samenstelling van het bloed** bij de mens.

Ongeveer 55% van het bloed bestaat uit **bloedplasma**: water met opgeloste stoffen en plasma-eiwitten. Een voorbeeld van een plasma-eiwit is albumine, die een rol speelt bij het handhaven van de osmotische waarde van het bloed. Bloedplasma vervoert onder andere (een klein beetje) zuurstof, voedingsstoffen, afvalstoffen, signaalstoffen (zoals hormonen) en beschermende stoffen (zoals antistoffen). Sommige van deze stoffen, bijvoorbeeld glucose, melkzuur en ureum, lossen goed op in het bloedplasma. Andere stoffen, waaronder vetten, worden gebonden aan bepaalde plasma-eiwitten (globulinen) en vormen zo lipoproteïnen.

Bloedplasma speelt ook een rol bij het constant houden van het inwendige milieu. Bloedplasma heeft een vrij constante temperatuur van ongeveer 38 °C, een pH van ongeveer 7,4 en een osmotische waarde die gelijk is aan die van een 0,9% NaCl-oplossing (een fysiologische zoutoplossing). Plasma-eiwitten zijn belangrijk bij de handhaving van de osmotische waarde en de pH van het bloed en van de bloeddruk.

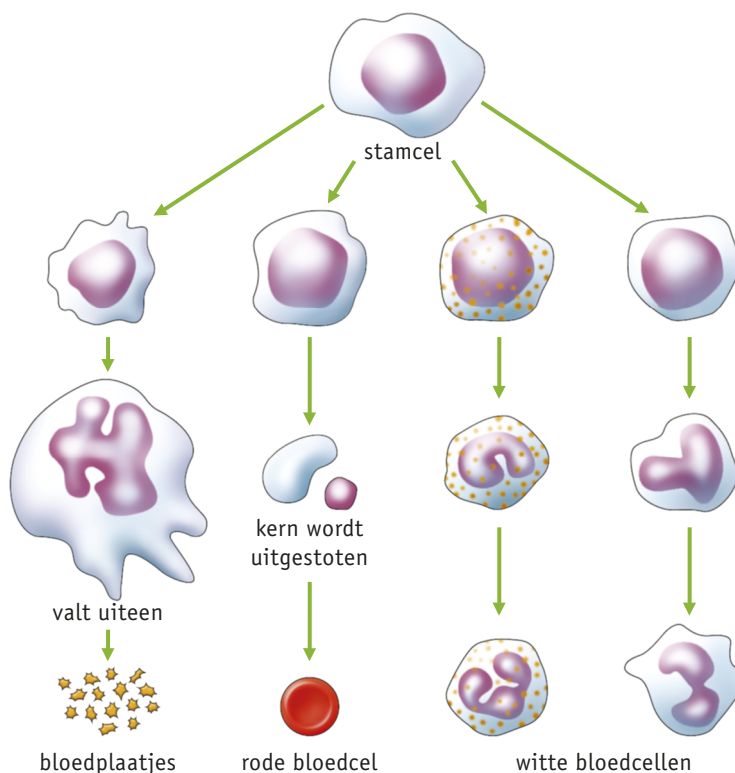
■ **Afb. 1** Bloedsamenstelling (gemiddeld).



BEENMERG

Rode en witte bloedcellen en bloedplaatjes ontstaan uit stamcellen in het rode beenmerg (zie afbeelding 2). Het **rode beenmerg** is een sponsachtig materiaal in de holten van botten, vooral in de wervels, in platte beenderen en in de uiteinden van pijpbeenderen. Naast het rode beenmerg is er geel beenmerg, waarin veel vetcellen zitten.

■ **Afb. 2** Ontstaan van bloedcellen.



- 1 Afbeelding 3 is een foto van een reageerbuis met bloed. Dit bloed heeft enkele dagen gestaan.
 - a Welk bestanddeel van bloed bevindt zich bovenin de reageerbuis? En welke bestanddelen bevinden zich onderin?
 - b Leg uit hoe het komt dat de bestanddelen bezinken.
- 2 Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 84H over de samenstelling van het bloed.
 - a Bloed bevat drie typen vaste bestanddelen. Zet deze vaste bestanddelen in de volgorde van meest naar minst aanwezig. Geef ook aan hoeveel van deze bestanddelen per mm^3 voorkomen.
 - b In bloedplasma komen veel verschillende opgeloste stoffen voor, zoals cholesterol, natrium en calcium. Ook bevat het fosfaationen, chloride-ionen en koolhydraten zoals glucose. Hoeveel procent van het bloedplasma bestaat ongeveer uit deze opgeloste stoffen? Leg je antwoord uit met een berekening.
 - c Welke rol spelen lipoproteïnen bij het transport van stoffen door het bloedplasma?

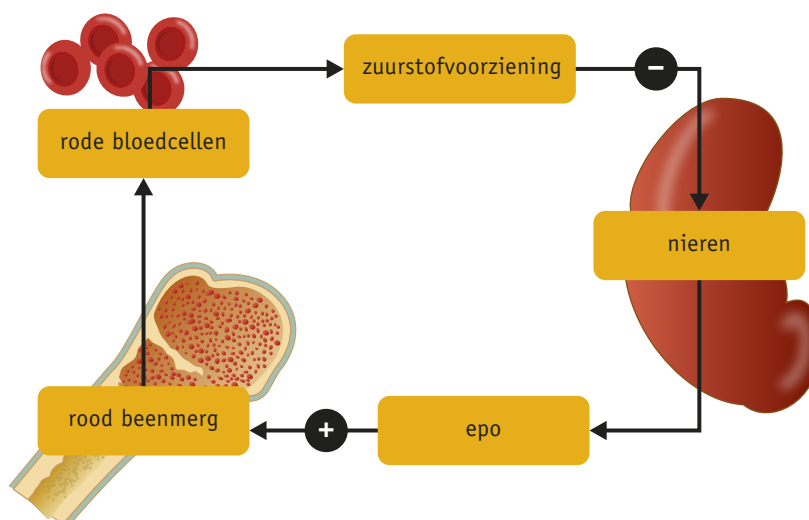
■ **Afb. 3** Bloedbezinking.



RODE BLOEDCELLEN

Rode bloedcellen (erythrocyten) hebben de vorm van ronde schijfjes, die in het midden dunner zijn dan aan de rand. Ze hebben geen celkern. Ze leven daardoor betrekkelijk kort: gemiddeld ongeveer 120 dagen. Voortdurend worden uit de stamcellen in het rode beenmerg nieuwe rode bloedcellen gevormd (ongeveer twee miljoen per seconde). De aanmaak van rode bloedcellen in het rode beenmerg wordt gestimuleerd door het hormoon epo (erythropoëetine), dat wordt geproduceerd door de nieren. Afhankelijk van de zuurstofvoorziening produceren de nieren meer of minder epo (zie afbeelding 4).

■ **Afb. 4** Regeling van de productie van rode bloedcellen.



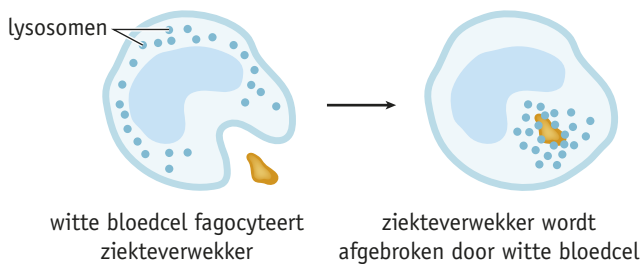
Rode bloedcellen bevatten **hemoglobine** (een eiwitmolecuul) die de rode kleur aan het bloed geeft. Hemoglobine speelt een belangrijke rol bij het **zuurstoftransport**. Hemoglobine speelt ook een rol bij het **koolstofdioxidetransport**, maar de meeste koolstofdioxide wordt vervoerd via het bloedplasma.

Hemoglobine bevat ijzeratomen als bindplaats voor zuurstof. Bij bloedarmoede bevat het bloed onvoldoende hemoglobine. Dode rode bloedcellen worden afgebroken in het rode beenmerg, in de milt en in de lever. Het ijzer dat bij de afbraak vrijkomt, wordt weer benut bij de aanmaak van nieuwe rode bloedcellen.

WITTE BLOEDCELLEN

Witte bloedcellen (leukocyten) zijn betrokken bij de afweer tegen ziekten. Ze hebben een celkern, maar geen vaste vorm. Daardoor kunnen ze door kleine openingen in de wand van haarvaten heen. Uit de stamcellen in het rode beenmerg ontwikkelen zich verschillende typen witte bloedcellen. De meeste witte bloedcellen bestrijden bacteriën door deze in te sluiten door middel van fagocytose (zie afbeelding 5). Als de witte bloedcellen hierbij zelf doodgaan, ontstaat etter of pus. Daarin komen vrijwel altijd ook nog levende bacteriën voor. Andere witte bloedcellen produceren antistoffen die ziekteverwekkers onschadelijk maken, of zorgen ervoor dat na een infectie de resten van dode cellen worden opgeruimd. Over de rol van de verschillende typen witte bloedcellen bij de afweer tegen ziekten leer je meer in thema 15.

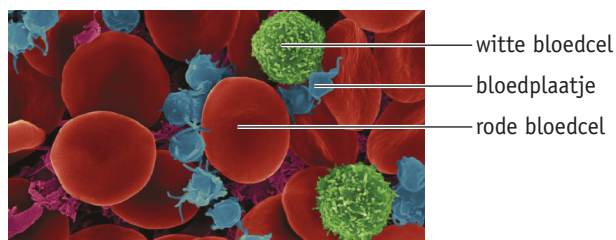
■ **Afb. 5** Fagocytose door een witte bloedcel.



BLOEDPLAATJES

In afbeelding 6 zie je een foto gemaakt met een elektronenmicroscop van bloedplaatjes tussen andere bloedcellen. **Bloedplaatjes** (trombocyten) zijn delen van uiteengevallen cellen. Ze vervullen een functie bij de **bloedstolling**, het proces waarbij bloed indikt en hard wordt.

■ **Afb. 6** Bloedplaatjes (vergroting 2500×).

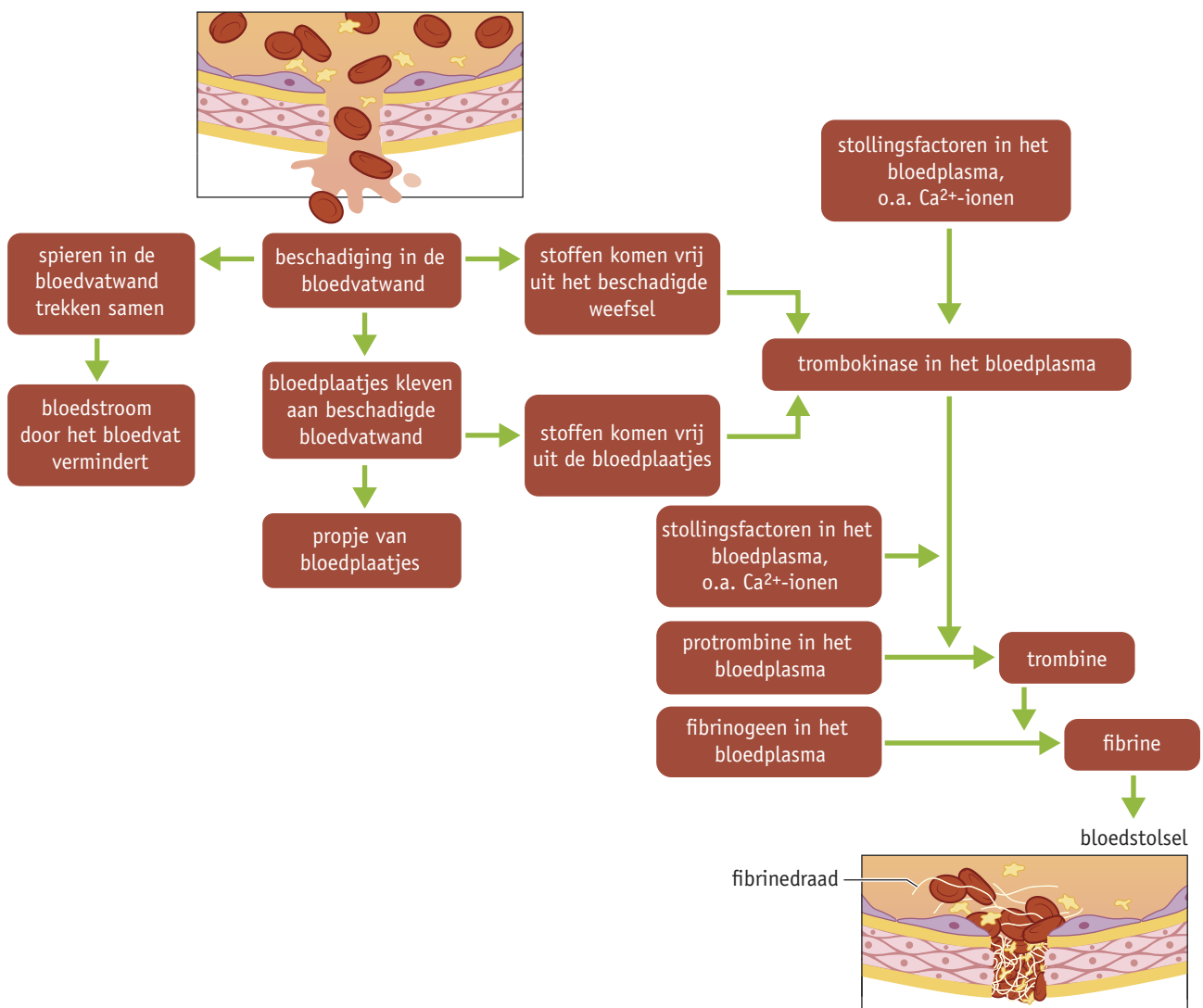


In afbeelding 7 is weergegeven wat er gebeurt als een bloedvat stukgaat. Op verschillende manieren wordt het bloedverlies tegengegaan en de wond zo snel mogelijk gedicht.

- Het bloedvat wordt nauwer.
- Aan de beschadigde en daardoor ruwe wand ontstaat een propje van bloedplaatjes.
- De bloedplaatjes vallen uiteen, waarbij stoffen vrijkomen (onder meer trombokinase). Ook uit de beschadigde cellen van de bloedvatwand komen stoffen vrij. De vrijgekomen stoffen brengen een keten van reacties op gang, die leidt tot het ontstaan van een bloedstolsel.

Bij bloedstolling zijn naast de stoffen die vrijkomen uit de bloedplaatjes en beschadigde cellen ook stoffen uit het bloedplasma betrokken: het plasma-eiwit fibrinogeen en stollingsfactoren (onder meer calciumionen). Veel stollingsfactoren worden in de lever gevormd. Hierbij is meestal vitamine K nodig. Trombokinase bevordert de omzetting van het inactieve pro-enzym protrombine in trombine. Onder invloed van trombine wordt fibrinogeen uit het bloedplasma omgezet in fibrine. Fibrine vormt een netwerk van draden, waartussen de andere bloedcellen blijven hangen. Een bloedstolsel begint zich te vormen. Zie ook **BiNaS** tabel 840.

■ **Afb. 7** Proces van bloedstolling.



Aan een beginnend bloedstolsel blijven steeds meer bloedplaatjes kleven. Ook deze bloedplaatjes vallen uiteen, waardoor de keten van reacties blijft doorgaan tot het bloedstolsel de wond geheel afsluit. Als het bloedstolsel is gevormd, trekken de fibrinedraden samen, waardoor de randen van de wond naar elkaar toe worden getrokken. Uit het stolsel kan een vloeistof worden geperst: het bloedserum. Bloedserum heeft dezelfde samenstelling als bloedplasma, maar dan zonder fibrinogeen. Door verdere indroging ontstaat uit het bloedstolsel een korstje. Na verloop van tijd worden de fibrinedraden langzaam afgebroken. Het korstje laat dan los. De wond is dan al genezen.

Opdrachten **KENNIS**

- 3 Rode bloedcellen zijn gespecialiseerde cellen voor het vervoeren van zuurstof. Geef twee voorbeelden van een aanpassing bij rode bloedcellen waardoor ze veel zuurstof kunnen vervoeren.
- 4
 - a Als iemand te weinig ijzer binnenkrijgt via zijn voeding, dan kan dit leiden tot bloedarmoede.
Leg dit uit.
 - b Leg uit dat de wisselwerking tussen de aanmaak van rode bloedcellen en de productie van epo een voorbeeld is van negatieve terugkoppeling.
 - c Leg uit dat toediening van epo bij iemand met bloedarmoede niet zal helpen.
Gebruik in je antwoord het begrip 'beperkende factor'.
- 5 Witte bloedcellen kunnen bij haarvaten de bloedbaan verlaten, doordat zij van vorm kunnen veranderen.
 - a Leg uit waarom het belangrijk is dat witte bloedcellen ook buiten de bloedbaan voor kunnen komen.
 - b Witte bloedcellen maken ziekteverwekkers onder andere onschadelijk door fagocytose.
Leg uit wat fagocytose is.

Opdrachten **INZICHT**

- 6 Bij een harde stoot komt er bloed tussen de weefselcellen. Hierdoor ontstaat een blauwe plek die later geel en groen wordt.
 - a Welke stof wordt op de beschadigde plaats gevormd om het beschadigde bloedvat te herstellen?
 - b Een blauwe plek verkleurt naar geel en groen doordat een bepaalde stof uit het bloed wordt afgebroken.
Welke stof is dat?
 - c Een blauwe plek verdwijnt na enige tijd.
Leg uit welke bloedbestanddelen daarvoor zorgen.
- 7 Rode bloedcellen bezitten geen celkernen of mitochondriën.
Leg uit dat rode bloedcellen nog meer zuurstof kunnen vervoeren dankzij het ontbreken van mitochondriën.

- 8 Bij bloedonderzoek kun je zowel kijken naar de vaste bestanddelen als naar het vloeibare gedeelte van het bloed. Wanneer je onderzoek wilt doen naar de samenstelling van deze vloeistof, gebruik je liever bloedserum dan bloedplasma. Wat is het voordeel van het gebruik van bloedserum bij dit type onderzoek?

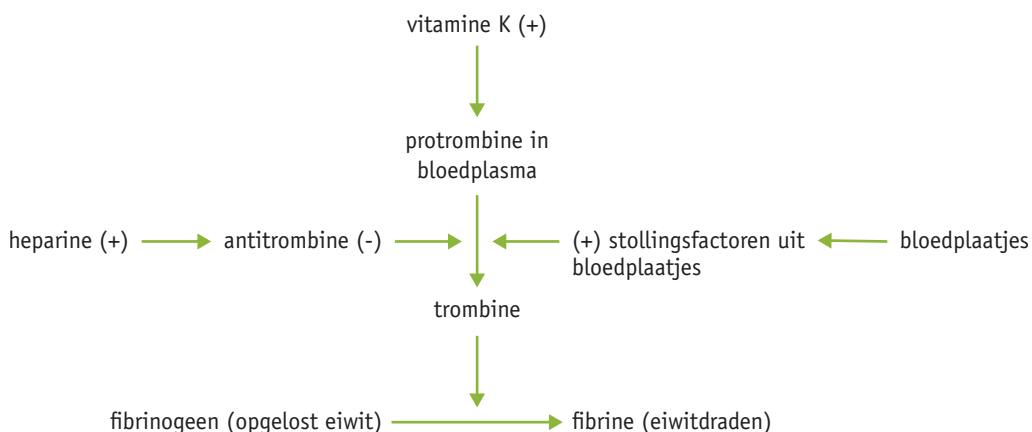


- 9 Trombose is een ziekte waarbij ongewenste stolling in de bloedvaten optreedt. Om deze stolling tegen te gaan, wordt aspirine gebruikt. Die remt de klontering van bloedplaatjes. Een stof uit het speeksel van bloedzuigers zou weleens beter kunnen werken. Deze wormen leven van het bloed van andere dieren (zie afbeelding 8). Het speeksel van bloedzuigers bevat hirudine, die het enzym trombine remt.
- a Wat is de functie van hirudine in het speeksel van bloedzuigers?
 - b In afbeelding 9 zie je een vereenvoudigd schema van de bloedstolling. In het schema zijn met een - remming en met een + stimulering van omzettingen of werking aangegeven.
Welke stof wordt bedoeld met 'stollingsfactoren uit bloedplaatjes'?
 - c Geef met behulp van pijlen aan op welke plaats in het schema van afbeelding 9 de stoffen aspirine en hirudine aangrijpen, zoals is gedaan voor antitrombine. Gebruik + en - om aan te geven op welke wijze ze de reactie beïnvloeden.
 - d Waarom zou hirudine bij trombose weleens beter kunnen werken dan aspirine?

■ Afb. 8 Bloedzuigers.



■ Afb. 9 Vereenvoudigd schema van de bloedstolling.



Ga naar de [Flitskaarten](#) en [Test jezelf](#).

KWEEKBLOED ALS VERVANGING VOOR DONORBLOED?

In Nederland zijn elk jaar ongeveer vierhonderd-duizend bloeddonoren nodig om alle ziekenhuizen te voorzien van voldoende bloed. Dit betekent een complexe logistieke operatie. Bovendien merkt bloedbank Sanquin (zie afbeelding 10) dat sommige bloedgroepen ondervertegenwoordigd zijn bij de donoren, of zelfs bijna afwezig.

Eind 2022 vonden in het Verenigd Koninkrijk bij mensen de eerste testtransfusies met kweekbloed plaats. Het ging hierbij om kleine hoeveelheden bloed, niet meer dan een theelepel, om te kijken hoe kweekbloed zich gedraagt in het menselijk lichaam.

Kweekbloed is bloed dat in een laboratorium wordt vervaardigd uit stamcellen uit gedoneerd bloed. Deze stamcellen worden dan in een voedingsmedium opgekweekt en gestimuleerd om zich te ontwikkelen tot rode bloedcellen. Na drie weken zijn er ongeveer vijftig miljard rode bloedcellen. Dat lijkt heel veel, maar een milliliter bloed bevat zo'n vijftien miljard bloedcellen. Na drie weken heb je dus slechts 3 tot 4 milliliter bloed.

Op dit moment is kweekbloed nog te langzaam en te duur om alle gewone donoren te vervangen. Toch is Gerald de Haan, directeur onderzoek bij Sanquin,

erg blij met deze ontwikkelingen. Volgens Gerald biedt kweekbloed toekomstperspectieven voor patiënten met zeldzame bloedgroepen en patiënten die regelmatig een transfusie nodig hebben, bijvoorbeeld wanneer ze lijden aan sikkelcelanemie.

Daarnaast denkt Gerald dat er misschien in de toekomst op grote schaal in grote reactoren donorbloed zonder bloedgroepen worden gekweekt. En mogelijk kunnen aangeboren bloedziekten worden voorkomen door gentherapie. 'Tot die tijd zijn er nog veel meer donoren nodig', vertelt Gerald, die zelf al 25 jaar donor is.

■ Afb. 10 Onderzoek bij Sanquin.



Opdrachten

- 10 Bloeddonoren mogen drie tot vijf keer per jaar een halve liter bloed doneren.
 - a Waarom mag je per donatie maximaal een halve liter bloed doneren?
 - b Waarom mag je slechts drie tot vijf keer per jaar bloed doneren?
 - c Wetenschappers vermoeden dat kweekbloed efficiënter zal zijn dan normaal donorbloed, doordat het alleen nieuwgevormde bloedcellen bevat. Waarom zou kweekbloed dan efficiënter zijn dan donorbloed?
- d Tijdens de proeven met kweekbloed wordt het kweekbloed gelabeld met radioactieve isotopen. Wat is de functie van deze radioactieve isotopen?
- e Bij Sanquin kun je naast bloeddonor ook plasmadonor, bloedplaatjesdonor of stamcel donor worden. Wanneer een vrouw met een stollingsziekte gaat bevallen, krijgt zij bloedplaatjes toegediend. Waarom krijgt deze vrouw gedoneerde bloedplaatjes toegediend?

2 TRANSPORTSYSTEMEN BIJ DIEREN

LEERDOELEN

13.2.1 Je kunt verschillende circulatiesystemen bij dieren herkennen.

13.2.2 Je kunt de functies van een bloedsomloop benoemen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	13.2.1	13.2.2
Begrijpen	11	12, 13
Toepassen	18ac	14, 15bc, 17b
Analysen	16	15ad, 17ac, 18bde

Bloed is voor veel dieren het belangrijkste transportmiddel in het lichaam. Een uitgebreid netwerk van bloedvaten zorgt ervoor dat alle cellen voldoende voedingsstoffen en zuurstof krijgen en hun afvalstoffen kwijt kunnen. Bij dieren gaan voedingsstoffen en afvalstoffen door hetzelfde netwerk van vaten. De bouw van het bloedvatenstelsel past bij de levenswijze van het dier.

EENCellige ORGANISMEN

Bij eencellige organismen zoals een amoebe en een pantoffeldiertje (zie afbeelding 11.1 en 11.2) staat de lichaamscel rechtstreeks in contact met het uitwendige milieu. Heterotrofe eencelligen nemen zuurstof op via de celmembranen door middel van diffusie. Koolstofdioxide geven ze op dezelfde wijze af. Voedingsstoffen kunnen worden opgenomen via diffusie of via fagocytose. Afvalstoffen raken eencellige organismen kwijt via diffusie of exocytose. Eencelligen hebben geen transportsysteem zoals een bloedsomloop nodig.

■ **Afb. 11** Eencellige organismen.



1 amoëbe



2 pantoffeldiertje

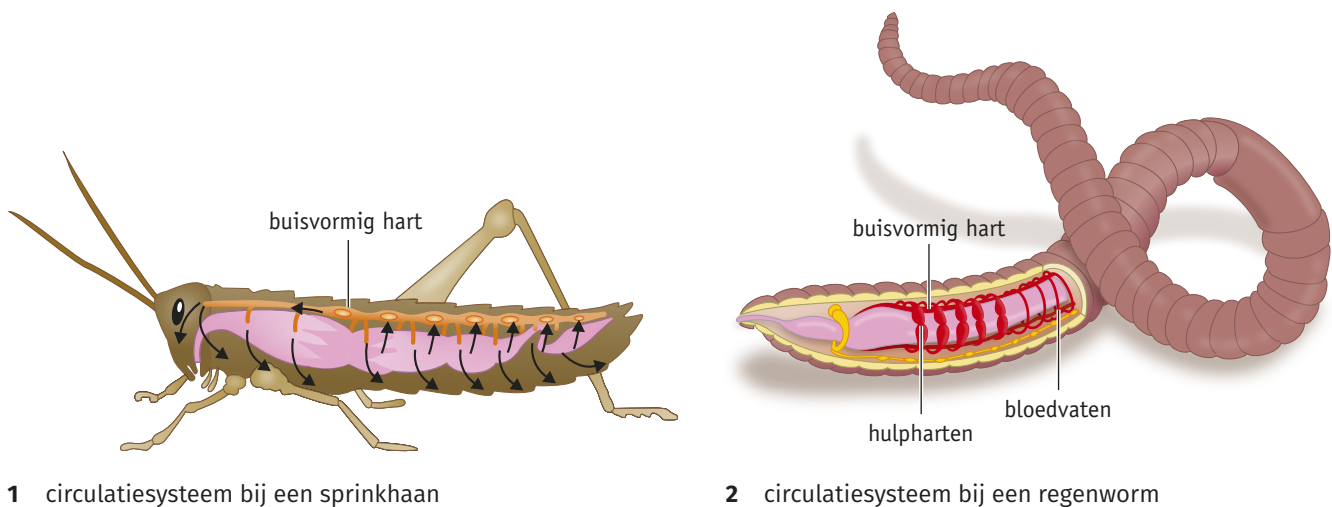
CIRCULATIESYSTEMEN BIJ MEERCELLIGE DIEREN

Bij meercellige dieren kan transport niet alleen door diffusie plaatsvinden, omdat de afstanden hiervoor te groot zijn. Bij meercellige dieren stroomt een vloeistof met daarin opgeloste stoffen rond: het transport is circulair. Je spreekt daarom niet van een transportsysteem maar van een circulatiesysteem.

Geleedpotigen hebben een **open circulatiesysteem** en een buisvormig hart dat de lichaamsvloeistof rond de organen laat bewegen (zie afbeelding 12.1). Gewervelde dieren hebben een **bloedsomloop**. Dit is een **gesloten bloedsomloop** waarin het bloed is gescheiden van de andere lichaamsvloeistoffen. Transport van stoffen vindt plaats door de bloedvaten. De kracht hiervoor wordt geleverd door het hart, dat het bloed door de bloedvaten pompt. In een gesloten systeem kan het transport van stoffen effectiever en over grotere afstanden plaatsvinden dan bij een open circulatiesysteem.

Sommige diersoorten hebben meerdere harten. Regenwormen bijvoorbeeld hebben een buisvormig hart met meerdere hulpharten (zie afbeelding 12.2).

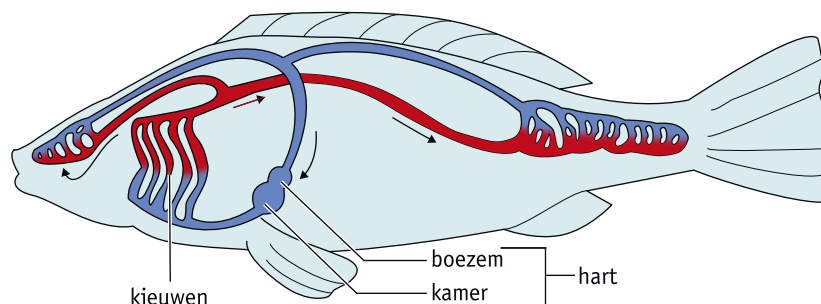
■ Afb 12 Circulatiesystemen bij dieren.



BLOEDSOMLOOP BIJ GEWERVELDE DIEREN

Gewervelde dieren hebben een bloedsomloop. Vissen hebben een **enkele bloedsomloop**: per omloop komt het bloed één keer door het hart. Bij vissen stroomt het bloed vanuit het hart eerst naar de kieuwen und daarna naar de andere organen van het lichaam (zie afbeelding 13). Het hart van een vis bestaat uit één boezem und één kamer. Zuurstofarm bloed stroomt van de organen naar het hart und verzamelt sich in de **boezem** (atrium). De boezem pompt het bloed naar de **kamer** (ventrikel). Die kamer pompt het bloed naar die kieuwen, daar neemt die zuurstof op und stroomt dan verder naar alle organen. In afbeeldingen van een bloedsomloop stellt die roodgekleurde deel zuurstofrijk bloed voor und die blauwgekleurde deel zuurstofarm bloed.

■ Afb. 13 Bloedsomloop van een vis.



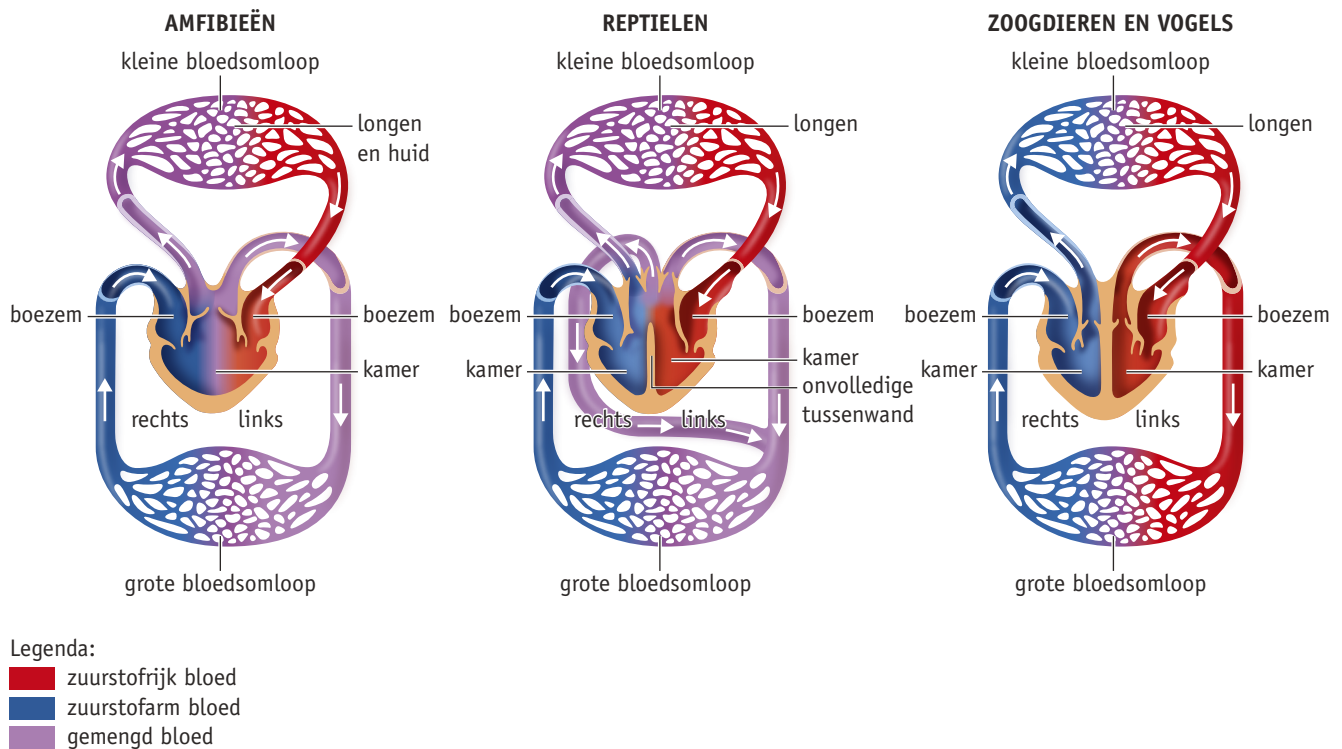
Mensen hebben een dubbele bloedsomloop: per omloop komt het bloed tweemaal door het hart. De ontwikkeling van een enkele naar een dubbele bloedsomloop gaat samen met het ontstaan van longen. Amfibieën en reptielen hebben wel een dubbele bloedsomloop, maar deze is niet volledig gescheiden zoals bij vogels en zoogdieren (zie afbeelding 14).

Amfibieën hebben een hart met twee boezems en één kamer. Deze hartkamer perst bloed zowel naar de longen en de huid als naar alle andere organen. In de longen en de huid wordt zuurstof opgenomen in het bloed.

Bij reptielen zijn de twee harthelften grotendeels gescheiden door een tussenwand. Als het dier niet ademt, kan bloed vanuit beide helften van de kamer via beide aorta's naar de organen stromen. Als het dier wel ademt, dan stroomt het grootste deel van het bloed naar de longen. De druk in de longhaartvaten is op dat moment laag en bovendien trekt het rechterdeel van het hart net iets eerder samen dan het linkerdeel om deze verdeling mogelijk te maken.

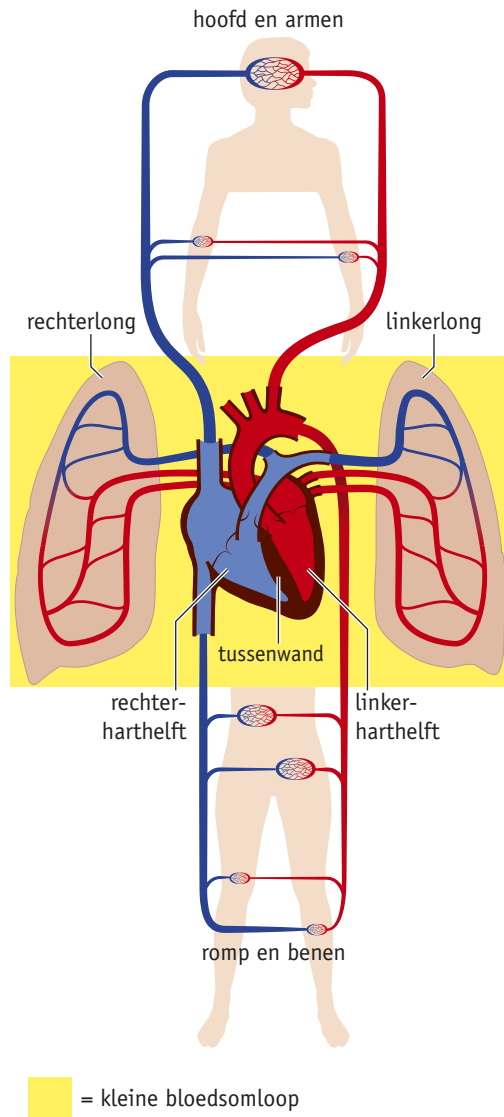
Zoogdieren en vogels hebben een hart met een gesloten tussenwand tussen de kamers, waardoor een volledig gescheiden dubbele bloedsomloop ontstaat.

■ Afb. 14 Bloedsomlopen van gewervelde dieren.



In afbeelding 15 zie je de bloedsomloop van de mens. Het hart bestaat uit twee gescheiden helften: een linkerharthelft en een rechterharthelft. Iedere helft bestaat uit een boezem die bloed ontvangt en een kamer die bloed wegpompt. Let erop dat afbeeldingen van het bloedvatensysteem of van het hart steeds in vooraanzicht zijn getekend; de linkerharthelft zie je dus rechts in de tekening.

■ **Afb. 15** Dubbele bloedsomloop van de mens.



De rechthertskamer pompt zuurstofarm bloed naar beide longen. Vanuit de longen stroomt zuurstofrijk bloed naar de linkerboezem. Dit deel van de bloedsomloop heet de **kleine bloedsomloop**. Het bloed neemt daarbij zuurstof op en geeft koolstofdioxide af.

De linkerhartkamer pompt zuurstofrijk bloed vervolgens naar de organen. Het bloed stroomt weer terug naar de rechterboezem. Dit deel van de bloedsomloop heet de **grote bloedsomloop**. In de grote bloedsomloop worden zuurstof en voedingsstoffen afgegeven aan de cellen en koolstofdioxide en andere afvalstoffen uit de cellen opgenomen in het bloed. Per omloop stroomt het bloed twee keer door het hart. De bloedsomloop bij de mens noem je daarom een **dubbele bloedsomloop**. Met een dubbele bloedsomloop kan een hogere druk worden bereikt dan met een enkele bloedsomloop.

Opdrachten

KENNIS

- 11
 - a Waarom zeg je dat een sprinkhaan lichaamsvloeistof heeft en geen bloed?
 - b Organismen met een open circulatiesysteem zijn relatief klein, denk aan insecten. Waarom hebben kleine organismen vaak een open circulatiesysteem?
- 12
 - a Is de stroomsnelheid van het bloed in de organen hoger bij een enkele of bij een dubbele bloedsomloop? Leg je antwoord uit.
 - b Wat is het verschil in functie tussen de kleine en de grote bloedsomloop?
- 13 Het hart van een vis heeft een boezem en een kamer.
 - a Bevat de hartkamer van een vis zuurstofrijk of zuurstofarm bloed?
 - b Het hart van een amfibie heeft twee boezems en een kamer. Bevat het bloed in de hartkamer van een amfibie meer of minder zuurstof dan het bloed in de hartkamer van een vis? Leg je antwoord uit.

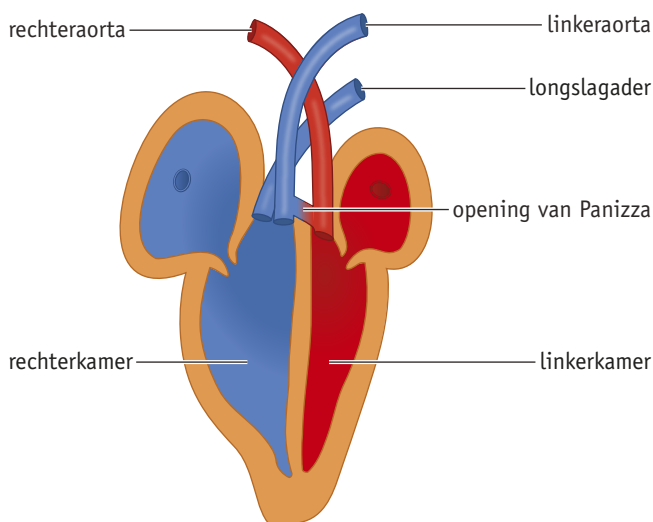
Opdrachten

INZICHT

- 14 Vogels en kevers hebben een heel verschillend circulatiesysteem. Vogels hebben net als zoogdieren een dubbele gesloten bloedsomloop, terwijl krekels net als een sprinkhaan een open circulatiesysteem hebben. Waarom hebben vogels en kevers een verschillend circulatiesysteem nodig? Geef twee redenen.
- 15 Harten van amfibieën, reptielen, zoogdieren en vogels hebben twee boezems.
 - a Geef hiervoor een verklaring.
 - b Het hart van een amfibie bestaat uit drie ruimten: een linkerboezem, een rechterboezem en een kamer. Welke ruimte van het hart is bij een amfibie het meest gespierd? Leg je antwoord uit.
 - c Leg uit dat zuurstofarm bloed en zuurstofrijk bloed beter worden gescheiden in een reptielenhart dan in een amfibieënhart.
 - d Licht het verband toe tussen de bouw van de bloedsomloop bij de verschillende groepen gewervelden en de intensiteit van de stofwisseling.
- 16 Rondom Antarctica is het water erg koud. Je zou dan ook verwachten dat hier weinig vissen leven. Toch zijn er vissen die zijn aangepast aan deze extreme temperaturen. Zo hebben zij bijvoorbeeld een relatief groot hart, meer bloed en een dicht bloedvatennetwerk. Leg uit wat het belang van deze aanpassingen is voor het overleven van vissen in zeer koud water.

- 17 In afbeelding 16 zie je het hart van een krokodil. Een krokodil heeft twee aorta's: een linkeraorta die is verbonden met de rechterkamer en een rechteraorta die is verbonden met de linkerkamer. Tussen de aorta's bevindt zich de opening van Panizza. Hierdoor kan bloed van de linker- naar de rechteraorta stromen. Een krokodil kan de bloedstroom vanuit de rechterkamer reguleren door meer bloed richting de longen te sturen of meer bloed naar de linkeraorta.
- a Zal bij een krokodil bloed door de opening van Panizza stromen tijdens ademen boven water of tijdens het duiken? Leg je antwoord uit.
 - b Je rechteraorta is verbonden met je hersenen en je hart, terwijl je linkeraorta is verbonden met het verteringsstelsel. Leg uit waarom het belangrijk is dat je hersenen en je hart bloed ontvangen vanuit de rechteraorta.
 - c Zowel zoogdieren als vogels ontstonden tijdens de evolutie vanuit reptielen. Een reptielenhart heeft twee aorta's. Zowel zoogdieren als vogels hebben er slechts één overgehouden. Bij zoogdieren maakt de aorta een boog naar links en bij vogels een boog naar rechts. Ondanks dat de aorta bij zoogdieren ook een boog naar links maakt, verschilt deze toch wezenlijk van de linkeraorta van een reptiel. Noem een verschil tussen de aorta van een zoogdier en linkeraorta van een reptiel.

■ **Afb. 16** Krokodillenhart.



 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

LONGVISSSEN

De rivierbedding van de Congorivier is het huis van een vreemde vis. In het natte jaargetijde verplaatst de West-Afrikaanse longvis (zie afbeelding 17) zich over de bodem van zuurstofarme waterpoeltjes. In tijden van droogte graaft hij zich in bij de modderpoelen die achterblijven als het water verdampt. Hij kan zelfs van de ene modderpoel naar de andere 'lopen' op zijn vinnen.

Deze prehistorische vissen leven al vierhonderd miljoen jaar op deze manier en ze lijken de *missing link* te vormen tussen vissen en amfibieën. Ze bezitten een interessante adaptatie: ze hebben niet alleen kieuwen, maar ook longen.

Jonge West-Afrikaanse longvissen halen vooral zuurstof uit het water met hun kieuwen. Naarmate zij ouder worden, verdwijnen deze grotendeels. Ze worden dan voor de opname van zuurstof afhankelijk van hun longen. De afgifte van koolstofdioxide gebeurt zowel via de kieuwen als de longen. Oudere longvissen moeten dus regelmatig adem happen. Tijdens het droge seizoen houdt de longvis een soort winterslaap.

Hij graaft zich in modder in en past zijn stofwisseling aan.

Longvissen hebben een hart dat lijkt op dat van een reptiel, met twee boezems en een kamer met een tussenwand. Zij hebben dus een dubbele bloedsomloop. Bij hen ontbreken wel de bloedvaten die de rechterkant van het hart van zuurstof voorzien. Hierdoor krijgt vooral de rechterharthelft weinig zuurstof, en kunnen deze vissen niet zo actief zijn.

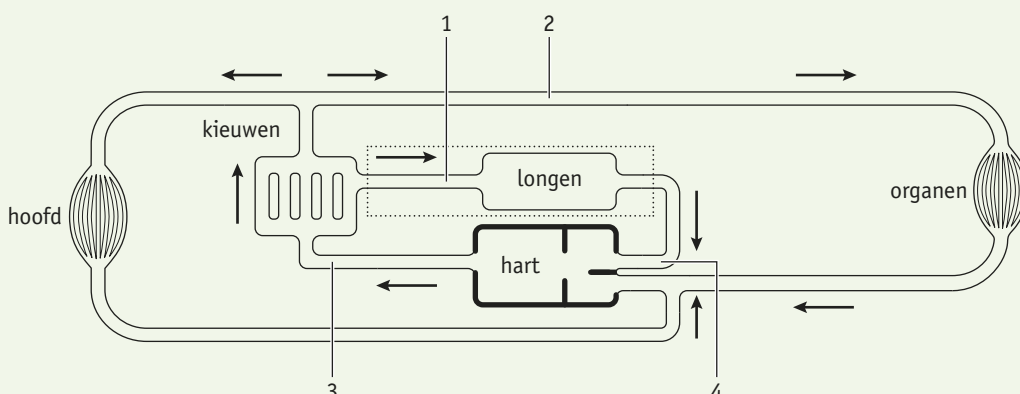
■ Afb. 17 West-Afrikaanse longvis.



Opdrachten

- 18 a Wat betekent het begrip 'missing link'? Zoek het begrip eventueel op internet.
- b Een longvis kan het droogteseizoen overleven tijdens een soort winterslaap. Leg uit welke verandering dan zal plaatsvinden in de stofwisseling van de vis.
- c Hoe kun je uit de bouw van het hart van een longvis afleiden dat hij een dubbele bloedsomloop heeft?
- d Waarom krijgt de rechterkant van het hart van een longvis minder zuurstof?
- e Afbeelding 18 laat schematisch de bloedsomloop van een volwassen longvis zien. Enkele bloedvaten zijn genummerd. Bevatten deze bloedvaten zuurstofrijk, zuurstofarm of gemengd bloed? Noteer de cijfers onder elkaar en je antwoord daarachter.

■ Afb. 18 Bloedsomloop van een longvis.



3 HET HART

LEERDOELEN

13.3.1 Je kunt de delen van een hart met hun functies en kenmerken benoemen.

► Practicum 2

13.3.2 Je kunt de werking van het hart beschrijven en uitleggen.

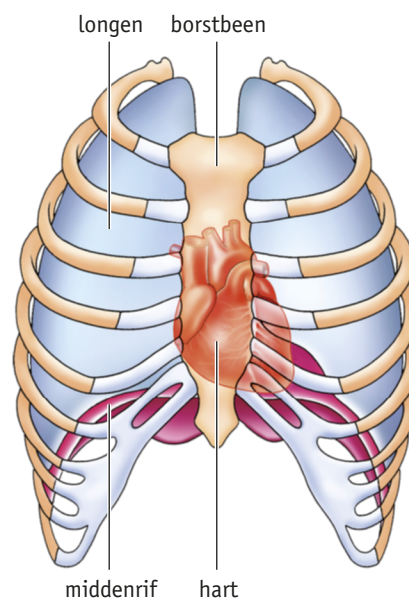
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	13.3.1	13.3.2
Begrijpen	19, 20, 21, 30a	22, 23, 24
Toepassen		25, 27a, 29, 31a
Analyseren	28c, 30b	26, 27b, 28ab, 31bc

Als een embryo drie weken oud is, dan begint het hart te kloppen. Je hart zorgt ervoor dat het bloed door je lichaam stroomt en stoffen transporteert. Zo worden alle cellen in je lichaam voorzien van de zuurstof en voedingsstoffen die ze nodig hebben. De afvalstoffen worden ook weer afgevoerd.

DE BOUW VAN HET HART

Het **hart** ligt in de borstkast iets naar links onder het borstbeen (zie afbeelding 19). Het is een dubbele pomp, ongeveer zo groot als een vuist. Het hart is een holle spier die energie verbruikt. Over het hart lopen bloedvaten: de kransslagaders en de kransaders (zie afbeelding 20.1). De **kransslagaders** (aftakkingen van de aorta) voorzien het hartspierweefsel van zuurstof en voedingsstoffen. Koolstofdioxide en andere afvalstoffen worden afgevoerd via de **kransaders**. De kransaders monden rechtstreeks uit in de rechterboezem. Zie ook **BiNaS** tabel 84C1.

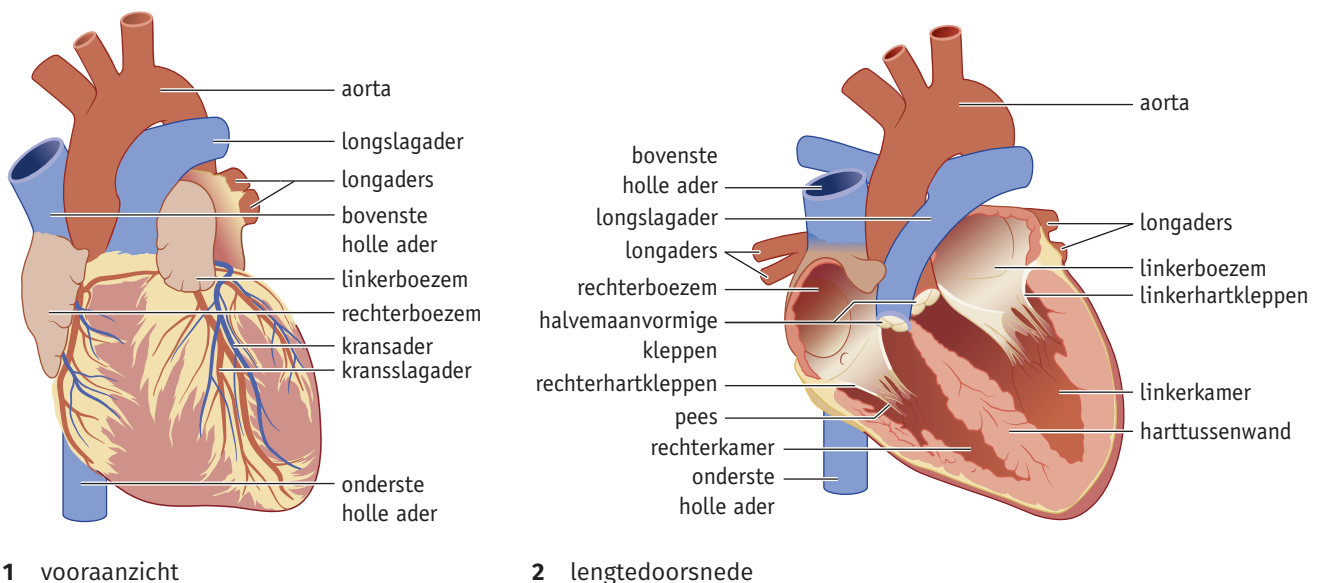
■ Afb. 19 Ligging van het hart.



De linkerharthelft en de rechterharthelft zijn gescheiden door een harttussenwand (zie afbeelding 20.2). Elke harthelft bestaat uit een boezem en een kamer. De boezems zitten als een soort 'zakjes' op de kamers. Het bloed vanuit de organen komt het hart binnen in de rechterboezem via de onderste en bovenste holle ader. Vanuit de rechterboezem stroomt het bloed naar de rechterkamer. De rechterkamer pompt het bloed in de longslagader, die zich vertakt naar beide longen. Vanaf de longen stroomt het bloed via de longaders terug naar het hart en komt in de linkerboezem terecht. Daarna stroomt het naar de linkerkamer. De linkerkamer pompt het bloed in de aorta (grote lichaamsslagader). Door slagaders die van de aorta aftakken, stroomt het bloed naar de organen en ledematen van het lichaam.

Boezems en kamers zijn van elkaar gescheiden door **hartkleppen**. Aan het begin van de longslagader en de aorta bevinden zich halvemaanvormige kleppen (zie afbeelding 20.2).

■ Afb. 20 Het hart.



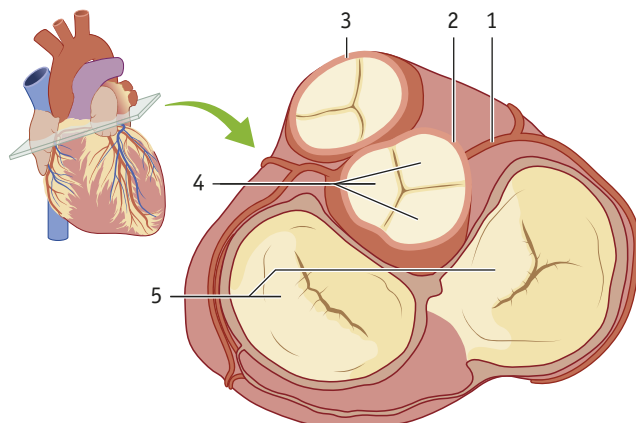
1 vooraanzicht

2 lengtedoorsnede

Opdrachten KENNIS

- 19 Afbeelding 21 is een schematische tekening van een deel van het hart. De beide boezems en de aansluitende bloedvaten zijn weggelaten. Noteer de namen van de genummerde onderdelen.

■ Afb. 21 Bovenaanzicht van een hart zonder boezems.



- 20 Als je alcohol drinkt, dan wordt deze stof door je darmen opgenomen in je bloedbaan. Via je bloed verspreidt de alcohol zich onder andere naar je hersenen. Noteer in de juiste volgorde de onderdelen van het hart waar een alcoholmolecuul doorheen stroomt van de darmen naar de hersenen. Ga uit van de kortst mogelijke route.
- 21 Bloeddruk ontstaat doordat het hart het bloed met kracht wegpompt.
- Is de bloeddruk hoger aan het begin van de aorta of aan het begin van de longslagader? Leg je antwoord uit.
 - Karst beweert dat de linkerkamer in het hart groter is dan de rechterkamer, omdat deze meer bloed wegpompt. Heeft Karst gelijk? Leg je antwoord uit.

DE WERKING VAN HET HART

De pompwerking van het hart komt door het samentrekken en ontspannen van hartspierweefsel. De samentrekking van hartspierweefsel noem je **systole** en de ontspanning **diastole**.

Tijdens een hartslag zijn drie fasen te onderscheiden die elkaar steeds opvolgen (zie afbeelding 22):

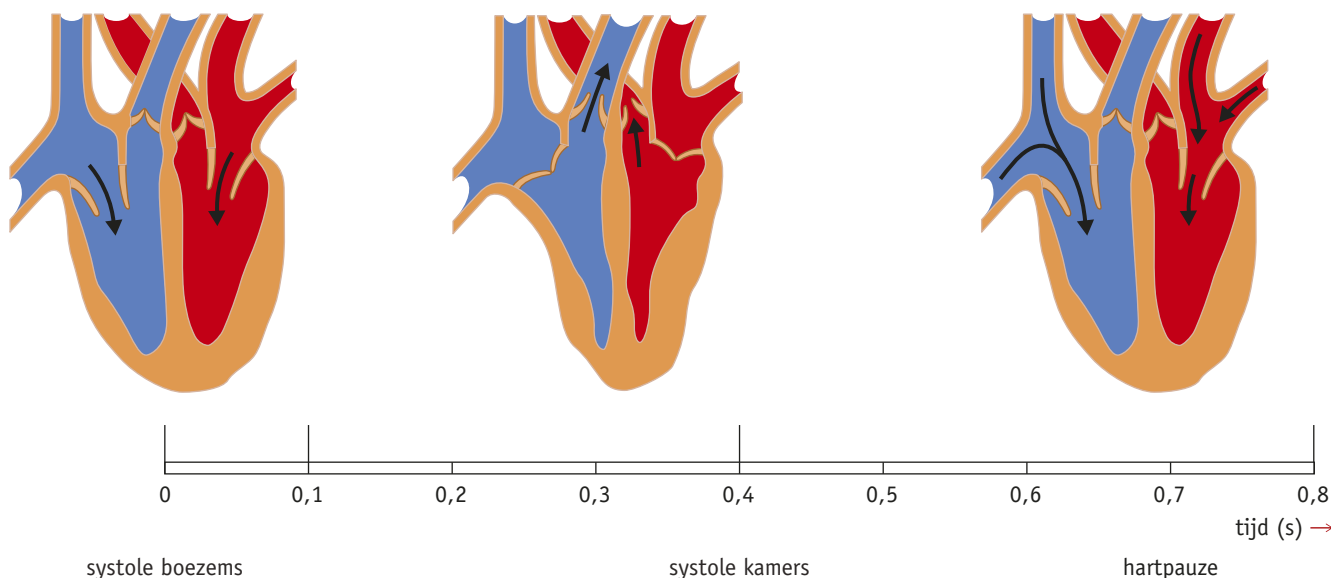
- de systole van de boezems
- de systole van de kamers
- de hartpauze

Wanneer de boezems zijn volgestroomd met bloed uit de holle aders en de longaders, start de hartslag. De systole van de boezems vindt in beide harthelften gelijktijdig plaats. Het bloed stroomt hierdoor de kamers in. De hartkamers zijn dan ontspannen.

Als de kamers zijn volgestroomd, vindt de systole van de kamers plaats. Als het spierweefsel van de kamers samentrekt, dan stijgt de druk in de kamers. Hierdoor slaan de hartkleppen dicht, zodat het bloed niet terugstroomt naar de boezems. Dankzij pezen die verbonden zijn met de hartwand wordt voorkomen dat de kleppen 'doorslaan' naar de boezems.

Als de druk in de kamers hoger is geworden dan de druk in de aorta en in de longslagader(s), worden de halvmemaanvormige kleppen opengedrukt. Het bloed wordt tegelijkertijd in de aorta en in de longslagader(s) gepompt. Tijdens de systole van de kamers vindt in de boezems de diastole plaats.

■ Afb. 22 Fasen van een hartslag.



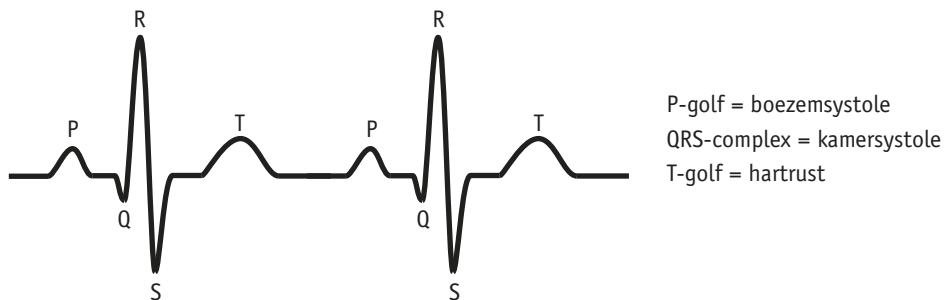
Hierna volgt de hartpauze, waarbij zowel de boezems als de kamers ontspannen. De halvemaanvormige kleppen zijn nu gesloten en verhinderen dat het bloed terugstroomt vanuit de aorta en de longslagader(s) naar de kamers. Het bloed stroomt vanuit de holle aders en de longaders in de boezems en gedeeltelijk door naar de kamers. In afbeelding 22 is voor elke fase de stand van de hartkleppen en van de halvemaanvormige kleppen aangegeven. Zie ook **BiNaS** tabel 84D1.

Met een stethoscoop zijn bij elke hartslag twee harttonen te horen. Zie **BiNaS** tabel 84D3. Als de samentrekking van de kamers begint, slaan de hartkleppen dicht. Hierdoor is een doffe eerste harttoon te horen. Als na het eind van de samentrekking de halvemaanvormige kleppen dichtslaan, is een heldere tweede harttoon te horen. Een arts kan aan de harttonen horen of de kleppen goed functioneren. Als de kleppen niet goed sluiten, is er hartruis te horen.

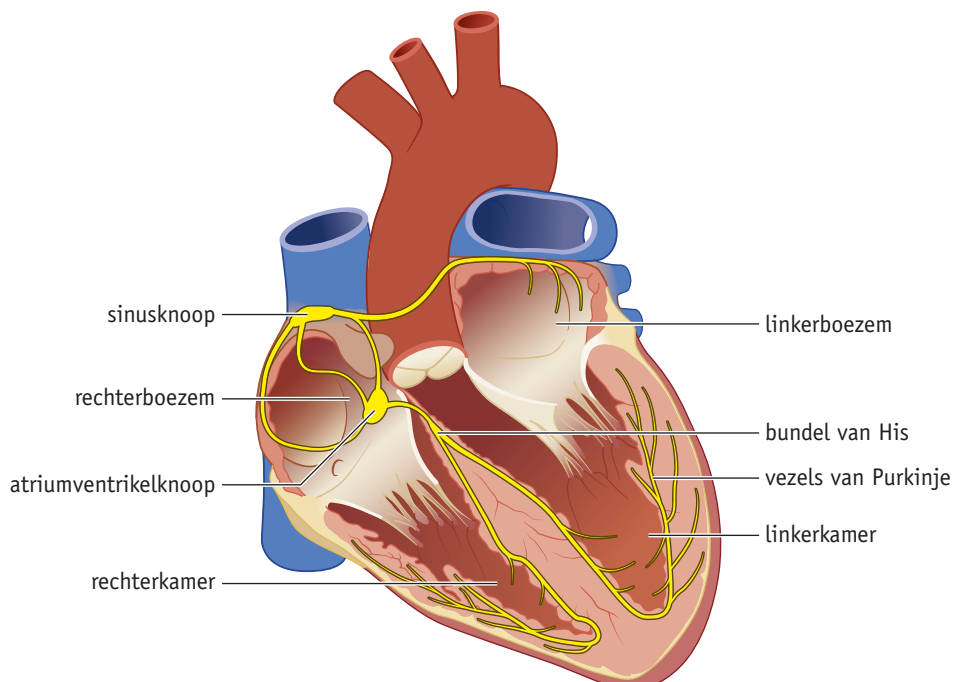
DE HARTSLAG

Het samentrekken van het hart wordt aangestuurd door impulsen. De impulsgeleiding in het hart kun je meten en weergeven in een **elektrocardiogram (ecg)**; zie afbeelding 23 en **BiNaS** tabel 84D2). De pieken en dalen in een ecg, aangeduid met letters (PQRST), worden veroorzaakt door de activiteit van verschillende delen van het prikkelgeleidingssysteem van het hart (zie afbeelding 24).

■ **Afb. 23** Elektrocardiogram.



■ **Afb. 24** Prikkelgeleidingssysteem van het hart.

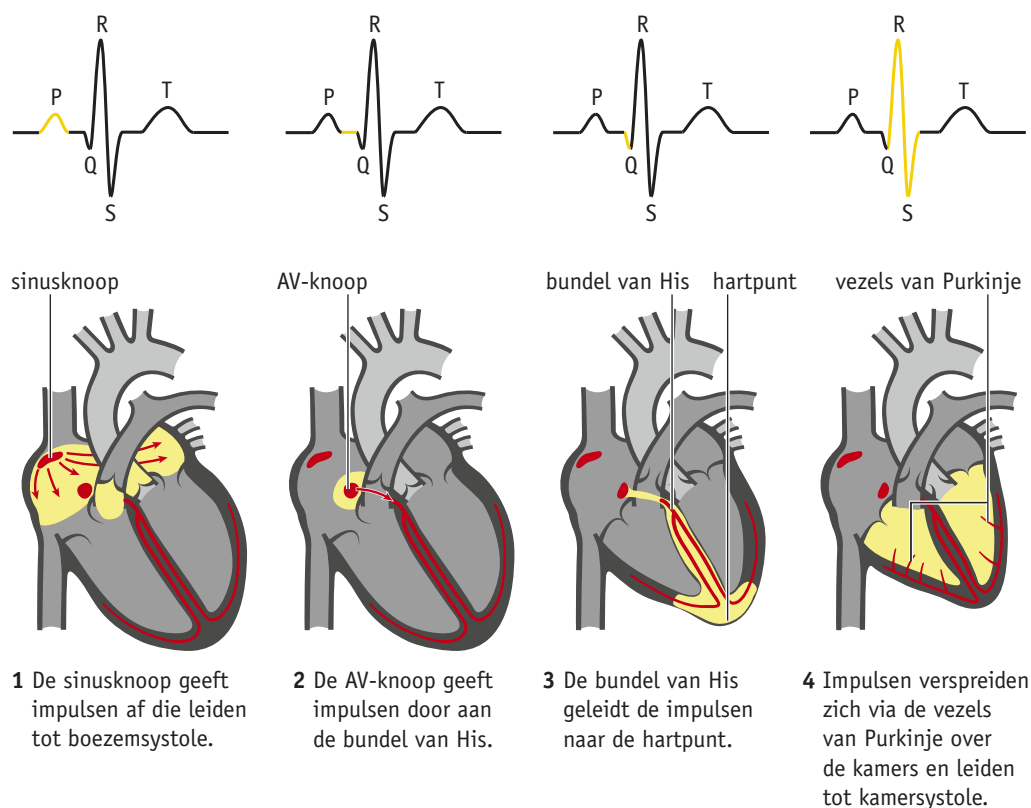


De impulsen die ervoor zorgen dat er een hartslag ontstaat, worden met een soort domino-effect door het hart geleid. De impulsen ontstaan in de **sinusknoop**, een groep gespecialiseerde cellen in de wand van de rechterboezem. Vanuit de sinusknoop verspreiden de impulsen zich naar het spierweefsel in de wand van beide boezems, wat leidt tot de boezemsystole. Dit komt overeen met de P-golf uit het ecg. Doordat zich in de wand tussen de boezems en de kamers een laag bindweefsel bevindt, worden de impulsen niet direct verder geleid naar het spierweefsel van de kamerwanden.

Tussen de rechterboezem en de rechterkamer ligt een tweede groep gespecialiseerde cellen: de **AV-knoop (atriumventrikelknoop)**. Vanuit de AV-knoop loopt de **bundel van His** door de harttussenwand in de richting van de punt van beide kamers. Aan het eind van de systole van de boezems komen de impulsen in de AV-knoop aan. Via de bundel van His worden de impulsen verder geleid naar het spierweefsel in de wand van beide kamers. Dit zorgt ervoor dat de systole van de kamers direct start na afronding van de systole van de boezems. De samentrekking van het spierweefsel in de wand van de kamers begint bij de punt van het hart en zet zich voort naar boven toe. Dit gaat samen met impulsgeleiding via de vezels van Purkinje, die samenvalt met het QRS-complex uit het ecg.

Na de kamersystole volgt de hartrust, waarbij het spierweefsel in de kamerwanden weer ontspant. Dit is de T-golf uit het ecg. In afbeelding 25 is de link tussen een ecg en de activiteit van de verschillende delen van het prikkelgeleidingssysteem weergegeven.

■ **Afb. 25** Ecg en activiteit van het prikkelgeleidingssysteem.

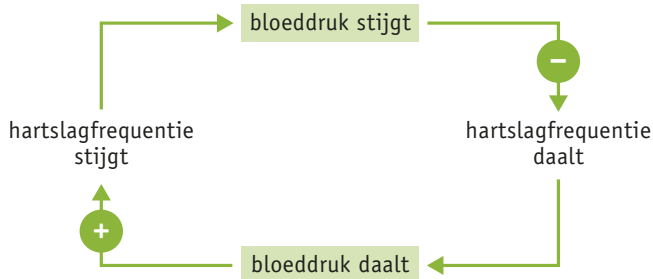


DE HARTSLAGFREQUENTIE

De snelheid waarmee de sinusknoop impulsen afgeeft, heet de **hartslagfrequentie** (of het hartritme). De hartslagfrequentie hangt samen met de lichamelijke activiteit. Bij toenemende activiteit stijgt de hartslagfrequentie. Dat is nodig om de bloeddruk op peil te houden.

De bloeddruk wordt geregeld door negatieve terugkoppeling (zie afbeelding 26). In de wand van de halsslagaders en de aorta liggen zintuigcellen die de bloeddruk waarnemen en doorgeven aan de hersenstam. Als de bloeddruk onder de normwaarde daalt, zorgt de hersenstam voor een stijging van de hartslagfrequentie. Hierdoor stijgt de bloeddruk. Is de bloeddruk gestegen tot boven de normwaarde, dan daalt de hartslagfrequentie weer.

■ **Afb. 26** Regeling van hartslagfrequentie en bloeddruk.



Je hartslagfrequentie kan ook worden beïnvloed door emoties en waarnemingen. Bijvoorbeeld als je gespannen bent, of als je iets ziet waarvan je schrikt. Het hormoon adrenaline en je hersenstam zorgen dan voor een stijging van je hartslagfrequentie.

De hartslagfrequentie is ook afhankelijk van de lichaamsgrootte. Bij pasgeboren baby's slaat het hart gemiddeld 130 keer per minuut, bij volwassenen in rust gemiddeld 70 keer per minuut. Bij grote inspanning kan je hartslag oplopen tot wel 200 slagen per minuut. Bij volwassenen wordt per hartslag in rust 70 tot 100 mL bloed in de aorta gepompt. Deze hoeveelheid bloed noem je het **slagvolume**. Het slagvolume is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid bloed die vanuit de holle aders de rechterboezem instroomt. Bij grote inspanning kan het slagvolume tot wel twee keer zo groot worden.

Opdrachten **KENNIS**

- 22 Gedurende een hartslag verandert het volume van de hartkamers.
 - a Tijdens welke fase van de hartslag is het volume van de hartkamers het kleinst? Leg je antwoord uit.
 - b Tijdens welke fase van de hartslag is het volume van de kamers het grootst? Leg je antwoord uit.
- 23 De harttonen worden veroorzaakt door het sluiten van de kleppen in het hart.
 - a Op welk moment in een ecg hoor je de eerste harttoon? Geef ook aan door het sluiten van welke kleppen deze wordt veroorzaakt.
 - b Op welk moment in een ecg hoor je de tweede harttoon? Geef ook aan door het sluiten van welke kleppen deze wordt veroorzaakt.
- 24 Als maat voor de hoeveelheid arbeid die een hart verricht, wordt meestal het hartminuutvolume gebruikt. Dit is de hoeveelheid bloed die per minuut door de linkerkamer in de aorta wordt geperst.
 - a Bereken het gemiddelde hartminuutvolume van een volwassen persoon in rust.
 - b Bij sportmensen blijkt de hartslagfrequentie bij toenemende inspanning gedurende een trainingsperiode soms weinig of niet te stijgen. Door welke verandering in de hartwerking wordt dan toch het hartminuutvolume vergroot?

- 25 Je hoort mensen weleens zeggen dat het hart een autonoom orgaan is. Autonoom betekent zelfsturend.
Leg uit waarom deze term van toepassing is op het hart.
- 26 Wie heeft de grootste hartslagfrequentie: een olifant, een mens of een muis?
Leg uit hoe dit komt.
- 27 **a** Waarom is het voor de werking van het hart belangrijk dat tijdens de kamersystole eerst de hartkleppen sluiten voordat de halvemaanvormige kleppen opengaan?
b Bij iemand met een lekkende hartklep neemt het slagvolume af.
Leg uit hoe dit kan.



28 Het hart, normaal en afwijkend

Naar: Voorronde Biologie Olympiade Bovenbouw 2019, vraag 15 t/m 17.

Het hartminuutvolume (HMV) is de hoeveelheid bloed die per minuut door het hart wordt gepompt. Het hartminuutvolume is het product van het slagvolume en de hartslagfrequentie. Omdat het slagvolume moeilijk is te meten, wordt een andere manier gebruikt om het HMV te berekenen, zie de formule in afbeelding 27.

■ **Afb. 27** Formule voor berekening van het hartminuutvolume.

$$\text{HMV} = \frac{Q}{(A - V)}$$

Q: het zuurstofverbruik (in mL/min)

A: de zuurstofconcentratie in het zuurstofrijke bloed (in mL/L)

V: de zuurstofconcentratie in het zuurstofarme bloed (in mL/L)

De gegevens in tabel 1 werden gemeten bij een gezond persoon tijdens rust en tijdens inspanning.

Tabel 1 Meetresultaten.

Parameter	Tijdens rust	Tijdens inspanning
Zuurstofverbruik (Q)	250 mL/min	1500 mL/min
Zuurstofverschil (A - V)	50 mL/L bloed	150 mL/L bloed
Hartslag	60 slagen/min	120 slagen/min

Hierover worden de volgende beweringen gedaan:

- I Het hartminuutvolume is tijdens inspanning twee keer zo groot als tijdens rust.
 - II Het slagvolume is tijdens inspanning groter dan tijdens rust.
 - III De hoeveelheid zuurstof die per minuut aan de weefsels wordt afgegeven, is tijdens inspanning drie keer zo groot als tijdens rust.
 - IV Het aantal hartslagen dat nodig is om de weefsels tijdens inspanning van 3000 mL zuurstof te voorzien is 240.
- a** Welke bewering is of welke beweringen zijn juist? Noteer de cijfers.

- b Afbeelding 28 geeft de relatie weer tussen de druk en het bloedvolume in de linkerkamer tijdens een hartcyclus. A, B, C en D geven momenten tijdens de hartcyclus weer.

Hierover worden de volgende beweringen gedaan:

- I Bij B wordt de linkerhartklep (mitralisklep) geopend.
- II De uitstroom van bloed uit de linkerkamer eindigt bij D.
- III Als de aortaklep vernauwd is, ligt punt D hoger.
- IV Tussen C en D stroomt er geen bloed van de linkerboezem naar de linkerkamer.

Geef voor iedere bewering aan of deze juist of onjuist is.

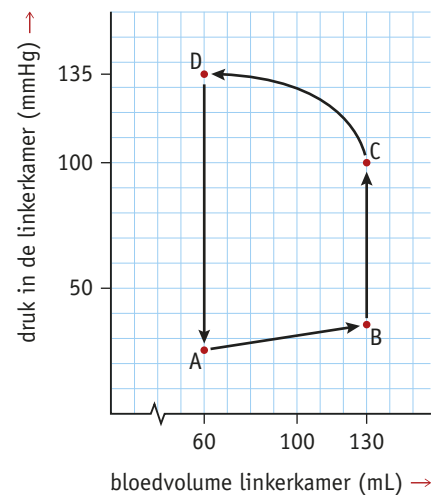
- c In afbeelding 29 staan vier typen van algemeen voorkomende afwijkingen aan het hart en de bloedvaten rondom het hart. De cirkel geeft aan waar de afwijking is te zien.

Over de vier typen worden de volgende beweringen gedaan, waarbij steeds wordt vergeleken met een normaal hart:

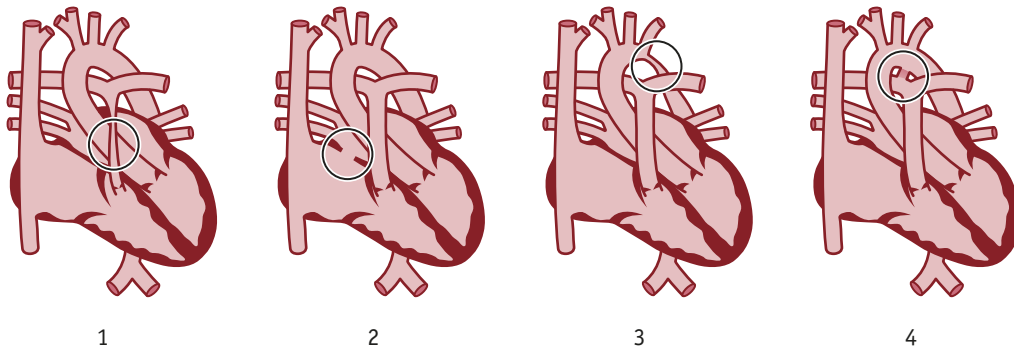
- I Bij type 1 moet de rechterkamer meer arbeid verrichten.
- II Bij type 2 is het slagvolume van de linkerkamer groter.
- III Bij type 3 is de systolische bloeddruk in de armen hoger.
- IV Bij type 4 is de bloeddruk in de longen hoger.

Geef voor iedere bewering aan of deze juist of onjuist is.

■ **Afb. 28** Grafiek over de relatie tussen volume en druk in de linkerkamer.



■ **Afb. 29** Vier afwijkingen bij een hart.



- 29 Bij hartritmestoornissen kunnen de boezems of de kamers te snel, te langzaam of onregelmatig samentrekken. De oorzaak ligt in de vorming of de geleiding van impulsen. Als er vaker ernstige hartritmestoornissen optreden en er risico bestaat voor een hartstilstand, kan het hartritme worden ondersteund met behulp van een pacemaker. Deze herstelt het normale hartritme met elektrische impulsen.

- a Met welk deel van het prikkelgeleidingssysteem van het hart kun je een pacemaker het best vergelijken? Leg je antwoord uit.
- b Waar zal een patiënt meer last van hebben: hartritmestoornissen van de boezem of hartritmestoornissen van de kamer? Leg je antwoord uit.

📖 Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf*.

CARDIOLOOG

Eric Heijmen is cardioloog in het Elkerliek ziekenhuis in Helmond. Terwijl hij koffiedrinkt, leest hij het dossier van zijn volgende patiënt door. Zijn volgende patiënt is een 5-jarige jongen, Krijn, die in verband met hartruis vanuit het consultatiebureau is doorverwezen. Een arts van het consultatiebureau wil graag uitsluiten dat er iets mis is met het hart van Krijn.

Tijdens de klachtenanamnese, het vraaggesprek naar de symptomen, geeft de moeder van Krijn aan dat bij een controle hartruis werd opgemerkt. Er zijn verder geen klachten zoals kortademigheid of vermoeidheid.

Eric legt uit dat hartruis wel vaker voorkomt bij kinderen. Sterker nog, vaak is dit bij jongens van Krijns leeftijd een teken dat het hart krachtig pompt. Hierdoor ontstaat turbulentie wanneer het bloed voorbij de hartkleppen stroomt en dat hoor je als ruis. Wanneer dit de oorzaak is, zal de ruis verdwijnen als Krijn ouder wordt.

Voor de zekerheid maakt Eric toch een elektrocardiogram en een echocardiogram van Krijns hart (zie afbeelding 30). Bij een echocardiogram wordt het hart met geluidsgolven in beeld gebracht.

De echo kan in het geval van Krijn door de borstkast heen worden gemaakt. Tijdens het maken van het echocardiogram kan Krijn op een beeldscherm meekijken naar het kloppen van zijn hart. Eric legt uit dat hij op de echo kan zien of de hartkleppen in het hart van Krijn goed werken.

Op beide cardiogrammen heeft Eric niets vreemds kunnen ontdekken. Het hart van Krijn is helemaal in orde. Krijn mag dus weer gaan voetballen zoveel hij wil.

■ Afb. 30 Krijn krijgt een echocardiogram.



Opdrachten

- 30 Om cardioloog te worden, moet je eerst de opleiding geneeskunde doen en je daarna specialiseren.
 - a Welk opleidingstraject moet je na de opleiding geneeskunde volgen om cardioloog te kunnen worden? Maak eventueel gebruik van internet.
 - b Welke kwaliteiten heeft iemand nodig om een goede cardioloog te worden? Noem er minimaal drie.
- 31 Krijn heeft last van een gezonde hartruis. Hartruis wordt vaker veroorzaakt door een probleem met de hartkleppen.
 - a Wat is er mis met de hartkleppen als iemand last heeft van hartruis?
Leg uit wat hiervan voor de patiënt het gevolg is.
 - b Eric Heijmen moet als cardioloog aan de 5-jarige Krijn uitleggen wat het verschil is tussen een elektrocardiogram en een echocardiogram. Hij wil hierin ook uitleggen wat deze twee cardiogrammen zeggen over het functioneren van Krijns hart.
Wat is een mogelijke uitleg die Eric aan Krijn kan geven? Zorg ervoor dat je antwoord wel biologisch juist is.
 - c Een echocardiogram kun je op twee manieren maken: via de borstkast of vanuit de slokdarm. Als een arts denkt dat er een probleem met de halvemaanvormige kleppen in de aorta is, dan wordt een echocardiogram vanuit de slokdarm gemaakt.
Leg uit waarom dit is.

4 HET BLOEDVATEN-STELSEL

LEERDOELEN

13.4.1 Je kunt de delen van het bloedvatstelsel benoemen en daarin het zuurstofgehalte, koolstofdioxidegehalte, glucosegehalte en de stroomrichting van het bloed aangeven.

► Practicum 3

13.4.2 Je kunt de verschillen en overeenkomsten tussen de foetale bloedsomloop en die na de geboorte benoemen.

TAXONOMIE

LEERDOELEN EN OPDRACHTEN

	13.4.1	13.4.2
Begrijpen	32, 33	34, 35, 40b
Toepassen	36, 40a	37ab
Analyseren	39	37c, 38, 40cde

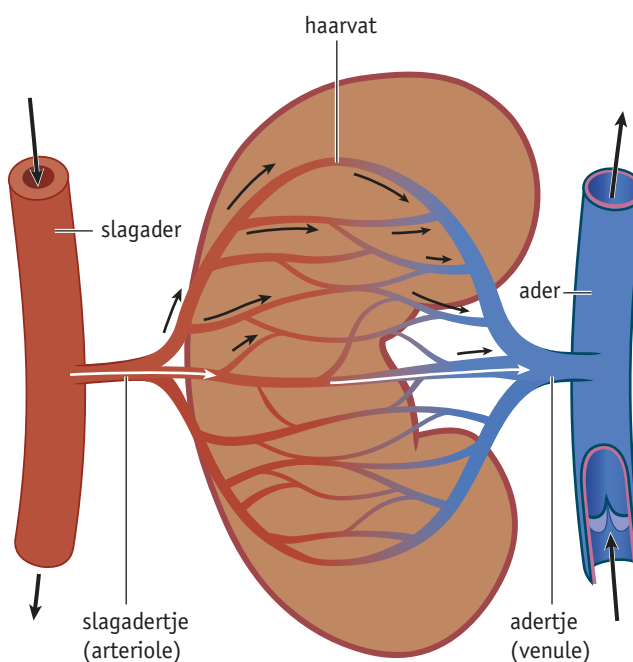
De namen van bloedvaten hangen samen met de stroomrichting van het bloed en het orgaan waar ze mee zijn verbonden. Wanneer het bloed door een orgaan stroomt, geeft het bepaalde stoffen af en neemt het andere stoffen op. Zo verandert de samenstelling van het bloed voortdurend.

TYPEN BLOEDVATEN

Het hart pompt bloed in **slagaders** (arteriën), die het bloed van het hart naar de organen vervoeren. Door het pompen stroomt het bloed stootsgewijs door de slagaders. Deze slagaders vertakken zich tot fijnere slagadertjes (arteriolen), die bloed naar de organen vervoeren.

De fijne slagadertjes vertakken zich tot **haarvaten** (capillairen), waarvan de wand uit één laag cellen bestaat. Hierdoor kan vocht met zuurstof en voedingsstoffen de haarvaten verlaten en de cellen bereiken. De haarvaten verenigen zich weer tot fijne adertjes (venulen), die op hun beurt **aders** (venen) vormen. Via deze aders stroomt het bloed terug naar het hart (zie afbeelding 31).

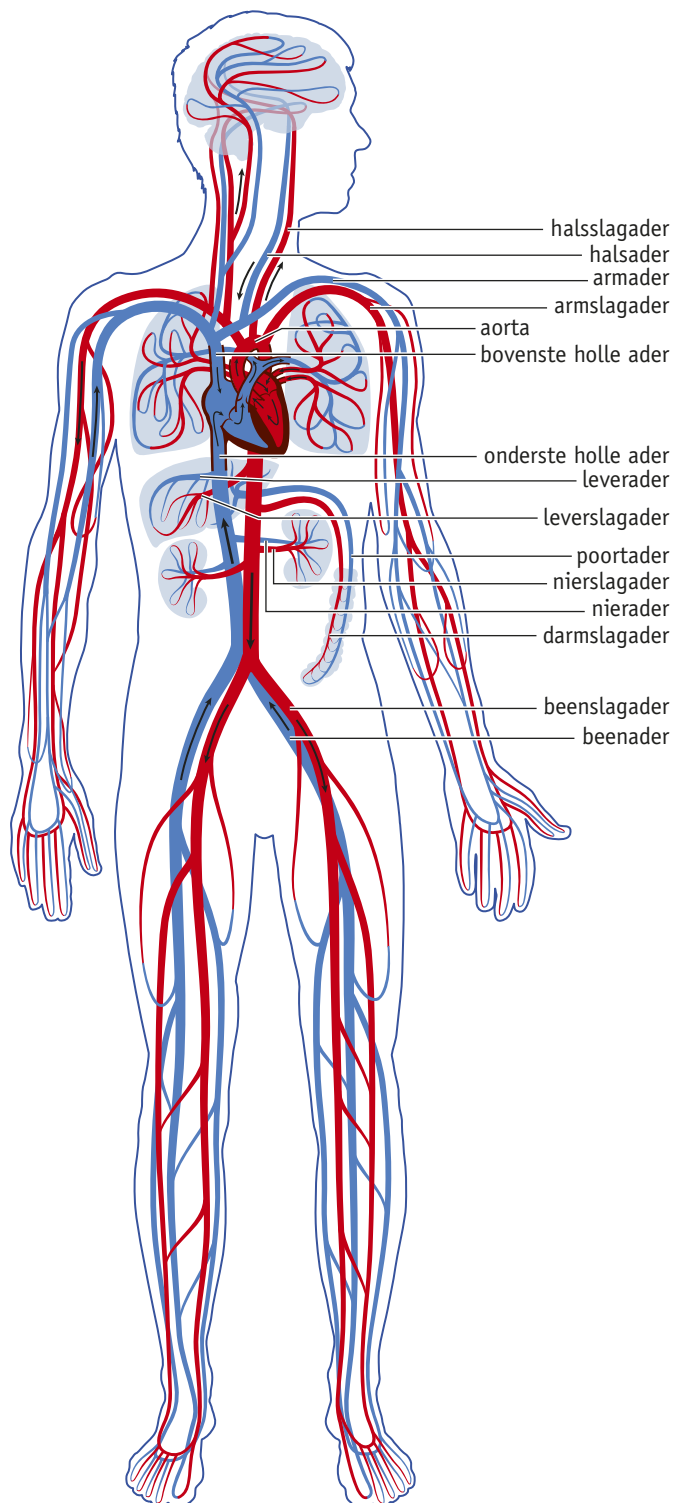
■ Afb. 31 Bloedstroom door een orgaan.



NAAMGEVING VAN DE BLOEDVATEN

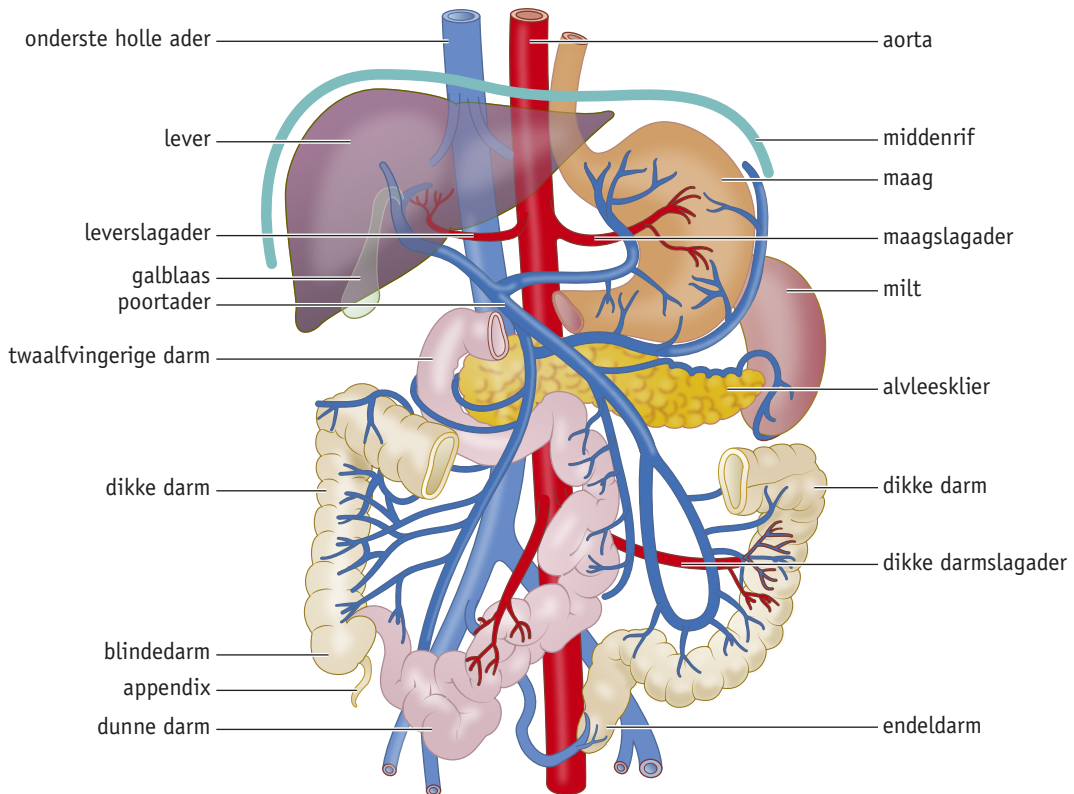
In afbeelding 32 zijn de belangrijkste bloedvaten van het **bloedvatenstelsel** van de mens schematisch getekend (zie ook **BiNaS** tabel 84A). Slagaders, haarvaten en aders hebben in de regel de naam van het orgaan of lichaamsdeel waar ze bloed naartoe, doorheen of vandaan voeren. De poortader, die bloed uit de darmwand naar de lever vervoert, vormt een uitzondering.

■ **Afb. 32** Naamgeving van de bloedvaten.



Het bloed uit de wand van het darmkanaal (met uitzondering van de endeldarm) gaat via de poortader naar de lever (zie afbeelding 33). In de darmwand vindt resorptie van voedingsstoffen plaats. De bloedsamenstelling in de poortader, vooral het glucosegehalte, kan hierdoor sterk variëren. Hormonen uit de alvleesklier regelen of de lever glucose opslaat of afgeeft. De lever en de alvleesklier zorgen zo voor het constant houden van de samenstelling van het bloed (homeostase). De lever ontvangt niet alleen bloed vanuit de poortader, maar ook vanuit de leverslagader. De leverslagader voert bloed met een hoog zuurstofgehalte naar de lever toe, terwijl de lever bloed met een hoog koolstofdioxidegehalte ontvangt vanuit de poortader.

■ **Afb. 33** Darmen en lever met bloedvaten.



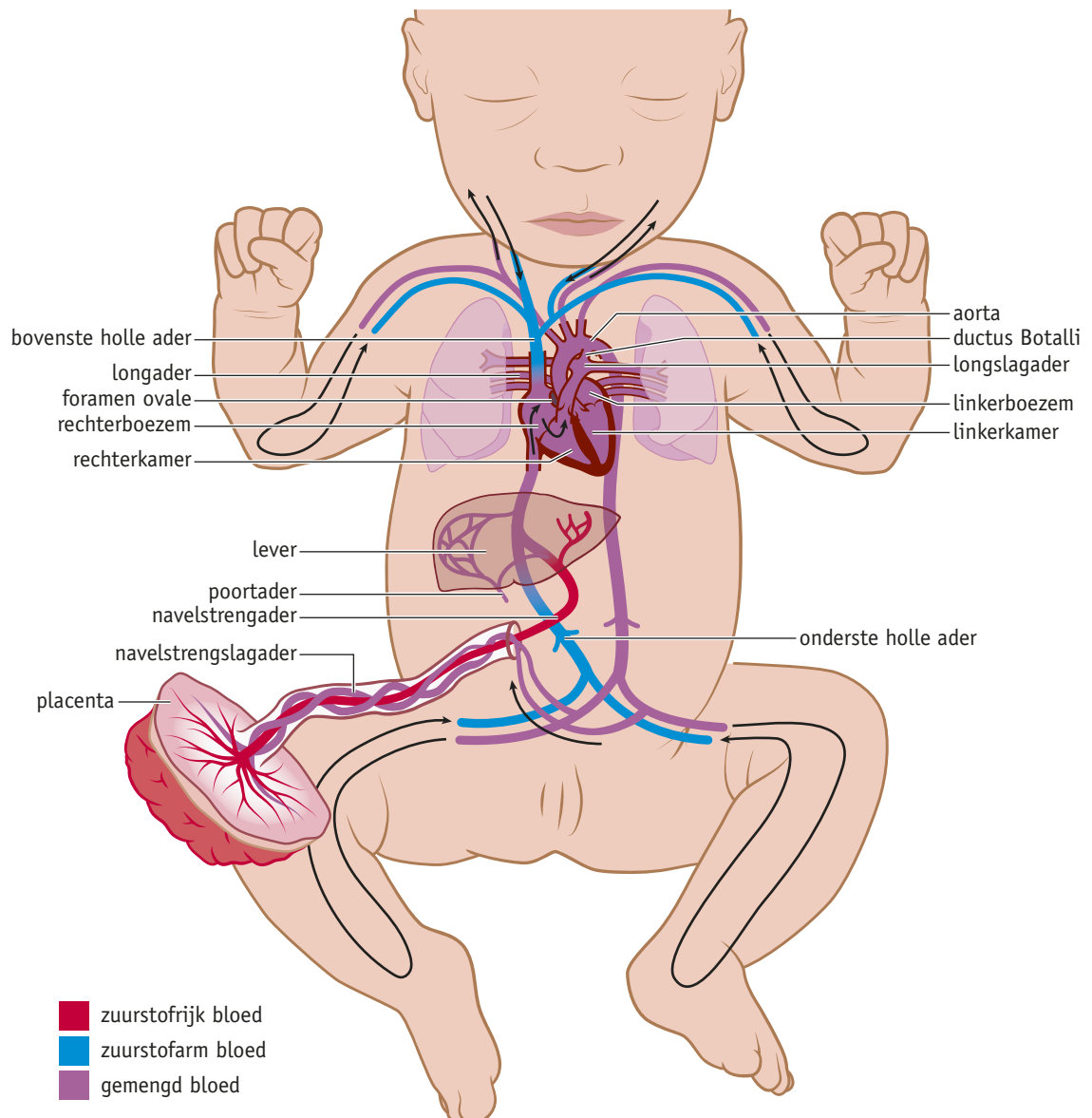
Opdrachten **KENNIS**

- 32
 - a Bevatten alle slagaders zuurstofrijk bloed? Leg je antwoord uit.
 - b Leg uit hoe het komt dat je aan de bloedvaten in je hals wel je hartritme kunt voelen en aan de meeste andere bloedvaten in je lichaam niet.
- 33 De hormonen insuline en glucagon regelen de opname en afgifte van glucose door de lever.
 - a Via welk bloedvat bereiken deze alvleesklierhormonen de lever?
 - b Is het bloed in de poortader zuurstofrijk of zuurstofarm? Leg je antwoord uit.
 - c Waarom heeft het bloed in de poortader een wisselend glucosegehalte?
 - d Heeft het bloed in de leverader een wisselend of redelijk constant glucosegehalte? Leg je antwoord uit.

Een foetus neemt nog geen voedingsstoffen op via de darmen of zuurstof via de longen. Deze taken worden in de foetale bloedsomloop overgenomen door de placenta. Omdat de kleine bloedsomloop zijn latere functie nog niet kan vervullen, bezit de foetale bloedsomloop enkele aanpassingen (zie afbeelding 34 en **BiNaS** tabel 84B).

- Twee navelstrengslagaders vervoeren bloed met afvalstoffen vanuit de beenslagaders van de foetus naar de placenta toe.
- Eén navelstrengader vervoert bloed dat rijk is aan zuurstof en voedingsstoffen vanuit de placenta naar de onderste holle ader van de foetus.
- Er zit een opening tussen de rechter- en linkerboezem: het **foramen ovale** (ovale venster). Een groot deel van het bloed stroomt via deze opening rechtstreeks van de rechterboezem naar de linkerboezem. Dit bloed wordt vervolgens door de linkerkamer in de aorta geperst.
- Bij een foetus is er een verbinding tussen de longslagader en de aorta: de **ductus Botalli** (of ductus arteriosus). Het grootste deel van het bloed dat door de rechterkamer wordt weggepompt, komt via de ductus Botalli in de aorta terecht.

■ **Afb. 34** Bloedsomloop bij een foetus.



Bij de eerste ademteug na de geboorte vullen de longen zich met lucht. Daardoor neemt de weerstand in het haarvatennet van de longen af. Het bloed stroomt nu gemakkelijker vanuit de rechterkamer naar de longen. Hierdoor daalt de bloeddruk in de rechterharthelft. De bloeddruk in de linkerboezem stijgt juist door aanvoer van bloed vanuit de longen. Dit heeft tot gevolg dat het foramen ovale door een weefselklep wordt afgesloten. Deze klep vergroeit met de harttussenwand.

De ductus Botalli verschrompelt en verdwijnt. Ook de resten van de navelstrengslagaders en navelstrengaders verschrompelen en verdwijnen.

Opdrachten **KENNIS**

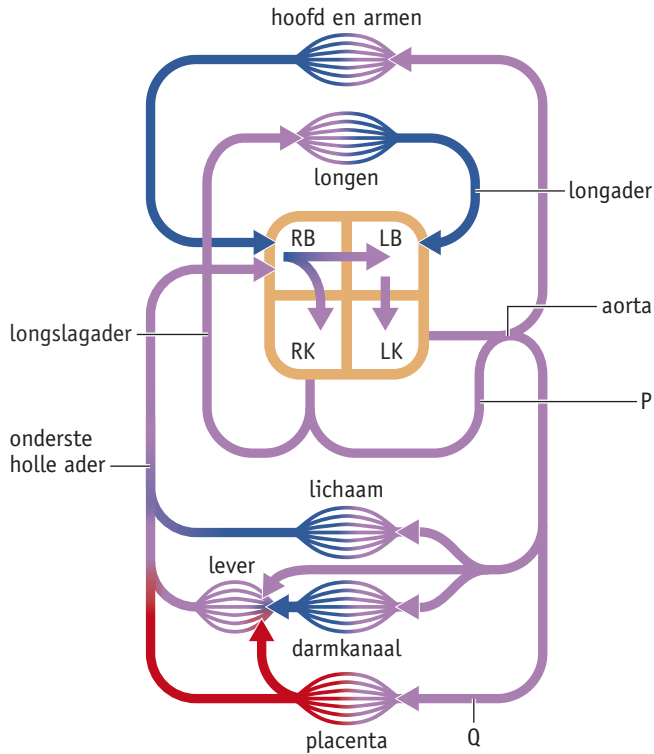
- 34** Voor de geboorte stroomt maar weinig bloed vanuit de rechterkamer naar de longen. Het grootste deel stroomt naar de aorta.
- a** Beschrijf twee manieren waarop bloed voor de geboorte vanuit de rechterharthelft naar de aorta stroomt.
 - b** Bij sommige kinderen vergroeit na de geboorte de klep die het foramen ovale afsluit niet goed. Er blijft dan bloed van de rechterboezem naar de linkerboezem stromen. Wordt hierdoor het zuurstofgehalte van het bloed in de aorta hoger of lager? Leg je antwoord uit.
- 35**
- a** Welk bloedvat bevat bij een foetus bloed met het hoogste zuurstofgehalte?
 - b** Welk bloedvat bevat bij een baby na de geboorte het hoogste zuurstofgehalte?
 - c** Is de bloeddruk in de aorta voor de geboorte hoger of lager dan de druk in de longslagader?

Opdrachten **INZICHT**

- 36** Wanneer iemand een alcoholische drank drinkt, kun je korte tijd daarna alcohol in het bloed aantonen. Een klein deel van de alcohol wordt via de maag opgenomen in het bloed, de rest via de dunne darm. Alcohol wordt door enzymen in de lever afgebroken, waardoor de alcoholconcentratie in het bloed afneemt.
- a** Hoe komt een alcoholmolecuul vanuit je drinken in de lever terecht?
 - b** Alcohol zorgt ervoor dat je dronken wordt. Om je dronken te kunnen maken, moeten de alcoholmoleculen je hersenen bereiken.
Door welke bloedvaten en hartdelen gaat een alcoholmolecuul dat via de kortste weg van de wand van de dunne darm naar de hersenen gaat?
 - c** Sommige medicijnen worden door de lever afgebroken, net zoals alcohol. Het is dan niet handig om deze medicijnen oraal toe te dienen.
Waarom kun je deze medicijnen wel als zetpil toedienen?

- 37 Afbeelding 35 is een schematische weergave van de bloedsomloop bij een foetus.
- Hoe heet het bloedvat dat is aangegeven met P?
 - Hoe heet het bloedvat dat is aangegeven met Q?
 - Varieert het glucosegehalte van het bloed in de poortader van een foetus meer of minder dan dat van een pasgeboren baby? Leg je antwoord uit.

■ Afb. 35 Foetale bloedsomloop.



- 38 Mensen hebben een dubbele bloedsomloop, maar een foetale bloedsomloop voldoet niet helemaal aan de eisen voor een dubbele bloedsomloop.
- Waarom kun je pas na de geboorte echt spreken van een dubbele bloedsomloop? Leg je antwoord uit.
 - Voor de geboorte pompt de rechterkant van het hart meer bloed weg per slag dan de linkerkant.
Zal dit verschil tussen de beide harthelften na de geboorte veranderen? Leg je antwoord uit.
 - De veranderingen in het hart en de bloedsomloop hebben ook gevolgen voor de bloeddruk in de aorta.
Hoe verandert de bloeddruk in de aorta door deze veranderingen? Leg je antwoord uit.
- 39 Aan vrouwen wordt geadviseerd om tijdens de zwangerschap extra foliumzuur (vitamine B11) te slikken. Deze voedingsstof versterkt de ontwikkeling van het zenuwstelsel van het ongeboren kind.
Via welke bloedvaten en hartdelen gaat een foliumzuurmolecuul dat wordt opgenomen in de darmen van de moeder en terechtkomt in de hersenen van de foetus? Ga uit van de kortste route. Noem de bloedvaten en hartdelen in de juiste volgorde en geef aan of ze bij de moeder of bij de foetus horen.

HARTOPERATIE IN DE BAARMOEDER

Het Leids Universitair Medisch Centrum (LUMC) is het enige ziekenhuis in Nederland waar artsen prenatale hartchirurgie uitvoeren. Dit wil zeggen dat zij kunnen opereren, terwijl de baby nog in de baarmoeder zit. Een operatie brengt bij zulke extreem jonge patiënten extra risico met zich mee. Daarom worden zulke operaties alleen uitgevoerd als je niet kunt wachten tot na de bevalling.

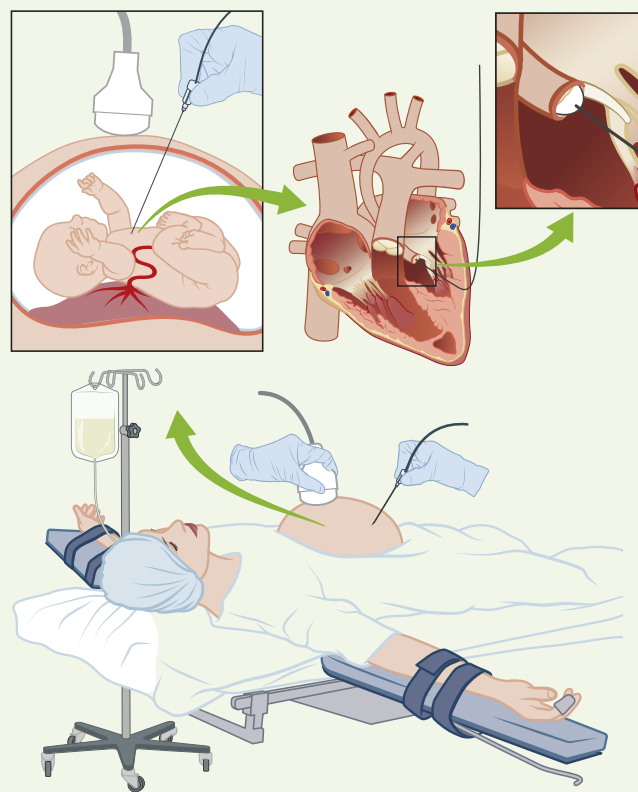
Als bij een foetus bij de twintigwekenecho wordt vastgesteld dat de halvemaanvormige kleppen bij de aorta nagenoeg dichtzitten, dan kan dit een reden zijn om in utero (in de baarmoeder) te opereren (zie afbeelding 36). Bij deze baby's kan HLHS (hypoplastisch linkerhartsyndroom) ontstaan als de doorstroom niet wordt hersteld.

Vanaf ongeveer 22 weken zwangerschap is het mogelijk om de foetus te opereren. Met behulp van echoapparatuur kan een chirurg een naald met katheter door de buikwand en wand van de baarmoeder heen in de linkerhartkamer van de baby brengen. Op deze manier kun je via de katheter een ballonnetje opblazen ter hoogte van de halvemaanvormige kleppen in de aorta, zodat deze kleppen opengaan en zo de doorstroom in de linkerkant van het hart wordt hersteld.

Na de operatie wordt de ontwikkeling van het hart van de baby via hartecho's in de gaten gehouden.

Specialisten proberen ervoor te zorgen dat de moeder de zwangerschap zoveel mogelijk kan voldragen, zodat het kindje de grootste kans op een gezond leven heeft.

■ Afb. 36 In utero hartoperatie.

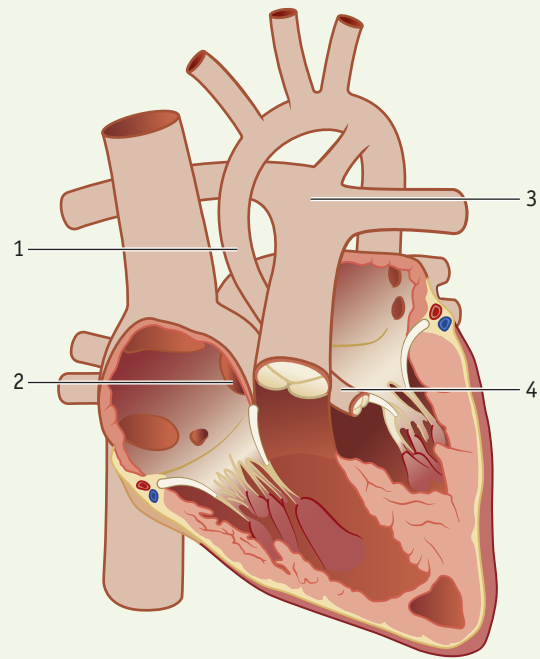


Opdrachten

- 40** De moeder krijgt tijdens de operatie pijnmedicatie toegediend en medicijnen om rustig te blijven. Bij deze toediening moet je rekening houden met het effect van deze medicijnen op de baby. De medicatie dien je meestal toe via een infuus in de arm en moet effect hebben in de hersenen en spieren.
- a** Via welke bloedvaten en hartdelen bereikt de pijnmedicatie de hersenen van de moeder?
 - b** Hoe kan de pijnmedicatie vanuit de bloedsomloop van de moeder terechtkomen in de bloedsomloop van de foetus?
 - c** In afbeelding 37 zie je een foetaal hart met HLHS. Welke bloedvaten of hartdelen zijn aangegeven met de cijfers?

- d** In sommige gevallen is de linkerkamer in een vroeg stadium van de zwangerschap al te klein, waardoor een prenatale operatie niet mogelijk is (zie afbeelding 37). Zo'n kindje wordt dan geboren met HLHS. Waarom zal een kindje dat wordt geboren met HLHS waarschijnlijk kort na geboorte overlijden?
- e** Tijdens de prenatale hartoperatie wordt een ballonnetje opgeblazen in de linkerkant van het hart om de doorstroom in het hart te herstellen. In welk van de genummerde delen in het hart van afbeelding 37 zal dit ballonnetje worden opgeblazen? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 37** Hart van een foetus met HLHS.



5 DE BLOEDVATEN

LEERDOELEN

13.5.1 Je kunt uitleggen wat de relatie is tussen de kenmerken en functies van aders, slagaders en haarvaten en hun bouw en werking.

► Practicum 4

13.5.2 Je kunt het verloop van bloeddruk en stroomsnelheid in de delen van het bloedvatenstelsel toelichten.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	13.5.1	13.5.2
Begrijpen	41, 42, 43, 45	44, 46, 47, 52a
Toepassen		48ab, 49a, 51ac, 52bc
Analyseren		48c, 49b, 50, 51b, 52de

Door het ene bloedvat stroomt per minuut meer bloed dan door het andere bloedvat. Om met deze verschillen om te gaan, is ieder bloedvat aangepast aan de stroomsnelheid en de bloeddruk waarmee het te maken krijgt.

SLAGADERS

De wanden van slagaders zijn dik, stevig en elastisch. De elasticiteit van de wand komt vooral dankzij een dikke laag glad spierweefsel. Aan de binnenkant van de wand bevindt zich een laag dekweefsel (endotheel). Deze laag is één cel dik. Zie **BiNaS** tabel 84C2 of afbeelding 38.

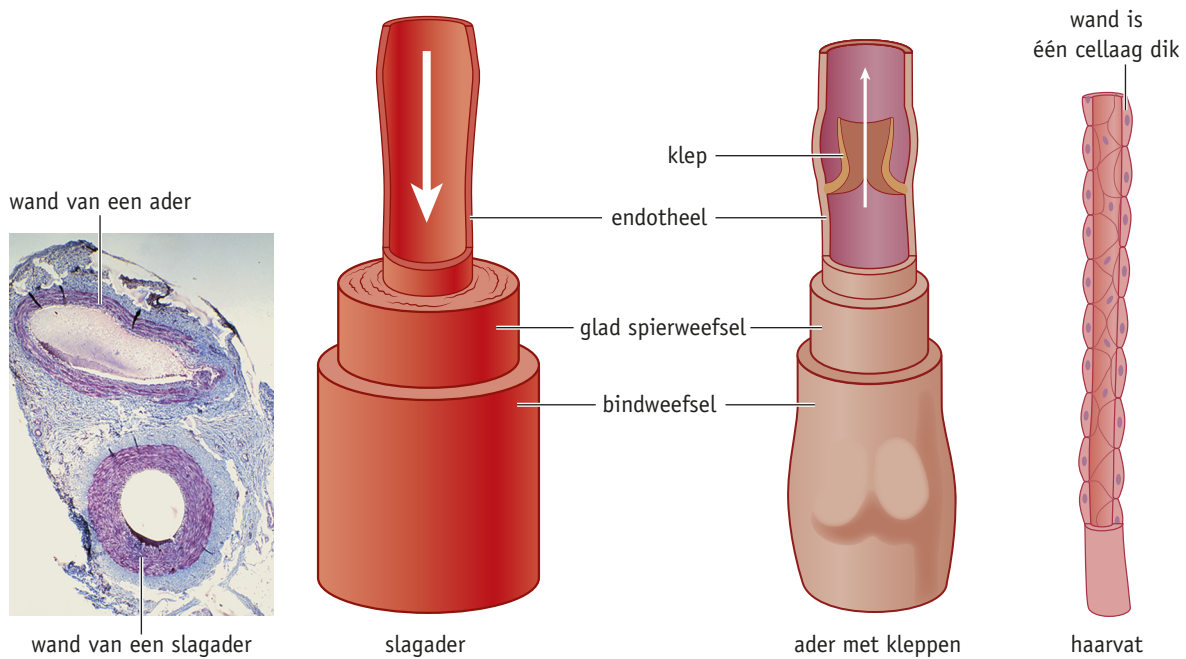
Slagaders (arteriën) ontvangen bloed vanuit het hart, waardoor het bloed in slagaders stootsgewijs stroomt. Door de elasticiteit van de wand worden deze stoten opgevangen. Slagaders liggen meestal diep in het lichaam, waardoor ze niet gemakkelijk beschadigen.

Ook bij de kleine slagaders (arteriolen) bestaat de wand voor een groot deel uit glad spierweefsel. Deze bloedvaten kunnen dankzij het spierweefsel vernauwen (vasoconstrictie) of verwijden (vasodilatatie). Zo wordt geregeld hoeveel bloed er door een weefsel stroomt. Wanneer een orgaan of weefsel veel arbeid moet verrichten, worden de arteriolen wijder, waardoor de bloedtoevoer toeneemt. Bij minder activiteit vernauwen de kleine slagadertjes juist.

HAARVATEN

De haarvaten (capillairen) hebben een wand die slechts één cel dik is (zie afbeelding 38.2). Dankzij deze dunne wand kunnen vocht en voedingsstoffen de bloedbaan verlaten om te worden afgegeven aan cellen in het omliggende weefsel. Afvalstoffen worden ook weer via de dunne wand opgenomen in het bloed om te worden afgevoerd. Het bloed in de haarvaten stroomt heel langzaam om deze uitwisseling mogelijk te maken.

■ **Afb. 38** Bloedvatwand van een slagader en een ader.

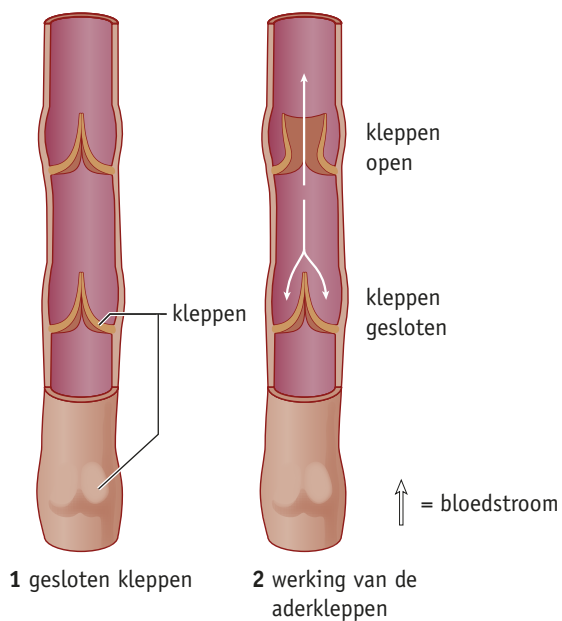


- 1 microscopische foto van slagader en ader (vergroting 25×) 2 vaatwanden van verschillende type bloedvaten

ADERS

In aders is geen hartslag meer merkbaar, doordat het bloed al door de haarvaten is gestroomd. De wanden van aders zijn daarom dunner en minder elastisch dan die van slagaders, maar wel dikker dan die van haarvaten (zie afbeelding 38). De bloeddruk in de aders is lager dan die in de haarvaten. Veel aders bevatten kleppen, vooral de aders in de armen en benen. Deze **aderkleppen** laten het bloed slechts in één richting door (zie afbeelding 39). Aders liggen meestal minder diep in het lichaam. Je kunt ze bijvoorbeeld aan de onderzijde van je arm zien liggen als blauwe strepen.

■ **Afb. 39** Werking van kleppen in aders.

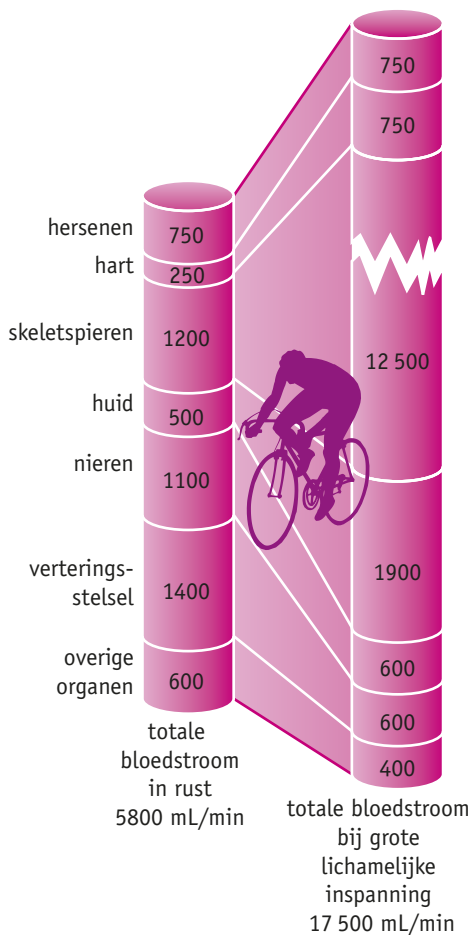


- 41** Vul de tabel in. Gebruik hiervoor **Binas** tabel 84C.
- Kies bij 1 uit: *van de organen naar het hart – van het hart naar de organen – in de organen.*
- Kies bij 2 uit: *hoog – laag – heel laag.*
- Kies bij 3 uit: *dik, stevig en elastisch – dun en weinig elastisch – één cellaag dik.*
- Kies bij 4 uit: *gelijkmatig – gelijkmatig – stootsgewijs (kloppend).*
- Kies bij 5 uit: *overal verspreid in het lichaam – diep in het lichaam – minder diep in het lichaam.*
- Kies bij 6 uit: *aanwezig wanneer bloed tegen de zwaartekracht in omhoog wordt vervoerd – niet aanwezig, behalve halvemaanvormige kleppen – niet aanwezig.*

	Slagaders	Haarvaten	Aders
1 Het bloed stroomt			
2 De bloeddruk is			
3 De wand is			
4 De bloedstroom is			
5 Ze liggen meestal			
6 Kleppen zijn			

- 42** In de wand van de vertakkingen van slagaders bevindt zich spierweefsel.
- Wat is de functie van dit spierweefsel?
 - Kyra gaat hardlopen.
Hoe verandert de spierspanning in de wand van de slagadertjes in haar beenspieren?
Leg uit welk effect dit heeft.
 - Bij atleten bevinden zich in de spieren veel meer haarvaten dan bij mensen die niet aan sport doen.
Leg uit welk voordeel dit heeft.
- 43** In afbeelding 40 zie je de verdeling van de totale bloedstroom over verschillende organen in rust en bij activiteit.
- Waarom neemt bij activiteit de bloedstroom in de richting van het verteringsstelsel en de nieren af?
 - Waarom neemt bij inspanning de doorbloeding van de huid toe? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 40** Verdeling bloedstroom.



BLOEDDRUK

De druk die het bloed uitoefent op de wand van de bloedvaten noemt men de **bloeddruk**. De belangrijkste oorzaak van de bloeddruk is het samentrekken van de hartkamers, vooral de linkerkamer. Als de druk in de kamers groter wordt dan in de slagaders, worden de halvemaanvormige kleppen opgedrukt en stroomt bloed de slagaders in. De hoge bloeddruk in de slagaders wordt opgevangen, doordat de elastische wand van de slagaders meeveert. De bloeddruk daalt daardoor iets. De terugverende elastische wanden van de slagaders nemen zo eigenlijk de pompende kracht over.

De druk op het moment dat de kamers samentrekken, noemt men de **bovendruk** (systolische druk) en de druk tijdens de hartpauze heet de **onderdruk** (diastolische druk).

De bloeddruk wordt weergegeven als bovendruk/onderdruk in mmHg. Een bloeddruk rond de 120/80 mmHg is normaal. De bloeddruk varieert gedurende de dag: hij neemt toe bij inspanning of stress en wordt lager bij ontspanning.

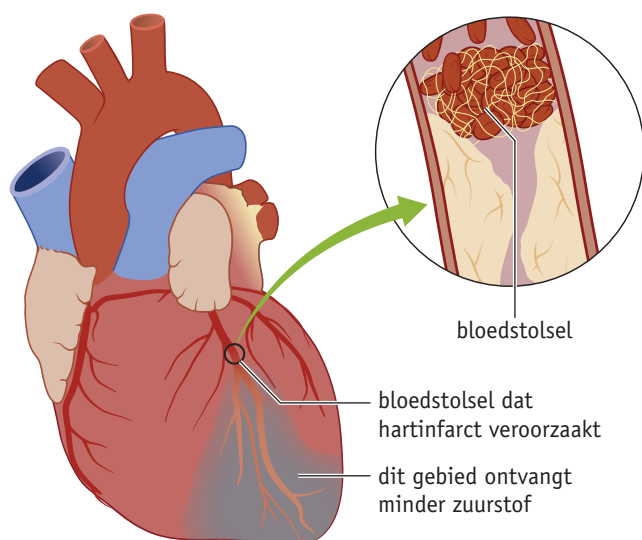
Een voortdurend hoge bloeddruk, ofwel hypertensie, ontstaat als de wanden van de slagaders onvoldoende meeveert met het samentrekken van de hartkamers. Hypertensie kan worden veroorzaakt door stress, roken, overgewicht, vaak zout eten of door slagaderverkalking, die vooral bij oudere mensen voorkomt. Ook erfelijke factoren spelen een rol.

Slagaderverkalking (atherosclerose) kan ontstaan door de afzetting van LDL-cholesterol tegen beschadigingen aan de binnenwand van bloedvaten. De vaatwand wordt dan dikker en er kan kalk worden afgezet in de verdikking. Bij kalkafzetting vermindert de elasticiteit van de vaatwand en vernauwen de vaten. Sterk verkalkte bloedvaten hebben een ruwe binnenkant, waardoor bloedplaatjes kapot kunnen gaan. Hierdoor kunnen zich gemakkelijk bloedstolsels in de bloedvaten vormen. Als door zo'n bloedstolsel een bloedvat verstopt raakt, noemt men dat trombose.

Raken een of meer vertakkingen van een kransslagader verstopt, dan krijgt een deel van de hartspier geen zuurstof en voedingsstoffen meer. Dit deel sterft dan af. Zo'n hartinfarct (zie afbeelding 41) kan dodelijk zijn als een groot deel van de hartspier afsterft. De meeste hartpatiënten hebben al eerder klachten. Bij inspanning krijgen ze bijvoorbeeld pijn op de borst, doordat het hart door de vernauwde kransslagaders onvoldoende zuurstof krijgt. Of ze zijn benauwd en snel buiten adem.

Als het hart in goede conditie is voordat een infarct ontstaat, kunnen nieuwe aftakkingen van andere kransslagaders ontstaan, die de taak overnemen.

■ Afb. 41 Hartinfarct.



■ Afb. 42 Meting van de bloeddruk.



METING VAN DE BLOEDDRUK

Een bloeddrukmeting is een momentopname. Om een goed beeld te krijgen van je bloeddruk, moet je meerdere keren en op verschillende momenten meten. Bij veel mensen stijgt de bloeddruk met de leeftijd.

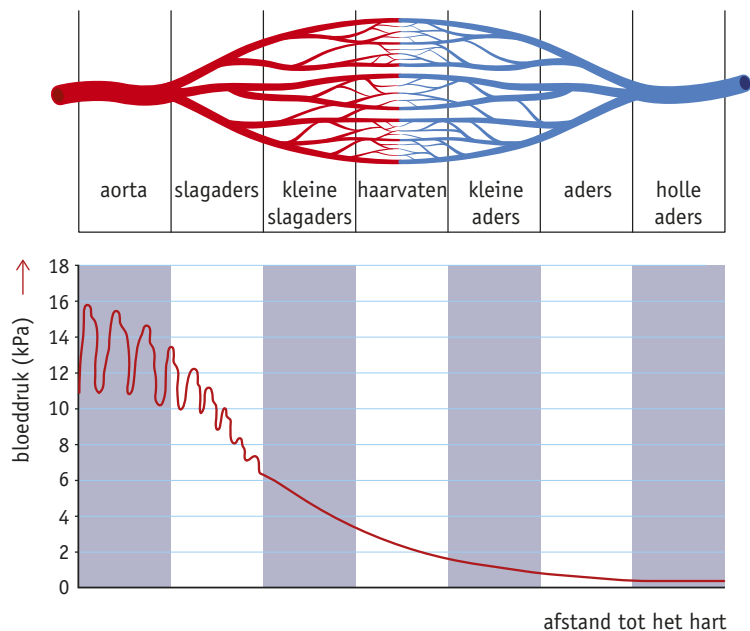
De meting van de bloeddruk gaat als volgt (zie afbeelding 42). Er wordt een manchet om de bovenarm op de hoogte van het hart gedaan. De onderarm ligt ontspannen op tafel. In de manchet wordt lucht gepompt, zodat de armslagader wordt dichtgedrukt. Een arts luistert met een stethoscoop naar vaatgeruis in de armslagader en pompt tot er geen vaatgeruis meer hoorbaar is. De druk in de manchet is dan hoger dan de bovendruk. De arts laat vervolgens lucht ontsnappen uit de manchet tot bij elke samentrekking van de hartkamers de armslagader een beetje wordt opengedrukt. Zodra de arts vaatgeruis hoort, is de druk in de manchet gelijk aan de bovendruk (gemiddeld 120 mmHg). Hierna laat de arts nog meer lucht ontsnappen. Zodra geen vaatgeruis meer hoorbaar is, is de druk in de manchet gelijk aan de onderdruk (gemiddeld 80 mmHg). Het bloed stroomt dan ongehinderd door de slagader.

VARIATIE IN BLOEDDRUK EN STROOMSNELHEID

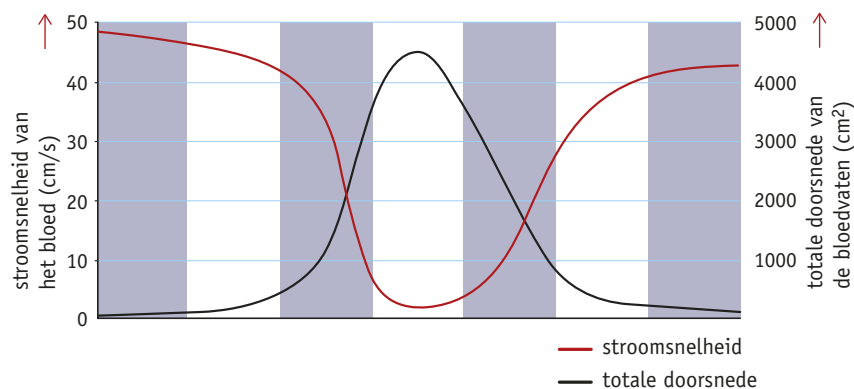
In afbeelding 43.1 is te zien dat de bloeddruk in een slagader sterk op en neer gaat onder invloed van de hartslag. De toppen van de grafiek komen overeen met de bovendruk en de dalen met de onderdruk. Dit verschil in bloeddruk is bij sommige slagaders voelbaar, zoals bij je pols. Doordat de druk varieert met het kloppen van je hart kun je hier de hartslagfrequentie uit afleiden. Tijdens het stromen van het bloed van slagaders via haarvaten naar aders neemt de bloeddruk voortdurend af.

De stroomsnelheid van het bloed is afhankelijk van de totale doorsnede van de bloedvaten waar het bloed doorheen komt (zie afbeelding 43.2 en **BiNaS** tabel 84E1). Hoe groter de totale doorsnede, hoe lager de stroomsnelheid. Er zijn erg veel haarvaten, waardoor de totale doorsnede heel groot is. Dit zorgt voor een lage stroomsnelheid van bloed in de haarvaten. Dankzij de lage stroomsnelheid van het bloed in de haarvaten is een goede uitwisseling van stoffen tussen het bloed en de omringende cellen mogelijk.

■ **Afb. 43** Het verloop van bloeddruk, stroomsnelheid en doorsnede in relatie tot type bloedvat.



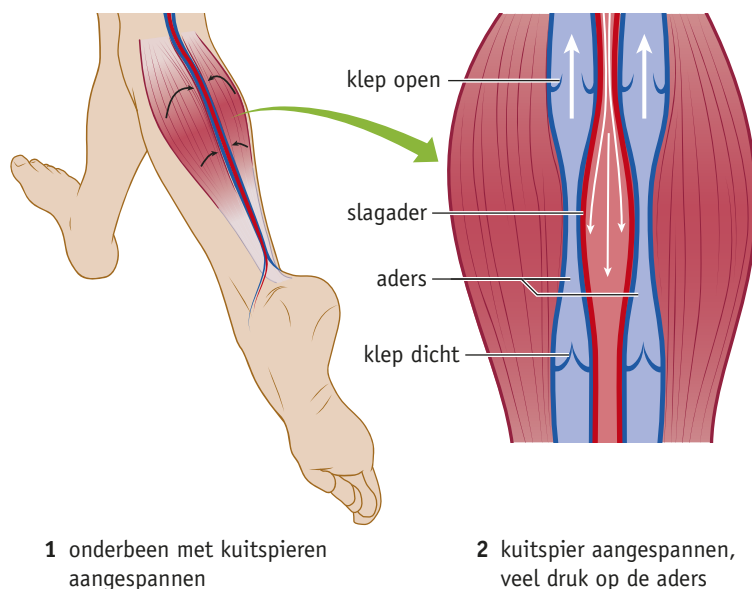
1 verloop van de bloeddruk als functie van de afstand tot het hart



2 verloop totale doorsnede en stroomsnelheid

Als het bloed vanuit de haarvaten naar de aders stroomt, neemt de stroomsnelheid weer toe, maar de bloeddruk nog verder af. In de armen en benen is de bloeddruk in de aders vaak te laag om de bloedstroom op gang te houden. In de beenaders moet het bloed een grote afstand tegen de zwaartekracht in stromen. In de benen liggen de aders tegen slagaders aan (zie afbeelding 44). Daardoor veroorzaken de kloppende slagaders een stootsgewijze druk op het bloed in de aders. Verder kunnen beenspieren die samentrekken het bloed uit een ader wegdrukken. De aderkleppen voorkomen dat het bloed de verkeerde kant op stroomt.

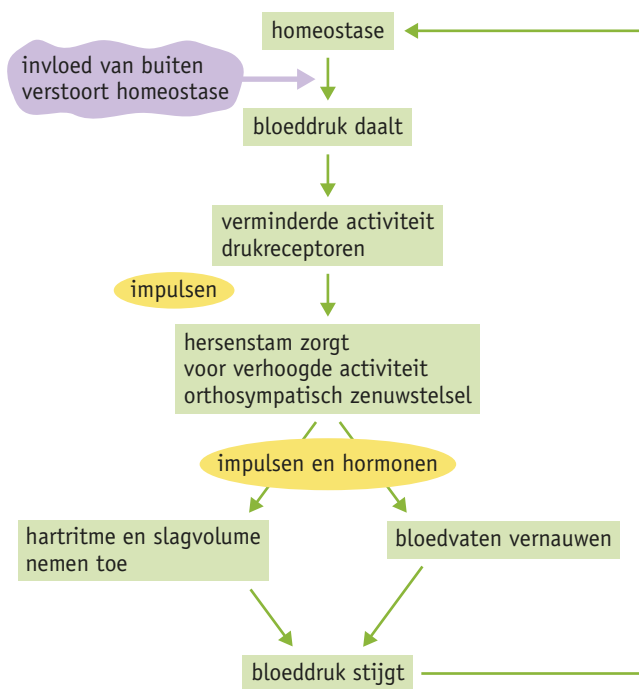
■ **Afb. 44** Stimulering van de bloedstroom in aders.



REGELING VAN DE BLOEDDRUK

De bloeddruk blijft min of meer constant dankzij negatieve terugkoppeling. Veranderingen in de bloeddruk worden waargenomen door **drukreceptoren** in de wand van de halsslagaders en de aorta. Deze rekgevoelige zintuigcellen geven hun informatie door aan de hersenstam. Via het autonome zenuwstelsel wordt het hartritme of het slagvolume aangepast. Het autonome zenuwstelsel kan ook vasoconstrictie of vasodilatatie veroorzaken. Het gevolg van al deze effecten is dat de bloeddruk wordt teruggebracht tot de normwaarde (zie afbeelding 45). Bij een verlaagde bloeddruk reageert het parasympatisch zenuwstelsel om de bloeddruk terug te brengen naar de normwaarde. Bij een verhoogde bloeddruk reageert het orthosympatisch zenuwstelsel.

■ **Afb. 45** Negatieve terugkoppeling regelt de bloeddruk.



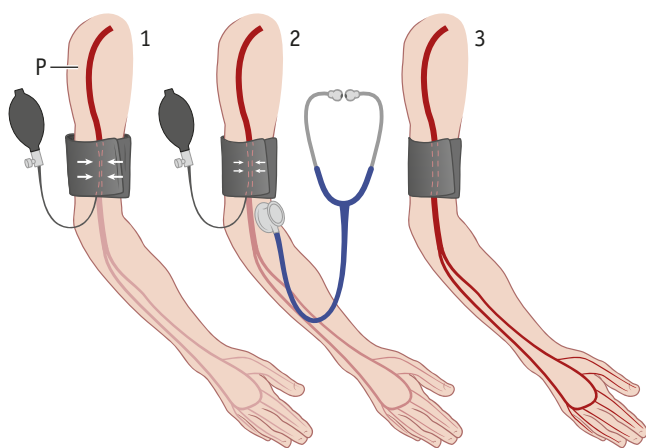
Opdrachten **KENNIS**

- 44 Het spierweefsel in de wand van de kleine slagaders naar de skeletspieren trekt bij een persoon in een groot deel van het lichaam plotseling samen. Welk effect heeft dit op de bloeddruk?
- 45 Waarom heeft een verstopping van een kleine slagader in de meeste weefsels geen directe gevolgen?
- 46 Stel je voor dat je opa van de huisarts te horen krijgt dat hij last heeft van hypertensie. Geef je opa drie adviezen om zijn bloeddruk te verlagen.
- 47 De gemiddelde bloeddruk neemt af van slagaders naar haarvaten naar aders.
a Verklaar dat dit drukverloop noodzakelijk is voor de bloedstroming.
b Is de bloeddruk in de longslagader lager dan, gelijk aan of hoger dan de bloeddruk in de aorta? Leg je antwoord uit.

Opdrachten **INZICHT**

- 48 Imme verricht een bloeddrukmeting bij een persoon (zie afbeelding 46). In fase 1 is de manchet om de bovenarm aangebracht en opgepompt. Imme is nog niet begonnen met het laten leeglopen van de manchet.
a Is de bloeddruk in de armader boven de manchet (gemeten ter hoogte van P) hoger of lager dan normaal? Leg je antwoord uit.
b Tijdens fase 2 neemt Imme vaatgeruis waar.
Leg uit hoe de bloeddruk in de onderarmslagader samenhangt met het vaatgeruis.
c Imme vergelijkt de bloeddruk in de armslagader in de bovenarm (gemeten ter hoogte van P) tijdens fase 1, 2 en 3 met elkaar.
Welke verandering in bloeddruk neemt zij waar? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 46** Bloeddrukmeting.



- 49 a Is de regeling van het hartritme en de bloeddruk via zintuigcellen (sensoren) een voorbeeld van positieve of van negatieve terugkoppeling? Verklaar je antwoord.
b Leg uit welk belang het heeft dat de zintuigcellen voor de bloeddruk juist in de halsslagaders liggen.

- 50 Het hormoon ADH beïnvloedt de hoeveelheid urine die je produceert. Doordat dit hormoon invloed heeft op de waterhuishouding, heeft het ook effect op je bloeddruk.
- Wat is het effect van ADH op je bloeddruk? Leg je antwoord uit met behulp van **BiNaS** tabel 89.
 - Patiënten met een hoge bloeddruk hebben meer kans op een hartinfarct. Leg uit waarom een hoge bloeddruk kan leiden tot een hartinfarct.
- 51 Afbeelding 47 beschrijft een onderzoek naar de invloed van vitamine K2 op de vaatelasticiteit.
- Verklaar het verband tussen slagaderverkalking en de elasticiteit van bloedvaten.
 - Leg uit waarom de controlegroep een placebo kreeg.
 - Formuleer de conclusie voor dit onderzoek.

Afb. 47 Onderzoek.

Onderzoek	De invloed van vitamine K2 op de vaatelasticiteit
Inleiding	Uit onderzoek bleek dat een laag vitamine K2-gehalte in de vaatwand een ernstige risicofactor is voor overlijden aan hart- en vaatziekten, vergelijkbaar met roken.
Onderzoeksvraag	Kan toediening van vitamine K2 slagaderverkalking voorkomen?
Hypothese	Toediening van vitamine K2 kan slagaderverkalking voorkomen.
Experiment	Honderden vrouwen tussen de 55 en 65 jaar kregen gedurende drie jaar gezuiverd vitamine K2 in lage dosering of een placebo toegediend als voedingssupplement.
Resultaat	Slagaderverkalking werd niet alleen gestopt, maar de al verstijfde bloedvatwanden werden weer elastischer. Vitamine K2 remt ook de botontkalking bij vrouwen na de overgang.
Conclusie	

Bron: Maastricht University.

HET HART VAN EEN VROUW

Tot voor kort werden de meeste onderzoeken naar ziekten, medicijnen en behandelprocedures gedaan bij mannen. Ondertussen werd het steeds duidelijker dat vrouwen lang niet altijd hetzelfde reageren op ziekten, medicijnen en behandelingen. Daarom is de medische wereld nu bezig met een inhaalslag.

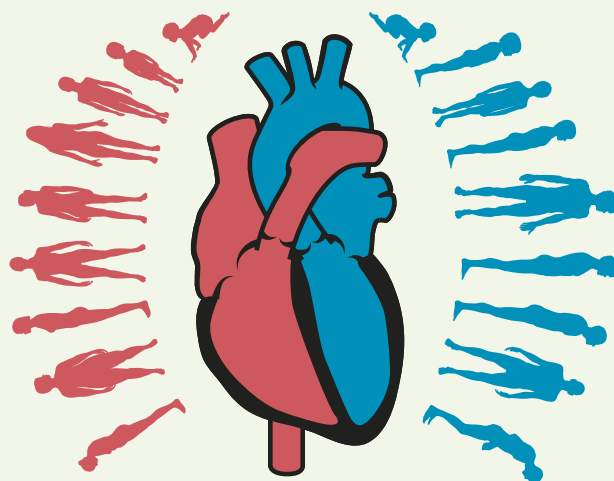
Met hulp van de Nederlandse Hartstichting deed Aisha Gohar onderzoek naar de verschillen bij aderverkalking en hartfalen tussen mannen en vrouwen. Zij heeft voor haar promotieonderzoek data van meer dan 350 bestaande onderzoeken geanalyseerd. Nadat Aisha ontdekte dat maar in 15% van de studies rekening werd gehouden met verschillen tussen mannen en vrouwen, heeft zij op deze data een gescheiden analyse losgelaten. Het doel van Aisha en de Hartstichting is om een eerdere diagnose van hart- en vaatziekten bij zowel mannen als vrouwen mogelijk te maken.

Aisha ontdekte tijdens haar onderzoek een biomarker die bij vrouwen wel een verhoogde kans geeft op aderverkalking en ernstige hartziekten, maar bij mannen niet. Deze biomarker heet GDF-15, ook wel *growth differentiation factor 15*.

GDF-15 speelt in gezonde weefsels een rol bij reguleren van ontstekingsreacties, apoptose en de

vorming van nieuwe bloedvaten vanuit bestaande bloedvaten. Ander onderzoek heeft aangetoond dat deze biomarker een rol speelt bij het stabiliseren van afzettingen aan de binnenzijde van vaatwanden. Hierdoor bestaat het vermoeden dat er een causaal verband bestaat tussen GDF-15 en aderverkalking. De vraag blijft alleen nog: is GDF-15 de oorzaak of juist een gevolg?

■ Afb. 48 Vrouwen- en mannenharten verschillen.



Opdrachten

- 52 Het doel van het onderzoek is om eerder diagnosticeren van hart- en vaatziekten mogelijk te maken.
- a Waarom is eerder diagnosticeren van belang?
 - b Hoe kan aderverkalking (atherosclerose) leiden tot hartfalen?
 - c Wat is een biomarker?
 - d Dat GDF-15 een biomarker is, bleek pas toen de gegevens van mannen en vrouwen apart werden geanalyseerd. Uit de gezamenlijke analyse van beide seksen kwam dit eiwit niet als biomarker naar voren. Hoe is het mogelijk dat een biomarker pas wordt herkend als je de gegevens apart analyseert?
- e Hoe zou je kunnen onderzoeken of GDF-15 ontstaat als gevolg van aderverkalking of dat het aderverkalking veroorzaakt?

6 WEEFSELVLOEISTOF EN LYMF

LEERDOEL

13.6.1 Je kunt de kenmerken en functies van weefselvloeistof en lymfe benoemen.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	13.6.1
Begrijpen	53, 54, 55
Toepassen	56, 57ab, 59a, 60ab
Analyseren	57c, 58, 59bc, 60cde

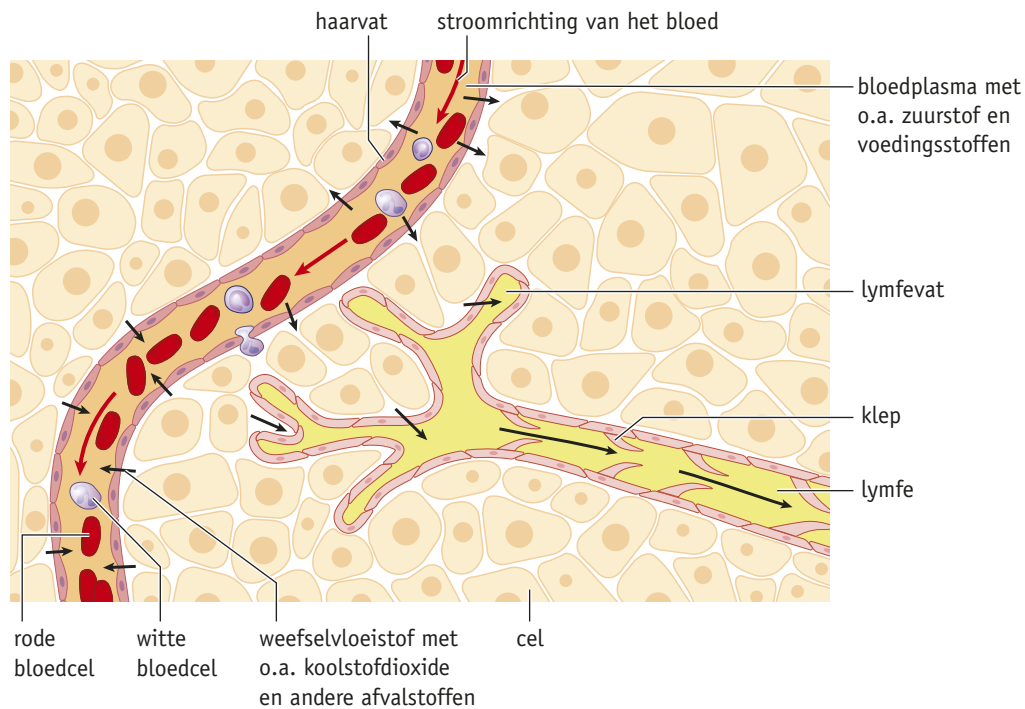
Een netwerk van fijne haarvaatjes doorkruist de weefsels. Bloedplasma met opgeloste stoffen stroomt door kleine openingen in de haarvatwand naar de omliggende cellen. Tussen de cellen door vindt de vloeistof uiteindelijk zijn weg terug naar een haarvat of een ander vat.

AANVOER VAN WEEFSELVLOEISTOF

Aan het begin van een haarvat is de bloeddruk hoger dan de druk in het omliggende weefsel. Hierdoor wordt een deel van het bloedplasma naar buiten geperst door kleine openingen in de haarvatwand (filtratie). De kracht waarmee dit gebeurt, noem je de **filtratiedruk**. Als de vloeistof zich eenmaal in het weefsel buiten de haarvaten bevindt, dan noem je dit vocht **weefselvloeistof**. Het vocht bevat onder andere zuurstof, voedingsstoffen, hormonen en kleine plasma-eiwitten, zoals antistoffen. Ook witte bloedcellen kunnen de haarvaten verlaten en in weefselvloeistof voorkomen.

Weefselvloeistof bevindt zich tussen de cellen van de weefsels (zie afbeelding 49). Cellen kunnen dankzij diffusie of actief transport voedingsstoffen en zuurstof opnemen uit de langsstromende weefselvloeistof. Koolstofdioxide wordt door cellen via diffusie afgegeven aan de weefselvloeistof.

■ **Afb 49** Verplaatsing van weefselvocht en lymfe.

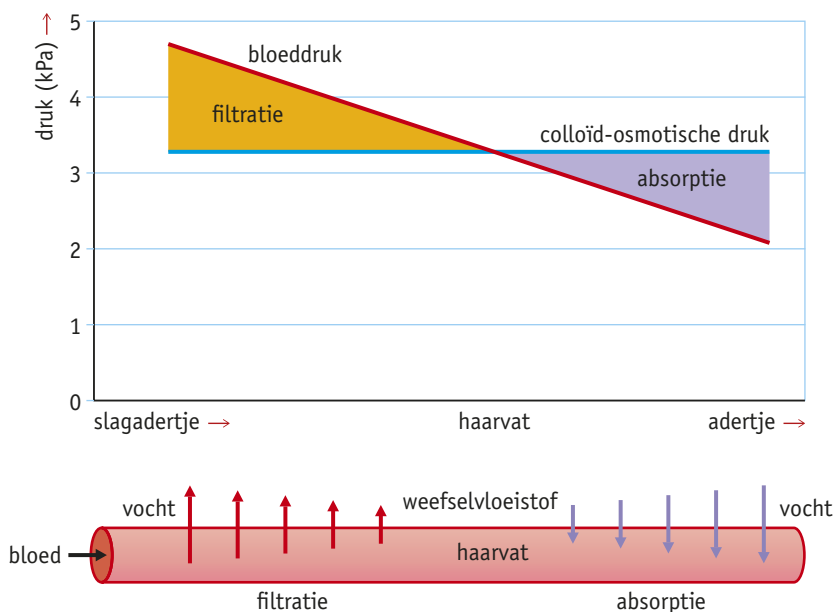


AFVOER VAN WEEFSELVLOEISTOF

De wand van een haarvat is doorlaatbaar voor water en opgeloste stoffen met kleine moleculen. Grote eiwitmoleculen (vooral albuminen) kunnen de haarvaten niet verlaten en verhogen daardoor de osmotische waarde van het bloedplasma. De eiwitten in het bloed zijn colloïden: grote deeltjes (1 tot 1000 nm) die zweven in een vloeistof. Door het verschil in eiwitconcentratie tussen het bloedplasma en de weefselvloeistof ontstaat een **colloïd-osmotische druk** in de richting van de haarvaten.

Aan het begin van de haarvaten is de filtratiedruk hoger dan de colloïd-osmotische druk (zie afbeelding 50). Aan het eind van de haarvaten is de bloeddruk lager dan de colloïd-osmotische druk, waardoor aan het eind van de haarvaten ongeveer 90% van de weefselvloeistof weer in de haarvaten wordt opgenomen. Dit noem je absorptie. Dit vocht bevat onder andere koolstofdioxide en andere afvalstoffen die door de cellen zijn geproduceerd.

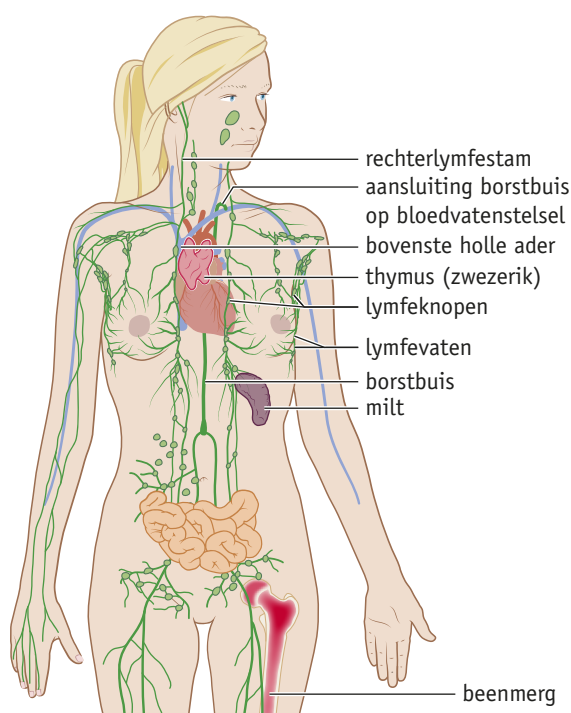
■ **Afb. 50** Verloop van bloeddruk en colloïd-osmotische druk in een haarvat.



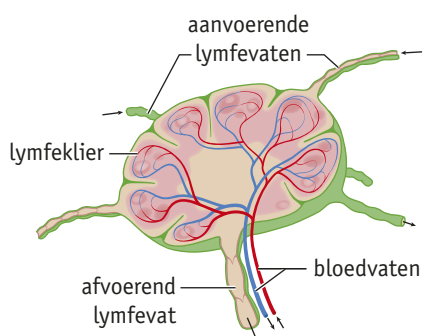
Het weefselvocht dat niet terugkeert naar een haarvat wordt opgenomen in fijne **lymfevaten**. Zodra de vloeistof in het lymfevat komt, wordt hij **lymfe** genoemd. Lymfe bevat onder andere koolstofdioxide en andere afvalstoffen, hormonen, antistoffen en een deel van de zuurstof en voedingsstoffen die niet door de cellen zijn opgenomen. Ook in lymfe kunnen witte bloedcellen voorkomen. In de lymfevaten zitten kleppen die ervoor zorgen dat de lymfe maar in één richting stroomt. Samentrekkingen van spieren die vlak bij een lymfevat liggen, zorgen voor de stroming van lymfe.

De lymfevaten maken deel uit van het **lymfesysteem** (zie afbeelding 51 en **BiNaS** tabel 84N). De fijne lymfevaten verenigen zich tot grotere lymfevaten. Vooral in de hals, de oksels en de liezen liggen **lymfeknopen** (lymfeklieren), waarin verschillende aanvoerende lymfevaten samenkomen (zie afbeelding 52). Hier wordt de lymfe gezuiverd van onder andere ziekteverwekkers. Uiteindelijk komt alle lymfe terecht in twee grote lymfevaten: de rechterlymfestam en de **borstbuis**. Deze twee lymfevaten monden beide uit in aders onder de sleutelbeenderen.

■ **Afb. 51** Lymfesysteem.



■ **Afb. 52** Lymfeklier.



Bij **oedeem** hoopt weefselvloeistof zich op in de weefsels (zie afbeelding 53). Oedeem kan verschillende oorzaken hebben. Na een infectie bijvoorbeeld kan door het afsterven van cellen de concentratie eiwitten in de weefselvloeistof stijgen of de eiwitconcentratie in het bloed kan te laag zijn. Er bestaan ook parasieten die zich vestigen in de lymfevaten, waardoor deze verstopt raken. Lymfevaten kunnen ook verstopt raken door een ontsteking. Daarnaast kan oedeem ontstaan na een operatie waarbij lymfeklieren zijn verwijderd. Ten slotte kan een te hoge bloeddruk oedeem veroorzaken.

■ **Afb. 53** Oedeemvorming in voet.



Opdrachten **KENNIS**

- 53** De uitwisseling van vocht tussen bloedplasma en weefselvloeistof vindt plaats dankzij verschillende krachten.
 - a** Leg uit waardoor vocht aan het begin van de haarvaten uittreedt.
 - b** Waarom noem je het uittreden van vocht uit de haarvaten 'filtratie'?
- 54** **a** Wat is de oorzaak dat een deel van het weefselvocht terug wordt opgenomen in de haarvaten?
b Dankzij filtratie, absorptie en afvoer via lymfevaten ontstaat er een voortdurende stroming in het weefselvocht.
 Welke functie heeft de voortdurende stroming van weefselvloeistof?
- 55** Gedurende de dag varieert de hoeveelheid weefselvloeistof die per minuut ontstaat. Als je een liter water drinkt, neemt de hoeveelheid weefselvloeistof die wordt gevormd dan toe of af? Leg je antwoord uit.

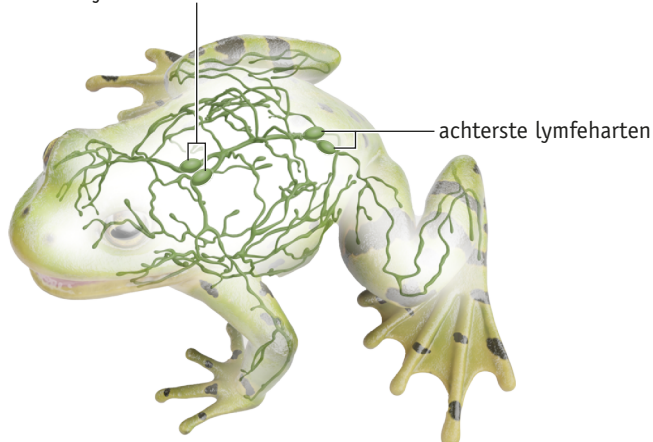
Opdrachten **INZICHT**

- 56** In een experiment wordt de bloeddruk in een haarvat ineens verhoogd. Hoe verandert hierdoor het verschil in osmotische waarde tussen de weefselvloeistof en het bloedplasma in dit haarvat? Leg je antwoord uit.

- 57** Tijdens een lange vliegreis kunnen passagiers last krijgen van vochtophoping rond de enkels en voeten.
- a** Waarom hoopt weefselvocht zich vooral op rond de enkels en voeten?
 - b** Leg uit dat dit weefselvocht weer verdwijnt als je van boord gaat.
 - c** De gemiddelde snelheid waarmee bloed zich verplaatst door het menselijk hart is 5 liter per uur. De gemiddelde stroomsnelheid van lymfe in een mens is ongeveer 5 liter per dag.
Waarom stroomt lymfe zoveel trager dan bloed?
- 58** Dierenartsen gebruiken voor bloedtransfusies bij dieren steeds vaker kunstbloed. Kunstbloed bestaat grotendeels uit een fysiologische zoutoplossing met albumine en andere plasma-eiwitten van koeien. Daardoor heeft het kunstbloed de juiste colloïd-osmotische waarde. Als je kunstbloed met onvoldoende albumine gebruikt, kan oedeem ontstaan bij een hond die een transfusie heeft gekregen.
- a** Beschrijf hoe dit oedeem ontstaat.
 - b** Bij honden kun je net als bij mensen ook gebruikmaken van donorbloed in plaats van kunstbloed.
Noem een voordeel en een nadeel van het gebruik van donorbloed bij een transfusie in plaats van kunstbloed.
- 59** Bij kikkers wordt lymfe niet alleen rondgepompt met behulp van spieren, maar ook dankzij meerdere lymfeharten (zie afbeelding 54). Lymfeharten zijn spiergroepen die zich bevinden rondom de plaatsen waar lymfevaten en aders bij elkaar komen. Samentrekkingen van deze spiergroepen zorgen voor stuwung in zowel de lymfevaten als de aders.
- a** Lijkt een lymfehart van een kikker meer op het hart van een regenworm, een vis of een mens? Leg je antwoord uit.
 - b** Bij kikkers wordt over het algemeen veel weefselvocht en lymfe gevormd.
Wat is de functie van het vele weefselvocht en lymfe dat bij kikkers wordt gevormd?
 - c** Bij kikkers komt vaker '*bloating*' voor, het opzwellen van de kikker door ophoping van weefselvocht.
Leg uit dat een probleem aan een of meer lymfeharten bij een kikker kan leiden tot *bloating*.

■ **Afb. 54** Lymfesysteem van een kikker.

voorste lymfeharten



📺 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

DE ZIEKTE VAN ALZHEIMER

Het lymfestelsel heeft in het lichaam een belangrijke rol als afvoersysteem voor afvalstoffen, maar speelt ook een rol bij het afweersysteem. Weefselvocht en lymfevaten vervoeren witte bloedcellen die ziekteverwekkers in weefsels bestrijden.

Dat de hersenen een eigen lymfestelsel hebben, is nog niet zo lang bekend. Dit speciale lymfestelsel noem je ook wel het glymfatisch systeem (zie afbeelding 55). Het zorgt voor stroming en uitwisseling van stoffen tussen hersenvocht, ruggenmergvloeistof en weefselvocht. Deze stroming zorgt voor een efficiënte afvoer van oplosbare afvalstoffen die ontstaan bij de stofwisseling van hersencellen.

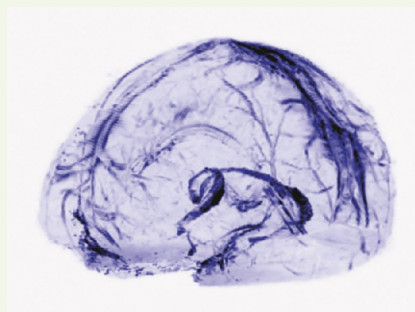
Een van de oorzaken van de ziekte van Alzheimer is dat bepaalde eiwitten zich ophopen tussen de neuronen in de hersenen. Deze eiwitophopingen verstoren de communicatie tussen hersencellen. Wetenschappers vermoeden dat het verbeteren van de glymfatische afvoer misschien kan leiden tot afname van de symptomen bij de ziekte van Alzheimer.

Onderzoekers van de universiteit van Washington willen weten of je een behandeling van Alzheimer effectiever kunt maken door de afvoer van glymf

te stimuleren. In dit onderzoek werken ze met muizen. Bij sommige muizen zijn enkele lymfevaten weggehaald om te kijken welk effect verminderde afvoer van lymfe uit de hersenen heeft. Bij andere muizen is juist de afvoer van lymfe gestimuleerd met behulp van geluidstrillingen, waarmee ze de vloeistof in beweging brengen.

Uit dit onderzoek blijkt dat verminderde afvoer van lymfe leidt tot meer opbouw van de eiwitten in de hersenen. Dus wie weet werkt het stimuleren van de afvoer ook bij mensen.

■ **Afb. 55** Glymfatisch systeem in de hersenen.



Opdrachten

- 60** Wetenschappers vermoeden dat ze de symptomen van Alzheimer tegen kunnen gaan door het glymfatisch systeem te stimuleren.
- a** Hoe zou een verbeterde werking van het glymfatisch systeem de symptomen van Alzheimer kunnen verminderen? Leg je antwoord uit.
 - b** Waarom wordt dit onderzoek in eerste instantie gedaan bij muizen in plaats van mensen? Leg je antwoord uit.
 - c** In de studie werden drie groepen muizen onderzocht: twee experimentgroepen en een controlegroep. Geef van alle drie de groepen aan hoe zij werden behandeld.
 - d** Manuele lymfedrainage (MLD) is een zachte, ritmisch uitgevoerde massagetechniek op de huid en het onderhuidse bindweefsel.

Het doel van MLD is het bevorderen van de stroming in het lymfestelsel en glymfatisch systeem. MLD verwijdt de lymfevaten met behulp van lichte druk. MLD biedt op deze manier ondersteuning aan je afweersysteem en je kunt de techniek daarom inzetten bij een grote diversiteit aan klachten.

Hoe kan MLD ondersteuning bieden aan je afweersysteem?

- e** Uit onderzoek is gebleken dat het glymfatisch systeem vooral actief is tijdens diepe slaap. Oudere mensen slapen minder dan jonge mensen, waardoor hun geheugen sneller achteruitgaat. Leg uit waarom bij oudere mensen het geheugen sneller achteruitgaat. Gebruik in je antwoord het begrip 'glymfatisch systeem'.

DE ZIEKTE VAN LYME

LEERDOELEN

13.S.1 Je kunt de ziekte van Lyme toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

13.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheid vorm-functiedenken toepassen op de ziekte van Lyme.

In steeds meer wandelgebieden zie je waarschuwborden voor teken (zie afbeelding 1). Tekenen zijn kleine spinachtigen die zich voeden met het bloed van zoogdieren. Het beestje zelf is voor een mens niet echt een probleem. Het gevaar zit hem in een bacterie die leeft in het darmkanaal van de teek.

Deze bacterie, *Borrelia burgdorferi*, kan de ziekte van Lyme veroorzaken. De bacterie heeft een levenscyclus waarbij ze wisselt van gastheer. Ze verblijft een tijd inactief in het darmkanaal van een teek. Maar als ze terechtkomt in een zoogdier, zoals een hond of een mens, kan ze een infectie veroorzaken.

Wanneer een onvolwassen teek zich voedt, wordt bij de *Borrelia*-bacterie een complex proces van genexpressie in werking gezet. De bacterie gaat zich sneller voortplanten en meer bewegen, waardoor ze eenvoudiger door de darmwand van de teek heen kan breken en zich kan verplaatsen naar de speekselklieren.

Wanneer deze teek dan volwassen is geworden en opnieuw bloed opzuigt uit de huid van een zoogdier, wordt de bacterie met het speeksel overgedragen. In het speeksel van teken bevinden zich verschillende stoffen die helpen om ongemerkt bloed op te zuigen uit hun gastheer. Zo bevat het speeksel van teken onder andere een verdovend middel, een stof die bloedvaten wijder maakt en een antistollingsmiddel.

Eenmaal in het zoogdier aangekomen kan de *Borrelia*-bacterie zich via de bloedbaan verspreiden. Afhankelijk van waar de bacterie terechtkomt, ontstaan er ziekteverschijnselen. De bacterie kan zich op verschillende plekken vestigen. Daarom verschillen de symptomen van de ziekte van Lyme van patiënt tot patiënt.

In eerste instantie komt de bacterie vooral terecht in de huid, waardoor een rode kring of vlek rondom de beet kan ontstaan, *erythema migrans* genoemd. Een aantal weken later krijgen patiënten soms last van koorts, vermoeidheid en pijn in de gewrichten. Wanneer de bacterie terechtkomt in het zenuwstelsel, leidt dit tot ontstekingsreacties. Hierdoor kan de ziekte van Lyme mentale problemen en zenuwpijnen veroorzaken. Wanneer de bacterie terechtkomt in de hartspeer, kan dit leiden tot ontstekingsreacties, waardoor de werking van de AV-knoop in het hart wordt vertraagd of geblokkeerd: dat noemt men hartblok.

Recent onderzoek heeft uitgewezen dat de bloedmaaltijden van de teek de doorslaggevende factor zijn voor de verandering in genexpressie van de *Borrelia*-bacterie. Er is nog meer onderzoek nodig om te achterhalen welke stoffen uit het bloed van zoogdieren zorgen voor deze verandering in genexpressie.

■ Afb. 1 Wandelgebied met teken.



Opdrachten



- 1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau.
Kies uit: *Borrelia burgdorferi* – darmkanaal – gastheer – genexpressie – hartspier – mensen – speekselklieren – wandelgebied.

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

- 2 Marouan en Levi vergelijken het darmkanaal van een teek met dat van een mens.
- Waarom heeft een teek een korter en eenvoudiger darmkanaal dan een mens?
 - In het speeksel van een teek komen andere stoffen voor dan in het speeksel van een mens. Zo bevat het speeksel van een teek verdovende stoffen, stoffen die bloedvaten wijder maken en antistollingsmiddelen.
Wat is het nut van deze stoffen in tekenspeeksel? Geef van iedere stof de functie aan.
 - Noem een stof die wel in het speeksel van de mens zit, maar niet in die van een teek. Leg aan de hand van de functie van deze stof uit waarom teken die stof niet nodig hebben.
- 3 Iemand wordt gebeten door een teek in zijn knieholte en raakt besmet met *Borrelia burgdorferi*. Deze persoon krijgt als gevolg van de besmetting last van mentale problemen zoals een slechter geheugen.
- Door welke bloedvaten en hartdelen heeft de besmetting zich verplaatst? Geef de namen van de bloedvaten en hartdelen in de juiste volgorde. Ga uit van de meest directe route.
 - Als de *Borrelia*-bacterie de hartspier infecteert, dan kan dit leiden tot hartblok. Patiënten kunnen dan last krijgen van een tragere of onregelmatige hartslag. Leg uit hoe hartblok kan leiden tot een tragere of onregelmatige hartslag.
- 4 Wanneer een teek een bloedmaaltijd consumeert, komen er meerdere genen in de *Borrelia*-bacterie, die coderen voor Erp-eiwitten, tegelijkertijd tot expressie. Deze genen maken deel uit van één operon. De bacterie gebruikt Erp-eiwitten om zich te verdedigen tegen het afweersysteem van een zoogdier. Als de bacterie vanuit een zoogdier weer met het bloed wordt opgezogen door een teek, dan wordt het operon weer inactief.
- Wat is het voordeel voor de bacterie dat het operon inactief wordt nadat ze weer wordt opgezogen door een teek?
 - Wetenschappers vermoeden dat het operon wordt aangezet door de aanwezigheid van een bepaalde stof in zoogdierbloed.
Leg de werking van het operon voor Erp-eiwitten uit. Gebruik de volgende begrippen: *operator* – *repressor* – *transcriptie*.

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

13.O.1 Je kunt de verschillende delen van het bloed herkennen en benoemen.

► Basisstof 2

Bloedcellen

 30 à 40 minuten

INLEIDING

Bloed bestaat uit plasma, cellen en delen van cellen. Cellen en celdelen zijn herkenbaar aan hun vorm en de dichtheid ervan. In deze practicumopdracht onderzoek je bloedcellen.

MATERIAAL

- klaargemaakt preparaat van bloed (gekleurd)
- microscoop

METHODE

- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×. De rode bloedcellen zijn zichtbaar als lichtroze cellen. De witte bloedcellen hebben opvallend paarse kernen, die verschillende vormen kunnen hebben.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 400×. Soms kun je ook bloedplaatjes als stippen zien.
- Maak tekeningen van enkele rode bloedcellen, witte bloedcellen en van bloedplaatjes (als je die hebt gezien).

RESULTAAT

Tekeningen van rode bloedcellen, witte bloedcellen en eventueel bloedplaatjes.

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

13.O.2 Je kunt de verschillende delen van het hart herkennen en benoemen.

► Basisstof 3

Bouw van een zoogdierhart

🕒 50 minuten

INLEIDING

De bouw van een varkenshart of schapehart heeft veel overeenkomsten met de bouw van een mensenhart. In deze practicumopdracht onderzoek je de uitwendige en inwendige bouw van een zoogdierhart.

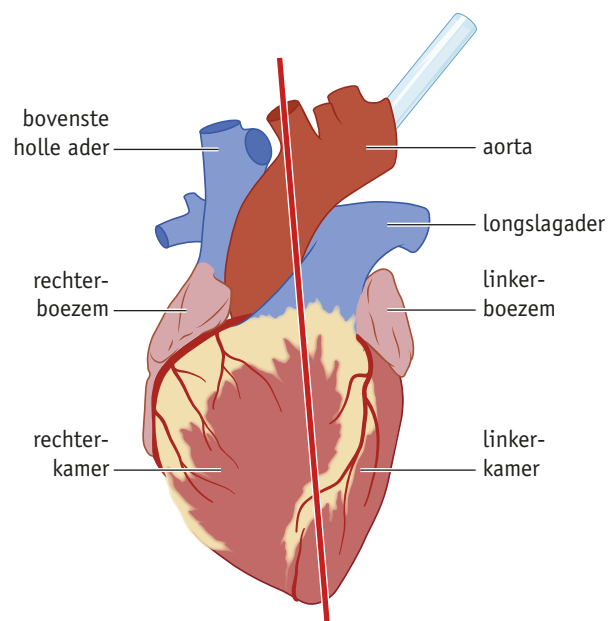
MATERIAAL

- een vers hart van een schaap of varken met daaraan delen van aansluitende bloedvaten; het kan zijn dat de aansluitende bloedvaten al van het hart af zijn gesneden
- prepareermateriaal, waaronder een snijbord, glasstaaf en scalpel
- tekenbenodigdheden

METHODE

- Verwijder zo nodig het vet rondom het hart.
- Leg het hart voor je met de hartpunt naar rechts. Maak een tekening van het buitenaanzicht van de voorzijde van het hart. Noteer de namen van de hartdelen en de bloedvaten.
- Plaats de glasstaaf door de aorta tot in het onderste puntje van de linkerkamer. Snijd langs deze lijn voorzichtig de aorta, de linkerboezem en de linkerkamer open (zie afbeelding 1).
- Maak een tekening van de binnenzijde van het linkergedeelte van het hart. Noteer de namen van de hartdelen en de bloedvaten.
- Keer het hart om, zodat je de achterkant van het hart kunt zien. Plaats de glasstaaf door de bovenste holle ader tot in het onderste deel van de rechterkamer. Snijd langs de staaf voorzichtig de bovenste holle ader, de rechterboezem en de rechterkamer open.
- Maak een tekening van de binnenzijde van het rechtergedeelte van het hart. Noteer de namen van de hartdelen en de bloedvaten.

■ Afb. 1 Vooraanzicht van het hart met snijlijn.



RESULTAAT

Tekeningen met namen van het buitenaanzicht en van de binnenzijde van het linker- en het rechtergedeelte van het hart.

ONDERZOEKSDOEL

13.O.3 Je kunt de verschillen in de bouw van de bloedvatwand van een slagader en ader benoemen.

► Basisstof 4

Bouw van slagaders en aders

 30 à 40 minuten

INLEIDING

Slagaders en aders hebben verschillende functies. In deze practicumopdracht onderzoek je de bouw van de wand van deze bloedvaten.

MATERIAAL

- klaargemaakt preparaat met dwarsdoorsneden van slagader en ader
- microscoop

METHODE

- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 50×. Zoek in het preparaat naar een slagader en een ader.
- Maak een tekening van de wand van een slagader. Geef daarbij de volgende onderdelen aan: *bindweefsel – endotheel – glad spierweefsel*.
- Maak ook een tekening van de wand van een ader. Geef daarbij de volgende onderdelen aan: *bindweefsel – endotheel – glad spierweefsel*.

RESULTAAT

Tekeningen van de wand van een slagader en van een ader.

ONDERZOEKSDOEL

13.O.4 Je kunt de bloeddruk meten.

► Basisstof 5

Bloeddruk meten

🕒 10 à 15 minuten

INLEIDING

De hartslag veroorzaakt een drukgolf die op verschillende plaatsen in het lichaam voelbaar is, bijvoorbeeld in de hals en bij de pols. Verpleegkundigen bepalen de bloeddruk bij cliënten meestal aan de hand van de druk in de armslagader. In deze practicumopdracht voer je deze meting uit bij jezelf of bij een medeleerling.

MATERIAAL

- bloeddrukmeter

METHODE

- Plaats de bloeddrukmeter om je linkerbovenarm (zie afbeelding 2).
- Leg je linkeronderarm ontspannen op tafel.
- Zorg ervoor dat de band niet verschuift.
- Zet de bloeddrukmeter aan en volg indien nodig de instructies op het scherm of uit de handleiding.
- Lees de bloeddruk af (sys = bovendruk en dia = onderdruk).

RESULTAAT

Een meting van de bloeddruk.

■ **Afb. 2** Bloeddrukmeter gebruiken.



SAMENVATTING

13.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt de bestanddelen van bloed met hun kenmerken en functies benoemen.

- Bloedplasma: water met opgeloste stoffen en plasma-eiwitten (o.a. albuminen, globulinen en fibrinogeen).
 - Het bloedplasma vervoert zuurstof, voedingsstoffen (o.a. glucose), afvalstoffen (o.a. koolstofdioxide), signaalstoffen (o.a. hormonen) en beschermende stoffen (o.a. antistoffen).
 - Het bloedplasma houdt het interne milieu constant.
 - Veel plasma-eiwitten spelen een rol bij het transport van stoffen, de handhaving van de osmotische waarde van het bloed en de bloeddruk.
 - Fibrinogeen speelt een rol bij de bloedstolling.
 - Bloedserum is bloedplasma zonder fibrinogeen.
- Rode bloedcellen:
 - Cellen zonder kern (daardoor betrekkelijk korte levensduur).
 - Worden gevormd in het rode beenmerg uit stamcellen, onder invloed van het hormoon epo uit de nieren.
 - Worden afgebroken in het rode beenmerg, in de milt en in de lever.
 - Bevatten hemoglobine die zuurstof kan binden.
 - Functie: transport van zuurstof.
- Witte bloedcellen:
 - Cellen met kern.
 - Worden vooral gevormd in het rode beenmerg uit stamcellen.
 - Functie: ziekteverwekkers vernietigen en resten van dode cellen opruimen.
- Bloedplaatjes:
 - Delen (zonder kern) van uiteengevallen cellen.
 - Worden gevormd in het rode beenmerg.
 - Functie: bloedstolling.
- Zie ook **BiNaS** tabel 84H.

13.1.2

Je kunt het proces van bloedstolling beschrijven en uitleggen hoe complicaties bij bloedstolling kunnen worden voorkomen.

- Bloedplaatjes kleven aan de beschadigde bloedvatwand en vormen een propje.
 - Uit het beschadigde weefsel en uit de bloedplaatjes komen stoffen vrij.
 - Deze stoffen brengen met behulp van stollingsfactoren in het bloedplasma (o.a. calciumionen) een keten van reacties op gang.
 - Trombokinase bevordert de omzetting van protrombine in trombine.
 - Onder invloed van trombine wordt fibrinogeen uit het bloedplasma omgezet in fibrine.
- Fibrine vormt een netwerk van draden dat de wond afsluit (bloedstolsel).
- Bij trombose treedt in de bloedvaten ongewenste stolling op.
- Zie ook **BiNaS** tabel 84O.

13.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt verschillende circulatiesystemen bij dieren herkennen.

- Bouw van transportsystemen:
 - Eencelligen en dieren die uit enkele cellen bestaan, kennen alleen transport door diffusie, fagocytose en exocytose.
 - Geleedpotigen hebben een open circulatiesysteem: geen onderscheid tussen lichaamsvloeistof en bloed.
 - Gewervelde dieren hebben een gesloten bloedsomloop: wel onderscheid tussen lichaamsvloeistof en bloed.
 - Bloedsomloop: enkelvoudig of dubbel. Enkelvoudig: bloed komt één keer per omloop door het hart. Dubbel: bloed komt twee keer per omloop door het hart.
- De bouw en de werking van een bloedsomloop hangen samen met de wijze van de zuurstofvoorziening en de zuurstofbehoefte van een diersoort.

13.2.2

Je kunt de functies van een bloedsomloop benoemen.

- Een bloedsomloop zorgt voor een homogeen intern milieu door:
 - het transport van stoffen tussen intern en extern milieu (o.a. bouw-, brand- en afvalstoffen);
 - verdeling van warmte over het lichaam.
- Dubbele bloedsomloop: per omloop stroomt het bloed twee keer door het hart.
- Kleine bloedsomloop: rechterkamer – longslagaders – longhaarvaten – longaders – linkerboezem.
 - Doel: zuurstof opnemen in het bloed en koolstofdioxide afgeven.
- Grote bloedsomloop: linkerkamer – aorta – slagaders – haarvaten in de organen – aders – onderste of bovenste holle ader – rechterboezem.
 - Doel: zuurstof en voedingsstoffen afgeven aan lichaamscellen en koolstofdioxide en afvalstoffen opnemen in het bloed.

13.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt de delen van een hart met hun functies en kenmerken benoemen.

- De bouw van het hart is terug te vinden in **BiNaS** tabel 84C1.
- Rechterboezem:
 - ontvangt zuurstofarm bloed uit de onderste en bovenste holle ader en voert dit door naar de rechterkamer;
 - weinig gespierde wand.
- Rechterkamer:
 - pompt zuurstofarm bloed in de longslagader(s);
 - gespierde wand.
- Linkerboezem:
 - ontvangt zuurstofrijk bloed uit de longaders en voert dit door naar de linkerkamer;
 - weinig gespierde wand.
- Linkerkamer:
 - pompt zuurstofrijk bloed in de aorta;
 - zeer gespierde wand.
- Harttussenwand: scheidt de linker- en rechterharthelft.
- Hartkleppen: verhinderen terugstromen van bloed van kamers naar boezems.
- Halvemaanvormige kleppen: verhinderen het terugstromen van bloed van longslagader(s) en aorta naar de kamers.
- Kransslagaders: hierdoor stroomt zuurstofrijk bloed naar de hartspier.
- Kransaders: hierdoor stroomt zuurstofarm bloed weg uit de hartspier.

13.3.2

Je kunt de werking van het hart beschrijven en uitleggen.

- De werking van het hart is terug te vinden in **BiNaS** tabel 84D.
- Samentrekking (systole) van de boezems:
 - De sinusknoop in de wand van de rechterboezem geeft impulsen af.
 - Spieren in de wand van de boezems trekken samen. De kamers ontspannen (diastole).
 - De hartkleppen zijn open, de halvemaanvormige kleppen dicht.
 - Bloed stroomt van de boezems naar de kamers.
- Samentrekking (systole) van de kamers:
 - Spieren in de wand van de kamers trekken samen. De boezems ontspannen (diastole).
 - Bloed stroomt van de kamers naar de longslagader(s) en de aorta.
 - De hartkleppen slaan dicht, de halvemaanvormige kleppen gaan open.
 - Spieren in de wand van de kamers trekken samen en verhinderen dat de hartkleppen doorslaan naar de boezems.
- Hartpauze:
 - De boezems en de kamers ontspannen (diastole).
 - De hartkleppen zijn geopend, de halvemaanvormige kleppen zijn gesloten.
 - Bloed stroomt uit de holle aders en de longaders naar de boezems en kamers.
- Hartslagfrequentie (hartritme): de frequentie waarmee de sinusknoop impulsen afgeeft.
 - De impulsgeleiding in het hart kan worden weergegeven met een elektrocardiogram (ecg).
 - De hartslagfrequentie wordt beïnvloed door de bloeddruk en door hormonen (o.a. adrenaline).
 - De hartslagfrequentie is o.a. afhankelijk van de lichaamsgrootte en de activiteit van het organisme.
- Slagvolume: de hoeveelheid bloed die per hartslag door de linkerkamer in de aorta wordt gepompt.
 - Het slagvolume hangt af van de hoeveelheid bloed die vanuit de aders het hart instroomt.
 - De linkerkamer pompt per hartslag ongeveer even veel bloed weg als de rechterkamer.

13.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt de delen van het bloedvatenstelsel benoemen en daarin het zuurstofgehalte, koolstofdioxidegehalte, glucosegehalte en de stroomrichting van het bloed aangeven.

- Naamgeving van de bloedvaten: zie **BiNaS** tabel 84A.

- Bloedvaten hebben in het algemeen de naam van het orgaan of lichaamsdeel waar ze bloed naartoe, doorheen of vanaf voeren, behalve de holle aders, aorta, poortader, kransslagaders en kransaders.
- Bloedvaten die bloed naar organen toevoeren: naam orgaan + slagader. Bijvoorbeeld: de nierslagader.
- Bloedvaten die bloed door organen heen vervoeren: naam orgaan + haarvaten. Bijvoorbeeld: de nierhaarvaten.
- Bloedvaten die bloed van organen wegvoeren: naam orgaan + ader. Bijvoorbeeld: de nierader.
- Zuurstofgehalte en koolstofdioxide van het bloed:
 - Door de slagaders van de kleine bloedsomloop stroomt zuurstofarm bloed, met veel CO_2 .
 - Door de aders van de kleine bloedsomloop stroomt zuurstofrijk bloed met weinig CO_2 .
 - Door de slagaders van de grote bloedsomloop stroomt zuurstofrijk bloed met weinig CO_2 .
 - Door de aders van de grote bloedsomloop (o.a. de poortader) stroomt zuurstofarm bloed met veel CO_2 .
- Glucosegehalte van het bloed:
 - In de poortader schommelt het glucosegehalte het meest.
 - Van de overige bloedvaten is het glucosegehalte van het bloed in de leverader na vasten het hoogst.
 - Waar het bloed uit de leverader wordt gemengd met bloed afkomstig van andere organen, daalt het glucosegehalte van het bloed.

13.4.2

Je kunt de verschillen en overeenkomsten tussen de foetale bloedsomloop en die na de geboorte benoemen.

- De foetale bloedsomloop bezit aanpassingen waardoor er weinig bloed door de longen stroomt. Zie **BiNaS** tabel 84B.
 - Via een opening tussen de rechter- en de linkerboezem (foramen ovale of ovale venster) stroomt het bloed meteen van de rechter- naar de linkerboezem.
 - Via een verbinding tussen de longslagader en de aorta (ductus Botalli of ductus arteriosus) komt het grootste deel van het bloed dat door de rechterkamer wordt weggepompt, in de aorta terecht.
- Veranderingen in de bloedsomloop tijdens en na de geboorte:
 - Het ovale venster wordt door een klep gesloten (deze klep vergroeit met de harttussenwand).

- De ductus Botalli verschrompelt en verdwijnt.
- De resten van de navelstrengslagaders en navelstrengaders verschrompelen en verdwijnen.

13.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt uitleggen wat de relatie is tussen de kenmerken en functies van aders, slagaders en haarvaten en hun bouw en werking.

- De bouw van de verschillende bloedvaten is terug te vinden in **BiNaS** tabel 84C2.
- Slagaders (arteriën):
 - hierdoor stroomt bloed weg van het hart;
 - ‘slag’ merkbaar, o.a. in de polsen;
 - hoge bloeddruk;
 - dikke, stevige en elastische wand;
 - meestal diep in het lichaam gelegen;
 - alleen halvemaanvormige kleppen (aan het begin van longslagader en aorta).
- Kleine slagadertjes (arteriolen):
 - Door vasoconstrictie (vernauwing) of vasodilatatie (verwijding) kan de hoeveelheid bloed worden geregeld die door een bepaald weefsel stroomt.
- Haarvaten (capillairen):
 - wand van één cellaag dik;
 - vocht met opgeloste stoffen en witte bloedcellen kunnen door de wand heen de haarvaten verlaten;
 - lage stroomsnelheid, zodat uitwisseling van stoffen goed plaats kan vinden.
- Kleine aders (venulen):
 - ontstaan in organen doordat de haarvaten weer bij elkaar komen.
- Aders (venen):
 - hierdoor stroomt bloed naar het hart toe;
 - lage bloeddruk;
 - geen ‘slag’ merkbaar, het bloed stroomt gelijkmatig;
 - dunne wand;
 - meestal ondiep in het lichaam gelegen;
 - kleppen verhinderen dat het bloed terugstroomt (vooral in de armen en benen).

13.5.2

Je kunt het verloop van bloeddruk en stroomsnelheid in de delen van het bloedvatenstelsel toelichten.

- De bloeddruk en stroomsnelheid van de verschillende bloedvaten is terug te vinden in **BiNaS** tabel 84E1.
- Van slagaders naar aders neemt de bloeddruk voortdurend af.

- De bloeddruk is het hoogst in de linkerkamer en de aorta tijdens het samentrekken van de kamers.
- In de slagaders gaat de bloeddruk sterk op en neer als gevolg van de hartslag.
- In de aders is de bloeddruk vaak te laag om de bloedstroom op gang te houden.
- In de aders helpen andere krachten mee om de bloedstroom op gang te houden:
 - de stootsgewijze druk van slagaders die naast de aders liggen;
 - de samentrekking van skeletspieren.
- Bloeddrukmeting: de bovendruk en de onderdruk.
 - De bovendruk ontstaat door de samentrekking van de kamers.
 - De onderdruk is de druk tijdens de hartpauze.
- De stroomsnelheid van het bloed is het grootst in de aorta en het laagst in de haarvaten.
- Hartinfarct:
 - Een of meer vertakkingen van een kransslagader raken verstopt (door slagaderverkalking).
 - Daardoor krijgt een deel van de hartspier geen zuurstof en voedingsstoffen meer en sterft af.
- De bloeddruk wordt min of meer constant gehouden door aanpassing van het hartritme (negatieve terugkoppeling).
 - Als de bloeddruk onder de normwaarde daalt, zorgt de hersenstam ervoor dat het hartritme stijgt. Hierdoor stijgt de bloeddruk.
 - Als de bloeddruk boven de normwaarde stijgt, zorgt de hersenstam ervoor dat het hartritme daalt. Hierdoor daalt de bloeddruk.
 - De bloeddruk kan verhoogd zijn, doordat aan de binnenwand van arteriën cholesterol is afgezet (atherosclerose).

13.6.1 BASISSTOF 6

Je kunt de kenmerken en functies van weefselvloeistof en lymfe benoemen.

- Weefselvloeistof ontstaat doordat aan het begin van de haarvaten vocht uittreedt.
 - Plasma-eiwitten met relatief grote moleculen kunnen de haarvaten niet verlaten. Hierdoor ontstaat een colloïd-osmotische druk van de weefselvloeistof naar het bloedplasma.
 - Aan het begin van de haarvaten is de bloeddruk hoger dan de colloïd-osmotische druk, waardoor vocht uit de haarvaten naar de weefsels wordt geperst (filtratie).
 - Weefselvloeistof bevat o.a. zuurstof, voedingsstoffen, koolstofdioxide en andere afvalstoffen, hormonen en plasma-eiwitten met

kleine moleculen. Weefselvloeistof kan witte bloedcellen bevatten.

- Functie: zuurstof en voedingsstoffen naar de cellen toevoeren en koolstofdioxide en andere afvalstoffen van de cellen wegvoeren.
- Een deel van de weefselvloeistof keert aan het eind van de haarvaten terug in het bloed (zie ook **BiNaS** tabel 84N).
 - Aan het eind van de haarvaten is de bloeddruk gedaald. Doordat de colloïd-osmotische druk dan hoger is dan de bloeddruk, wordt er weer weefselvocht in de haarvaten opgenomen (absorptie).
- Een deel van de weefselvloeistof wordt opgenomen in fijne lymfevaten.
 - Lymfevaten verenigen zich tot grotere lymfevaten.
 - In de lymfevaten komen kleppen voor.
 - Het lymfesysteem voert de lymfe weer terug naar het bloedvatstelsel.
 - Lymfeknopen (lymfeklieren) zuiveren de lymfe van o.a. ziekteverwekkers.

SAMENHANG

- 13.S.1 Je kunt de ziekte van Lyme toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 13.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheid vorm-functiedenken toepassen op de ziekte van Lyme.

ONDERZOEK - PRACTICA

- 13.O.1 Je kunt de verschillende delen van het bloed herkennen en benoemen.
- 13.O.2 Je kunt de verschillende delen van het hart herkennen en benoemen.
- 13.O.3 Je kunt de verschillen in de bouw van de bloedvatwand van een slagader en ader benoemen.
- 13.O.4 Je kunt de bloeddruk meten.

 [Ga naar de Flitskaarten en de Oefentoets.](#)

EXAMENOPGAVEN

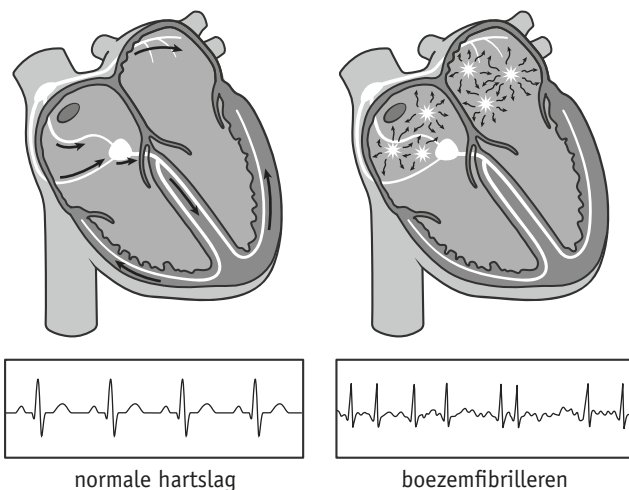
LEDLAMPJES VOORKOMEN HARTRITMESTOORNIS

Naar: examen vwo 2021-1, vraag 1 t/m 3 en 5.

De meest voorkomende hartritmestoorning is boezemfibrilleren. De stoornis komt veel voor bij ouderen. Onderzoeker Daniël Pijnappels werkt aan een therapie die gebruikmaakt van ledlampjes.

Hartspiercellen vormen – net als neuronen – aan elkaar gekoppelde banen die impulsen kunnen geleiden. Die impulsen veroorzaken het samentrekken van hartspiercellen. In principe kunnen hartspiercellen impulsen in twee richtingen geleiden, maar als gevolg van een refractaire periode na het optreden van een actiepotentiaal gebeurt dat niet. Zo ontstaan er regelmatige spiersamentrekkingen die zich in een bepaalde richting verplaatsen. Bij beschadiging van hartspiercellen in een hartboezem kunnen impulsen wél de andere kant op lopen. Hierdoor ontstaan onregelmatige en ongecoördineerde samentrekkingen: het boezemfibrilleren. In afbeelding 1 is het impulsverloop bij een normale hartslag en bij boezemfibrilleren schematisch weergegeven, met daaronder de bijbehorende elektrocardiogrammen (ecg).

■ **Afb. 1** Hart en ecg met normale hartslag en boezemfibrilleren.

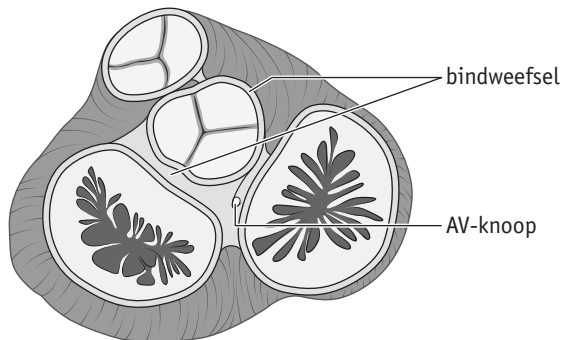


Bij boezemfibrilleren kunnen bloedstolsels ontstaan als gevolg van de beperkte doorstroming in het hart. Daardoor is er een verhoogd risico op een beroerte (herseninfarct).

- 2p 1 Kan een herseninfarct veroorzaakt worden door een stolsel gevormd in de linkerboezem, in de rechterboezem of zijn beide mogelijk?
- A alleen in de linkerboezem
 - B alleen in de rechterboezem
 - C beide zijn mogelijk

Het spierweefsel van de boezems wordt door een bindweefseltussenschot gescheiden van het spierweefsel van de kamers. Bindweefsel is een slechte geleider van elektrische impulsen. In het bovenaanzicht van een hart waarvan de boezems niet getekend zijn (zie afbeelding 2), is het lichtgekleurde bindweefsel te zien.

■ **Afb. 2** Boven aanzicht hart (schematisch).



Drie momenten in de hartcyclus zijn:

- 1 het einde van de hartpauze
- 2 het midden van de boezemsystole
- 3 het midden van de kamersystole

2p **2** Op welk van deze momenten komt de stand van de kleppen overeen met die in afbeelding 2?

- A alleen op moment 1
- B alleen op moment 2
- C alleen op moment 3
- D zowel op moment 1 als 2
- E zowel op moment 1 als 3
- F zowel op moment 2 als 3

Dankzij het bindweefseltussenschot en de AV-knoop daarin blijft de pompfunctie van de hartkamers tijdens boezemfibrilleren grotendeels behouden.

2p **3** Beschrijf hoe dankzij het bindweefseltussenschot en de AV-knoop de pompfunctie van de hartkamers tijdens boezemfibrilleren behouden blijft.

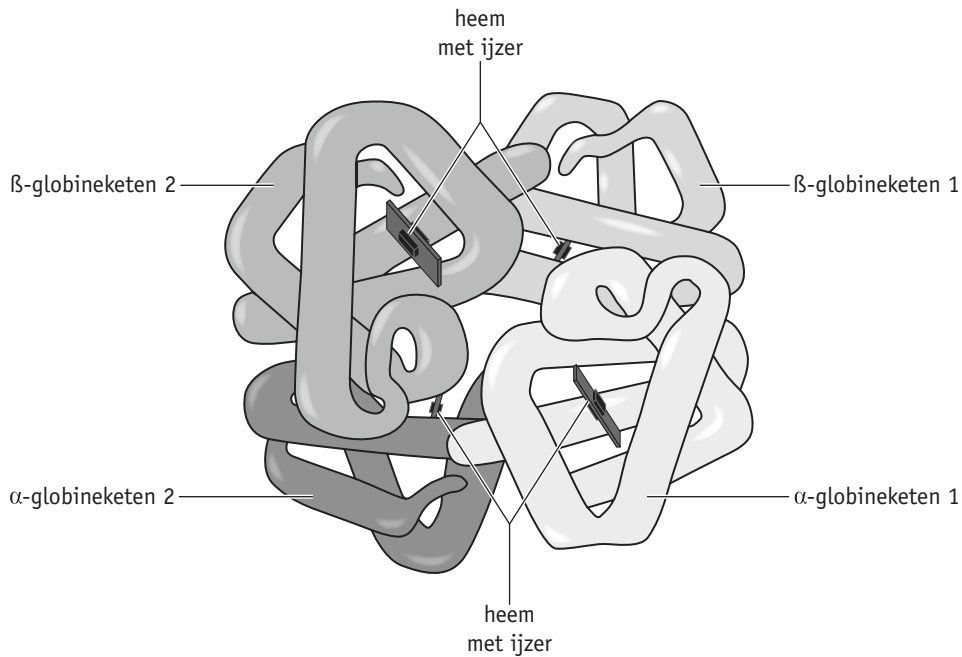
NIEUWE BEHANDELMETHODEN VOOR SIKKELCELANEMIE

Naar: examen vwo 2023-2, vraag 26, 28 en 29.

Sikkelcelanemie is een erfelijke bloedziekte, waarbij afwijkende hemoglobine wordt aangemaakt. De normale vorm van rode bloedcellen kan daardoor veranderen in een sikkelvorm. Wereldwijd wordt onderzoek gedaan naar nieuwe behandelingen voor deze ziekte.

Hemoglobine bestaat uit twee α - en twee β -globineketens.ikkelcelanemie wordt veroorzaakt door een puntmutatie in het gen dat codeert voor de β -globineketen. In een van de tripletten is een A vervangen door een T, en als gevolg hiervan is in de β -globineketen glutaminezuur vervangen door valine. De ziekte ontstaat alleen als deze mutatie in beide allelen voor β -globine aanwezig is. In afbeelding 3 is normale hemoglobine weergegeven.

■ **Afb. 3** Hemoglobinemolecuul.



Bij sikkelcelanemie vormen de afwijkende β -globineketens – na afgifte van zuurstof – lange vezels die zich hechten aan het celmembraan van de rode bloedcel. Dit veroorzaakt de typische sikkelvorm. Door deze vormverandering gaat de rode bloedcel sneller kapot (hemolyse). Bij mensen met sikkelcelanemie is de gemiddelde levensduur van een rode bloedcel daardoor slechts 20 dagen in plaats van 120 dagen. Ook is er een verhoogde activiteit van witte bloedcellen en worden er bloedplaatjes geactiveerd. Daardoor ontstaat een ontstekingsreactie in het endotheel van de bloedvaten. De verstoppingen die hierdoor kunnen ontstaan, veroorzaken zuurstofgebrek in botten en organen. Dit leidt tot pijn en beschadiging van organen.

In de bloedvaten van de longen kan ook door een lage zuurstofspanning vaatverstopping optreden, waardoor de bloeddruk in die vaten stijgt. Dit kan leiden tot verwijding van een van de hartkamers.

- 2p 4 In welk type vaten in de longen vindt deze blokkade plaats? En welke hartkamer wordt verwijd door de hoge bloeddruk in de longen?

	Type vaten	Verwijde hartkamer
A	adertjes	linker
B	adertjes	rechter
C	slagadertjes	linker
D	slagadertjes	rechter

De behandeling van sikkelcelanemie bestaat voornamelijk uit pijnbestrijding en herhaaldelijke bloedtransfusies. Over het effect van bloedtransfusies worden de volgende uitspraken gedaan:

- 1 De bloedtransfusie gaat tijdelijk een tekort aan rode bloedcellen tegen.
- 2 Het aandeel sikkelcellen neemt in de weken na een bloedtransfusie geleidelijk af.

- 2p 5 Welke uitspraak is juist?
- A geen van beide
 - B alleen 1
 - C alleen 2
 - D zowel 1 als 2

VACCINEREN TEGEN MAZELEN

Naar: examen vwo 2019-2, vraag 33.

Steeds meer ouders in Europese steden zien af van vaccinatie van hun kinderen, waardoor mazelenepidemieën steeds vaker zullen optreden. Mazelen is echter geen onschuldige kinderziekte.

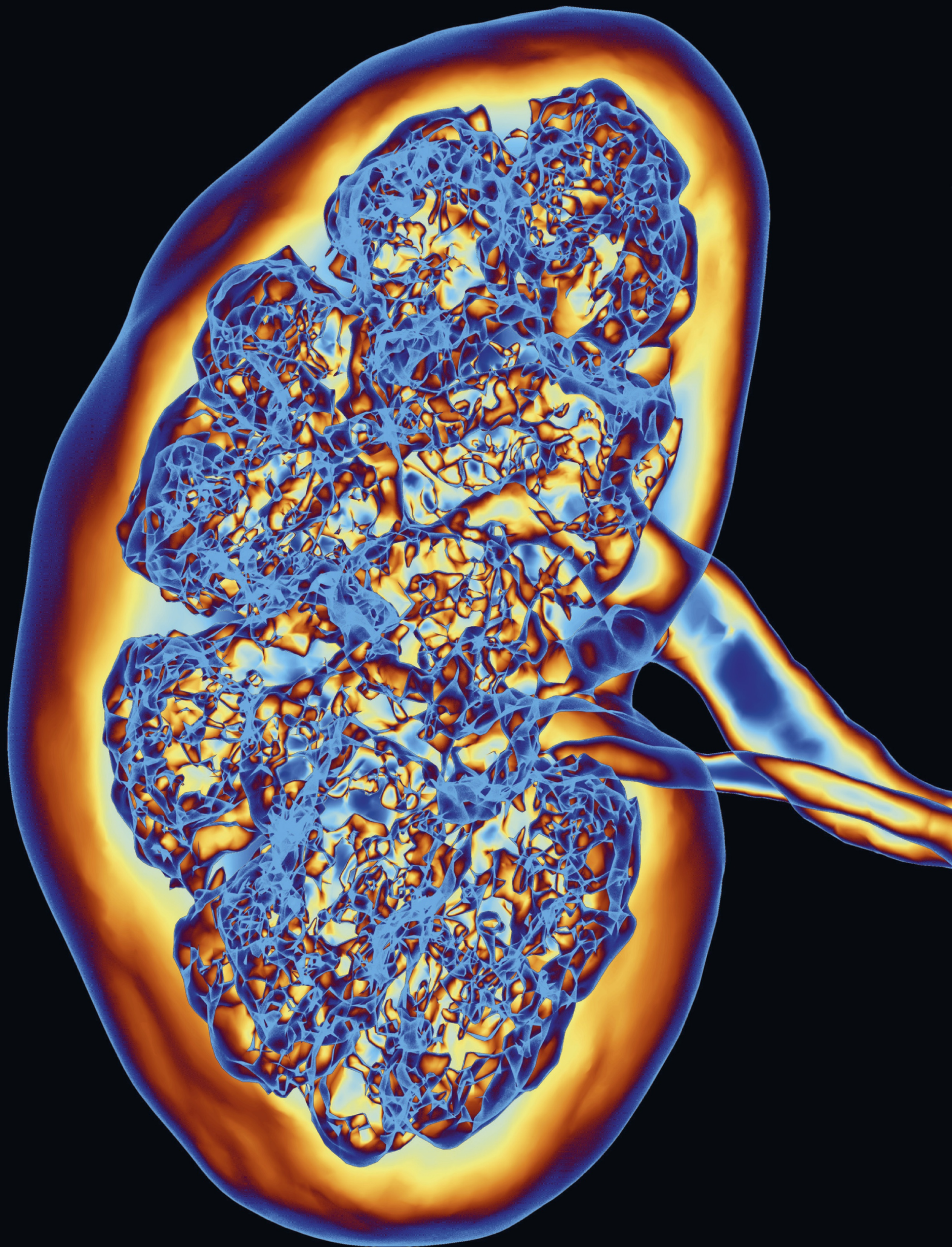
Mazelen is een zeer besmettelijke virusziekte die het immuunsysteem langdurig verzwakt. Het virus wordt verspreid via de lucht door hoesten, niezen en praten. Eenmaal in de luchtwegen infecteert het virus een macrofaag of een dendritische cel die het virus naar het lymfesysteem vervoert, waar het vermenigvuldigd wordt in lymfocyten. Vanuit de lymfocyten komt het virus terecht in andere lichaamscellen, zoals die van de huid, wat te zien is aan de rode uitslag. Het kan ook cellen van de longen, lever en blaas en soms van de hersenen infecteren. Het grootste gevaar is dat door de ziekte het immunologisch geheugen van het lichaam grotendeels wordt gewist. Tot wel drie jaar later is hierdoor de kans op secundaire infecties, zoals een bacteriële longontsteking, veel groter.

Iemand ademt een mazelenvirus in en dit virus infecteert een macrofaag in de luchtwegen. Virusdeeltjes uit de macrofaag infecteren op hun beurt de lymfocyten in een lokale lymfeknoop. Via de lymfocyten bereikt het virus cellen in de milt.

- 2p 6 Via welke weg gaat een geïnfecteerde macrofaag van het luchtwegepitheel naar de lokale lymfeknoop? En hoe komen geïnfecteerde lymfocyten uiteindelijk in de milt aan?

	Luchtwegepitheel naar lymfeknoop	Bereiken milt
A	via bloed	met de lymfe
B	via bloed	met het bloed
C	via weefselvocht	met de lymfe
D	via weefselvocht	met het bloed

 [Ga naar de Examentrainer.](#)



Thema 14

GASWISSELING EN UITSCHIEDING

Gaswisseling is de verplaatsing van de gassen zuurstof en koolstofdioxide tussen het inwendige en het uitwendige milieu. Uitscheiding is de afgifte van overtollige en schadelijke stoffen aan het milieu. Gaswisseling en uitscheiding zijn belangrijk voor het constant houden van het inwendige milieu: homeostase.

Inhoud

■ ORIËNTATIE

De marathon	136
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

■ BASISSTOF

1 Gaswisseling	138
2 Longventilatie	153
3 De lever	162
4 De nieren	170
5 De huid	183

■ SAMENHANG

Walvissen	188
-----------	-----

■ EXTRA STOF

Leren en werken: longarts	
Ideeën voor onderzoek	

■ ONDERZOEK

Practica	190
----------	-----

■ AFSLUITING

Samenvatting	197
Examenopgaven	202

DE MARATHON

Het is zondag 16 april. Aan de start staan zeventienduizend hardlopers ongeduldig te trappelen om te beginnen aan de marathon van Rotterdam (zie afbeelding 1). Fatima is er een van. Ze heeft meer dan een jaar getraind voor deze wedstrijd en ze is in topconditie. Toch weet ze dat het uitlopen van de 42 kilometer en 195 meter lange wedstrijd geen gemakkelijke opgave is en het uiterste van haar lichaam zal vragen.

Tijdens extreme inspanning, zoals het lopen van een marathon, zoek je de grenzen van je lichamelijke vermogens op. De intensiteit van verschillende fysiologische, neurologische en hormonale processen in je lichaam verandert. Alleen door een goede voorbereiding ben je in staat fysieke en mentale grenzen te verleggen. Als je tijdens de wedstrijd verdergaat dan je limiet, dan zul je de finish niet halen.

Fatima heeft intensief getraind en dat zou haar vertrouwen moeten geven. Maar als student geneeskunde weet ze heel goed welke veranderingen er in haar lichaam zullen optreden en hoe wankel het evenwicht is tussen een goede prestatie en falen.

Vanochtend heeft ze een kom havermout en twee bananen gegeten. Dit ontbijt is inmiddels

verteerd en de vrijgekomen voedingsstoffen geven haar de nodige energie voor het eerste gedeelte van de race. Een uur geleden is ze begonnen aan haar warming-up. Hierdoor is ze lekker opgewarmd en zijn haar spieren soepel en goed doorbloed. Haar ademhaling is ook diep, maar onder controle.

Toch is ze nu wat nerveus. Hierdoor maakt haar lichaam extra adrenaline aan. Dit zorgt ervoor dat haar hartslag iets hoger is dan normaal. Het voordeel is dat haar bloed sneller wordt rondgepompt, waardoor er een goede uitwisseling van stoffen tussen bloed en spieren mogelijk is. Ook de bronchiën en de kleine bloedvaten rondom de longblaasjes zijn extra wijd. Hierdoor neemt ze meer zuurstof op en kan ze meer koolstofdioxide uitademen.

■ **Afb. 1** Deelnemers aan de marathon van Rotterdam.



Fatima drinkt nog wat extra water. Ze weet dat de waterbalans in haar lichaam van cruciaal belang is. Door te zweten verliest ze veel water. Door haar inspanning wordt er veel warmte geproduceerd. Om oververhitting te voorkomen, moet haar lichaam zweten om af te koelen. Maar als ze overmatig gaat zweten, heeft ze ook kans op uitdroging. Langs het parcours staan op verschillende plaatsen standjes waar ze water kan pakken. Hoewel tegelijkertijd drinken en hardlopen erg lastig is, weet Fatima dat ze de bevoorradingsposten niet kan overslaan. Gelukkig hoeft ze tijdens de wedstrijd niet te plassen en zorgt het hormoon ADH ervoor dat het meeste water uit haar voorurine wordt teruggewonnen.

In de week voorafgaand aan de wedstrijd heeft Fatima wat extra koolhydraten gegeten. Een gedeelte

hiervan ligt opgeslagen in haar lever in de vorm van glycogeen. Het hormoon glucagon helpt om dit glycogeen weer af te breken tot glucose, zodat ze wat extra energie tot haar beschikking heeft. Als de glycogeenvoorraad op is, zal haar lichaam overschakelen op vet als energiebron. Dit vet ligt opgeslagen in het onderhuidse bindweefsel.

Fatima maant zichzelf tot wat rust, want als ze te snel start, zullen haar spieren niet voldoende voedingsstoffen en zuurstof krijgen. De gaswisseling in haar longen is dan te langzaam. Ze verliest dan ook te veel water, waardoor ze oververhit kan raken. Dan is ze ook te snel door haar energiereserves heen. Zou ze genoeg hebben getraind om ondanks alle wankele evenwichten in haar lichaam de finish te halen?

Opdrachten

- 1 Door haar training is de werking van verschillende spiergroepen van Fatima sterk verbeterd. Enkele van deze spiergroepen zijn de ademhalingsspieren, de beenspieren en de hartspeer.
Leg bij elke spiergroep uit welke verandering er heeft plaatsgevonden en hoe deze verandering Fatima kan helpen bij het uitlopen van de marathon.
- 2 Tijdens het hardlopen krijgt Fatima altijd een rood hoofd.
Leg uit hoe het komt dat Fatima door het hardlopen een rood hoofd krijgt.
- 3 Tijdens de laatste weken van haar voorbereiding heeft Fatima extra koolhydraten gegeten. Ze probeert hiermee te bereiken dat haar lichaam de koolhydraten omzet in glycogeen. Dat ligt dan als reservestof opgeslagen in de lever en de spieren. Tijdens de race kan glycogeen weer worden omgezet in glucose.
Welk hormoon helpt bij de omzetting van glucose naar glycogeen?
- 4 Tijdens de marathon verliest Fatima veel water door te zweten. Om haar vochtbalans op peil te houden, drinkt ze water. Maar ze pakt ook af en toe een drankje waaraan elektrolyten zijn toegevoegd. Elektrolyten is een verzamelnaam voor verschillende mineralen, waaronder magnesium, natrium, kalium en calcium. Waarom neemt Fatima af en toe een drankje met elektrolyten?
- 5 In het lichaam van Fatima zijn processen actief die ervoor zorgen dat de osmotische waarde van haar bloed niet te veel afwijkt van de normwaarde. Een van de processen is dat Fatima meer van het hormoon ADH produceert. ADH is verantwoordelijk voor de terugresorptie van water uit de voorurine.
Wat is de relatie tussen de concentratie ADH en de osmotische waarde van het bloed?



[Ga naar de Voorkennistoets en het Voorkennisfilmpje.](#)

1 GASWISSELING

LEERDOELEN

- 14.1.1** Je kunt beschrijven wat de bouw, werking en functie zijn van de gaswisselingsorganen van eukaryoten, in het bijzonder de mens.
- 14.1.2** Je kunt beschrijven hoe opname, transport en afgifte van zuurstof en koolstofdioxide plaatsvinden en wat de rol van hemoglobine en myoglobine daarbij is.
- 14.1.3** Je kunt bij insecten en vissen beschrijven hoe gaswisseling plaatsvindt en hoe zuurstof naar de cellen wordt getransporteerd.

- Vaardigheid 4 (thema 1)
- Practicum 1

TAXONOMIE

LEERDOELEN EN OPDRACHTEN

	14.1.1	14.1.2	14.1.3
Begrijpen	1, 2, 3	4	5
Toepassen	13ad	7ab, 8, 10, 13c	
Analyseren	13e	6, 7c, 9, 11, 12, 13b	

Je hebt zuurstof nodig om te leven. Zuurstof uit de lucht komt via je longen in je bloed. Omgekeerd wordt koolstofdioxide vanuit je bloed via je longen afgevoerd. Om voldoende zuurstof op te nemen, hebben je longen een oppervlakte die ongeveer zo groot is als een half tennisveld.

UITSCHEIDING

In je lichaam vinden continu stofwisselingsprocessen plaats in de cellen van je weefsels. Hierbij ontstaan afvalstoffen. Bij de verbranding van glucose ontstaat bijvoorbeeld koolstofdioxide en bij de afbraak van eiwitten ureum. Het is voor je lichaam belangrijk om deze afvalstoffen af te voeren. Dit proces noem je **uitscheiding**. Enkele organen die voor uitscheiding zorgen zijn de longen, de huid, de nieren en de lever.

Het kwijtraken van afvalstoffen via de ontlasting noem je geen uitscheiding. Deze afvalstoffen zijn afkomstig uit het uitwendige milieu. Ze zijn niet afkomstig uit het bloed of uit de cellen van je lichaam (het inwendige milieu).

DE BOUW VAN HET ADEMHALINGSSTELSEL

Het ademhalingsstelsel bestaat uit de **longen** en de luchtwegen (zie afbeelding 1 en **BiNaS** tabel 83A). Met het ademhalingsstelsel neem je gasen op uit de lucht en geef je gasen af aan de lucht. Dit noem je **gaswisseling**.

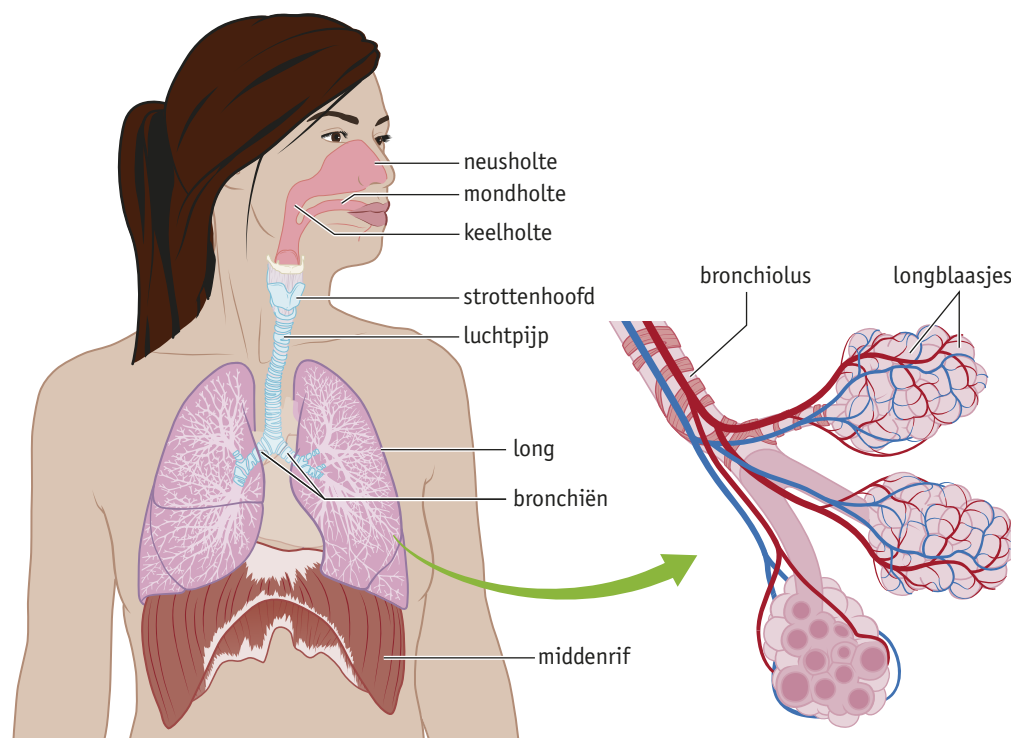
Als je inademt, stroomt lucht door je neus of door je mond naar binnen. Het is gezonder om via je neus in te ademen, omdat:

- neusharen grote ingeademde stofdeeltjes tegenhouden.
- slijmvlies in de neus kleine stofdeeltjes en ziekteverwekkers opvangt. De buitenste laag cellen van het neusslijmvlies bestaat uit trilhaarepitheel, waarin slijmproducerende cellen en trilhaarcellen voorkomen (zie afbeelding 2).

Bewegingen van de trilharen brengen het slijm naar de keelholte. Daar wordt het samen met speeksel doorgeslikt.

- het slijm de binnenstromende lucht vochtig maakt.
- het bloed in de bloedvaten in het neusslijmvlies de lucht verwarmt.
- zintuigcellen in het reukzintuig in de neus de binnenstromende lucht keuren op 'vreemde geurtjes'. Dit is een vorm van bescherming, want die geurstoffen kunnen afkomstig zijn van gevaarlijke stoffen of bedorven voedingsmiddelen.

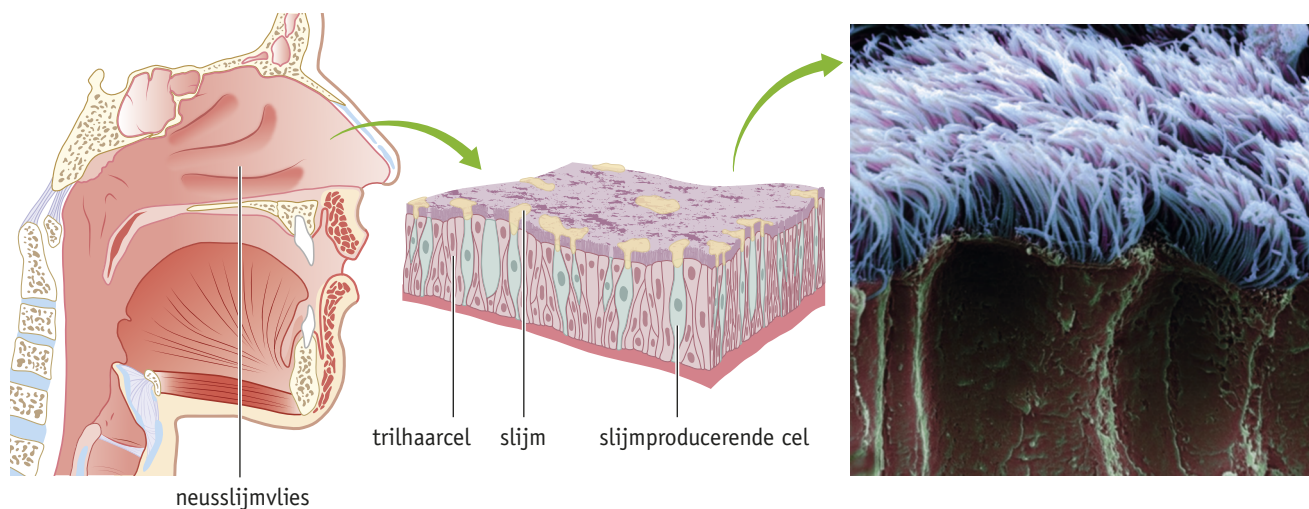
■ **Afb. 1** Het ademhalingsstelsel van de mens.



1 doorsnede

2 longblaasjes

■ **Afb. 2** Het neusslijmvlies.



1 de ligging van het neusslijmvlies

2 trilhaarepitheel

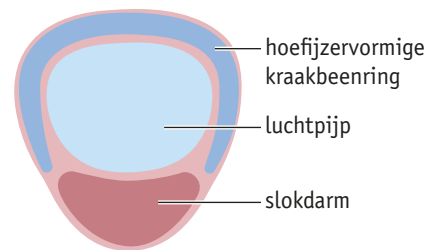
3 elektronenmicroscopische foto van trilhaarepitheel

De neusholte is door nauwe openingen verbonden met de bijholten: holten in de schedelbeenderen, zoals de kaakholten en de voorhoofdsholte. De bijholten zijn ook bekleed met slijmvlies. Het slijm hiervan wordt bij gezonde personen via de neusholte afgevoerd. Bij verkoudheid zwelt het neus- en bijholteslijmvlies op, waardoor de uitgangen van de bijholten worden afgesloten. Het slijm in de bijholten hoopt zich dan op, waardoor een 'verstopt' gevoel ontstaat.

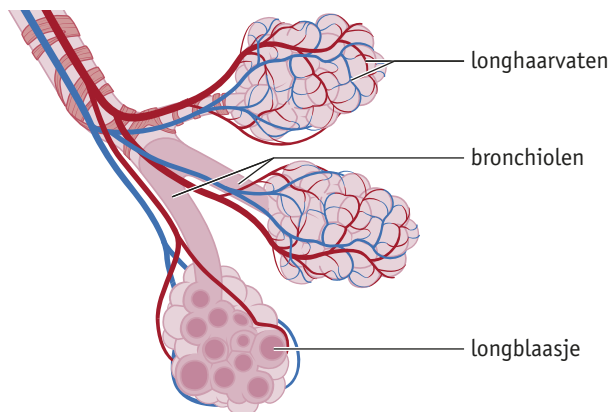
In de keelholte bevinden zich de huig en het strotklepje. Als je iets doorslikt, sluit de huig de neusholte af en het strotklepje de luchtpijp. Tussen de keelholte en de luchtpijp zit het strottenhoofd. Hierin liggen de stembanden. Dat zijn stevige vliezen die gaan trillen als er lucht langskomt. Hierdoor ontstaan geluiden. Om van deze geluiden herkenbare klanken te maken, zijn de stand van de tong, de tanden en lippen en de vorm van de mondholte belangrijk.

De **luchtpijp** verbindt de keelholte met de longen. De luchtpijp vertakt zich in twee **bronchiën**. In de wand van de luchtpijp en de bronchiën zitten hoefijzervormige kraakbeenringen (zie afbeelding 3). Deze kraakbeenringen zorgen ervoor dat de luchtpijp open blijft staan. De bronchiën zijn verder vertakt in bronchiolen, dit zijn steeds kleinere zijtakjes. De wanden van de bronchiolen hebben geen kraakbeenringen, maar spierweefsel. Door samentrekking of ontspanning van dit spierweefsel kunnen deze bronchiolen vernauwen of wijder worden. Dit is van invloed op de hoeveelheid lucht die je per ademhaling in- en uitademt. Het spierweefsel in de wand van de bronchiolen wordt beïnvloed door het autonome zenuwstelsel en door hormonen.

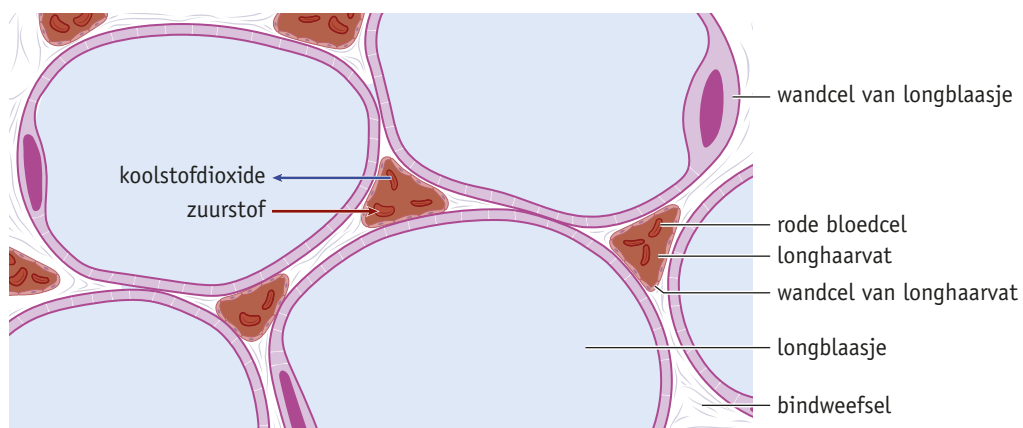
■ **Afb. 3** Doorsnede van de luchtpijp.



■ **Afb. 4** Longblaasjes met longhaarvaten.



1 buitenaanzicht



2 doorsnede van een longblaasje met bloedvaten

Onder invloed van het orthosympatische deel van het autonome zenuwstelsel en van het hormoon adrenaline worden de bronchiolen wijder.

De binnenwand van de luchtpijp, de bronchiën en de bronchiolen is bekleed met slijmvlies. De trilharen brengen het slijm omhoog naar de keelholte. Als het slijmvlies wordt geprikkeld, bijvoorbeeld door stofdeeltjes, ga je hoesten.

Aan de uiteinden van de fijnste bronchiolen zitten de **longblaasjes** (alveoli). Die hebben een wand die maar één cellaag dik is en die aan de binnenkant is bedekt met een dun laagje vocht (alveolair vocht). Om de longblaasjes heen zit een netwerk van fijne bloedvaten: de longhaarvaten (zie afbeelding 4 en **BiNaS** tabel 83A).

ZUURSTOF, KOOLSTOFDIOXIDE EN STIKSTOF

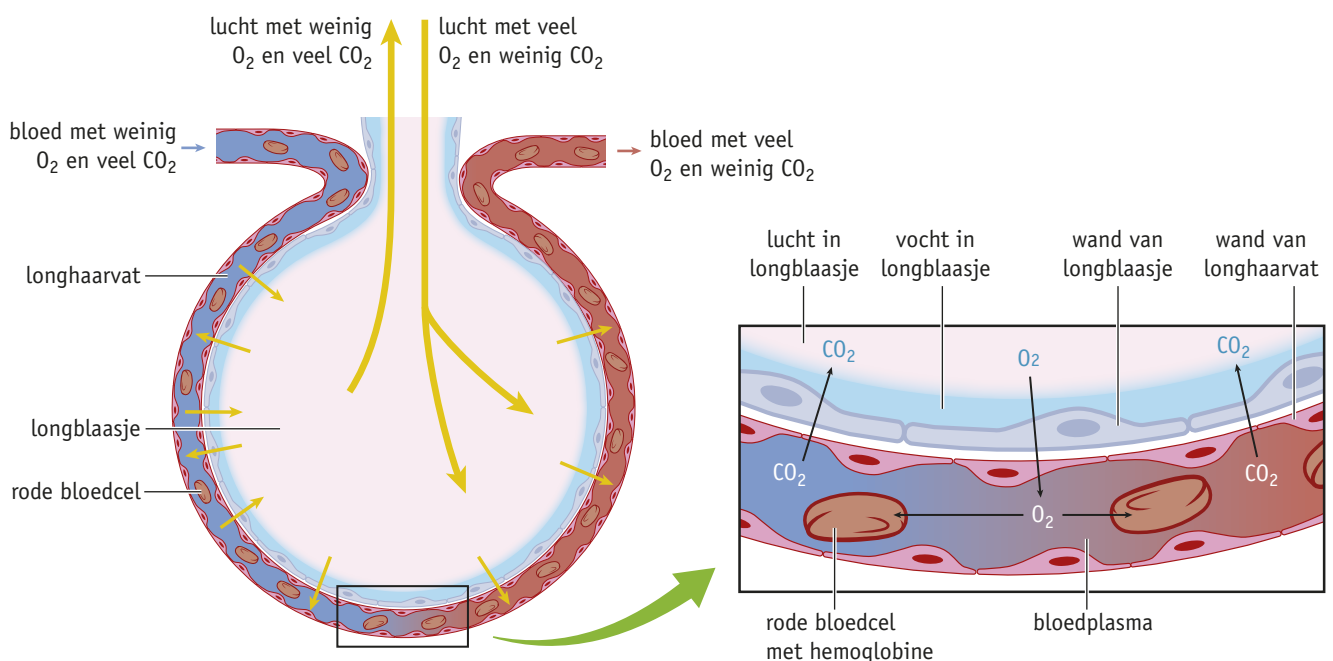
Actieve cellen verkrijgen energie door het verbranden van glucose (dissimilatie), waarbij zuurstof wordt verbruikt en koolstofdioxide vrijkomt. De afname van de O_2 -concentratie en de toename van de CO_2 -concentratie verstoren de homeostase. Door de aanvoer van nieuwe zuurstof en de afvoer van koolstofdioxide wordt de homeostase gehandhaafd.

Zuurstof wordt aangevoerd vanuit de lucht in de longblaasjes. De concentratie zuurstof is daar hoger dan in het vocht van de longblaasjes en in het bloed. Door **diffusie** wordt zuurstof vanuit de lucht opgenomen in het vocht van een longblaasje. Van hieruit diffundeert de zuurstof naar het bloed in de longhaarvaten (zie afbeelding 5). Deze diffusie van zuurstof wordt vooral veroorzaakt door het concentratieverschil. De **zuurstofconcentratie** (ook wel **zuurstofdruk** (pO_2)) genoemd) geeft aan hoe groot het aandeel zuurstofmoleculen in de vloeistof is. Het verschil in zuurstofconcentratie wordt gehandhaafd, doordat de lucht in de longblaasjes voortdurend wordt verversd en door de aanvoer van zuurstofarm bloed langs de longblaasjes.

Bloed bevat koolstofdioxide. Dit is onder andere opgelost in het bloedplasma. Door het verschil in **koolstofdioxideconcentratie** (**koolstofdioxidedruk** (pCO_2))) vindt diffusie plaats van het bloedplasma naar het vocht in de longblaasjes. Van daaruit wordt koolstofdioxide afgegeven aan de lucht in de longblaasjes.

Lucht bestaat voor ongeveer 79% uit stikstof. Er is geen verschil in stikstofconcentratie tussen de lucht in de longblaasjes en het bloedplasma. Er gaan stikstofmoleculen vanuit de lucht in de longblaasjes naar het bloedplasma en er gaan evenveel stikstofmoleculen in omgekeerde richting (zie tabel 1).

■ **Afb. 5** Gaswisseling tussen longblaasjes en longhaarvaten.



Tabel 1 De gasdruk in de buitenlucht, in de longblaasjes en in uitgeademde lucht (kPa).

	Droge buitenlucht	Lucht in longblaasjes	Uitgeademde lucht
pN_2	80,1	76,4	75,9
pO_2	21,2	13,3	15,4
pCO_2	0,03	5,3	3,7
pH_2O^*	0	6,3	6,3
p_{totaal}	101,3**	101,3	101,3

* De hoeveelheid waterdamp in de buitenlucht is variabel en mede afhankelijk van de temperatuur.

** afgerond

WET VAN FICK

Diffusie is onder andere afhankelijk van het diffusieoppervlak, de diffusieafstand en het concentratie- of drukverschil. Ook het medium waarin de moleculen zich bewegen, heeft invloed op de diffusie. De viscositeit (stroperigheid) van het medium bepaalt de diffusiecoëfficiënt. De diffusiesnelheid is vastgelegd in de **wet van Fick** (zie **BiNaS** tabel 83A). In formulevorm:

$$n = D \times A \times \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

Hierin is:

n = diffusiesnelheid;

D = diffusiecoëfficiënt (in m^2s^{-1});

A = diffusieoppervlak (in m^2);

Δc = concentratieverschil ($c_1 - c_2$ in $mol \cdot m^{-3}$) of Δp = drukverschil ($p_1 - p_2$);

Δx = diffusieafstand (in m).

Door de bouw en de werking van het ademhalingsstelsel van de mens worden de factoren die de diffusiesnelheid vergroten gunstig beïnvloed. Hierdoor kan de diffusie sneller plaatsvinden.

Opdrachten

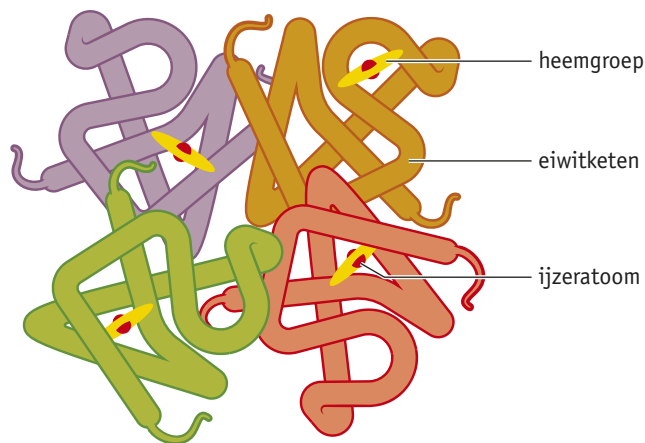
KENNIS

- 1 Kun je tegelijk slikken en ademen? Leg je antwoord uit
- 2 Adrenaline noem je ook wel het 'fight, flight en fright-hormoon'. Het is functioneel dat de bronchiolen onder invloed van adrenaline wijder worden.
Leg dit uit.
- 3
 - a Op welke twee manieren wordt in het ademhalingsstelsel van de mens het verschil in zuurstofdruk en koolstofdioxidedruk Δp tussen longblaasjes en longhaarvaten zo groot mogelijk gehouden?
 - b Als je rookt, ontstaat er een dun laagje teer in de longblaasjes.
Noteer twee factoren uit de wet van Fick die hierdoor veranderen.
 - c Welke factoren in de wet van Fick zorgen bij eencellige organismen voor een grote diffusiesnelheid?

HET TRANSPORT VAN ZUURSTOF

Voor zuurstoftransport wordt de zuurstof in het bloed vooral gebonden aan hemoglobine (Hb) in de rode bloedcellen. Hierdoor kan er 200 mL zuurstof per liter bloed worden vervoerd. Elke rode bloedcel bevat tweehonderd tot driehonderd miljoen hemoglobinemoleculen. Een hemoglobinemolecuul bestaat uit vier eiwitketens. Elke keten bevat een heemgroep die een ijzeratoom bevat (zie afbeelding 6 en **BiNaS** tabel 67H2). Elk ijzeratoom is in staat een zuurstofmolecuul te binden. Hierdoor ontstaat oxyhemoglobine (HbO_2). Deze reactie is een evenwichtsreactie (zie afbeelding 7). In bloedplasma kan maximaal 3 mL zuurstof per liter bloed oplossen.

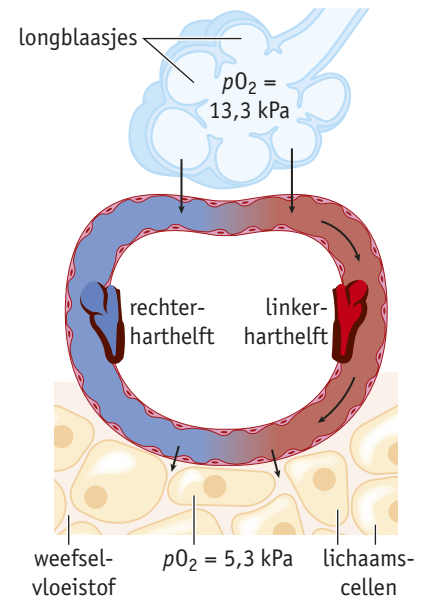
■ **Afb. 6** Een hemoglobinemolecuul.



■ **Afb. 7** Evenwichtsreactie.

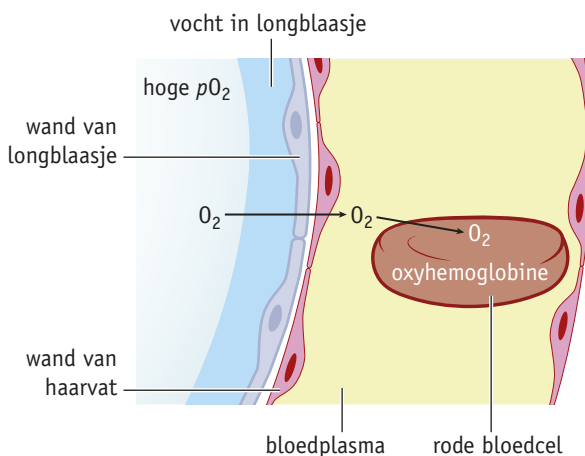


■ **Afb. 8** De $p\text{O}_2$ van het bloed in de grote en kleine bloedsomloop bij een persoon in rust.

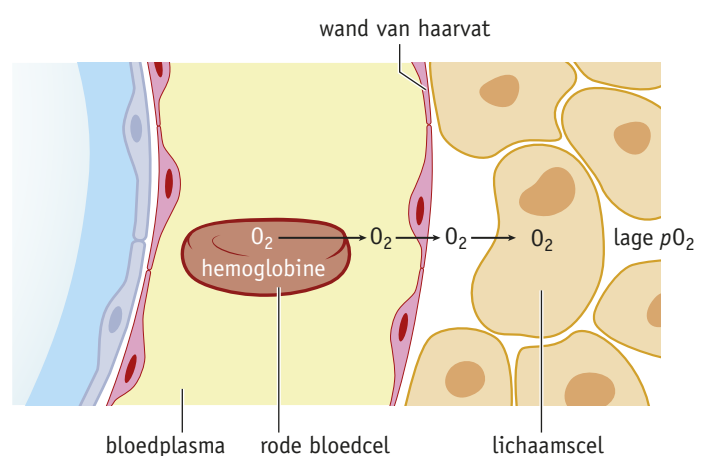


In de longen is de zuurstofconcentratie hoog, de $p\text{O}_2$ is 12 tot 14 kPa (zie afbeelding 8). Hierdoor verschuift het evenwicht van de reactie naar rechts. De zuurstof die vanuit de longblaasjes naar het bloedplasma van de longhaarvaten diffundeert, wordt voor het grootste deel meteen gebonden aan hemoglobine (zie afbeelding 9.1). Hierdoor blijft er, ondanks de diffusie van zuurstof naar het bloedplasma, toch een verschil in

■ **Afb. 9** Het transport van zuurstof.



1 binding van zuurstof aan hemoglobine



2 afgifte van zuurstof aan lichaamscellen

zuurstofconcentratie bestaan tussen het alveolaire vocht en het bloedplasma. Als alle hemoglobine is omgezet in oxyhemoglobine, noem je de hemoglobine verzadigd.

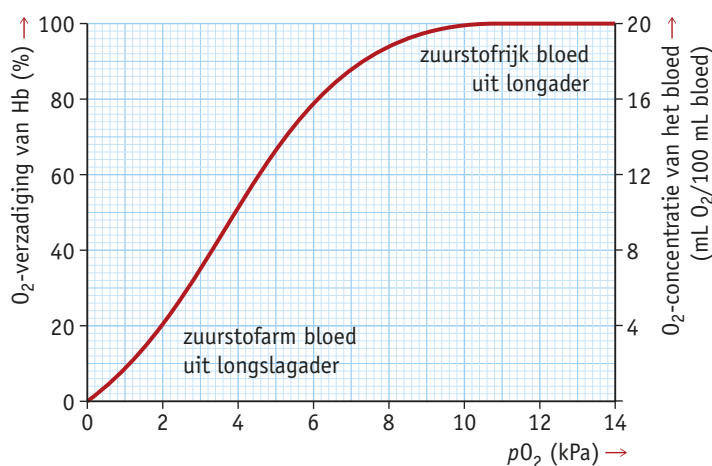
Bij een lage pO_2 (2,7 tot 5,3 kPa), zoals in de haarvaten van organen, verschuift het evenwicht van de reactie naar links (zie afbeelding 7). Oxyhemoglobine wordt omgezet in hemoglobine en zuurstof. De vrijgekomen zuurstofmoleculen diffunderen via de weefselvloeistof naar de cellen (zie afbeelding 9.2). Bloed met veel oxyhemoglobine is lichtrood en bloed met veel hemoglobine donkerrood.

In de spieren komt het eiwit **myoglobine** voor dat O_2 kan binden en afgeven. Myoglobine is vergelijkbaar met hemoglobine, maar bindt zuurstof sterker dan hemoglobine.

VERZADIGINGSCURVE

De hoeveelheid vrijkomende zuurstofmoleculen is afhankelijk van de pO_2 in een weefsel. Deze pO_2 is weer afhankelijk van de activiteit van de cellen van het weefsel. In een weefsel in rust is de pO_2 ongeveer 5,3 kPa; een actief weefsel heeft een veel lagere pO_2 . Het verband tussen de pO_2 van het inwendige milieu en het percentage verzadigde hemoglobine wordt weergegeven in een **verzadigingscurve** (zie afbeelding 10).

■ **Afb. 10** De pO_2 -verzadigingscurve van hemoglobine.



DE INVLOED VAN ACTIVITEIT OP EEN VERZADIGINGSCURVE

Als je flink beweegt, zijn je cellen extra actief. Ze produceren dan meer CO_2 . Als CO_2 oplost in je bloed wordt de pH-waarde lager. Door de verbranding van glucose in je cellen wordt de temperatuur in je cellen hoger. De pCO_2 , pH-waarde en de temperatuur zijn van invloed op de ligging van het evenwicht bij de reactie tussen hemoglobine en zuurstof.

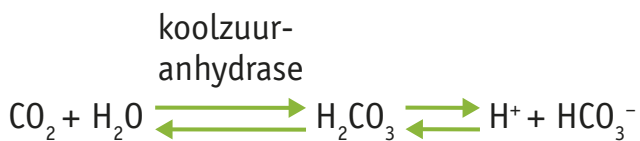
Bij een weefsel waarvan de cellen in rust verkeren, is de pCO_2 ongeveer 2,7 kPa en heeft het bloed in de haarvaten een pH van ongeveer 7,4. In een actief weefsel is de pCO_2 veel hoger (tot circa 11 kPa). Door de hoge CO_2 -concentratie daalt de pH van het bloed in de haarvaten (pH 7,2). Hierdoor verschuift het evenwicht bij de reactie naar links: er komen meer zuurstofmoleculen vrij. Door de hogere temperatuur komt er ook meer zuurstof uit oxyhemoglobine vrij. Deze extra afgifte van O_2 door oxyhemoglobine bij een hoge pCO_2 , een lage pH en een hoge temperatuur heet het **bohreffect** (zie **BiNaS** tabel 83D).

HET TRANSPORT VAN KoolstofDIOXIDE

Bij dissimilatie in cellen ontstaat koolstofdioxide. Door het concentratieverschil diffundeert koolstofdioxide vanuit de organen naar het bloed in de haarvaten. Een klein deel (7%) van dit koolstofdioxidetransport vindt plaats door CO_2 in het bloedplasma. Een ander deel van het opgenomen CO_2 (23%) wordt in rode bloedcellen vervoerd, gebonden aan hemoglobine. Het grootste deel van het CO_2 (70%) wordt in het bloedplasma vervoerd als waterstofcarbonaationen (HCO_3^-). Deze ionen ontstaan vooral in de rode bloedcellen, maar worden opgelost in het bloedplasma vervoerd.

Koolstofdioxide kan met water binden tot H_2CO_3 dat zeer instabiel is en meteen uiteenvalt (zie afbeelding 11). In rode bloedcellen zit het enzym koolzuuranhydrase, dat deze evenwichtsreactie versnelt. De HCO_3^- -ionen die bij deze reactie ontstaan, diffunderen naar het bloedplasma. De H^+ -ionen die bij de reactie ontstaan, worden gebonden aan hemoglobine. Hierbij komt O_2 vrij dat aan de cellen wordt afgegeven (zie afbeelding 12.1).

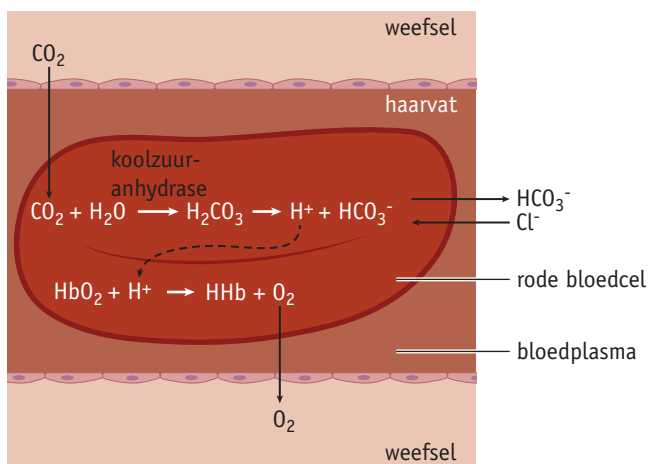
■ **Afb. 11** Evenwichtsreactie.



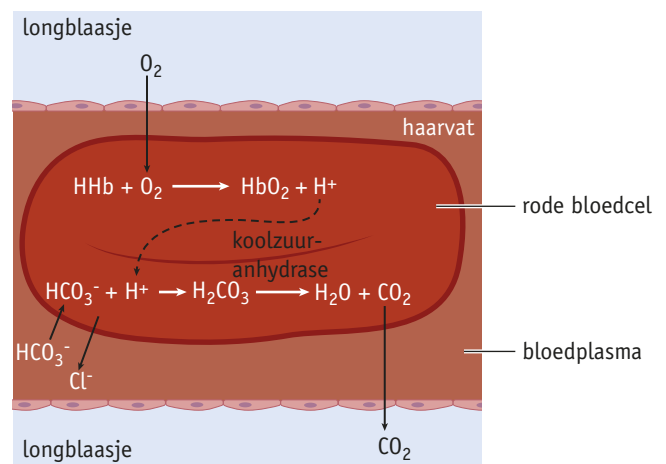
Om te voorkomen dat de diffusie van HCO_3^- -ionen uit de rode bloedcel naar het bloedplasma het elektrisch ladingsverschil van het celmembraan verstoort, gaan Cl^- -ionen vanuit het bloedplasma de rode bloedcellen in.

In de longhaarvaten diffundeert het opgeloste CO_2 vanuit het bloedplasma naar het alveolaire vocht. Door verlaging van de concentratie CO_2 in het bloedplasma verschuift het evenwicht van de reactie, waardoor het aan hemoglobine gebonden CO_2 vrijkomt. Doordat er nu opnieuw zuurstof aan de hemoglobine wordt gebonden, komen ook de gebonden H^+ -ionen vrij (zie afbeelding 12.2). HCO_3^- -ionen diffunderen vanuit het bloedplasma naar de rode bloedcellen. Samen met de H^+ -ionen vormen ze H_2CO_3 , dat onder invloed van koolzuuranhydrase meteen wordt gesplitst in CO_2 en H_2O . Het vrijgekomen CO_2 verlaat de rode bloedcellen en diffundeert naar het alveolaire vocht. Zie ook **BiNaS** tabel 83E.

■ **Afb. 12** Het transport van koolstofdioxide.



1 uitwisseling van zuurstof en koolstofdioxide in weefselhaarvaten



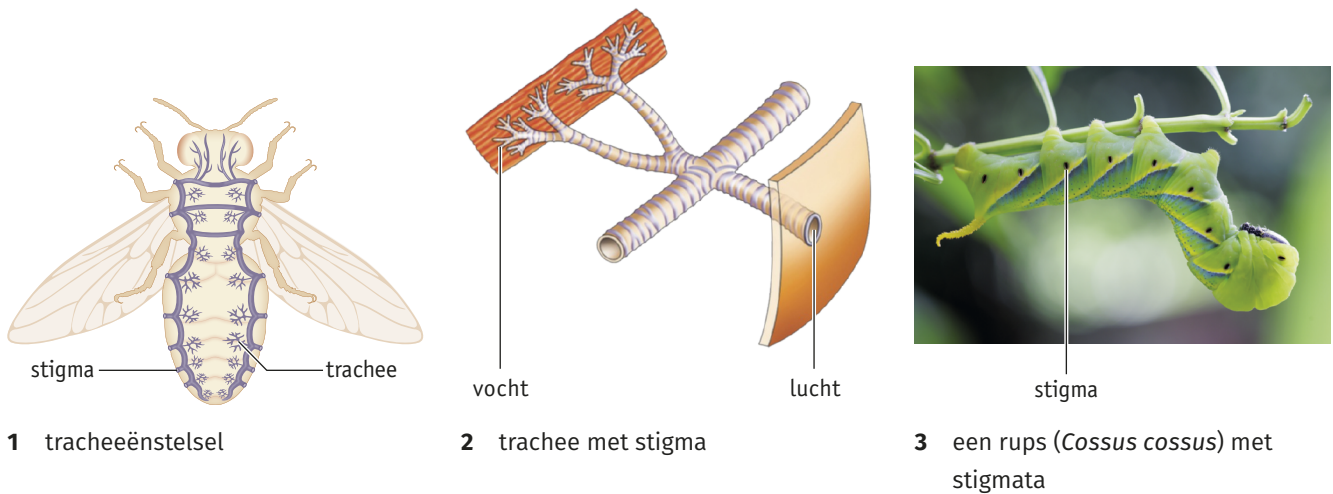
2 uitwisseling van zuurstof en koolstofdioxide in longhaarvaten

GASWISSELING BIJ INSECTEN

Ook bij andere organismen vindt gaswisseling plaats. Bij eencelligen gebeurt dit door diffusie over het celmembraan. Bij wormen wordt de hele huid gebruikt als ademhalingsorgaan. Insecten hebben een chitinelag waar geen zuurstof doorheen kan. Daarom hebben zij een systeem van sterk vertakte adembuizen: tracheeën (zie afbeelding 13.1). Bij veel insecten bevinden zich vooral in het achterlijf de openingen van de tracheeën: de stigmata (enkelvoud: stigma) (zie afbeelding 13.2 en 13.3). Een insect kan de lucht verversen door pompende bewegingen met het achterlijf te maken.

De uiteinden van tracheeën zijn gevuld met vocht. Via dit vocht diffundeert zuurstof vanuit de lucht naar de cellen. Koolstofdioxide diffundeert in tegengestelde richting. Het bloed van insecten bevat geen hemoglobine; gassen diffunderen rechtstreeks van en naar de cellen.

■ Afb. 13 Gaswisselingsorganen bij insecten.

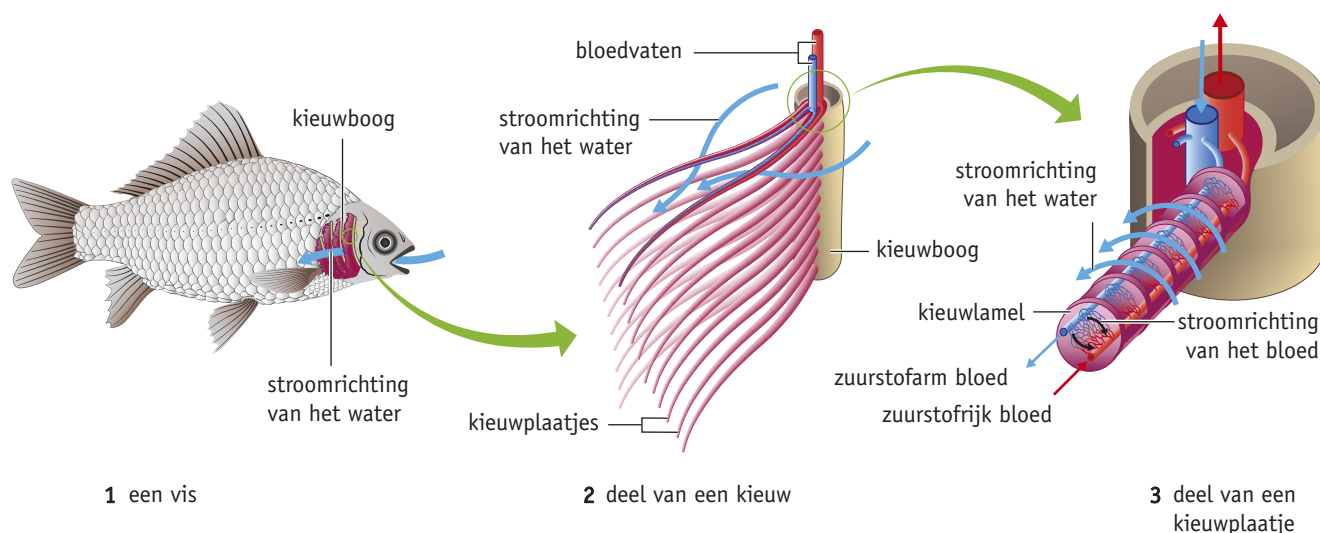


GASWISSELING BIJ VISSEN

Bij vissen vindt gaswisseling plaats in kieuwen die vlak achter de kop in de kieuwholten liggen (zie afbeelding 14.1). De kieuwen zijn opgebouwd uit kieuwbogen met een groot aantal kieuwplaatjes. Op de kieuwplaatjes bevinden zich dunne kieuwlamellen met veel kleine haarvaten (zie afbeelding 14.2). Omdat water weinig zuurstof bevat, ververst een vis voortdurend het water in de kieuwen. Bij de meeste vissen gebeurt dit door het afwisselend openen en sluiten van de bek en de kieuwdeksels. Hierbij wordt het water langs de kieuwlamellen geperst. Het bloed bevat hemoglobine, waardoor 80% van de zuurstof uit het water kan worden opgenomen.

Bij de kieuwlamellen is de stroomrichting van het water tegengesteld aan de stroomrichting van het bloed. Door dit **tegenstroomprincipe** kan veel zuurstof uit het water worden opgenomen. In afbeelding 14.3 is dit weergegeven. Door de vele kieuwlamellen is het gaswisselingsoppervlak zeer groot.

■ Afb. 14 Het tegenstroomprincipe bij een vis (schematisch).



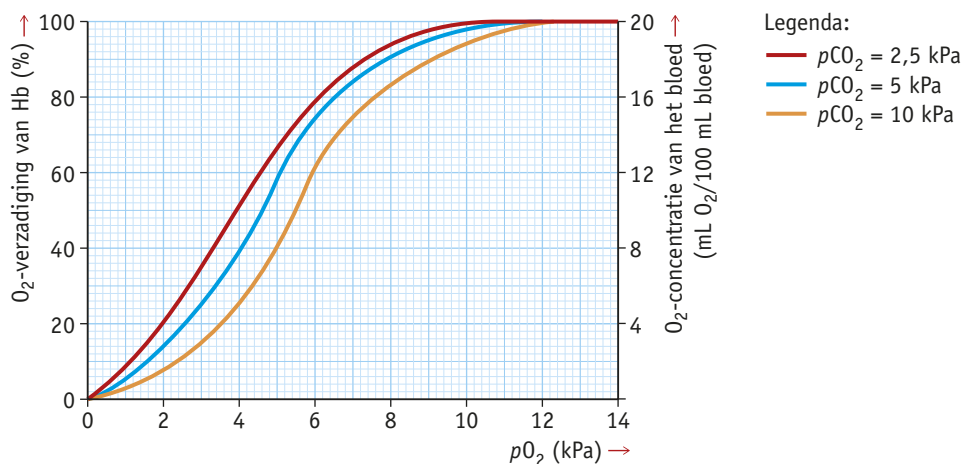
Opdrachten KENNIS

- 4
 - a Heeft een afname van 25% van de pO_2 van de buitenlucht grote gevolgen voor de zuurstofopname in de longhaarvaten? Leg je antwoord uit aan de hand van afbeelding 10.
 - b Hoeveel milliliter O_2 wordt door 100 mL bloed in de haarvaten van een weefsel in rust afgegeven? Gebruik bij deze vraag afbeelding 10 en noteer je berekening.
 - c Leg uit dat het gunstig is dat de verzadigingscurve van hemoglobine het steilst loopt bij pO_2 -waarden die in de weefsels voorkomen.
- 5 Ook bij de gaswisseling van insecten en vissen is de wet van Fick van toepassing. Beantwoord de vragen. Doe dit door in je schrift een tabel te maken en de vragen en antwoorden in deze tabel te noteren (zie het voorbeeld hierna).
 - a Waardoor is het gaswisselingsoppervlak groot?
 - b Hoe vindt de verversing van lucht in het ademhalingsorgaan plaats?
 - c Waardoor is de diffusieafstand klein?
 - d Waardoor is het concentratieverschil groot? Geef voor vissen twee antwoorden.

	Insecten	Vissen
a Waardoor is het gaswisselingsoppervlak groot?		
b Hoe vindt de verversing van lucht in het ademhalingsorgaan plaats?		
c Waardoor is de diffusieafstand klein?		
d Waardoor is het concentratieverschil groot? Geef voor vissen twee antwoorden.		

- 6 Koolzuuranhydrase bevindt zich in de rode bloedcellen en niet in het bloedplasma. Leg uit welk voordeel dat heeft.
- 7 In afbeelding 15 zijn verzadigingscurven van hemoglobine weergegeven bij verschillende koolstofdioxideconcentraties. Gebruik deze afbeelding bij de volgende vragen.
 - a In weefsel P is een pO_2 van 5 kPa en een pCO_2 van 5 kPa. Hoeveel milliliter O_2 bevat 100 mL bloed onder deze omstandigheden?
 - b In weefsel Q is ook een pO_2 van 5 kPa, maar de pCO_2 is gedaald tot 2,5 kPa. Hoeveel milliliter O_2 bevat 100 mL bloed onder deze omstandigheden?
 - c Welk voordeel heeft het dat de pCO_2 van de weefsels invloed heeft op de ligging van het evenwicht bij de reactie tussen hemoglobine en zuurstof?

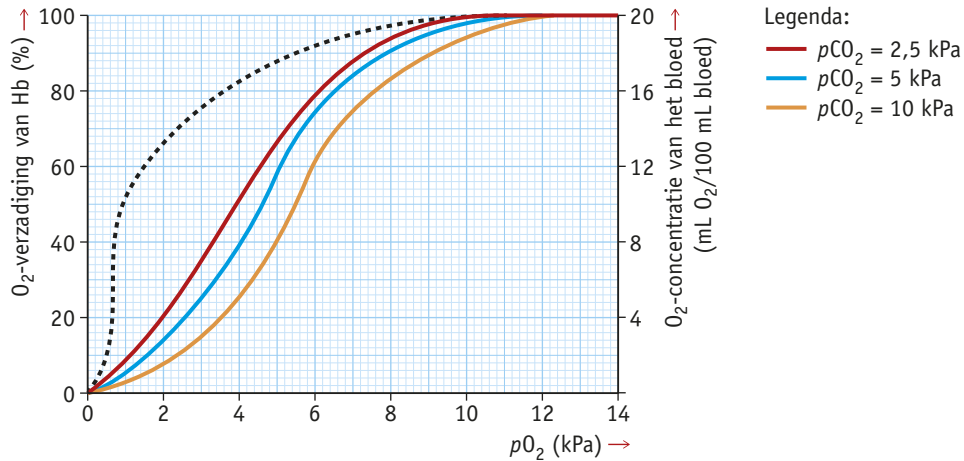
■ **Afb. 15** Verzadigingscurven van hemoglobine bij verschillende koolstofdioxideconcentraties.



- 8 Bij een gewichtheffer heeft het bloed dat de longen verlaat en in de haarvaten van een spier aankomt een pO_2 van 14 kPa en een pCO_2 van 2,7 kPa. Bij zijn armspieren in rust is er een pO_2 van 6 kPa en een pCO_2 van 5 kPa. Bij zijn armtraining daalt de pO_2 van de gewichtheffer naar 3,0 en zijn pCO_2 stijgt naar 10 kPa. Bereken met behulp van afbeelding 15 hoeveel extra zuurstof er bij de training aan zijn armspieren wordt afgegeven in vergelijking met zijn rustsituatie. Noteer de berekening.

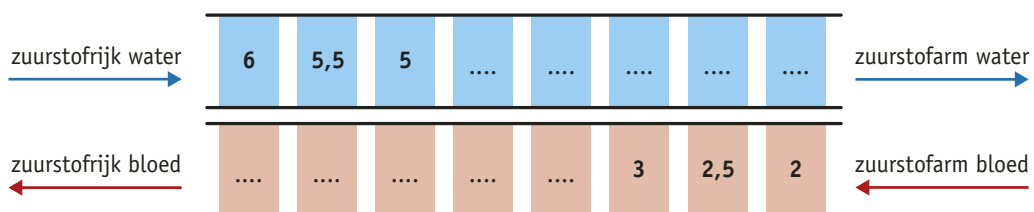
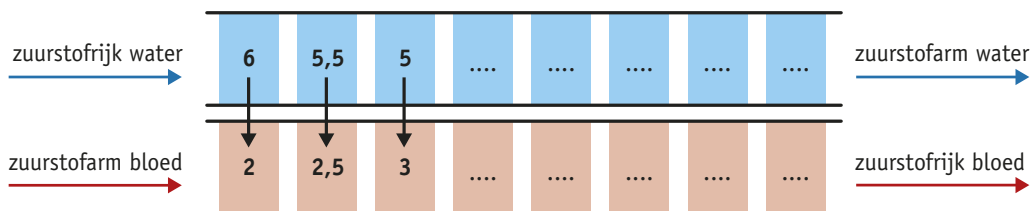
- 9 Onderzoekers ontdekken bij een bepaalde worm, de bloedworm, een type hemoglobine met een afwijkende verzadigingscurve. Deze curve is in afbeelding 16 met de stippellijn weergegeven. De onderzoekers vermoeden dat dit type hemoglobine is geëvolueerd bij deze worm, omdat deze in een bijzonder milieu leeft. In welk milieu leeft deze bloedworm? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 16** De O_2 -verzadigingscurve van de hemoglobine van de bloedworm in vergelijking met normale hemoglobine.



- 10 Het effect van het tegenstroomprincipe kun je nagaan door twee modellen met elkaar te vergelijken. In afbeelding 17.1 stroomt het bloed in het bloedvat in dezelfde richting als het water; in afbeelding 17.2 in tegengestelde richting. De zuurstofconcentratie is op enkele plaatsen in ‰ (promille) weergegeven; de pijltjes tussen de getallen geven de richting aan waarin zuurstof diffundeert. (De modellen zijn theoretisch; ze gaan ervan uit dat het bloed geen hemoglobine bevat.)
- a Vul op de opengebleven plaatsen de zuurstofconcentratie in van het water en van het bloed. Geef met pijltjes aan waar nettodiffusie van O_2 plaatsvindt.
- b Vergelijk beide modellen.
In welk model vindt de meeste zuurstofopname plaats?

■ **Afb. 17** Model van de werking van het tegenstroomprincipe.



- 11 Koolstofmonoxide (CO) is een reukloos gas dat ontstaat door onvolledige verbranding in bijvoorbeeld verwarmingsketels. Onvolledige verbranding vindt plaats als er onvoldoende zuurstof is, bijvoorbeeld in een slecht geventileerde ruimte. Na inademing bindt CO op dezelfde plaats in het Hb-molecuul als O₂, alleen ongeveer 200× zo sterk. Deze verbinding wordt daardoor niet gemakkelijk verbroken. Als je in een ruimte met 0,05% CO verblijft, raakt al bijna de helft van je hemoglobine verzadigd met CO. In een experiment verblijft een proefpersoon op zeeniveau en ademt een bepaalde hoeveelheid CO in. Enkele uren later ademt hij dezelfde hoeveelheid CO in op een hoogte van 5000 m. In tabel 2 zijn enkele verschillen tussen zeeniveau en 5000 m hoogte opgenomen.
- Is bij de proefpersoon de maximale hoeveelheid CO per milliliter bloed op zeeniveau kleiner dan, gelijk aan of groter dan die op 5000 m hoogte? Leg je antwoord uit.

Tabel 2 Luchtdruk en zuurstofdruk op verschillende hoogten.

	Zeeniveau	5000 m
Luchtdruk (kPa)	101,0	54,0
pO_2 in ingeademde lucht (kPa)	19,8	10,0
pO_2 in longblaasjes (kPa)	14,0	5,6

- 12 De hemoglobine van een ongeboren kind heeft een iets andere samenstelling dan de hemoglobine van een volwassen persoon. Hierdoor heeft de hemoglobine van het ongeboren kind een andere verzadigingscurve (zie **BiNaS** tabel 83D). Leg uit wat het voordeel is van dit andere type hemoglobine voor het ongeboren kind.

 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

WAARIN EEN MINILONG GROOT KAN ZIJN

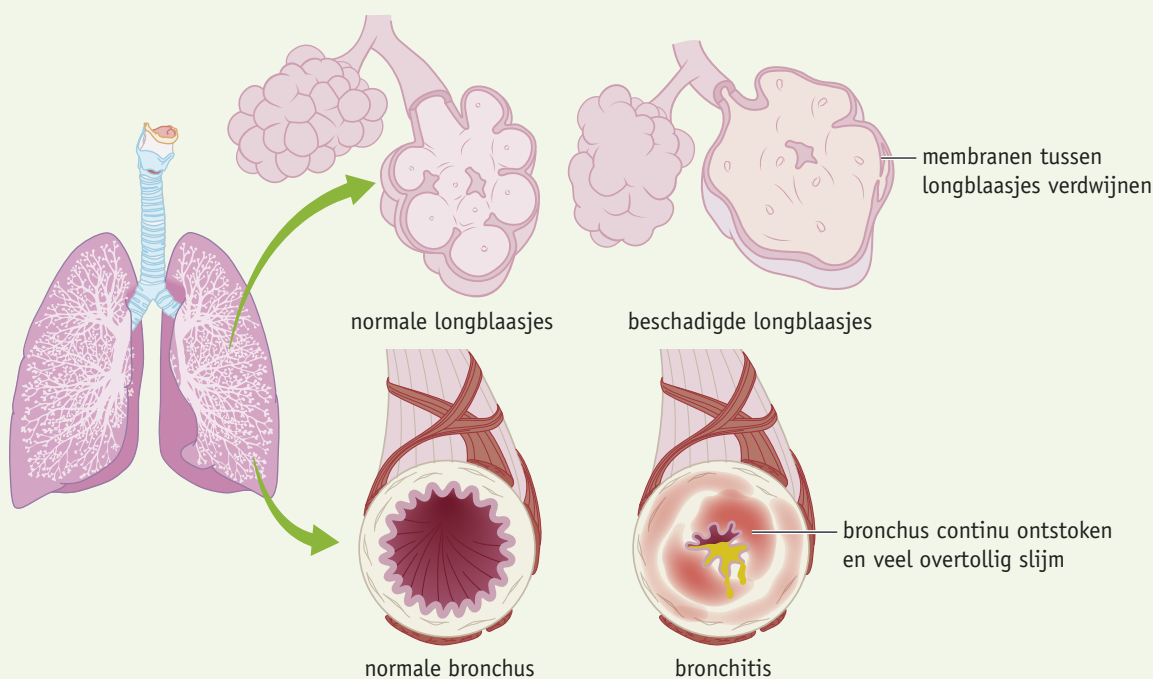
Per jaar sterven zeventuizend patiënten aan de longziekte COPD, *Chronic Obstructive Pulmonary Disease*. COPD is een verzamelnaam voor chronische bronchitis en longemfyseem (zie afbeelding 18). Bij chronische bronchitis zijn bronchiën continu ontstoken en vernauwd. Bij longemfyseem zijn de longblaasjes beschadigd. Er is nog geen genezing voor COPD mogelijk. Wel zijn er medicijnen, zoals luchtwegverwijders en ontstekingsremmers, die de symptomen bestrijden.

Een veelbelovend onderzoek naar een regeneratieve behandeling van COPD is het ontwikkelen van minilongen. In 2009 lukte het de Utrechtse hoogleraar Hans Clevers om uit stamcellen mini-organen, zogenoemde organoïden, te kweken. Er zijn al minidarmen, mininieren, een miniluchtpijp en minibronchiën gekweekt. Het ontwikkelen van minilongblaasjes bleek een stuk lastiger, vanwege de complexiteit van dit weefsel. 'Ze zijn niet groter dan

de punt van een naald, maar erg belangrijk bij het huidige onderzoek', vertelt prof. dr. Carla Kim van het Boston Children's Hospital.

Er zijn twee manieren waarop je onderzoek met deze minilongen mogelijk kunt toepassen. Ten eerste zijn bij longemfyseem stamcellen in de longen beschadigd, waardoor longblaasjes niet meer herstellen. Door aan de minilongen medicijnen toe te voegen, is snel zichtbaar welke medicijnen de stamcellen activeren om te delen. Deze medicijnen zou je aan patiënten kunnen geven om zo longblaasjes te herstellen. Ten tweede zou je minilongweefsel kunnen ontwikkelen dat als een soort pleister over beschadigd longweefsel heen wordt geplakt. Beschadigd longweefsel zou hierdoor kunnen worden gerepareerd. Hoewel het nog even duurt voordat deze technieken bij patiënten kunnen worden toegepast, zijn de onderzoeksresultaten bemoedigend.

■ Afb. 18 COPD.



Opdrachten

- 13** Bij het beantwoorden van de vragen kun je gebruikmaken van informatie op internet, bijvoorbeeld van het Longfonds.
- Bij zowel chronische bronchitis als astma zijn de bronchiën en bronchiolen vernauwd. Toch is er een belangrijk verschil tussen chronische bronchitis en astma.
- a** Wat is het grote verschil tussen chronische bronchitis en astma?
 - b** Mensen met COPD hebben verschillende klachten (symptomen). Een aantal symptomen zijn benauwdheid, hoesten, kortademigheid en vermoeidheid. Leg uit wat het verband is tussen COPD en de symptomen kortademigheid en vermoeidheid.
 - c** Bijna altijd is roken de oorzaak van COPD. Noem minstens drie andere oorzaken.
 - d** In de tekst wordt gesteld dat het onderzoek naar minilongen kan leiden naar een regeneratieve behandeling van COPD. Wat wordt bedoeld met regeneratieve behandeling? Leg je antwoord uit.
 - e** Bij mensen die roken raakt ook het trilhaarepitheel beschadigd. Een van de gevolgen is veel hoesten. Leg uit hoe deze zogenoemde rokershoest ontstaat.

2 LONGVENTILATIE

LEERDOELEN

14.2.1 Je kunt uitleggen op welke wijze longventilatie tot stand komt en wordt geregeld.

► Vaardigheid 7 (thema 1)

14.2.2 Je kunt beschrijven hoe het longvolume verandert tijdens ventilatiebewegingen.

► Practica 2, 3 en 4

14.2.3 Je kunt beschrijven hoe de ademfrequentie wordt geregeld.

TAXONOMIE

LEERDOELEN EN OPDRACHTEN

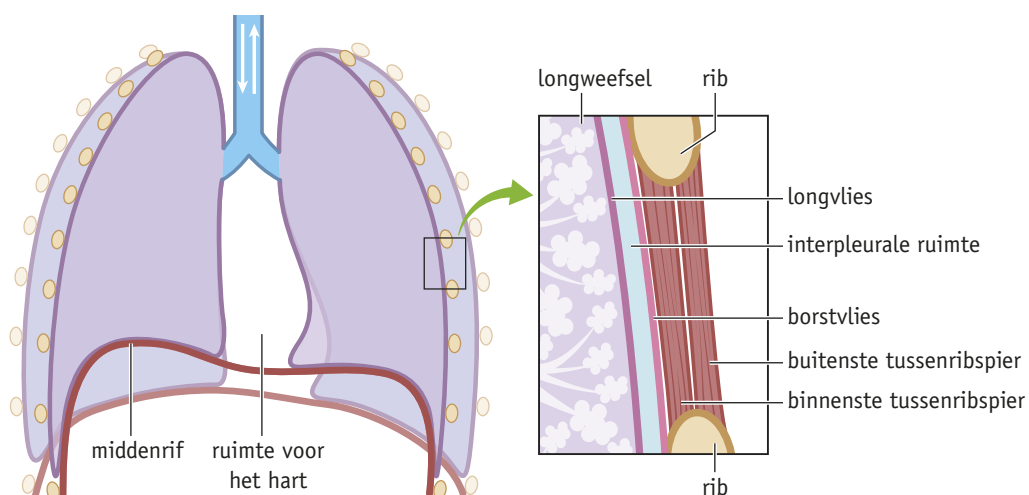
	14.2.1	14.2.2	14.2.3
Begrijpen	14a, 15, 16, 24a	14b, 17, 24c	18
Toepassen	25, 26	20c, 24b	19b, 21a
Analyseren	22	20ab, 23	19a, 21b

Wanneer een diepzeeduiker na een lang verblijf onder water snel opstijgt, kan de caissonziekte optreden. Hierbij ontstaan stikstofbellen die afsluitingen veroorzaken in weefsels en bloedvaten. De duiker krijgt last van hoofdpijn, duizeligheid, spierpijn en verlammingen en kan zelfs overlijden.

DE BORSTHOLTE

Om de pO_2 en pCO_2 constant te houden, moet de lucht in de longen voortdurend worden verversd. Je noemt dit **longventilatie**. De longen liggen in de borstholte. De borstholte is aan de onderkant begrensd door het middenrif. Het middenrif is een koepelvormige, gespierde plaat. De zijwanden van de borstholte worden gevormd door de ribben en de binnenste en buitenste tussenribspieren (zie afbeelding 19). Elke long is omgeven door twee vliezen (pleura). Het longvlies ligt tegen de longen aan en is ermee vergroeid. Het borstvlies is vergroeid met de ribben, de binnenste tussenribspieren en het middenrif. Het middenrif, de binnenste en buitenste tussenribspieren en de buikspieren zijn de **ademhalingsspieren**.

■ **Afb. 19** Doorsnede van de borstholte met longen.



In de ruimte tussen longvlies en borstvlies, de **interpleurale ruimte**, zit alleen een dunne laag vloeistof en geen lucht. Door het dunne laagje vloeistof in de interpleurale ruimte kunnen longvlies en borstvlies niet van elkaar afgaan, maar wel ten opzichte van elkaar schuiven. Hierdoor wordt voorkomen dat ruwe, plotselinge bewegingen van het bovenlichaam leiden tot scheurtjes in het tere longweefsel.

Het longweefsel is elastisch en verkeert in een 'uitgerekte' toestand, doordat er door de borstkas aan wordt getrokken. Hierdoor is de druk in de interpleurale ruimte lager dan de druk van de buitenlucht.

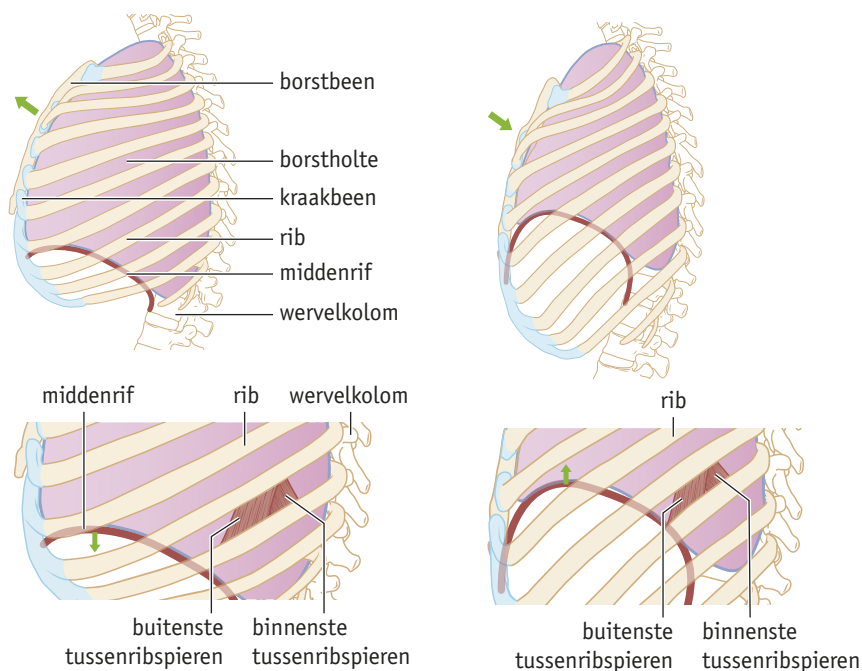
RUSTIG IN- EN UITADEMEN

Inademingen en uitademingen komen tot stand door bewegingen van ribben, borstbeen en middenrif. Bij ribademhaling (of borstademhaling) bewegen de ribben en het borstbeen omhoog. Bij middenrifademhaling (of buikademhaling) beweegt het middenrif omlaag. Als je normaal ademhaalt, vinden de **ventilatiebewegingen** van ribademhaling en middenrifademhaling tegelijkertijd plaats. Een ademhalingscyclus bestaat uit een inademiings- en een uitademiingsfase.

Een rustige inademing komt als volgt tot stand:

- 1 De buitenste tussenribspieren trekken samen, waardoor de ribben en het borstbeen omhoog en naar voren worden getrokken. Ook de middenrifspieren trekken samen. Hierdoor plat het middenrif af (zie afbeelding 20.1), worden de organen in de buikholte weggedrukt en komt de buikwand iets naar voren.
- 2 De bewegingen van ribben, borstbeen en middenrif zorgen ervoor dat het volume van de borstholte groter wordt.
- 3 Door het meebewegen van het longvlies met het borstvlies wordt het volume van de longen ook groter. De luchtdruk in de longen is daardoor lager (onderdruk) dan de druk van de buitenlucht.
- 4 Lucht stroomt naar binnen: inademing.

■ **Afb 20** Zij aanzicht van de borstholte.



1 inademiingsstand

2 uitademiingsstand

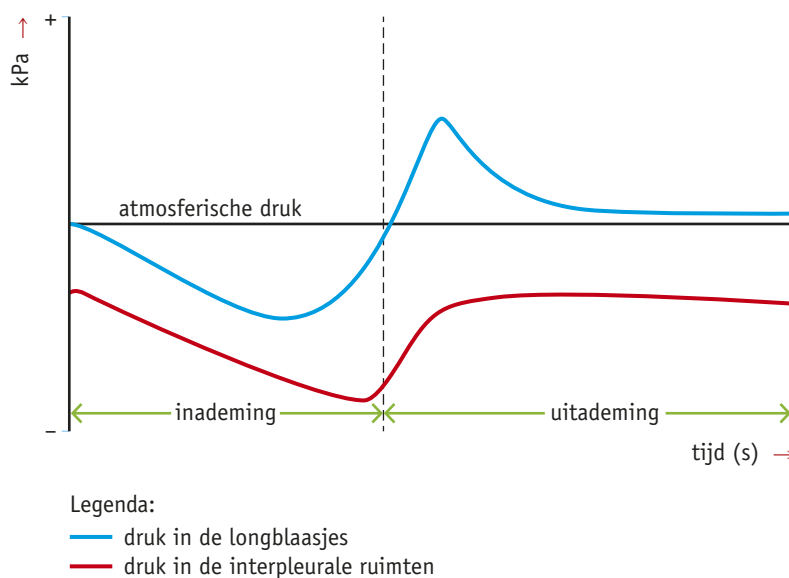
Een rustige uitademing komt passief tot stand:

- 1 De spieren die een inademing hebben veroorzaakt, ontspannen. De veerkracht van de zijwanden van de borstholte en de elasticiteit van het longweefsel zorgen ervoor dat de ribben en het borstbeen terugkeren in hun oorspronkelijke stand. Door de elasticiteit van de buikwand en de druk in de buikholte wordt het middenrif teruggeduwd in zijn koepelvormige stand (zie afbeelding 20.2).
- 2 Daardoor wordt het volume van de borstholte en de longen kleiner.
- 3 Tijdens deze volumeverkleining is de luchtdruk in de longen hoger dan de druk van de buitenlucht.
- 4 Hierdoor stroomt lucht naar buiten: uitademing.

DIEP IN- EN UITADEMEN

Bij een diepe inademing kunnen spieren in de hals samentrekken. Hierdoor gaan de ribben en het borstbeen nog verder omhoog en naar voren. De borstholte wordt daardoor extra groot. Bij een diepe uitademing (bijvoorbeeld bij hoesten) trekken de binnenste tussenribspieren samen. Daardoor wordt de borstkas extra klein gemaakt. Bovendien kunnen buikspieren samentrekken. Door de verhoogde druk in de buikholte wordt het middenrif omhooggeduwd. In afbeelding 21 is het verloop van de luchtdruk in de longblaasjes en de druk in de interpleurale ruimte weergegeven.

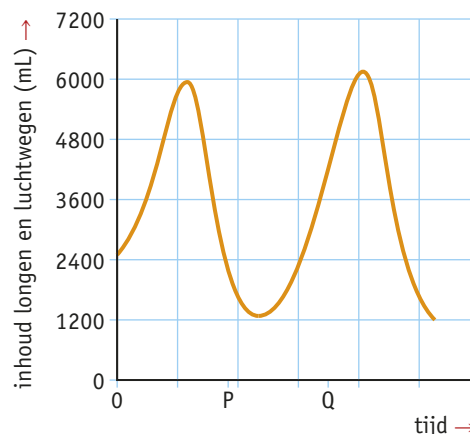
■ **Afb. 21** Verloop van de luchtdruk in de longblaasjes en de druk in de interpleurale ruimte tussen borstvlies en longvlies.



- 14 Het longvolume van een diep ademende persoon wordt gedurende enige tijd gemeten. In afbeelding 22 zijn de resultaten van deze metingen uitgezet.

- Trekken op tijdstip P ademhalingspijpen samen? Leg je antwoord uit.
- Is de $p\text{CO}_2$ in de luchtpijp op tijdstip P hoger of lager dan op tijdstip Q? Leg je antwoord uit.

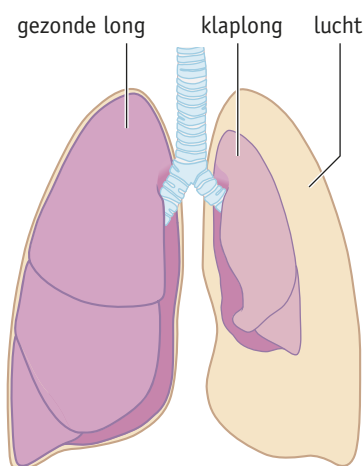
■ **Afb. 22** De inhoud van longen en luchtwegen.



- 15 Als bij een long een scheurtje in het borstvlies ontstaat, kan er lucht komen tussen het borstvlies en het longvlies. Je spreekt dan van een klaplong (zie afbeelding 23).

- Iemand die een klaplong heeft, gaat al bij geringe inspanning hijgen. Waardoor wordt dit hijgen vooral veroorzaakt?
- Als iemand een klaplong heeft, kijkt een arts met een röntgenfoto of er geen ribben zijn gebroken. Wat is de relatie tussen een ribbreuk en een klaplong?

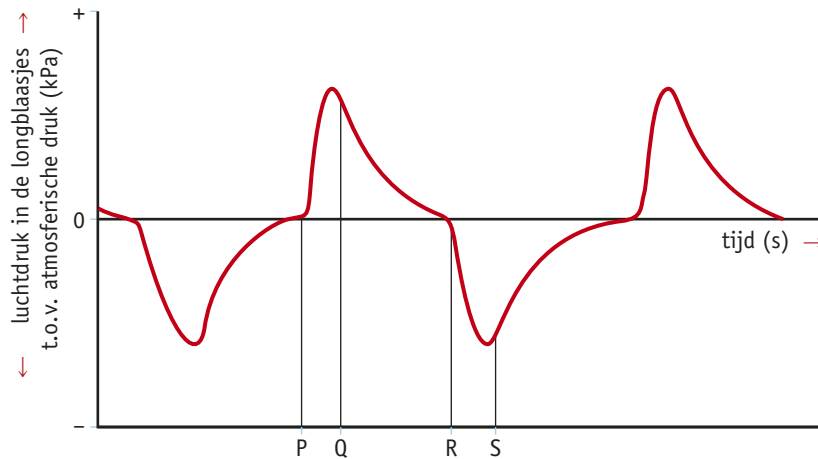
■ **Afb. 23** Een klaplong.



- 16 In afbeelding 24 is in een diagram het verloop van de luchtdruk in de longblaasjes weergegeven gedurende enkele opeenvolgende ventilatiebewegingen. Vier momenten zijn met letters aangegeven.

- Welk moment geeft het begin van een inademing weer? En welk moment geeft het begin van een uitademing weer? Leg je antwoorden uit.
- Daalt of stijgt de druk in de interpleurale ruimte bij het begin van een inademing? En bij het begin van een uitademing?

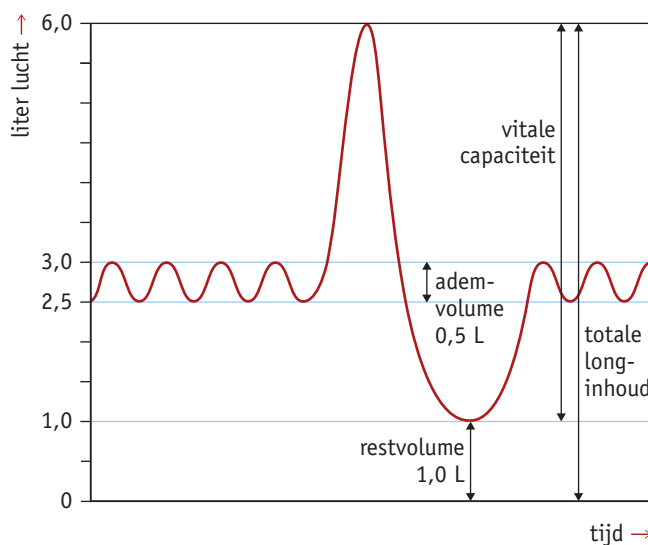
■ **Afb. 24** Luchtdruk in de longblaasjes ten opzichte van de atmosferische druk.



ADEM VOLUME

Een volwassen persoon die rustig ademhaalt, ademt per ademhaling ongeveer 0,5 L lucht in en uit (zie afbeelding 25 en **BiNaS** tabel 83B). Je noemt deze hoeveelheid het ademvolume. Niet al deze lucht bereikt de longblaasjes. Ongeveer 150 mL lucht komt niet verder dan de bronchiën, luchtpijp en keel- of neusholte. Dit noem je de **dode ruimte**. De lucht in de dode ruimte doet dus niet mee aan de gaswisseling bij de longblaasjes. Deze lucht wordt bij de volgende uitademing 'ongebruikt' weer uitgeademd. Deze lucht mengt zich met de uitgeademde lucht uit de longblaasjes. De lucht die je uitademt heeft daardoor een andere samenstelling dan de lucht in je longblaasjes.

■ **Afb. 25** Longvolume.



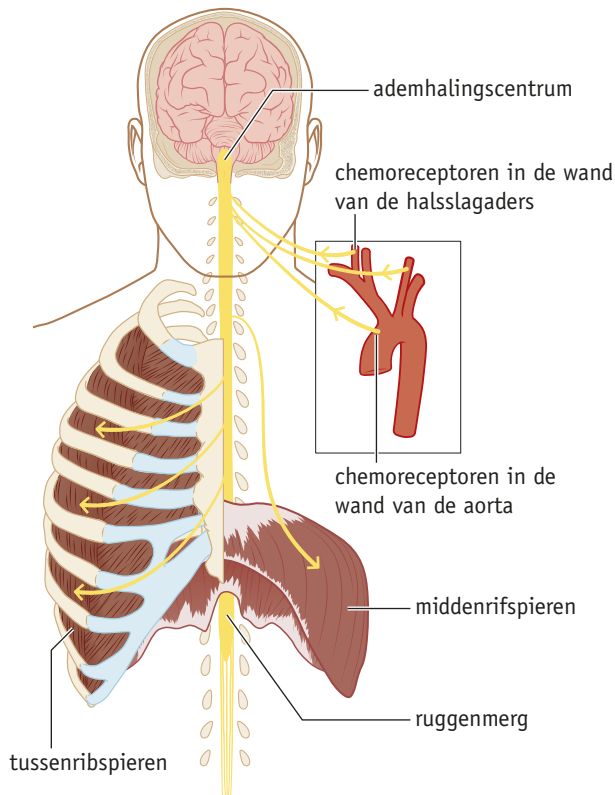
Bij een maximale inademing kun je gemiddeld 3 L lucht extra inademen. Je noemt deze hoeveelheid het inspiratoir reservevolume (inspiratie = inademing). Bij een maximale uitademing kun je gemiddeld 1,5 L lucht extra uitademen. Je noemt dit het expiratoir reservevolume (expiratie = uitademing). Er blijft dan gemiddeld nog 1 L lucht in je longen achter. Deze lucht heet het **restvolume**. Dat restvolume kan wel iets kleiner worden, maar er blijft in alle gevallen lucht achter in de longen.

De hoeveelheid lucht die je in één ademhaling maximaal kunt verplaatsen, heet de **vitale capaciteit**. De **longcapaciteit** (het totale longvolume) is de vitale capaciteit plus het restvolume.

REGELING VAN DE ADEMFREQUENTIE

Hoewel je kort je adem kunt inhouden, wordt de ademhaling grotendeels gereguleerd door het autonome zenuwstelsel. In de hersenstam ligt het **ademhalingscentrum**, een groep zenuwcellen die de diepte en frequentie van de ademhaling regelt. Dit gebeurt door de ademhalingsspieren te activeren of te remmen. In de hersenstam liggen ook pH-gevoelige **chemoreceptoren** die reageren op veranderingen in de H^+ -concentratie. Bij een toename van de pCO_2 daalt de pH-waarde van het bloed, doordat CO_2 wordt omgezet in HCO_3^- en H^+ (zie afbeelding 12 in basisstof 1). In de wand van de halsslagaders en de aorta zitten chemoreceptoren die de pCO_2 en pO_2 van het bloed waarnemen.

■ Afb. 26 Regeling van de ventilatie.



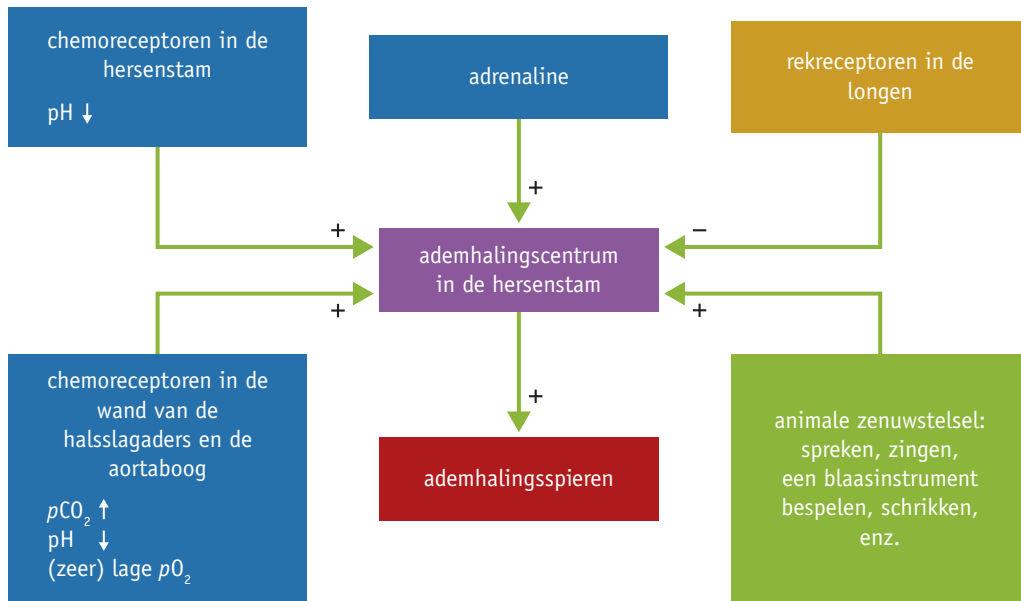
Bij zware inspanning stijgt de pCO_2 en daalt de pH van het bloed. Dit activeert de chemoreceptoren, die impulsen sturen naar het ademhalingscentrum. Dit centrum stuurt op zijn beurt impulsen via zenuwen naar de ademhalingsspieren (zie afbeelding 26). Hierdoor trekken deze spieren sneller en krachtiger samen, waardoor de hoeveelheid geventileerde lucht tot wel twintig keer groter wordt dan in rust.

De zuurstofconcentratie beïnvloedt de ademhaling meestal weinig. Onder bepaalde omstandigheden, zoals op grote hoogte waar de luchtdruk en pO_2 laag zijn, spelen zuurstofgevoelige chemoreceptoren in de halsslagader en aorta een belangrijke rol. Bij een lage pO_2 neemt het bloed minder zuurstof op, waardoor de chemoreceptoren meer impulsen sturen naar het ademhalingscentrum. Dit leidt tot dieper en sneller ademen, zelfs als de pCO_2 van je bloed gelijk blijft. Op grote hoogte versterkt een kleine stijging in pCO_2 de ademhaling meer dan op zeeniveau.

In het longweefsel zitten rekreceptoren die de uitrekking van de longen waarnemen. Bij inademing worden de longen uitgerekt en sturen deze receptoren impulsen naar het ademhalingscentrum om de inademing te stoppen, waarna uitademing volgt.

Naast deze onbewuste regeling kun je de ademhaling bewust aanpassen via de grote hersenen. Zodra je hiermee stopt, neemt het ademhalingscentrum de controle automatisch over. Reflexen, zoals slikken of schrikken, kunnen de ademhaling tijdelijk onderbreken. In afbeelding 27 is de regeling van de ademhaling samengevat.

■ **Afb 27** Regeling van de ademhaling.



Opdrachten KENNIS

- 17 In afbeelding 25 is het gemiddelde longvolume bij verschillende intensiteiten van ademhaling in een diagram weergegeven.
- Hoe groot is gemiddeld de totale longcapaciteit?
 - En hoe groot is gemiddeld het minimale longvolume?
 - Leg uit dat het functioneel is dat je vitale capaciteit niet even groot kan worden als je totale longvolume.
- 18 Onder invloed van prikkeling van rekreceptoren in de longen stopt de inademing, waarna een uitademing volgt. Dit heet de expiratoire reflex. Andere receptoren zorgen voor een inspiratoire reflex. Wanneer zal deze reflex plaatsvinden?

Opdrachten INZICHT

- 19
- De beïnvloeding van de ademfrequentie door de pO_2 van het bloed wordt een indirecte beïnvloeding genoemd. Leg dat uit.
 - Adrenaline stimuleert de ademhaling. Leg dit uit aan de hand van de functie van adrenaline.
- 20 Afbeelding 28 geeft het verloop van de pCO_2 (diagram 1) en pO_2 (diagram 2) in de luchtstroom van het begin tot het einde van één uitademing weer.
- Waardoor bevat de eerste 100 mL uitgeademde lucht minder CO_2 dan de laatste 100 mL uitgeademde lucht?
 - De pCO_2 wordt bepaald in een longslagadertje voordat er netto- CO_2 -afgifte aan de lucht in de longblaasjes heeft plaatsgevonden. Is deze pCO_2 lager dan 2,6 kPa, ligt deze tussen 2,6 kPa en 5,3 kPa of is deze hoger dan 5,3 kPa? Leg je antwoord uit.

- c In diagram 2 van afbeelding 28 zijn drie delen van het uitademingstraject aangegeven met letters. Welk van de delen R, S of T heeft betrekking op de pO_2 in een mengsel van lucht in de longblaasjes met lucht uit de dode ruimte? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 28** pCO_2 en pO_2 bij uitademing.

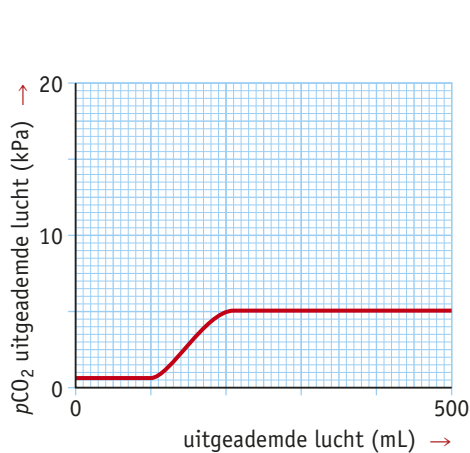


diagram 1

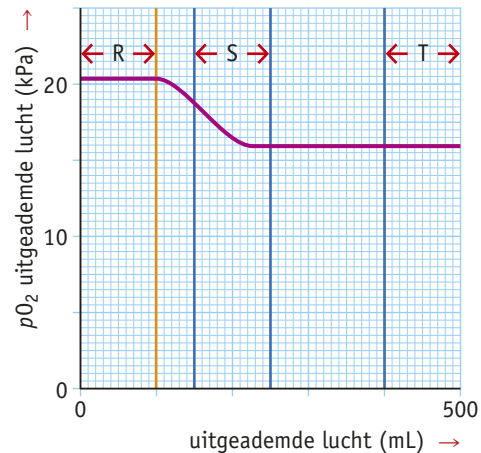


diagram 2

- 21 Mensen die veel koolstofmonoxide (CO) hebben ingeademd, kunnen bewusteloos raken en uiteindelijk overlijden. Iemand die door het inademen van CO bewusteloos is geraakt, wordt beademd met een mengsel van 95% O_2 en 5% CO_2 , niet met 100% O_2 .
- a Welke twee effecten heeft de toevoeging van CO_2 op de regulatie van de ademhaling?
- b Leg aan de hand van de wet van Fick uit waarom het toedienen van 95% zuurstof een effectieve behandeling is voor het verdrijven van koolstofmonoxide uit het bloed bij CO-vergiftiging.
- 22 In het International Space Station (ISS) is de luchtsamenstelling bijna gelijk aan die van de aarde. Het zuurstofgehalte is daar zelfs iets hoger. Toch kost ademhaling de astronauten meer moeite dan op aarde. Leg uit waarom een astronaut in het ISS meer moeite heeft met ademen.



23 Snorkelen

Naar: Voorronde Biologie Olympiade 2016, vraag 33.

Mensen proberen vaak onder water vissen te bekijken met behulp van een duikbril en een snorkel (zie afbeelding 29).

Waardoor is ademhaling onder water via een snorkel minder efficiënt dan ademhaling boven water?

- A De dode ruimte in de luchtwegen wordt bij gebruik van de snorkel vergroot.
- B De hoeveelheid achtergebleven lucht in de longen wordt bij gebruik van de snorkel groter.
- C De via de snorkel aangevoerde lucht wordt onvoldoende gezuiverd en verwarmd.

■ **Afb. 29** Snorkelende man.



📺 Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf*.

VAPEN REMT SPERMAPRODUCTIE

De e-sigaret of vape werd geïntroduceerd als het ‘gezonde’ alternatief voor roken. Bij vaperen worden oliën verbrand en inhaleer je de damp. Aan deze olie zijn allerlei smaakstofjes toegevoegd om het vaperen extra lekker te maken. Mede hierdoor is vaperen ook populair onder jongeren. In 2023 gebruikte 23,3% van de jongeren tussen de 15 en 17 jaar maandelijks een e-sigaret (zie afbeelding 30).

‘Vaperen lijkt misschien onschuldiger dan “gewoon roken”, maar dat is het niet’, aldus Esther Croes. Esther is arts-epidemioloog en werkzaam bij het Trimbos-instituut. ‘In de huidige vapes zit bijvoorbeeld vaak nicotinezuur. Dit is een vorm van nicotine die niet zo scherp is in de keel en snel in de hersenen aankomt. Zo raken deze tieners snel en ongemerkt verslaafd aan nicotine. Dat verstoort de aanleg van de hersenen, wat later in het leven kan leiden tot mentale problemen zoals angst- en concentratiestoornissen. Op korte termijn kan het een nicotinevergiftiging veroorzaken. Je krijgt dan hoofdpijn en wordt duizelig of misselijk’, vertelt Esther.

Hoewel er nog geen resultaten uit langetermijnstudies zijn, hebben onderzoekers al wel aangetoond dat vaperen kan leiden tot schade

aan luchtwegen, hart en bloedvaten en een verhoogde kans op kanker. Turks onderzoek bij ratten toonde aan dat vaperen leidt tot een verstoorde ontwikkeling van de teelballen. Een Deens onderzoek uit 2020, uitgevoerd bij meer dan tweeduizend mannen, toonde aan dat dagelijkse gebruikers van e-sigaretten een aanzienlijk lager aantal zaadcellen hadden vergeleken met niet-gebruikers. Kortom, vaperen is echt niet het ‘gezonde alternatief’.

■ Afb. 30 Vapende meisjes.



Opdrachten

- 24** In de tekst staat dat er over de effecten van vaperen nog geen resultaten uit langetermijnstudies zijn.
- a** Leg uit waardoor het komt dat resultaten uit langetermijnstudies ontbreken.
 - b** Hoewel resultaten uit langetermijnstudies ontbreken, wordt er wel steeds meer bekend over de schadelijke gevolgen van vaperen. Enkele gevolgen zijn irritatie, longontsteking, hoesten, piepen, een vergrote kans op kanker en kans op bronchiolitis obliterans. Wat zijn de symptomen van bronchiolitis obliterans? Gebruik bij het beantwoorden van deze vraag informatie van het internet.
 - c** Door bronchiolitis obliterans worden de bronchiolen geblokkeerd. Wat is het effect op de vitale capaciteit van een patiënt met bronchiolitis obliterans?
- 25** Waarom is het belangrijk dat juist jongeren worden ontmoedigd om te gaan vaperen?
- 26** Het roken van een vape is op zich al ongezond, maar artsen zijn ook bang dat vaperen sneller leidt tot het roken van gewone sigaretten. Waarom zijn artsen zo bezorgd over het feit dat vaperen leidt tot het roken van gewone sigaretten?

3 DE LEVER

LEERDOELEN

14.3.1 Je kunt de bouw, werking en functies van de lever beschrijven.

14.3.2 Je kunt uitleggen hoe het inwendige milieu min of meer constant wordt gehouden door de lever (homeostase).

- Vaardigheden 4 en 7 (thema 1)
- Practica 5 en 6

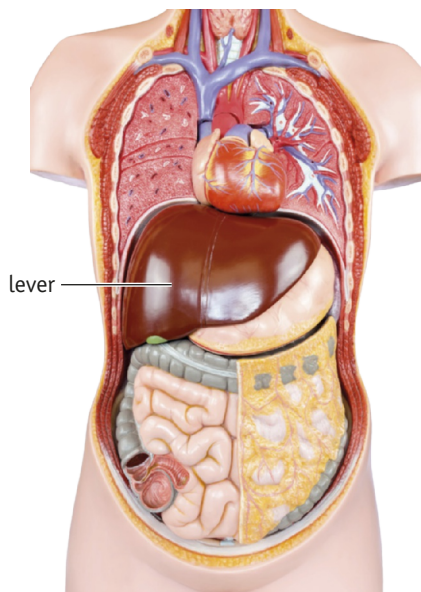
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	14.3.1	14.3.2
Begrijpen	27, 29, 35a	28
Toepassen	30, 34abd, 35bce	
Analyseren	32, 34c, 35d	31, 33

Orgaanvlees, zoals kalfslever, kun je kopen bij de slager. Lever bevat veel vitamine A en ijzer. Je kunt dit vlees gerust af en toe eten, maar niet te veel. De lever is onder andere een opslagplaats voor gifstoffen.

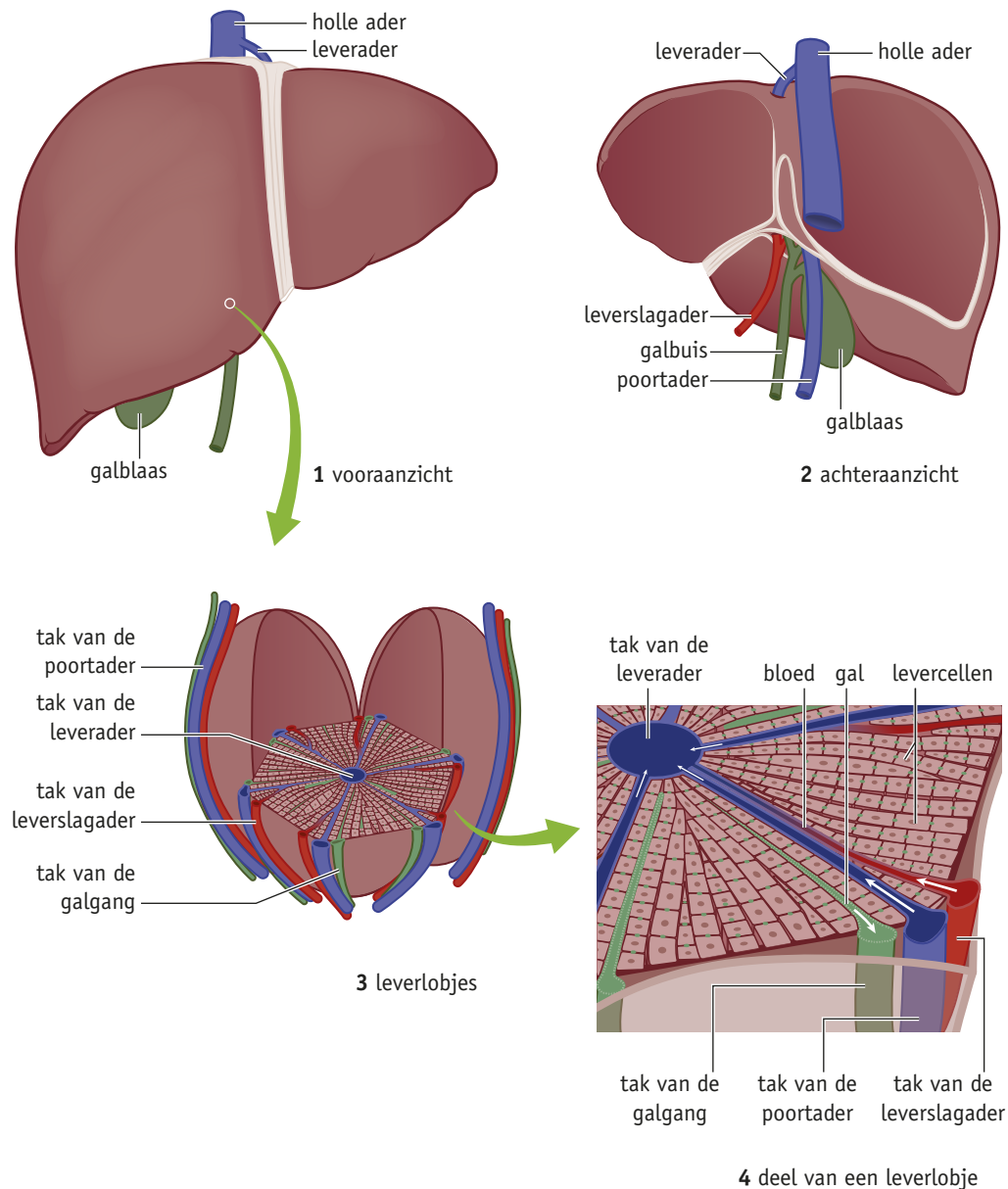
DE BOUW VAN DE LEVER

De **lever** ligt rechtsboven in de buikholte tegen het middenrif aan (zie afbeelding 31). De lever ontvangt zuurstofrijk bloed van de leverslagader en zuurstofarm bloed van de poortader. Het bloed dat afkomstig is uit de poortader bevat veel voedingsstoffen. De leverader voert het bloed weg van de lever. De lever bestaat uit heel veel zeshoekige **leverlobjes** van ongeveer één millimeter in doorsnede. Op de hoekpunten van een leverlobje bevinden zich aftakkingen van de poortader en de leverslagader. Op deze plaatsen zitten ook aftakkingen van de galgang (zie afbeelding 32 en **BiNaS** tabel 82D). In het midden van een leverlobje zit een aftakking van de leverader.

■ **Afb. 31** De ligging van de lever.



■ **Afb. 32** De bouw van de lever.



HOMEOSTASE

Het bloed van de poortader en leverslagader komt vanuit de aftakkingen op de hoekpunten terecht in ruimten tussen de cellen van een leverlobje. De levercellen nemen stoffen uit het bloed op en geven stoffen aan het bloed af. Het bloed stroomt naar het midden van een leverlobje en wordt via de aftakking van de leverader afgevoerd.

Doordat het bloed uit een groot deel van het darmkanaal via de poortader naar de lever stroomt, kan de lever controle uitoefenen op de samenstelling van het bloedplasma. De lever speelt een belangrijke rol bij de homeostase. Door het omzetten van stoffen en door opslag en uitscheiding van stoffen zorgt de lever voor een min of meer constant **inwendig milieu**.

FUNCTIES VAN DE LEVER

In de lever vinden veel stofwisselingsprocessen plaats.

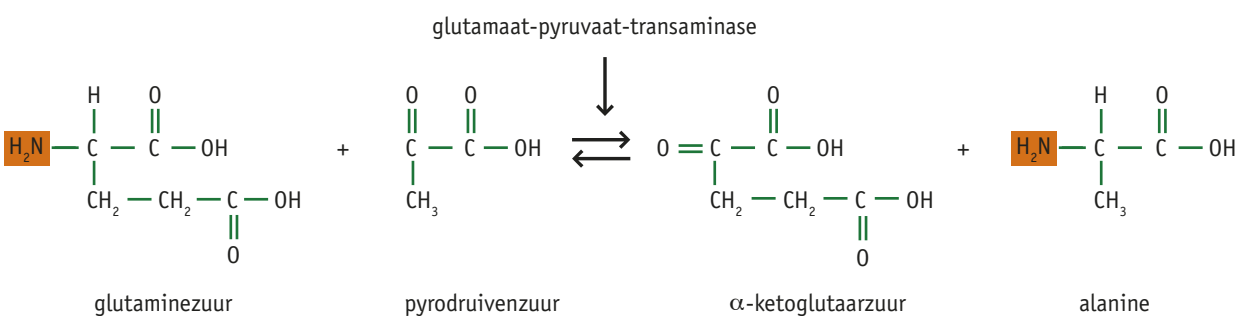
Emulgeren en afbraak van bloedcellen

- De cellen van de lever produceren gal. De gal stroomt in de richting van de hoekpunten en wordt via fijne vertakkingen van de galgang afgevoerd. De gal wordt verzameld en tijdelijk opgeslagen in de galblaas (zie afbeelding 32). Via de galbuis komt de gal in de twaalfvingerige darm terecht. Gal bevat onder andere water, galzuren, cholesterol en bilirubine. Galzuren emulgeren vetten en oliën. In het darmkanaal worden de galzuren omgezet in galzouten.
- De lever is betrokken bij de afbraak van verouderde en beschadigde rode bloedcellen. Als de rode bloedcellen ouder worden, dan wordt de hemoglobine via een reeks tussenproducten omgezet in **bilirubine**. Bilirubine is een oranjegele galkleurstof. Deze is onoplosbaar in water en komt via de bloedbaan in de lever terecht, waar de bilirubine oplosbaar wordt gemaakt. Bilirubine wordt door de lever via de galwegen uitgescheiden. In de dikke darm wordt bilirubine onder invloed van enzymen van darmbacteriën omgezet in andere kleurstoffen. Deze kleurstoffen geven de bruine kleur aan de ontlasting.
- Bij de afbraak van hemoglobine komt het ijzer uit de heemgroepen vrij. Dit ijzer wordt gebonden aan een eiwit, waardoor ferritine ontstaat. Ferritine wordt vooral in de lever opgeslagen. Het ijzer kan weer vrijkomen uit ferritine en onder andere worden hergebruikt bij de aanmaak van hemoglobine. Behalve ijzer kunnen ook andere mineralen (kalium, koper) en vitaminen (A, B12 en D) in de lever worden opgeslagen.

Koolhydraat-, eiwit- en vetstofwisseling

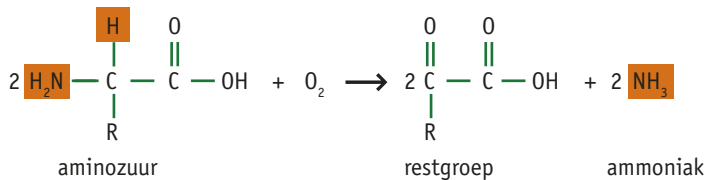
- De lever speelt een belangrijke rol in de koolhydraatstofwisseling door glycogeen op te slaan en vrij te maken zodra dat nodig is. De glucoseconcentratie in het bloed is gemiddeld 0,1%. De hormonen insuline en glucagon worden door de α - en β -cellen van de eilandjes van Langerhans in de alvleesklier gemaakt. Zij zorgen samen met de lever voor het handhaven van deze normwaarde.
- Als er geen glycogeen meer ligt opgeslagen in de lever en de spieren, kan de lever glucose maken uit aminozuren en vetzuren.
- De lever heeft functies bij de eiwitstofwisseling, waarbij in de lever eiwitten worden gevormd uit aminozuren. Aminozuren die in het darmkanaal in het bloed zijn opgenomen, worden via de poortader naar de lever vervoerd. Een deel van deze aminozuren zal onveranderd weer via de leverader worden afgevoerd. Een ander deel wordt gebruikt om eiwitten van te maken.
- Aminozuren kunnen in de lever door transaminering worden omgezet in andere, niet-essentiële aminozuren. Dit gebeurt door overplaatsing van de aminogroep ($-\text{NH}_2$). In afbeelding 33 is weergegeven hoe door transaminering uit glutaminezuur en pyrodruivenzuur het aminozuur alanine kan ontstaan. De aminozuren in het inwendige milieu verkeren in een onderling evenwicht. Door transaminering kan de lever dit evenwicht handhaven.

■ Afb. 33 Transaminering.

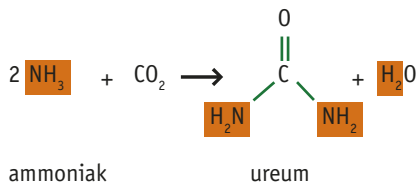


- Je lichaam kan geen eiwitten of aminozuren opslaan. Overtollige aminozuren worden afgebroken in de lever. Van de aminozuren wordt daarbij de -NH_2 -groep afgesplitst en omgezet in ammoniak (NH_3). Dit proces heet desaminering (zie afbeelding 34.1). Ammoniak is in lage concentratie al giftig. In de lever wordt ammoniak omgezet in **ureum** (zie afbeelding 34.2). Ureum wordt aan het bloed afgegeven en door de nieren uitgescheiden. Het restant van het aminozuur (na desaminering) kan worden omgezet in glucose of stoffen die in de citroenzuurcyclus verder worden gedissimileerd (zie afbeelding 35 en **BiNaS** tabel 68E).

■ **Afb. 34** Afbraak van een aminozuur.



1 desaminering

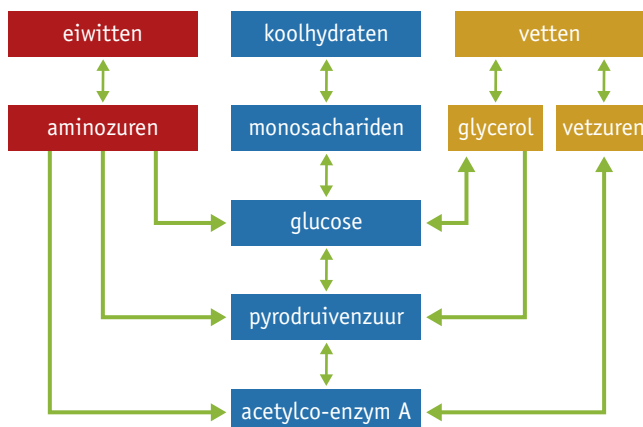


2 vorming van ureum

- Bij de vetstofwisseling in de lever worden onder andere niet-essentiële vetzuren gevormd uit andere vetzuren, aminozuren of monosachariden zoals glucose. Een beperkte hoeveelheid vet kan in de lever worden opgeslagen. Door de vorming en omzetting van cholesterol regelt de lever de cholesterolconcentratie in het bloed. In de lever wordt cholesterol gevormd, uitgaande van acetylco-enzym A (acetyl-CoA). Deze cholesterol kan vervolgens onder andere worden omgezet in galzuren en vitamine D.

In afbeelding 35 is de samenhang tussen de koolhydraat-, eiwit- en vetstofwisseling samengevat. Zie ook **BiNaS** tabel 68E.

■ **Afb. 35** Samenhang tussen koolhydraat-, eiwit- en vetstofwisseling.

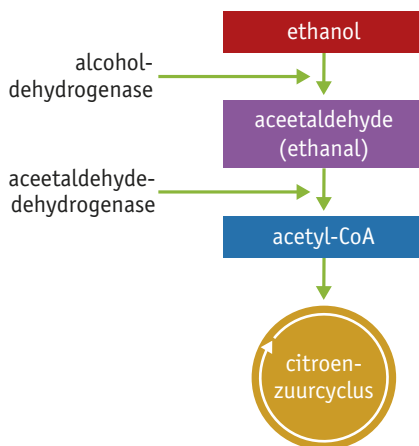


Plasma-eiwitten en detoxificatie

- In de lever worden stollingsfactoren voor de bloedstolling gevormd, waaronder fibrinogeen en protrombine. Ook andere plasma-eiwitten zoals albuminen en globulinen worden in de lever gesynthetiseerd.
- Bij de detoxificatie (ontgifting) van het bloed haalt de lever gifstoffen en andere lichaamsvreemde stoffen (bijvoorbeeld alcohol, cafeïne, drugs en medicijnen) uit het bloed en maakt ze onwerkzaam. Een deel van deze stoffen wordt door de lever afgebroken en door de nieren uitgescheiden.
- Sommige gifstoffen kunnen niet onwerkzaam worden gemaakt. Een deel van deze gifstoffen wordt opgeslagen in de lever, de huid en de haren (bijvoorbeeld kwik en arsenicum).

Bij de afbraak van alcohol ontstaat aceetaldehyde (ethanal, zie afbeelding 36). De afbraak vindt plaats met behulp van het enzym alcoholdehydrogenase. Aceetaldehyde wordt vervolgens met behulp van aceetaldehyde-dehydrogenase omgezet in acetyl-CoA. Acetyl-CoA kan in de citroenzuurcyclus worden gedissimileerd of worden gebruikt voor de synthese van onder andere glucose en lipiden. Deze vetten hopen zich op in de lever, met als gevolg een vergrote lever. Door overmatig alcoholgebruik kunnen levercellen ook beschadigd raken, waardoor ze afsterven. Ze worden dan vervangen door bindweefsel waarin vet wordt opgeslagen (levercirrose).

■ Afb. 36 Afbraak van alcohol.



Opdrachten KENNIS

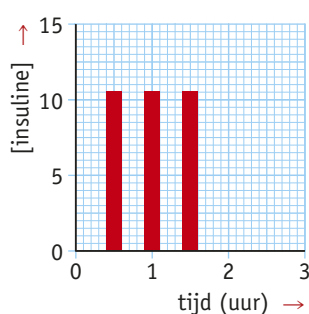
- 27 a De lever is net als de longen, de nieren en de huid een uitscheidingsorgaan. De endeldarm wordt niet beschouwd als een uitscheidingsorgaan. Leg dit uit.
b Bij het afbreken van hemoglobine wordt bilirubine gevormd. Deze bilirubine wordt vervolgens afgevoerd.
Mag je het afvoeren van bilirubine uitscheiding noemen?
- 28 Het advies van het Voedingscentrum is om 0,83 gram eiwit per kilogram lichaamsgewicht te eten. Het is daarbij belangrijk om voldoende essentiële aminozuren binnen te krijgen.
Waarom geldt dit advies niet voor niet-essentiële aminozuren?

- 29 De lever heeft door de vele stofwisselingsreacties een hogere temperatuur dan de meeste andere delen van het lichaam, namelijk 38 tot 39 °C. De hogere temperatuur in de lever versnelt chemische reacties en speelt een belangrijke rol bij handhaving van de lichaamstemperatuur.
- Bloed in de leverader heeft een hogere temperatuur dan bloed in de leverslagader of de poortader.
Leg dit verschil in temperatuur uit.
 - Als de temperatuur in de lever te hoog wordt, neemt de snelheid van de chemische reacties in de lever af. Leg uit hoe dit komt.

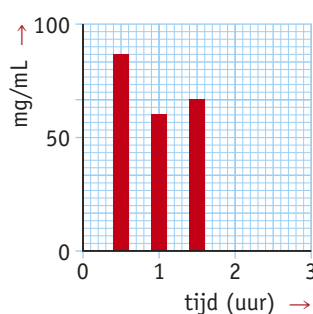
Opdrachten INZICHT

- 30 **a** Verstopte galwegen leiden tot een gele huid en een gelig oogwit (geelzucht).
Leg uit waardoor dit verschijnsel ontstaat.
- b** Een ander gevolg van verstopte galwegen is dat de ontlasting vettig is.
Leg uit waardoor dit komt.
- 31 Bij een baby wordt gedurende de eerste uren na de geboorte de insulineconcentratie van het bloed bepaald. De baby krijgt gedurende deze tijd nog geen voeding. De resultaten zijn weergegeven in het diagram van afbeelding 37.1. Drie leerlingen (Daphne, Fay en Tom) geven een verklaring voor de daling van de glucoseconcentratie van het bloed zoals die in afbeelding 37.2 is weergegeven.
- Daphne zegt dat de glucoseconcentratie daalt, doordat het energieverbruik van de baby na de geboorte stijgt.
 - Fay zegt dat de glucoseconcentratie daalt, doordat de glucoseaanvoer uit de placenta ophoudt.
 - Tom zegt dat de glucoseconcentratie daalt, doordat in de lever nog te weinig glycogeen is gevormd.
- Welke verklaringen zijn juist en welke is onjuist? Leg je antwoorden uit.

■ **Afb. 37** Insuline- en glucoseconcentratie van een baby.



1 insuline



2 glucose

- 32 Uit onderzoek is gebleken dat mensen bij wie de galblaas is verwijderd een grotere kans hebben op een botbreuk. De galblaas wordt soms verwijderd als galstenen de galbuis blokkeren, waardoor gal en afvoerproducten van de alvleesklier zich ophopen. Verwijdering van de galblaas heeft geen invloed op de productie van gal. Vitamine D speelt een belangrijke rol in de vorming van sterke botten door calcium en fosfor in de juiste verhouding af te zetten in botweefsel. Vitamine D is in vet oplosbaar en zit in vetrijke voedingsmiddelen zoals vette vis (bijvoorbeeld zalm en haring). Verklaar dat bij mensen bij wie de galblaas is verwijderd, de kans op een botbreuk groter is.

- 33 Bij een marathonloper wordt gedurende de wedstrijd de glucoseconcentratie van zijn poortader en zijn leverader gemeten.
- a Na 15 kilometer is de glucoseconcentratie in de leverader hoger dan in de poortader. Leg uit hoe dat komt.
 - b Na 35 kilometer begint de marathonloper te trillen op zijn benen. Hij is 'de man met de hamer' tegengekomen en moet de wedstrijd verlaten. Verklaar met behulp van de koolhydraatstofwisseling waardoor de marathonloper de wedstrijd heeft moeten opgeven.
- 34 Volgens de reactievergelijking in het onderzoek van afbeelding 38 ontstaat zuurstof bij de afbraak van waterstofperoxide.
- a Hoe kun je deze zuurstof aantonen?
 - b De hypothese sluit niet goed aan op de onderzoeksvraag en kan met dit experiment nooit worden aangenomen. Leg uit waarom niet.
 - c Welke conclusie kun je trekken?
 - d Als je een stukje lever van een koe in een reageerbuis met waterstofperoxide legt, begint het te bruisen. Na verloop van tijd houdt het bruisen op. Hoe kun je deze twee verschijnselen verklaren?

Afb. 38

Onderzoek	Waterstofperoxide en katalase in aardappelen
Inleiding	Bij verschillende stofwisselingsprocessen ontstaat waterstofperoxide (H_2O_2). Dit is een schadelijke stof. Eukaryote cellen bevatten het enzym katalase. Waterstofperoxide wordt afgebroken onder invloed van katalase waarbij water en zuurstof ontstaan: $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
Onderzoeksvraag	Wordt waterstofperoxide ook door aardappelcellen afgebroken?
Hypothese	Alle soorten organismen breken waterstofperoxide af.
Experiment	Een reageerbuis wordt gevuld met water en drie stukjes aardappel. Een andere reageerbuis wordt gevuld met water. Aan beide buizen wordt vervolgens 5 mL waterstofperoxide toegevoegd.
Resultaat	In de buis met aardappelstukjes begint de inhoud te bruisen. Na verloop van tijd houdt het bruisen op. In de buis zonder aardappelstukjes vindt geen reactie plaats.
Conclusie	

 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

LEVER UIT DE 3D-PRINTER

Bioprinten is een techniek waarbij je met behulp van een 3D-printer levende weefsels maakt door rechtstreeks levende cellen te printen. De laatste jaren is er een revolutionaire, veel snellere vorm van bioprinten bij gekomen.

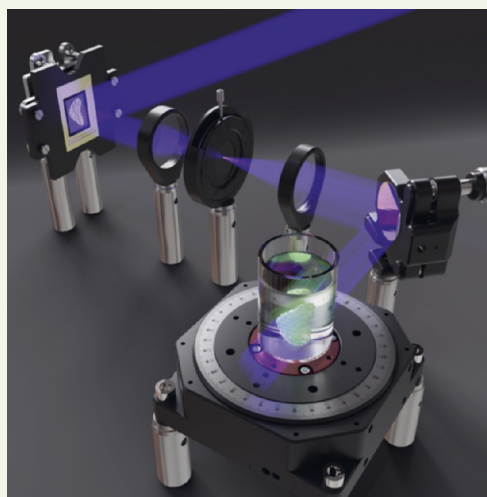
Een team onderzoekers van het Regenerative Medicine Center Utrecht onder leiding van dr. Riccardo Levato werkt aan deze ontwikkeling. De nieuwe techniek heet volumetrisch bioprinten en werkt als volgt: een buis gevuld met een lichtgevoelige gel waarin cellen zitten, draait rond en wordt beschenen door een laser die de cellen niet beschadigt (zie afbeelding 39).

De laser projecteert verschillende tweedimensionale patronen in de gel, steeds vanuit een andere hoek. Waar het meeste licht komt, hardt de gel uit en na een seconde of twintig verschijnt een vaste, driedimensionale vorm die in de gel drijft. De gel die niet heeft gereageerd wordt weggespoeld. De geprinte vorm met cellen kan het begin zijn van een functionerend stukje weefsel, bijvoorbeeld van de lever.

Levato en zijn team kozen speciaal voor het printen van de lever, omdat de lever zich van alle organen het best leent voor 3D-printen. De huidige

prints worden gebruikt om er medicijnen op te testen of andere experimenten mee te doen. Het doel is om in de toekomst op deze manier een stuk lever te printen dat kan worden gebruikt voor transplantatie. Levato: 'Als de lever van de patiënt niet meer goed functioneert, kan een stuk gefabriceerde lever een deel van de functies overnemen.'

■ **Afb. 39** Een gel met cellen wordt bestraald met een laser.



Opdrachten

- 35** Het team onderzoekers dat onderdeel uitmaakt van het Regenerative Medicine Center Utrecht is multidisciplinair. Dit betekent dat er vanuit meerdere vakgebieden aan dit project wordt gewerkt.
- a** Noem drie vakgebieden die een rol hebben gespeeld bij de ontwikkeling van 3D-printen van de lever.
 - b** Er werken biomedisch specialisten binnen het team.
Wat zou de rol zijn van biomedisch specialisten binnen dit multidisciplinaire team?
 - c** In een 3D-printer die plastic print, wordt de temperatuur zó hoog, dat het plastic smelt. Leg uit dat het printen van biologisch materiaal aan andere eisen moet voldoen.
 - d** Weefsels bevatten verschillende soorten cellen met verschillende eigenschappen. Een lever bevat bijvoorbeeld kliercellen die stoffen uitscheiden, maar ook bloedvaten. Een bioprinter werkt met stamcellen: cellen die nog klier of bloedvat of iets anders kunnen worden.
Leg uit hoe je deze verschillende celtypen en structuren aan een print kunt toevoegen.
 - e** Het is mogelijk om via levertransplantatie de zieke lever van een patiënt te vervangen door (een deel van) een lever van een mens. Geef een argument waarom het toch goed is om het onderzoek naar 3D-geprinte organen voort te zetten.

4 DE NIEREN

LEERDOELEN

14.4.1 Je kunt de bouw, werking en functie van de nieren en de urinewegen uitleggen.

14.4.2 Je kunt uitleggen hoe het inwendige milieu min of meer constant wordt gehouden door de nieren (homeostase).

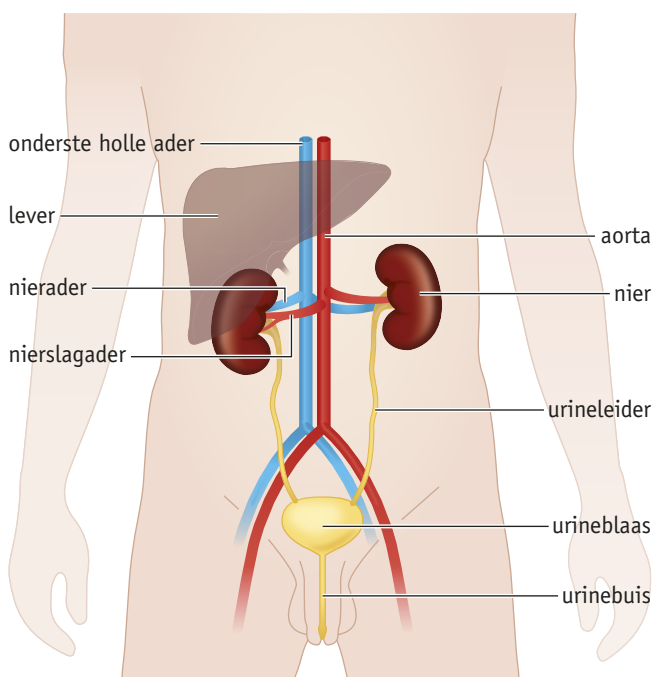
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	14.4.1	14.4.2
Begrijpen	36, 37, 38, 39a, 46e	39bcde
Toepassen	40, 42, 44a	41b, 46cd
Analyseren	41a, 43, 45a, 46ab	44b, 45b

Water is een belangrijke voedingsstof. Maar als je in korte tijd heel veel water binnenkrijgt, kun je een watervergiftiging oplopen. Je nieren kunnen het overtollige water dan niet op tijd uitscheiden, waardoor de osmotische waarde van je bloed te veel daalt.

HOMEOSTASE

De **nieren** liggen in de buikholte links en rechts van de wervelkolom (zie afbeelding 40 en **BiNaS** tabel 85A). Door de nierslagaders stroomt zuurstofrijk bloed naar de nieren. Dit bloed bevat onder andere overtollige en schadelijke stoffen. De nieren verwijderen deze stoffen uit het bloed. Door de nieraders stroomt het bloed weg uit de nieren.

■ **Afb. 40** De nieren en de urinewegen.

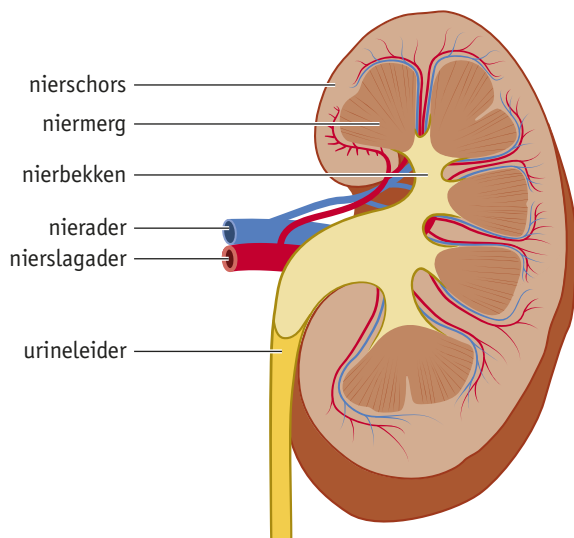


Vooral door de uitscheiding van overtollig water en overtollige zouten wordt de osmotische waarde van het inwendige milieu constant gehouden. Daarmee spelen de nieren, net als de lever, een belangrijke rol bij de homeostase.

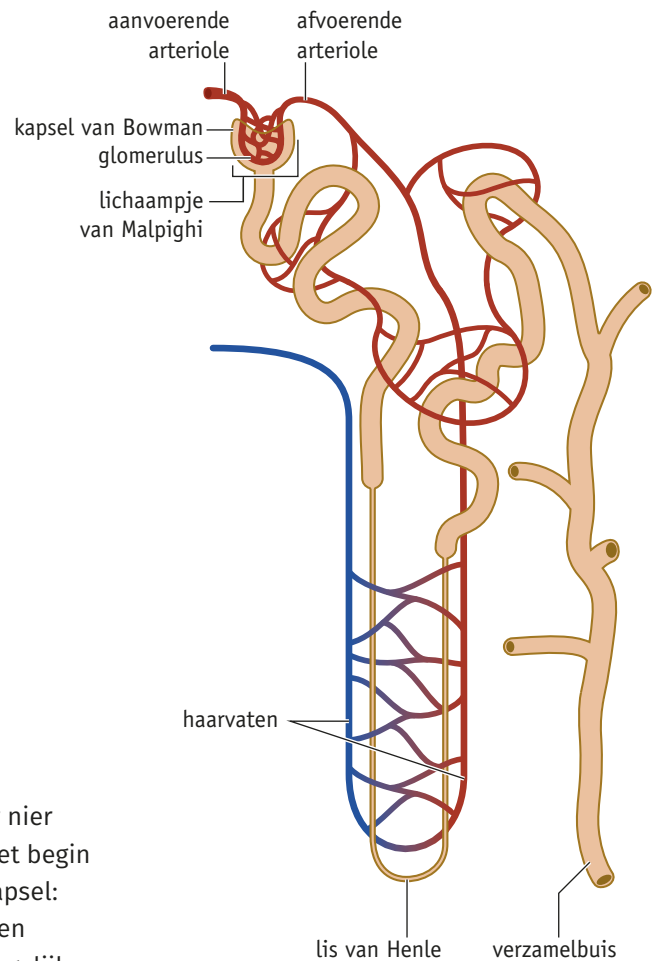
DE BOUW VAN DE NIEREN

De nier bestaat uit drie delen: de **nierschors**, het **niermerg** en het nierbekken (zie afbeelding 41 en **BiNaS** tabel 85A). In de nierschors en het niermerg wordt de **urine** gevormd. Urine bestaat uit water, zouten en schadelijke stoffen die uit het bloed zijn verwijderd, zoals ureum. In het nierbekken wordt de urine verzameld en via de urineleiders afgevoerd naar de **urineblaas**. In de urineblaas wordt de urine tijdelijk opgeslagen. Van tijd tot tijd wordt de urine uit de urineblaas afgevoerd via de urinebuis.

■ Afb. 41 De bouw van een nier.



■ Afb. 42 Een niereenheid.



In de nierschors en het niermerg liggen per nier ongeveer een miljoen niereenheden. Aan het begin van een **niereenheid** (nefron) zit een nierkapsel: het **kapsel van Bowman** (zie afbeelding 42 en **BiNaS** tabel 85A). Je kunt een nierkapsel vergelijken met een zeef: er zit een groot aantal gaatjes in.

Een klein aanvoerend slagadertje, een vertakking van de nierslagader, vertakt zich in het nierkapsel verder tot een kluit van haarvaten. Je noemt deze haarvatenkluit een **glomerulus** (meervoud: glomeruli). Het nierkapsel met de haarvatenkluit samen heet een lichaampje van Malpighi.

Het grootste deel van een niereenheid bestaat uit een **nierbuisje** of nierkanaaltje. Een nierbuisje bestaat uit twee gekronkelde delen met daartussen een lus: de lis van Henle. De haarvaten van de glomerulus verenigen zich weer tot een afvoerend haarvaatje. Dit vertakt zich tot een haarvatennet om het nierbuisje. De haarvaten verenigen zich daarna tot een nieradertje. In de nierbuisjes wordt de urine gevormd. De nierbuisjes monden uit in verzamelbuisjes. Via de verzamelbuisjes komt de urine in de nierbekkens terecht.

DE VORMING VAN VOORURINE

De nieren zijn zeer sterk doorbloed. Per minuut stroomt er ongeveer 1,2 L bloed doorheen. De diameter van de afvoerende slagadertjes in de glomerulus is kleiner dan die van de aanvoerende slagadertjes. Hierdoor is de bloeddruk in de haarvatenkluwens in de nierkapsels zó hoog, dat vanuit die haarvaten voortdurend een deel van het bloedplasma in de nierkapsels wordt geperst. Bloedcellen en grote moleculen zoals eiwitten kunnen hier niet doorheen. Alleen kleine moleculen kunnen door de gaatjes in de wand van de nierkapsels. Dit proces heet **ultrafiltratie**. Het vocht in de nierkapsels noem je **voorurine**. Per dag wordt ongeveer 180 L voorurine gemaakt. Voorurine bevat onder andere glucose, aminozuren, ionen (natrium, chloor, calcium en kalium) en ureum (zie tabel 3 en **BiNaS** tabel 85B en 85C).

Tabel 3 Enkele stoffen in bloedplasma, voorurine en urine.

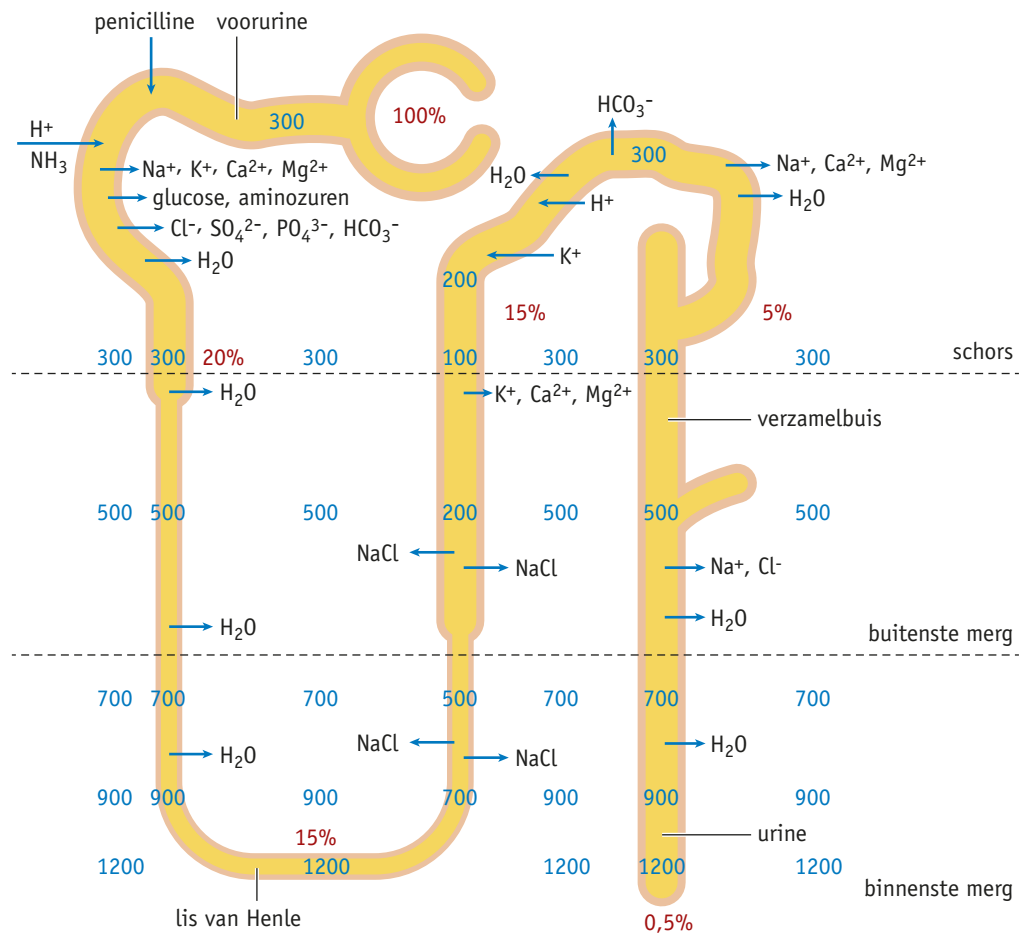
	Bloedplasma (g/100 mL)	Voorurine (g/100 mL)	Urine (g/100 mL)
Eiwitten	7,5	0	0
Glucose	0,1	0,1	0
Na ⁺	0,4	0,4	0,35
Cl ⁻	0,36	0,36	0,6
Ca ²⁺	0,01	0,01	0,03
K ⁺	0,02	0,02	0,15
Ureum	0,03	0,03	2,0

De cellen van de nierkapsels leveren geen energie voor de ultrafiltratie, zodat de hoeveelheid zuurstof in het bloed in de afvoerende slagadertjes vrijwel gelijk is aan die in de aanvoerende slagadertjes. Uiteindelijk blijft er ongeveer 1,5 L urine over.

VAN VOORURINE NAAR URINE

De omzetting van voorurine in urine vindt plaats in de nierbuisjes en de verzamelbuisjes. Water en andere nuttige stoffen, zoals glucose en aminozuren, worden selectief uit de voorurine gehaald (zie afbeelding 43 of **BiNaS** tabel 85C).

■ **Afb. 43** Uitwisseling van stoffen tussen een nefron en de weefselvloeistof.



- De percentages zijn de filtraatvolumen (hoeveelheid achtergebleven vloeistof) die nog aanwezig zijn vanaf het kapsel van Bowman.
- De blauwe getallen geven de plaatselijke osmotische waarde in mOsm (milli-osmolariteit). Hierbij staat 300 mOsm gelijk aan 0,9% NaCl-oplossing.

De cellen in de wand van het eerste gekronkelde deel van een nierbuisje nemen de opgeloste nuttige stoffen op uit de voorurine en geven ze af aan de weefselvloeistof tussen de niereenheden. Van daaruit gaan de stoffen naar het bloed in de haarvaten rondom de nierbuisjes. Dit proces noem je **terugresorptie** of **reabsorptie**. Het vindt vooral plaats door actief transport en kost dus energie. De wandcellen zelf worden van voedingsstoffen en zuurstof voorzien door het bloed in de haarvatennetten.

Bij de terugresorptie hebben de verschillende delen van de nierbuisjes (gecronkelde delen en lis van Henle) een speciale functie. In het eerste gekronkelde deel van de nierbuisjes vindt 80% van de terugresorptie plaats (zie afbeelding 43). Door actief transport via transportenzymen in de wandcellen van de nierbuisjes worden positief geladen ionen zoals Na^+ , K^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+} van de voorurine naar de weefselvloeistof getransporteerd en vervolgens opgenomen in de haarvaten. Glucose en aminozuren worden op vergelijkbare wijze getransporteerd, in samenhang met het transport van Na^+ -ionen. Cl^- -ionen en andere negatief geladen ionen diffunderen passief van de voorurine naar de weefselvloeistof als gevolg van de veranderde elektrische ladingsverdeling; ze worden aangetrokken door het grotere aantal positief geladen ionen in de weefselvloeistof.

OSMOSE EN DE OSMOTISCHE WAARDE

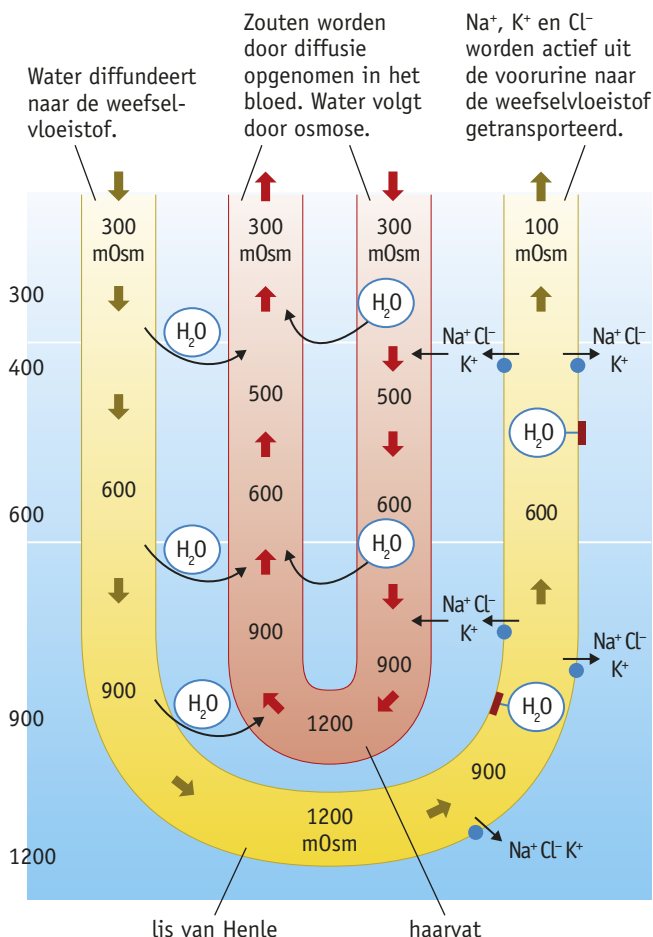
Aan het einde van het eerste gekronkelde deel van de nierbuisjes is de totale hoeveelheid glucose en aminozuren geresorbeerd, net als een belangrijk deel van de bruikbare ionen. Door deze terugresorptie stijgt de **osmotische waarde** van de wandcellen en de weefselvloeistof. Door osmose gaat water uit de voorurine naar de weefselvloeistof en wordt vervolgens opgenomen in de haarvaten. Deze osmose van water volgt de terugresorptie van ionen en andere stoffen. Daardoor is de osmotische waarde van de voorurine aan het begin van de lis van Henle nog gelijk aan die van het filtraat in het kapsel van Bowman en dus vrijwel gelijk aan de osmotische waarde van het bloedplasma. Maar de samenstelling van de voorurine is inmiddels al flink veranderd; de concentratie ureum is toegenomen.

Naast het opnemen van stoffen uit de voorurine kunnen wandcellen van de nierbuisjes ook stoffen actief aan de voorurine afgeven. Dit gebeurt bijvoorbeeld met bepaalde medicijnen (zoals penicilline), ammoniak en met H^+ -ionen.

DE LIS VAN HENLE

De wandcellen van de lis van Henle dragen slechts weinig bij aan de terugresorptie (zie afbeelding 43). De activiteiten van de wandcellen zijn wel belangrijk bij het concentreren van de urine. De lis van Henle bestaat uit een dalend deel en een stijgend deel. De stroomrichting van de voorurine is tegengesteld aan de stroomrichting van het bloed. Het dalende deel van de lis van Henle is permeabel voor water en niet doorlaatbaar voor zouten. Door de grotere (hydrostatische) druk in het dalende deel diffundeert water vanuit het nierbuisje naar de weefsels rondom het nierbuisje. Het stijgende deel van de lis van Henle is doorlaatbaar voor zouten, maar niet voor water. Er vindt actief transport van zouten plaats uit het stijgende deel van de lis van Henle naar

■ Afb. 44 Werking van de lis van Henle.



de weefsels om het nierbuisje. De zouten diffunderen naar het bloed in de haarvaten. Hierdoor stijgt de osmotische waarde van het bloed in de haarvaten. Water gaat vervolgens door osmose naar het bloed in de haarvaten en wordt afgevoerd. Door het tegenstroomprincipe kunnen in het dalende haarvat veel zouten worden opgenomen en kan in het stijgende haarvat veel water worden opgenomen. In afbeelding 44 is dit weergegeven. Zo kan sterk geconcentreerde urine worden geproduceerd.

In het begin van het tweede gekronkelde deel van de nierbuisjes is het filtraatvolume nog slechts 15%. In dit deel vindt onder andere terugresorptie van ionen plaats. Onder invloed van het hormoon aldosteron uit de bijnierschors vindt actief transport van Na^+ -ionen van de voorurine naar de weefselvloeistof plaats.

Opdrachten **KENNIS**

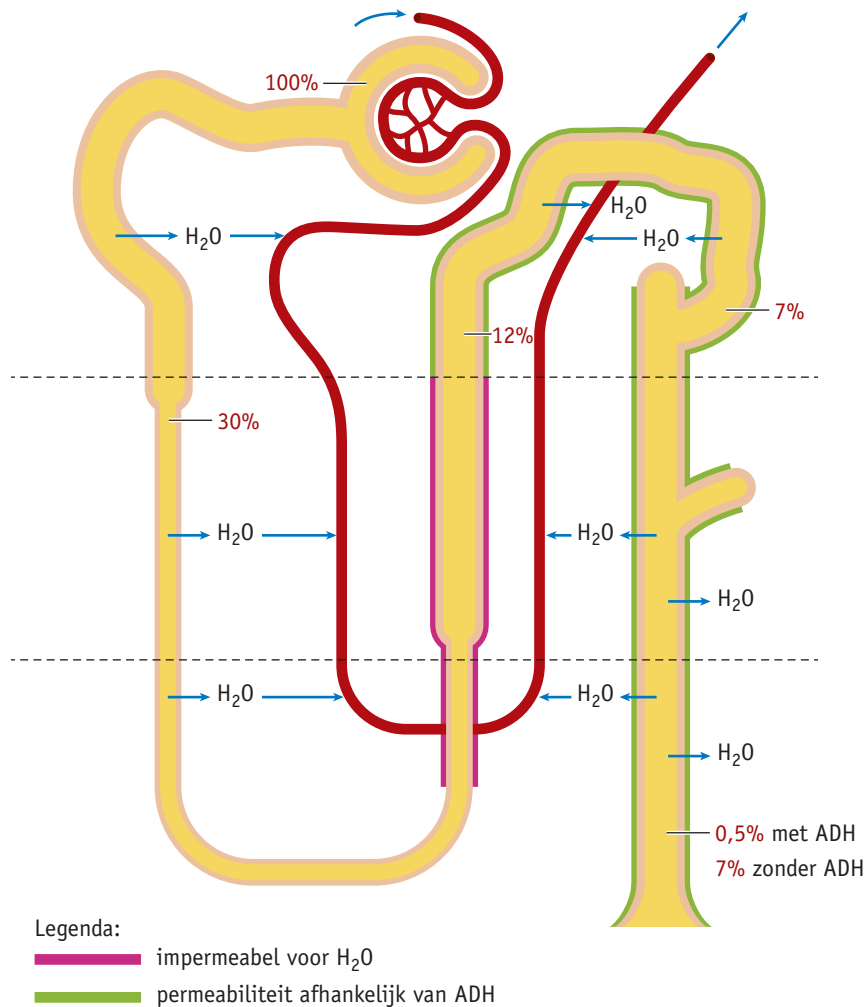
- 36** De cellen van de nierkapsels leveren geen energie voor de ultrafiltratie, waarbij voorurine wordt gevormd.
- a** Welke kracht veroorzaakt de vorming van voorurine?
 - b** Bij een proefpersoon is de bloeddruk in de haarvaten van een glomerulus 8,5 kPa. De elasticiteit van het kapsel van Bowman veroorzaakt een tegendruk van 2 kPa. De osmotische druk in de haarvaten is 3,3 kPa.
Wat is in deze situatie de nettodruk waarmee de vloeistof uit de haarvaten wordt geperst? Noteer de berekening.
 - c** Waardoor wordt de osmotische druk in de haarvaten veroorzaakt?
- 37** Iemand produceert tijdelijk meer voorurine dan normaal. Dit is het gevolg van een vernauwing van bepaalde bloedvaten.
Treedt deze vernauwing op bij het aanvoerende of afvoerende slagadertje? Leg je antwoord uit. Gebruik hierbij afbeelding 42.
- 38** Wordt de afwezigheid van eiwitten in de urine veroorzaakt door terugresorptie? Leg je antwoord uit.

REGELING VAN DE OSMOTISCHE WAARDE VAN HET INWENDIGE MILIEU

De celmembranen van het tweede gekronkelde deel van de nierbuisjes en van de verzamelbuisjes zijn niet doorlaatbaar (impermeabel) voor water. Onder invloed van het **antidiuretisch hormoon** of **ADH** uit de hypofyseachterkwab neemt de doorlaatbaarheid van deze celmembranen toe (diurese = urineproductie). Daardoor wordt per tijdseenheid meer water onttrokken aan de voorurine en opgenomen in het bloed (zie afbeelding 45), waardoor de osmotische waarde van het inwendige milieu daalt en de urineproductie afneemt.

Bij de regeling van de osmotische waarde van het inwendige milieu is sprake van negatieve terugkoppeling. De osmotische waarde van het bloed wordt waargenomen door zintuigcellen in de hypothalamus (osmoreceptoren). Als de osmotische waarde stijgt, wordt onder invloed van deze osmoreceptoren in de hypofyse meer ADH afgegeven aan het bloed. Doordat in de nieren meer water wordt onttrokken aan de voorurine, daalt de osmotische waarde van het bloed. Op deze manier wordt de **waterhuishouding** binnen het lichaam geregeld. Ook de zweetklieren in de huid spelen een rol bij de waterhuishouding.

■ Afb. 45 Resorptie van water.



De percentages geven de hoeveelheid water die niet wordt geresorbeerd.

REGELING VAN DE pH VAN HET INWENDIGE MILIEU

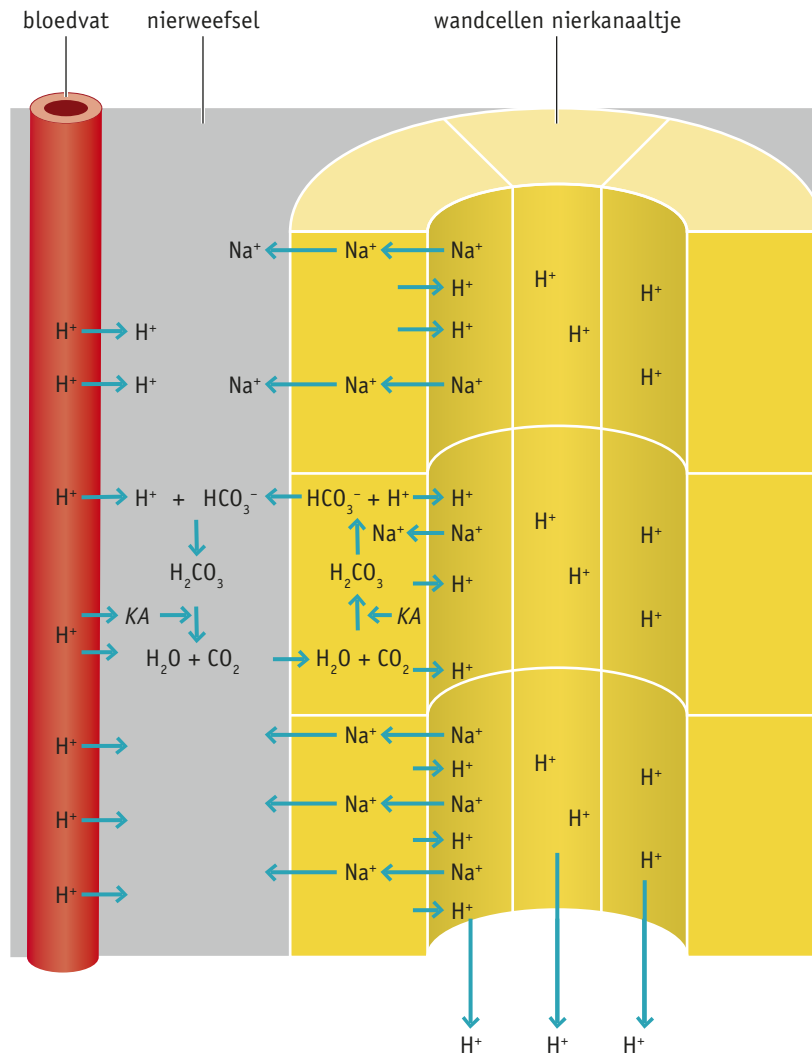
Het bloedplasma en de weefselvloeistof hebben een pH van 7,4. Veranderingen in de pH van het inwendige milieu worden onder andere opgevangen door het aanpassen van de ademfrequentie, door bepaalde plasma-eiwitten en door de **bufferende werking van hemoglobine en natriumwaterstofcarbonaat** ($NaHCO_3$). Deze bufferstoffen kunnen een tekort aan H^+ -ionen aanvullen of een overmaat opvangen.

Een verandering van de pH in het inwendige milieu ontstaat meestal doordat bij verhoogde activiteit van het lichaam meer H^+ -ionen aan het inwendige milieu worden afgegeven. De longen werken mee aan het handhaven van de pH door de ventilatie aan te passen. Een daling van de pH van het inwendige milieu (acidose) wordt tegengegaan door een versterkte afgifte van CO_2 ; een verhoging van de pH (alkalose) wordt gecompenseerd door een verminderde uitscheiding van CO_2 .

Het $NaHCO_3$ bevindt zich in de vloeistof tussen de cellen (interstitiële vloeistof) van het nierweefsel. Dit $NaHCO_3$ is volledig in Na^+ - en HCO_3^- -ionen gesplitst (zie afbeelding 46). De H^+ -ionen die vanuit het bloed de interstitiële vloeistof binnenkomen, worden gebonden door HCO_3^- -ionen. Daarbij ontstaat H_2CO_3 . Onder invloed van koolzuuranhydrase wordt H_2CO_3 op zijn beurt gesplitst in H_2O en CO_2 .

H_2O en CO_2 gaan daarna naar de wandcellen van de nierbuisjes. Ook in deze wandcellen bevindt zich koolzuuranhydrase. Nu vindt onder invloed van dit enzym het omgekeerde proces plaats: uit H_2O en CO_2 wordt H_2CO_3 gevormd. Dit H_2CO_3 valt direct uiteen in H^+ - en HCO_3^- -ionen.

■ **Afb. 46** Regeling van de pH (KA = koolzuuranhydrase).



De wandcellen geven actief H^+ -ionen af aan de voorurine en nemen er gelijktijdig actief Na^+ -ionen uit op. Ze wisselen als het ware H^+ -ionen uit tegen Na^+ -ionen. De Na^+ -ionen worden samen met HCO_3^- -ionen actief naar de interstitiële vloeistof van het nierweefsel teruggeresorbeerd. Daar kunnen de HCO_3^- -ionen opnieuw H^+ -ionen oppikken. Door het actieve transport van H^+ -ionen kan de H^+ -ionenconcentratie van de urine in het verzamelbuisje wel 900× zo hoog zijn als die van het bloedplasma. De pH van de urine is dan gedaald tot 4,5.

Opdrachten KENNIS

- 39** De werking van de nieren is bij alle dieren gelijk. Toch zijn er wel (kleine) verschillen in de bouw van de nieren. Dit verschil heeft te maken met het milieu waarin de dieren leven. Zo is er is een verschil in de bouw van een nefron tussen de kleine woestijnspringmuis, die leeft in woestijnachtige gebieden van Noord-Afrika, en de bosmuis, die voorkomt in de gematigde streken van Europa.
- Wat zal het verschil in de bouw van een nefron tussen de kleine woestijnspringmuis en de bosmuis zijn? Leg je antwoord uit.
 - Naast een verschil in de bouw van een nefron is er mogelijk ook een verschil in de concentratie van het hormoon ADH tussen beide muizensoorten. Welk verschil zou er kunnen bestaan in de concentratie ADH tussen de kleine woestijnspringmuis en de bosmuis? Leg je antwoord uit.

- c Onder invloed van ADH kan de urine van kleur veranderen.
Wordt de urine lichter of donkerder als de concentratie ADH toeneemt? Leg je antwoord uit.
- d Vindt in de nierbuisjes terugresorptie van calciumionen plaats? Leg je antwoord uit.
- e Het hormoon aldosteron heeft invloed op de Na^+ - en K^+ -concentratie van de urine.
Bevat de urine bij een hoge aldosteronspiegel van het bloed in verhouding veel of weinig natrium? En veel of weinig kalium? Leg je antwoord uit.

Opdrachten INZICHT

- 40 Glucose wordt in het eerste deel van het nierbuisje geresorbeerd. Toch komt niet alle glucose in het bloed terecht.
- a Wat gebeurt er met de glucose die wel wordt geresorbeerd, maar niet in het bloed wordt opgenomen?
 - b Bij patiënten met diabetes werkt het hormoon insuline onvoldoende om glucose vanuit het bloed op te nemen in cellen of om het teveel aan glucose in de lever om te laten zetten tot glycogeen. De concentratie glucose in het bloed zal daardoor toenemen. De urine van diabetespatiënten kan zoet ruiken. De urine bevat dan glucose.
Leg uit hoe het komt dat diabetespatiënten glucose in hun urine hebben.
- 41 ADH wordt ook wel vasopressine genoemd (Latijn: *vasa* = bloedvaten; *pressare* = drukken), omdat de bloeddruk stijgt bij een zeer hoge concentratie ADH in het bloed.
- a Leg uit hoe deze stijging van de bloeddruk ontstaat.
 - b Wat gebeurt er met de osmotische waarde van het bloed als de concentratie ADH toeneemt? Leg je antwoord uit.

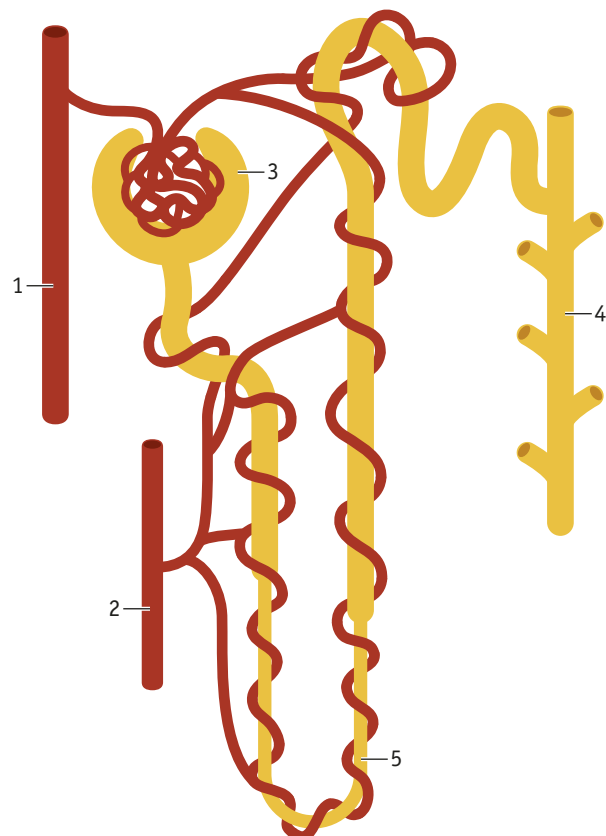


42 Diabetes insipidus

Naar: Voorronde Biologie Olympiade 2018, vraag 21.

Diabetes insipidus is een aandoening die wordt gekenmerkt door veel drinken en veel plassen (5-15 liter per dag). De uitgescheiden urine van mensen met deze aandoening is – in tegenstelling tot die van personen met diabetes mellitus – niet zoet, maar alleen sterk verdund. Diabetes insipidus wordt veroorzaakt door het niet-produceren van ADH of door ongevoeligheid van de V_2 -receptoren in de nieren. Binding van ADH aan V_2 -receptoren verhoogt de permeabiliteit van het celmembraan voor water. In afbeelding 47 zijn onderdelen van een niereenheid met cijfers aangegeven.

■ Afb. 47 Een nefron.



Waar bevinden zich de V2-receptoren?

- A op plaats 1
- B op plaats 2
- C op plaats 3
- D op plaats 4
- E op plaats 5



43 Vloeistofverplaatsing

Naar: Voorronde Biologie Olympiade 1999, vraag 34.

In tekening 1 van afbeelding 48 is een schematische doorsnee van een nierkapsel en bijbehorende haarvaten uit een nier van de mens weergegeven.

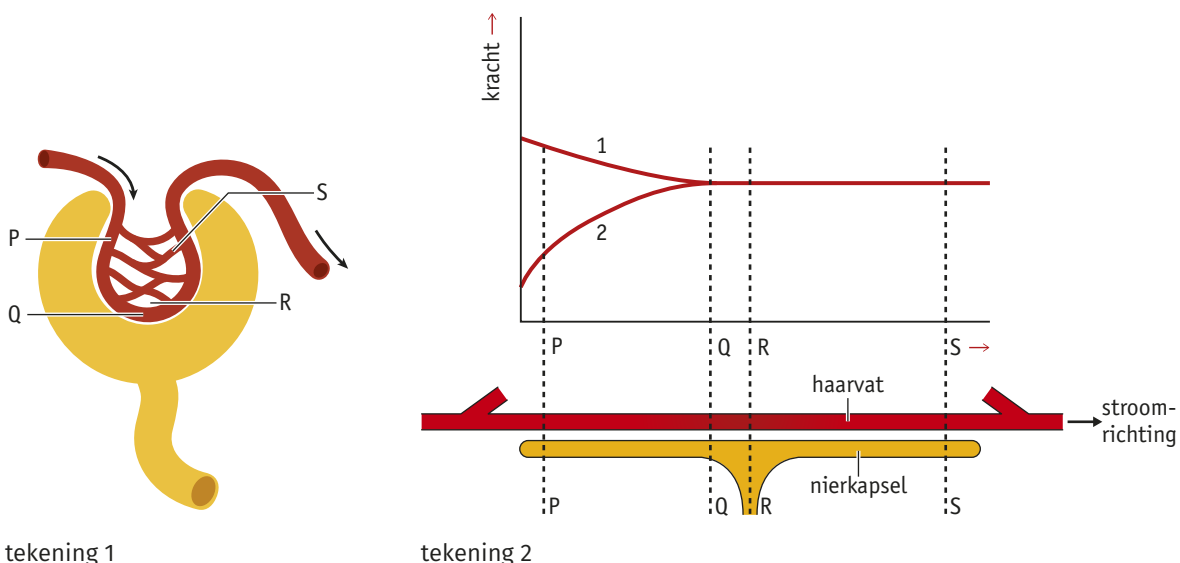
In tekening 2 is het nierkapsel met een van de haarvaten gestrekt onder de horizontale as van het diagram getekend.

Vier plaatsen in het nierkapsel zijn aangegeven met P, Q, R en S. In het diagram geeft een lijn de buitenwaarts gerichte kracht in het haarvat weer. De andere lijn geeft de binnenwaarts gerichte kracht weer. De uiteindelijke nettovloeistofverplaatsing wordt veroorzaakt door de plaatselijke verschillen tussen deze buitenwaarts en binnenwaarts gerichte krachten.

In welk of in welke van de aangegeven trajecten wordt voorurine gevormd uit het bloed van het haarvat? Welk nummer heeft de lijn van de binnenwaartse kracht?

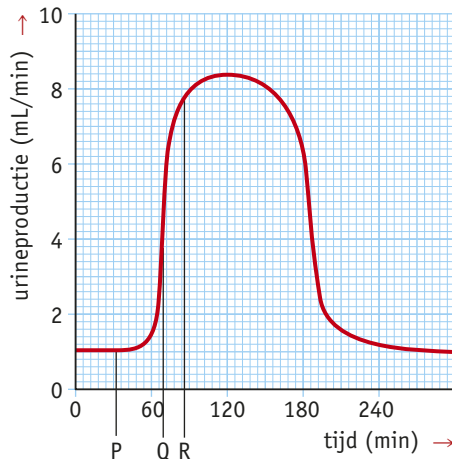
- A Vorming voorurine in traject PQ en lijn 1 geeft de binnenwaartse kracht weer.
- B Vorming voorurine in traject PQ en lijn 2 geeft de binnenwaartse kracht weer.
- C Vorming voorurine in traject RS en lijn 1 geeft de binnenwaartse kracht weer.
- D Vorming voorurine in traject RS en lijn 2 geeft de binnenwaartse kracht weer.
- E Vorming voorurine in traject PS en lijn 1 geeft de binnenwaartse kracht weer.
- F Vorming voorurine in traject PS en lijn 2 geeft de binnenwaartse kracht weer.
- G Vorming voorurine in traject PQ en in traject QR en lijn 1 geeft de binnenwaartse kracht weer.
- H Vorming voorurine in traject PQ en in traject QR en lijn 2 geeft de binnenwaartse kracht weer.
- I Vorming voorurine in traject QR en in traject RS en lijn 1 geeft de binnenwaartse kracht weer.
- J Vorming voorurine in traject QR en in traject RS en lijn 2 geeft de binnenwaartse kracht weer.

■ Afb. 48 Vloeistofverplaatsing in een nierkapsel.



- 44** In het diagram van afbeelding 49 is de urineproductie van een proefpersoon in rust gedurende een aantal uren weergegeven. Op tijdstip P drinkt deze persoon 1 liter water. De concentratie van opgeloste stoffen in de gevormde urine op tijdstip Q wordt vergeleken met de concentratie van opgeloste stoffen op tijdstip 0.
- Zal de concentratie op tijdstip Q waarschijnlijk lager zijn dan, gelijk zijn aan of hoger zijn dan de concentratie op tijdstip 0? Leg je antwoord uit.
 - Zal op tijdstip R de ADH-concentratie in het bloed van de proefpersoon lager zijn dan, gelijk zijn aan of hoger zijn dan de ADH-concentratie op tijdstip 0? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 49** Urineproductie van een proefpersoon.



45 Hemodialyse

Naar: examen vwo 2008-I, vraag 4 en 5.

Slecht functionerende nieren zijn levensbedreigend. Hemodialyse biedt in die situatie vaak uitkomst, doordat deze behandeling een aantal functies van de nier geheel of gedeeltelijk kan vervangen. Een nierpatiënt wordt daartoe gemiddeld driemaal per week gedurende een aantal uren aan een dialyseapparaat aangesloten. Hemodialyse is bedoeld als een tijdelijke behandeling ter overbrugging van de tijd totdat een donornier ter beschikking komt. De samenstelling van de dialysevloeistof en de snelheid van bloedstroom en dialysevloeistof zijn zo ingesteld dat de nettoverplaatsing van stoffen door het membraan zoveel mogelijk lijkt op het resultaat van de transportprocessen door de wand van het nierkanaaltje van een gezonde nier. In tabel 4 is de samenstelling gegeven van het bloedplasma van een persoon met gezonde nieren, van de verse dialysevloeistof en van het bloedplasma van een nierpatiënt.

Een aantal stoffen komt in de verse dialysevloeistof niet voor, andere stoffen juist in een hogere concentratie dan in het bloedplasma van een gezond persoon.

- Leg uit waarom sommige stoffen, die wel in het bloedplasma voorkomen, in de verse dialysevloeistof (zie tabel 4) ontbreken.
- Uit de samenstelling van de dialysevloeistof (zie tabel 4) blijkt dat wordt geprobeerd het bufferend vermogen van het bloedplasma van de nierpatiënt te verhogen. Leg uit op welke wijze bij hemodialyse het bufferend vermogen van het bloedplasma van de nierpatiënt wordt verhoogd.

Tabel 4 Enkele stoffen in bloedplasma van een gezond persoon, verse dialysevloeistof en bloedplasma van een nierpatiënt.

	Bloedplasma gezond persoon	Verse dialysevloeistof	Bloedplasma nierpatiënt (vóór dialyse)
Elektrolyten (mEq L ⁻¹)			
Na ⁺	142	133	142
K ⁺	5	1,0	7
Ca ²⁺	3	3,0	2
Mg ²⁺	1,5	1,5	1,5
Cl ⁻	107	105	107
HCO ₃ ⁻	24	35,7	14
Melkzuur	1,2	1,2	1,2
HPO ₄ ²⁻	3	0	9
Urinezuur	0,3	0	2
SO ₄ ²⁻	0,5	0	3
Niet-elektrolyten (mg dL ⁻¹)			
Glucose	100	125	100
Ureum	26	0	200
Creatinine	1	0	6

 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

DORSTIGE PINGUÏNS

Pinguïns hebben ook vocht nodig, maar in hun omgeving is vaak geen zoetwater te vinden. Smeltwater is er maar zelden en het ijs van de gletsjers is te hard om met hun snavel te breken. De sneeuw in de omgeving is zó vervuild met uitwerpselen, dat die onbruikbaar is. De enige oplossing is het drinken van zeewater.

Zeewater bevat 3,5% zout. De nieren van pinguïns lijken sterk op de nieren van de mens en zijn niet in staat om zo'n hoge concentratie zout te verwerken. De voorurine die wordt geproduceerd zou zo'n hoge osmotische waarde hebben dat voor elke liter gedronken zeewater 1,35 liter urine ontstaat, waarna dat vocht verloren gaat. Hoe lukt het pinguïns dan om te overleven op zeewater?

De oplossing ligt in een speciale klier, de supraorbitale klier, die in de kop van de pinguïn boven de ogen zit en is verbonden met de neusholte. De klier kan efficiënt zout verwijderen en is omgeven door haarvaten. Deze haarvaten halen constant zout uit het zeewater dat een pinguïn binnenkrijgt.

De klier scheidt het zout uit via de neusholte (zie afbeelding 50).

De zoutklieren zijn in staat om uit 1 liter zeewater 0,3 liter zoetwater te produceren. Omdat pinguïns zuinig moeten zijn met dit zoete water, wordt in de echte nieren de voorurine nog eens extra geconcentreerd. Hierdoor plassen ze niet, maar scheiden een wit pasta-achtig waterarm afvalproduct uit.

■ **Afb. 50** Ezelspinguïn scheidt vocht uit via supraorbitale klier.



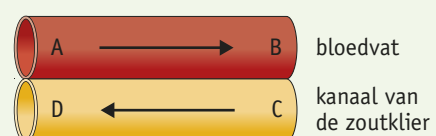
Opdrachten

- 46** Tijdens observaties aan pinguïns op Antarctica bleek dat veel individuen geen (zee)water dronken. Toch moeten ook deze pinguïns vocht binnenkrijgen.
- a Op welke wijze krijgen pinguïns die niets drinken toch vocht binnen?
 - b Pinguïns in gevangenschap hebben vaak wel toegang tot zoetwater. Wat zou het effect zijn op de werking van de supraorbitale klier als de pinguïns zoetwater drinken?
 - c De supraorbitale klier is goed doorbloed en maakt gebruik van het tegenstroomprincipe om zoveel mogelijk zout uit te scheiden. In een bloedvat van een zoutklier stroomt het bloed van punt A naar punt B. Vanuit dit bloedvat gaan zouten door transport naar een kanaal van de zoutklier. Daarin stroomt vocht in omgekeerde richting, van punt C naar punt D, zie afbeelding 51.

Waar is de osmotische waarde van het bloedvat het hoogst: in punt A of in punt B? Leg je antwoord uit.

- d Waar is de osmotische waarde van het kanaal van de zoutklier het hoogst: bij punt C of bij punt D? Leg je antwoord uit.
- e De concentratie opgeloste stoffen is bij punt A in het bloedvat lager dan bij punt D in het kanaal van de zoutklier. Toch worden er nog steeds zouten van punt A richting punt D getransporteerd. Bij welke vorm van transport is dit mogelijk?

■ **Afb. 51** Het tegenstroomprincipe in een zoutklier.



5 DE HUID

LEERDOELEN

14.5.1 Je kunt de bouw en functie van de huid uitleggen.

14.5.2 Je kunt uitleggen hoe het inwendige milieu (lichaamstemperatuur) min of meer constant wordt gehouden door de huid (homeostase).

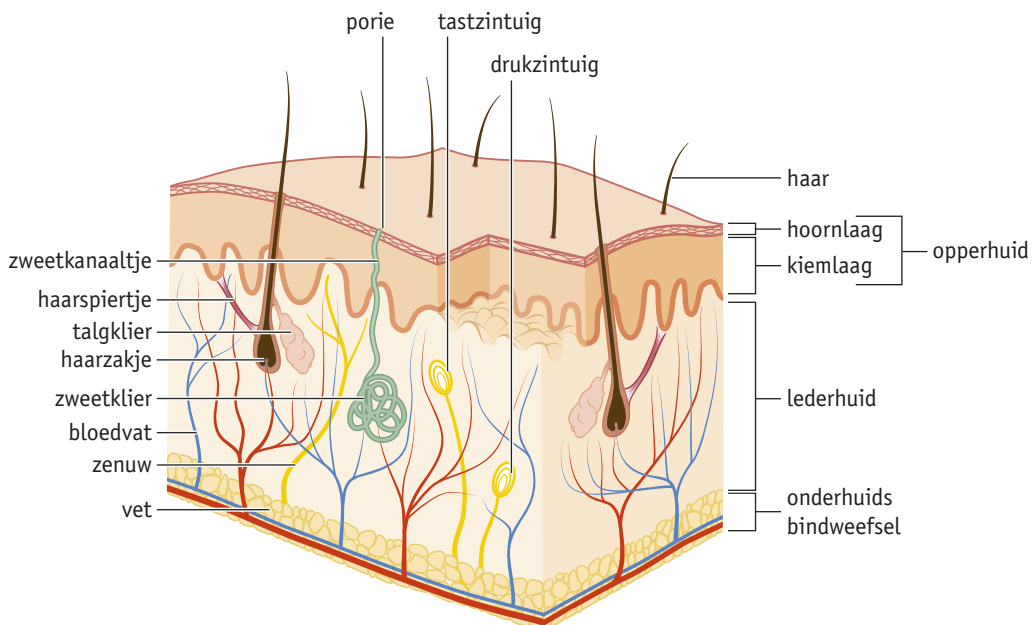
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	14.5.1	14.5.2
Begrijpen	48, 49, 57	47, 50, 56, 59
Toepassen		51ab, 52, 55a, 58, 60
Analyseren	54	51cd, 53, 55b

Je huid is het grootste orgaan van je lichaam en weegt in totaal meer dan elk ander orgaan. Je huid beschermt je lichaam tegen invloeden van buiten en zorgt ervoor dat je lichaam op de juiste temperatuur blijft.

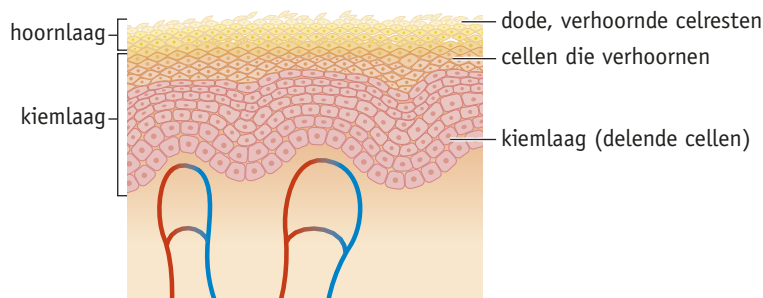
DE HUID EN HET ONDERHUIDSE BINDWEEFSEL

De **huid** bestaat uit twee lagen: de opperhuid en de lederhuid (zie afbeelding 52 en **BiNaS** tabel 87A). De opperhuid wordt gevormd door de hoornlaag en de kiemlaag. De hoornlaag bestaat uit dode, verhoornde epitheelcellen (dekweefselcellen). De hoornlaag beschermt tegen beschadiging, uitdroging en infecties. De hoornlaag slijt aan de buitenkant steeds af. Op sommige plaatsen wordt de hoornlaag extra dik (eelt). De kiemlaag bestaat uit levende epitheelcellen. De onderste laag cellen van de kiemlaag deelt zich voortdurend. De bovenliggende lagen cellen schuiven op naar buiten, verhoornen en sterven af (zie afbeelding 53).

■ **Afb. 52** De huid en het onderhuidse bindweefsel.

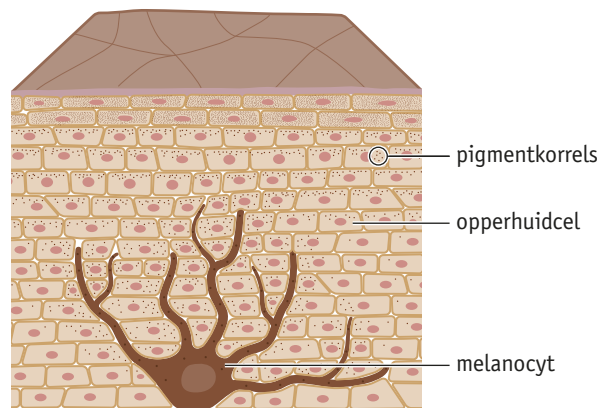


■ **Afb. 53** De verhoorning van de opperhuid.

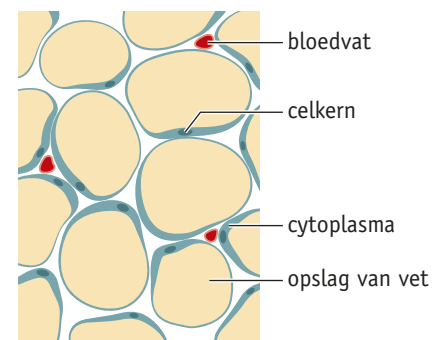


In de opperhuid liggen geen bloedvaten. De epitheelcellen in de kiemlaag krijgen voedingsstoffen en zuurstof via de weefselvloeistof vanuit de lederhuid. In de kiemlaag liggen de uiteinden van pijnzenuwen en pigmentvormende cellen: de melanocyten (*melanos* = zwart). Deze vormen het donkere pigment melanine, dat ze via hun uitlopers afgeven aan de nabijgelegen opperhuidcellen (zie afbeelding 54). De vorming van melanine wordt gestimuleerd door blootstelling van de huid aan zonlicht. Melanine beschermt de delende cellen in de kiemlaag tegen DNA-beschadiging door ultraviolette straling.

■ **Afb. 54** Een melanocyt in de opperhuid.



■ **Afb. 55** Vetcellen.



Door de opperhuid heen groeien haren. Haren groeien vanuit haarzakjes (uitstulpingen van de kiemlaag in de lederhuid). In haarzakjes bevinden zich talgklieren die talg afscheiden. Talg is een vette stof die het haar en de hoornlaag beschermt en soepel houdt.

In de lederhuid liggen zenuwcellen (neuronen), uitlopers van zenuwcellen, haarspiertjes, bloedvaten en **zweetklieren**. Onder de huid ligt het onderhuidse bindweefsel. Het onderhuidse bindweefsel is verspreid over het hele lichaam, behalve waar de huid dun is, zoals op de oogleden, tepels, geslachtsorganen en het scheenbeen. In het onderhuidse bindweefsel ligt vet opgeslagen in vetcellen (zie afbeelding 55). Dit zijn relatief grote cellen (ongeveer 0,1 mm) met een grote vacuole waarin het vet is opgeslagen. Het onderhuidse bindweefsel beschermt vitale organen en het vet zorgt voor isolatie.

TEMPERATUURREGULATIE

Elk organisme heeft een ideale temperatuur en een onder- en bovengrens. Bij oververhitting of onderkoeling kunnen de vitale lichaamsfuncties afnemen en zelfs uitvallen. Via regelkringen kunnen organismen de gewenste lichaamstemperatuur herstellen of in stand houden. Dit noem je **temperatuurregulatie** of thermoregulatie.

Bij de mens wordt de temperatuurregulatie aangestuurd door de hypothalamus. De huid speelt hierbij een belangrijke rol (zie ook **BiNaS** tabel 87B). In de hypothalamus bevindt zich een temperatuurzintuig dat de temperatuur van het langsstromende bloed registreert. Informatie over de temperatuur van het uitwendige milieu van het lichaam ontvangt de hypothalamus van de koude- en warmtezintuigen in de lederhuid.

Het lichaam geeft via de huid warmte af aan de omgeving. Deze warmteafgifte is groter naarmate het verschil tussen de temperatuur van de huid en de omgevingstemperatuur groter is. De temperatuur van de huid kan worden geregeld, doordat de bloedvaten in de huid wijder worden. Daardoor stroomt er meer (warm) bloed door de huid, waardoor de warmteafgifte van het lichaam groter wordt.

Warmteafgifte vindt ook plaats door uitscheiding van zweet door de huid. **Zweet** wordt geproduceerd door de zweetklieren in de lederhuid en bestaat voornamelijk uit water en zouten. Zweet wordt uitgescheiden via de poriën. Door verdamping van het water uit zweet wordt warmte aan het lichaam onttrokken. Zweet bevat ook geurstoffen. Huidbacteriën halen voedingsstoffen uit zweet. De afvalstoffen die de bacteriën produceren, veroorzaken zweetlucht.

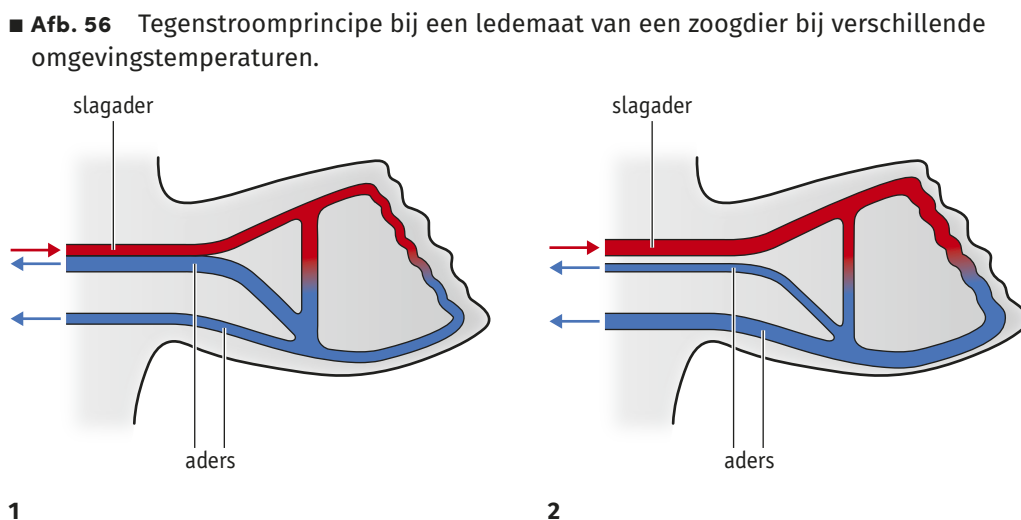
In een koude omgeving geeft het lichaam minder warmte af, doordat bloedvaten in de huid vernauwen. Ook wordt er minder zweet geproduceerd en gaan de lichaamsharen rechtop staan: 'kippenvel'. Dit gebeurt door samentrekking van de spiertjes aan de haarzakjes. Door de rechtopstaande haren vermindert de stroming van lucht langs de huid en wordt warmte beter vastgehouden. Dit effect is bij mensen echter te verwaarlozen, omdat het lichaam niet erg behaard is.

De hoeveelheid warmte die een lichaam kan vasthouden of afgeven, hangt af van de verhouding tussen de oppervlakte van het lichaam en het volume (inhoud) ervan. Als de oppervlakte ten opzichte van de lichaamsinhoud relatief groot is, verliest een organisme gemakkelijk veel warmte. Is de verhouding omgekeerd, dan houdt het organisme gemakkelijk warmte vast.

Opdrachten **KENNIS**

- 47** Bij lichamelijke inspanning ga je niet alleen zweten, maar krijg je ook een rood hoofd. Geef hiervoor twee mogelijke oorzaken.
- 48** Veel mensen hebben een tatoeage. Hoe komt het dat een inkt tatoeage niet verdwijnt, terwijl de huid wel afslijt?
- 49** Bij een langdurig verblijf in een land met een warm klimaat treedt na verloop van tijd acclimatisatie op. Je gaat meer zweten, maar het zoutgehalte van het zweet neemt af.
 - a** Waarom is het produceren van meer zweet een goede aanpassing aan het leven in een warm klimaat?
 - b** Leg uit waarom het verminderen van de concentratie zouten in het zweet een aanpassing is aan het leven in een warm klimaat.
- 50** In de opperhuid bevinden zich pigmentcellen (melanocyten) die beschermen tegen huidkanker. Bij blootstelling aan de zon kunnen melanocyten van vorm veranderen en er ontstaan dan uitlopers. Leg uit waarom het vormen van uitlopers door melanocyten een betere bescherming biedt tegen huidkanker.

- 51 De reddingsbrigade waarschuwt elk voorjaar zwemmers aan de Nederlandse kust voor hypothermie (onderkoeling). Bij een zeewatertemperatuur van 5 °C raak je in zwemkleding binnen een halfuur onderkoeld. De werkelijke overlevingstijd varieert echter sterk en hangt af van veel factoren, zoals lichaamsbouw, hoeveelheid onderhuids vet, gebruik van alcohol, kleding, geslacht, windsnelheid en lichamelijke conditie.
- Verklaar waarom kinderen eerder met hypothermie hebben te maken dan volwassenen.
 - Verklaar het verschil in overlevingstijd in water tussen mannen en vrouwen.
 - Welke invloed heeft het gebruik van alcohol op de overlevingstijd in het water? Leg je antwoord uit.
 - Leg uit waarom het niet verstandig is om zeewater te drinken terwijl je op hulp wacht.
- 52 Bij een beginnende koorts wordt de 'thermostaat' in de hersenen hoger ingesteld. Zullen als gevolg van het hoger instellen van de thermostaat de zweetklieren meer of minder zweet produceren? Leg je antwoord uit.
- 53 Vogels hebben geen zweetklieren, maar gebruiken hun snavel als koelsysteem. Op het heetst van de dag begint een struisvogel spontaan te hijgen. Het 'koelhijgen' heeft niets te maken met buiten adem zijn na lichamelijke inspanning. Leg uit dat het 'koelhijgen' dezelfde functie heeft als zweten.
- 54 Tatoeagekleurstoffen kunnen via de huid in de lymfeklieren terechtkomen. Leg uit hoe dit kan.
- 55 In de ledematen van bepaalde zoogdieren kan het bloed in de richting van het hart worden vervoerd door aders die aan het oppervlak liggen en door aders die dicht langs de slagaders lopen (zie afbeelding 56).
- In welke afbeelding is de warmte-uitwisseling tussen het bloed in de slagader en het bloed in de ernaast gelegen ader het grootst: 56.1 of 56.2?
 - In welke afbeelding is de omgevingstemperatuur het laagst? Leg je antwoord uit.



BOTOX TEGEN ZWETEN

Zweten is niet alleen belangrijk bij de temperatuurregulatie, maar speelt ook een belangrijke rol bij de seksuele selectie.

Het zweet in de oksels (zie afbeelding 57), hoofdhuid en genitale zone wordt geproduceerd in apocriene klieren en bevat feromonen. Dit zijn stoffen die je lichaam aanmaakt en die bepalen of je iemand seksueel aantrekkelijk vindt of niet. Je ruikt de feromonen zelf niet, maar je neemt ze onbewust waar door een speciaal orgaanje dat achter in je neus zit.

De apocriene klieren worden pas actief vanaf de puberteit onder invloed van geslachtshormonen. Dit apocriene zweet is een geliefde maaltijd voor bacteriën. De aromatische vetzuren die bij de afbraak van het apocriene zweet worden gevormd, hebben de karakteristieke zweetgeur.

Als je vaak en overmatig zweet, kun je last hebben van hyperhidrose. Dit kan heel vervelend zijn, zeker als je zweet sterk ruikt. Daarom kun je je laten behandelen tegen overmatig zweten. Een arts spuit dan met een dunne naald kleine hoeveelheden botuline in de oksels, handpalmen of voetzolen. Botuline (bekend onder de merknaam botox) bindt

aan de presynaptische receptoren van zenuwcellen en verhindert de afgifte van de neurotransmitter acetylcholine. Hierdoor krijgen de zweetklieren minder signalen om zweet te produceren. Nadeel is wel dat na vier tot zes maanden het effect van de botulinebehandeling weg is. De botuline is dan afgebroken tot aminozuren en uitgescheiden via de lever, waardoor je de behandeling moet herhalen.

■ Afb. 57 Zweet in de oksels.



Opdrachten

- | | |
|--|---|
| <p>56 Behalve zweten door inspanning zijn er ook andere oorzaken waardoor je kunt gaan zweten. Noem er drie.</p> <p>57 Zweet gaat pas ruiken vanaf de puberteit. Dit komt omdat dan de apocriene klieren actief worden. Waarom worden de apocriene zweetklieren pas actief vanaf de puberteit?</p> <p>58 Waarom is een goede persoonlijke hygiëne, het dragen van absorberende kleren en het gebruik van antitranspiranten belangrijk bij het voorkomen van onaangename lichaamsgeurtjes?</p> | <p>59 Als hyperhidrose niet wordt behandeld, worden de symptomen zoals een onaangename lichaamsgeur steeds sterker. Leg uit hoe dit komt.</p> <p>60 Hoewel hyperhidrose geen fysieke problemen oplevert, kan een arts toch besluiten om bij een patiënt een operatie uit te voeren. Er zijn verschillende chirurgische ingrepen beschikbaar, afhankelijk van de ernst en de locatie van de hyperhidrose. Een van de meest voorkomende chirurgische procedures is sympathectomie, waarbij de zenuwen die verantwoordelijk zijn voor het overmatige zweten worden doorgesneden of verwijderd. Waarom zal een arts alleen tot operatie overgaan als er geen andere behandelingen meer mogelijk zijn?</p> |
|--|---|

WALVISSSEN

LEERDOELEN

- 14.S.1** Je kunt het nut van uitscheiding toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 14.S.2** Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair en ecologisch denken toepassen op de samenwerking van uitscheidingsorganen bij het handhaven van de homeostase.

Zeezoogdieren zijn waarschijnlijk ontstaan doordat een groep landzoogdieren steeds verder en langer in de oceaan ging foerageren. Uit deze primitieve zeezoogdieren ontstonden zo'n vijftig miljoen jaar geleden de eerste walvisachtigen. Tijdens het evolutionaire proces traden veranderingen op die het voor de afstammelingen uiteindelijk mogelijk maakten om permanent in het water te verblijven.

Walvissen zijn zoogdieren. Ze baren levende jongen (zie afbeelding 1), hebben longen en een constante lichaamstemperatuur. Om in een aquatische omgeving te kunnen leven, hebben walvissen grote anatomische en fysiologische aanpassingen ondergaan.

Bij de eerste walvissen veranderde het ademhalingsstelsel. De neusopening verschoof naar de bovenkant van de schedel, waardoor het blaasgat ontstond. Ook de werking van de longen heeft zich in de loop van de tijd aangepast. Walvislongen zijn zeer elastisch en kunnen zonder schade worden samengedrukt. Dit is belangrijk, omdat ze tijdens het duiken worden blootgesteld aan aanzienlijke drukveranderingen. Wanneer een walvis diep duikt, neemt de druk toe en worden de longen samengedrukt. Dankzij hun elasticiteit kunnen de longen zich herstellen als de walvis weer naar de oppervlakte stijgt.

Daarnaast is de vitale capaciteit van walvissen veel groter dan die van andere zoogdieren. Ze kunnen wel 80 tot 90% van de zuurstof uit ingeademde lucht halen, terwijl mensen slechts 17 tot 20% benutten.

Om zuurstof optimaal te vervoeren, hebben walvissen tot 3,5 keer zoveel hemoglobine in hun rode bloedcellen. Daarnaast helpt het bohereffect ook om de zuurstof effectief bij de spieren te krijgen. Walvissen hebben bovendien meer myoglobine in hun spieren dan landzoogdieren. Myoglobine is een eiwit dat verwant is aan hemoglobine, maar zuurstof sterker bindt. Bij potvissen (ook een walvis) is de concentratie myoglobine zo hoog dat hun spieren zwart kleuren.

Walvissen hebben een constante lichaamstemperatuur van ongeveer 37 °C. Om warmteverlies in koud oceaانwater te beperken, hebben ze een dikke isolerende onderhuidse speklaag, ook wel blubber genoemd.

Vanwege het zoute milieu zijn ook de nieren aangepast. Hoewel de structuur van walvisnieren lijkt op die van mensen en de werking vrijwel gelijk is, is de lis van Henle verrassend kort. Dit roept vragen op, aangezien een langere lis van Henle typisch is bij dieren die in een zout milieu leven. Hoe bij walvissen de osmoregulatie precies werkt, is voor wetenschappers nog steeds een raadsel.

■ Afb. 1 Een bultrug met kalf.



Opdrachten



- 1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau.
Kies uit: *ademhalingsstelsel – blaasgat – eiwit – hemoglobine – longen – myoglobine – nieren – oceaan – ribben – rode bloedcel – schedel – walvissen – wetenschapper – zuurstof.*

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

- 2 In de jaren 1840 viel het bioloog Carl Bergmann op dat soorten in een koud klimaat meestal groot zijn. Een biologisch voordeel is dat grote dieren een kleinere oppervlakte-inhoudverhouding hebben dan kleine dieren.
Twee beweringen over een relatief kleine oppervlakte-inhoudverhouding zijn:
- Er is minder energie nodig voor warmteopwekking.
 - De dieren hebben minder grote uitstekende delen, zoals grote vinnen.
- a Geef van elke bewering aan of deze juist of onjuist is. Leg je antwoord uit.
- b Het dieet van een potvis bestaat voornamelijk uit inktvissen. Potvissen gebruiken hun sonar om de inktvissen op te sporen. Wanneer ze een prooi hebben gevonden, duiken ze naar grote diepte om deze te vangen. Als een potvis 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. Leg uit hoe de reflexmatige vaatvernauwing tijdens de duik bijdraagt aan het verlengen van de tijd die de potvis tijdens een duik onder water kan blijven.
- 3 In de rode bloedcellen van een walvis zit hemoglobine die zuurstof bindt. Spieren bevatten veel myoglobine.
- Hoeveel procent van de hemoglobine is verzadigd met zuurstof als de omgeving van het bloed een pO_2 heeft van 2 kPa en een pH van 7,4? Gebruik bij deze vraag **BiNaS** tabel 83D.
 - Hoeveel procent van de myoglobine is verzadigd met zuurstof als de omgeving van het bloed een pO_2 heeft van 2 kPa?
 - Wat is het biologisch voordeel van dit verschil in zuurstofbindend vermogen voor de walvis?
- 4 In de tekst staat dat wetenschappers verbaasd waren dat walvissen maar een korte lis van Henle hebben. Op basis van het milieu waarin walvissen leven verwachtten ze een veel langere lis van Henle.
- Waarom verwachtten de wetenschappers dat walvissen een langere lis van Henle zouden hebben?
 - De oceaan zou je kunnen vergelijken met een milieu waarin weinig zoetwater aanwezig is, zoals een woestijn. Welke aanpassingen hebben de nieren van woestijndieren ondergaan, waardoor ze beter in droge omstandigheden kunnen overleven?

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

14.O.1 Je kunt de onderdelen van het ademhalingsstelsel van een vis herkennen en benoemen.

- ▶ Basisstof 1
- ▶ Vaardigheid 4 (thema 1)

Kieuwen van een vis

⌚ 50 minuten

INLEIDING

Bij vissen vindt gaswisseling plaats in kieuwen die vlak achter de kop liggen. In deze practicumopdracht bekijk je met een loop de kieuwen en maak je drie tekeningen.

MATERIAAL

- vissenkop
- schoteltje
- prepareermateriaal
- petrischaal met water
- loop

METHODE

- Licht met een pincet het kieuwdeksel op (zie afbeelding 1). Je ziet de kieuwen liggen.
- Knip voorzichtig het kieuwdeksel weg.
- Maak een tekening van de kieuwen in de kieuwholte. Geef de kieuwen aan.
- Leg de vissenkop ondersteboven en knip de mondbodem voorzichtig open. Je ziet links en rechts de kieuwen aan de kieuwbogen vastzitten.
- Maak een tekening.
- Knip voorzichtig één kieuw los en leg deze in het water in de petrischaal. Bekijk de kieuw met een loop.
- Maak een tekening van een losse kieuw en geef de volgende delen aan:
kieuwboog – kieuwlamel – kieuwplaatje.

■ Afb. 1 Kieuw.



RESULTAAT

Drie tekeningen van de kieuwen.

ONDERZOEKSDOEL

14.O.2 Je kunt de vitale capaciteit bepalen en conclusies trekken aan de hand van de resultaten.

- Basisstof 2
- Vaardigheid 7 (thema 1)

Bepaling van verschil in vitale capaciteit tussen jongens en meisjes

 50 minuten

INLEIDING

Jongens zijn gemiddeld groter dan meisjes. In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van het geslacht op de vitale capaciteit van de longen.

ONDERZOEKSVRAAG

Hebben jongens gemiddeld een grotere vitale capaciteit dan meisjes?

HYPOTHESE

- 1 Bedenk een hypothese voordat je aan het experiment begint.
- 2 Waarop is je hypothese gebaseerd?

MATERIAAL

- spirometer of glazen klok
- slang met ballon
- zuigbuisje
- mondstukken
- materiaal om het zuigbuisje en het mondstuk schoon te maken
- aquarium
- water
- meetlat of schaalverdeling op de klok

METHODE

Alle leerlingen uit de klas bepalen hun vitale capaciteit door zo diep mogelijk in te ademen en daarna zo diep mogelijk uit te ademen in de spirometer (zie afbeelding 2) of met de rubberslang in de glazen klok (zie afbeelding 3.2).

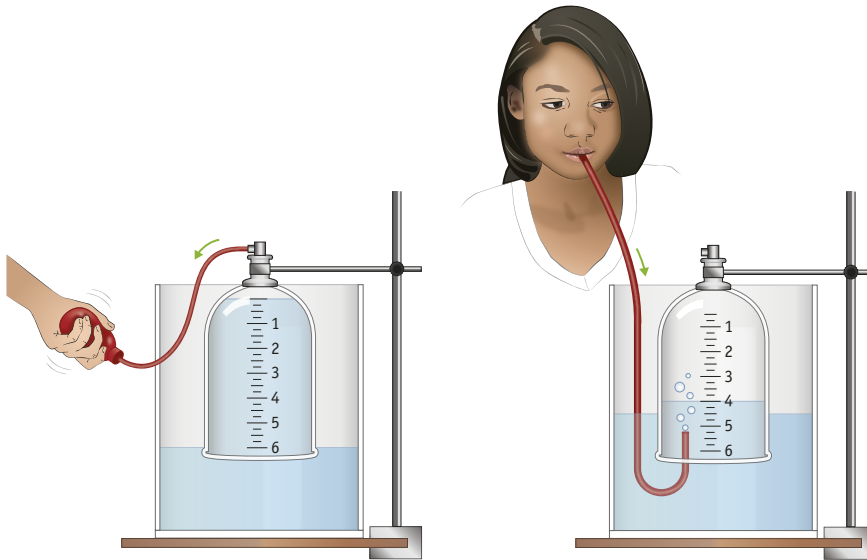
Als je de klok gebruikt, zuig dan eerst met de ballon de lucht uit de klok en sluit het kraantje (zie afbeelding 3.1).

Noteer van iedereen de vitale capaciteit.

■ **Afb. 2** Spirometer.



■ **Afb. 3** De vitale capaciteit bepalen.



1 de klok leegzuigen

2 in de klok uitademen

RESULTAAT

- Maak met de resultaten een schema. Gebruik daarbij aparte kolommen voor jongens en meisjes.
- Bereken van jongens en meisjes de gemiddelde vitale capaciteit.

CONCLUSIE

- 3 Vergelijk de gemiddelde waarden.
Zijn de uitkomsten in overeenstemming met je verwachting?

Practicumopdracht 3

ONDERZOEKSDOEL

14.O.2 Je kunt de vitale capaciteit bepalen en conclusies trekken aan de hand van de resultaten.

- Basisstof 2
- Vaardigheid 7 (thema 1)

Bepaling van de vitale capaciteit

⌚ 50 minuten

INLEIDING

Behalve het geslacht zijn er ook nog tal van andere factoren die invloed hebben op de vitale capaciteit. Voor dit onderzoek bedenk je zelf een factor die invloed kan hebben op de vitale capaciteit. Je voert het onderzoek in de klas uit.

ONDERZOEKSVRAAG

- 1 Bedenk een onderzoeksvraag waarmee je het effect van een factor op de vitale capaciteit kunt onderzoeken.

HYPOTHESE

- 2 Bedenk een hypothese die past bij jouw onderzoeksvraag. Doe dit voordat je aan het onderzoek begint.
- 3 Waarop is je hypothese gebaseerd? Laat je onderzoeksvraag en hypothese controleren door je docent.

MATERIAAL

- spirometer of glazen klok
- slang met ballon
- zuigbuisje
- mondstukken
- materiaal om het zuigbuisje en het mondstuk schoon te maken
- aquarium
- water
- meetlat of schaalverdeling op de klok

METHODE

Alle leerlingen uit de klas bepalen hun vitale capaciteit. Ze geven daarna aan wat hun lengte is, of ze roken of niet, weinig of veel sporten, enzovoort. De vitale capaciteit bepalen ze door zo diep mogelijk in te ademen en daarna zo diep mogelijk uit te ademen in de spirometer (zie afbeelding 2) of met de rubberslang in de glazen klok (zie afbeelding 3).

Als je de klok gebruikt, zuig dan eerst met de ballon de lucht uit de klok en sluit het kraantje.

RESULTAAT

- Noteer van iedereen de vitale capaciteit.
- Noteer de resultaten in een schema in aparte kolommen voor de verschillende groepen.
- Bereken per groep de gemiddelde vitale capaciteit.

CONCLUSIE

- 4 Vergelijk de resultaten en trek daaruit je conclusie.
Zijn de uitkomsten in overeenstemming met je hypothese?

Practicumopdracht 4

ONDERZOEKSDOEL

14.O.2 Je kunt de vitale capaciteit bepalen en conclusies trekken aan de hand van de resultaten.

- Basisstof 2
- Vaardigheid 7 (thema 1)

Relatie tussen vitale capaciteit en uithoudingsvermogen

 50 minuten

INLEIDING

Uithoudingsvermogen is gedurende de evolutie van de mens sterk ontwikkeld. Jagers renden bijvoorbeeld uren achter een prooi aan die sneller was, maar het niet zo lang kon volhouden. In deze practicumopdracht onderzoek je de relatie tussen de vitale capaciteit en het uithoudingsvermogen. Het uithoudingsvermogen bepaal je met een shuttle run test.

ONDERZOEKSVRAAG

Hebben personen met een groot uithoudingsvermogen gemiddeld een grotere vitale capaciteit dan personen met een minder groot uithoudingsvermogen?

HYPOTHESE

- 1 Formuleer een hypothese.

MATERIAAL

- gymzaal met daarin afbakeningen op 20 m afstand van elkaar
- geluidsfragment met piepjes voor de shuttle run
- computer of laptop

METHODE

- Voer de shuttle run test uit. Ga als volgt te werk. Je rent tussen twee lijnen op 20 m afstand van elkaar heen en weer. Na elke minuut hoor je een piepje en gaat de snelheid met 0,5 km/h omhoog (een hele trap). In totaal zijn er twintig trappen. Bij het keerpunt zet je één voet op de lijn en dan ren je weer terug met een zo kort mogelijke draai. Je stopt met de test als je voelt dat je moet stoppen of als je drie keer achter elkaar te laat op de lijn komt.
- Noteer de trap die je als laatst hebt gehaald.
- Maak een tabel met drie kolommen: naam, trap en vitale capaciteit (L).
- Noteer de gegevens van alle klasgenoten in een tabel. De vitale capaciteit is bepaald bij practicumopdracht 3.
- Maak (in Excel) een spreidingsgrafiek van de resultaten.
- Onderzoek of er sprake is van een (lineair) verband tussen de trappen en de vitale capaciteit.

RESULTAAT

Grafiek met lineaire trendlijn en R^2 .

CONCLUSIE

- 2 Welke conclusie kun je op basis van de grafiek trekken over het verband tussen de vitale capaciteit en het uithoudingsvermogen bij de leerlingen in je klas?
- 3 Bevestigt jouw conclusie je hypothese? Zo nee, hoe kun je dit verklaren?

DISCUSSIE

- 4 Hoe betrouwbaar is het uitgevoerde onderzoek?

Practicumopdracht 5

ONDERZOEKSDOEL

14.O.3 Je kunt de onderdelen van een leverlobje herkennen en benoemen.

- Basisstof 3
- Vaardigheid 4 (thema 1)

Leverweefsel

 50 minuten

INLEIDING

De lever bestaat uit heel veel zeshoekige leverlobjes. In deze practicumopdracht bekijk je met een microscoop een leverpreparaat en maak je een tekening.

ONDERZOEKSVRAAG

Hoe ziet een leverlobje eruit?

MATERIAAL

- vast preparaat van leverweefsel
- microscoop

METHODE

- Bekijk een vast preparaat van leverweefsel bij een vergroting van 400×.
- Zoek een leverlobje op.
- Teken een leverlobje.
- Noteer de namen bij de delen.

RESULTAAT

Een tekening van een leverlobje. Benoem de delen van het leverlobje.

Practicumopdracht 6

ONDERZOEKSDOEL

14.O.4 Je kunt de werking van het enzym katalase in verschillende weefsels aantonen.

► Basisstof 3

Katalase in lever en spierweefsel

 50 minuten

INLEIDING

Onder invloed van katalase wordt waterstofperoxide afgebroken tot water en zuurstof volgens $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Het enzym komt bij veel soorten organismen voor. Alle cellen van een organisme bezitten dit enzym, maar is de hoeveelheid gelijk? In deze practicumopdracht onderzoek je of lever en spierweefsel per gram evenveel katalase bevatten.

ONDERZOEKSVRAAG

Bevatten lever en spierweefsel per gram evenveel katalase?

HYPOTHESE

- 1 Bedenk een hypothese voordat je aan het experiment begint.
- 2 Waarop is je hypothese gebaseerd?

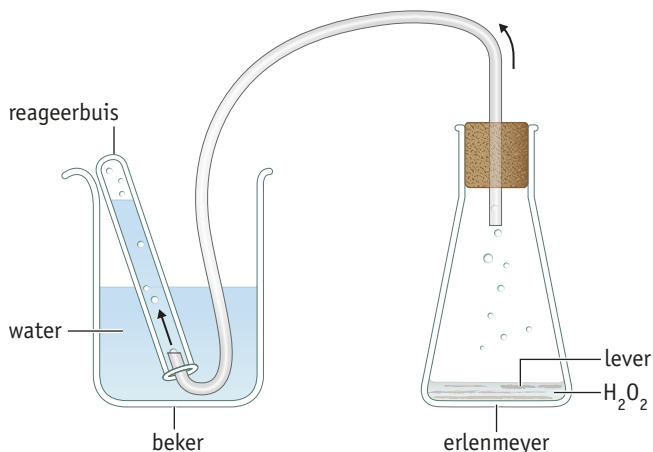
MATERIAAL

- bekerglas van 250 mL
- twee reageerbuizen
- doorboorde kurk (dop)
- kunststofslangetje
- weegschaal
- stukje lever
- stukje biefstuk
- mortier en vijzel
- scherp zand
- waterstofperoxideoplossing (H_2O_2) van 3%
- 5 mL pipet
- erlenmeyer 100 mL
- spatel
- geodriehoek
- stopwatch
- mesje

METHODE

- Maak een proefopstelling zoals in afbeelding 4 is weergegeven.
- Vul reageerbuis 1 nog niet. Vul reageerbuis 2 met water.
- Weeg een stukje lever van 1 g af.
- Wrijf het stukje lever met scherp zand fijn in de mortier. Breng dit mengsel in de erlenmeyer. Gebruik hierbij de spatel.
- Breng 5 mL waterstofperoxide in de erlenmeyer. Pas op met morsen! Plaats de dop onmiddellijk op de erlenmeyer.
- Meet na 20 seconden de hoogte van de gasbel in de reageerbuis.
- Noteer je resultaten in een tabel.
- Herhaal de proef met een stukje biefstuk van 1 g.

■ **Afb. 4** Proefopstelling om de hoeveelheid katalase te bepalen.



RESULTAAT

Maak een tabel met de resultaten.

CONCLUSIE

- 3 Welke conclusie kun je trekken?
- 4 Bevestigt jouw conclusie je hypothese? Zo nee, hoe kun je dit verklaren?

SAMENVATTING

14.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt beschrijven wat de bouw, werking en functie zijn van de gaswisselingsorganen van eukaryoten, in het bijzonder de mens.

- Uitscheiding is het proces waarbij afvalstoffen uit het inwendige milieu van het lichaam worden afgevoerd.
- Inwendig milieu: bloed, cellen en weefselvloeistof.
- Gaswisseling: met het ademhalingsstelsel neem je gasen op uit de lucht en geef je gasen af aan de lucht.
- Het ademhalingsstelsel bestaat uit longen en luchtwegen.
- Neusholte met reukzintuig is bekleed met neusslijmvlies (zie **BiNaS** tabel 83A).
 - De neusholte is verbonden met de bijholten.
 - In de neusholte wordt lucht gereinigd, gekeurd, verwarmd en vochtig gemaakt.
- Trilhaarepitheel met slijmproducerende cellen en trilhaarcellen.
 - Aan het slijm blijven kleine stofdeeltjes en ziekteverwekkers kleven.
 - Het slijm wordt door de beweging van trilharen naar de keelholte verplaatst.
- In de keelholte ligt het strotklepje dat de luchtpijp afsluit bij een slikbeweging.
 - Tussen keelholte en luchtpijp zit het strottenhoofd; hier liggen de stembanden.
- De luchtpijp verbindt de keelholte met de longen.
 - Is bezet met trilhaarepitheel.
 - Door hoefijzervormige kraakbeenringen in de wand blijft de luchtpijp openstaan.
- Bronchiën met trilhaarepitheel en kraakbeenringen.
- Bronchiolen: kunnen door spierweefsel in de wand verwijden of vernauwen.
- De longen zijn opgebouwd uit longblaasjes (alveoli) met longhaarvaten.
 - Longblaasjes zijn een cellaag dik en aan de binnenkant bedekt met een laagje vocht (alveolair vocht)
 - In de longblaasjes vindt gaswisseling plaats.

14.1.2

Je kunt beschrijven hoe opname, transport en afgifte van zuurstof en koolstofdioxide plaatsvinden en wat de rol van hemoglobine en myoglobine daarbij is.

- Gaswisseling vindt plaats door middel van diffusie.
 - Diffusie van zuurstof is afhankelijk van zuurstofconcentratie / zuurstofdruk.
 - Diffusie van koolstofdioxide is afhankelijk van koolstofdioxideconcentratie of koolstofdioxidedruk.
- Zuurstoftransport vindt hoofdzakelijk plaats doordat in de longhaarvaten O_2 -moleculen worden gebonden aan hemoglobine in rode bloedcellen (zie **BiNaS** tabel 83E).
 - hemoglobine (Hb) + $O_2 \rightarrow$ oxyhemoglobine (HbO_2)
 - Door de binding van O_2 aan Hb blijft er een verschil bestaan tussen de pO_2 in het vocht in de longblaasjes en de pO_2 in het bloedplasma, waardoor meer zuurstof kan worden opgenomen.
- Door het concentratieverschil vindt diffusie plaats van O_2 uit de haarvaten naar de weefsels.
 - De hoeveelheid vrijkomende zuurstofmoleculen is afhankelijk van de pO_2 in een weefsel en wordt weergegeven in een verzadigingscurve.
- Door het concentratieverschil vindt diffusie van CO_2 uit de weefsels naar het bloed plaats.
 - Een groot deel van dit CO_2 wordt door het enzym koolzuuranhydrase omgezet naar waterstofcarbonaationen en via het bloedplasma vervoerd.
 - Een kleiner deel van het CO_2 wordt gebonden aan hemoglobine.
 - In de longhaarvaten laten de CO_2 -moleculen los van de hemoglobine.
 - De pH van het bloed wordt beïnvloed door de CO_2 -concentratie. Wanneer de CO_2 -concentratie toeneemt, daalt de pH en komen er meer O_2 -moleculen vrij.
 - Bij een stijging van de temperatuur komen meer O_2 -moleculen vrij (bohreffect). Zie **BiNaS** tabel 83D.
- Myoglobine is een zuurstofbindend eiwit met een sterkere affiniteit voor zuurstof dan hemoglobine.

- Factoren die de uitwisselingssnelheid vergroten (vastgelegd in de wet van Fick):

$$n = D \times A \times \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

Hierin is:

n = diffusiesnelheid;

D = diffusiecoëfficiënt (m^2s^{-1});

A = diffusieoppervlak (m^2);

Δc = concentratieverschil ($c_1 - c_2$ in $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$)
of Δp = drukverschil ($p_1 - p_2$);

Δx = diffusieafstand (m).

- Groot diffusieoppervlak door de vele longblaasjes.
- Kleine diffusieafstand door de dunne wand van longblaasjes en longhaarvaten.
- Groot verschil $p\text{O}_2$ en $p\text{CO}_2$: door verversen van de lucht in de longblaasjes en door stroming van het bloed langs de longblaasjes.

14.1.3

Je kunt bij insecten en vissen beschrijven hoe gaswisseling plaatsvindt en hoe zuurstof naar de cellen wordt getransporteerd.

- Insecten: gaswisseling in tracheeën.
 - Tracheeën zijn sterk vertakte buizen met stigmata (openingen).
 - Groot gaswisselingsoppervlak door sterk vertakte tracheeën.
 - Kleine diffusieafstand doordat zuurstof diffundeert via het vocht en via het bloed naar de cellen.
 - Groot concentratieverschil door ventileren van de lucht in de tracheeën door pompende bewegingen in het achterlijf.
- Vissen: gaswisseling in kieuwen.
 - Kieuwen bestaan uit kieuwbogen (met kieuwplaatjes en kieuwlamellen) en kieuwspleten.
 - Groot gaswisselingsoppervlak door veel kieuwlamellen.
 - Kleine diffusieafstand door dunne kieuwlamellen.
 - Groot concentratieverschil door voortdurend verversen van het water tussen de kieuwlamellen en door stroming van het bloed in de bloedvaatjes in de kieuwlamellen.
- Tegenstroomprincipe: de stroomrichting van het water is tegengesteld aan die in het bloed. Hierdoor diffundeert meer zuurstof uit het water naar het bloed.

14.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt uitleggen op welke wijze longventilatie tot stand komt en wordt geregeld.

- Longventilatie zorgt voor het verversen van de lucht in de longen.
- Ademhalingsspieren zorgen voor de ventilatiebewegingen.
 - De buitenste tussenribspieren trekken de ribben en het borstbeen omhoog en naar voren.
 - De binnenste tussenribspieren trekken de ribben en het borstbeen omlaag.
 - De middenrifspieren kunnen het middenrif afplatten.
- Borstvlies en longvlies:
 - Borstvlies: vergroeid met ribben, binnenste tussenribspieren en middenrif.
 - Longvlies: vergroeid met longen.
 - De ruimte tussen borstvlies en longvlies (interpleurale ruimte) is gevuld met vocht, waardoor ze niet van elkaar afgaan.
- Longweefsel:
 - Is elastisch en verkeert in een uitgerekte toestand.
 - Hierdoor is de druk in de ruimte tussen borstvlies en longvlies lager dan de druk van de buitenlucht (atmosferische druk).
- Rustige inademing:
 - De tussenribspieren en de middenrifspieren vergroten het volume van de borstholte.
 - De luchtdruk in de longblaasjes wordt lager dan de druk van de buitenlucht.
 - Lucht stroomt de longen in.
- Rustige uitademing:
 - De tussenribspieren en de middenrifspieren ontspannen.
 - De ribben en het borstbeen keren terug in hun oorspronkelijke stand.
 - Door de druk in de buikholte keert het middenrif terug in zijn koepelvormige stand.
 - Het volume van de longen wordt kleiner.
 - De luchtdruk in de longblaasjes wordt hoger dan de druk van de buitenlucht.
 - Lucht stroomt de longen uit.

14.2.2

Je kunt beschrijven hoe het longvolume verandert tijdens ventilatiebewegingen.

- Ademvolume: de hoeveelheid lucht die bij een rustige ademhaling wordt in- en uitgeademd (zie **BiNaS** tabel 83B).
 - Een deel van de ingeademde lucht blijft achter in de luchtwegen (de dode ruimte). Deze lucht wordt ongebruikt weer uitgeademd.

- Vitale capaciteit: de hoeveelheid lucht die maximaal per ademhaling kan worden verplaatst en omvat:
 - het ademvolume;
 - het inspiratoir reservevolume: lucht die bij een maximale inademing extra wordt ingeademd;
 - het expiratoir reservevolume: lucht die bij een maximale uitademing extra wordt uitgeademd.
- Longcapaciteit (totale longvolume): vitale capaciteit + restvolume.
 - Restvolume: blijft na een maximale uitademing achter in de longen.

14.2.3

Je kunt beschrijven hoe de ademfrequentie wordt geregeld.

- Het ademhalingscentrum in de hersenstam regelt de ademfrequentie.
- Chemoreceptoren in de wand van de halsslagaders en aorta nemen de $p\text{CO}_2$ van het bloed waar.
 - Vanuit de chemoreceptoren gaan impulsen via zenuwen naar het ademhalingscentrum.
 - Vanuit het ademhalingscentrum gaan impulsen via zenuwen naar de ademhalingsspieren.
 - De ademfrequentie en de diepte van de ventilatie worden aangepast.
- De chemoreceptoren worden beïnvloed door de $p\text{O}_2$ van het bloed.
 - Bij een lagere $p\text{O}_2$ van het bloed worden de chemoreceptoren gevoeliger voor de $p\text{CO}_2$ van het bloed.
- In de longen bevinden zich rekceptoren.
 - Bij uitrekking van de longen sturen rekceptoren in de bronchiën impulsen naar het ademhalingscentrum waardoor inademing stopt en uitademing volgt.
- De grote hersenen kunnen de snelheid en diepte van de ademhaling bewust veranderen.

14.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt de bouw, werking en functies van de lever beschrijven.

- De lever is belangrijk bij het constant houden van het inwendige milieu (homeostase).
- De lever is opgebouwd uit leverlobjes. Leverlobje: zie **BiNaS** tabel 82D.
 - Centraal ligt een vertakking van de leverader.
 - In de hoekpunten liggen vertakkingen van de galgang, de leverslagader en de poortader.
 - Bloed komt van de hoekpunten terecht in ruimten tussen de levercellen en stroomt dan naar het midden van een leverlobje.

- Gal stroomt van de levercellen naar de hoekpunten van een leverlobje.
- Gal wordt via de galgang afgevoerd en opgeslagen in de galblaas.
- Vanuit de galblaas via de galbuis komt gal in de twaalfvingerige darm.

14.3.2

Je kunt uitleggen hoe het inwendige milieu min of meer constant wordt gehouden door de lever (homeostase).

- Galzuren emulgeren vetten en oliën.
 - In het darmkanaal worden de galzuren omgezet in galzouten.
- Afbraak van dode rode bloedcellen.
 - Hemoglobine wordt omgezet in bilirubine (galkleurstof).
 - Galkleurstoffen worden met de gal uitgescheiden.
 - IJzer wordt omgezet naar ferritine en opgeslagen.
- Koolhydraatstofwisseling: de glucoseconcentratie van het bloed wordt constant gehouden onder invloed van insuline en glucagon uit de alvleesklier.
 - Glucose kan worden omgezet in glycogeen.
 - Glycogeen wordt o.a. in de lever opgeslagen.
- Eiwitstofwisseling:
 - Vorming van niet-essentiële aminozuren uit andere aminozuren door transaminering.
 - Afbraak van overtollige aminozuren door desaminering. Hierbij ontstaat o.a. ureum.
- Vetstofwisseling:
 - Vorming van niet-essentiële vetzuren (uit andere vetzuren, aminozuren of monosachariden).
 - Vorming en afbraak van cholesterol.
- Synthese van plasma-eiwitten (o.a. stollingsfactor fibrinogeen en albumine).
- Detoxificatie (ontgiftiging) van o.a. alcohol, drugs en medicijnen.
 - Gifstoffen die niet onwerkzaam kunnen worden gemaakt, kunnen in de lever worden opgeslagen (bijvoorbeeld kwik).

14.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt de bouw, werking en functie van de nieren en de urinewegen uitleggen.

- Functies van de nieren:
 - Uitscheiding van afvalstoffen, schadelijke stoffen en overtollige stoffen uit het bloed.
 - Regelt de waterhuishouding in het lichaam.

- De verwijderde stoffen worden samen urine genoemd.
- Constant houden van de osmotische waarde van het inwendige milieu.
- Urinewegen (zie **BiNaS** tabel 85A):
 - Urineleiders: afvoer van urine naar de urineblaas.
 - Urineblaas: tijdelijke opslag van urine.
 - Urinebuis: afvoer van urine naar buiten.
- Delen van een nier:
 - Nierschors: vorming van voorurine.
 - Niermerg: vorming van urine.
 - Nierbekken: verzamelen van urine.
 - Niereenheden liggen in nierschors en niermerg.
- Een niereenheid (nefron) is opgebouwd uit een nierkapsel en een nierbuisje (nierkanaaltje) (zie **BiNaS** tabel 85A, 85B en 85C).
 - Een nierbuisje bestaat uit twee gekronkelde delen met daartussen een lus: de lus van Henle.
 - Aanvoerende arteriole: vertakt zich tot een haarvatenkluw (glomerulus) binnen het nierkapseltje.
 - Nierkapseltje (kapsel van Bowman): door ultrafiltratie ontstaat voorurine.
 - Het kapsel van Bowman samen met de glomerulus heet lichaampje van Malpighi.
 - Afvoerende slagadertje: vertakt zich tot een haarvatennet rondom het nierbuisje en voorziet de cellen van het nierbuisje van voedingsstoffen en zuurstof.
 - Nierbuisje: door actief transport vindt terugresorptie van nuttige stoffen uit de voorurine plaats, waardoor de osmotische waarde van het niermergweefsel hoger wordt dan die van het nierschorsweefsel.
 - Verzamelbuisjes: door de hoge osmotische waarde in het niermergweefsel wordt veel water aan de (voor)urine onttrokken, tijdens het transport naar het nierbekken.
- Bij de reabsorptie / terugresorptie worden nuttige stoffen aan de voorurine onttrokken.
 - Voorurine bevat veel water met o.a. glucose, ionen en ureum (in een lage concentratie).
 - Urine bevat (minder) water met o.a. ionen en ureum (in een relatief hoge concentratie).

14.4.2

Je kunt uitleggen hoe het inwendige milieu min of meer constant wordt gehouden door de nieren (homeostase).

- Het antidiuretisch hormoon (ADH) uit de hypofyseachterkwab stimuleert de terugresorptie

van water door verhoging van de permeabiliteit van de celmembranen van het laatste deel van de nierbuisjes en van de verzamelbuisjes (zie **BiNaS** tabel 85D).

- De hypofyse reageert op osmoreceptoren in de hypothalamus (negatieve terugkoppeling).
- Veranderingen in de pH worden opgevangen door de bufferende werking van hemoglobine, plasma-eiwitten en natriumwaterstofcarbonaat (NaHCO_3).
 - De longen kunnen door aanpassing van de longventilatie de uitscheiding van CO_2 reguleren.
 - Bij daling van de pH (acidose) wordt meer CO_2 uitgeademd.
 - Bij stijging van de pH (alkalose) wordt minder CO_2 uitgeademd.

14.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt de bouw en functie van de huid uitleggen.

- De huid bestaat uit opperhuid en lederhuid (zie **BiNaS** tabel 87A).
- Opperhuid: hoornlaag en kiemlaag.
 - Hoornlaag (dode, verhoornde epitheelcellen): bescherming tegen beschadiging, uitdroging en infecties.
 - Kiemlaag (levende epitheelcellen): aanvulling van de hoornlaag van onderaf.
 - Haren ontstaan in haarzakjes die tot de kiemlaag worden gerekend.
 - In de haarzakjes liggen talgklieren die talg afscheiden.
 - Talg beschermt de huid en houdt deze soepel.
- Lederhuid: bindweefsel met zintuigen, zenuwen, haarspiertjes, bloedvaten en zweetklieren.
 - Bloedvaten en zweetklieren spelen een belangrijke rol bij de regeling van de lichaamstemperatuur.
- Onderhuids bindweefsel:
 - Opslag van vet in vetcellen.

14.5.2

Je kunt uitleggen hoe het inwendige milieu (lichaamstemperatuur) min of meer constant wordt gehouden door de huid (homeostase).

- Temperatuurregulatie is het herstellen of in stand houden van de gewenste lichaamstemperatuur door organismen (zie **BiNaS** tabel 87B).
- Via een regelkring stuurt de hypothalamus de regeling van de lichaamstemperatuur.
 - De hypothalamus ontvangt informatie van de koude- en warmtezintuigen in de lederhuid.

- De huid speelt een rol bij de regeling van de lichaamstemperatuur:
 - door de bloedvaten in de huid te verwijden of te vernauwen;
 - door verdamping van zweet op het huidoppervlak.
- De hoeveelheid warmte die een lichaam kan vasthouden of afgeven, hangt af van de verhouding tussen het lichaamsoppervlak van een organisme en het volume (inhoud) ervan.

SAMENHANG

- 14.S.1** Je kunt het nut van uitscheiding toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 14.S.2** Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair en ecologisch denken toepassen op de samenwerking van uitscheidingsorganen bij het handhaven van de homeostase.

ONDERZOEK - PRACTICA

- 14.O.1** Je kunt de onderdelen van het ademhalingsstelsel van een vis herkennen en benoemen.
- 14.O.2** Je kunt de vitale capaciteit bepalen en conclusies trekken aan de hand van de resultaten.
- 14.O.3** Je kunt de onderdelen van een leverlobje herkennen en benoemen.
- 14.O.4** Je kunt de werking van het enzym katalase in verschillende weefsels aantonen.



[Ga naar de Flitskaarten en de Oefentoets.](#)

EXAMENOPGAVEN

DE EERSTE ADEMTEUG

Naar: examen vwo 2019-I, vraag 1 t/m 4.

De eerste ademteug na de geboorte is een spannend moment. Vooral bij een te vroeg geboren baby gaat ademen moeilijk en vaak moet dan worden beademd (zie afbeelding 1). Nieuwe behandelingen vergroten de overlevingskans van een te vroeg geboren baby.

■ Afb. 1



Na de geboorte vindt er bij een baby een grote verandering in de manier van gaswisseling plaats. Vóór de geboorte werden zuurstof en koolstofdioxide via de placenta uitgewisseld. Meteen na de geboorte worden de longblaasjes voor het eerst volgezogen met lucht en gaat er meer bloed naar de longen.

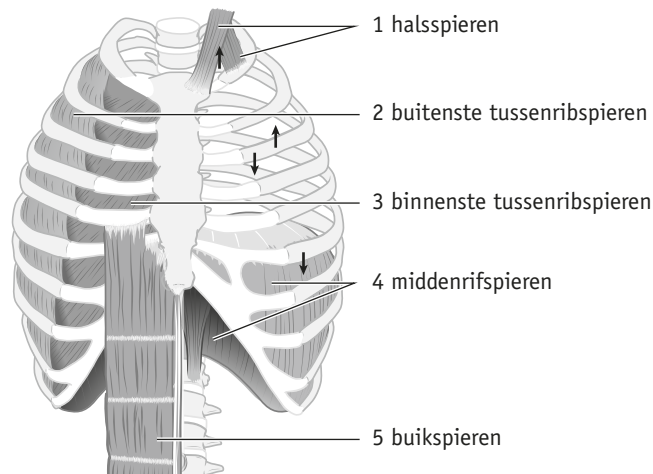
Het duurt vaak even voordat een pasgeboren baby ademt. In die korte tijd neemt de adem prikkel steeds meer toe, waarna de ademhaling op gang komt.

- 2p 1 Door welke veranderde bloedwaarde(n) wordt de adem prikkel sterker?
Waar wordt deze verandering gemeten door de chemoreceptoren?

	Veranderde bloedwaarde(n)	Plaats chemoreceptoren
A	alleen afname pO_2	in de aorta
B	alleen afname pO_2	in de longaders
C	toename pCO_2 en afname pO_2	in de aorta
D	toename pCO_2 en afname pO_2	in de longaders

Enkele spieren die zijn betrokken bij de longventilatie zijn in afbeelding 2 met een nummer aangeduid. Met pijlen is aangegeven in welke richting de ribben bewegen als deze spiergroepen samentrekken. Ook de richting waarin het middenrif beweegt als de middenrifspieren samentrekken, is met een pijl aangegeven.

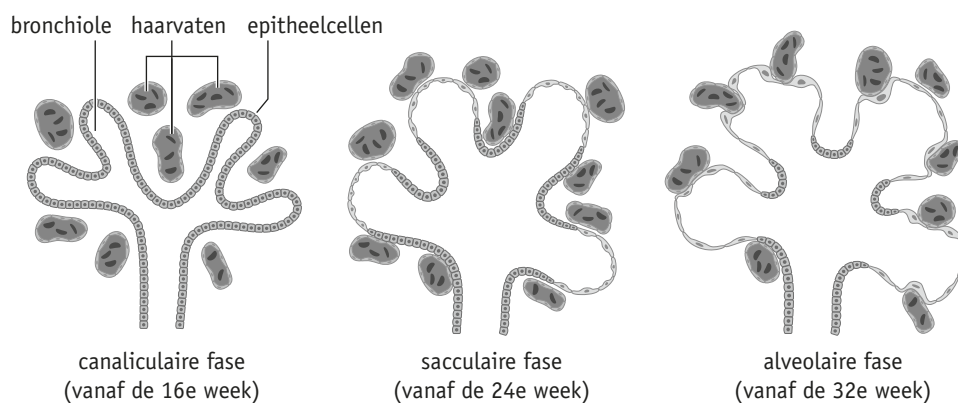
■ Afb. 2



- 2p 2 Welke van deze ademhalingspijlen leveren een grote inspanning bij de eerste ademteug van een pasgeboren baby?
- A alleen 1 en 2
 - B alleen 3 en 4
 - C alleen 3 en 5
 - D alleen 1, 2 en 4
 - E alleen 1, 2 en 5
 - F alleen 3, 4 en 5

Hoe goed de gaswisseling verloopt na de geboorte is afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van de longen. In afbeelding 3 zijn de anatomische veranderingen van bronchiolen (waaruit zich de longblaasjes ontwikkelen) in verschillende ontwikkelingsfasen weergegeven.

■ Afb. 3



Vanaf de 26e week van de embryonale ontwikkeling wordt in de bronchiolen een steeds grotere hoeveelheid surfactant geproduceerd. Surfactant is een mengsel van lipiden en eiwitten dat ervoor dient om de oppervlaktetension in de longblaasjes te verlagen. Daardoor kunnen de longblaasjes makkelijker openblijven.

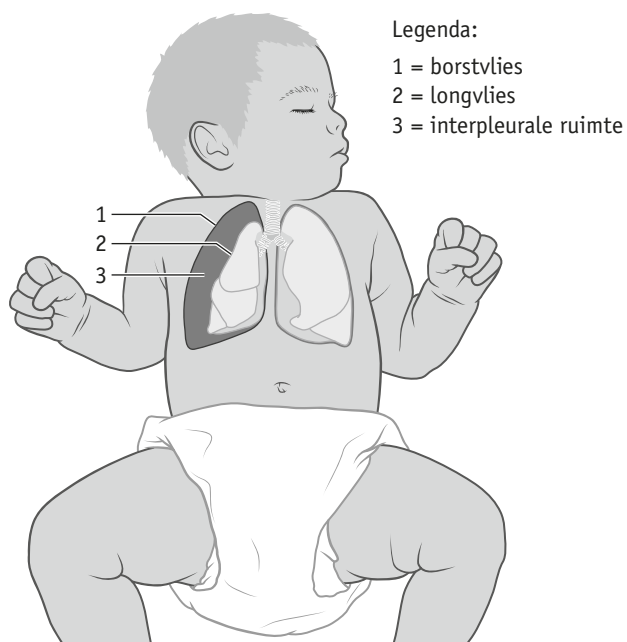
Bij een vroeggeboorte zijn de overlevingskansen voor een baby waarvan de longen in de sacculaire fase verkeren groter dan wanneer de longen nog in de canaliculaire fase zijn. Een verklaring hiervoor is de verbeterde gaswisseling door veranderingen in de bouw van het longweefsel.

- 2p **3** Noteer twee veranderingen in de bouw van het longweefsel (zie afbeelding 3) die leiden tot een verbeterde gaswisseling in de sacculaire fase.

Een te vroeg geboren baby met ernstige ademhalingsproblemen wordt behandeld met behulp van een mechanisch beademingsapparaat. De klassieke manier van beademen is dat de longen worden volgepompt en weer leeggezogen. Bij het leegzuigen kunnen longblaasjes dichtklappen. Ook bij het volpompen kan er schade ontstaan aan de tere longblaasjes.

Mogelijke gevolgen van de klassieke mechanische beademing zijn dat longblaasjes knappen en het longvlies wordt geperforeerd. Hierdoor laat het longvlies los van het borstvlies. Er is dan een klaplong ontstaan (zie afbeelding 4).

■ Afb. 4



Enkele longwaarden zijn:

- 1 restvolume
- 2 totale longvolume
- 3 vitale capaciteit

- 2p **4** Welke waarde is of welke waarden zijn bij een klaplong verminderd?
- A alleen 1
 - B alleen 2
 - C alleen 3
 - D alleen 1 en 3
 - E alleen 2 en 3
 - F 1, 2 en 3

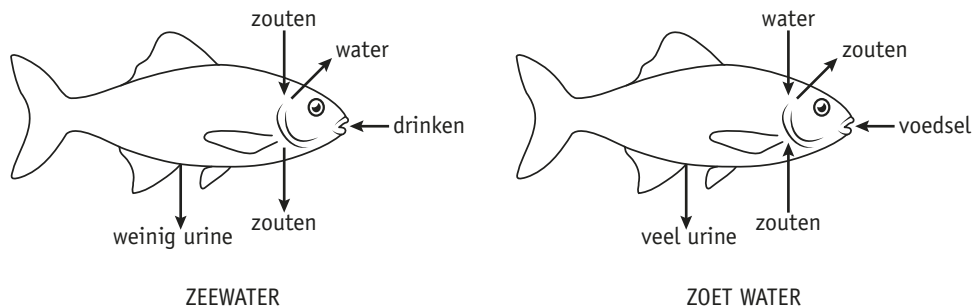
EEN VISMIGRATIERIVIER

Naar: examen vwo 2021-I, vraag 9 en 10.

Tijdens de grote onderhoudsbeurt die voor de Afsluitdijk is gepland, wordt de migratieroute voor trekvisen hersteld.

Trekvisen handhaven een osmotische waarde van het inwendige milieu die lager is dan die van zeewater. In zeewater moeten ze waterverlies voorkomen en passieve zoutopname compenseren. Dit doen ze door de in het darmkanaal geabsorbeerde zouten via de kieuwen en nieren uit te scheiden (zie afbeelding 5, linker tekening). Een verblijf in zoetwater veroorzaakt wateropname en verlies van zouten. Om dit tegen te gaan, nemen trekvisen actief zouten op via de kieuwen en produceren ze meer urine (zie afbeelding 5, rechter tekening).

■ Afb. 5



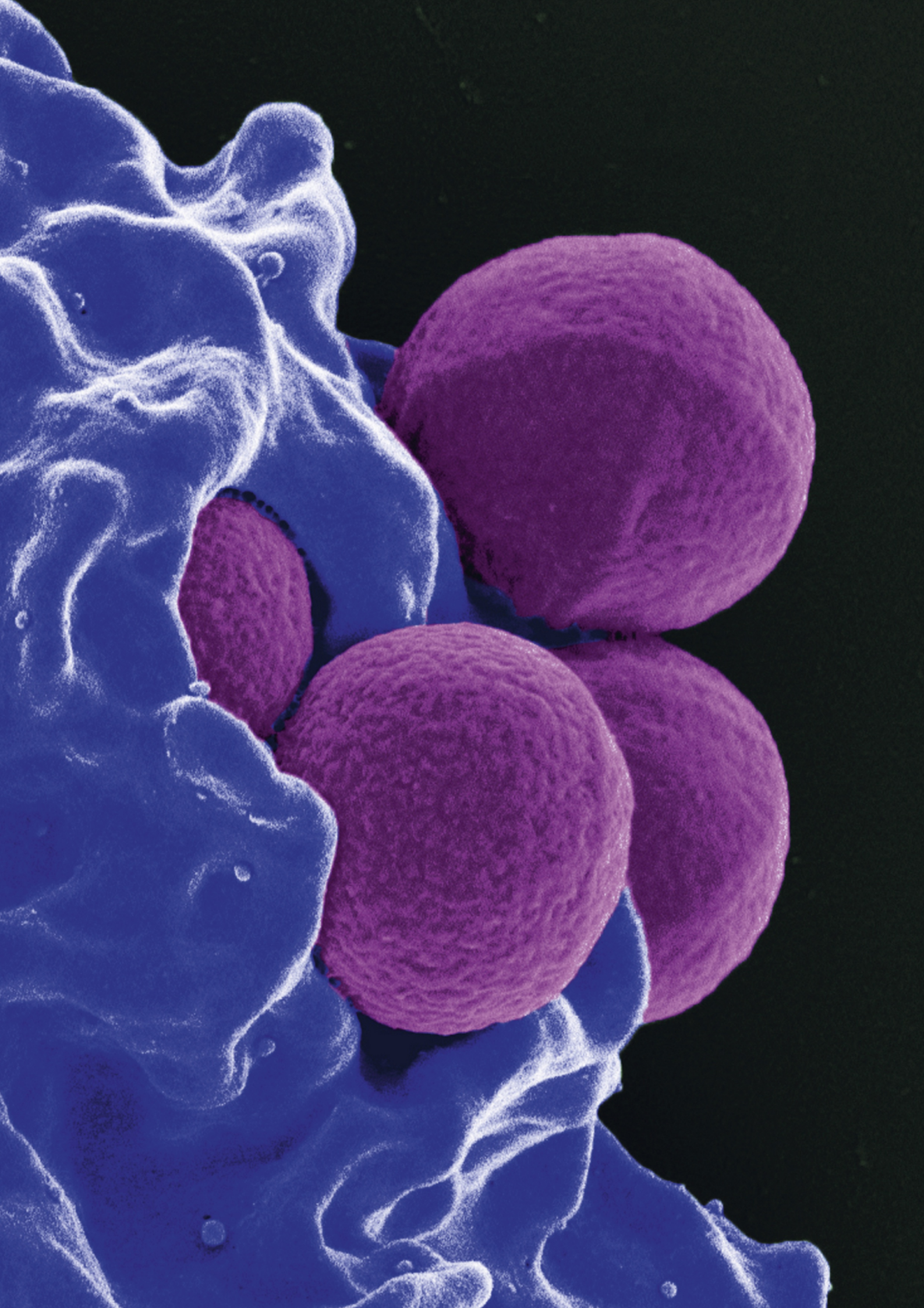
Bij trekvisen ontbreekt de lis van Henle in de niereenheden.

- 2p 5 Wat kunnen deze visen hierdoor niet?
- A de pH in het inwendige milieu handhaven door H^+ uit te scheiden
 - B de pH in het inwendige milieu handhaven door HCO_3^- te resorberen
 - C urine produceren die sterk hypertoon is ten opzichte van het inwendige milieu
 - D urine produceren die sterk hypotoon is ten opzichte van het inwendige milieu

Echte zoetwatervissen zijn aangepast aan het leven in zoetwater. Om te kunnen overleven in zoetwater zijn de nieren van echte zoetwatervissen anders gebouwd dan die van echte zoutwatervissen: er is een verschil in het aantal glomeruli en in de permeabiliteit van de wand van de verzamelbuisjes.

- 2p 6 Zal een echte zoetwatervis relatief meer of minder glomeruli hebben dan een echte zoutwatervis? En zal de permeabiliteit voor water van de verzamelbuisjes bij zo'n zoetwatervis groter of kleiner zijn dan bij zo'n zoutwatervis?

	Glomeruli zoetwatervis	Permeabiliteit verzamelbuisjes zoetwatervis
A	meer	groter
B	meer	kleiner
C	minder	groter
D	minder	kleiner



Thema 15

AFWEER

Bijna alle organismen hebben een aangeboren afweersysteem. Het afweersysteem verdedigt een organisme tegen ziekteverwekkers en ruimt cellen op die zijn veranderd. Gewervelde dieren hebben ook een verworven afweersysteem. Dat onthoudt hoe een bepaalde ziekteverwekker onschadelijk kan worden gemaakt. Dit thema gaat over het afweersysteem bij de mens en de rol van afweerreacties bij orgaantransplantaties, bloedtransfusies en allergieën.

Inhoud

■ ORIËNTATIE

Als je afweersysteem je ziek maakt	208
Voorkennistoets	
Voorkennisfilmpje	

■ BASISSTOF

1 Mechanische en chemische afweer	210
2 Aangeboren afweer	219
3 Verworven afweer	225
4 Immuniteit	237
5 Transplantatie en bloedtransfusie	244

■ SAMENHANG

Poep, een veelbelovend medicijn?	252
----------------------------------	-----

■ EXTRA STOF

Vaccinatie tegen baarmoederhalskanker	
Ideeën voor onderzoek	

■ ONDERZOEK

Practica	254
----------	-----

■ AFSLUITING

Samenvatting	258
Examenopgaven	263

ALS JE AFWEERSYSTEEM JE ZIEK MAAKT

Je merkt er meestal niets van, maar je afweersysteem is continu in de weer om je lichaam te verdedigen tegen lichaamsvreemde organismen en stoffen. Het afweersysteem pakt ook gemuteerde lichaamscellen aan, waardoor tumoren worden voorkomen. Maar soms herkennen afweercellen lichaamseigen cellen onterecht als lichaamsvreemd.

Hamza, vader van drie jonge kinderen, heeft een actief leven als hij op 39-jarige leeftijd vreemde klachten krijgt. Tijdens een voetbaltraining verliest hij de kracht in zijn linkerbeen. Even later lijkt het beter te gaan, maar de volgende dag heeft hij in de hele linkerhelft van zijn lichaam minder gevoel. Hij gaat naar de huisarts, die hem doorstuurt naar de neuroloog. De neuroloog komt snel met de diagnose: multiple sclerose (MS).

Hamza is verbijsterd, hij was altijd zo fit. Hij heeft moeite de diagnose te accepteren. De ziekte heeft veel impact op zijn gezin en op zijn werk, omdat hij minder kan dan voorheen. Hamza heeft veel last van zogenoemde schubs: perioden waarin de symptomen van MS ineens heel duidelijk opleven. Hij kan dan bijvoorbeeld niet meer op zijn benen staan en heeft moeite met praten. Er volgen ook perioden waarin de klachten veel meer op de achtergrond aanwezig zijn. De onzekerheid over wat de dag brengt is slopend, maar inmiddels is Hamza weer positiever over de toekomst.

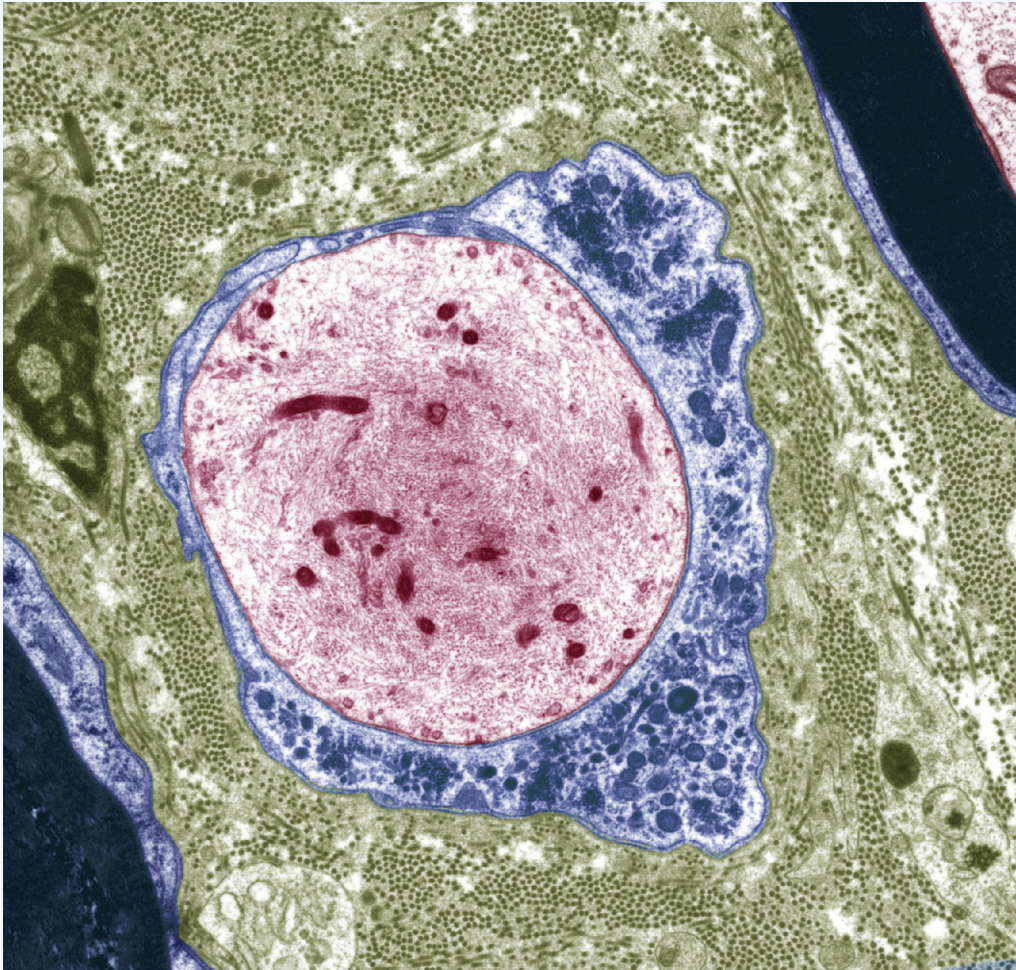
Liliane heeft een soortgelijk verhaal. Zij is nog jong (24 jaar) als de diagnose MS bij haar wordt gesteld. Ze is net klaar met haar studie en geeft les op een basisschool, als ze veel last krijgt van tintelingen. Achteraf gezien is ze al langere tijd extreem moe, maar op dat moment dacht ze dat ze moest wennen aan haar baan. Met de tintelingen gaat ze naar de huisarts, maar die kan niets vinden. Dan krijgt ze plotseling ook problemen met haar zicht: ze ziet wazig. Ook zij wordt doorverwezen naar het ziekenhuis, waar een arts de diagnose MS stelt.

Anders dan Hamza heeft Liliane geen perioden van herstel. Zij heeft een progressieve vorm van MS, waarbij het geleidelijk steeds slechter gaat. Wel wordt deze achteruitgang afgeremd met medicijnen, zoals ontstekingsremmende corticosteroiden. Vijf jaar na de diagnose is Liliane grotendeels afhankelijk van een scooter en zijn haar beperkte zicht en concentratievermogen belemmerend voor haar dagelijks leven. Hoewel ze niet meer op school kan werken, werkt ze wel nog parttime vanuit huis. Ze heeft haar hoop gericht op nieuwe behandelmogelijkheden om verdere achteruitgang te voorkomen.

Iedere dag krijgt iemand in Nederland de diagnose MS. MS is een auto-immuunaandoening. Hierbij keren afweercellen zich tegen het lichaam, specifiek tegen de myelineschede op de cellen van Schwann (zie afbeelding 1). Deze aanvallen resulteren in ontstekingen, littekenvorming en uiteindelijk beschadiging van de zenuwen, met veel verschillende mogelijke klachten tot gevolg.

De oorzaak van MS is niet bekend. In sommige families komt MS vaker voor, maar wie van een ouder genen krijgt waar aanleg voor MS in vastligt, hoeft de ziekte niet te krijgen. Als iemand van een eeneiige tweeling MS krijgt, loopt de ander een risico tot 27% om ook MS te krijgen. MS is wel te behandelen, maar niet te genezen. Onderzoekers proberen steeds betere behandelmethoden te ontwikkelen.

- **Afb. 1** Een TEM-foto van een axon (rood) met cel van Schwann (blauw), maar zonder myelineschede.



Opdrachten

- 1 Tot welk type cellen behoren cellen van je afweersysteem?
 - 2 Leg uit dat het belangrijk is dat je afweersysteem onderscheid kan maken tussen lichaamsvreemd en lichaamseigen.
 - 3 Leg aan de hand van de functie van de myelineschede uit, waarom MS in eerste instantie vooral een effect op de impulssnelheid heeft.
 - 4 Leg uit dat MS kan leiden tot uiteenlopende klachten.
 - 5 Uit welke gegevens in de tekst blijkt dat MS geen erfelijke aandoening is, maar erfelijkheid wel een rol speelt?
-  [Ga naar de Voorkennistoets en het Voorkennisfilmpje.](#)

1 MECHANISCHE EN CHEMISCHE AFWEER

LEERDOELEN

- 15.1.1** Je kunt de werking en functie van de huid en slijmvliezen bij de afweer van de mens beschrijven.
- 15.1.2** Je kunt de verschillen tussen chemische en mechanische afweer beschrijven.
- 15.1.3** Je kunt benoemen wat de verschillen zijn tussen verschillende typen ziekteverwekkers.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	15.1.1	15.1.2	15.1.3
Begrijpen	1a, 3b	1bc, 3a	2
Toepassen			4b, 5, 6a, 8, 9, 10
Analyseren	7b	7acd, 12	4a, 6b, 11, 13

Ziekteverwekkende organismen liggen constant op de loer, maar het lukt ze bijna nooit om je lichaam binnen te dringen. Dat wordt onder andere voorkomen door je huid, longslijmvlies en darmslijmvlies. Zij vormen een beschermende grens tussen je inwendige en uitwendige milieu. Ook speeksel, traanvocht en maagsap voorkomen dat ziekteverwekkers binnendringen.

INWENDIG EN UITWENDIG MILIEU

Je lichaam wordt constant blootgesteld aan organismen, virussen en stoffen uit de omgeving die je ziek kunnen maken. Veel ziekteverwekkers (pathogenen) zijn erg klein, zoals virussen en bacteriën. Andere zijn groter, zoals schimmels en dieren (bijvoorbeeld insecten en wormen).

Je inwendige milieu is gescheiden van je uitwendige milieu door het dekweefsel van de huid, de longen en de darmen (zie afbeelding 1). De inhoud van het maag-darmkanaal hoort bij het uitwendige milieu. Je kunt dit kanaal vergelijken met een holle buis die is aangesloten op de buitenwereld. In afbeelding 1 is het inwendige milieu roze gekleurd. Dit deel van het lichaam kan alleen worden bereikt nadat een celmembraan is gepasseerd. Het uitwendige milieu is met wit aangegeven en staat direct in verbinding met de buitenwereld.

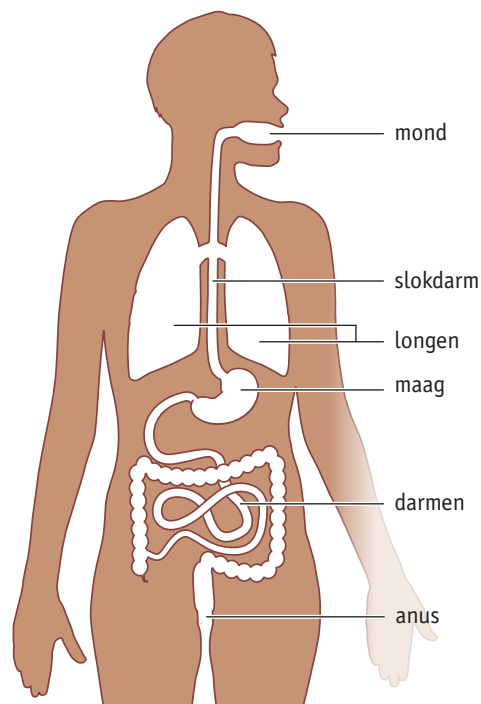
DE EERSTE VERDEDIGINGSLINIE

Het menselijk lichaam heeft verschillende verdedigingslinies die beschermen tegen ziekteverwekkers en schadelijke stoffen. De huid en de **slijmvliezen** vormen de eerste verdedigingslinie (zie **BiNaS** tabel 84J2 en 84J3).

Door de bouw van de huid dringen ziekteverwekkers en schadelijke stoffen een intacte huid moeilijk binnen. De verschillende lagen aaneengesloten cellen maken dit vrijwel onmogelijk. Daar waar openingen in de huid zitten, zoals bij de ogen,

de neus en de mond, zorgen slijmvliezen ervoor dat ziekteverwekkers moeilijk kunnen binnendringen. Traanvocht en speeksel spoelen indringers weg. Slijm in de neus (snot), de luchtwegen, het verteringsstelsel, het uitscheidingsstelsel en het voortplantingsstelsel vangt ziekteverwekkers op en houdt ze tegen. Dit slijm moet dan weer naar buiten worden afgevoerd, bijvoorbeeld door de trilharen in het slijmvlies van je luchtwegen (afvoer naar de keelholte). Ook door te niezen of te hoesten kun je slijm met ziekteverwekkers uit je luchtwegen verwijderen.

■ **Afb. 1** Inwendig en uitwendig milieu.



De hiervoor beschreven voorbeelden behoren tot de **mechanische afweer**, omdat het gaat om afweer met behulp van fysieke (lichamelijke) aanpassingen.

Op de huid en in het slijmvlies van bijvoorbeeld het darmkanaal bevinden zich ook veel goede bacteriën. Zij vormen een biologische barrière tegen ziekteverwekkers. Waar goede bacteriën leven, is vaak geen plaats voor andere pathogene bacteriën. Ook dit is een vorm van mechanische afweer.

Chemische afweer is het gebruik van stoffen om indringers buiten te houden. Maagsap bijvoorbeeld bevat onder andere zoutzuur (HCl opgelost in water). Door de zeer lage pH (1-2) worden veel ziekteverwekkers in het voedsel gedood. Op de huid zorgen zweet en talg voor een pH van 3-5, waardoor veel schadelijke bacteriën en schimmels niet op de huid kunnen groeien. Lichaamsvloeistoffen zoals traanvocht, slijm, speeksel en zweet bevatten lysozym, een enzym dat bepaalde bacteriën doodt door afbraak van de celwand.

VERSCHILLENDE TYPEN ZIEKTEVERWEKKERS

Wanneer het ziekteverwekkers lukt om je lichaam binnen te dringen (besmetting) en zich daar te vermenigvuldigen, spreek je van een infectie. Bij een infectie met bacteriën, schimmels en parasitaire dieren ontstaan de ziekteverschijnselen veelal door de giftige stoffen (toxinen) die deze organismen afgeven. Schimmels infecteren meestal alleen de huid en de slijmvliezen, terwijl bacteriën, virussen en eencellige dieren ook andere delen van het lichaam kunnen infecteren. In afbeelding 2 zie je enkele voorbeelden van infectieziekten die worden veroorzaakt door de verschillende categorieën ziekteverwekkers.

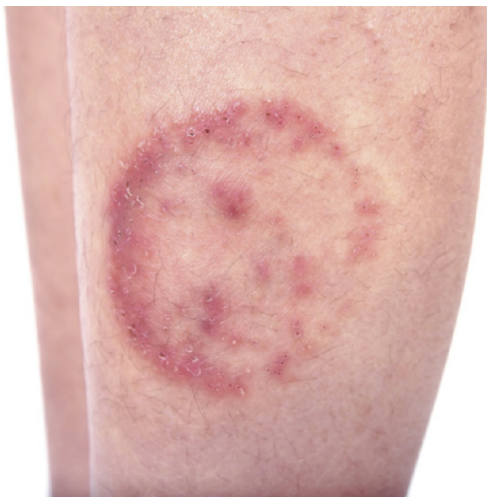
■ Afb. 2 Infectieziekten door pathogene organismen.



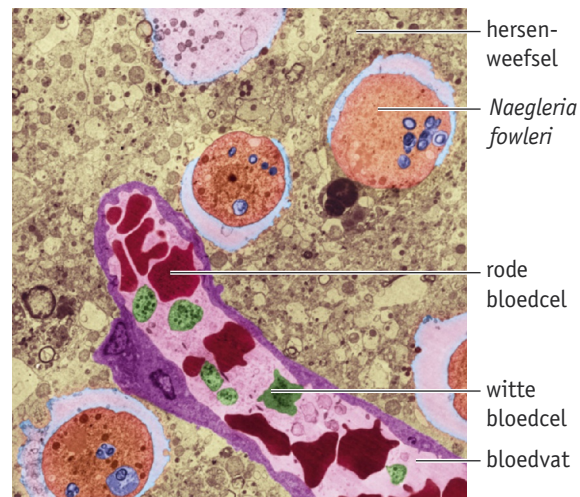
- 1 Transport van een patiënt met ebola. Ebola wordt veroorzaakt door een virus. Deze zeer besmettelijke infectieziekte komt vooral voor in gebieden rondom regenwoud en kent een zeer ernstig verloop.



- 2 Krentenbaard (*impetigo vulgaris*) komt vaak voor bij kinderen en wordt veroorzaakt door een bacterie, meestal een stafylokok.



- 3 Ringworm wordt veroorzaakt door een schimmel, meestal van het geslacht *Microsporum* of *Trichophyton*. De infectie kan van dier op mens (en andersom) worden overgedragen.



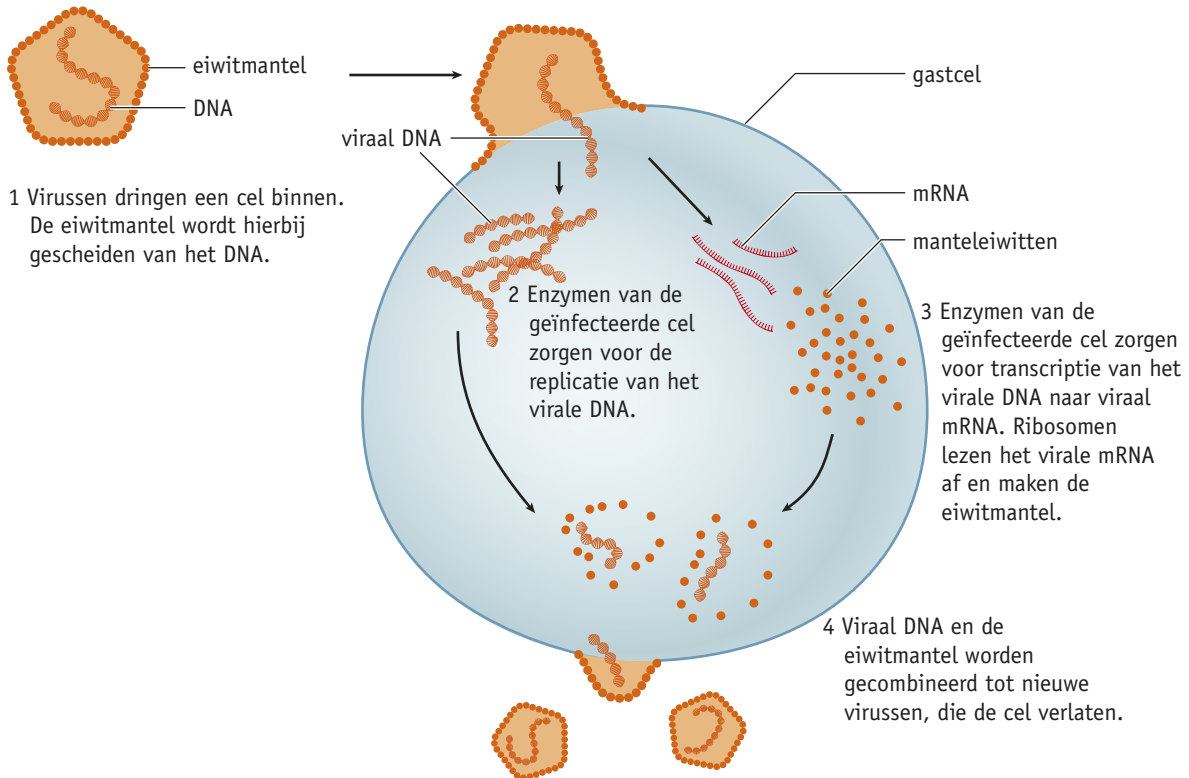
- 4 *Naegleria fowleri* is een hersenetende amoëbe. De amoëbe dringt via de neus binnen en klimt via de zenuwcellen naar het brein, waar het de breincellen 'opslurpt' met een zuignapje. Een infectie met *Naegleria fowleri* komt zelden voor.

Je kunt ook ziek worden van stoffen die je inademt of inslikt, of die via je huid binnendringen. Stoffen of cellen die niet in je lichaam thuishoren, noem je **lichaamsvreemd**. Het afweersysteem (of immuunsysteem) beschermt je tegen lichaamsvreemde organismen en lichaamsvreemde stoffen. Je eigen lichaam maakt **lichaamseigen** stoffen of cellen en die worden meestal niet aangevallen door het afweersysteem.

De verschillen in eigenschappen van ziekteverwekkers zijn enorm, dus het afweersysteem moet heel flexibel zijn. Veel ziekteverwekkers zijn bijvoorbeeld heel klein, zoals virussen en bacteriën, maar het afweersysteem moet ook kunnen optreden tegen veel grotere pathogenen, zoals parasitaire wormen.

Virussen zijn het kleinste type ziekteverwekker (meestal tussen de 20-300 nanometer) en zijn geen organismen. Ze kunnen alleen overleven en zich voortplanten als het ze lukt om lichaamscellen binnen te dringen. Ze maken gebruik van de organellen in de gastheer cel. DNA-virussen bestaan uit een streng DNA en RNA-virussen uit een streng RNA; beide hebben daaromheen een **eiwitmantel** (capside). Het virus-DNA of virus-RNA komt bij een infectie in een gastheer cel terecht. Na de vermenigvuldiging barst de gastheer cel open en komen virussen vrij (zie afbeelding 3 en **BiNaS** tabel 77D) of worden de nieuwe virussen door de gastheer cel afgesnoerd. Een nieuw virus dringt een andere gastheer cel binnen en zo kan een virus zich snel verspreiden.

■ **Afb. 3** De vermenigvuldiging van een DNA-virus in een gastheer cel.



Virussen kunnen hun gastheer op verschillende manieren ziek maken. Ze kunnen cellen doden of beschadigen door de afgifte van eiwitverterende enzymen. Ook kunnen ze geïnfecteerde cellen toxinen laten produceren, waardoor de cel beschadigd raakt of sterft. Veel virusinfecties verlopen mild, maar er zijn ook virusinfecties met een ernstig beloop. Antivirale medicijnen (virusremmers) kunnen soms helpen bij de bestrijding van specifieke virusinfecties. Meestal komt het overwinnen van de virusinfectie neer op een goede werking van het afweersysteem. De hoeveelheid schade die een virus veroorzaakt, hangt onder andere af van het vermogen van het geïnfecteerde weefsel om te herstellen. Mensen herstellen bijvoorbeeld van een verkoudheid, doordat geïnfecteerde epitheelcellen van het ademhalingsstelsel door celdeling worden vervangen. Dit geldt niet voor volwassen zenuwcellen die door het poliovirus worden geïnfecteerd. Doordat deze cellen niet worden vervangen, resulteert dit in een blijvende verlamming.

Veel micro-organismen kunnen buiten de lichaamscellen en soms zelfs buiten het lichaam overleven. De meeste soorten **bacteriën** zijn onschadelijk en nuttig, maar van sommige soorten (pathogene) bacteriën kun je ziek worden. De meeste bacteriën leven extracellulair (buiten de lichaamscel).

De afweer van je lichaam tegen ziekteverwekkende bacteriën kun je tijdelijk versterken door het gebruik van **antibiotica** (enkelvoud: antibioticum). Antibiotica zijn medicijnen die bacteriën doden of hun groei remmen. Ze beschadigen de celwand van bacteriën of blokkeren de stofwisselingsprocessen ervan. Antibiotica werken niet tegen infecties door virussen, schimmels of parasieten. Er zijn verschillende typen antibiotica, waarvan penicilline het bekendst is. Een belangrijk nadeel van antibiotica is dat er **resistentie** kan ontstaan. Bacteriën zijn dan niet meer gevoelig voor het antibioticum. Hoe vaker je antibiotica gebruikt, hoe groter de kans dat bacteriën resistent worden. Artsen zijn daarom terughoudend met het voorschrijven van antibiotica.

Zwemmerseczeem en een vaginale infectie met *Candida albicans* zijn bekende voorbeelden van infecties met een pathogene schimmel. Infecties met **schimmels** komen vaak voor op warme en vochtige plaatsen van het lichaam. Ze leiden meestal tot oppervlakkige aandoeningen, als het afweersysteem tenminste goed functioneert. Ook pathogene schimmels blijken steeds vaker resistentie te hebben ontwikkeld tegen antischimmelmedicijnen.

Dierlijke **parasieten** kunnen op het lichaam, in weefsels of in de darmen leven. Bekende voorbeelden zijn hoofdluis, bedwants, schurftmijt, spoelworm en lintworm.

Opdrachten **KENNIS**

- 1 De verschillende linies van het afweersysteem beschermen het hele lichaam. Op een aantal plaatsen waar weefsels direct contact maken met het uitwendige milieu zijn er specifieke aanpassingen, zoals in de organen waarvan de inhoud tot het uitwendige milieu behoort.
 - a Schrijf de nummers 1 tot en met 5 onder elkaar en noteer erachter of de inhoud van het betreffende orgaan wel of niet tot het uitwendige milieu behoort.
 - 1 maag
 - 2 luchtpijp
 - 3 hersenen
 - 4 baarmoeder
 - 5 urinebuis
 - b Het oog is een van de meest kwetsbare organen, omdat het maar een heel beperkt herstellend vermogen heeft. Beschadigde netvliescellen worden vrijwel nooit opnieuw aangemaakt. Het inwendige oog is dan ook goed afgeschermd van de rest van het lichaam, onder andere door een bloed-netvliesbarrière. Ziekteverwekkers kunnen hierdoor nauwelijks binnendringen. Behoort de bloed-netvliesbarrière tot de mechanische of chemische afweer? Leg je antwoord uit.
 - c Het oog heeft speciale aanpassingen die voorkomen dat pathogenen en schadelijke stoffen uit het uitwendige milieu het oog kunnen binnendringen, zoals de continue afgifte en afvoer van traanvocht. Twee leerlingen voeren hierover een discussie. Myra zegt dat traanvocht tot de mechanische afweer behoort. Gijs vindt dat je traanvocht tot de chemische afweer moet rekenen. Beide leerlingen hebben gelijk. Leg voor zowel het standpunt van Myra als van Gijs uit waarom het klopt.
- 2 Welke typen ziekteverwekkers hebben een gastheer nodig om te overleven (en zich voort te planten)? Leg je antwoord uit.

- 3 In Nederland treedt besmetting met parasitaire spoelwormen vooral op in de buurt van varkenshouderijen. Veel varkens hebben spoelwormen en poepen de eitjes van de spoelworm uit. De eitjes zijn pas besmettelijk nadat ze vier weken in de grond hebben gerijpt. Mensen raken besmet door contact met de besmette grond of via groente of fruit. Rijpe eitjes kunnen terechtkomen in de mond. In de darmen kunnen uit deze eitjes witroze spoelwormen ontstaan van 10 tot 40 cm lang (zie afbeelding 4). Deze wormen kunnen maandenlang in de darmen leven, zonder veel klachten te veroorzaken. Ook mensen poepen eitjes uit. Soms zijn er in de ontlasting ook wormen te zien.

- a De eitjes van een spoelworm hebben diverse vormen van chemische afweer doorstaan voordat ze zich in de darmen vestigen. Noteer een voorbeeld.
- b Leg uit dat er in bovenstaande situatie eigenlijk geen sprake is van een infectie van het inwendige milieu.

■ Afb. 4 Twee spoelwormen.



Opdrachten INZICHT

- 4 De griep (influenzavirus) scoort altijd hoog in de lijsten van de dodelijkste virussen. Ieder jaar wordt 5 tot 15% van de wereldbevolking besmet. Wereldwijd leidt de griep tot ongeveer vijfhonderdduizend doden per jaar.
- a Leg op basis van de cijfers uit dat een virusinfectie met de griep niet 'superdodelijk' is in vergelijking met een ebola-infectie, waaraan gemiddeld 50% van de besmette mensen overlijdt.
 - b Het griepvirus bevindt zich in de luchtwegen van iemand die besmet of ziek is. Door hoesten, niezen en praten komen er virusdeeltjes in de lucht terecht (zie afbeelding 5). Andere mensen kunnen deze deeltjes inademen en zo besmet raken. De winter is het 'griepseizoen', verreweg de meeste besmettingen treden dan op. Dit komt gedeeltelijk doordat de luchtvochtigheid in de winter lager is, waardoor virusdeeltjes langer in de lucht kunnen blijven rondzweven. Ook is er minder ultraviolet licht, waardoor virussen worden gedeactiveerd. Geef een andere reden waarom besmetting met de griep in de winter vaker voorkomt dan in de zomer.

■ Afb. 5 Hoestende mensen.



- 5 De Amerikaanse Voedsel- en Warenautoriteit (FDA) heeft in 2022 de eerste gentherapie op basis van stamcellen goedgekeurd. Deze therapie is een behandeling voor patiënten met bèta-thalassemie, een aandoening die wordt veroorzaakt door een defect gen, waardoor het eiwit hemoglobine niet goed wordt aangemaakt. Patiënten hebben hierdoor chronische bloedarmoede.
Voor het genetisch modificeren van de stamcellen met het genetisch defect van deze patiënten wordt een virus gebruikt, waarvan eerst het DNA is aangepast.
Noem twee eigenschappen die een virus geschikt maken om te gebruiken voor de genetische modificatie van andere cellen.
- 6 Antivirale middelen zijn medicijnen die werkzaam zijn tegen virusinfecties. Antivirale middelen kunnen op verschillende manieren een virusinfectie remmen.
Bekijk **BiNaS** tabel 77D.
- a Welke stappen van de cyclus van een DNA-virus zouden antivirale middelen kunnen blokkeren?
- b De ontwikkeling van antivirale middelen is veel uitdagender dan de ontwikkeling van antibiotica. Dit komt doordat er veel variatie in virussen is. Ook verschilt de leefwijze van virussen en bacteriën na infectie op één essentieel punt.
Welk verschil in leefwijze tussen virus en bacterie maakt de ontwikkeling van antivirale middelen uitdagender dan die van antibiotica? Leg je antwoord uit.
- 7 Twee uur na de lunch voelt Luca zich niet goed: hij krijgt buikpijn met flinke buikkrampen, diarree én hij moet braken. Hij zoekt op internet zijn klachten op. Op de site thuisarts.nl vindt hij de volgende informatie:

Ziek door besmet eten

In eten en drinken zitten altijd wel bacteriën, virussen, schimmels of parasieten. De meeste kunnen geen kwaad. Van sommige kunt u wel ziek worden.

Dit heet voedselinfectie als de bacteriën, virussen of parasieten zelf u ziek maken.

Het heet een voedselvergiftiging als de gifstoffen die de bacteriën of schimmels maken u ziek maken.

U weet meestal niet welke van de twee u heeft door besmet eten.

Wat merk ik als ik ziek ben door besmet eten?

Door besmet eten en drinken kunt u deze klachten krijgen:

- meestal eerst buikpijn of buikkrampen
- misselijk en overgeven
- diarree
- duizelig zijn

Sommige bacteriën geven hoofdpijn, spierpijn en koorts.

Door sommige bacteriën kunt u bloed in uw poep krijgen. Bijvoorbeeld door de salmonellabacterie.

De klachten beginnen een paar uur tot meer dan 8 uur nadat u gegeten of gedronken heeft. Meestal zijn de klachten na 1 dag tot 3 dagen weer over.

Bron: www.thuisarts.nl

De buikkrampen van Luca zijn heftig en hij moet zo vaak braken en poepen dat hij maar in de buurt van het toilet blijft. Hij zou graag een medicijn tegen deze klachten hebben. Maar hij leest ook op thuisarts.nl dat dit niet zinvol is.

- Leg uit op welke manier deze zeer vervelende maag-darmklachten kunnen helpen bij de bestrijding van de voedselinfectie of voedselvergiftiging. Maak gebruik van relevante biologische begrippen in je uitleg.
- Sommige bacteriën (zoals salmonella) kunnen bloed in de ontlasting veroorzaken. Waar wijst bloed in de ontlasting op?
- Als iemand een heel ernstige salmonella-infectie heeft opgelopen, worden soms antibiotica voorgeschreven. Waarom is het belangrijk dat de gehele antibioticumkuur wordt afgemaakt, met het oog op de preventie van resistentie?
- Waarom zijn mensen na een antibioticakuur soms vatbaarder voor een infectie? Leg je antwoord uit.



8 Reproductiegetal

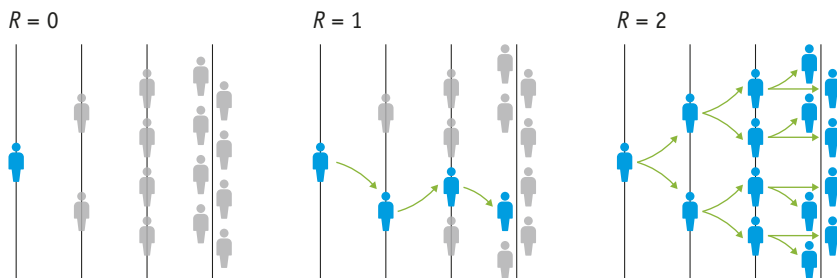
Naar: Voorronde Biologie Olympiade Junior vwo 2021, vraag 3.

Om de ontwikkeling van het coronavirus in Nederland te kunnen volgen, hield het RIVM tot juli 2023 het reproductiegetal (R) bij. Het reproductiegetal laat zien hoe snel een virus zich verspreidt. Als dat getal bijvoorbeeld 2 is, dan besmet iemand die het virus heeft, gemiddeld twee andere mensen (zie afbeelding 6.1).

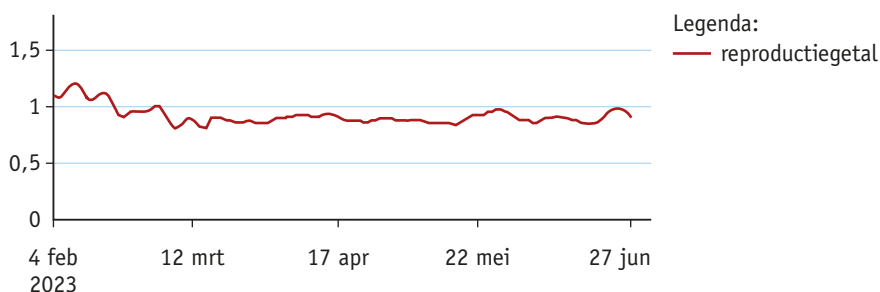
In afbeelding 6.2 zie je het reproductiegetal van het coronavirus van de laatste maanden waarin het RIVM dit nog bijhield.

Leg aan de hand van de grafiek uit dat het aantal besmettingen in het grootste deel van de weergegeven tijd niet toenam.

■ Afb. 6 Reproductiegetal.



1 verspreiding van een virus bij verschillende waarden van R



2 reproductiegetal van het coronavirus tussen februari en juni 2023



[Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

EEN VLEUGJE FAAGSPRAY OVER JE MAALTIJD

Van besmet voedsel kun je behoorlijk ziek worden. Waarschijnlijk heb je het al eens meegemaakt, buikkrampen, misselijkheid, diarree, braken en soms koorts na het eten van dat broodje kip of toastje filet americain. Mensen spreken al gauw over een voedselvergiftiging, terwijl er vaker sprake is van een infectie.

Bij een voedselinfectie is het voedsel besmet door een ziekteverwekker, waarna deze de darm infecteert. Meestal is de boosdoener een bacterie. Bacteriën zijn altijd aanwezig in voedingsmiddelen, zeker in dierlijke producten, zoals vlees en eieren. Maar als bepaalde omstandigheden het toelaten dat bepaalde bacteriën zoals *Escherichia coli*, *Salmonella* of *Listeria* zich vermenigvuldigen, kan het gevaarlijk worden.

Bij een voedselvergiftiging tasten toxinen uit het voedsel de darmwand aan. Deze toxinen worden ook vaak door bacteriën geproduceerd. Hygiënische productie en bereiding van voedsel en het correct bewaren zijn essentieel voor het voorkomen van voedselinfectie en voedselvergiftiging. Daarbij gaat het nogal eens mis. Canadese onderzoekers

hebben een oplossing bedacht: een spray bomvol piepkleine bacteriofagen die je over het voedsel kunt spuiten. Bacteriofagen zijn virussen die bacteriën doden. De spray bevat fagen die ziekteverwekkende *Escherichia coli*-bacteriën in voedsel bestrijden. De onderzoekers zeggen dat ze met dezelfde techniek ook een spray kunnen maken tegen meerdere soorten ziekteverwekkers. De Amerikaanse voedsel- en warenautoriteit heeft fagen al goedgekeurd voor gebruik in voedsel, dus misschien is het een kwestie van tijd voordat je je voedsel vóór consumptie even besproeit met een vleugje faagspray (zie afbeelding 7).

■ **Afb. 7** Even sprayen voordat je gaat eten.



Opdrachten

- 9 Soms worden antibiotica voorgeschreven als behandeling van een patiënt met een maag-darminfectie door het eten van besmet voedsel. Leg uit waarom antibiotica niet werken bij een voedselvergiftiging.
- 10 Leg uit dat het sprayen van faagspray vlak voor het eten van je voedsel niet helpt tegen voedselvergiftiging, maar dat het toepassen van faagspray in een eerder stadium (bijvoorbeeld in het productie- en distributieproces) wel effectief zou kunnen zijn.
- 11 De klachten van een voedselvergiftiging en een voedselinfectie lijken op elkaar. Het moment van aanvang van de klachten na inname van het besmette voedingsmiddel en de duur van de klachten verschillen echter meestal wel.

Treden bij een voedselinfectie de klachten eerder of later op dan bij een voedselvergiftiging? Leg je antwoord uit.

- 12 De onderzoekers zeggen dat hun onderzoek ook aantoont dat de faagspray veilig is voor gebruik. Veel mensen zullen bezwaren hebben tegen het spuiten van virussen over hun voedsel, gezien het negatieve imago van virussen. Formuleer zo'n mogelijk bezwaar.
- 13 Bacteriofagen zou je in de toekomst breder kunnen inzetten bij de behandeling van infecties. Dit is interessant, omdat bacteriën antibioticaresistentie ontwikkelen. De kans op de ontwikkeling van resistente bacteriën tegen bacteriofagen is heel klein. Leg uit waarom.

2 AANGEBOREN AFWEER

LEERDOEL

15.2.1 Je kunt beschrijven welke cellen zijn betrokken bij de aangeboren (niet-specifieke) afweer en wat hun functie is.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	15.2.1
Begrijpen	14, 15, 16, 17, 18
Toepassen	19, 20b, 21, 23c, 26
Analysen	20ac, 22, 23ab, 24, 25, 27, 28

In je darmen leven meer dan drie keer zoveel bacteriën als het aantal lichaamscellen dat je hebt. De grens tussen het inwendige en het uitwendige milieu is in de darmen maar één cellaag dik. Jouw afweersysteem strijdt hier continu tegen ziekteverwekkers, maar laat de lichaamsvreemde stoffen uit je voeding met rust.

HET AFWEERSYSTEEM

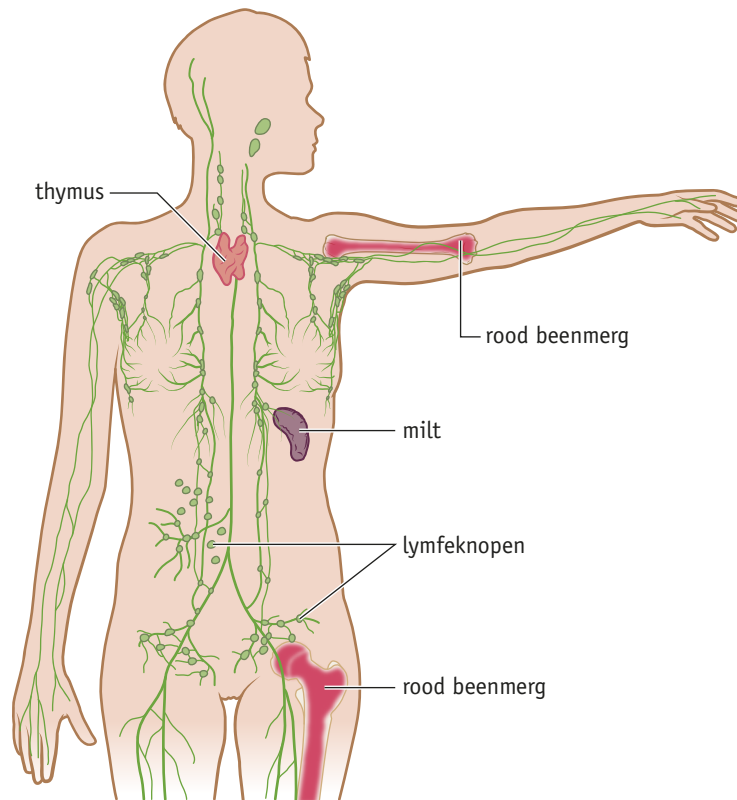
Een onbeschadigde huid en slijmvliezen vormen effectieve aangeboren barrières tegen ziekteverwekkers. Wanneer ziekteverwekkers of schadelijke stoffen er toch in slagen het inwendige milieu binnen te dringen, komt meteen de tweede verdedigingslinie in actie: het **aangeboren afweersysteem**. Cellen en moleculen van dit afweersysteem liggen altijd en overal in het lichaam klaar om direct in actie te komen. Het aangeboren afweersysteem komt voor bij de meeste organismen en dient als een snelle eerste afweer tegen ziekteverwekkers. Het is gericht tegen veel verschillende ziekteverwekkers en werd hierdoor vroeger ook wel de niet-specifieke afweer genoemd.

Terwijl het aangeboren afweersysteem de ziekteverwekkers bestrijdt, activeert het bij gewervelde dieren ook het **verworven afweersysteem**. Dit is het deel van je afweersysteem dat je gedurende je leven ontwikkelt. Deze afweer is gericht tegen één type ziekteverwekker en tegen veranderde eigen cellen (zoals geïnfecteerde cellen en kankercellen). Het verworven afweersysteem werd vroeger het specifieke afweersysteem genoemd en wordt in basisstof 3 verder besproken.

Belangrijke organen van het afweersysteem zijn het **beenmerg**, de thymus, de milt en de lymfeknopen (zie afbeelding 8). Dit worden de lymfoïde organen genoemd.

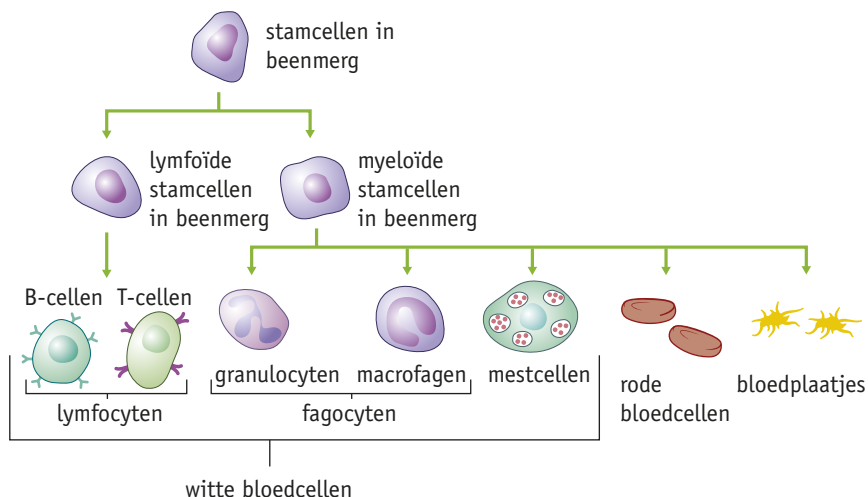
In het rode beenmerg ontstaan uit adulte stamcellen verschillende typen witte bloedcellen, zoals fagocyten, mestcellen en lymfocyten (zie afbeelding 9 en **BiNaS** tabel 84I). De fagocyten en mestcellen maken deel uit van de aangeboren afweer, de lymfocyten horen bij de verworven afweer.

■ **Afb. 8** De ligging van enkele belangrijke organen van het immuunsysteem.



Na hun ontstaan ontwikkelen sommige lymfocyten zich verder in de thymus, een klier achter het borstbeen. Deze witte bloedcellen noem je **T-cellen** (of T-lymfocyten). Andere witte bloedcellen rijpen verder in het beenmerg en worden **B-cellen** (of B-lymfocyten) genoemd. Na hun rijping komen deze lymfocyten in het bloed terecht, waar ze lichaamsvreemde stoffen, virussen en bacteriën bestrijden. Net als de thymus hebben de milt en de lymfeknopen een functie bij de opslag en het transport van witte bloedcellen.

■ **Afb. 9** Het ontstaan van verschillende bloedcellen uit stamcellen.

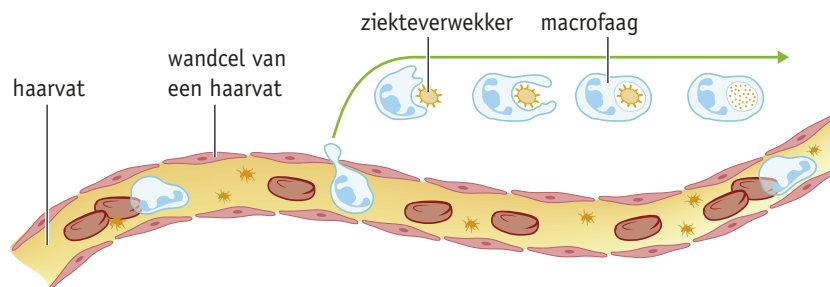


DE CELLEN VAN DE AANGEBOREN AFWEER

Zodra een ziekteverwekker het lichaam binnendringt, wordt hij vrijwel direct aangevallen door witte bloedcellen, vooral door macrofagen. Aan de hand van moleculaire patronen die niet voorkomen op lichaamseigen cellen, wordt de ziekteverwekker door cellen van de aangeboren afweer geïdentificeerd als lichaamsvreemd.

Macrofagen (letterlijk: grote eter, veelvraat) zijn witte bloedcellen die zich door het hele lichaam verplaatsen (zie afbeelding 10). Ze komen niet alleen voor in het bloed en de lymfoïde organen, maar ook in andere organen en weefsels. Ze reageren snel op binnendringende ziekteverwekkers en maken deze binnen enkele minuten na binnenkomst onschadelijk door ze in zich op te nemen (fagocyteren) en te verteren in hun lysosomen. Dit proces heet fagocytose. Macrofagen maken geen onderscheid tussen verschillende ziekteverwekkers, maar ruimen als een grote stofzuiger snel alle binnendringers op.

■ **Afb. 10** Macrofaag die een ziekteverwekker fagocyteert.



Macrofagen kunnen koorts veroorzaken. In reactie op een ziekteverwekker scheiden ze **cytokinen** af die de ontstekingsreactie bevorderen en de normwaarde voor de lichaamstemperatuur verhogen. Cytokinen behoren tot een groep eiwitten met een regulerende functie. Als de normwaarde van 37 °C hoger wordt, gaat het lichaam rillen om warmte op te wekken. Ook gaat het lichaam warmteverlies tegen door de bloedvaten in de huid te vernauwen. Je ziet daardoor bleek. Door de hoge lichaamstemperatuur bij koorts worden de afweerreacties in het lichaam versneld.

Ook granulocyten fagocyteren ziekteverwekkers die het lichaam zijn binnengedrongen. De meeste granulocyten sterven hierdoor zelf ook. Etter of pus (zie afbeelding 11) uit een ontstoken wond bestaat onder andere uit dode granulocyten, gedode bacteriën en dode weefselresten.

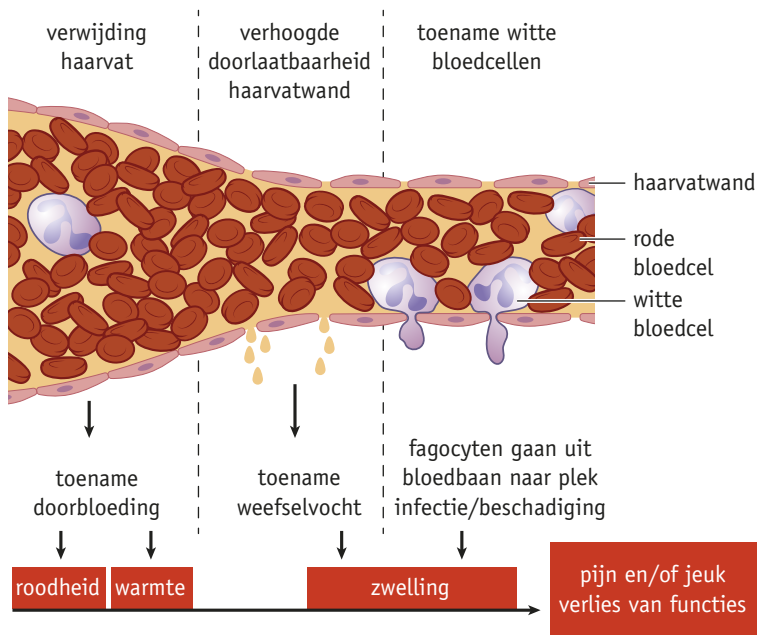
■ **Afb. 11** Puist met pus.



Mestcellen zijn witte bloedcellen die zich vooral bevinden in de weefsels van de huid en slijmvliezen. Als ze in contact komen met lichaamsvreemde stoffen, ziekteverwekkers of stoffen die vrijkomen uit lichaamscellen bij een verwonding, geven ze op deze plaats chemische stoffen zoals histamine af. Histamine zorgt voor verwijding en een grotere doorlaatbaarheid van de bloedvaten. Hierdoor kunnen andere typen witte bloedcellen snel de plaats bereiken waar histamine is afgegeven. De afgifte van histamine leidt ook tot zwelling, warmte en roodheid van de weefsels, wat pijn en functieverlies kan veroorzaken (de zogenoemde acute lokale ontstekingsreactie, zie afbeelding 12). De heftige bestrijding van ziekteverwekkers leidt ook vaak tot weefselschade.

Het aangeboren afweersysteem zorgt voor activatie van het verworven afweersysteem. Macrofagen spelen hierbij een belangrijke rol. Deze afweercellen kunnen hierdoor zowel tot het aangeboren als het verworven afweersysteem worden gerekend.

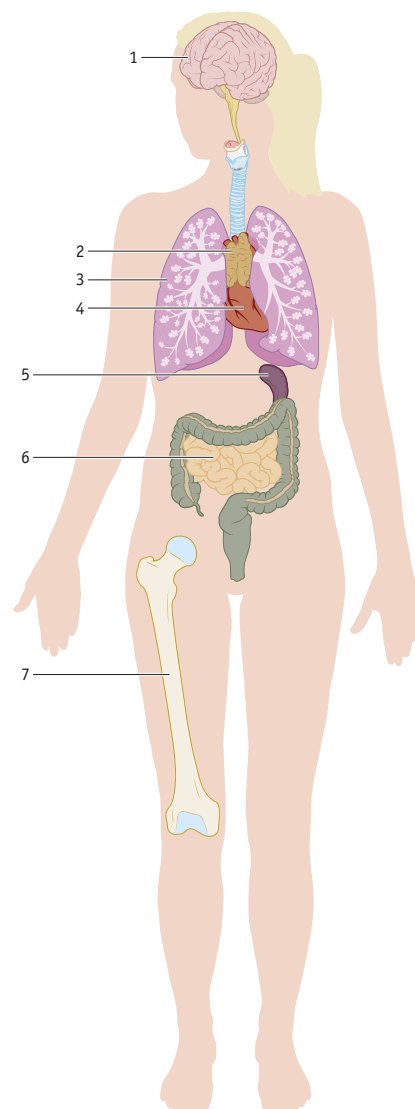
■ **Afb. 12** Acute lokale ontstekingsreactie.



Opdrachten **KENNIS**

- 14 Op welk proces berust de bestrijding van ziekteverwekkers door het aangeboren afweersysteem voornamelijk?
- 15 Fagocyterende cellen herkennen pathogenen met behulp van receptoren. Ook andere lichaamscellen hebben receptoren. Wat is het verschil tussen de moleculen die receptoren van fagocyterende cellen activeren en de moleculen die receptoren van andere lichaamscellen activeren?
- 16 In afbeelding 13 is schematisch het lichaam van de mens met een aantal organen weergegeven. Welk orgaan produceert cellen van de aangeboren afweer? Noteer het nummer.
- 17 Uit welk type stamcel ontstaan de afweercellen van de aangeboren afweer?
- 18 Bloedvatwandcellen (endotheelcellen) bevatten specifieke receptoren die voor vaatverwijding en verhoogde doorlaatbaarheid zorgen bij een infectie. Welke receptoren zijn dit?

■ **Afb. 13** De ligging van organen.



- 19 Granulocyten komen in veel grotere aantallen voor dan macrofagen. Leg uit waarom er minder macrofagen nodig zijn dan granulocyten.
- 20
- a Leg uit waardoor koorts ervoor zorgt dat de afweerreacties in het lichaam versnellen.
 - b Als iemand koorts heeft, wordt een periode van bleekheid en rillen vaak afgewisseld door een periode van roodheid en zweten. Leg uit hoe dit komt.
 - c Als iemand langdurig hoge koorts houdt, adviseert de huisarts soms gebruik van een koortsverlagend medicijn zoals paracetamol. Leg uit waarom.
- 21 Fagocyten bestrijden ziekteverwekkers die extracellulair voorkomen. De aangeboren afweer kan ook intracellulair levende ziekteverwekkers onschadelijk maken. Welk type cellen zijn hiervoor verantwoordelijk? Gebruik **BiNaS** tabel 84J3.
- 22 Noah snijdt zich tijdens het tuinieren met een snoeimes in zijn linkerduim. Hij stopt het bloeden door met een zakdoekje druk uit te oefenen op de wond en doet er vervolgens een verband om. Enkele uren later krijgt hij een pijnlijk, kloppend gevoel in zijn duim. Hij probeert het te negeren, maar de klachten nemen alleen maar toe. Als Noah het verband eraf haalt, ziet hij een rode, gezwollen duim die warm aanvoelt. Leg uit hoe dit beeld heeft kunnen ontstaan als gevolg van het ongeluk. Gebruik in je antwoord de begrippen 'histamine', 'ziekteverwekker', 'huidbarrière', 'mestcellen' en 'ontstekingsreactie'.
- 23 Dora heeft door een stoornis in haar afweersysteem te weinig goed functionerende macrofagen.
- a Leg uit welk gevolg dit kan hebben voor Dora's afweer.
 - b Er bestaan ook levensbedreigende aandoeningen waarbij er juist sprake is van een ongecontroleerde, buitensporig heftige activatie van het afweersysteem. Leg uit waarom dergelijke aandoeningen levensbedreigend kunnen zijn.
 - c Welke regulerende stoffen kunnen verantwoordelijk zijn voor deze ongecontroleerde, heftige activatie van het afweersysteem?
- 24 Als je ziek bent door een infectie, kun je het best (bed)rust houden en licht verteerbare voeding eten. Leg uit waarom.

 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

SCHURFTHEKEL

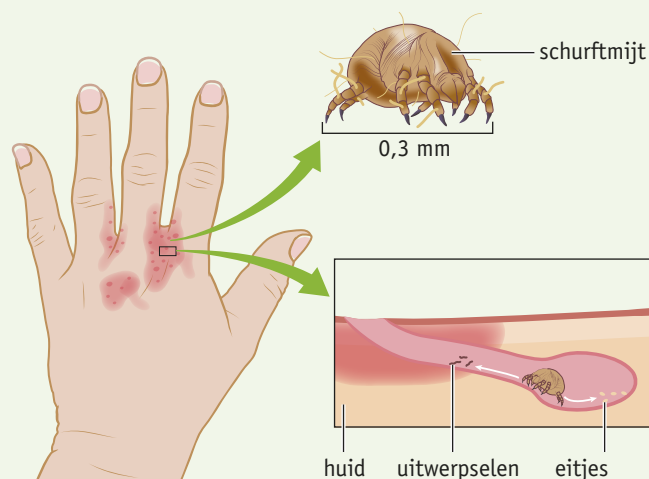
Gek worden van de jeuk. Sophie herkent het. Zij is een van de vele studenten die werden getroffen door een infectie met de scabiësmijt, ook wel schurft genoemd. Hoewel het ongevaarlijk is, kan schurft veel impact hebben op iemand en diens omgeving. Als de mijten door weten te dringen in de hoornlaag, graven ze al etend gangen waarin ze eitjes en uitwerpselen achterlaten (zie afbeelding 14). Dit veroorzaakt een ontstekingsreactie van de huid. Het kan weken duren voordat de eerste symptomen, zoals hevige jeuk, ontstaan.

Sophie: 'Ik kon er niet van slapen en werd wanhopig. Achteraf begon het met een paar rode bultjes op mijn pols, waarvan ik dacht dat het door mijn nieuwe horloge kwam. Aan schurft dacht ik pas toen de jeuk zó hevig was, dat ik mijn klachten googelde. Het idee van beestjes in mijn huid, voelde supervies. Toen ik las hoe besmettelijk het was, schaamde ik me kapot. Ik moest al mijn huisgenoten waarschuwen en vragen zich te laten behandelen. En dan ook nog mijn vriend ...'

Schurft verspreidt zich door direct huid-op-huidcontact, zoals knuffelen of seksueel contact.

Maar ook via besmette voorwerpen, zoals kleding, beddengoed, handdoeken of meubels. De behandeling bestaat uit medicatie én het wassen van alle textiel op minimaal 60 °C. Herbesmetting treedt vaak op als niet iedereen zich strikt aan het behandelplan houdt. 'Gelukkig bleef het bij ons bij die ene keer. Hoe ik besmet ben geraakt, weet ik nog steeds niet.'

■ Afb. 14 Schurftmijt in de huid.



Opdrachten

- 25 Welke symbiotische relatie bestaat er tussen de mijt en zijn gastheer? Leg je antwoord uit.
- 26 Een schurftinfectie gaat (ook bij gezonde personen) niet over zonder behandeling met medicijnen.
Wat zegt dit over de scabiësmijt?
- 27 Het is duidelijk dat het afweersysteem reageert op de mijt en zijn uitwerpselen. Dit leidt onder andere tot rode uitslag (zie afbeelding 14) op de plekken waar de mijt zich bevindt.
Leg uit op welke manier deze lokale rode uitslag ontstaat als reactie van je aangeboren afweersysteem op de mijt.
- 28 De jeuk is ook een gevolg van de werking van het aangeboren afweersysteem. Toch geven artsen aan dat de jeuk wel degelijk kan helpen bij de bestrijding van de mijt.
Geef hiervoor een argument.
- 29 Een schurftinfectie zelf is heel vervelend, maar bij gezonde personen ongevaarlijk. Toch kunnen er gevaarlijke complicaties optreden, zoals een bacteriële superinfectie (= een infectie bovenop de oorspronkelijk infectie) met bijvoorbeeld *Staphylococcus aureus*.
Leg uit waarom de schurftinfectie mensen vatbaarder maakt voor een bacteriële infectie.

3 VERWORVEN AFWEER

LEERDOELEN

15.3.1 Je kunt beschrijven welke cellen zijn betrokken bij de verworven (specifieke) afweer en wat hun functie is.

15.3.2 Je kunt de onderlinge relatie van de delen van het afweersysteem toelichten.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	15.3.1	15.3.2
Begrijpen	30, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39	31, 33
Toepassen	40, 41ab	43a, 44, 46
Analyseren	41c, 42acd	42b, 43b, 45, 47, 48

Door evolutie zijn er bacteriën ontstaan die kunnen ontsnappen aan fagocytose. Er zijn zelfs bacteriën die zich wel laten fagocyteren, maar daarna in de fagocyt overleven. Het aangeboren afweersysteem faalt dus in dat geval. Gelukkig is er nog een derde verdedigingslinie: het verworven afweersysteem.

ANTIGEENHERKENNING

Fagocyten reageren snel op binnendringende ziekteverwekkers, maar doordat bacteriën en virussen zich snel kunnen vermeerderen, zijn er vaak niet voldoende fagocyten om alle ziekteverwekkers te bestrijden. Daarvoor hebben ze hulp van de verworven afweer nodig.

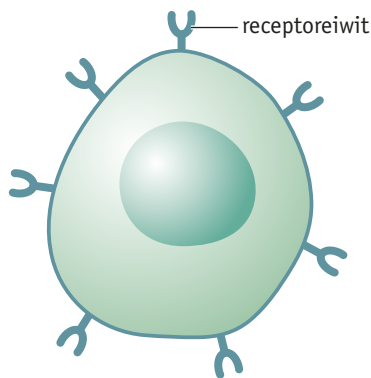
Bij de verworven afweer zijn de lymfocyten betrokken: de T-cellen en de B-cellen. T-cellen verplaatsen zich na hun ontstaan in het beenmerg naar de thymus om zich daar verder te ontwikkelen. B-cellen blijven in het beenmerg om te rijpen. Hierna verspreiden T- en B-cellen zich over het lichaam. Een groot deel van de T- en B-cellen komt via het lymfevatenstelsel terecht in de milt en de lymfeknopen. Bij het bestrijden van ziekteverwekkers hebben de T-cellen een andere rol dan de B-cellen.

Lymfocyten herkennen indringers aan hun **antigenen**. Meestal zijn antigenen grote moleculen, vaak eiwitten, die zich op celmembranen of op een deel van de eiwitmantel van een virus bevinden. Maar ook gifstoffen en chemische stoffen kunnen antigenen zijn. Om lichaamsvreemde antigenen te kunnen herkennen, heeft een lymfocyt bepaalde receptoren op zijn celmembraan (zie afbeelding 15). Deze receptoren zijn specifiek: elk type receptor kan maar aan één type antigeen binden. Elke lymfocyt heeft slechts één type receptor, maar hiervan komen er wel honderdduizend voor op het celmembraan. Om alle verschillende antigenen van ziekteverwekkers die het lichaam mogelijk binnendringen te kunnen binden, maakt het lichaam miljoenen verschillende lymfocyten met elk hun eigen type receptor. Deze specifieke bestrijding maakt deze bestrijding uitermate sterk, maar het nadeel is dat het tijd kost voor de respons op gang komt.

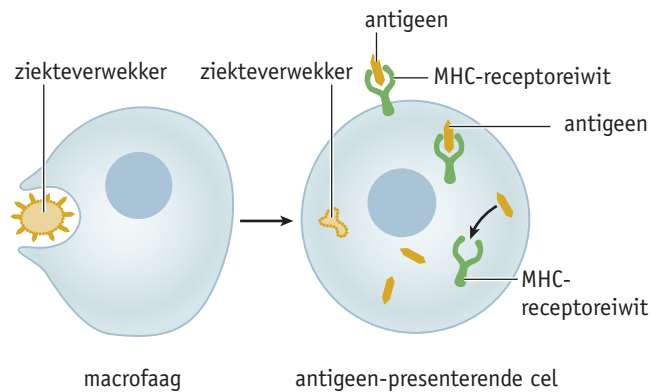
ACTIVATIE VAN LYMFOCYTEN

Bij de activatie van de T- en de B-cellen spelen de macrofagen een belangrijke rol. Nadat een macrofaag een ziekteverwekker heeft gefagocyteerd en verteerd, wordt het antigeen van de ziekteverwekker op een receptor aan de buitenkant van de macrofaag geplaatst. De macrofaag verandert in een antigeen-presenterende cel (APC, zie afbeelding 16). Naast macrofagen kunnen ook andere fagocyten en B-cellen zich ontwikkelen tot een APC. Op het moment dat de macrofaag of andere fagocyt verandert in een APC, wordt hij onderdeel van de verworven afweer. Via de lymfe komen APC's in de lymfoïde organen terecht. Hier worden de antigenen van de APC's aangeboden aan T- en B-cellen.

■ **Afb. 15** Een lymfocyt met receptoren op het celmembraan.



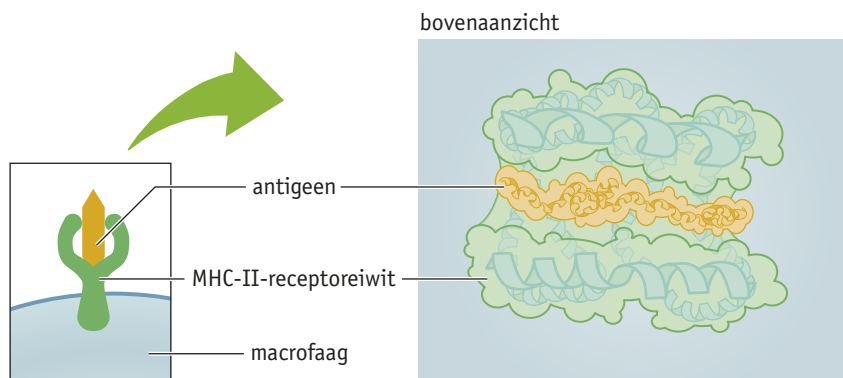
■ **Afb. 16** Macrofaag wordt een antigeen-presenterende cel (APC).



Een binding tussen de antigeenspecifieke receptor van de lymfocyt en het antigeen van de ziekteverwekker kan alleen plaatsvinden als het antigeen is gebonden aan een MHC-receptoreiwit. MHC is de afkorting voor 'major histocompatibility'-complex. Dat is een deel van het genoom dat codeert voor eiwitten die een rol spelen bij de herkenning van lichaamseigen en lichaamsvreemde (delen van) cellen en stoffen. Er zijn twee typen MHC-receptoren: MHC-I- en MHC-II-receptoren.

MHC-I-receptoren komen voor op de buitenkant van alle menselijke lichaamscellen met een celkern én op bloedplaatjes. **MHC-II-receptoren** zijn receptoren die alleen bij celtypen voorkomen die kunnen veranderen in een APC, zoals macrofagen en geactiveerde B-cellen (zie afbeelding 17). In **BiNaS** tabel 84L1 vind je een schematisch overzicht van de antigeenpresentatie.

■ **Afb. 17** MHC-II-receptoreiwit met antigeen.

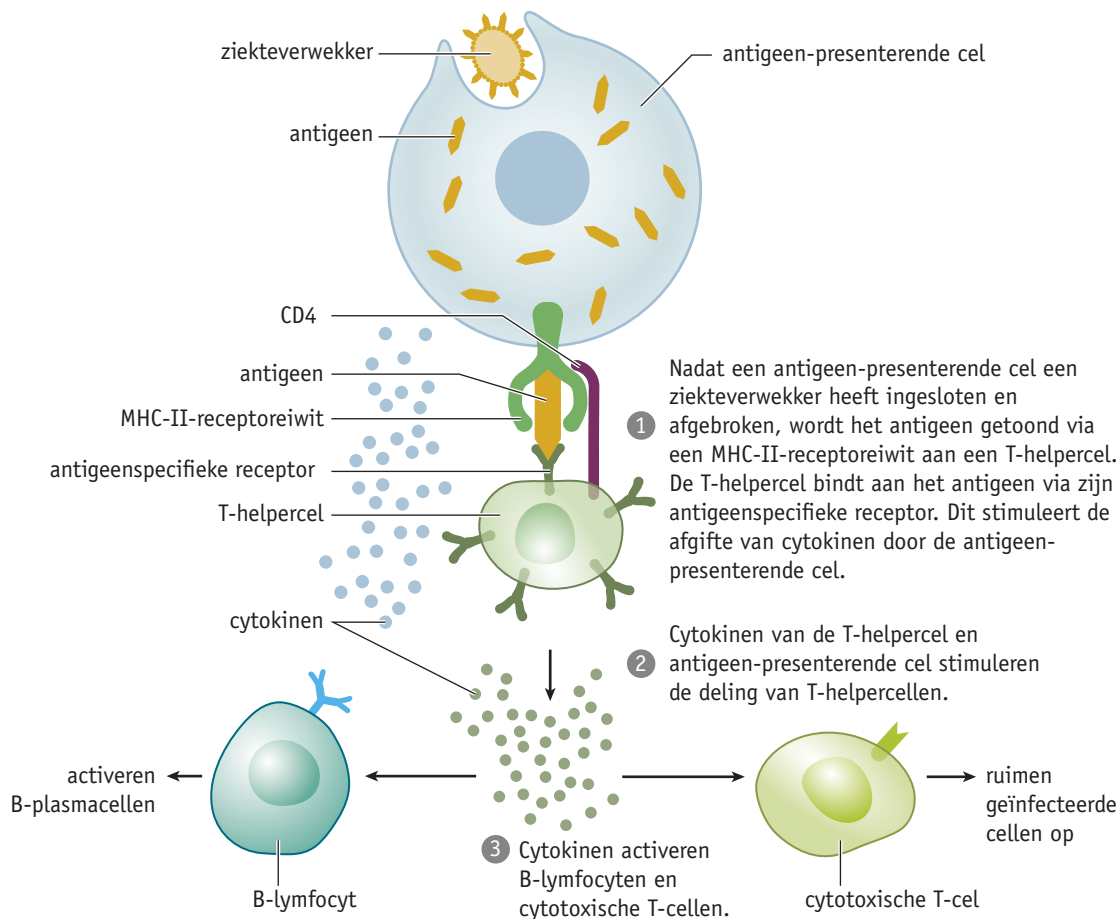


APC's presenteren het antigeen van de ziekteverwekker op MHC-II-receptoren (zie afbeelding 16). Het kost tijd om tussen de miljoenen verschillende T- en B-cellen de cel met de juiste receptor te vinden die past op het antigeen van de ziekteverwekker. Tijdens deze zoektocht van de APC blijf je vaak ziek. Op het moment dat de APC de juiste lymfocyt heeft gevonden, wordt deze lymfocyt geactiveerd.

CELLULAIRE RESPONS

Wanneer een specifieke T-cel met de juiste receptor bindt aan het antigeen op een APC (zie afbeelding 16), gaat deze zich veelvuldig delen. Er ontstaan twee typen dochtercellen die de ziekteverwekker samen bestrijden: T-helpercellen en cytotoxische T-cellen. **T-helpercellen** (Th-cellen) beschikken over het koppelingseiwit CD4, waardoor ze kunnen binden aan de MHC-II-receptor van de APC. Hierdoor ontstaat een sterke binding tussen het aangeboden antigeen en de antigeenspecifieke receptor. De T-helpercellen produceren verschillende typen cytokinen, waardoor ze de ontwikkeling van cytotoxische T-cellen activeren. T-helpercellen kunnen daarnaast ook andere typen afweercellen activeren, zoals B-cellen (zie afbeelding 18).

■ **Afb. 18** T-helpercellen spelen een centrale rol in de verworven afweer.

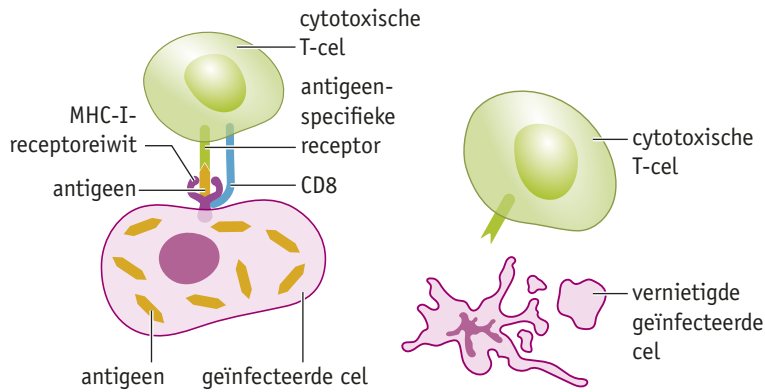


Cytotoxische T-cellen (Tc-cellen) gaan op zoek naar door de ziekteverwekker geïnfecteerde lichaamscellen. Ze herkennen deze cellen aan het antigeen van de ziekteverwekker dat lichaamscellen op een MHC-I-receptor in het celmembraan hebben geplaatst. MHC-I-receptoren presenteren enkele aminozuren van elk eiwit dat in een cel wordt gemaakt. Door die 'code' kan de cel worden herkend als lichaamseigen. Maar als een cel is geïnfecteerd met een ziekteverwekker, worden ook de antigenen van de ziekteverwekker gebonden aan de MHC-I-receptor. De cytotoxische T-cel bindt met zijn

antigeenspecifieke receptor aan het antigeen van de ziekteverwekker. Hij maakt daarbij gebruik van het koppelingseiwit CD8, dat bindt aan de MHC-I-receptor.

De geïnfecteerde lichaamscel wordt vervolgens vernietigd doordat de cytotoxische T-cel stoffen afgeeft (zie afbeelding 19). Cytotoxische T-cellen ruimen ook andere ongezonde cellen op, bijvoorbeeld tumoren (zie afbeelding 20). De respons door T-cellen noem je daarom **cellulaire respons**. De celresten worden opgeruimd door macrofagen.

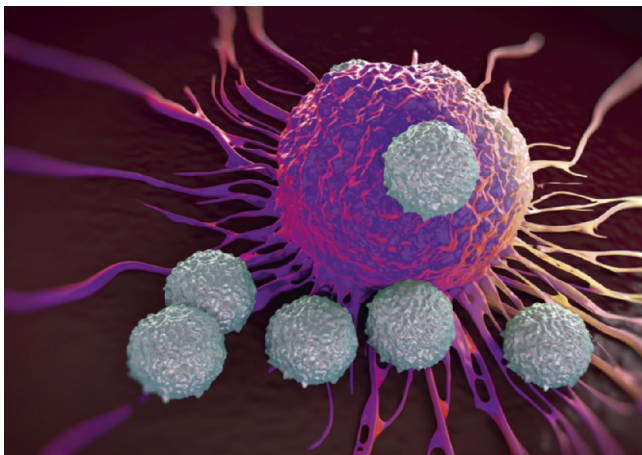
■ **Afb. 19** Cytotoxische T-cel bindt aan geïnfecteerde lichaamscel en vernietigt deze.



1 Cytotoxische T-cel bindt aan geïnfecteerde cel.

2 Cytotoxische T-cel heeft geïnfecteerde cel vernietigd.

■ **Afb. 20** Cytotoxische T-cellen hechten zich aan een kankercel.



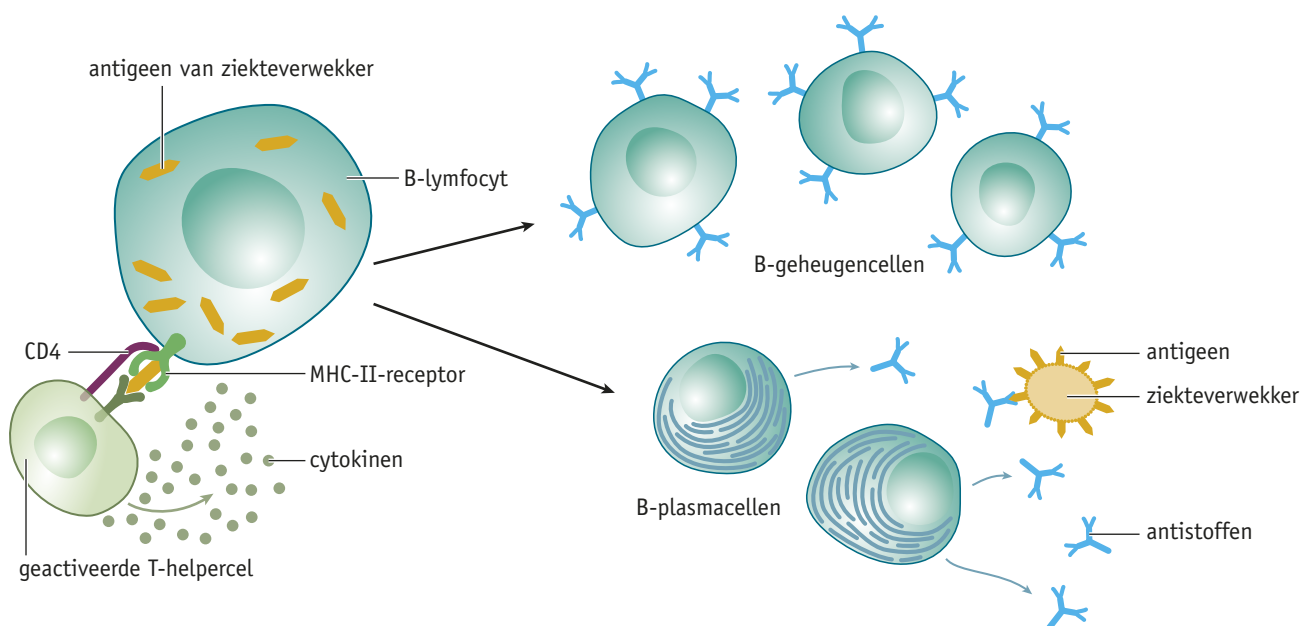
Bij de cellulaire respons ontstaan ook cellen die bij een eerste infectie nog geen actieve rol spelen, de zogenoemde geheugencellen. T-geheugencellen zijn langlevende cellen die bij een volgende infectie het antigeen direct herkennen. Daardoor kunnen ze zich snel ontwikkelen tot geactiveerde T-cellen en volgt bij een herinfectie met dezelfde ziekteverwekker een snellere afweerreactie.

- 30 Een groot deel van de miljoenen verschillende lymfocyten wordt niet gebruikt. Waarom maakt het lichaam toch zoveel verschillende lymfocyten?
- 31 Waardoor komt de reactie van de verworven afweer op een infectie langzamer op gang dan de aangeboren afweerreactie?
- 32 Tegen welk type ziekteverwekkers zal de cellulaire respons vooral zijn gericht? Leg je antwoord uit.
- 33 Leg uit dat het verworven afweersysteem niet kan functioneren zonder het aangeboren afweersysteem.
- 34 Tussen de miljoenen T-cellen die het lichaam aanmaakt met elk hun eigen type antigeenspecifieke receptor, bevinden zich ook T-cellen waarvan de antigeenspecifieke receptor bindt met een lichaamseigen eiwit. Leg uit dat het belangrijk is dat deze T-cellen nog tijdens de rijping in de thymus worden afgebroken.

HUMORALE RESPONS

De cytokinen die T-helpercellen produceren, kunnen ook B-cellen activeren. Meestal vindt activatie plaats doordat een geactiveerde T-helpercel bindt aan de MHC-II-receptor van de B-cel en cytokinen afgeeft. Daarvoor heeft eerst binding plaatsgevonden van een antigeen (van een ziekteverwekker of APC) aan de antigeenspecifieke receptor van de B-cel, waarna de B-cel zelf verandert in een APC. Na activatie door de afgegeven cytokinen vermenigvuldigt een B-cel zich sterk. Er ontstaan twee typen dochtercellen: plasmacellen en B-geheugencellen. Een **plasmacel** maakt antistoffen tegen de ziekteverwekker (zie afbeelding 21).

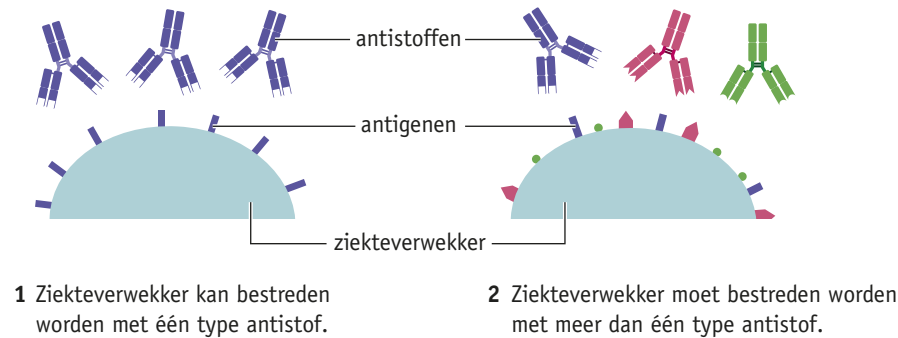
■ Afb. 21 Activatie van B-cellen.



- 1 Een B-lymfocyt die antigenen heeft opgenomen via zijn receptoren, toont deze via een MHC-II-receptoreiwit aan een geactiveerde T-helpercel. De cytokinen van de T-helpercel activeren de B-lymfocyt.
- 2 Geactiveerde B-lymfocyten ontwikkelen zich tot B-geheugencellen en B-plasmacellen. B-plasmacellen scheiden specifieke antistoffen af die zich binden aan de antigenen van de ziekteverwekker.

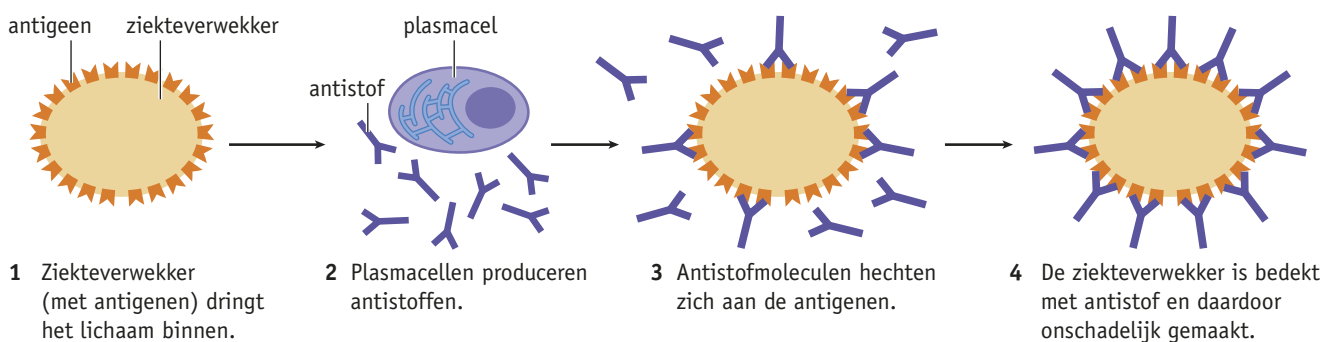
Antistoffen zijn eiwitten die zich binden aan de antigenen van de ziekteverwekker. Een antigeenmolecuul en een antistofmolecuul passen op elkaar als een sleutel op een slot. Hierdoor kunnen ze een antigeen-antistofcomplex vormen. Soms zijn er verschillende antistoffen nodig om een ziekteverwekker uit te schakelen. Een plasmacel kan maar één type antistof vormen. Voor de bestrijding van sommige ziekteverwekkers zijn dus verschillende plasmacellen nodig (zie afbeelding 22).

■ **Afb. 22** Vorming van een antigeen-antistofcomplex.



Door de complexvorming wordt het antigeen of de ziekteverwekker waarop het antigeen zich bevindt onschadelijk gemaakt. Dit kan op verschillende manieren. Door de complexvorming kan een antigeen als het ware worden afgedekt, waardoor de ziekteverwekker geen lichaamscellen meer kan infecteren (zie afbeelding 23). Ook kan door de complexvorming het celmembraan van een lichaamsvreemde cel worden aangetast, waardoor de cel uiteenvalt. Vaak bevordert de complexvorming de fagocytose van ziekteverwekkers (of de restanten ervan) door macrofagen.

■ **Afb. 23** Een ziekteverwekker wordt onschadelijk gemaakt door de vorming van een antigeen-antistofcomplex (schematisch).



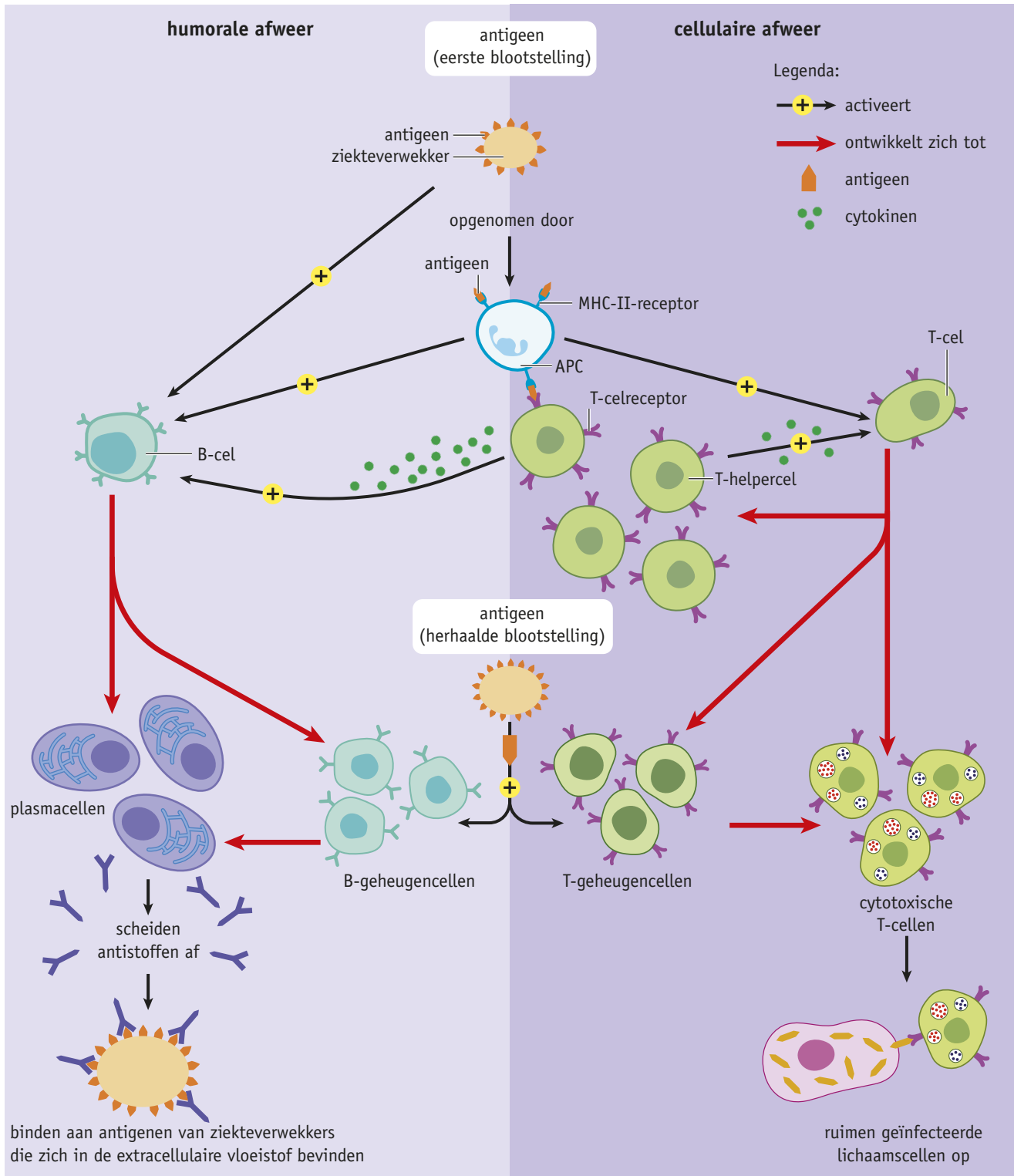
Plasmacellen kunnen heel snel grote hoeveelheden antistoffen produceren. Er zijn vijf verschillende hoofdgroepen van antistoffen of immunoglobulinen (Ig), zie **BiNaS** tabel 84K. De meest voorkomende hebben een Y-vorm. Daarom worden antistoffen vaak weergegeven met de letter Y.

De antistoffen komen in alle lichaamsvochten terecht (bloed, lymfe, weefselvloeistof, traanvocht, speeksel, vaginaal vocht, moedermelk, enzovoort). De respons door B-cellen wordt daarom **humorale respons** genoemd.

Een ander type B-cellen dat ontstaat na de vermenigvuldiging van geactiveerde B-cellen zijn de B-geheugencellen. Deze herkennen bij een nieuwe infectie met dezelfde ziekteverwekker het antigeen direct, waardoor ze zich snel kunnen ontwikkelen tot B-plasmacellen.

De werking van je afweersysteem is dus heel complex, maar effectief. Nadat fagocyten de eerste grove stofzuigklus hebben uitgevoerd, pakken T- en B-cellen de resterende ziekteverwekkers op alle plaatsen in het lichaam gericht aan. T- en B-cellen zorgen ervoor dat ziekteverwekkers zich nergens meer kunnen verstoppen. Niet in lichaamscellen, maar ook niet in lichaamsvocht. Daarnaast wordt er geheugen opgebouwd voor de ziekteverwekkers door de geheugencellen, waardoor je bij een nieuwe infectie met een voor jouw lichaam bekende ziekteverwekker meestal niet meer ziek wordt. In afbeelding 24 en **BiNaS** tabel 84L2 en 84L3 is de werking van het verworven afweersysteem samengevat.

■ **Afb. 24** De werking van het verworven afweersysteem.



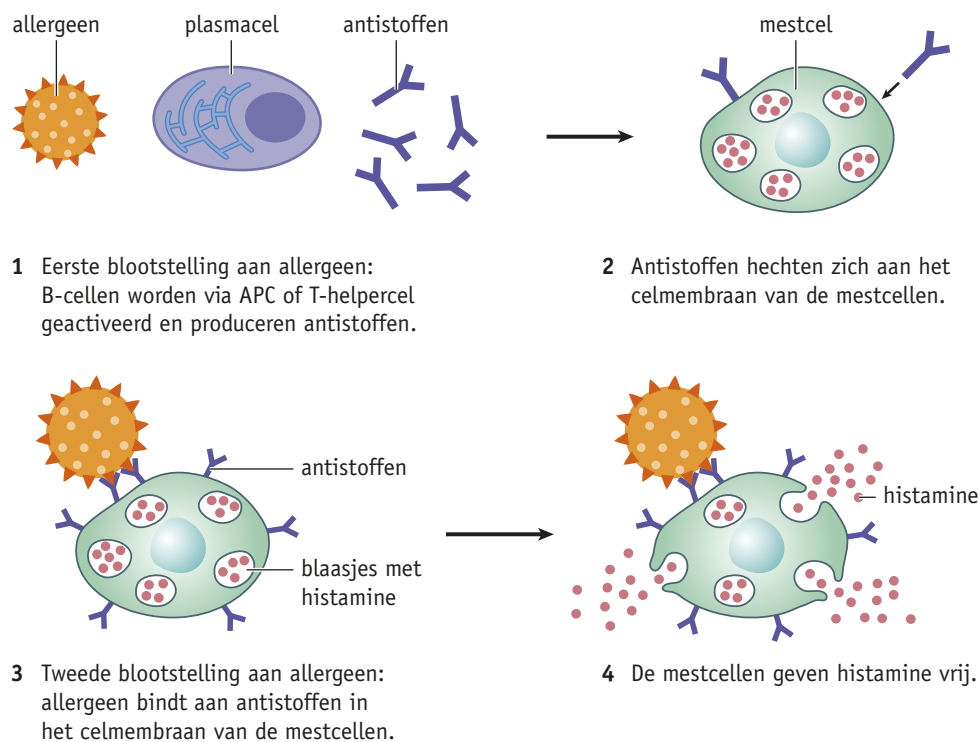
ALLERGISCHE REACTIES

Allergenen zijn antigenen die voorkomen op onschadelijke stoffen (bijvoorbeeld op stuifmeelkorrels en voedingsstoffen) en een **allergie** kunnen veroorzaken. Het zijn altijd eiwitten. Een allergische reactie is een onnodige afweerreactie. De allergische reactie kan optreden nadat je stoffen hebt aangeraakt, gegeten of ingeademd.

Wanneer je lichaam voor het eerst in contact komt met een allergeen, kan het afweersysteem worden geactiveerd. Een APC presenteert het allergeen en activeert B-cellen direct of indirect via stoffen die worden afgegeven door T-helpercellen.

Geactiveerde B-cellen ontwikkelen zich tot plasmacellen die antistoffen tegen het antigeen produceren. De antistoffen circuleren door het lichaam en hechten zich aan het celmembraan van mestcellen. Deze mestcellen zijn dan gesensibiliseerd: ze zijn 'gevoelig geworden' voor het allergeen. Bij een volgend contact met het allergeen bindt dit aan de antistoffen in het celmembraan van de mestcellen. De mestcellen worden hierdoor geactiveerd en reageren door verschillende stoffen vrij te geven, waaronder histamine (zie afbeelding 25). De vrijgelaten stoffen veroorzaken klachten als een loopneus, tranende ogen, jeuk, benauwdheid en diarree.

■ Afb. 25 Allergische reactie.



Opdrachten KENNIS

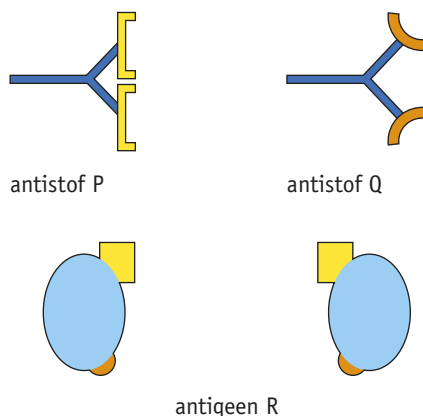
- 35 Tegen welke typen ziekteverwekkers is de humorale respons vooral gericht? Leg je antwoord uit.
- 36 Welke celtypen van de verworven afweer spelen nog geen rol bij een eerste infectie met een bepaalde ziekteverwekker? Leg je antwoord uit.

- 37 Leg uit dat cytotoxische T-cellen niet kunnen binden aan de MHC-II-receptor van een APC.
- 38 Het aangeboren afweersysteem activeert het verworven afweersysteem.
Leg uit aan de hand van de allergische reactie dat het verworven afweersysteem op zijn beurt ook het aangeboren afweersysteem kan stimuleren.
- 39 Leg uit waarom plasmacellen veel ribosomen bevatten.

Opdrachten INZICHT

- 40 Er zijn verschillende groepen antistoffen. Jonge B-cellen produceren voornamelijk IgM- en IgD-antistoffen. Na activatie door een T-helpercel produceren ze IgA, IgG of IgE. Gebruik bij deze opdracht **BiNaS** tabel 84K.
Welke groep van antistoffen komt het meest voor bij de mens?
- 41 Aan een antigeenmolecuul kunnen zich tegelijkertijd verschillende antistofmoleculen binden. In afbeelding 26 zijn schematisch twee verschillende antistofmoleculen (P en Q) weergegeven en twee antigeenmoleculen (R) met elk twee bindingsplaatsen voor deze antistofmoleculen.
- a In sommige gevallen kunnen antigenen onschadelijk worden gemaakt door twee antigeenmoleculen aan elkaar te binden.
Teken de situatie waarin de antistofmoleculen P en Q twee antigeenmoleculen R aan elkaar binden.
 - b Elke binding tussen een antistofmolecuul en een antigeenmolecuul kan weer worden losgemaakt.
Teken de vier mogelijke situaties waarbij een van de bindingen van opdracht a is verbroken.
 - c Antistoffen kunnen worden behandeld met een protease, waardoor de twee armen van het Y-vormig molecuul zich afsplitsen.
Zijn deze nieuwgevormde antistoffen in staat om te functioneren? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 26** Antistoffen en een antigeen.



- 42** Hiv (humaan immunodeficiëntievirus) is een virus dat het afweersysteem van de mens verzwakt. Hiv is een soa. Als je een hiv-infectie hebt en daar niet voor wordt behandeld, kun je aids (*acquired immunodeficiency syndrome*) krijgen. Dan is je afweersysteem zo verzwakt door hiv dat je lichaam nauwelijks meer tegen andere infecties is beschermd. Als je onveilige seks hebt gehad en twijfelt of je hiv hebt opgelopen, kun je een hiv-test laten doen (zie afbeelding 27). Soms is de test vals negatief (toont ten onrechte geen infectie aan) als de test te snel na een mogelijke besmetting heeft plaatsgevonden. De arts kan dan voorstellen opnieuw te testen, maar dan enkele weken later om zeker te weten dat de test echt negatief is.
- a** Wat wordt in een afgenomen bloedmonster bepaald om te kijken of je bent geïnfecteerd? Leg je antwoord uit.
 - b** Hiv is zo gevaarlijk omdat virusdeeltjes op zoek gaan naar bepaalde afweercellen die ze gemakkelijk kunnen binnendringen. Eenmaal in deze cellen gebruikt het hiv-virus de cel om zichzelf te vermenigvuldigen. De afweercellen dragen dus bij aan de verspreiding van nieuwe virusdeeltjes. Uiteindelijk knapt de afweercel open, waardoor hij sterft.
Op de website van het Radboud UMC staat de volgende informatie als antwoord op de vraag wat het verschil is tussen hiv en aids:

We spreken van aids, als u bepaalde (opportunistische) infecties, tumoren of andere ziekten heeft die hiv veroorzaakt. Voorbeelden van ziekten zijn *Pneumocystis jiroveci* pneumonie (longontsteking), het kaposisarcoom (een huidaandoening) en tuberculose. Meestal krijgt u deze ziekten als de CD4-cellen gedaald zijn tot minder dan 200 per mL.

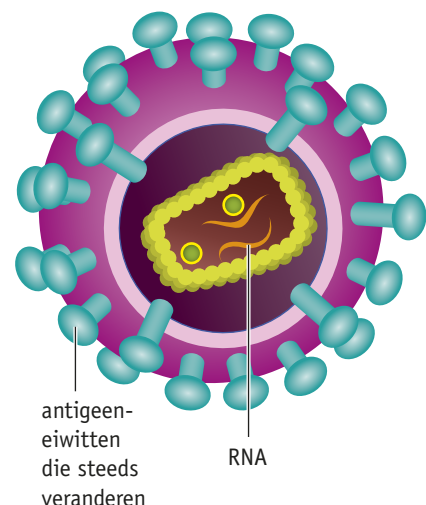
Door het aanvallen van welke afweercel kan een infectie door hiv uitmonden in aids (verworven afweerstoornis), met als gevolg dat een patiënt extreem gevoelig kan worden voor andere infectieziekten? Leg je antwoord uit.

- c** Waarom kan hiv ook leiden tot vormen van kanker, zoals het genoemde kaposisarcoom?
- d** Het lichaam probeert na besmetting het hiv wel te bestrijden. Maar de antigenen van het virus veranderen zo snel, dat de verworven afweer dit niet bij kan houden (zie afbeelding 28).
Waardoor kunnen de antigenen van het virus zo snel veranderen?

■ **Afb. 27** Hiv-test.



■ **Afb. 28** Hiv.





43 Toxische-shocksyndroom

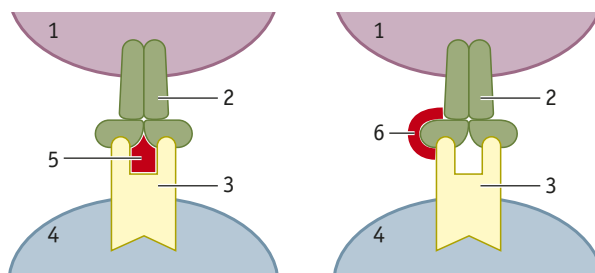
Naar: Nederlandse Biologie Olympiade 2022, vraag 10 en 11.

In 2020 overleed in België een 17-jarig meisje aan het toxische-shocksyndroom, ook bekend als tamponziekte. Tamponziekte ontstaat als in het bloed in een veel te lang gedragen tampon bacteriën als *Staphylococcus aureus* en *Streptococcus pyogenes* zich vermenigvuldigen, waarbij toxinen ontstaan. Deze toxinen gedragen zich als superantigenen. Bij een normale respons van T-cellen op antigenen wordt tot 0,001% van de T-cellen geactiveerd. Bij een infectie van bacteriën die superantigenen produceren, is dit tot wel 20% van de T-cellen. Het gevolg is een extreme ontstekingsreactie die leidt tot shock en orgaanfalen.

Vier leerlingen geven een verklaring voor het ontstaan van de shock en het orgaanfalen ten gevolge van de ontstekingsreactie:

- 1 De ontstekingsreactie zorgt ervoor dat de bloedvaatjes gaan lekken en de bloeddruk daalt.
 - 2 De ontstekingsreactie zorgt ervoor dat de bloedvaatjes gaan lekken en de bloeddruk stijgt.
 - 3 De ontstekingsreactie zorgt ervoor dat de bloedvaatjes vernauwen en de bloeddruk daalt.
 - 4 De ontstekingsreactie zorgt ervoor dat de bloedvaatjes vernauwen en de bloeddruk stijgt.
- a Welke leerling heeft gelijk? Leg je antwoord uit.
- b Superantigenen binden op een afwijkende manier aan de membraaneiwwitten van het immuunsysteem. Normale antigenen binden aan de variabele delen van membraaneiwwitten. Alleen T-cellen met een passende receptor kunnen daardoor hechten en worden geactiveerd. Superantigenen binden direct aan de constante delen van membraaneiwwitten van T-cellen. Dit maakt dat heel veel verschillende T-cellen kunnen worden geactiveerd. In afbeelding 29 zijn de onderdelen betrokken bij de binding van superantigenen en normale antigenen met cijfers aangegeven. In de afbeelding zijn een APC, een T-cel, een MHC-II-eiwit, een receptor, een antigeen en een superantigeen weergegeven. Geef voor elk onderdeel aan welk nummer erbij hoort.

■ **Afb. 29** Onderdelen betrokken bij de binding van superantigenen en normale antigenen.



📺 [Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

HOOGLERAAR WEEFSELIMMUNOLOGIE

Femke van Wijk (zie afbeelding 30) is hoogleraar Weefselimmunologie en manager onderzoek Kindergeneeskunde aan het UMC Utrecht. Ze ontving in 2023 de Athena Award van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Met deze prijs wil NWO de aandacht vestigen op uitblinkende vrouwelijke bètawetenschappers die een rolmodel zijn voor beginnende onderzoekers. Door te laten zien dat een mooie carrière mogelijk is, hoopt de NWO het lage percentage vrouwen in bètawetenschappen op te krikken. Zeker in hoge functies: in 2023 was slechts 20% van de hoogleraren in bètarichtingen een vrouw.

Femke ontving de prijs voor zowel haar leiderschap als haar indrukwekkende onderzoekspublicaties. Veel immunologie-onderzoek is gericht op bloed, maar binnen haar leerstoel Weefselimmunologie onderzoekt Femke de rol van het afweersysteem in weefsels. De focus ligt daarbij op auto-immuunziekten, waarbij het afweersysteem zich richt tegen eigen lichaamscellen. Denk aan de huid bij eczeem, de gewrichten bij reuma en de darmen bij de ziekte van Crohn.

Haar onderzoeksgroep probeert de onderliggende mechanismen achter de ziektebeelden te ontrafelen

en een effectieve behandeling te ontwikkelen. Volgens Femke is de wetenschap een conservatieve en competitieve werkomgeving, maar hebben vrouwelijke rolmodellen haar gestimuleerd om door te zetten. Ze heeft geleerd dat ze niet mee hoeft te doen aan de machocultuur, maar bijvoorbeeld ook om niet te bescheiden te zijn. Als ze anderen coacht, zet ze vooral in op het vergroten van hun zelfvertrouwen. Ze is trots dat anderen nu haar als rolmodel zien voor het nastreven van een wetenschappelijk carrière.

■ Afb. 30 Professor Femke van Wijk.



Opdrachten

- 44 Femke van Wijks werkzaamheden zijn divers. Noem drie werkzaamheden die ze vervult binnen haar rollen als hoogleraar Weefselimmunologie en manager onderzoek Kindergeneeskunde.
- 45 Waarom denk je dat Femke opmerkt dat de wetenschap een competitieve omgeving is? Mocht je dit niet kunnen bedenken, zoek dan eerst informatie op internet.
- 46 Noem twee capaciteiten die je nodig hebt om als onderzoeker in de immunologie te werken.
- 47 Waarom denk je dat er zo weinig vrouwen in hoge functies in de bètawetenschappen werken?
- 48 Zou een carrière als onderzoeker in de immunologie iets voor jou iets zijn? Geef drie redenen waarom wel of niet.

4 IMMUNITEIT

LEERDOEL

15.4.1 Je kunt beschrijven op welke manieren immuniteit kan ontstaan.

- Vaardigheid 7 (thema 1)
- Practicum 1

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	15.4.1
Begrijpen	49, 50, 51, 52, 53
Toepassen	54ac, 56a, 57, 58b, 59, 60, 61
Analysen	54b, 55, 56b, 58a, 62, 63

De Engelse arts Edward Jenner gebruikte eind achttiende eeuw James, de zoon van zijn tuinman, als 'proefkonijn'. Hij besmette hem met vocht uit een blaasje van de koepokken (*vaccinia*). Later stelde hij hem bloot aan de levensgevaarlijke mensenvokken. Het jongetje werd helemaal niet ziek en de eerste vaccinatie was een feit. Vaccins redden sindsdien over de hele wereld miljoenen levens.

PRIMAIRE EN SECUNDAIRE REACTIE

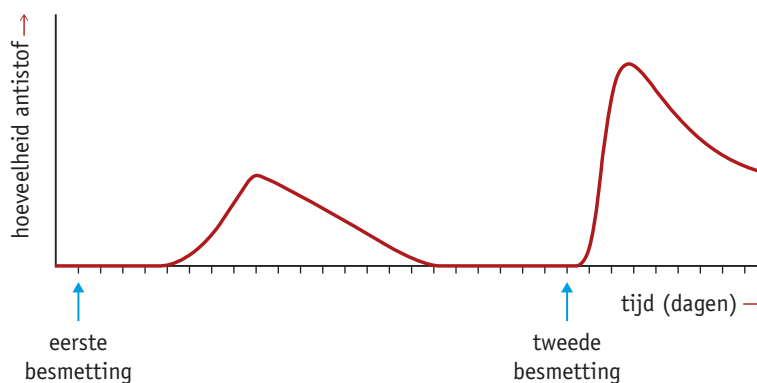
Bij een eerste besmetting met een antigeen duurt het enkele dagen voordat er voldoende antistof is gevormd (zie afbeelding 31). Gedurende deze periode kun je ziek worden. Deze eerste antistofvorming noem je de primaire reactie.

De tijd die verstrijkt tussen het binnendringen van de ziekteverwekker en het optreden van de eerste ziekteverschijnselen wordt incubatietijd genoemd. De incubatietijd van een ziekte kan uiteenlopen van enkele uren tot jaren.

Als je voldoende antistof hebt gevormd, verdwijnen de symptomen. Na twee weken neemt de hoeveelheid antistof meestal niet meer toe. Als alle ziekteverwekkers zijn uitgeschakeld, wordt de antistof geleidelijk afgebroken.

Bij een tweede besmetting met hetzelfde antigeen zorgen de geheugencellen ervoor dat vrijwel onmiddellijk antistof wordt gevormd: de secundaire reactie. De hoeveelheid

■ **Afb. 31** Primaire en secundaire reactie bij antistofvorming.



antistof wordt veel groter en neemt veel langzamer af dan bij de primaire reactie. Na een secundaire reactie blijft de antistof veel langer in het bloed aanwezig. Door de snelle secundaire reactie heb je bij een tweede besmetting meestal geen ziekteverschijnselen. Je bent door de primaire reactie immuun geworden.

NATUURLIJKE EN KUNSTMATIGE IMMUNITEIT

Immuniteit die wordt verkregen als reactie op het binnendringen van een ziekteverwekker, noem je **natuurlijke immuniteit**. Na veel kinderziekten ontstaat natuurlijke immuniteit, bijvoorbeeld na waterpokken (zie afbeelding 32). De immuniteit die je opbouwt na een kinderziekte duurt meestal levenslang. **Kunstmatische immuniteit** wordt opgewekt door opzettelijke blootstelling aan een antigeen. Dat noem je immunisatie. Kunstmatische immuniteit geeft vaak een minder langdurige bescherming dan natuurlijke immuniteit, doordat bij immunisatie niet de levende ziekteverwekker wordt ingespoten.

VACCINATIE

Een voorbeeld van immunisatie is **vaccinatie**, de toediening van een stof die het afweersysteem activeert (het vaccin) en daardoor immuniteit opwekt. Meestal gebeurt vaccinatie door middel van inenting (zie afbeelding 33).

Vaccins kun je indelen in verschillende typen:

- 1 Vaccins met afgezwakte of volledig geïnactiveerde ziekteverwekkers: de ziekteverwekker in het vaccin is zo bewerkt dat je er niet ziek van kunt worden. De antigenen van de ziekteverwekker activeren je afweersysteem.
- 2 Eiwitvaccin: een eiwit (antigeen) van de ziekteverwekker wordt nagemaakt in een laboratorium en activeert je afweersysteem.
- 3 Vectorvaccin: een stukje DNA of RNA van de ziekteverwekker wordt ingebracht in een niet-ziekmakend virus. Met het DNA of RNA kunnen je lichaamcellen na vaccinatie een eiwit (antigeen) van de ziekteverwekker produceren, waardoor je afweersysteem wordt geactiveerd.
- 4 RNA-vaccin: een stukje RNA van de ziekteverwekker wordt ingebracht in een vetbolletje. Met het RNA kunnen jouw lichaamcellen na vaccinatie een stukje eiwit (antigeen) van de ziekteverwekker produceren, waardoor je afweersysteem wordt geactiveerd.

Als reactie op het vaccin maakt het afweersysteem antistoffen tegen het antigeen van de ziekteverwekker. Geheugencellen die worden aangemaakt zorgen voor immuniteit bij een latere besmetting.

In Nederland worden vrijwel alle kinderen binnen het Rijksvaccinatieprogramma ingeënt tegen infectieziekten (zie afbeelding 34). Het vaccinatieprogramma werkt goed tegen ziekten die vroeger leidden tot de dood of tot mindervaliditeit, zoals polio en mazelen.

■ **Afb. 32** Kind met waterpokken.



■ **Afb. 33** Vaccinatie door inenting.



Het vaccineren van kinderen brengt weinig risico's met zich mee. Een allergische reactie op een vaccin komt maar heel weinig voor. De ziekten waartegen kinderen worden gevaccineerd kunnen ernstige gevolgen voor de gezondheid hebben. Met bescherming door vaccinatie loop je veel minder risico's dan met bescherming door een natuurlijke infectie. In sommige gevallen werkt de bescherming door vaccinatie ook langer dan door natuurlijke infectie.

Er zijn ouders die hun kinderen niet of niet volledig laten inenten, meestal uit religieuze overwegingen of door gebrek aan kennis over vaccineren. Een hoge vaccinatiegraad (het percentage mensen dat is ingeënt) is bij de meeste ziekten nodig om de bevolking als geheel te beschermen tegen uitbraken. Een voorbeeld is de vaccinatie tegen corona. Hoe meer mensen zijn gevaccineerd tegen een ziekte, hoe minder kans deze ziekte krijgt om zich te verspreiden.

■ Afb. 34 Het Rijksvaccinatieprogramma.



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Welke vaccinaties krijgt mijn kind?

Leeftijd	Vaccinaties
6-9 weken	Rota - vanaf 2024* (DKTP-Hib-HepB)**
3 maanden	Rota - vanaf 2024* DKTP-Hib-HepB Pneu
5 maanden	DKTP-Hib-HepB Pneu
12 maanden***	DKTP-Hib-HepB Pneu
14 maanden	BMR MenACWY
4 jaar	DKTP
9 jaar	DTP BMR
10 jaar	HPV (2 keer; 2e vaccinatie half jaar later)
14 jaar	MenACWY

Betekenis afkortingen

Rota	Rotavirus
D	Difterie
K	Kinkhoest
T	Tetanus
P	Polio
Hib	Haemophilus influenzae type b
HepB	Hepatitis B
Pneu	Pneumokokken
B	Bof
M	Mazelen
R	Rodehond
MenACWY	Meningokokken ACWY
HPV	Humaan papillomavirus

* Voor kinderen geboren vanaf 1 januari 2024.
 ** Alleen als de moeder niet is gevaccineerd tegen kinkhoest tijdens de zwangerschap (22 weken prik), en in bijzondere situaties. De jeugdarts bespreekt dit met je.
 *** Was 11 maanden, wordt 12 maanden voor kinderen geboren vanaf 1 januari 2024.

rijksvaccinatieprogramma.nl

Opdrachten

KENNIS

- 49 a Valerie heeft haar dochtertje Bobbi van 3 maanden laten inenten op het consultatiebureau. Een paar uur later krijgt Bobbi milde ziekteverschijnselen. Hoe komt dat?
- b Als Bobbi bijna 1 jaar is, heeft ze weer een afspraak op het consultatiebureau voor een derde vaccinatie met hetzelfde vaccin. Deze keer lijkt Bobbi geen last te hebben van milde ziekteverschijnselen. Dit komt wel vaker voor bij een herhaalde vaccinatie. Verklaar de afwezigheid van ziekteverschijnselen na deze herhaalde vaccinatie.
- 50 Tijdens de coronapandemie werd het begrip 'groepsimmunitet' veel gebruikt. Leg uit hoe groepsimmunitet kan helpen bij de bestrijding van een virus.

51 Ziekteverwekkers van typische kinderziekten komen vaker voor dan andere ziekteverwekkers.

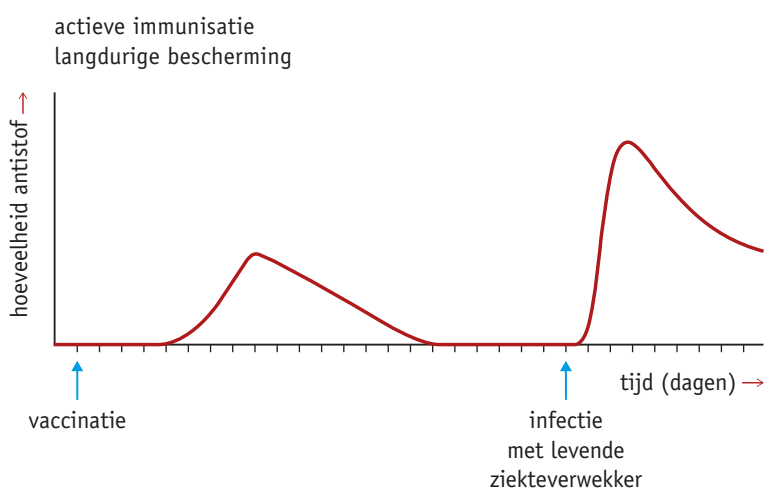
- a Leg uit hoe het komt dat kinderziekten bij volwassenen toch vrijwel niet voorkomen.
- b Mazelen is geen onschuldige kinderziekte en is om deze reden opgenomen in het Rijksvaccinatieprogramma. De ziekte kan dodelijk zijn. Daarnaast zorgt mazelen voor het verdwijnen van geheugencellen tegen eerder doorgemaakte infectieziekten. Leg uit welke gevolgen dit heeft voor de antistofreactie als iemand na de mazelen besmet raakt met een ziekteverwekker waarvoor hij vóór de mazelen al immuun was.
- c Verkoudheid en griep worden net als de mazelen veroorzaakt door een virus. Waardoor kan voor mazelen wel, maar voor verkoudheid en griep geen blijvende immuniteit ontstaan?

ACTIEVE EN PASSIEVE IMMUNITEIT

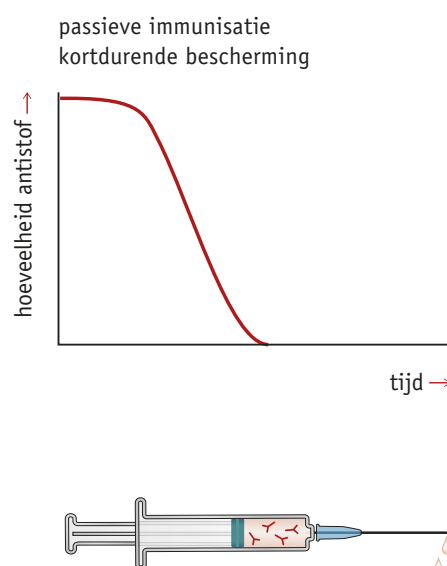
Wanneer iemand door vaccinatie immuun wordt voor een ziekte, noem je dat **actieve immuniteit**. Het afweersysteem reageert actief op de antigenen van de ziekteverwekker met de aanmaak van antistoffen en geheugencellen. De geheugencellen zorgen voor een langdurige bescherming. Wanneer je door menselijk contact wordt besmet met een ziekteverwekker, is er ook sprake van actieve immuniteit. In sommige (nood)gevallen wordt **passieve immunisatie** toegepast. Bij passieve immunisatie worden antistoffen ingespoten, bijvoorbeeld wanneer iemand is gebeten door een gifslang of een giftige spin. Het lichaam maakt dan zelf geen antistoffen en geheugencellen aan, omdat de gifstoffen of ziekteverwekkers snel worden afgebroken door de ingespoten antistoffen. Daarom geeft passieve immunisatie slechts kortdurende bescherming.

Antistoffen worden toegediend in de vorm van antiserum: bloedplasma zonder stollingseiwitten. Dit is afkomstig van menselijke bloeddonoren, of van een dier dat eerst immuun is gemaakt voor bepaalde gifstoffen of ziekteverwekkers. Het bevat dus veel specifieke antistoffen. Een nadeel van het toedienen van een antiserum is dat in

■ Afb. 35 Actieve en passieve immuniteit.



- 1 Injectie met een vaccin dat ervoor zorgt dat de antigenen van een bepaalde ziekteverwekker het afweersysteem activeren.
- 2 Bij een latere infectie met de levende ziekteverwekker herkennen de geheugencellen de antigenen en zorgen ze voor een snelle productie van de specifieke antistoffen.



- 1 injectie met antistoffen

het bloed van een dier veel verschillende antistoffen voorkomen. Dit kan soms tot een ernstige allergische reactie leiden, waarbij het afweersysteem van de mens reageert tegen de dierlijke antistoffen.

Afbeelding 35 geeft een overzicht van actieve en passieve immuniteit.

Opdrachten KENNIS

- 52** Bioloog en slangenexpert Freek Vonk is al meerdere keren gebeten door een slang, ook enkele keren door een gifslang (zie afbeelding 36). Hij had geluk dat deze gifslangen zuinig waren met hun gif. De World Health Organisation schat dat gifslangen verantwoordelijk zijn voor honderdduizend doden per jaar. Antiserum is duur en in veel afgelegen gebieden niet voorhanden, terwijl snelle toediening cruciaal is.
- a** Leg uit hoe het antiserum werkt.
 - b** Vonk deed zelf ook onderzoek naar antiserum. Het serum wordt nu gemaakt van paardenbloed, waarbij de paarden steeds een beetje gif kregen toegediend om ze immuun te maken. Als het aan Vonk lag, zou dit worden vervangen door menselijk antiserum. Wat zou het voordeel van menselijk antiserum zijn?
 - c** Ook pleit Vonk voor het beschikbaar maken van zogenoemde auto-injectoren met antiserum in alle dorpen waar de kans op een slangenbeet aanwezig is. Met deze apparaatjes wordt het mogelijk zelf antiserum toe te dienen. Volgens hem zou dit veel doden schelen. Leg dit uit.
 - d** Twee leerlingen doen een uitspraak over toediening van het antiserum:
Rihan: 'Het toedienen van antiserum is een vorm van passieve immunisatie.'
Julian: 'Het toedienen van antiserum is een vorm van kunstmatige immunisatie.'
Wie heeft of hebben gelijk? Licht je antwoord toe.
- 53** Leg uit waarom geheugencellen zorgen voor een langdurigere bescherming dan antistoffen.

■ **Afb. 36** Een boomadder is een gifslang.



Opdrachten INZICHT

- 54** Sinds 2017 is er een uitbraak van de longpest op Madagaskar. Longpest is de meest besmettelijke vorm van pest, omdat deze via hoesten van mens op mens wordt overgedragen. De symptomen lijken op een ernstige longontsteking en leiden onbehandeld vrijwel altijd tot de dood. Een snelle behandeling met antibiotica is belangrijk.
- a** Wordt de pest veroorzaakt door een virus of een bacterie? Leg je antwoord uit.
 - b** Hoewel er in het verleden wel is gevaccineerd met afgezwakte of volledig geïnactiveerde *Yersinia pestis* bij een beperkte doelgroep, bestaat er nu geen vaccin meer. Wat kan de reden zijn dat er geen vaccins meer beschikbaar zijn?
 - c** Er is ook gekeken naar de inzet van passieve immunisatie. Onderzoek toonde echter aan dat vooral de cellulaire afweer van groot belang is bij bescherming tegen *Yersinia pestis*. Leg uit waarom passieve immunisatie als behandeling bij een uitbraak dan minder kansrijk is.

- 55** **a** Iemand zegt dat mRNA-vaccins leiden tot genetische modificatie van je lichaamscellen. Leg uit dat dit onjuist is.
- b** Leg uit dat je cellen regelmatig, ook bij niet-vaccineren, worden blootgesteld aan lichaamsvreemd mRNA.
- 56** Voor kinderen die vanaf 1 januari 2024 worden geboren is er in Nederland een rotavirusvaccinatie beschikbaar. Het rotavirus zorgt voor een ontsteking van maag en darmen en komt vooral bij jonge kinderen voor. In Nederland belanden jaarlijks circa 2700 kinderen tot 5 jaar oud in het ziekenhuis, waarvan er vijf tot zeven overlijden. De vaccinatie beschermt tegen ernstige gevolgen van een rotavirusinfectie. Het vaccin met een levend verzwakt virus wordt rond de leeftijd van 6-9 weken en 3 maanden gegeven (zie afbeelding 34). Anders dan bij andere vaccinaties wordt dit vaccin niet toegediend via een prik, maar via een vloeistof die in de mond wordt gedruppeld. Hier staan vier stellingen over deze orale toediening:
- 1 Door orale toediening komt het vaccin meteen terecht in het inwendige milieu.
 - 2 Door orale toediening kan het vaccin invloed uitoefenen op de plaatselijke afweer door het darmslijmvlies.
 - 3 Door orale toediening kan het vaccin na opname door het verteringsstelsel zorgen voor immuniteit, net zoals bij vaccins die worden ingespoten.
 - 4 Orale toediening is minder belastend voor een baby dan een prik.
- a** Geef van elke stelling aan of deze juist of onjuist is.
- b** Welke vormen van afweer moeten de verzwakte levende ziekteverwekkers van het vaccin overleven voordat ze hun werk kunnen doen?



57 Salmonellose

Naar: Nederlandse Biologie Olympiade 2021, vraag 36.

Salmonellabacteriën kunnen bij de mens via besmet voedsel (zoals onvoldoende verhitte kip) een ontsteking van het darmkanaal veroorzaken. Deze infectie wordt salmonellose genoemd en kan worden bestreden met antibiotica. Bacteriën bevatten stevige peptidoglycaanvezels in hun celwand. De celwand voorkomt dat de cel onder bepaalde osmotische omstandigheden barst. Sommige antibiotica verhinderen de vorming van peptidoglycaan, waardoor de celwand zijn functie verliest. In het Verenigd Koninkrijk worden kippen gevaccineerd tegen salmonella. Salmonellose komt daar bijna niet meer voor.

Is deze vaccinatie een vorm van actieve immunisatie of passieve immunisatie?

En worden daarbij antigenen of antistoffen toegediend?

- 58** Tetanus is een infectieziekte die gepaard gaat met spierkrampen. Iemand die met tetanusbacteriën is besmet, kan passief worden geïmmuniseerd door een injectie met antiserum. Vroeger werd dit serum verkregen door bloed af te nemen bij een dier (bijvoorbeeld een paard) dat bij herhaling met kleine hoeveelheden tetanusbacteriën was ingespoten. Als een patiënt nog meer injecties nodig had, kreeg hij niet opnieuw paardenserum. De ervaring had geleerd dat er dan heftige reacties konden optreden. De patiënt kreeg dan serum van een rund of een schaap. Tegenwoordig worden menselijke antistoffen toegediend.
- a** De immuniteit die ontstaat door het toedienen van een serum is van korte duur. Leg uit waardoor dat komt.
- b** Wat is de verklaring voor de heftige reactie bij het opnieuw toedienen van paardenserum?



[Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

IMMUNOTHERAPIE TEGEN KANKER

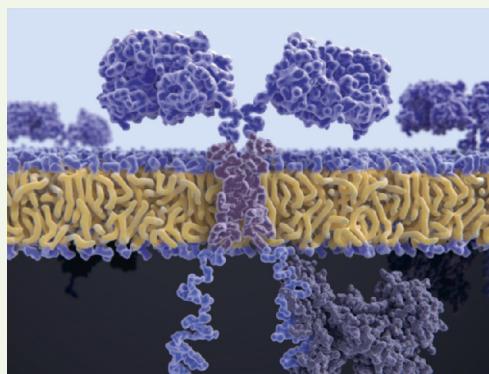
Kanker is een moeilijk te genezen ziekte, ondanks de verschillende behandelmethoden waarover artsen beschikken, zoals chirurgie, bestraling en chemotherapie. Volledige chirurgische verwijdering is niet altijd mogelijk. De andere twee methoden zijn erop gericht de zich ongeremd delende kankercellen te vernietigen, maar hierbij is de kans groot dat andere zich snel delende lichaamscellen worden gedood. Dit zorgt voor bijwerkingen en is schadelijk voor de gezondheid.

Er wordt veel onderzoek gedaan naar een andere aanpak om tumorcellen te bestrijden. Het afweersysteem van het lichaam beschermt gewoonlijk tegen het ontstaan van kwaadaardige tumoren door het vernietigen van gemuteerde cellen. Maar door bepaalde mutaties ontwikkelen sommige tumorcellen strategieën om het afweersysteem te omzeilen, waardoor kanker ontstaat.

Door immunotherapie kan de afweerreactie worden versterkt, bijvoorbeeld door het toedienen van een vaccin met in een laboratorium vermenigvuldigde, geactiveerde T-cellen. Dit heeft bij bepaalde kankersoorten veelbelovende resultaten opgeleverd. Bij de meeste kankervormen blijft het echter lastig om een effectieve immunotherapie te ontwikkelen, omdat tumoren het afweersysteem vaak zó beïnvloeden dat het de kanker juist verdedigt.

Amerikaanse wetenschappers denken nu echter een doorbraak te hebben bereikt door menselijke T-cellen te modificeren met een gemuteerd gen, afkomstig uit kwaadaardige T-cellen die lymfeklierkanker veroorzaken. In kankercellen leidt deze mutatie normaal tot extreem agressieve tumoren. Maar door deze mutatie in menselijke T-cellen in te brengen (zie afbeelding 37), werden deze cellen juist veel effectiever in de bestrijding van tumoren. De onderzoekers hebben dit getest op muizen met diverse soorten kanker en publiceerden hun resultaten in februari 2024 in *Nature*.

■ **Afb. 37** Antigeenreceptor waarmee T-cellen bij immunotherapie vaak worden gemodificeerd. Hierdoor kunnen ze specifieke kankercellen herkennen en vernietigen.



Opdrachten

- 59 Valt vaccineren ook onder immunotherapie? Leg je antwoord uit.
- 60 Leg uit waarom immunotherapie met T-cellen, waarover in de tekst wordt gesproken, zo kansrijk is.
- 61 Leg uit hoe T-cellen gewoonlijk tumorcellen opsporen en vernietigen.
- 62 Volgens de onderzoekers is er na de dierproeven geen enkele aanwijzing dat de

nieuwe T-celtherapie gevaar op kan leveren voor mensen.
Leg uit waarom dit wel een reële zorg was.

- 63 In de Verenigde Staten mag een medicijn op mensen worden getest zodra is aangetoond dat het niet giftig is voor de mens. De onderzoekers gaan hun therapie nu op mensen testen. Beargumenteer waarom het waarschijnlijk niet moeilijk is om proefpersonen te vinden, ook al zijn de werking en de langetermijneffecten van de T-celtherapie nog niet volledig bekend.

5 TRANSPLANTATIE EN BLOEDTRANSFUSIE

LEERDOEL

15.5.1 Je kunt uitleggen welke problemen kunnen ontstaan door antigenen bij transplantaties en bloedtransfusies en op welke wijze je deze kunt voorkomen of aanpakken.

► Practicum 2

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	15.5.1
Begrijpen	64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72
Toepassen	73a, 75a, 77, 79a, 80b
Analyseren	73b, 74, 75b, 76, 78, 79b, 80a

Vroeger waren bloedtransfusies niet altijd een succes. Pas na de ontdekking van bloedgroepen door Karl Landsteiner in 1901 ging het stukken beter.

TRANSPLANTATIE

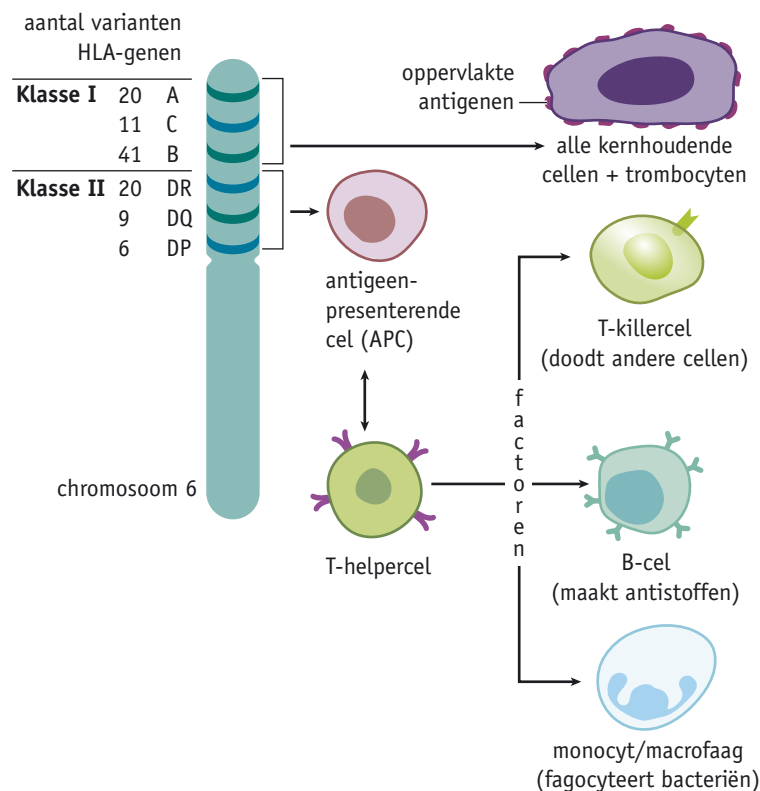
Bij een **transplantatie** wordt een aangetast weefsel of orgaan vervangen. Het nieuwe weefsel of orgaan kan afkomstig zijn van de patiënt zelf, maar ook van iemand anders: een **donor**. Als het weefsel of orgaan afkomstig is van een donor, is er kans op een afstotingsreactie bij de patiënt: de **acceptor**.

Lymfocyten kunnen dankzij het '*major histocompatibility'-complex* (MHC) de eigen cellen onderscheiden van lichaamsvreemde cellen. Een afstotingsreactie wordt opgewekt door MHC-eiwitten op de celmembranen van het getransplanteerde weefsel of orgaan. Als deze MHC-eiwitten niet overeenkomen met de lichaamseigen MHC-eiwitten worden ze door het afweersysteem van de acceptor gezien als lichaamsvreemde antigenen en aangevallen.

Bij mensen wordt dit MHC-systeem '*human leukocyte antigen*'-systeem (HLA-systeem) genoemd. De genetische informatie voor de verschillende HLA-eiwitten is vastgelegd in zes genen op chromosoom 6 (zie afbeelding 38). Anders dan bij de meeste genen komen alle genen tot expressie (co-dominantie). Daardoor draagt iemand zowel de HLA-eiwitten die hij van zijn moeder als van zijn vader heeft geërfd op de celmembranen van zijn lichaamscellen. Daarbij bestaat er ook nog grote variatie in allelen voor de zes HLA-genen, waardoor het HLA-systeem meer dan één miljoen combinaties kan bevatten. Dit systeem leidt dus tot een vrijwel unieke code die helpt cellen te identificeren als lichaamseigen of lichaamsvreemd.

Voorafgaand aan een transplantatie moet je onderzoeken of het HLA-systeem van de donor overeenkomt met het HLA-systeem van de acceptor. Aangezien de kans hierop klein is, is er een internationaal registratiesysteem ontwikkeld om geschikt

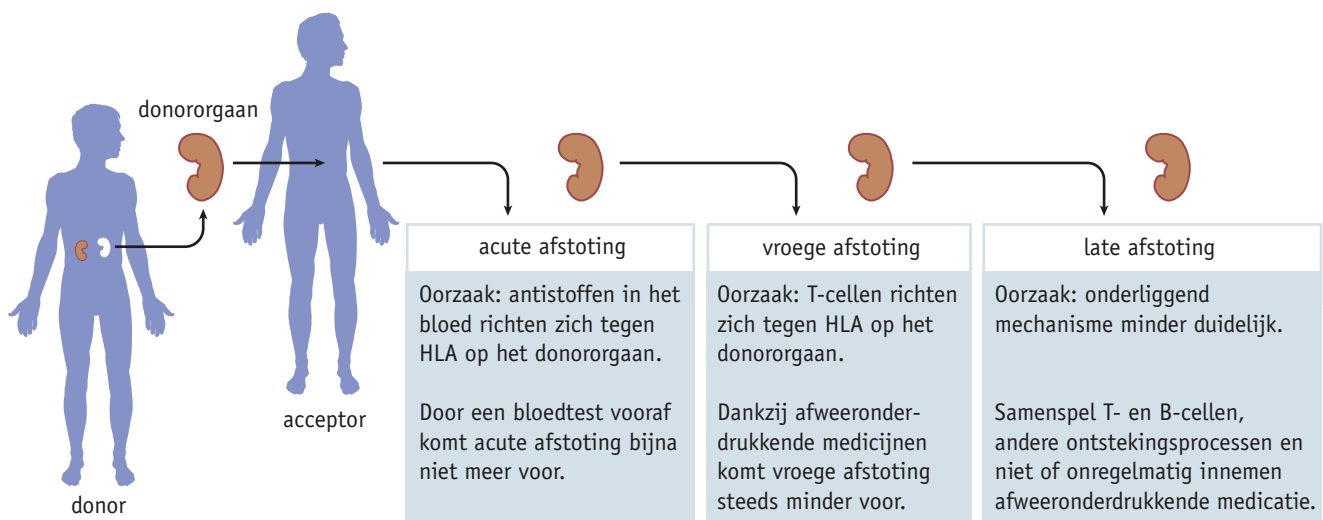
■ **Afb. 38** Het HLA-systeem.



donormateriaal voor een acceptor te vinden. Wanneer een donororgaan beschikbaar komt, bijvoorbeeld na een ongeval, kan via dit systeem snel worden bekeken voor welke patiënt dit orgaan het meest geschikt is (HLA-matching).

De HLA-systemen van donor en acceptor komen vrijwel nooit 100% overeen. Er is daardoor kans op een afstotingsreactie. De afstoting van een orgaan kan verschillende oorzaken hebben (zie afbeelding 39). Antistoffen in het bloed van de acceptor leiden vaak tot een zeer snelle afstoting (acute afstoting). Dit kun je meestal voorkomen door vooraf te testen of het bloed van de acceptor reageert op cellen van de donor. Het bloed gaat dan klonteren. Antistoffen kunnen in het bloed van de acceptor aanwezig zijn door eerder contact met vreemd HLA. Bijvoorbeeld door een bloedtransfusie, door contact met het HLA van een kind bij zwangerschap of door een eerdere transplantatie. Acute afstoting komt tegenwoordig nog zelden voor.

■ **Afb. 39** Mogelijke oorzaken van de afstoting van een donororgaan of -weefsel.



Afstotingsreacties door T-cellen komen het meest voor in de eerste weken tot maanden na de transplantatie. De T-cellen van de acceptor herkennen de antigenen op de membranen van de cellen van het donororgaan als lichaamsvreemd. Donorcellen worden dan door de T-cellen vernietigd. De afstotingsreacties kun je onderdrukken met medicijnen die het gehele afweersysteem onderdrukken. Ook na langere tijd blijft er een kans op afstoting van het orgaan. De oorzaak is dan vaak minder duidelijk.

DONORREGISTRATIE

Iedereen van 18 jaar en ouder die is ingeschreven in een Nederlandse gemeente staat in het Donorregister. In het Donorregister is jouw keuze geregistreerd voor het wel of niet doneren van je organen en weefsels na je overlijden. Er zijn vier registratiemogelijkheden in het Donorregister (zie afbeelding 40):

- 1 Ja, ik wil donor worden.
- 2 Nee, ik wil geen donor worden.
- 3 Mijn partner of familie beslist na mijn overlijden.
- 4 Ik wijs één persoon aan die beslist na mijn overlijden.

Als je geen keuze invult, sta je in het Donorregister met 'geen bezwaar tegen orgaandonatie'. Je geeft zo toestemming om je organen en weefsels aan een patiënt te doneren na je overlijden. Doneren kan alleen als iemand in het ziekenhuis overlijdt, want een orgaan kun je maar kort bewaren. Je keuze voor donorregistratie kun je op ieder moment via een formulier of online aanpassen.

■ Afb.40 Donorregistratie.



Opdrachten KENNIS

- 64 Waarom komt acute afstoting tegenwoordig nog zelden voor?
- 65 Welke oorzaken worden in de tekst genoemd voor de grote variatie in HLA-eiwitten?
- 66 Hoeveel verschillende soorten HLA-eiwitten kan iemand op de celmembranen in zijn celmembraan hebben? Leg je antwoord uit.
- 67 Welke lichaamscellen hebben geen HLA-eiwitten? Leg je antwoord uit.
- 68 Als een brandwond niet vanzelf geneest, is een huidtransplantatie nodig. Hiervoor wordt vrijwel altijd een stuk onbeschadigde huid (vaak van het bovenbeen) van de patiënt zelf getransplanteerd. Eerst is het belangrijk om de verbrande huidresten te verwijderen, omdat deze de patiënt ziek kunnen maken.
 - a Waarom kunnen de verbrande huidresten de patiënt ziek maken?
 - b Veroorzaakt een transplantatie met eigen huid afstotingsverschijnselen? Leg je antwoord uit.

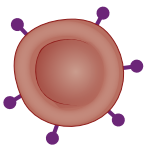
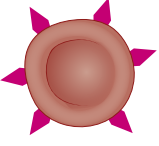
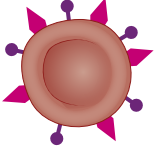
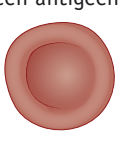
BLOEDGROEPEN

Op de celmembranen van rode bloedcellen komen geen HLA-eiwitten voor, maar wel antigenen die kunnen leiden tot afweerreacties. De antigenen bepalen de bloedgroep die je hebt. Er zijn meerdere systemen om bloedgroepen in te delen. De belangrijkste systemen zijn het AB0-systeem en de resusfactor.

Het **AB0-systeem** bestaat uit de bloedgroepen A, B, AB en 0 (nul). Hierbij zijn twee antigenen betrokken (zie afbeelding 41). Mensen met bloedgroep A hebben op de celmembranen van rode bloedcellen het antigeen A, mensen met bloedgroep B hebben het antigeen B. Mensen met AB hebben beide antigenen. Iemand die geen van beide antigenen heeft, behoort tot bloedgroep 0.

Het bloedplasma bevat bij mensen antistoffen tegen de antigenen die niet op de celmembranen van hun rode bloedcellen voorkomen. Bij iemand met bloedgroep A zit dus antistof tegen B in het bloedplasma en iemand met bloedgroep B heeft antistof tegen A. Mensen met bloedgroep 0 hebben antistof tegen zowel A als B. Deze antistoffen worden vlak na de geboorte gevormd. Als je bloedgroep AB hebt, heb je geen antistoffen tegen antigeen A en B in je bloedplasma.

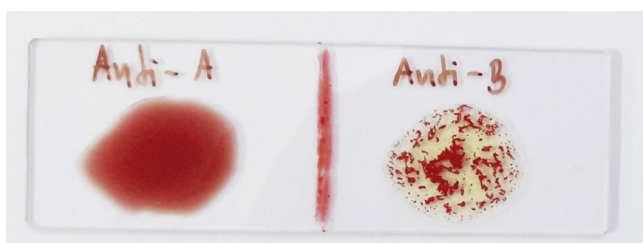
■ **Afb. 41** Antigenen en antistoffen bij de bloedgroepen van het AB0-systeem.

	bloedgroep A	bloedgroep B	bloedgroep AB	bloedgroep 0
antigenen aan rode bloedcellen	antigeen A 	antigeen B 	antigeen A en B 	geen antigeen A geen antigeen B 
antistoffen in bloedplasma	anti-B 	anti-A 	geen anti-A geen anti-B	anti-A anti-B 
% in Nederland	43%	9%	3%	45%

Rode bloedcellen klonteren samen als het antigeen in contact komt met de antistof (zie afbeelding 42). De samengeklonterde bloedcellen blijven steken in de haarvaten en gaan kapot. Hierdoor komt hemoglobine in het bloedplasma vrij. Dit proces wordt hemolyse genoemd en kan onder andere leiden tot hersen- en nierbeschadigingen. Een patiënt moet bij voorkeur donorbloed van dezelfde bloedgroep ontvangen.

Door donorbloed te centrifugeren worden de verschillende bestanddelen van het bloed van elkaar gescheiden. Een patiënt krijgt bij een **bloedtransfusie** alleen het bestanddeel dat hij nodig heeft. Meestal zijn dat de rode bloedcellen. Door donorbloed eerst te centrifugeren wordt het bloedplasma gescheiden van de rode bloedcellen. Het bloedplasma van de donor met de antistoffen wordt dan niet toegediend. Hierdoor ontstaan meer mogelijkheden voor bloedtransfusies met bloed van een andere bloedgroep.

■ **Afb. 42** Niet-geklonterd en geklonterd bloed.



RESUSFACTOR

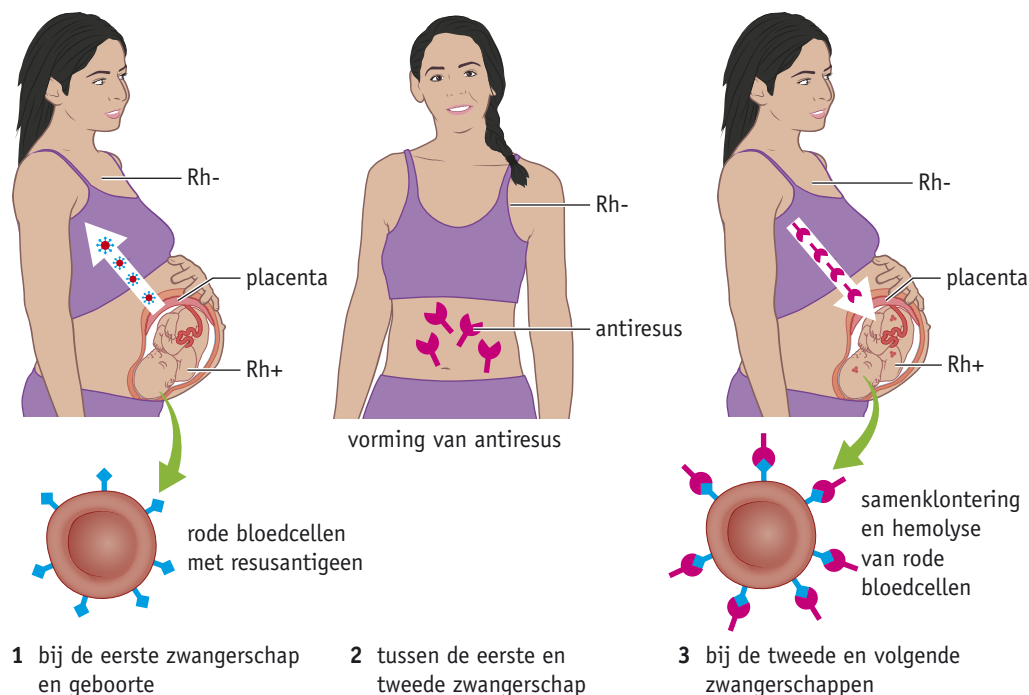
Een ander systeem om bloedgroepen in te delen is de resusfactor. Bij 85% van de mensen komt op de celmembranen van de rode bloedcellen een eiwit voor dat je **resusfactor** of resusantigeen noemt. Bloed met het resusantigeen noem je resuspositief bloed (Rh+). Mensen die het resusantigeen niet hebben, zijn resusnegatief (Rh-). Deze mensen kunnen antistof (antiresus) tegen het resusantigeen maken. Zij maken deze antistof pas als ze in contact komen met resuspositief bloed. Als een patiënt met resusnegatief bloed (bijvoorbeeld A Rh-) resuspositief bloed (bijvoorbeeld A Rh+) ontvangt, zal deze persoon antiresus maken (primaire reactie). Hierdoor klonteren de rode bloedcellen van het donorbloed samen en treedt hemolyse op. Of je resuspositief of resusnegatief bent is erfelijk bepaald.

Het resusantigeen kan problemen bij zwangerschap geven. Dit is het geval als een resusnegatieve vrouw zwanger is van een resuspositief kind (zie afbeelding 43). Door kleine scheurtjes in de placenta kunnen rode bloedcellen van het kind in de bloedsomloop van de moeder terechtkomen. De moeder maakt dan antiresus aan. Omdat dit meestal pas na de bevalling gebeurt, heeft het voor dit kind geen gevolgen. Na de eerste bevalling bevat het bloed van de moeder echter antiresus. Als bij een volgende zwangerschap het kind weer resuspositief is, kan er antiresus uit het bloed van de moeder door de placenta in het bloed van het kind terechtkomen. Er kunnen dan rode bloedcellen van het kind samenklonteren en er kan hemolyse optreden. Het kind kan ernstig ziek worden. Een kind bij wie deze verschijnselen optreden, noem je een resuskindje.

Bij een resusnegatieve moeder die zwanger is van een resuspositief kind wordt in week 30 van de zwangerschap antiresus ingespoten als blijkt dat er in het bloed antistoffen voorkomen tegen het bloed van het kind. Ook direct na de geboorte wordt antiresus ingespoten. Als er rode bloedcellen met resusantigeen van het kind in het bloed van de moeder terecht zijn gekomen, klonteren deze door het ingespoten antiresus meteen samen en worden ze afgebroken. Het afweersysteem van de moeder zal de resusantigenen van het kind niet waarnemen, waardoor het zelf geen antiresus en geheugencellen maakt. Het ingespoten antiresus wordt na verloop van tijd afgebroken.

Als een resuspositieve moeder zwanger is van een resusnegatief kind, zijn er geen problemen. Het immuunsysteem van het kind kan pas twee à drie maanden na de geboorte antistoffen maken.

■ Afb. 43 Het ontstaan van een resuskindje.

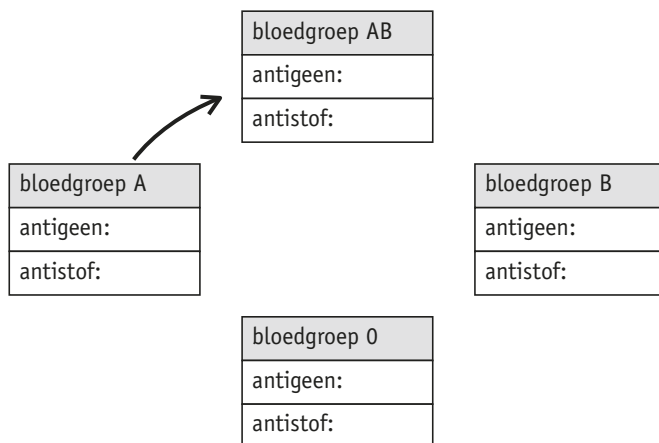


Opdrachten KENNIS



- 69 In afbeelding 44 staat een schema met AB0-bloedgroepen. Vul het schema verder in en geef met pijlen aan welke bloedtransfusies mogelijk zijn. Dit is voorgedaan voor de transfusie van donorbloed van bloedgroep A naar een ontvanger van bloedgroep AB.

■ Afb. 44 Bloedtransfusies.

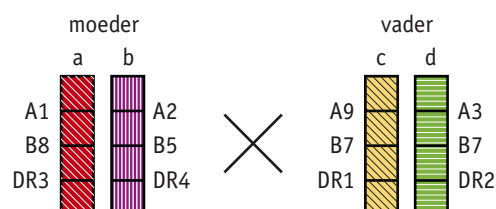


- 70 De benaming A+ wordt gebruikt om aan te geven dat je bloedgroep A hebt en resuspositief bent.
- Mensen die aan iedere patiënt bloed kunnen geven worden algemene donor genoemd. Welke bloedgroep (combinatie van het AB0-systeem en resusfactor) heeft een algemene donor? Leg je antwoord uit.
 - Mensen die van iedere persoon bloed kunnen ontvangen worden algemene acceptor genoemd. Welke bloedgroep (combinatie van het AB0-systeem en resusfactor) heeft een algemene acceptor? Leg je antwoord uit.
- 71 Waarom hoeven de meeste zwangere vrouwen geen antiresus ingespoten te krijgen?
- 72 Bekijk **BiNaS** tabel 84K. Tot welke groep antistoffen behoort antiresus? Leg je antwoord uit.

Opdrachten INZICHT

- 73 In afbeelding 45 staat een schematisch overzicht van de HLA-genen op chromosomenpaar 6 van een vader en een moeder.
- Teken alle mogelijke combinaties van dit chromosomenpaar die hun kinderen zouden kunnen hebben. Maak gebruik van dezelfde kleuren en arceringen als in de oorspronkelijke afbeelding. Je hoeft de HLA-allelen per gen niet te benoemen.

■ Afb. 45 Overzicht van de HLA-genen op chromosomenpaar 6 van een vader en een moeder.



- b** Het gezin bestaat naast beide ouders uit de zonen Bas en Jelmer en dochter Eva. Eva heeft een niertransplantatie nodig. Er wordt eerst gekeken of er een donormatch is in het gezin. Bas blijkt een match en de donatie zou kunnen plaatsvinden. Moeder vindt het toch een akelig idee en vraagt aan de arts waarom zij haar nier niet kan doneren. Zij is toch ook directe familie van Eva?
Welke uitleg zal de arts geven?
- 74** Antistoffen tegen het ABO-systeem zijn al vanaf de geboorte aanwezig (mits je geen bloedgroep AB hebt). Wanneer een moeder met bloedgroep A zwanger is van een kind met bloedgroep B (en moeder en kind dezelfde resusfactor hebben) treden er geen problemen op zoals bij de zogenoemde resuskindjes.
Geef hiervoor een verklaring.
- 75** Bestudeer afbeelding 38.
- a** Hoeveel verschillende allelelencombinaties / haplotypes kan iemand voor de HLA-genen op één chromosoom hebben?
 - b** Hoeveel verschillende HLA-eiwitten kunnen theoretisch op nierepitheelcellen voorkomen? Leg je antwoord uit.
- 76** Soms wordt er bij transplantaties gebruikgemaakt van embryonale stamcellen. Ook hierbij is er kans op afstotingsreacties.
Welke genetische aanpassing zou de kans op afstotingsreacties kunnen verkleinen? Betrek in je antwoord de term HLA-systeem.
- 77** Een 12-jarige jongen heeft nog nooit een bloedtransfusie gehad. Deze jongen heeft bloedgroep A-.
- a** Bevat het bloed van deze jongen antiresus? Leg je antwoord uit.
 - b** Kun je bij een bloedtransfusie bloed van deze jongen aan een patiënt met bloedgroep A+ geven? Leg je antwoord uit.
- 78**
- a** Iemand zegt dat de kans op een HLA-match bij leden van tweelingen tussen tweelingen flink kan verschillen. Klopt dat? Licht je antwoord toe.
 - b** Wil jij jouw organen doneren en/of jouw lichaam ter beschikking stellen aan de wetenschap na je overlijden? Leg je antwoord uit.



[Ga naar de Flitskaarten en Test jezelf.](#)

KWEEKBLOED

Onderzoekers van de Universiteit van Cambridge hebben in 2022 als eersten ter wereld een allogene bloedtransfusie met kweekbloed toegediend aan mensen. Dit wil zeggen dat de proefpersonen een kleine hoeveelheid bloed ontvingen, gekweekt uit stamcellen van bloed van een donor. In Nederland bereidt bloedbank Sanquin een vergelijkbare studie voor.

Slechts 2% van de Nederlanders is bloeddonor. Voor sommige mensen die afhankelijk zijn van herhaalde bloeddonaties is het soms moeilijk om geschikt bloed te vinden. Het AB0-systeem en de resusfactor zijn namelijk niet de enige bloedgroepsystemen; er zijn inmiddels 30 bloedgroepsystemen en 350 verschillende bloedgroepen bekend.

Met kweekbloed zou je in theorie bloed op maat voor iedere patient kunnen maken. Hoewel er nog veel horden zijn te nemen voordat kweekbloed als behandeling kan worden ingezet, zijn er al veel stappen gezet. Wetenschappers van Sanquin onderzoeken onder welke omstandigheden kweekbloed het beste geproduceerd kan worden.

Celbiologe Marieke von Lindern laat in een documentaire van de NTR zien hoe ze het

kweekbloed maken. In gedoneerd bloed bevindt zich een zeer kleine fractie geschikte stamcellen, die ze laten uitgroeien tot de voorlopers van rode bloedcellen en daarna uitrijpen in bioreactoren. Het nadeel van deze methode is dat het kostbaar is en de aantallen rode bloedcellen nog zeer beperkt zijn. Uiteindelijk willen de onderzoekers het kweekbloed ook op mensen testen.

■ Afb. 46 Bloedtransfusie.



Opdrachten

- 79** Het AB0-systeem is het bekendste bloedgroepsysteem. Het is niet vreemd dat de andere systemen veel minder bekend zijn, omdat alleen bij het AB0-systeem direct problemen ontstaan bij een transfusie met de verkeerde bloedgroep.
- a** Leg uit waarom er meteen problemen kunnen ontstaan als je bloed ontvangt van een verkeerde bloedgroep uit het AB0-systeem.
 - b** Bij een ziekte als sikkelcelanemie hebben de eigen rode bloedcellen een verkeerde vorm, waardoor patiënten gedurende hun leven veelvuldig bloedtransfusies nodig hebben. Leg uit waarom er bij deze patiënten bij een transfusie problemen kunnen optreden door een verkeerde match met de andere bloedgroepsystemen.

- 80** Er zijn bij de mens ruim vijftig resusantigenen bekend, maar de afwezigheid van resus D bepaalt of je een bloedgroep resuspositief of resusnegatief noemt. De meest zeldzame bloedgroep is resus 0, ook wel 'gouden bloed' genoemd, waarbij er helemaal geen resusantigenen op de rode bloedcellen voorkomen. Er zijn wereldwijd nog geen vijftig mensen bekend met deze bloedgroep.
- a** De term 'gouden bloed' klinkt positief. In welke zin is 'gouden bloed' inderdaad positief?
 - b** Als mensen met 'gouden bloed' een bloedtransfusie nodig hebben, is dat meteen problematisch. Leg uit hoe kweekbloed voor hen een oplossing zou kunnen zijn.

POEP, EEN VEELBELOVEND MEDICIJN?

LEERDOELEN

- 15.S.1** Je kunt de rol van de darmen bij de ontwikkeling van het afweersysteem toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 15.S.2** Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair, ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op de rol van de darmen bij het functioneren van het afweersysteem.

Een hapje poep. Een onsmakelijk idee. Toch wordt uitgebreid onderzoek gedaan naar poep als behandeling voor zeer uiteenlopende aandoeningen.

Darmbacteriën spelen een belangrijke rol bij de ontwikkeling van je afweersysteem. Vlak voor je geboorte waren je darmen leeg, maar tijdens de bevalling is die steriele darm besmet met poepbacteriën en vaginale bacteriën van je moeder. Doordat de meeste darmbacteriën anaeroob zijn en jouw babydarm was gevuld met zuurstof, gingen veel bacteriën dood. Hun celwanden werden opgenomen door de darmwand en gebruikt om jouw afweersysteem het verschil te leren tussen lichaamseigen en lichaamsvreemd. De bacteriële antigenen zorgden er zodoende voor dat jouw prille afweersysteem deze goede darmbacteriën leerde kennen en ze niet meer aanviel. Deze aangeleerde tolerantie is onderdeel van het aangeboren afweersysteem.

■ **Afb. 1** Mensenpoep voor transplantatie.



In je darmen komen honderden verschillende soorten bacteriën en virussen voor. Deze ecologische gemeenschap, de microbiota, is voor iedereen uniek en helpt bij het bestrijden van ziekmakende bacteriën die vanuit de darm je lichaam proberen binnen te dringen. Bij darminfecties en chronische darmontstekingen, zoals de ziekte van Crohn of *Colitis ulcerosa*, is de gezonde darmflora niet in staat om de ziekmakende bacteriën te verdringen. Ook bij aandoeningen buiten het maag-darmkanaal, zoals multiple sclerose (MS), diabetes en depressie is aangetoond dat patiënten een andere samenstelling van darmflora hebben dan gezonde personen. Een poeptransplantatie (zie afbeelding 1) zou dan dé oplossing kunnen zijn. Bij deze behandeling wordt de oorspronkelijke darmflora vervangen door die van een gezonde donor.

Op dit moment wordt in Nederland een poeptransplantatie alleen regulier uitgevoerd bij een darminfectie met de bacterie *Clostridium difficile*. Een infectie met deze toxineproducerende bacterie kan leiden tot een levensbedreigende ontsteking van de darm met diarree.

Behandeling met antibiotica is vaak niet meer effectief. Gelukkig is de effectiviteit van poeptransplantatie wel duidelijk aangetoond: in 90% van de gevallen verdrijft een

gezonde darmflora de *Clostridium difficile*-infectie. Bij andere aandoeningen wordt de effectiviteit van poeptransplantaties nog onderzocht.

Bij poeptransplantaties wordt poep van een gezond persoon bij een patiënt ingebracht. Het kan echter dat donor en ontvanger slecht bij elkaar passen, waardoor de behandeling niet goed werkt. Amerikaanse onderzoekers stellen daarom voor om poep van gezonde jonge mensen in te vriezen in een zogenoemde poepbank. Het is aangetoond dat de samenstelling van de darmflora gedurende het leven verandert. Als iemand later een aandoening krijgt die heeft te maken met een ongezonde darmflora, kan diegene een poeptransplantatie krijgen met zijn eigen gezonde microbiota.

Opdrachten



- 1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *afweersysteem* – *antigeen* – *baby* – *bacterie* – *Clostridium difficile* – *darm* – *darmflora* – *microbiota* – *moeder* – *toxine* – *vagina* – *virus*.

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

- 2 Als een natuurlijke bevalling voor een moeder of de baby levensbedreigend is, komen baby's via een keizersnede ter wereld. Bij een keizersnede wordt een operatieve snede in de buikwand van de moeder gemaakt.
Leg uit dat een keizersnede minder gunstig kan zijn voor de opbouw van het afweersysteem van een baby dan een natuurlijke bevalling.
- 3
 - a Na een antibioticumbehandeling raken vooral ouderen in een ziekenhuis of een behandelkamer van de huisarts besmet met *Clostridium difficile*. Geef hiervoor een verklaring.
 - b De behandeling van *Clostridium difficile* met antibiotica is vaak niet effectief, doordat de bacteriën resistent zijn geworden tegen antibiotica.
Leg uit hoe een bacteriepopulatie resistent kan worden tegen antibiotica.
- 4
 - a Als de darmflora van de donor niet goed matcht met de ontvanger, kan het zijn dat een poeptransplantatie niet werkt. Leg dit uit.
 - b Het is niet aannemelijk dat er een poepbank zal komen, waarin iedereen een poepmonster doneert voor het geval dat hij of zij later een poeptransplantatie nodig heeft.
Geef een reden waarom dit niet aannemelijk is.

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

15.O.1 Je kunt met behulp van een modelleerprogramma onderzoek doen naar de ontwikkeling van een epidemie.

- Basisstof 4
- Vaardigheid 7

Modelleren van een epidemie met Coach

 100 minuten

INLEIDING

Zowel bij de mens als bij veel dier- en plantensoorten kan soms een epidemie optreden. Afhankelijk van de besmettelijkheid en de virulentie (ziekmakende kracht) van een bacterie of virus en de mate van immuniteit van mens, dier of plant zal zo'n epidemie veel of weinig slachtoffers maken en dan uitdoven. In deze practicumopdracht onderzoek je de ontwikkeling van een epidemie met behulp van een computermodel.

ONDERZOEKSVRAGEN

- Hoe ontwikkelt zich een populatie onder invloed van een epidemie van een erg besmettelijke bacterie of virus met een hoge virulentie, waarbij weinig immuniteit optreedt?
- Hoe verandert de situatie onder invloed van lagere besmettelijkheid, lagere virulentie of meer immuniteit?

HYPOTHESE

Als een bacterie of virus heel besmettelijk en heel virulent is en er weinig immuniteit bij de organismen in de populatie is, zal een epidemie heel veel slachtoffers maken en dan uitdoven.

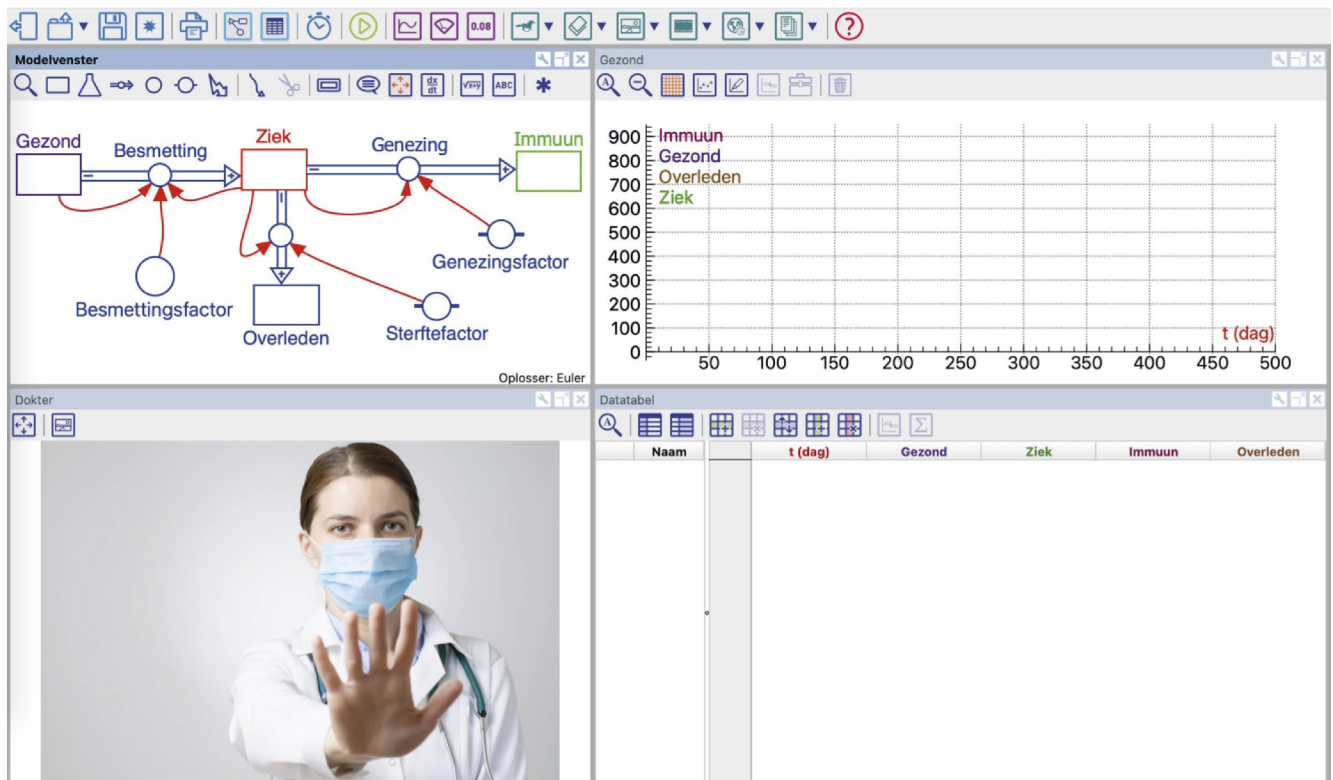
MATERIAAL

- modelleerprogramma Coach 6 (of hoger) op computer
- model van een epidemie (epidemie.cmr, te vinden op de methodesite)

METHODE EN RESULTAAT

- Ga naar het modelleergedeelte van het computerprogramma Coach en open het model epidemie.cmr (zie afbeelding 1).
- Onderzoek het model. Je ziet vier groepen: gezond, ziek, immuun en dood.

■ Afb. 1 Model epidemie.cmr.



- 1 Dubbelklik op de vier groepen.
Welke aantallen zie je aan het begin?
- 2 Bepaal de waarden van de besmettingsfactor (besmettelijkheid van een bacterie of virus), de sterftefactor (virulentie van bacterie of virus) en de genezingsfactor (kans om immuun te worden) door te dubbelklikken op deze drie variabelen.
Verklaar wat de gevonden waarden inhouden.
- 3 Voorspel wat er zal gebeuren.
 - Laat het model het verloop van de epidemie gedurende honderd dagen doorrekenen door op de groene knop 'start' te klikken. In de grafiek en de tabel rechts op je scherm zie je de resultaten.
- 4 Noteer de resultaten. Verklaar de resultaten van de computerberekeningen.
- 5 Een epidemische ziekte kan ook minder besmettelijk of minder of helemaal niet dodelijk zijn.
Wat betekent dat voor de besmettingsfactor, voor de sterftefactor en voor de genezingsfactor?
 - Onderzoek wat er gebeurt als je in dit model:
 - a de besmettingsfactor verlaagt tot 0.0005;
 - b de sterftefactor verlaagt tot 0.01 of tot 0;
 - c de genezingsfactor verhoogt tot 0.5.

Denk eraan na elke berekening de veranderde factor terug te zetten op de oorspronkelijke waarde.

- 6 Formuleer eerst een voorspelling over het verloop van de grafieken.
- 7 Test daarna wat er in het model gebeurt. Geef hiervan een korte beschrijving.
- 8 Leg uit waarom het belangrijk is na elke berekening de veranderde factor terug te zetten op de oorspronkelijke waarde.
- 9 Ebola of vogelpest maakt heel veel slachtoffers.
Welk(e) van de drie factoren is of zijn hiervoor verantwoordelijk?

CONCLUSIE

- 10 Beantwoord de onderzoeksvragen. Is de hypothese juist?

DISCUSSIE

- 11 Vind je dat zo'n model nuttig is, ook al is het een sterk vereenvoudigd beeld van de werkelijkheid?
- 12 Noem enkele zaken die in het model zijn weggelaten, maar die in de werkelijkheid wel een rol spelen.

Deze practicumopdracht kan worden uitgebreid. Vraag hiervoor de beschrijving aan je docent.

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

15.O.2 Je kunt met behulp van reagentia de bloedgroep van een bloedmonster bepalen.

► Basisstof 5

Het bepalen van de bloedgroep van een bloedmonster

 30 minuten

INLEIDING

Rode bloedcellen bevatten – afhankelijk van de bloedgroep – A- en/of B-antigenen, of geen van beide. Je onderzoekt met deze bepaling of en welke antigenen aanwezig zijn op de te testen rode bloedcellen. Je gebruikt hiervoor een reagens dat antistoffen bevat en reageert op bloedgroep A- of B-antigenen.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de bloedgroep van de patiënten en de donoren (uit de practicumkit)?

MATERIAAL

- rode bloedcellen van de patiënten (nummers 1, 2, 3) en donoren (X en Y) uit de practicumkit voor bloedgroepbepaling
- reagens anti-A en anti-B
- tien reageerbuizen

METHODE

- Schud de buizen met rode bloedcellen, net zolang tot alle rode bloedcellen van de bodem loskomen.
- Zet de tien reageerbuizen in een rek en markeer deze zoals in afbeelding 2: de 1, 2, 3, X en Y staan voor de patiënten en donoren. A en B staan voor het reagens dat je toevoegt.

■ **Afb. 2** De tien reageerbuizen in het rek.

1A	2A	3A	XA	YA
1B	2B	3B	XB	YB

- Doe één druppel rode bloedcellen van patiënt 1 in reageerbuis 1A én in buis 1B. Doe één druppel rode bloedcellen van patiënt 2 in reageerbuis 2A én in buis 2B, enzovoort.
- Voeg één druppel reagens anti-A toe aan alle reageerbuizen met de letter A.
- Voeg één druppel reagens anti-B toe aan alle reageerbuizen met de letter B.
- Zwenk de reageerbuizen eventjes voorzichtig en laat ze in het rekje staan.
- Wacht nu minimaal vijftien minuten, zodat de cellen eventueel gaan klonteren. Blijf in de tussentijd van de buisjes af, anders is het resultaat minder goed zichtbaar.
- Ruim na het noteren van de resultaten en de conclusie het gebruikte materiaal op volgens aanwijzing van je docent of TOA.

RESULTAAT EN CONCLUSIE

- Je kunt nu het resultaat bekijken. Zwenk een reageerbuis zachtjes van links naar rechts en zorg ervoor dat alle rode cellen van de bodem loskomen. Om te beoordelen of er klontering is opgetreden, houd je een buis (bijna) horizontaal zodat de vloeistof zich over de hele buis verdeelt. Als er geen agglutinatie (klontering) is opgetreden, zie je een troebele vloeistof. Als de cellen geklonterd blijven, zie je kleine rode klontjes in de vloeistof. Noteer of teken het resultaat in tabel 1.

Tabel 1 Resultaat klontering rode bloedcellen van patiënten en donoren.

	Patiënt 1	Patiënt 2	Patiënt 3	Donor X	Donor Y
Klontering met anti-A?					
Klontering met anti-B?					

- Welke antigenen zijn op de rode bloedcellen van de geteste personen aanwezig? Bepaal uit deze gegevens de bloedgroep van de geteste personen en noteer die in tabel 2.

Tabel 2 Antigenen aanwezig op rode bloedcellen en bloedgroep van patiënten en donoren.

	Patiënt 1	Patiënt 2	Patiënt 3	Donor X	Donor Y
Aanwezige antigenen					
Bloedgroep					

SAMENVATTING

15.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt de werking en functie van de huid en slijmvliezen bij de afweer van de mens beschrijven.

- Inwendig milieu: deel van het lichaam dat alleen kan worden bereikt door een of meer celmembranen te passeren.
- Uitwendig milieu: omgeving buiten het lichaam en delen in het lichaam waarvoor geen celmembraan hoeft te worden gepasseerd om die te bereiken.
- Huid en slijmvliezen vormen de eerste verdedigingslinie (zie **BiNaS** tabel 84J2).
 - Doordat de cellen in de huid aaneengesloten liggen, kunnen ziekteverwekkers en schadelijke stoffen moeilijk binnendringen.
 - Slijmvliezen: zorgen er bij openingen in het lichaam voor dat ziekteverwekkers moeilijk kunnen binnendringen.

15.1.2

Je kunt de verschillen tussen chemische en mechanische afweer beschrijven.

- Mechanische afweer: fysieke aanpassingen om indringers buiten te houden.
 - Bijvoorbeeld de huid, de slijmvliezen en de darmflora.
- Chemische afweer: het gebruik van stoffen om indringers buiten te houden.
 - Bijvoorbeeld zoutzuur in maagsap dat bacteriën doodt.

15.1.3

Je kunt benoemen wat de verschillen zijn tussen verschillende typen ziekteverwekkers.

- Lichaamseigen: stoffen of cellen die door je lichaam worden gemaakt.
- Lichaamsvreemd: stoffen of cellen die niet in je lichaam thuishoren.
- Ziekteverwekkers: virussen, bacteriën, schimmels en parasieten (dieren zoals wormen die een gastheer nodig hebben) die ziekten kunnen veroorzaken.
- Infectie: wanneer ziekteverwekkers (pathogenen) je lichaam binnendringen en zich daar vermenigvuldigen.

- Antibiotica zijn medicijnen die bacteriën doden of hun groei remmen.
 - Ze beschadigen de celwand van bacteriën of blokkeren de stofwisselingsprocessen van de bacterie.
 - Antibiotica zijn alleen werkzaam tegen bacteriële infecties.
 - Een belangrijk nadeel van antibiotica is dat er resistentie van bacteriën kan ontstaan (de bacteriën zijn dan ongevoelig voor het antibioticum).
- Virussen zijn geen organismen.
 - Virussen bestaan uit een streng DNA (DNA-virus) of RNA (RNA-virus) met daaromheen een eiwitmantel.
 - Virussen maken gebruik van de celorganellen in een gastheer cel.
 - Ze kunnen alleen overleven en zich voortplanten in een gastheer cel.

15.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven welke cellen zijn betrokken bij de aangeboren (niet-specifieke) afweer en wat hun functie is.

- Lymfoïde organen: lymfeknopen, de milt, het beenmerg en de thymus (zie **BiNaS** tabel 84N).
 - Uit adulte stamcellen in het rode beenmerg ontstaan verschillende typen witte bloedcellen, zoals fagocyten, mestcellen en lymfocyten.
 - De thymus, milt en lymfeknopen zorgen voor opslag en transport van witte bloedcellen.
- De aangeboren (niet-specifieke) afweer vormt de tweede verdedigingslinie:
 - gericht tegen veel verschillende ziekteverwekkers (o.a. tegen bacteriën en lichaamsvreemde stoffen);
 - wordt bij infectie snel geactiveerd;
 - komt voor bij alle dieren.
- Fagocyten en mestcellen behoren tot de aangeboren afweer.
- Fagocytose: insluiting en vertering van ziekteverwekkers door fagocyten.
- Tot de fagocyten behoren de macrofagen en de granulocyten.

- Macrofagen in bloed, lymfe en weefsels maken binnendringende ziekteverwekkers snel onschadelijk door ze te fagocyteren en te verteren.
 - Macrofagen kunnen koorts veroorzaken door de afgifte van cytokinen.
 - Koorts: een verhoogde lichaamstemperatuur versnelt de afweerreacties van het lichaam.
 - Macrofagen spelen ook een belangrijke rol bij de activatie van de verworven afweer.
- Granulocyten fagocyteren ook ziekteverwekkers die het lichaam zijn binnengedrongen.
 - De meeste granulocyten sterven hierdoor zelf, waardoor etter of pus (dode granulocyten met dode ziekteverwekkers) ontstaat.
- Mestcellen zijn ook cellen van de aangeboren afweer.
 - Bevinden zich vooral in de weefsels van de huid en slijmvliezen.
- Mestcellen kunnen histamine afgeven.
- Histamine zorgt voor verwijding en een grotere doorlaatbaarheid van de bloedvaten.
 - Hierdoor kunnen andere typen witte bloedcellen snel de plaats bereiken waar de histamine is afgegeven.
 - De afgifte van histamine leidt tot zwelling, warmte en roodheid van de weefsels, wat pijn en functieverlies kan veroorzaken (de lokale ontstekingsreactie).

15.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt beschrijven welke cellen zijn betrokken bij de verworven (specifieke) afweer en wat hun functie is.

- De verworven (specifieke) afweer vormt de derde verdedigingslinie:
 - gericht tegen één type ziekteverwekker (o.a. tegen lichaamsvreemde cellen, lichaamsvreemde stoffen, bacteriën en virussen);
 - komt langzaam op gang;
 - alleen bij gewervelde dieren.
- Lymfocyten (ontstaan uit stamcellen in het rode beenmerg (zie **BiNaS** tabel 84I)) zorgen voor specifieke afweerreacties. Twee typen lymfocyten:
 - B-cellen rijpen in het beenmerg.
 - T-cellen rijpen in de thymus.
 Hierna komen de lymfocyten vooral terecht in de lymfeknopen en de milt.
- Specifieke afweerreacties worden opgewekt door antigenen.
 - Antigenen zijn grote moleculen, meestal eiwitten.

- Antigenen bevinden zich meestal op celmembranen, maar ook gifstoffen en chemische stoffen kunnen antigenen zijn.
- Herkennen van antigenen gebeurt door specifieke receptoreiwitten op de celmembranen van T- en B-cellen.
- Bij de activatie van de verworven afweer spelen antigeen-presenterende cellen (APC) een grote rol (zie **BiNaS** tabel 84L1):
 - Macrofagen en andere fagocyten kunnen na fagocytose een antigeen van de lichaamsvreemde ziekteverwekker/stof op de buitenkant van hun celmembraan presenteren.
 - Je noemt ze dan antigeen-presenterende cellen (APC).
 - Via de lymfe komen APC's in de lymfoïde organen terecht.
 - Op het moment dat de APC een lymfocyt heeft gevonden met de juiste receptor voor het antigeen, wordt deze geactiveerd.
- Antigenen worden gepresenteerd op MHC-receptoreiwitten (MHC: '*major histocompatibility*'-complex).
 - '*Major histocompatibility*'-complex: deel van het genoom dat codeert voor eiwitten die een rol spelen bij de herkenning van lichaamseigen en lichaamsvreemde (delen van) cellen en stoffen.
- Er zijn twee typen MHC-receptoren:
 - MHC-I-receptoren: op de buitenkant van alle cellen met een celkern in het menselijk lichaam en op bloedplaatjes. Zowel lichaamseigen als lichaamsvreemde antigenen kunnen hierop worden gepresenteerd.
 - MHC-II-receptoren: alleen op de buitenkant van celtypen die kunnen veranderen in een APC, zoals macrofagen en geactiveerde B-cellen. Hierop worden alleen lichaamsvreemde antigenen gepresenteerd.
- Activatie van T-cellen (zie **BiNaS** tabel 84L2):
 - Na antigeenpresentatie door een APC aan de T-cel met de juiste antigeenspecifieke receptor reageert deze door zich veelvuldig te gaan delen.
 - Er ontstaan twee typen actieve dochtercellen: T-helpercellen (Th-cellen) en cytotoxische T-cellen (Tc-cellen) met allemaal dezelfde antigeenspecifieke receptor.
- T-helpercellen bezitten het koppelingseiwit CD4, waardoor ze kunnen binden aan de MHC-II receptor waarop de APC het antigeen presenteert.
 - Hierdoor ontstaat een sterke binding tussen het aangeboden antigeen en de antigeenspecifieke receptor.

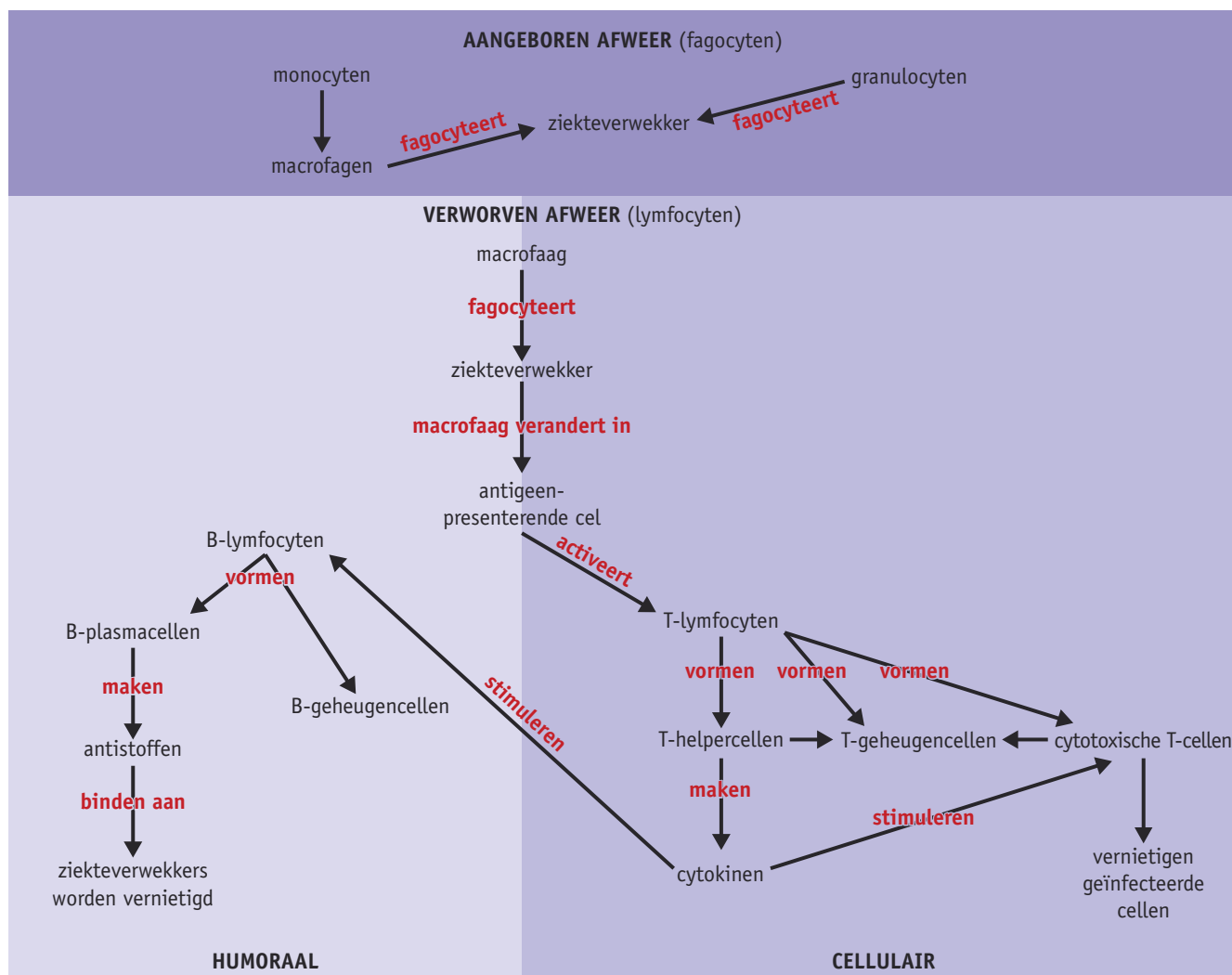
- De geactiveerde T-helpercel produceert cytokinen, waardoor andere afweercellen worden geactiveerd.
- Cellulaire respons: afweer door vernietiging van geïnfecteerde lichaamscellen door cytotoxische T-cellen.
 - De ontwikkeling van cytotoxische T-cellen wordt gestimuleerd door de afgifte van cytokinen door T-helpercellen.
 - Geïnfecteerde lichaamscellen presenteren het lichaamsvreemde antigeen op de MHC-I-receptoren op hun celmembraan.
 - Cytotoxische T-cellen bezitten het koppelingseiwit CD8, waardoor ze kunnen binden aan de MHC-I-receptor en er een sterke binding ontstaat tussen het aangeboden antigeen en de antigeenspecifieke receptor.
 - De geïnfecteerde lichaamscel wordt vernietigd door de afgifte van stoffen.
 - Ook kankercellen en cellen van getransplanteerde weefsels of organen worden aangevallen.
- T-cellen kunnen ook differentiëren tot geheugencellen.
 - De langlevende T-geheugencellen herkennen bij een herinfectie het antigeen direct, waardoor er een snellere cellulaire respons optreedt.
- Activatie van B-cellen:
 - B-cellen kunnen worden geactiveerd door cytokinen van T-helpercellen of door te binden aan een antigeen van een ziekteverwekker of een APC.
 - Geactiveerde B-cellen delen zich en ontwikkelen zich tot plasmacellen en geheugencellen.
- Plasmacellen vormen antistoffen tegen antigenen (zie **BiNaS** tabel 84K).
 - Antistoffen (immunoglobulinen, Ig) zijn eiwitten die binden aan de antigenen van de ziekteverwekker.
 - Een plasmacel kan maar één type antistof vormen.
 - Tegen één antigeen kunnen verschillende antistoffen worden gevormd.
- Humorale respons: afweer door antistoffen die terechtkomen in alle lichaamsvochten.
 - Antigeen-antistofcomplex: een antigeenmolecuul en een antistofmolecuul vormen een antigeen-antistofcomplex.
 - Door de complexvorming wordt de ziekteverwekker onschadelijk gemaakt, bijvoorbeeld door aantasting van het celmembraan of door bevordering van fagocytose door macrofagen.
- B-geheugencellen: deze langlevende B-cellen herkennen bij een herinfectie het antigeen direct en kunnen zich dan snel ontwikkelen tot plasmacellen.
- Allergie: een onnodige afweerreactie op allergenen (zie **BiNaS** tabel 84M).
 - Allergenen zijn antigenen die voorkomen op onschadelijke stoffen.
 - Allergenen zijn altijd eiwitten.
 - Je kunt in contact komen met allergenen door ze aan te raken, in te ademen of te eten.
 - Na contact met een allergeen kunnen geactiveerde B-cellen antistoffen tegen het allergeen maken.
 - Deze antistoffen hechten zich aan het celmembraan van mestcellen, waardoor gesensibiliseerde mestcellen ontstaan.
 - Bij een volgend contact met het allergeen bindt dit aan de antistoffen in het celmembraan van de mestcellen.
 - De mestcellen worden geactiveerd en geven onder andere histamine af. Deze stof veroorzaakt klachten als een loopneus, tranende ogen, jeuk, benauwdheid en diarree.

15.3.2

Je kunt de onderlinge relatie van de delen van het afweersysteem toelichten.

- Zie afbeelding 1 en **BiNaS** tabel 84L2.

■ **Afb. 1** Schematisch overzicht afweersysteem.



15.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven op welke manieren immuniteit kan ontstaan.

- Incubatietijd: de tijd tussen besmetting en de eerste ziekteverschijnselen.
 - Primaire reactie: de antistofvorming na de eerste besmetting met het antigeen van de ziekteverwekker.
 - Secundaire reactie: de antistofvorming na de tweede of volgende besmetting met hetzelfde antigeen. Het organisme is immuun en heeft meestal geen symptomen.
- Natuurlijke immuniteit: ontstaat doordat een organisme wordt geïnfecteerd door een ziekteverwekker.
- Kunstmatige immuniteit: ontstaat door immunisatie.
- Actieve immuniteit: door vaccinatie, dus toedienen van een vaccin (bevat afgezwakte of volledig geïnactiveerde ziekteverwekkers, antigenen of DNA of RNA van de ziekteverwekker). De persoon vormt zelf antistoffen en geheugencellen. De immuniteit is daardoor van langere duur.

- Passieve immuniteit: door inspuiten van antiserum met antistoffen. De persoon vormt zelf geen antistoffen en geen geheugencellen. De immuniteit is tijdelijk, doordat de antistoffen worden afgebroken en er geen geheugencellen worden gevormd.

15.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt uitleggen welke problemen kunnen ontstaan door antigenen bij transplantaties en bloedtransfusies en op welke wijze je deze kunt voorkomen of aanpakken.

- Transplantatie: aangetast weefsel of orgaan wordt vervangen.
 - Een acceptor ontvangt weefsel of orgaan van zichzelf of van een donor.
- 'Major histocompatibility'-complex (MHC), bij mensen HLA (*human leukocyte antigen*):
 - eiwitten op celmembranen waarmee herkenning tussen lichaamseigen en lichaamsvreemde cellen plaatsvindt;
 - het HLA-systeem is voor iedere persoon uniek.

- **Afstotingsreactie:** eiwitten op de membranen van donorcellen worden door het afweersysteem van de acceptor herkend als antigenen.
 - Vooral door cellulaire afweer: cytotoxische T-cellen van de acceptor herkennen in samenhang met MHC-I-receptoreiwitten de lichaamsvreemde HLA-antigenen en vernietigen de donorcellen.
 - In sommige gevallen: antistofvorming door plasmacellen die leidt tot zeer snelle afstoting (acute afstoting).
 - HLA-matching: bij transplantaties worden donoren gezocht van wie het HLA-systeem zoveel mogelijk overeenkomt met dat van de acceptor.
 - Afstotingsreacties worden onderdrukt met medicijnen die het gehele afweersysteem onderdrukken.
- **Bloedgroepen van het AB0-systeem:**

Bloed-groep	Antigeen op celmembranen van rode bloedcellen	Antistof in bloedplasma
A	A	anti-B
B	B	anti-A
AB	A en B	geen
0 (nul)	geen A en B	anti-A en anti-B

- **Bloedtransfusies:**
 - Bij voorkeur heeft de donor dezelfde bloedgroep als de acceptor.
 - Rode bloedcellen klonteren samen als antistof van de acceptor reageert met antigeen van de donor. Rode bloedcellen gaan kapot, waardoor hemoglobine vrijkomt in het bloedplasma (hemolyse).
 - Door alleen rode bloedcellen (zonder bloedplasma met antistoffen) toe te dienen komen ook andere bloedgroepen in aanmerking voor een bloedtransfusie.
 - Bloedgroep 0 is de algemene donor.
 - Bloedgroep AB is de algemene acceptor.
- **Resusfactor (resusantigeen):**
 - Eiwit op de celmembranen van de rode bloedcellen; komt voor bij 85% van de mensen.
 - Resuspositief bloed bevat resusantigeen.
 - Resusnegatief bloed bevat geen resusantigeen en kan antiresus bevatten (maar pas na contact met resusantigeen).

- **Bloedtransfusies:**
 - Bij voorkeur heeft de donor dezelfde resusfactor (en dezelfde bloedgroep) als de acceptor.
 - Transfusie van resusnegatief bloed naar een resuspositieve acceptor is mogelijk.
- **Resusnegatieve moeder die zwanger is van een resuspositief kind:**
 - Na de bevalling vormt de moeder antiresus.
 - Tijdens de volgende zwangerschap(pen) worden rode bloedcellen van een resuspositief kind afgebroken (resuskindje).
 - Door toediening van antiresus aan de moeder in week 30 en onmiddellijk na de geboorte wordt de vorming van antiresus door de moeder tegengegaan.
- **Resuspositieve moeder die zwanger is van een resusnegatief kind:**
 - Veroorzaakt geen problemen doordat het kind tijdens de eerste maanden nog geen antistoffen kan maken.

SAMENHANG

- 15.S.1** Je kunt de rol van de darmen bij de ontwikkeling van het afweersysteem toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- 15.S.2** Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair, ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op de rol van de darmen bij het functioneren van het afweersysteem.

ONDERZOEK - PRACTICA

- 15.O.1** Je kunt met behulp van een modelleerprogramma onderzoek doen naar de ontwikkeling van een epidemie.
- 15.O.2** Je kunt met behulp van reagentia de bloedgroep van een bloedmonster bepalen.

 [Ga naar de Flitskaarten en de Oefentoets.](#)

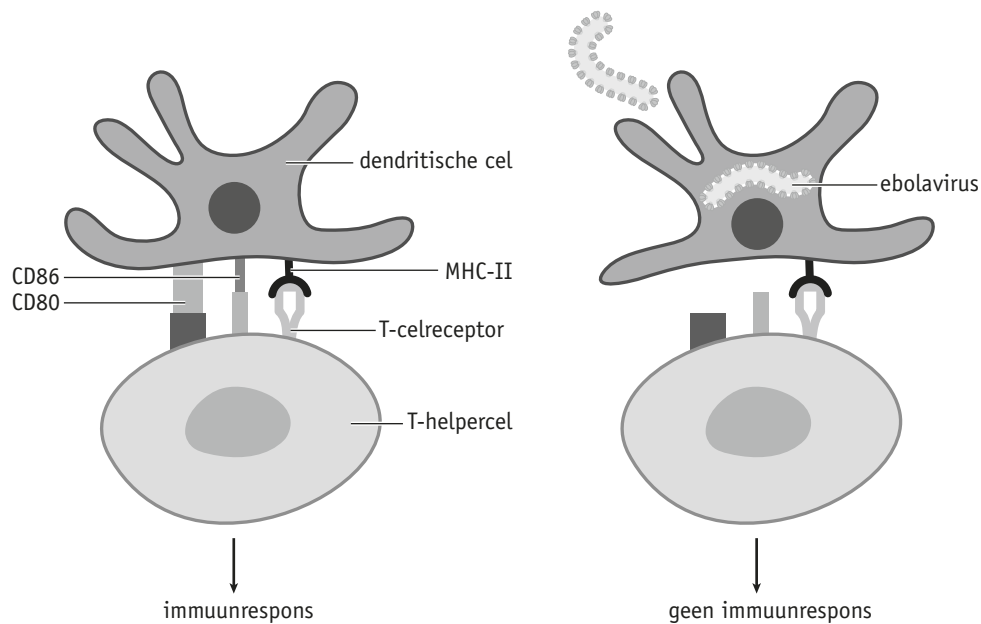
EXAMENOPGAVEN

ONDERZOEK NAAR MEDICIJNEN TEGEN EBOLA

Bron: examen vwo 2023-2, vraag 8.

Ebola is een van de meest dodelijke virusziekten bij mensen. Het ebolavirus is een enkelstrengs RNA-virus dat van mens op mens kan worden overgedragen via lichaamsvloeistoffen. Het ebolavirus infecteert aanvankelijk vooral afweercellen: dendritische cellen, monocyten en macrofagen. Geïnfecteerde dendritische cellen rijpen dan niet meer, waardoor ze een aantal membraanewitten niet meer produceren. Als gevolg hiervan kunnen deze dendritische cellen het specifieke afweersysteem niet meer activeren. Afbeelding 1 geeft links een normale immuunrespons weer en rechts de gevolgen van een ebola-infectie.

■ **Afb. 1** Normale immuunrespons en de gevolgen van ebola.



- 2p 1 Hoe verhindert de ebola-infectie van een dendritische cel dat een T-helpercel wordt geactiveerd?
En wordt als gevolg hiervan de cellulaire en/of de humorale respons geblokkeerd?

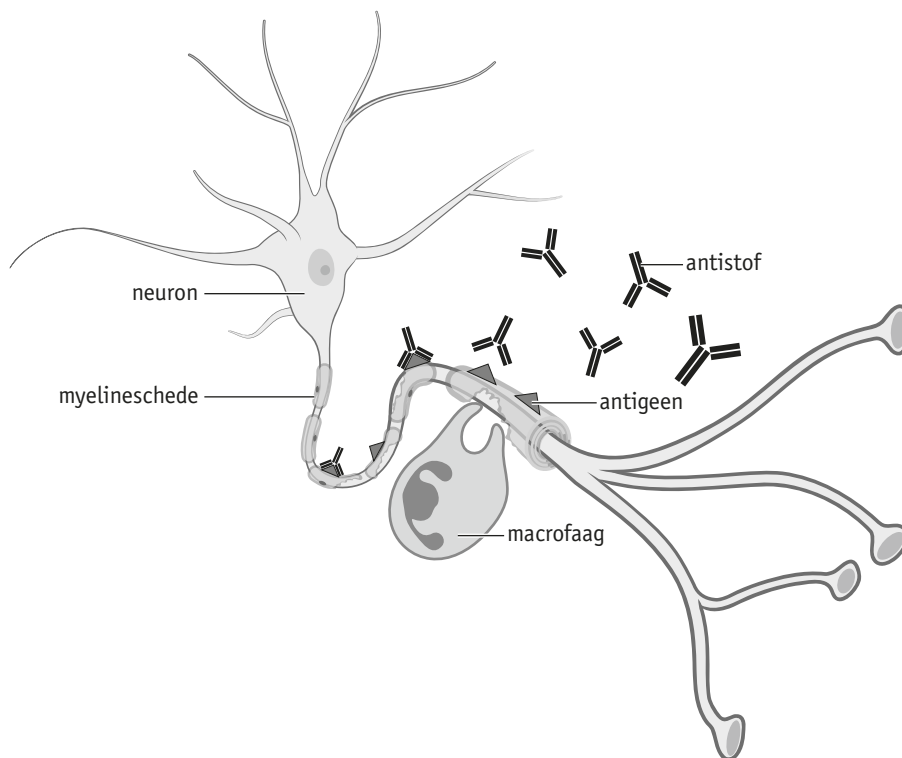
	Ebola verhindert	Type respons dat wordt geblokkeerd
A	antigeenpresentatie	alleen de cellulaire respons
B	antigeenpresentatie	alleen de humorale respons
C	antigeenpresentatie	zowel de cellulaire als de humorale respons
D	celkoppeling	alleen de cellulaire respons
E	celkoppeling	alleen de humorale respons
F	celkoppeling	zowel de cellulaire als de humorale respons

LACHGAS, GEEN ONSCHULDIGE PARTYDRUG

Bron: examen vwo 2022-1, vraag 35 en 36.

Lachgas (N_2O) wordt door jongeren steeds vaker gebruikt als partydrug. Zij beschouwen het als een relatief onschadelijk middel dat je een lachkick bezorgt. Vwo-scholier Lia liep ernstige zenuw schade op door het gebruik van lachgas. Het is niet altijd meteen duidelijk dat zenuw schade het gevolg kan zijn van lachgasgebruik. Lia kreeg minder gevoel in haar benen en ze kreeg moeite met lopen. Toen ze met deze klachten bij haar huisarts kwam, verwees die haar door naar een neuroloog. De neuroloog onderzocht haar beenreflexen en vermoedde een probleem in de impulsgeleiding als gevolg van aantasting van de myelineschedes. Lia vertelde niet over haar lachgasgebruik. Op basis van de verstoorde impulsgeleiding en bloedonderzoek vermoedde de neuroloog bij Lia het syndroom van Guillain-Barré, een auto-immuunreactie tegen myeline. Bij deze ontstekingsreactie worden antistoffen gevormd die leiden tot de afbraak van de cellen van Schwann door macrofagen (zie afbeelding 2).

■ **Afb. 2** Afbraak van de cellen van Schwann door macrofagen.



- 2p **2** Leg uit hoe antistoffen en macrofagen veroorzaken dat de cellen van Schwann worden vernietigd.

Om de ontstekingsreactie te remmen, werd Lia gedurende vijf dagen behandeld met intraveneus immuunglobuline (IVIg). Deze behandeling remt de productie van cytokine IL-2 door T-helpercellen. Cytokine IL-2 heeft een stimulerend effect op onder andere T-helpercellen zelf.

- 1p **3** Welk proces wordt verhinderd door de IVIg-behandeling?
- A antigeenpresentatie door T-helpercellen
 - B antistofproductie door T-helpercellen
 - C kloneren en differentiëren van T-helpercellen

DE FIPRONILCRISIS IN DE PLUIMVEESECTOR

Bron: examen vwo 2022-2, vraag 12.

In 2017 werd de pluimveesector in Nederland en België getroffen door de fipronilcrisis. Voor de bestrijding van vogelmijt waren stallen van legkippen gereinigd met het verboden middel fipronil. Deze stof was door de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) aangetroffen in eieren en in producten waarin eieren worden verwerkt. Miljoenen eieren werden uit de supermarkten gehaald en vernietigd. Bestrijdingsmiddelen tegen vogelmijt blijken vaak minder effectief te zijn doordat niet op alle schuilplekken van de mijt voldoende van het middel terechtkomt. Een subletale dosis – een concentratie waarbij geen sterfte van de vogelmijt optreedt – zou de ontwikkeling van een populatie vogelmijt die resistent is tegen fipronil kunnen versnellen.

- 2p 4 Leg uit hoe het opnemen van een sub-letale dosis fipronil door vogelmijten de ontwikkeling van resistentie versnelt.

TEKEN EN DE ZIEKTE VAN LYME

Bron: examen vwo 2021-1, vraag 35 en 36.

De ziekte van Lyme wordt veroorzaakt door een bacterie die meestal op de mens wordt overgedragen door een besmette schapenteek. Onderzoek laat zien dat het aantal tekenbeten en het aantal besmette teken de laatste jaren toeneemt.

Teken hebben een stekende zuigsnuut om de huid van hun gastheer te doorboren, waarna ze bloed kunnen opzuigen.

In het bloed kunnen de volgende processen plaatsvinden:

- 1 activatie van T-lymfocyten
- 2 antistofproductie
- 3 migratie van macrofagen

- 2p 5 Worden deze processen in gang gezet onmiddellijk na het doorboren van de huid van de gastheer?
Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of het betreffende proces wel of niet onmiddellijk in gang wordt gezet.

Om een immuunreactie van de gastheer tegen te gaan, spuit een teek altijd eerst wat speeksel bij de gastheer naar binnen. Een van de speekseiwitten remt afweercellen die een sleutelrol spelen bij het opwekken van een immuunrespons bij de gastheer.

- 1p 6 Welke afweercellen spelen deze sleutelrol?
- A APC's
 - B B-lymfocyten
 - C cytotoxische T-cellen
 - D plasmacellen

CROSS-OVER-NIERTRANSPLANTATIE

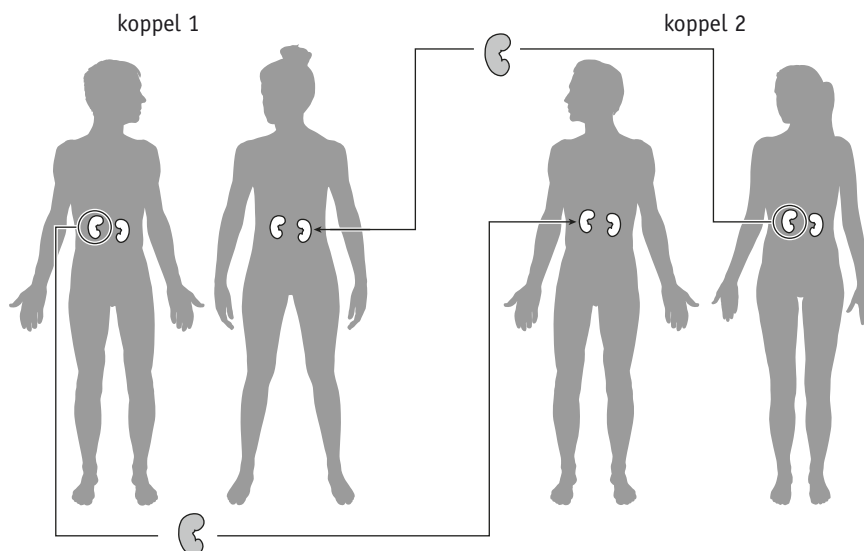
Bron: bezemexamen vwo 2016-1, vraag 1 t/m 3.

Als iemand bloed krijgt van een donor met een andere bloedgroep, kan agglutinatie (samenklontering) van de rode bloedcellen optreden. Toch zijn er bij sommige bloedgroepen meer mogelijkheden dan alleen maar een transfusie met bloed met de identieke bloedgroep. Een patiënt met bloedgroep B kan, indien nodig, druppelsgewijs bloed toegediend krijgen van een donor met bloedgroep O.

- 2p 7 Waardoor zal deze bloeddonoratie geen agglutinatie veroorzaken?
- A Het bloed van de acceptor bevat geen AB0-antigenen.
 - B Het bloed van de acceptor bevat geen AB0-antistoffen.
 - C Het bloed van de donor bevat geen AB0-antigenen.
 - D Het bloed van de donor bevat geen AB0-antistoffen.

In Nederland staan veel mensen op de wachtlijst om een donornier te ontvangen. Soms wil een partner of verwante van een nierpatiënt wel een nier doneren, maar kan dat niet door bijvoorbeeld een verschil in bloedgroep. Je spreekt dan van een incompatibel koppel. Een cross-over-niertransplantatie kan in bepaalde gevallen uitkomst bieden. In het Erasmus Medisch Centrum Rotterdam werd in 2003 deze dubbele transplantatie voor het eerst uitgevoerd. Hierbij werden nieren uitgewisseld tussen levende donoren en ontvangers van twee koppels (partners of verwanten) die onderling geen goede match vormden (zie afbeelding 3). In Rotterdam wordt verwacht met dit programma iets aan de lange wachtlijsten te kunnen doen.

■ Afb. 3 Twee koppels die onderling geen goede match vormen.



Er staan drie koppels op de wachtlijst voor een niertransplantatie. De bloedgroepen van de drie nierpatiënten en hun verwante donor zijn:

koppel 1	patiënt O	donor A
koppel 2	patiënt A	donor B
koppel 3	patiënt AB	donor O

- 2p **8** Welke koppels zijn op grond van hun bloedgroepen geschikt voor een onderlinge cross-over-niertransplantatie?
- A alleen koppel 1 met koppel 2
 - B alleen koppel 1 met koppel 3
 - C alleen koppel 2 met koppel 3
 - D koppel 1 met koppel 3, en koppel 2 met koppel 3

Soms is een koppel wel AB0-compatibel, maar is het resultaat van de HLA-kruisproef helaas positief. Bij deze kruisproef worden lymfocyten van de donor met serum van de acceptor gemengd. Op die manier wordt duidelijk of in het bloed van de acceptor antistoffen aanwezig zijn tegen HLA-eiwitten van de donor. Is de uitslag positief, dan kan geen nierdonatie plaatsvinden. De kans op een positieve HLA-kruisproef is groter wanneer de acceptor de vrouw is van de donor en de moeder van zijn kinderen, dan wanneer de acceptor de man is van de donor en de vader van haar kinderen.

- 2p **9** Geef hiervoor een verklaring.

KOORTS EN ZIEK ZIJN

Bron: examen vwo 2023-1, vraag 18.

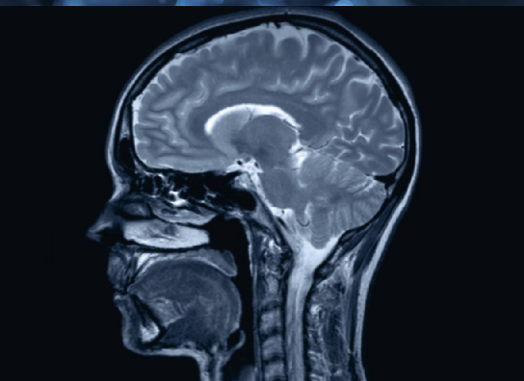
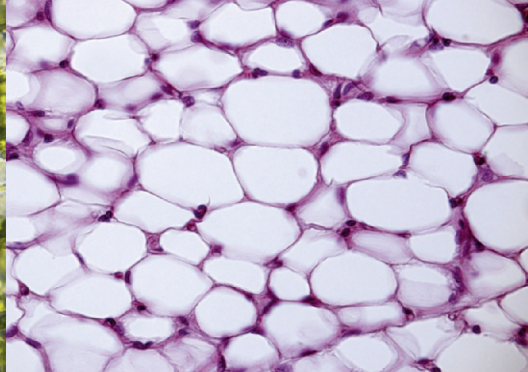
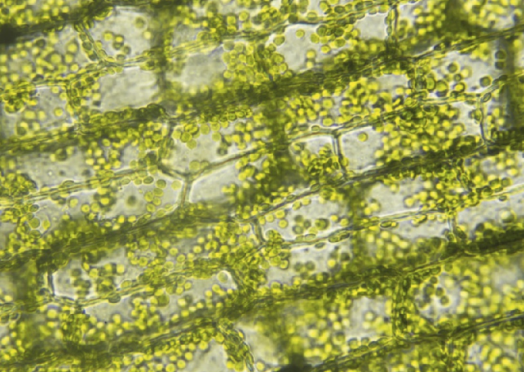
Als bij de mens de lichaamstemperatuur (kerntemperatuur) ten gevolge van een infectie boven 38,3 °C stijgt, wordt dat koorts genoemd. Koorts begint met een verhoging van de normtemperatuur in de hypothalamus. Die verhoging kan worden veroorzaakt door macrofagen als zij in reactie op ziekteverwekkers bepaalde stoffen (pyrogenen) afgeven. Een voorbeeld van zo'n pyrogeen is interleukine-1 (IL-1).

Enkele effecten van koorts zijn:

- 1 toename van de differentiatie van cytotoxische T-cellen;
- 2 verhoging van de activiteit van fagocyten;
- 3 verhoging van de activiteit van natural-killerzellen (NK-cellen);
- 4 verhoging van de productie van antistoffen.

- 2p **10** Schrijf de nummers 1 tot en met 4 onder elkaar en noteer erachter of het betreffende effect onderdeel is van het aangeboren (niet-specifieke) afweersysteem of van het verworven (specifieke) afweersysteem.

 [Ga naar de Examentrainer.](#)



Thema 16

SAMENHANG IN DE BIOLOGIE

Afgelopen jaren heb je de onderwerpen uit de biologie bestudeerd vanuit de organisatieniveaus molecuul, cel, orgaan, organisme, populatie, ecosysteem en systeem aarde. Deze biologische eenheden hebben verschillende eigenschappen met elkaar gemeen. Bijvoorbeeld stofwisseling, waardoor in een biologische eenheid zoveel mogelijk een dynamisch evenwicht wordt gehandhaafd. En op het gebied van organisatie vormen cellen bijvoorbeeld een weefsel en vormen organismen van dezelfde soort een populatie in een bepaald gebied. Ook reageren alle biologische eenheden op interne en externe veranderingen. Zo kunnen cellen in organismen via signaalstoffen met elkaar communiceren en kan een organisme zijn gedrag aanpassen wanneer omstandigheden veranderen. De drijvende kracht achter alle biologische processen is energie. Energie wordt daarom in dit thema gebruikt om de samenhang tussen biologische eenheden en processen nog beter te leren begrijpen.

Inhoud

1	Energie, de basis van leven	271	4	De energiestroom in een ecosysteem	280
2	Energie uit voedsel	273	5	Mensen beïnvloeden de energiebalans van de aarde	283
3	De evolutie van energieopslag bij mensen	277	6	Organisatieniveaus	285

■ **Afb. 1** Schema met de organisatieniveaus van de biologie.

Organisatie- niveau	Zelfregulatie* Hoe houdt een biologisch systeem zichzelf in stand?	Zelforganisatie Hoe groeit een biologisch systeem en hoe ontwikkelt het zich in de loop van de tijd?	Interactie* Hoe wordt een biologisch systeem beïnvloed door (a)biotische factoren?	Reproductie Hoe planten biologische eenheden zich voort?	Evolutie Hoe leiden processen in systemen tot aanpassing?
Molecuul					
Cel					
Orgaan					
Organisme					
Populatie					
Ecosysteem					
Systeem aarde					

* Er is geen heldere scheidslijn tussen zelfregulatie en interactie. Daarom kunnen biologische systemen bij beide concepten voorkomen.

1 ENERGIE, DE BASIS VAN LEVEN

Cellen van levende organismen verbruiken constant energie. Bijvoorbeeld voor de opbouw van moleculen, voor het transport van moleculen door het celmembraan of voor celdeling. Omdat energie niet kan worden gerecycled, hebben levende cellen een continue input van energie nodig.

Opdracht

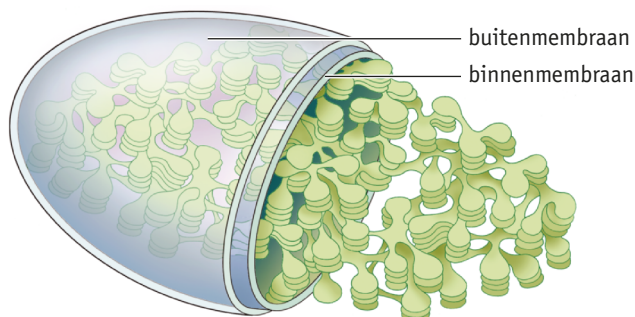
INZICHT

- In dit thema zijn 36 begrippen onderstreept die je ook al in andere thema's bent tegengekomen. Deze begrippen gaan over (delen van) organismen of processen in de biologie op verschillende organisatieniveaus. Geef van alle onderstreepte begrippen die je in dit thema tegenkomt aan over welk organisatieniveau ze gaan. Gebruik daarvoor ook de informatie in de tekst. Noteer het begrip op de juiste plaats in het schema van afbeelding 1. Aan het eind van het thema kun je in afbeelding 15 controleren of je het goed hebt gedaan.

FOTOSYNTHESE

De zon is de bron van bijna alle energie op aarde. Een maisplant gebruikt zonlicht voor fotosynthese (zie **BiNaS** tabel 68A t/m C). Cellen in de bladeren en stengel bevatten chloroplasten (zie afbeelding 2). Het pigment chlorofyl in de chloroplasten absorbeert het zonlicht en gebruikt de lichtenergie om uit koolstofdioxide en water glucose te vormen (koolstofassimilatie). De lichtenergie wordt omgezet en als chemische energie vastgelegd in de bindingen tussen de atomen van glucose.

- **Afb. 2** Schematische tekening van een chloroplast.



Voor de vorming van glucose maken plantencellen gebruik van twee processen: lichtreacties en donkerreacties. Tijdens de lichtreacties wordt lichtenergie omgezet in chemische energie (ATP en NADPH). Bij dit proces, waarbij twee fotosystemen worden gebruikt, wordt water gesplitst in zuurstof, waterstofionen en elektronen. Waterstofionen worden gebruikt voor de vorming van ATP. Energierijke elektronen en waterstofionen worden gebruikt voor de vorming van NADPH. Tijdens de donkerreacties wordt glucose gevormd uit koolstofdioxide, ATP en NADPH.

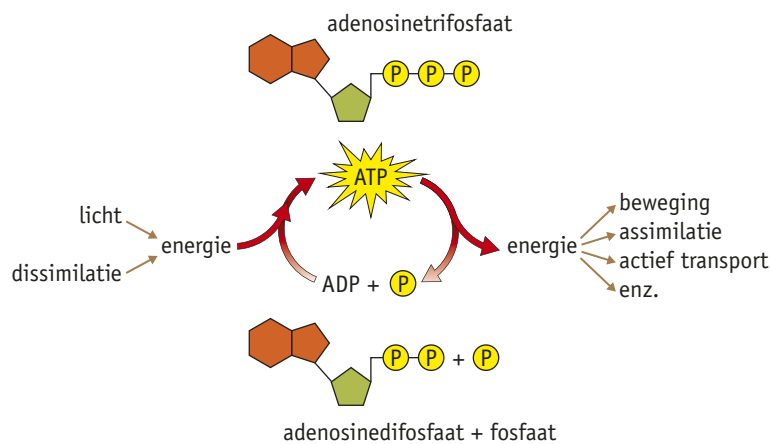
DISSIMILATIE

De cellen van de maisplant gebruiken een deel van de gevormde glucose als brandstof. Bij de aerobe dissimilatie of verbranding wordt in de cellen met behulp van enzymen glucose met zuurstof afgebroken tot koolstofdioxide en water. Enzymen zijn biokatalysatoren die een reactie versnellen, maar daarbij niet worden verbruikt. Ze verlagen de activeringsenergie.

De aerobe dissimilatie is onderverdeeld in vier fasen: de glycolyse, de vorming van acetyl-CoA, de citroenzuurcyclus en de oxidatieve fosforylering (zie **BiNaS** tabel 68A t/m E). De glycolyse vindt plaats in het cytoplasma, de andere drie processen in mitochondriën. Bij de glycolyse, de vorming van acetyl-CoA en de citroenzuurcyclus wordt NADH gevormd. NADH wordt tijdens de oxidatieve fosforylering omgezet in ATP (adenosinetriphosfaat, zie afbeelding 3).

De aerobe dissimilatie levert een cel veel ATP. ATP-moleculen kunnen vanuit een mitochondrium naar het cytoplasma gaan en daar de energie leveren die nodig is voor processen in de cel. Hiervoor wordt de derde fosfaatgroep van ATP afgesplitst. Er komt dan energie vrij en er ontstaat ADP (adenosinedifosfaat, zie afbeelding 3).

■ **Afb. 3** Energietransport met behulp van ATP.



■ **Afb. 4** Maiskorrels in einem Maiskolb.



VOORTGEZETTE ASSIMILATIE

Maispflanzen verwenden Glucose auch als Grundstoff für die voortgezette assimilatie (siehe **BiNaS** Tabelle 67F t/m L). Aus Glucosemolekülen werden dann die Bausteine für andere organische Moleküle wie Kohlenhydrate, Fette und Proteine gebildet. Die Energie, die dafür benötigt wird, wird durch ATP geliefert.

Die Bausteine für Kohlenhydrate sind Monosaccharide. Durch die Verbindung miteinander können Maispflanzen Disaccharide (wie Saccharose) und Polysaccharide (wie Zetmehl und Cellulose) bilden. Die Bausteine für Fette sind Glycerol und Fettsäuren. Durch die Verbindung von Fettsäuren mit einem Glycerolmolekül entstehen Fette. Aminosäuren sind die Bausteine für Proteine und werden in einer Maispflanze aus Glucose und Nitrat (NO_3^-) gebildet, das von den Wurzeln aus dem Boden aufgenommen wird. Proteine bestehen aus miteinander gekoppelten Aminosäuren. Die Energie aus ATP wird in den Bindungen zwischen den Bausteinen für Kohlenhydrate, Proteine und Fette festgelegt. Organische Moleküle sind dadurch energiereiche Moleküle.

Viele organische Moleküle werden für das Wachstum und die Entwicklung der Maispflanze verwendet. Ein Teil wird als Reservestoffe gespeichert. In einer Maispflanze werden Kohlenhydrate, Fette und Proteine vor allem als Reservestoffe in den Maiskörnern gespeichert (siehe Abbildung 4). Maiskörner sind die Samen einer Maispflanze. Ein Maiskeimling benötigt für sein Keimen und sein erstes Wachstum Energie und Baustoffe aus den Reservestoffen in einem Maiskorn, die die Energie und Baustoffe liefern.

2 ENERGIE UIT VOEDSEL

Energie stelt organismen in staat om te groeien en zich te ontwikkelen, zich voort te planten, te bewegen, te reageren op interne en externe prikkels en alle andere activiteiten uit te voeren die nodig zijn om te overleven.

AUTOTROOF EN HETEROTROOF

Maisplanten kunnen met behulp van lichtenergie organische stoffen maken uit koolstofdioxide, water en andere anorganische stoffen. Zij hebben geen andere organismen als voedsel nodig en zijn autotroof. De meeste soorten bacteriën, schimmels en dieren zijn heterotroof. Ze kunnen niet zelf hun organische stoffen maken en hebben hun hele leven andere organismen als voedsel nodig om aan deze stoffen te komen.

VERTERING

Zonder voedsel komt er geen energie beschikbaar voor een heterotroof organisme om te kunnen (over)leven. Kippen zijn heterotrofe organismen die onder andere maiskorrels eten (zie afbeelding 5).

Mensen zijn ook heterotrofe organismen die zowel mais als kip kunnen eten. Via hun voedsel krijgen kippen en mensen organische en anorganische stoffen binnen. Voedsel levert ook chemische energie. Meercellige heterotrofe organismen verbruiken energie om voedsel te kunnen bemachtigen (jagen, vangen, plukken, grazen, zoeken, kopen), te bereiden, te kauwen, te verteren en op te nemen. In het verteringsstelsel is bijvoorbeeld energie nodig voor de peristaltische bewegingen van de darmwand, voor de productie van verteringssappen en voor actief transport.

Voedsel komt bij kippen via de snavel en bij mensen via de mond het verteringsstelsel binnen (zie afbeelding 6 en **BiNaS** tabel 82A t/m G). Bij mensen wordt het voedsel door de kiezen in kleine stukjes verdeeld, zodat je het gemakkelijker kunt inslikken. Hierdoor wordt ook de totale oppervlakte van het voedsel groter, waardoor de enzymen uit de verteringssappen (speeksel, maagsap, alvleessap, darmsap) er beter op kunnen inwerken.

In het darmkanaal kunnen monosachariden, water, vitaminen en mineralen direct uit het voedsel worden opgenomen in het bloed. Grote energierijke organische moleculen van koolhydraten, vetten en eiwitten worden eerst verteerd met behulp van enzymen. De monosachariden, glycerol en vetzuren, en aminozuren die hierbij ontstaan worden vanuit het darmkanaal opgenomen in het bloed en de lymfe.

De dunne darm heeft door de sterke plooing een grote oppervlakte. Hierdoor is de resorptie van voedingsstoffen groot. Resorptie vindt plaats door diffusie en door

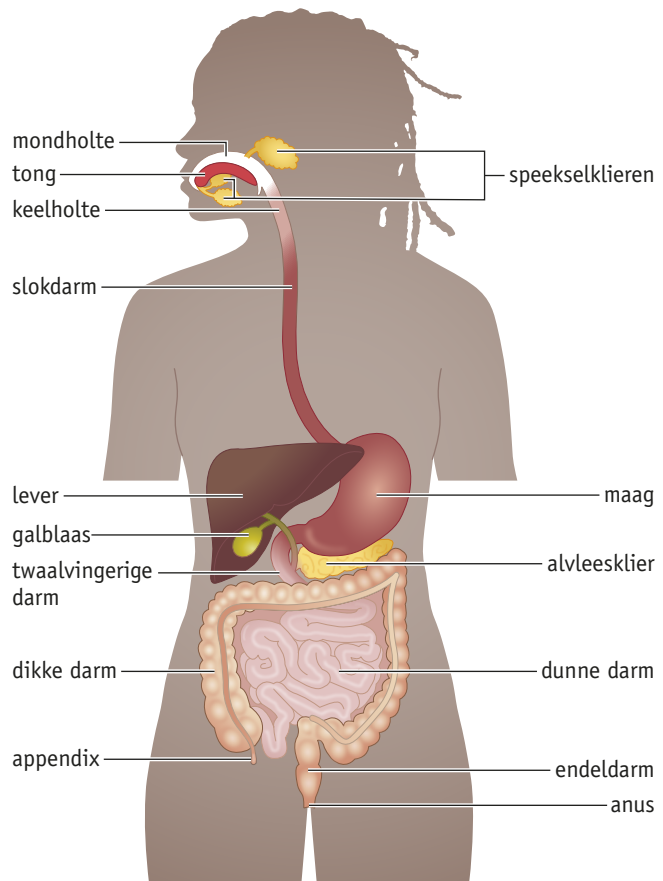
■ Afb. 5 Een kip.



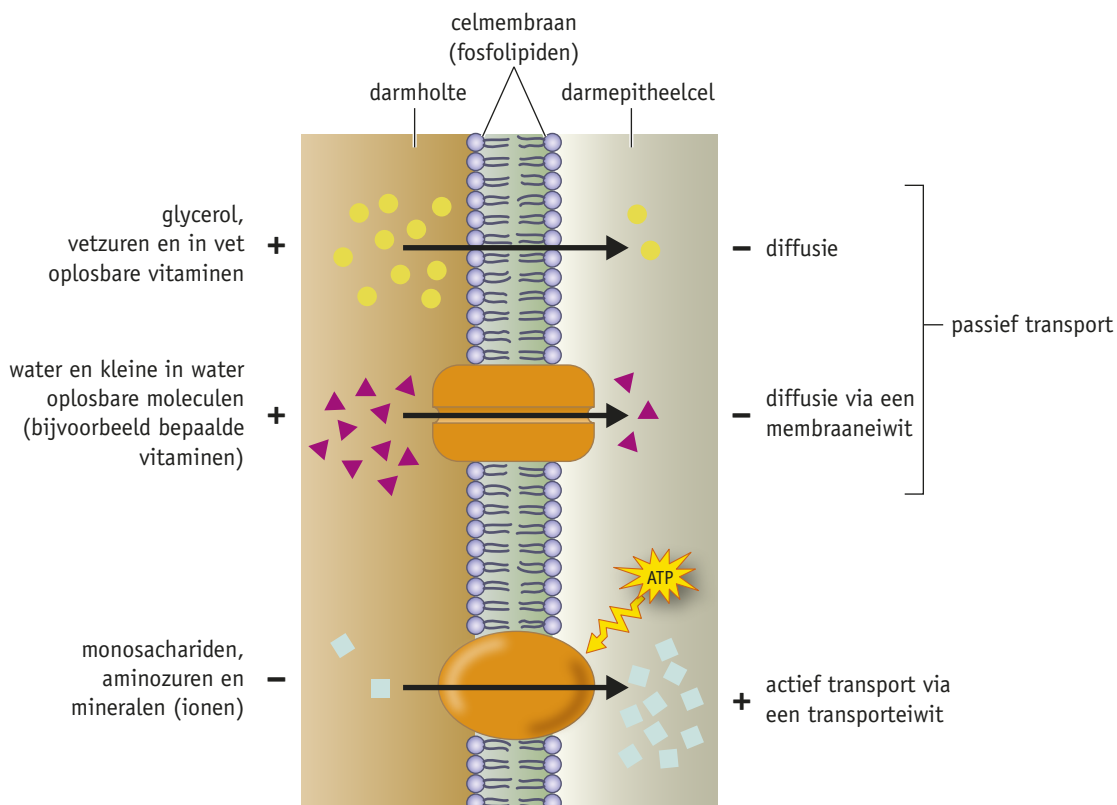
actief transport (zie afbeelding 7). Bij actief transport worden van sommige stoffen veel moleculen opgenomen en van andere weinig. De onverteerde voedselbrij die overblijft, wordt tijdelijk opgeslagen in de endeldarm en verlaat uiteindelijk samen met veel verschillende soorten darmbacteriën het verteringsstelsel via de anus. De organische stoffen in deze resten worden door bacteriën en schimmels (reducenten) gebruikt als voedsel en afgebroken tot anorganische stoffen.

De opgenomen voedingsstoffen kun je gebruiken als brandstof (vooral glucose) of als bouwstof voor de voortgezette assimilatie. De plantaardige organische stoffen uit de maïskorrels worden dan omgezet in dierlijke organische stoffen. Een kip en een mens kunnen hierdoor groeien en zich ontwikkelen. Bij de verbranding komt energie vrij die wordt gebruikt voor stofwisselingsprocessen, waarneming, beweging en voortplanting. Ook ontstaat er warmte. Die wordt voor een deel gebruikt om het lichaam op de juiste temperatuur te houden. Overtollige warmte wordt afgevoerd.

■ **Afb. 6** Het verteringsstelsel van een mens.



■ **Afb. 7** De opname van voedingsstoffen in het darmepitheel.

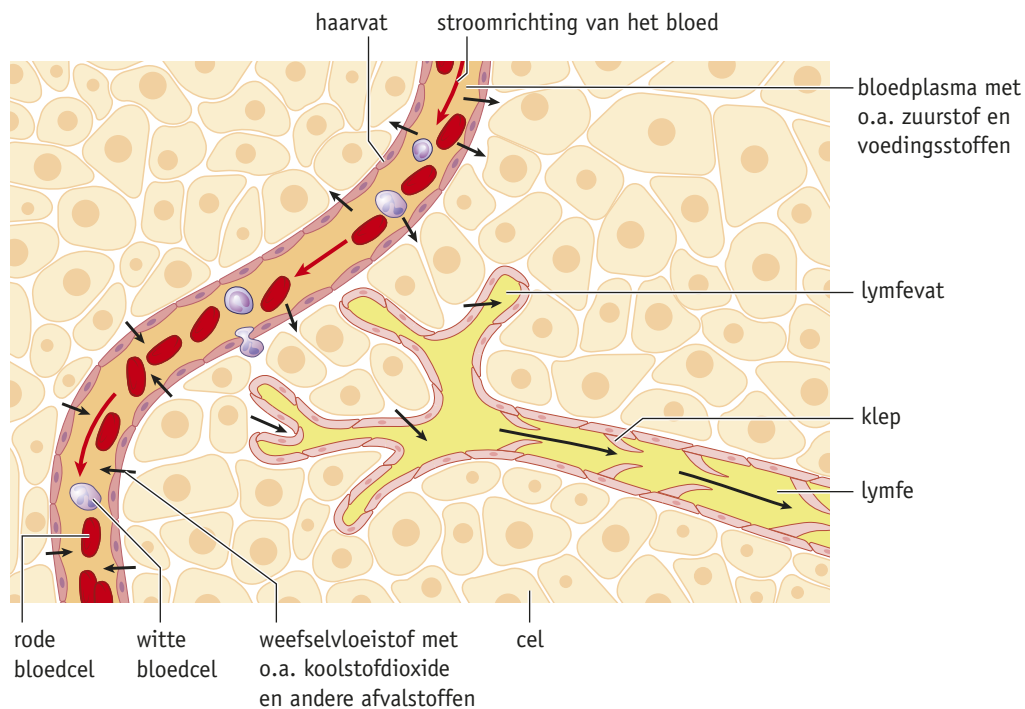


ENERGIE EN STOFWISSELINGSPROCESSEN

Om aerobe verbranding in de cellen mogelijk te maken moeten cellen van glucose en zuurstof worden voorzien. Verteringsproducten (onder andere glucose) die de darmwand zijn gepasseerd komen in het bloed terecht. Zuurstof is vanuit ingeademde lucht in de longen opgenomen in het bloed (zie **BiNaS** tabel 83A t/m E). In de gesloten dubbele bloedsomloop bij kippen en mensen pompt het hart voortdurend bloed met onder andere glucose en zuurstof naar de cellen van organen toe (zie **BiNaS** tabel 84A t/m G en N). Om bloed weg te kunnen pompen, moet de hartspier steeds opnieuw samentrekken. Dit kost energie. Ademhalen kost energie, omdat de buitenste tussenribspieren en de spieren in het middenrif voor elke inademing samentrekken.

De bloeddruk is aan het begin van een haarvat hoger dan de druk in het omliggende weefsel. Hierdoor wordt in de haarvaten in de organen een deel van het bloedplasma naar buiten geperst en kan de weefselvloeistof de cellen van glucose en zuurstof voorzien. Vanuit de weefselvloeistof diffunderen zuurstofmoleculen en voedingsstoffen naar de cellen van een weefsel (zie afbeelding 8). Koolstofdioxide en andere afvalstoffen diffunderen vanuit de cellen naar de weefselvloeistof. Aan het eind van de haarvaten is de bloeddruk sterk gedaald en is de osmotische waarde van het bloedplasma in het haarvat hoger dan die van de weefselvloeistof. Hierdoor wordt de meeste weefselvloeistof weer opgenomen in de haarvaten. Overtollige weefselvloeistof wordt opgenomen in de lymfevaten en heet dan lymfe.

■ **Afb. 8** Verplaatsing van weefselvocht en lymfe.



Rode bloedcellen zijn de bestanddelen van bloed die met behulp van hemoglobine zuurstof en koolstofdioxide vervoeren (zie **BiNaS** tabel 84H t/m I en O). Hemoglobine bevat ijzer dat zuurstof kan binden. Door ijzergebrek kunnen rode bloedcellen minder zuurstof naar de cellen vervoeren, waardoor er in de cellen minder verbranding kan plaatsvinden. Je maakt dan minder energie vrij en dat kan vermoeidheidsverschijnselen veroorzaken.

HOMEOSTASE

Het hormoonstelsel (zie **BiNaS** tabel 89A t/m C) en het zenuwstelsel (zie **BiNaS** tabel 88A t/m L) spelen een belangrijke rol bij homeostase (het in stand houden van een stabiel inwendig milieu). Hormonen zijn signaalstoffen die door hormoonklieren worden gemaakt. Via het bloed beïnvloeden ze doelwitorganen.

Het zenuwstelsel bestaat uit onder andere zenuwcellen die via impulsen en neurotransmitters met elkaar communiceren. Binnen een zenuwcel heerst een rustpotentiala: het verschil in elektrische lading tussen binnen- en buitenkant van het celmembraan. Tijdens de rustpotentiala zitten relatief veel natriumionen aan de buitenkant van het celmembraan en relatief veel kaliumionen aan de binnenkant van het celmembraan. Een impuls ontstaat doordat eerst natriumionen via Na^+ -kanalen de zenuwcel binnenstromen, waarna kaliumionen via K^+ -kanalen de zenuwcel uitstromen. Natrium-kaliumpompen zorgen er via actief transport voor dat na een impuls de normale ionenverdeling wordt hersteld en de rustpotentiala in stand wordt gehouden. Voor dit actieve transport van natrium- en kaliumionen is veel energie nodig, vooral in de hersenen. Ongeveer 2% van het lichaamsgewicht bestaat uit hersenen, maar van alle energie die het lichaam nodig heeft, gaat ongeveer 25% daarnaartoe.

Om het inwendige milieu van een organisme stabiel te houden, worden overtollige stoffen en afvalstoffen uit het inwendige milieu verwijderd of opgeslagen. De lever en de alvleesklier bijvoorbeeld hebben een belangrijke functie bij het constant houden van de glucoseconcentratie van het bloed. De eilandjes van Langerhans in de alvleesklier produceren de hormonen insuline en glucagon. Het bloed transporteert deze hormonen naar de plaatsen waar ze nodig zijn. Wanneer het bloed uit de poortader te veel glucose bevat, wordt deze met behulp van insuline omgezet in glycogeen en opgeslagen in de lever en spieren. In glycogeen ligt chemische energie opgeslagen. Bij een laag glucosegehalte van het bloed wordt glycogeen met behulp van glucagon weer omgezet in glucose en aan het bloed afgegeven.

Het autonome zenuwstelsel speelt bij verschillende homeostatische processen een belangrijke rol, waaronder het handhaven van de zuurstofconcentratie in het bloed. Bij een lage zuurstofconcentratie bevat het bloed relatief veel H^+ -ionen en CO_2 en leidt dit tot een lage pH van het bloed. Chemoreceptoren in slagaders en het ademhalingscentrum (hersenstam) worden bij een lage pH van het bloed geactiveerd en sturen impulsen via zenuwen naar het ademhalingscentrum. Van daaruit gaan impulsen via zenuwen naar de ademhalingsspieren. De ademhalingsspieren trekken dan sneller en krachtiger samen, waardoor de ademfrequentie toeneemt en daarmee de zuurstofconcentratie in het bloed.

Veel organen die betrokken zijn bij het handhaven van homeostase, zoals de nieren, staan zowel onder invloed van het autonome zenuwstelsel als van het hormoonstelsel. Het parasympatisch zenuwstelsel bevordert de bloedtoevoer naar de nieren, waardoor het filtratieproces toeneemt en er meer voorurine wordt gevormd. Het orthosympatisch zenuwstelsel vermindert de bloedtoevoer naar de nieren, waardoor het filtratieproces en de hoeveelheid voorurine afnemen. Het hormoon ADH regelt bij de nieren de opname van water uit de voorurine en speelt daardoor een belangrijke rol in het handhaven van de osmotische waarde van het inwendige milieu. De nieren verbruiken energie doordat nuttige stoffen selectief vanuit de voorurine in de nierbuisjes terug worden opgenomen in het bloed. Dit proces vindt plaats door middel van actief transport.

3 DE EVOLUTIE VAN ENERGIEOPSLAG BIJ MENSEN

Evolutie leidt blijkbaar lang niet altijd tot het ontstaan van intelligentere organismen, want de meeste organismen op aarde zijn betrekkelijk simpel gebleven. Een van de redenen hiervoor is dat het onderhouden van grote en complexe organen zoals hersenen enorm veel energie kost.

ENDOSYMBIOSETHEORIE

Organismen worden onderverdeeld in prokaryoten en eukaryoten. De cel van prokaryote organismen (bijvoorbeeld bacteriën) heeft geen celkern en ook geen celorganellen met een membraan. Cellen van eukaryote organismen (planten, dieren en schimmels) bezitten wel een celkern en organellen met een membraan.

Planten bezitten twee verschillende organellen die betrokken zijn bij het omzetten van energie: chloroplasten en mitochondriën. Schimmels en dieren bezitten alleen mitochondriën voor hun energieomzetting.

Planten ontstonden volgens de endosymbiosetheorie uit prokaryoten die zowel heterotrofe bacteriën als autotrofe cyanobacteriën insloten. Hieruit ontwikkelden zich respectievelijk mitochondriën en chloroplasten. Dieren en schimmels zijn volgens de endosymbiosetheorie ontstaan uit relatief grote prokaryoten die aerobe heterotrofe bacteriën insloten. Deze ontwikkelden zich tot mitochondriën.

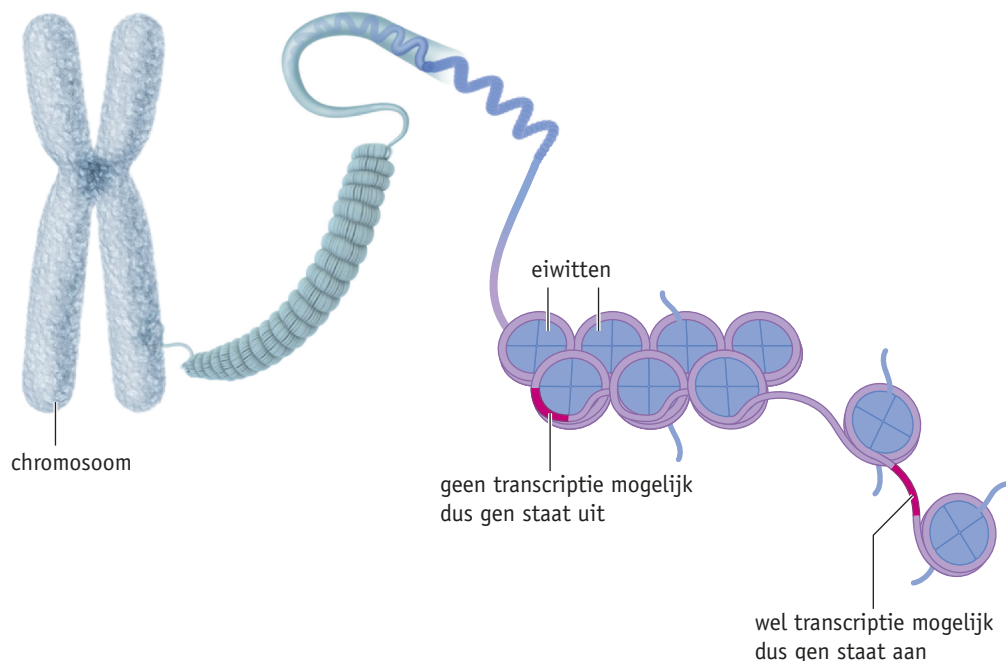
GENEXPRESSIE

Mensen slaan op bepaalde plaatsen in hun lichaam vet op als energievoorraad, maar ook om organen te beschermen en zichzelf te isoleren tegen kou. Andere primaten doen dat ook. Maar mensen met een gezond lichaamsgewicht hebben tussen de 14% en 31% lichaamsvet, terwijl dat bij andere primaten maar 9% is. Hoewel primaten voor 99% dezelfde DNA-sequentie hebben, blijken mensen dus veel meer vet op te slaan dan andere primaten.

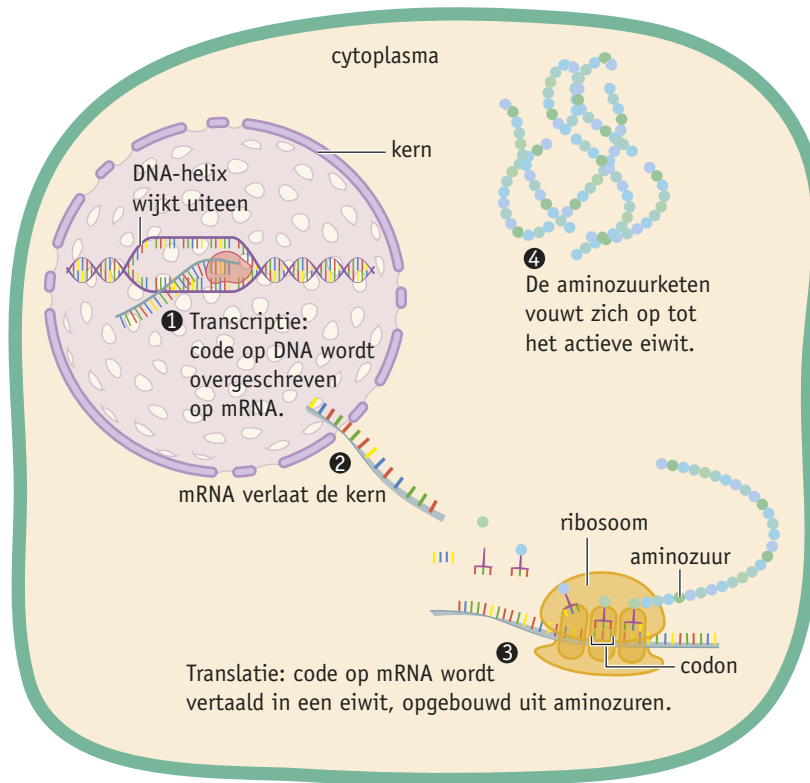
Wetenschappers hebben onderzocht hoe het komt dat mensen gemiddeld dikker zijn dan andere primaten. In zoogdieren komen twee typen vetweefsel voor: wit en bruin. In witte vetcellen wordt vet opgeslagen als energievoorraad, waardoor je dikker wordt. Witte vetcellen bevatten niet veel mitochondriën. Bruine vetcellen bevatten veel meer mitochondriën en hebben daar hun bruine kleur aan te danken. Bruine vetcellen verbruiken vet. Door vetten en glucose in de mitochondriën te verbranden, zorgt bruin vetweefsel ervoor dat er warmte wordt geproduceerd. Hierdoor kan een warmbloedig organisme zijn lichaamstemperatuur handhaven.

Er is ontdekt dat mensen vooral wit vetweefsel hebben en andere primaten vooral bruin vetweefsel. Om erachter te komen hoe dit verschil wordt veroorzaakt, vergeleken wetenschappers het DNA van mensen, chimpansees (*Pan troglodytes*) en resusapen (*Macaca mulatta*). Ze onderzochten de gebieden in het DNA die te maken hebben met de vetcelproductie. Het DNA bij chimpansees en resusapen bleek hier losjes te zijn opgerold en is daardoor gemakkelijk toegankelijk voor transcriptie (zie afbeelding 9). Bij mensen was het DNA op die plaatsen juist stevig opgerold. Hierdoor kan er geen transcriptie plaatsvinden langs het DNA om mRNA te vormen en vindt er ook geen translatie plaats. Daardoor worden er door ribosomen geen eiwitten gevormd en is er geen genexpressie (zie afbeelding 10). Als gevolg hiervan kunnen mensen wel witte vetcellen vormen uit stamcellen, maar niet zo gemakkelijk bruine vetcellen. Mensen hebben daardoor veel witte vetcellen en slaan vet vooral op. Andere primaten hebben veel bruine vetcellen en verbranden het vet vooral.

■ **Afb. 9** DNA ontvouwt zich om transcriptie mogelijk te maken.



■ **Afb. 10** Genexpressie: transcriptie en translatie.



EVOLUTIE

Mensen en chimpansees zijn ongeveer zes miljoen jaar geleden uit een gemeenschappelijke voorouder ontstaan. Wat heeft ervoor gezorgd dat de celdifferentiatie bij mensen is verschoven in de richting van de ontwikkeling van vooral wit vetweefsel, terwijl chimpansees vooral bruin vetweefsel vormen? Volgens wetenschappers is dat te verklaren doordat de hersenen van chimpansees in de afgelopen zes miljoen jaar nauwelijks zijn veranderd. De hersenen van mensen zijn ongeveer drie keer zo groot geworden en bevatten veel meer zenuwcellen. Zenuwcellen verbruiken veel energie. De hersenen van een mens zijn dus in de loop van de evolutie steeds meer energie gaan verbruiken. Ze verbruiken nu per dag ongeveer 25% van de totale hoeveelheid energie die een mens in rust nodig heeft. Voor de hersenen van chimpansees is dit niet het geval. Die verbruiken ongeveer evenveel energie als zes miljoen jaar geleden.

Om menselijke hersenen altijd van energie te kunnen voorzien, is het een voordeel als je beschikt over een energievoorraad. In een populatie mensen met veel wit vet en mensen met veel bruin vet (genetische variatie) hadden mensen met veel wit vet in een periode van voedselschaarste (verandering in het milieu) een grotere overlevingskans (natuurlijke selectie). Zij waren beter aangepast (adaptatie) aan de milieuomstandigheden en gaven de eigenschap om meer wit vet te ontwikkelen door aan hun nakomelingen. Uiteindelijk zijn mensen hierdoor, in een tijd van voedseloverschot, de dikkere primaten geworden.

4 DE ENERGIESTROOM IN EEN ECOSYSTEEM

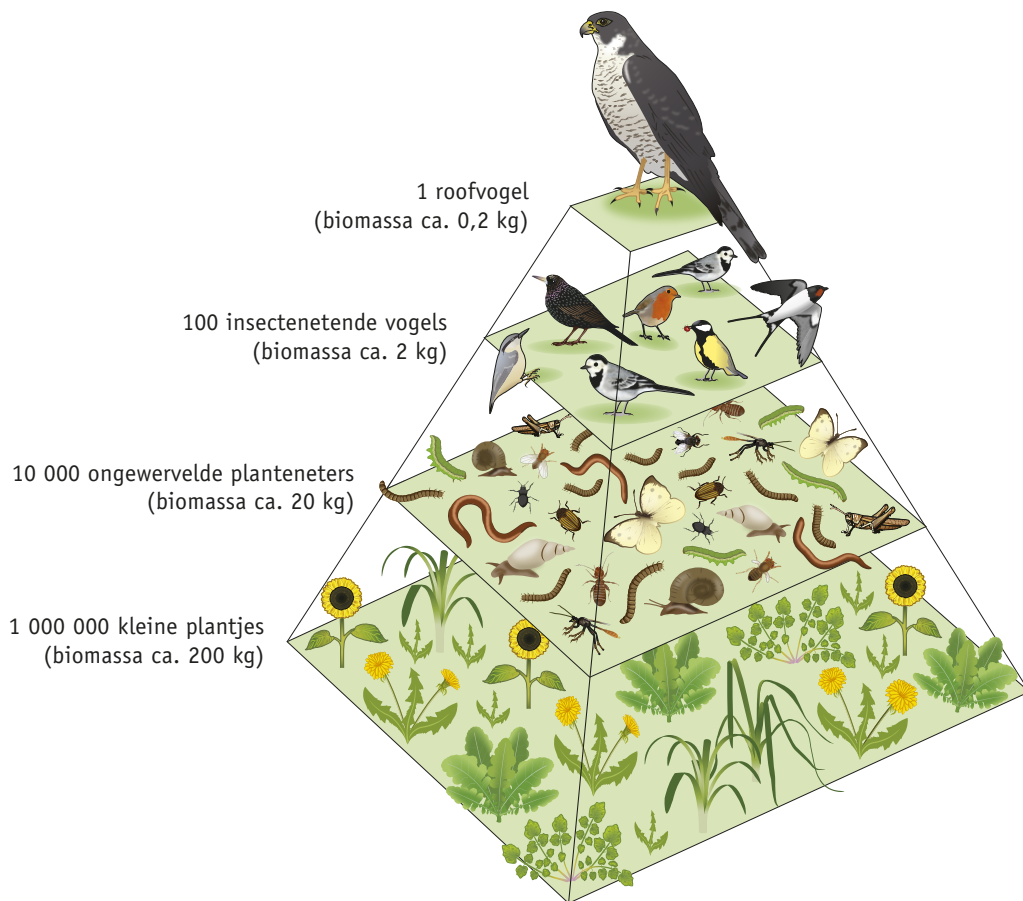
Elk organisme in een ecosysteem verliest een deel van de energie die het heeft opgenomen in de vorm van warmte aan de atmosfeer. Om het leven in een ecosysteem in stand te houden, moet er daarom een continue toevoer van nieuwe energie zijn. Gelukkig raakt de lichtenergie die de zon levert niet op.

VOEDSELKETENS

Er is een wisselwerking tussen biotische en abiotische factoren in een ecosysteem. De energie van zonlicht die een ecosysteem binnenkomt, wordt door planten bij de fotosynthese vastgelegd. Deze autotrofe organismen noem je ook wel producenten, omdat ze bij de voortgezette assimilatie hun eigen energierijke organische stoffen produceren voor hun groei en ontwikkeling. Hierdoor neemt hun biomassa toe en kan een producent een voedselbron voor heterotrofe organismen zijn.

Voedselketens in een ecosysteem bestaan uit een reeks soorten waarbij elke soort een voedselbron voor de volgende soort is. Er lopen meerdere voedselketens door elkaar (een voedselweb). De eerste schakel (trofisch niveau) van een voedselketen is altijd een producent. De organismen in alle volgende schakels zijn heterotrofe organismen. Zij moeten voor hun energievoorziening en groei en ontwikkeling organische stoffen uit voedsel opnemen en je noemt ze daarom consumenten. Consumenten die producenten eten, zijn planteneters (herbivoren). Zij zetten de plantaardige organische stoffen in plantaardig weefsel om in dierlijke organische stoffen. Consumenten die dieren eten (vleeseters of carnivoren), zetten dierlijke organische stoffen uit dierlijk weefsel om in andere dierlijke organische stoffen. Alleseters (omnivoren) eten zowel planten als dieren. In een piramide van biomassa wordt de biomassa van elk trofisch niveau in een ecosysteem weergegeven (zie afbeelding 11).

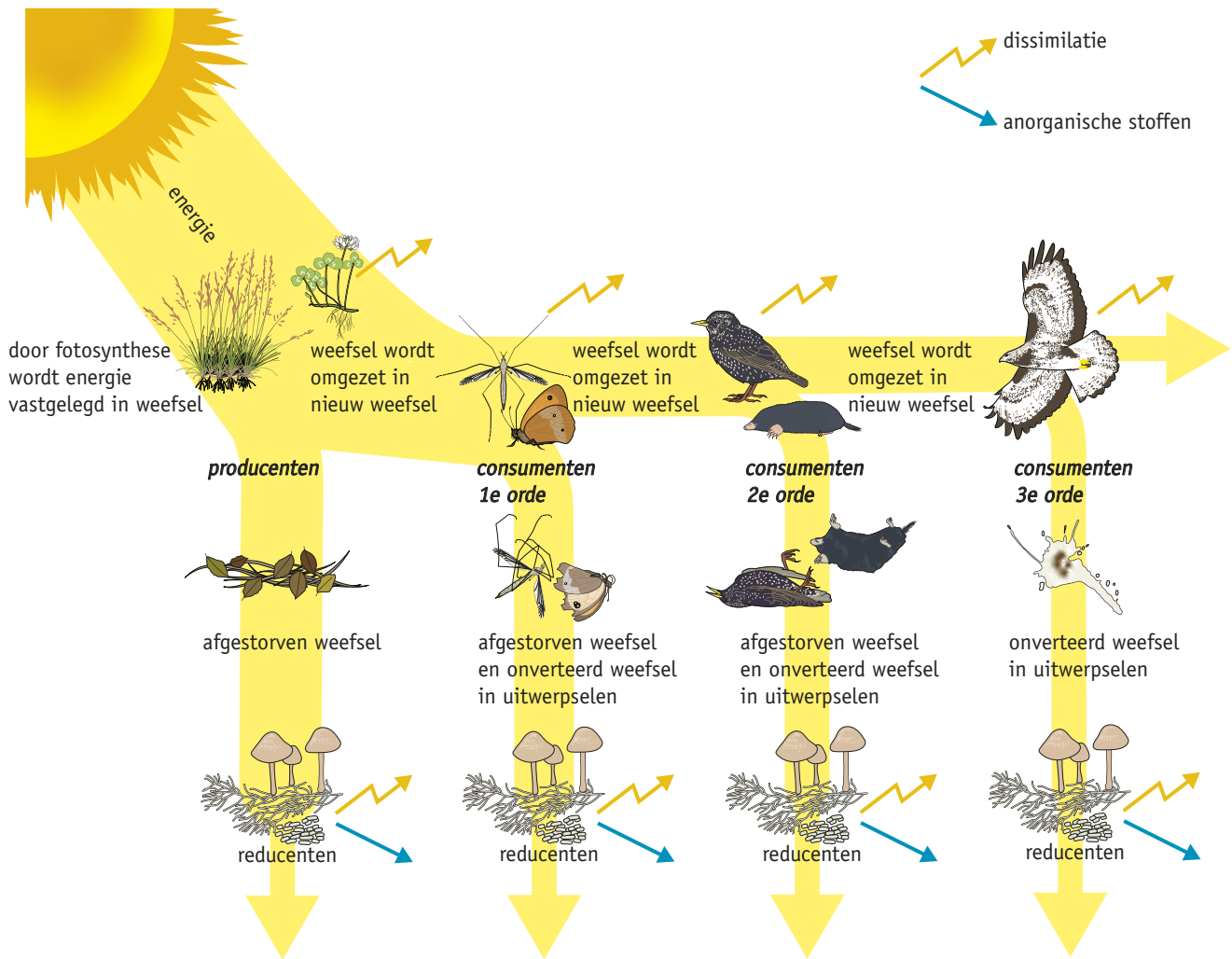
■ Afb. 11 Piramide van aantallen en biomassa.



ENERGIESTROOM

In elke schakel van een voedselketen wordt een deel van de energie uit biomassa doorgegeven aan het volgende trofische niveau, doordat de energie wordt vastgelegd in weefsels van organismen (zie afbeelding 12). Een ander deel wordt verbruikt voor dissimilatie, verdwijnt via de ontlasting of wordt gebruikt door de organismen die de dode delen afbreken. Elk volgend trofisch niveau bevat daardoor veel minder energie. Ongeveer 10% van de energie uit de biomassa van een schakel kan in een voedselketen worden doorgegeven aan een volgende schakel: $100\% \rightarrow 10\% \rightarrow 1\% \rightarrow 0,1\%$. Omdat er per schakel veel energie verdwijnt, zijn de meeste voedselketens maar drie tot vijf schakels lang en komen er op hogere trofische niveaus meestal minder organismen voor (zie afbeelding 11). In de laatste schakel blijft er te weinig energie over om voldoende energie te leveren voor een volgende schakel.

■ Afb. 12 Energiestroom in een ecosysteem.



Afgestorven weefsel, onverteerd weefsel in uitwerpselen en (resten van) dode organismen worden afgebroken door reducenten (bacteriën en schimmels). Zij zetten de organische stoffen in de weefsels om in anorganische stoffen. Daarbij verbruiken ze energie. Producenten nemen de anorganische stoffen weer op om bij de voortgezette assimilatie nieuwe organische stoffen te kunnen vormen.

Doordat via de schakels van de voedselketen energie door het ecosysteem heen wordt getransporteerd, ontstaat er een energiestroom. Lichtenergie van de zon wordt continu vastgelegd als chemische energie. Per schakel wordt chemische energie weer opnieuw vastgelegd als chemische energie in organische stoffen en verdwijnt er energie (warmte) uit het ecosysteem. Uiteindelijk wordt alle chemische energie omgezet in warmte.

5 MENSEN BEÏNVLOEDEN DE ENERGIEBALANS VAN DE AARDE

De energiebalans van de aarde wordt bepaald door de energie-invoer en -afvoer te meten. Door het meten van enerzijds de inkomende straling van de zon, de reflectie van zonlicht door wolken en het aardoppervlak en anderzijds de warmtestraling die de aarde en de atmosfeer uitzenden, kun je het broeikaseffect berekenen.

VOEDSELPRODUCTIE

Mensen gebruiken het milieu onder andere voor de productie van voedsel. De verwachting is dat de vraag naar voedsel de komende decennia zal stijgen door een almaar groeiende wereldbevolking. Door toename van de welvaart zal waarschijnlijk ook de vraag naar dierlijke eiwitten sterk stijgen. Wat we eten, maakt een enorm verschil in de hoeveelheid energie die nodig is voor voedselproductie. Een voedingsmiddel is energie-efficiënt als er voor de productie relatief weinig energie nodig is.

Plantaardige diëten zijn vaak veel energie-efficiënter dan diëten op basis van vlees. Wanneer je mais eet om aan eiwitten te komen, wordt ongeveer 10% van de energie uit de biomassa van de mais gebruikt om nieuwe biomassa (menselijk weefsel) op te bouwen. De rest van de energie wordt gebruikt als brandstof of gaat verloren. Wanneer je kip eet om aan eiwitten te komen, treedt er twee keer energieverlies op: 10% van de biomassa van de mais wordt eerst omgezet in weefsels van de kip en vervolgens wordt 10% van het kippenvlees omgezet in menselijk weefsel. Hierdoor gebruik je netto maar 1% van de energie uit de mais. Door kip te eten in plaats van mais gaat 90% van de energie uit mais die werd gebruikt om weefsel op te bouwen, verloren.

Wanneer steeds meer mensen voedsel nodig hebben, is er meer landbouwgrond nodig. Wanneer steeds meer mensen vlees willen eten, is er nog meer landbouwgrond nodig om de landbouwgewassen te kunnen telen die als veevoer dienen. Hierdoor verdwijnen er bossen door ontbossing en wordt er minder koolstofdioxide (CO_2) door fotosynthese vastgelegd. De concentratie CO_2 in de atmosfeer stijgt hierdoor.

Door toename van landbouw stijgt ook de concentratie methaan (CH_4) in de atmosfeer. Dit gas ontstaat door de afbraak van organische stoffen door anaerobe bacteriën. Veeteelt en het verbouwen van rijst in een rijstveld (zie afbeelding 13) zijn de belangrijkste bronnen van methaangas in de landbouw.

Door de oogst van voedingsgewassen en door uitspoeling verdwijnen anorganische stoffen uit de bodem. Door te bemesten voegen boeren weer anorganische stoffen toe aan de bodem. Tijdens de nitrificatie en denitrificatie van nitraat in bodem, water, mestopslagen en composthopen ontstaat lachgas (N_2O). De concentratie lachgas in de atmosfeer neemt toe als de vraag naar voedsel toeneemt.

■ Afb. 13 Rijstvelden.



FOSSIELE BRANDSTOFFEN

Ook het verbranden van fossiele brandstoffen zorgt ervoor dat de CO_2 -concentratie in de dampkring toeneemt. Fossiele brandstoffen zoals steenkool, aardolie en aardgas zijn miljoenen jaren geleden gevormd uit de organische stoffen van dieren en planten. Deze niet-hernieuwbare brandstoffen leveren energie voor elektriciteit, warmte, vervoer en industrie. Door toename van de welvaart neemt de vraag naar energie toe.

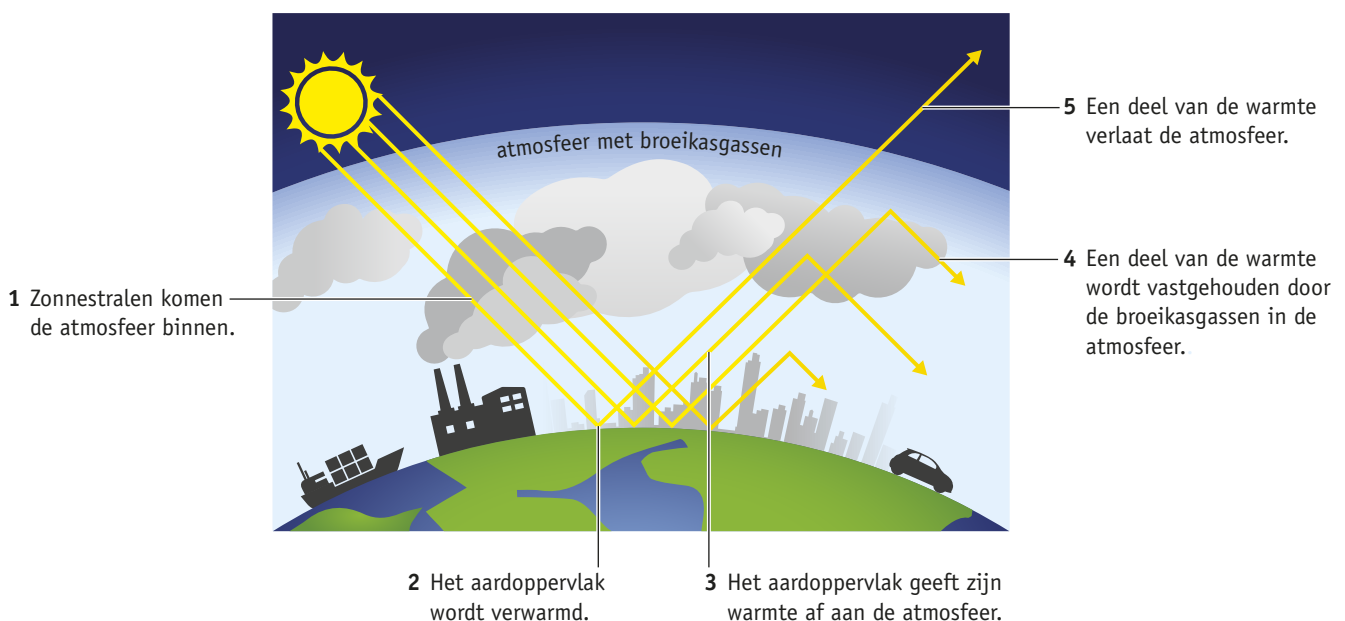
Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komt dus de koolstof vrij die heel lang geleden is opgeslagen. Fossiele brandstoffen horen daarom bij de langlopende koolstofkringloop. Ze zorgen ervoor dat de CO_2 -concentratie van de huidige kortlopende koolstofkringloop toeneemt. In de huidige kortlopende koolstofkringloop gaat koolstof in maximaal een paar honderd jaar één keer rond.

DE ATMOSFEER

De atmosfeer is een mengsel van gassen. Een deel van deze gassen voorkomt dat de atmosfeer warmte uitstraalt naar het heelal (het broeikaseffect). Zonder deze gassen zou de temperatuur op aarde ruim 30°C lager zijn. Koolstofdioxide, methaan en lachgas zijn broeikasgassen die van nature in de atmosfeer voorkomen. Doordat steeds meer mensen voedsel (energie) nodig hebben en door de verbranding van fossiele brandstoffen voor energie is er steeds meer uitstoot van deze gassen. Hierdoor verandert de energiebalans van de aarde. De input, de straling afkomstig van de zon, is vrij constant. De output, de warmtestraling afkomstig van het aardoppervlak en de atmosfeer naar de ruimte, neemt door toename van de broeikasgassen af. Dit zorgt ervoor dat de atmosfeer meer warmte vasthoudt, waardoor de gemiddelde temperatuur op aarde stijgt (het versterkte broeikaseffect, zie afbeelding 14). Een warmere atmosfeer houdt ook meer waterdamp vast. Waterdamp versterkt de opwarming die wordt veroorzaakt door de uitstoot van andere broeikasgassen.

Door de temperatuurstijging smelt een deel van het poolijs en gletsjers en stijgt de zeespiegel. Koolstofdioxide wordt voor een deel opgenomen door oceanen die daardoor verzuren. Ook worden weersomstandigheden extremer, waardoor de voedselvoorziening in gevaar kan komen en de biodiversiteit afneemt.

■ Afb. 14 Het versterkte broeikaseffect.



6 ORGANISATIENIVEAUS

Hieronder zie je waar de onderstreepte begrippen thuishoren in het schema met de organisatieniveaus van de biologie. Heb je een andere indeling, bespreek die dan met je docent.

Afb. 15 Alle onderstreepte begrippen uit dit thema op de juiste plaats in het schema.

Organisatie-niveau	Zelfregulatie* Hoe houdt een biologisch systeem zichzelf in stand?	Zelforganisatie Hoe groeit een biologisch systeem en hoe ontwikkelt het zich in de loop van de tijd?	Interactie* Hoe wordt een biologisch systeem beïnvloed door (a)biotische factoren?	Reproductie Hoe planten biologische eenheden zich voort?	Evolutie Hoe leiden processen in systemen tot aanpassing?
Molecuul	enzymen neurotransmitters transcriptie translatie	genexpressie	enzymen		
Cel	fotosynthese aerobe dissimilatie voortgezette assimilatie actief transport stofwisselingsprocessen	celdifferentiatie			
Orgaan	wortels mond dunne darm longen hart lever				
Organisme	groei en ontwikkeling autotroof waarneming beweging homeostase lichaams-temperatuur		jagen	voortplanting	
Populatie	darmbacteriën				natuurlijke selectie adaptatie
Ecosysteem	voedselbrij energiestroom bossen koolstofkringloop		voedselketen piramide van biomassa rijstveld		
Systeem aarde	koolstofkringloop		versterkte broeikaseffect		

* Er is geen heldere scheidslijn tussen zelfregulatie en interactie. Daarom kunnen biologische systemen bij beide concepten voorkomen.



EXAMENTRAINER

Aan het einde van dit schooljaar doe je centraal examen. In drie uur tijd laat je dan zien wat je bij het vak biologie hebt geleerd. Deze *Examentrainer* bereidt je voor op dit examen. Eerst krijg je een beschrijving van de opbouw van het biologie-examen. Daarna volgt uitleg over hoe je *BiNaS* tijdens het examen kunt gebruiken. Vervolgens komen de verschillende soorten vragen aan de orde en krijg je handreikingen en stappenplannen voor het beantwoorden van de vragen. Tot slot krijg je enkele tips over hoe je voor het examen leert.

Inhoud

1	Het centraal examen	288
2	<i>BiNaS</i> gebruiken	290
3	Open vragen	297
4	Meerkeuzevragen	307
5	Leren voor het centraal examen	310
6	Antwoorden oefenopgaven	311

1 HET CENTRAAL EXAMEN

Het centraal examen (CE) biologie duurt drie uur. Het bestaat uit ongeveer veertig examenopgaven. De opgaven maak je op proefwerkpapier, net als bij een toets. Soms moet je iets op een aparte uitwerkbijlage invullen. Dat staat altijd bij de opgave aangegeven.

■ Afb. 1 Examen doen.



WAAR GAAT HET CENTRAAL EXAMEN OVER?

De leerstof voor het centraal examen staat in de volgende veertien *Biologie voor jou*-thema's:

<i>Biologie voor jou 4 vwo deel A</i>	<i>thema 1 Inleiding in de biologie</i>
	<i>thema 2 Voortplanting en seksualiteit, behalve basisstof 5 en 6</i>
	<i>thema 3 Genetica</i>
<i>Biologie voor jou 4 vwo deel B</i>	<i>thema 4 Evolutie</i>
	<i>thema 5 Ecologie</i>
	<i>thema 6 Mens en milieu</i>
<i>Biologie voor jou 5 vwo deel A</i>	<i>thema 7 Regeling, behalve basisstof 6</i>
<i>Biologie voor jou 5 vwo deel B</i>	<i>thema 9 Stofwisseling in de cel</i>
	<i>thema 10 DNA, behalve basisstof 2</i>
	<i>thema 11 Planten</i>
<i>Biologie voor jou 6 vwo</i>	<i>thema 12 Voeding en vertering, behalve basisstof 5</i>
	<i>thema 13 Transport</i>
	<i>thema 14 Gaswisseling en uitscheiding</i>
	<i>thema 15 Afweer</i>

Ook *Leren onderzoeken* hoort bij de leerstof voor het centraal examen.

WELKE HULPMIDDELEN MAG JE GEBRUIKEN?

Op het examen mag je verschillende hulpmiddelen gebruiken. De belangrijkste zijn *BiNaS* en *Science Data*, pennen, potloden, een gum, kladpapier, een geodriehoek en een niet-grafische rekenmachine. Als je dat wilt, mag je ook een woordenboek Nederlands gebruiken.

HOE ZIT HET EXAMEN IN ELKAAR?

Het centraal examen biologie bestaat uit ruim veertig examenopgaven. De opgaven zijn verdeeld over ongeveer acht verschillende onderwerpen. Elk onderwerp heeft een eigen titel, zoals **Koraalverbleking**, **Domesticatiesyndroom** of **De eerste ademdeug**. Bij één onderwerp horen meestal vier tot zeven opgaven, maar meer of minder kan ook. De opgaven gaan vaak over leerstof uit verschillende thema's.

In het centraal examen kom je twee soorten opgaven tegen: open vragen en meerkeuzevragen. Lees de vragen goed om erachter te komen wat je moet doen. In de meeste open vragen wordt een opdrachtwoord gebruikt. Voorbeelden van opdrachtwoorden zijn: *leg uit*, *licht toe*, *verklaar*, *noteer*, *bereken*, *beredeneer*, enzovoort. Het is handig om opdrachtwoorden met een speciale kleur te markeren, zodat ze goed opvallen (zie afbeelding 2).

■ **Afb. 2** Een vraag met twee groen gemarkeerde opdrachtwoorden.

Uit de resultaten werd geconcludeerd dat signaalstoffen van een gastheerplant kunnen worden doorgegeven naar andere planten. Om aan te tonen dat het transport via warkruid plaatsvindt moet een tweede controle-experiment worden uitgevoerd.

- 2p 24 – Beschrijf dit controle-experiment.
– Geef aan wat er met dit controle-experiment moet worden uitgesloten.

De meeste opdrachtwoorden hebben geen uitleg nodig. Berekenen doe je door iets uit te rekenen. Noteren doe je door iets op je examenpapier op te schrijven. Doe altijd precies wat er staat.

In meerkeuzevragen staat bijna nooit een opdrachtwoord. In die vragen kun je dus ook geen opdrachtwoord markeren. Bij een meerkeuzevraag noteer je alleen de hoofdletter die voor het antwoord staat dat je kiest. Let op: als je niet de hoofdletter voor het antwoord noteert, maar het antwoord zelf, kan je antwoord fout worden gerekend. Misschien wil je bij een meerkeuzevraag toch even iets tekenen of berekenen. Doe dat dan op het kladpapier, dan ontstaan er geen misverstanden.

2 BINAS GEBRUIKEN

Tijdens het examen mag je informatie uit *BiNaS* gebruiken. In het examen wordt in de opgaven echter niet verwezen naar *BiNaS*. Het is daarom handig dat je weet welke informatie je in *BiNaS* op kunt zoeken en hoe je die informatie kunt vinden, voordat je examen doet.

Voordat je gaat zoeken in *BiNaS*, is het goed om te weten hoe *BiNaS* is opgebouwd. In *BiNaS* is een gedeelte voor natuurkunde, een gedeelte voor scheikunde, een gedeelte voor wiskunde en een gedeelte voor biologie opgenomen. Het biologiegedeelte van *BiNaS* is groen gekleurd. Daar vind je de informatie die je kunt gebruiken voor je biologie-examen.

In de biologietabellen is een logische opbouw aangebracht: de informatie is per organisatieniveau gerangschikt. Het biologiegedeelte begint met tabellen over moleculen en hun structuur en gaat via tabellen over DNA en celdeling en over het menselijk lichaam naar tabellen over ecosystemen en evolutie.

Je kunt in *BiNaS* op verschillende manieren informatie opzoeken:

- Je kunt de inhoudsopgave voor in het boek gebruiken. Hier staan alle tabellen met hun titel op nummer gerangschikt.
- Je kunt het register achter in het boek gebruiken. Hier kun je zoeken op begrippen en trefwoorden.
- Je kunt gebruikmaken van de logische opbouw in het biologiegedeelte van *BiNaS*. Klein vind je voorin, groot vind je achterin.
- Je kunt bladeren door *BiNaS*. Dit is de minst efficiënte manier, maar als je een antwoord echt niet weet, kom je door bladeren misschien iets herkenbaars tegen.

Op het centraal examen kun je *BiNaS* op drie manieren gebruiken:

- als bron van gegevens
- als antwoordbron
- als geheugensteun

***BiNaS* GEBRUIKEN ALS BRON VAN GEGEVENS**

BiNaS is onmisbaar als bron van gegevens. In elk centraal examen staan opdrachten waarvoor je gegevens in *BiNaS* kunt opzoeken. Bijvoorbeeld de structuur van aminozuren of DNA, of de koolstof- en stikstofkringloop.

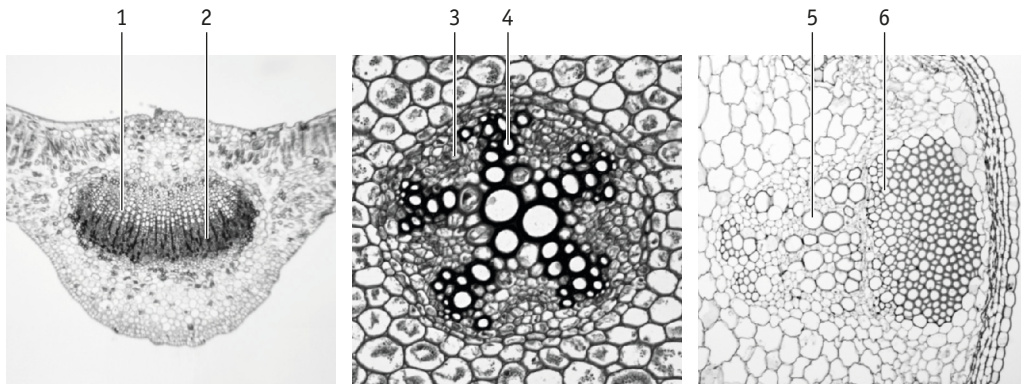
VOORBEELDOPGAVE

WARKRUID VERBINDT PLANTEN

Naar: examen 2022-2.

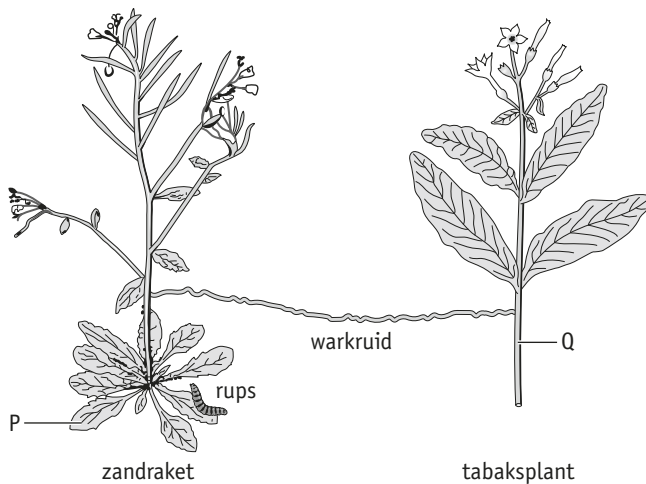
Warkruid (*Cuscuta sp.*) is een geslacht van eenjarige parasitaire planten. Deze planten nemen voedingsstoffen op uit de vaatbundels van hun gastheerplant met behulp van speciale organen. In afbeelding 3 zijn houtvaten en bastvaten in verschillende organen met nummers aangegeven.

■ **Afb. 3** Houtvaten en bastvaten in verschillende organen.



In afbeelding 4 zijn twee plaatsen aangegeven met P en Q.

■ **Afb. 4** Warkruid verbindt een zandraket met een tabaksplant.



Schrijf de letters P en Q onder elkaar en noteer erachter welk nummer uit afbeelding 3 de bastvaten aangeeft op de betreffende plaats.

Uitwerking

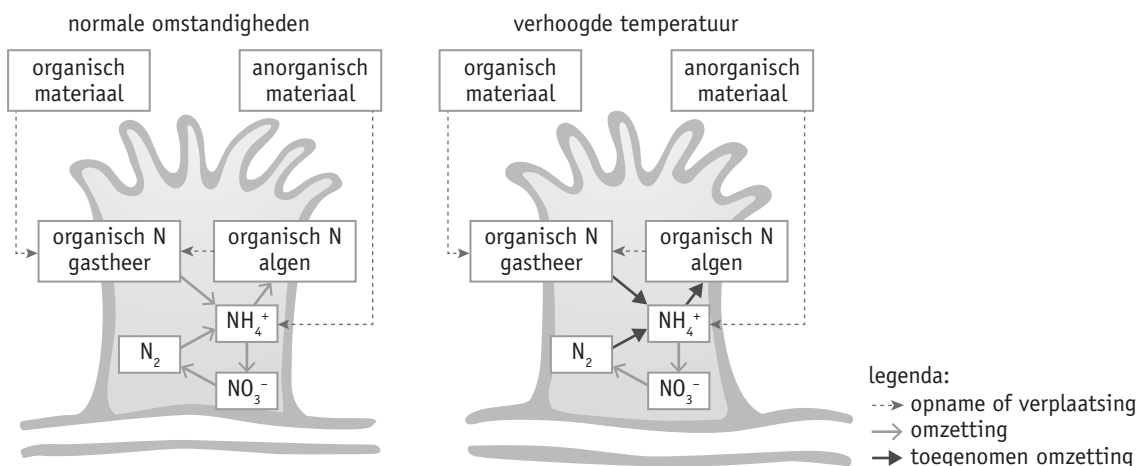
P is een blad en Q is een stengel. De anatomie van planten staat in *BiNaS*. Daarom kun je voor het beantwoorden van deze vraag *BiNaS* tabellen 91A en 91C gebruiken. In de linker foto van afbeelding 3 zie je de houtvaten in het blad in duidelijke rijen liggen. Dat zie je ook in *BiNaS* tabel 91A. De bastvaten of zeefvaten liggen aan de onderkant. Bij P hoort dus het nummer 2. De rechter foto van afbeelding 3 komt overeen met *BiNaS* tabel 91C. Als je de tabel een kwartslag draait zie je dat het primair floëem (bast) overeenkomt met nummer 6. Bij Q hoort dus nummer 6.

KORAALVERBLEKING

Naar: examen 2021-3.

Koraalriffen worden opgebouwd door kolonievormende koraaldieltjes. De koraaldieltjes hebben een bekervormig uitwendig skelet van kalk (CaCO_3), waarmee ze vastgehecht zijn aan elkaar en aan de ondergrond. Het rif groeit doordat de kalkskeletten steeds boven elkaar worden afgezet. Elk koraaldieltje heeft rondom de mondopening een ring van tentakels met netelcellen, waarmee het plankton en kleine diertjes uit het water vangt. De koraaldieltjes leven bijna allemaal in symbiose met verschillende soorten zoöxanthellen. Deze eencellige algen horen alle tot het geslacht *Symbiodinium*. Zoöxanthellen leven in cellen van de tentakels van de koraaldieltjes, en produceren daar organische stoffen en zuurstof, die door de koraaldieltjes worden gebruikt. Koraaldieltjes zijn ook gastheren voor symbionten, zoals bacteriën die een rol spelen in de stikstofkringloop. Als de temperatuur van het zeewater stijgt, wordt de groei van zoöxanthellen bevorderd. In afbeelding 5 is weergegeven welke veranderingen in dat geval optreden bij de opname en omzetting van stikstofverbindingen in de koraaldieltjes met hun symbionten.

■ **Afb. 5** Veranderingen bij opname en omzetting van stikstofverbindingen in koraaldieltjes.



Enkele processen in de stikstofkringloop zijn:

- 1 nitrificatie
- 2 denitrificatie
- 3 stikstoffixatie
- 4 stikstofassimilatie

TIP: Zoek in het register de tabel voor de stikstofkringloop.

- 2p 1 Noteer de nummers 1 tot en met 4 onder elkaar op je antwoordblad en schrijf erachter of het proces wel of niet toeneemt in koraaldieltjes met hun symbionten als de watertemperatuur stijgt.

Het antwoord op deze oefenopgave vind je aan het eind van de *Examentrainer*.

BiNaS GEBRUIKEN ALS ANTWOORDBRON

Soms kun je het antwoord op een vraag vrijwel in zijn geheel in *BiNaS* vinden. Je moet dan natuurlijk wel weten waar je moet zoeken.

VOORBEELDOPGAVE

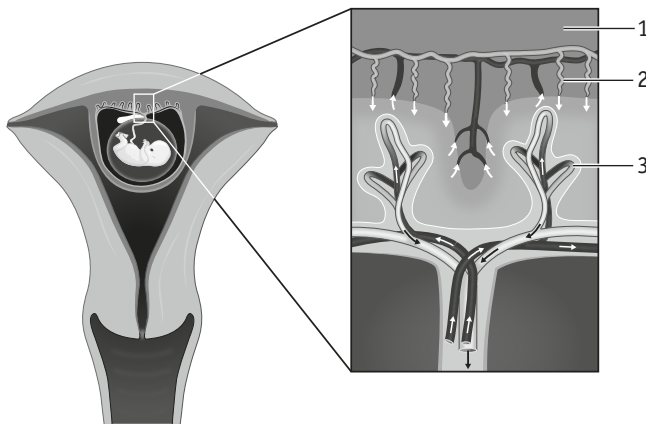
NIPT

Naar: examen 2022-2.

De NIPT, de niet-invasieve prenatale test, is sinds 2017 voor alle zwangere vrouwen in Nederland beschikbaar. Na bloedafname bij de vrouw wordt met deze test het risico op afwijkingen van het aantal chromosomen bij het ongeboren kind vastgesteld.

In afbeelding 6 is de baarmoeder met foetus en een gedeelte van de placenta rond tien weken zwangerschap weergegeven. Er zijn drie plaatsen met een nummer aangegeven.

■ **Afb. 6** Baarmoeder met foetus en een gedeelte van de placenta.



Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of de cellen op de betreffende plaats van de foetus of van de moeder zijn.

Uitwerking

Deze opdracht gaat over voortplanting. De tabellen met nummer 86 gaan over voortplanting. *BiNaS* tabel 86E gaat over bevruchting en ontwikkeling. De afbeelding rechts onderaan de *BiNaS*-tabel is vrijwel identiek aan afbeelding 6. Het antwoord kun je eigenlijk gewoon overschrijven:

- 1 van de moeder
- 2 van de moeder
- 3 van de foetus

OEFFENOPGAVE

LEVEN MET CYSTIC FIBROSIS

Naar: examen 2019-2.

Drie omzettingen in het darmkanaal van een gezond persoon zijn:

- 1 glycogeen → maltose
- 2 dipeptiden → aminozuren
- 3 triglyceriden → monoglyceriden

TIP: Zoek de tabellen over voeding en vertering in *BiNaS* door te denken op organisatieniveau.

- 2p **2** Zet de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar op je antwoordblad en noteer erachter of de betreffende omzetting wel of niet door enzymen uit alvleessap wordt bewerkstelligd.

Het antwoord op deze oefenopgave vind je aan het eind van de *Examentrainer*.

BiNaS GEBRUIKEN ALS GEHEUGENSTEUN

Weet je het antwoord op een opdracht, dan kun je *BiNaS* gebruiken om het antwoord te controleren.

VOORBEELDOPGAVE

ZIJN BITTERE SPRUITJES LEKKER?

Naar: examen 2019-2.

De meeste mensen zijn 'gewone' proevers. Sommige mensen proeven relatief weinig, zij houden van sterke smaken. En andere mensen zijn superproever: zij hebben meer smaakpapillen, met meer smaakzintuigcellen die ook nog gevoeliger zijn.

Superproevers vertonen soms bij het eten van een bittere stof een schrikreflex: ze knijpen de ogen dicht en spannen de nekspieren aan. In het stukje tekst hieronder wordt de betreffende reflexboog beschreven. Op de plaatsen 1, 2 en 3 ontbreekt een woord. "Informatie van smaakzintuigcellen wordt normaliter verwerkt in de ...(1)... van het smaakcentrum in de hersenschors. Een bittere stof kan bij een superproever een reflexboog in gang zetten die via ...(2)... leidt tot impulsen in ...(3)... neuronen, waardoor de ogen dichtknijpen."

Zet de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar op je antwoordblad en noteer erachter welk van de volgende opties de tekst juist aanvult.

- bij 1 grijze stof / witte stof
bij 2 de hersenstam / het ruggenmerg
bij 3 motorische / sensorische

Uitwerking

In thema 7 (Regeling) heb je geleerd hoe een reflexboog werkt. Je denkt dat je het antwoord op de vraag weet. Bij 1 vul je grijze stof in, bij 2 hersenstam en bij 3 motorische.

Voor de zekerheid neem je **BiNaS** tabellen 88A *Zenuwcellen*, 88J *Schema van het ruggenmerg* en 88L *Autonoom zenuwstelsel* erbij. In het ruggenmerg liggen in de witte stof alleen de axonen met de myelineschede en niet de schakelcellen. Dat zal in de hersenen niet anders zijn. De motorische zenuwcellen sturen de spieren aan. De hersenstam blijkt de oogspieren aan te sturen. Je ziet dan dat je antwoord juist is.

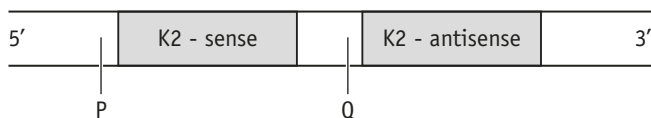
OEFENOPGAVEN

GESPIERDER DOOR GENDOPING

Naar: examen 2017-1.

In afbeelding 7 is de coderende streng van een deel van het genconstruct K2 getekend. Twee plaatsen zijn aangegeven met P en Q.

■ **Afb. 7** Coderende streng van een deel van genconstruct K2.



TIP: Zoek in de inhoudsopgave van *BiNaS* de tabel over transcriptie en translatie.

- 2p 3 Wat is de functie van een promotor? En waar in het K2-genconstruct is een promotor aanwezig?

	functie	plaats
A	start(punt) transcriptie	op plaats P
B	start(punt) transcriptie	op plaats P en plaats Q
C	start(punt) translatie	op plaats P
D	start(punt) translatie	op plaats P en plaats Q

BLAASONTSTEKING

Naar: examen 2017-1.

Als een vrouw klachten van een blaasontsteking bij zichzelf herkent, kan verder onderzoek door de huisarts vaak achterwege blijven. Bij twijfel wordt een urinemonster onderzocht. Met een teststrookje wordt de aanwezigheid van nitriet en van leukocytanestrase (een enzym aanwezig in witte bloedcellen) in de urine onderzocht. Vaak is het niet nodig de urine op kweek te zetten om de ziekteverwekker te identificeren.

De leukocytanestrase in de urine is afkomstig van witte bloedcellen die als eerste naar de ontstekingshaard in de blaas gemigreerd zijn.

TIP: Zoek in de inhoudsopgave van *BiNaS* de tabel over afweer.

- 2p **4** Welk type witte bloedcellen is dit?
- A cytotoxische T-cellen
 - B fagocyten
 - C T-helpercellen
 - D plasmacellen

De antwoorden op deze oefenopgaven vind je aan het eind van de *Examentrainer*.

Belangrijke tabellen in *BiNaS*:

- 67F t/m H en L voor de structuren van moleculen
- 68A t/m E voor dissimilatie
- 69A t/m C voor fotosynthese
- 70A t/m D voor bouw van chromosomen
- 71A t/m M voor DNA
- 76A en B voor celcyclus, mitose en meiose
- 77C voor levenscyclus virus
- 78 voor indeling rijken en celkenmerken
- 79A t/m D voor cellen en celorganellen
- 82A t/m G voor verteringsstelsel en voedingsstoffen
- 83A t/m E voor ademhalingsstelsel en opname CO₂
- 84A t/m E, G en J t/m O voor bloedsomloop, immuniteit en bloedstolling
- 85A t/m D voor nieren
- 86C en E voor voortplanting
- 88A t/m L voor zenuwstelsel
- 89A t/m C voor hormoonstelsel
- 91A t/m C voor weefsel van planten
- 93A, D1, D2, F en G voor energiestroom en kringlopen

3 OPEN VRAGEN

Op het centraal examen kom je de volgende soorten open vragen tegen:

- argumentatievragen
- vragen met een kort antwoord
- rekenvragen

Per soort open vraag volgt hier een stappenplan of volgen tips, waarmee je de vragen op de juiste manier kunt beantwoorden.

ARGUMENTATIEVRAGEN

Argumentatievragen zijn vragen waarbij je iets moet uitleggen, verklaren of beredeneren. Soms is het moeilijk om zo'n vraag op de juiste wijze te beantwoorden. Het kan dan handig zijn om dit stap voor stap aan te pakken.

Stap 1 Selecteer de vraag.

Ga eerst na in welke zin in de tekst de echte vraag staat.

Stap 2 Vervang de verwijswwoorden.

Vervang de verwijswwoorden in de vraag door begrippen. Bij verwijswwoorden kun je denken aan de woorden *die, dat, deze, daar*, enzovoort. Zorg er dus voor dat er begrippen in de vraag staan en geen woorden die verwijzen naar iets wat al eerder in de tekst is genoemd. Schrijf de vraag opnieuw, maar nu met de begrippen.

Stap 3 Markeer het opdrachtwerkwoord.

Markeer met kleur 1 het opdrachtwerkwoord. Dit woord geeft aan wat je moet doen. Opdrachtwerkwoorden die in het examen veel worden gebruikt, zijn *leg uit, verklaar, beredeneer, beschrijf, geef een argument, geef een verklaring* en *licht toe*.

Stap 4 Markeer de begrippen.

Markeer met kleur 2 de begrippen waarover de vraag gaat. De begrippen zijn bijna altijd woorden die je bij het vak biologie hebt geleerd, maar het kunnen ook woorden zijn die worden beschreven in de tekst bij de vraag.

Stap 5 Omschrijf de begrippen.

Omschrijf op een kladblaadje elk begrip dat je hebt gemarkeerd. Voor elk begrip gebruik je een nieuwe zin.

Stap 6 Formuleer het antwoord.

Formuleer nu het antwoord met de begrippen van stap 5. Het antwoord bestaat uit:

- de omschrijving van de begrippen
- een verbindingswoord
- de uitlegzin

Verbindingswoorden zijn bijvoorbeeld *daarom, omdat, daardoor, zodat, dus*, enzovoort.

In de uitwerking van de voorbeeldopgave hierna zijn de volgende kleuren gebruikt:

- kleur 1: groen – opdrachtwerkwoord
- kleur 2: blauw – begrip
- kleur 3: geel – verbindingswoord

Je kunt bij het markeren natuurlijk ook je eigen kleuren kiezen, maar zorg ervoor dat je steeds dezelfde kleur voor hetzelfde type woord gebruikt.

VOORBEELDOPGAVE

ALG DOET OLIEPALM NA

Naar: examen havo 2022-1.

Door de aanleg van oliepalmlandbouw in Zuidoost-Azië gaan vele hectaren oerwoud verloren. Mede daarom wordt palmolie door milieuorganisaties als niet-duurzaam bestempeld. Voor onderzoeker Lenny de Jaeger was dit een reden om op zoek te gaan naar een manier om olie te produceren met behulp van algen.

De Jaeger vond een veelbelovende kandidaat: de eencellige alg *Scenedesmus obliquus*. Deze alg maakt monosachariden met behulp van zonlicht en zet die onder bepaalde omstandigheden om in zetmeel, aminozuren of vetzuren. De vetzuren kunnen worden gebruikt als grondstof voor de productie van plantaardige olie.

De Jaeger ontwikkelde met behulp van mutagene straling een mutant van *S. obliquus* die geen zetmeel maakt. Hierdoor heeft deze mutant een efficiëntere vetzuurproductie en een hoger vetzuurgehalte.

Het nadeel van deze alg is dat hij alleen in zoet water leeft. Voor grootschalige productie heeft een zoutwateralg de voorkeur. Daarom deed De Jaeger vervolgonderzoek naar de alg *Neochloris oleoabundans*, die ook olie produceert en overleeft in zout water.

Door genetisch onderzoek weet De Jaeger welke genen verantwoordelijk zijn voor de zouttolerantie van de alg *N. oleoabundans*.

Beschrijf hoe met gebruik van deze kennis een zouttolerante *S. obliquus* kan worden ontwikkeld.

Uitwerking

Stap 1 Selecteer de vraag.

De vraag is: 'Beschrijf hoe met gebruik van deze kennis een zouttolerante *S. obliquus* kan worden ontwikkeld.'

Stap 2 Vervang de verwijswaarden.

In de vraag staat het woord 'deze'. Dit is een verwijswaard en het verwijst naar een bepaald soort kennis, namelijk: *welke genen verantwoordelijk zijn voor de zouttolerantie*. Je kunt de vraag dan zo herformuleren:

'Beschrijf hoe met gebruik van de kennis over de genen van de zouttolerantie in *N. oleoabundans* een zouttolerante *S. obliquus* kan worden ontwikkeld.'

Stap 3 Markeer het opdrachtwerkwoord.

Beschrijf hoe met gebruik van de kennis over de genen van de zouttolerantie in *N. oleoabundans* een zouttolerante *S. obliquus* kan worden ontwikkeld.

Stap 4 Markeer de begrippen.

Beschrijf hoe met gebruik van de kennis over de **genen** van de **zouttolerantie** in *N. oleoabundans* een zouttolerante *S. obliquus* kan worden ontwikkeld.

Stap 5 Omschrijf de begrippen.

Zouttolerantiegenen zijn delen van een chromosoom die erfelijke informatie bevatten over zouttolerantie.

N. oleoabundans en *S. obliquus* zijn algen.

Stap 6 Formuleer het antwoord.

De zouttolerantiegenen van de alg *N. oleoabundans* moeten in het erfelijk materiaal van de alg *S. obliquus* worden gebracht door genetische modificatie.

OEFENOPGAVEN

ANTIVRIESEIWITTEN

Naar: examen 2021-3.

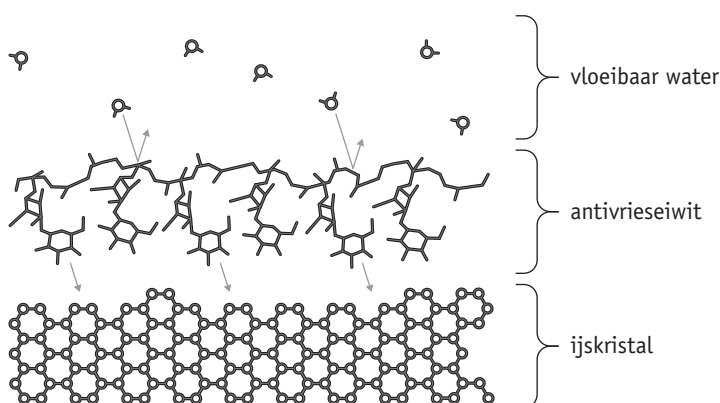
De Amerikaanse onderzoeker Arthur DeVries ontdekte dat poolvissen aanpassingen hebben die voorkomen dat ze bevriezen in het ijskoude water.

Rond Antarctica, waar de watertemperatuur gemiddeld $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ is, vormen zich ijskristallen in het water. In dit ijskoude water zijn aangepaste vissen te vinden, met antivrieseiwitten in hun lichaam. Zonder deze antivrieseiwitten zouden in het lichaam van deze koudbloedige vissen ijskristallen ontstaan die schade aanrichten doordat ze membranen van cellen kapot prikken.

Ijskristallen in de bloedsomloop blijven klein dankzij antivrieseiwitten. De kristalletjes accumuleren in de milt van de vis, waardoor schade aan de haarvaten beperkt wordt.

Een ijskristal ontstaat meestal uit een zoutdeeltje en een paar watermoleculen. Het ijskristal groeit daarna doordat er steeds meer watermoleculen aan vasthechten. Antivrieseiwitten binden vermoedelijk aan de ijskristallen door de vorming van waterstofbruggen en verhinderen vervolgens de groei van het ijskristal. De mogelijke werking van antivrieseiwitten is schematisch weergegeven in afbeelding 8.

■ **Afb. 8** Mogelijke werking van antivrieseiwitten.



De werking van het antivrieseiwit in afbeelding 8 kan worden verklaard door de moleculaire eigenschappen van dit eiwit.

TIP: Bekijk wat precies de vraag is die je moet beantwoorden in opgave 1.

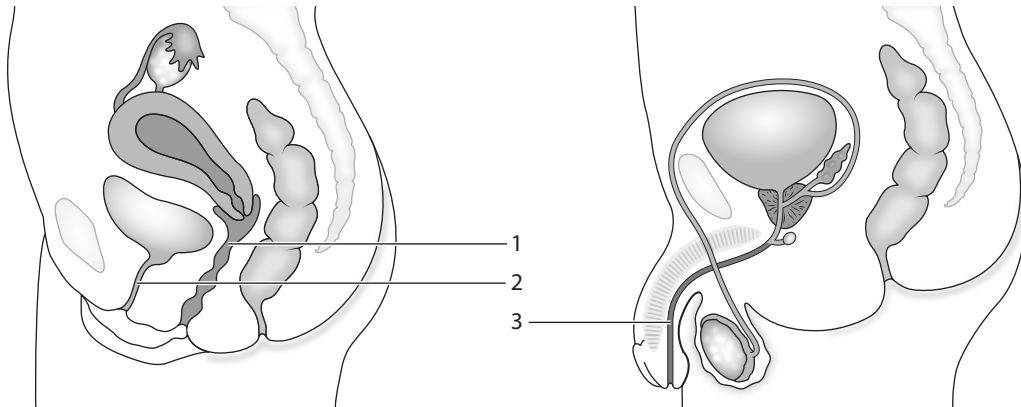
- 2p 1 Licht toe dat dit antivrieseiwit zowel een hydrofiele als een hydrofobe zijde nodig heeft om functioneel te kunnen zijn.

BLAASONTSTEKING

Naar: examen 2017-1.

In afbeelding 9 is een doorsnede weergegeven van (delen van) het urogenitale stelsel van een vrouw en van een man. In de drie met een nummer aangegeven ruimten is de aanwezigheid van micro-organismen normaal en veroorzaakt doorgaans geen klachten.

■ Afb. 9 Het urogenitale stelsel van een vrouw en van een man.



Vrouwen hebben veel vaker een blaasontsteking dan mannen. Dit komt onder andere door verschillen in de bouw van de urogenitale organen van mannen en vrouwen.

TIP: Bekijk waarnaar de verwijzwoorden 'zo'n en daarvan' verwijzen in opgave 2.

- 2p 2
- Noteer zo'n anatomisch verschil.
 - Verklaar aan de hand daarvan waardoor de kans op een blaasontsteking bij vrouwen groter is dan bij mannen.

YOGHURT ZONDER KLONTEN

Naar: examen 2021-1.

Zuivelbedrijven die yoghurt bereiden, krijgen soms een opbrengst van waterige melk met klonten, veroorzaakt door bacteriofagen in de yoghurtcultuur. Dankzij CRISPR-Cas kan dit voorkomen worden.

Yoghurt wordt gemaakt door melk te enten met de melkzuurbacteriën *Streptococcus thermophilus* en *Lactobacillus bulgaricus*. Deze bacteriën zetten melkeiwitten om en verbruiken lactose (melksuiker) uit de melk voor hun energievoorziening. Hierdoor verzuurt de melk snel en krijgt die een andere smaak, structuur en voedingswaarde: het wordt yoghurt. Doordat yoghurt veel minder lactose bevat dan melk is het een geschikt zuivelproduct voor mensen met lactose-intolerantie. Na het eten van yoghurt hebben de yoghurtbacteriën die levend de darm bereiken een gunstig effect op de darmflora, de stoelgang en het immuunsysteem van de darm.

De twee bacteriesoorten zijn samen efficiënter in het veranderen van de melk in yoghurt dan ieder apart. Zo produceert *L. bulgaricus* voornamelijk endopeptidasen, enzymen die peptidebindingen binnen een peptideketen verbreken, en produceert *S. thermophilus* voornamelijk exopeptidasen, enzymen die peptidebindingen aan de uiteinden van een peptideketen verbreken. De enzymactiviteit van *S. thermophilus* is hoger als deze bacterie samen met *L. bulgaricus* aan melk wordt toegevoegd dan als alleen *S. thermophilus* wordt toegevoegd.

TIP: Bepaal wat het opdrachtwerkwoord is in opgave 3.

- 1p **3** Verklaar deze hogere enzymactiviteit van *S. thermophilus* op moleculair niveau.

EVOLUTIE VAN DE MENSTRUATIE

Naar: examen havo 2022-1.

De mens is een van de weinige zoogdieren die menstrueert. Evolutiebiologen onderzoeken hoe dit in de evolutie is ontstaan.

Bij zoogdieren wordt tijdens de rijping van eicellen in de eierstokken het baarmoederslijmvlies dikker door de invloed van oestrogeen. Het gereedmaken van het verdikte baarmoederslijmvlies voor de innesteling van een embryo wordt bij niet-menstruerende zoogdieren pas in gang gezet als een embryo in de baarmoeder aanwezig is. De baarmoederslijmvliescellen van de moeder worden dan aangezet tot decidualisatie. Dit is het vormen van een cellaag (de decidua) waarin het embryo zich kan innestelen. Als de innesteling uitblijft, wordt dit verdikte baarmoederslijmvlies niet afgestoten maar geabsorbeerd. Er volgt dus geen menstruatie. Bij menstruerende zoogdieren begint de vorming van de decidua 'vanzelf': het progesteron dat door het gele lichaam wordt afgegeven, veroorzaakt de celdifferentiatie in het baarmoederslijmvlies. Dit wordt spontane decidualisatie genoemd. Bij de menstruatie wordt de decidua afgescheiden.

Een evolutionaire verklaring voor het ontstaan van spontane decidualisatie is dat de moeder zich hiermee beschermt tegen het embryo. Doordat moeder en foetus geen identiek genenpakket hebben, zijn hun belangen evolutionair gezien verschillend. De foetus probeert via de placenta zoveel mogelijk voedingsstoffen aan de moeder te onttrekken. Het belang van de moeder is investeren in de groeiende foetus, maar ook in toekomstige kinderen.

Op verschillende organisatieniveaus komt het evolutionaire moeder-foetusconflict naar voren. Twee veranderingen tijdens innesteling en vroege zwangerschap zijn:

- 1 De slagadertjes in de decidua van de moeder verliezen hun spierweefsel.
- 2 Placentahormonen maken de moeder minder gevoelig voor insuline.

TIP: Bij opgave 4 moet je iets uitleggen. Ga na hoeveel begrippen je moet markeren.

- 2p **4** Licht toe dat zowel verandering 1 als verandering 2 gunstig is voor de foetus.

DE HIELPRIK EN PKU

Naar: examen 2021-2.

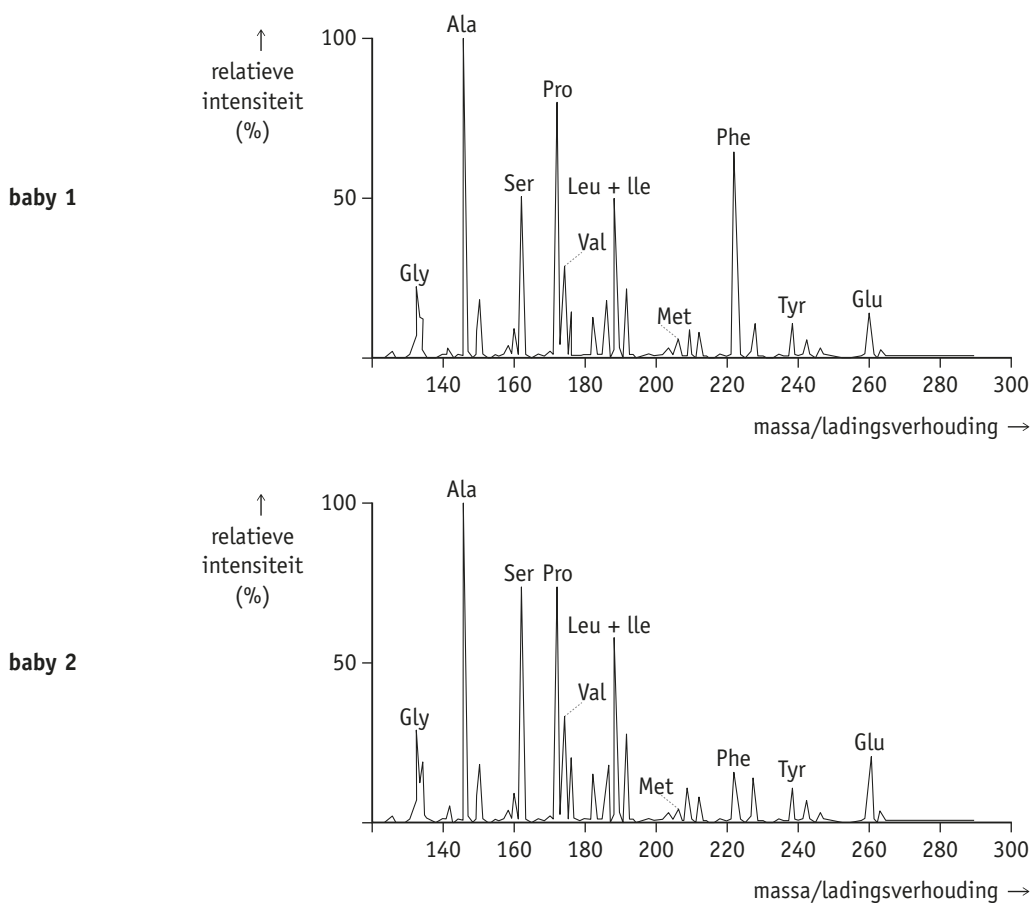
Bianca heeft fenyktonurie (PKU). Al sinds zij een baby is, volgt ze daarom een streng dieet. Ze hoopt dat onderzoek leidt tot een nieuwe behandeling van PKU.

PKU wordt bijna altijd veroorzaakt door een mutatie op chromosoom 12. Ook bij Bianca is dit het geval. Als gevolg van deze mutatie ontbreekt het enzym fenyhydroxylase (PAH), waardoor het aminozuur fenylalanine niet omgezet kan worden in tyrosine.

Fenylalanine hoopt daardoor op. Zonder behandeling leidt PKU tot blijvende hersenschade. Met behulp van de hielprik (bij baby's van circa vier dagen oud) wordt in Nederland PKU opgespoord.

Een kleine hoeveelheid – door de hielprik verkregen – bloed van de baby wordt in de massaspectrometer gebracht voor analyse. Dit levert een patroon van pieken op die de hoeveelheden van de verschillende aminozuren in het bloed aangeven. Afbeelding 10 toont de analyseresultaten van de hielprik van twee baby's.

■ **Afb. 10** Aminozuren in het bloed van twee baby's.



Een van de baby's heeft PKU, maar dat is aan het tyrosinegehalte niet te zien.

TIP: Bepaal welke begrippen je moet omschrijven voor de beantwoording van opgave 5.

- 2p **5**
- Licht toe welke baby PKU heeft.
 - Geef een verklaring voor het normale tyrosinegehalte bij deze baby.

De antwoorden op deze oefenopgaven vind je aan het eind van de *Examentrainer*.

VRAGEN MET EEN KORT ANTWOORD

Vragen met een kort antwoord zijn vaak kennisvragen. Met een kennisvraag is het zo: je weet het antwoord wel of je weet het antwoord niet. Toch kan het ook bij deze vragen nuttig zijn om voor een vaste aanpak te kiezen. Een voorbeeld van zo'n aanpak zie je in het stappenplan van afbeelding 11.

■ Afb. 11 Stappenplan voor het beantwoorden van kennisvragen.



VOORBEELDOPGAVE

DIARREEBACTERIE SLAAT TOE DOOR ANTIBIOTICAGEBRUIK

Naar: examen 2019-1.

Veel gezonde mensen dragen de darmbacterie *Clostridium difficile* bij zich zonder er last van te hebben. Bij ziekenhuispatiënten kan deze bacterie echter een levensgevaarlijke diarree veroorzaken die lastig te genezen is. Ziekenhuizen treffen maatregelen om besmetting op te sporen en te voorkomen.

C. difficile is een anaerobe bacteriesoort die ongunstige omstandigheden kan overleven in de vorm van sporen. Sommige *C. difficile*-stammen produceren toxische eiwitten. Door deze toxinen gaan epitheelcellen van het dikkedarmslijmvlies dood, wat leidt tot een hardnekkige diarree die CDAD (*Clostridium difficile* associated diarrhea) wordt genoemd. De bacterie slaat vooral toe bij mensen die breed spectrum-antibiotica gebruiken. Deze antibiotica zijn werkzaam tegen verschillende bacteriën en worden veel toegepast in ziekenhuizen.

Bij het vermoeden van een *C. difficile*-infectie wordt de ontlasting (feces) van de patiënt onderzocht op aanwezigheid van de bacterie en/of de toxinen. Daarnaast is er een DNA-strip ontwikkeld waarmee specifieke genen van *C. difficile* in het fecesmonster opgespoord kunnen worden. Het gaat om de genen die coderen voor toxine A, toxine B en voor binair toxine, en verder om bepaalde regulatorgenen (die de hoeveelheid toxine reguleren) en het resistentie-gen tegen het antibioticum moxifloxacin.

Het VU Medisch Centrum in Amsterdam treft extra maatregelen om een uitbraak van *C. difficile* te voorkomen. Daar 'werkt' de beagle Cliff, een speurhond die ruikt of een patiënt besmet is met *C. difficile*. Cliff is getraind om naast (het bed van) een besmette patiënt te gaan zitten.

Noteer nog een biomedisch voordeel van het gebruik van Cliff om *C. difficile* in het ziekenhuis op te sporen.

Uitwerking

Je denkt het antwoord op deze vraag te weten, maar het antwoord kun je niet meteen opschrijven. Je wilt er nog even over nadenken. Je slaat deze vraag even over en gaat verder met de andere vragen van het examen. Aan het eind van het examen kom je terug bij deze vraag. Omdat je in de tussentijd al een idee hebt gekregen, ga je meteen naar de laatste stap: het beantwoorden van de vraag.

Je schrijft: 'De hond kan niet alleen patiënten, maar ook besmette bezoekers, artsen en verpleegkundigen opsporen.' Je antwoord blijkt juist te zijn.

OEFENOPGAVE

TIP: Gebruik het stappenplan in afbeelding 11 als je het antwoord niet meteen weet.

NIPT

Naar: examen 2022-2.

De NIPT, de niet-invasieve prenatale test, is sinds 2017 voor alle zwangere vrouwen in Nederland beschikbaar. Na bloedafname bij de vrouw wordt met deze test het risico op afwijkingen van het aantal chromosomen bij het ongeboren kind vastgesteld.

Rond de elfde week van de zwangerschap is ongeveer 10% van het ccfDNA afkomstig van de foetus (foetale fractie). Daarmee is er genoeg foetaal ccfDNA om de NIPT te kunnen uitvoeren. Na bloedafname bij de moeder worden de DNA-fragmenten uit het bloedplasma geïsoleerd en gezuiverd. Na vermeerdering van de fragmenten wordt van elk fragment vastgesteld van welk chromosoom het afkomstig is.

- 1p **6** Noteer de naam van de techniek waarmee een kleine hoeveelheid DNA wordt vermeerderd.

Het antwoord op deze oefenopgave vind je aan het eind van de *Examentrainer*.

REKENVRAGEN

Bij rekenvragen op je examen moet je laten zien hoe je tot je antwoord bent gekomen. Laat je geen berekening zien, dan krijg je meestal geen punten. Het is daarom handig een rekenvraag op de volgende wijze aan te pakken:

Stap 1 Markeer de gegevens.

Begin met het markeren van de gegevens die je nodig hebt voor je berekening. Doe dit op het vragenblad van het examen.

Stap 2 Neem de gegevens over.

Neem daarna deze gegevens over op je antwoordpapier. Je moet immers de berekening laten zien.

Stap 3 Maak de berekening.

Tot slot schrijf je je berekening stap voor stap op en maak je de berekening.

Je kunt natuurlijk ook eerst de stappen 2 en 3 op een kladblaadje schrijven, en daarna de berekening en het antwoord overnemen op je antwoordpapier.

VOORBEELDOPGAVE

EEN BLOEDTRANSFUSIE VOOR JE HOND

Naar: examen 2017-1.

Bij hond Max moet bloed worden toegediend. Om te bepalen hoeveel bloed bij Max moet worden toegediend, wordt Max gewogen: **hij weegt ruim 30 kg**. Daarmee berekent de dierenarts het bloedvolume van Max. Een hond bezit gemiddeld **85 mL bloed per kilo lichaamsgewicht**. De arts bepaalt ook de hematocrietwaarde (Ht) van Max. Dat is het volumedeel rode bloedcellen in het bloed. Bij een gezonde hond ligt de **Ht tussen de 0,4 en 0,6**; bij **Max is de waarde slechts 0,2**. Het **donorbloed heeft een Ht van 0,45**. De benodigde hoeveelheid bloed wordt bepaald met behulp van de formule:

$$\text{hoeveelheid donorbloed} = \frac{\text{bloedvolume ontvanger} \times (\text{gewenste Ht} - \text{Ht ontvanger})}{\text{Ht donor}}$$

De dierenarts heeft donorbloed op voorraad in zakjes van 1 liter, 0,5 liter, 200 milliliter en 100 milliliter.

Bereken hoeveel zakjes van welk volume donorbloed de dierenarts minimaal nodig heeft voor Max, als bovenstaande leidraad wordt gebruikt.

Uitwerking

Stap 1 Markeer de gegevens.

In de tekst van de opdracht markeer je de gegevens die van belang zijn voor de berekening. In deze voorbeeldopgave is dat al voorgedaan.

Stap 2 Neem de gegevens over.

Benodigde gegevens voor deze opdracht zijn:

- gewicht hond = 30 kg
- volume bloed per kg lichaamsgewicht = 85 mL
- Ht ontvanger = 0,2
- Ht donor = 0,45
- gewenste Ht = 0,4

Stap 3 Maak de berekening.

Je moet eerst het bloedvolume berekenen: $30 \text{ kg} \times 85 \text{ mL/kg} = 2550 \text{ mL}$

Nu kun je de formule invullen:

$$\text{hoeveelheid donorbloed} = \frac{2550 \times (0,4 - 0,2)}{0,45} = 1133 \text{ mL}$$

Nu nog de vraag beantwoorden. Je hebt 1 zakje van 1 L nodig en 1 zakje van 200 mL

TIP: Bepaal welke gegevens je nodig hebt voor je berekening.

VACCINEREN TEGEN MAZELEN

Naar: examen 2019-2.

Door tegenstanders van vaccinatie wordt soms het argument gebruikt dat bij een mazelenepidemie meer gevaccineerde kinderen de ziekte krijgen dan niet-gevaccineerde kinderen. Ga uit van een geboortecohort (jaargroep) van tweehonderdduizend kinderen. Van deze kinderen wordt 93% gevaccineerd en het vaccin geeft in 92% van de toedieningen een effectieve bescherming tegen mazelen.

- 3p **7** • Laat aan de hand van berekeningen zien dat in dit cohort tijdens een epidemie inderdaad meer gevaccineerde kinderen ziek kunnen worden dan niet-gevaccineerde kinderen.
- Licht toe dat dit als argument tegen vaccinatie **niet** houdbaar is.

Het antwoord op deze oefenopgave vind je aan het eind van de *Examentrainer*.

4 MEERKEUZEVRAGEN

Meerkeuzevragen zijn vragen waarbij je moet kiezen uit een beperkt aantal voorgeschreven mogelijkheden. De meest voorkomende meerkeuzevraag is de vraag waarbij je moet kiezen uit vier antwoordopties: A, B, C of D. Andere vragen die je vaak op het examen tegenkomt, zie je in afbeelding 12: bij elk voorbeeld moet je kiezen uit twee antwoordopties: 'wel' of 'niet'. Bij dit soort vragen kom je ook de antwoordopties 'juist' of 'onjuist' tegen.

■ **Afb. 12** Een meerkeuzevraag uit het examen 2022-3.

Bij gebruik van meldonium wordt ook een verhoogde productie van de stof PPAR α waargenomen in onder andere hartspiercellen.	
1p	5 PPARα stimuleert de expressie van verschillende genen. Welke functie heeft PPARα? A die van operator B die van promotor C die van repressor D die van transcriptiefactor

Meerkeuzevragen kun je beantwoorden door een vaste methode te gebruiken: de rondenmethode. In deze methode werk je de meerkeuzevragen af in verschillende ronden.

- In ronde 1 beantwoord je alleen de vragen waarop je het antwoord zeker weet. De vragen waarop je het antwoord niet weet, laat je dus even onbeantwoord.
- In ronde 2 beantwoord je de moeilijke vragen. Hierbij kun je kiezen uit drie opties:
 - Leg een kladblaadje op de antwoorden. Probeer het antwoord op te schrijven zonder naar de antwoordmogelijkheden te kijken. Bekijk daarna pas de antwoordmogelijkheden. Kies het antwoord dat hetzelfde is als jouw antwoord of dat het dichtst bij jouw antwoord ligt.
 - Schrijf de vraag op in je eigen woorden. Let daarbij goed op woorden als 'niet', 'wel' en 'geen'. Als je de vraag in je eigen woorden hebt opgeschreven, denk je misschien: aha, dat wordt bedoeld. Begin daarna met het wegstrepen van de onmogelijke antwoorden. Maak dan een keuze uit de overgebleven antwoordmogelijkheden. Als je tussen twee antwoorden twijfelt, kan het helpen op een kladblaadje te schrijven wat precies het verschil is tussen deze twee antwoorden. Als je het verschil hebt gevonden, lees je de vraag nog een keer en kies je het juiste antwoord.
 - Blader door *BiNaS*. Misschien vind je daarin het antwoord. Lees de vraag nog een keer en maak een keuze.
- In ronde 3 beantwoord je de vragen waarbij je geen idee hebt wat het goede antwoord is. Je móét kiezen: als je dat niet doet, krijg je sowieso geen punten voor de vraag.

Controleer achteraf altijd of je alle vragen hebt beantwoord. Verbeter niets meer, tenzij je het heel zeker weet. Als je op het eind van je examen nog antwoorden verbetert, doe je dat vaak uit onzekerheid of stress. Je neemt dan geen goede beslissingen meer. Vertrouw dus op je eerste ingeving. Deze blijkt vaak de juiste te zijn.

Belangrijk is ook om te oefenen met meerkeuzevragen in oude examens of in de *Test jezelfs*. Hoe meer je oefent, hoe beter je erin wordt. Je raakt gewend aan de manier van vragen stellen en het kiezen van het juiste antwoord.

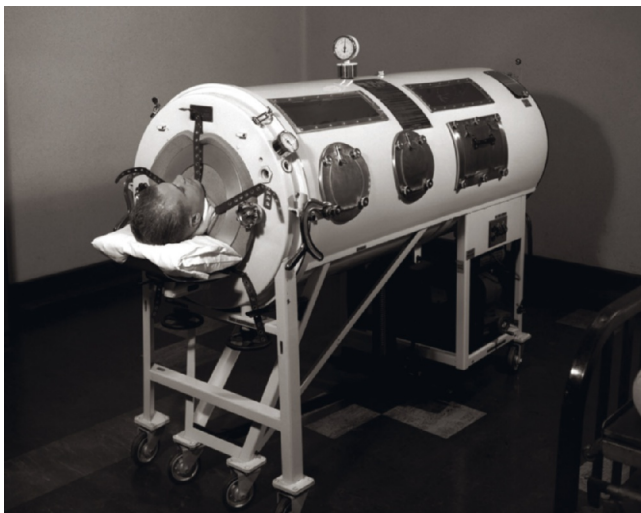
VOORBEELDOPGAVE

PLANTEN MAKEN EEN NIEUW POLIOVACCIN

Naar: examen 2022-3.

Polio kan leiden tot verlamming van de ademhalingsspieren. In de vorige eeuw werden poliopatiënten die niet meer zelfstandig konden ademen in een 'ijzeren long' geplaatst. Dit is een luchtdichte stalen buis met een isolatie-ring rond de nek van de patiënt (afbeelding 13). Door de luchtdruk in de buis te regelen kan de werking van de ademhalingsspieren worden overgenomen.

■ **Afb. 13** Een ijzeren long.



Moet de borstholte worden vergroot of verkleind om werking van de middenrifspieren na te bootsen? En moet de druk in de ijzeren long daarvoor worden verhoogd of verlaagd?

	borstholte moet worden vergroot	druk in de ijzeren long moet worden
A	vergroot	verhoogd
B	vergroot	verlaagd
C	verkleind	verhoogd
D	verkleind	verlaagd

Uitwerking

Je weet het antwoord niet meteen, dus je kiest ervoor om deze vraag in ronde 2 opnieuw te bekijken. Als je de vraag in ronde 2 bekijkt, bedenk je dat de longen in elkaar zakken als de spieren niet functioneren. De longen zijn dan op zijn kleinst. Om te kunnen ademen, moeten de longen dus worden vergroot. Antwoorden C en D vallen dus af. De mond ligt buiten de long. Om de longen uit te laten zetten, moet de luchtdruk in de ijzeren long lager zijn dan in de long. Dat betekent dus dat de druk in de ijzeren long verlaagd moet worden. Je kiest dus antwoord B. Dit antwoord blijkt juist te zijn.

OEFENOPGAVE

BRUINVIS WERD RIVIERBEWONER

Naar: examen 2022-2.

Bij de zoutwaterbruinvissen draagt uitscheiding van ureum bij aan het handhaven van hun osmotische waarde.

TIP: Gebruik ronde 2 van de rondenmethode als je het antwoord op deze vraag niet zeker weet.

- 2p **1** Is het milieu waarin zoutwaterbruinvissen leven hypertoon of hypotoon? En hoe verandert de verhoogde uitscheiding van ureum de osmotische waarde van het interne milieu?

	omgeving is	door uitscheiding ureum wordt osmotische waarde interne milieu
A	hypertoon	verhoogd
B	hypertoon	verlaagd
C	hypotoon	verhoogd
D	hypotoon	verlaagd

Het antwoord op deze oefenopgave vind je aan het eind van de *Examentrainer*.

5 LEREN VOOR HET CENTRAAL EXAMEN

Je voorbereiden op het eindexamen is anders dan je voorbereiden op een toets, proefwerk of schoolexamen. Dat komt vooral doordat de leerstof voor het examen heel omvangrijk is. Het is daarom belangrijk een goede planning te maken. En bedenk hierbij: biologie is waarschijnlijk niet je enige examenvak.

Je voorbereiden op het examen kan op verschillende manieren:

- Lees de basisstof van een thema door. Maak op het eind voor jezelf een woordweb of een samenvatting. Doe dit met alle thema's die je moet leren voor het centraal examen.
- Lees de samenvattingen aan het eind van elk thema. Daarin is alle leerstof samengevat die je voor het examen moet kennen. Pas op: ook de stof voor het schoolexamen is in de samenvatting samengevat. Die stof hoeft je niet te kennen voor het centraal examen.
- Vraag of iemand je af en toe kan overhoren (zie afbeelding 14). Zo kun je erachter komen of je de leerstof beheerst.
- Overhoor jezelf als je dat liever doet. Een handig hulpmiddel daarbij zijn de leerdoelen aan het begin van elke basisstof. Als voorbeeld twee leerdoelen uit basisstof 3 van thema 7:

■ **Afb. 14** Overhoren kan op elk moment.



7.3.1 Je kunt de bouw en signaalverwerking van de verschillende typen neuronen beschrijven.

7.3.2 Je kunt de bouw, functies en werking van de verschillende delen van het zenuwstelsel beschrijven.

Gebruik deze leerdoelen om jezelf vragen te stellen: Welke typen neuronen zijn er? Hoe zijn neuronen opgebouwd? Wat zijn de verschillen tussen de verschillende typen neuronen? Wat gebeurt er in het zenuwstelsel als ik een vogel zie? En wat als ik tegen een bal trap? Uit welke delen bestaat het zenuwstelsel? Uit welke delen bestaan de hersenen? Wat is de functie van de verschillende delen van de hersenen?

- Bekijk online video's over de leerstof.

Bij alle manieren van voorbereiding is het belangrijk dat je regelmatig pauze neemt.

Achter in elk thema staan oude examenopgaven. Hiermee kun je per leerstofonderdeel oefenen voor je examen. Op de site examenblad.nl vind je oude examens, met ook de antwoorden en correctievoorschriften. Hiermee kun je oefenen als je de leerstof uit alle thema's hebt doorgenomen.

6 ANTWOORDEN OEFENOPGAVEN

2 BiNaS gebruiken

- 2p 1 Noteer de nummers 1 tot en met 4 onder elkaar op je antwoordblad en schrijf erachter of het proces wel of niet toeneemt in koraaldiertjes met hun symbionten als de watertemperatuur stijgt.
- 1 niet
2 niet
3 wel
4 wel
(BiNaS tabel 93G)
- 2p 2 Zet de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar op je antwoordblad en noteer erachter of de betreffende omzetting wel of niet door enzymen uit alvleessap wordt bewerkstelligd.
- 1 wel
2 niet
3 wel
(BiNaS tabel 82E)
- 2p 3 Wat is de functie van een promotor? En waar in het K2-genconstruct is een promotor aanwezig?
- A
(BiNaS tabel 71F)
- 2p 4 Welk type witte bloedcellen is dit?
- A cytotoxische T-cellen
B fagocyten
C T-helpercellen
D plasmacellen
B
(BiNaS tabel 84J)

3 Open vragen

- 2p 1 Licht toe dat dit antivrieseiwit zowel een hydrofiele als een hydrofobe zijde nodig heeft om functioneel te kunnen zijn.
- Stap 1** Selecteer de vraag.
Licht toe dat dit antivrieseiwit zowel een hydrofiele als een hydrofobe zijde nodig heeft om functioneel te kunnen zijn.
- Stap 2** Vervang de verwijswwoorden.
De vraag / opdracht bevat geen verwijswwoorden.

Stap 3 Markeer het opdrachtwoord.

Licht toe dat dit antivrieseiwit zowel een hydrofiele als een hydrofobe zijde nodig heeft om functioneel te kunnen zijn.

Stap 4 Markeer de begrippen.

Licht toe dat dit **antivrieseiwit** zowel een **hydrofiele** als een **hydrofobe** zijde nodig heeft om functioneel te kunnen zijn.

Stap 5 Omschrijf de begrippen.

- Antivrieseiwit: door mutaties zijn er variaties binnen de soort ontstaan
- Hydrofiel: aangetrokken tot water
- Hydrofoob: waterafstotend

Stap 6 Formuleer het antwoord.

- De hydrofiele zijde is nodig voor de binding aan het ijskristal (met behulp van waterstofbruggen).
- De hydrofobe zijde is nodig om watermoleculen af te stoten. Of: de hydrofobe zijde is nodig om te voorkomen dat het ijskristal kan groeien.

2p 2

- Noteer zo'n anatomisch verschil.
- Verklaar aan de hand daarvan waardoor de kans op een blaasontsteking bij vrouwen groter is dan bij mannen.

Stap 1 Selecteer de vraag.

- Noteer zo'n anatomisch verschil.
- Verklaar aan de hand daarvan waardoor de kans op een blaasontsteking bij vrouwen groter is dan bij mannen.

Stap 2 Vervang de verwijzwoorden.

- Noteer een anatomisch verschil in de bouw van de urogenitale organen van mannen en vrouwen.
- Verklaar aan de hand van het anatomisch verschil waardoor de kans op een blaasontsteking bij vrouwen groter is dan bij mannen.

Stap 3 Markeer het opdrachtwoord.

- **Noteer** een anatomisch verschil in de bouw van de urogenitale organen van mannen en vrouwen.
- **Verklaar** aan de hand van het anatomisch verschil waardoor de kans op een blaasontsteking bij vrouwen groter is dan bij mannen.

Stap 4 Markeer de begrippen.

- Noteer een anatomisch verschil in de bouw van de **urogenitale organen** van mannen en vrouwen.
- Verklaar aan de hand van het anatomisch verschil waardoor de kans op een blaasontsteking bij vrouwen groter is dan bij mannen.

Stap 5 Omschrijf de begrippen.

- Urogenitale organen: alle organen van het urinewegstelsel en het voortplantingsstelsel

Stap 6 Formuleer het antwoord.

- De plasbuis is bij vrouwen veel korter dan bij mannen, waardoor de afstand tot de blaas voor bacteriën veel korter is.

Of:

- De opening van de urinebuis ligt bij vrouwen dicht bij de anus, waardoor darmbacteriën deze opening gemakkelijker zullen bereiken.

- 1p **3** Verklaar deze hogere enzymactiviteit van *S. thermophilus* op moleculair niveau.

Stap 1 Selecteer de vraag.

- Verklaar deze hogere enzymactiviteit van *S. thermophilus* op moleculair niveau.

Stap 2 Vervang de verwijswwoorden.

- Verklaar op moleculair niveau dat de enzymactiviteit van *S. thermophilus* samen met *L. bulgaricus* hoger is dan van *S. thermophilus* alleen.

Stap 3 Markeer het opdrachtwoord.

- **Verklaar** op moleculair niveau dat de enzymactiviteit van *S. thermophilus* samen met *L. bulgaricus* hoger is dan van *S. thermophilus* alleen.

Stap 4 Markeer de begrippen.

- Verklaar op **moleculair niveau** dat de **enzymactiviteit** van *S. thermophilus* samen met *L. bulgaricus* hoger is dan van *S. thermophilus* alleen.

Stap 5 Omschrijf de begrippen.

- Enzymactiviteit: snelheid waarmee een enzym een scheikundige reactie uitvoert
- Moleculair niveau: op het niveau van moleculen
- *S. thermophilus*: melkzuurbacterie die voornamelijk exopeptidasen produceert
- *L. bulgaricus*: melkzuurbacterie die voornamelijk endopeptidasen produceert

Stap 6 Formuleer het antwoord.

Voorbeelden van juiste antwoorden:

- Dankzij de endopeptidasen zijn er meer uiteinden van peptideketens voor de exopeptidasen.
- Er ontstaan sneller uiteinden van peptideketens.
- *L. bulgaricus* creëert substraat voor *S. thermophilus*.

- 2p **4** Licht toe dat zowel verandering 1 als verandering 2 gunstig is voor de foetus.

Stap 1 Selecteer de vraag.

- Licht toe dat zowel verandering 1 als verandering 2 gunstig is voor de foetus.

Stap 2 Vervang de verwijswwoorden.

- Licht toe dat het verliezen van het spierweefsel in de slagadertjes in de decidua van de moeder gunstig is voor de foetus.
En licht toe dat het gunstig is voor de foetus dat placentahormonen de moeder minder gevoelig maken voor insuline.

Stap 3 Markeer het opdrachtwoord.

- **Licht toe** dat het verliezen van het spierweefsel in de slagadertjes in de decidua van de moeder gunstig is voor de foetus.
En **licht toe** dat het gunstig is voor de foetus dat placentahormonen de moeder minder gevoelig maken voor insuline.

Stap 4 Markeer de begrippen.

- Licht toe dat het verliezen van het spierweefsel in de slagadertjes in de decidua van de moeder gunstig is voor de foetus.
En licht toe dat het gunstig is voor de foetus dat placentahormonen de moeder minder gevoelig maken voor insuline.

Stap 5 Omschrijf de begrippen.

- decidua: een cellaag waarin het embryo zich kan innestelen
- foetus: een onvoldragen menselijk of dierlijk wezen in het stadium waarin gelijkenis met het volwassen stadium gaat optreden
- insuline: hormoon dat ervoor zorgt dat koolhydraten de cellen in kunnen en niet achterblijven in het bloed
- placentahormonen: hormonen die de placenta produceert

Stap 6 Formuleer het antwoord.

Er stroomt meer bloed richting de placenta, waardoor er meer voedingsstoffen beschikbaar komen voor de foetus.

Door de ongevoeligheid van de moeder voor insuline, stijgt het bloedsuikergehalte in het bloed van de moeder. Hierdoor is er meer glucose beschikbaar voor de foetus.

- 2p **5**
- Licht toe welke baby PKU heeft.
 - Geef een verklaring voor het normale tyrosinegehalte bij deze baby.

Stap 1 Selecteer de vraag.

- Licht toe welke baby PKU heeft.
- Geef een verklaring voor het normale tyrosinegehalte bij deze baby.

Stap 2 Vervang de verwijswaarden.

- Licht toe welke baby PKU heeft.
- Geef een verklaring voor het normale tyrosinegehalte bij de baby die PKU heeft.

Stap 3 Markeer het opdrachtwoord.

- **Licht toe** welke baby PKU heeft.
- **Geef** een verklaring voor het normale tyrosinegehalte bij de baby die PKU heeft.

Stap 4 Markeer de begrippen.

- Licht toe welke baby PKU heeft.
- Geef een verklaring voor het normale tyrosinegehalte bij de baby die PKU heeft.

Stap 5 Omschrijf de begrippen.

- PKU: fenyketonurie, chromosoomafwijking waardoor het aminozuur fenyalanine niet omgezet kan worden in tyrosine en daardoor ophoopt
- tyrosinegehalte: aandeel tyrosine in het bloed

Stap 6 Formuleer het antwoord.

- Phe/fenylalanine kan niet worden afgebroken als iemand PKU heeft. Dit betekent dat het gehalte Phe/fenylalanine hoger is bij iemand met PKU dan bij iemand zonder PKU. Bij baby 1 is de piek het hoogst. Baby 1 heeft dus PKU.
- In moedermelk zitten aminozuren en ook tyrosine. De baby krijgt dus voldoende tyrosine binnen via de moedermelk.

- 1p **6** Noteer de naam van de techniek waarmee een kleine hoeveelheid DNA wordt vermeerderd.

PCR / polymerase-kettingreactie(-techniek)

- 3p **7**
- Laat aan de hand van berekeningen zien dat in dit cohort tijdens een epidemie inderdaad meer gevaccineerde kinderen ziek kunnen worden dan niet-gevaccineerde kinderen.
 - Licht toe dat dit als argument tegen vaccinatie niet houdbaar is.

Stap 1 Markeer de gegevens.

- Door tegenstanders van vaccinatie wordt soms het argument gebruikt dat bij een mazelenepidemie meer gevaccineerde kinderen de ziekte krijgen dan niet-gevaccineerde kinderen. Ga uit van een **geboortecohort (jaargroep) van tweehonderdduizend kinderen**. Van deze kinderen wordt **93% gevaccineerd** en het vaccin geeft in **92% van de toedieningen** een effectieve bescherming tegen mazelen.

Stap 2 Neem de gegevens over.

- totaal aantal kinderen = 200 000
- percentage gevaccineerden = 93%
- percentage effectief beschermden = 92%

Stap 3 Maak de berekening.

- Niet gevaccineerd: $(100\% - 93\%) \times 200\,000 = 14\,000$
- Wel gevaccineerd en onbeschermd: $93\% \times 200\,000 \times (100\% - 92\%) = 14\,880$

Voorbeelden van een juiste toelichting:

- Het overige en veel grotere deel van de kinderen is door vaccinatie wel beschermd.
- Door vaccinatie zijn $(200\,000 - 14\,000 - 14\,880 =)$ 171 120 kinderen van dit cohort wel beschermd bij een mazelenepidemie.
- Hoe meer kinderen niet gevaccineerd zijn, hoe meer niet-gevaccineerde kinderen ziek zullen worden.

4 Meerkeuzevragen

- 2p **1** Is het milieu waarin zoutwaterbruinvissen leven hypertoon of hypotoon? En hoe verandert de verhoogde uitscheiding van ureum de osmotische waarde van het interne milieu?

B

REGISTER

A		
aangeboren afweersysteem	219	
ABO-systeem	247	
acceptor	244	
actief transport	37	
actieve immuniteit	240	
ademhalingscentrum	158	
ademhalingsspier	153	
ader	96	
aderklep	105	
ADH	175	
afweer, chemische	211	
afweer, mechanische	211	
afweersysteem, aangeboren	219	
afweersysteem, verworven	219	
allergie	232	
alvleesklier	24	
aminozuur	11	
aminozuur, essentieel	11	
aminozuur, niet-essentieel	11	
antibioticum	214	
antidiuretisch hormoon (ADH)	175	
antigeen	225	
antistof	230	
AV-knoop (atriumventrikelknoop)	91	
B		
bacterie	213	
B-cel	220	
beenmerg	219	
beenmerg, rood	73	
bilirubine	164	
bloed, samenstelling van het	72	
bloedcel, rode	74	
bloedcel, witte	75	
bloeddruk	107	
bloedplaatje	75	
bloedplasma	72	
bloedsomloop	81	
bloedsomloop, dubbele	83	
bloedsomloop, enkele	81	
bloedsomloop, gesloten	81	
bloedsomloop, grote	83	
bloedsomloop, kleine	83	
bloedstolling	75	
bloedtransfusie	247	
bloedvatenstelsel	97	
boezem	81	
bohreffect	144	
borstbuis	116	
bouwstof	10	
bovendruk	107	
Bowman, kapsel van	171	
brandstof	10	
bronchiën	140	
bufferende werking van hemoglobine en natrium- waterstofcarbonaat	176	
bundel van His	91	
C		
cellulaire respons	228	
cellulose	12	
chemische afweer	211	
chemische vertering	22	
chemoreceptor	158	
cholesterol	13	
circulatiesysteem, open	81	
colloïd-osmotische druk	115	
cytokine	221	
cytotoxische T-cel	227	
D		
darm, dikke	41	
darm, dunne	37	
darm, twaalfvingerige	23	
darmbacterie	41	
darmperistaltiek	21	
darmvlok	37	
diastole	89	
diffusie	141	
dikke darm	41	
disacharide	11	
dode ruimte	157	
donor	244	
drukreceptor	110	
dubbele bloedsomloop	83	
ductus Botalli	99	
dunne darm	37	
E		
ecg	90	
eiwit	10	
eiwitmantel	213	
eiwitvertering, enzym voor	29	
elektrocardiogram (ecg)	90	
emulgeren	24	
endeldarm	41	
enkele bloedsomloop	81	
enzym voor eiwitvertering	29	
enzym voor koolhydraatvertering	29	
enzym voor vetvertering	29	
essentieel aminozuur	11	
F		
Fick, wet van	142	
filtratiedruk	114	
foramen ovale	99	
G		
gal	24	
galblaas	24	
galkleurstof	24	
galzout	24	
gaswisseling	138	
gesloten bloedsomloop	81	
glomerulus	171	
glycerolmolecuul	12	
grote bloedsomloop	83	
H		
haarvat	96	
hart	87	
hartklep	88	
hartslagfrequentie	91	
hemoglobine	75	
hemoglobine, bufferende werking van	176	
His, bundel van	91	
hormoon, antidiuretisch (ADH)	175	
huid	183	
humorale respons	230	
I		
immuniteit, actieve	240	
immuniteit, kunstmatige	238	
immuniteit, natuurlijke	238	
immuniteit, passieve	240	
interpleurale ruimte	154	
inwendig milieu	163	
K		
kamer	81	
kapsel van Bowman	171	
kleine bloedsomloop	83	
koolhydraat	11	

koolhydraatvertering, enzym voor.....	29	O		U	
koolstofdioxideconcentratie (koolstofdioxidedruk).....	141	oedeem.....	117	uitscheiding.....	138
koolstofdioxidetransport.....	75	onderdruk.....	107	ultrafiltratie.....	172
kransader.....	87	open circulatiesysteem.....	81	ureum.....	165
kransslagader.....	87	osmotische waarde.....	174	urine.....	171
kringspier.....	21	P		urineblaas.....	171
kunstmatige immuniteit.....	238	parasiet.....	214	V	
L		passieve immunisatie.....	240	vaccinatie.....	238
lengtespier.....	21	plasmacel.....	229	ventilatiebeweging.....	154
lever.....	162	polysacharide.....	11	vertering.....	21
leverlobje.....	162	preventie.....	45	vertering, chemische.....	22
lichaamseigen.....	212	pro-enzym.....	30	vertering, mechanische.....	22
lichaamsvreemd.....	212	R		verteringsproduct.....	21
long.....	138	reabsorptie.....	173	verteringssap.....	22
longblaasje.....	141	reservestof.....	10	verworven afweersysteem.....	219
longcapaciteit.....	157	resistentie.....	214	verzadigingscurve.....	144
longventilatie.....	153	resorptie.....	38	vet.....	12
luchtpijp.....	140	respons, cellulaire.....	228	vetvertering, enzym voor.....	29
lymfe.....	116	respons, humorale.....	230	vetzuurmolecuul.....	12
lymfeknoop.....	116	restvolume.....	157	virus.....	213
lymfesysteem.....	116	resusfactor.....	248	vitale capaciteit.....	157
lymfevat.....	116	rode bloedcel.....	74	voedingsstof.....	10
M		rood beenmerg.....	73	voedingsvezel.....	12
maag.....	23	S		voorurine.....	172
macrofaag.....	221	samenstelling van het bloed.....	72	W	
mechanische afweer.....	211	schimmel.....	214	waterhuishouding.....	175
mechanische vertering.....	22	sinusknoop.....	91	weefselvloeistof.....	114
mestcel.....	221	slagader.....	96	wet van Fick.....	142
MHC-I-receptor.....	226	slagvolume.....	92	witte bloedcel.....	75
MHC-II-receptor.....	226	slijmvlies.....	210	Z	
milieu, inwendig.....	163	slok darm.....	22	zetmeel.....	11
monosacharide.....	11	speekselklier.....	30	zuurstofconcentratie (zuurstofdruk).....	141
myoglobine.....	144	spijsvertering.....	21	zuurstofdruk.....	141
N		systole.....	89	zuurstoftransport.....	75
natriumwaterstofcarbonaat, bufferende werking van.....	176	T		zweet.....	185
natuurlijke immuniteit.....	238	T-cel.....	220	zweetklier.....	184
nier.....	170	T-cel, cytotoxische.....	227		
nierbuisje.....	171	tegenstroomprincipe.....	146		
niereenheid.....	171	temperatuurregulatie.....	184		
niermerg.....	171	terugresorptie (reabsorptie).....	173		
nierschors.....	171	T-helpercel.....	227		
niet-essentieel aminozuur.....	11	transplantatie.....	244		
		transport, actief.....	37		
		twaaalfvingerige darm.....	23		

COLOFON

ONTWERP BINNENWERK

Bianca Enthoven

EINDREDACTIE

Claud Biemans
Arthur Jansen

BUREAU REDACTIE

Maurice Breugelmans
Ivonne Hermens

ONTWERP OMSLAG

Michael Brugmans (Kimmic
concept & design)
Bianca Enthoven

AUTEURS

Carin van Haren
Arthur Jansen
Sander Michon
Sjon van de Sant
Elke de Schrevel
Michelle Sparnaaij

BEELDRESEARCH

BenU International Picture
Service, Amsterdam

UITVOERING BINNENWERK

Crius Group

FOTO'S EN ILLUSTRATIES

Omslag: Rebecca Cole / Alamy / Image Select

123RF, Csaba Deli: blz. 255 (inzet); **Angel Photography**: blz. 53; **ANP**, Arie Kievit: blz. 47 (42), Persbureau Meter: blz. 246 (40 r), Robin Utrecht: blz. 71, Venema Media: blz. 246 (40 l); **ANP / Science Photo Library**, Biophoto Associates: blz. 16, CNRI: blz. 105 (38.1), Martin Dohrn: blz. 78 (8), Dennis Kunkel Microscopy: blz. 75 (6), Steve Gschmeissner: blz. 139 (3), 209, Gerd Guenther: blz. 80 (11.1), Life in View: blz. 95, London School of Hygiene & Tropical Medicine: blz. 212 (2.4), Alfred Pasieka: blz. 134, Reich Lab, NIH / National Institute of Neurological Disorders and Stroke: blz. 119, Webpathology: blz. 27; **ANP Foto**, Ben Stockphotos: blz. 310, Flip Franssen: blz. 288; **Aquaculture Stewardship Council (ASC)**, Utrecht: blz. 49 (6); **Climate Neutral Group**, Utrecht: blz. 49 (11); **CMA**, Amsterdam: blz. 255; **CvTE**, Examen VWO 2022, tijdvak 2: blz. 289, Examen VWO 2022, tijdvak 3: blz. 307; **Jan Daanen / Medilan**, Maastricht: blz. 147; **Martin Dijkstra / Sanquin**: blz. 79; **Erik Eshuis Infographics**, Groningen: blz. 12 (4), 17, 25, 32, 33 (28, 29), 34 (31), 38 (34), 74 (4), 81 (12.1, 12.2), 82, 89, 98, 107, 115 (50), 143 (7), 155, 156 (22), 157 (24), 160 (28), 167, 177, 180, 233, 234 (28), 249 (44), 261, 274 (7), (bewerking: Jeannette Steenmeijer, Zwolle): blz. 40; **Fairtrade Nederland**, Utrecht: blz. 49 (8); **Flickr CC BY 2.0 Deed** <https://www.flickr.com/photos/jwilde/4173531394/>, Jon: blz. 160 (29); **Sammy Florczak en Riccardo Levato**, UMC Utrecht: blz. 169; **Getty Images**, H. Armstrong Roberts / ClassicStock: blz. 308; **ImageSelect / Imago / BSIP**, Image Point FR: blz. 202, Science Source, M. I. Walker: blz. 80 (11.2), Westend61, Lisa Bahn Müller: blz. 8; **Van der Lans AA, Hoeks J, Brans B, Vijgen GH, Visser MG, Vosselman MJ, Hansen J, Jorgensen JA, Wu J, Mottaghy FM, Schrauwen P & van Marken Lichtenbelt WD** (2013) 'Cold acclimation recruits human brown fat and increases nonshivering thermogenesis.' *The Journal of clinical investigation* 123, 3395-3403: blz. 52; **Marine Stewardship Council**, Den Haag: blz. 49 (5); **Medical Visuals / Maartje Kunen**, Arnhem: blz. 21, 23 (16), 26, 31 (25), 38 (33), 41, 43, 65 (1), 67, 73 (1), 75 (5), 76, 83, 88 (20, 21), 90 (23, 24), 91, 94 (29), 96, 97, 99, 102, 103, 105 (38.2, 39), 108 (41), 109, 110 (44), 111, 113, 115 (49), 116 (51, 52), 123, 130, 131, 139 (1, 2), 140 (3, 4), 141, 143 (6, 8, 9), 145, 151, 153, 154, 156 (23), 158, 163, 171 (41, 42), 173, 176, 178, 179 (48.1), 183, 184 (53-55), 203 (2, 3), 204, 211, 213, 220 (8, 9), 221 (10), 222 (12, 13), 224, 226 (15-17), 227, 228 (19), 229, 230 (22, 23), 231, 232, 235, 245 (38, 39), 247 (41), 248, 249 (45), 263, 264, 266, 275, 278, 279; **Merlijn Michon Fotografie**, Amsterdam: blz. 11 (1), 12 (3), 14 (5), 15 (7, 8), 24 (18); **Rainforest Alliance**, Amsterdam: blz. 49 (10); **Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu**: blz. 239, (bewerking: Jeannette Steenmeijer, Zwolle): blz. 217 (6.2); **Ed van Rijswijk**, in opdracht van de Universiteit Utrecht: blz. 236; **Roundtable on Sustainable Palm Oil / www.rspo.org**: blz. 49 (7); **Shutterstock / 24K-Production**: blz. 120, 365 Focus Photography: blz. 136, 3d_man: blz. 268 (3), Aleksandr Yu: blz. 161, AManias: blz. 283, Antonina Vlasova: blz. 55, belizar: blz. 86 (17), Ben Schonewille: blz. 162, Bits And Splits: blz. 272 (4), Blamb: blz. 132, Bolyuk Studio: blz. 218, Captain Wang: blz. 68, Connect Images - Curated: blz. 206, Davide Calabresi: blz. 212 (2.1), Dhujmontra: blz. 291 (3 m), dropStock: blz. 286, DWaschnig: blz. 187, Evita Aurelia: blz. 20, Garsya: blz. 268 (18), Ground Picture: blz. 108 (42), 268 (5), i am adventure: blz. 268 (8), Imagine Earth Photography: blz. 188, JabaWeba: blz. 238 (32), Jose Luis Calvo: blz. 268 (17), 268 (2), JPC-PROD: blz. 238 (33), Juan Gaertner: blz. 243, kai keisuke: blz. 36, khlungcenter: blz. 221 (11), LeManilo: blz. 268 (11), leungchopan: blz. 28, LightField Studios: blz. 234 (27), Lotus_studio: blz. 268 (14), Mark_Kostich: blz. 241, max dallocco: blz. 268 (6),

Microgen: blz. 252, Mr. Mixers Stock: blz. 44, MZPHOTO.CZ: blz. 268 (12), Nixx Photography: blz. 74 (3), Nomad_Soul: blz. 6, Nynke van Holten: blz. 273, Peakstock: blz. 191, Peddalanka Ramesh Babu: blz. 228 (20), Photo Win1: blz. 212 (2.3), Pixel-Shot: blz. 215 (5), 251, PJs Panda: blz. 117, Radu Razvan: blz. 70, Rattiya Thongdumhyu: blz. 215 (4), 291 (3 l, r), Rido: blz. 125, Rodica Ciorba: blz. 268 (10), romakhan3595: blz. 268 (4), Sebastian Kaulitzki: blz. 118, Sk Hasan Ali: blz. 268 (9), Stephane Bidouze: blz. 146 (13.3), Steven Phraner: blz. 268 (15), Sunisa Butphet: blz. 247 (42), sunnychicka: blz. 268 (7), Tatjana Baibakova: blz. 11 (2), tonyzhao120: blz. 268 (13), Videologia: blz. 268 (1), Vink Fan: blz. 268 (16), Wild Whimsy Designs: blz. 182 (50), YuliaTroizk: blz. 190, Zay Nyi Nyi: blz. 212 (2.2); **SMK**, Den Haag: blz. 49 (4); **Jeannette Steenmeijer**, Zwolle: blz. 9, 14 (6), 19, 22, 23 (15), 24 (17), 29, 30, 31 (26), 34 (30), 39, 47 (41), 48, 51, 56, 65 (2), 78 (9), 85, 86 (18), 92, 93, 94 (28), 101, 110 (45), 144, 146 (13.1), 148, 149 (16, 17), 157 (25), 170, 174, 179 (48.2), 182 (51), 186, 196, 205, 217 (6.1), 237, 240, 257, 274 (6), 281, 284, 291 (4), 293, 295, 299, 300, 302, 303; **Stichting Demeter**, Driebergen: blz. 49 (1); **Sustainable Rice Platform (SRP)** / www.sustainablerice.org: blz. 49 (9); **Paul Veenvliet**, Ljubljana: blz. 282; **Voedingscentrum**: blz. 46; **Henk van der Vrande**: blz. 73(2), 87, 146 (13.2), 271; **Edwin Verbaal** / **Verbaal Visuele Communicatie**, Nijmegen: blz. 272 (3), 292; **Rosanne van der Wijngaart**, Arnhem: blz. 81 (13); www.dierenbescherming.nl: blz. 49 (3); www.eko-keurmerk.nl: blz. 49 (2).

MALMBERG

ISBN 978 94 020 8571 6

Release 7.0, derde oplage



Alle rechten voorbehouden. Geen tekst- en datamining toegestaan. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp).

Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.
©2025 Malmberg 's-Hertogenbosch.

Ondanks vele inspanningen is het de uitgever misschien niet gelukt alle rechthebbenden te achterhalen. Wie denkt rechthebbende te zijn, kan zich wenden tot de uitgever.

Eindredactie

Claud Biemans
Arthur Jansen

Auteurs

Carin van Haren
Arthur Jansen
Sander Michon
Sjon van de Sant
Elke de Schrevel
Michelle Sparnaaij

Biologie voor jou voor de bovenbouw van het vwo bestaat uit vijf boeken. Je leert in klas 4, 5 en 6 onder andere over de ontwikkeling van organismen. Ook jij maakt een ontwikkeling door: van een beginnening tot iemand met een goede kennis van de biologie.



Merels verzamelen gras en takjes voor hun nest, de vrouwtjes bouwen het nest. Dat bouwen ze niet ver van de plek waar ze zelf zijn geboren. Stadsmierls broeden in maart, bosmierls in mei. Daarom gebeurt het niet vaak dat een stadsmierl en een bosmierl samen een nest maken. De erfelijke eigenschappen van mierls van stad en bos verschillen steeds meer van elkaar.



Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.



Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.



Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

Release 7.0



ISBN 978 94 020 8571 6



9 789402 085716

606850-03

MALMBERG