BVJ

BIOLOGIE VOOR JOU



MALMBERG

MAX

BIOLOGIE 5A

HAVO

NAAM EN KLAS

Bewaar dit boek! · Het bevat examenstof ·

BVJ

BIOLOGIE VOOR JOU

Biologie voor
de bovenbouw

5 HAVO

deel A

EINDREDACTIE

Claud Biemans
Marianne Gommers

AUTEURS

Carin van Haren
Sjon van de Sant
Elke de Schrevel

MAX RELEASE 7.0

Malmberg 's-Hertogenbosch
www.biologievoorjou.nl

Deel A

Thema 8

STOFWISSELING IN DE CEL

ORIËNTATIE

Koe neemt gas terug 8
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Chemie in cellen 10
2 Enzymen 16
3 Fotosynthese 23
4 Voortgezette assimilatie 28
5 Dissimilatie 36
6 Intensitieit van de stofwisseling 43

SAMENHANG

Energiecrisis 50

EXTRA STOF

Stofwisseling bij sport
Leren en werken

ONDERZOEK

Practica 52

AFSLUITING

Samenvatting 61
Examenopgaven 64

Thema 9

DNA

ORIËNTATIE

Kunnen we mammoeten terugbrengen? 72
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 DNA 74
2 DNA-replicatie (SE) 82
3 Eiwitsynthese 88
4 Genexpressie 96
5 Mutaties 103
6 DNA-technieken 111

SAMENHANG

DNA van oermens helpt modern immuunsysteem 120

EXTRA STOF

Erfelijke ziekten en afwijkingen bij de mens
Leren en werken

ONDERZOEK

Practica 122

AFSLUITING

Samenvatting 124
Examenopgaven 128

Thema 10

VOEDING EN VERTERING

ORIËNTATIE

Eten tegen ADHD 136
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Voedingsstoffen 138
2 Het verteringsstelsel 150
3 Chemische vertering 159
4 Resorptie 167
5 Gezonde voeding (SE) 174

SAMENHANG

Bacteriën houden je gezond 182

EXTRA STOF

Functionele voedingsmiddelen
Leren en werken

ONDERZOEK

Practica 184

AFSLUITING

Samenvatting 190
Examenopgaven 194

Register 200
Colofon 202

Deel B

Thema 11

TRANSPORT

ORIËNTATIE

Zij kunnen je bloed wel drinken
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Het bloed
2 Transportsystemen bij dieren
3 Het hart
4 De bloedvaten
5 Weefselvloeistof en lymfe

SAMENHANG

Sikkelcellen en malariaparasieten

EXTRA STOF

Lymfoedeem
Cardiofysiologisch laborant

ONDERZOEK

Practica

AFSLUITING

Samenvatting
Examenopgaven

Thema 12

GASWISSELING EN UITSCHEIDING

ORIËNTATIE

Een duik in het diepe
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Gaswisseling
2 Longventilatie
3 De lever
4 De nieren
5 De huid

SAMENHANG

De ultramarathon: sport of waanzin?

EXTRA STOF

Stofwisseling bij sport
Leren en werken

ONDERZOEK

Practica

AFSLUITING

Samenvatting
Examenopgaven

Thema 13

AFWEER

ORIËNTATIE

Björns wereldrecord
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Bescherming
2 Aangeboren en verworven afweer
3 Immuniteit
4 Transplantatie en bloedtransfusie

SAMENHANG

Waar komen nieuwe ziekten vandaan?

EXTRA STOF

Allergie
Een presentatie over xenotransplantatie of stamceltherapie

ONDERZOEK

Practica

AFSLUITING

Samenvatting
Examenopgaven

Thema 14

SAMENHANG IN DE BIOLOGIE

BASISSTOF

1 Energie, de basis van leven
2 Energie uit voedsel
3 De evolutie van energieopslag bij mensen
4 De energiestroom in een ecosysteem
5 Mensen beïnvloeden de energiebalans van de aarde

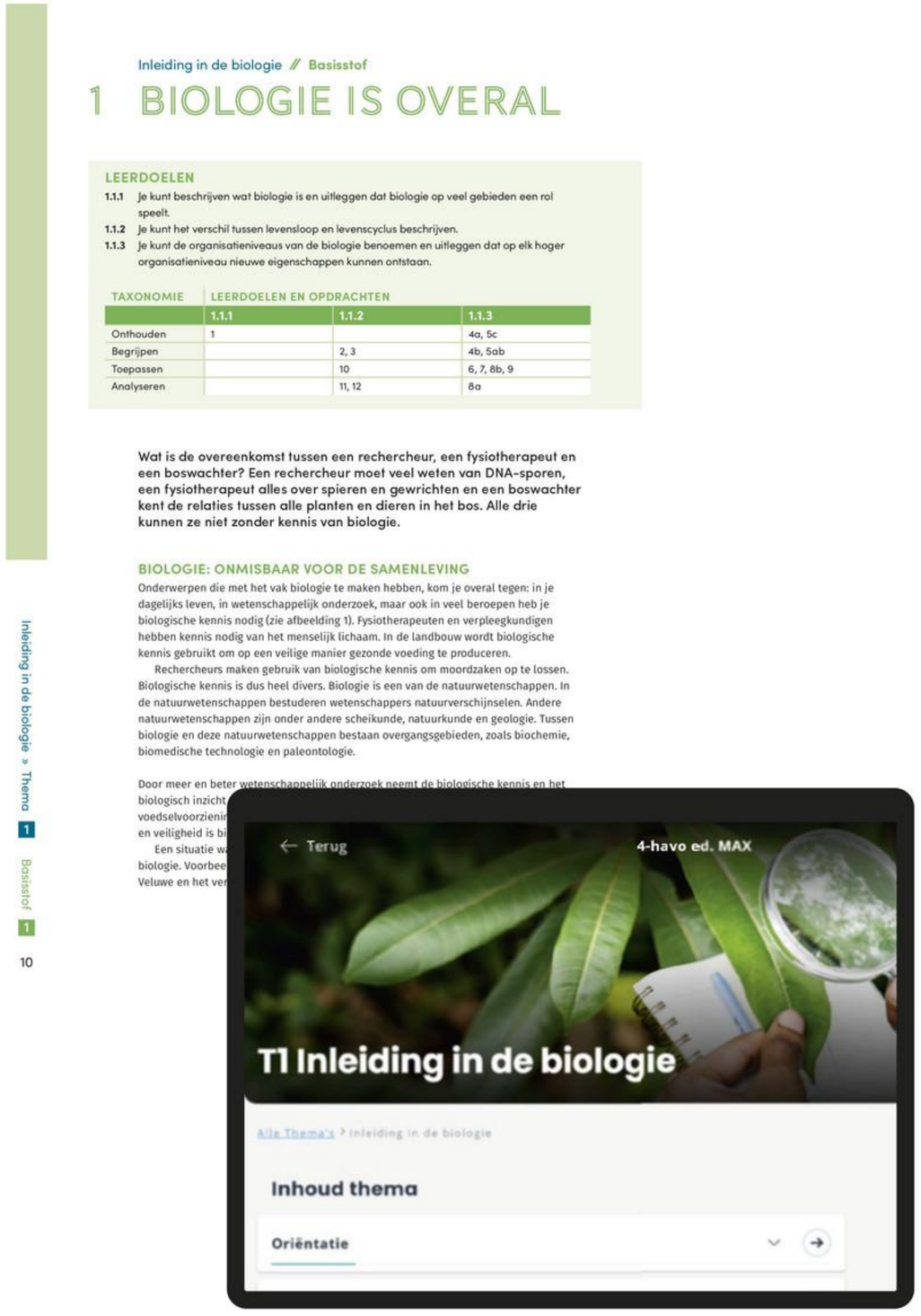
EXAMENTRAINER

1 Het centraal examen
2 *BiNaS* gebruiken
3 Open vragen
4 Meerkeuzevragen
5 Leren voor het centraal examen
6 Antwoorden oefenopgaven

EXAMENTRAINER

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 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 *Voorkennistoets* 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 organisatieniveaus. 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 14 *Samenhang in de biologie* leer je de samenhang tussen biologische eenheden en processen nog beter te begrijpen.



Inleiding in de biologie // Samenhang

DE GROTE SCHOONMAAK VAN DE OCEANEN

LEERDOELEN

1.S.1 Je kunt de schadelijke invloed van plastic toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

1.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair en/of ecologisch en/of vorm-functiedenken toepassen op de gevolgen van het plasticprobleem.

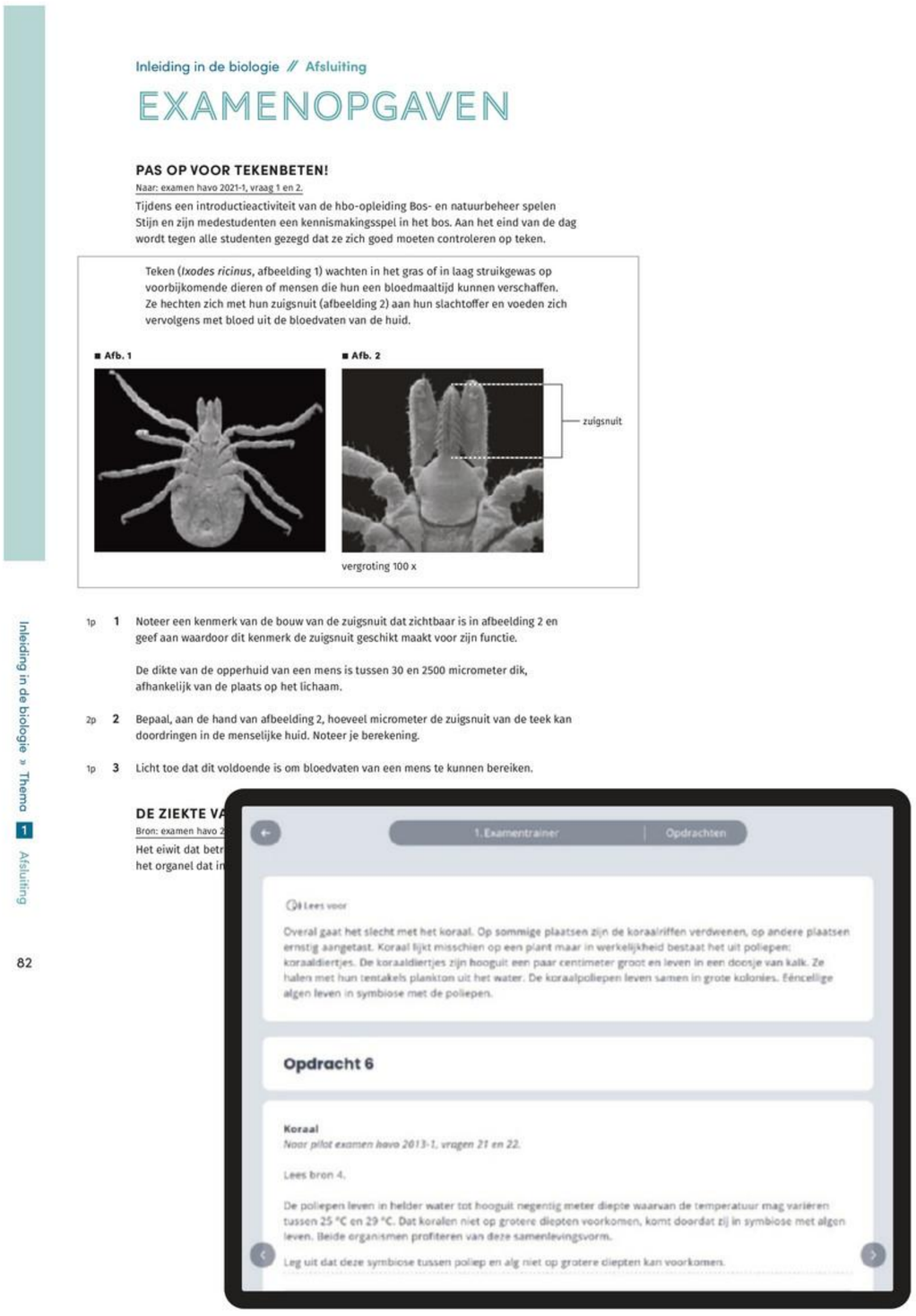
In 2019 werd meer dan twaalf miljoen ton plastic in zee gedumpt. Door zeestroming verzamelt het plastic zich in vijf grote gebieden in de oceanen. Het grootste gebied is de Great Pacific Garbage Patch, een gebied dat drie keer zo groot is als Frankrijk en 80 miljoen kilo plastic bevat (zie afbeelding 1).

Al dit plastic in zee is niet alleen lelijk, het kan ook schade toebrengen aan dieren en mensen. Dieren kunnen bijvoorbeeld verstrikt raken in netten en hierdoor verminkt raken of verdrinken (zie afbeelding 2). Een ander probleem is dat plastic niet afbreekbaar is. Door water, wind en uv-stralen worden plastic deeltjes steeds kleiner, maar ze verdwijnen niet. Als de deeltjes klein genoeg zijn, zien dieren ze vaak voor voedsel aan. Ze kunnen het plastic niet verteren of uitscheiden. Het bevat ook geen voedingsstoffen, daarom sterven de dieren door ondervoeding. Bijna alle zeevogels die dood worden gevonden hebben plastic in hun maag.

Als de plastic deeltjes kleiner zijn dan 5 millimeter noem je ze microplastics. Vaak zijn microplastics zo klein dat je ze niet met het blote oog kunt zien. Microplastics komen bijvoorbeeld ook vrij door slijtage van kleding. Daarnaast verwerkt de industrie microplastics in tandpasta en cosmetica.

Onderzoek wijst uit dat er ook microplastics in onze voedselketen zitten. Voedingsmiddelen zoals vissen, schelpdieren, water in petflesjes, honing, bier en zeezout blijken besmet met microplastics. Bij zwangere vrouwen werden microplastics in de placenta aangetroffen.

De vraag of microplastics schadelijk zijn, wordt onderzocht door toxicologen. Toxicologen zijn wetenschappers die de effecten van giftstoffen op organismen onderzoeken. Microplastics kunnen bijvoorbeeld ontstekingen van organen veroorzaken. In vissen werden microplastics aangetroffen in de hersenen, waardoor hun gedrag verand
lichaam, maar kun
Toen de 16-jar
zag dan vissen, be
voor zijn profielwe
In 2012 startte hij
ruimen. Na veel te
een V ontwikkeld.
afval opgevist. In
beginnen. Hopelij
genieten van scho



Inleiding in de biologie // Afsluiting

EXAMENOPGAVEN

PAS OP VOOR TEKENBETEN!

Naar: examen havo 2021-1, vraag 1 en 2.

Tijdens een introductieactiviteit van de hbo-opleiding Bos- en natuurbeheer spelen Stijn en zijn medestudenten een kennismakingsspel in het bos. Aan het eind van de dag wordt tegen alle studenten gezegd dat ze zich goed moeten controleren op teken.

Teken (*Ixodes ricinus*, afbeelding 1) wachten in het gras of in laag struikgewas op voorbijkomende dieren of mensen die hun een bloedmaaltijd kunnen verschaffen. Ze hechten zich met hun zuigsnuit (afbeelding 2) aan hun slachtoffer en voeden zich vervolgens met bloed uit de bloedvaten van de huid.

■ Afb. 1

■ Afb. 2

vergroting 100 x

1p **1** Noteer een kenmerk van de bouw van de zuigsnuit dat zichtbaar is in afbeelding 2 en geef aan waardoor dit kenmerk de zuigsnuit geschikt maakt voor zijn functie.

De dikte van de opperhuid van een mens is tussen 30 en 2500 micrometer dik, afhankelijk van de plaats op het lichaam.

2p **2** Bepaal, aan de hand van afbeelding 2, hoeveel micrometer de zuigsnuit van de teek kan doordringen in de menselijke huid. Noteer je berekening.

1p **3** Licht toe dat dit voldoende is om bloedvaten van een mens te kunnen bereiken.

DE ZIEKTE VA

Bron: examen havo 2

Het eiwit dat betr
het organel dat in

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 8

STOFWISSELING IN DE CEL

In alle levende cellen van een organisme zijn bouwstoffen en energie nodig. Hiervoor moeten organismen stoffen opnemen uit hun omgeving en die omzetten in andere stoffen (stofwisseling). Planten zetten water, koolstofdioxide en lichtenergie om in glucose. Glucose is een bouwstof en een energierijke stof. Dieren eten andere organismen en breken die af tot bouwstoffen en energierijke stoffen. De afvalproducten die ontstaan bij de stofwisseling in cellen worden afgegeven aan de omgeving.

Inhoud

ORIËNTATIE

Koe neemt gas terug 8
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Chemie in cellen 10
2 Enzymen 16
3 Fotosynthese 23
4 Voortgezette assimilatie 28
5 Dissimilatie 36
6 Intensiteit van de stofwisseling 43

SAMENHANG

Energiecrisis 50

EXTRA STOF

Stofwisseling bij sport
Leren en werken

ONDERZOEK

Practica 52

AFSLUITING

Samenvatting 61
Examenopgaven 64

KOE NEEMT GAS TERUG

Niet alleen de industrie is verantwoordelijk voor de toename van broeikasgassen. Ook de veehouderij draagt hieraan bij. Een koe produceert per jaar ongeveer 175 kg methaangas. Methaangas is een sterker broeikasgas dan koolstofdioxide. Als je methaangas opvangt en hergebruikt, kun je het broeikaseffect verminderen.

De bijdrage van de veehouderij aan het versterkte broeikaseffect is ongeveer 14,5%. Volgens de FAO (de *Food and Agriculture Organization* van de VN) komt dat grotendeels doordat bossen worden gekapt voor de productie van veevoer. Gekapte bomen kunnen geen koolstofdioxide meer uit de lucht opnemen. De methaanuitstoot van vee levert ook een grote bijdrage. Methaan is een broeikasgas dat 34 maal sterker is dan koolstofdioxide. Het meeste methaan ontstaat bij de vertering in de pens van de koe. Micro-organismen (archaea) helpen daar bij het verteren van vezelrijk voedsel. Hierbij ontstaat methaan, dat vervolgens via de bek (boeren) of anus van de koe ontsnapt.

Methaan (CH_4, aardgas, biogas) is een energierijk gas. Er zijn dan ook experimenten uitgevoerd om het koeiengas op te vangen in rugzakken en te gebruiken als brandstof (zie afbeelding 2). Op deze kleine schaal is dat echter niet rendabel. Het winnen van het gas uit een hele stal zou misschien wel rendabel kunnen zijn, maar dat levert weer explosiegevaar op. Ondertussen wordt van alles geprobeerd om de methaanuitstoot van koeien te verminderen.

Uit een onderzoek blijkt dat het toevoegen van methaanremmers aan voer, zoals nitraat (NO_3^-), een afname van 15 tot 30% oplevert. De onderzoekers hadden gehoopt dat die afname ten goede zou komen aan de melkproductie, maar dat was niet het geval. De dieren die methaanremmers kregen, groeiden wel sneller in vergelijking met de controlegroep.

Een andere mogelijkheid is om de dieren minder vezelrijk voedsel te geven. Je zou herkauwers meer in weiden met jong gras kunnen laten grazen. Jong gras is kort en heeft nog weinig lignine. Dat is de stof die de stengel verstevigt, maar die ook de verteerbaarheid van gras vermindert: hoe meer lignine, hoe meer methaan.

Ook kun je het aandeel zetmeel in het voedsel vergroten. In Nederland is daarom de afgelopen jaren meer snijmais door het voer gemengd. Maar te veel zetmeel is ook weer niet goed, want dan verzuurt de pens en dat vertraagt de vertering.

Nog een maatregel is het goed inkuilen van het voer. Als je gras te nat inkuilt, kan het gaan schimmelen. Bij beschimmeld voer verloopt de vergisting minder goed en neemt de koe minder voedingsstoffen uit het voer op. Dat is nadelig voor de melkproductie.

Door al deze maatregelen moet de methaanuitstoot van herkauwers met zeker 30 tot 40% terug zijn te brengen. Met anderhalf miljard koeien wereldwijd nemen die dan aardig wat gas terug.

■ **Afb. 1** Grazende koeien.



■ **Afb. 2** Koe met rugzak.



Opdrachten

1 Verklaar dat het gevaarlijk is om methaangas te verzamelen in een grote ruimte als een stal.

2 Behoren de bacteriën die in de pens van een koe leven tot de producenten, consumenten of reducenten? Leg je antwoord uit.

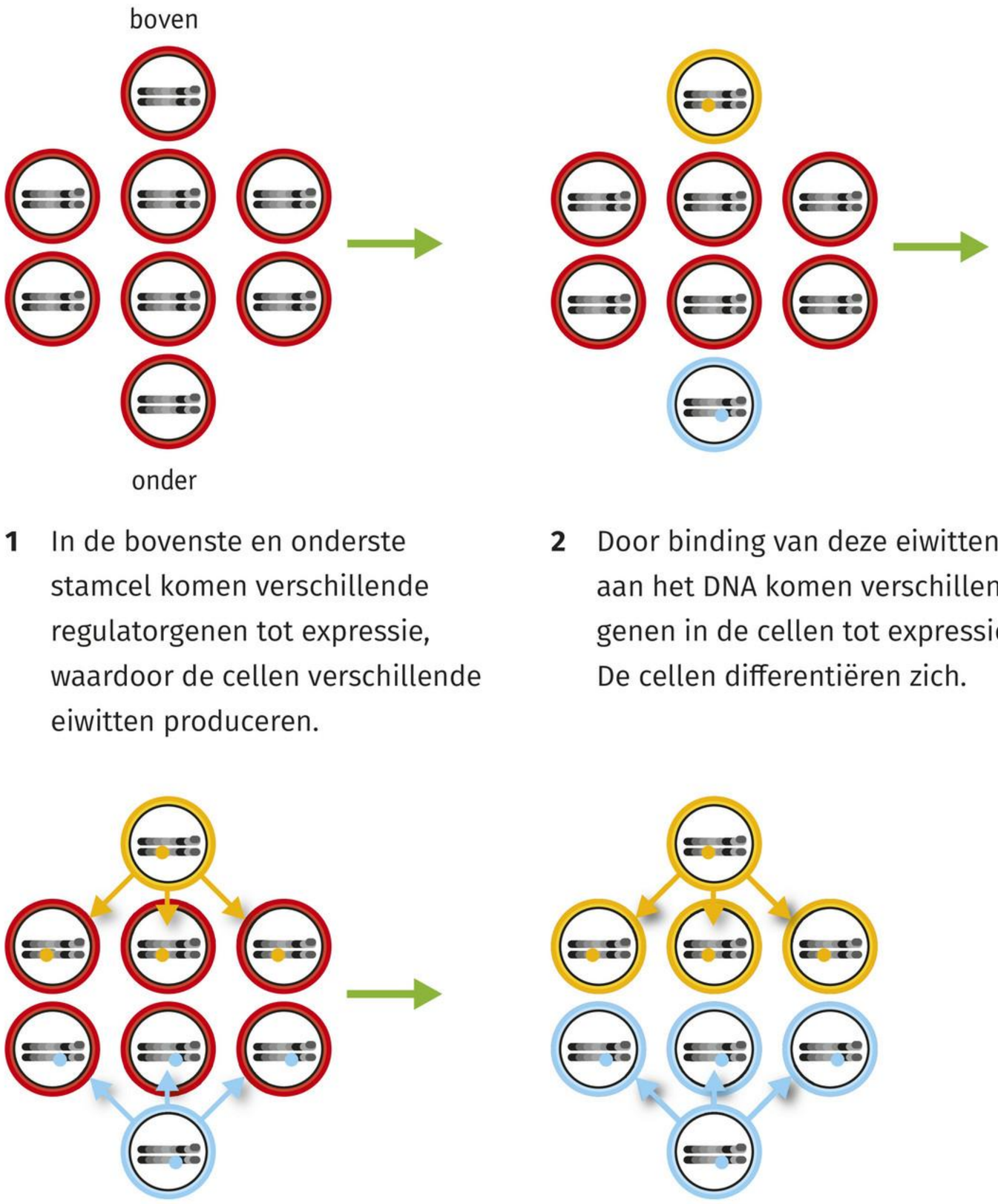
3 De onderzoekers hoopten dat de verminderde methaanproductie ten goede zou komen aan de melkproductie.
Leg uit waardoor ze daarop hoopten.

4 De groep koeien die methaanremmers zoals nitraat aan hun voedsel kregen toegevoegd, groeiden sneller in vergelijking met de groep die geen methaanremmers kregen (controlegroep).
Leg uit waardoor het komt dat de groep koeien die methaanremmers aten sneller groeiden.

5 Bereken hoeveel ton methaan koeien wereldwijd per jaar maximaal minder kunnen uitstoten als alle maatregelen werken.

Ga naar de *Voorkennistoets* en het *Voorkennisfilmpje*.

■ **Afb. 22** Genregulatie en celdifferentiatie tijdens embryonale ontwikkeling.



1 In de bovenste en onderste stamcel komen verschillende regulatorgenen tot expressie, waardoor de cellen verschillende eiwitten produceren.

2 Door binding van deze eiwitten aan het DNA komen verschillende genen in de cellen tot expressie. De cellen differentiëren zich.

3 De eiwitten van de regulatorgenen binden zich ook aan het DNA van nabijgelegen cellen.

4 In deze cellen komen zo bepaalde genen tot expressie en deze cellen differentiëren zich.

GENREGULATIE BIJ VOLWASSEN EUKARYOTEN

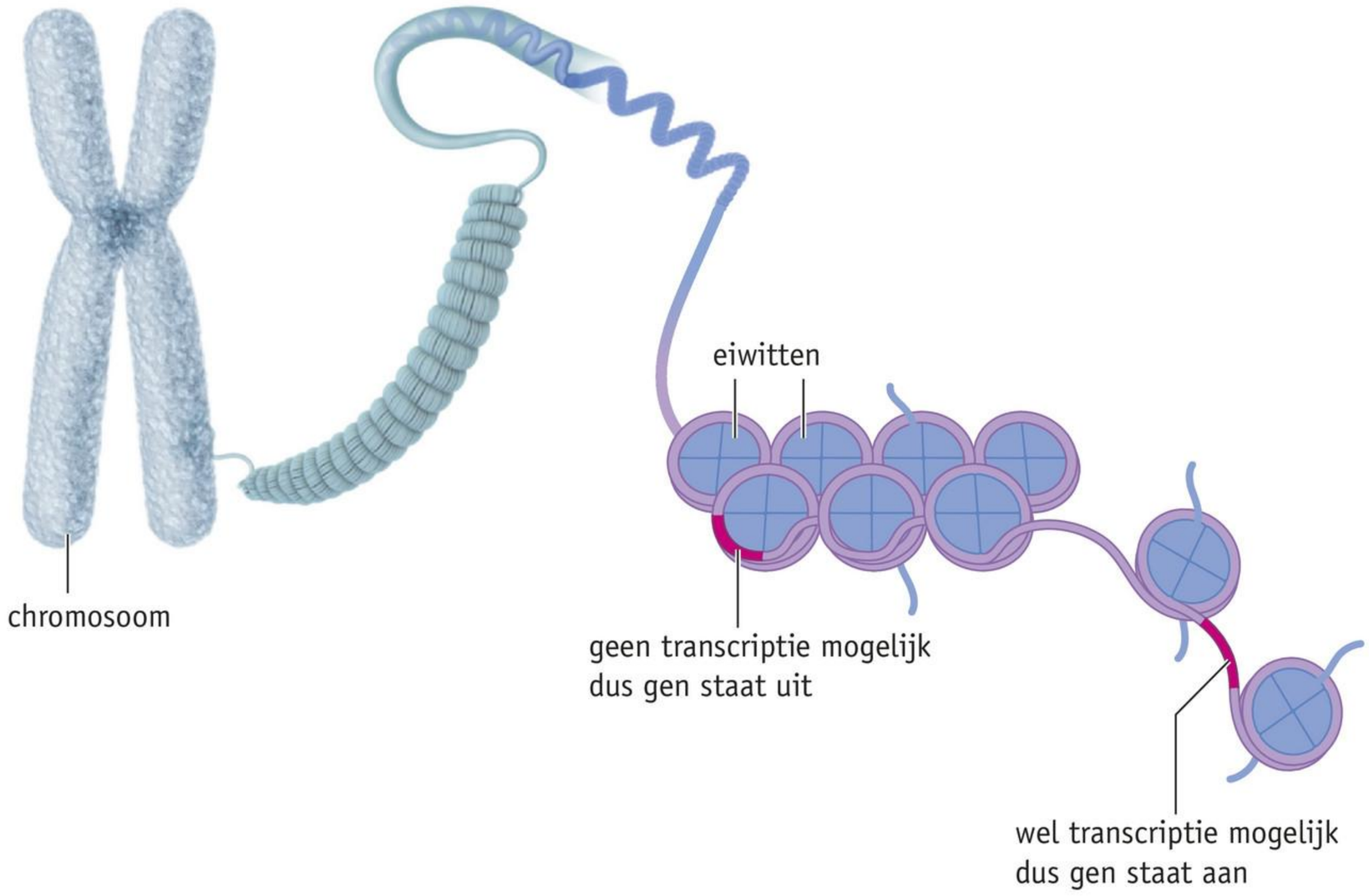
Ook bij volwassen eukaryoten is de genexpressie afhankelijk van de functie van de cel en van de milieuomstandigheden. De cel maakt hierdoor geen overbodige eiwitten of andere producten.

Genexpressie kan onder andere worden gereguleerd door het transport van mRNA naar het cytoplasma te blokkeren. Of door de translatie van mRNA te voorkomen. Maar het belangrijkste regulatiemechanisme in genexpressie is het wel of niet laten plaatsvinden van transcriptie.

Sommige regulatorgenen van eukaryoten bevatten informatie voor de synthese van eiwitten die de transcriptie van andere genen blokkeren. Andere regulatorgenen bevatten de informatie voor de synthese van eiwitten die de transcriptie van een ander gen stimuleren.

Bij eukaryote organismen is het DNA rondom eiwitten gewikkeld. Als DNA stevig is opgerold, kunnen de genen in dat stuk DNA niet worden afgelezen, waardoor er geen mRNA kan worden gevormd. Om transcriptie te laten plaatsvinden, moet het DNA zich eerst ontvouwen (zie afbeelding 23). Bepaalde stoffen kunnen eiwitten ertoe aanzetten om het DNA steviger of juist losser op te rollen. Dat bepaalt de mate waarin het DNA is af te lezen.

■ **Afb. 23** DNA ontvouwt zich om transcriptie mogelijk te maken.



Transcriptie kan ook worden geblokkeerd, doordat er methylgroepen (-CH_3) binden aan de stikstofbasen van het DNA (meestal aan cytosine). Dit noem je DNA-methylering. Wanneer bij een organisme bepaalde genen zijn gemethyleerd, wordt bij elke celdeling de nieuwe DNA-streng die bij replicatie ontstaat, ook gemethyleerd. Op deze manier kunnen methyleringspatronen zelfs worden doorgegeven aan het nageslacht.

In de **epigenetica** worden de factoren bestudeerd die de genexpressie beïnvloeden, bijvoorbeeld stress, voeding en drugs. Deze factoren kunnen gunstig of ongunstig zijn, doordat zij de genregulatie veranderen en daardoor de aanmaak van eiwitten beïnvloeden.

Door genen voor langere tijd aan of uit te zetten, kun je je snel aanpassen aan veranderde omstandigheden. De overlevingskansen van een organisme nemen hierdoor toe en dat is een evolutionair voordeel.

Opdrachten KENNIS

35 **a** Welk type stamcel is een bevruchte eicel?
b Welk type stamcellen bevat de kiemlaag van je huid? Leg je antwoord uit.

36 Noem twee manieren waarop epigenetische factoren de genexpressie bij eukaryoten kunnen beïnvloeden.

37 De genexpressie in een cel bepaalt het celtype.
Leg dit uit.

38 Hebben epigenetische factoren invloed op de nucleotidensequentie van het DNA? En op de genexpressie?

Opdrachten INZICHT

39 *E. coli* kan groeien op een voedingsbodem zonder aminozuren. *E. coli* kan alle eiwitten maken die nodig zijn voor de synthese van alle verschillende aminozuren. Als je een aminozuur aan de voedingsbodem toevoegt, dan stopt *E. coli* met de productie van de eiwitten die nodig zijn voor de productie van dat aminozuur. Het toegevoegde aminozuur remt de productie van deze eiwitten.

a Hoe heet het proces waarbij een stof die ontstaat, zijn eigen aanmaak afremt?

b De eiwitsynthese wordt onderdrukt door het toevoegen van aminozuren.
Welk voordeel heeft dit voor *E. coli*?

c *E. coli* heeft vijf structuurgenen die coderen voor enzymen die zijn betrokken bij de synthese van het aminozuur tryptofaan. Tryptofaan komt onder andere voor in banaan, chocolade en melk.
Wanneer worden de structuurgenen actief? Leg je antwoord uit.

40 Bij mensen wordt op het moment van de bevruchting bepaald of het embryo een vrouw of een man wordt. Dit hangt af van het paar geslachtschromosomen in een bevruchte eicel: XX of XY. Het SRY-gen dat op het Y-chromosoom ligt, stuurt de ontwikkeling van een embryo tot een man. Het gen produceert eiwitten die een aantal andere genen activeert en die expressie van bepaalde genen op het X-chromosoom onderdrukken. Hierdoor ontwikkelt het embryo zich uiteindelijk tot een man. Toch zijn alle embryo's in de eerste vijf tot zes weken vrouwelijk.

a Geef een verklaring voor het feit dat alle embryo's de eerste vijf tot zes weken fenotypisch vrouwelijk zijn.

b Op het moment van de bevruchting ligt vast tot welk geslacht een embryo zich gaat ontwikkelen.
Leg uit hoe het dan mogelijk is dat mannen tepels hebben, hoewel zij nooit borstvoeding zullen geven.

c Bij iemand bij wie het SRY-gen op het Y-chromosoom niet tot expressie komt, komt het fenotype niet overeen met het genotype.
Leg dat uit.

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

Context Leefwereld

AL LINKSHANDIG VOOR GEBOORTE

De meeste mensen schrijven met rechts, maar ongeveer tien procent van de mensen geeft de voorkeur aan schrijven met links. Maar wat bepaalt dat de ene persoon rechtshandig is en de andere persoon linkshandig?

De meeste mensen geloven dat de handvoorkeur wordt bepaald door de activiteit in de hersenhelften. Mensen die met links schrijven zouden bijvoorbeeld ook creatiever zijn en mensen die rechts schrijven beter in logisch redeneren en wiskunde. In 2017 is bij prenataal onderzoek ontdekt dat een ongeboren kind al vanaf de achtste week van de zwangerschap een voorkeur voor het gebruik van de linker- of de rechterhand laat zien (zie afbeelding 24). De foetus beweegt de ene hand veel vaker dan de andere hand. Later in de zwangerschap, vanaf week dertien, heeft de baby ook een favoriete duim om op te zuigen.

Omdat het ruggenmerg pas in de vijftiende week van de zwangerschap functioneel wordt verbonden met de hersenen, kan een verschil in activiteit tussen de hersenhelften niet verklaren dat iemand linkshandig wordt.

Op basis van deze waarnemingen is vervolgens onderzocht of er een verschil is in genexpressie tussen de linker- en rechterhelft van het ruggenmerg. Uit dit onderzoek bleek dat al vanaf de achtste week van de zwangerschap de genexpressie aan beide zijden van het ruggenmerg van elkaar verschilt. Dit verschil in expressie van bepaalde genen in het ruggenmerg wordt beïnvloed door verschillende omgevingsfactoren tijdens de zwangerschap.

■ **Afb. 24** Foetus die duim zuigt.



Opdrachten

41 Tijdens de embryonale ontwikkeling komen in verschillende stadia verschillende genen tot expressie.

a Welk proces bepaalt welke genen tot expressie komen?

b Drie genen die tot expressie moeten komen tijdens de embryonale ontwikkeling van een linkshandige jongen zijn:

1 SRY-gen
2 genen in het ruggenmerg die bepalen of je linkshandig bent
3 genen die bepalen of de cel onderdeel wordt van embryo of placenta

Geef de volgorde waarin deze genen tot expressie komen.

c Waarom kan een verschil in activiteit tussen de hersenhelften niet de oorzaak zijn van links- of rechtshandigheid?

d Maike is twintig weken zwanger en gaat naar het ziekenhuis voor een echo.
Kun je aan de hand van deze echo bepalen of haar kindje links- of rechtshandig is? Leg je antwoord uit.

e Vroeger werden linkshandige kinderen gedwongen om met rechts te schrijven.
Bij deze mensen is de hersenactiviteit anders dan bij mensen die van nature rechtshandig zijn.
Wat zou daarvoor de verklaring kunnen zijn?

5 MUTATIES

LEERDOEL

9.5.1 Je kunt de verschillende typen mutaties en hun uitwerking beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	9.5.1
Onthouden	44, 45a, 46a
Begrijpen	42, 43, 45bc, 46bc
Toepassen	47ab, 48, 49a, 50ab
Analyseren	47c, 49b, 50cde

Mutaties kunnen het uiterlijk of het gedrag van een organisme sterk veranderen. Zo hebben mensen in gebieden met minder zon vaker de mutatie voor blonde haren. Panda's hebben door een mutatie hun smaak voor vlees verloren en zijn bamboe gaan eten. Maar wat verdween er eerst: het vlees of de smaak voor vlees?

MUTATIES

Tijdens de replicatie van DNA ontstaan regelmatig fouten, waardoor een verandering in de nucleotidevolgorde ontstaat. Zo'n verandering in het DNA van een cel noem je een **mutatie**.

Het aantal nucleotiden dat is betrokken bij een mutatie kan verschillen. Het kan gaan om één nucleotidepaar, enkele nucleotideparen, een lange sequentie van DNA of een heel chromosoom.

Veel mutaties hebben afwijkingen tot gevolg en kunnen voor een individu nadelig zijn. Maar door mutaties neemt ook de **genetische variatie** in de nakomelingen toe (zie afbeelding 25). Als de omstandigheden veranderen, kunnen mutaties zo een voordeel opleveren voor een individu of populatie.

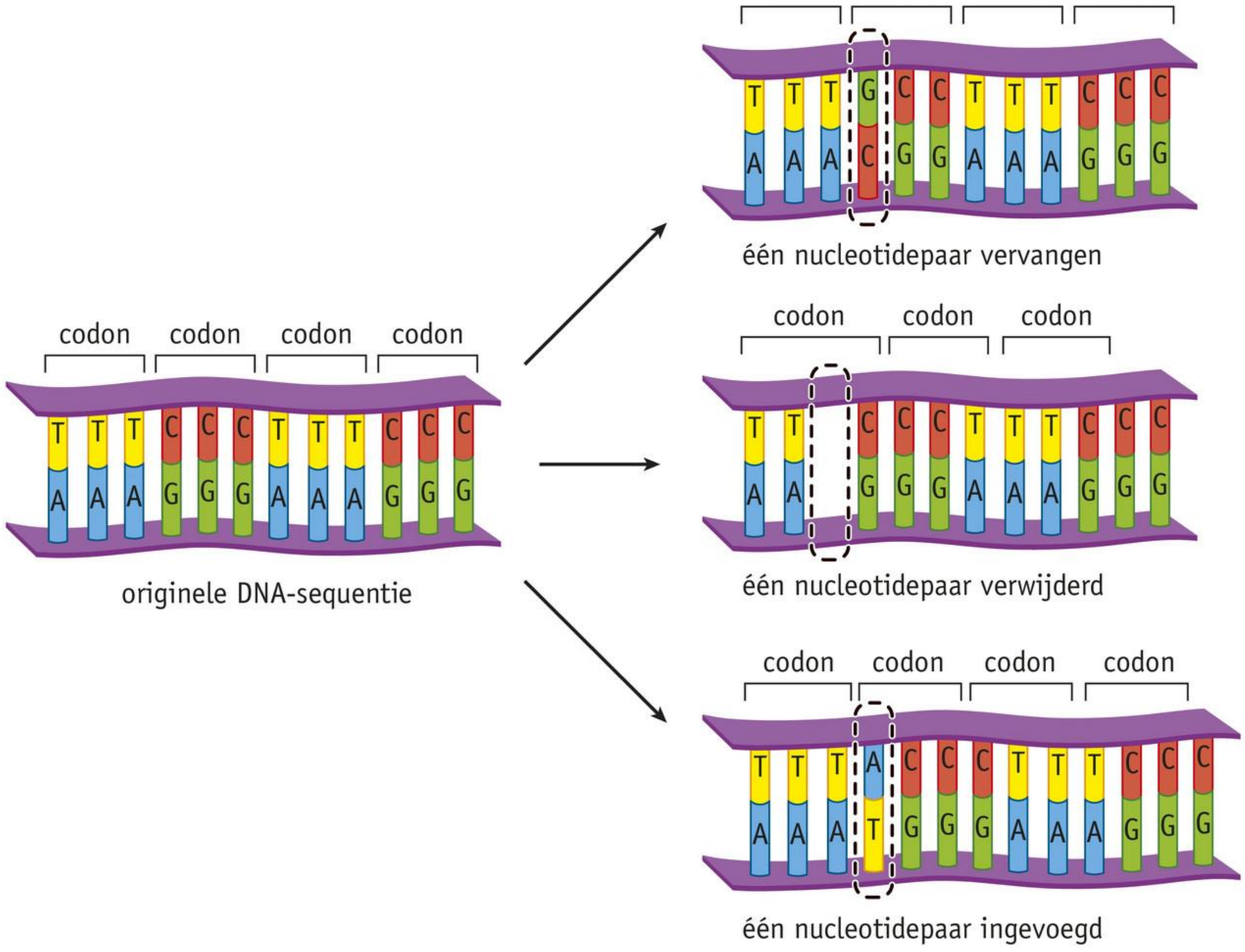
■ **Afb. 25** Genetische variatie in het vlekkenpatroon bij giraffen.



PUNTMUTATIES

Een **puntmutatie** is een verandering in één nucleotidepaar. Dit kan een vervanging zijn van een nucleotidepaar door een ander nucleotidepaar. Het kan ook een invoeging of een verwijdering van een nucleotidepaar zijn. Als de nucleotidenvolgorde in het DNA van een gen verandert, verandert ook de nucleotidenvolgorde in de mRNA-moleculen die door transcriptie worden gevormd. De ribosomen lezen dan een andere genetische code af, waardoor andere aminozuren kunnen worden ingebouwd in het eiwit dat wordt gemaakt (zie afbeelding 26).

■ **Afb. 26** Puntmutaties.

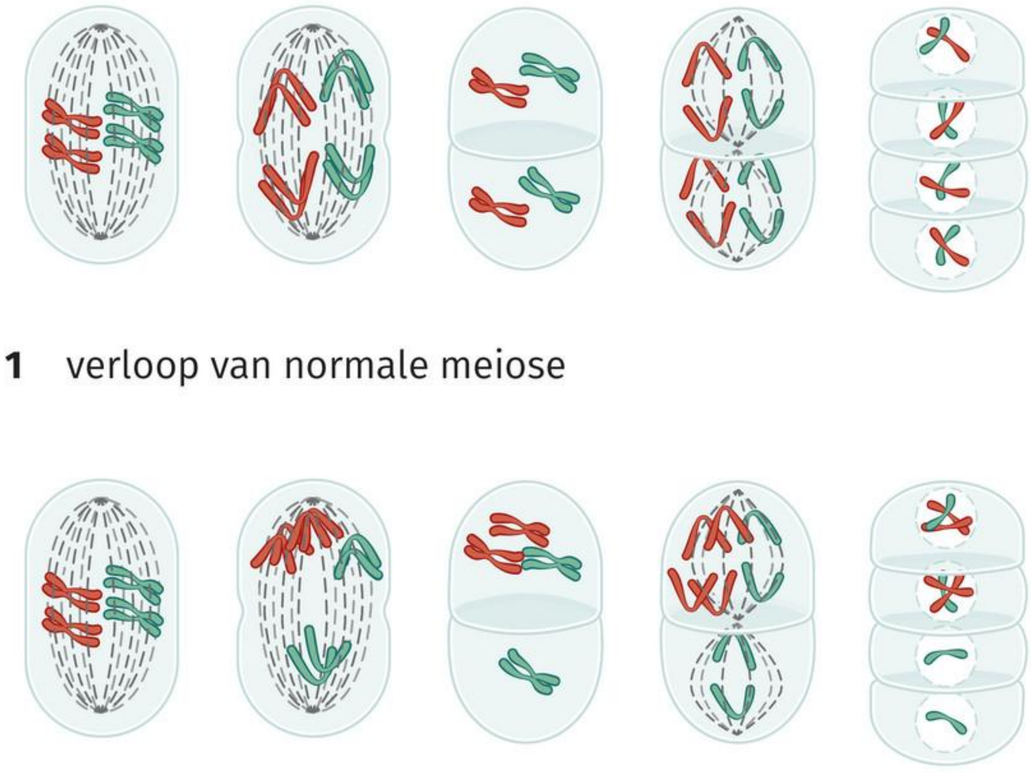


GENOOMMUTATIES

Bij **genoommutaties** verandert het aantal chromosomen in een cel. Bijvoorbeeld doordat homologe chromosomen tijdens meiose I niet worden gescheiden. Beide chromosomen van het chromosomenpaar komen samen in een dochtercel terecht (zie afbeelding 27.2). Genoommutaties kunnen ook optreden, doordat tijdens meiose II twee chromatiden bij elkaar blijven (zie afbeelding 27.3).

In beide gevallen ontstaan er geslachtscellen die een chromosoom te veel hebben en geslachtscellen met een chromosoom te weinig.

■ **Afb. 27** Meiose (er zijn slechts twee chromosomenparen getekend).



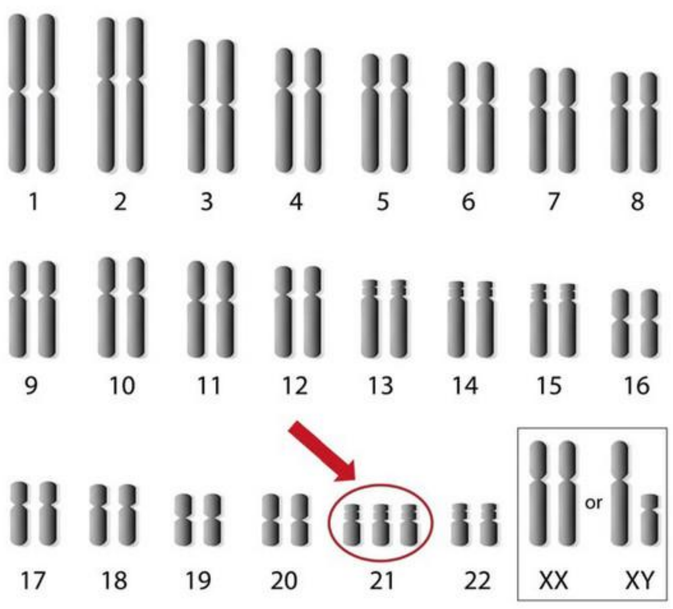
1 verloop van normale meiose

2 mutatie tijdens meiose I

3 mutatie tijdens meiose II

Na bevruchting met een geslachtscel met een afwijkend chromosomenaantal ontstaat een zygote met één chromosoom te veel of één chromosoom te weinig. Meestal is de zygote dan niet levensvatbaar. Een kind met het syndroom van Down is wel ontstaan uit een bevruchte eicel met een genoommutatie. Het eenentwintigste chromosoom komt in de celkern van alle lichaamscellen in drievoud voor (zie afbeelding 28). Het afwijkende chromosomenaantal veroorzaakt vaak een achterstand in de geestelijke ontwikkeling en een kenmerkend uiterlijk (zie afbeelding 29).

■ **Afb. 28** Karyogram van een persoon met het syndroom van Down.



■ **Afb. 29** Meisje met syndroom van Down.



DE EFFECTEN VAN MUTATIES

Het effect van mutaties hangt af van het type cel waarin de mutatie plaatsvindt en de aard van de mutatie. Wanneer een mutatie optreedt in een geslachtscel, in een bevruchte eicel of in een cel van een embryo, kan dat grote gevolgen hebben. Alle cellen van de nakomeling bevatten dan deze mutatie.

Deze mutaties kunnen een rol spelen bij de evolutie wanneer een mutant een grotere overlevingskans heeft dan soortgenoten zonder deze mutaties. Mutanten zullen zich dan meer voortplanten en daarbij het gen met de mutatie doorgeven aan hun nakomelingen. Hierdoor neemt de overlevingskans van de populatie toe. Door opeenvolgingen van mutaties, recombinatie en natuurlijke selectie kunnen nieuwe soorten ontstaan.

Mutaties kunnen er ook voor zorgen dat het fenotype van een organisme minder goed is aangepast aan de leefomgeving. Zo'n mutatie heeft een negatief effect, omdat de mutant een kleinere overlevingskans heeft dan soortgenoten zonder de mutatie. Soms hebben mutaties geen merkbare gevolgen. Ze veranderen het genotype, maar hebben geen invloed op het fenotype. Voorbeelden zijn:

- De mutatie heeft plaatsgevonden in een lichaamscel.
- De mutatie heeft plaatsgevonden in een gen dat uit staat.
- De mutatie verandert de werking van het eiwit niet.
- Door de mutatie ontstaat een recessief allel en op het andere chromosoom van een paar is een dominant allel aanwezig waarvan de nucleotidenvolgorde niet is veranderd.

Mutaties in lichaamscellen zijn niet erfelijk, maar kunnen soms wel leiden tot kanker.

Opdrachten KENNIS

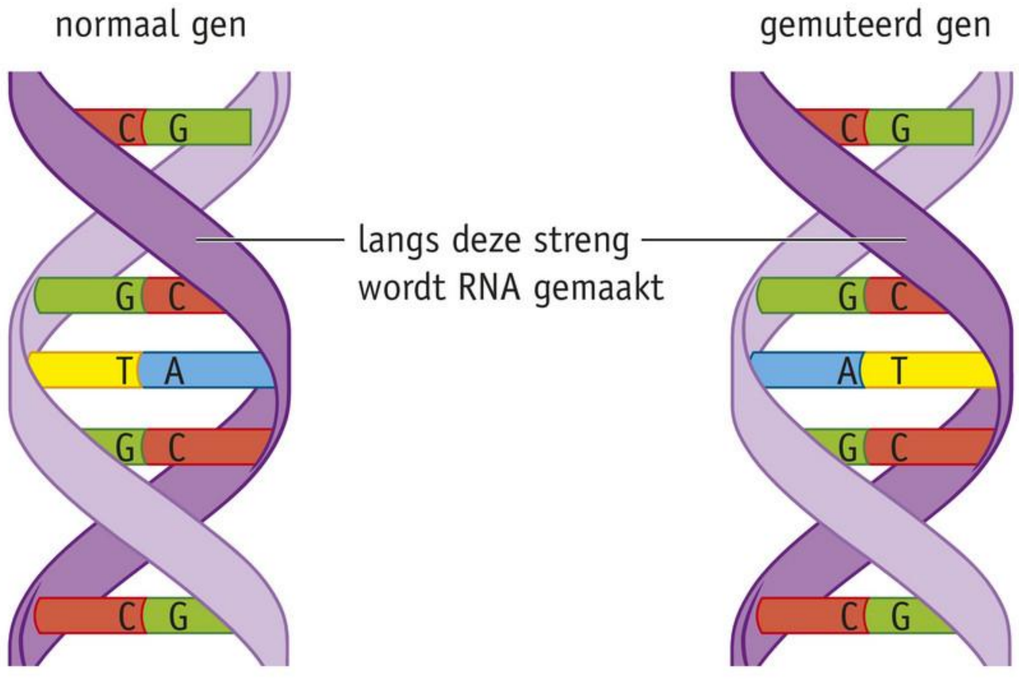
42 Sikkelcelanemie is een ziekte die wordt veroorzaakt door een puntmutatie in het HBB-gen. Mensen die homozygoot zijn voor deze mutatie maken rode bloedcellen die niet rond zijn, maar de vorm hebben van een halve maan. In afbeelding 30 zie je een deel van een gezond HBB-gen en een deel van een gemuteerd HBB-gen.

a Is bij deze mutatie sprake van een vervanging, verwijdering of invoeging van een nucleotidepaar?

b In afbeelding 30 is de streng waarlangs het mRNA wordt gemaakt donkerpaars (zie verwijslijn).
Voor welk aminozuur codeert het gezonde codon (CAC)?

c Voor welk aminozuur codeert het gemuteerde codon (CTC)?

■ **Afb. 30** HBB-gen.



43 Het syndroom van Turner is een chromosomale afwijking waarbij vrouwen een X-chromosoom missen. Vrouwen met het syndroom worden niet langer dan 1,50 meter, hebben gezwollen handen en voeten, een brede borstkas en hals, ver uit elkaar staande tepels en hebben last van hart- en nierproblemen. De voortplantingsorganen ontwikkelen zich alleen wanneer hormonen worden toegediend.

a Welk type mutatie is opgetreden bij het syndroom van Turner?

b Leg uit hoe de mutatie ontstaat en hoe een vrouw hierdoor een X-chromosoom mist.

44 Waarom hebben mutaties in lichaamscellen vaak geen merkbare gevolgen? Noem drie redenen.

OORZAKEN VAN MUTATIES

Mutaties kunnen spontaan plaatsvinden, maar door blootstelling aan **mutagene factoren** komen ze vaker voor. Voorbeelden van mutagene factoren zijn **mutagene straling** (zoals radioactieve straling, röntgenstraling of ultraviolette straling), **mutagene stoffen** (zoals stoffen in sigarettenrook en asbest) of virussen (zoals HPV).

Bij het gebruik van röntgenapparatuur komt mutagene straling vrij. Hoewel deze straling minder schadelijk is dan radioactieve straling, worden er bij een patiënt niet meer röntgenfoto's gemaakt dan strikt noodzakelijk is. Elke keer dat je aan röntgenstralen wordt blootgesteld, kan het DNA in lichaamscellen worden beschadigd, waardoor mutaties kunnen ontstaan. Bestraling van de voortplantingsorganen wordt vermeden, om te voorkomen dat mutaties in de geslachtscellen ontstaan.

HET ONTSTAAN VAN KANKER (SE)

In een celkern zijn enzymen werkzaam die beschadigingen aan het DNA opsporen en repareren. Ze verwijderen verkeerd ingebouwde stikstofbasen uit het DNA en zorgen ervoor dat de juiste nucleotiden worden ingebouwd. Doordat wijzigingen in het DNA onmiddellijk worden gerepareerd, zijn de meeste tijdelijk. Maar als DNA-replicatie plaatsvindt voordat de reparerende enzymen hun werk hebben voltooid, zullen de dochtercellen dezelfde DNA-schade hebben.

Tumorsuppressorgenen kunnen ervoor zorgen dat de celcyclus stil komt te liggen. Door expressie van het tumorsuppressorgen worden eiwitten gemaakt die voorkomen dat een cel zich deelt voordat de DNA-reparatie is afgerond. Zo kan eerst de schade worden hersteld. De eiwitten zorgen er ook voor dat een cel met te veel, of onherstelbare DNA-schade wordt afgebroken en overgaat tot celdood (apoptose).

Proto-oncogenen coderen voor eiwitten die de celgroei en de celdifferentiatie stimuleren.

De snelheid waarmee cellen delen wordt nauwkeurig geregeld door proto-oncogenen en tumorsuppressorgenen. De celdeling in bindweefsel verloopt langzaam. Maar een diepe vleeswond groeit vrij snel dicht met bindweefsel (littekenweefsel). Als de wond dicht is, neemt de snelheid van celdeling weer af. Het nauwe contact met de omringende cellen remt de celdeling.

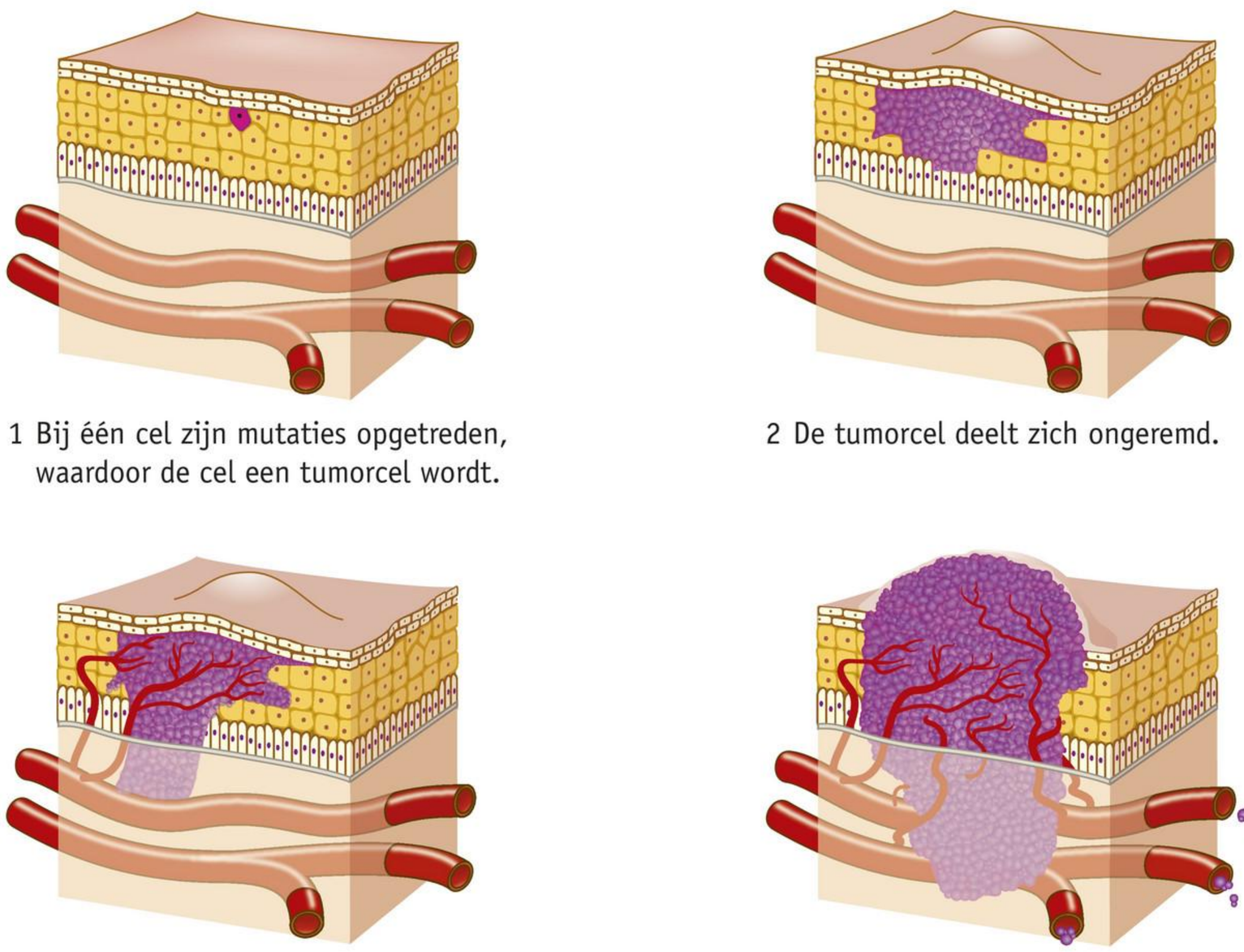
Als er mutaties in tumorsuppressorgenen of proto-oncogenen plaatsvinden, kan een cel ongeremd gaan delen. Door een mutatie in een tumorsuppressorgen is er geen rem meer op de celcyclus, waardoor schade aan het DNA niet meer wordt hersteld voordat de cel zich deelt. De dochtercellen hebben dan dezelfde DNA-schade als de moedercel. Doordat cellen met te veel of onherstelbare DNA-schade ook niet meer overgaan tot celdood, komen er steeds meer van deze cellen.
Een proto-oncogen kan door een mutatie in een oncogen veranderen. Een oncogen zet een cel aan tot abnormaal snel groeien en delen. Wanneer een tumorsuppressorgen er

er in zo'n geval niet voor zorgt dat de cel overgaat tot celdood, kan een **tumor** (gezwel) ontstaan.

Wanneer een tumor het omringende weefsel niet verstoort en er geen cellen loslaten die elders uitzaaiingen kunnen veroorzaken, spreek je van een goedaardige tumor. Meestal groeien deze tumoren langzaam, doordat remmende stoffen uit de omringende cellen nog invloed hebben op de delingssnelheid. Als een goedaardige tumor klachten veroorzaakt, kan hij vaak operatief worden verwijderd.

Bij kanker ontstaan kwaadaardige tumoren. Door mutaties in meerdere genen is de cel ongevoelig geworden voor stoffen die de celdeling remmen. De delingssnelheid van de cellen is hierdoor bij een kwaadaardige tumor veel hoger dan bij een goedaardige tumor. De cellen hebben een afwijkende vorm en kunnen niet goed functioneren. Ook verstoren ze de bouw van de weefsels en worden er bloedvaten aangelegd naar de tumor om deze te voorzien van zuurstof en voedingsstoffen (zie afbeelding 31). Het eerste gezwel dat bij kanker ontstaat, heet een primaire tumor. Wanneer cellen van de primaire tumor loslaten, komen ze via het bloed of de lymfe in andere organen terecht. Hier kunnen ze uitgroeien tot secundaire tumoren. De uitzaaiing van tumoren naar andere lichaamsdelen heet metastase.

■ **Afb. 31** Het ontstaan van kanker.



1 Bij één cel zijn mutaties opgetreden, waardoor de cel een tumorcel wordt.

2 De tumorcel deelt zich ongeremd.

3 Er is een primaire tumor ontstaan, waar bloedvaten naartoe zijn gegroeid.

4 Er vindt metastase plaats.

1 CHEMIE IN CELLEN

LEERDOEL

8.1.1 Je kunt omschrijven wat stofwisseling, assimilatie en dissimilatie zijn en wat er bij deze reacties met de energie gebeurt.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	8.1.1
Onthouden	1a, 2a, 4
Begrijpen	1bcd, 2b, 3, 5, 6, 12
Toepassen	7b, 11
Analyseren	7a, 8, 9, 10, 13

Je lichaam bestaat uit miljarden cellen. In elke cel bruist het dag en nacht van de chemische activiteit. Stoffen worden gevormd en afgebroken om de cel op te bouwen en te zorgen voor energie.

ENERGIERIJKE ORGANISCHE STOFFEN

Het geheel van chemische omzettingsprocessen in een organisme is de **stofwisseling**. Een groot deel van de stofwisseling vindt plaats in cellen. Levende cellen nemen stoffen op en zetten die stoffen om in andere stoffen. Die omzettingen zijn nodig voor de opbouw en instandhouding van de cel en leveren energie.

Organismen bestaan uit organische en anorganische stoffen. De moleculen van organische stoffen bevatten een of meer ketens van koolstofatomen (C). Deze koolstofketens kunnen enkele atomen lang zijn, maar kunnen ook duizenden koolstofatomen bevatten. Organische moleculen in organismen bevatten naast het element koolstof altijd de elementen waterstof (H) en **zuurstof** (O). Om de bindingen tussen koolstof- en waterstofatomen tot stand te brengen, is **energie** nodig. Bij het verbreken van bindingen, zoals C–H, komt energie beschikbaar voor de cel. De energie die in de bindingen tussen de atomen van stoffen is opgeslagen, noem je **chemische energie**. Anorganische stoffen die in organismen voorkomen bestaan uit kleine moleculen zonder koolstofketens (zie afbeelding 1.1). Ze bevatten weinig chemische energie.

De organische stof **glucose** is als **brandstof** en als **bouwstof** belangrijk voor de stofwisseling. De molecuulformule van glucose is $C_6H_{12}O_6$. In afbeelding 1.2 is de structuurformule van glucose weergegeven (zie ook *BiNaS* tabel 67F). In een structuurformule is aangegeven hoe de atomen aan elkaar zijn gebonden.

Opdrachten KENNIS

45 **a** Wat zijn mutagene factoren?
b Hoe komt het dat de kans op mutaties toeneemt door mutagene factoren?
c Hoe komt het dat mutaties de kans op kanker vergroten?

46 **a** Wat is het verschil tussen een goedaardige tumor en een kwaadaardige tumor?
b Bij oudere mensen hebben de cellen zich al veel vaker gedeeld dan bij jonge mensen.
Leg uit waarom kanker meer voorkomt bij oudere mensen dan bij jongere mensen.
c Waarom is het belangrijk om kanker in een vroeg stadium op te sporen?

Opdrachten INZICHT

47 In afbeelding 26 is een DNA-sequentie weergegeven. Langs de onderste streng wordt mRNA door transcriptie gevormd.
a Voor welke aminozuren codeert de originele DNA-sequentie?
b Voor welke aminozuren codeert de onderste streng van het DNA als er een nucleotidepaar is ingevoegd?
c Het uit het DNA verwijderen of invoegen van een nucleotidepaar zorgt er vaak voor dat er een ander eiwit wordt gevormd door de ribosomen.
Leg dit uit.

48 Leg uit hoe het komt dat gemuteerde allelen meestal recessief zijn.

49 Voor het ontstaan van kanker zijn meerdere mutaties in een cel nodig. Als alleen het proto-oncogen muteert naar een oncogen, is dat niet voldoende voor het ontstaan van een tumorcel.
a Leg uit waarom alleen het ontstaan van een oncogen niet voldoende is voor het ontstaan van een tumorcel.
b Bij kanker met uitzaaiingen krijgt een patiënt meestal chemotherapie. Veelgebruikte medicijnen voor chemotherapie zijn cytostatica. Cytostatica zijn medicijnen die de celdeling remmen.
Welke schadelijke invloed hebben cytostatica op gezonde weefsels?

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

Context Leefwereld

MUTEREN OM BEHANDELING TE OMZEILEN

Bacteriën kunnen hun mutatiesnelheid verhogen in aanwezigheid van antibiotica. Op deze manier vergroten bacteriën de kans dat ze resistentie ontwikkelen voor een antibioticum, zodat ze kunnen overleven. Nu blijkt dat ook kankercellen in bepaalde gevallen hun mutatiesnelheid kunnen verhogen.

In ziekenhuizen wordt steeds vaker gerichte therapie toegepast als behandelmethode bij kanker, in plaats van een algemene therapie, zoals bestraling of chemotherapie. Een gerichte therapie tast alleen de kankercellen aan, terwijl een algemene therapie alle cellen in je lichaam beïnvloedt (zie afbeelding 32).

De effectiviteit van een gerichte therapie is na de eerste behandelingen erg goed, maar neemt na enkele maanden tot jaren af. Dit komt doordat kankercellen hun mutatiesnelheid verhogen en daardoor resistent worden tegen de gerichte therapie. De kankercellen worden door de mutaties vaak agressiever en zijn moeilijker te behandelen.

Uit onderzoek blijkt dat kankercellen tijdens de gerichte therapie het DNA-reparatiesysteem van een cel kunnen onderdrukken. Ze zetten dan tijdelijk de genen uit die verantwoordelijk zijn voor het herstel van DNA-schade. Hierdoor ontstaan er meer mutaties. Als de behandeling stopt, dan daalt de mutatiesnelheid weer naar normaal, doordat de genen voor DNA-herstel weer aan worden gezet.

Kankercellen gedragen zich dus eigenlijk zoals bacteriën, wanneer ze door toegediende medicatie stress ervaren. Ze verhogen de mutatiefrequentie. Hierdoor neemt de kans op een mutatie die resistentie veroorzaakt toe. Dit betekent dat je hiermee rekening moet houden als je nieuwe behandelingen tegen kanker ontwikkelt.

■ **Afb. 32** Gerichte behandeling van kankercellen.



Opdrachten

50 **a** Waarom hebben bacteriën die hun mutatiesnelheid verhogen in aanwezigheid van antibiotica een grotere overlevingskans?

b Waarom hebben kankercellen die genen uitzetten die verantwoordelijk zijn voor het herstel van DNA-schade voordeel bij behandeling met gerichte therapie?

c Bij kankerpatiënten die zijn behandeld met gerichte therapie keert de kanker vaak terug. De kanker is dan ook moeilijker te behandelen. Waarom is de kanker dan moeilijker te behandelen?

d Gerichte therapie beïnvloedt de genexpressie in kankercellen. Waarom kun je deze invloed epigenetisch noemen?

e Waarom wordt bij behandeling van kanker toch eerder gekozen voor gerichte therapie dan voor een algemene therapie zoals chemotherapie?

6 DNA-TECHNIEKEN

LEERDOELEN

9.6.1 Je kunt uitleggen hoe DNA-analyse werkt en de toepassingen daarvan beschrijven.

9.6.2 Je kunt verschillende DNA-technieken en toepassingen van biotechnologie beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	9.6.1	**9.6.2**
Onthouden	51ab	53a
Begrijpen	51c, 52, 59a	53bc, 54, 55
Toepassen	58b, 60b	56, 57ab
Analyseren	58a, 59b, 60ac	57c

In een laboratorium kun je eigenschappen van organismen aanpassen door hun DNA te veranderen. Je kunt bijvoorbeeld bij katten het gen inbrengen voor een fluorescerend groen eiwit uit kwallen. Daarna geven deze katten een groene gloed af in het donker.

DNA-ANALYSE

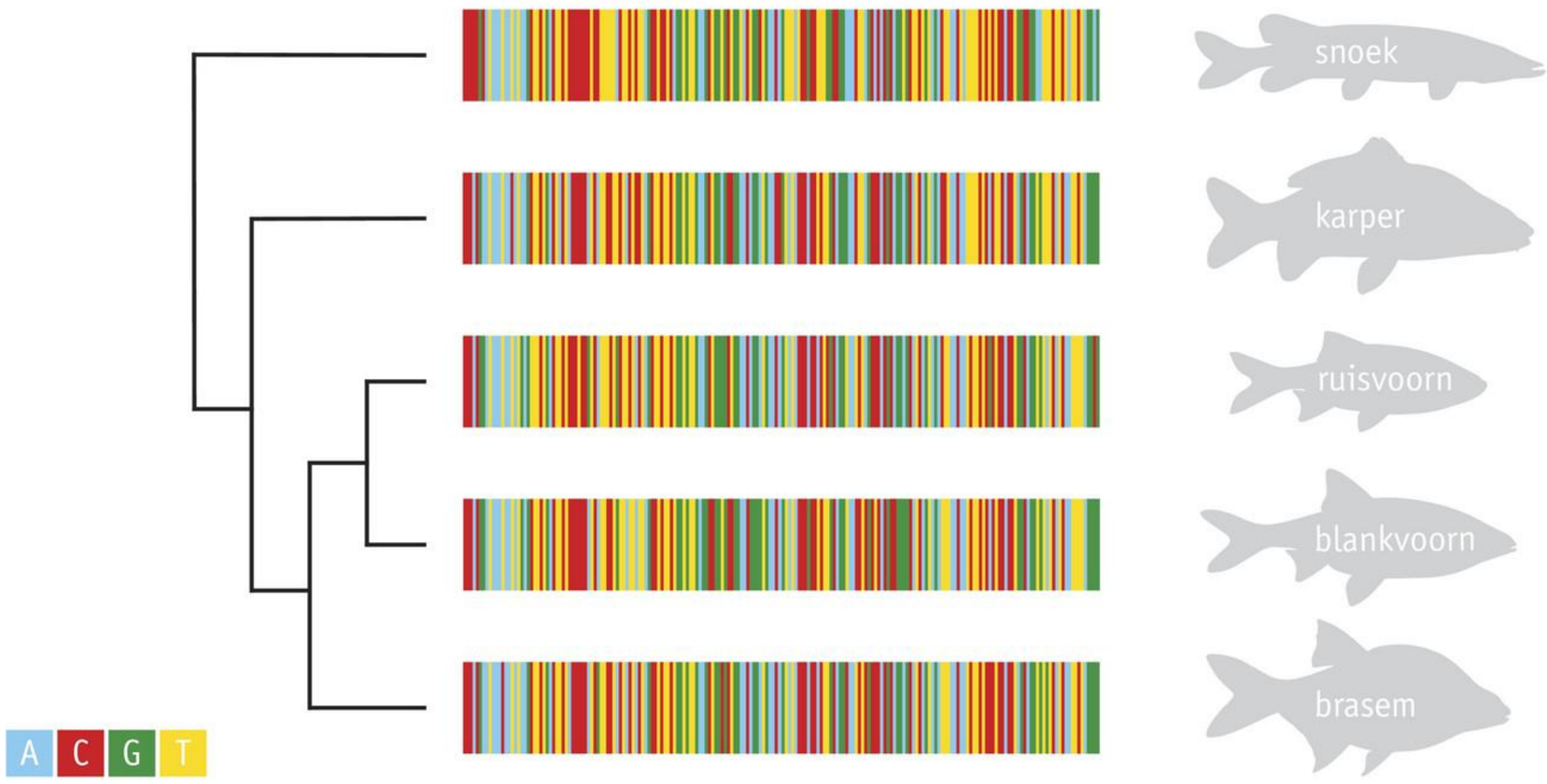
Om de nucleotidesequentie van het genoom of van een deel van het DNA van een organisme te weten te komen, kun je een **DNA-analyse** uitvoeren. Het bepalen van de nucleotidevolgorde van DNA heet **sequencen**. De eerste keer duurde het sequencen van de drie miljard basenparen van een volledig genoom van een mens vijftien jaar. Tegenwoordig kan dit in een halve dag. Door de nieuwste technieken is het mogelijk om grotere stukken DNA tegelijkertijd te sequencen. Daardoor zijn deze technieken geschikt voor het ontrafelen van hele genomen. De hoeveelheid DNA die uit cellen van een organisme wordt geïsoleerd is meestal te klein om goed te kunnen onderzoeken. Door **PCR** (polymerase chain reaction) kunnen stukjes DNA in een PCR-machine worden gekopieerd tot er genoeg is voor onderzoek (zie afbeelding 33). Zie ook *BiNaS* tabel 71M.

■ **Afb. 33** Een PCR-machine.



De volgende stap in de DNA-analyse is een DNA-sequentie bestuderen, vergelijken en interpreteren. De verschillen in de DNA-sequenties bij organismen van één soort kunnen bijvoorbeeld informatie geven over de afkomst en het al of niet voorkomen van erfelijke ziekten bij een organisme. Door DNA-sequenties van verschillende soorten te vergelijken, kun je de evolutionaire **verwantschap** van soorten bepalen (zie afbeelding 34). Bij forensisch onderzoek worden DNA-profielen (stukken DNA-sequenties) van sporen die zijn gevonden op de plaats van een misdrijf vergeleken met de DNA-profielen van slachtoffers of verdachten. Ook kun je met de DNA-profielen zoeken in de DNA-databank. Zo kun je via DNA-onderzoek vaststellen van wie het celmateriaal afkomstig is. Het maken van een DNA-profiel van een verdachte wordt ook wel DNA-fingerprinting genoemd.

■ **Afb. 34** De evolutionaire stamboom van verschillende Nederlandse zoetwatervissen.



Opdrachten KENNIS

51 **a** Wat is DNA-sequencen?
b Hoe kan het sequencen van DNA informatie geven over de verwantschap tussen soorten?
c Hoe kun je DNA-analyse gebruiken om te onderzoeken of een verdachte bij een misdaad is betrokken?

52 DNA-analyse kan ook worden gebruikt om te bepalen of iemand de vader van een kind is. Dan wordt de DNA-sequentie van enkele genen vergeleken.
a Hoeveel procent van het DNA komt bij vader en kind overeen?
b In afbeelding 35 is een deel van de uitslag van een vaderschapstest weergegeven. Bij een man en een kind zijn de DNA-sequenties van dezelfde twintig plaatsen (loci) in het DNA bepaald. Deze plaatsen kunnen bij individuen in lengte variëren. Voor elke plaats (locus) staan twee aparte nummers. Het ene nummer geeft de lengte van de locus op het ene chromosoom van een paar weer. Het andere nummer geeft de lengte van de locus op het andere chromosoom weer. Een kind erft van een vader één chromosoom van elk paar.
Is het waarschijnlijk dat de man de vader van het kind is? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 35** Resultaat vaderschapstest.

DNA

DNA-testrapport
vertrouwelijk

zaak 8307202	kind		man	
allel	lengte allelen		lengte allelen	
D3S1358	15	18	15	17
vWA	17		17	
D16S539	10	13	9	13
CSF1PO	9	10	10	12
TPOX	10	11	10	11
D8S1179	14		13	14
D21S11	29	32.2	29	30
D18S51	12	16	15	16
D2S441	14	15	11	15
D19S433	14	15	14	15
TH01	9.3		9.3	
FGA	22	23	22	24
D22S1045	12	16	12	17
D5S818	11	12	11	13
D13S317	10	11	9	11
D7S820	11	13	11	13
SE33	16	27.2	26.2	27.2
D10S1248	13	14	14	
D1S1656	12	14	14	16
D2S1338	25		17	25
	x		x	y

MENSEN GEBRUIKEN ORGANISMEN

Biotechnologie is een verzamelnaam voor technieken waarbij organismen worden gebruikt om producten voor de mens te maken. Sommige technieken zijn al eeuwenoud. Zo wordt voor de productie van wijn, bier en brood gist gebruikt. Bij de productie van kaas worden enzymen (chymosine) uit de lebmaag van pasgeboren kalveren gebruikt. Melkzuurbacteriën spelen een rol bij de productie van zuurkool en yoghurt.

Sinds het ontstaan van de landbouw wordt kunstmatige selectie toegepast en worden veredelde planten geteeld en dieren gefokt die voldoen aan de behoeften van de mens.

GENETISCHE MODIFICATIE

Onderzoekers weten door de toegenomen kennis over DNA en genexpressie steeds beter welke genen verantwoordelijk zijn voor bepaalde eigenschappen. Met deze kennis kun je de eigenschappen van bacteriën, schimmels, planten en dieren wijzigen. Dit heet **genetische modificatie**. Een gen uit het DNA van een bepaald organisme kun je overbrengen naar het DNA van een ander organisme. Organismen waarbij het DNA is veranderd, noem je een ggo (genetisch gemodificeerd organisme). Het kan dan gaan om transgeen of cisgeen. Als het gen afkomstig is van een organisme van een andere soort, noem je het organisme **transgeen**. Als het gen afkomstig is van een ander organisme van de dezelfde soort, noem je het organisme cisgeen. Transgene bacteriën kun je bijvoorbeeld inzetten bij het minder schadelijk maken van vervuilde grond. Ingebouwde genen zorgen ervoor dat kwik in een vervuilde bodem wordt omgezet in een niet-giftige kwikverbinding.

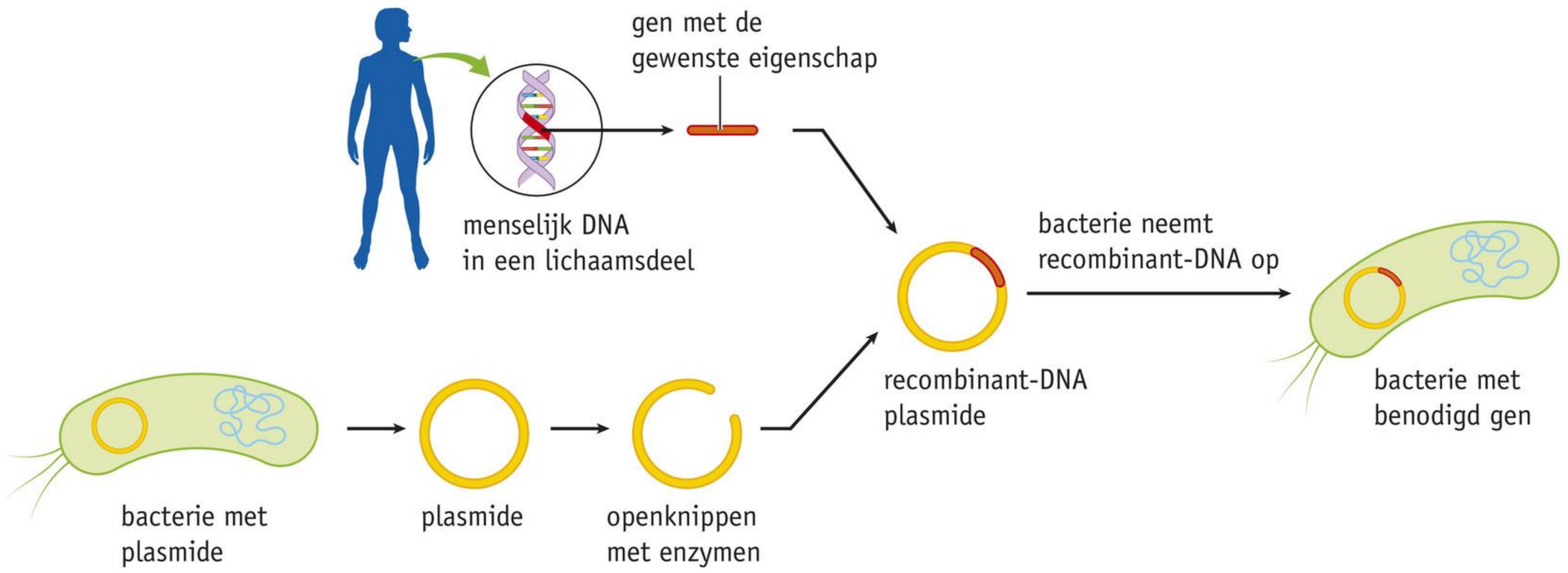
RECOMBINANT-DNA-TECHNIEK

Een voorbeeld van genetische modificatie is de **recombinant-DNA-techniek**. Bij deze techniek wijzig je de nucleotidevolgorde van het DNA in een organisme door DNA in te brengen dat afkomstig is van een ander individu. De betrokken organismen hoeven hiervoor niet tot dezelfde soort te behoren.

De recombinant-DNA-techniek werd mogelijk door de ontdekking van speciale enzymen die een geselecteerd DNA-fragment (een gen) uit een DNA-streng kunnen knippen. Dat fragment kun je toevoegen aan het DNA van een ander organisme. Een ander enzym plakt de verschillende DNA-fragmenten aan elkaar. Zo kun je bijvoorbeeld recombinant-DNA maken door een stukje DNA van een mens toe te voegen aan het DNA van een bacterie (zie afbeelding 36).

Er bestaan verschillende technieken om recombinant-DNA in te brengen in het DNA van organismen. Vaak wordt gebruikgemaakt van plasmiden. Geïsoleerde plasmiden uit bacteriën worden opengeknipt met een enzym. DNA-fragmenten (genen) afkomstig van andere organismen kunnen door deze plasmiden worden opgenomen. Vervolgens kunnen de gemodificeerde plasmiden door bacteriën worden opgenomen. Niet alle plasmiden zullen het DNA-fragment opnemen. Ook nemen niet alle bacteriën gemodificeerd plasmiden op. Maar als ze dat wel doen en zich daarna gaan delen, ontstaan nakomelingen met recombinant-DNA-plasmiden. Deze bacteriën kunnen dan een bepaald eiwit produceren, zoals bijvoorbeeld insuline, die mensen met diabetes kunnen gebruiken.

■ **Afb. 36** Recombinant-DNA-techniek.



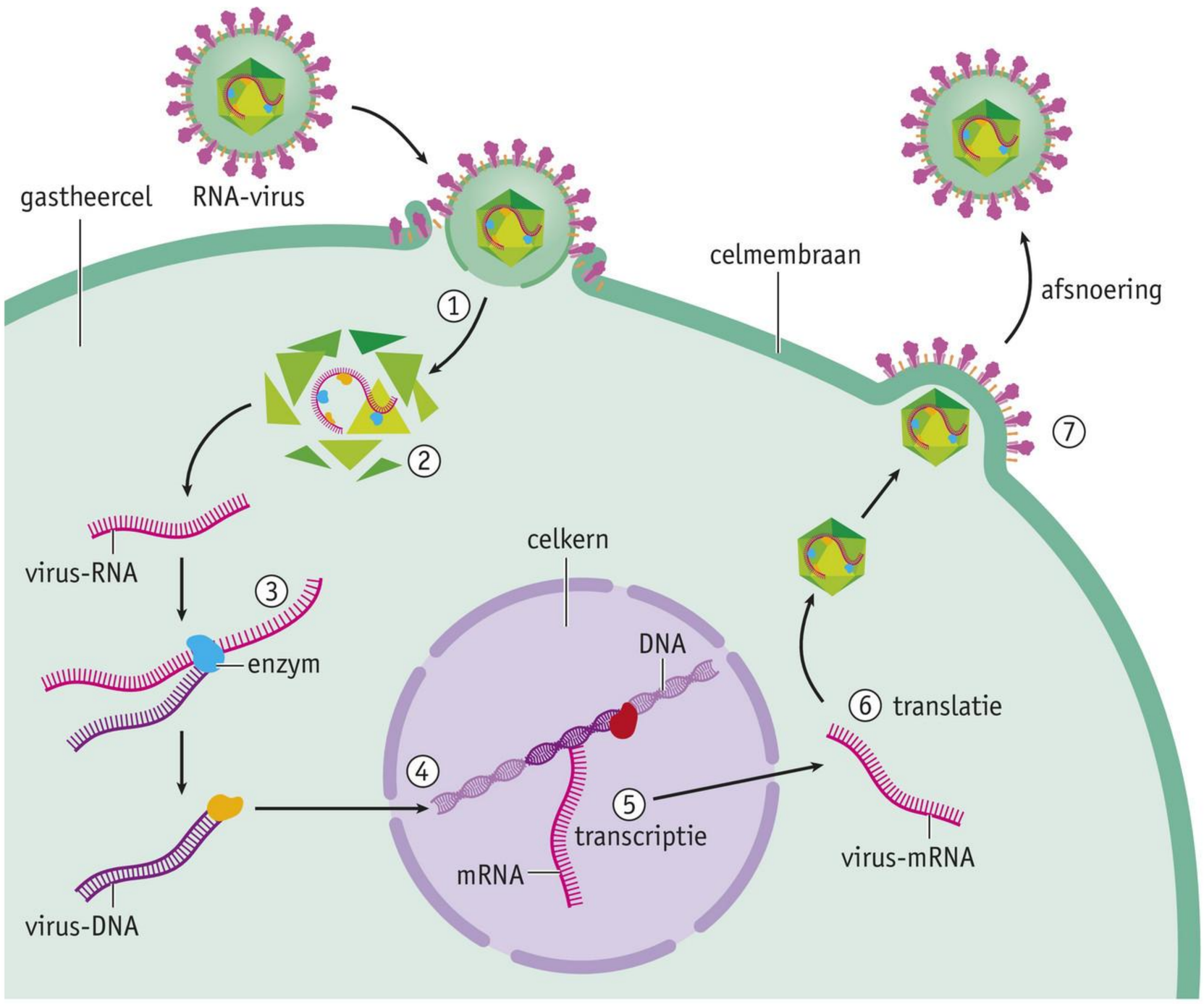
GENETISCHE MODIFICATIE MET VIRUSSEN

Virussen gebruiken specifieke gastheercellen voor hun voortplanting. Wanneer een virus de cellen van een ander organisme (de gastheer) binnendringt, komt hun DNA of RNA in de cel. Je spreekt dan van een virusinfectie. Het virus-DNA wordt naar de celkern getransporteerd en ingebouwd in het DNA van de gastheercel.

RNA wordt soms direct afgelezen door ribosomen. Vaak moet het worden ingebouwd in het DNA van de gastheercel. RNA kan niet rechtstreeks worden ingebouwd. Het RNA-virus bevat daarom een speciaal enzym dat in de celkern een DNA-keten kan vormen langs het RNA-molecuul. Het enzym doet het tegenovergestelde van transcriptie. Het virus-RNA-molecuul wordt afgebroken door enzymen in het cytoplasma. Langs de overgebleven DNA-keten vormt DNA-polymerase een complete dubbelstrengs DNA-keten. Dit fragment kan worden ingebouwd in het DNA van de gastheercel.

Voor het vormen van nieuwe virussen wordt het mRNA-molecuul gebruikt dat door transcriptie langs het ingebouwde DNA-fragment ontstaat. De ribosomen vormen virale eiwitten met de informatie in dit mRNA. Wanneer de gastheercel vol zit met virussen, barst hij vaak open, waardoor de virussen vrijkomen. Sommige gastheercellen barsten niet open, maar blijven nieuwe virussen afsnoeren (zie afbeelding 37).

■ **Afb. 37** Levenscyclus van een RNA-virus dat DNA kan vormen.



1 Virus hecht aan gastheercel.
2 Viraal RNA dringt gastheercel binnen.
3 Met behulp van enzymen wordt een DNA-keten gevormd.
4 DNA-keten wordt ingebouwd in DNA van gastheercel.
5 Er vindt transcriptie van virus-DNA plaats.
6 Er vindt translatie plaats van virus-mRNA en er worden nieuwe virusdeeltjes gevormd.
7 Nieuwe virussen worden afgesnoerd door de gastheercel.

Ook virussen kun je gebruiken om genen in een ander organisme in te bouwen. Met behulp van het virusenzym dat een DNA-keten kan vormen langs RNA, kun je met mRNA uit het cytoplasma van een eukaryoot organisme DNA synthetiseren. Zo kun je van een bepaald gen uit het genoom van het organisme een DNA-kopie produceren. Eerst isoleer je het mRNA uit cellen die veel van het gewenste eiwit maken. Met behulp van het virusenzym kan dan langs de mRNA-keten een enkelstrengs DNA-keten worden gevormd. Hiervan wordt met behulp van DNA-polymerase een dubbele DNA-keten gemaakt. Het DNA dat is ontstaan, heet copyDNA (cDNA) en bevat alleen het gewenste gen. cDNA kun je daarna in een plasmide van een bacterie of in een virus inbrengen.

Opdrachten KENNIS

53 **a** Wat is genetische modificatie?
b Waarom wordt genetische modificatie toegepast in de biotechnologie?
c Bij recombinant-DNA-techniek zijn twee typen enzymen betrokken.
Wat is de functie van deze enzymen?

54 Virussen kunnen ziekten veroorzaken door hun DNA of RNA in te brengen in cellen van een gastheer.
Beschrijf hoe een RNA-virus zich na infectie kan voortplanten. Gebruik hierbij de begrippen: *dubbelstrengs DNA – nieuwe virussen – polymerase – ribosomen*.

55 Onderzoekers van Wageningen Universiteit hebben bacteriën genetisch gemodificeerd, zodat zij menselijke insuline kunnen maken.
Zijn deze bacteriën cisgeen of transgeen? Leg je antwoord uit.

Opdrachten INZICHT

56 Gloeivissen (zie afbeelding 38) zijn genetisch gemodificeerde zebravissen die in hun DNA een gen hebben dat afkomstig is van kwallen. Hierdoor maken zij een fluorescerend eiwit dat er bij wit of ultraviolet licht voor zorgt dat de vis oplicht in een bepaalde kleur.
Welke eigenschap van DNA zorgt ervoor dat het DNA tussen kwallen en zebravissen kan worden uitgewisseld?

■ **Afb. 38** Gloeivissen.



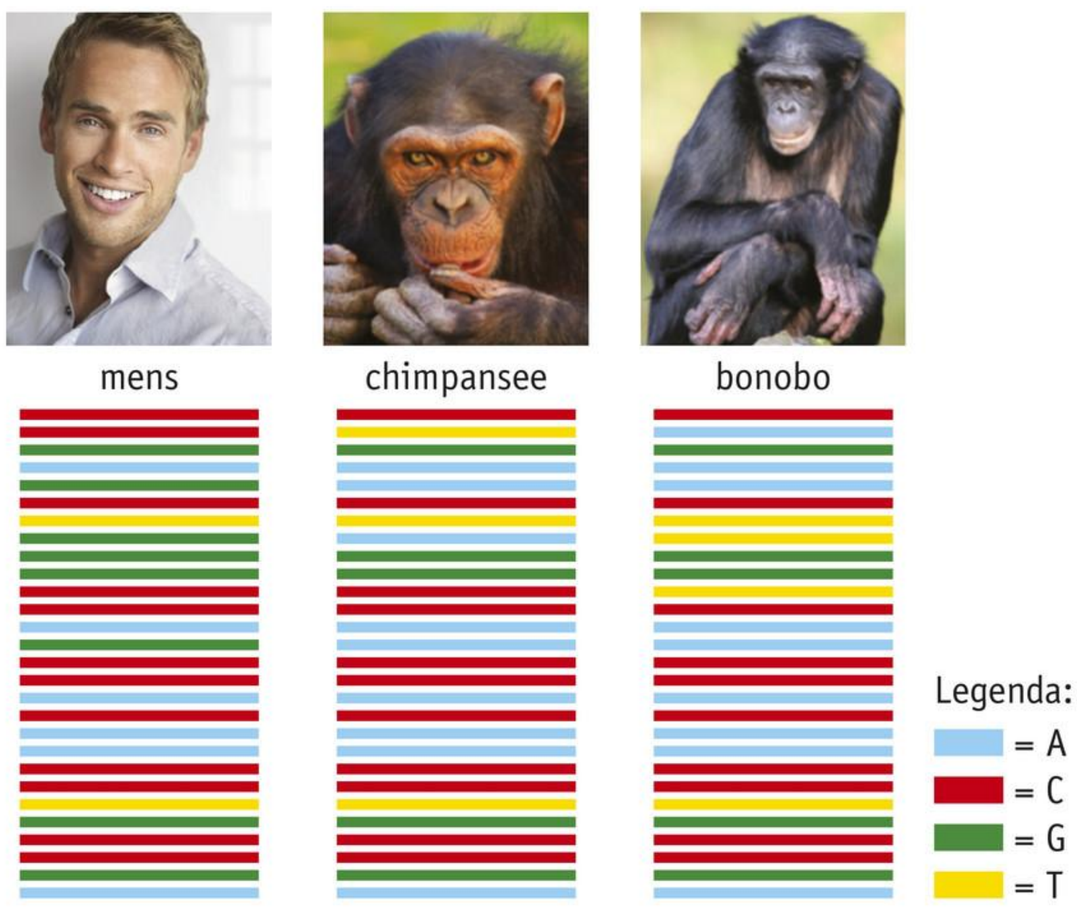
57 Genetische modificatie kan ervoor zorgen dat landbouwgewassen beter kunnen groeien in een droog milieu.
a Leg uit hoe dit mogelijk is.
b Door genetische modificatie kunnen landbouwgewassen resistent worden tegen bepaalde ziekten.
Wat is hiervan het voordeel?
c De effecten van genetische modificatie bij landbouwgewassen zijn nog niet duidelijk en daarom wordt er veel onderzoek naar gedaan. Milieuorganisaties vinden dat genetisch gemodificeerde gewassen niet in de natuur terecht mogen komen.
Vanwege welk risico vinden milieuorganisaties dat ggo's niet in de natuur terecht mogen komen?

58 Organismen determineren is lastig wanneer je bijvoorbeeld maar een deel van een organisme vindt of wanneer een organisme er in het larvestadium heel anders uitziet dan in het volwassen stadium. Bij DNA-barcoding determineer je de verschillende soorten organismen door de sequentie van de stikstofbasen van een specifiek stukje DNA te bepalen. Bij dieren gebruik je hiervoor een stukje mtDNA dat uit 648 nucleotiden bestaat. Dit stukje DNA heet ook wel het CO1-gen.

a Voor DNA-onderzoek heb je veel DNA nodig. Het is handiger om een stukje mtDNA te gebruiken voor DNA-barcoding dan een stukje kernDNA.
Leg dit uit.

b Afbeelding 39 is een weergave van de DNA-sequentie van een deel van het CO1-gen van drie verschillende organismen. De nucleotidensequentie is weergegeven met kleuren:
C = rood
A = blauw
T = geel
G = groen
Vergelijk de volgorde van de stikstofbasen in het CO1-gen van de verschillende organismen met elkaar.
Bij welk organisme vertoont het DNA de meeste overeenkomsten met het DNA van een mens? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 39** Weergave DNA-sequentie CO1-gen.



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

Context Beroep

NEDERLANDS FORENSISCH INSTITUUT

In 2015 werd een 27-jarige vrouw van haar fiets gesleurd en verkracht op het Brettenpad in Amsterdam. Ongeveer een jaar later werd er een verdachte gearresteerd op basis van politieonderzoek en een DNA-match. Maar het DNA-monster was van slechte kwaliteit en daarom kon de verdachte niet worden veroordeeld.

Dankzij de nieuwe DNA-techniek MPS (*massively parallel sequencing*) kon in 2019 het DNA-monster wel betrouwbaar worden geanalyseerd en werd de verdachte veroordeeld. Dit was een wereldprimeur voor het Nederlands Forensisch Instituut (NFI). Het was de allereerste veroordeling die plaatsvond dankzij MPS. Deze techniek stelt het NFI in staat om van veel DNA-fragmenten (stukken DNA) tegelijk de DNA-sequentie te bepalen.

Marius werkt bij het Nederlands Forensisch Instituut en is trots dat hij met zijn werk een kleine bijdrage kan leveren aan het veiliger maken van onze maatschappij. ‘Het Nederlands Forensisch Instituut helpt niet alleen bij Nederlandse rechtszaken, we analyseren ook DNA-monsters voor politieonderzoeken in het buitenland. Zo hebben we in 2021 een belangrijke bijdrage geleverd aan het onderzoek naar de moordenaar van het Noorse meisje Brigitte Tengs, die in 1995 werd omgebracht.’

Het NFI werkt mee aan het ontwikkelen van nieuwe DNA-technieken waarmee verdachten nog sneller kunnen worden opgespoord. Marius verwacht dat ze in de toekomst zelfs een profielschets kunnen maken aan de hand van een DNA-analyse, omdat het DNA informatie levert over de leeftijd en uiterlijke kenmerken van de verdachte.

Opdrachten

59 **a** Noteer twee hbo-opleidingen die je kunt volgen om bij het NFI te kunnen werken. Maak hiervoor gebruik van internet.

b Noteer twee eigenschappen die belangrijk zijn voor een forensisch onderzoeker. Leg uit waarom deze eigenschappen belangrijk zijn.

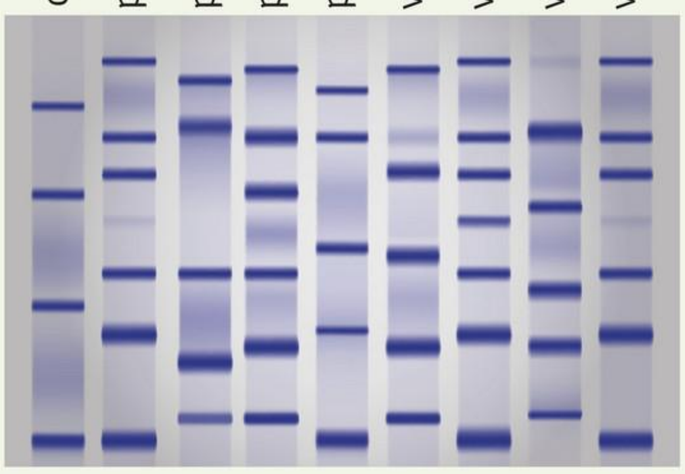
60 Voorheen maakte het NFI DNA-analyses met behulp van gelelektroforese. Bij deze techniek scheidt men stukjes DNA op basis van lengte, waardoor een bandenpatroon ontstaat.
In afbeelding 40 is het resultaat van de gelelektorforese van enkele DNA-monsters te zien.

a Waarom worden ook DNA-monsters van politieagenten geanalyseerd?

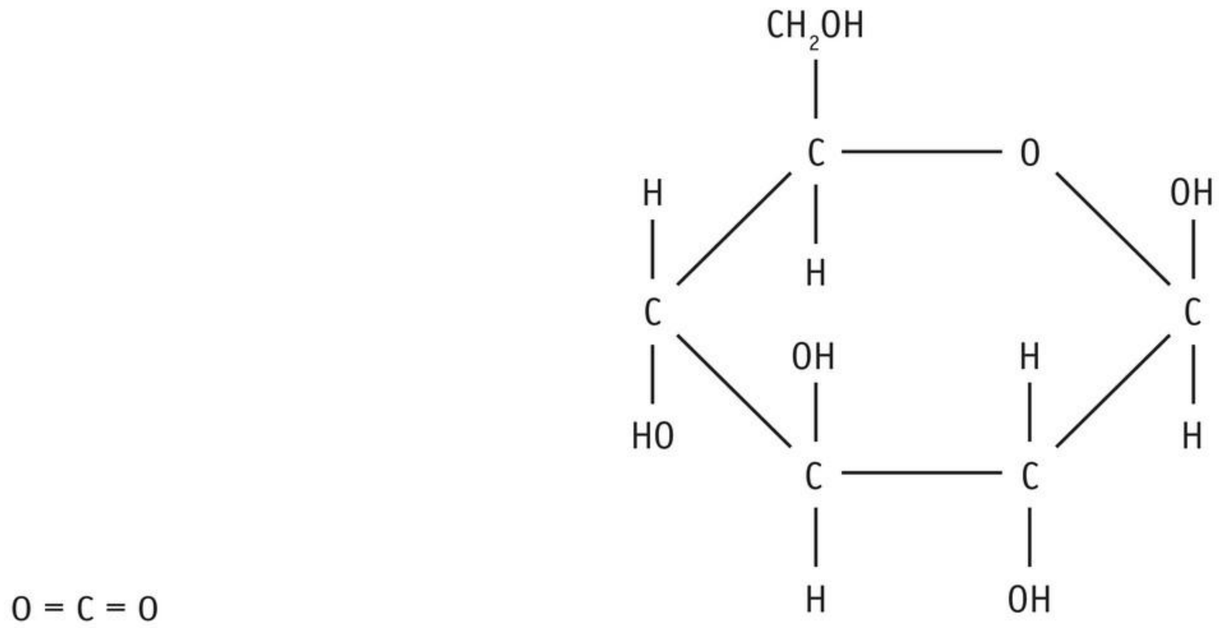
b Welke verdachte wordt gearresteerd op basis van deze DNA-analyse? Leg je antwoord uit.

c Waarom wordt er ook een controleproef gedaan?

■ **Afb. 40** Resultaat van gelelektroforese bij DNA-onderzoek.



■ **Afb. 1** Structuurformule van een anorganisch en een organisch molecuul.



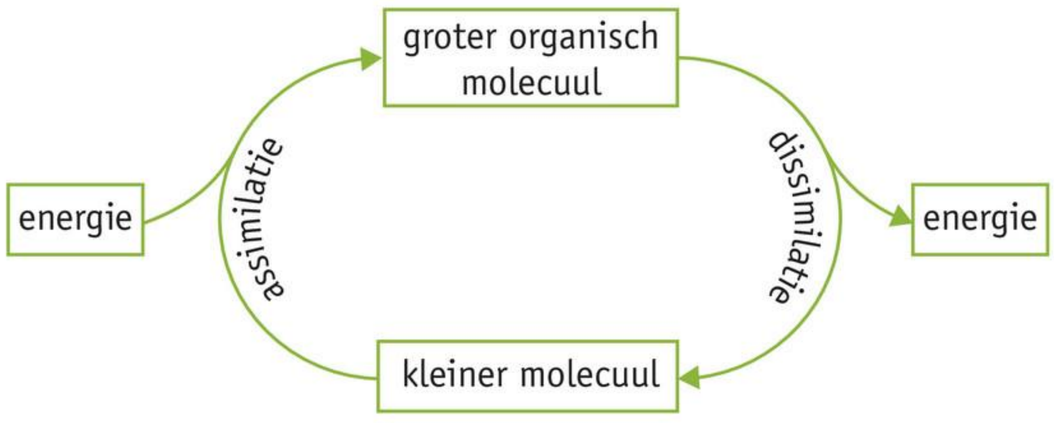
1 een anorganisch molecuul: koolstofdioxide

2 een organisch molecuul: glucose

ASSIMILATIE EN DISSIMILATIE

Stofwisselingsprocessen kun je indelen in assimilatie- en dissimilatieprocessen.
Assimilatie is de opbouw van organische moleculen uit kleinere moleculen.
Dissimilatie is de afbraak van grote organische moleculen tot kleinere moleculen. Voor assimilatie is energie nodig. Bij dissimilatie komt energie beschikbaar in onder andere de vorm van **warmte** of **kinetische energie** (zie afbeelding 2). Kinetische energie is de bewegingsenergie van deeltjes of voorwerpen.

■ **Afb. 2** Assimilatie en dissimilatie.



De vorming van glucose uit **koolstofdioxide** en water noem je **koolstofassimilatie**. Alleen autotrofe organismen zijn in staat tot koolstofassimilatie. Bij de **fotosynthese** gebruiken planten en cyanobacteriën **lichtenergie** voor de vorming van glucose. De organische stof glucose is vervolgens de grondstof voor andere koolhydraten en voor vetten, eiwitten en DNA. De vorming van deze stoffen uit glucose is de **voortgezette assimilatie**. Bij voortgezette assimilatie ontstaan grote organische moleculen met veel energierijke bindingen.

NOTITIES

DNA VAN OERMENS HELPT MODERN IMMUUNSYSTEEM

LEERDOELEN

9.S.1 Je kunt het effect van neanderthaler- en denisovamens-DNA toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

9.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheid evolutionair denken toepassen op DNA en genexpressie.

Uitgestorven mensensoorten zoals neanderthalers en denisovamensen worden oermensen genoemd, maar het zijn niet onze voorouders. Het zijn verwante soorten die tot ongeveer 40 000 jaar geleden tegelijkertijd met onze voorouders samenleefden.

Relaties tussen de eerste moderne mensen (*Homo sapiens*) en neanderthalers of denisovamensen kwamen regelmatig voor. Hierdoor bezitten de meeste mensen die nu leven 1 tot 5% DNA dat afkomstig is van deze oermensen. Ondanks dat de oermensen al lang zijn uitgestorven, is de invloed van dit DNA nog steeds merkbaar.

Door het contact van onze voorouders met andere mensensoorten werd *Homo sapiens* blootgesteld aan nieuwe ziekteverwekkers, zoals het griepvirus. Onze voorouders waren vatbaar voor deze nieuwe virussen. Het contact met de andere mensensoorten had niet alleen nadelen. Dankzij het uitwisselen van genen tussen onze voorouders en de oermensen werden ook de genen die belangrijk zijn voor de afweer tegen de nieuwe virussen doorgegeven.

Virussen kunnen zich niet zelfstandig voortplanten. Zij hebben enzymen en ribosomen uit onze cellen nodig om hun erfelijk materiaal te kopiëren en nieuwe virale eiwitten te produceren. De informatie voor het aanmaken van deze enzymen en ribosomen ligt in ons DNA. Neanderthalers hadden mutaties in de genen die voor deze enzymen coderen, waardoor de virussen zich bij hen minder makkelijk voort konden planten. Doordat neanderthalers en *Homo sapiens* samen nakomelingen kregen, hebben sommigen van ons de genen geërfd die het voor griepvirussen moeilijker maakt om zich voort te planten. Deze mensen worden minder snel ziek na een infectie met het griepvirus.

Via de denisovamensen kregen onze voorouders een gen dat voorkomt dat onze witte bloedcellen op hol slaan bij ontstekingsreacties: het TNFAIP3-gen. Deze eigenschap is erg handig in een tropisch klimaat waar de kans op infecties groter is. Hierdoor konden onze voorouders zich ook prima in tropische gebieden handhaven.

De gezonde variant van dit gen codeert voor een eiwit dat je immuniteit een klein beetje verhoogt, waardoor je beter beschermd bent tegen infecties. Een andere variant van dit gen wordt gelinkt aan auto-immuunziekten zoals de ziekte van Crohn en artritis. Bij het eiwit van dit gen is op één plaats het aminozuur isoleucine vervangen door leucine. Bij mensen met deze aandoeningen is het immuunsysteem overactief, zo actief dat het ook de eigen lichaamscellen aantast.

Er zijn ook genen van onze oeroude verwanten die juist worden gelinkt aan het vatbaarder zijn voor bepaalde ziekten of allergieën. Je moet dus maar net de goede genen hebben geërfd via de genetische loterij.

■ **Afb. 1** Een reconstructie van een oermens.



Opdrachten

1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau.
Kies uit: *aminozuur – auto-immuunziekten – denisovamens – DNA – families – gen – Homo sapiens – immuunsysteem – neanderthaler – viraal eiwit – witte bloedcel.*

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

2 Oermensen zoals neanderthalers en denisovamensen zijn verwant aan ons (*Homo sapiens*).

a Hoe kun je met DNA-analyse aantonen dat zij verwant zijn?

b Uit DNA-analyse blijkt dat in het menselijk genoom ook DNA afkomstig van virussen voorkomt. Hoe kan dit viraal DNA in ons DNA terecht zijn gekomen?

c Het gen TNFAIP3 codeert voor een belangrijk eiwit voor ons immuunsysteem. Na een mutatie wordt isoleucine vervangen door leucine.
Welke puntmutatie of welke puntmutaties kunnen hebben plaatsgevonden in de DNA-streng die wordt gebruikt om het mRNA te vormen waarmee dit eiwit wordt gemaakt? Gebruik *BiNaS* tabel 71G.

d Hoe kan een willekeurig mens nu 1 tot 5% DNA bezitten dat afkomstig is van uitgestorven mensensoorten? Gebruik in je antwoord de begrippen *gen* en *selectie*.

e De huidige mensen bezitten ook erfelijke eigenschappen die afkomstig zijn van oermensen die niet gunstig zijn voor ons.
Geef hiervoor een evolutionaire verklaring.

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

9.O.1 Je kunt uitleggen hoe je DNA kunt isoleren uit een plantaardige cel.

- Basisstof 1

DNA isoleren uit een tomaat

40 minuten

INLEIDING

Om de sequentie van DNA te kunnen bepalen, isoleer je eerst DNA uit cellen. In dit practicum onderzoek je hoe je DNA kunt isoleren uit de cellen van een tomaat.

MATERIAAL

- tomaat
- NaCl (keukenzout)
- afwasmiddel
- warm water
- ijskoud ethanol
- theelepel
- bekerglas
- maatbeker
- groot, scherp mes
- snijplank
- blender of staafmixer
- twee reageerbuizen
- keukenpapier
- trechter
- camera, mobiele telefoon of tablet

METHODE

- Snijd met het mes de tomaat in kleine blokjes en doe ze in de blender.
- Voeg de volgende ingrediënten toe aan de tomatenblokjes:
  - 5 mL afwasmiddel
  - 1 theelepel zout
  - 45 mL warm water
- Mix de inhoud 10 tot 15 seconden.
- Schenk het tomatenmengsel in een bekerglas.
- Vouw een filter van keukenpapier en plaats dit in de trechter. Plaats de trechter met filter in een reageerbuis. Filtreer de tomaatoplossing tot je ongeveer 1 mL filtraat hebt (ongeveer 1 cm in je reageerbuis). Hierdoor verwijder je celfragmenten. Het filtraat bevat het DNA.

- Schenk 1 mL ethanol in een reageerbuis.
- Houd de reageerbuis met het filtraat schuin en schenk heel langzaam 1 mL ethanol langs de kant.
- Laat de reageerbuis twee minuten staan. Schud niet. DNA lost moeilijk op in alcohol en zal daardoor samenklonteren. Het DNA is nu zichtbaar.
- Maak een foto van het DNA.

1 Hoe maak je de celwanden van tomatencellen kapot?
2 Hoe maak je de membranen van de cel en celorganellen kapot?
3 Waarom voeg je zout toe?
4 Waarom voeg je ethanol toe aan het filtraat?

RESULTAAT

Maak een foto van het DNA-propje.

SAMENVATTING

9.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt de bouw en functies van DNA beschrijven.

- DNA (desoxyribonucleïnezuur) bevat informatie voor erfelijke eigenschappen.
- Genoom: alle DNA-moleculen in een cel van een organisme. Het genoom bevat alle informatie voor de erfelijke eigenschappen van een individu.
  - Bij eukaryoten: al het kernDNA en het DNA in celorganellen zoals mitochondriën (mtDNA) en bladgroenkorrels (bij planten).
  - Bij prokaryoten: een circulair DNA-molecuul dat los in het cytoplasma van de cel voorkomt en soms plasmiden (korte stukjes cirkelvormig DNA).
- DNA is een nucleïnezuur dat is opgebouwd uit nucleotiden.
  - Een nucleotide bestaat uit desoxyribose, een fosfaatgroep en een stikstofbase.
  - In DNA komen vier stikstofbasen voor: adenine (A), cytosine (C), guanine (G) en thymine (T).
- Een DNA-molecuul bestaat uit twee ketens van aan elkaar gekoppelde nucleotiden, die in een dubbele spiraal (helix) om elkaar heen liggen gewonden.
  - In een nucleotideketen wisselen monosachariden en fosfaatgroepen elkaar af. De stikstofbasen steken er aan de zijkant uit.
  - De stikstofbasen vormen vaste basenparen: adenine (A) is altijd verbonden met thymine (T); cytosine (C) is altijd verbonden met guanine (G).
- Bij eukaryoten is het DNA in de celkern verdeeld over verschillende chromosomen.
  - Een chromosoom bestaat uit één lang dubbelstrengs DNA-molecuul dat rond eiwitten is gewikkeld.
- Sequentie: de volgorde waarin nucleotiden in een DNA-molecuul zijn gerangschikt.
- Coderend DNA: een deel van een DNA-molecuul (een gen) dat de code (DNA-sequentie) bevat waarmee ribosomen een of meer eiwitten kunnen maken.
- Niet-coderend DNA: grote delen van het DNA coderen niet voor eiwitten. Een deel daarvan:
  - codeert voor andere moleculen die een regulerende functie hebben bij de synthese van eiwitten.
  - heeft zelf een regulerende functie bij de eiwitsynthese.
  - bestaat uit genen die hun functie hebben verloren.

9.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven hoe DNA-replicatie plaatsvindt.

- DNA-replicatie vindt plaats in de S-fase van de celcyclus (zie *BiNaS* tabel 76).
  - DNA-replicatie begint met het verbreken van de verbindingen tussen de basenparen.
  - Het enzym DNA-polymerase verbindt vrije nucleotiden aan de vrijgekomen stikstofbasen van een enkelvoudige nucleotideketen.
  - Aan elke originele nucleotideketen ontstaat een nieuwe nucleotideketen.
  - Na DNA-replicatie bestaat een chromosoom uit twee chromatiden die in het midden nog aan elkaar vastzitten.

9.2.2

Je kunt uitleggen wat telomeren zijn en hoe deze bijdragen aan veroudering.

- Telomeren: uiteinden van de chromosomen, die bestaan uit niet-coderend DNA ingekapseld in beschermende eiwitten. Ze worden bij iedere celdeling korter, wat leidt tot veroudering.
  - De levensduur van de cellen van een organisme hangt af van de lengte van de telomeren en de snelheid waarmee ze korter worden.
  - Bij de mens zijn de telomeren na ongeveer vijftig celdelingen zo kort dat de cel zich niet meer kan delen en celdood ondergaat.
  - Embryonale stamcellen bevatten het enzym telomerase dat de telomeren na DNA-replicatie weer langer kan maken.

9.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt beschrijven hoe eiwitsynthese plaatsvindt.

- Transcriptie: langs een deel van een nucleotideketen van een DNA-molecuul (een gen) wordt een RNA-molecuul gevormd.
  - Dit gebeurt op plaatsen in het DNA-molecuul waar genen aanstaan.
- RNA (ribonucleïnezuur) verschilt van DNA:
  - RNA bestaat uit een enkele streng nucleotiden.
  - RNA bevat ribose in plaats van desoxyribose bij DNA.
  - RNA bevat de stikstofbase uracil (U) in plaats van thymine (T) bij DNA.

  - mRNA (messengerRNA) brengt de informatie voor de synthese van een eiwit over naar een ribosoom in het cytoplasma.
  - RNA wordt gevormd langs één keten van een DNA-molecuul.
- Bij eukaryoten verlaat het mRNA via de kernporiën de celkern en komt zo bij de ribosomen.
  - De volgorde van de nucleotiden in het mRNA-molecuul is een kopie van de nucleotidenvolgorde in het DNA en bevat de code voor de synthese van een eiwit.
- Translatie: de vertaling van de nucleotidevolgorde in mRNA naar de aminozuurvolgorde van een eiwit door ribosomen volgens de genetische code (zie *BiNaS* tabel 71G).
  - Een codon bestaat uit drie opeenvolgende nucleotiden.
  - Er zijn 64 verschillende codons: 1 startcodon (AUG), 61 codons coderen voor de aminozuren, 3 codons geven het einde aan van de eiwitsynthese (de stopcodons).
  - Aminozuren worden door tRNA (transfer-RNA) uit het cytoplasma naar het ribosoom vervoerd.
- Eiwitten kunnen worden gevormd door ribosomen in het cytoplasma of endoplasmatisch reticulum. Sommige eiwitten worden na de synthese nog verder bewerkt in het golgisysteem.
  - De functie van eiwitten wordt bepaald door de aminozuurvolgorde en door de ruimtelijke structuur.
  - Sommige eiwitten worden pas functioneel als ze buiten de cel zijn afgescheiden.

9.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven wat het belang van genexpressie voor een organisme is.

- Genregulatie is het aan- of uitzetten van een gen.
- Genexpressie: wanneer een gen aanstaat, kan door transcriptie mRNA worden gevormd en door translatie een eiwit.
  - Dankzij genregulatie en genexpressie kunnen verschillen type cellen, weefsels en organen ontstaan.
  - Door genregulatie en genexpressie kunnen cellen verschillende eiwitten produceren op het moment dat de cel ze nodig heeft, afhankelijk van de functie van de cel en van de milieuomstandigheden.

9.4.2

Je kunt enkele manieren van genregulatie bij prokaryoten beschrijven.

- Gedeelten van DNA hebben verschillende functies:
  - Regulatorgenen: zorgen bij prokaryoten voor de synthese van repressors. Zij kunnen een gen aan- of uitzetten.
  - Structuurgenen: genen in prokaryoten die de informatie bevatten voor het vormen van eiwitten.

9.4.3

Je kunt enkele manieren van genregulatie bij eukaryoten beschrijven.

- Stamcellen: cellen die nog niet (volledig) zijn gespecialiseerd en zich onbeperkt kunnen delen.
  - Embryonale stamcellen differentiëren tot elk celtype.
  - Adulte (volwassen) stamcellen differentiëren tot een beperkt aantal celtypen (bijv. bloedstamcellen).
- Genregulatie tijdens de embryonale ontwikkeling bij eukaryoten:
  - De plaats van een stamcel in een embryo bepaalt welke regulatorgenen aanstaan.
  - Regulatorgenen coderen in eukaryoten voor eiwitten die andere genen aan of uit kunnen zetten.
  - Bij apoptose laat een cel zichzelf afsterven waardoor overbodige en ongewenste cellen en weefsels worden verwijderd.
- Genregulatie bij volwassen eukaryoten vindt plaats, doordat:
  - eiwitten de transcriptie blokkeren of activeren door te binden aan genen in het DNA.
  - eiwitten DNA steviger binden.
  - DNA-methylering de genexpressie blokkeert.
- Epigenetica: bestudeert hoe de genexpressie kan worden beïnvloed.
  - Bij DNA-replicatie kunnen epigenetisch verworven eigenschappen worden doorgegeven aan de dochtercellen en bij voortplanting aan het nageslacht.
  - Een organisme kan zich zo snel aanpassen aan veranderde omstandigheden, dat vergroot de overlevingskansen en dat is een evolutionair voordeel.

9.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt de verschillende typen mutaties en hun uitwerking beschrijven.

- Mutatie: een verandering in de nucleotidevolgorde van het DNA van een cel.
- Puntmutatie: in het DNA verandert slechts één nucleotidepaar.
  - In het DNA kan een nucleotidepaar zijn toegevoegd, verwijderd of vervangen door een ander nucleotidepaar.
- Genoommutatie: het aantal chromosomen in een cel is veranderd.
  - Doordat bij meiose I de chromosomen van een paar bij elkaar blijven of doordat bij meiose II de chromatiden van een chromosoom bij elkaar blijven.
  - Een van de dochtercellen heeft één chromosoom te veel (bijv. bij het syndroom van Down) en de andere dochtercel één chromosoom te weinig.
- Mutaties kunnen plaatsvinden in een lichaamscel of in een geslachtscel.
  - Mutaties in geslachtscellen worden doorgegeven aan de nakomelingen, die heten dan mutanten.
- Mutaties met een positief effect vergroten de overlevingskans van het individu.
- Mutaties met een negatief effect verlagen de overlevingskans van een individu.
- Neutrale mutaties hebben geen effect op het fenotype, en dus ook niet op de overlevingskans.
- De frequentie waarmee mutaties plaatsvinden, wordt verhoogd door mutagene factoren, zoals:
  - mutagene straling (bijv. radioactieve straling)
  - mutagene stoffen (bijv. stoffen in sigarettenrook) en
  - virussen
- Tumorsuppressorgenen coderen voor eiwitten die de celcyclus stilleggen voor DNA-reparatie of zorgen ervoor dat de cel overgaat tot celdood bij te veel schade aan het DNA.
- Proto-oncogenen coderen voor eiwitten die de celgroei en celdifferentiatie stimuleren.
  - Door een mutatie kan een proto-oncogen veranderen in een oncogen, waardoor de cel abnormaal snel groeit en zich deelt.
- Bij kanker ontstaan kwaadaardige tumoren.
  - Mutaties in tumorsuppressorgenen en proto-oncogenen vergroten de kans dat een cel zich ontwikkelt tot kankercel.
  - Kenmerken van kankercellen: delen zich te snel, hebben een afwijkende vorm of kunnen niet goed functioneren.

9.6.1 BASISSTOF 6

Je kunt uitleggen hoe DNA-analyse werkt en de toepassingen daarvan beschrijven.

- Sequencen: het bepalen van de nucleotidevolgorde van DNA.
  - De variatie in de DNA-sequenties bij organismen van één soort kan o.a. informatie geven over afkomst en het risico op bepaalde lichamelijke of geestelijke ziekten.
  - Door DNA-sequenties van verschillende soorten te vergelijken, kun je de evolutionaire verwantschap van soorten bepalen.

9.6.2

Je kunt verschillende DNA-technieken en toepassingen van biotechnologie beschrijven.

- Biotechnologie: een verzamelnaam voor technieken waarbij organismen worden gebruikt om producten voor de mens te maken.
- Genetische modificatie is het veranderen van het DNA van een organisme.
  - Transgeen: het gemodificeerde organisme bevat DNA van een andere soort.
  - Cisgeen: het gemodificeerde organisme bevat DNA van een ander individu van dezelfde soort.
- Recombinant-DNA-techniek is het wijzigen van DNA door DNA in te brengen dat afkomstig is van een ander organisme.
  - Met speciale enzymen wordt een DNA-fragment (gen) uit een DNA-molecuul geknipt.
  - Andere enzymen plakken het DNA-fragment in het DNA van een ander organisme.
  - Bacteriën kunnen een recombinant-DNA-plasmide opnemen en daarna eiwitten voor specifieke doeleinden produceren.
- Een virus bezit een DNA- of RNA-molecuul. Na infectie van specifieke gastheercellen laten ze hun DNA of RNA achter.
  - DNA wordt naar de celkern getransporteerd en ingebouwd in het DNA van de gastheercel.
  - Een RNA-virus bevat een enzym dat een DNA-keten langs een RNA-streng vormt. De RNA-keten wordt afgebroken en polymerase vormt dubbelstrengs DNA dat wordt ingebouwd in het DNA van de gastheer in de celkern.
  - Langs het virale DNA ontstaat mRNA dat codeert voor eiwitten waarmee nieuwe virussen worden gevormd.
  - Nieuwe virussen komen vrij doordat de gastheercel openbarst of virussen afsnoert.

SAMENHANG

9.S.1 **Je kunt het effect van neanderthaler- en denisovamens-DNA toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.**

9.S.2 **Je kunt de biologische vakvaardigheid evolutionair denken toepassen op DNA en genexpressie.**

ONDERZOEK – PRACTICUM

9.O.1 **Je kunt uitleggen hoe je DNA kunt isoleren uit een plantaardige cel.**

Ga naar de *Flitskaarten* en de *Oefentoets*.

EXAMENOPGAVEN

VERDACHTE CHRYSANTEN

Naar: examen havo 2021-1, vraag 20, 21, 22 en 24.

De van oorsprong gele chrysant wordt in Nederland volop gekweekt. Er zijn witte (zie afbeelding 1), roze, rode en paarse variëteiten. Sommige hebben grote bloemen, andere juist kleine.

■ **Afb. 1** Chrysant.



Het kost jaren voordat gewenste eigenschappen uiteindelijk via klassiek veredelen in de planten vóórkomen en er sprake is van een nieuw ras. Bij het veredelen van chrysanten wordt gebruikgemaakt van de genetische variatie van de planten. Om het veredelingsproces te versnellen, bestralen veredelaars plantendelen met radioactieve straling. Cellen van bladeren en stengels worden vervolgens op voedingsbodems opgekweekt tot volledige planten.

1p **1** De radioactieve straling leidt tot extra variatie in het erfelijk materiaal.
Hoe noem je deze eigenschap van radioactieve straling?

A emergent
B modificerend
C mutageen
D persistent

2p **2** Bij een weefselkweek worden hormonen toegevoegd, waardoor de cellen andere organen zoals wortels vormen.
Op welke wijze veroorzaken plantenhormonen de differentiatie van cellen tot wortelcellen?

A Ze beïnvloeden de expressie van bepaalde genen in de cellen.
B Ze bevorderen de deling van cellen.
C Ze laten cellen de benodigde voedingsstoffen opnemen.
D Ze stimuleren de cellen tot opslag van reservestoffen.

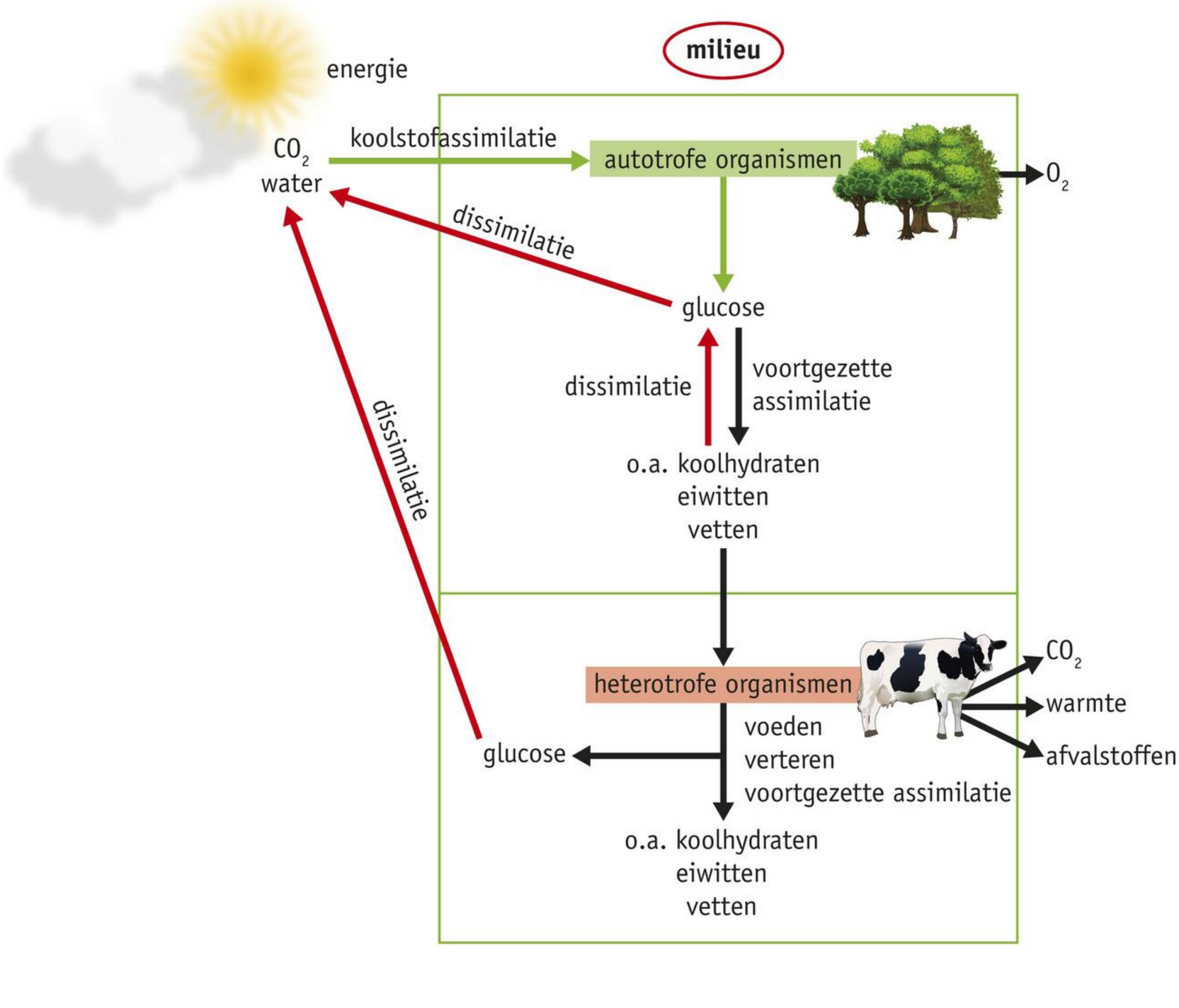
Om als nieuw ras te worden geregistreerd moet een variëteit aan drie eisen voldoen:

- De variëteit moet zich onderscheiden van andere rassen.
- Alle planten moeten op elkaar lijken.
- De kenmerkende eigenschappen blijven na vermeerderen behouden.

Als hieraan is voldaan, krijgt de veredelaar kwekersrecht. Hiermee kan hij gedurende 25 jaar beslissen wie het ras mag telen.

Door dissimilatie (verbranding) komt die opgeslagen energie beschikbaar voor celprocessen, zoals assimilatie of transport van stoffen. Voortgezette assimilatie en dissimilatie vinden plaats in autotrofe en in heterotrofe organismen (zie afbeelding 3).

■ **Afb. 3** Stofwisseling in de cel.



Opdrachten KENNIS

1 **a** Noteer drie verschillen tussen organische stoffen en anorganische stoffen die voorkomen in organismen.
b Wat is de functie van koolstofassimilatie?
c Wat is de functie van dissimilatie?
d Leg uit dat je organismen die in staat zijn tot koolstofassimilatie, autotroof noemt.

2 **a** Noteer welke van de volgende stoffen organisch zijn: *calcium – cellulose – glucose – ijzer – koolstofdioxide – palmolie (een vet) – pepsine (een eiwit) – stikstof – vitamine C – water – zetmeel – zuurstof.*
Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 67F t/m 67I en tabel 99.
b Leg uit welk criterium je hebt gebruikt om de stoffen bij vraag a te kiezen.

Kwekerij Flowi heeft ter gelegenheid van de Olympische Spelen van 2020 de helderrode chrysant ‘Tokio’ gekweekt en hiervoor het kwekersrecht gekregen. Chrysanten van het ras Tokio worden ongeslachtelijk vermeerderd.

2p **3** Over het ras Tokio worden drie uitspraken gedaan:

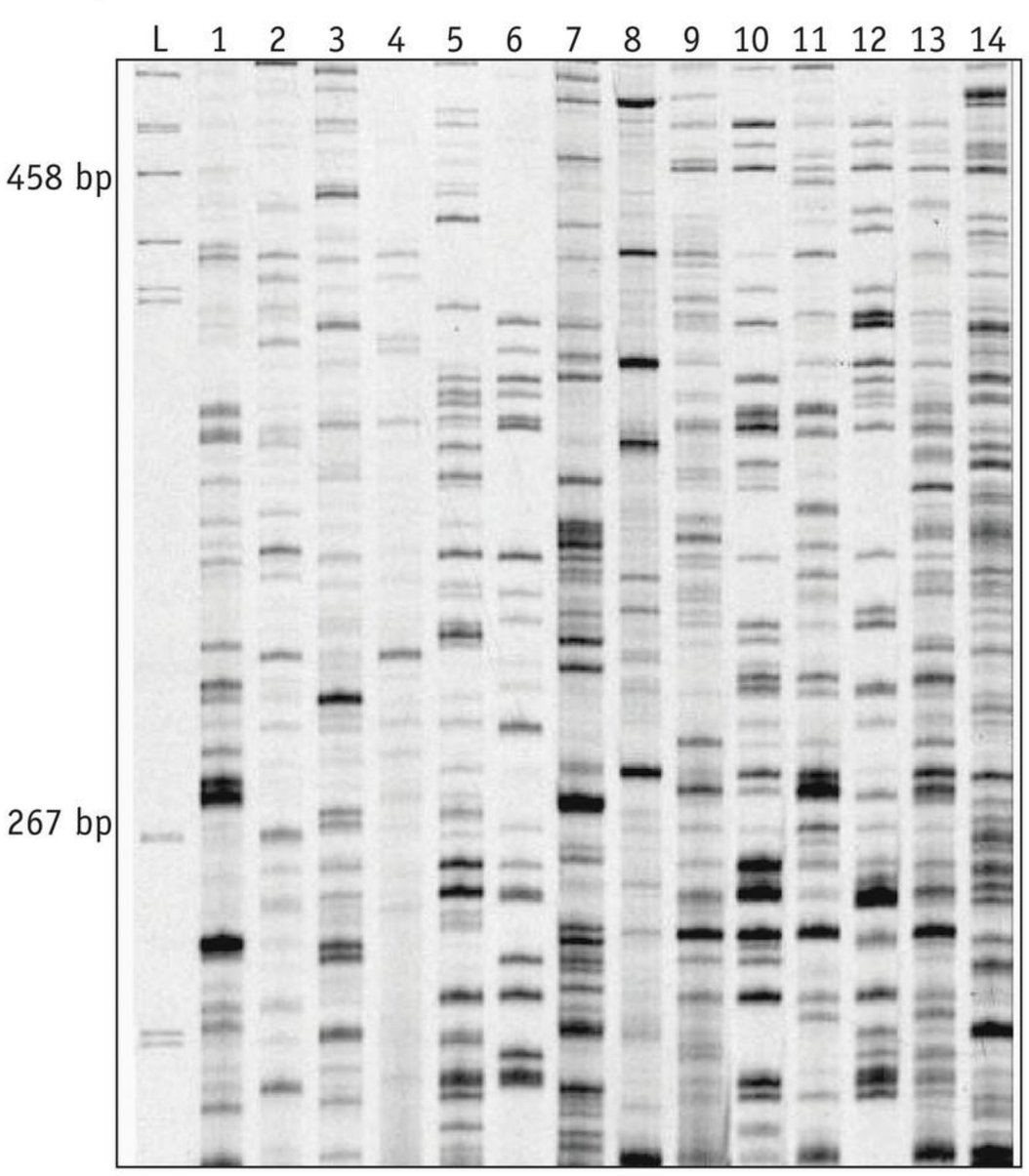
1 Tokio moet voor alle kenmerkende eigenschappen homozygoot zijn.
2 Tokio heeft alleen maar dominant overervende eigenschappen.
3 Tokio kan niet worden gekruist met planten van een ander chrysantenras.

Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of de betreffende uitspraak juist of onjuist is.

Na enige tijd verschenen vrijwel identieke chrysanten onder de naam ‘Red Sun’ op de markt. Om te onderzoeken of dit echt een ander ras is dan de Tokio, klopte Flowi aan bij Naktuinbouw (Stichting Nederlandse Algemene Kwaliteitsdienst Tuinbouw). Deze dienst kan onderzoeken of een kweker planten teelt waarop een andere kweker het kwekersrecht heeft.

Om na te gaan of Tokio en Red Sun tot hetzelfde ras behoren, worden ze in kassen opgekweekt en vervolgens vergeleken op de kenmerkende eigenschappen. Daarnaast worden genetische verschillen in kaart gebracht door middel van DNA-onderzoek. Hiermee wordt van elk ras een unieke DNA-fingerprint verkregen. In afbeelding 2 zijn de fingerprints van verschillende rassen weergegeven.

■ **Afb. 2** DNA fingerprints van verschillende chrysantenrassen.



1p **4** Door welk verschil in DNA heeft elk chrysantenras een unieke DNA-fingerprint?

A door een verschil in de nucleotidenvolgorde
B door een verschil in de volgorde van de genen op de chromosomen
C door het verschil in aantal chromosomen

STAMCELDONATIE

Naar: havo examen 2022-3 vraag 23 t/m 25.

Voetballer Lennart Thy miste een wedstrijd van zijn club VVV-Venlo tegen PSV, omdat hij in het ziekenhuis verbleef voor een stamceldonatie. Na het zien van het nieuwsitem over Lennart Thy overweegt Paul om ook stamceldonor te worden.

De gedoneerde stamcellen worden gebruikt voor de behandeling van leukemie. Leukemie is een aandoening waarbij de productie van witte bloedcellen is ontregeld. Voor de stamcelbehandeling bij leukemie worden eerst de beenmergcellen van de patiënt gedood door middel van chemotherapie. Daarna worden gezonde beenmergstamcellen van een geschikte donor bij de patiënt ingebracht.

2p **5** Hieronder staan eigenschappen die een lichaamscel kan hebben:

1 bevat mitochondriën
2 kan zich differentiëren
3 produceert eiwitten

Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of een stamcel de betreffende eigenschap wel of niet heeft.

Paul meldt zich aan als stamceldonor. Hij krijgt een steriel wattenstaafje thuisgestuurd waarmee hij wat wangslijmvlies verzamelt. Als hij dit heeft teruggestuurd voor DNA-onderzoek, hoeft Paul voorlopig niets meer te doen. Hij zal worden opgeroepen als zijn stamcellen nodig zijn.

1p **6** Verklaar waarom de cellen uit het wangslijmvlies net zo bruikbaar zijn voor DNA-onderzoek als de cellen uit Pauls beenmerg.

Paul is geschikt als stamceldonor als de HLA-eiwitten op zijn cellen voldoende overeenkomen met die van de ontvangende patiënt. HLA-eiwitten zijn aanwezig op bijna alle lichaamscellen. Deze eiwitten zorgen ervoor dat het afweersysteem de lichaamscellen als lichaamseigen herkent. Op chromosoom 6 liggen zes genen dicht bij elkaar, die elk voor een verschillend HLA-eiwit coderen. Van elk HLA-gen zijn vele allelen bekend. Alle allelen van deze zes genen die bij iemand aanwezig zijn, komen in gelijke mate tot expressie. Hierdoor is de kans heel klein dat twee niet-verwante personen dezelfde HLA-eiwitten hebben.

2p **7** Er worden drie uitspraken gedaan over HLA-genen.

1 Er zijn multipele allelen voor elk HLA-gen.
2 Bij elk HLA-gen is een van de allelen dominant.
3 De HLA-genen erven gekoppeld over.

Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of deze uitspraak juist of onjuist is.

INSECTEN RESISTENT TEGEN GM-GEWASSEN?

Naar: examen havo 2022-2, vraag 32 en 33.

GM-gewassen zijn landbouwgewassen die genetisch zijn gemodificeerd. Veel GM-gewassen produceren gifstoffen die hen beter beschermen tegen vraat door insecten. Insecten ontwikkelen echter resistentie tegen deze gifstoffen.

Met behulp van DNA-technieken brachten onderzoekers het Cry-gen van de bodembacterie *Bacillus thuringiensis* in bij maisplanten en katoenplanten. Het Cry-gen codeert voor een eiwit dat giftig is voor insecten. Rupsen gaan enkele dagen na het eten van de planten dood, waardoor er veel minder bestrijdingsmiddelen hoeven te worden gebruikt bij de teelt van deze gewassen.

Het eiwit dat wordt gemaakt bij de expressie van het Cry-gen vormt eiwitkristallen. Deze kristallen lossen op bij een pH van 11 of hoger. Bij veel insecten is de pH van de darm hoger dan 11. De opgeloste Cry-eiwitten binden aan receptoren in het membraan van darmwandcellen, waarna er gaten in de darmwand ontstaan (perforatie). Als gevolg hiervan sterven de insecten.

Een vorm van resistentie bij het katoendaguiltje wordt veroorzaakt door een puntmutatie in het HaTSPAN1-gen. Het mutante allel is dominant. Door de puntmutatie wordt op een positie in het HaTSPAN1-eiwit het aminozuur serine ingebouwd in plaats van leucine.

1p **8** De puntmutatie leidt tot de verandering van één base in het DNA.
Welk codon in het oorspronkelijke mRNA is veranderd?

A CUA of CUG
B CUU of CUC
C UUA of UUG

In tien jaar tijd is de allelfrequentie van het gemuteerde allel van het HaTSPAN1-gen met een factor 100 toegenomen. Hierdoor is het een serieuze bedreiging voor het succes van de GM-gewassen met het Cry-gen.

Om resistentie in nieuwe plantages voor langere tijd te voorkomen, willen de onderzoekers de genetische modificatie op een iets andere manier doen: ze willen het stuk DNA veranderen dat ze in de gewassen inbrengen.

1p **9** Welke verandering zal het meeste succes hebben?

A behalve het Cry-gen een gen voor een andere toxine inbouwen die insecten doodt
B behalve het Cry-gen een recessief HaTSPAN1-gen inbouwen
C meer kopieën van het Cry-gen inbouwen

Ga naar de *Examentrainer.*

NOTITIES



Thema 10

VOEDING EN VERTERING

Alle dieren, dus ook mensen, eten andere levende of dode organismen. De verwerking van dit voedsel kent vier fasen. Eerst moet het dier voedsel zien te bemachtigen en inslikken, waardoor het in het darmkanaal terechtkomt. Daar wordt het voedsel verteerd tot kleine moleculen. Deze moleculen worden door cellen in het darmkanaal opgenomen en via het bloed naar cellen in het lichaam vervoerd. In de laatste fase worden onverteerde voedselresten uit het darmkanaal verwijderd.

Inhoud

ORIËNTATIE

Eten tegen ADHD 136
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Voedingsstoffen 138
2 Het verteringsstelsel 150
3 Chemische vertering 159
4 Resorptie 167
5 Gezonde voeding (SE) 174

SAMENHANG

Bacteriën houden je gezond 182

EXTRA STOF

Functionele voedingsmiddelen
Leren en werken

ONDERZOEK

Practica 184

AFSLUITING

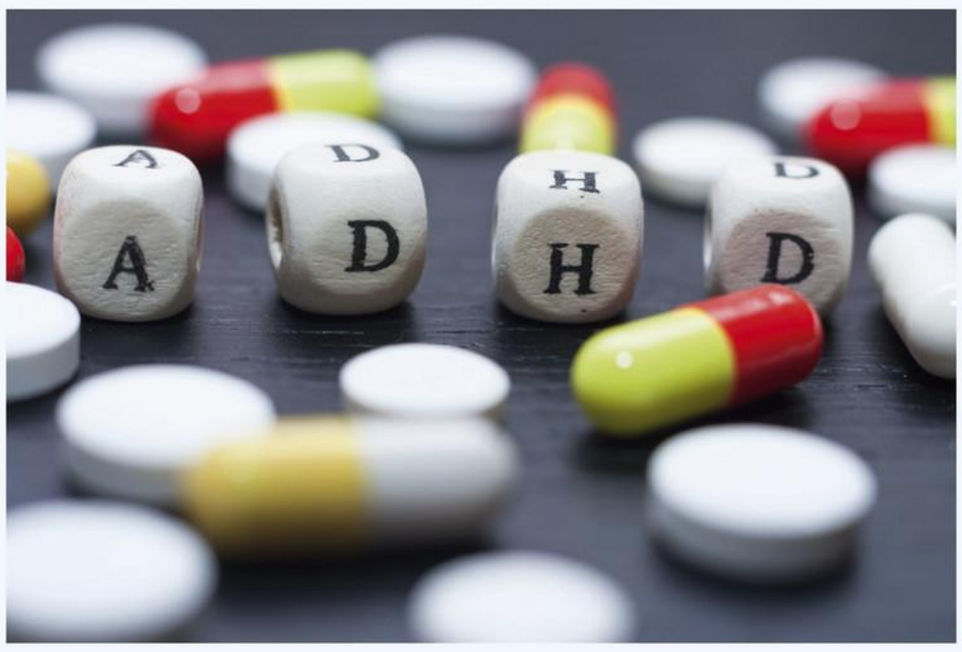
Samenvatting 190
Examenopgaven 194

ETEN TEGEN ADHD

De kans is groot dat je iemand kent die *Attention Deficit Hyperactivity Disorder* (ADHD) heeft, want deze aandoening komt voor bij ongeveer 5% van alle jongeren in Nederland. Misschien heb je zelf ADHD. De kenmerken die bij ADHD horen zijn onder andere veel bewegen, snel reageren en moeite hebben met concentreren.

Veel jongeren met ADHD krijgen medicatie (zie afbeelding 1). Medicijnen zoals ritalin onderdrukken de ADHD-symptomen. Maar medicatie werkt niet de hele dag en er zijn vaak bijwerkingen. Veel jongeren stoppen daarom weer met het gebruik van medicijnen. Maar de ADHD verdwijnt niet, ook niet als je volwassen bent.

■ **Afb. 1** Medicatie tegen ADHD.



Er is goed nieuws. Uit onderzoek blijkt dat de symptomen van ADHD kunnen verdwijnen door het volgen van een speciaal dieet: het RED-dieet. Dit dieet is voor iedereen anders. Veel voedingsmiddelen die je normaal gesproken wel eet, eet je nu niet. Bij veel proefpersonen die dit dieet vijf weken volgden, verdwenen de symptomen van ADHD.

Dit goede nieuws heeft wel een keerzijde, want het gaat om een streng dieet. Alle voedingsmiddelen waarop iemand met ADHD zou kunnen reageren, laat je gedurende vijf weken weg. Dat betekent dat in die vijf weken je dagelijks dieet vooral bestaat uit rijst, wit vlees (kip), bepaalde groenten en fruit. Zelfgemaakte pannenkoeken en koekjes mogen ook. Na vijf weken wordt vastgesteld of je gedrag is veranderd. Als dat het geval is, mag je stuk voor stuk steeds weer voedingsmiddelen aan je dieet toevoegen. Op die manier wordt duidelijk op welk specifiek voedingsmiddel je reageert. Na de eerste vijf weken kun je dan een minder streng dieet volgen. De producten waar je slecht op reageert, moet je voor altijd vermijden.

Tijdens het volgen van het dieet worden de proefpersonen nauwlettend gevolgd en onderzocht. Onderzoekers controleren hun bloed, urine en ontlasting en bekijken met een scan wat er in de hersenen gebeurt. Ook kijken ze of door het dieet bepaalde genen van de proefpersonen aan- of uitschakelen. Als dat het geval is, is ADHD misschien in de toekomst zelfs te voorkomen. De resultaten zijn tot nu toe succesvol. Ruim 60% van de proefpersonen vertoont met het dieet geen kenmerken meer van ADHD en kan stoppen met de medicatie.

Onderzoek naar het verband tussen voeding en gedrag vindt ook plaats bij autisme. Ook hier geldt dat er niet één dieet is dat voor iedereen met autisme werkt. Vaak heeft het eten van vette vis een positieve invloed. Soms kan iemand beter melkproducten weglaten, of graanproducten. Verder is al bekend dat de stof sulforafaan die in broccoli en bloemkool zit, gedrag positief kan beïnvloeden. Van de proefpersonen die deze stof in de vorm van pillen kregen toegediend, was twee derde minder prikkelbaar en lusteloos dan voor het onderzoek. Zij vertoonden minder herhalend gedrag zoals tikken of fladderen met de handen en konden gemakkelijker contact maken.

Een dieet kan ADHD of autisme niet volledig genezen. Het kan het leven met deze aandoeningen wel gemakkelijker maken en ervoor zorgen dat je minder of zelfs geen medicijnen meer nodig hebt.

■ **Afb. 2** Kan voeding symptomen van ADHD en autisme beïnvloeden?



Opdrachten

1 In het onderzoek naar het effect van voeding op ADHD worden hersenscans van de proefpersonen gemaakt. Dit gebeurt zowel voor als tijdens het onderzoek.
Waarom zouden onderzoekers hersenscans van de proefpersonen maken?

2 Onderzoekers gaan ook na of door het dieet bepaalde genen worden aan- of uitgeschakeld. Hoe noem je dit soort onderzoek? Leg je antwoord uit.

3 De eerste fase van het onderzoek duurt vijf weken. In deze periode volgen de deelnemers een zeer streng dieet, waarbij ze maar heel weinig verschillende producten mogen eten. Waarom is het niet verstandig om zo'n streng dieet langer dan vijf weken te volgen?

4 Sommige jongeren met ADHD gebruiken medicijnen. Het dieet zou deze medicatie mogelijk overbodig maken.
Noteer een voordeel van het volgen van het dieet in plaats van het gebruik van medicijnen.

5 Het volgen van het dieet kan ook nadelen met zich meebrengen. Noteer zo'n nadeel.

Ga naar de *Voorkennistoets* en het *Voorkennisfilmpje*.

1 VOEDINGSSTOFFEN

LEERDOEL

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

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

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	10.1.1
Onthouden	1, 2b, 5a
Begrijpen	2ac, 3, 4, 5bc, 6, 13
Toepassen	7, 10, 12, 14, 16
Analyseren	8, 9, 11, 15

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**. 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. Zo gebruik je sommige voedingsstoffen 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 je lichaam en voor vervanging van afgestorven cellen heb je bouwstoffen nodig. Brandstoffen zijn voedingsstoffen die energie kunnen leveren voor de dissimilatie (verbranding). De energie die daarbij vrijkomt, heb je bijvoorbeeld nodig om te bewegen en je lichaamstemperatuur op peil te houden. Ook voor groei, ontwikkeling en herstel is energie nodig. Koolhydraten (glycogeen) en vetten zijn voedingsstoffen die je lichaam kan opslaan als reservestof.

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

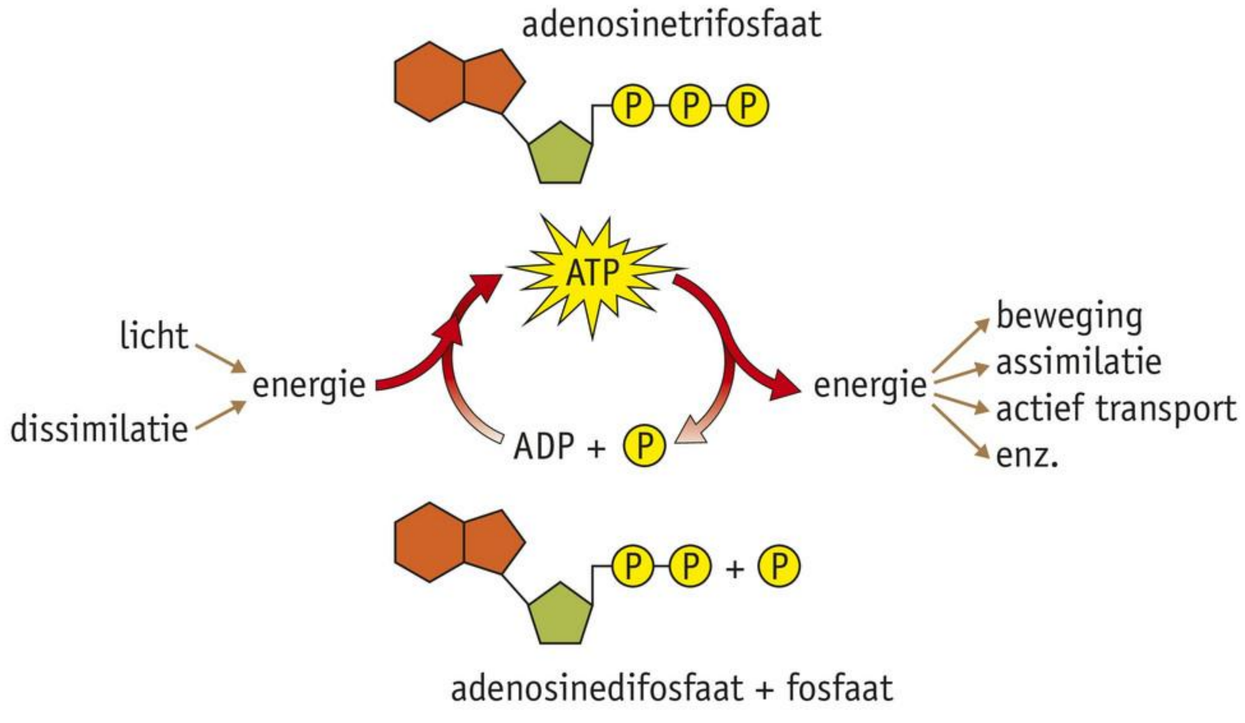
EIWITTEN (PROTEÏNEN)

Eiwitten (proteïnen) zijn ketens van enkele tientallen tot duizenden aminozuren. Er zijn dierlijke en plantaardige eiwitten. Dierlijke eiwitten zitten vooral in vlees, vis, melk, kaas en eieren. Plantaardige eiwitten zitten vooral in brood, graanproducten, peulvruchten en noten (zie afbeelding 1). Ook paddenstoelen (schimmels) bevatten veel eiwitten. 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 in de cellen worden de aminozuren weer aan elkaar gekoppeld tot eiwitmoleculen.

ENERGIETRANSPORT

Cellen delen zich, groeien en zorgen voor levensprocessen, zoals beweging, transport en afscheiding van stoffen. Daarvoor hebben ze energie nodig. Bij de dissimilatie van glucose in mitochondriën worden moleculen van de stof **ATP** (**adenosinetrifosfaat**) gevormd. ATP bevat drie fosfaatgroepen. In de bindingen tussen de fosfaatgroepen is veel chemische energie vastgelegd. Wanneer de derde fosfaatgroep van ATP wordt afgesplitst, komt de vastgelegde energie weer vrij en ontstaat **ADP** (**adenosinedifosfaat**). De energie die door deze afsplitsing beschikbaar komt, is nodig voor stofwisselingsreacties en processen in de cel, bijvoorbeeld eiwitsynthese of actief transport over membranen (zie afbeelding 4).

■ **Afb. 4** Energietransport met behulp van ATP.



Opdrachten KENNIS

3 ATP is de drager van chemische energie. De structuurformule van ATP is $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$. Is ATP een organische of een anorganische stof? Leg je antwoord uit.

4 Beschrijf het verschil tussen ADP en ATP.

5 Hoe kan energie worden vrijgemaakt uit ATP?

6 **a** Noteer welke van de volgende cellen veel ATP bevatten: *cel van lederhuid – kraakbeencel – spermacel – spiercel*.
b Verbruiken de cellen van je antwoord(en) bij vraag a veel of weinig glucose? Leg je antwoord uit.

Opdrachten INZICHT

7 Bij assimilatie en dissimilatie worden vormen van energie omgezet in andere vormen.
a Welke energieomzettingen vinden achtereenvolgens plaats als lichtenergie wordt gebruikt voor de vorming van een eiwit in een plant? Ga ervan uit dat de lichtenergie eerst wordt vastgelegd in de vorm van glucose.
b In welke organellen vinden deze energieomzettingen plaats?

In eiwitten van mensen komen twintig verschillende aminozuren voor. Twaalf daarvan, de **niet-essentiële aminozuren**, kunnen de meeste mensen zelf maken als ze niet voldoende in het voedsel voorkomen. Dat gebeurt in de lever. De andere acht aminozuren kunnen mensen niet of in te kleine hoeveelheden zelf vormen. Daarom moeten deze **essentiële aminozuren** in je voedsel voorkomen.

Eiwitten zijn belangrijke bouwstoffen van cellen en weefsels. Ze maken bijvoorbeeld deel uit van tussencelstof, zoals de collageenvezels in beenweefsel en kraakbeenweefsel. De eiwitten actine en myosine zijn een belangrijke bouwstof van de spiercellen. Ook reguleren eiwitten bijna alle processen in een organisme. Ze zijn betrokken bij het transport van stoffen, bij het overbrengen van signalen van de ene cel naar de andere (communicatie) en bij chemische reacties in het lichaam.

Je lichaam kan eiwitten ook gebruiken als brandstof. Eiwitten worden dan eerst omgezet in glucose, die vervolgens wordt verbrand. Wanneer er niet voldoende glucose beschikbaar is, verbrand je de eiwitten uit je spieren. Hierdoor neemt je spiermassa af.

Een overschot aan eiwitten en aminozuren in je voeding wordt in je lichaam omgezet in stoffen die je als brandstof gebruikt. Ze kunnen ook worden omgezet in vet en je slaat ze dan op als reservestof.

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



KOOLHYDRATEN (SACHARIDEN)

In afbeelding 2 zie je voedingsmiddelen die veel koolhydraten (sachariden) bevatten. Zoete vruchten, jam, stroop en honing bevatten veel glucose, fructose (beide monosachariden) en sacharose (een disacharide). Brood, aardappelen, rijst en pasta bevatten veel zetmeel (een polysacharide). Dierlijk voedsel bevat relatief weinig koolhydraten.

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



Koolhydraten zijn belangrijke brandstoffen in je lichaam. Als je 1 g koolhydraten verbrandt, komt 17 kJ 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 hoeveelheid koolhydraten wordt omgezet in vet en 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 worden verteerd door enzymen van de mens. Deze vezels zijn afkomstig uit de celwanden van plantaardige voedingsmiddelen. Ze komen veel voor in groenten, fruit en volkorenproducten. Voorbeelden zijn cellulose en pectine. Een deel van de voedingsvezels kan in de dikke darm worden afgebroken door de enzymen van bacteriën. De voedingsvezels die niet worden afgebroken zwellen op, doordat ze water opnemen. Zo zorgen ze voor een verzadigd gevoel. Hierdoor eet je niet zo snel te veel en behoud je gemakkelijker een gezond gewicht. Voedingsvezels bevorderen de darmperistaltiek (beweging van de darm) en houden je ontlasting soepel. Dit draagt bij aan een goede stoelgang.

VETTEN (LIPIDEN)

Voedingsmiddelen als halvarine, zonnebloemolie, vlees, vis, kaas, noten, koek, snacks en sauzen bevatten vetten (zie afbeelding 3). Een vetmolecuul is opgebouwd uit een glycerolmolecuul en drie vetzuurmoleculen. Deze vetzuren kunnen verzadigd of onverzadigd zijn (zie afbeelding 4). Bij een verzadigd vetzuur zijn er overal enkele bindingen tussen de C-atomen. Alle andere bindingsplaatsen van de C-atomen zijn bezet door waterstofatomen. Bij een onverzadigd vetzuur is dat niet het geval. Tussen twee C-atomen die niet volledig zijn bezet door waterstofatomen, zit een dubbele binding. Bij een onverzadigd vetzuur kunnen er een of meerdere dubbele bindingen voorkomen in de keten van C-atomen. Vooral plantaardige oliën (bijvoorbeeld olijf- en zonnebloemolie) en vis bevatten veel onverzadigde vetzuren. Dierlijke vetten bevatten veel verzadigde vetzuren (bijvoorbeeld roomboter).

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

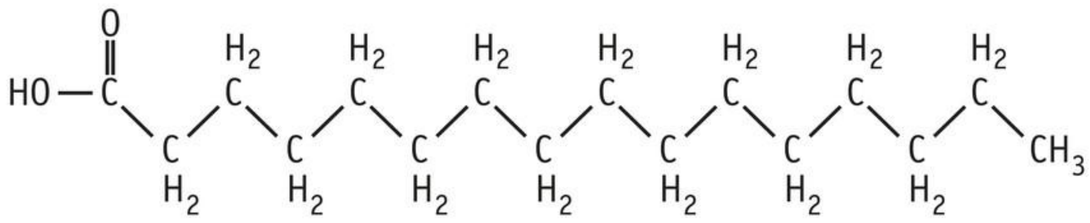


1 producten die verzadigde vetten bevatten

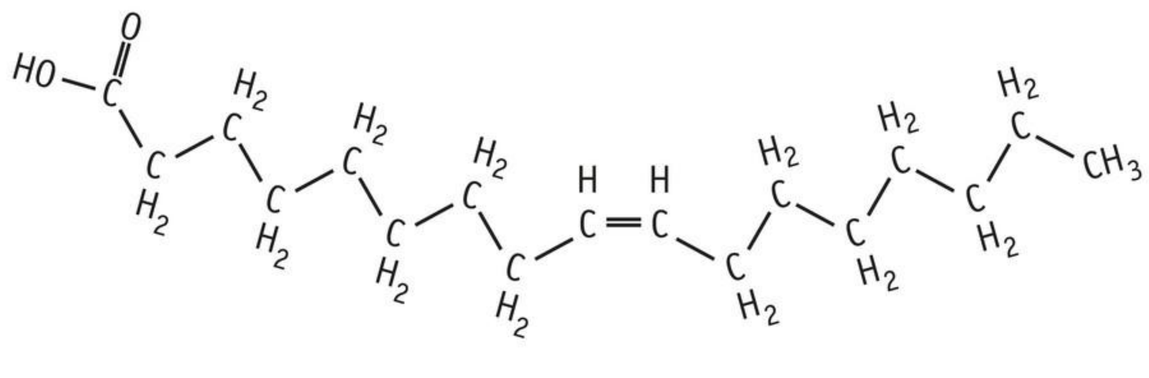


2 producten die onverzadigde vetten bevatten

■ **Afb. 4** Vetzuurmoleculen.



1 structuurformule van een verzadigd vetzuur (palmitinezuur)



2 structuurformule van een onverzadigd vetzuur met één dubbele binding (oliezuur)

Je lichaam kan glycerol en de meeste vetzuren uit andere organische stoffen vormen. Daardoor hoeft je voedsel maar weinig vetten te bevatten. Enkele onverzadigde vetzuren kan je lichaam niet zelf aanmaken en deze moeten dus in je voedsel voorkomen. Een voorbeeld van deze essentiële vetzuren is linolzuur.

In je lichaam worden vetten vooral als brandstoffen gebruikt. Bij de verbranding van 1 g vet komt 38 kJ 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 je huid heeft een warmte-isolerende functie.

Vetten dienen ook als bouwstoffen. Fosfolipiden (vetachtige stoffen) vormen een belangrijk bestanddeel van membranen. 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 maakt je lever aan. Cholesterol komt voor in celmembranen en wordt gebruikt bij de productie van hormonen, gal en vitamine D.

Opdrachten KENNIS

1 Voedingsstoffen kunnen dienen als brandstof. Bij de verbranding ervan komt energie vrij.
Noteer vier processen waarvoor je lichaam energie nodig heeft.

2 In je lichaam worden eiwitten opgebouwd uit aminozuren.

a In welke organellen vindt de synthese van eiwitmoleculen uit aminozuurmoleculen plaats?

b Ralph eet veel vlees en zuivel. Hierdoor krijgt hij met zijn voedsel veel meer eiwitten binnen dan hij nodig heeft.
Wat gebeurt er met het teveel aan eiwitten dat Ralph binnenkrijgt?

c Heeft Ralph dezelfde hoeveelheid koolhydraten nodig als iemand die geen overmaat aan eiwitten met zijn voedsel binnenkrijgt? Leg je antwoord uit.

3 Leg uit waarom het Voedingscentrum adviseert volkorenbrood te eten in plaats van wit of bruin brood.

4 Waarom zou je vet een efficiëntere opslag van energie kunnen noemen dan koolhydraten?

WATER

Alle dranken, maar ook groenten en fruit zijn voedingsmiddelen die veel water bevatten (zie afbeelding 5).

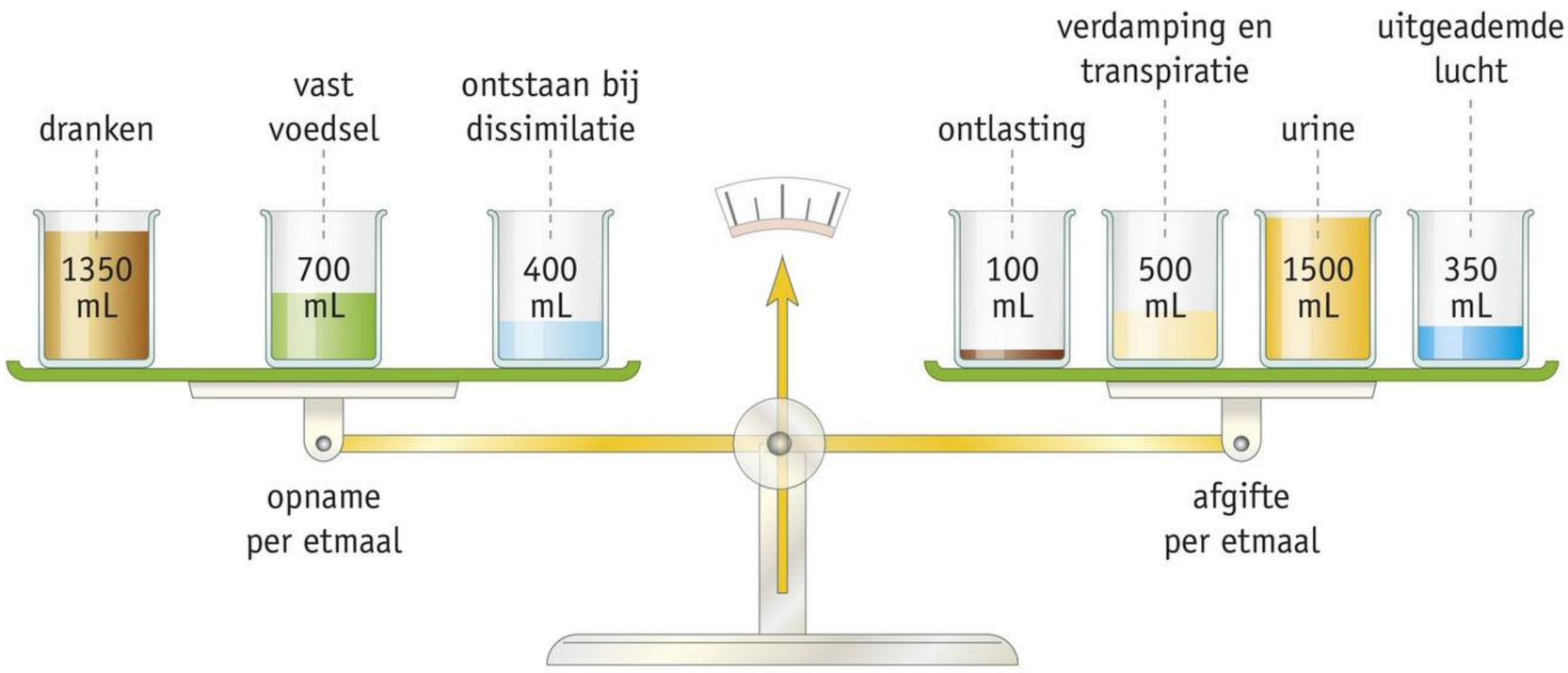
Organismen bestaan voor het grootste deel uit water. Een volwassen menselijk lichaam bevat ongeveer 60% water. Water is onder andere een belangrijke bouwstof voor je lichaamscellen en een oplosmiddel voor allerlei stoffen. Samen met de opgeloste stoffen bepaalt water de osmotische waarde van de vloeistoffen in het 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 het lichaam af.

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



Ook met uitgeademde lucht, urine en ontlasting raakt het 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 het 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 die opgelost in water uiteenvallen in ionen, zoals calcium (Ca), fosfaat (PO_4^{3-}), kalium (K) en natrium (Na). Je hebt dagelijks kleine hoeveelheden van allerlei soorten mineralen nodig om de processen in je lichaam goed te laten verlopen. Gezonde voeding bevat voldoende mineralen. Veel mensen krijgen zelfs te veel natriumionen binnen via keukenzout (natriumchloride).

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



Sommige mineralen worden gebruikt als bouwstoffen. Zo zorgt calcium ervoor dat je botweefsel hard is en geeft het stevigheid aan tandbeen. Fosfaat geeft net als calcium 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 zenuwcellen impulsen kunnen geleiden.

Sommige mineralen heb je slechts in zeer kleine hoeveelheden nodig. Deze mineralen noem je spoorelementen. Voorbeelden hiervan zijn chroom (Cr), fluor (F), jodium (I) en ijzer (Fe). Fluor versterkt het tandglazuur. IJzer is nodig voor de vorming van hemoglobine, een molecuul in rode bloedcellen dat verantwoordelijk is voor zuurstoftransport. Spoorelementen zijn in je lichaam vaak bestanddelen van enzymen en hormonen. Zo speelt chroom een rol bij de werking van insuline en is jodium onderdeel van het schildklierhormoon.

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. Ze worden aangegeven met een letter. Belangrijke vitaminen zijn A, B, C, D en K. Vitamine B is een verzamelnaam voor verschillende vitaminen die worden aangegeven met de letter B, gevolgd door een cijfer, bijvoorbeeld B1 en B6.

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



Bacteriën in je dikke darm kunnen vitamine K maken. Alle andere vitaminen kunnen niet in je lichaam worden gevormd en moeten daarom 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 spoorelementen 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 1).

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



Tabel 1 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 zenuwstelsel en spieren	• vlees, eieren, gist, volkorenbrood, peulvruchten, granen, aardappelen	• vermoeidheid • zenuwontstekingen • spierverlammingen (beriberi)
C	• de vorming van bindweefsel en bloedvaten • goede weerstand • bevordering van de opname van ijzer in de darmen	• fruit (vooral citrusvruchten), kool en andere bladgroenten, nieuwe aardappelen	• vermoeidheid • verminderde weerstand • tandvleesbloedingen • inwendige bloedingen (scheurbuik)
D	• de opname van calcium en het vastleggen van calcium in beenderen en het gebit • in stand houden van goede spierwerking • goede werking van 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)

Ook als je te veel vitaminen binnenkrijgt, kun je ziek worden. Volgens de Gezondheidsraad bevat gevarieerde voeding voldoende vitaminen en provitaminen. Alleen sommige groepen mensen, zoals zwangere vrouwen, kinderen, ouderen of veganisten, hebben extra vitaminen nodig. Veganisten hebben bijvoorbeeld extra vitamine B12 nodig en zwangere vrouwen extra vitamine B11 (foliumzuur). Kinderen of mensen met een bedekte huid of donkere huidskleur hebben extra vitamine D nodig en pasgeboren baby's krijgen twaalf weken lang vitamine K toegediend.

In tabel 1 staan kenmerken van enkele vitaminen. In *BiNaS* tabel 82A vind je een uitgebreider overzicht.

Opdrachten KENNIS

5 Voldoende water is onmisbaar voor het goed functioneren van je lichaam.

a Noteer vijf manieren waarop je lichaam water kan kwijtraken.

b Hoeveel water heb je dagelijks ongeveer nodig volgens de waterbalans van afbeelding 6?
Leg je antwoord uit met een berekening.

c Op welke drie manieren vul je het dagelijks verlies van water aan?

6 Niet iedereen heeft evenveel mineralen (voedingszouten) nodig.

a Vrouwen hebben in de vruchtbare periode van hun leven meer ijzer nodig dan mannen. Leg dit uit.

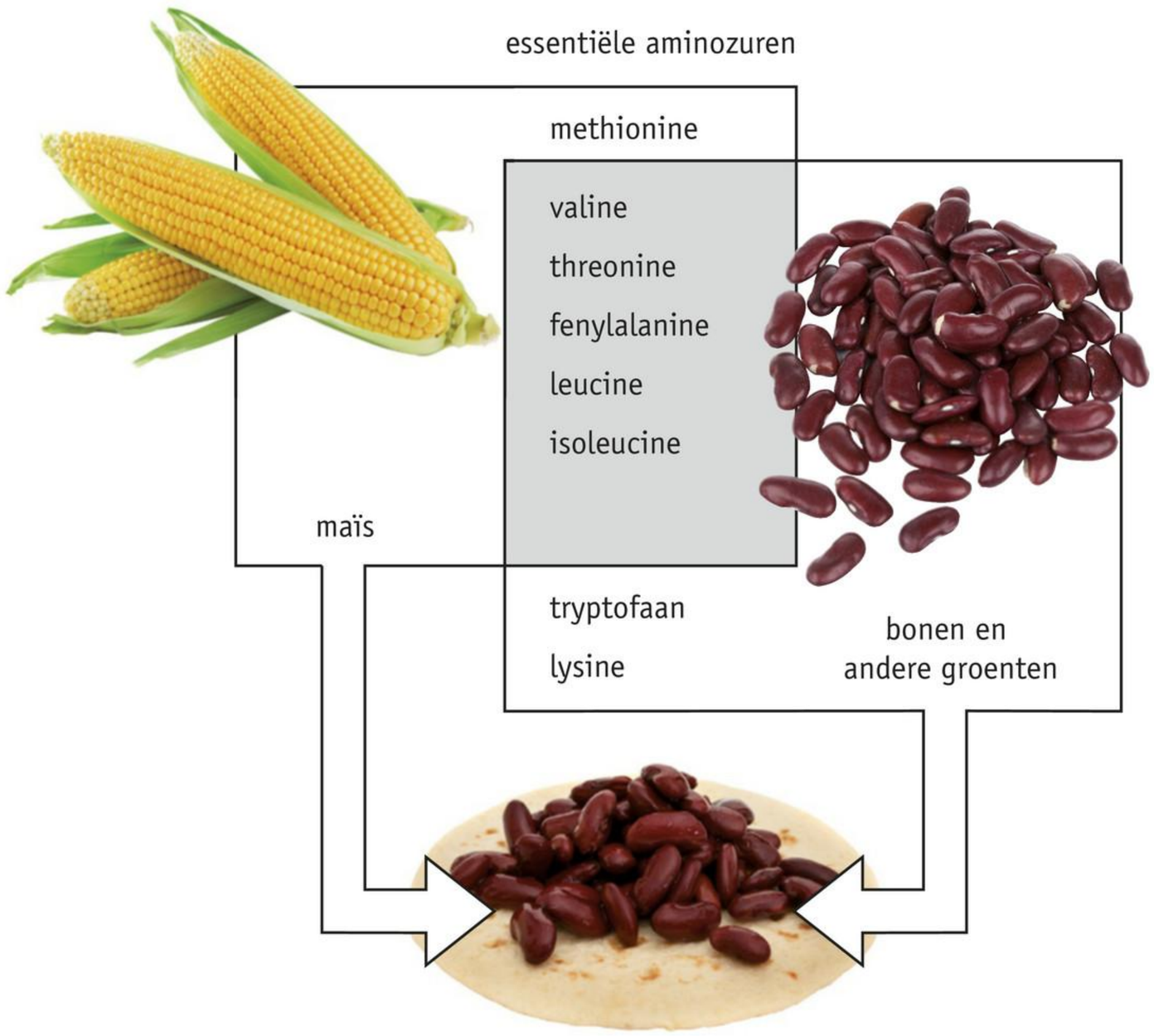
b Calcium is onder andere van groot belang voor de ontwikkeling en het onderhoud van je botten en tanden.
In welke perioden van je leven is de behoefte aan calcium het grootst?

Opdrachten INZICHT

7 Bacteriën in de dikke darm kunnen vitamine K aanmaken.
Om welk type symbiose tussen mens en bacterie gaat het hier? Leg je antwoord uit.

8 Vlees en dierlijke producten zoals eieren, melk en kaas leveren alle essentiële aminozuren. Een groot deel van de wereldbevolking is noodgedwongen vegetariër, doordat veel mensen geen vlees kunnen betalen.
Waardoor kan een vegetariër ziek worden door het eten van alleen bonen? Gebruik voor het beantwoorden van deze vraag afbeelding 10.

■ **Afb. 10** De aminozuren in maïs en in bonen.

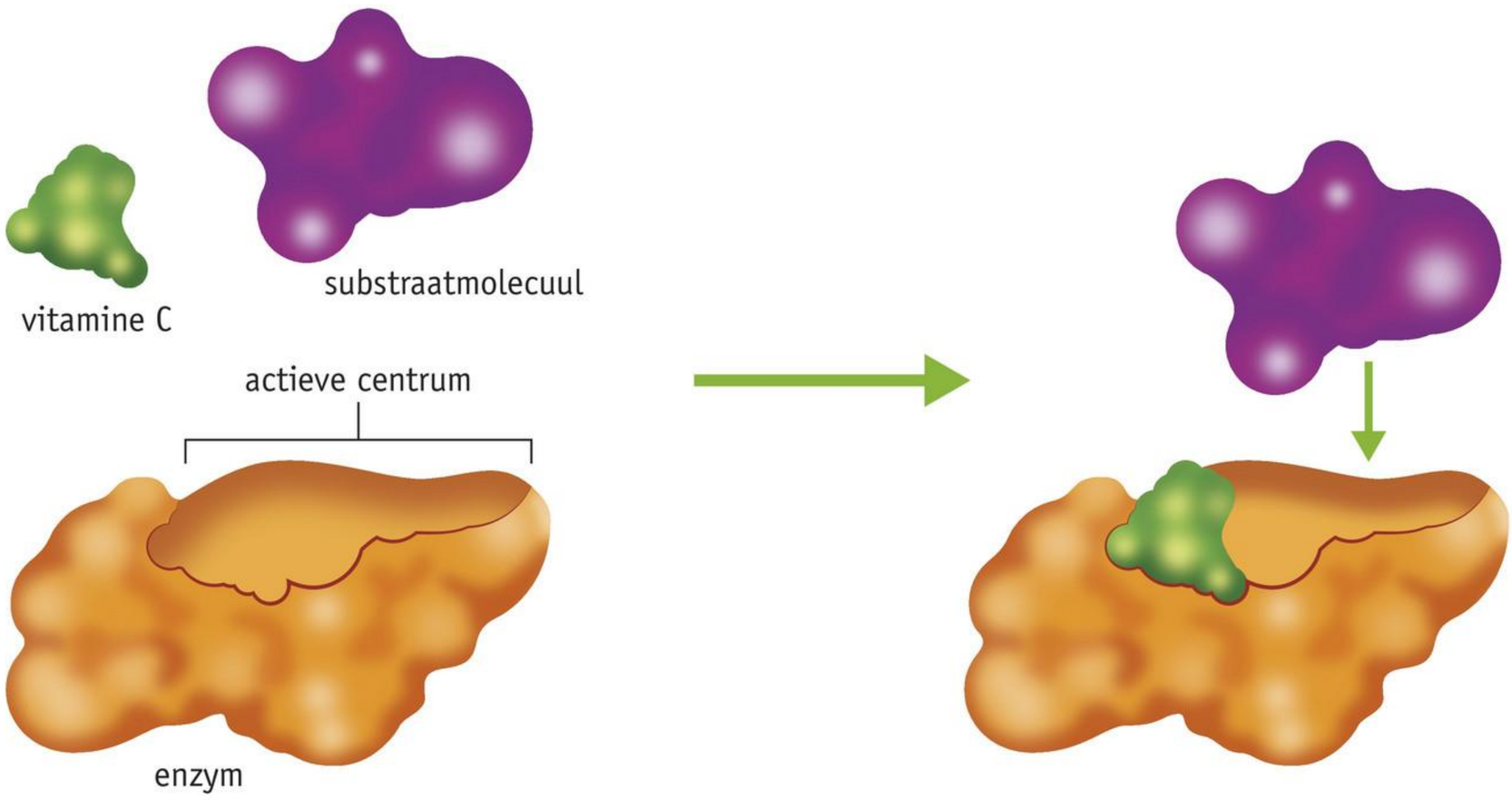


9 Roomboter maak je van melk. Halvarine maak je van plantaardige olie. Beide producten kun je gebruiken om op je brood te smeren.
In roomboter komen van nature vitamine A, D en E voor. In halvarine alleen vitamine E. Vitamine A en D worden bij de productie aan halvarine toegevoegd.
Waarom worden deze vitaminen toegevoegd aan halvarine?

10 Watervergiftiging kan ontstaan wanneer iemand te veel water drinkt. In 2016 overleed een toerist in Amsterdam nadat ze een grote hoeveelheid water had gedronken. Ze was onder invloed van softdrugs.
Door het drinken van veel water neemt de osmotische waarde van het bloed en van andere vloeistoffen buiten de cel af.
Leg uit welke gevolgen dit heeft voor de lichaamscellen.

11 Veel enzymen zijn alleen actief met de hulp van vitaminen en mineralen. 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. Net als bij een touw, worden bij de productie van collageen drie collageenvezels met behulp van verschillende enzymen voor een steviger structuur in elkaar gedraaid. Afbeelding 11 geeft de werking van een van deze enzymen weer.
Een student die op een dieet van pizza's en hamburgers leeft, krijgt na verloop van tijd last van bloedend tandvlees en blauwe plekken die ontstaan door spontane inwendige bloedingen. Verklaar deze symptomen.

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



12 Vasten

Naar: Biologie Olympiade Junior 2020 havo, vraag 11.

Tijdens langdurige uithongering en tijdens een winterslaap leven dieren van de energievoorraden die ze in hun lichaam hebben opgeslagen. Ze kunnen indien nodig eiwitten, koolhydraten of vetten voor hun dissimilatie gebruiken.
In welke volgorde zullen ze deze voorraden verbruiken?

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

Context Leefwereld

PLUSPUNTEN VOOR JOUW ETEN?

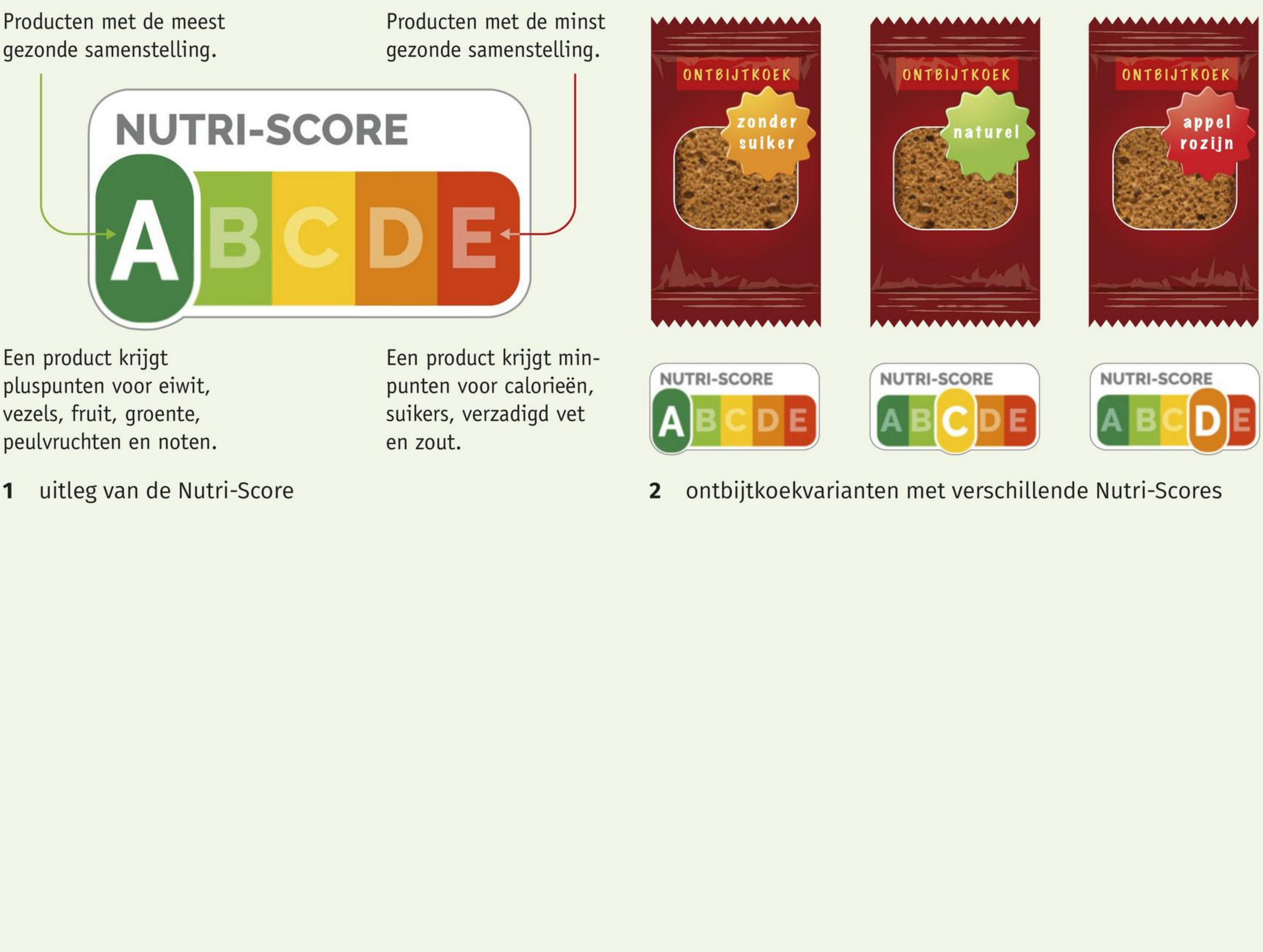
De verpakking van een product bevat soms zoveel informatie dat je door de bomen het bos niet meer ziet. Als je minder suiker wilt eten, moet je bij de ingrediëntenlijst op de verpakking niet alleen kijken naar ‘suiker’, maar ook naar namen van suikervarianten, zoals ahornsiroop, dextrose, fructose, glucosestroop en sacharose.

Om het eenvoudiger te maken, is de Nutri-Score bedacht (zie afbeelding 12). Dit logo helpt je om producten snel met elkaar te vergelijken en gezondere keuzen maken. Het logo geeft met kleuren en letters een score aan een product. Onafhankelijke wetenschappers uit Europa hebben dit systeem ontwikkeld. Ook in Nederland zie je het op steeds meer producten.

Een product krijgt pluspunten voor ingrediënten zoals eiwitten en voedingsvezels. Fruit, groenten, peulvruchten en noten krijgen ook een goede score. Een product krijgt minpunten voor een hoog energiegehalte (kcal), suikers, verzadigd vet en zout. Aan de hand van de totaalscore is aan een product een A, B, C, D of E toegekend. Een donkergroene A staat voor de gezondste samenstelling binnen de productgroep. Producten met de minst gezonde samenstelling krijgen een donkeroranje E.

Wil je ontbijtkoek kopen, dan heb je in de supermarkt de keuze tussen veel varianten. Met behulp van de Nutri-Score kies je gemakkelijk voor de gezondste. Ontbijtkoek zonder suiker krijgt de letter A, de ontbijtkoek met suiker een C en de ontbijtkoek met appel en rozijn een D. Toch moet je ook je verstand blijven gebruiken als je gezond wilt eten: elke dag een hele A-ontbijtkoek eten, kan niet gezond zijn.

■ **Afb. 12** De Nutri-Score.



1 uitleg van de Nutri-Score

2 ontbijtkoekvarianten met verschillende Nutri-Scores

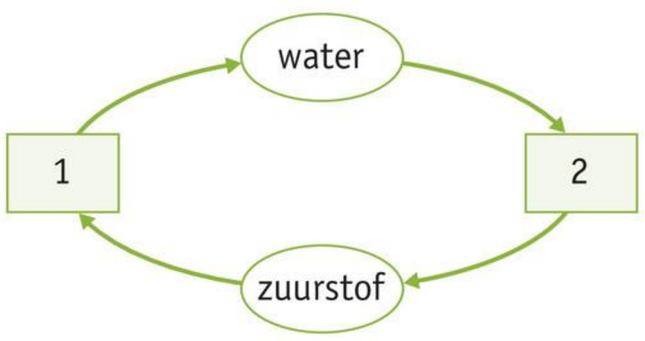
8 In een proefopstelling laat een leerling erwten kiemen in een thermosfles. De leerling meet hierbij om het uur de temperatuur in de thermosfles.
Verandert de temperatuur in de thermosfles? Leg je antwoord uit.

9 Bij de energieomzettingen in een individu wordt niet alle energie omgezet in chemische energie. Een deel van de energie wordt omgezet in warmte.
Is de omzetting in warmte energieverlies? Leg je antwoord uit.

10 Naar: Voorronde Biologie Olympiade Junior 1997, vraag 19.

In afbeelding 5 is schematisch een kringloop getekend. 1 en 2 stellen twee organismen voor.
Wat is of zijn de juiste plaatsen van de paardenbloem? En van de huismus? Je mag deze organismen meer dan één keer gebruiken.

■ **Afb. 5** Kringloop van stoffen.



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

Opdrachten

13 Tot welke groep suikers behoort sacharose? Gebruik eventueel *BiNaS* tabel 67F.

14 Magere kwark krijgt een Nutri-Score A. In tabel 2 zie je de voedingswaarden van magere kwark en volle kwark.

- **a** Verklaar de Nutri-Score van magere kwark met behulp van de gegevens in tabel 2.
- **b** Volle kwark krijgt een Nutri-Score B (zie afbeelding 13).
  Bepaal met behulp van tabel 2 waarom volle kwark een andere Nutri-Score heeft dan magere kwark.

15 Witte rijst bevat weinig suikers, verzadigd vet en zout. Op basis daarvan krijgt dit product een positieve Nutri-Score (A of B). Het Voedingscentrum plaatst daar een kanttekening bij, want het product is volgens het Voedingscentrum niet de meest gezonde keuze.
Leg uit waarom het voedingscentrum zilvervliesrijst een gezondere keuze vindt.

16 In de tekst staat dat het van belang is je verstand te gebruiken bij het maken van gezonde voedingskeuzen.
Leg uit waarom het niet gezond is om te leven op een dieet van alleen ontbijtkoek met een Nutri-Score A.

■ **Afb. 13** De Nutri-Score op een bakje volle kwark.



Tabel 2 De voedingswaarden van magere kwark en volle kwark.

	energie	energie	water	eiwit	koolhydraten	suikers	vet	verzadigd vet	enkelvoudig onverzadigde vetzuren	meervoudig onverzadigde vetzuren	cholesterol	voedingsvezels
Eenheid per 100 gram	kcal	kJ	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	g
Magere kwark	53	222	85,1	9,9	3,5	3,5	0,5	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
Volle kwark	130	544	78,8	7,8	4,3	3,7	9,1	5,9	2,6	0,4	37,0	0,0

2 HET VERTERINGS-STELSEL

LEERDOELEN

10.2.1 Je kunt de bouw, werking en functies van de verteringsorganen van de mens beschrijven.

10.2.2 Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen organen en organenstelsels van de mens en verschillende diersoorten.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	10.2.1	**10.2.2**
Onthouden	18	23
Begrijpen	17, 19, 20	21, 22
Toepassen	24ac	26, 28, 29, 31
Analyseren	24b	25, 27, 30, 32

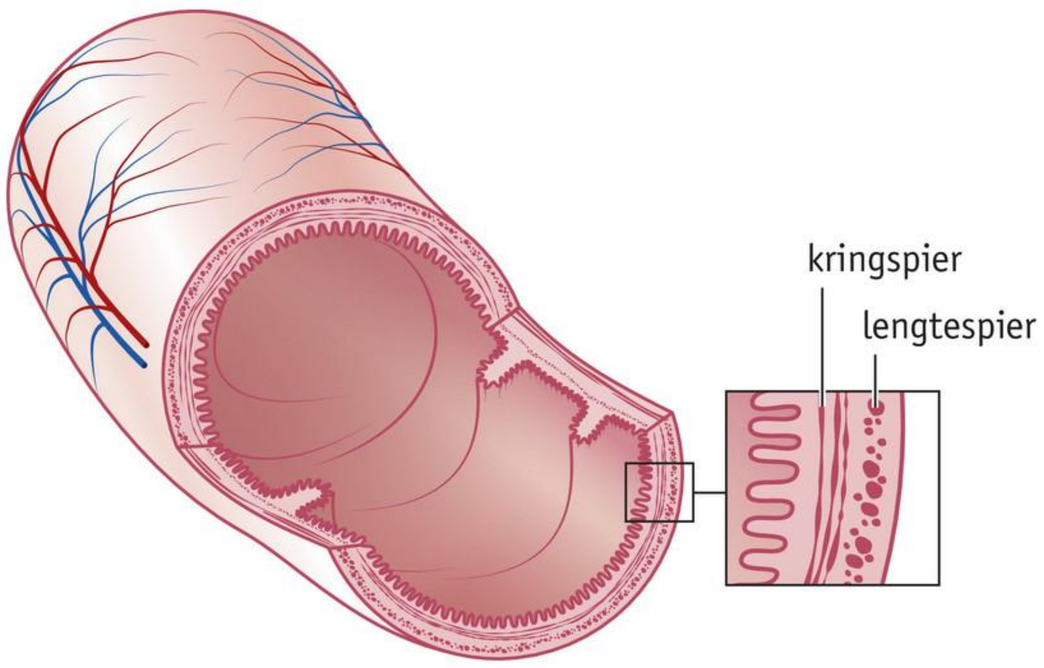
Je verteringsstelsel bestaat uit verteringsorganen en verteringsklieren. Via je mond komt voedsel binnen en via je anus verlaten onverteerde resten je lichaam. Onderweg worden voedingsstoffen uit het voedsel opgenomen in je bloed. Bij de spijsvertering spelen veel organen een rol.

HET DARMKANAAL

In het darmkanaal (verteringskanaal) wordt je voedsel verteerd. Grote organische moleculen (eiwitten, koolhydraten en vetten) uit de voedselbrij worden met behulp van enzymen afgebroken tot kleine moleculen: de **verteringsproducten**. Die worden vervolgens via de cellen van de darmwand opgenomen in het bloed. In je lichaam kunnen van deze kleine moleculen weer grote moleculen worden gemaakt (voortgezette assimilatie).

In de wand van het hele darmkanaal bevinden zich **kringspieren** en **lengtespieren** (zie afbeelding 14). Door het afwisselend samentrekken van deze spieren ontstaat de **darmperistaltiek**. Hierdoor wordt de voedselbrij voortgeduwd, gekneed en goed gemengd met de **verteringssappen**, die verteringsklieren afgeven aan de voedselbrij in het darmkanaal. Veel verteringssappen bevatten enzymen.

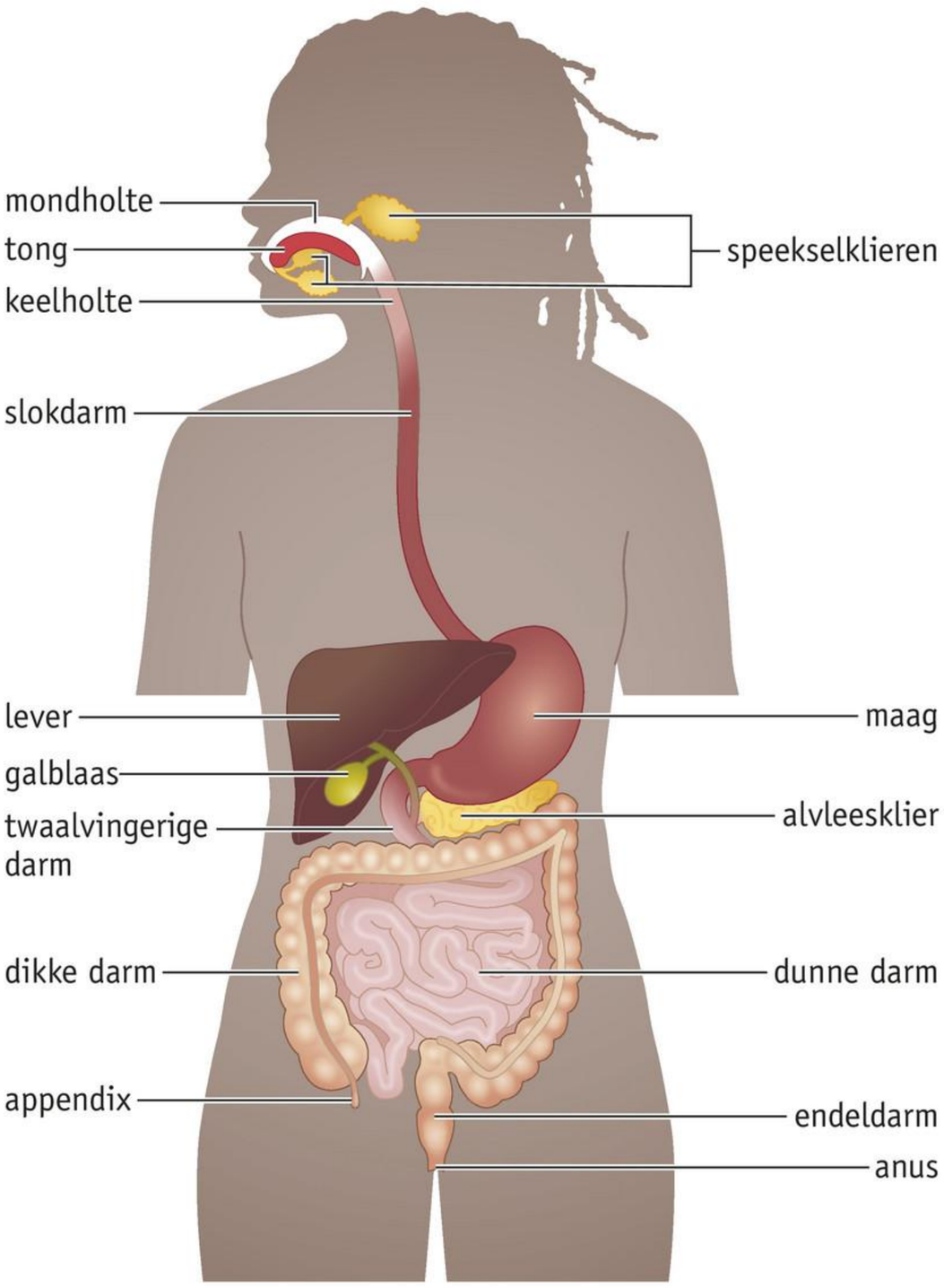
■ **Afb. 14** Kringspieren en lengtespieren in het darmkanaal (schematisch).



Het autonome zenuwstelsel regelt de darmperistaltiek. Je kunt peristaltische bewegingen dus niet bewust versnellen of vertragen. Voedingsvezels en lichaamsbeweging stimuleren de darmperistaltiek, vooral in de dikke darm. Hierdoor verloopt je stoelgang goed.

In afbeelding 15 is het verteringsstelsel van de mens getekend. In je darmkanaal ondergaat het voedsel 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**.

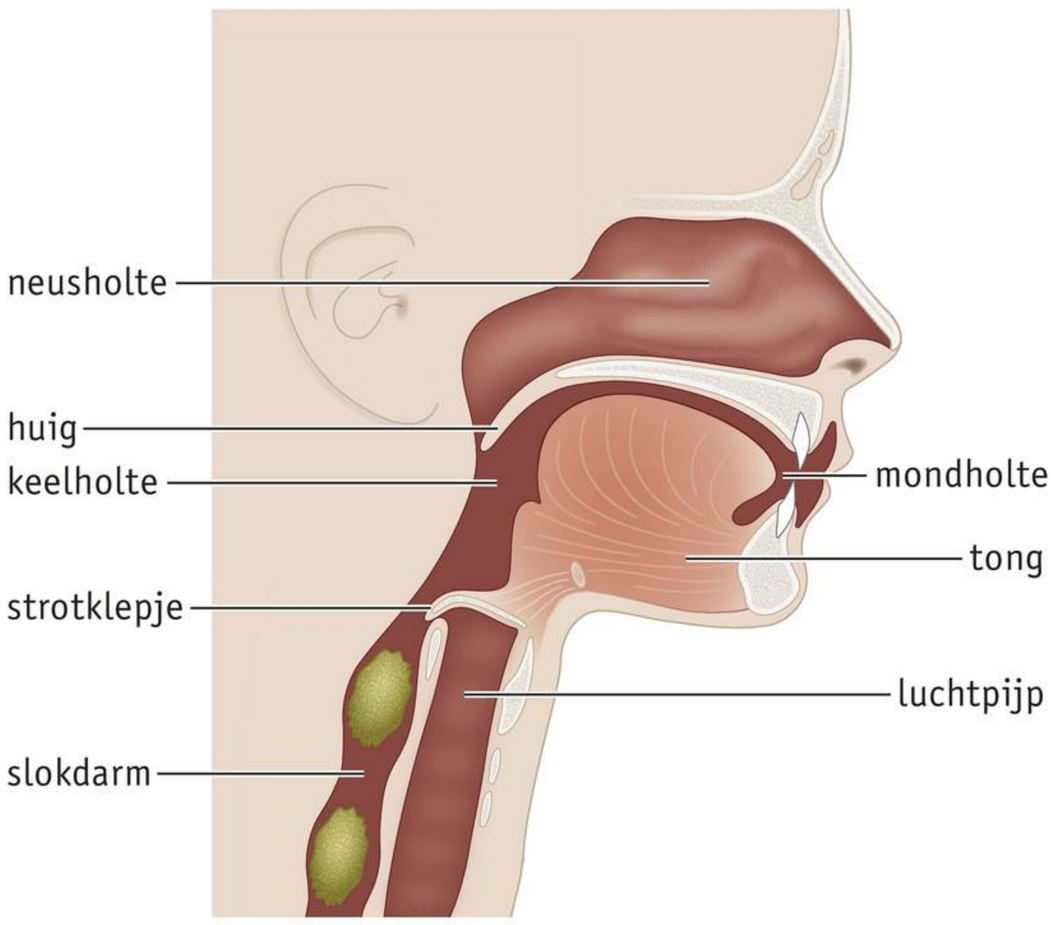
■ **Afb. 15** Het verteringsstelsel van de mens (schematisch).



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 de totale oppervlakte van de voedseldeeltjes groter wordt. 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 je tong duw je het gekauwde voedsel naar de keelholte. Voedsel in de keelholte veroorzaakt prikkels die de slikreflex in werking zetten. De neusholte sluit je af met je huig. Tegelijk beweegt het strottenhoofd iets omhoog en het strotklepje kantelt naar achter. Daardoor wordt de toegang naar de luchtpijp afgesloten (zie afbeelding 16). Het voedsel kan dan alleen de **slokdarm** in.

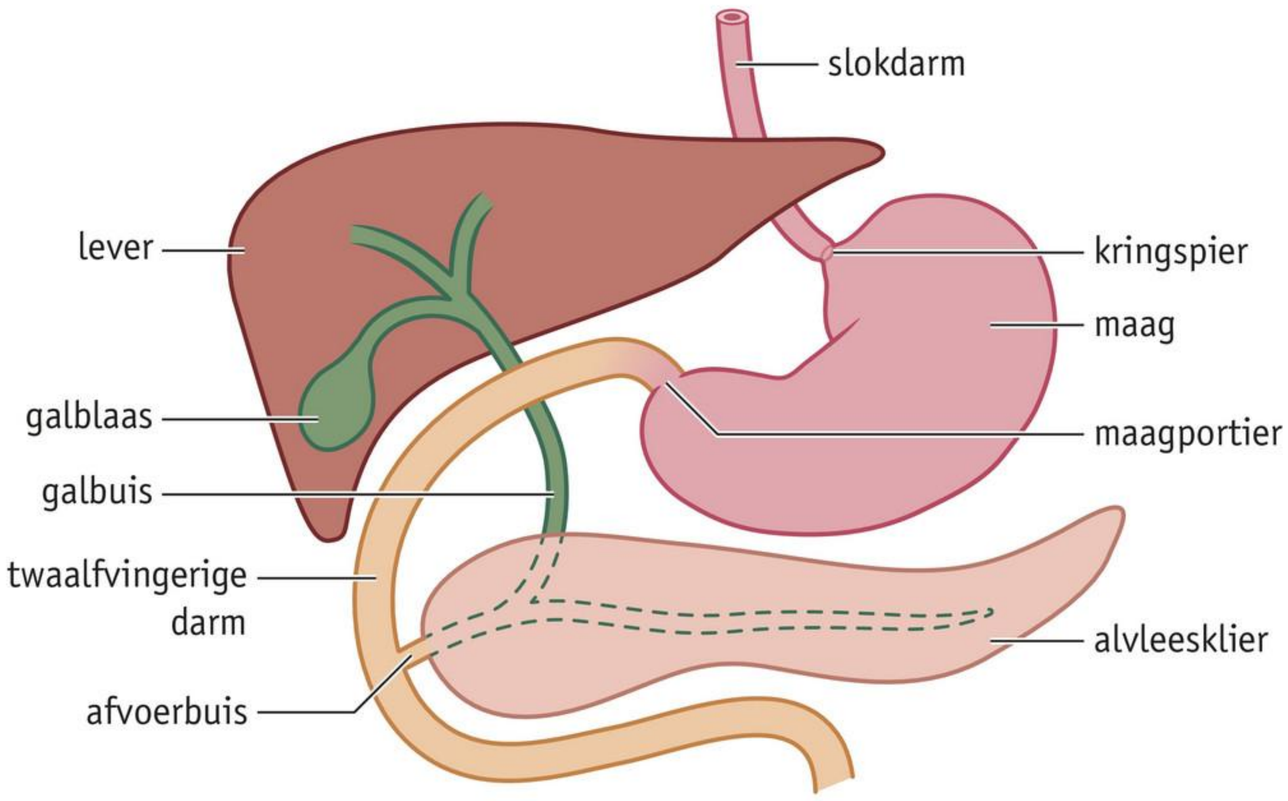
■ **Afb. 16** De slikreflex (schematisch).



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 zich na het slikken, waardoor het voedsel in de maag terechtkomt.
In de maag wordt het voedsel tijdelijk opgeslagen, doordat de andere kringspier (de maagportier) 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, slijm en zoutzuur (HCl). 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 zich. Een kleine hoeveelheid voedsel gaat dan door naar de **twaalfvingerige darm**. Dat is het eerste gedeelte van de dunne darm. De twaalfvingerige darm heet zo, omdat hij twaalf vingerbreedtes lang is, oftewel 20-25 cm. In de twaalfvingerige darm monden de afvoerbuizen van de lever en de alvleesklier uit (zie afbeelding 17).

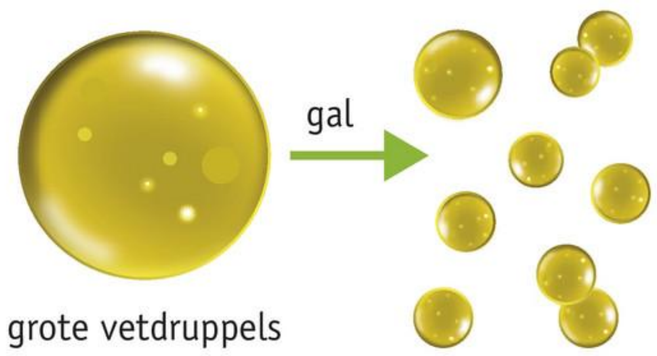
■ **Afb. 17** De ligging van de maag, lever, galblaas, alvleesklier en twaalfvingerige darm (schematisch).



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 galzouten. De galkleurstoffen zijn afbraakproducten van dode rode bloedcellen. Ze geven de bruine kleur aan de ontlasting. De galzouten verdelen grote vetdruppels in het voedsel in kleine druppels. Dit heet **emulgeren** (zie afbeelding 18). Dat is nodig, omdat vetten en oliën niet mengen met water, maar daarin grote druppels vormen (zie afbeelding 19). 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. 18** Gal emulgeert vetten.



■ **Afb. 19** Water met vetdruppels.



De **alvleesklier** (pancreas) produceert alvleessap. Dit komt via een afvoerbuis 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 die helpen bij het veteren van het voedsel.

Opdrachten KENNIS

17 **a** Noteer drie functies van het kauwen van voedsel en geef per functie aan wat het effect ervan is.

b Als je in de lach schiet, terwijl je aan het drinken bent, kun je je verslikken en kan er ook drank in je neusholte terechtkomen.
Beschrijf hoe dit gebeurt.

18 Wat is het nut van emulgeren voor de vertering van vetten?

19 **Spijsvertering**

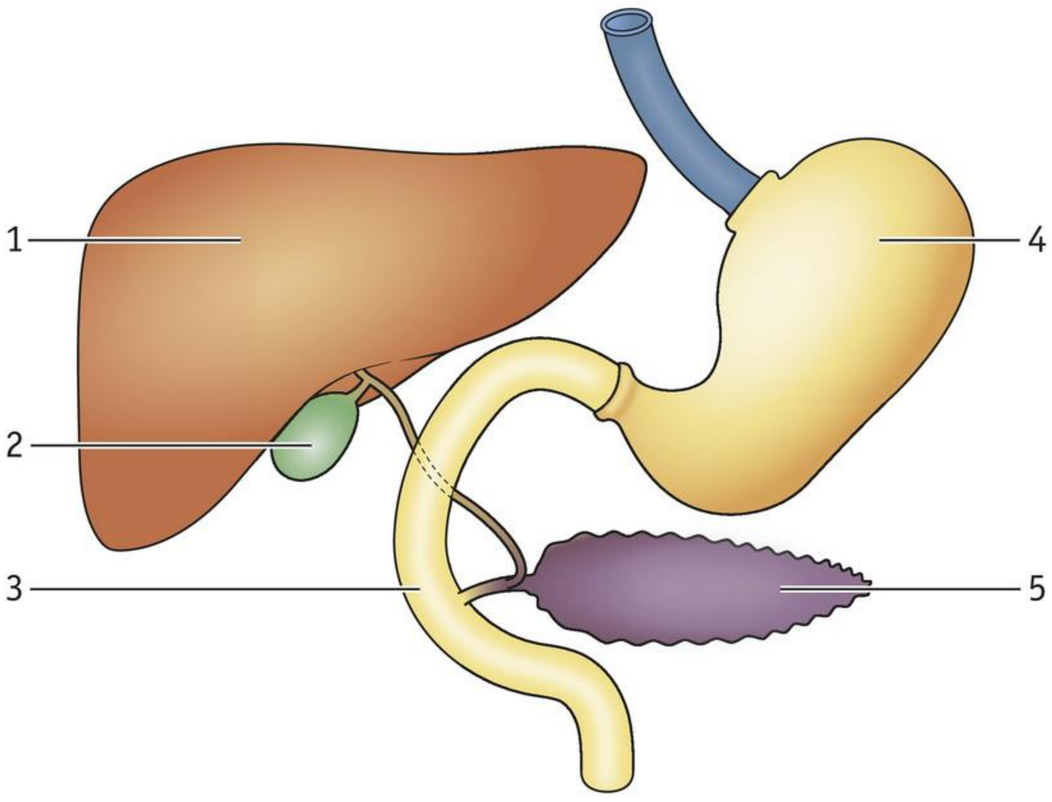
Naar: Biologie Olympiade Junior 2019 havo, vraag 25.

In afbeelding 20 zie je een gedeelte van het spijsverteringsstelsel van de mens.

a Waar vindt vertering door spijsverteringsenzymen plaats? Kies één of meer plaatsen.

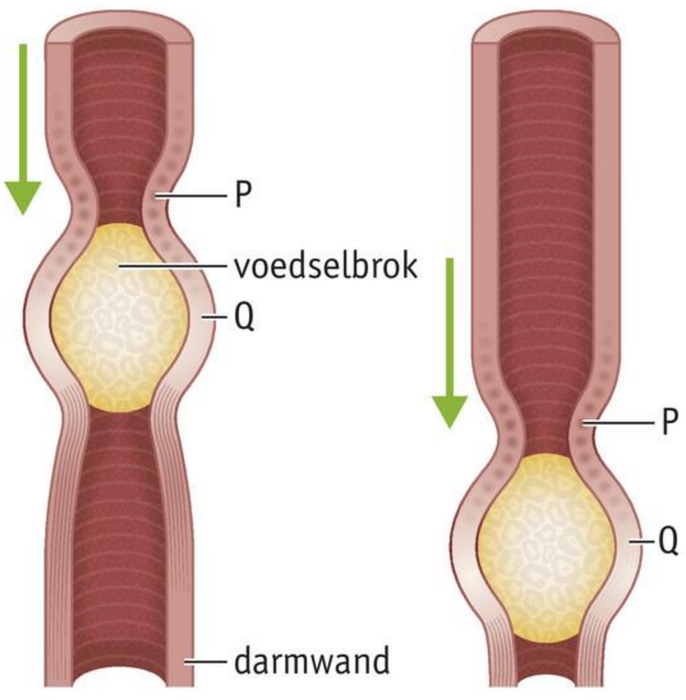
b Op welke plaats(en) worden spijsverteringsenzymen geproduceerd? Kies één of meer plaatsen.

■ **Afb. 20** Deel van het spijsverteringsstelsel van de mens.



20 Afbeelding 21 geeft weer hoe een voedselbrok wordt voortgeduwd door darmperistaltiek. Welke spieren in de wand van het darmkanaal trekken zich samen op de plaatsen P in de afbeelding? En welke spieren op de plaatsen Q?

■ **Afb. 21** Darmperistaltiek.



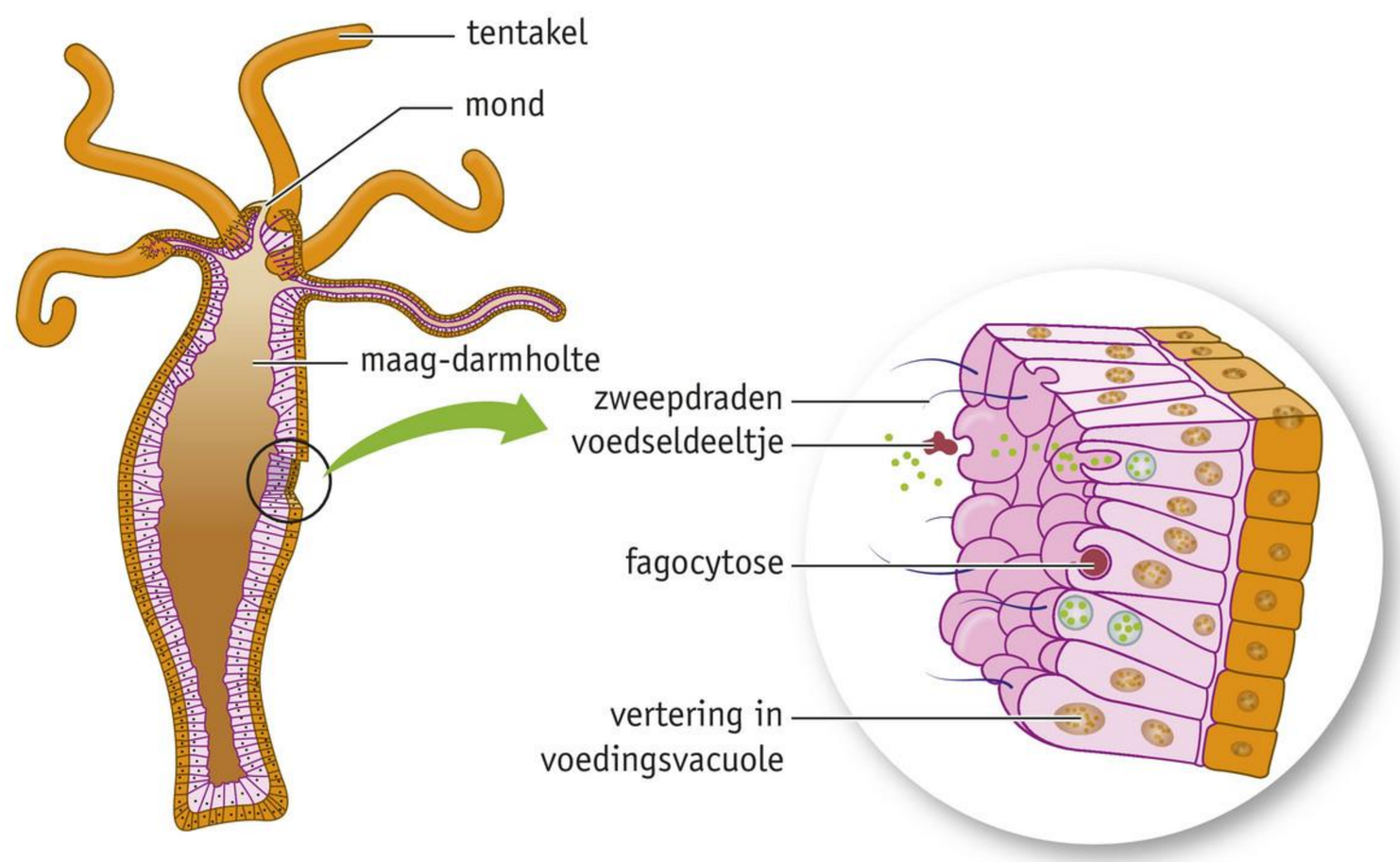
VERTERING BIJ DIEREN

De meeste heterotrofe organismen kunnen vrij bewegen en hebben aanpassingen om voedsel te bemachtigen, op te nemen en te verwerken. Sommige eencellige organismen nemen voedsel op door fagocytose: het instulpen van het celmembraan en het afsnoeren van blaasjes. Bij amoeben en pantoffeldiertjes versmelten deze blaasjes (voedingsvacuolen) met lysosomen, waarin zich verteringsenzymen bevinden. De verteringsproducten die dan ontstaan, worden via het membraan van de voedingsvacuole opgenomen in het cytoplasma (celplasma). 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. Dit is een holte met maar één opening die mond en anus tegelijk is (zie afbeelding 22). De cellen van de poliep geven enzymen af die voedseldeeltjes in de maag-darmholte afbreken. Dit noem je extracellulaire vertering.

De afgebroken voedseldeeltjes worden door fagocytose opgenomen in de cellen van de poliep en daar verder verteerd.

■ **Afb. 22** 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.

Opdrachten KENNIS

21 In de evolutie van vogels is de snavel de vervanger geworden van kaken en tanden. De snavel bestaat uit hoornachtig materiaal en de vorm van de snavel is aangepast aan het voedselpatroon.

a Leg uit dat het voor een vogel een voordeel is om een snavel te hebben in plaats van kaken met tanden.

b Sommige vogelsoorten slikken steentjes in die terechtkomen in de spiermaag. Leg uit waarom ze dat doen.

c Vogels hebben in tegenstelling tot mensen maar één uitgang voor zowel urine als ontlasting. Dit noem je de cloaca. Een klodder vogelpoep bestaat vaak uit een witte vloeistof met een donkere vaste massa.
Verklaar deze samenstelling.

22 Een spin spuit gif in zijn prooi om die te verlammen. Het gif heeft ook een sterk verterende werking, waardoor de spin de vloeibaar geworden bestanddelen na een tijdje kan opzuigen.
Leg uit dat het maag-darmkanaal van een spin relatief klein en kort is.

23 Afbeelding 22 is een tekening van de lengtedoorsnede van een zoetwaterpoliep.
Vindt vertering bij een zoetwaterpoliep intracellulair of extracellulair plaats? Leg je antwoord uit.

Opdrachten INZICHT

24 Door voedsel onhygiënisch te bewaren of te bereiden, kunnen ziekmakende micro-organismen in het voedsel terechtkomen en zich snel vermenigvuldigen. Sommige van deze micro-organismen produceren afvalstoffen die giftig zijn. De peristaltiek in de dunne en dikke darm heeft normaal gesproken een frequentie van tien tot dertig samentrekkingen per minuut. Giftige stoffen in de voedselbrij kunnen een veel snellere en krachtigere peristaltiek veroorzaken.

a Hoe merk je dat de darmperistaltiek sneller en krachtiger is?

b Wat is het nut van een snellere en krachtigere darmperistaltiek wanneer de voedselbrij giftige stoffen bevat?

c Ook door overgeven (braken) kun je giftige stoffen uit je lichaam verwijderen. Wanneer receptoren in het braakcentrum in de hersenstam worden geprikkeld door chemische stoffen in het bloed, gaan er impulsen naar de kringspieren en lengtespieren in het darmkanaal.
Welke gevolgen hebben deze impulsen voor de darmperistaltiek?

25 In tegenstelling tot de meeste insecten kan een huisvlieg (*Musca domestica*, zie afbeelding 23) geen voedsel met zijn 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.

■ **Afb. 23** Huisvlieg.



26 Olifanten zijn planteneters. Planten bevatten relatief veel slecht verteerbare cellulose. Een olifant eet dan ook meer dan 100 kg planten per dag. Het darmkanaal van een olifant is ongeveer 35 meter lang.
Leg uit waarom het darmkanaal van een olifant zo lang is.

27 Konijnen hebben een bijzondere spijsvertering. Een groot deel van de vertering vindt pas plaats in de blinde darm en de dikke darm. Veel voedingsstoffen komen daardoor pas in dit laatste deel van de darmen vrij en worden niet opgenomen in het lichaam. Het konijn poept ze uit in de vorm van speciale keutels (nachtkeutels). Deze keutels zijn klein en vochtig en plakken aan elkaar in trosjes. De nachtkeutels eet het konijn direct weer op.
Leg uit wat de voordelen zijn van deze manier van voedselverwerking.

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

Context Leefwereld

DE PYTHON, EEN ALLESETER

Een hert, een alligator, een stekelvarken, allemaal voorbeelden van prooien die weleens door een python zijn verorberd. Dat is bijzonder, want deze dieren zijn veel groter dan de python zelf (zie afbeelding 24). Hoe kan dat?

Alle slangen zijn vleeseters (carnivoren). Er zijn slangensoorten die wormen en insecten eten, of vissen en kikkers. De meeste slangen, zoals bijvoorbeeld de python, eten normaal gesproken kleine knaagdieren zoals muizen en ratten of vogels. Maar het komt met regelmaat voor dat een slang een prooi eet die net zo groot is als de slang zelf, of zelfs een flink stuk groter.

Kleine prooien worden levend en in een keer doorgeslikt. Grote prooien worden eerst gedood door wurging of gif en daarna verslonden. Om zo'n prooi naar binnen te werken, moet de bek van de slang behoorlijk ver open kunnen. De bouw van de slang is daarop gemaakt. De kaakbeenderen van slangen zijn niet met elkaar verbonden zoals bij ons. Tussen onder- en bovenkaak zitten zeer rekbare banden. Hierdoor kunnen ze hun mond heel ver openen. Ook de ribben en de huid van een slang zijn erg flexibel. Daardoor scheurt de slang niet open bij het eten van een heel grote prooi.

Het duurt soms weken voordat de botten, het vlees en de organen van een prooi zijn verteerd. Niet alles kan een slang verteren. Schubben en tanden van een prooi poept de slang weer uit. En dan is het tijd om op zoek te gaan naar een nieuw slachtoffer.

■ **Afb. 24** Een slang eet soms een grote prooi.



Opdrachten

28 Een slang werkt een prooi in een keer naar binnen en doet enkele dagen tot weken over de vertering ervan.
Welke vorm van vertering heeft een slang vooral? Leg je antwoord uit.

29 Na het doden van een prooi rusten slangen even uit. Dan gaan ze met hun neus en tong op zoek naar speeksel bij hun prooi. Als ze dat bij de mond hebben gevonden, beginnen ze daar met het opeten van de prooi.
Leg uit waarom slangen aan de kant van de mond beginnen met het opeten van hun prooi.

30 Het eten van een heel grote prooi in een keer maakt een slang een gemakkelijk slachtoffer voor andere roofdieren.
Leg dat uit.

31 Een slang is een koudbloedig dier. Bij een te lage temperatuur zal de vertering van een prooi erg langzaam verlopen.
Leg dat uit.

32 Vindt de vertering bij slangen intracellulair of extracellulair plaats? Leg je antwoord uit.

Context Leefwereld

LICHT IN DE DIEPZEE

In de natuur flikkert en fonkelt het van organismen die licht geven in het donker. Dit verschijnsel heet bioluminescentie. Zo zijn er lichtgevende schimmels, vuurvliegjes en op een zwoele zomeravond kun je in de Noordzee een toverachtig licht zien, veroorzaakt door zeevonk, een lichtgevende alg (*Noctiluca scintillans*). Ook in de diepzee worden steeds meer dieren ontdekt die gebruikmaken van bioluminescentie, zoals de zaklantaarnvis en de hengelvis. Deze vissen leven op een diepte tot wel 4000 meter. Daglicht dringt hier niet meer door.

Toch produceren deze vissen het licht niet zelf. Ze leven in symbiose met lichtgevende bacteriën. Bij de zaklantaarnvis (zie afbeelding 6) zit onder het oog een blaasje dat is gevuld met deze lichtgevende bacteriën. Bij de hengelvis groeit een hengel uit het hoofd van de vis met aan het eind een bolletje met de bacteriën. Door het licht kunnen de vissen zelfs in de diepste duisternis hun omgeving waarnemen en prooien en partners lokken.

Onderzoek heeft aangetoond dat er meerdere stofwisselingsprocessen zijn die ervoor zorgen dat organismen licht produceren. De meest voorkomende reactie is de omzetting van de stof luciferine. Als luciferine met behulp van een enzym (luciferase) en zuurstof wordt omgezet in oxyluciferine, ontstaat licht. Voor deze omzetting zijn zuurstof en ATP nodig.

Het idee van luminescentie in de natuur wordt door mensen toegepast, bijvoorbeeld in de lightsticks die je op feestjes ziet. Een praktische toepassing is het gebruik van luminol bij forensisch onderzoek. Als luminol in contact komt met bloed, licht de stof op. Zo kun je bloed opsporen op de plaats delict.

■ **Afb. 6** Zaklantaarnvis.



Opdrachten

11 Zeevonk is een alg die zich voedt met plankton.

- **a** Is de zeevonk heterotroof of autotroof? Leg je antwoord uit.
- **b** Waarom is bioluminescentie van zeevonk het best zichtbaar in de zomer?
- **c** Waarom is ook een goede golfslag nodig voor bioluminescentie van zeevonk?

12 De relatie tussen de diepzeevissen die gebruikmaken van bioluminescentie en de bacteriën is een vorm van symbiose.
Welke vorm van symbiose bestaat er tussen de diepzeevissen en de bacteriën?

13 De zaklantaarnvis en de hengelvis hebben een vlies waarmee ze de blaasjes met de lichtgevende bacteriën kunnen bedekken. Hierdoor stralen ze geen licht meer uit.
Waarom is het voor deze vissen handig om dit vlies te hebben?

3 CHEMISCHE VERTERING

LEERDOELEN

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

10.3.2 Je kunt de werking van verteringsenzymen uitleggen.

- Vaardigheden 6 en 7
- Practica 3 en 4

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	10.3.1	**10.3.2**
Onthouden	33, 35a	
Begrijpen	35b, 36, 37	34, 38, 39, 40, 41, 49
Toepassen	44	42, 45a, 47, 48, 50a
Analyseren	43, 46	45b, 50b

Veel voedingsstoffen die je binnenkrijgt worden met behulp van enzymen in steeds kleinere en eenvoudigere brokstukken geknipt. Daardoor is het mogelijk dat de cellen van je darmen die brokstukken in je bloed kunnen opnemen.

HET VERTERINGSPROCES

Monosachariden, water, mineralen en vitaminen kunnen zonder vertering in je bloed worden opgenomen. Eiwitten, disachariden, polysachariden en vetten moeten eerst met behulp van verschillende enzymen worden verteerd. **Enzymen voor eiwitvertering** breken eiwitmoleculen af tot afzonderlijke aminozuurmoleculen. **Enzymen voor koolhydraatvertering** splitsen moleculen van polysachariden en disachariden in monosachariden. En **enzymen voor vetvertering** verteren vetmoleculen tot afzonderlijke glycerolmoleculen en vetzuurmoleculen.

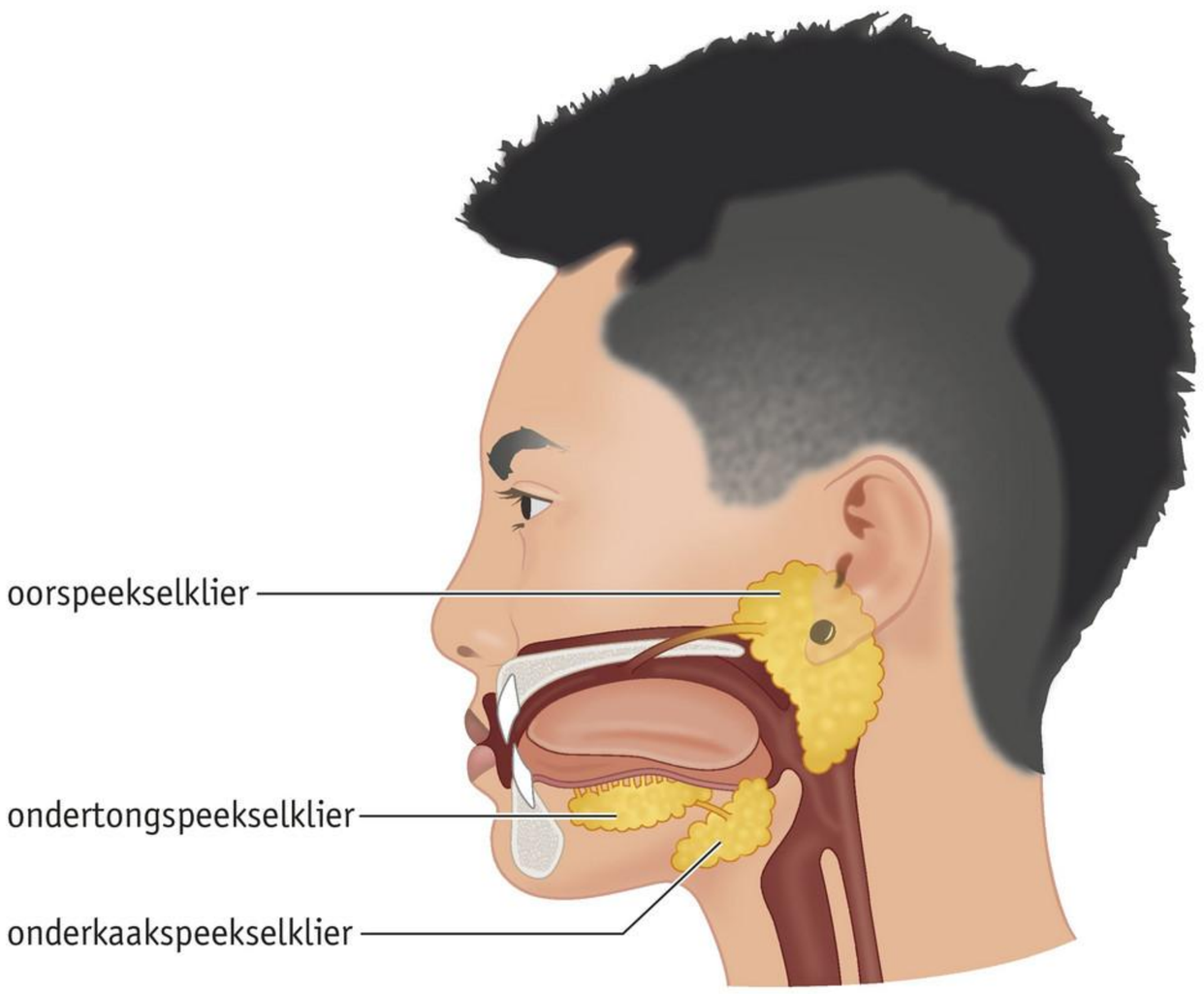
De pH en de temperatuur beïnvloeden de werking van enzymen. Voor alle verteringsenzymen is de lichaamstemperatuur (36,4 °C) de optimale temperatuur. Het pH-optimum verschilt per enzym.

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

SPEEKSEL EN MAAGSAP

De vertering begint al in je mond. Drie paar **speekselklieren** produceren een tot anderhalve liter speeksel per etmaal (zie afbeelding 25). Het autonome zenuwstelsel regelt de speekselafgifte. Prikkeling van je zintuigen doordat je voedsel ziet of ruikt, kan leiden tot verhoogde speekselproductie. Je gaat dan 'watertanden'.

■ **Afb. 25** De ligging van de speekselklieren.

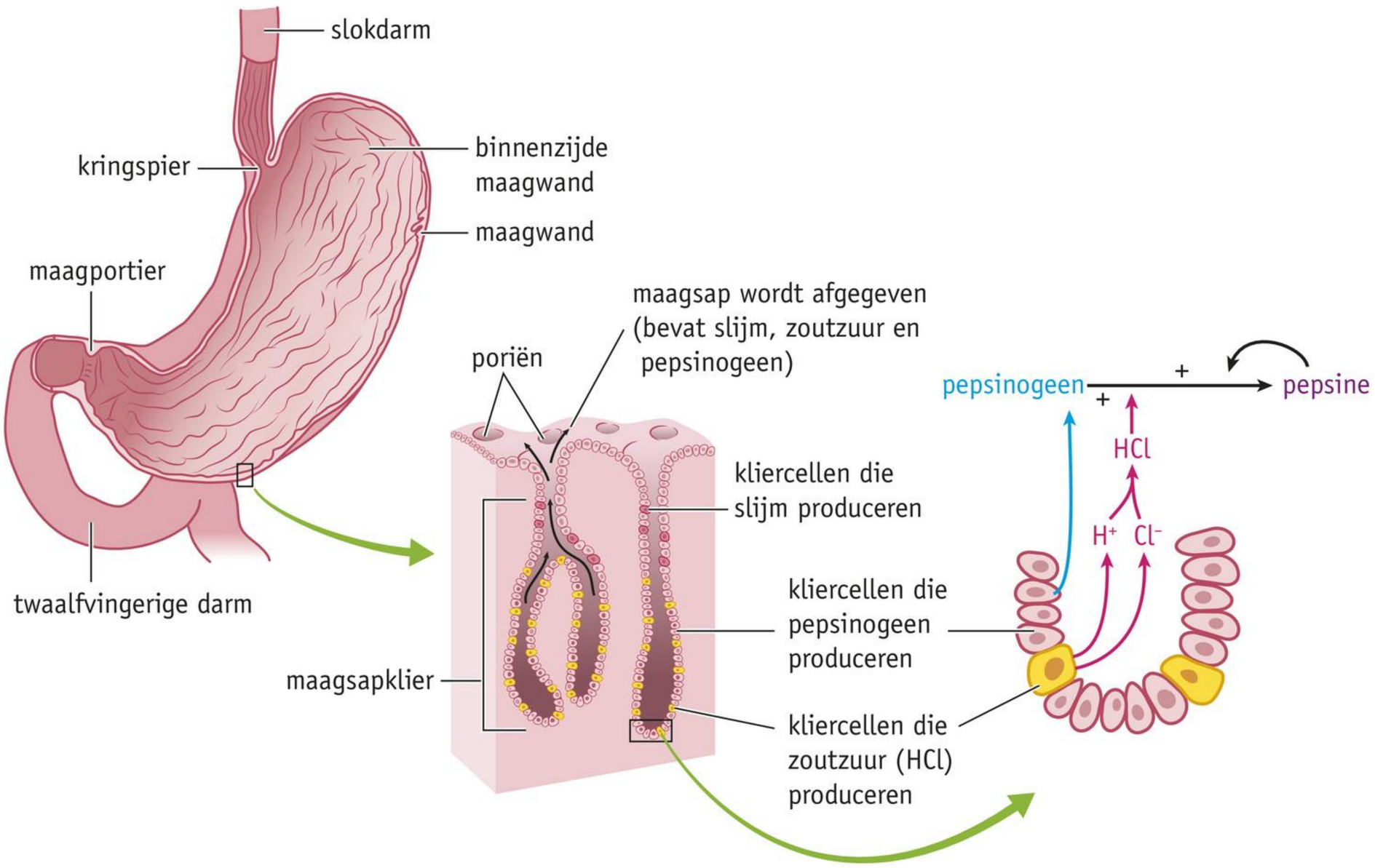


Speeksel bevat het enzym amylase, dat een deel van het zetmeel in het voedsel afbreekt tot maltose (een disacharide). Amylase is werkzaam bij een pH van ongeveer 6 tot 7,5. Het pH-optimum is 6,6. Als voedsel in de maag komt, dringt het zure maagsap geleidelijk in de voedselbrij door. Daardoor daalt de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

Klieren in de maagwand produceren de bestanddelen van maagsap (zie afbeelding 26). Een maagsapklier bestaat uit verschillende typen cellen. Eén type kliercellen produceert H^+-ionen en Cl^--ionen, andere cellen produceren slijm en weer andere produceren pepsinogeen. Pepsinogeen is een nog niet geactiveerde variant van een enzym (een 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 vrij lange aminozuurketens: polypeptiden. De vertering van eiwitten wordt verderop in het verteringsstelsel voltooid. Pepsine is alleen werkzaam in een sterk zuur milieu. Het pH-optimum is 2,5.

■ **Afb. 26** De maag en de productie van maagsap (schematisch).



Opdrachten KENNIS

33 Waarom is het niet nodig dat water, vitaminen en mineralen worden verteerd?

34 Bij het ruiken of proeven van voedsel neemt de productie van speeksel door je speekselklieren toe.
Leg uit waarom je deze reflex niet kunt onderdrukken.

35 **a** Welke twee functies heeft het zoutzuur in maagsap?
b Leg uit dat de activatie van pepsinogeen tot pepsine een voorbeeld is van positieve terugkoppeling.

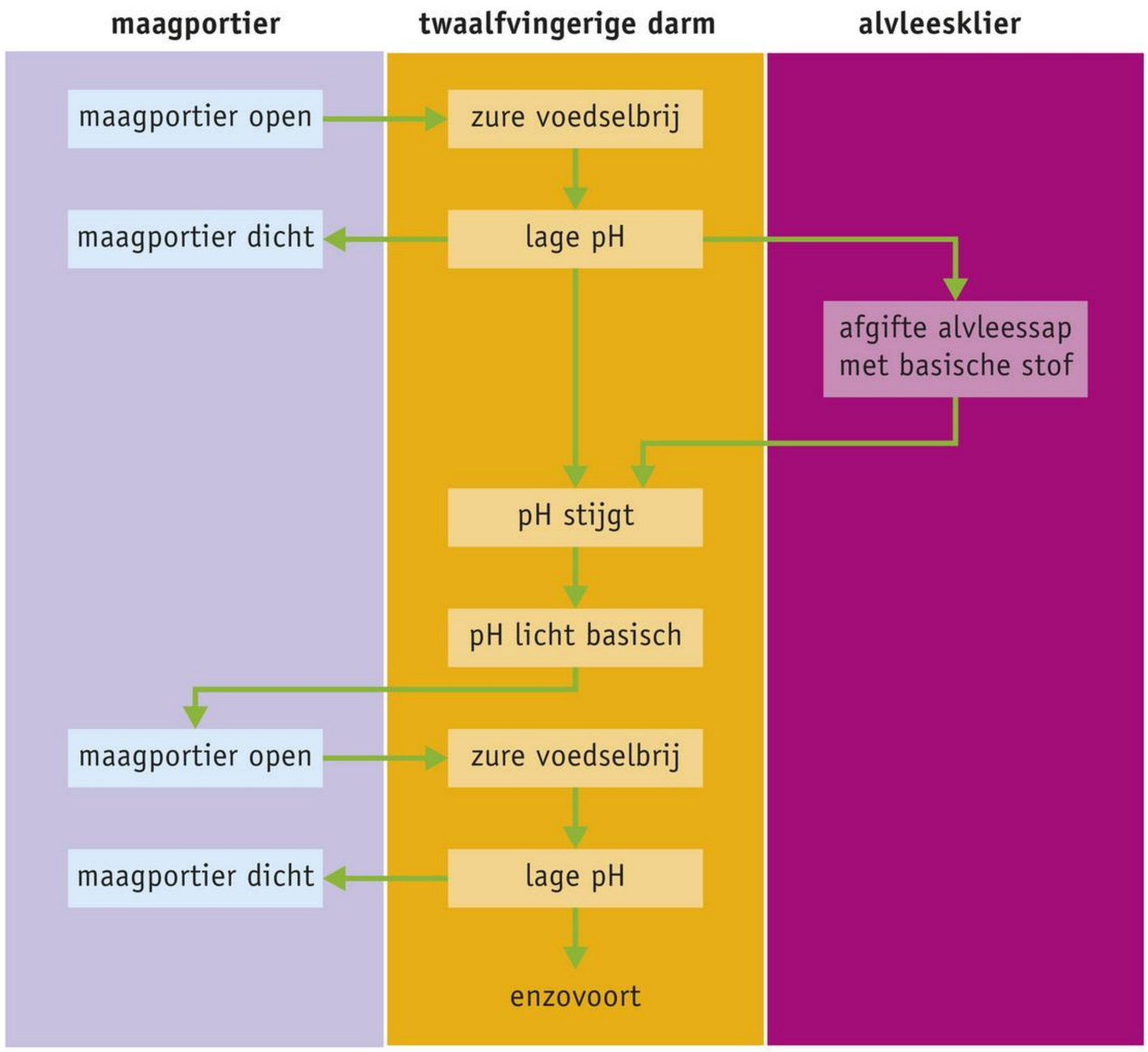
36 De optimumtemperatuur voor de verteringsenzymen is 36,4 °C.
Waarom is het pH-optimum niet voor alle verteringsenzymen gelijk?

37 Kan in de slokdarm vertering plaatsvinden? Leg je antwoord uit.

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.

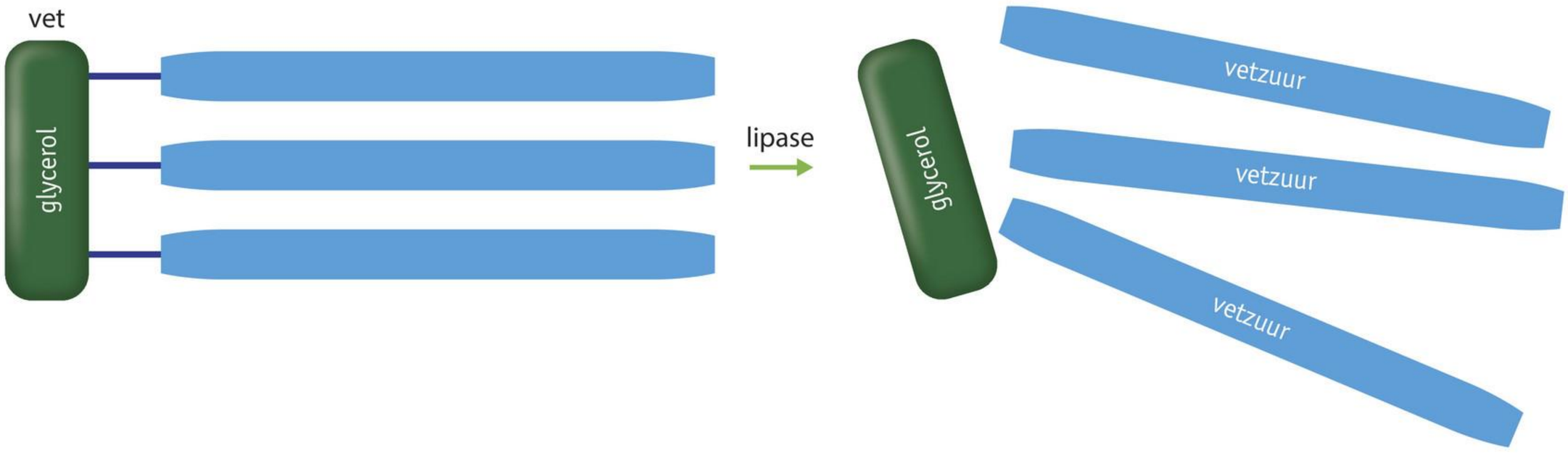
■ **Afb. 27** Regelmechanismen onder invloed van de pH in de twaalfvingerige darm.



Het gevolg is dat de kringspier van de maagportier zich samentrekt. De maagportier wordt daardoor gesloten. Alvleessap uit de alvleesklier bevat een basische stof, waardoor de pH in de twaalfvingerige darm weer stijgt. De voedselbrij in de twaalfvingerige darm wordt licht basisch (pH 8 à 9). Het gevolg is dat de kringspier van de maagportier zich ontspant. Er wordt dan weer een nieuwe hoeveelheid zure voedselbrij toegelaten tot de twaalfvingerige darm.

Alvleessap bevat onder andere de enzymen amylase, trypsine, peptidasen en lipase. Amylase uit de alvleesklier zorgt voor verdere afbraak van zetmeel tot maltose. Trypsine splitst moleculen van lange polypeptiden in korte polypeptiden. Peptidasen breken deze verteringsproducten verder af tot dipeptiden en tripeptiden (peptiden met twee en drie aminozuren). Lipase splitst vetmoleculen in één glycerolmolecuul en drie vetzuurmoleculen (zie afbeelding 28).

■ **Afb. 28** De vertering van een vetmolecuul onder invloed van lipase (schematisch).



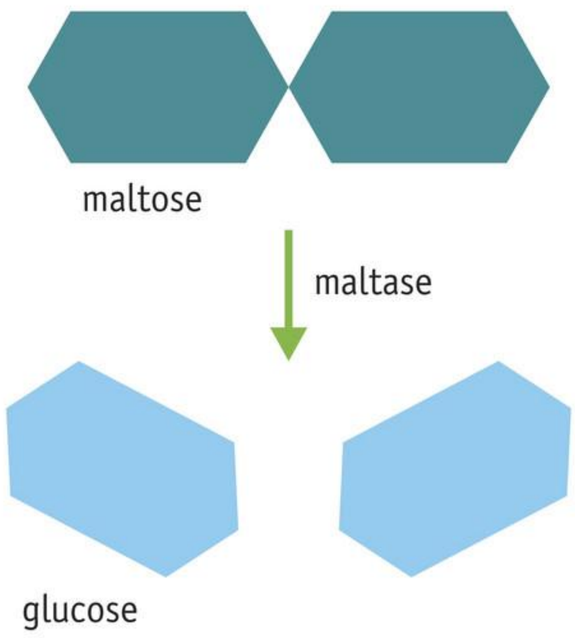
De meeste enzymen in alvleessap hebben een pH-optimum van ongeveer 8. De alvleesklier geeft alvleessap af als de pH in de twaalfvingerige darm laag is, dus als er voedsel vanuit de maag in de twaalfvingerige darm is gekomen (zie afbeelding 27). De galblaas geeft dan gal af. Door de basische stof in alvleessap worden de enzymen uit de alvleesklier in de twaalfvingerige darm werkzaam. De gal zorgt ervoor dat lipase goed op vetten kan inwerken.

DARMSAP

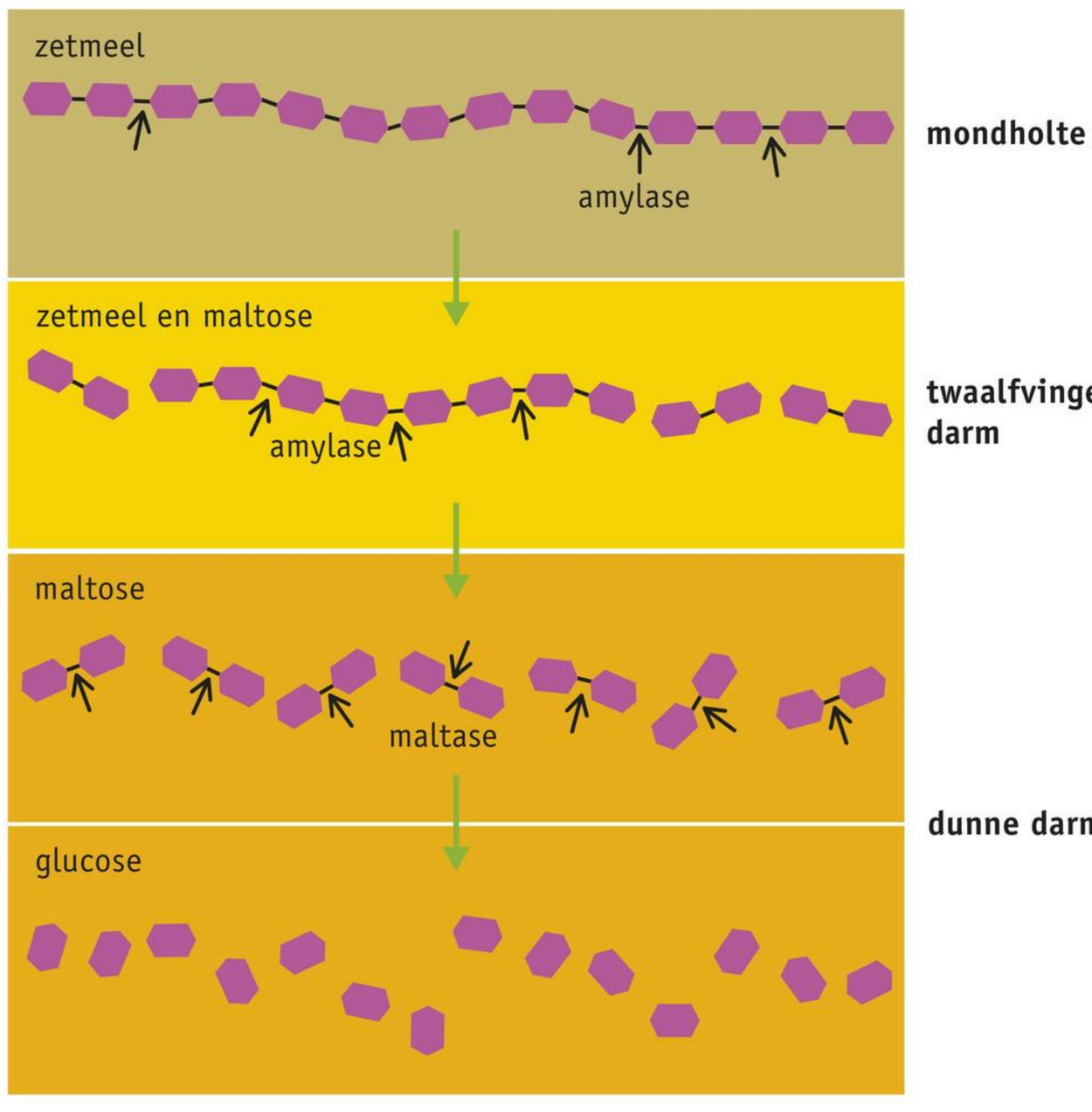
Door de vertering van vetten komen er steeds meer vetzuren in de twaalfvingerige darm vrij. Hierdoor daalt de pH van de voedselbrij langzaam. Als de voedselbrij in de dunne darm aankomt, is de pH ongeveer 7.

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 (zie afbeelding 29). Hiermee is de vertering van zetmeel voltooid. In afbeelding 30 is de vertering van zetmeel vanaf de mondholte tot aan de dunne darm schematisch weergegeven. Sacharase verteert sacharose (riet- of bietsuiker) en lactase verteert lactose (melksuiker).

■ **Afb. 29** De vertering van een maltosemolecuul onder invloed van maltase (schematisch).

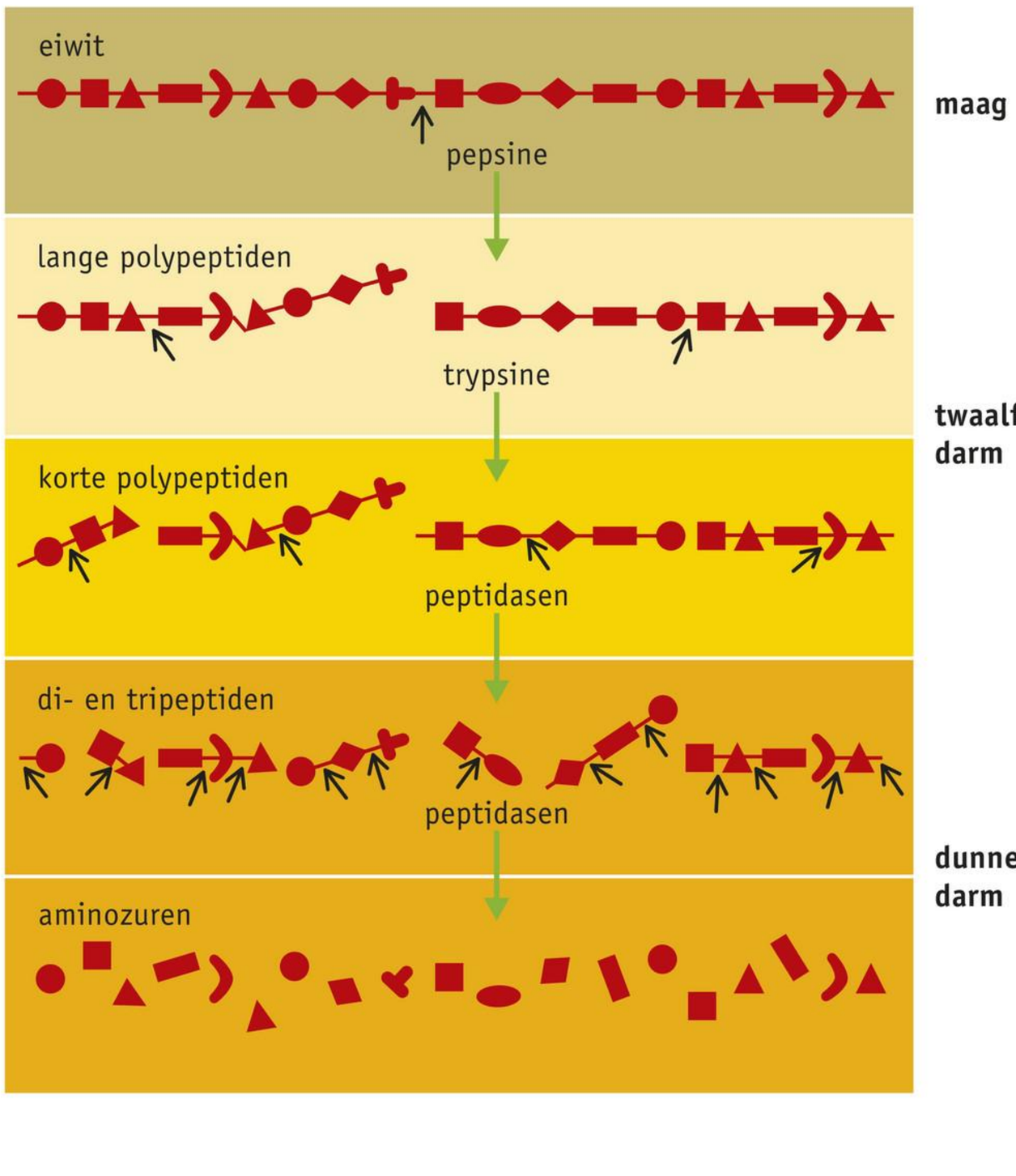


■ **Afb. 30** De vertering van zetmeel (schematisch).



Peptidasen in het darmsap breken de di- en tripeptiden af tot aminozuren. Hiermee is de vertering van eiwitten voltooid. In afbeelding 31 is de vertering van een eiwit vanaf de maag tot aan de dunne darm schematisch weergegeven.

■ **Afb. 31** De vertering van een eiwit (schematisch).



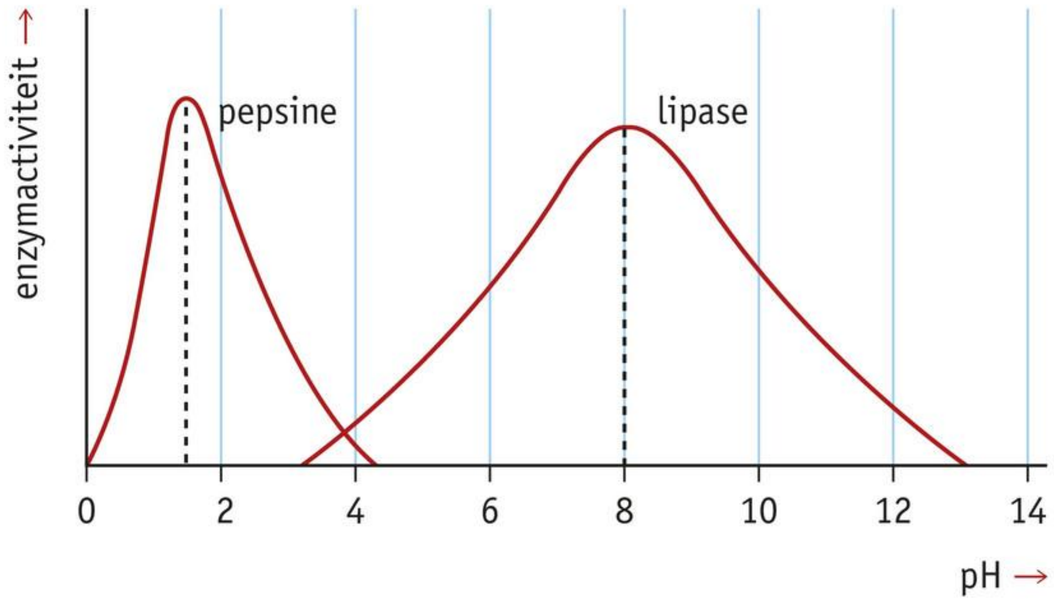
Opdrachten KENNIS

38 Enkele organen die zijn betrokken bij de vertering zijn: *speekselklieren – slokdarm – maag – lever – galblaas – twaalfvingerige darm – alvleesklier – dunne darm – dikke darm – endeldarm.*
Noteer de organen uit dit rijtje waar het voedsel tijdens het verteringsproces niet doorheen gaat.

39 Bij een patiënt met galstenen wordt soms de galblaas verwijderd.
Leg uit waarom een patiënt zonder galblaas beter geen grote hoeveelheden vet voedsel in een keer kan eten.

40 In afbeelding 32 is het verband tussen de pH en de activiteit van pepsine en lipase in een diagram weergegeven.
a Wat is de minimum-pH van pepsine?
b Wat is de optimum-pH van lipase?
c Is er een pH waarbij pepsine en lipase beide werkzaam zijn? Zo ja, welke?

■ **Afb. 32** Het verband tussen de pH-waarde en de activiteit van pepsine en lipase.



41 Pepsine kan met de voedselbrij mee vanuit de maag via de twaalfvingerige darm in de dunne darm terechtkomen.
Is pepsine dan nog werkzaam? Leg je antwoord uit.

Opdrachten INZICHT

42 Bekijk afbeelding 32.
Welk van beide enzymen is het gevoeligst voor veranderingen in de pH? Leg je antwoord uit.

43 De werking van de amylase uit speeksel stopt na enige tijd in de maag, doordat de pH van de voedselbrij te laag is geworden.
Leg uit dat ook pepsine ervoor zorgt dat amylase na enige tijd niet meer werkt.

44 Speeksel bevat stoffen met een antibacteriële werking.
Waarom is dit functioneel?

45 Bij het grootste deel van de wereldbevolking neemt na het derde levensjaar de productie van lactase in de dunne darm af. Lactose in melkproducten kan dan niet meer worden verteerd. In de dikke darm breken bacteriën van de darmflora de lactose af, waardoor klachten kunnen ontstaan zoals buikpijn, krampen, diarree, winderigheid en een opgeblazen gevoel. Dit noem je lactose-intolerantie.
Zure melkproducten (karnemelk, kwark, yoghurt) bevatten bacteriën die lactase produceren.

a Leg uit waardoor mensen met lactose-intolerantie zure melkproducten vaak beter verdragen.

b Als je wilt weten of je lactose-intolerant bent, kun je dat laten onderzoeken. Je moet dan eerst een bepaalde hoeveelheid lactose innemen. Vervolgens wordt je bloedsuikerspiegel na een bepaalde tijd gemeten.
Leg uit dat je waarschijnlijk lactose-intolerant bent wanneer je bloedsuikerspiegel niet is gestegen.

46 Uit *BiNaS* tabel 82E blijkt dat ook DNA en RNA substraten zijn. De alvleesklier en dunne darm produceren enzymen om deze moleculen te verteren.
Noteer twee feiten over DNA en RNA die je hieruit kunt afleiden.

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

Context Leefwereld

HONGER MAAKT IMPULSIEF

Neem nooit een belangrijke beslissing als je honger hebt. Het hongerhormoon ghreline heeft namelijk een negatief effect op je besluitvorming en je impulscontrole. Ghreline is het enige bekende hormoon in het verteringsstelsel dat de eetlust opwekt en daardoor de voedselinname bevordert. Liesbeth van Rossum, maag-darmspecialist, legt uit hoe dat werkt.

'Ons gevoel van honger en verzadiging werkt onder invloed van hormonen. Het hormoon ghreline wordt vooral afgescheiden door de cellen van de maagwand als de maag leeg is. De concentratie van dit hormoon neemt toe als je een lange tijd niks hebt gegeten. Wanneer ghreline bindt aan ghrelinereceptoren, versturen deze receptoren signalen naar de hypothalamus. De hypothalamus zorgt voor het hongergevoel en bereidt het lichaam voor op het voedsel dat komen gaat. Dat merk je aan een verhoogde speekselafscheiding en een toename van de darmperistaltiek. De concentratie ghreline neemt 's nachts en voor een maaltijd toe en na een maaltijd af.'

Ghreline blijkt ook invloed te hebben op andere delen van de hersenen. Bij een verhoogde concentratie ghreline is het daardoor lastig om een behoefte uit te stellen of een reactie te onderdrukken. Je gaat dan sneller over tot een impulsieve keuze of een impulsieve actie.

Opdrachten

47 Ghreline wordt aangemaakt door de cellen van je maagwand als je maag leeg is. Het hormoon zorgt voor een hongergevoel. Wanneer je gaat eten en de maag gevuld raakt, neemt de productie van ghreline af.
Is dit een voorbeeld van positieve of negatieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.

48 Een slaaptekort kan leiden tot overmatig eten, doordat de concentratie ghreline wordt beïnvloed.
Leg uit of de concentratie ghreline door slaaptekort stijgt of daalt.

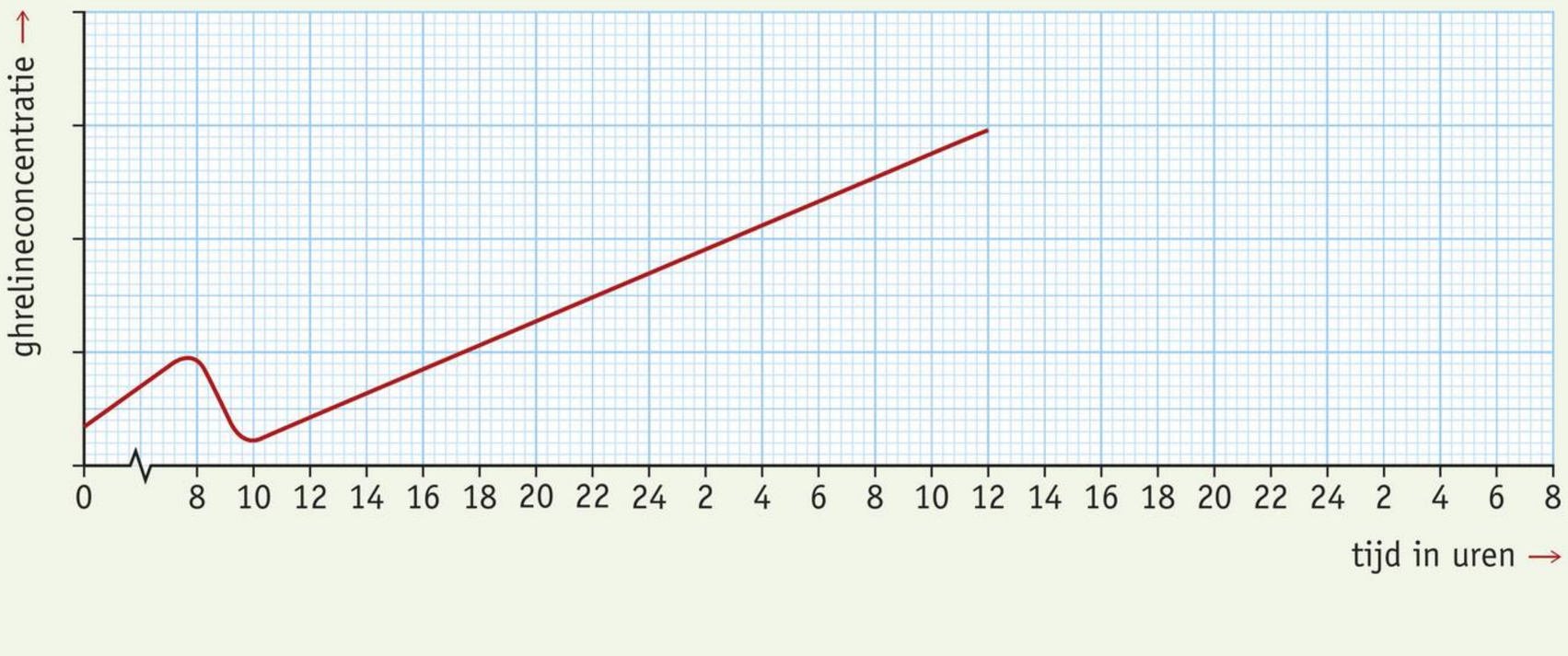
49 Uit onderzoek blijkt dat je beter geen boodschappen kunt doen als je honger hebt. Je koopt dan niet alleen meer eten, maar ook niet-eetbare producten belanden gemakkelijker in je mandje.
Leg uit hoe dat komt.

50 In de grafiek van afbeelding 33 is aangegeven hoe de ghrelineconcentratie verandert als iemand 28 uur lang niet eet.

a Wanneer heeft deze persoon voor het laatst gegeten?

b Teken in de grafiek het verdere verloop van de ghrelineconcentratie als de proefpersoon tijdens de lunch van dag 2 (13.00 uur) weer normaal gaat eten en op dag 2 om 18.00 uur zijn avondeten gebruikt.

■ **Afb. 33** Het verloop van de ghrelineconcentratie.



4 RESORPTIE

LEERDOEL

10.4.1 Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden opgenomen in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	10.4.1
Onthouden	51, 54a, 55
Begrijpen	52, 53, 54b, 56, 57
Toepassen	58, 60b, 61, 62
Analyseren	59, 60a

In de dunne darm wordt de vertering van koolhydraten, eiwitten en vetten voltooid en worden de verteringsproducten opgenomen in het bloed. Elke dag wordt er met de verteringssappen veel water aan de voedselbrij in je darmkanaal toegevoegd. In de dikke darm wordt ongeveer 90% van dat water vanuit de voedselbrij weer opgenomen in het bloed.

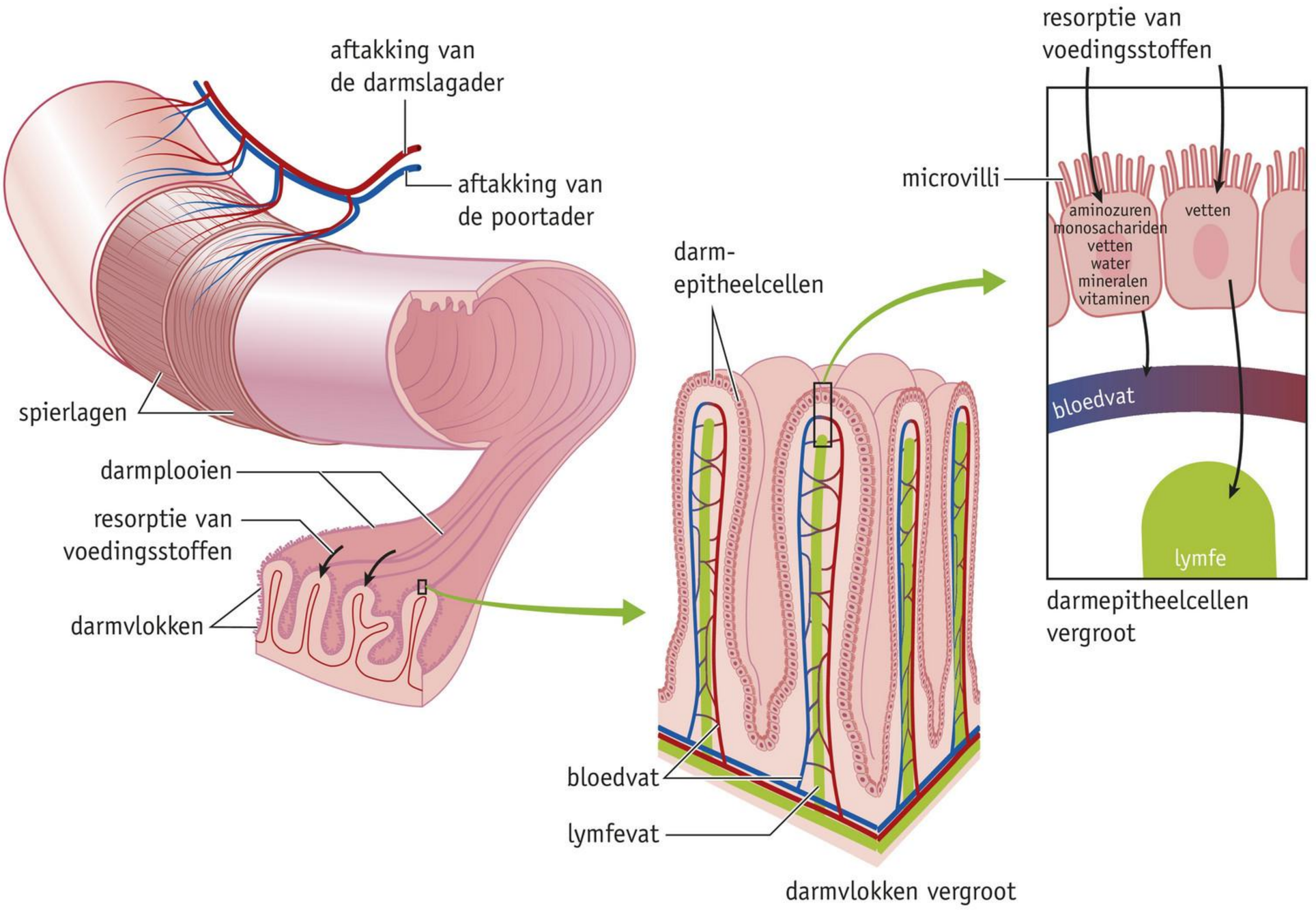
DE DUNNE DARM

Na de twaalfvingerige darm komt de voedselbrij terecht in de **dunne darm**. Hier worden de meeste voedingsstoffen opgenomen in het 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.

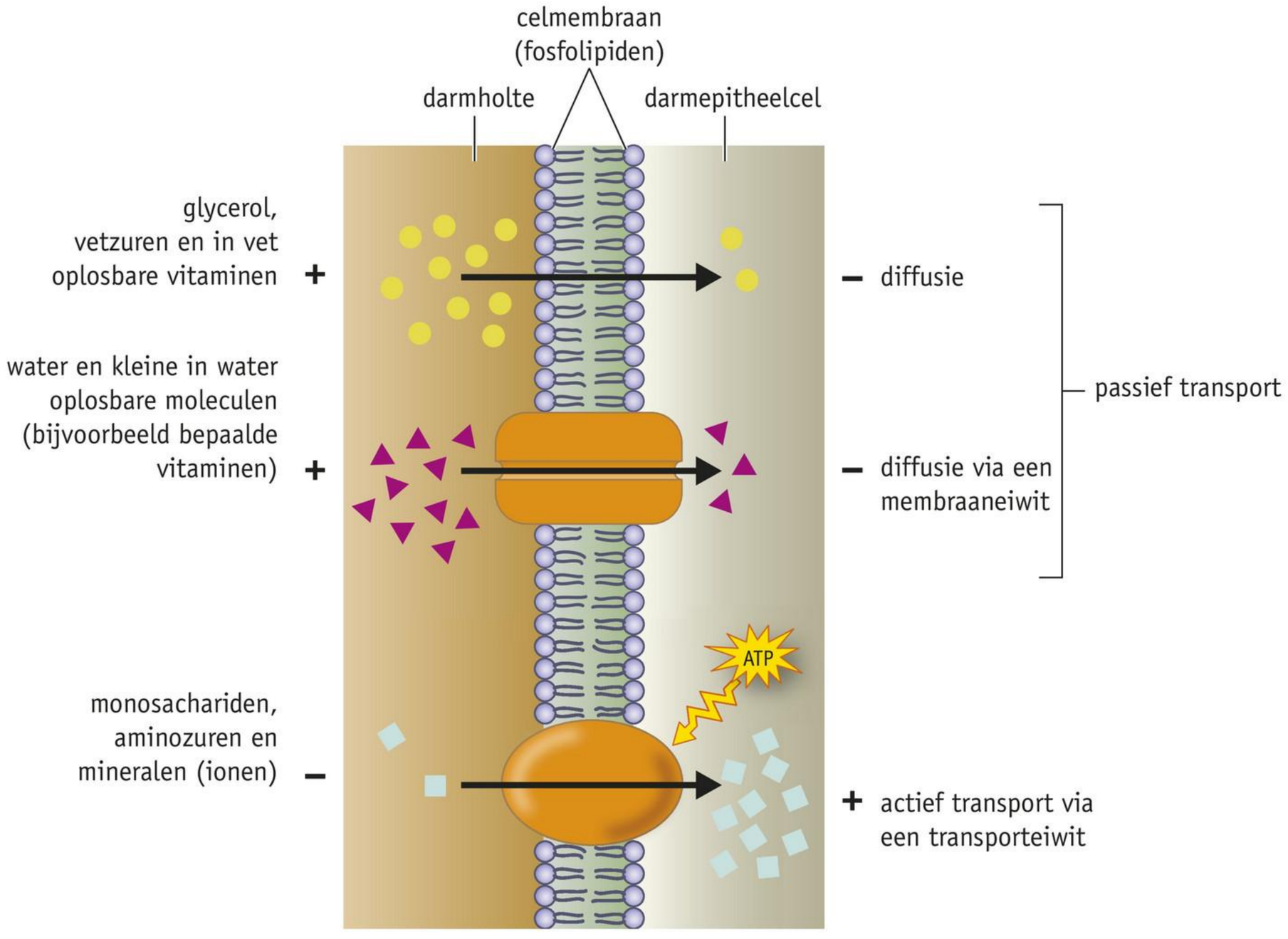
De dunne darm van een volwassen persoon is ongeveer zes meter lang. De wand is sterk geplooid (zie afbeelding 34). Op de darmplooien bevinden zich uitstulpingen: de **darmvlokken**. De buitenste laag cellen van de darmvlokken vormt het darmepitheel (darmdekweefsel). De cellen van het darmepitheel hebben een groot aantal microscopisch kleine uitstulpingen: de microvilli (zie afbeelding 34). Door de darmplooien, de darmvlokken en de microvilli is de oppervlakte voor de opname van stoffen zeer groot.

De cellen van het darmepitheel nemen water, voedingsstoffen en verteringsproducten op uit de voedselbrij. Dat gebeurt door diffusie via de fosfolipiden, aquaporines of transporteiwitten in het celmembraan en door actief transport (zie afbeelding 35). 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.

■ **Afb. 34** De bouw van de dunne darm (schematisch).



■ **Afb. 35** De opname van voedingsstoffen in het darmepitheel.



2 ENZYMEN

LEERDOELEN

8.2.1 Je kunt de bouw en werking van enzymen beschrijven.
8.2.2 Je kunt de invloed van milieufactoren op de enzymactiviteit beschrijven.

- Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)
- Practica 1 en 2

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	8.2.1	**8.2.2**
Onthouden	14ab	17a
Begrijpen	14cd, 15, 16	17bc, 18, 24a
Toepassen		19, 20, 24bd, 25
Analyseren		21, 22, 23, 24c

In alle levende cellen vinden stofwisselingsprocessen plaats. Voor elke reactie is een speciaal eiwitmolecuul nodig dat ervoor zorgt dat de reactie mogelijk is of sneller verloopt.

BOUW EN WERKING

Bij de stofwisseling in cellen worden voortdurend stoffen opgebouwd en afgebroken. Deze stofwisselingsprocessen verlopen meestal niet vanzelf, of zeer traag. Om deze processen toch goed te laten verlopen, bevat een cel duizenden verschillende **enzymen**. Enzymen zijn eiwitten die chemische omzettingen **katalyseren** (mogelijk maken of versnellen). Daarbij worden de enzymen zelf niet verbruikt.

Een enzymmolecuul heeft een ruimtelijke vorm met veel knikken en lussen, waar een substraatmolecuul precies in past. Het **substraat** is de stof waarop een enzym inwerkt. De ruimtelijke vorm van een enzymmolecuul is zo uniek dat er maar één type substraat in past. Elk enzymmolecuul is daardoor specifiek voor één bepaald substraat. Zodra een substraatmolecuul aan het enzymmolecuul bindt, ontstaat een **enzym-substraatcomplex** en vindt de reactie plaats. De plaats op het enzym waar het substraat aan bindt, noem je het actieve centrum.

In het substraatmolecuul worden bindingen tussen atomen verbroken en komen bindingen tussen andere atomen tot stand. De stoffen die bij een reactie ontstaan, noem je de reactieproducten (zie afbeelding 7). Na de reactie laten de ontstane moleculen los van het enzymmolecuul en kan een volgende reactie plaatsvinden.

Het enzymmolecuul is na de reactie niet veranderd en kan zich weer binden aan een volgend substraatmolecuul. Eén enzymmolecuul maakt dus vele malen dezelfde reactie mogelijk. Daardoor is een kleine hoeveelheid enzymen al voldoende om veel substraat om te zetten. Eén molecuul van het enzym urease bijvoorbeeld kan bij kamertemperatuur per seconde tienduizend ureummoleculen omzetten.

Darmvlokken bevatten bloedvaten en lymfevaten (zie afbeelding 34). De opname van stoffen via de darmwand in het bloed en de lymfe noem je **resorptie** (Latijn: *resorbere* = opzuigen). Voor resorptie is energie nodig. Daarom vindt er veel dissimilatie in de cellen van het darmepitheel plaats.

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

In de cellen van het darmepitheel worden uit glycerol en vetzuren weer vetten gevormd, die vooral worden opgenomen in de lymfe.

Opdrachten KENNIS

51 In welk deel van het verteringsstelsel worden de meeste voedingsstoffen in het bloed opgenomen?

52 Je dunne darm is ongeveer zes meter lang en heeft een oppervlak van in totaal 150 tot 200 m^2. Dat is ongeveer net zo groot als een volleybalveld.
Leg uit hoe het oppervlak van de dunne darm zo groot kan zijn.

53 **a** Leg uit waarom resorptie alleen kan plaatsvinden via levend epitheelweefsel.
b Welke cellen bevatten de meeste mitochondriën: epitheelcellen van de slokdarm of epitheelcellen van de dunne darm? Leg je antwoord uit.
c Opname van alcohol vindt plaats in een groot deel van het darmkanaal.
Waardoor is de opname in de dunne darm het grootst?

DE DIKKE DARM EN DE ENDELDARM

De onverteerde voedselresten komen terecht in de **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.

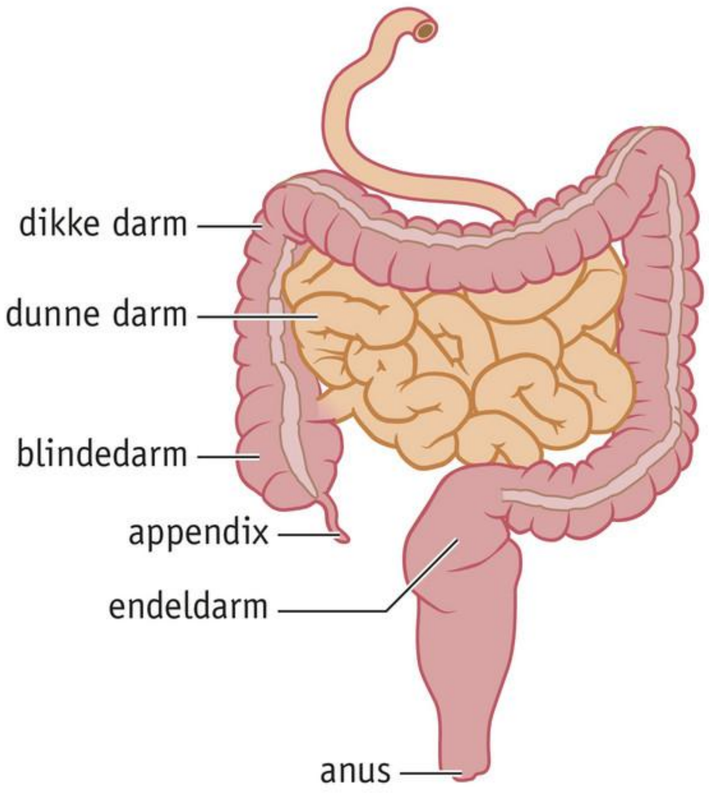
Vlak onder de overgang van dunne darm naar dikke darm ligt de blindedarm (zie afbeelding 36). Aan de onderkant van de blindedarm zit een uitstulping: de appendix (het wormvormig aanhangsel). Bij 'blindedarmontsteking' is niet de blindedarm ontstoken, maar de appendix. Deze wordt dan operatief verwijderd. De blindedarm blijft zitten.

In de dikke darm leven veel **darmbacteriën**, je darmmicrobioom of darmflora genoemd. Sommige darmbacteriën produceren enzymen voor de vertering van stoffen die niet door de enzymen van de mens worden verteerd, zoals cellulose in voedingsvezels. Darmbacteriën maken cellulase voor de vertering van cellulose. Andere soorten darmbacteriën produceren stoffen die belangrijk zijn voor de mens, zoals vitaminen. Een voorbeeld daarvan is vitamine K.

De onverteerde voedselresten die na de dikke darm nog zijn overgebleven worden in de **endeldarm** verzameld. 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 namelijk 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.

■ **Afb. 36** De ligging van dunne darm, blindedarm met appendix, dikke darm en endeldarm met anus (schematisch).



Opdrachten KENNIS

54 **a** Wat zijn de functies van de bacteriën in je dikke darm?
b 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 Bij het toedienen van sommige medicijnen is het belangrijk dat deze medicijnen niet direct in de lever terechtkomen.
Leg uit dat toediening in de vorm van zetpillen dan een goede oplossing is.

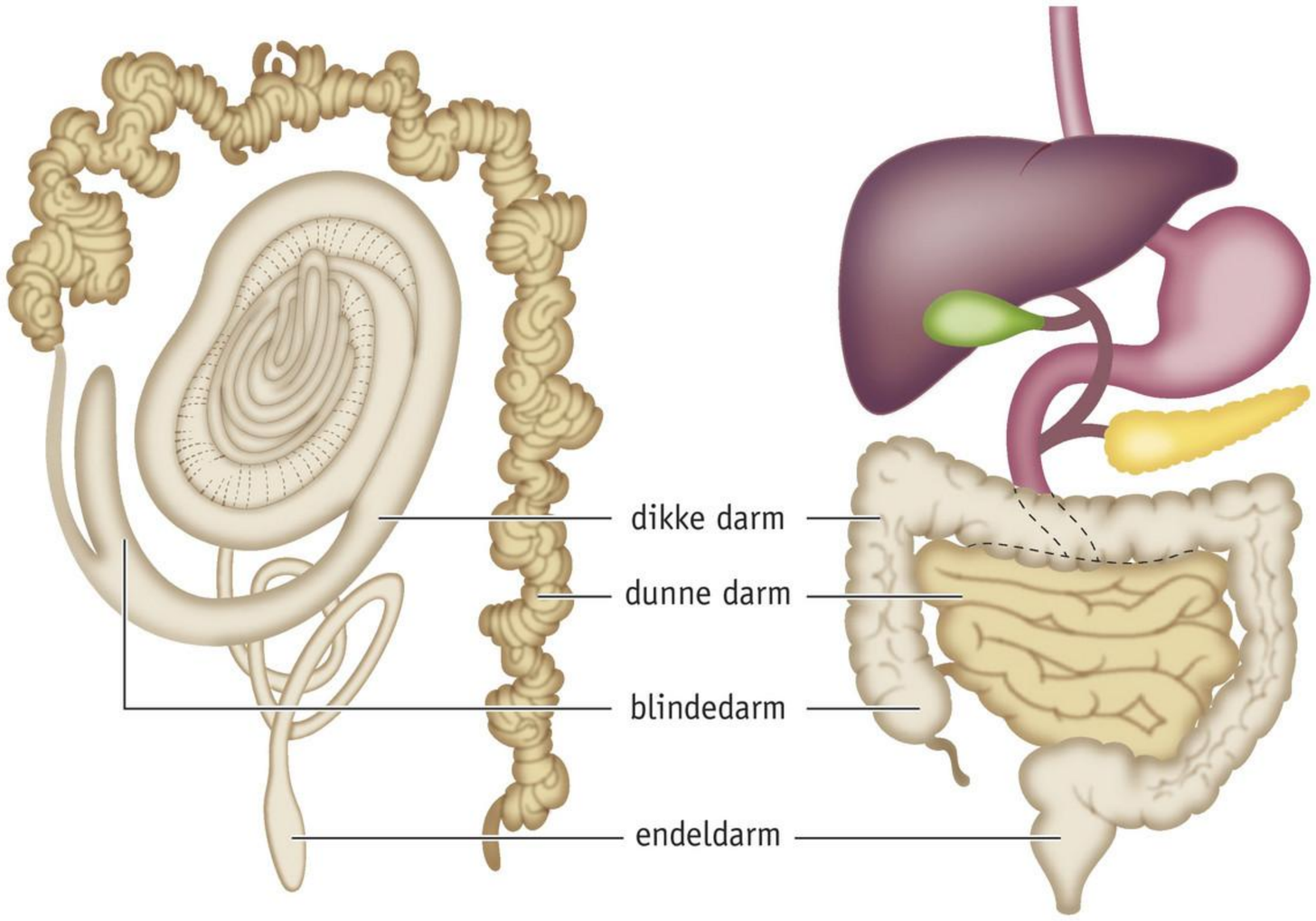
56 In Zuid-Azië, Afrika en Zuid-Amerika komt veel cholera voor. Deze ziekte wordt veroorzaakt door de bacterie *Vibrio cholerae*. De belangrijkste symptomen van cholera zijn plotseling overgeven en ernstige diarree.
Leg uit dat cholera levensbedreigend kan zijn.

57 In afbeelding 37 en 38 zie je drie verteringsstelsels.

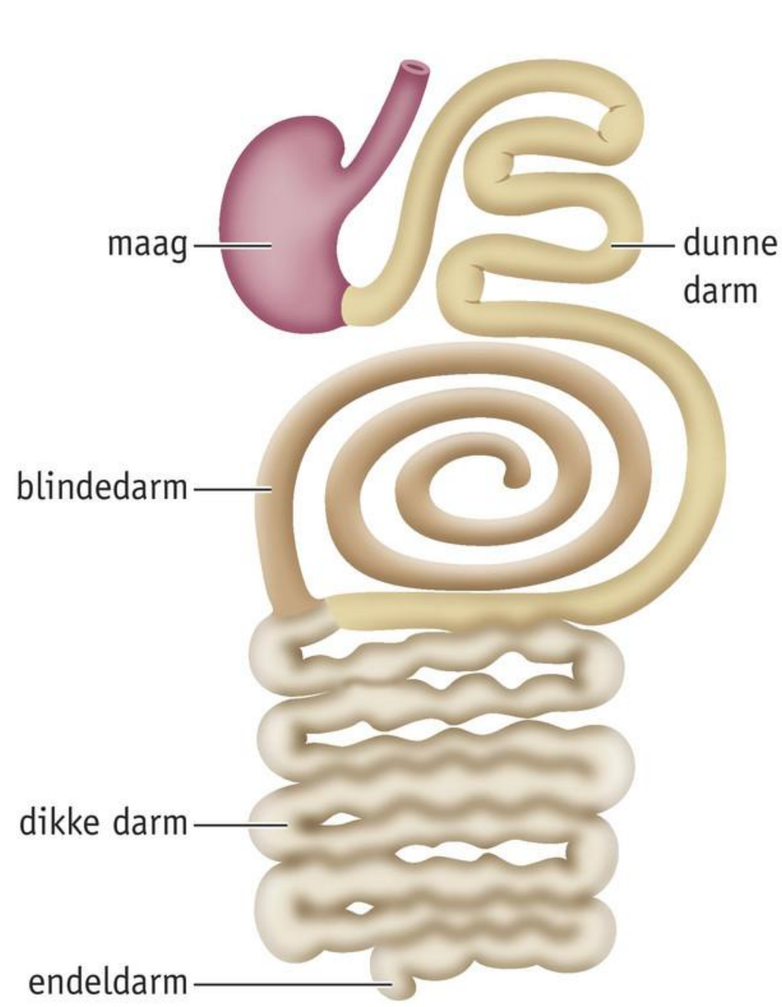
a Welke aanpassingen van het verteringsstelsel van de dromedaris beperken het vochtverlies via de uitwerpselen tot een minimum?

b De blindedarm en de dikke darm van de koala bevatten micro-organismen die cellulase aanmaken. Een koala verkrijgt bijna al zijn voedingsstoffen (inclusief water) uit eucalyptusbladeren.
Leg uit hoe dat mogelijk is.

■ **Afb. 37** Verteringsstelsel van een dromedaris en van de mens.



■ **Afb. 38** Verteringsstelsel van een koala.



Opdrachten INZICHT

58 **a** Wanneer de ontlasting te lang in de dikke darm blijft zitten, kan dat leiden tot verstopping (obstipatie).
Leg dat uit.

b Als je regelmatig last hebt van obstipatie, kan de huisarts het advies geven om je voedingsstijl of leefstijl aan te passen.
Welke adviezen kan de huisarts geven? Leg uit waarom.

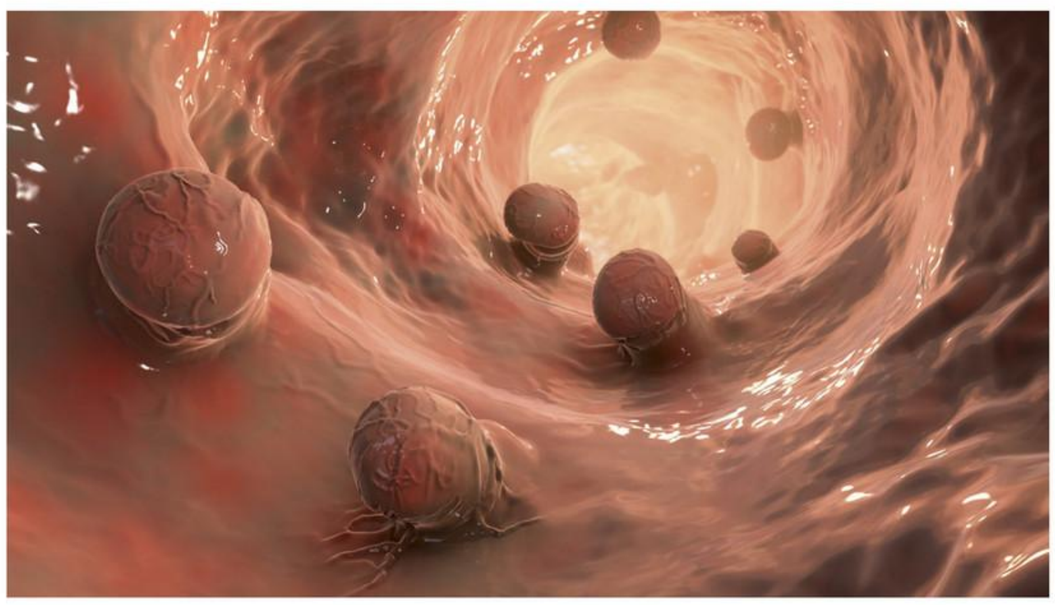
59 Een lintworm is een lange, lintvormige worm die in de darmen van een organisme leeft. In Nederland komen lintwormen bij mensen vrijwel nooit voor. Ze komen wel voor bij honden en katten.
Leg uit om welke vorm van symbiose het hier gaat.

60 Sinds 2015 worden Nederlanders van 55 tot 75 jaar iedere twee jaar uitgenodigd om deel te nemen aan het bevolkingsonderzoek voor het vroegtijdig opsporen van darmkanker. Jaarlijks krijgen zo'n 12 000 Nederlanders darmkanker. Darmkanker begint vaak als een poliep in de dikke darm. Een poliep is een uitstulping aan de binnenkant van de darm (zie afbeelding 39). De meeste poliepen zijn onschuldig, maar sommige poliepen ontwikkelen zich tot darmkanker. Dat je poliepen in je darmen hebt, merk je meestal niet.
Voor het onderzoek wordt aan deelnemers gevraagd om een monster van hun ontlasting te nemen en dit op te sturen. Wanneer er sporen van bloed in de ontlasting worden gevonden, kan dat betekenen dat je poliepen in je darmen hebt.

a Hoe komt het dat poliepen kunnen zorgen voor bloed in je ontlasting?

b Deelname aan het bevolkingsonderzoek is gratis, maar niet verplicht.
Zou jij, als je hiervoor in aanmerking komt, deelnemen aan het onderzoek? Geef minimaal één argument.

■ **Afb. 39** Poliepen in de darm.



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

Context Leefwereld

COELIAKIE

Gluten zijn eiwitten die van nature voorkomen in veel soorten granen, zoals tarwe, rogge, gerst en spelt. Gluten komen daardoor ook voor in de voedingsmiddelen waarin deze granen zijn verwerkt, bijvoorbeeld in brood, crackers, pizza, pasta, paneermeel en koek. Maar ook in soep, snoep en ijs kunnen gluten voorkomen.

Voedsel met gluten zorgt bij mensen met coeliakie voor ontstekingen van de wand van de dunne darm, waardoor de darm zijn werk niet goed kan doen. Een gezonde dunne darm heeft aan de binnenkant darmplooien en darmvlokken. Bij iemand met coeliakie gaan de darmvlokken kapot door de ontstekingen.

Wanneer mensen spreken over een glutenallergie, bedoelen ze vaak coeliakie. Bij iemand met deze ziekte reageert het afweersysteem zeer heftig op gluten. Ze worden gezien als lichaamsvreemde indringers, waartegen een afweerreactie moet worden gestart. Ook worden als gevolg van deze reactie de cellen van het eigen darmslijmvlies aangevallen.

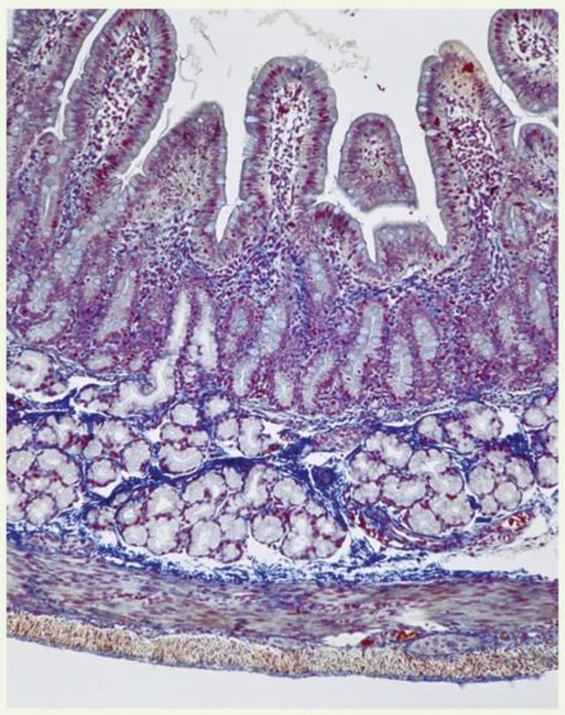
De ziekteverschijnselen lopen bij coeliakie behoorlijk uiteen. Je kunt bijvoorbeeld last hebben van diarree, verstopping, een opgezette buik, gewichtsverlies, overgewicht, depressie, bloedarmoede en botontkalking.

Door een glutenvrij dieet kan de dunne darm herstellen van coeliakie. Dit dieet moet je levenslang volgen. Elk spoortje van gluten in voeding kan de dunne darm opnieuw beschadigen.

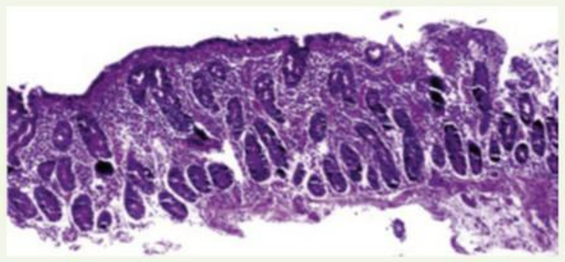
Opdrachten

61 Om te onderzoeken of mensen met ernstige darmklachten last hebben van coeliakie, wordt met behulp van een endoscoop een stukje dunne darm verwijderd en microscopisch onderzocht.

■ **Afb. 40** Darmwand.



1 van een gezond persoon



2 van een coeliakiepatiënt

In afbeelding 40 zie je een stukje dunne darm van een gezond persoon en van een coeliakiepatiënt.

a Behoren alle cellen in afbeelding 40.1 tot één weefseltype of tot meerdere weefseltypen? Leg je antwoord uit.

b Wat is het verschil tussen het oppervlak van de dunne darm van een gezond persoon en dat van een coeliakiepatiënt?

c Coeliakie kent veel symptomen. Leg uit waarom je door coeliakie bijvoorbeeld sneller een bot kunt breken.

62 Sharon heeft coeliakie en bekijkt de verpakking van een voedingsmiddel (zie afbeelding 41). Kan zij deze soep zonder problemen eten? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 41** Ingrediëntenlijst van een soep.



Ingrediënten: Water, groenten 39,2% (pompoen 27%, wortel 9,3%, BLEEKSELDERIJ 2%, ui 0,9%, aardappel, suiker, gemodificeerd maïszetmeel, zonnebloemolie, gejodeerd zout, botervet, (bevat MELK), gistextract, knoflook, peterselie, aroma (bevat SELDERIJ), nootmuskaat, zwarte peper, cayennepeper.

5 GEZONDE VOEDING (SE)

LEERDOELEN

10.5.1 Je kunt aangeven wat verantwoorde voeding is.

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

- Vaardigheid 6 en 7
- Practicum 5

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	10.5.1	**10.5.2**	**7.6.2***
Onthouden	63a	66a	
Begrijpen	63b, 64, 65	66bcd, 67	
Toepassen	69, 70		72, 74
Analyseren	68		71, 73

* Dit leerdoel vind je in een eerder leerjaar.

Mensen worden steeds ouder, maar niet per se gezonder. Het aantal welvaartsziekten stijgt. Je voeding heeft veel invloed op je gezondheid. Wat gezonde en verantwoorde voeding is, is soms lastig te bepalen.

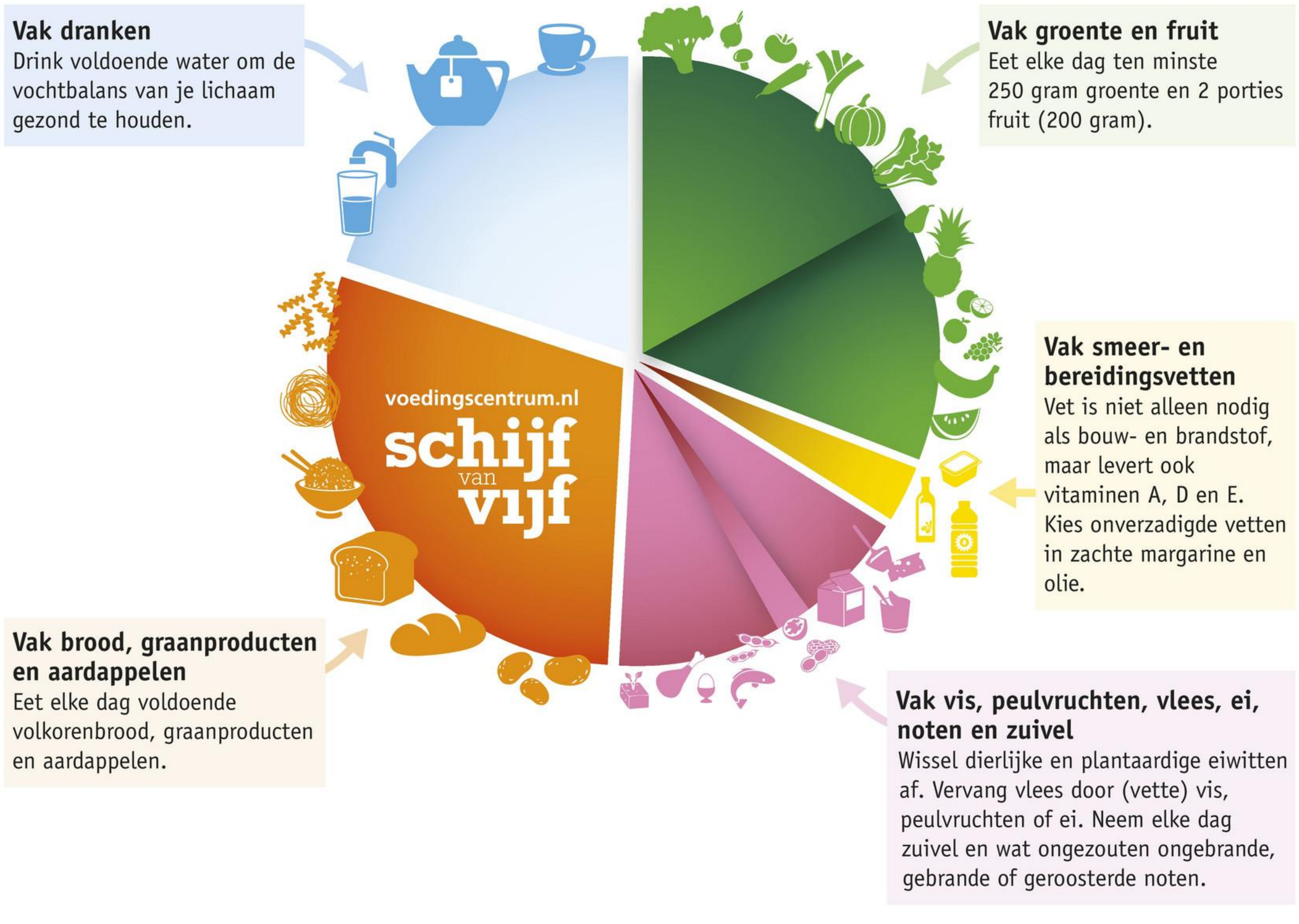
GEZOND ETEN

Door gezond te eten, verklein je het risico op welvaartsziekten zoals hart- en vaatziekten, diabetes en kanker. Gezond eten verkleint ook de kans op 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 42).

Als je eet volgens de Schijf van Vijf, krijg je alle voedingsstoffen binnen die je nodig hebt. Uit de grote vakken moet je meer voedingsmiddelen kiezen dan uit de kleine 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.

■ **Afb. 42** De Schijf van Vijf.



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, 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, zout en verzadigd vet binnen. Sterk bewerkte voedingsmiddelen dragen hierdoor bij aan het ontstaan van welvaartsziekten als obesitas, diabetes type 2 en hart- en vaatziekten. De app van het Voedingscentrum (Mijn Eetmeter) kan een hulpmiddel zijn om gezondere keuzen te maken.

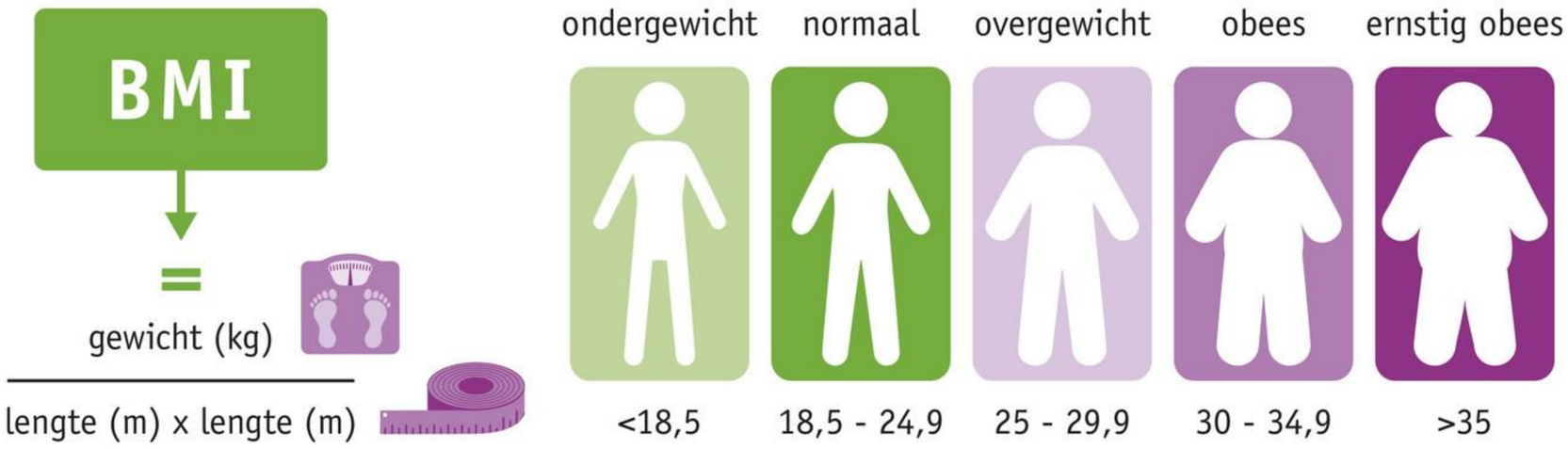
EEN GEZOND GEWICHT

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 de 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 energie in de vorm van vet opslaat in het onderhuidse bindweefsel en rondom de organen in je buik (buikvet). Te veel buikvet vergroot het risico op aandoeningen als hart- en vaatziekten, hoge bloeddruk, diabetes type 2 en kanker. 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 43). De BMI is bedoeld voor volwassenen en is een maat voor je 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 meters in het kwadraat (gewicht (kg) / lengte $(m)^2$). Volwassenen met een BMI tussen de 18,5 en 25 hebben een gezond gewicht (zie afbeelding 43). Als je BMI te hoog of te laag is, heb je meer risico op ziekten.

■ **Afb. 43** De Body Mass Index (BMI).



Je kunt overgewicht alleen kwijtraken als je met je voedsel minder energie binnenkrijgt dan je verbruikt. Het is niet verstandig om zomaar minder te gaan eten. Je moet immers 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. In dat geval zal je huisarts of diëtist eerst proberen te achterhalen wat de oorzaak is van het ondergewicht.

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 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

63 **a** De vakken van de Schijf van Vijf zijn niet even groot.
Leg uit waarom het vak ‘Groente en fruit’ en het vak ‘Brood, graanproducten en aardappelen’ groter zijn getekend dan de andere vakken.

b Is het mogelijk dat iemand die volgens de Schijf van Vijf eet toch overgewicht of ondergewicht heeft? Leg je antwoord uit.

64 **a** Noem drie processen in je lichaam waarvoor altijd energie nodig is, omdat ze deel uitmaken van de basale stofwisseling.

b De energiebehoefte van meisjes neemt gemiddeld vanaf hun 16e jaar vrijwel niet meer toe. Die van jongens wel.
Leg uit waarmee dat samenhangt.

65 Maarten doet aan judo en heeft daardoor flink veel spieren. Hij doet mee aan de Nederlandse kampioenschappen judo. Volgens een BMI-meting heeft Maarten geen gezond gewicht.

a Leg uit dat de uitkomst van de BMI-meting bij Maarten niet klopt.

b Het is niet vanzelfsprekend dat iemand met een gezond gewicht voldoet aan de eisen voor een gezonde voeding.
Leg dat uit.

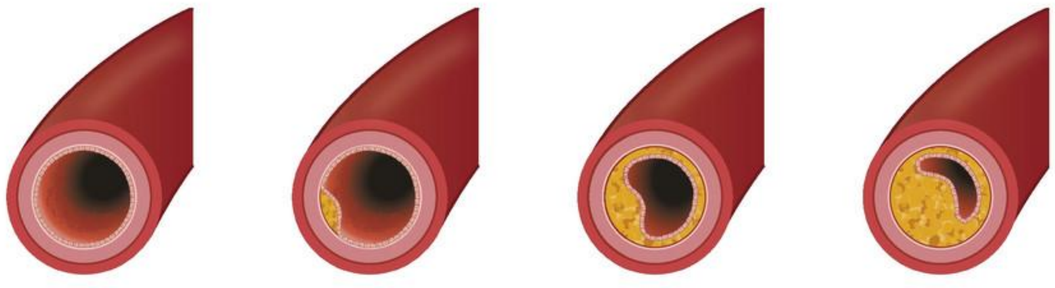
CHOLESTEROL

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

LDL vervoert vooral cholesterol vanuit alle delen van het lichaam naar de lever, bijnieren, eierstokken of teelballen. 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 44). 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. 44** 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. Maar als je wilt weten of je een verhoogde kans hebt op hart- en vaatziekten, zegt de waarde van het totale cholesterolgehalte (zie tabel 3) niet genoeg. 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 overtollig 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 3 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

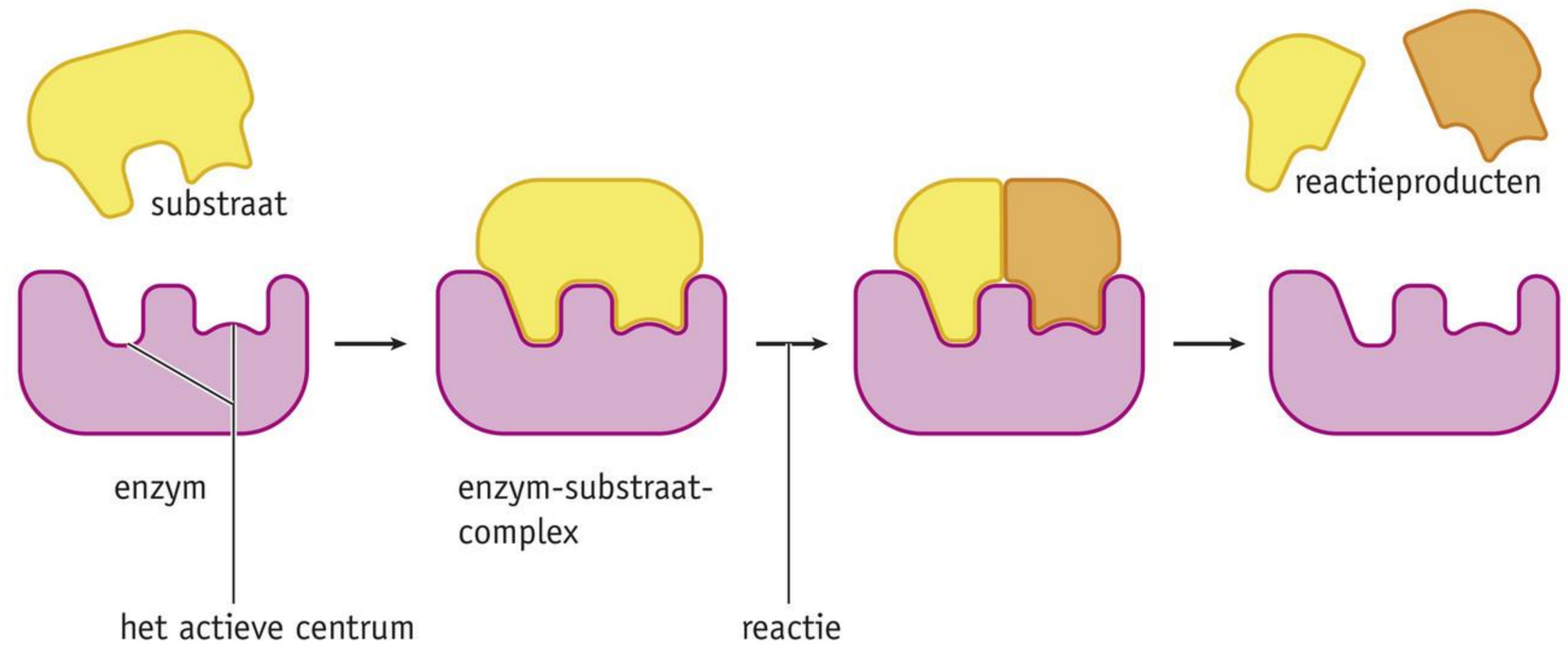
De productie van voedsel heeft invloed op het milieu. Bestrijdingsmiddelen, mest, transport, zoetwatergebruik en het gebruik van energie hebben gevolgen voor de leefomgeving. Vanwege de groeiende wereldbevolking en de stijgende welvaart moet de voedselproductie toenemen. Er wordt veel onderzoek gedaan om voedseltekort in de toekomst te voorkomen en op een duurzame manier voedsel te produceren.
De onderstaande tips van het Voedingscentrum kunnen je helpen om duurzame keuzes 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 45).

■ **Afb. 45** Duurzaamheidskeurmerken.

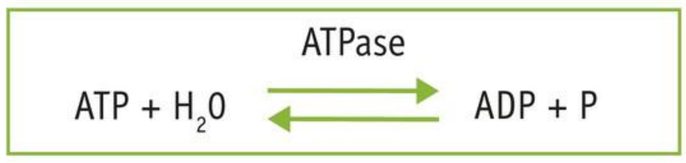


■ **Afb. 7** De werking van een enzym.



De naam van een enzym is vaak samengesteld uit de naam van het substraat en het achtervoegsel -ase. Het enzym ATPase bijvoorbeeld bewerkt het substraat ATP tot de reactieproducten ADP en fosfaat (zie afbeelding 8). Bij veel enzymatische reacties kan deze reactie in twee richtingen verlopen. In de reactievergelijking wordt dit weergegeven met een dubbele pijl. De naam van het enzym staat boven de pijl(en).

■ **Afb. 8** Enzymatische evenwichtsreactie met ATPase.



Opdrachten KENNIS

14 Enzymen zijn katalysatoren.

a Wat is een katalysator?

b Leg uit waarom een kleine hoeveelheid van een enzym genoeg is om in een cel veel substraat om te zetten.

c Het enzym katalase kan het substraatmolecuul zetmeel niet omzetten.
Leg uit hoe dat komt.

d Lactose is de wetenschappelijke naam voor melksuiker.
Hoe heet het enzym dat lactose afbreekt?

15 Speeksel bevat het enzym amylase. Amylase breekt zetmeel af. Om de werking van amylase aan te tonen wordt een klein beetje speeksel toegevoegd aan een reageerbuis met 1% zetmeeloplossing. Na enige tijd onderzoekt Jasper welke stoffen zich in de reageerbuis bevinden.
Welk eiwit treft hij aan in de reageerbuis?

16 In alle levende organismen vinden stofwisselingsreacties plaats.
Leg uit waarom voor deze stofwisselingsreacties enzymen nodig zijn.

Opdrachten KENNIS

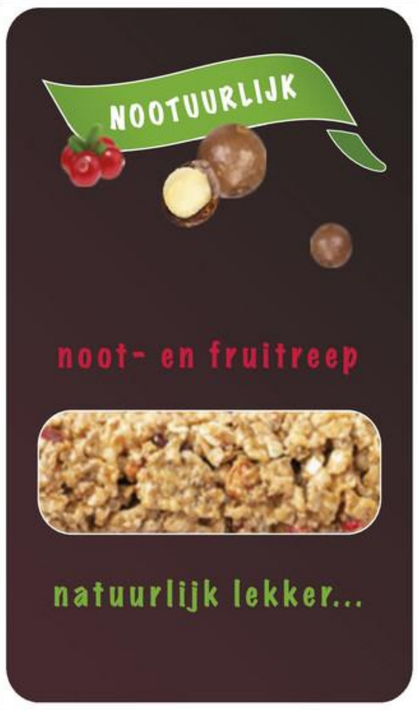
66 **a** Op welke twee manieren komt cholesterol in je bloed?
b Leg uit waarom een hoog HDL-cholesterolgehalte gunstig is.
c Waarom wordt cholesterol in het bloed vervoerd in lipoproteïnen?
d Bij Anouk in de familie komt een verhoogd cholesterolgehalte veel voor. Anouk laat haar cholesterolgehalte controleren en komt uit op een waarde van 6,6 mmol/L (totaal cholesterolgehalte). Haar HDL-cholesterol is 1,2 mmol/L.
Bereken de cholesterol-HDL-ratio van Anouk en bepaal of zij een verhoogde kans op hart- en vaatziekten heeft.

67 Bekijk de tips om duurzamer te eten.
a Leg uit waarom het niet alleen goed voor je gezondheid is om minder snacks en snoep te eten, maar ook voor het milieu.
b 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

68 In afbeelding 46 zie je het etiket met de voedingswaarde van een mueslireep.
a Leg uit waarom dit product niet in de Schijf van Vijf past.
b 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.
Noteer van drie verpakte tussendoortjes die jij regelmatig eet of suiker bij de eerste drie ingrediënten staat. Let op: suiker kent vele varianten, zoals bijvoorbeeld sacharose, fructose(stroop), glucose(stroop), dextrose of honing.

■ **Afb. 46** De ingrediënten en voedingswaarde van een mueslireep.



Ingrediënten: Pure chocolade 20% (cacaomassa, suiker, cacao boter, emulgator: SOJA lecithine), geschaafde kokosnoot 17%, sultanarozijnen 14%, glucosestroop, gepofte rijst (rijst, suiker), gedroogde veenbessen 8% (veenbessen, suiker, zonnebloemolie), honing, MACADEMIA-NOTEN 6%, PARANOTEN 5%.

Voedingswaarde:	**per 100 g**	**per 45 g (1 reep)**
Energie	478 kcal	215 kcal
	1997 kJ	899 kJ
Vet	24,6 g	11,1 g
(waarvan verzadigd)	14,2 g	6,4 g
Koolhydraten	41,0 g	18,4 g
Vezels	5,9 g	2,6 g
Proteïne	4,7 g	2,1 g
Zout	0,07 g	0,03 g

69 Noteer wat je gisteren als ontbijt hebt gegeten. Als je (vrijwel) niet ontbijt, doe dit dan voor je lunch. Noteer of je gegeten voedingsmiddelen in de Schijf van Vijf passen en leg uit waarom wel of niet.

70 Het Voedingscentrum geeft aan dat het eten van vlees en zuivel niet duurzaam is.
Leg uit waarom niet.

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

Context Beroep

WERKEN AAN ETEN

Vleesvervangers die net zo lekker zijn als vlees, kaas die niet van melk maar van een duurzamer alternatief wordt gemaakt, minder voedselverspilling in de fabriek, duurzamere verpakkingen. Allemaal onderwerpen waar Sean bij zijn opleiding mee te maken krijgt.

Sean studeert voedingsmiddelentechnologie aan de HAS in 's-Hertogenbosch. 'We leren hoe je nieuwe, verantwoorde en gezonde voedingsmiddelen ontwikkelt en produceert. Daarvoor moet je eerst veel weten over voedingsmiddelen en de manier waarop die worden gemaakt. Je komt dus vanaf het eerste jaar met regelmaat in de voedingsmiddelentechnologiehal of een echte fabriek.'

'Ik eet bijvoorbeeld vrijwel iedere dag kaas. Omdat die wordt gemaakt van melk, is die niet heel duurzaam. Het leek mij interessant om te ontdekken of het mogelijk is een duurzamer alternatief te maken dat net zo lekker is. Eerst moet je dan weten hoe het productieproces in zijn werk gaat. Vervolgens denk je na over veranderingen aan het product en probeer je die ook zelf uit. Je bent dus vaak praktisch bezig.'

De opleiding besteedt ook veel aandacht aan duurzaam verpakken. Plastic verpakkingen hebben een slecht imago, maar ze zijn wel degelijk zinvol als ze bederf en beschadiging van voedsel voorkomen (zie afbeelding 47). 'De uitdaging is niet altijd om het plastic te vervangen, want verminderen kan ook veel winst opleveren. Neem bijvoorbeeld noten in een plastic bakje. Voorheen zat daar een plasticfolie én een plastic dekseltje op. Dankzij een slimme voedingsmiddelentechnoloog is dat nu alleen nog een hersluitbaar plasticfolie. Hierdoor wordt per bakje ongeveer 4,8 gram plastic uitgespaard. Tel uit je (milieu)winst!'

■ **Afb. 47** Minder plasticgebruik per bakje maakt de verpakking van noten duurzamer.



Opdrachten

71 Sean noemt kaas een lekker, maar niet zo duurzaam product. Er is ook kaas op de markt die is gemaakt van plantaardige ingrediënten, zoals kokosolie, cashewnoten en aardappelzetmeel.
Leg uit waarom plantaardige kaas een duurzamer product is dan kaas die is gemaakt van melk.

72 Leg uit dat een grootverpakking vaak duurzamer is dan een kleine eenpersoonsverpakking.

73 Het weglaten van deksels op de bakjes met noten was een slimme manier om te bezuinigen op verpakkingsmateriaal.
Hoe zou dit nog duurzamer kunnen?

74 **a** Een voedingsmiddelentechnoloog moet creatief en innovatief zijn.
Leg dat uit.
b Zou deze opleiding iets voor jou zijn? Licht toe waarom wel of niet.

NOTITIES

BACTERIËN HOUDEN JE GEZOND

LEERDOELEN

10.S.1 Je kunt de invloed van je darmbacteriën uitleggen voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

10.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheden ecologisch denken, systeemdenken en vorm-functiedenken toepassen op het onderwerp darmbacteriën.

Ongeveer anderhalve kilo van je lichaamsgewicht bestaat uit micro-organismen, voornamelijk bacteriën. Daarvan bevindt 99% zich in je darmen. Het zijn er veel: wel tien keer zoveel als het aantal cellen waaruit je lichaam bestaat. Alle bacteriën in je darmen samen noem je je darmmicrobioom (darmflora) (zie afbeelding 1). De bacteriesamenstelling is bij iedereen anders.

■ **Afb. 1** Illustratie van een darmmicrobioom.



Je darmbacteriën kun je verdelen in nuttige en schadelijke bacteriën. Bij een gezond darmmicrobioom zijn de nuttige en schadelijke bacteriën met elkaar in evenwicht. Je darm bevat dan zoveel nuttige bacteriën dat er niet genoeg ruimte en voedsel overblijft voor de schadelijke bacteriën om zich te vermenigvuldigen. Soms raakt dit evenwicht verstoord. Als schadelijke bacteriën de overhand krijgen, kan dat leiden tot ziekten.

Het blijkt dat mensen met een chronische darmziekte een afwijkend darmmicrobioom bezitten. Onderzoekers keken naar de samenstelling van de bacteriën in de darmen van mensen met een darmziekte en darmen van gezonde mensen. De ziekte van Crohn en colitis ulcerosa zijn ziekten waarbij voortdurend ontstekingen in de darmen ontstaan. Bij de ziekte van Crohn variëren de plaats en de hevigheid van de ontstekingen. Mensen met colitis ulcerosa hebben ontstekingen in de dikke darm die altijd aanwezig zijn. Beide ziekten zorgen voor klachten zoals buikpijn, diarree, gewichtsverlies en vermoeidheid. De derde ziekte die is onderzocht, is het prikkelbaredarmsyndroom. Dat is een verzamelnaam voor langdurige darmklachten zoals buikpijn, buikkrampen, problemen met de ontlasting, een opgezette buik of winderigheid door gasvorming. Er zijn geen zichtbare ontstekingen in de darmen.

Omdat uit het onderzoek is gebleken dat mensen met deze ziekten een ander darmmicrobioom hebben, ligt daar misschien de sleutel voor behandeling of genezing. Je kunt de samenstelling van je darmmicrobioom voor een deel beïnvloeden door voedingsmiddelen met prebiotica te eten. Prebiotica zijn stoffen die de groei van bepaalde nuttige bacteriesoorten in je lichaam bevorderen. De meest bekende prebiotica zijn voedingsvezels. Zij stimuleren de groei van bepaalde bacteriën in de dikke darm. Je krijgt voldoende prebiotica binnen door noten, fruit, groenten en

peulvruchten te eten. Voor een gezond darmmicrobioom is het goed om daarnaast niet te veel dierlijk voedsel zoals vis, vlees en zuivel te eten.

Met een poeptransplantatie kun je het verstoorde evenwicht tussen de nuttige en schadelijke bacteriën in de darm van een patiënt herstellen. Door de ontlasting van een gezond persoon in te brengen bij een patiënt met een darmziekte, kunnen de ontstekingsreacties in het lichaam afnemen.

Opdrachten

1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau.
Kies uit: *bacterie – darm – darmmicrobioom – micro-organisme – nuttige bacteriën – patiënt.*

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

2 Voedingsmiddelen die veel suiker en vet bevatten, zijn niet goed voor je darmbacteriën. Voedingsmiddelen die veel vezels bevatten juist wel.
Noem enkele producten die je voldoende moet eten voor een gezond darmmicrobioom.
Leg je antwoord uit.

3 Mensen leven samen met darmbacteriën. Welke vormen van symbiose kunnen bestaan tussen darmbacteriën en de mens? Leg je antwoord uit.

4 Gewichtsverlies komt vaak voor bij patiënten met de ziekte van Crohn. Verklaar dit.

5 Bij een poeptransplantatie wordt verdunde ontlasting van een donor met een gezond darmmicrobioom via een sonde (slangetje) door de neus in de dunne darm van een patiënt ingebracht.
Noem twee redenen waarom dat op deze manier wordt gedaan.

6 Het gebruik van antibiotica kan de balans tussen goede en schadelijke bacteriën in je darmen verstoren. Leg uit hoe dat komt.

7 Bij onze verre voorouders had het darmmicrobioom een andere samenstelling dan bij ons. Hoe komt dat?

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

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

- Basisstof 1

Voedingsstoffen aantonen

50 minuten

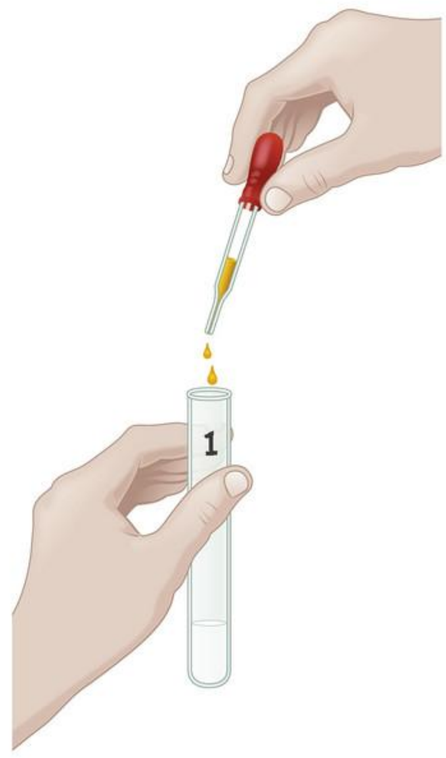
INLEIDING

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

MATERIAAL

- reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- watervaste stift
- waterbad 70 graden
- reageerbuisknijper
- warm water (je hebt 9 mL nodig)
- 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.
- 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 de buis tot de glucose is opgelost. Voeg vervolgens ongeveer tien druppels fehlingsreagens toe. Zet de buis 5 minuten 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

10.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
- 4 reageerbuizen
- watervaste stift
- waterbad 70 graden
- warm water (je hebt maximaal 10 mL nodig)
- mes en schaaltje of een vijzel
- voedingsmiddelen, bijvoorbeeld brood, worst, ui, melk, sinas
- 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

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 warm 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 fehlingsreagens hebt toegevoegd 5 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.

Practicumopdracht 3

ONDERZOEKSDOEL

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

- Basisstof 3
- Vaardigheid 6 en 7 (thema 1)

De werking van speeksel

50 minuten

INLEIDING

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

MATERIAAL

- reageerbuisrek
- 9 reageerbuizen
- watervaste stift
- pipet van 2 mL
- bekerglas met gedestilleerd water
- zetmeeloplossing van 2%
- waterbad
- joodoplossing in een flesje met een druppelpipet
- fehlingsreagens in een flesje met een druppelpipet
- bekerglas
- 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 5 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 10 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 fehlingsreagens 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.

Practicumopdracht 4

ONDERZOEKSDOEL

10.O.4 Je kunt de invloed van gal op de werking van alvleessap aantonen.

- Basisstof 3
- Vaardigheid 6 en 7 (thema 1)

De werking van alvleessap en gal

50 minuten

INLEIDING

Alvleessap en gal spelen een rol bij de vertering van vetten in de twaalfvingerige darm en de dunne darm. In deze practicumopdracht onderzoek je wat de invloed van gal is op de werking van alvleessap.

ONDERZOEKSVRAAG

1 Formuleer een onderzoeksvraag bij dit onderzoek.

HYPOTHESE

2 Stel een hypothese op bij je onderzoeksvraag.

MATERIAAL

- reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- stift
- 4 pasteurpipetten van 3 mL
- alvleessap (pancreatine-oplossing van 3%)
- gal (4% oplossing)
- verse volle melk
- gedestilleerd water
- fenolftaleïne-oplossing (1% in een flesje met een druppelpipet)
- natronloog (0,1 mol/L)

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Pipetteer in reageerbuis 2 en 4 elk 2 mL alvleessap.
- Pipetteer in reageerbuis 3 en 4 elk 1 mL gal.
- Pipetteer in elke reageerbuis 2 mL melk.
- Pipetteer hierna in elke reageerbuis zoveel gedestilleerd water dat er 10 mL vloeistof in de reageerbuis zit.
- Schud de reageerbuizen goed.

Fenolftaleïne is kleurloos in een zuur milieu en roze in een basisch milieu. Door natronloog toe te voegen neutraliseer je de vetzuren die bij de vertering vrijkomen.

- Voeg aan elke reageerbuis vier druppels fenolftaleïne-oplossing toe.
- Pipetteer in reageerbuis 1 telkens 0,1 mL (2 druppels) natronloog. Schud de buis na elke toevoeging. Stop met toevoegen als de vloeistof in de reageerbuis blijvend een roze kleur krijgt. Noteer hoeveel milliliter natronloog je hebt toegevoegd.
- Doe hetzelfde met de andere reageerbuizen.

RESULTAAT

3 Maak een overzicht van je resultaten.
4 Leg uit waarom je telkens 0,1 mL natronloog moet toevoegen totdat de oplossing in de reageerbuis blijvend roze kleurt.
5 In welke reageerbuis of reageerbuizen is het meeste vet verteerd? Leg je antwoord uit.
6 In welke reageerbuis of reageerbuizen is ook vet verteerd? Leg je antwoord uit.
7 In welke reageerbuizen heeft geen vertering van vet plaatsgevonden? Leg uit waardoor niet.

CONCLUSIE

8 Welke conclusie kun je uit deze proef trekken?

Practicumopdracht 5

ONDERZOEKSDOEL

10.O.5 Je kunt je BMI en tailleomtrek bepalen en hieruit conclusies trekken.

- Basisstof 5
- Vaardigheid 6 en 7 (thema 1)

Je BMI en tailleomtrek bepalen

20 minuten

INLEIDING

Voor een gezond gewicht moet je voedselopname zijn afgestemd op je energieverbruik. In deze practicumopdracht onderzoek je of je gewicht past bij je lengte.

ONDERZOEKSVRAAG

1 Formuleer een onderzoeksvraag bij dit onderzoek.

HYPOTHESE

2 Stel een hypothese op bij je onderzoeksvraag.

MATERIAAL

- weegschaal
- meetlint en eventueel meetlat
- rekenmachine

METHODE

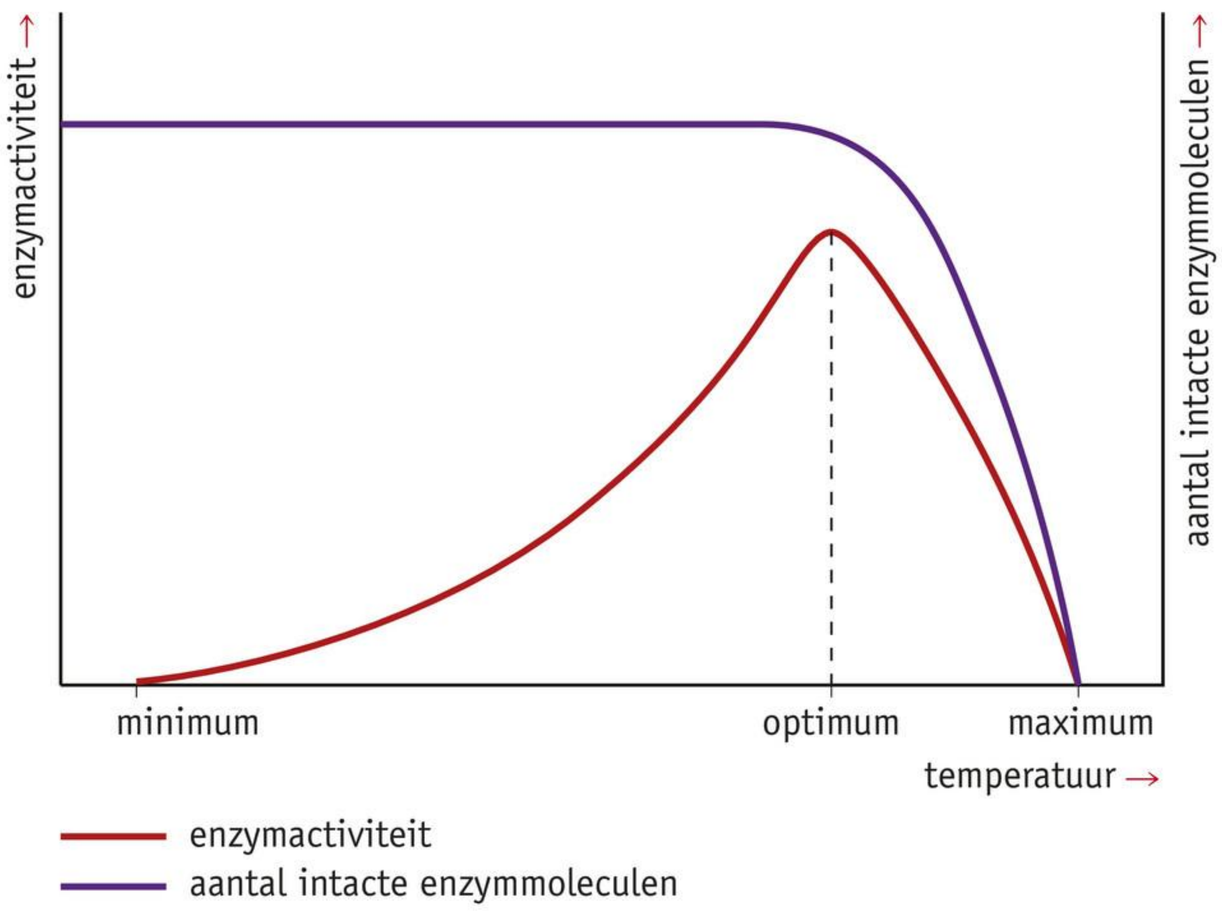
- Weeg jezelf (thuis of op school) wanneer je je gewicht niet weet.
- Bepaal je lengte (in centimeters) wanneer je niet weet hoe lang je bent.
- Bereken je BMI met behulp van de formule in basisstof 5.
- Meet je tailleomtrek om het smalste punt met een meetlint.

INVLOED VAN DE TEMPERATUUR

De enzymactiviteit is de mate waarin een enzym een reactie versnelt. De enzymactiviteit kun je bepalen door te meten hoeveel substraat per tijdseenheid wordt omgezet, of hoeveel reactieproduct er ontstaat. De enzymactiviteit wordt beïnvloed door de temperatuur en door de zuurgraad.

In afbeelding 9 is het verband tussen de temperatuur en de enzymactiviteit weergegeven. Onder de minimumtemperatuur is er geen enzymactiviteit. De beweging van de moleculen is dan te traag. Bij stijging van de temperatuur neemt de enzymactiviteit toe. Doordat moleculen sneller gaan bewegen, vinden er meer botsingen plaats tussen enzymmoleculen en substraat. Hierdoor ontstaat er vaker een enzym-substraatcomplex. Bij nóg verdere verhoging van de temperatuur gaan de moleculen zo heftig bewegen dat de ruimtelijke structuur van de enzymmoleculen verandert. Daardoor past het substraat niet meer in het actieve centrum en zijn er minder of helemaal geen enzym-substraatcomplexen.

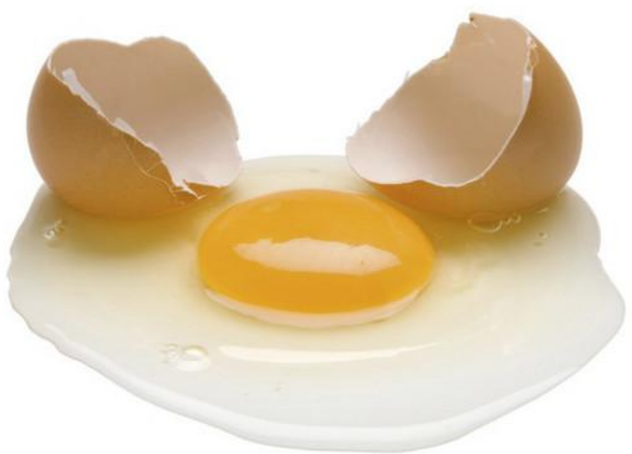
■ **Afb. 9** Het verband tussen de temperatuur en de enzymactiviteit.



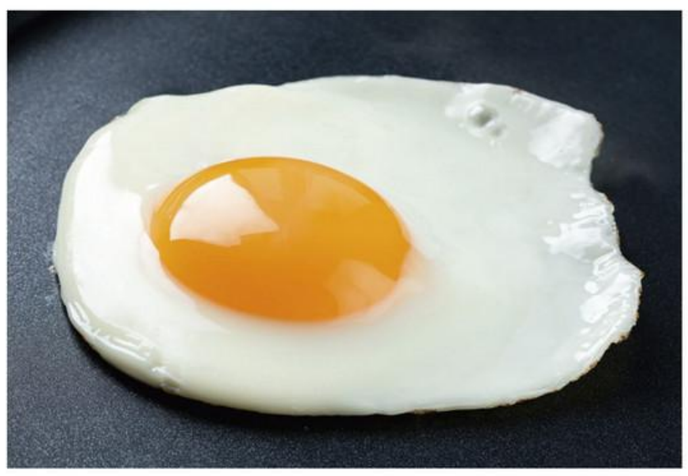
Hoe hoger de temperatuur, hoe minder intacte enzymmoleculen er overblijven. Boven de maximumtemperatuur hebben alle enzymmoleculen hun specifieke ruimtelijke structuur verloren. Dit proces is onomkeerbaar: de enzymmoleculen krijgen na afkoeling niet meer hun oorspronkelijke vorm terug. Je kunt dit vergelijken met de eiwitten in een gebakken ei, die na afkoeling niet meer vloeibaar worden (zie afbeelding 10). Bij zoogdieren verliezen de meeste enzymen boven 40 °C hun werkzaamheid.

Het verband tussen de temperatuur en de enzymactiviteit is een **optimumkromme**. Bij de minimumtemperatuur wordt het enzym actief. Bij de optimumtemperatuur is de enzymactiviteit het grootst. Bij de maximumtemperatuur is er geen enzymactiviteit meer.

■ **Afb. 10** Een ei bakken.



1 een gebroken ei bij kamertemperatuur



2 een gebakken ei

RESULTAAT

3 Heb je een gezond gewicht volgens de BMI-index?

4 Heb je een gezonde tailleomtrek?

CONCLUSIE

5 Welke conclusie kun je trekken?

DISCUSSIE

6 Zijn de resultaten van de practicumopdracht betrouwbaar? Leg je antwoord uit.

SAMENVATTING

10.1.1 BASISSTOF 1

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

- Voedingsmiddelen: alles wat je eet en drinkt.
- Voedingsstoffen: de bruikbare bestanddelen van voedingsmiddelen.
  - Voedingsstoffen kunnen dienen als bouwstoffen voor de productie van organische moleculen bij de voortgezette assimilatie. Deze moleculen zijn nodig voor groei en ontwikkeling, voor vervanging van afgestorven cellen en voor herstel van verwondingen.
  - Voedingsstoffen kunnen dienen als brandstoffen om energie te leveren voor de dissimilatie. De energie is nodig om te kunnen bewegen, voor het op peil houden van de lichaamstemperatuur en voor groei, ontwikkeling en herstel.
  - Voedingsstoffen kunnen dienen als reservestoffen. Vet en (beperkt) glycogeen kunnen worden opgeslagen.
- Eiwitten (proteïnen):
  - Functie: vooral bouwstoffen. Komen voor in tussencelstof (collageen, kraakbeen, been), zijn nodig bij het transport van stoffen (transporteiwitten), de celcommunicatie (signalen overbrengen; hormonen, neurotransmitters) en bij chemische reacties (enzymen).
  - Een teveel aan opgenomen eiwitten wordt niet opgeslagen; de eiwitten worden omgezet in andere stoffen en verbrand.
  - Niet-essentiële aminozuren kunnen volwassenen zelf maken in de lever als ze niet voldoende in hun voedsel voorkomen.
  - Essentiële aminozuren: moeten in het voedsel aanwezig zijn, omdat ze niet of in onvoldoende hoeveelheden in het lichaam van de mens kunnen worden gevormd.
- Koolhydraten (sachariden):
  - Functie: vooral brandstoffen, ook bouwstoffen (o.a. in DNA, ATP en in celmembranen).
  - Een teveel aan opgenomen koolhydraten wordt omgezet in glycogeen of vet en opgeslagen.
- Voedingsvezels: stoffen afkomstig van plantaardige voedingsmiddelen die niet door enzymen van de mens kunnen worden verteerd.
  - Functie: de darmwerking bevorderen.
  - Zorgen eerder voor een verzadigd gevoel doordat ze water opnemen en opzwellen.
- Vetten (lipiden):
  - Functie: vooral brandstoffen, ook bouwstoffen (fosfolipiden in membranen). Oplosmiddel voor sommige vitaminen: A, D, E en K.
  - Een teveel aan opgenomen vetten wordt opgeslagen onder de huid en rondom organen.
  - Essentiële vetzuren: moeten in het voedsel aanwezig zijn.
  - Verzadigde vetzuren: hebben overal enkele bindingen tussen de C-atomen. Alle andere bindingsplaatsen van de C-atomen zijn bezet door waterstofatomen. Vooral in plantaardige oliën (bijvoorbeeld olijf- en zonnebloemolie) en vis.
  - Onverzadigde vetzuren: tussen twee C-atomen die niet volledig zijn bezet door waterstofatomen, zit een dubbele binding. Vooral in dierlijke vetten (bijvoorbeeld roomboter).
- Cholesterol is een vet dat je voor een klein deel binnenkrijgt via je voeding.
  - 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.
- 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: bouwstoffen (bijv. calcium en fosfor in de tussencelstof van beenweefsel en tandbeen).
  - Spoorelementen: mineralen die in geringe hoeveelheden in het voedsel aanwezig zijn. Spoorelementen zijn vaak bestanddelen van enzymen of hormonen.

- Vitaminen:
  - Functie: bouwstoffen (o.a. als bestanddeel van enzymen).
  - Bij een tekort aan vitaminen in het voedsel ontstaan gebreksziekten. Een teveel kan ook schadelijk zijn.
  - Vitaminen (behalve vitamine K) kunnen niet in het lichaam worden gevormd en moeten dus in het voedsel aanwezig zijn. Sommige vitaminen kunnen in het lichaam worden gevormd uit provitaminen (die in het voedsel aanwezig moeten zijn).
  - Zie *BiNaS* tabel 82A.

10.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt de bouw, werking en functies van de verteringsorganen van de mens beschrijven.

- Darmperistaltiek: het afwisselend samentrekken van kringspieren en lengtespieren in de wand van het darmkanaal, waardoor de voedselbrij wordt voortgeduwd, gekneed en gemengd met de verteringssappen.
- Verteringssappen: worden aan de voedselbrij afgegeven door verteringsklieren en bevatten enzymen. *BiNaS* tabel 82F (verteringssappen).
- Vertering:
  - Mechanische vertering: kauwen en kneden (darmperistaltiek).
  - Chemische vertering: enzymen in verteringssappen breken grote organische moleculen (eiwitten, koolhydraten en vetten) af tot kleine moleculen (verteringsproducten) die cellen in de darmwand kunnen opnemen.
- Mondholte:
  - Speekselklieren: produceren speeksel.
  - Gebit: voedsel afbijten en verkleinen (kauwen).
- Keelholte:
  - Slikreflex: de huig 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 wordt tijdelijk opgeslagen in de galblaas en afgevoerd via de galbuis.
  - Gal: bevat galkleurstoffen en galzouten.
  - Emulgeren: galzouten verdelen grote vetdruppels in het voedsel in kleine druppeltjes, waardoor de oppervlakte van de vetdruppels groter wordt.
- Alvleesklier (pancreas):
  - Functie: produceert alvleessap.
- Twaalfvingerige darm (eerste deel van de dunne darm):
  - Functie: vermengt gal en alvleessap met de voedselbrij.
- Dunne darm: darmsapklieren produceren darmsap.

10.2.2

Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen organen en organenstelsels van de mens en verschillende diersoorten.

- 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.

10.3.1 BASISSTOF 3

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

- Speeksel: bevat slijm en amylase.
  - Slijm: maakt het voedsel glad, waardoor het inslikken gemakkelijker gaat.
  - De speekselproductie wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel.
- Maagsap: bevat zoutzuur, slijm en pepsinogeen (een inactief pro-enzym).
  - 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 activeert pepsinogeen tot pepsine (positieve terugkoppeling).
  - 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.
- Alvleessap: de alvleesklier geeft alvleessap af als de pH in de twaalfvingerige darm laag is.
  - Is basisch, waardoor de pH in de twaalfvingerige darm stijgt (pH 8 à 9).
  - Door het vrijkomen van vetzuren daalt de pH van de voedselbrij naar ongeveer 7 als de brij in de dunne darm aankomt.
- Darmsap:
  - Bevat maltase, sacharase, lactase en peptidasen.

10.3.2

Je kunt de werking van verteringsenzymen uitleggen.

- Amylase in speeksel (pH-optimum 6,6) verteert zetmeel tot maltose.
- Pepsine in maagsap (pH-optimum 2,5) verteert eiwitten tot lange polypeptiden (vrij lange aminozuurketens).
- Amylase in alvleessap verteert zetmeel, trypsine verteert lange polypeptiden, peptidasen verteren korte polypeptiden en di- en tripeptiden, lipase verteert vetten (tot glycerol en vetzuren).
- Maltase, sacharase, lactase en peptidasen in darmsap voltooien de vertering van eiwitten en koolhydraten (disachariden). Hierbij ontstaan monosachariden en aminozuren.
- *BiNaS* tabel 82E (enzymen)

10.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden opgenomen in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

- Dunne darm:
  - Darmwand: groot oppervlak door darmplooien, darmvlokken 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 via de darmwand in het bloed en de lymfe.
  - 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 (er is energie nodig uit de omzetting van ATP): darmepitheelcellen nemen stoffen op tegen het concentratieverval in en er vindt selectie van stoffen plaats.
- In de darmepitheelcellen worden:
  - vetten gevormd uit glycerol en vetzuren. Hierna vindt opname plaats in bloed of lymfe. De meeste vetten worden opgenomen in de lymfe;
  - aminozuren, monosachariden (o.a. glucose), vetten, mineralen en vitaminen 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 darmbacteriën produceren enzymen die cellulose in de celwanden van plantaardige voedselresten verteren. Andere soorten darmbacteriën 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.

10.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt aangeven wat verantwoorde voeding is.

- 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.

10.5.2

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

- Wanneer je veel sterk bewerkte voedingsmiddelen eet, heb je een verhoogde kans op welvaartsziekten als obesitas, diabetes type 2 en hart- en vaatziekten.
- Als je meer energie via je voeding binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, loop je het risico zwaarder en dikker te 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 (bijv. producten kiezen met een gezondere samenstelling, tussendoortjes laten staan en meer bewegen).
  - Door je tailleomtrek te bepalen en met de Body Mass Index (BMI) 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 is een vetachtige stof. Cholesterol is een belangrijke bouwstof van o.a. onze cellen en hormonen.
  - Cholesterol wordt in je bloed vervoerd door lipoproteïnen.
  - Er bestaan verschillende soorten lipoproteïnen, waaronder LDL en HDL.
- LDL (lage dichtheid lipoproteïne) vervoert cholesterol via het bloed naar de rest van het lichaam.
  - 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 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.
  - De cholesterol-HDL-ratio bereken je door het totale cholesterolgehalte te delen door het HDL-cholesterolgehalte.
  - Bij een ratio kleiner dan 5 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

10.S.1 **Je kunt de invloed van je darmbacteriën uitleggen voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.**

10.S.2 **Je kunt de biologische vakvaardigheden ecologisch denken, systeemdenken en vorm-functiedenken toepassen op het onderwerp darmbacteriën.**

ONDERZOEK – PRACTICA

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

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

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

10.O.4 **Je kunt de invloed van gal op de werking van alvleessap aantonen.**

10.O.5 **Je kunt je BMI en tailleomtrek bepalen en hieruit conclusies trekken.**

Ga naar de *Flitskaarten* en de *Oefentoets*.

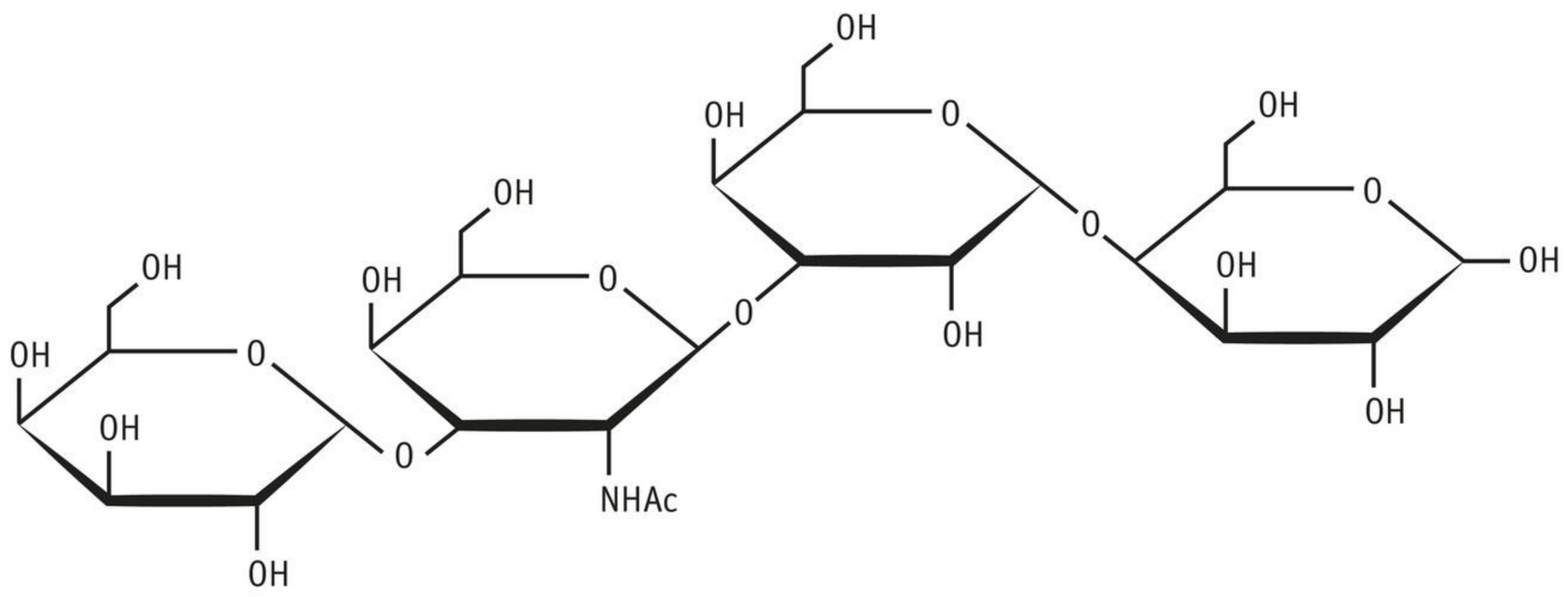
EXAMENOPGAVEN

BORSTVOEDING

Bron: examen havo 2022-2, vraag 16 en 17.

Ava en haar partner Glenn verwachten binnenkort hun eerste kind. Ze bezoeken een voorlichtingsavond over borstvoeding. Lactatiekundige Rosanne geeft informatie. Glenn vraagt wat het verschil in samenstelling is tussen flesvoeding en borstvoeding. Rosanne antwoordt dat moedermelk antistoffen bevat. Daardoor is de baby gedurende de periode van borstvoeding immuun voor veel ziekten, zoals maag- en darminfecties. Rosanne noemt nog een ander voordeel van borstvoeding: moedermelk stimuleert een gunstige soortensamenstelling van darmbacteriën bij de baby. Moedermelk bevat namelijk oligosachariden die voor de baby onverteerbaar zijn, zoals lacto-N-tetraose (afbeelding 1). Deze oligosachariden kunnen wel worden afgebroken door bepaalde gunstige darmbacteriën, de bifidobacteriën.

■ **Afb. 1** Lacto-N-tetraose.



Over lacto-N-tetraose in borstvoeding worden de volgende uitspraken gedaan:

1 Bij baby's die borstvoeding krijgen, hebben bifidobacteriën een selectievoordeel ten opzichte van bacteriën die geen oligosachariden kunnen afbreken.
2 De klieren in het spijsverteringsstelsel van baby's produceren geen enzymen voor de afbraak van lacto-N-tetraose.
3 Lacto-N-tetraose bestaat uit een keten van aminozuren.

2p **1** Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of de betreffende uitspraak juist of onjuist is.

Bij een baby met minder bifidobacteriën in de darm kunnen schadelijke bacteriën in de darm zich gemakkelijker vermeerderen. Hierdoor kunnen ontstekingen in de dikke darm ontstaan die leiden tot een sterke toename van de darmperistaltiek. Door verminderde waterresorptie kan dan diarree ontstaan.

1p **2** Verklaar waardoor een toename in darmperistaltiek leidt tot een verminderde waterresorptie.

MUIZENPLAAG

Bron: examen havo 2018-2, vraag 16 en 17.

In de winter van 2015 werd het Friese platteland geteisterd door een muizenplaag. Veel melkveeboeren hadden een grote schadepost, doordat de muizen hun weilanden ruïneerden. Wietse en Jelte onderzoeken de biologische aspecten van deze muizenplaag.

De muis die de plaag veroorzaakte, was de veldmuis (*Microtus arvalis*, afbeelding 2). De veldmuizen graven gangen en eten graswortels, waardoor het gras verdroogt. Wietse en Jelte denken dat in de wortels van gras koolhydraten worden opgeslagen in de vorm van zetmeel, dat goed door veldmuizen is te verteren. Daarnaast vragen ze zich af of graswortels glucose en vitamine C bevatten.

■ **Afb. 2** De veldmuis (*Microtus arvalis*).



Om te onderzoeken welke voedingsstoffen in graswortels aanwezig zijn, voeren Wietse en Jelte het volgende experiment uit. Ze verzamelen 10 g graswortels en persen die uit. Het op die manier verkregen sap vullen ze aan met water tot 15 mL. Ze gebruiken standaard-indicatorreacties om voedingsstoffen aan te tonen. Tabel 1 geeft de kleuromslag van de indicatorreactie aan.

Tabel 1

indicator	voedingsstof	kleuromslag
Fehlingsreagens	glucose	blauw → oranje
joodoplossing	zetmeel	bruingeel → blauw
DCPIP	vitamine C	blauw → kleurloos

Wietse en Jelte vullen drie genummerde buizen elk met 5 mL van het verdunde graswortelsap en onderzoeken buis 1 met fehlingsreagens, buis 2 met joodoplossing en buis 3 met DCPIP. In tabel 2 staan hun resultaten.

Tabel 2

buis	toegevoegde indicator	kleur
1	Fehlingsreagens	oranje
2	joodoplossing	blauw
3	DCPIP	blauw

2p **3** Welke conclusies kunnen Wietse en Jelte trekken uit de resultaten (tabel 2) van hun experiment naar de aanwezigheid van voedingsstoffen in het sap van graswortels?

	glucose	zetmeel	vitamine C
A	aanwezig	aanwezig	aanwezig
B	aanwezig	aanwezig	afwezig
C	afwezig	aanwezig	aanwezig
D	afwezig	aanwezig	afwezig

De veldmuizen moeten het zetmeel uit de wortels eerst verteren. De koolhydraatvertering vindt bij de muis op dezelfde manier plaats als bij de mens. Bij vertering van zetmeel tot monosachariden zijn verschillende enzymen betrokken.

2p **4** Noteer alle klieren die deze enzymen produceren.

IJSKOUD DE BESTE?

Bron: examen havo 2022-3, vraag 1.

Brandon traint voor het lopen van halve marathons. Als student sportkunde is hij regelmatig proefpersoon voor allerlei metingen aan zijn lichaam (afbeelding 3). Tijdens een halve marathon gebruikt Brandon een meetpil en een smartwatch om informatie te verzamelen over de werking van zijn lichaam. Hij heeft de meetpil voor de wedstrijd ingeslikt, zodat de pil zich tijdens de wedstrijd in zijn darmen bevindt. De meetpil (afbeelding 3) bevat een sensor die voortdurend de lichaamstemperatuur meet en doorgeeft aan de smartwatch. Tijdens de wedstrijd meet de smartwatch ook Brandons hartslag. Na de wedstrijd verlaat de meetpil het lichaam met de ontlasting.

■ **Afb. 3** Brandon op de loopband en de meetpil.



Het verteringsstelsel bestaat uit onder andere de volgende organen:

1 alvleesklier
2 dikke darm
3 dunne darm
4 endeldarm
5 lever
6 maag
7 slokdarm

2p **5** Door welke organen is de meetpil achtereenvolgens gegaan? Noteer de nummers van die organen in de juiste volgorde.

BROOD: GLUTENVRIJ EN JODIUMRIJK

Bron: examen havo 2014-2, vraag 11 en 13.

Mensen met een glutenvrij dieet wordt door de diëtiste geadviseerd om bakkerszout met extra jodium te gebruiken als zij zelf hun brood bakken. In de jaren zestig van de vorige eeuw werden bakkers verplicht om jodiumhoudend zout toe te voegen aan het brood. Als we te weinig jodium binnenkrijgen, kunnen allerlei klachten ontstaan, zoals vermoeidheid, futloosheid en het koud hebben. Op de lange termijn zijn obstipatie, menstruatie- en vruchtbaarheidsstoornissen, spier- en gewrichtsklachten mogelijk. Jodium is een bestanddeel van het hormoon thyroxine. Bij kinderen kan jodiumtekort leiden tot groeiachterstand, verminderd leervermogen en in een enkel geval tot dwerggroei.

2p **6** Op welk levensverschijnsel heeft een jodiumtekort bij de mens het meeste effect?

A celstofwisseling
B gaswisseling
C reactie op prikkels
D spijsvertering
E uitscheiding

Bij coeliakiepatiënten die gluten met hun voedsel binnenkrijgen, verdwijnen de darmvlokken voor een belangrijk deel.

3p **7** Leg uit welke effecten dit heeft op het functioneren van de dunne darm.

Ga naar de *Examentrainer*.

NOTITIES

INVLOED VAN DE pH

Een oplossing die veel waterstofionen (H^+) bevat, is zuur. De **pH** (zuurgraad) is dan lager dan 7. Een oplossing die weinig waterstofionen bevat, is basisch. De pH is dan hoger dan 7. De activiteit van een enzym is afhankelijk van de pH van de oplossing waarin de omzetting plaatsvindt. De ruimtelijke structuur van een enzymmolecuul blijft intact bij een bepaalde zuurgraad: het optimum. Bij verhoging of verlaging van de pH verandert bij steeds meer enzymmoleculen de vorm van het actieve centrum, waardoor het enzym zijn werking verliest. Ook deze verandering is meestal niet omkeerbaar. Alleen als de pH maar weinig hoger of lager wordt, dan zijn de veranderingen van de ruimtelijke structuur van enzymen omkeerbaar.

Opdrachten KENNIS

17 **a** Waarom verlopen enzymatische processen bij lage temperaturen langzaam?

b Nachtzwaluwen zijn vogels die in de schemering op insecten jagen. Op een bewolkte, koude avond zijn er weinig insecten, waardoor de vogels honger lijden. Houdt de honger enige tijd aan, dan kunnen nachtzwaluwen in een 'koudeverstijving' raken: hun lichaamstemperatuur daalt, waardoor ze niet actief kunnen zijn.
Leg uit waardoor de daling van lichaamstemperatuur leidt tot een afname van de activiteit van een nachtzwaluw.

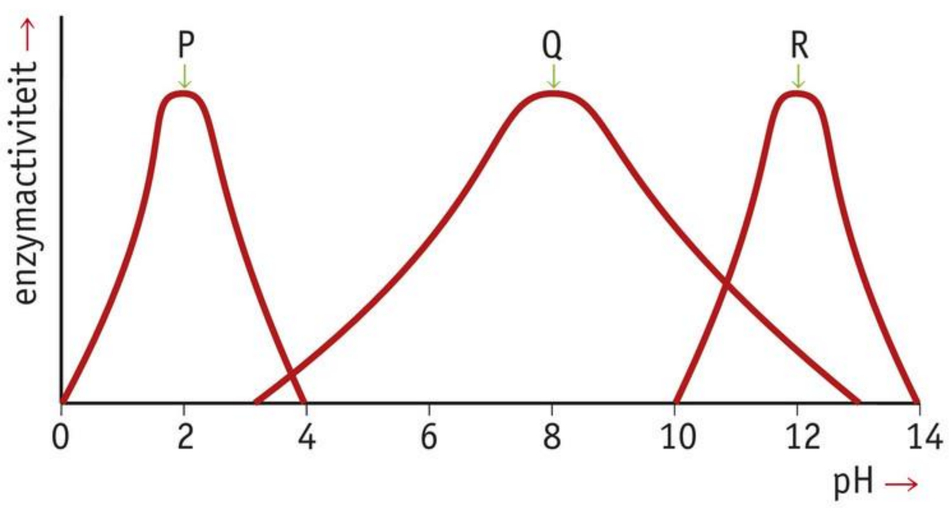
c Bij ziekten zoals malaria kun je hoge koorts krijgen. Dit kan levensbedreigend zijn. Waarom is koorts boven de 40 °C gevaarlijk voor mensen?

18 In afbeelding 11 is het verband tussen de pH en de enzymactiviteit van drie verschillende enzymen weergegeven.

a Wat is de maximum-pH van enzym Q?

b De pH van de omgeving stijgt tot pH 7 en daalt daarna weer tot pH 2.
Is enzym P dan nog werkzaam? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 11** Het verband tussen de pH en de activiteit van enzym P, Q en R.



REGISTER

A

adenosinedifosfaat 13
adenosinetrifosfaat 13
ADP 13
Aerobe dissimilatie 36
alcohol 37
alvleesklier 153
aminozuur 30
anaerobe dissimilatie 37
apoptose 98
assimilatie 11
ATP 13

B

basenpaar 76
basenparing 76
beperkende factor 44
biotechnologie 113
bladgroen 23
bladgroenkorrels 23
bouwstof 10
brandstof 10

C

celdifferentiatie 98
cellulose 29
celtypen 98
chemische energie 10
chemische vertering 151
cholesterol 141
chromosomen 78
codon 90

D

darmbacteriën 169
darmperistaltiek 150
darmvlokken 167
dikke darm 169
disacharide 28
dissimilatie 11
DNA 74
DNA-analyse 111
DNA-polymerase 83
DNA-replicatie 82
DNA-sequentie 78
dubbelstrengs DNA 76
dunne darm 167

E

eiwitten 30
emulgeren 153
endeldarm 170
energie 10
energievoorziening 36
enzymen voor eiwitvertering 159
enzymen voor koolhydraatvertering 159
enzymen voor vetvertering 159
enzymen 16
enzym-substraatcomplex 16
epigenetica 100
essentiële aminozuren 139

F

fosfolipiden 32
fotosynthese 11

G

gal 153
galblaas 153
genetische code 90
genetische modificatie 113
genetische variatie 103
genexpressie 96
genoom 74
genoommutaties 104
genregulatie 96
gisting 37
glucose 10
glycerol 32
glycogeen 29

H

helixstructuur 76

K

katalyseren 16
kinetische energie 11
koolhydraten 28
koolstofassimilatie 11
koolstofdioxide 11
kringspieren 150

L

lengtespieren 150
lever 153
lichtenergie 11

M

maag 152
mechanische vertering 151
melkzuur 37
messengerRNA 89
M-fase 82
monosachariden 28
mRNA 89
mutagene factoren 107
mutagene stoffen 107
mutagene straling 107
mutatie 103

N

niet-coderend DNA 78
niet-essentiële aminozuren 139
nucleïnezuur 75
nucleotide 75
nucleotidenvolgorde 78

O

optimumkromme 18

P

PCR 111
pH 19
plasmiden 74
polysachariden 29
primaire structuur 31
puntmutatie 104

Q

quaternaire structuur 31

R

recombinant-DNA-techniek 114
regulatorgenen 96
reservestof 28
resorptie 169
RNA 88

S

sachariden 28
secundaire stuctuur 31
sequencen 111
S-fase 82
slokdarm 152
speekselklieren 160
stamcellen 98
startcodon 91
stofwisseling 10
stopcodons 91
structuurgenen 96
substraat 16

T

telomeer 84
tertiaire structuur 31
transcriptie 89
transfer-RNA 91
transgeen 113
translatie 90
tRNA 91
tumor 108
twaalfvingerige darm 152

V

verbranding 36
verteringsproducten 150
verteringssappen 150
verwantschap 112
vetten 32
vetzuren 32
voedingsstoffen 138
voortgezette assimilatie 11
vrije DNA-nucleotiden 83

W

warmte 11

Z

zetmeel 29
zuurstof 10

COLOFON

ONTWERP BINNENWERK
Bianca Enthoven

ONTWERP OMSLAG
Michael Brugmans (Kimmic concept & design)
Bianca Enthoven

UITVOERING BINNENWERK
Crius Group

EINDREDACTIE
Claud Biemans
Marianne Gommers

AUTEURS
Carin van Haren
Sjon van de Sant
Elke de Schrevel

BUREAUREDACTIE
Grada Hooijer
Maurice Breugelmans

BEELDRESEARCH
BenU International Picture Service, Amsterdam

FOTO'S EN ILLUSTRATIES
123RF, alila: blz. 105 (28); 123RF, mahirates: blz. 18 (10.1); 123RF, smspsy: blz. 18 (10.2); ANP / Science Photo Library / Visuals Unlimited Inc., Wim van Egmond: blz. 66 (4); ANP / Science Photo Library, A. Barrington Brown: blz. 82; ANP / Science Photo Library, Biophoto Associates: blz. 173 (40.1, 40.2); ANP / Science Photo Library, Kateryna Kon: blz. 182; ANP / Science Photo Library, Sinclair Stammers: blz. 70; ANP / Westend61, zerocreatives: blz. 48; ANP, Rob Engelaar: blz. 95; ANP, Ron and Valerie Taylor / Ardea: blz. 15; Aquaculture Stewardship Council (ASC), Utrecht: blz. 178; Cammareri, M., Errico, A., Sebastiano, A. and Conicella, C. (2004), Genetic relationships among Aster species by multivariate analysis and AFLP markers. Hereditas, 140: 193-200. https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2004.01777.x: blz. 129; Climate Neutral Group, Utrecht: blz. 178; Edwin Verbaal / Verbaal Visuele Communicatie, Nijmegen: blz. 11 (1), 12, 13, 14, 17 (8), 18 (9), 19, 20, 21, 25, 26, 38, 40, 44 (35), 45, 46, 50 (2), 55, 57, 60, 63, 67 (5, 6); Erik Eshuis Infographics, Groningen: blz. 11 (2), 32 (25-27), 73 (3), 74 (1), 99, 108, 117, 147, 155, 162 (27, 28), 163 (29, 30), 164, 168 (35), 171 (37, 38); Fairtrade Nederland, Utrecht: blz. 178; Getty Images, Alphotographic: blz. 41 (33.2); Imageselect / Alamy Stock Photo, Blickwinkel: blz. 41 (33.1); Imageselect / Science Source, Don W. Fawcett: blz. 89 (17); Jeannette Steenmeijer, Zwolle: blz. 142 (6), 148 (12.2), 149 (tabel 2), 151 (15), 152, 153 (18), 154 (20, 21), 160, 165, 166, 173 (41), 176, 177, 179, 184, 194, 195 (tabel 1, tabel 2); KK Beentjes, STOWA-Deltafact DNA-technieken voor waterbeheerders, https://www.stowa.nl/deltafacts/waterkwaliteit/diversen/dna-technieken-voor-waterbeheerders#2228: blz. 112; Marine Stewardship Council, Den Haag: blz. 178; Mark Micheli (rootsliving.com): blz. 64; Medical Visuals / Maartje Kunen, Arnhem: blz. 17 (7), 28, 29, 30, 31, 36, 39, 75 (2, 3), 76, 77, 78 (6, 7), 80, 83 (11, 12), 85, 88, 89 (16), 92 (19.1, 19.2), 97, 100, 104, 105 (27), 106, 113, 114, 115, 151 (14), 153 (17), 161, 168 (34), 170; Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: blz. 139 (1), 140 (3.1, 3.2), 142 (5), 143, 144 (8), 146, 149 (13), 153 (19), 180; Nature in Stock / Minden Pictures, Thomas Marent: blz. 6; Nature in Stock / Naturepl, Georgette Douwma: blz. 65; Nynke Kouwenhoven / Universiteit Utrecht: blz. 81; Paul Veenvliet, Ljubljana: blz. 24 (16.1, 16.2), 44 (36); Rainforest Alliance, Amsterdam: blz. 178; Reuters, Marcos Brindicci: blz. 9, 66 (3); Roundtable on Sustainable Palm Oil / www.rspo.org: blz. 178; Santé publique France blz. 148 (12.1, 12.2); Shutterstock, Agami Photo Agency: blz. 195; Shutterstock, AKKHARAT JARUSILAWONG: blz. 72; Shutterstock, AnneGM: blz. 103; Shutterstock, annscreations: blz. 105 (29); Shutterstock, aofst: blz. 116; Shutterstock, Audio und werbung: blz. 27; Shutterstock, Bunsinth-Nan-Pua: blz. 144 (9); Shutterstock, Butterfly Hunter: blz. 158; Shutterstock, CURAphotography: blz. 117; Shutterstock, dotshock: blz. 134; Shutterstock, Dr Ajay Kumar Singh: blz. 103; Shutterstock, elxeneize: blz. 35; Shutterstock, extender_01: blz. 118; Shutterstock, frantic00: blz. 121; Shutterstock, I Background: blz. 103; Shutterstock, imagIN.gr photography: blz. 117; Shutterstock, Iren Moroz: blz. 136; Shutterstock, Ivan Cholakov: blz. 103; Shutterstock, j.chizhe: blz. 137; Shutterstock, Jordi C: blz. 103; Shutterstock, Kateryna Kon: blz. 172; Shutterstock, Lightspring: blz. 110; Shutterstock, Maks Narodenko: blz. 146; Shutterstock, Marijs Jan: blz. 8; Shutterstock, Mateusz Sciborski: blz. 50 (1); Shutterstock, max777: blz. 128; Shutterstock, MDV Edwards: blz. 111; Shutterstock, Natalya Osipova: blz. 42 (34.2); Shutterstock, nito: blz. 146; Shutterstock, Oleg Elkov: blz. 196 (3.2); Shutterstock, PakulinSergei: blz. 22; Shutterstock, Pasotteo: blz. 23; Shutterstock, Serafino Mozzo: blz. 196 (3.1); Shutterstock, Simon Vasut: blz. 103; Shutterstock, Snowgirll: blz. 87; Shutterstock, Steve Allen: blz. 102; Shutterstock, Tatiana Popova: blz. 42 (34.1); Shutterstock, Tatjana Baibakova: blz. 139 (2); Shutterstock, Tito Slack: blz. 73 (2); Shutterstock, Tomasz Klejdysz: blz. 156; Shutterstock, uzuri: blz. 117; SMK, Den Haag: blz. 178; Stichting Demeter, Driebergen: blz. 178; Sustainable Rice Platform (SRP) / www.sustainablerice.org: blz. 178; Voedingscentrum: blz. 175; www.dierenbescherming.nl: blz. 178; www.eko-keurmerk.nl: blz. 178.

Omslag: ANP / Nature Photo Library / Alex Mustard

MALMBERG

ISBN 978 94 020 8069 8
Release 7.0, vierde oplage

FSC www.fsc.org
MIX
Papier | Ondersteunt verantwoord bosbeheer
FSC® C172387

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 loemlezingen, 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
Marianne Gommers

Auteurs
Carin van Haren
Sjon van de Sant
Elke de Schrevel

Biologie voor jou voor de bovenbouw van de havo bestaat uit vier boeken. Je leert in klas 4 en 5 onder andere over de ontwikkeling van organismen. Ook jij maakt een ontwikkeling door: van een beginneling tot iemand met een goede kennis van de biologie.



▲

Zeeschildpadden eten sponzen, zeeanemonen en kwallen. Zo helpen ze met het in evenwicht houden van koraalriffen. Zelf worden ze gegeten door vogels, vissen en mensen. Ook worden ze bedreigd door parasieten, te weinig voedsel, en milieu-verontreiniging. Stranden waar eieren gelegd worden verdwijnen door bebouwing, en mensen rapen eieren of vangen dieren voor illegale verkoop.

MAX

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

FSC www.fsc.org
MIX
Papier | Ondersteunt verantwoord bosbeheer
FSC® C172387

ISBN 978 94 020 8069 8

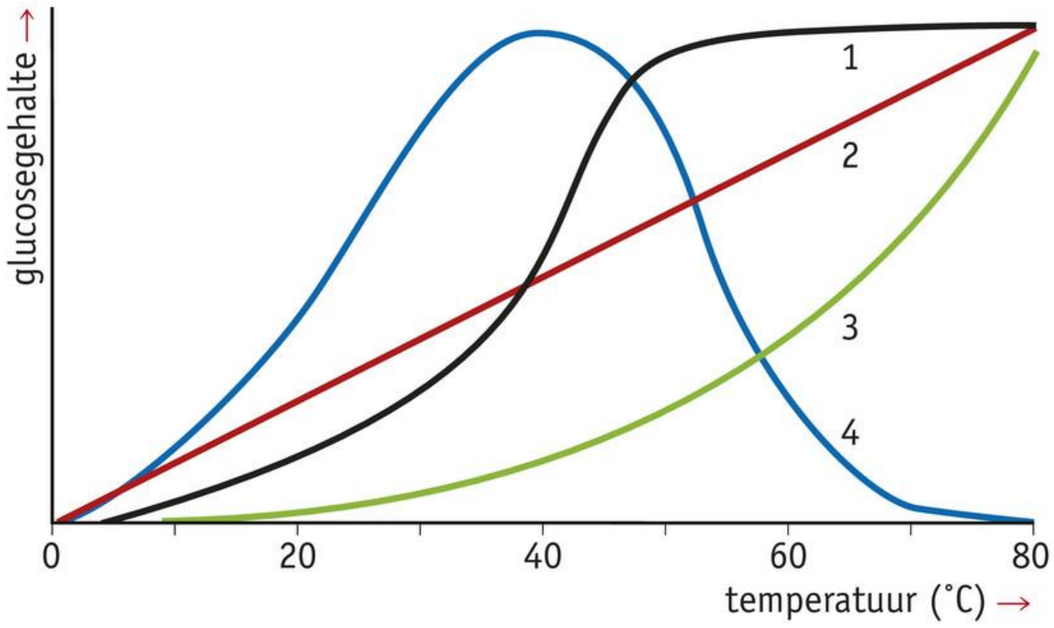
604424-04

MALMBERG

Opdrachten INZICHT

19 Aan een reageerbuis die is gevuld met een maltoseoplossing van 0 °C wordt maltase toegevoegd dat afkomstig is van een zoogdier. De optimumtemperatuur van maltase is ongeveer 40 °C. Onder invloed van maltase wordt maltose omgezet in glucose. De inhoud van de reageerbuis wordt al roerend langzaam verwarmd tot 80 °C.
Welke grafiek in afbeelding 12 geeft aan hoe het totale glucosegehalte in de buis verandert? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 12** Glucosegehalte.



20 In tabel 1 zie je de beschrijving van een onderzoek naar de werking van katalase bij verschillende temperaturen.

a Welke conclusie kun je trekken uit het beschreven onderzoek?

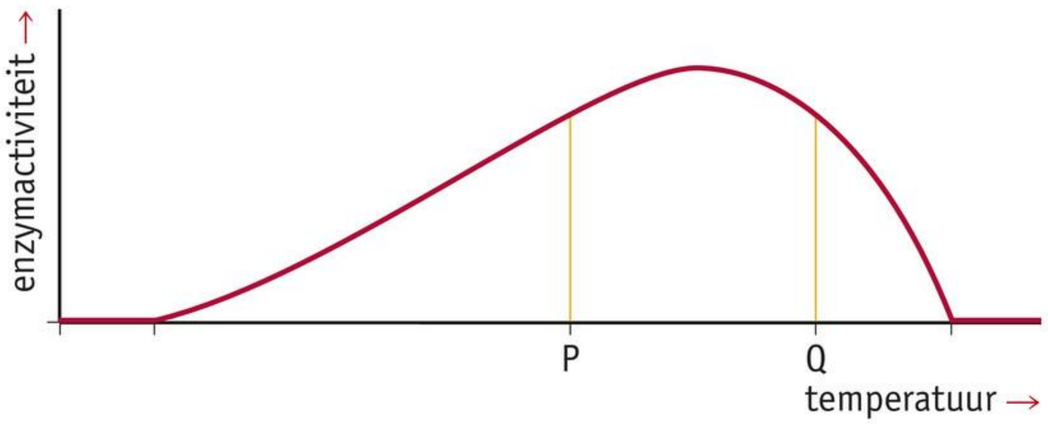
b Is het onderzoek betrouwbaar genoeg om deze conclusie te trekken?

Tabel 1 Beschrijving van een onderzoek.

Onderzoek	De invloed van de temperatuur op de werking van katalase
Inleiding	Katalase is een enzym dat waterstofperoxide omzet in water en zuurstofgas. Katalase komt voor in alle levende dierlijke en plantaardige cellen.
Onderzoeksvraag	Bij welke temperatuur werkt katalase het best?
Hypothese	Katalase werkt het best bij 37 °C (lichaamstemperatuur).
Experiment	• Zes reageerbuizen zijn genummerd van 1 tot en met 6. In buis 1 tot en met 3 worden drie stukjes aardappel gedaan. In buis 4 tot en met 6 wordt 5 mL waterstofperoxideoplossing gedaan. • Buis 1 en 4 worden in het bekerglas met smeltende ijsblokjes gezet, buis 2 en 5 in een waterbad van 37 °C en buis 3 en 6 in een waterbad van 70 °C. De buizen blijven daarin vijf minuten staan. • Na vijf minuten wordt het waterstofperoxide bij de stukjes aardappel gegoten. Daarna blijven de buizen weer vijf minuten bij de verschillende temperaturen staan. • De hoogte van het gevormde schuim in de reageerbuizen wordt gemeten.
Resultaat	In buis 2 ontstaat het meeste schuim.
Conclusie	

21 In afbeelding 13 is de optimumkromme voor de temperatuur van een bepaald enzym weergegeven. Bij temperatuur P wordt per tijdseenheid evenveel reactieproduct gevormd als bij temperatuur Q.
Bij welke temperatuur, P of Q, zet een intact enzymmolecuul per minuut de grootste hoeveelheid substraat om? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 13** Optimumkromme van een bepaald enzym voor de temperatuur.



22 Vissen, reptielen en amfibieën zijn in de winter niet of nauwelijks actief. Soms kruipen ze diep weg in de grond en houden daar een winterslaap.
Waardoor kan een kikker 's winters buiten niet actief zijn en een merel wel?

23 **Enzymoplossing**
Naar: Voorronde Biologie Olympiade Bovenbouw 1999, vraag 14.

Een enzymoplossing die is verkregen uit een zoogdier wordt gelijkelijk verdeeld over drie reageerbuizen. Deze buizen worden geruime tijd bij verschillende temperaturen weggezet:
- buis 1 bij 10 °C
- buis 2 bij 30 °C
- buis 3 bij 70 °C

Vervolgens worden de buizen op een temperatuur van 30 °C gebracht, waarna aan alle buizen eenzelfde hoeveelheid geschikt substraat van 30 °C wordt toegevoegd.
De buizen worden geruime tijd bewaard bij een temperatuur van 30 °C. Daarna wordt gemeten hoeveel substraat in elk van de buizen is omgezet.
Over deze buizen worden de volgende beweringen gedaan:
1 In buis 1 is het minste substraat omgezet.
2 In buis 2 is het meeste substraat omgezet.
3 In buis 3 is het minste substraat omgezet.
4 In buis 1 is minder substraat omgezet dan in buis 2.
5 In buis 1 is meer substraat omgezet dan in buis 3.

Noteer het nummer of de nummers van beweringen die naar alle waarschijnlijkheid juist zijn. Leg je antwoord uit.

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

Context Leefwereld

HELENDE HONING

Honing is het ingedikte mengsel van plantennectar en verteringssappen van de honingbij. Honing is niet alleen een natuurlijke zoetstof, maar er wordt ook een geneeskrachtige werking aan toegeschreven. Honing stimuleert het immuunsysteem. Sommige mensen gebruiken honing als gezichtsmasker om littekenweefsel te verminderen of als vochtinbrengende crème (zie afbeelding 14). De meest bekende toepassing is misschien wel het drinken van een kop thee met honing als je keelpijn hebt.

De antibacteriële eigenschappen van honing worden veroorzaakt door de hoge osmotische waarde. Die heeft een remmend effect op de groei van wel zestig soorten bacteriën en schimmels. Honing van de manukaboom (*Leptospermum scoparium*) blijkt zelfs remmend te werken op de methicilline-resistente *Staphylococcus aureus* (de gevaarlijke MRSA-bacterie).

Ook de lage pH en het gehalte aan waterstofperoxide spelen een belangrijke rol bij de geneeskrachtige werking. Bijen produceren een enzym, glucoseoxidase, dat glucose omzet in gluconzuur en waterstofperoxide. Het gluconzuur creëert een zuur milieu en het waterstofperoxide werkt desinfecterend. Dit is dus niet alleen effectief voor het bacterie- en schimmelvrij houden van een bijenkast, maar maakt honing ook geschikt als medicijn.

Toch is niet alle honing even geschikt om te dienen als medicijn. Goedkopere honing wordt tijdens het verwerkingsproces vaak verhit. Hierdoor vermindert de peroxideactiviteit tot wel een factor 100. Ook het enzym katalase kan de werking verminderen. Katalase zet waterstofperoxide om in water en zuurstof, stoffen zonder geneeskrachtige werking. Dus voordat je bij een infectie de honingvoorraad van de buurtsuper naar binnen slurpt: die huis-tuin-en-keukenhoning is niet bedrijfszeker als medicijn. Die is vooral lekker in de thee.

■ **Afb. 14** Gezichtsmasker met honing.



Opdrachten

24 Honing heeft een hoge osmotische waarde.

a Waardoor is de osmotische waarde van honing zo hoog?

b Verklaar de antibacteriële werking van de hoge osmotische waarde van honing.

c Verklaar waarom medicinale honing tegen verschillende bacteriesoorten werkt.

d In de tekst wordt gesproken over de ‘gevaarlijke MRSA-bacterie’.
Leg uit waarom de MRSA-bacterie gevaarlijk wordt genoemd. Gebruik hiervoor informatie van internet.

25 Als je keelpijn hebt, kan het helpen om thee met honing te drinken. Wel moet je de thee eerst flink af laten koelen tot een temperatuur lager dan 37 °C voordat je de honing toevoegt. Hierdoor voorkom je niet alleen dat je je mond verbrandt, maar het heeft ook nog een biologische reden.
Leg uit vanwege welke biologische reden je de thee eerst moet laten afkoelen voordat je honing toevoegt.

3 FOTOSYNTHESE

LEERDOEL

8.3.1 Je kunt de fotosynthese beschrijven.

- Vaardigheden 4, 6 en 7 (thema 1)
- Practica 3 en 4

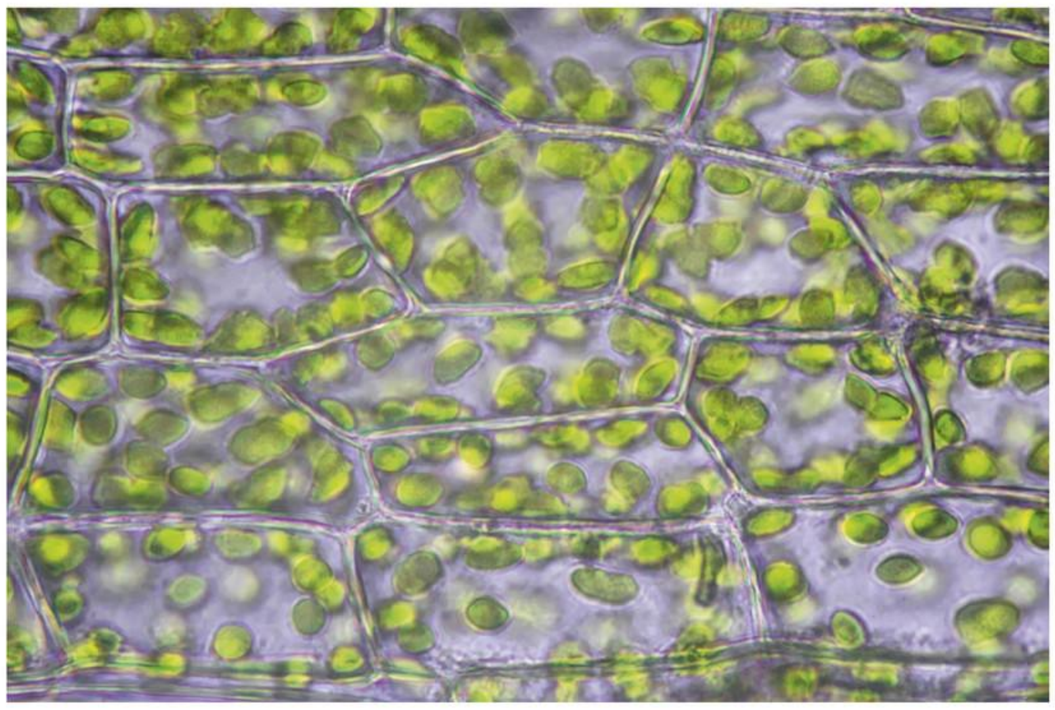
TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	8.3.1
Onthouden	26a
Begrijpen	26bcde, 27
Toepassen	28, 30b, 31, 33a, 34
Analyseren	29, 30a, 32, 33b

Planten hebben bladgroenkorrels met enzymen waarmee ze lichtenergie kunnen vastleggen in glucosemoleculen. Uit glucose maken planten allerlei andere stoffen, waardoor ze bijvoorbeeld kunnen groeien. Jij kunt planten eten en gebruikt dan de vastgelegde energie voor je stofwisselingsprocessen.

ENERGIE

Bij planten, algen en sommige cyanobacteriën vindt koolstofassimilatie plaats onder invloed van licht. Dit proces noem je fotosynthese. Deze organismen zijn tot fotosynthese in staat, omdat ze het pigment **bladgroen** in hun cellen hebben. Bladgroen kan licht absorberen (opnemen). De energie uit dit opgenomen licht kunnen planten, algen en cyanobacteriën omzetten in de chemische energie van glucose. Bij planten bevindt het bladgroen zich in de **bladgroenkorrels** (zie afbeelding 15). Behalve bladgroen bevatten bladgroenkorrels ook enzymen, die nodig zijn bij de fotosynthese.

■ **Afb. 15** Bladgroenkorrels in een plantencel (TEM, 1000×).



Het reactieschema van de fotosynthese is:

koolstofdioxide + water + lichtenergie → glucose + zuurstof

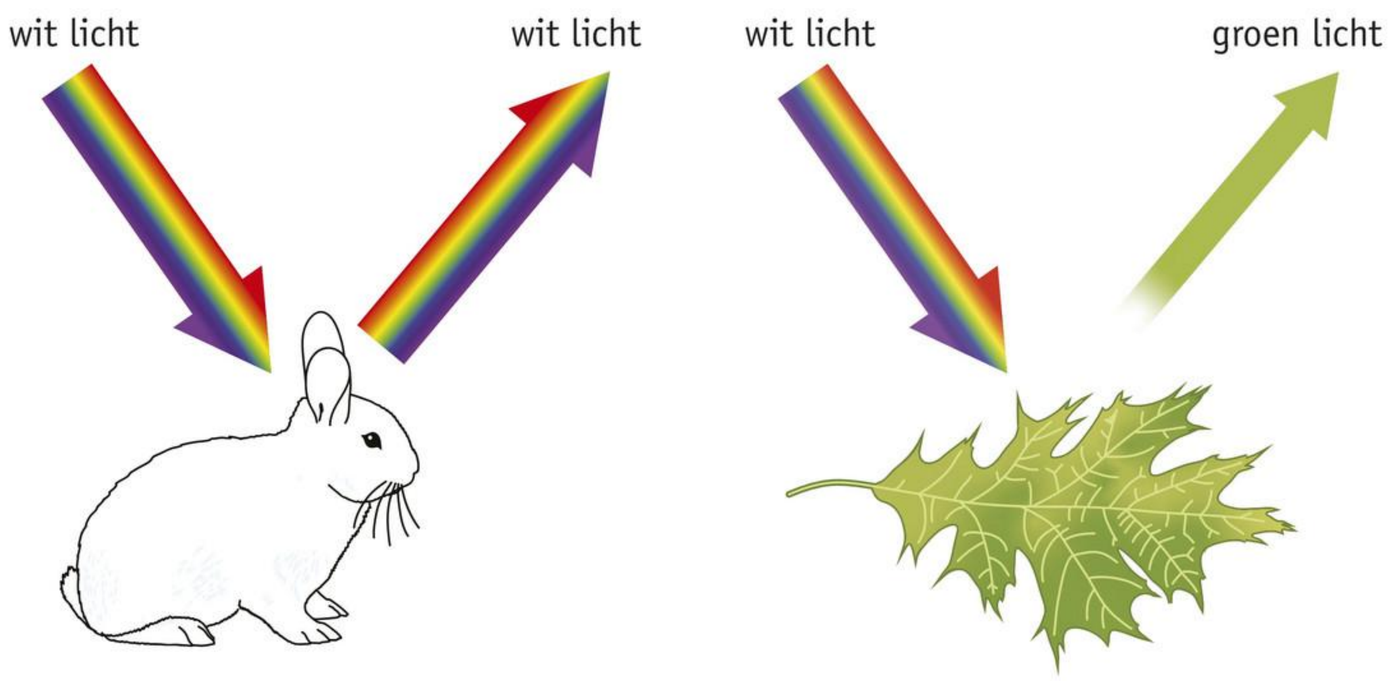
Fotosynthese kun je scheikundig weergeven met een reactievergelijking:

$6\ CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$

LICHT

Zonlicht of wit licht is een mengsel van alle kleuren licht (zie afbeelding 16). Een konijn met een vacht die alle kleuren reflecteert (terugkaatst), zie je als wit.

■ **Afb. 16** Absorptie en reflectie van licht.

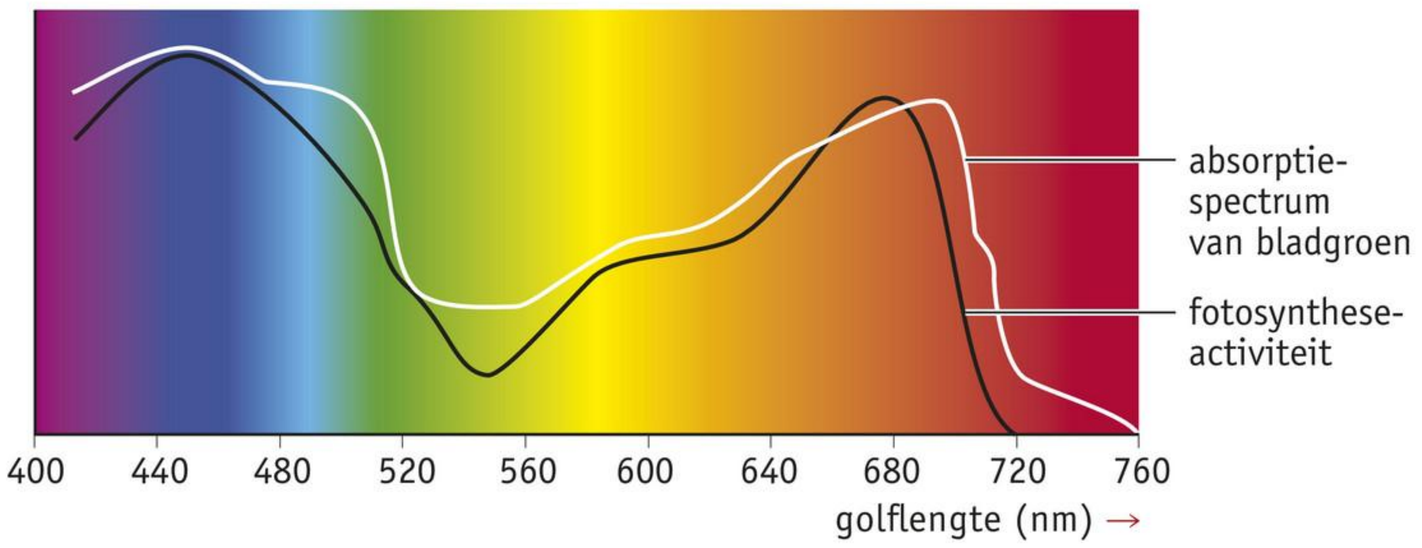


1 Alle golflengten worden gereflecteerd.

2 Groen licht wordt gereflecteerd, andere kleuren worden geabsorbeerd.

Als je licht met alle golflengten door een oplossing van bladgroen leidt, kun je bepalen welke golflengten licht het bladgroen absorbeert. Met een speciaal apparaat kun je het absorptiespectrum van bladgroen meten (zie afbeelding 17). Daarin kun je zien dat bladgroen bijna geen groen licht absorbeert. Het meeste groene licht wordt gereflecteerd. Daarom zie je dat planten een groene kleur hebben.

■ **Afb. 17** Absorptiespectrum van bladgroen en de fotosyntheseactiviteit bij verschillende golflengten.



Opdrachten KENNIS

26 In afbeelding 17 zie je het absorptiespectrum van bladgroen en de fotosyntheseactiviteit bij verschillende golflengten.

- **a** Welke kleur licht wordt nauwelijks geabsorbeerd door bladgroen?
- **b** Bij welke twee golflengten liggen de pieken in het absorptiespectrum van bladgroen?
- **c** Bij welke twee golflengten liggen de pieken van de fotosyntheseactiviteit?
- **d** Leg het verband uit tussen het absorptiespectrum en de naam 'bladgroen'.
- **e** Uit afbeelding 17 blijkt dat bladgroen licht met verschillende golflengten absorbeert. Wat is daarvan het voordeel voor een plant?

27 Naast bladgroen bevatten bladgroenkorrels ook caroteen, een pigment met een gele tot rode kleur.
Welke stof wordt in de herfst in de bladeren het eerst afgebroken: bladgroen of caroteen? Leg je antwoord uit.

Opdrachten INZICHT

28 Drie potten bevatten water en een tak waterpest. Pot 1 staat onder een lamp met oranje licht, pot 2 onder een lamp met violet licht en pot 3 onder een lamp met groen licht.

- **a** In welke pot is de fotosyntheseactiviteit het hoogst? Leg je antwoord uit.
- **b** In welke pot verbruikt de tak waterpest de kleinste hoeveelheid koolstofdioxide? Leg je antwoord uit.
- **c** In welke pot zullen de meeste gasbelletjes verschijnen? Leg je antwoord uit.

29 In een opstelling wordt een maatcilinder met een waterpestplantje in water beschenen door een lamp. De opstelling is weergegeven in afbeelding 18. Het aantal gasbelletjes dat ontstaat wordt geteld. Het aantal belletjes dat ontstaat is een maat voor de fotosyntheseactiviteit.
Deze proefopstelling bevat een aantal variabelen die je kunt veranderen, zoals:

1 de hoeveelheid water in de maatcilinder
2 het aantal blaadjes aan de waterpest
3 de concentratie koolstofdioxide (CO_2) in het water in de maatcilinder
4 de concentratie zuurstof in het water in de maatcilinder
5 de kleur licht van de lamp
6 de temperatuur van het water in de maatcilinder

Welke van bovengenoemde factor of factoren heeft/hebben invloed op het aantal gasbelletjes dat wordt geproduceerd?

■ **Afb. 18** Waterpestplant beschenen door een lamp.



30 Lichtabsorptie

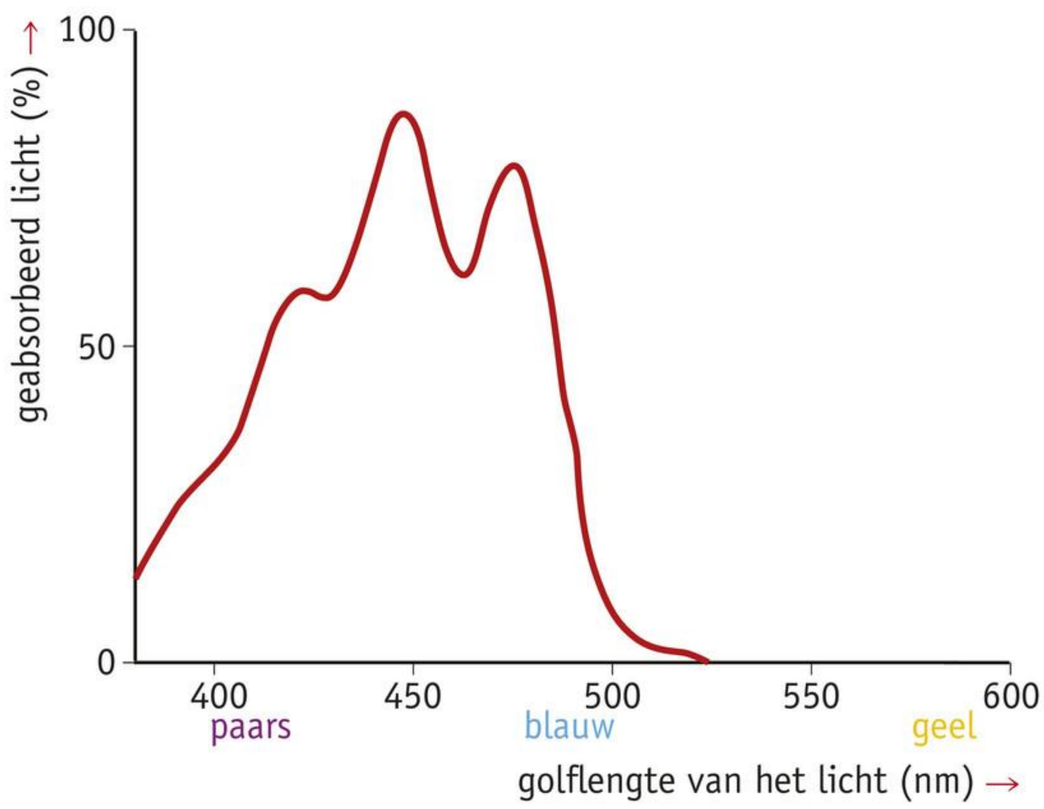
Naar: Voorronde Biologie Olympiade Bovenbouw 2005, vraag 22.

Uit de bladeren van een plant worden twee pigmenten X en Y geïsoleerd. In het blad dragen deze pigmenten de geabsorbeerde lichtenergie over op andere pigmenten, die deze energie voor de fotosynthese gebruiken. Bij daglicht zien pigment X en Y er respectievelijk geeloranje en paarsblauw uit. Van de pigmenten X en Y wordt het absorptiespectrum bepaald. In afbeelding 19 is het absorptiespectrum van een van deze pigmenten weergegeven.

a Is in afbeelding 19 het absorptiespectrum van pigment X of pigment Y weergegeven? Leg je antwoord uit.

b Bij welke belichting, met golflengte 450 nm of met golflengte 500 nm, zal de fotosynthese met behulp van dit pigment de hoogste opbrengst hebben? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 19** Absorptiespectrum van pigment X of Y.



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

Context Leefwereld

ZON IN JE TANK

Door de toename van de welvaart is ook het energieverbruik sterk gestegen. Om deze energie te leveren, worden meestal fossiele brandstoffen gebruikt. Maar het gebruik hiervan staat sterk ter discussie. Daarom zijn ontwerpers op zoek naar alternatieven en hierbij kijken ze vaak omhoog, naar de zon. De zon is een onuitputtelijke bron van energie die planten al miljoenen jaren van voldoende energie voorziet. Voor de mens is het gebruik van zonnepanelen om stroom op te wekken een van de mogelijkheden om zonne-energie te gebruiken. Maar kun je er behalve elektriciteit ook brandstoffen mee maken? In het Nederlandse project BioSolar Cells werkt de Leidse professor Huub de Groot met zijn team aan kunstmatige bladeren die een duurzame ‘zonnebrandstof’ kunnen opleveren. Net als echte planten moeten deze bladeren brandstof maken uit zonlicht, water en CO_2.

De kunstmatige bladeren gebruiken energie uit zonlicht om water te splitsen in zuurstof en waterstof. Waterstofgas is een energierijke, schone brandstof. In zonrijke gebieden is het oppervlak van het dak van een garage met kunstmatige bladeren groot genoeg om een waterstofauto van brandstof te voorzien. Ook kan waterstof met koolstofdioxide door de kunstmatige fotosynthese worden omgezet in methanol. Die energierijke organische vloeistof kan worden opgeslagen, vervoerd en gebruikt als brandstof als de zon niet schijnt (zie afbeelding 20).

Planten benutten maar een deel van het zonnespectrum. Ze hebben een rendement van niet meer dan 2%. Kunstbladeren gebruiken een veel groter deel van het spectrum, waardoor ze een rendement kunnen halen van 20 tot misschien wel 40%.

■ **Afb. 20** Zonnebrandstof heeft de toekomst.



Opdrachten

31 De atmosfeer bestaat voor ongeveer 20% uit zuurstof.
Hoe is de concentratie van 20% zuurstof in de atmosfeer ontstaan?

32 Wat is het voordeel van chemische energie in organische stof vergeleken met lichtenergie van de zon?

33 Het gebruik van fossiele brandstoffen moet sterk afnemen.
- **a** Geef twee redenen waarom het gebruik van fossiele brandstoffen moet afnemen.
- **b** Leg uit dat zonnebrandstof wel een duurzame brandstof is.

34
- **a** Noteer drie overeenkomsten tussen natuurlijke en kunstmatige fotosynthese.
- **b** Noteer twee voordelen van kunstmatige fotosynthese in vergelijking met natuurlijke fotosynthese.

4 VOORTGEZETTE ASSIMILATIE

LEERDOEL

8.4.1 Je kunt de voortgezette assimilatie beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	8.4.1
Onthouden	36ab, 40
Begrijpen	35, 36cd, 37, 38, 39, 41, 44a, 45a
Toepassen	42b, 43, 44b, 46
Analyseren	42ac, 45b

Cellen van planten gebruiken glucose die is gevormd bij de koolstofassimilatie voor verschillende doeleinden. Bij de voortgezette assimilatie vormen ze bijvoorbeeld reservevoorraden zetmeel, de vetten van membranen, vele eiwitten (zoals enzymen) en informatiedragers (DNA).

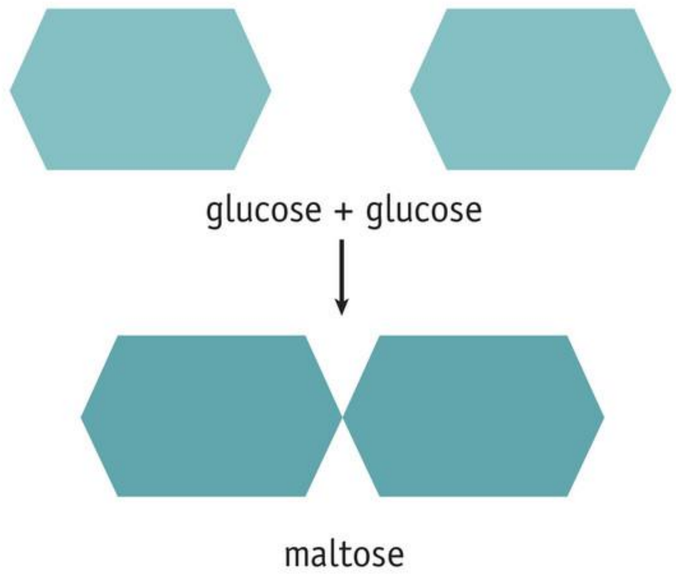
GLUCOSE ALS GRONDSTOF EN BRANDSTOF

Tijdens de koolstofassimilatie zetten autotrofe organismen water en koolstofdioxide om in zuurstof en glucose. Glucose heeft twee belangrijke functies. De stof dient als grondstof voor het maken van andere organische stoffen, zoals koolhydraten, vetten en eiwitten. Dit noem je de voortgezette assimilatie. Ook is glucose de belangrijkste brandstof. Bij de verbranding van glucose wordt ATP gevormd. ATP levert de energie voor de voortgezette assimilatie.

KOOLHYDRATEN

De moleculen van **koolhydraten** (**sachariden**) zijn opgebouwd uit koolstof, waterstof en zuurstof (*BiNaS* tabel 67F). Koolhydraten hebben in de cel vooral een functie als bouwstof, brandstof en **reservestof**. Koolhydraten zijn in te delen in mono-, di- en polysachariden. **Monosachariden** (enkelvoudige suikers) bevatten vijf of zes C-atomen. Glucose, galactose en fructose zijn voorbeelden van monosachariden. Glucose is goed oplosbaar in water. Twee moleculen van monosachariden kunnen zich met elkaar verbinden tot een **disacharide**. Twee glucosemoleculen bijvoorbeeld kunnen samen één molecuul maltose vormen (zie afbeelding 21). Andere disachariden zijn lactose (melksuiker) en sacharose (riet- of bietsuiker).

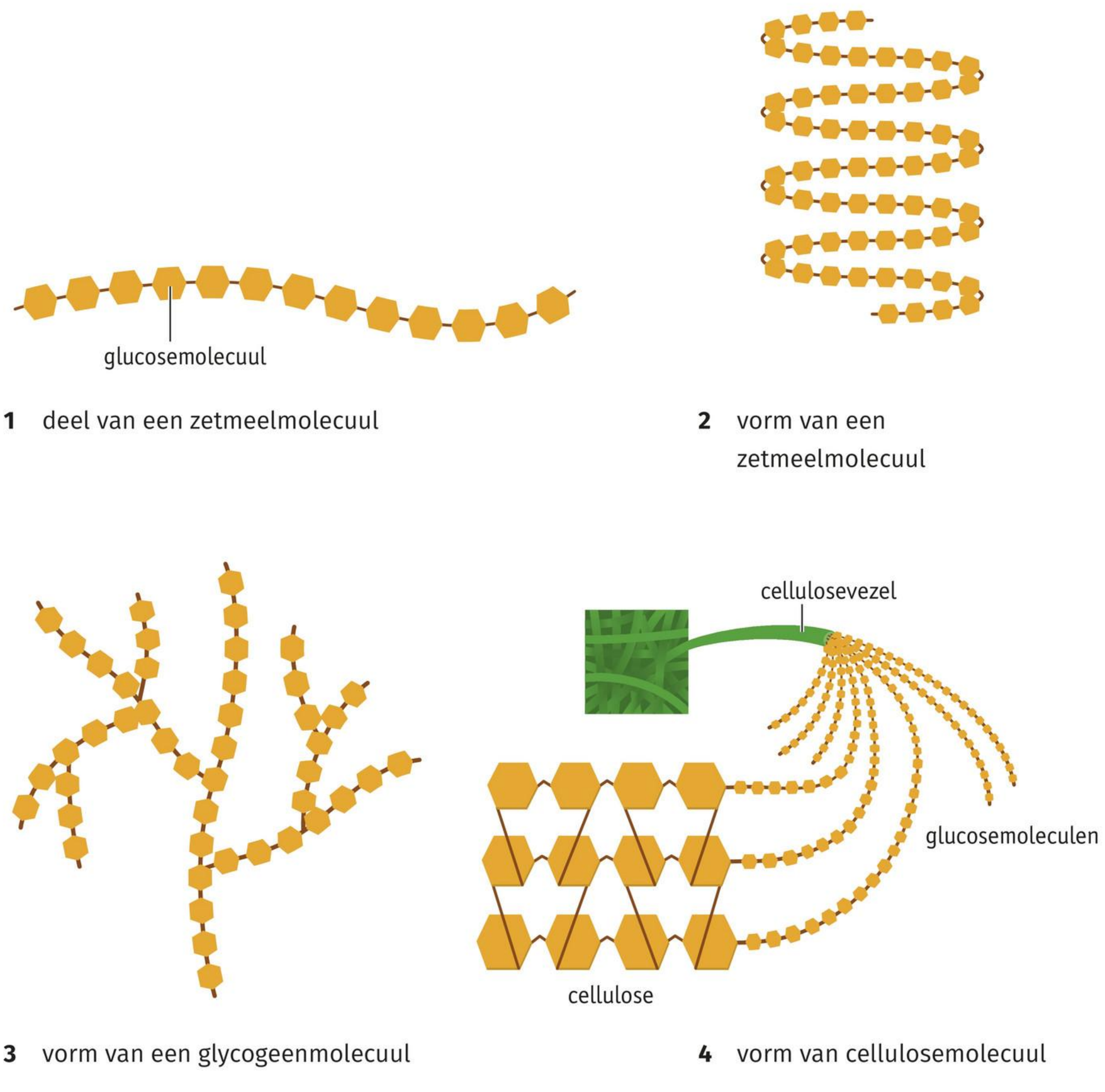
■ **Afb. 21** De vorming van maltose uit twee glucosemoleculen (schematisch).



Glucosemoleculen kunnen ook lange ketens vormen. Deze noem je **polysachariden** (zie afbeelding 22.1). Een voorbeeld van een polysacharide is **zetmeel** (zie afbeelding 22.2). Dit molecuul wordt in de bladgroenkorrels en zetmeelkorrels van plantaardige cellen opgebouwd uit ongeveer zesduizend glucosemoleculen. Door de grootte van de moleculen is zetmeel slecht oplosbaar in water. Bij dieren wordt in de lever en in spieren **glycogeen** gevormd. Een glycogeenmolecuul bestaat uit meer dan twintigduizend glucosemoleculen en is sterk vertakt (zie afbeelding 22.3). Zetmeel en glycogeen zijn reservestoffen.

Een andere polysacharide is **cellulose**, het hoofdbestanddeel van de celwanden van planten (zie afbeelding 22.4). Door de binding tussen de glucosemoleculen vormen enkele tientallen cellulosemoleculen samen een stevige structuur.

■ **Afb. 22** Polysachariden.



Opdrachten KENNIS

35 Welk stofwisselingsproces levert de benodigde energie voor de voortgezette assimilatie?

36 Koolhydraten worden ingedeeld in drie groepen: mono-, di- en polysachariden.

a Wat is het verschil in bouw tussen deze drie groepen?

b Uit welke twee monosachariden is de disacharide lactose opgebouwd? Gebruik bij deze vraag *BiNaS* tabel 67F.

c Wat is het verschil in ruimtelijke vorm tussen een zetmeelmolecuul en een glycogeenmolecuul?

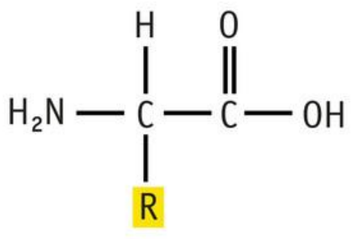
d Cellulose vind je veel terug in celwanden van plantencellen. Door de cellulose krijgen de celwanden een deel van hun stevigheid.
Door welke eigenschap in de bouw van cellulose krijgt dit molecuul zijn stevige structuur?

37 Mensen kunnen koolhydraten als reservestof opslaan.
In welke vorm kunnen ze koolhydraten opslaan?

EIWITTEN

Eiwitten (proteïnen) zijn ketens van enkele tientallen tot meer dan duizend aminozuren (*BiNaS* tabel 67H). Een **aminozuur** bevat een centraal C-atoom met daaraan gebonden een aminogroep (NH_2), een carboxygroep (COOH), een H-atoom en een restgroep (R) die typerend is voor het aminozuur (zie afbeelding 23). In de restgroep kunnen onder andere stikstof en zwavel voorkomen. In menselijke eiwitten komen twintig verschillende typen aminozuren voor.

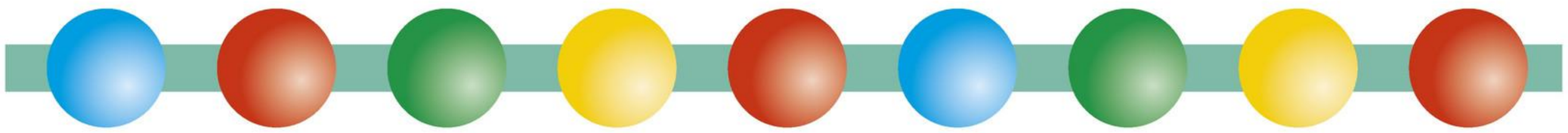
■ **Afb. 23** De algemene structuur van aminozuren.



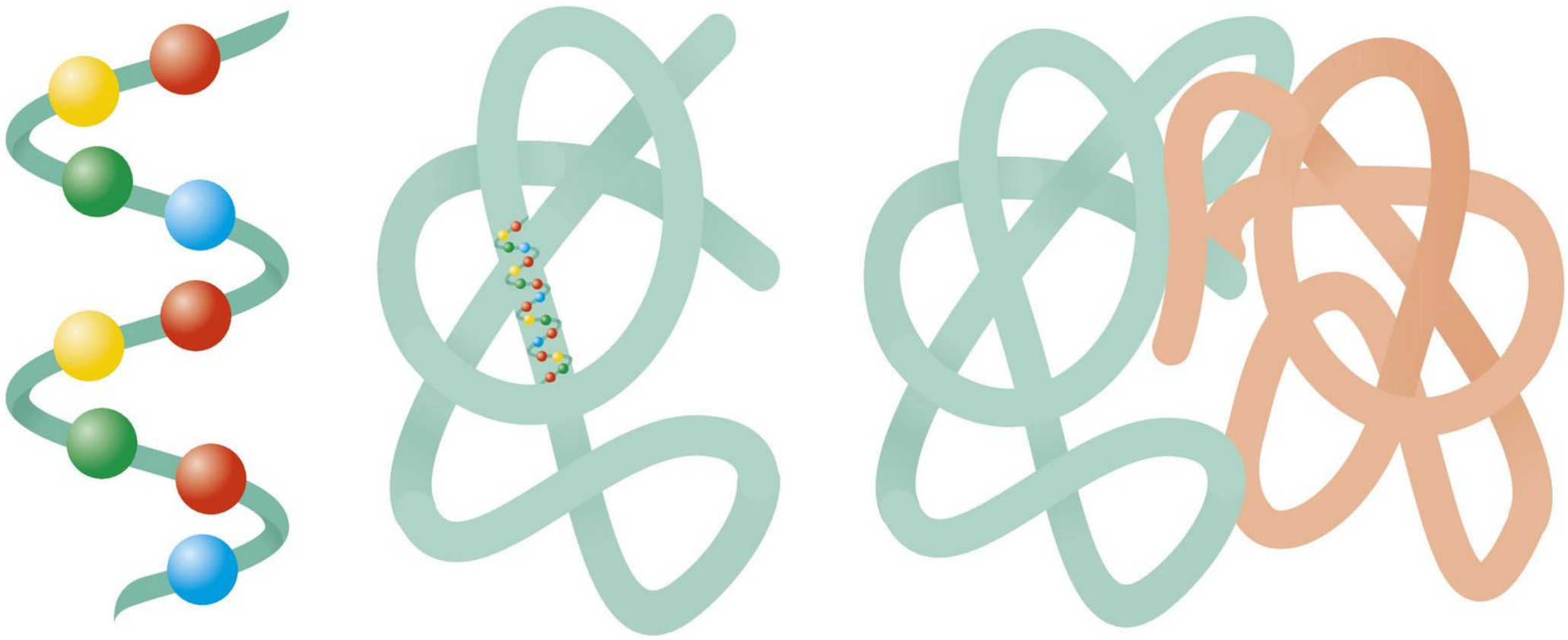
Planten zijn in staat aminozuren op te bouwen uit glucose en stikstofhoudende ionen, vooral uit nitraat (NO_3^-). Bij de opbouw van sommige aminozuren wordt ook sulfaat (SO_4^{2-}) gebruikt. De energie voor de opbouw van aminozuurmoleculen wordt geleverd door ATP. Dieren kunnen geen aminozuren opbouwen uit glucose. Ze zijn wel in staat een aantal aminozuren te vormen uit de aminozuren die ze met hun voedsel binnenkrijgen.

Alle organismen kunnen eiwitmoleculen vormen door aminozuren aan elkaar te koppelen. De ruimtelijke bouw van een eiwitmolecuul heeft verschillende niveaus (zie afbeelding 24). De **primaire structuur** van een eiwitmolecuul wordt bepaald door de typen aminozuren die erin voorkomen en de volgorde waarin deze aminozuren voorkomen (zie afbeelding 24.1). De meeste aminozuren maken bij hun binding een bepaalde hoek ten opzichte van elkaar, waardoor een stabiele spiraalvorm (helix) ontstaat. De spiraalvorm van een eiwit noem je de **secundaire structuur** (zie afbeelding 24.2). Door de vorming van waterstofbruggen en zwavelverbindingen wordt de spiraalstructuur op een bepaalde manier 'opgevouwen'. Hierdoor krijgt het eiwit zijn specifieke vorm, de **tertiaire structuur** (zie afbeelding 24.3). Sommige eiwitten hebben nog een **quaternaire structuur**. Dat is de manier waarop meerdere polypeptideketens samen één eiwit vormen (zie afbeelding 24.4). De uiteindelijke vorm is bepalend voor de functie van een eiwit.

■ **Afb. 24** De ruimtelijke bouw van een eiwitmolecuul (schematisch).



1 primaire structuur: de aminozuurvolgorde



2 secundaire structuur: de helixstructuur

3 tertiaire structuur: de opgevouwen spiraalstructuur

4 quaternaire structuur: meerdere polypeptideketens

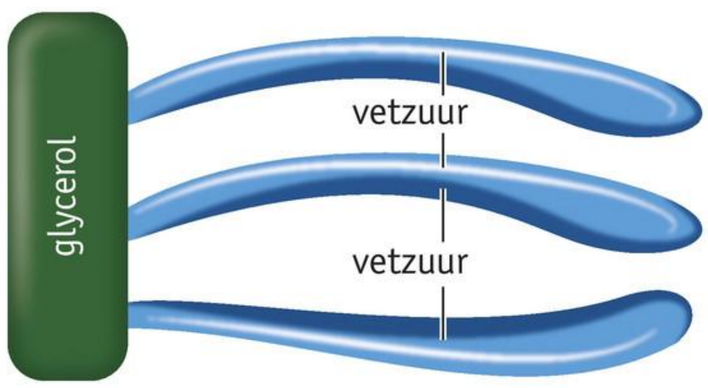
VETTEN

Vetten worden ook wel lipiden genoemd (*BiNaS* tabel 67G) en bevatten dezelfde elementen als glucosemoleculen (C, O en H). Vetten in organismen dienen als bouwstof in membranen, als brandstof en als reservestof. Ze hebben daarnaast een warmte-isolerende functie. Bij warmbloedige dieren worden vetten onder andere opgeslagen in het onderhuidse bindweefsel. Een overschot aan eiwitten en koolhydraten in de voeding kan worden omgezet in vetten. In vetten is per gram meer energie opgeslagen dan in koolhydraten en eiwitten. Vetten maken deel uit van sommige vitaminen, hormonen en cholesterol.

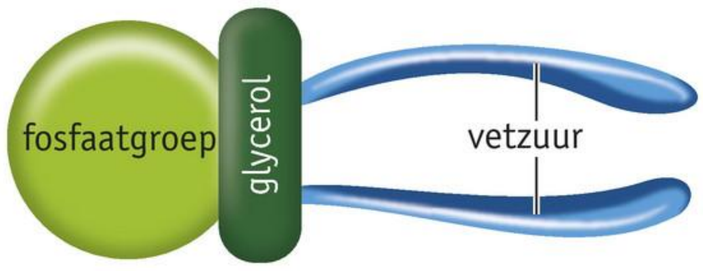
Veel vetten zijn triglyceriden. Een triglyceride wordt gevormd doordat drie vetzuurmoleculen zich binden aan een glycerolmolecuul (zie afbeelding 25). **Glycerol** bestaat uit drie C-atomen waaraan drie OH-groepen zijn gebonden. **Vetzuren** bestaan uit lange ketens van CH_2-groepen met aan het eind daarvan een carboxygroep (COOH). Deze vetzuurketens zijn hydrofoob (waterafstotend) en daardoor lost vet niet op in water.

Celmembranen bestaan grotendeels uit **fosfolipiden**. Bij een fosfolipide is één vetzuur van het triglyceride vervangen door een fosfaatgroep (zie afbeelding 26).

■ **Afb. 25** De bouw van een triglyceridemolecuul (schematisch).

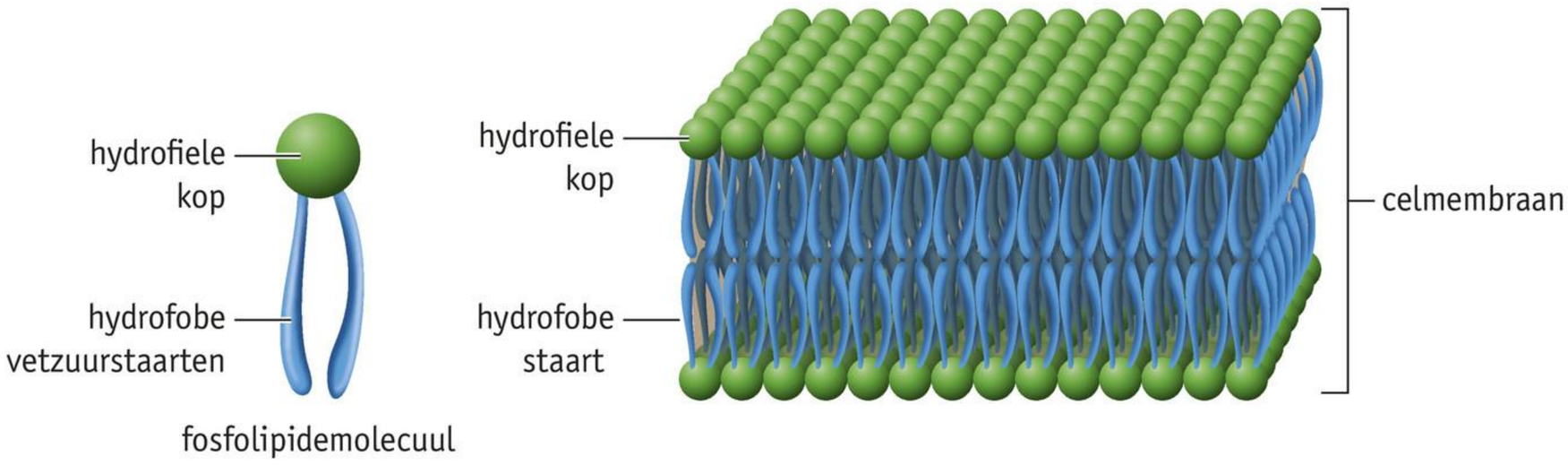


■ **Afb. 26** Structuur van een fosfolipide.



Fosfolipiden hebben daardoor twee hydrofobe vetzuurstaarten en een hydrofiele (waterminnende) kop met een fosfaatgroep. Hierdoor vormen de fosfolipiden een dubbele laag moleculen, met de hydrofiele fosfaatgroepen aan de buitenzijde en de hydrofobe vetzuurstaarten naar elkaar toe aan de binnenzijde (zie afbeelding 27).

■ **Afb. 27** Opbouw van een membraan uit fosfolipiden.



OPSLAG VAN ASSIMILATIEPRODUCTEN BIJ PLANTEN

Overdag vormt een plant meestal meer glucose dan er bij dissimilatie wordt verbruikt. Het overschot aan glucose wordt omgezet in koolhydraten, eiwitten en vetten en gebruikt voor opbouw, herstel en vorming van reservestoffen. Planten slaan reservestoffen vooral op in verdikte, ondergrondse delen (zoals wortels, knollen, bollen) en zaden. In de verdikte delen slaan ze vooral koolhydraten op. In de zaden vooral eiwitten en vetten.

Een groot deel van de gevormde glucose wordt omgezet in zetmeel en tijdelijk opgeslagen in bladcellen. Door de omzetting in zetmeel wordt voorkomen dat de osmotische waarde van de bladcellen te veel stijgt. Vooral 's nachts wordt het opgeslagen zetmeel omgezet in sacharose (biet- of rietsuiker) en via vaten afgevoerd naar andere delen van de plant, waar het wordt verbruikt bij de dissimilatie of wordt opgeslagen als reservestof.

Opdrachten KENNIS

38 Leg uit dat planten uit alleen glucose wel andere koolhydraten en vetten kunnen vormen, maar geen eiwitten.

39 Zoek in *BiNaS* tabel 67F en 67G de molecuulformules van palmitinezuur (een vetzuur in palmolie) en van sacharose (biet- of rietsuiker).

a De energiedichtheid van palmitinezuur is veel groter dan die van sacharose. Geef hiervoor een verklaring.

b De ideale voeding tijdens een lange trektocht bestaat voor het grootste deel uit producten met veel vetten (bijvoorbeeld noten en pure chocolade), dan groenten en fruit en het minst producten met koolhydraten.
Leg dit uit.

40 Bij warmbloedige dieren is vet onder andere opgeslagen in onderhuids bindweefsel. Wat is daarvan de functie?

41 Om koolhydraten in een plant te transporteren, wordt zetmeel omgezet in sacharose. Waarom wordt zetmeel omgezet in sacharose?

Opdrachten INZICHT

42 In bladcellen wordt de glucose die bij de fotosynthese is gevormd, vrijwel direct omgezet in zetmeel.

a Leg uit hoe dit voorkomt dat de osmotische waarde in de bladcellen stijgt.

b Een leerling wil aantonen dat in bladeren zetmeel is opgeslagen.
Op welk moment van de dag kan zij het best een blad plukken: 's morgens vroeg of laat in de middag? Leg je antwoord uit.

c Bij het 'ringen' van bomen wordt een strook van de bast over de hele omtrek van de boom verwijderd. Hierdoor sterven bomen langzaam af.
Leg uit waardoor bomen door 'ringen' afsterven.

43 Planten slaan reservestoffen onder andere op in wortels, bollen, knollen en zaden.

a Wat is de functie van het opslaan van reservestoffen in ondergrondse delen van de plant?

b Wat is de functie van reservestoffen in zaden?

c Lidewij is net vegetariër geworden en vraagt zich af hoe ze met haar voeding voldoende eiwitten binnen kan krijgen. Volgens Paul kan ze dan het best peulvruchten en noten eten.
Heeft Paul gelijk? Leg je antwoord uit.

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

Context Beroep

HET KWEKEN VAN SMAAK

Nederland is wereldkampioen in het telen van tomaten. Door het veredelen van tomaten is een groot aantal tomatenrassen ontstaan, elk met zijn specifieke eigenschappen (zie afbeelding 28).

Tomatenteler Tom is continu bezig om de omstandigheden in zijn kassen te optimaliseren om de eigenschappen van zijn verschillende rassen het best tot hun recht te laten komen. Hij kijkt naar de effecten van licht, temperatuur, water en voedingsstoffen. De tomatenplanten groeien op steenwol en elke plant krijgt via een druppelaar de juiste hoeveelheid water en voedingsstoffen toegediend. Ook werkt hij met ledverlichting om de fotosynthese te optimaliseren.

Tom verbetert de omstandigheden niet alleen om zijn opbrengst te verhogen, maar ook om de smaak te verbeteren. Bij de stofwisseling worden stoffen gevormd die de smaak geven aan de tomaat. Het belangrijkste verschil in smaak ontstaat door de verhoudingen tussen suikers, zoals sacharose en zetmeel, en de verhoudingen tussen zuren, zoals appelzuur, aminozuren en citroenzuur. Het aanbieden van meer voedingszouten zorgt voor de aanmaak van meer suikers en zuren in de tomaat en dat geeft een sterkere smaak.

Tom heeft het bedrijf van zijn vader overgenomen. Toch kun je niet zomaar tuinder worden. Door de technische ontwikkelingen is een goede opleiding noodzakelijk. ‘Ik heb zelf de hbo-opleiding agrotechniek en management gedaan’, vertelt Tom. ‘Door deze studie kan ik ons bedrijf leiden en ben ik ook niet bang om te innoveren.’ Mede door mensen zoals Tom zal Nederland voorlopig nog wel nummer één in de tomatenteelt blijven.

■ **Afb. 28** Verschillende tomatenrassen.



Opdrachten

44 Tomatentelers variëren met lichtintensiteit, temperatuur en het aanbieden van voedingsstoffen voor een goede kwaliteit en een optimale opbrengst van hun tomaten.

a Hoe noem je deze factoren die invloed hebben op de groei van organismen? Leg je antwoord uit.

b In de tekst staat dat door het aanbieden van meer voedingszouten er meer suikers en zuren in de tomaten worden gevormd. Dat geeft een sterkere smaak. Welk voedingszout moet er in ieder geval aan de plant worden toegevoegd om aminozuren te kunnen maken?

45 Een tomatenteler heeft in een vakblad een artikel gelezen waarin wordt uitgelegd dat zwavel een belangrijk onderdeel is van een eiwit dat is betrokken bij de fotosynthese.

a Welk organel in een bladcel bevat een hoge concentratie van het element zwavel? Leg je antwoord uit.

b De teler denkt dat meer fotosynthese leidt tot een hogere tomatenopbrengst. Hij wil onderzoeken of het toevoegen van extra zwavel een positief effect heeft op de opbrengst.
Bedenk een proefopzet waarmee hij het effect van zwavel kan testen.

46 Tom heeft de opleiding agrotechniek en management gevolgd. Er zijn ook nog andere opleidingen die je zou kunnen volgen om in de agrarische sector te gaan werken.
Zoek op internet twee hbo-opleidingen die je als toekomstig tuinder zou kunnen volgen om je beroep goed uit te kunnen oefenen. Noteer bij elke studierichting wat je er leert.

5 DISSIMILATIE

LEERDOELEN

8.5.1 Je kunt de aerobe en anaerobe dissimilatie van glucose beschrijven.
8.5.2 Je kunt de dissimilatie van eiwitten en vetten beschrijven.

- Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)
- Practicum 5

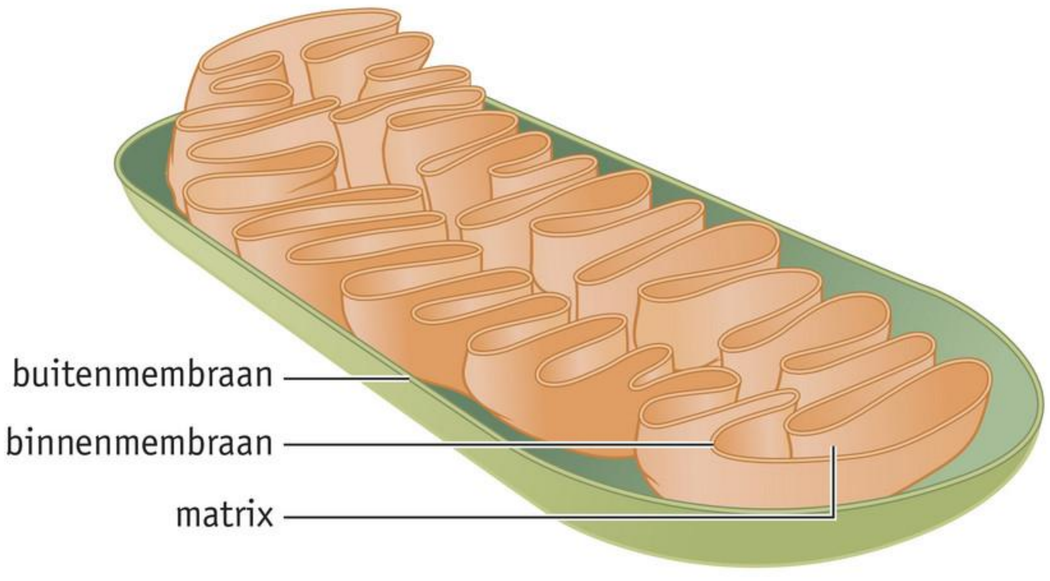
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	8.5.1	**8.5.2**
Onthouden	47	51
Begrijpen	48, 49	50, 52, 53
Toepassen	55, 56, 57, 59	
Analyseren	58	54

Geen enkel levend wezen kan zonder energie, want in elke levende cel vinden duizenden reacties plaats. Bij sommige reacties komt energie vrij, andere reacties kosten energie. Er is bijvoorbeeld energie nodig om stoffen door membranen te transporteren en om te groeien. Die energie is vaak afkomstig van opgenomen of opgeslagen energierijke stoffen.

AEROBE DISSIMILATIE VAN GLUCOSE

Bij dissimilatie (afbraak) van organische stoffen komt de energie die bij de fotosynthese is vastgelegd weer beschikbaar. De belangrijkste brandstof die zorgt voor de **energievoorziening** in de cellen is glucose. De energie uit glucose kan worden vrijgemaakt met zuurstof of zonder zuurstof. Dissimilatie van glucose met zuurstof noem je **aerobe dissimilatie** of **verbranding**. De aerobe dissimilatie vindt grotendeels plaats in de mitochondriën (zie afbeelding 29). De aerobe dissimilatie levert de cel veel energie in de vorm van ATP.

■ **Afb. 29** Een mitochondrium.



De formule van de aerobe dissimilatie is:

glucose + zuurstof → koolstofdioxide + water + ATP

De reactievergelijking van de aerobe dissimilatie van glucose is:

$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 36\ ATP$

ANAEROBE DISSIMILATIE VAN GLUCOSE

Wanneer in cellen geen of onvoldoende zuurstof aanwezig is, kunnen de meeste organismen glucose ook zonder zuurstof dissimileren. Dit noem je **anaerobe dissimilatie** of **gisting**. Hierbij ontstaat veel minder ATP dan bij aerobe dissimilatie.

Er zijn twee mogelijkheden voor anaerobe dissimilatie of gisting: alcoholgisting en melkzuurgisting.

Alcoholgisting

Als er bij gisting **alcohol** (ethanol) ontstaat, spreek je van alcoholgisting (*BiNaS* tabel 68B). Dit gebeurt bijvoorbeeld in gistcellen. Alcohol bevat veel chemische energie. Bij gisting komt dan ook per glucosemolecuul veel minder energie (ATP) beschikbaar voor de cel dan bij verbranding.

De formule van alcoholgisting is:

glucose → alcohol + koolstofdioxide + ATP

De reactievergelijking van alcoholgisting is:

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_6O + 2\ CO_2 + 2\ ATP$

Bij de bereiding van bier, wijn en brood vindt alcoholgisting plaats. De gasbelletjes in bier en in mousserende wijn (bijvoorbeeld champagne) bevatten koolstofdioxide, dat ook is ontstaan bij de alcoholgisting.

Melkzuurgisting

Bij gisting kan ook **melkzuur** ontstaan (*BiNaS* tabel 68B). In een zuurstofarme omgeving breken melkzuurbacteriën glucose af tot melkzuur. Deze vorm van anaerobe dissimilatie van glucose noem je melkzuurgisting. Melkzuurbacteriën worden onder andere gebruikt bij de productie van kaas, yoghurt en zuurkool. Melkzuurgisting leidt tot verzuring van voedingsproducten.

De formule van melkzuurgisting is:

glucose → melkzuur + ATP

De reactievergelijking van melkzuurgisting is:

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_3H_6O_3 + 2\ ATP$

Bij veel dieren (ook bij mensen) kan door melkzuurgisting verzuring ontstaan, vooral in de spieren (‘verzuurde spieren’). Dit gebeurt als er meer energie nodig is dan de aerobe dissimilatie kan leveren, bijvoorbeeld bij sporters die een sprint inzetten. Door zuurstoftekort in de spieren stagneert dan de aerobe verbranding en ontstaat er melkzuur door melkzuurgisting in de spiercellen. Spieren kunnen ook verzuren door de omzetting van ATP in ADP. Daarbij ontstaat fosforzuur (H_3PO_4).

Per glucosemolecuul komt ook bij melkzuurgisting slechts weinig energie (ATP) beschikbaar. Het is dan nodig in korte tijd veel glucose anaeroob te dissimileren.

Melkzuur bevat veel energie en wordt afgevoerd naar de lever. Met behulp van zuurstof en ATP wordt het daar weer omgezet in glucose.

Opdrachten KENNIS

47 Vul de tabel in.

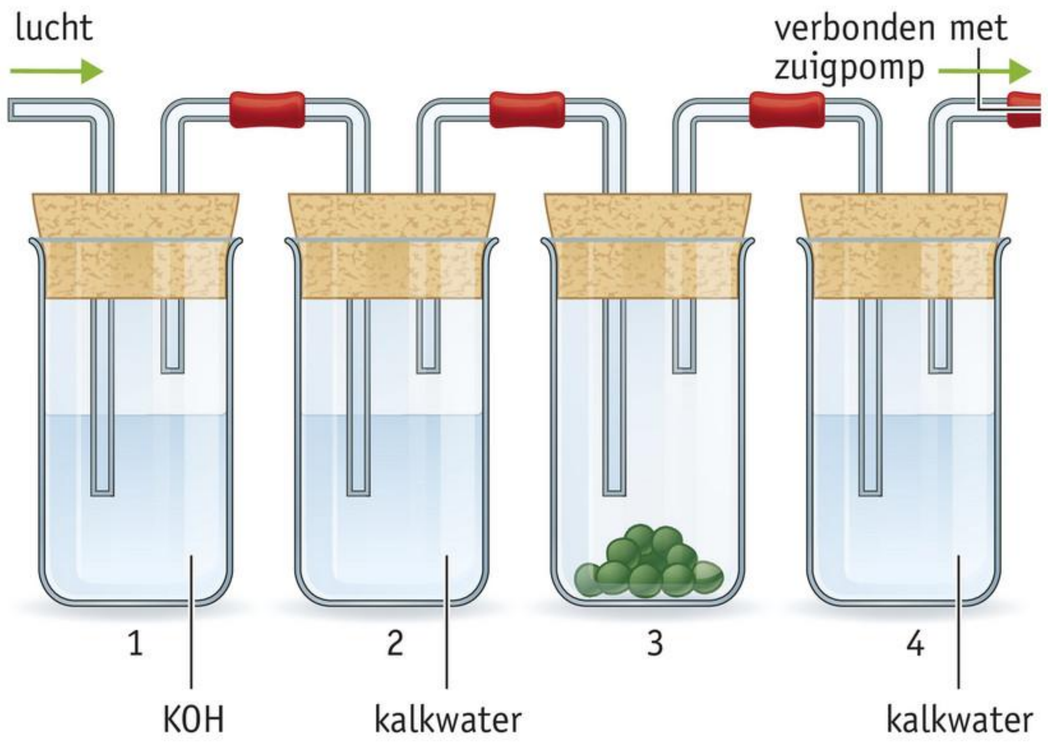
- Kies bij 1 uit: *gisting – verbranding*.
- Kies bij 2 uit: *met zuurstof – zonder zuurstof*.
- Kies bij 3 uit: *twee of geen moleculen CO_2 – zes moleculen CO_2*.
- Kies bij 4 uit: *veel energie – weinig energie*.
- Kies bij 5 uit: *veel energie – weinig energie*.

		Aerobe dissimilatie van glucose	Anaerobe dissimilatie van glucose
1	Dit proces heet ook wel		
2	Dit proces vindt plaats		
3	Per glucosemolecuul ontstaan		
4	De eindproducten bevatten		
5	Dit proces levert		

48 Kalkwater is een indicator voor koolstofdioxide. Koolstofdioxide maakt helder kalkwater troebel. In afbeelding 30 staat een proefopstelling.
De KOH-oplossing (kaliumhydroxideoplossing) in buis 1 haalt alle koolstofdioxide uit de lucht. In buis 2 en 4 zit helder kalkwater. In buis 3 zitten kiemende erwten. Buis 4 is verbonden met een pomp die lucht aanzuigt.

a Wordt het kalkwater in buis 2 troebel? Leg je antwoord uit.
b Wordt het kalkwater in buis 4 troebel? Leg je antwoord uit.
c Wat is de functie van buis 2 in deze opstelling?

■ **Afb. 30** Proefopstelling.



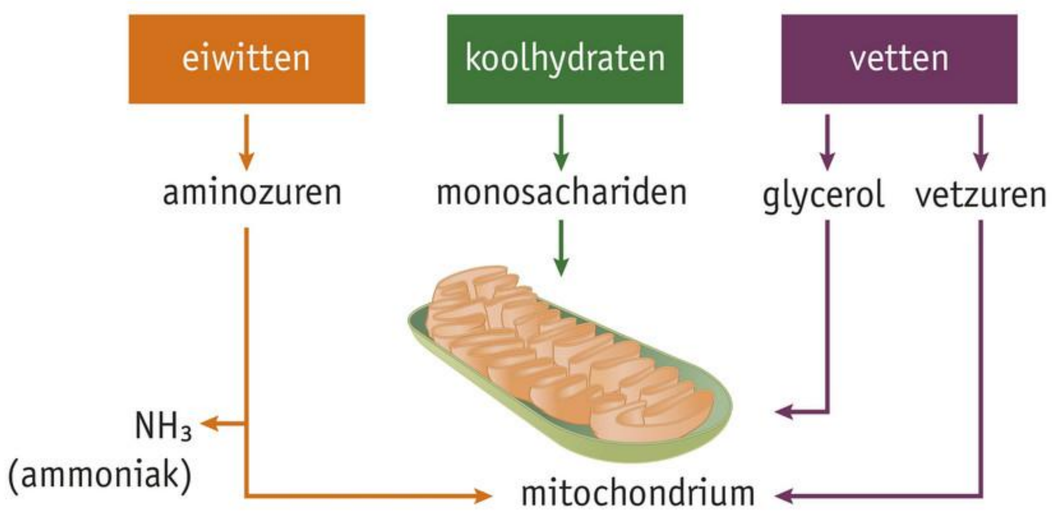
49 Esther heeft zelf aardbeienjam gemaakt. Na een paar maanden opent zij de jampot. Bij het openen van de pot komt er wat koolstofdioxide vrij. De jam ruikt naar alcohol.
Welke omzetting heeft in deze pot jam plaatsgevonden?

AEROBE DISSIMILATIE VAN KOOLHYDRATEN, EIWITTEN EN VETTEN

In cellen wordt niet alleen glucose als brandstof gebruikt. Ook andere koolhydraten, eiwitten en vetten kunnen worden afgebroken om energie te leveren (zie afbeelding 31 en *BiNaS* tabel 68E). De volgorde waarin de stoffen als brandstof worden gebruikt is onder andere afhankelijk van de beschikbaarheid.

1 Koolhydraten worden eerst omgezet in monosachariden, vooral glucose.
2 Vetten worden eerst gesplitst in glycerol en vetzuren. Glycerol en vetzuren kunnen worden omgezet in andere stoffen en verbrand in de mitochondriën. Bij de verbranding van vetten komt veel meer energie vrij dan bij de verbranding van koolhydraten of eiwitten. Dit wordt veroorzaakt door het relatief grote aantal bindingen per gram vet.
3 Eiwitten worden eerst gesplitst in aminozuren. Van de aminozuren wordt de aminogroep afgesplitst en omgezet in ammoniak (NH_3). Ammoniak wordt bij dieren omgezet in urinezuur of ureum en uitgescheiden. Bij de afbraak van aminozuren kan ook zwavel ontstaan. De overgebleven koolstofketen kan worden omgezet in andere stoffen die in de mitochondriën worden verbrand.

■ **Afb. 31** Verbranding van eiwitten, koolhydraten en vetten.



Als in een cel geen grote behoefte is aan energie, kan glucose worden omgezet in glycogeen. Glycerol kan worden omgezet in glucose en vervolgens ook worden omgezet in glycogeen. Glycogeen wordt vooral in de lever en de spieren opgeslagen als energiereserve. De hoeveelheid glycogeen die een mens kan opslaan is beperkt. Bij een blijvend energieoverschot wordt glucose omgezet in vet dat als reservestof wordt opgeslagen in het onderhuidse bindweefsel, in de buikholte en rondom de inwendige organen.

Opdrachten KENNIS

50 Welke schadelijke stoffen kunnen ontstaan bij de verbranding van eiwitten?

51 Welke stoffen leveren bij verbranding per gram het meeste ATP op: koolhydraten, eiwitten of vetten?

52 De voeding van Milo bevat voldoende van alle verschillende voedingsstoffen. Net als bij andere mensen wordt in zijn cellen vooral glucose gebruikt als brandstof.
a Welke stoffen gebruiken de cellen als brandstof als de voorraad glucose en glycogeen op is?
b Mensen met overgewicht slaan vooral vetten op als reservestof. Leg uit waarom het gunstig is om vetten als reservestof op te slaan.

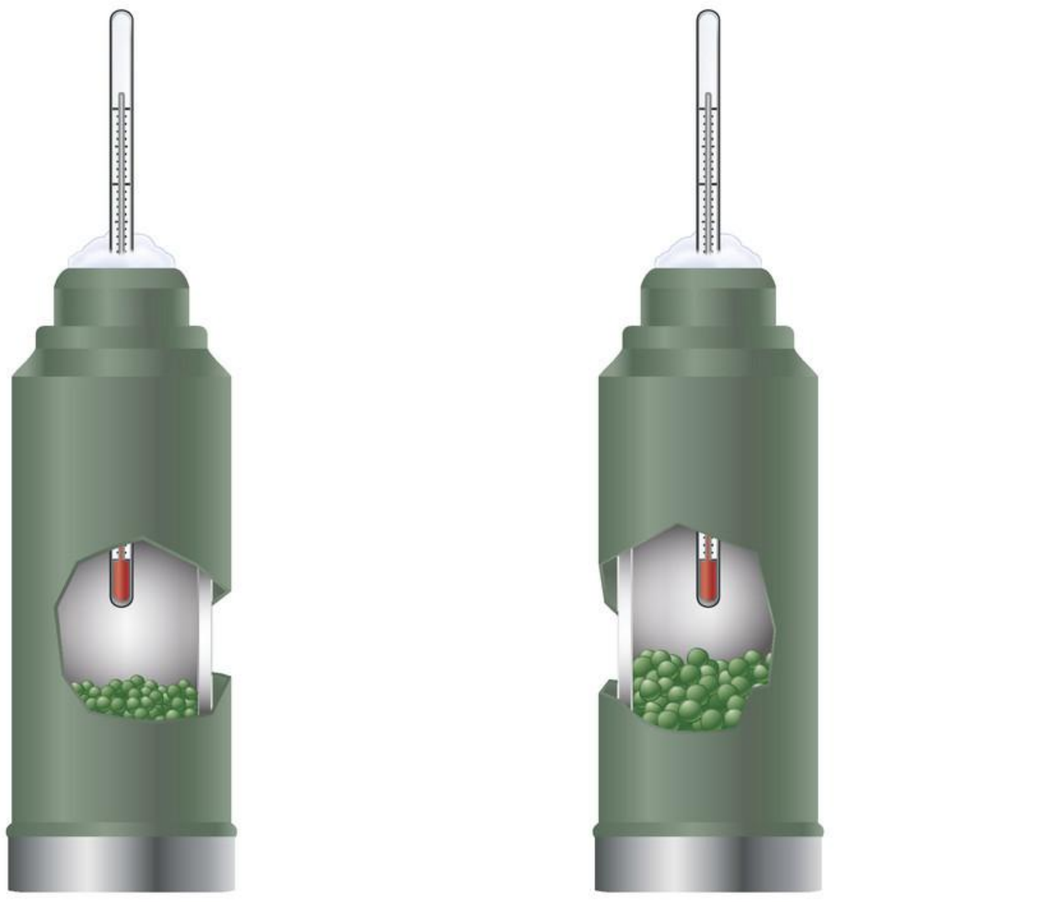
53 Melk bevat lactose (melksuiker). Als melk verzuurt, komt dit doordat bacteriën een deel van de lactose omzetten in melkzuur. Een tussenproduct van deze omzetting is glucose. In een pak melk wordt een bepaalde hoeveelheid lactose omgezet in melkzuur.
Bevat de totale hoeveelheid melkzuur uit het pak meer of minder energie dan de totale hoeveelheid lactose waaruit het is gevormd?

Opdrachten INZICHT

54 Als er geen andere voorraden brandstoffen meer zijn, schakelt je lichaam over op eiwitverbranding. Zijn er niet voldoende eiwitten in je voedsel aanwezig, dan kan het gevaarlijk zijn om eiwitten te verbranden. Leg dit uit.

55 In twee thermosflessen wordt de temperatuur gemeten bij droge en geweekte erwten (zie afbeelding 32). De flessen worden afgesloten met watten. De thermometers zijn zo geplaatst dat de schaalverdeling nog afleesbaar is.
In de thermosfles met de gekiemde erwten is de temperatuur gestegen. Leg uit hoe dat komt.

■ **Afb. 32** Proefopstelling.



1 droge, niet-ontkiemende groene erwten

2 geweekte, ontkiemende groene erwten

56 Leg uit hoe brooddeeg rijst. Gebruik in je antwoord de begrippen enzymen en alcoholgisting.

57 Melk begint meestal onder in een pak of fles zuur te worden.
Waardoor begint dit proces onderin?

58 Wijn kun je maken in een vat of fles met een waterslot (zie afbeelding 33). Een waterslot laat gasbellen uit het vat ontsnappen, maar laat geen lucht van buitenaf het vat binnenkomen.

a Waarom mag er geen lucht van buitenaf het vat binnenkomen?

b Bij de productie van wijn stopt de alcoholgisting wanneer een alcoholpercentage van ongeveer 14% is bereikt.
Waardoor stopt het gistingsproces dan?

■ **Afb. 33** Watersloten.



1 wijnvaten met watersloten



2 detailfoto van een waterslot

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

Context Leefwereld

LEKKER VERROT

Fermenteren is eigenlijk een ander woord voor je voedsel gecontroleerd laten rotten. In het koelkastloze tijdperk was het dé manier om voedsel te verduurzamen. Melkzuurbacteriën veranderen kool in zuurkool en melk in yoghurt. Hierdoor blijven rottingsbacteriën buiten de deur en blijft het product langer houdbaar. Ook bier is het resultaat van fermentatie. In de middeleeuwen zorgde het brouwen van bier ervoor dat vervuild water drinkbaar werd (zie afbeelding 34.1).

Tijdens het fermentatieproces worden de suikers van het voedingsmiddel vergist, waarbij melkzuur of alcohol ontstaat. Dit vergisten gebeurt door het toevoegen van bacteriën, of schimmels (gisten). Deze reducenten produceren enzymen die ervoor zorgen dat de zuurgraad, smaak, geur, uiterlijk, verteerbaarheid en de houdbaarheid van het voedingsmiddel veranderen.

Was het vroeger bittere noodzaak om voedsel te fermenteren, tegenwoordig is het ook een hippe voedingstrend. Supermarkten bieden tal van gefermenteerde producten aan zoals kombucha en Koreaanse kimchi. Kombucha (zie afbeelding 34.2) wordt gemaakt op basis van groene of zwarte thee met suiker waaraan een theeschimmel voor het fermentatieproces is toegevoegd. Dit verandert de smaak en de houdbaarheid van de thee. Koreaanse kimchi is gefermenteerde Chinese kool met andere groenten.

Aan het gebruik van gefermenteerd voedsel worden allerlei gunstige gezondheidseffecten toegeschreven, zoals het verlagen van de bloeddruk, beschermen tegen diabetes en verbeteren van je immuunsysteem en darmflora, of zelfs dat het de kans op kanker verlaagt. Veel van deze effecten zijn niet goed onderzocht en dus nog niet bewezen.

■ **Afb. 34** Bier en kombucha, voedingsmiddelen gemaakt door fermentatie.



1 een bierbrouwketel waarin bier ontstaat door fermentatie van gerst



2 kombuchathee: een populair gezondheidsdrankje

Opdrachten

59 Bij het fermenteren worden micro-organismen gebruikt voor het maken van voedingsmiddelen. Zo wordt yoghurt gemaakt door de toevoeging van melkzuurbacteriën aan melk. Yoghurt is langer houdbaar dan melk.

a Leg uit waardoor dat komt.

b Zuurkool en yoghurt die je in de supermarkt koopt, zijn gepasteuriseerd.
Zoek op internet op wat pasteuriseren is en waarom het wordt toegepast.

c Bij lactose-intolerantie kan je lichaam lactose niet (goed) verteren. Je kunt dan last krijgen van diarree en buikpijn. Als je lactose-intolerant bent, is het beter om de yoghurtkweek langer te laten staan wanneer je zelf yoghurt maakt. Leg uit waarom dit beter is.

d Is het beter om een yoghurtkweek luchtdicht af te sluiten of om de pot open te laten?

e Als je voedingsmiddelen niet goed fermenteert, is er een grote kans op voedselvergiftiging. Leg uit hoe dat komt.

6 INTENSITEIT VAN DE STOFWISSELING

LEERDOEL

8.6.1 Je kunt de voorwaarden voor het fotosyntheseproces in planten benoemen.

- Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)
- Practica 6 en 7

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	8.6.1
Onthouden	60b, 61, 62ab
Begrijpen	60acde, 62cdef, 65a
Toepassen	63abcegh, 65b, 67
Analyseren	63dfij, 64, 66

Zolang organismen leven, gaat de stofwisseling door. Dat blijkt bijvoorbeeld uit je ademhaling, je neemt zuurstof op en geeft koolstofdioxide af. Planten doen dit in het donker ook. Maar in het licht nemen planten juist koolstofdioxide op en geven ze zuurstof af.

BASALE STOFWISSELING

Je lichaam verbruikt niet altijd evenveel energie. Als je slaapt, verbruik je veel minder energie dan wanneer je sport. De snelheid waarmee de stofwisseling plaatsvindt noem je de intensiteit van de stofwisseling. Deze intensiteit is niet alleen afhankelijk van de activiteit, maar ook van het geslacht, de leeftijd en het lichaamsgewicht.

Ook in totale rust verbruik je energie, omdat bepaalde processen altijd door moeten gaan, zoals de hartslag, het op peil houden van de lichaamstemperatuur en de ademhaling. De minimale stofwisseling die nodig is om deze processen op gang te houden, noem je de basale stofwisseling.

In een respiratiekamer (zie afbeelding 35) kun je de intensiteit van de basale stofwisseling bepalen. In zo'n ruimte worden onder gecontroleerde omstandigheden gegevens zoals temperatuur en luchtsamenstelling gemeten. Je kunt de intensiteit van de basale stofwisseling bepalen door de hoeveelheid zuurstof te meten die je in rust verbruikt.

■ **Afb. 35** Een respiratiekamer, hiermee kun je de intensiteit van de basale stofwisseling meten.



Opdrachten KENNIS

60 In afbeelding 36 zijn vier afgesloten bakken met levende organismen getekend. Bak 1 en 3 staan in het donker. Bak 2 en 4 staan in het licht. Alle andere omstandigheden zijn gelijk. De organismen beschikken over voldoende water, warmte en voedingsstoffen.

a In welke bak(ken) vindt verbranding plaats?

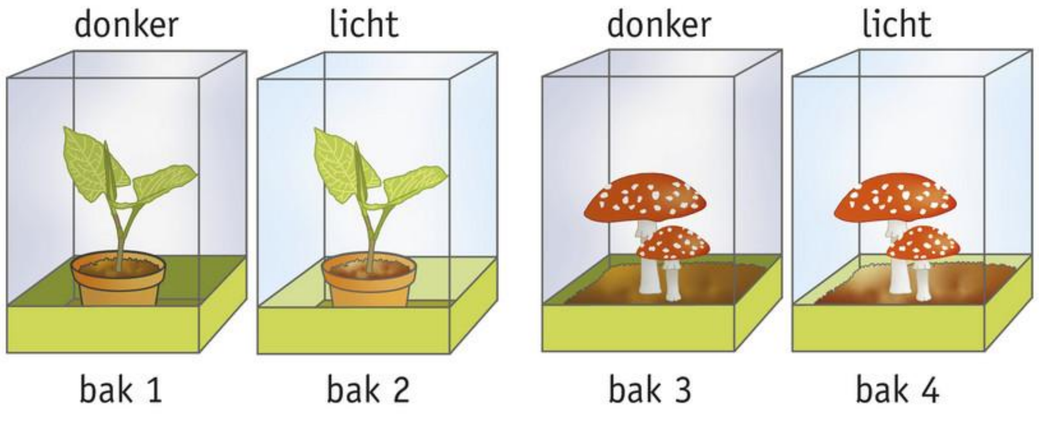
b In welke bak(ken) vindt fotosynthese plaats?

c In welke bak(ken) zal de hoeveelheid zuurstof zeker afnemen?

d In welke bak(ken) zal de hoeveelheid koolstofdioxide toenemen?

e Waarvan zal afhangen of in bak 2 de hoeveelheid zuurstof toeneemt?

■ **Afb. 36** Proefopstelling.



INTENSITEIT VAN DE FOTOSYNTHESE

De intensiteit van de fotosynthese is de snelheid waarmee bij de fotosynthese glucose en zuurstof worden gevormd. Deze intensiteit wordt meestal uitgedrukt in geproduceerde milliliter O_2 per minuut of verbruikte milliliter CO_2 per minuut. Voor elke verbruikte milliliter CO_2 ontstaat precies 1 milliliter O_2. De intensiteit van de fotosynthese is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de hoeveelheid licht en het kleurenspectrum, de beschikbare hoeveelheid koolstofdioxide en water, de temperatuur en de hoeveelheid bladgroen.

De intensiteit van de fotosynthese wordt bepaald door de factor die het minst gunstig is: de **beperkende factor**. Als bijvoorbeeld de fotosynthese nog kan toenemen als de hoeveelheid licht toeneemt, dan is licht de beperkende factor voor de fotosynthese. Er is dan niet voldoende licht om de fotosynthese maximaal te laten verlopen.

De verbranding in planten wordt ook beïnvloed door milieufactoren, zoals de temperatuur en de hoeveelheid zuurstof. De intensiteit van de verbranding wordt meestal uitgedrukt in geproduceerde milliliter CO_2 per minuut of verbruikte milliliter O_2 per minuut.

Je kunt de intensiteit van de fotosynthese (de zuurstofproductie van de plant) niet rechtstreeks bepalen. Dat komt doordat een deel van de zuurstof die bij de fotosynthese in het blad ontstaat, wordt verbruikt bij de verbranding. De zuurstofafgifte is dus altijd kleiner dan de zuurstofproductie. 's Nachts, in het donker, vindt geen fotosynthese plaats. Als je bepaalt hoeveel zuurstof de plant 's nachts bij de verbranding verbruikt, kun je de zuurstofproductie door de fotosynthese afleiden. Je gaat er daarbij van uit dat het zuurstofverbruik overdag en 's nachts gelijk is. Het gemeten zuurstofverbruik door verbranding tel je op bij de zuurstofafgifte tijdens fotosynthese. Deze waarde is de maat voor de intensiteit van de fotosynthese.

In plaats van de zuurstofopname en -afgifte, kun je ook de opgenomen of afgegeven hoeveelheid koolstofdioxide van de plant bepalen.

Opdrachten KENNIS

61 Leg in eigen woorden uit wat bij fotosynthese een beperkende factor is.

62 Bij een plant wordt gedurende tien uur de zuurstofopname of de zuurstofafgifte per uur gemeten. De eerste vijf uur staat de plant in het donker, de tweede vijf uur in het licht. Alle andere omstandigheden blijven tijdens deze proef gelijk. De resultaten zijn weergegeven in een diagram (zie afbeelding 37).

a Wat is in de eerste vijf uur de beperkende factor voor de fotosynthese?

b Hoeveel zuurstof verbruikt de plant per uur bij de verbranding tijdens de eerste vijf uur?

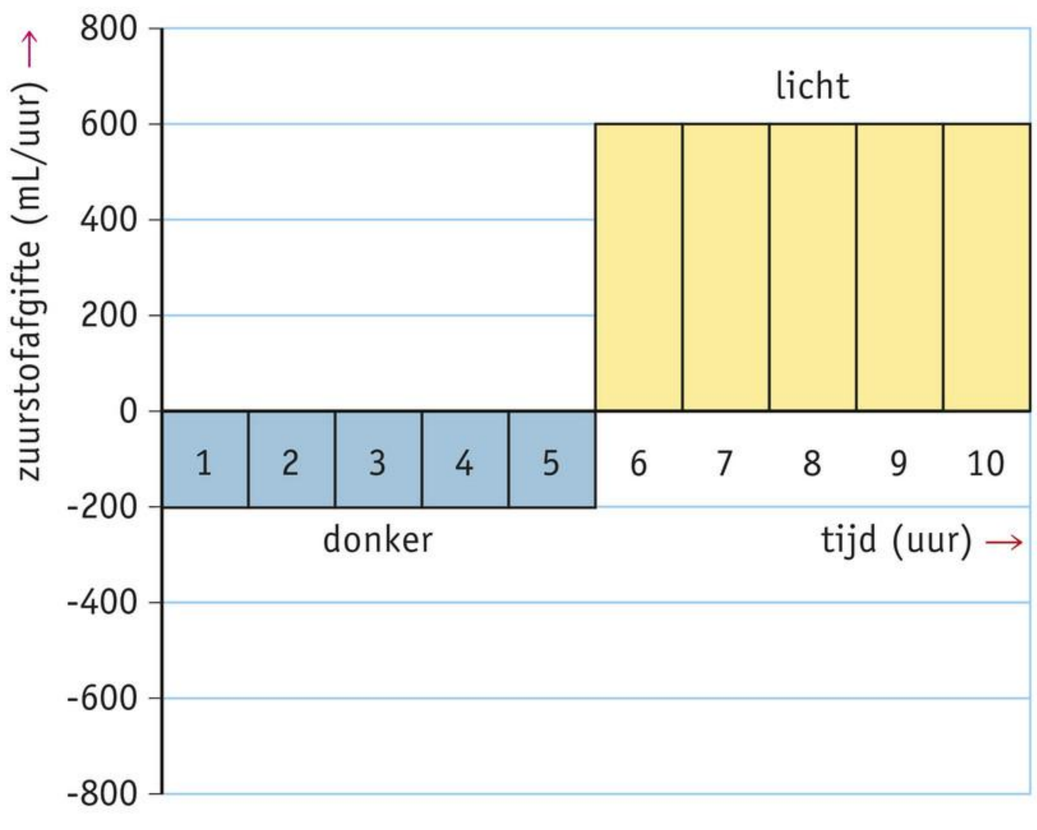
c Hoeveel zuurstof verbruikt de plant per uur voor de verbranding tijdens de tweede vijf uur?

d Hoeveel bedraagt de zuurstofafgifte van de plant per uur tijdens de tweede vijf uur?

e Hoeveel bedraagt dus de zuurstofproductie per uur door de fotosynthese tijdens de tweede vijf uur? Leg je antwoord uit.

f Hoeveel milliliter koolstofdioxide neemt deze plant per uur op tijdens de tweede periode van vijf uur? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 37** Zuurstofafgifte gedurende tien uur.



Opdrachten INZICHT

63 Twee planten bevinden zich in twee afgesloten ruimten. De verlichtingssterkte in beide ruimten wordt gevarieerd. Alle andere omstandigheden blijven gelijk. Tijdens de proef wordt de hoeveelheid zuurstof in de afgesloten ruimten gemeten. Hieruit wordt berekend hoeveel zuurstof door de plant wordt afgegeven of opgenomen. De resultaten zijn in een diagram weergegeven (zie afbeelding 38). Aangenomen wordt dat de intensiteit van de verbranding niet wordt beïnvloed door de verlichtingssterkte.

a Hoeveel bedraagt de zuurstofproductie van plant 1 door fotosynthese bij punt P?

b Hoeveel bedraagt het zuurstofverbruik van plant 1 door verbranding bij punt P?

c Op een bepaald moment verbruikt plant 1 evenveel zuurstof bij de verbranding als hij produceert bij de fotosynthese. Dit punt heet het compensatiepunt.
Bij welk punt in afbeelding 38 ligt het compensatiepunt? Leg je antwoord uit.

d In welk gedeelte van de grafiek van plant 1 is de intensiteit van de verbranding groter dan de intensiteit van de fotosynthese? Kies uit: *PQ – PR – PS – QR – QS – RS*.

e Wat is bij plant 1 de beperkende factor voor de fotosynthese tussen punt P en R?

f Wat zouden bij plant 1 de beperkende factoren tussen punt R en S kunnen zijn?

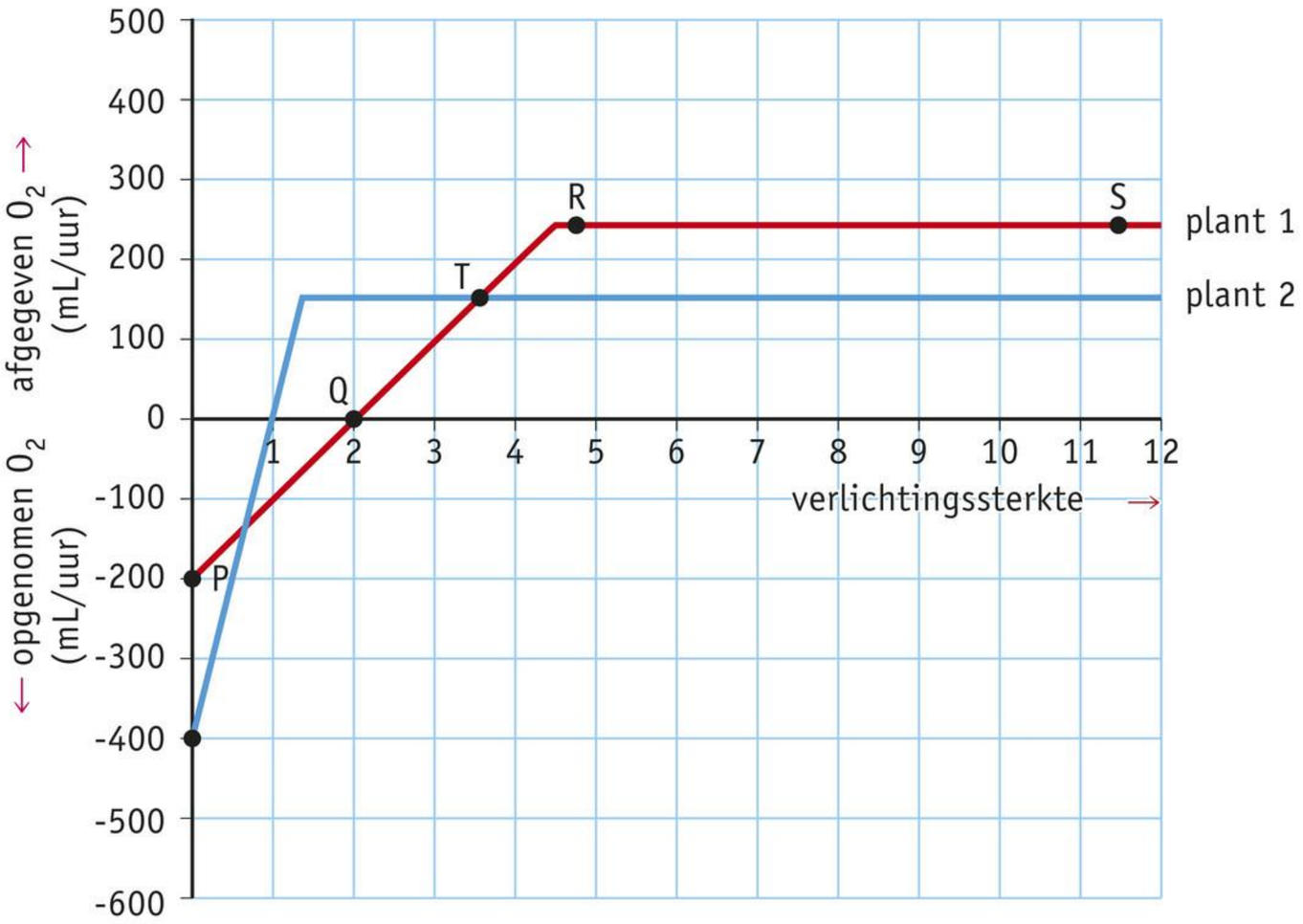
g Teken in afbeelding 38 de grafiek van de zuurstofproductie van plant 1 bij de fotosynthese.

h Is er op punt T een verschil in de nettozuurstofafgifte van plant 1 en plant 2? Leg je antwoord uit.

i Is er bij verlichtingssterkte 8 een verschil in de intensiteit van de fotosynthese bij plant 1 en plant 2? Leg je antwoord uit.

j Geef de intensiteit van de fotosynthese weer in een vergelijking met daarin: intensiteit van de fotosynthese, zuurstofafgifte, zuurstofproductie en zuurstofverbruik.

■ **Afb. 38** Invloed van de verlichtingssterkte op de zuurstofafgifte bij twee planten.



64 Fotosynthese door planten

Naar: Voorronde Biologie Olympiade Junior 2012, vraag 10.

Voor fotosynthese door groene planten is licht nodig. De snelheid van de fotosynthese is afhankelijk van de temperatuur, dat geldt ook voor de snelheid van de verbranding. Voor verbranding is geen licht nodig. Zowel fotosynthese als verbranding vindt plaats in cellen met bladgroen.
In een experiment wordt de invloed van de temperatuur op de intensiteit van de fotosynthese onderzocht. Men meet daarvoor de hoeveelheid opgenomen koolstofdioxide in het licht en de hoeveelheid afgegeven koolstofdioxide in het donker. De meetresultaten staan in tabel 2.
Bij welke temperatuur is de intensiteit van de fotosynthese in dit experiment het hoogst? Leg je antwoord uit.

Tabel 2 De snelheid van fotosynthese bij verschillende temperaturen.

	Temperatuur						
	7 °C	10 °C	15 °C	19 °C	22 °C	28 °C	31 °C
Opname in licht (mg CO_2 per tijdseenheid)	1,3	2,3	2,8	3,1	2,8	2,5	1,8
Afgifte in donker (mg CO_2 per tijdseenheid)	0,3	0,6	0,7	1,2	1,8	2,2	2,7

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

Context Leefwereld

RAMEN OPEN IS GOED VOOR CONCENTRATIE

Het is een vreemd gezicht: buiten is het 5 graden, binnen in het lokaal zijn de ramen open en leerlingen maken in dikke winterjassen opdrachten. ‘Een van de coronamaatregelen was het beter ventileren van de klaslokalen om verspreiding van het virus tegen te gaan’, aldus mevrouw Van Buren, docente biologie in Arnhem. ‘En het is ook beter voor de luchtkwaliteit in de klas. Doe maar eens een deur van een lokaal open als leerlingen daar een uur hebben zitten werken, dan ruikt het niet erg fris. Het is niet alleen puberzweet dat je ruikt, maar ook de muffe lucht door zuurstofgebrek. Leerlingen hebben een uur lang zuurstof uit de lucht opgenomen en er koolstofdioxide aan afgegeven. En dat merk je. Door het hoge gehalte aan CO_2 komt er te weinig zuurstof in het bloed. De leerlingen raken vermoeid en hun concentratie verdwijnt.’

In elk lokaal moet er tegenwoordig een CO_2-meter zijn. In een fris lokaal is de CO_2-concentratie ongeveer 400 ppm. Tijdens een les zonder ventilatie kan deze waarde oplopen tot 2500 ppm. Volgens de voorschriften mag de concentratie CO_2 niet boven de 1200 ppm uitkomen, een waarde die vaak wordt overschreden. Eén oplossing is het plaatsen van veel planten die CO_2 opnemen. Dat is niet in alle gevallen mogelijk of voldoende. Daarom is goede ventilatie een noodzaak om je bij de les te houden.

Mocht je als leerling de volgende keer bij een les over basale stofwisseling wegdromen, het ligt niet aan jouw concentratie, maar aan de concentratie CO_2.

■ **Afb. 39** Slapende leerling in klaslokaal.



Opdrachten

65 Een slecht klasklimaat valt meer op als je van buiten komt, dan als je er middenin zit.

- **a** Waardoor neemt de CO_2-concentratie toe in een slecht geventileerd lokaal vol leerlingen?
- **b** De CO_2-waarde is in een goed geventileerd lokaal ongeveer 0,04%. Volgens de voorschriften mag de waarde maximaal 1200 ppm zijn. Hoeveel keer hoger is de norm van de voorschriften in vergelijking met de CO_2-concentratie (in ppm) in een geventileerd lokaal?

66 Rode bloedcellen in het bloed vervoeren zowel zuurstof als koolstofdioxide. In je longen vindt gaswisseling plaats. Bij een ademhaling wordt zuurstof uit de lucht opgenomen en gebonden aan de rode bloedcellen. Koolstofdioxide gaat vanuit de rode bloedcellen naar de longen en wordt uitgeademd.
Leg uit hoe het komt dat bij een stijgende concentratie koolstofdioxide in het klaslokaal de concentratie van leerlingen achteruitgaat.

67 In het scheikundelokaal van mevrouw Verkuijlen ruikt het in de wintermaanden vaak muf. Zij zegt dat dit komt doordat de leerlingen bij haar zo hard werken en ze wil de ramen niet openzetten, omdat ze het dan te koud krijgt.

- **a** Fenna stelt voor om in de wintermaanden een aantal planten in het lokaal te zetten. Leg uit waarom dit een goed idee is.
- **b** Mansoer zegt dat het niet zoveel effect heeft om in de wintermaanden planten in het lokaal te zetten voor frissere lucht. Leg uit waarom Mansoer gelijk zou kunnen hebben.

NOTITIES

ENERGIECRISIS

LEERDOEL

8.S.1 Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair, ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op de stofwisseling van migrerende vogels.

Om te overleven moet elk heterotroof organisme zijn energiehuishouding op peil hebben. De hoeveelheid energie die je binnenkrijgt met je voedsel moet zijn afgestemd op je energieverbruik. Voor veel dieren is het nooit zeker of er elke dag voldoende voedsel is. Voor de rosse grutto is er zelfs een extra uitdaging. Deze vogel vliegt non-stop 11000 kilometer tussen het overwinteringsgebied en het broedgebied. Eén verkeerde afslag onderweg en er is al zoveel energieverspilling dat de vogel daardoor zijn eindbestemming niet kan halen.

Een ondersoort van de rosse grutto (*Limosa lapponica lapponica*, zie afbeelding 1) overwintert aan de westkust van Afrika. In de zomer broeden deze vogels in de arctische gebieden van Siberië. Dat is een reis van zo'n 8500 km. Deze langeafstandsvliegers zijn niet in staat om de tocht in één keer te maken. Daarom gebruiken ze de Wadden als tussenstop om uit te rusten en bij te eten.

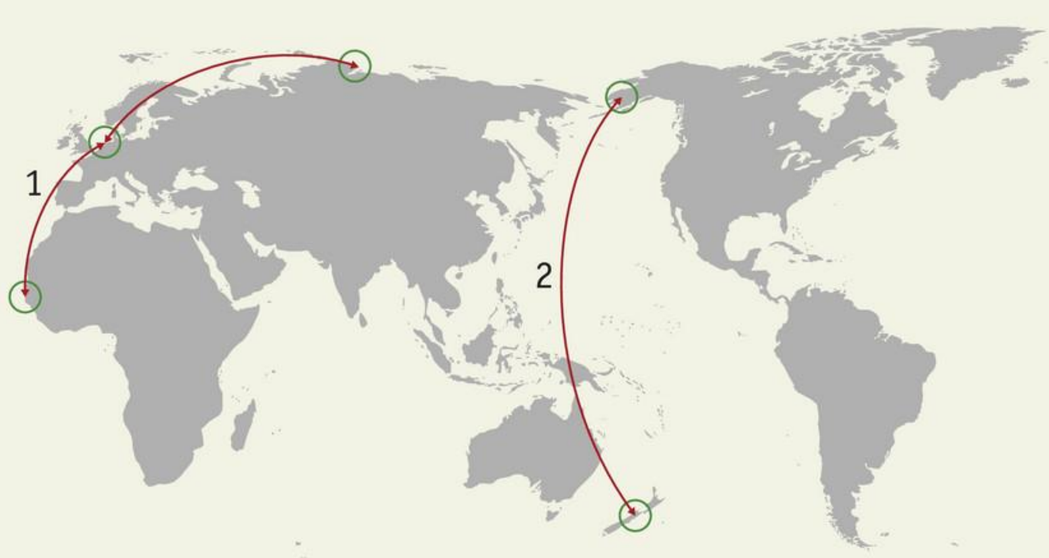
In Nieuw-Zeeland overwintert een andere ondersoort rosse grutto's (*Limosa lapponica taymyrensis*) die non-stop doorvliegen naar Alaska (zie afbeelding 2). Onderzoek met gezenderde vogels heeft aangetoond dat deze vlucht van meer dan 11 000 km in één etappe wordt afgelegd.

Om deze prestatie te kunnen volbrengen, moet de rosse grutto niet alleen heel veel reservevoedsel opslaan, maar daar ook nog eens heel zuinig mee omgaan. Voor hun vertrek eten de vogels heel veel, hierdoor verdubbelt hun lichaamsgewicht bijna van zo'n 270 tot wel 485 gram. Het grootste deel van deze gewichtstoename is het gevolg van de opslag van vet. Bij vertrek bestaat het lichaamsgewicht voor meer dan 50% uit deze energiebron. Andere organen zoals de lever en spijsverteringsorganen worden kleiner. Dat bespaart weer energie tijdens de vlucht, omdat de vogels lichter zijn.

■ **Afb. 1** Rosse grutto.



■ **Afb. 2** De twee migratieroutes van de rosse grutto.



1 = route van West-Afrika via de Waddenzee naar Siberië
2 = route van Nieuw-Zeeland naar Alaska

Bij een gunstige wind vertrekken de vogels en kiezen een vlieghoogte waarmee ze het grootste voordeel halen uit de windstromen, soms wel zes kilometer hoog. Ook dit scheelt weer in de energiekosten. Ongeveer één week na hun vertrek komen de vogels in hun broedgebied aan. Bij aankomst zijn niet alleen hun vetreserves verbruikt, maar zijn ook hun hartspier en vliegspieren een stuk kleiner geworden. Het gewicht van 485 gram is gedaald naar 215 gram.

Veel tijd om te rusten hebben de rosse grutto's niet. In het korte broedseizoen, van juni tot en met augustus, moeten ze hun eieren leggen, uitbroeden en jongen grootbrengen. In het vroege najaar vertrekken de vogels weer in omgekeerde richting, terug naar West-Afrika of Nieuw-Zeeland. Hopelijk kunnen ze daar genieten van een welverdiende winterzonvakantie.

Opdrachten

1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau.
Kies uit: *arctische gebieden in Siberië – hartspier – lever – Limosa lapponica lapponica – Limosa lapponica taymyrensis – Nieuw-Zeeland – rosse grutto – vet – vliegspier – Wadden – westkust van Afrika.*

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

2 Waarom is de titel van deze Samenhang 'Energiecrisis'?

3 **a** Kunnen de ondersoorten *Limosa lapponica lapponica* en *Limosa lapponica taymyrensis* samen vruchtbare nakomelingen krijgen?
b Behoren de ondersoorten *Limosa lapponica lapponica* en *Limosa lapponica taymyrensis* tot dezelfde populatie?

4 **a** Welke stoffen worden als brandstof verbruikt als de hartspier en de borstspier kleiner worden? Leg je antwoord uit.
b Waarom kunnen de hartspier en de vliegspieren niet veel kleiner worden?

5 Leg uit waarom het voor deze trekvogels belangrijk is om een goed ontwikkeld ademhalingsstelsel te hebben.

6 Door opwarming van de aarde stijgt de temperatuur op de toendra. Hierdoor zijn er meer insecten dan voorheen.
Welk voordeel heeft dit voor de rosse grutto?

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

8.O.1 Je kunt de werking van het enzym katalase aantonen.

- Basisstof 2

Waterstofperoxide en katalase

25 minuten

INLEIDING

Waterstofperoxide (H_2O_2) ontstaat als bijproduct van verschillende reacties in cellen. Waterstofperoxide kan schade in cellen veroorzaken. Het is dan ook belangrijk dat het snel uit de cellen verdwijnt. Alle cellen bezitten het enzym katalase, dat waterstofperoxide omzet in water en zuurstof: $2\ H_2O_2 \rightarrow 2\ H_2O + O_2$
In deze practicumopdracht onderzoek je wat de werking is van katalase.

MATERIAAL

- aardappel
- mes
- twee erlenmeyers van 100 mL
- waterstofperoxideoplossing van 3% (pas op met morsen!)
- maatcilinder van 10 mL
- houtspaander
- lucifers of een aansteker

METHODE

- Snijd een stukje aardappel in kleine blokjes en doe die in een van de erlenmeyers.
- Doe in beide erlenmeyers 10 mL waterstofperoxideoplossing.
- Voeg aan de erlenmeyer zonder aardappel water toe, totdat de inhoud van beide erlenmeyers gelijk is. Laat de erlenmeyers enkele minuten staan.
- Toon de ontstane zuurstof aan met een gloeiende houtspaander.

CONCLUSIE

1 Waaraan kun je zien dat waterstofperoxide onder invloed van de stukjes aardappel wordt gesplitst in water en zuurstof?

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

8.O.2 Je kunt het effect van de pH-waarde op de werking van het enzym katalase uitleggen.

- Basisstof 2
- Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)

De invloed van de pH op de activiteit van katalase

30 minuten

INLEIDING

De werking van katalase is afhankelijk van de temperatuur en van de pH. In deze practicumopdracht onderzoek je de activiteit van katalase bij verschillende pH's. Voer het onderzoek uit met twee personen. Maak een verslag van het onderzoek.

ONDERZOEKSVRAAG

Formuleer een passende onderzoeksvraag die het verband aangeeft tussen de pH en het effect dat je wilt meten.

HYPOTHESE

Formuleer een bondige en duidelijke hypothese die past bij je onderzoeksvraag.

MATERIAAL

- afhankelijk van de methode

METHODE

Ontwerp een experiment om de activiteit van katalase bij verschillende pH's te meten. Zorg ervoor dat je meetmethode valide en betrouwbaar is, maar ook uitvoerbaar binnen de beschikbare tijd. Bedenk een goede manier om de activiteit van het enzym te meten. Zorg er ook voor dat de behandelingen vergelijkbaar zijn.

RESULTAAT

Verwerk de gemeten resultaten overzichtelijk in een tabel en/of een grafiek.

CONCLUSIE

1 Wordt de hypothese bevestigd? Of kun je geen conclusie trekken?

DISCUSSIE

2 Op welke onderdelen is de proef anders verlopen dan gepland?

3 Hoe zou je de validiteit en de betrouwbaarheid van je onderzoek (nog verder) kunnen verbeteren?

Practicumopdracht 3

ONDERZOEKSDOEL

8.O.3 Je kunt aantonen dat bij planten in het licht zetmeel wordt gevormd.

- Basisstof 3
- Vaardigheid 4 (thema 1)

De vorming van zetmeel in een blad

50 minuten

INLEIDING

De glucose die bij fotosynthese ontstaat, wordt in bladeren van planten vrijwel onmiddellijk omgezet in zetmeel. Zetmeel kun je aantonen met een joodoplossing. Er treedt dan blauwkleuring op. In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van licht op de vorming van zetmeel in een blad.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de invloed van belichting op de vorming van zetmeel in een blad?

HYPOTHESE

Alleen in delen van het blad die worden belicht, ontstaat zetmeel.

MATERIAAL

- plant (bijvoorbeeld een geranium) waarvan de bladeren gedeeltelijk zijn afgedekt met aluminiumfolie en die achtereenvolgens 24 uur in het donker en 24 uur in het licht heeft gestaan
- maatcilinder van 250 mL
- bekerglazen van 500 mL en van 100 mL
- ethanol of spiritus
- pincet
- kookplaatje of heetwaterbad (100 °C)
- petrischaaltje
- joodoplossing
- tekenpapier, tekenmateriaal
- timer

METHODE

- Pluk een gedeeltelijk afgedekt blad van de plant. Maak een tekening van dit blad. Breng intussen 250 mL water in het bekerglas van 500 mL aan de kook.
- Verwijder het aluminiumfolie van het blad. Dompel het blad een halve minuut in het kokende water. Het blad verliest dan zijn stevigheid. Zet het kookplaatje uit (veiligheid).
- Vul het bekerglas van 100 mL met 25 mL ethanol of spiritus.
- Haal met het pincet het blad uit het water. Doe het blad in het bekerglas met ethanol.
- Plaats het kleine bekerglas in het grote bekerglas. Het water in het grote bekerglas is nog heet genoeg om het ethanol of de spiritus aan de kook te brengen. Houd je hoofd niet boven het ethanol!
- Haal na enkele minuten het blad uit het ethanol. Het blad moet nu ontkleurd zijn.
- Spreid het blad uit op de petrischaal. Druppel voorzichtig joodoplossing over het hele blad.

RESULTAAT

Hoe ziet het blad eruit na de behandeling? Maak een tekening van het blad.

CONCLUSIE

1 Vergelijk de delen van het blad die wel en niet zijn belicht. Welke conclusie kun je trekken?

Practicumopdracht 4

ONDERZOEKSDOEL

8.O.4 Je kunt een proefopstelling ontwerpen waarmee je het effect van de temperatuur op de fotosynthese zichtbaar kunt maken.

- Basisstof 3
- Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)

De invloed van temperatuur op de fotosynthese

50 minuten

INLEIDING

In afbeelding 1 is een proefopstelling weergegeven waarmee je fotosynthese bij een takje waterpest kunt onderzoeken. Als je de opstelling in het licht plaatst, ontstaan er gasbelletjes. Deze worden in de reageerbuis opgevangen.

■ **Afb. 1** Proefopstelling voor fotosyntheseonderzoek.



ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de invloed van de temperatuur op de intensiteit van de fotosynthese?

HYPOTHESE

1 Formuleer een passende hypothese bij de onderzoeksvraag.

MATERIAAL

- bekerglazen van 150 mL
- takjes waterpest
- reageerbuizen met schaalverdeling
- thermometer
- water van verschillende temperatuur, beginnend bij 0 °C met intervallen van 5 °C
- lichtbron
- stopwatch

METHODE

2 Beschrijf een methode om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden. Maak hierbij gebruik van de gegeven materialen.

RESULTAAT

3 Met welke soort grafiek kun je de resultaten het best weergeven?

CONCLUSIE

4 Formuleer op basis van je resultaten een conclusie.

Practicumopdracht 5

ONDERZOEKSDOEL

8.O.5 Je kunt de intensiteit van anaerobe dissimilatie bij gisten bepalen.

- Basisstof 5
- Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)

De intensiteit van alcoholgisting bij bakkersgist

45 minuten

INLEIDING

Gist is een eencellige schimmel. Gedroogde bakkersgist kun je in de supermarkt kopen. De cellen worden heel snel actief als ze in vloeistof terechtkomen. Gisten gebruiken suiker (sacharose) als energiebron. Met behulp van enzymen breken de gistcellen suiker eerst af tot glucose en fructose. Bij de anaerobe dissimilatie van glucose en fructose ontstaan alcohol en CO_2. Door het gasvormige CO_2 op te vangen, kun je de intensiteit van de anaerobe dissimilatie van bakkersgist bij verschillende temperaturen bepalen.

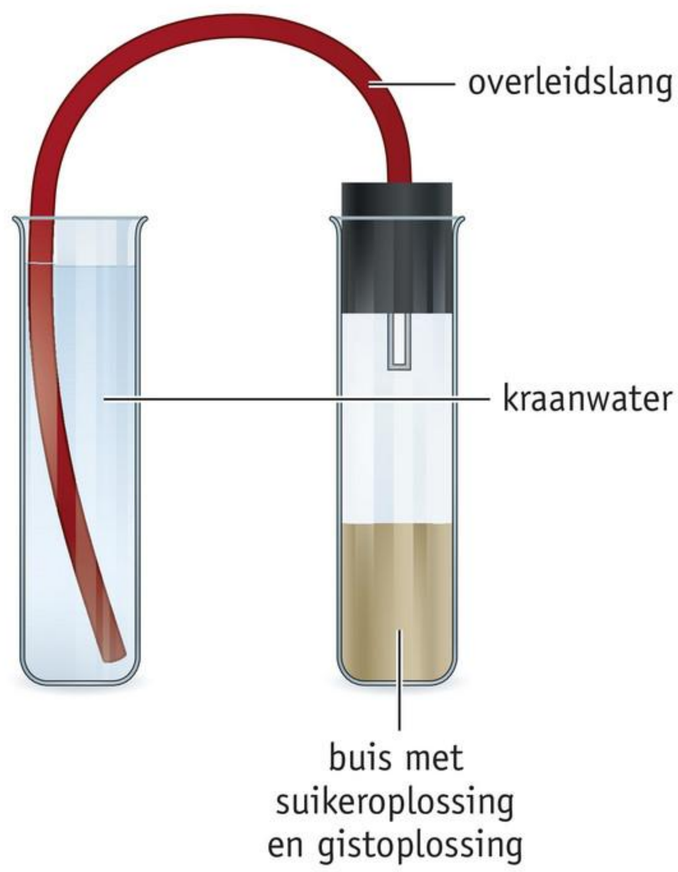
MATERIAAL

- weegschaal
- 10 g gedroogde bakkersgist
- 10 g suiker
- roerstaafje
- maatcilinder van 50 mL
- zeven platte buizen
- drie overleidslangetjes
- drie stoppen om de platte buizen af te sluiten
- bekerglas met water van 20 °C
- waterbad met een temperatuur van 40 °C
- waterbad met een temperatuur van 60 °C
- stopwatch

METHODE

- Los 10 g gist op in 50 mL water. Roer goed.
- Los 10 g suiker op in 50 mL water.
- Vul drie platte buizen met 5 mL van de suikeroplossing (buis 1, 2 en 3).
- Roer de gistsuspensie eerst goed door en vul dan drie platte buizen met 5 mL gistsuspensie (buis 4, 5 en 6).
- Zet een platte buis met gistoplossing en een platte buis met suikeroplossing in het bekerglas met water van 20 °C (buis 1 en 4).
- Zet een platte buis met gistoplossing en een platte buis met suikeroplossing in het waterbad met een temperatuur van 40 °C (buis 2 en 5).
- Zet een platte buis met gistoplossing en een platte buis met suikeroplossing in het waterbad met een temperatuur van 60 °C (buis 3 en 6).
- Vul één platte buis tot 1 cm onder de rand met kraanwater.
- Meng na vijf minuten wachten de gistoplossing en suikeroplossing uit het waterbad van 60 °C en plaats het mengsel terug in het waterbad. Doe de stop met de overleidslang op de platte buis (zie afbeelding 2).
- Meng na weer vijf minuten de gistoplossing en suikeroplossing uit het waterbad van 40 °C en plaats het mengsel terug in het waterbad. Doe de stop met de overleidslang op de platte buis.
- Neem de platte buis uit het waterbad van 60 °C en stop de overleidslang in de platte buis met het kraanwater en tel vier minuten lang het aantal belletjes dat per minuut opstijgt.
- Noteer het aantal belletjes per minuut in een schema.
- Meng ten slotte de gistoplossing en suikeroplossing uit het bekerglas met water van 20 °C en plaats het mengsel terug in het bekerglas. Doe de stop met de overleidslang op de platte buis.
- Ververs het kraanwater in de platte buis.
- Neem de platte buis uit het waterbad van 40 °C en stop de overleidslang in de platte buis met het kraanwater en tel vier minuten lang het aantal belletjes dat per minuut opstijgt.
- Noteer het aantal belletjes per minuut in een schema.
- Ververs het kraanwater in de platte buis.
- Neem de platte buis uit het bekerglas met water van 20 °C en stop de overleidslang in de platte buis met het kraanwater en tel vier minuten lang het aantal belletjes dat per minuut opstijgt.
- Noteer het aantal belletjes per minuut in een schema.

■ **Afb. 2** Proefopstelling.



RESULTATEN

Aantal belletjes CO_2				
Temperatuur in °C	minuut 1	minuut 2	minuut 3	minuut 4
20				
40				
60				

Maak van de resultaten uit het schema een grafiek.

Beantwoord de volgende vragen.

1 Waarom moet je vijf minuten wachten voordat je de suikeroplossing mag mengen met de gistoplossing?
2 Waarom moet je weer vijf minuten wachten voordat je de CO_2-belletjes kunt tellen?
3 Hoe kun je aantonen dat het gas dat vrijkomt CO_2 is?

CONCLUSIE

4 Welke conclusie kun je trekken uit dit experiment?

Practicumopdracht 6

ONDERZOEKSDOEL

8.O.6 Je kunt aantonen dat de basale stofwisseling tussen meisjes en jongens verschillend is.

▶ Basisstof 6

De intensiteit van de basale stofwisseling

15 minuten

INLEIDING

Bij elk organisme vindt voortdurend stofwisseling plaats. Bij dieren en mensen is het zuurstofverbruik een maat voor de intensiteit van de dissimilatie. In deze practicumopdracht onderzoek je de intensiteit van de dissimilatie in rust bij meisjes en jongens.

ONDERZOEKSVRAAG

Is de intensiteit van de basale stofwisseling bij een meisje hoger dan, lager dan, of gelijk aan die van een jongen?

HYPOTHESE

De basale stofwisseling is bij jongens hoger dan bij meisjes.

MATERIAAL

- spirometer
- stopwatch
- personenweegschaal
- rekenmachine

METHODE

Bepaal met de spirometer het totale ademvolume gedurende een minuut van een meisje en een jongen in rust.

- Stel de spirometer op nul. Laat elke proefpersoon gedurende een halve minuut door de spirometer uitademen.
- Noteer de totale hoeveelheid uitgeademde lucht.
- Bepaal het gewicht van de proefpersonen.
- Bereken de hoeveelheid verbruikte zuurstof per minuut in liter. Ingeademde lucht bevat, afgerond, 20% zuurstof. Ga ervan uit dat een kwart van de zuurstof in de ingeademde lucht wordt verbruikt.
- Bereken de intensiteit van de stofwisseling in $L(O_2) \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ bij een meisje en bij een jongen.

RESULTAAT

Noteer de uitslag van de spirometer en de berekening bij een meisje en bij een jongen.

CONCLUSIE

1 Welke conclusie kun je trekken uit de vergelijking van de hypothese met de resultaten?

DISCUSSIE

2 Op welke manieren zou je het resultaat van de metingen betrouwbaarder kunnen maken? Noteer er twee.

Practicumopdracht 7

ONDERZOEKSDOEL

8.O.7 Je kunt aantonen dat de intensiteit van de fotosynthese afhankelijk is van diverse abiotische factoren.

- Basisstof 6
- Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)

De intensiteit van de fotosynthese

50 minuten

INLEIDING

In afbeelding 3 is een proefopstelling weergegeven waarmee je fotosynthese kunt onderzoeken. Als je de opstelling in het licht plaatst, ontstaan er gasbelletjes. Deze worden in de reageerbuis opgevangen. In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van verschillende factoren op de intensiteit van de fotosynthese.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de invloed van licht, temperatuur, pH en de koolstofdioxideconcentratie op de intensiteit van de fotosynthese?

HYPOTHESE

Een hogere lichtintensiteit, temperatuur, pH en koolstofdioxideconcentratie zorgen voor een sterkere fotosynthese.

MATERIAAL

- takje waterpest van 5 cm lang
- bekerglas van 250 mL
- reageerbuis
- felle lamp
- thermometer
- 150 mL water op kamertemperatuur
- 150 mL water met een temperatuur van 40 °C
- 150 mL koolzuurhoudend water op kamertemperatuur

METHODE

Maak een werkplan voor een experiment waarmee je de onderzoeksvraag kunt beantwoorden. Bekijk de materiaallijst en gebruik eventueel afbeelding 3.

RESULTAAT

Noteer je waarnemingen en zet de resultaten van je experiment uit in een tabel en/of grafiek.

CONCLUSIE

Formuleer op basis van je resultaten een conclusie.

DISCUSSIE

Maak een verslag van deze practicumopdracht.
Beantwoord in je verslag ook de volgende vragen.

1 Waarom wordt in dit onderzoek het aantal gasbelletjes per minuut genoteerd?
2 Waardoor is het aantal gasbelletjes per minuut in warm water (40 °C) hoger dan in water van kamertemperatuur?
3 Leg uit dat CO_2 in normaal water een beperkende factor is.
4 Wat is het verband tussen een sterkere fotosynthese en een hogere biomassa van planten?

■ **Afb. 3** Proefopstelling voor fotosyntheseonderzoek.



SAMENVATTING

8.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt omschrijven wat stofwisseling, assimilatie en dissimilatie zijn en wat daarbij met de energie gebeurt.

- Stofwisseling: geheel van chemische processen in de cel (*BiNaS* tabel 67F, 67G, 67H).
  - Assimilatie: opbouw van organische moleculen uit kleinere moleculen. Hiervoor is energie nodig.
  - Dissimilatie: afbraak van organische moleculen tot kleinere moleculen. Hierbij komt energie beschikbaar.
- Koolstofassimilatie: de vorming van glucose uit koolstofdioxide en water.
  - Alleen autotrofe organismen zijn in staat tot koolstofassimilatie.
  - Fotosynthese: koolstofassimilatie met behulp van lichtenergie.
  - Bij de fotosynthese ontstaat ook zuurstof.
- Voortgezette assimilatie: vorming van koolhydraten, vetten, eiwitten en DNA uit glucose.
  - Bij voortgezette assimilatie ontstaan grote organische moleculen met energierijke bindingen.
  - Resultaat: vorming van de organische stoffen waaruit cellen bestaan.
  - De koolwaterstofbinding (C–H) is energierijk.
- Dissimilatie vindt plaats in autotrofe en heterotrofe organismen.
  - In cellen wordt glucose vaak als brandstof gebruikt.
- In cellen wordt chemische energie getransporteerd door ATP (adenosinetrifosfaat).
  - Bij afsplitsing van een fosfaatgroep van ATP ontstaat ADP en komt energie beschikbaar.
  - Energie kan onder andere beschikbaar komen in de vorm van warmte of kinetische energie.

8.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt de bouw en werking van enzymen beschrijven.

- Enzymen katalyseren stofwisselingsreacties zonder daarbij zelf te worden verbruikt.
- Enzymen zijn eiwitmoleculen met een bindingsplaats met een specifieke ruimtelijke structuur (het actieve centrum).
  - De enzymwerking ontstaat door de binding van het substraat aan het enzym.
  - Het substraat is de stof waarop een enzym inwerkt.
  - Het substraatmolecuul past in het actieve centrum; bij binding ontstaat het enzym-substraatcomplex.
  - De reactie (enzymwerking) vindt plaats in het actieve centrum.
  - De stoffen die na de reactie ontstaan, noem je reactieproducten.
  - Een enzymmolecuul is specifiek voor één substraat: het actieve centrum past alleen op de moleculen van die stof.
- Enzymatische reacties zijn vaak evenwichtsreacties: ze kunnen in twee richtingen verlopen.
- Een enzym wordt meestal genoemd naar het substraat en heeft het achtervoegsel -ase.

8.2.2

Je kunt de invloed van milieufactoren op de enzymactiviteit beschrijven.

- Enzymactiviteit: de hoeveelheid substraat die per tijdseenheid wordt omgezet.
- Temperatuur: beïnvloedt de enzymactiviteit volgens een optimumkromme.
  - Boven de optimumtemperatuur verliezen enzymmoleculen hun specifieke ruimtelijke structuur.
  - De invloed van de temperatuur op de enzymactiviteit is onomkeerbaar.
- Zuurgraad (pH): beïnvloedt de enzymactiviteit volgens een optimumkromme.
  - De pH van een zure oplossing is lager dan 7.
  - De pH van een basische oplossing is hoger dan 7.
  - De ruimtelijke structuur van enzymmoleculen blijft alleen bij de optimale pH in stand.
  - De invloed van de pH op de enzymactiviteit is bij grote veranderingen in de pH niet omkeerbaar.

8.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt de fotosynthese beschrijven.

- Fotosynthese:
  - koolstofdioxide + water → glucose + zuurstof
  - $6\ CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$
- Fotosynthese vindt plaats in bladgroenkorrels.
  - Bladgroen: pigment dat lichtenergie kan absorberen.
  - Niet alle kleuren van het lichtspectrum worden door bladgroenkorrels geabsorbeerd voor de fotosynthese.
  - In cellen van planten, algen en sommige bacteriën.
  - Lichtenergie wordt gebruikt voor vorming van ATP en splitsing van water in waterstof en zuurstof.
  - Waterstof en de energie uit ATP worden samen met koolstofdioxide gebruikt voor de vorming van glucose.

8.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt de voortgezette assimilatie beschrijven.

- De energiebron voor voortgezette assimilatie is ATP.
- Assimilatie van koolhydraten:
  - Twee monosachariden (bijv. glucose, fructose) vormen samen een disacharide (bijv. sacharose).
  - Vele monosachariden vormen samen een polysacharide (bijv. zetmeel, glycogeen, cellulose).
  - Koolhydraatreserve: bij planten zetmeel, bij dieren glycogeen.
- Assimilatie van eiwitten (*BiNaS* tabel 67H).
  - Eiwitten zijn ketens van aminozuren. Er zijn twintig verschillende aminozuren.
  - Primaire structuur: typen en volgorde van aminozuren in het eiwit.
  - Secundaire structuur: specifieke ruimtelijke vorm van het eiwit (bijv. spiraalvorm).
  - Planten kunnen aminozuren opbouwen uit glucose en stikstofhoudende ionen, vooral nitraationen (NO_3^-).
  - Dieren kunnen alleen aminozuren opbouwen uit andere aminozuren.
- Assimilatie van vetten (*BiNaS* tabel 67G).
  - Triglyceride: glycerol en drie vetzuren.
  - Fosfolipide: glycerol, twee vetzuren en een fosfaatgroep.
  - Vetten worden opgeslagen als reservestof.
  - Celmembranen zijn opgebouwd uit fosfolipiden.
  - Vetzuurstaarten zijn hydrofoob (waterafstotend).
  - De fosfaatgroep van een fosfolipide is hydrofiel (waterminnend).
- Opslag van assimilatieproducten in planten:
  - Omzetting van glucose in zetmeel voorkomt dat de osmotische waarde van bladcellen te veel stijgt.
  - Reservestoffen: opslag in ondergrondse delen zoals wortels, knollen, bollen (koolhydraten) en in zaden (eiwitten en vetten).

8.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt de aerobe en anaerobe dissimilatie van glucose beschrijven.

- Dissimilatie van glucose zorgt voor de energievoorziening van de cel door de vorming van ATP (zie *BiNaS* tabel 68A).
- Aerobe dissimilatie van glucose: verbranding.
  - De verbranding vindt plaats in mitochondriën.
  - glucose + zuurstof → koolstofdioxide + water + ATP
    $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 36$ ATP
- Anaerobe dissimilatie van glucose: gisting (zie *BiNaS* tabel 68B).
  - Per glucosemolecuul worden slechts twee ATP-moleculen gevormd.
  - Energierijke eindproducten: alcohol of melkzuur.
- Alcoholgisting: glucose wordt omgezet in alcohol (ethanol) en CO_2.
  - $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_6O + 2\ CO_2 + 2$ ATP
- Melkzuurgisting: glucose wordt omgezet in melkzuur.
  - $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_3H_6O_3 + 2$ ATP
  - Melkzuurgisting vindt plaats in spieren wanneer in korte tijd veel energie moet worden geleverd.
- In de biotechnologie wordt gebruikgemaakt van de stofwisseling van micro-organismen.
  - Alcoholgisting wordt toegepast bij de bereiding van bier, wijn en brood.
  - Melkzuurgisting wordt toegepast bij de bereiding van kaas, yoghurt en zuurkool.

8.5.2

Je kunt de dissimilatie van vetten en eiwitten beschrijven.

- Afbraak van vetten (zie *BiNaS* tabel 68E).
  - Vetten worden gesplitst in glycerol en vetzuren.
  - Glycerol en vetzuren kunnen worden omgezet in andere stoffen en verbrand in de mitochondriën.

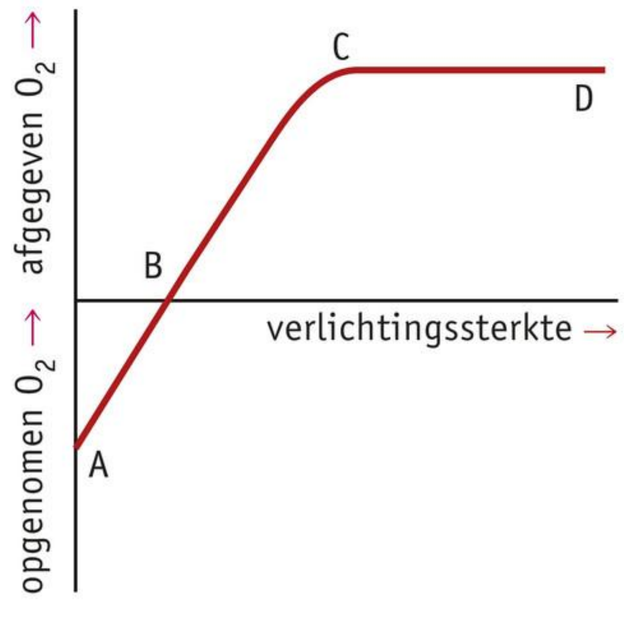
- Afbraak van eiwitten (zie *BiNaS* tabel 68E).
  - Eiwitten worden gesplitst in aminozuren.
  - Van de aminozuren wordt de aminogroep afgesplitst en omgezet in ammoniak.
  - De overblijvende koolstofketen wordt omgezet in andere stoffen en verbrand in de mitochondriën.
- Een overschot aan glucose kan worden omgezet in glycogeen.
  - Glycerol kan worden omgezet in glucose en vervolgens in glycogeen.
  - Glycogeen wordt als energiereserve opgeslagen in de lever en de spieren.
  - Bij een blijvend energieoverschot wordt glucose omgezet in vet dat wordt opgeslagen in het onderhuidse bindweefsel, in de buikholte en rondom de inwendige organen.

8.6.1 BASISSTOF 6

Je kunt de voorwaarden voor het fotosyntheseproces in planten benoemen.

- Intensiteit van de stofwisseling:
  - verbruik van O_2 en productie van CO_2;
  - door verbranding (dieren) en fotosynthese (planten).
- Intensiteit van de fotosynthese is afhankelijk van:
  - factoren licht, water, CO_2, bladgroen en temperatuur.
  - De minst beschikbare factor is de beperkende factor.
- Intensiteit van de fotosynthese bepalen:
  - in het donker: meten O_2-opname (of CO_2-afgifte);
  - in het licht: meten O_2-afgifte (of CO_2-opname);
  - O_2-productie = O_2-opname + O_2-afgifte;
  - CO_2-verbruik = CO_2-afgifte + CO_2-opname.
- Bij afbeelding 1:
  - tussen A en C: licht is de beperkende factor;
  - tussen A en B: de intensiteit van de verbranding is hoger dan de intensiteit van de fotosynthese;
  - (compensatie)punt B: de intensiteit van de verbranding is gelijk aan de intensiteit van de fotosynthese;
  - tussen B en D: de intensiteit van de verbranding is lager dan de intensiteit van de fotosynthese.

■ **Afb. 1** Intensiteit van de fotosynthese.



SAMENHANG

8.S.1 Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair, ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op de stofwisseling van migrerende vogels.

ONDERZOEK – PRACTICA

8.O.1 Je kunt de werking van het enzym katalase aantonen.

8.O.2 Je kunt het effect van de pH-waarde op de werking van het enzym katalase uitleggen.

8.O.3 Je kunt aantonen dat bij planten in het licht zetmeel wordt gevormd.

8.O.4 Je kunt een proefopstelling ontwerpen waarmee je het effect van de temperatuur op de fotosynthese zichtbaar kunt maken.

8.O.5 Je kunt de intensiteit van anaerobe dissimilatie bij gisten bepalen.

8.O.6 Je kunt aantonen dat de basale stofwisseling tussen meisjes en jongens verschillend is.

8.O.7 Je kunt aantonen dat de intensiteit van de fotosynthese afhankelijk is van diverse abiotische factoren.

Ga naar de *Flitskaarten* en de *Oefentoets*.

EXAMENOPGAVEN

BIOLOGISCHE WIJN

Naar: examen havo 2021-3, vraag 15 en 16.

Biologische wijnboer Bernhard maakt bij de druiventeelt en de productie van zijn wijnen zo veel mogelijk gebruik van natuurlijke processen.

Bernhard maakt wijn van de geoogste druiven. Nadat hij de druiven heeft geperst, voegt hij gist toe aan het druivensap. De flessen met het mengsel van druivensap en gist sluit hij af met een waterslot (zie afbeelding 1). Hij zet de flessen op een donkere plaats bij een temperatuur van ongeveer 20 °C. Door gisting ontstaat dan wijn. Die gisting is nogal rumoerig: het borrelt alsof het een werkende vulkaan is. Het waterslot laat het gevormde CO_2 ontsnappen en houdt ongewenste micro-organismen buiten de fles.

■ **Afb. 1** Flessen afgesloten met een waterslot.



2p **1** Bij welk proces ontstaat de grote hoeveelheid CO_2 tijdens de wijnbereiding?

A bij aerobe dissimilatie door de gistcellen
B bij aerobe dissimilatie door de druivencellen
C bij anaerobe dissimilatie door de gistcellen
D bij anaerobe dissimilatie door de druivencellen

Tijdens het proces van wijn maken houdt Bernhard de omstandigheden optimaal.

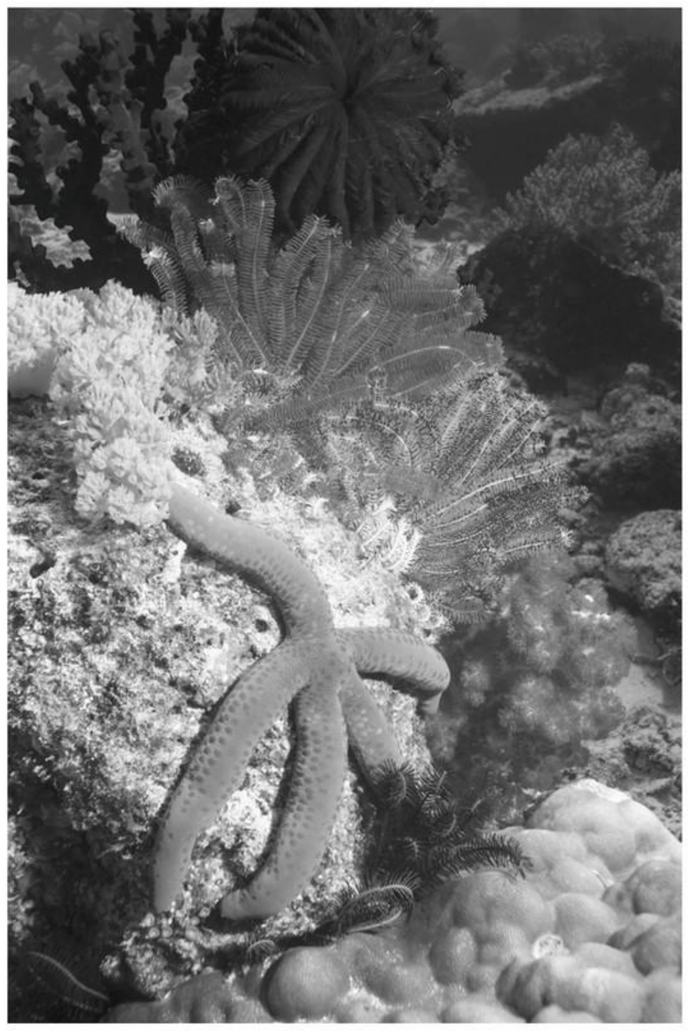
1p **2** Noteer twee abiotische factoren uit de tekst in het kader die van invloed zijn op de wijnproductie.

KORAALRIFFEN

Bron: examen havo 2021-3, vraag 23 tot en met 26.

Koraalriffen hebben al jaren te lijden van opwarming van het zeewater door het versterkte broeikaseffect.
Koraal (zie afbeelding 2) bestaat uit poliepen, die in kolonies samenleven en een gezamenlijk skelet opbouwen van kalk ($CaCO_3$). Veel koralen hebben een symbiotische relatie ontwikkeld met algen. Deze algen, zoöxanthellen geheten, leven in de cellen van de poliepen en geven de koralen hun prachtige kleuren.
Zoöxanthellen produceren organische stoffen waarvan ze het grootste deel aan de poliep afstaan. De zoöxanthellen gebruiken een groot deel van de afvalproducten van de poliepen voor hun stofwisselingsactiviteit.

■ **Afb. 2** Koraal.



2p **3** Welke voedselrelatie bestaat tussen de poliepen en de zoöxanthellen?

A commensalisme
B mutualisme
C parasitisme
D predatie

Vier stoffen of groepen van stoffen zijn:

1 chlorofyl
2 glucose
3 koolstofdioxide
4 water

2p **4** Noteer de nummers 1 tot en met 4 onder elkaar op je antwoordblad en schrijf achter elk nummer of de betreffende stof wel of niet door de zoöxanthel wordt opgenomen uit het cytoplasma van de poliep.

Op een gezond koraalrif vinden processen plaats die effect hebben op de CO_2-concentratie in de atmosfeer:

1 de dissimilatie in de poliepen tijdens de groei
2 de voortgezette assimilatie in de poliepen
3 de vorming van het kalkskelet door de poliepen
4 het afsterven van de zoöxanthellen in de poliepen

2p **5** Welk van de genoemde processen draagt bij aan een daling van de CO_2-concentratie in de atmosfeer?

A proces 1
B proces 2
C proces 3
D proces 4

In het kader van klimaatverandering wordt onderzoek gedaan naar de temperatuurtolerantie van koralen. Bekend is dat jonge poliepen verschillende soorten zoöxanthellen kunnen opnemen.

2p **6** Beredeneer dat het opnemen van verschillende soorten zoöxanthellen de overlevingskans van een poliep vergroot bij temperatuurstijging als gevolg van klimaatverandering.

METHAAN UIT KOEIENWINDEN: BROEIKASEFFECT OF DUURZAME ENERGIE?

Bron: examen havo 2021-3, vraag 35.

Koeien produceren in hun spijsverteringskanaal grote hoeveelheden brandbaar methaangas (CH_4). Het opvangen (zie afbeelding 3) en gebruiken van koeienwinden als duurzame energiebron lijkt dan ook een voor de hand liggende gedachte.

■ **Afb. 3** Het opvangen van koeienwinden.



Wetenschappers proberen echter de methaanproductie bij koeien te verkleinen, omdat methaan een zeer sterk broeikasgas is. Hiervoor doen zij onderzoek naar het verband tussen de voorefficiëntie en de methaanproductie van een koe. De voorefficiëntie is de hoeveelheid melk die een koe per kilogram voer produceert.
In de pens, de eerste grote maag van een koe, wordt gras afgebroken door micro-organismen. De tussenproducten komen beschikbaar voor de koe. Methaanbacteriën, die zich ook in de pens bevinden, vergisten enkele van die tussenproducten tot methaan. Het methaangas komt vrij via winden en oprispend gas. Per dag produceert een koe honderden liters methaangas.
De celwanden van cellen van gras bestaan uit cellulose. Cellulose wordt afgebroken door cellulase in de pens van de koe.

2p **7** Tot welke scheikundige groep behoort cellulase?

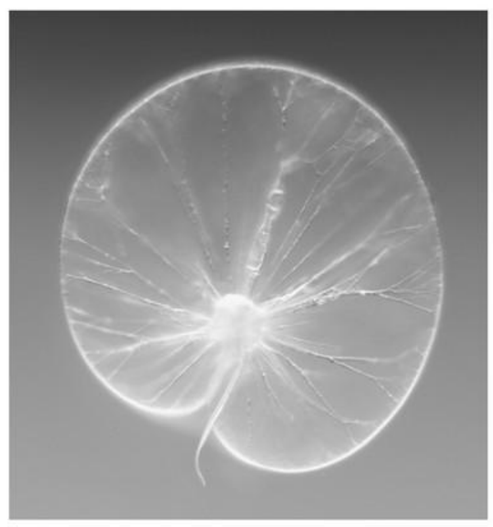
A tot de aminozuren
B tot de eiwitten
C tot de monosachariden
D tot de polysachariden
E tot de vetzuren

LICHTJES IN ZEE

Naar: examen havo 2016-1, vraag 5, 6, 10 en 11.

In de zomer van 2015 werd aan de Zuid-Hollandse kust een rode kleur in het water gesignaleerd. Het bleek te gaan om zeevonk (zie afbeelding 4). 's Nachts werd in het water een blauwgroene gloed waargenomen. De gloed wordt veroorzaakt doordat zeevonken, als het water in beweging wordt gebracht, kleine lichtflitsjes afgeven. Dit verschijnsel heet bioluminescentie. Zeevonken (*Noctiluca scintillans*, letterlijk vertaald flitsend nachtlichtje) zijn eencellige organismen van gemiddeld 0,5-1,0 millimeter groot, met een flagel van 0,2 millimeter. In de tropen kunnen in de cel een of meer symbiotische algen voorkomen. In de Noordzee en in de Waddenzee komt deze symbiose niet voor.

■ **Afb. 4** Zeevonk (*Noctiluca scintillans*).



In de Waddenzee eet de zeevonk algen, bacteriën en jonge larven van bijvoorbeeld mossels en kokkels en daarnaast afgestorven plantaardig en dierlijk materiaal. De zeevonk wordt zelf gegeten door de pijlworm en de zeedruif (een kwallensoort). Als dit gebeurt, kunnen deze predatoren op hun beurt ook weer lichtgevend worden.

2p **8** In de Waddenzee heeft *Noctiluca* een heterotrofe leefwijze.

- Verklaar waarom de leefwijze van zeevonken in de Waddenzee heterotroof wordt genoemd.
- Verklaar waarom de leefwijze van zeevonken in de tropen autotroof kan worden genoemd.

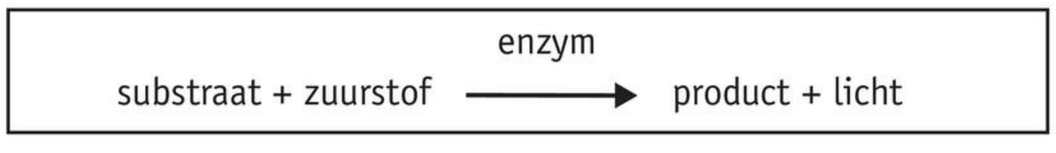
De zeedruif en de pijlworm hebben als predatoren een nuttige functie. Een teveel aan zeevonken per volume-eenheid zeewater (zeevonkbloei) kan tot zuurstofarm water leiden. Zeevonkbloei is op het wateroppervlak zichtbaar als een geeloranje drijvende laag. Niet de zeevonken veroorzaken deze kleur, maar bacteriën die de gestorven zeevonken afbreken.

2p **9** Waardoor ontstaat er zuurstofarm water bij zeevonkbloei?

A doordat er zoveel bacteriën zijn, die als producent vrijwel alle zuurstof gebruiken voor hun dissimilatie
B doordat er zoveel bacteriën zijn, die als reducent vrijwel alle zuurstof gebruiken voor hun dissimilatie
C doordat er zoveel zeevonken zijn, die als consument vrijwel alle zuurstof gebruiken voor hun assimilatie
D doordat er zo veel zeevonken zijn, die als reducent vrijwel alle zuurstof gebruiken voor hun assimilatie

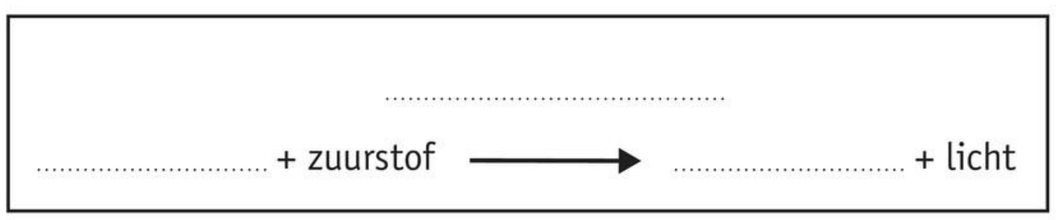
Het licht van zeevonken is blauwgroen van kleur en schrikt sommige predatoren af. Zeevonken produceren dit licht voornamelijk in het donker als het water in beweging wordt gebracht. Het licht ontstaat tijdens een chemisch proces, waarbij energie vrijkomt. Het wordt geproduceerd in speciale organellen, de scintillons, waarin zich de stoffen luciferine en luciferase bevinden. Bij de juiste pH, voldoende zuurstof en beweging van het water wordt oxiluciferine gevormd en komt het blauwgroene licht vrij (zie afbeelding 5).

■ **Afb. 5** Schema.



2p **10** In afbeelding 6 vind je een soortgelijk schema als in afbeelding 5. Vul het schema in met de juiste naam van het enzym, van het substraat en van het product van de in de bovenstaande tekst beschreven reactie.

■ **Afb. 6** Schema.



Ga naar de *Examentrainer.*

NOTITIES



Thema 9

DNA

DNA-moleculen bevatten de informatie voor erfelijke eigenschappen van een organisme, zoals de vachtkleur van een dier, de bloemkleur van een plant, of tegen welke antibiotica een bacterie resistent is. Als DNA verandert, dan kunnen de erfelijke eigenschappen ook veranderen. Mensen kunnen het DNA van organismen aanpassen en zo bijvoorbeeld voorkomen dat muggen ziekten kunnen verspreiden.

Inhoud

ORIËNTATIE

Kunnen we mammoeten terugbrengen? 72
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 DNA 74
2 DNA-replicatie (SE) 82
3 Eiwitsynthese 88
4 Genexpressie 96
5 Mutaties 103
6 DNA-technieken 111

SAMENHANG

DNA van oermens helpt modern immuunsysteem 120

EXTRA STOF

Erfelijke ziekten en afwijkingen bij de mens
Leren en werken

ONDERZOEK

Practica 122

AFSLUITING

Samenvatting 124
Examenopgaven 128

KUNNEN WE MAMMOETEN TERUGBRENGEN?

In de film *Jurassic Park* brengt het (niet echt bestaande) bedrijf InGen uitgestorven dinosaurussen terug op aarde. Je krijgt het idee dat dit een peulenschil is. InGen gebruikt DNA uit bloed van dinosaurussen in gefossiliseerde muggen. Laboranten injecteren het DNA in een embryo van een verwante, levende soort en broeden het ei uit in een incubator. Zo creëren ze in korte tijd hele kuddes dinosaurussen.

De vraag is of je in werkelijkheid ook een uitgestorven soort zoals de wolharige mammoet terug kunt brengen. En heeft zo'n soort dan wel een overlevingskans?

Er zijn mensen die geloven van wel. Zij proberen soorten zoals de wolharige mammoet en de buidelwolf nieuw leven in te blazen. Ze verzamelen bijvoorbeeld mammoet-DNA uit fossielen om zo de volgorde van de nucleotiden in het DNA te achterhalen. Ook zijn er mensen die kenmerken van uitgestorven soorten bij hun nu levende verwanten terug willen fokken. Zo probeerden bijvoorbeeld honderd jaar geleden twee Duitse broers de eigenschappen van het oerrund (uitgestorven in 1627) terug te fokken vanuit de nu levende runderrassen in Europa.

Maar met terugfokken alleen kun je van een olifant nog geen mammoet maken. Hiervoor is echt mammoet-DNA nodig. Hierin ligt het grootste struikelblok voor het terugbrengen van uitgestorven soorten. DNA is erg kwetsbaar en valt snel uit elkaar, een volledig genoom is dus niet zomaar te verkrijgen. Tot nu toe is het niet gelukt om een echt volledig DNA-profiel van een mammoet bij elkaar te puzzelen vanuit DNA uit meerdere fossielen. Soms ontbreekt er maar een paar procent. Dat lijkt weinig, maar tussen het DNA van een chimpansee en een mens zit maar 1% verschil en het effect daarvan is groot.

Er zijn bedrijven die blijkbaar brood zien in het terugbrengen van soorten. Zij proberen de ontbrekende genen van de wolharige mammoet aan te vullen met genen uit nu nog levende soorten die afstammen van of verwant zijn aan de mammoet.

■ **Afb. 1** Mammoetfossiel en reconstructie.



Het resultaat levert dan geen exacte kopie op, maar een proxy. Een proxy is een soort die genetisch veel lijkt op een uitgestorven soort en die dezelfde functie binnen een ecosysteem kan vervullen. Zo kun je dan in plaats van een mammoet, een wolharige olifant krijgen. Het DNA van de mammoet wordt met genen van de Aziatische olifant aangevuld tot een compleet DNA-profiel. Deze wolharige olifanten zouden bestand moeten zijn tegen kou en goed kunnen overleven op de toendra's van Canada en Rusland. Zij zouden de rol die mammoeten hadden kunnen overnemen en zo weer van de toendra een landschap met meer biodiversiteit kunnen maken. Mammoeten trapten jonge boompjes plat en aten ze op, waardoor steppegras kon blijven groeien. Ook maakten zij de grond vruchtbaarder door de mest die ze verspreidden.

Bedrijven zijn bij lange na nog niet zover dat ze een hele populatie wolharige olifanten kunnen uitzetten in het wild. Want het nieuw leven inblazen van een uitgestorven soort is nog niet zo eenvoudig als het lijkt in *Jurassic Park*.

Opdrachten

1 Wat zijn genen?

2 Wanneer zijn twee soorten aan elkaar verwant?

3 Zou je het verschil tussen een mammoet en een wolharige olifant in het DNA kunnen zien? Leg je antwoord uit.

4 Het genetisch manipuleren van organismen is een tijdrovend en duur proces. Stel dat het lukt om enkele tientallen wolharige mammoeten geboren te laten worden, dan is dat geen garantie voor een stabiele populatie van deze nieuwe soort.
Leg dit uit.

5 Tauros is het programma voor het terugfokken van het Europese oerrund, de Auroch. In afbeelding 2 zie je het resultaat van het terugfokprogramma. Hiervoor worden verschillende nu levende rassen met elkaar gekruist om een rund met de uiterlijke, maar ook met de gedragseigenschappen van het oerrund terug te krijgen. Het oerrund was zwart van kleur en had grote hoorns. Om deze eigenschappen bij de nakomelingen te krijgen, worden twee runderen met elkaar gekruist. Een zwarte stier met kleine hoorns (EEHH) en een rode koe met grote hoorns (eehh) worden met elkaar gekruist. De nakomelingen worden onderling weer verder gekruist en produceren zo de F_2.
Hoe groot is de kans op nakomelingen in de F_2 met het gewenste uiterlijk van het oerrund? Leg je antwoord uit met behulp van het kruisingsschema van afbeelding 3.

■ **Afb. 2** Resultaat van het terugfokprogramma voor de Auroch.



■ **Afb. 3** Kruisingsschema.



x



P	♂ EEHH	×	♀ eehh
geslachtscellen	EH		eh
F_1		EeHh	
dus	EeHh	×	EeHh
F_2			

♂ \ ♀	EH	Eh	eH	eh

Ga naar de *Voorkennistoets* en het *Voorkennisfilmpje*.

1 DNA

LEERDOEL

9.1.1 Je kunt de bouw en functies van DNA beschrijven.

▶ Practicum 1

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	9.1.1
Onthouden	2b, 3a, 5
Begrijpen	1, 2acd, 3b, 4, 6
Toepassen	7, 8a, 9b, 11ab
Analyseren	8b, 9a, 10, 11cde

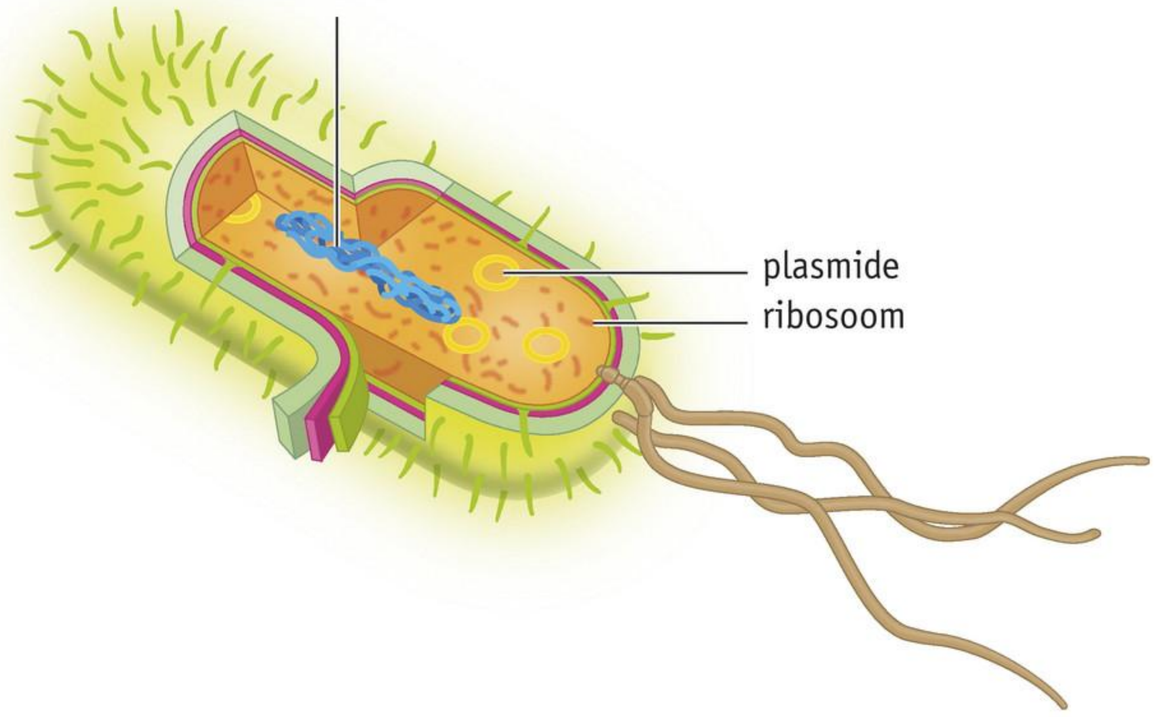
Tussen het DNA van twee organismen van dezelfde soort bestaan veel overeenkomsten. Het DNA in de chromosomen van twee willekeurige mensen komt voor 99,5% overeen. Toch zijn mensen allemaal heel verschillend.

HET GENOOM

Je lichaam is opgebouwd uit veel verschillende celtypen die verschillende functies hebben. Bijna elke cel heeft een celkern met daarin **DNA** (desoxyribonucleïnezuur). Deze stof bevat de informatie voor je erfelijke eigenschappen. Alle DNA-moleculen in een cel van een organisme noem je samen het **genoom**. Het genoom bevat alle informatie voor de erfelijke eigenschappen van een individu. Alle cellen van een organisme hebben hetzelfde genoom.

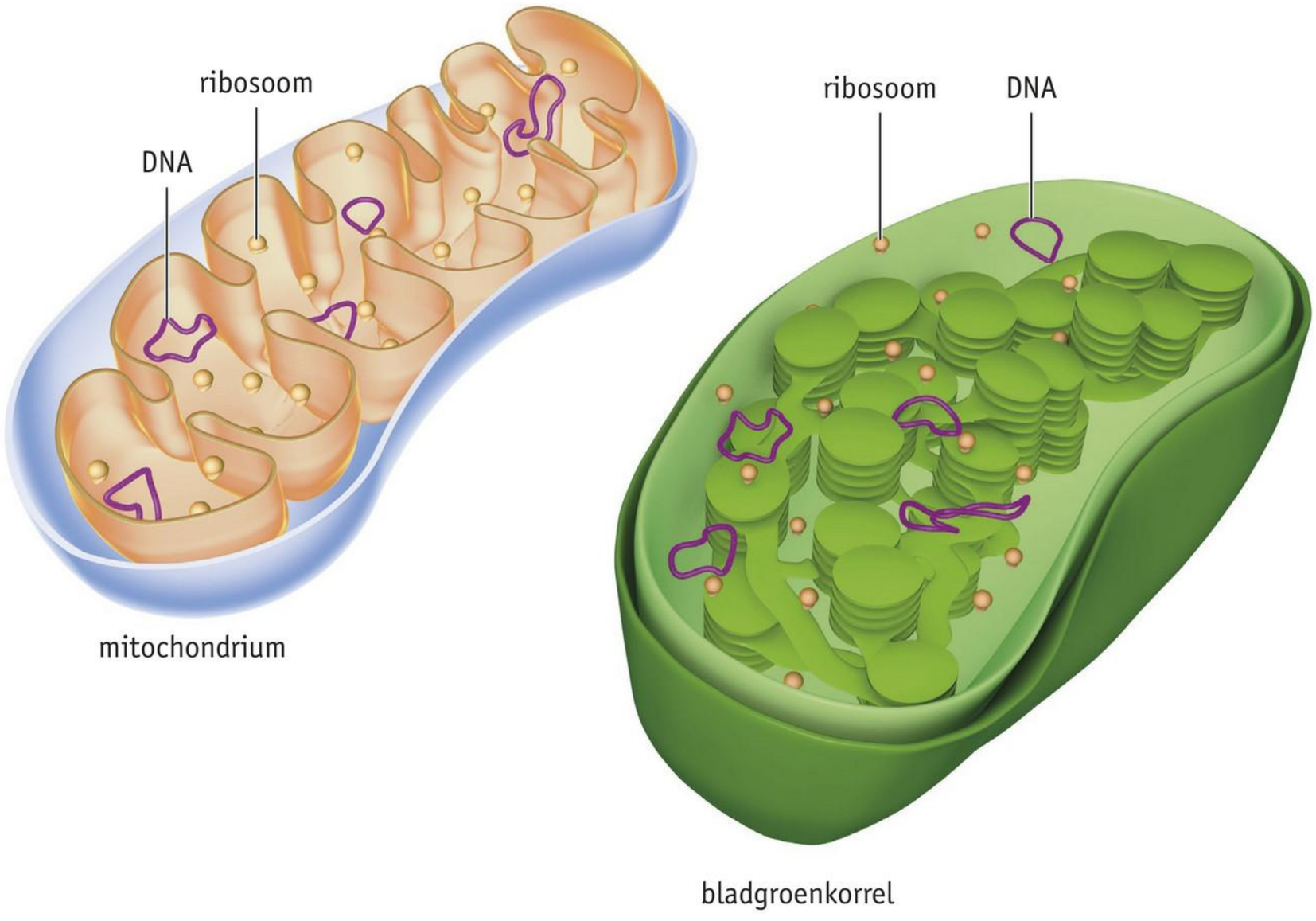
- Het genoom van prokaryoten bestaat uit één groot circulair DNA-molecuul dat los in het cytoplasma van de cel ligt. Sommige prokaryoten bezitten **plasmiden**: korte stukjes circulair DNA (zie afbeelding 1).

■ **Afb. 1** Een bacterie met een circulair DNA-molecuul en plasmiden.



- Het genoom van eukaryoten bestaat uit het DNA van alle chromosomen in de celkern (kernDNA) en het DNA in mitochondriën (mtDNA). Planten hebben bovendien ook DNA in hun bladgroenkorrels (zie afbeelding 2).

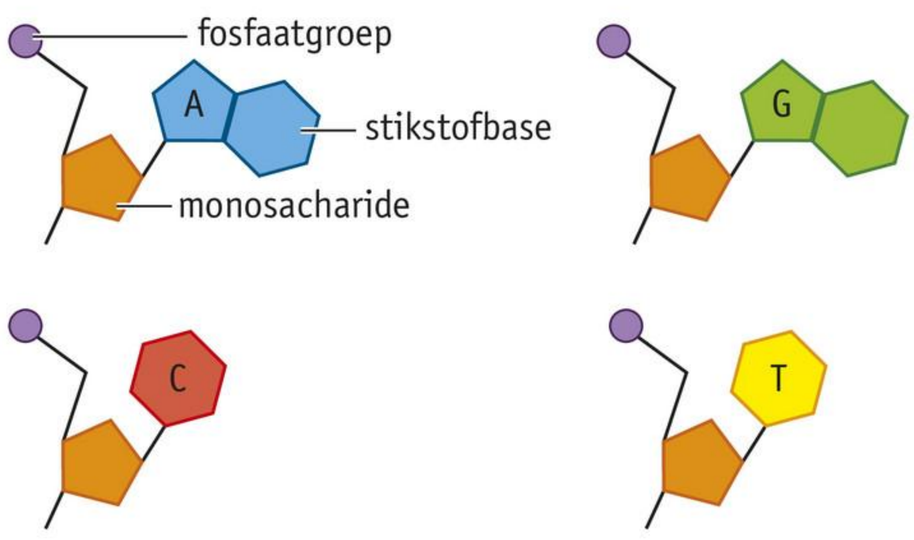
■ **Afb. 2** Mitochondriën en bladgroenkorrels bezitten ook DNA.



DE BOUW VAN DNA

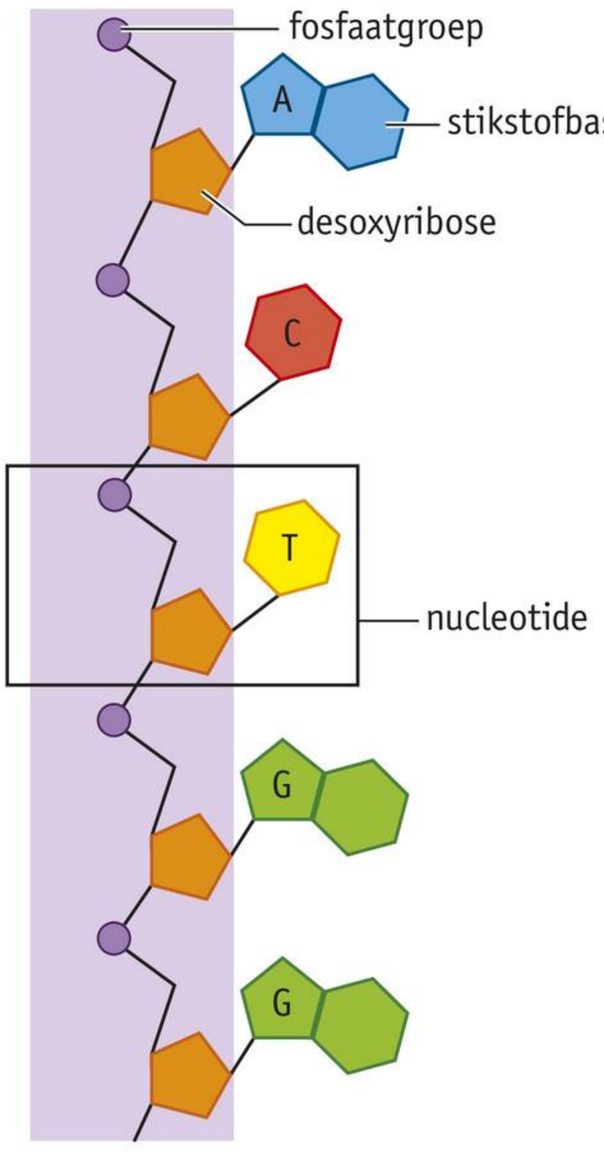
Een DNA-molecuul is een **nucleïnezuur**. Nucleïnezuren werden voor het eerst ontdekt in een celkern (nucleus). Later bleek dat ook in het cytoplasma nucleïnezuren voorkomen. DNA bestaat uit twee ketens van aan elkaar gekoppelde nucleotiden. Een **nucleotide** is opgebouwd uit een monosacharide (desoxyribose), een fosfaatgroep en een stikstofbase (zie afbeelding 3). De stikstofbasen die in DNA-moleculen voorkomen, zijn adenine (A), thymine (T), cytosine (C) en guanine (G).

■ **Afb. 3** Nucleotiden in DNA.



Bij het aan elkaar koppelen van nucleotiden gaat desoxyribose een binding aan met de fosfaatgroep van het volgende nucleotide. Zo ontstaat een lange keten van afwisselend aan elkaar gekoppelde monosachariden en fosfaatgroepen. Zo'n keten noem je enkelstrengs DNA (zie afbeelding 4).

■ **Afb. 4** Enkelstrengs DNA.

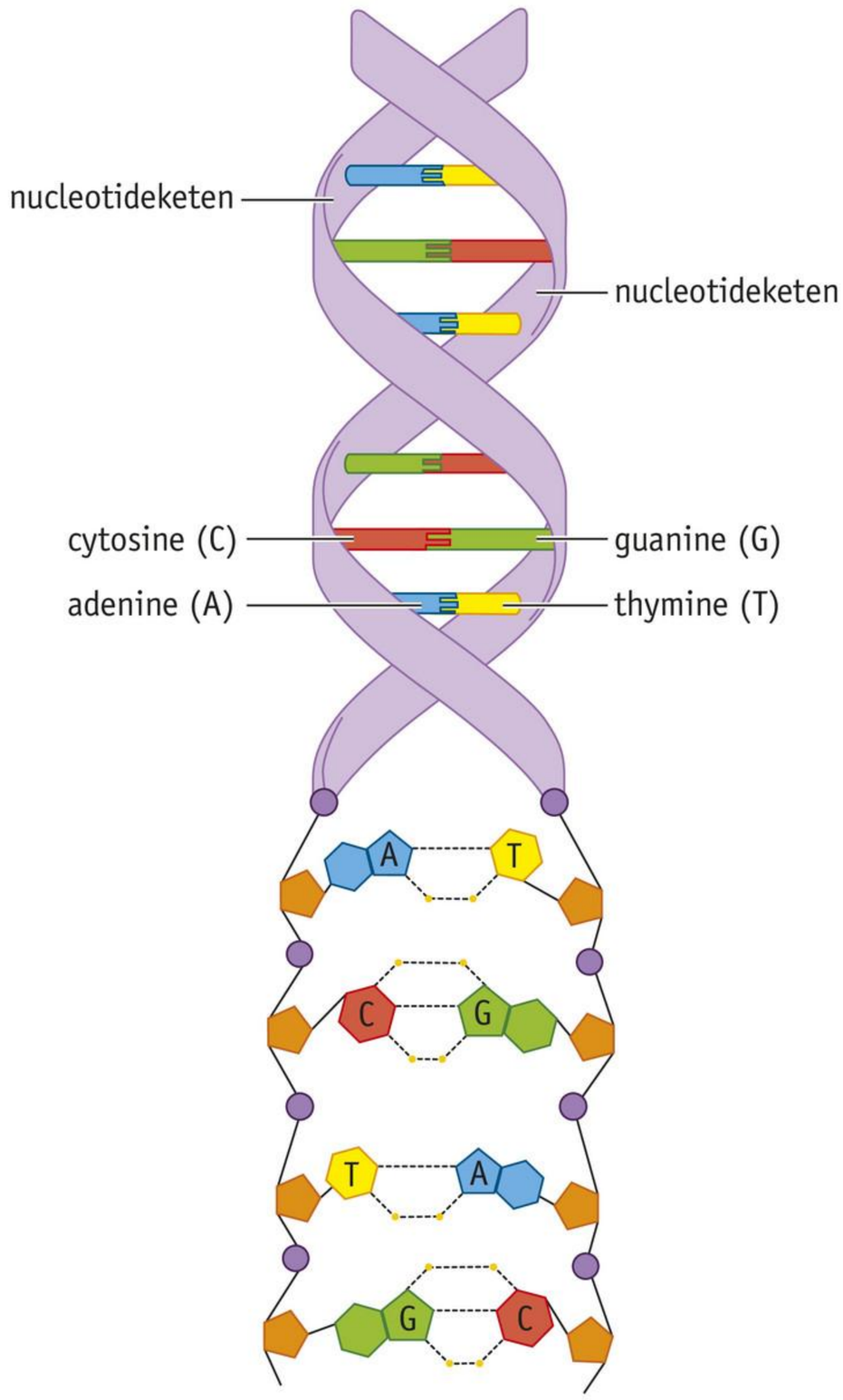


De stikstofbasen steken aan de zijkant uit de keten en kunnen twee nucleotideketens met elkaar verbinden. Dat gebeurt door **basenparing**. Elke stikstofbase koppelt met een vaste andere stikstofbase en vormt zo een **basenpaar**:

- Adenine bindt aan thymine (A – T).
- Guanine bindt aan cytosine (G – C).

Hierdoor ontstaat **dubbelstrengs DNA** waarin de ketens een **helixstructuur** (spiraalvorm) hebben (zie afbeelding 5).

■ **Afb. 5** Twee nucleotideketens in een helixstructuur vormen dubbelstrengs DNA.



Opdrachten KENNIS

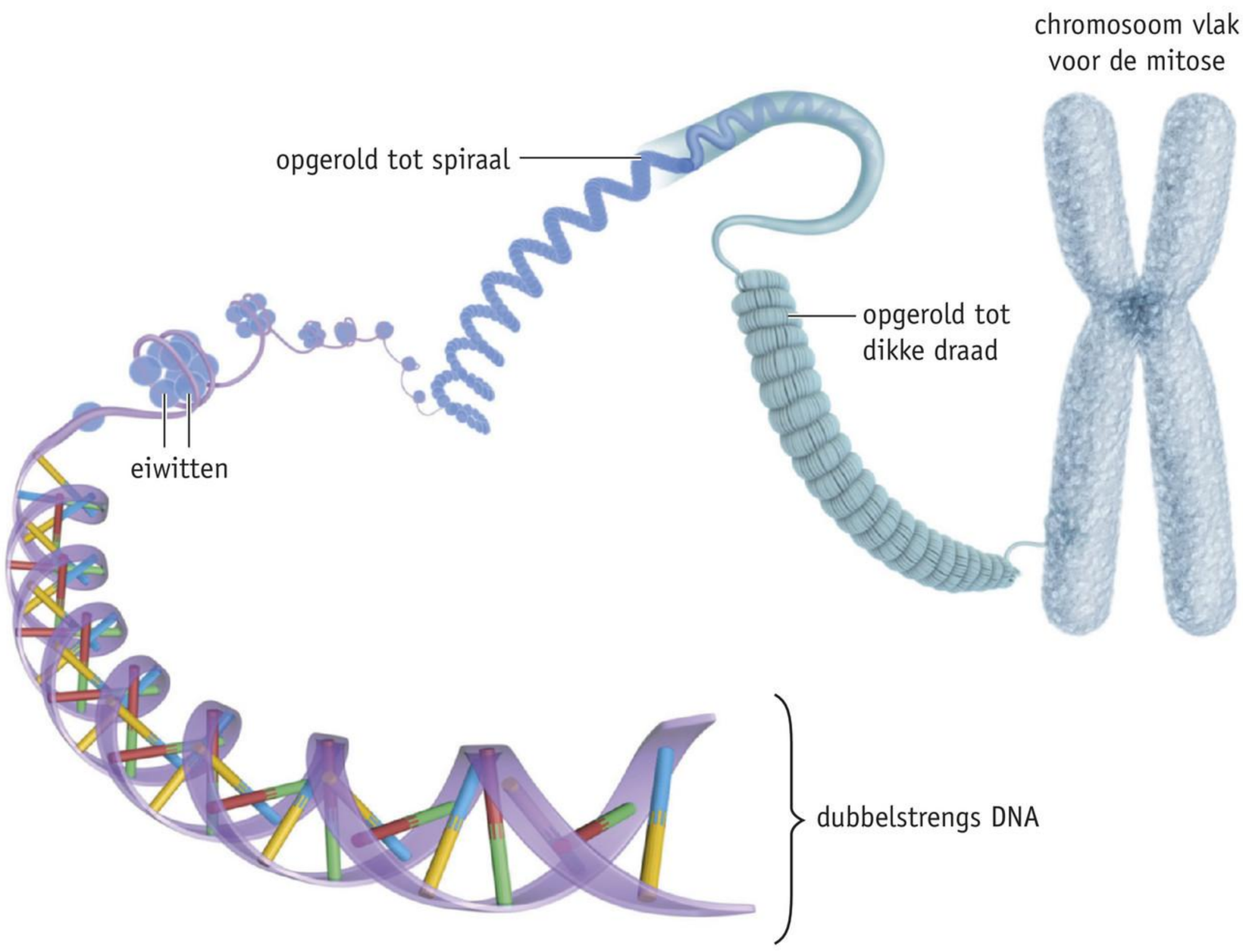
1 In welke organellen van een bladcel van een tomatenplant bevindt zich het genoom?

2 **a** Zet de volgende begrippen in de juiste volgorde van klein naar groot: *chromosoom – DNA – genoom – molecuul – nucleotide – thymine.*
b Uit welke drie delen bestaat een nucleotide?
c Van dubbelstrengs DNA heeft één streng de nucleotidesequentie CGGATACGGTTA. Wat is de nucleotidesequentie van de andere streng?
d Hoe zijn de twee strengen van een dubbelstrengs DNA-molecuul met elkaar verbonden? Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 71B of 71C.

CHROMOSOMEN

Bij eukaryoten is het DNA in de celkern verdeeld over verschillende **chromosomen**. Elk chromosoom bestaat uit één zeer lang dubbelstrengs DNA-molecuul. Het langste DNA-molecuul in een chromosoom van de mens is ongeveer vijf centimeter. Een DNA-molecuul past in een celkern, doordat het rond een aantal eiwitten is gewikkeld. Het krijgt daardoor een compacte vorm (zie afbeelding 6). Afhankelijk van de fase van de celcyclus waarin de cel verkeert, is een DNA-molecuul strakker of losser opgerold. Voorafgaand aan een celdeling wordt het DNA opgerold tot een spiraal (spiraliseren) die verder wordt opgerold tot een dikkere draad. Zo wordt het DNA nog compacter.

■ **Afb. 6** Het compacter maken van een DNA-molecuul.



DNA-SEQUENTIE

De volgorde waarin nucleotiden in een DNA-molecuul zijn gerangschikt, noem je de **DNA-sequentie** of **nucleotidenvolgorde**. In afbeelding 7 zie je een sequentie van een kort stukje enkelstrengs DNA weergegeven.

Een gen is een deel van een chromosoom dat de informatie bevat voor een of meer erfelijke eigenschappen, of voor een deel van een erfelijke eigenschap. Met de DNA-sequentie van een gen kunnen ribosomen een of meer eiwitten maken. Doordat in DNA-sequenties van genen variaties voorkomen (allelen), zullen ribosomen verschillende soorten eiwitten produceren.

■ **Afb. 7** Een sequentie van nucleotiden in een enkelstrengs DNA-molecuul.

```
ATCTCTTGGCTCCAGCATCGATGAAGAACGCA
TCATTTAGAGGAAGTAAAAGTCGTAACAAGGT
GAACTGTCAAAACTTTTAACA CGGATCTCTT
TGTTGCTTCGGCGGCGCCCGCAAGGGTGCCCG
GGCCTGCCGTGGCAGATCCCCAACGCCGGGCC
TCTCTTGGCTCCAGCATCGATGAAGAACGCAG
CAGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAACGCGAT
CGATACTTCTGAGTGTTCTTAGCGAACTGTCA
CGGATCTCTTGGCTCCAGCATCGATGAAGAAC
ACAACGGATCTCTTGGCTCCAGCATCGATGAA
CGGATCTCTTGGCTCCAGCATCGATGAAGAAC
GATGAAGAACGCAGCGAAACGCGATATGTAAT
```

NIET-CODEREND DNA

Bij sommige eukaryoten bestaat maar een klein deel van het DNA in een cel uit genen. Het overige DNA codeert niet voor eiwitten en wordt daarom **niet-coderend DNA** genoemd. Bij de mens bestaat ongeveer 98,5% van het genoom uit niet-coderend DNA. Ook binnen genen worden stukken coderend DNA afgewisseld met stukken DNA-sequentie die niet voor eiwitten coderen.

Na de ontdekking dachten wetenschappers dat niet-coderend DNA geen functie had. Later bleek dat sommige delen van het niet-coderend DNA coderen voor andere moleculen dan eiwitten. Deze moleculen hebben een regelfunctie bij de aanmaak van eiwitten. Soms heeft het niet-coderende DNA zelf een functie bij de eiwitsynthese. Een deel van het niet-coderend DNA bestaat uit genen die hun functie hebben verloren, bijvoorbeeld een gen voor de aanmaak van eigeel bij zoogdieren.

Opdrachten KENNIS

3 Een menselijke celkern bevat 46 chromosomen. De totale lengte van het DNA in deze chromosomen is ongeveer 2 m. De diameter van een menselijk celkern is 10 µm.

a Hoe kan het dat al het DNA in de celkern past?

b Als je cellen die zich in de interfase bevinden bekijkt met een lichtmicroscoop, dan kun je in de celkern geen chromosomen onderscheiden. Als je cellen bekijkt die zich delen, dan kun je wel chromosomen zien.
Waarom zijn chromosomen alleen zichtbaar tijdens de celdeling?

4 **a** Is de DNA-sequentie van een chromosoom of van een gen het langst? Leg je antwoord uit.

b Van een gen kunnen verschillende DNA-sequenties bestaan.
Hoe worden die genoemd?

5 Noem twee functies van niet-coderend DNA.

6 Waarom kunnen cellen soms geen eiwitten aanmaken als delen van het niet-coderend DNA zijn beschadigd?

Opdrachten INZICHT

7 In tabel 1 is weergegeven met welk percentage de vier verschillende stikstofbasen in het totale DNA van enkele organismen voorkomen.
Leg uit dat het percentage van adenine steeds gelijk is aan dat van thymine.

Tabel 1 Het percentage van de vier verschillende stikstofbasen in het totale DNA van enkele organismen.

Organisme	A	T	C	G
E. coli	25%	25%	25%	25%
Gist	32%	32%	18%	18%
Haring	28%	28%	22%	22%
Mens	30%	30%	20%	20%

8 Elke menselijke cel bevat honderden mitochondriën en in elk mitochondrium bevinden zich twee tot tien kopieën van het mtDNA. Het mtDNA bevat dertien genen waarmee mitochondriën eiwitten kunnen maken die allemaal een rol spelen bij de dissimilatie. Het mtDNA erft over via eicellen, een zaadcel geeft alleen kernDNA aan nakomelingen door.

a Waar vind je de genen voor de reproductie van mitochondriën? Leg je antwoord uit.

b Bepaalde aandoeningen zijn het gevolg van mitochondriale overerving.
Waardoor komen deze aandoeningen vaak tot uiting in weefsels en organen die veel energie nodig hebben?

9 Mitochondriën

Naar: Voorronde Biologie Olympiade 2017, vraag 5 en 6.

Mitochondriën vermenigvuldigen zich via deling. Het grootste deel van de genetische informatie voor de vermenigvuldiging van de mitochondriën bevindt zich in de celkern, maar mitochondriën hebben ook eigen DNA.
Over de overdracht van mitochondriën worden de volgende vier beweringen gedaan:
De mitochondriën van een embryo kunnen afkomstig zijn van ...

I de opa van moeders zijde
II de oma van vaders zijde

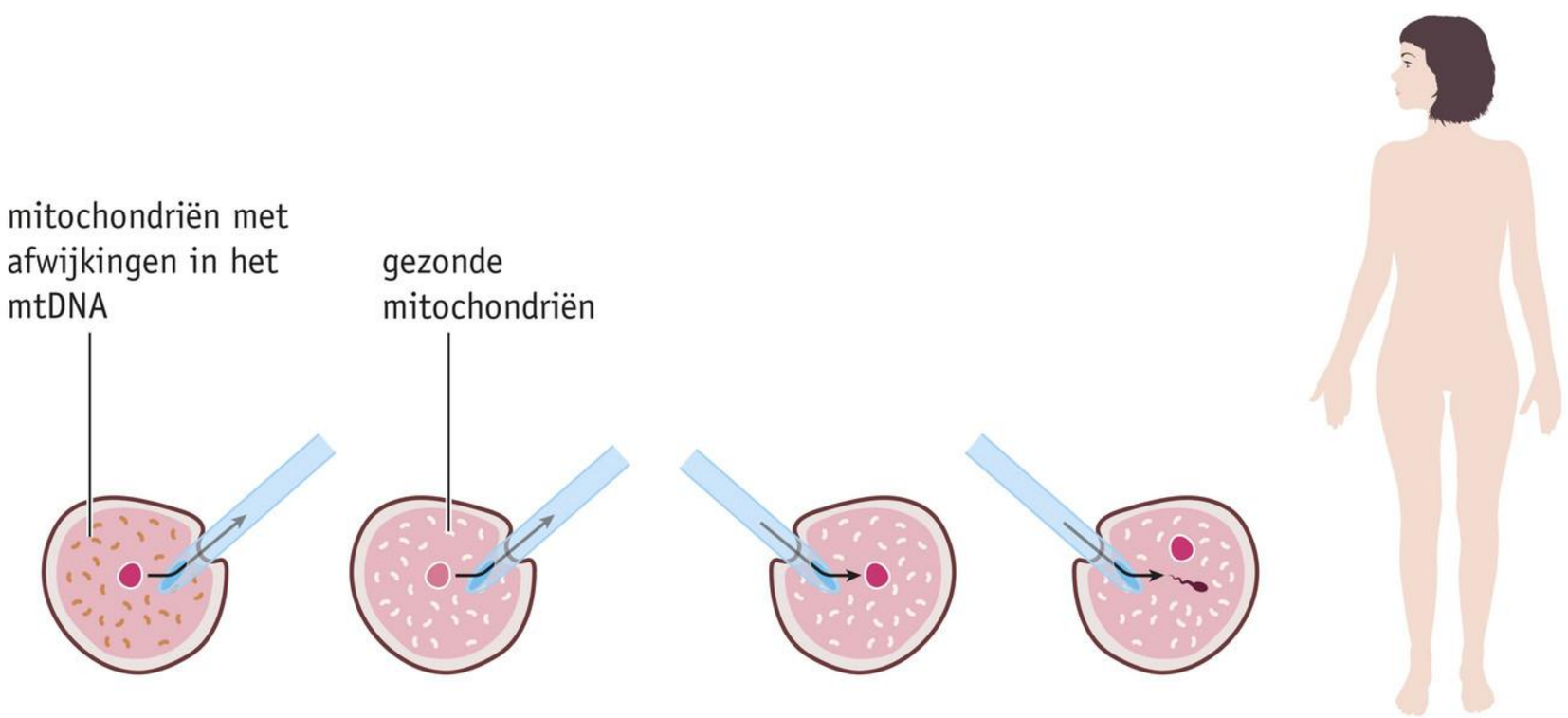
Afwijkingen in de mitochondriën van een embryo kunnen veroorzaakt worden door genen afkomstig van ...

III de opa van moeders zijde
IV de oma van vaders zijde

a Geef voor iedere bewering aan of deze juist of onjuist is. Leg je antwoord uit.

b Doordat mitochondriën zo'n belangrijk aandeel hebben in de ATP-productie, kunnen mitochondriale aandoeningen zeer ernstige gevolgen hebben. Om bepaalde mitochondriale aandoeningen te voorkomen is vanaf oktober 2015 in het Verenigd Koninkrijk drie-ouder-ivf toegestaan. Dan wordt eerst de kern uit een donoreicel met gezonde mitochondriën gehaald. Ook uit de eicel van een moeder met defecte mitochondriën wordt de kern gehaald. Hierna worden in de donoreicel de kern uit de eicel van de moeder en een zaadcel van de vader ingebracht (zie afbeelding 8). De bevruchte eicel wordt daarna in de baarmoeder van de moeder geplaatst.
Waarom is drie-ouder-ivf een mogelijke oplossing om mitochondriaal overervende aandoeningen tegen te gaan?

■ **Afb. 8** Procedure van drie-ouder-ivf.



10

Mutaties die optreden in niet-coderend DNA kunnen wel gevolgen hebben voor het functioneren van de cellen waarin deze mutaties plaatsvinden.
Leg dit uit.

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

Context Leefwereld

FRIESE PAARDEN

Het Friese paard is een typisch Nederlands paardenras dat zich onder andere kenmerkt door de prachtige zwarte vacht en manen.

Halverwege de jaren zestig stond het Friese paard op het punt van uitsterven. Er waren nog maar vijfhonderd merries en drie dekhengsten over. Dankzij de inzet van enkele vasthoudende fokkers is het ras nu weer in volle bloei met maar liefst meer dan 70 000 paarden verspreid over zeventig landen.

De onderlinge verwantschap tussen deze paarden is hoog, doordat ze afstammen van een klein aantal individuen en er in de populatie weinig nieuw bloed wordt ingebracht. Dit heeft tot gevolg dat bij het Friese paard enkele erfelijke afwijkingen relatief vaak voorkomen.

Een van deze erfelijke afwijkingen is dwerggroei (zie afbeelding 9). Een dwergpaard heeft korte benen, een groot hoofd en een lange rug. Friese paarden die worden geboren met dwerggroei kunnen wel leven, maar hebben extra zorg nodig. De levensverwachting is lager dan die van gezonde paarden.

De oorzaak voor dwerggroei bij het Friese paard is een recessieve mutatie in het FGFR3-gen. Wanneer beide allelen bij paarden zijn gemuteerd, dan wordt er minder kraakbeen omgezet in been, wat resulteert in dwerggroei.

Zowel fokkers als dierenartsen willen graag meer onderzoek naar deze genetische afwijking om gezondheidsproblemen bij Friese paarden te voorkomen.

■ **Afb. 9** Friese paarden: twee gezonde paarden (rechts) en een paard met dwerggroei (links).



Opdrachten

11 **a** In welke celorganellen bevindt zich het genoom van een Fries paard?

b In de tekst staat dat er weinig nieuw bloed in de populatie komt.
Wat is hier de betekenis van ‘nieuw bloed’?

c Ondanks dat fokkers goed opletten welke paarden ze samen laten voortplanten, kan het toch voorkomen dat twee gezonde ouderpaarden een veulen met dwerggroei krijgen.
Leg met behulp van een kruisingsschema uit hoe dit kan.

♂ \ ♀	EH	eH

d Dierenartsen en fokkers zijn bezig met het ontwikkelen van een DNA-test voor het opsporen van de mutatie in het FGFR3-gen. Hiervoor onderzoeken ze eerst de nucleotidensequentie van het gezonde gen.
Waarom doen ze dit?

e In 2019 werd van verschillende soorten diepvrieslasagne vastgesteld dat er voor de bereiding geen rundvlees was gebruikt zoals op de verpakking stond, maar paardenvlees. Onderzoekers ontdekten dit op basis van analyse van de DNA-sequenties in het vlees.
Hoe kun je met behulp van onderzoek naar DNA-sequenties vaststellen van welke diersoort vlees is?

2 DNA-REPLICATIE (SE)

LEERDOELEN

9.2.1 Je kunt beschrijven hoe DNA-replicatie plaatsvindt.

9.2.2 Je kunt uitleggen wat telomeren zijn en hoe deze bijdragen aan veroudering.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	9.2.1	**9.2.2**
Onthouden	13ab	14ad
Begrijpen	12, 13c	14bce, 15
Toepassen	16, 17	18a, 20abc
Analyseren	19	18b, 20de

Voordat een cel zich deelt, wordt het DNA in de kern gekopieerd. Het DNA wordt bij de deling verdeeld over de dochtercellen. Hierdoor bezitten alle cellen in je lichaam dezelfde kopie van je DNA, behalve de rode bloedcellen.

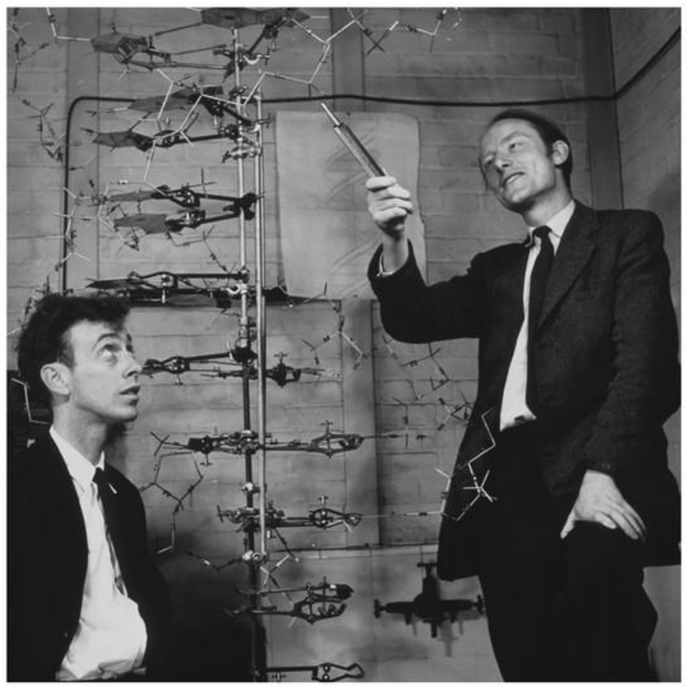
CELCYCLUS

Delende cellen doorlopen een cyclus waarbij ze zich delen, groeien, hun DNA kopiëren en zich opnieuw delen. De fase tussen twee celdelingen in heet de interfase. Ongeveer halverwege de interfase wordt tijdens de **S-fase** (synthesefase) het DNA in de chromosomen gekopieerd. Dit noem je **DNA-replicatie**. Tijdens de **M-fase** (mitose) vindt de celdeling plaats en worden de kopieën van de chromosomen verdeeld over de dochtercellen. Hierdoor is het genoom in beide dochtercellen gelijk (zie *BiNaS* tabel 76).

DNA-REPLICATIE

In 1953 ontdekten James Watson en Francis Crick de structuur van DNA (zie afbeelding 10). Kort daarna vonden ze ook uit hoe de sequentie van nucleotiden in dubbelstrengs DNA door de basenparing gemakkelijk kan worden gekopieerd.

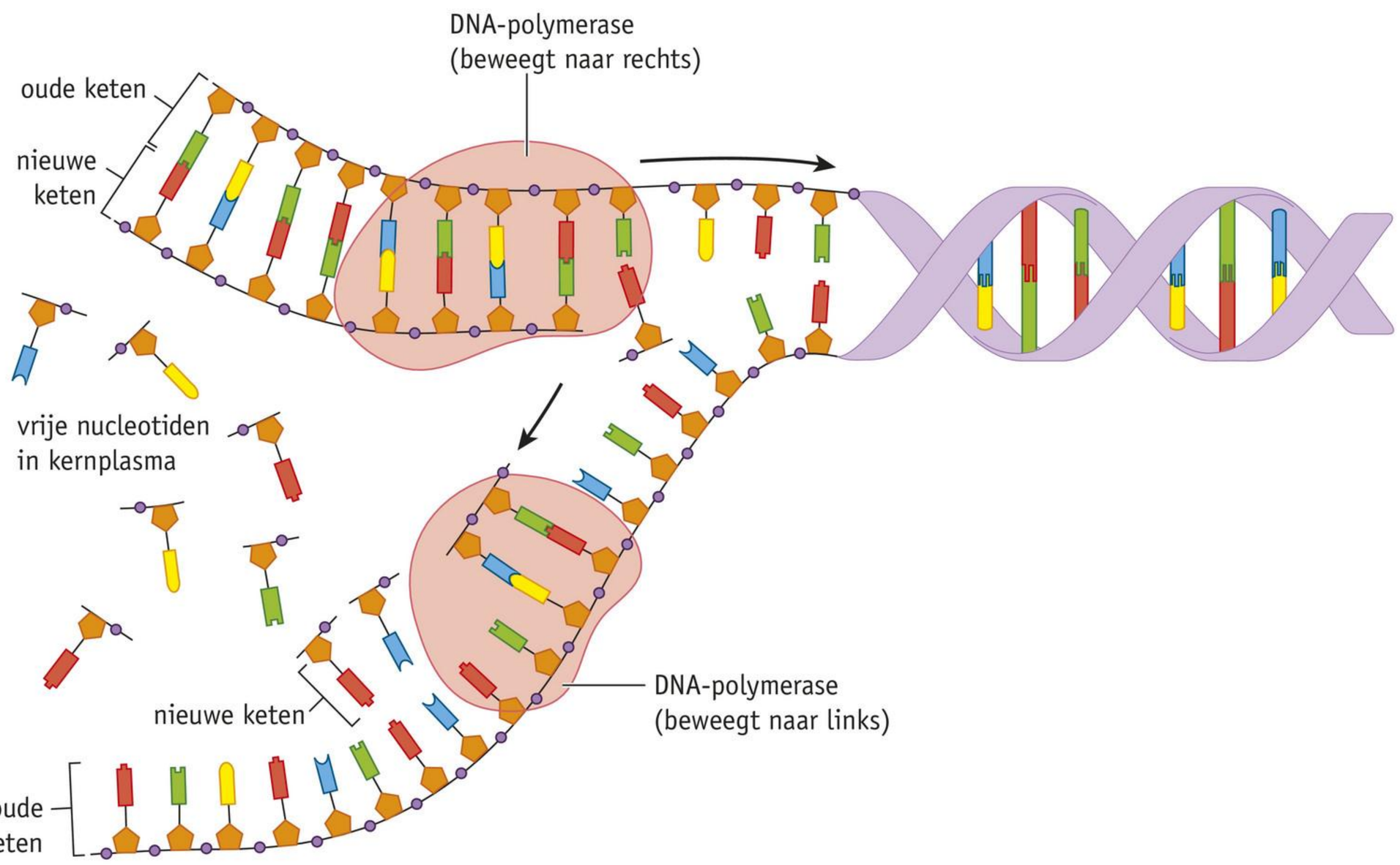
■ **Afb. 10** James Watson en Francis Crick.



De DNA-replicatie begint met het verbreken van de verbindingen tussen de basenparen van een DNA-molecuul. Vervolgens verdwijnt de helixstructuur en gaan de twee strengen van het DNA-molecuul uit elkaar (zie afbeelding 11).

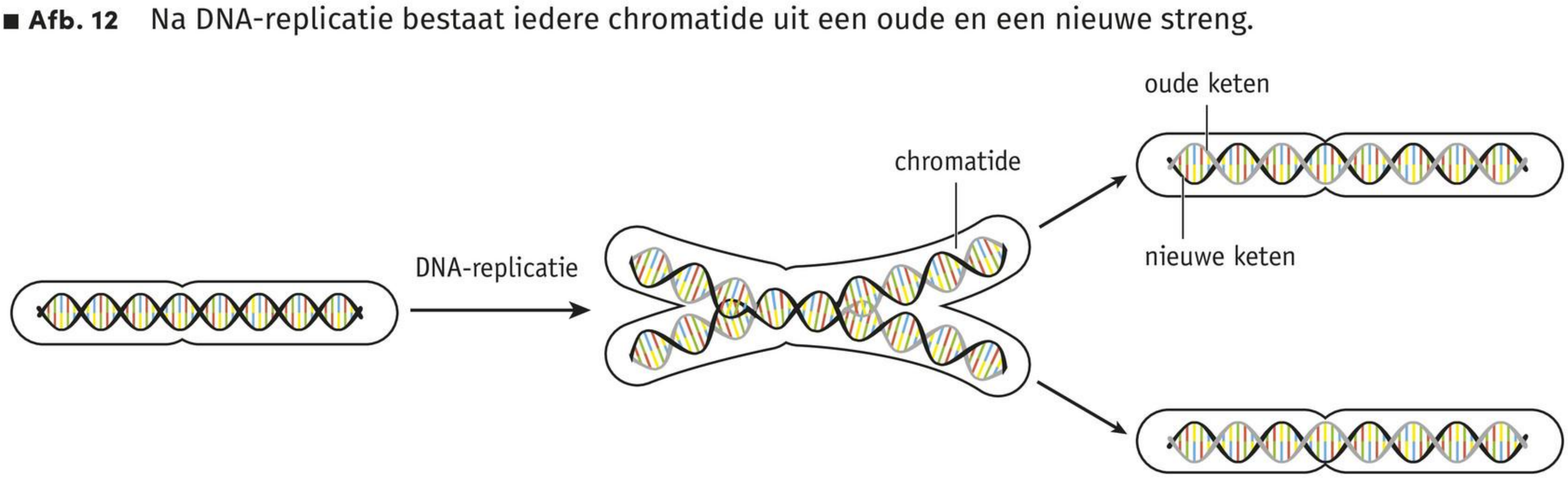
In het kernplasma komen **vrije DNA-nucleotiden** voor. Het enzym **DNA-polymerase** schuift langs een enkelstrengs keten en verbindt deze vrije nucleotiden met de basen in het DNA-molecuul. Steeds verbindt adenine (A) met thymine (T), en cytosine (C) met guanine (G). Door de vaste basenparing ontstaan twee identieke DNA-moleculen. Er worden twee nieuwe nucleotideketens gevormd, aan elke oude keten één.

■ **Afb. 11** DNA-replicatie.



De replicatie vindt plaats langs het gehele DNA-molecuul, met uitzondering van de plaats waar de kopieën nog tijdelijk aan elkaar vastzitten. Doordat op deze plek de verbindingen in het DNA nog niet worden verbroken, bestaat het chromosoom uit twee chromatiden. Elke chromatide bestaat na replicatie uit een oude en een nieuwe keten die weer de helixstructuur aannemen (zie afbeelding 12).

■ **Afb. 12** Na DNA-replicatie bestaat iedere chromatide uit een oude en een nieuwe streng.



Bij het begin van de mitose (M-fase) worden de chromosomen onder een microscoop zichtbaar, doordat ze spiraliseren. Ze worden dan veel korter en dikker. Tijdens het verdere verloop van de mitose worden de chromatiden uit elkaar getrokken door trekdraden en worden ze elk een chromosoom in een dochtercel. Hierdoor krijgen de dochtercellen een chromosoom met dezelfde DNA-sequentie als het chromosoom in de moedercel waaruit ze zijn ontstaan. Elk van beide dochtercellen heeft ook hetzelfde aantal chromosomen als de moedercel.

Opdrachten KENNIS

12 **a** Uit welke drie fasen bestaat de interfase van de celcyclus? Gebruik bij deze opdracht eventueel *BiNaS* tabel 76A.

b Een diploïde cel geef je schematisch weer met 2*n*.
Hoe kun je mitose van een diploïde cel schematisch weergeven?

c Hoe komt het dat beide dochtercellen na de celdeling dezelfde erfelijke informatie bevatten?

13 **a** Welk enzym vormt een nieuwe nucleotidenketen aan de oude keten tijdens de DNA-replicatie?

b Wat is het voordeel van de vaste basenparing bij DNA-replicatie?

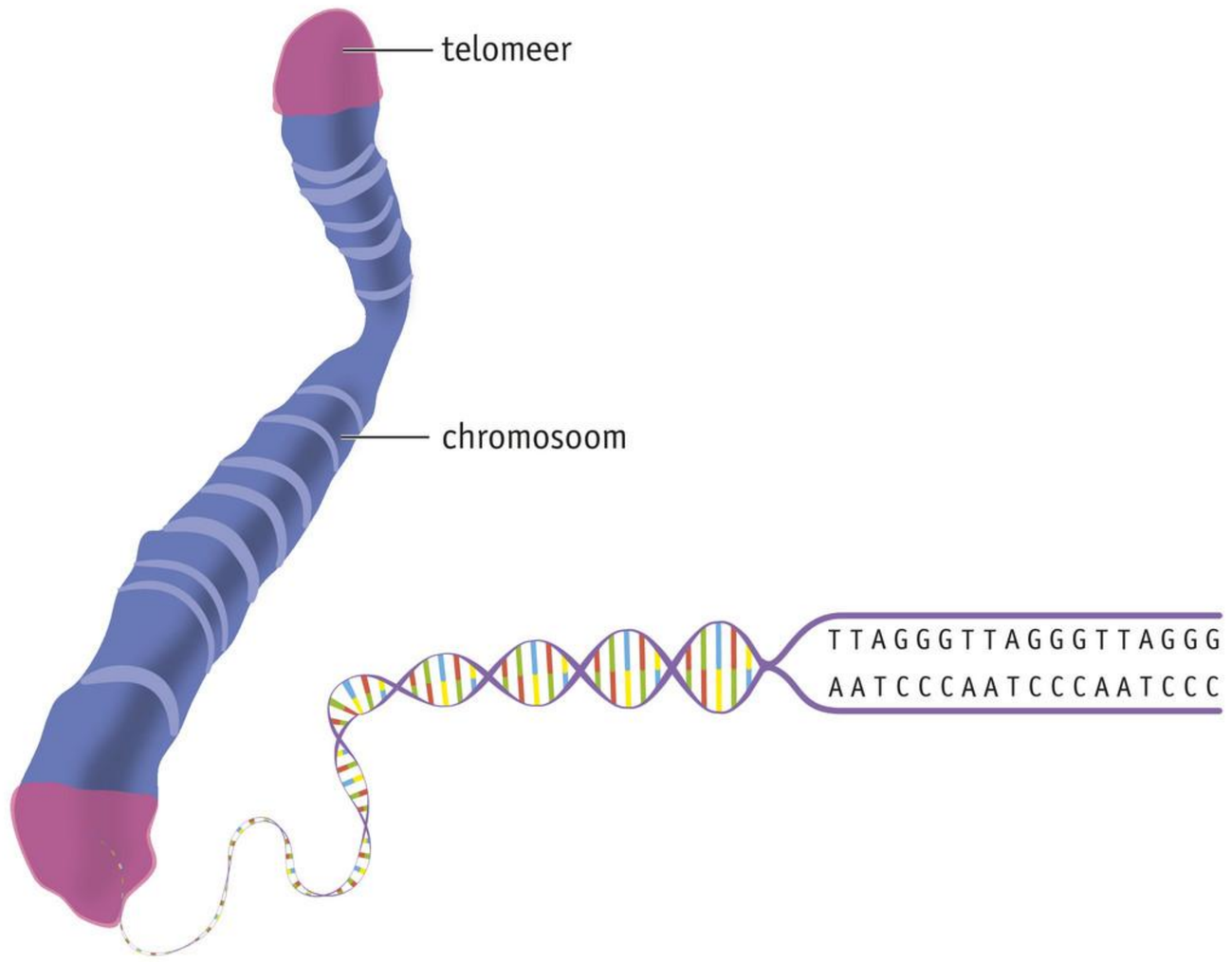
c Bij DNA-replicatie worden twee kopieën van een chromosoom gemaakt. Soms wordt daarbij niet de juiste nucleotide ingebouwd, waardoor de nucleotide-sequentie van een kopie is gewijzigd.
Hoe noem je zo'n verandering in de nucleotide-sequentie?

TELOMEREN EN VEROUDERING

Het enzym DNA-polymerase kan tijdens de replicatie het uiteinde van een enkelvoudige keten niet repliceren. Het niet-gekopieerde enkelstrengs DNA van de oude streng wordt na de replicatie door een enzym verwijderd. Hierdoor wordt het DNA-molecuul bij elke celdeling korter. Om te voorkomen dat de genen in het DNA worden beschadigd, bezitten de uiteinden van chromosomen bij eukaryoten telomeren. Een **telomeer** bestaat uit niet-coderend DNA dat is ingekapseld in beschermende eiwitten. Bij mensen bestaat een telomeer uit DNA dat bestaat uit herhalingen van TTAGGG (zie afbeelding 13). Bij elke celdeling wordt een telomeer korter. Na ongeveer vijftig celdelingen is het telomeer zo kort geworden dat een cel zich niet kan meer delen. De cel sterft dan af (celdood).

De levensduur van de cellen van een organisme hangt af van de lengte van de telomeren en de snelheid waarmee ze korter worden. Dit bepaalt hoe snel een organisme veroudert. Toch gaan mensen niet dood, doordat hun cellen niet meer kunnen delen. Uit volwassen stamcellen ontstaan steeds nieuwe cellen met lange telomeren. Stamcellen maken het enzym telomerase aan. Dit enzym kan na DNA-replicatie de telomeren in de stamcellen weer langer maken.

■ **Afb. 13** Telomeren.



Opdrachten KENNIS

14 **a** Wat zijn telomeren?
b Waarom bestaan telomeren uit niet-coderend DNA?
c Waarom worden telomeren korter bij iedere celdeling?
d Waarom gaat een cel na ongeveer vijftig delingen dood?
e Waarom hebben cellen die even vaak delen een langere levensduur als ze langere telomeren hebben?

15 Enkele gebeurtenissen tijdens DNA-replicatie en celdeling zijn:
1 De twee strengen van een DNA-molecuul gaan uit elkaar.
2 Het uiteinde van het DNA-molecuul wordt niet gekopieerd.
3 DNA-polymerase verbindt vrije nucleotiden aan de nucleotiden in een streng DNA.
4 De telomeren worden korter.
5 De cel deelt zich.
6 Het stukje enkelstrengs DNA aan het uiteinde van een DNA-molecuul wordt door een enzym verwijderd.
7 De chromosomen spiraliseren.

Zet de gebeurtenissen in de juiste volgorde, start bij gebeurtenis 1. Noteer de cijfers.

Opdrachten INZICHT

16 Een onderzoeker slaagt erin vrije nucleotiden in cellen te merken met radioactieve H-atomen. Deze nucleotiden worden tijdens de S-fase van een celcyclus ingebouwd in het nieuwe DNA. Daardoor ontstaat gelabeld DNA.
Bevatten beide chromatiden, die tijdens deze celcyclus worden gevormd, gelabeld DNA of slechts een van beide chromatiden? Leg je antwoord uit.

17 Chromosomen worden vaak afgebeeld als een X.
Leg uit dat ze deze vorm alleen aan het begin van de mitose hebben.

18 Onderzoekers kunnen door het bekijken van telomeren van mensen een indicatie geven over hoelang zij theoretisch nog hebben te leven.

a Leg uit waarom onderzoekers voor deze test telomeren bekijken.

b Leg uit dat prokaryoten geen telomeren hebben.

19 Tijdens DNA-replicatie wordt de plaats in het DNA-molecuul waar de twee chromatiden aan elkaar zitten nog niet gekopieerd.
Wanneer wordt dit laatste stukje gekopieerd?

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

Context Leefwereld

BIJNA ONSTERFELIJKE KREEFTEN

Sommige soorten kreeften kunnen wel honderd jaar oud worden. Cellen van kreeften verouderen niet, zoals menselijke cellen dat doen. Zij hebben een DNA-repareersysteem waar menig Hollywoodster van droomt.

Bij de meeste dieren is het zo dat cellen verouderen naarmate ze vaker delen, doordat de telomeren korter worden. De cellen van kreeften bezitten een speciaal enzym: telomerase. Dit enzym zorgt ervoor dat na het kopiëren van het chromosoom de telomeren worden hersteld. Telomerase maakt de telomeren weer langer. Zo blijven de cellen van de kreeft in staat om zich te delen en treedt er geen veroudering van het DNA op.

Veel diersoorten bezitten de genen voor telomerase. Dit enzym wordt meestal alleen in embryonale cellen aangemaakt. Als het organisme ouder wordt, neemt de productie van telomerase af. Als een cel geen telomerase meer aanmaakt, dan beginnen cellen te verouderen.

Zijn kreeften dan onsterfelijk? Ze hebben misschien geen last van veroudering, maar ze groeien wel een leven lang. Uiteindelijk worden ze simpelweg te groot voor hun eigen exoskelet. Om te groeien moeten kreeften, net als insecten, hun exoskelet afwerpen en zich vernieuwen. Hoe groter ze worden, hoe meer energie dit kost, tot dit ten slotte simpelweg te veel vraagt van het kreeftenlichaam. Daarnaast staan kreeften zowel bij ons als bij verschillende roofdieren op het menu.

■ **Afb. 14** Kreeft.



Opdrachten

20 **a** Waarom verouderen cellen van kreeften niet?

b Bij mensen moeten de cellen van een embryo zich vaker dan vijftig keer delen om het embryo te laten groeien. In de stamcellen van een embryo wordt het enzym telomerase geproduceerd.
Leg uit waarom embryonale stamcellen dit enzym aanmaken.

c Leg uit dat cellen verouderen als ze geen telomerase aanmaken.

d Cellen waarvan de telomeren te kort zijn geworden, stoppen met delen.
In welke fase van de celcyclus bevinden deze cellen zich?

e Veel mensen hebben er moeite mee dat ze er ouder gaan uitzien. Zij verven hun grijze haren om ze te verbergen of laten botox injecteren tegen rimpels.
In de toekomst wordt het misschien mogelijk om botox te vervangen door gentherapie, waardoor een bepaald gen in huidcellen wordt geactiveerd.
Welk gen wordt door deze therapie geactiveerd?

3 EIWITSYNTHESE

LEERDOEL

9.3.1 Je kunt beschrijven hoe eiwitsynthese plaatsvindt.

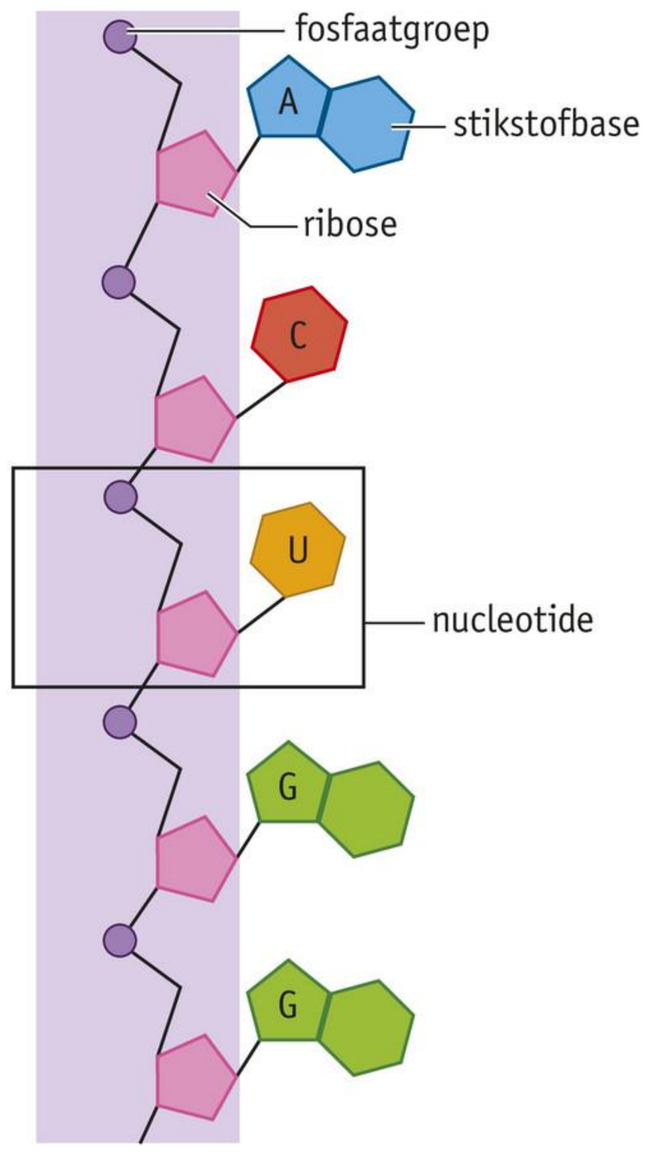
TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	9.3.1
Onthouden	21, 24
Begrijpen	22, 23, 25, 26, 27, 31a
Toepassen	28, 31e
Analyseren	29, 30, 31bcd

De volgorde van de nucleotiden van het DNA in een gen bevat informatie voor het maken van een eiwit. Deze volgorde kan worden gekopieerd naar RNA, een molecuul dat de celkern kan verlaten. Een ribosoom in het cytoplasma kan een eiwit maken door RNA af te lezen.

DE BOUW EN FUNCTIE VAN RNA

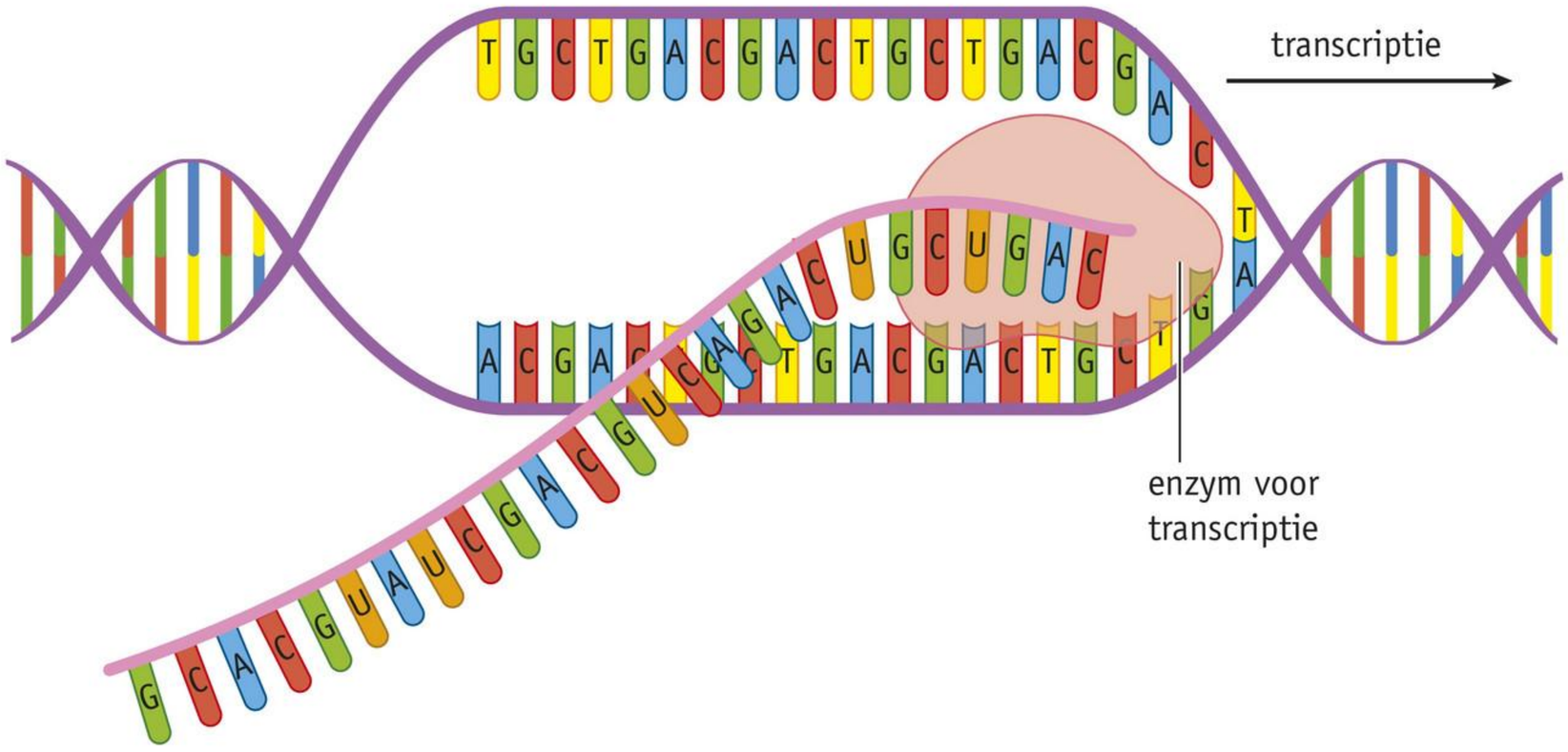
Ribosomen in de cel kunnen eiwitten synthetiseren. Daarvoor hebben ze de informatie nodig die vastligt in de nucleotidensequentie van een gen. DNA kan de celkern niet verlaten. Daarom wordt de nucleotidensequentie van een gen eerst 'overgeschreven' in een RNA-molecuul. **RNA** (ribonucleïnezuur) bestaat net als DNA uit nucleotiden. In DNA vormen de nucleotiden een dubbele keten. RNA bestaat uit slechts één keten (zie afbeelding 15). De nucleotiden bevatten de monosacharide ribose in plaats van desoxyribose in DNA. Verder bevatten ze, net als DNA-nucleotiden, een fosfaatgroep en de stikstofbasen adenine, guanine en cytosine. In plaats van thymine bevat RNA de stikstofbase uracil (U). Uracil kan binden met adenine (A).

■ **Afb. 15** RNA-streng.



RNA wordt in de celkern gevormd langs een deel (gen) van een DNA-molecuul. Omdat dit RNA de informatie voor de synthese van een eiwit overbrengt naar een ribosoom in het cytoplasma noem je het **messengerRNA** (**mRNA**). De vorming van mRNA heet **transcriptie**. Op plaatsen waar genen aanstaan (tot expressie komen), worden de bindingen tussen de basenparen van de twee DNA-strengen verbroken en gaan de strengen uit elkaar. Langs een van beide DNA-strengen wordt een mRNA-molecuul gevormd (zie afbeelding 16).

■ **Afb. 16** Transcriptie.



Transcriptie lijkt op DNA-replicatie. Bij DNA-replicatie worden langs beide ketens over de hele lengte nieuwe nucleotideketens gevormd. Bij transcriptie wordt er één korte keten van RNA-nucleotiden gevormd langs de DNA-sequentie van een gen. Wanneer het mRNA-molecuul klaar is, laat het los van het DNA. Transcriptie kan tegelijkertijd langs meerdere genen in hetzelfde DNA-molecuul plaatsvinden (zie afbeelding 17).

De volgorde van de nucleotiden in het mRNA-molecuul is een kopie van de nucleotidenvolgorde in het DNA en bevat de code voor de synthese van een eiwit. Via de kernporiën verlaat het mRNA-molecuul de celkern om de gekopieerde informatie naar een ribosoom te brengen. De ribosomen bevinden zich in het cytoplasma of op het endoplasmatisch reticulum. Een ribosoom leest de nucleotidevolgorde van het mRNA af en maakt hiermee een eiwit.

■ **Afb. 17** Gelijktijdige vorming van verschillende mRNA-moleculen (TEM, 30 000×).

Opdrachten KENNIS

21 Noem drie verschillen tussen DNA en RNA.

22 Langs een van de ketens van een DNA-molecuul wordt een mRNA-molecuul gevormd door transcriptie. Het DNA-molecuul bevat de nucleotidensequentie ATGCGGATT.

a Wat is de nucleotidensequentie van het mRNA-molecuul dat hierlangs wordt gemaakt?

b In afbeelding 17 worden op twee plaatsen mRNA-moleculen gevormd langs hetzelfde DNA-molecuul.
Vindt transcriptie plaats van links naar rechts of van rechts naar links? Leg je antwoord uit.

c Langs hoeveel genen worden er mRNA-moleculen gevormd in afbeelding 17? Leg je antwoord uit.

23 Transcriptie lijkt op DNA-replicatie.
Waarin verschillen transcriptie en DNA-replicatie van elkaar? Noem twee verschillen.

DE GENETISCHE CODE

De eiwitten in je lichaam kunnen worden opgebouwd uit twintig verschillende aminozuren. De aminozuren, de aantallen en de volgorde van de aminozuren verschillen van eiwit tot eiwit, waardoor ook de eigenschappen van de eiwitten verschillen.

In het cytoplasma van een cel is voor de eiwitsynthese altijd een voorraad van de twintig verschillende aminozuren aanwezig. Door aminozuren op te nemen uit de omgeving of door aminozuren zelf te maken, blijft deze voorraad op peil. Een ribosoom koppelt de aminozuren aan elkaar tot eiwitten, in een volgorde die wordt bepaald door een mRNA-molecuul. Dit noem je **translatie**.

De code voor de volgorde van de aminozuren in eiwitten is vastgelegd in de nucleotidesequentie van het mRNA. De code voor één aminozuur wordt gevormd door de basen van drie opeenvolgende nucleotiden. Dit noem je een **codon**. Afbeelding 18 is een tabel met de **genetische code** voor alle aminozuren.

De genetische code is de vertaling van de nucleotidevolgorde in mRNA naar aminozuren. In de tabel is af te lezen welk codon correspondeert met welk aminozuur. In *BiNaS* tabel 71G vind je deze genetische code ook terug.

Als je wilt weten welk aminozuur bij het codon UUU hoort, dan zoek je eerst in de tabel in de linkerkolom de eerste base op. Vervolgens zoek je in de bovenste rij de tweede base en tot slot in de rechterkolom de derde base. Je leest dan af dat UUU de code is voor het aminozuur fenylalanine (Phe). In *BiNaS* tabel 71G vind je de volledige namen van de aminozuren.

Afb. 18 De genetische code.

1e base in codon	2e base in codon: U	2e base in codon: C	2e base in codon: A	2e base in codon: G	3e base in codon
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	**STOP**	**STOP**	A
	Leu	Ser	**STOP**	Trp	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	Met	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

TRANSLATIE

Een ribosoom begint een translatie altijd bij het codon AUG. Dit is het **startcodon** en is de code voor het aminozuur methionine. Elke aminozuurketen begint dan ook met methionine. Bij de meeste eiwitten wordt dit aminozuur later weer van de keten afgesplitst.

De translatie begint wanneer een ribosoom bindt aan het startcodon van een mRNA-molecuul. Het ribosoom schuift daarna verder langs het mRNA-molecuul, codon na codon. Het ribosoom leest daarbij de nucleotidevolgorde van elk codon af en voegt steeds het juiste aminozuur toe aan de aminozuurketen. De aminozuren worden door **transfer-RNA (tRNA)** uit het cytoplasma naar het ribosoom vervoerd (*BiNaS* tabel 71J en 71K). De eiwitsynthese stopt wanneer een ribosoom een van de drie **stopcodons** bereikt. Een stopcodon codeert niet voor een aminozuur. Wanneer het ribosoom het stopcodon afleest, wordt er geen aminozuur ingebouwd en laat de aminozuurketen los van het ribosoom.

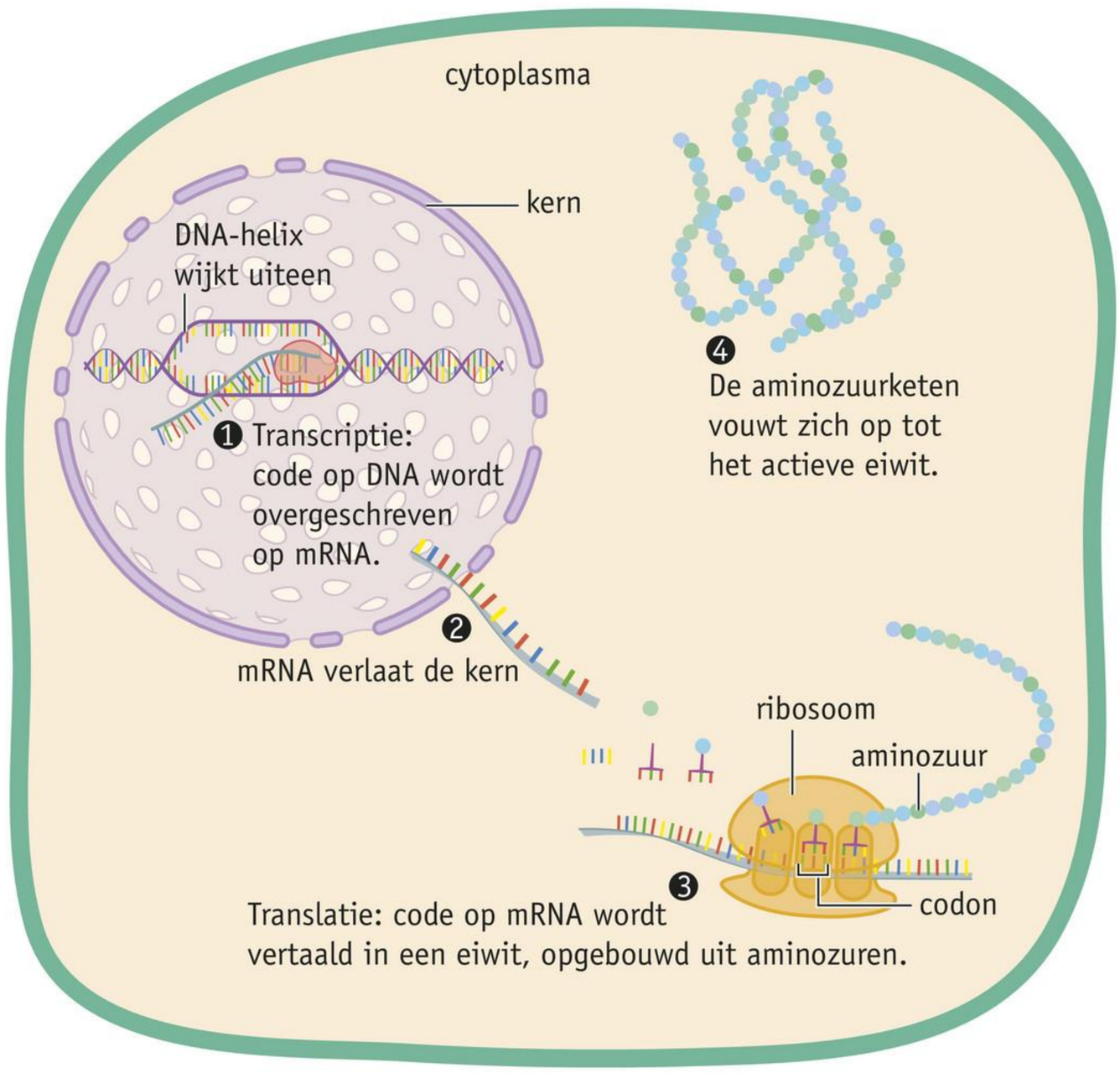
Meerdere ribosomen kunnen tegelijkertijd één mRNA-molecuul aflezen. Als een ribosoom een stuk voorbij het startcodon is, kan een volgend ribosoom binden aan het startcodon en beginnen met het aflezen van het mRNA-molecuul. Zo kan de cel snel veel eiwitten maken. mRNA-moleculen blijven niet voor altijd in de cel aanwezig, maar worden na een tijdje afgebroken.

EIWITTEN

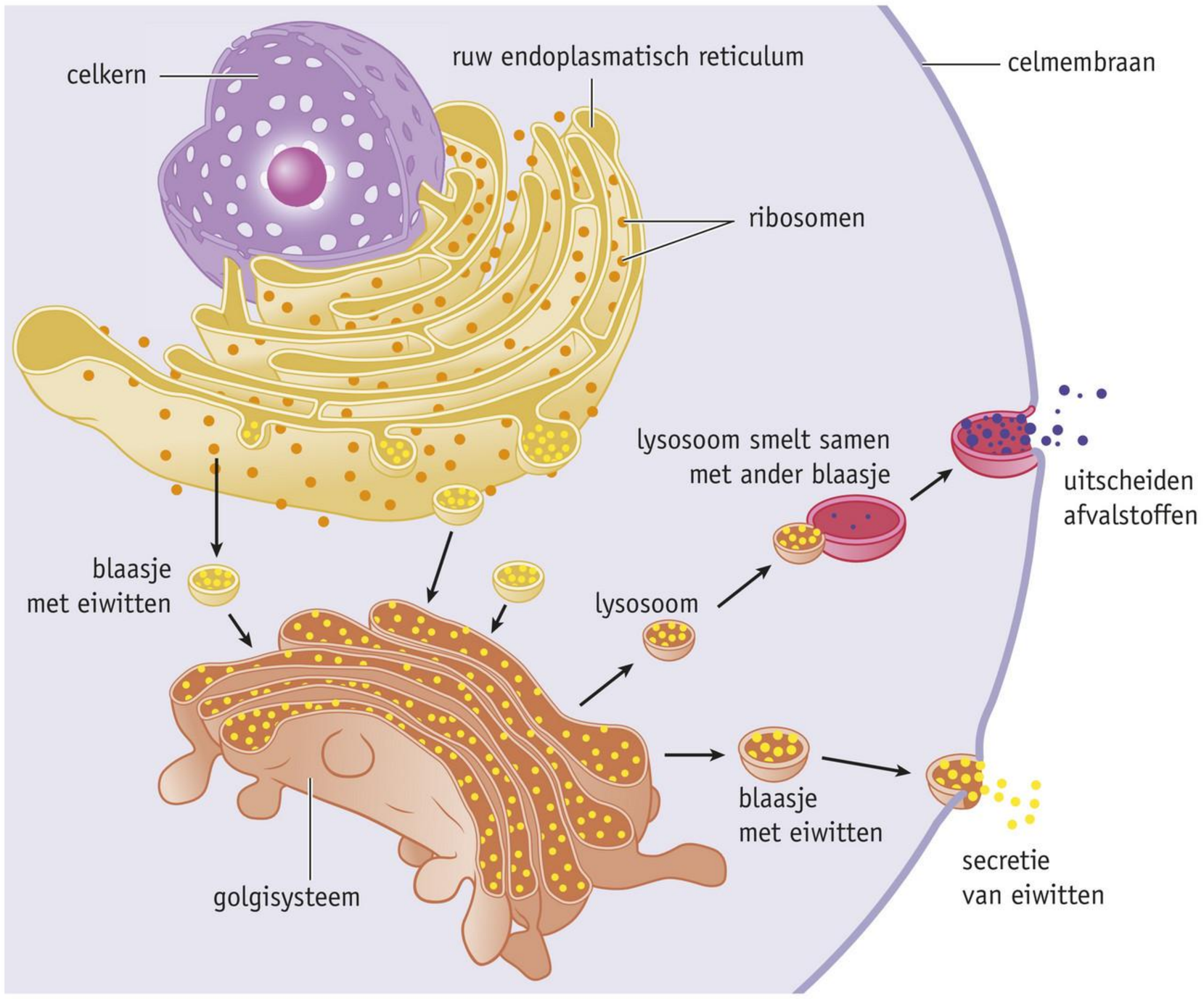
Nieuwe eiwitten kunnen in een cel worden gevormd door:

- ribosomen in het cytoplasma (zie afbeelding 19)
- ribosomen op het endoplasmatisch reticulum

■ **Afb. 19** Eiwitsynthese en eiwittransport in een cel.



1 eiwitsynthese



2 transport van eiwitten via transportblaasjes

De eiwitten die worden gemaakt door de ribosomen die vrij in het cytoplasma liggen komen rechtstreeks in het cytoplasma terecht. De eiwitten die zijn gevormd door ribosomen op het endoplasmatisch reticulum komen in de ruimte tussen de dubbele membranen van het endoplasmatisch reticulum terecht. Na de eiwitsynthese hebben deze eiwitmoleculen nog niet hun uiteindelijke vorm. Ze worden in blaasjes van het endoplasmatisch reticulum naar het golgisysteem vervoerd. In het golgisysteem worden de eiwitmoleculen gevouwen, waardoor hun driedimensionale structuur ontstaat.

Ook het golgisysteem snoert blaasjes af. Sommige blaasjes versmelten met het celmembraan en geven de eiwitten buiten de cel af (secretie), terwijl andere blaasjes in de cel blijven. Sommige eiwitmoleculen worden pas functioneel als ze buiten de cel zijn afgescheiden.

Eiwitten die niet de juiste driedimensionale vorm hebben, kunnen hun functie niet of niet goed uitvoeren. Meestal worden ze afgebroken door enzymen. Soms functioneren deze eiwitten wel, maar voeren ze hun taak niet goed uit. Ziekten als diabetes, taaislijmziekte of alzheimer worden veroorzaakt door verkeerd gevouwen eiwitten.

Opdrachten KENNIS

24 **a** Voor welk aminozuur codeert het startcodon?
b Welke drie codons coderen niet voor een aminozuur?

25 Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 71G.
De nucleotidevolgorde in een mRNA-molecuul is:
A-U-G-C-G-G-A-G-A-C-A-U-G-G-U-G-U-G-A-C-U-A-C-G-U-A-A
a Uit welke aminozuren bestaat het eiwit dat wordt gemaakt met de informatie in dit mRNA-molecuul?
b Wat gebeurt er als het ribosoom het codon UAA afleest?

26 Enzymen zijn eiwitten. De volgende gebeurtenissen vinden plaats tijdens de productie van het enzym amylase:
1 Het ribosoom vormt een aminozuurketen met de informatie in het mRNA-molecuul.
2 Het eiwit krijgt zijn definitieve vorm in het golgisysteem.
3 Het endoplasmatisch reticulum vormt een transportblaasje om de aminozuurketen.
4 Een ribosoom op het ER hecht zich aan het startcodon van het mRNA-molecuul.
5 Er wordt een mRNA-molecuul gevormd langs een DNA-molecuul.
6 Een transportblaasje smelt samen met het celmembraan.
7 Het mRNA-molecuul verlaat de celkern en komt in het ER terecht.
Zet de gebeurtenissen in de juiste volgorde. Noteer de cijfers.

27 Ook voor enzymen is het belangrijk dat ze de juiste driedimensionale vorm hebben om hun functie uit te kunnen voeren.
Leg dit uit.

Opdrachten INZICHT

28 Eiwitten kunnen worden gebruikt om de nucleotidensequentie van DNA te achterhalen. Wetenschappers redeneren dan vanuit de aminozuurvolgorde terug naar de nucleotidensequentie in het mRNA en van daaruit naar de nucleotidenvolgorde van het DNA.

a Tegen welk probleem loop je aan als je vanuit de aminozuurvolgorde de volgorde van de nucleotiden in het mRNA wilt bepalen?

b Een klein stukje van een eiwit bestaat uit de volgende aminozuren: Phe – Lys – His – Trp.
Welke nucleotidevolgorde had het mRNA waarlangs dit deel van het eiwit is gevormd? Geef alle mogelijke codes.

29 Wanneer bij prokaryoten mRNA wordt gevormd langs het DNA, kunnen ribosomen de nucleotidesequentie van het mRNA direct vertalen in een eiwit.

a Leg uit waarom dit bij eukaryoten niet kan.

b Welke voordelen heeft het dat de informatie van het DNA niet direct wordt afgelezen door ribosomen, maar eerst wordt omgezet in mRNA-moleculen die worden afgelezen door ribosomen? Noteer twee voordelen.

30 Bij transcriptie komen meer fouten voor in de nucleotidensequentie dan bij DNA-replicatie.
Waarom is het voor een organisme minder erg als er fouten in de nucleotidensequentie van mRNA voorkomen?

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

Context Leefwereld

TESTEN OP COVID-19

De COVID-19-pandemie zette vanaf 2019 de wereld op zijn kop. Sindsdien is er veel veranderd in de manier waarop we denken over hoe we de verspreiding van ziekten het best kunnen tegengaan. Je kunt bijvoorbeeld anderhalve meter uit elkaar blijven en een mondkapje dragen in openbare ruimten.
Het coronavirus SARS-CoV-2 is, net zoals het gewone verkoudheidsvirus, een RNA-virus. Beide virussen veroorzaken ook vergelijkbare klachten. Daarom kun je jezelf testen wanneer je verkouden bent, om te weten of er sprake is van een coronabesmetting.

Een corona-zelftest (zie afbeelding 20) is een antigeentest. Antigenen zijn eiwitten op de buitenkant van een virus. Met een zelftest controleer je of deze eiwitten aanwezig zijn in je neusslijmvlies of in je keel. Wanneer er veel viruseiwitten aanwezig zijn, wordt dit zichtbaar, doordat er twee streepjes op de zelftest verschijnen.

In geval van twijfel kun je je ook laten testen bij de GGD. De GGD neemt ook een uitstrijkje uit je neus en keel. Met een PCR-apparaat wordt geprobeerd een specifiek stukje genetisch materiaal van het SARS-CoV-2-virus uit dit uitstrijkje te vermeerderen. PCR staat voor *polymerase chain reaction* (polymerase-kettingreactie). De test reageert alleen als het specifieke stukje genetisch materiaal van het virus aanwezig is in het uitstrijkje.

Het genetisch materiaal wordt tijdens een aantal cycli gekopieerd. Iedere cyclus verdubbelt het erfelijk materiaal, net zolang totdat het apparaat het detecteert.

Een zelftest reageert alleen als er veel viruseiwitten aanwezig zijn. Een PCR-test kan ook een klein aantal virussen detecteren en is daarom vele malen nauwkeuriger.

■ **Afb. 20** Een corona-zelftest met een positieve uitslag.



Opdrachten

31 **a** Welke stof wordt bedoeld met ‘genetisch materiaal’?

b Omdat virussen geen ribosomen bezitten, kunnen ze niet hun eigen eiwitten maken. Ze hebben hiervoor de cellen van een gastheer nodig.
Beschrijf in vier stappen hoe een gastheercel viruseiwitten gaat maken na infectie met het hiv-virus. Gebruik hierbij *BiNaS* tabel 77C.

c Waarom geeft een PCR-test eerder aan dat je COVID hebt dan een zelftest?

d De kans is heel erg klein dat een PCR-test positief is wanneer je een ander virus hebt. Hoe kan dat?

e Bij de PCR-techniek wordt een polymerase-enzym gebruikt. Dit enzym is afkomstig uit bacteriën en heeft dezelfde functie als DNA-polymerase in je cellen.
Wat is de functie van het polymerase-enzym bij PCR?

4 GENEXPRESSIE

LEERDOELEN

9.4.1 Je kunt beschrijven wat het belang van genexpressie voor een organisme is.
9.4.2 Je kunt enkele manieren van genregulatie bij prokaryoten beschrijven.
9.4.3 Je kunt enkele manieren van genregulatie bij eukaryoten beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	9.4.1	**9.4.2**	**9.4.3**
Onthouden	32		36
Begrijpen	34, 41a	33	35, 37, 38
Toepassen		39ab	40a, 41c
Analyseren	41bd	39c	40bc, 41e

Alle cellen van een organisme bevatten dezelfde erfelijke informatie. Toch is de bouw en functie van bijvoorbeeld zenuwcellen, kraakbeencellen en spiercellen heel verschillend. Hoe is dat mogelijk?

GENREGULATIE EN GENEXPRESSIE

Elke cel van je lichaam bevat dezelfde erfelijke informatie. Iedere cel bezit de genen voor alle eiwitten die je lichaam aan kan maken. Een cel produceert nooit al deze eiwitten, maar alleen de eiwitten die nodig zijn in de cel. Zo produceren spiercellen bijvoorbeeld geen insuline, maar cellen in de alvleesklier wel. De genen in een cel kunnen worden aan- en uitgezet, dit noem je **genregulatie**. Wanneer een gen aanstaat, wordt de informatie van het DNA door transcriptie overgeschreven naar een mRNA-molecuul waarvan de code door translatie kan worden omgezet in een eiwit. Dit noem je **genexpressie**. Een cel kan de genexpressie reguleren, zodat alleen de eiwitten worden gemaakt die op dat moment nodig zijn.

Prokaryoten en eukaryoten kunnen hun genexpressie aanpassen als milieuomstandigheden veranderen. Zowel prokaryoten als eukaryoten hebben hiervoor **regulatorgenen**. Deze genen coderen voor eiwitten die de genexpressie beïnvloeden.

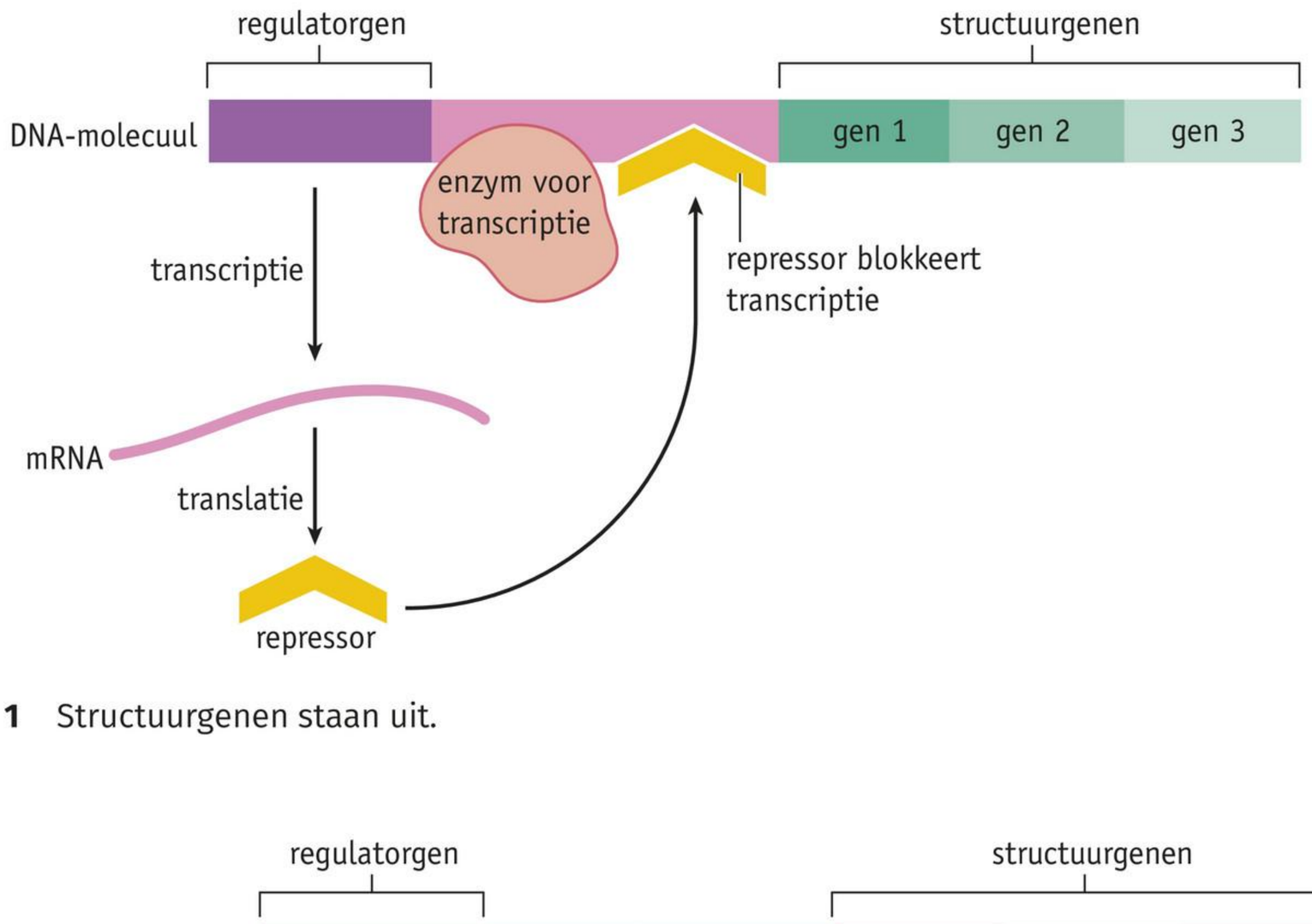
Bij meercellige eukaryoten hangt de genexpressie in een cel niet alleen af van de milieuomstandigheden, maar ook van de functie van een cel. Tijdens de ontwikkeling van een zygote (bevruchte eicel) tot een volwassen organisme, moeten de juiste genen op het juiste moment en de juiste plaats tot expressie komen.

GENREGULATIE BIJ PROKARYOTEN

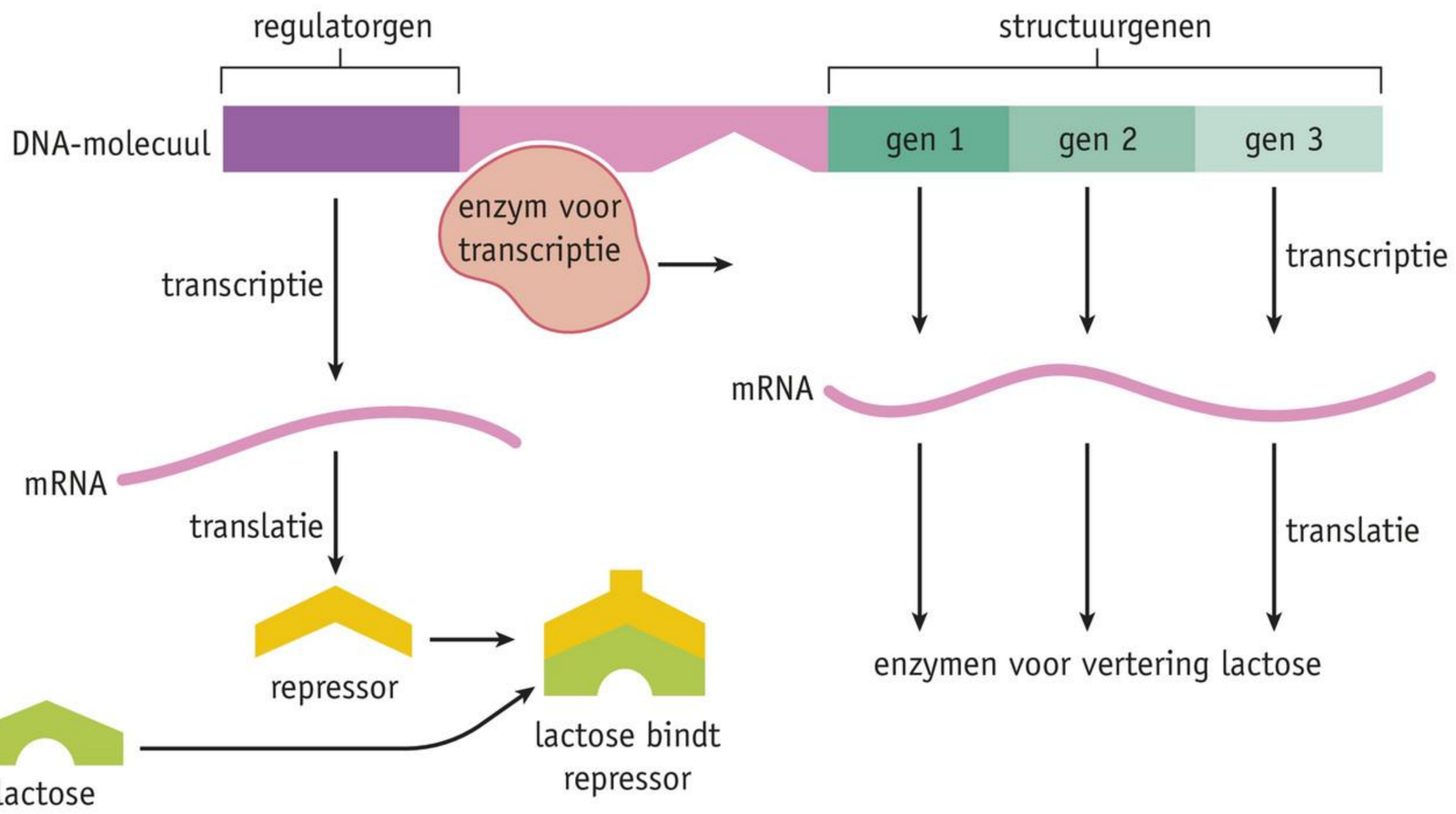
In prokaryoten bevatten **structuurgenen** de informatie voor de eiwitsynthese. Langs structuurgenen wordt door transcriptie mRNA gevormd dat door ribosomen wordt afgelezen om eiwitten te maken (translatie). De structuurgenen die coderen voor ‘samenwerkende’ eiwitten liggen bij prokaryoten vaak naast elkaar in het DNA-molecuul. Daardoor kan de expressie van deze genen tegelijk worden geregeld.

E. coli is een groep bacteriën die in de dikke darm bij mensen leeft van suikers zoals glucose en lactose. De bacterie bezit structuurgenen die coderen voor enzymen die lactose (melksuiker) verteren. De genexpressie van deze structuurgenen wordt geregeld door één regulatorgen. Langs dit regulatorgen wordt mRNA gevormd, waarmee ribosomen een repressor kunnen maken. Een repressor is een eiwit dat kan binden aan het DNA van *E. coli* wanneer er geen lactose in het voedsel van de gastheer aanwezig is. De repressor blokkeert dan de transcriptie van de structuurgenen, waardoor er langs deze structuurgenen geen mRNA wordt gevormd. De structuurgenen staan uit (zie afbeelding 21.1). Wanneer er in het voedsel van de gastheer wel lactose aanwezig is, bindt lactose aan de repressor. Die verandert hierdoor van vorm en kan niet meer binden aan het DNA. Er kan dan wel mRNA worden gevormd langs de structuurgenen. De structuurgenen staan aan. Ribosomen kunnen dan met de informatie in het mRNA de enzymen maken die nodig zijn voor de vertering van lactose (zie afbeelding 21.2).

■ **Afb. 21** Regulatie van de genexpressie bij *E. coli*.



1 Structuurgenen staan uit.



2 Structuurgenen staan aan.

Opdrachten KENNIS

32 Alle cellen van een organisme bevatten dezelfde erfelijke informatie. Toch zien een zenuwcel en een spiercel er heel anders uit en hebben ze verschillende functies.

a Leg uit hoe dit kan.

b Welk proces zorgt ervoor dat de genexpressie in beide cellen anders is?

33 De structuurgenen in *E. coli* die coderen voor eiwitten die zijn betrokken bij de vertering van lactose worden aangestuurd door één regulatorgen.

a Hoe kan één gen al deze structuurgenen tegelijk beïnvloeden?

b Wanneer lactose aanwezig is, dan wordt de repressor inactief. Dit leidt tot genexpressie van de structuurgenen.
Leg dit uit.

c De structuurgenen komen tot expressie wanneer er lactose aanwezig is in de voedselbrij van de gastheer.
Wat is hiervan het voordeel voor de bacterie?

34 Waarom is het voor organismen belangrijk dat zij hun genexpressie aan kunnen passen aan milieuomstandigheden?

GENREGULATIE BIJ EUKARYOTEN IN ONTWIKKELING

Veel eukaryoten zijn meercellig. Een meercellig organisme ontwikkelt zich van een bevruchte eicel tot een volwassen individu met gespecialiseerde cellen die verschillende functies hebben. Mensen hebben bijvoorbeeld zo'n 220 verschillende **celtypen**. Deze cellen zijn ontstaan uit **stamcellen**. Dat zijn cellen die nog niet (volledig) zijn gespecialiseerd. Ze kunnen zich onbeperkt delen, waarbij een van de dochtercellen een nieuwe stamcel wordt en de andere dochtercel zich door **celdifferentiatie** specialiseert tot een specifiek celtype.

De embryonale stamcellen die na de eerste delingen van een bevruchte eicel ontstaan, kunnen zich ontwikkelen tot elk celtype, ook tot celtypen die niet tot het embryo behoren, zoals de cellen van de placenta en navelstreng.

Stamcellen spelen ook in jonge en volwassen organismen een grote rol. In bepaalde weefsels van een organisme zijn adulte (volwassen) stamcellen te vinden. Deze stamcellen kunnen zich alleen ontwikkelen tot een beperkt aantal celtypen. Bloedstamcellen kunnen zich bijvoorbeeld ontwikkelen tot verschillende soorten bloedcellen of bloedplaatjes. Adulte stamcellen zorgen voor voortdurende vernieuwing van cellen met een korte levensduur.

Tijdens de embryonale ontwikkeling is de genexpressie in stamcellen afhankelijk van hun locatie in het embryo. De plaats in het embryo bepaalt welke regulatorgenen in de stamcel tot expressie komen. De eiwitten die na transcriptie en translatie van een regulatorgen zijn gevormd, regelen weer de genexpressie van andere genen in de stamcel of van genen in andere stamcellen. De genexpressie van de stamcel is ook afhankelijk van de ontwikkelingsfase van het embryo. Zo ontstaan er verschillende celtypen, weefsels en organen in een meercellig organisme (zie afbeelding 22).

Bij de embryonale ontwikkeling speelt ook **apoptose** een rol. Bij apoptose laat een cel zichzelf afsterven. Door apoptose verdwijnen overbodige en ongewenste weefsels. Bijvoorbeeld het weefsel dat bij een embryo tussen de vingers en tenen in aanleg zit.