BVJ

BIOLOGIE VOOR JOU



Bewaar dit boek! Het bevat examenstof.

MAX

BIOLOGIE 4A

VWO

NAAM EN KLAS

MALMBERG

BVJ

BIOLOGIE VOOR JOU

Biologie voor
de bovenbouw

4 VWO

deel A

EINDREDACTIE

Claud Biemans
Arthur Jansen

AUTEURS

Marianne Gommers
Boukje Ivens
Arthur Jansen

MAX RELEASE 7.0

Malmberg 's-Hertogenbosch
www.biologievoorjou.nl

Deel A

Thema 1

INLEIDING IN DE BIOLOGIE

ORIËNTATIE

Museum blij met dode mus 8
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpjes

BASISSTOF

1 Wat kun je met biologie? 10
2 Organen, weefsels en cellen 20
3 Plantaardige en dierlijke cellen 28
4 Organellen 35
5 Transport door membranen 47
6 Natuurwetenschappelijk onderzoek 60

SAMENHANG

Expeditie Spitsbergen 72

EXTRA STOF

Leven in zout water
Wandzoekgedrag

ONDERZOEK

Vaardigheden 74
Practica 81

AFSLUITING

Samenvatting 89
Examenopgaven 94

Thema 2

VOORTPLANTING EN SEKSUALITEIT

ORIËNTATIE

Ontstaan uit dezelfde cel 102
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpjes

BASISSTOF

1 Ongeslachtelijke voortplanting 104
2 Geslachtelijke voortplanting 113
3 Hormonen 124
4 Zwanger 133
5 Seksualiteit (SE) 143
6 Soa's en geboorteregeling (SE) 152
7 Ongewenst kinderloos 161

SAMENHANG

Endometriose: een probleem van de samenleving 168

EXTRA STOF

Embryonale ontwikkeling bij gewervelde dieren

ONDERZOEK

Practica 170

AFSLUITING

Samenvatting 173
Examenopgaven 178

Thema 3

GENETICA

ORIËNTATIE

Een vader met honderden donorkinderen 186
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpjes

BASISSTOF

1 Fenotype en genotype 188
2 Genenparen 196
3 Monohybride kruisingen 206
4 Geslachtschromosomen 214
5 Dihybride kruisingen 220
6 Speciale manieren van overerven 230
7 Opvoeding of aanleg 239

SAMENHANG

De evolutie van huidskleur 246

EXTRA STOF

Erfelijkheid in je familie
Bio-informaticus

ONDERZOEK

Practica 248

AFSLUITING

Samenvatting 254
Examenopgaven 258

Register 262
Colofon 264

Deel B

Thema 4
EVOLUTIE

ORIËNTATIE

De cheeseburger-muis 8
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Ontwikkeling van het leven 10
2 Bacteriën, virussen en schimmels 21
3 De evolutietheorie 31
4 Evolutie in populaties 37
5 Ontstaan van soorten 48
6 Onderzoek naar evolutie 58

SAMENHANG

Komen mammoeten weer tot leven? 68

EXTRA STOF

Fossielen
Universitair docent

ONDERZOEK

Practica 70

AFSLUITING

Samenvatting 76
Examenopgaven 80

Thema 5
ECOLOGIE

ORIËNTATIE

De bruidsvlucht van een verborgen mier 88
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Ecologie op alle organisatieniveaus 90
2 Populaties 100
3 Ecosystemen 113
4 Veranderende ecosystemen 125

SAMENHANG

Overleven in de stad 136

EXTRA STOF

Biodiversiteit
Parasieten bij de mens

ONDERZOEK

Practica 138

AFSLUITING

Samenvatting 143
Examenopgaven 148

Thema 6
MENS EN MILIEU

ORIËNTATIE

Plastic is overal, zelfs in je lichaam 156
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Kringlopen 158
2 Voedselproductie 169
3 Versterkt broeikaseffect 184
4 Duurzame ontwikkeling 195

SAMENHANG

Voedselbos combineert natuur en landbouw 206

EXTRA STOF

Metingen aan water: fosfaatgehalte
Invasieve uitheemse soorten

ONDERZOEK

Practica 208

AFSLUITING

Samenvatting 210
Examenopgaven 214

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.



Inleiding in de biologie // Basisstof

1 WAT KUN JE MET BIOLOGIE?

LEERDOELEN

1.1.1 Je kunt beschrijven wat biologie is en uitleggen dat biologie op veel gebieden een rol speelt.
1.1.2 Je kunt het verschil tussen levensloop en levenscyclus beschrijven.
1.1.3 Je kunt de organisatieniveaus van de biologie benoemen en uitleggen dat op elk hoger organisatieniveau emergente eigenschappen kunnen ontstaan.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	1.1.1	1.1.2	1.1.3
Begrijpen	1, 2	3, 4, 5	6, 7, 8, 9
Toepassen		10, 11, 17	12, 14, 15, 18
Analyseren			13, 16, 19, 20, 21

Miljarden jaren geleden verschenen de eerste levensvormen op het aardoppervlak. Sindsdien is de aarde veranderd van een zand- en steenachtige omgeving in een omgeving vol met kleuren en diverse levensvormen. De biologie probeert deze verscheidenheid aan levensvormen te verklaren en te beschrijven.

BIOLOGIE IS OVERAL

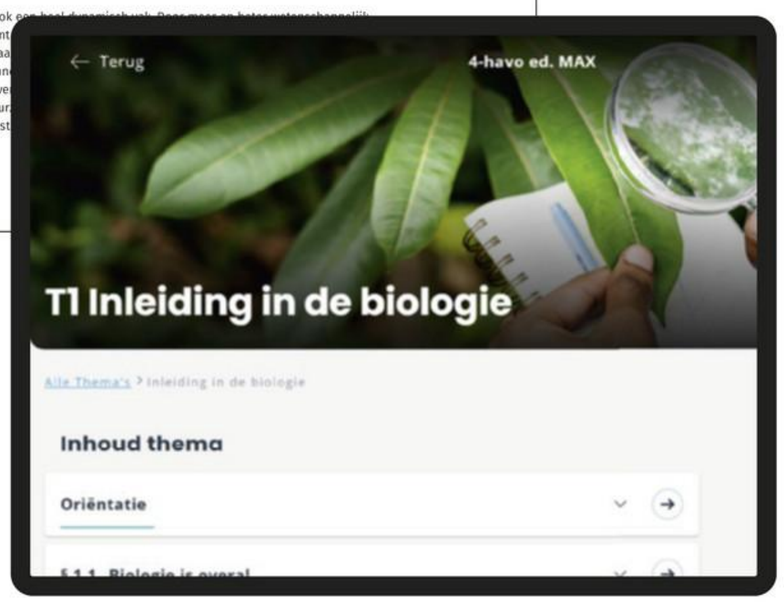
Biologie is een breed vak. Het strekt zich uit van moleculen, zoals DNA, tot aan ecosystemen. Ook het observeren van gedrag en de geschiedenis van het leven (evolutie) hoort bij de biologie. Doordat biologie zo'n divers vak is, specialiseren biologen zich vaak in een bepaald onderwerp. Zo heb je bijvoorbeeld moleculair biologen, microbiologen, neurobiologen en gedragsbiologen.

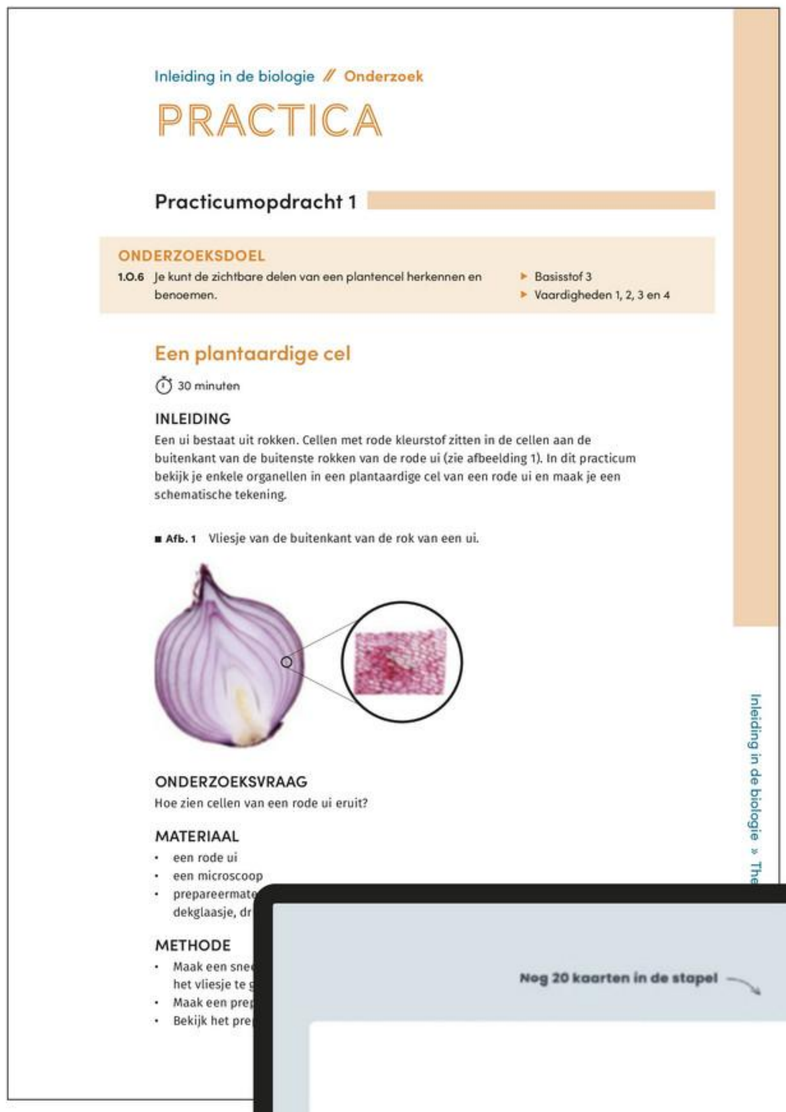
Binnen alle onderdelen van de biologie hebben wetenschappers kennis verzameld. Deze kennis heeft ervoor gezorgd dat we bijvoorbeeld meer inzicht hebben in wat een gezonde levensstijl is, dat we het DNA van organismen kunnen aanpassen, dat we meer te weten zijn gekomen over ziekteverwekkers en dat we topsporters beter kunnen laten presteren.

Biologie is ook een heel dynamisch vak. Door meer en beter wetenschappelijk onderzoek neemt
kennis worden aa
zoals kennis binn
vraagstukken ove
gezondheid, duur
daardoor nooit st

Inleiding in de biologie » Thema 1 Basisstof 1

10





Inleiding in de biologie // Onderzoek

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

1.O.6 Je kunt de zichtbare delen van een plantencel herkennen en benoemen.

- Basisstof 3
- Vaardigheden 1, 2, 3 en 4

Een plantaardige cel

30 minuten

INLEIDING

Een ui bestaat uit rokken. Cellen met rode kleurstof zitten in de cellen aan de buitenkant van de buitenste rokken van de rode ui (zie afbeelding 1). In dit practicum bekijk je enkele organellen in een plantaardige cel van een rode ui en maak je een schematische tekening.

■ Afb. 1 Vliesje van de buitenkant van de rok van een ui.

ONDERZOEKSVRAAG

Hoe zien cellen van een rode ui eruit?

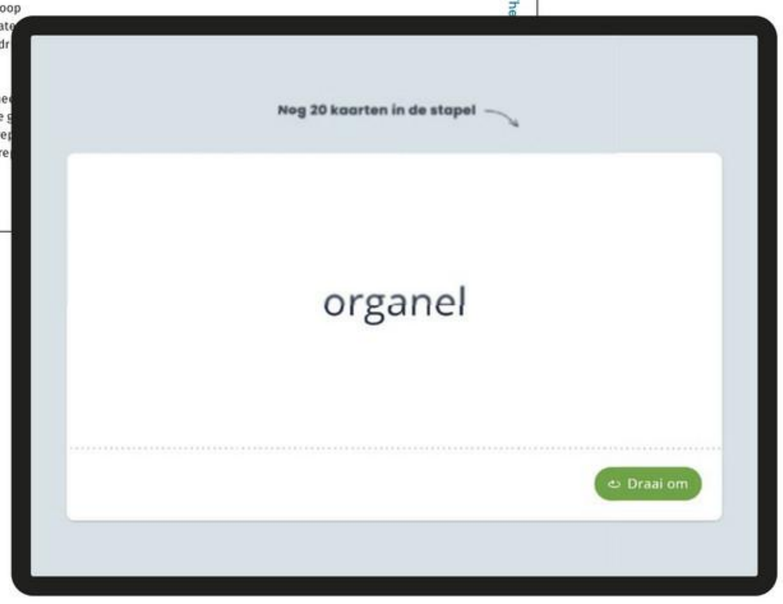
MATERIAAL

- een rode ui
- een microscoop
- prepareermate
  dekglaasje, dr

METHODE

- Maak een snee
  het vliesje te g
- Maak een preg
- Bekijk het pre

Inleiding in de biologie » The



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

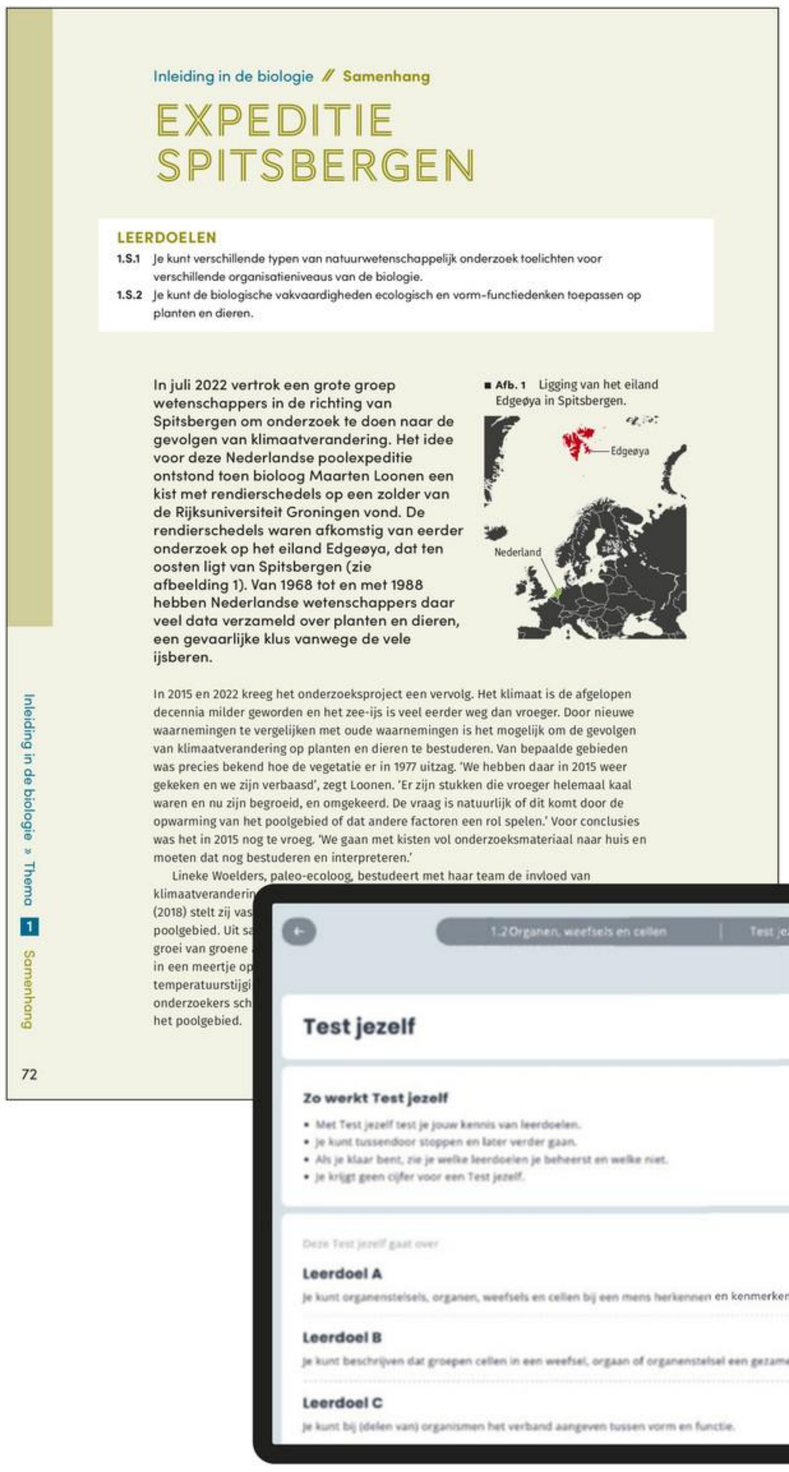
- Je ziet snel wat je goed of fout doet.
- Je leert de begrippen met de *Flitskaarten*.
- Je meet of je de stof beheerst met de *Test jezelf*, *Oefentoets* en *Examenopgaven*.
- Je kunt op een hoger of lager niveau en leerjaar werken.
- Je docent volgt hoe het met je gaat.

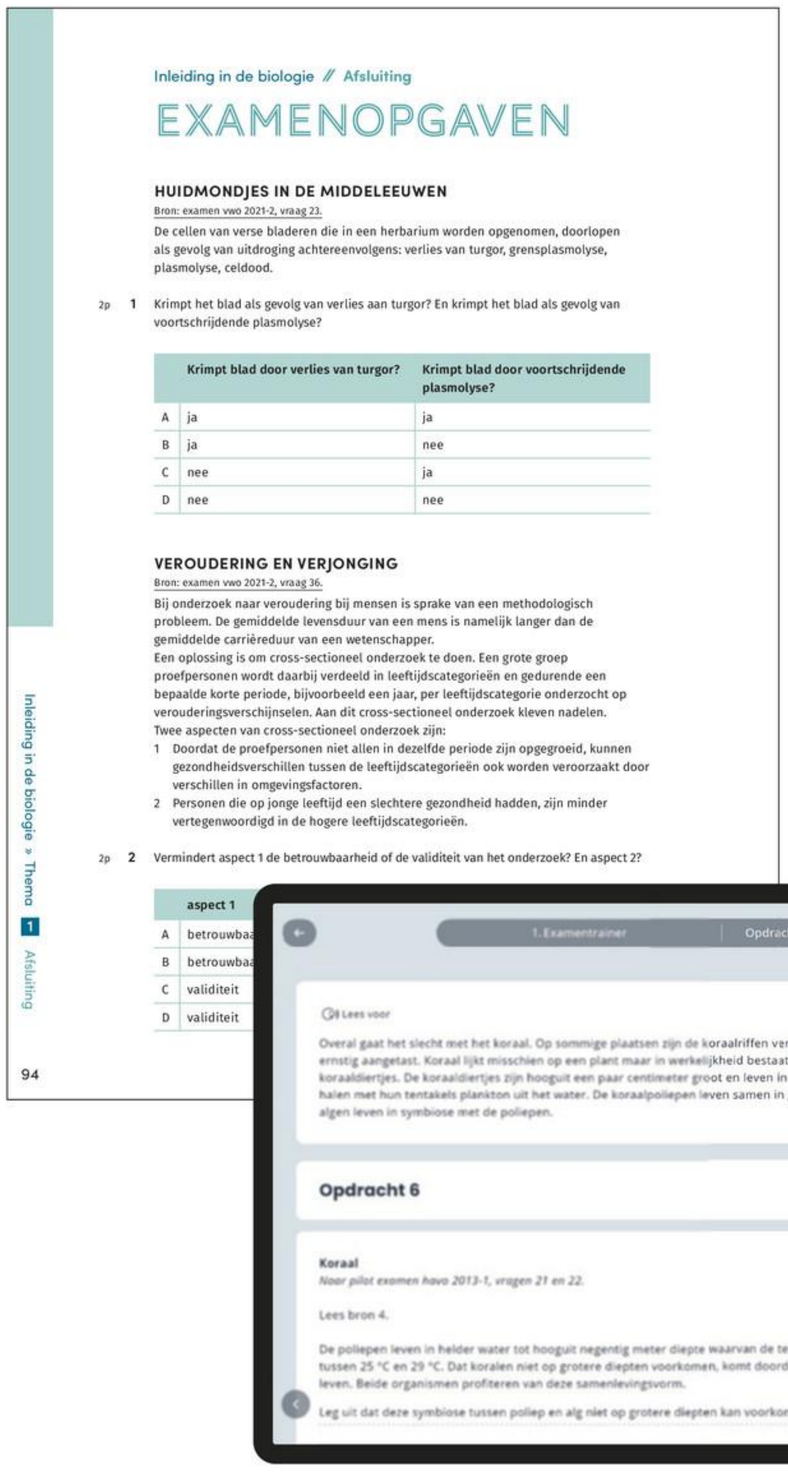
SAMENHANG

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 organisatie-niveaus. Een goede oefening voor het examen!

GOEDE VOORBEREIDING OP DE TOETS EN HET EXAMEN!

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





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 1

INLEIDING IN DE BIOLOGIE

Arts, klimaatonderzoeker, productontwikkelaar van voedings- of geneesmiddelen, biotechnoloog, ecoloog ... Als je later een van deze beroepen wilt uitoefenen, dan mag één ding niet ontbreken: kennis van biologie. In de biologie bestudeer je organismen op verschillende niveaus. Je leert over de bouw en de functie van cellen en organismen en je bestudeert hoe populaties elkaar in een ecosysteem beïnvloeden. Ook leer je om zelf een natuurwetenschappelijk onderzoek uit te voeren.

Inhoud

ORIËNTATIE

Museum blij met dode mus 8
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Wat kun je met biologie? 10
2 Organen, weefsels en cellen 20
3 Plantaardige en dierlijke cellen 28
4 Organellen 35
5 Transport door membranen 47
6 Natuurwetenschappelijk onderzoek 60

SAMENHANG

Expeditie Spitsbergen 72

EXTRA STOF

Leven in zout water
Wandzoekgedrag

ONDERZOEK

Vaardigheden 74
Practica 81

AFSLUITING

Samenvatting 89
Examenopgaven 94

MUSEUM BLIJ MET DODE MUS

Van de meeste dieren weten we niet hoe ze aan hun einde komen. Van sommige dieren die in aanvaring komen met de menselijke cultuur weten we dat wel. Het Natuurhistorisch Museum Rotterdam heeft een speciale expositie georganiseerd van dode dieren met een verhaal.

Internationaal bekend werd de Dominomus (zie afbeelding 1) die aan haar einde kwam door een schot uit een luchtbuks. In een expohal in Leeuwarden werd gewerkt aan Domino Day, een evenement om een recordaantal van 4,3 miljoen dominostenen te laten omvallen. De mus was de hal binnengekomen en gooide 23 000 dominostenen om die al klaarstonden. Een hele klus om die weer recht te zetten. Om te voorkomen dat de mus meer schade aanrichtte, werd ze vier dagen voor de recordpoging neergeschoten.

■ **Afb. 1** De Dominomus in de collectie van het Natuurhistorisch Museum Rotterdam.



De huismus (*Passer domesticus*) komt in Nederland en Europa algemeen voor. Toch is het aantal mussen sinds eind vorige eeuw sterk afgenomen. Oorzaken daarvan zijn bijvoorbeeld efficiëntere methoden om gewassen te oogsten en het verdwijnen van ouderwetse pannendaken, waardoor de beschikbaarheid van voedsel en nestgelegenheid voor de mus zijn afgenomen. De huismus is een wettelijk beschermde inheemse diersoort en staat op de rode lijst van bedreigde Nederlandse broedvogels.

De Dominomus was dus illegaal geschoten. De schutter werd aangeklaagd en kreeg een boete. De dode mus werd in beslag genomen en is door het toenmalige Ministerie van Justitie ter beschikking gesteld aan het Natuurhistorisch Museum Rotterdam.

Behalve de mus bezit het museum nog een aantal dieren die door menselijk toedoen ongelukkig aan hun einde kwamen. De Mondkapmeeuw werd in 2021 op de Maasvlakte gevonden. Een van haar pootjes zat verstrikt in het elastiek van een mondkapje. De laatste maaltijd van de zilvermeeuw bestond uit brood. De grote aantallen mondkapjes die tijdens de coronapandemie in het milieu terechtkwamen, vormen een bedreiging voor het dierenleven. Rondslingerende mondkapjes worden door vogels als nestmateriaal gebruikt. Broedende vogels en hun jongen kunnen daarin verstrikt raken.

De geëxposeerde Elastiek-ooievaar is uit z'n nest gevallen en door de dierenambulance naar een dierenarts gebracht. Er was geen redden meer aan. De maag van het jonge dier zat vol met postelastieken. Ooievaars voeden hun jongen vaak met regenwormen. De ooievaar-ouders moeten zich hebben vergist. In het museum werden ook nog kleinere elastieken en een bruinleren polsveter in de maag van de jonge ooievaar gevonden. Net als de mus staat de ooievaar op de rode lijst.

Het Natuurhistorisch Museum Rotterdam heeft ook exposities over biodiversiteit en over fossiele walvissen. Een heel bijzondere fossiele walvis is de reconstructie van de 'grootste muil ooit': de schedel van een uitgestorven reuzenroofvis (zie afbeelding 2). De tentoonstelling Biodiversiteit toont de soortenrijkdom in stammen en klassen

van planten en dieren. Er zijn vertegenwoordigers te zien van verschillende soorten wieren, bedektzadigen, sponzen, neteldieren, rondwormen, weekdieren, geleedpotigen, stekelhuidigen, vissen, amfibieën, zoogdieren, reptielen en vogels.

De meeste planten en dieren in het Rotterdamse museum zijn op een natuurlijke manier gestorven. Het neerschieten van de Dominomus was duidelijk een misser, maar het Natuurhistorisch Museum Rotterdam is wel blij met de dode mus in zijn collectie. Door de mus en het verhaal in het museum te exposeren, kunnen bezoekers ervan leren.

■ **Afb. 2** De fossiele reuzenroofpotvis had een rij scherpe tanden om beter te kunnen overleven.



Opdrachten

1 Waarom is er sprake van een dode mus en niet van een levenloze mus?

2 In het museum werd ontdekt dat de laatste maaltijd van de Mondkapmeeuw bestond uit brood.
Hoe kan een preparateur erachter komen wat een dier eet?

3 De Verslikvis (*Corydoras aeneus*) werd enkele jaren geleden operatief uit de keel van een man gehaald, nadat deze aquariumvis opzettelijk en levend was ingeslikt. Deze vissen hebben een verdedigingsmechanisme tegen roofdieren. Als ze worden ingeslikt, zetten ze de stekels van hun vinnen uit, waardoor ze in de bek van de aanvaller muurvast komen te zitten.
Waarom werkt deze manier van verdedigen niet voor de individuele vis, maar wel voor de soort?

4 In afbeelding 2 is het gebit van een roofpotvis te zien.
Is dit het gebit van een planteneter of van een vleeseter? Leg uit waaraan je dat kunt zien.

5 Van de tentoonstelling Biodiversiteit worden in de tekst een aantal stammen en klassen genoemd.
Welke van de genoemde klassen behoren tot de stam van de gewervelde dieren?

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



Thema 2

VOORTPLANTING EN SEKSUALITEIT

In dit thema leer je over seksualiteit en over manieren van voortplanting. Geslachtsgemeenschap kan leiden tot een zwangerschap en een baby die wordt geboren. Hormonen spelen hierbij een belangrijke rol. Ook gaat het in dit thema over het voorkomen van een zwangerschap of mogelijke oplossingen als het niet lukt om zwanger te worden. Er zijn ook organismen die zich helemaal alleen kunnen voortplanten. En hoe ontstaat een nieuwe cel eigenlijk?

Inhoud

ORIËNTATIE

Ontstaan uit dezelfde cel 102
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Ongeslachtelijke voortplanting 104
2 Geslachtelijke voortplanting 113
3 Hormonen 124
4 Zwanger 133
5 Seksualiteit (SE) 143
6 Soa's en geboorteregeling (SE) 152
7 Ongewenst kinderloos 161

SAMENHANG

Endometriose: een probleem van de samenleving 168

EXTRA STOF

Embryonale ontwikkeling bij gewervelde dieren

ONDERZOEK

Practica 170

AFSLUITING

Samenvatting 173
Examenopgaven 178

ONTSTAAN UIT DEZELFDE CEL

Een eeneiige tweeling (zie afbeelding 1) heeft dezelfde genen en is daarom erg interessant voor onderzoek. Onderzoekers willen graag weten of verschillen tussen mensen, zoals ziekten en vaardigheden, worden bepaald door *nature* of *nurture* (genen of invloeden uit de omgeving, zoals opvoeding).

Naomi volgt de opleiding pedagogische wetenschappen. Ze schrijft een wetenschappelijk artikel over de vraag of leesvaardigheid wordt bepaald door nature of nurture. Naomi heeft een groep eeneiige en twee-eiige tweelingen die mee willen doen aan haar onderzoek. Voor Naomi is dit de eerste keer dat ze een onderzoek met tweelingen uitvoert. Ze verdiept zich in de theorie over tweelingen.

Ze leest dat nadat een eicel bevrucht is door een spermacel, deze eicel zich gaat delen. Uit dit klompje cellen kan één baby ontstaan, maar soms splitst het klompje cellen zich en ontstaan er twee en soms zelfs meer baby's. Als er een tweeling ontstaat, is dat een eeneiige tweeling. De baby's lijken op elkaar. Soms worden er door spermacellen op hetzelfde moment twee eicellen bevrucht. Ook dan ontstaat een tweeling: een twee-eiige tweeling. Deze baby's lijken net zoveel op elkaar als andere broers en zussen.

Bij een eeneiige tweeling zijn zowel de genen als de omgeving hetzelfde, terwijl bij een twee-eiige tweeling de omgeving ook hetzelfde is, maar de genen gemiddeld maar voor 50%.

■ **Afb. 1** Eeneiige tweeling.



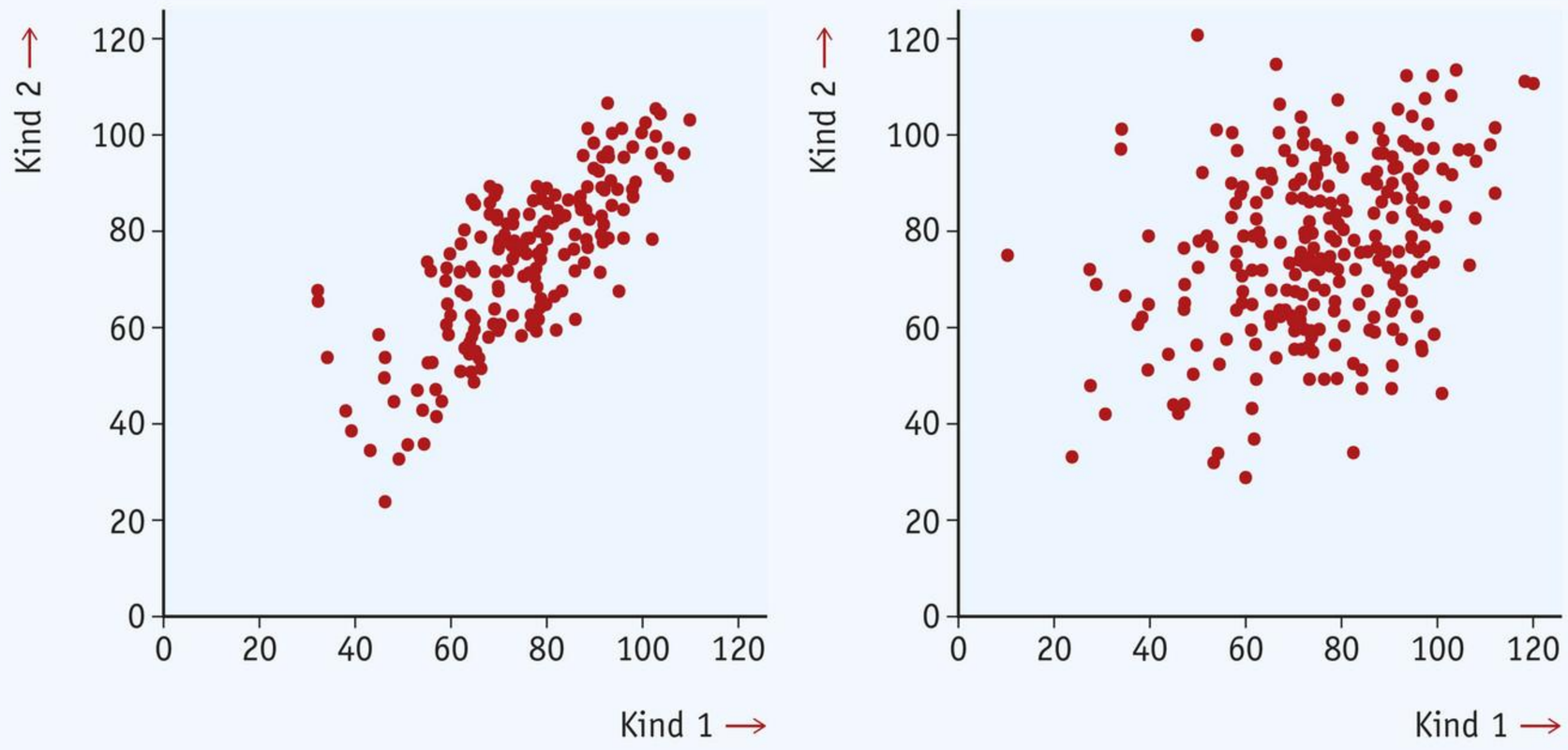
Onderzoekers vergelijken eeneiige en twee-eiige tweelingen. Ze bekijken in hoeverre beide typen tweelingen op elkaar lijken. Als een eigenschap volledig door de genen wordt bepaald, zoals oogkleur, zal deze bij eeneiige tweelingen in 100% van de gevallen identiek zijn en bij twee-eiige tweelingen niet. Als een eigenschap volledig door de opvoeding wordt bepaald, is de uitkomst anders.

Bij een gedeelte van de tweelingen zal de eigenschap tussen de broers en/of zussen hetzelfde zijn en bij de rest van de tweelingen niet. Bij eeneiige tweelingen en twee-eiige tweelingen zullen door de opvoeding bepaalde eigenschappen ongeveer even vaak identiek zijn. Een eigenschap die door de opvoeding wordt bepaald komt meestal niet voor 100% overeen bij alle tweelingen, want de omgeving is nooit 100% hetzelfde. De meeste eigenschappen worden gedeeltelijk bepaald door de genen en gedeeltelijk door de opvoeding.

Naomi denkt dat leesvaardigheid alleen door de omgeving wordt bepaald en niet door de genen. Ze laat een grote groep eeneiige tweelingen en een grote groep twee-eiige tweelingen dezelfde leestest doen. Hun scores zijn weergegeven in afbeelding 2. Elk punt is een tweeling; op de *x*-as staat de score van kind 1, de score van zijn/haar broer of zus staat op de *y*-as.

De punten in de puntenwolk van de eeneiige tweelingen liggen redelijk in een lijn, terwijl de punten in de puntenwolk van de twee-eiige tweelingen meer verspreid liggen. Dit wil zeggen dat er meer overeenkomst is in de leesscores van de eeneiige tweelingen dan van de twee-eiige tweelingen. Naomi trekt een conclusie uit de resultaten.

■ **Afb. 2** Leesscores van eeneiige tweelingen en twee-eiige tweelingen.



Opdrachten

1 Welke onderdelen heeft een bevruchte eicel van een mens: *celkern – celmembraan – celwand – cytoplasma – vacuole*? Leg je antwoord uit.

2 Bij welk type tweelingen is het mogelijk dat het gaat om twee zusjes? Leg je antwoord uit.

3 Soms worden dieren door wetenschappers gekloond. Hierbij wordt via ongeslachtelijke voortplanting een nieuw dier gemaakt uit een cel van een ouderdier.
Je zou kunnen zeggen dat er bij een eeneiige tweeling sprake is van een kloon. Leg dit uit.

4 Wat is de onderzoeksvraag van het onderzoek naar leesvaardigheid bij de tweelingen?

5 Moet Naomi haar hypothese behouden of verwerpen? Leg je antwoord uit.

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

1 ONGESLACHTELIJKE VOORTPLANTING

LEERDOELEN

2.1.1 Je kunt uitleggen op welke manieren er door ongeslachtelijke voortplanting nakomelingen ontstaan die genetisch identiek zijn aan de ouder.

2.1.2 Je kunt het verloop van de celcyclus beschrijven en de verschillende fasen benoemen.

- Practica 1 en 2

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	2.1.1	**2.1.2**
Begrijpen	1, 2, 3	4, 5, 6, 13
Toepassen	9a, 14	7, 10, 12a
Analyseren	8, 9b, 15, 16, 17	11, 12b

Als je een bos bloemen in een vaas laat staan, dan is het mogelijk dat sommige stengels ineens wortels krijgen. Als je zo'n stengel in een pot met aarde zet, krijg je met een beetje geluk een levende plant, die identiek is aan de plant waar de stengel ooit vanaf is geknipt. Dit is een voorbeeld van ongeslachtelijke voortplanting.

NATUURLIJKE ONGESLACHTELIJKE VOORTPLANTING

Bij **ongeslachtelijke voortplanting** ontstaan nakomelingen uit één ouder. De nakomelingen zijn genetisch identiek aan de ouder. Eencelligen, zoals bacteriën, kunnen zich ongeslachtelijk voortplanten door celdeling. Bij celdeling deelt een cel, de moedercel, zich in twee identieke dochtercellen, die dezelfde genetische eigenschappen bevatten als de moedercel. Bij ongeslachtelijke voortplanting groeien beide dochtercellen uit tot volledige organismen. Celdeling vindt niet alleen plaats bij ongeslachtelijke voortplanting, maar in meercellige organismen delen de cellen zich ook voor groei en voor vervanging van oude of beschadigde cellen.
Ongeslachtelijke voortplanting komt voor bij bacteriën, schimmels, planten en sommige diersoorten.

Schimmels en sommige planten en bacteriën planten zich voort via **sporen**. Dit zijn een soort voortplantingscellen. Sommige sporen kunnen jaren in een ruststadium overleven doordat ze beschikken over een dikke celwand. Uit een spore kan in veel gevallen een nieuw individu groeien.

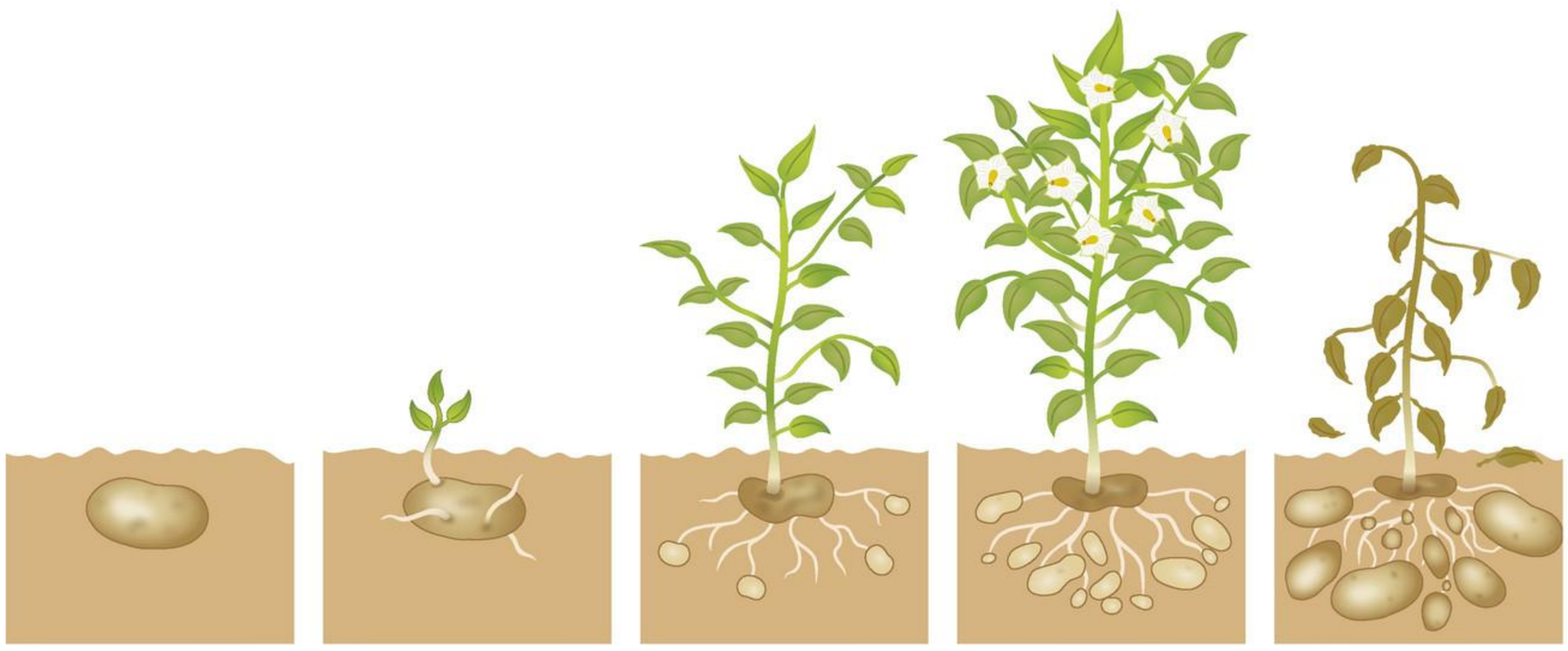
Ongeslachtelijke voortplanting bij zaadplanten gebeurt in de natuur op verschillende manieren. Aardbeien vormen uitlopers waaraan nieuwe aardbeiplanten ontstaan (zie afbeelding 1). Aardappelplanten vormen knollen met knoppen (zie afbeelding 2). Als een knop uitloopt, ontstaat aan het uiteinde van een uitloper een nieuwe knol. Uit elke knol kan een nieuwe aardappelplant ontstaan. De nieuwe aardappelplanten vormen op hun beurt weer nieuwe knollen.

Bolgewassen planten zich ongeslachtelijk voort door bollen. Tussen de lagen (rokken) van de bol bevinden zich knoppen (zie afbeelding 3). Als in het voorjaar een tulpenbol uitloopt vanuit een knop, wordt een deel van het reservevoedsel uit de rokken verbruikt. De rokken verschrompelen en de overgebleven knoppen ontwikkelen zich tot nieuwe tulpenbollen. Dit zijn natuurlijke manieren van ongeslachtelijke voortplanting.

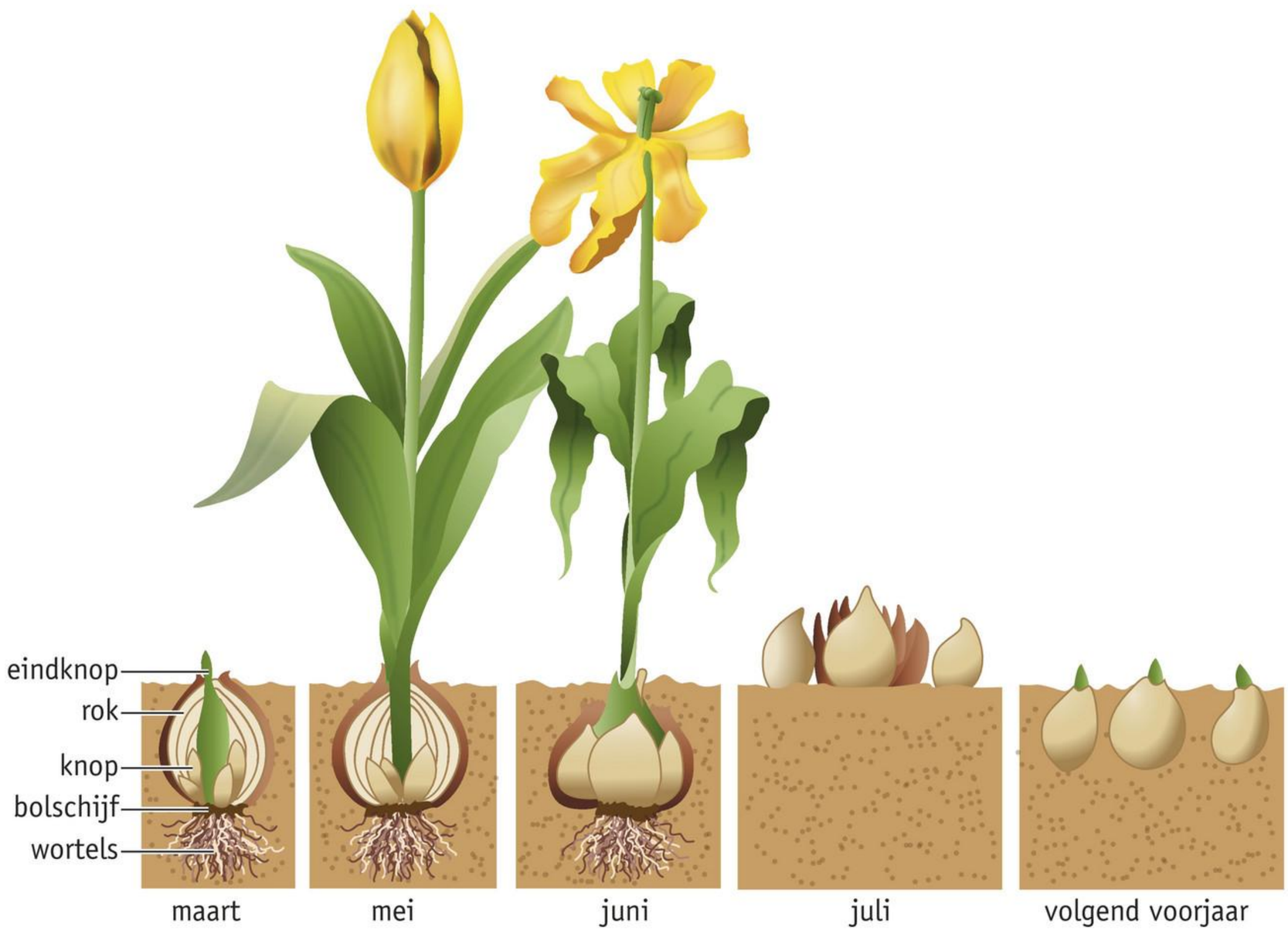
■ **Afb. 1** Uitlopers van een aardbeienplant.



■ **Afb. 2** Ongeslachtelijke voortplanting door knollen bij een aardappel.



■ **Afb. 3** Ongeslachtelijke voortplanting door bollen (bij een tulp).



KUNSTMATIGE ONGESLACHTELIJKE VOORTPLANTING

Ongeslachtelijke voortplanting kan ook op kunstmatige wijze plaatsvinden, dat heet **klonen**. Bij planten zijn verschillende methoden bekend om een plant met gunstige erfelijke eigenschappen snel te vermeerderen, zoals stekken (een deel van de plant laten uitgroeien tot individu) en weefselkweek (stukjes weefsel van een plant laten uitgroeien tot individu, zie afbeelding 4). Welke methode wordt gebruikt, is afhankelijk van de soort plant.

■ **Afb. 4** Weefselkweektechniek met een frambozenplant.



Ook dieren, zoals varkens en schapen, worden op kleine schaal gekloond. Dat gebeurt in Europa bijvoorbeeld om menselijke ziekten te onderzoeken of medicijnen te testen. Buiten de EU is de wetgeving rondom klonen van dieren anders. Daar worden dieren soms gekloond voor vleesproductie of andere commerciële doeleinden, bijvoorbeeld het klonen van een huisdier.

Niet iedereen is enthousiast over klonen. Tegenstanders vinden bijvoorbeeld dat de mens niet mag ingrijpen in de natuur, of dat je dieren niet mag gebruiken voor onderzoek. Dit zijn **ethische argumenten**. Anderen hebben bezwaren tegen klonen, omdat dierlijke nakomelingen soms afwijkingen hebben of jong overlijden. Planten kunnen vatbaar zijn voor ziekten, doordat ze genetisch identiek zijn. Dit zijn **biologische argumenten**.

Opdrachten KENNIS

1 Een bacteriesoort deelt zich elke 30 minuten. Je start met één bacterie en laat deze 10 uur delen.

a Teken een grafiek waarin je het aantal bacteriën weergeeft tijdens de 10 uur.

b Verloopt de voortplanting van een bacterie op lineaire of op exponentiële wijze?

2 Aardbeiplanten kunnen uitlopers maken waaraan nieuwe planten gaan groeien. Welke overeenkomst hebben aardbeiplanten die aan een uitloper zijn ontstaan en plantjes die zijn ontstaan door klonen via de weefselkweektechniek?

3 Fruittelers maken gebruik van enten. Bij enten wordt de tak van een fruitboom met gewenste eigenschappen vastgemaakt op een stam van een andere boom(soort). Deze boom gaat sneller vruchten maken dan wanneer een zaadje moet uitgroeien tot een vruchtdragende boom.

a Leg uit waarom enten een vorm van klonen is.

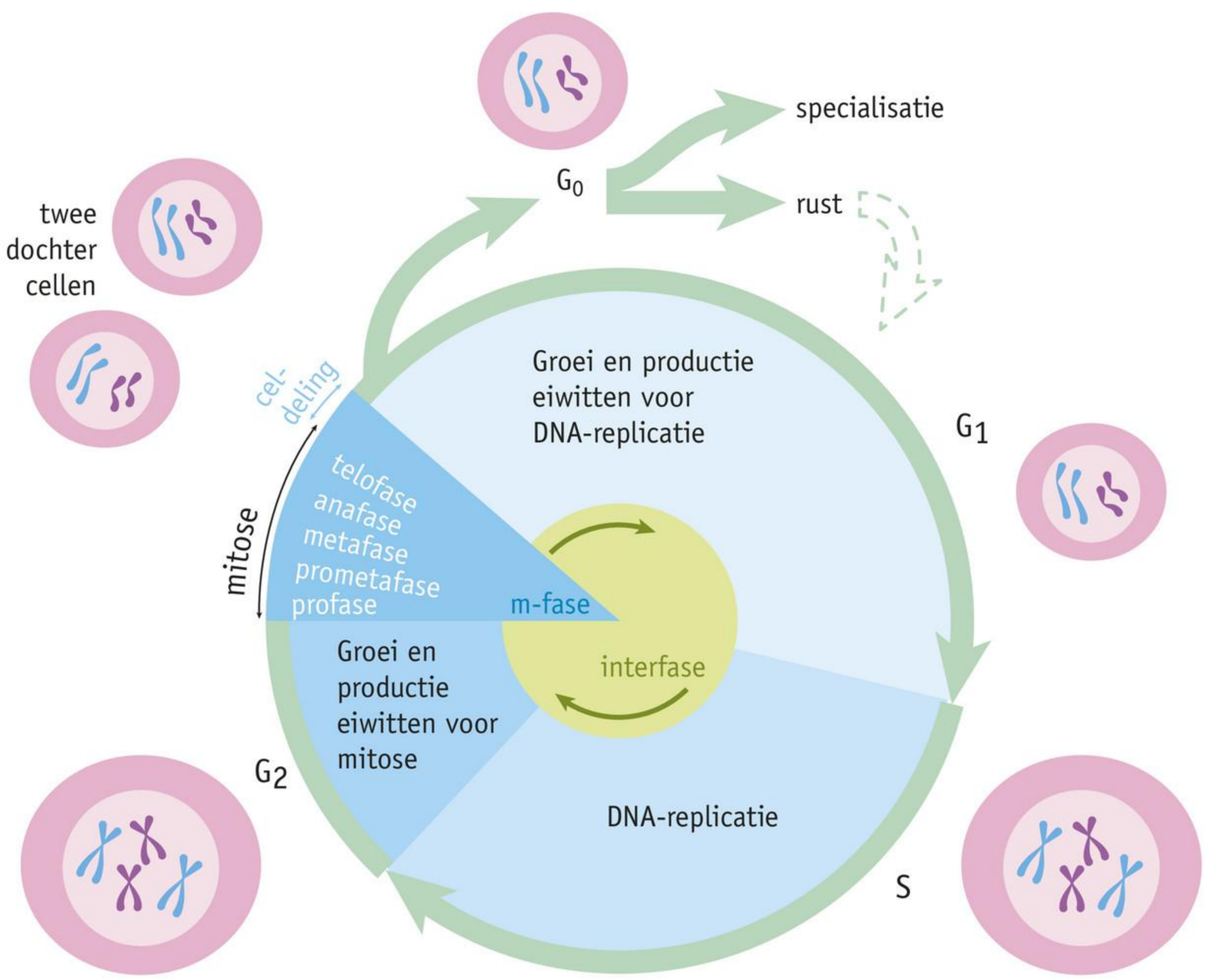
b Geef een biologisch argument tegen het gebruik van geënte appelbomen door een fruitteler.

CELCYCLUS (SE)

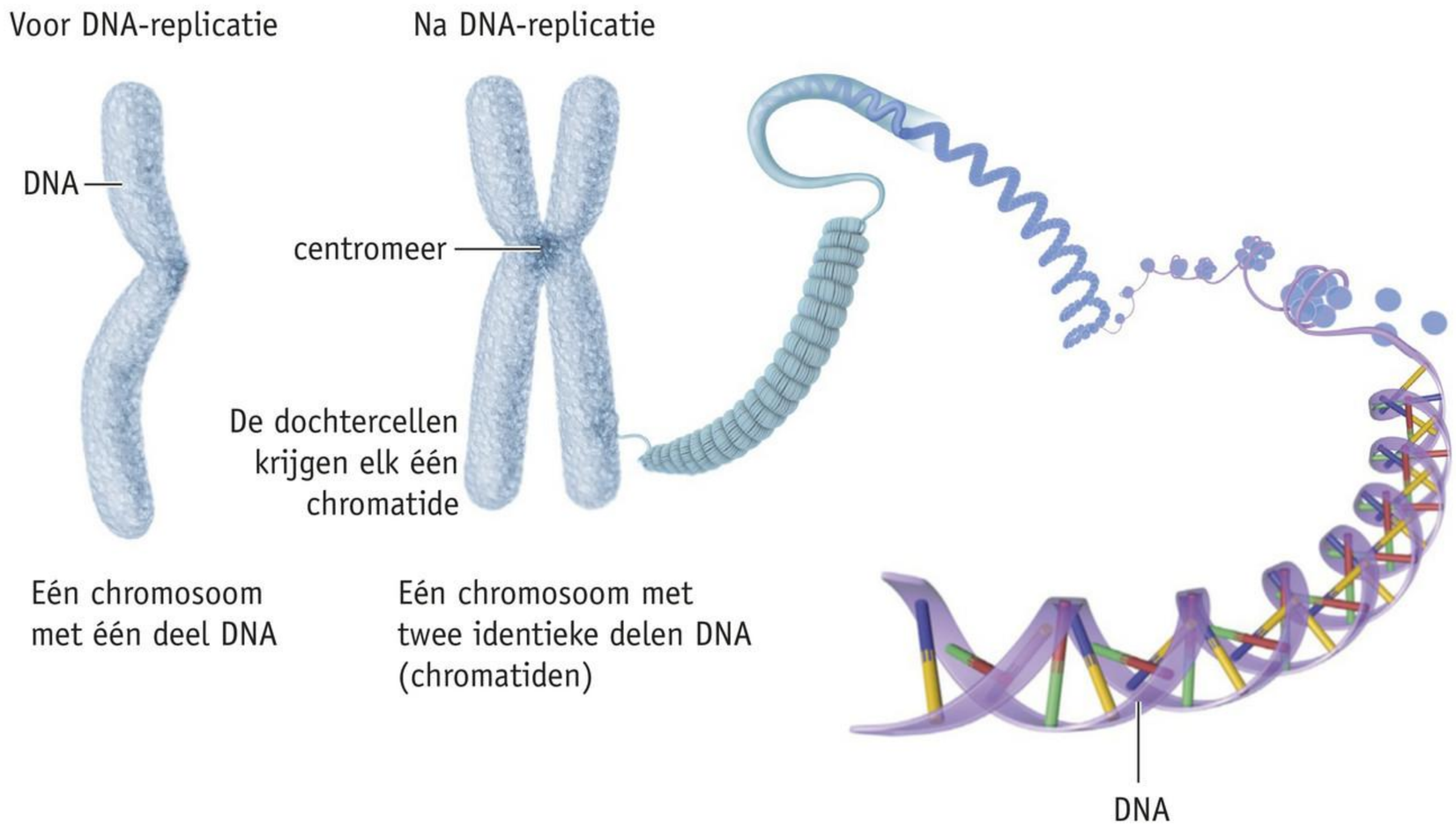
Bij celdeling ontstaan uit één cel twee cellen met dezelfde erfelijke eigenschappen. De erfelijke eigenschappen van een organisme liggen vast in DNA dat in de chromosomen zit. Voordat een cel deelt, wordt het DNA gekopieerd. Elke nieuwe cel ontvangt bij de deling precies dezelfde set **chromosomen**.
De celcyclus (**levenscyclus** van een cel) bestaat uit twee onderdelen: de M-fase en de interfase (zie afbeelding 5, *BiNaS* tabel 76A). De M-fase is de periode waarin de **mitose** (kerndeling) en de celdeling plaatsvinden. De interfase is de periode tussen twee delingen. De interfase is verdeeld in verschillende fasen: G_1-fase, S-fase en G_2-fase.

G_1-fase	Als een cel zich gaat delen, neemt de cel in grootte toe (plasmagroei). De cel maakt eiwitten die nodig zijn om DNA te kopiëren.
S-fase	Het DNA wordt gekopieerd (DNA-replicatie of DNA-synthese). Het oorspronkelijke DNA en het gekopieerde DNA blijven op één punt aan elkaar vastzitten (het centromeer). Zolang het chromosoom uit twee identieke delen DNA bestaat, heten deze identieke DNA-delen chromatiden (zie afbeelding 6).
G_2-fase	De cel neemt in grootte toe en maakt eiwitten die nodig zijn voor de mitose. Organellen worden gekopieerd en er wordt celmembraan gevormd. Ook de trekdraden die nodig zijn voor de mitose worden geproduceerd.
M-fase	De mitose en de celdeling vinden plaats.
G_0-fase	Na de celdeling kan een cel een nieuwe celcyclus ingaan, maar dit hoeft niet. De cel kan ook in tijdelijke of blijvende rust gaan of zich gaan specialiseren, dit wordt de G_0-fase genoemd.

■ **Afb. 5** De celcylcus.



■ **Afb. 6** Een chromosoom voor en na verdubbeling.



MITOSE

De M-fase bestaat uit de mitose en de celdeling. De mitose vindt plaats in fasen (*BiNaS* tabel 76B1). In afbeelding 7 is het verloop van de mitose en de celdeling van een dierlijke cel schematisch weergegeven.

Profase	Het centrosoom (spoellichaampje) is een organel dat bij dierlijke cellen een belangrijke rol in de kerndeling speelt. Een centrosoom ziet eruit als twee kleine cilinders (de centriolen). Tijdens de profase verdubbelt het centrosoom. De centrosomen bewegen zich naar tegenovergestelde kanten van de cel, waarbij trekdraden tussen de centrosomen ontstaan. De trekdraden vormen de kernspoel op het moment dat ze de kern omvatten. De chromosomen rollen op (spiraliseren) en zijn hierdoor sterker. Vanaf dit moment zijn chromosomen zichtbaar met een lichtmicroscoop.
Prometafase	Terwijl het kernmembraan verdwijnt, houdt de kernspoel de chromosomen op hun plaats in het midden van de cel. De trekdraden kunnen nu bij de chromosomen komen. Ze hechten zich aan het centromeer.
Metafase	De chromosomen bevinden zich in een vlak tussen beide centrosomen. De trekdraden verbinden elk centromeer met een centrosoom.
Anafase	De chromatiden laten elkaar los, waarna elk door de trekdraden naar een ander centrosoom wordt getrokken. De chromatiden heten nu weer chromosomen.
Telofase	Er vormt zich rondom elke groep chromosomen een nieuw kernmembraan. Doordat de chromosomen zijn verdubbeld en daarna weer zijn gesplitst, bevat elke kern een kopie van de chromosomen in de moedercel.

De mitose heeft nu plaatsgevonden. De celdeling volgt doordat de cel zich tussen de twee kernen insnoert, waardoor twee cellen ontstaan.

1 WAT KUN JE MET BIOLOGIE?

LEERDOELEN

1.1.1 Je kunt beschrijven wat biologie is en uitleggen dat biologie op veel gebieden een rol speelt.

1.1.2 Je kunt het verschil tussen levensloop en levenscyclus beschrijven.

1.1.3 Je kunt de organisatieniveaus van de biologie benoemen en uitleggen dat op elk hoger organisatieniveau emergente eigenschappen kunnen ontstaan.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	1.1.1	**1.1.2**	**1.1.3**
Begrijpen	1, 2	3, 4, 5	6, 7, 8, 9
Toepassen		10, 11, 17	12, 14, 15, 18
Analyseren			13, 16, 19, 20, 21

Miljarden jaren geleden verschenen de eerste levensvormen op het aardoppervlak. Sindsdien is de aarde veranderd van een zand- en steenachtige omgeving in een omgeving vol met kleuren en diverse levensvormen. De biologie probeert deze verscheidenheid aan levensvormen te verklaren en te beschrijven.

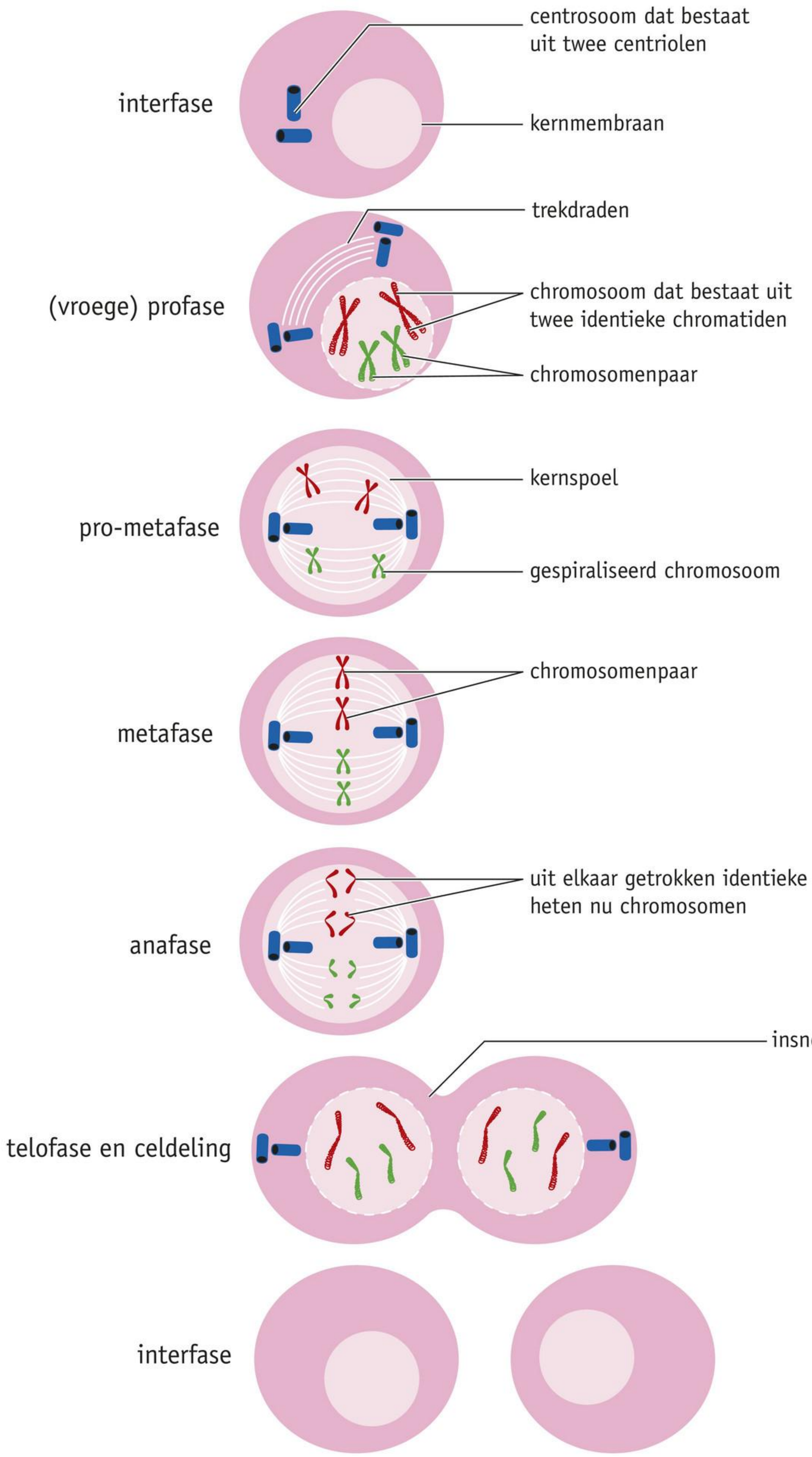
BIOLOGIE IS OVERAL

Biologie is een breed vak. Het strekt zich uit van moleculen, zoals DNA, tot aan ecosystemen. Ook het observeren van gedrag en de geschiedenis van het leven (evolutie) hoort bij de biologie. Doordat biologie zo'n divers vak is, specialiseren biologen zich vaak in een bepaald onderwerp. Zo heb je bijvoorbeeld moleculair biologen, microbiologen, neurobiologen en gedragsbiologen.

Binnen alle onderdelen van de biologie hebben wetenschappers kennis verzameld. Deze kennis heeft ervoor gezorgd dat we bijvoorbeeld meer inzicht hebben in wat een gezonde levensstijl is, dat we het DNA van organismen kunnen aanpassen, dat we meer te weten zijn gekomen over ziekteverwekkers en dat we topsporters beter kunnen laten presteren.

Biologie is ook een heel dynamisch vak. Door meer en beter wetenschappelijk onderzoek neemt de biologische kennis elke dag toe. Soms moet door nieuwe inzichten kennis worden aangepast. Zo worden inzichten over voeding regelmatig bijgesteld, net zoals kennis binnen de evolutietheorie. Biologie is ook steeds relevanter bij belangrijke vraagstukken over de toekomst van voedselvoorziening en voedselzekerheid, gezondheid, duurzame ontwikkeling, energie en veiligheid. Het vak biologie staat daardoor nooit stil en is continu in beweging.

■ **Afb. 7** Mitose.


interfase
centrosoom dat bestaat uit twee centriolen
kernmembraan
(vroege) profase
trekdraden
chromosoom dat bestaat uit twee identieke chromatiden
chromosomenpaar
pro-metafase
kernspoel
gespiraliseerd chromosoom
metafase
chromosomenpaar
anafase
uit elkaar getrokken identieke chromatiden, heten nu chromosomen
telofase en celdeling
insnoering
interfase

Opdrachten KENNIS

4 Vrijwel alle neuronen (zenuwcellen) delen zich niet meer nadat ze zijn ontstaan.
In welke fase van de celcyclus bevindt een neuron zich?

5 Een lichaamscel van de mens bevat 23 chromosomenparen.
a Hoeveel chromatiden bevat een menselijke cel tijdens de G_2-fase?
b Hoeveel centromeren bevat een menselijke cel tijdens de G_2-fase?

6 Een menselijke cel wordt in een laboratorium behandeld met chemicaliën die voorkomen dat de DNA-replicatie begint.
In welke fase van de celcyclus blijft de cel door deze behandeling steken?

Opdrachten INZICHT

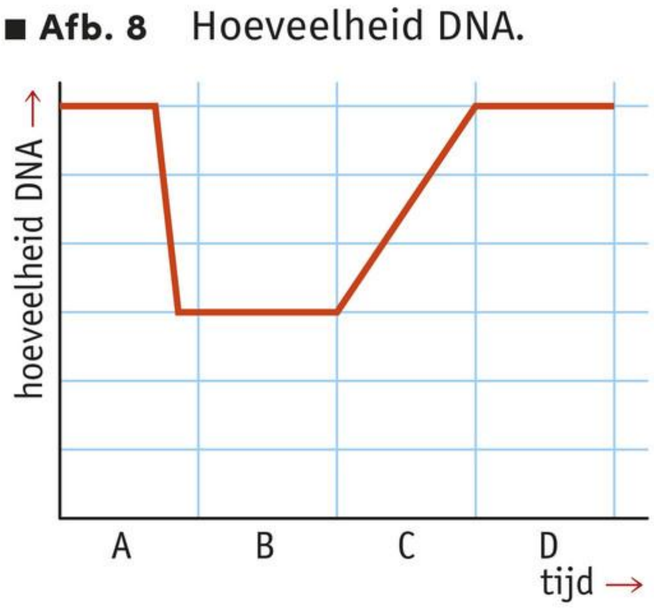
7 In *BiNaS* tabel 76B.1 zijn de stappen van de mitose weergegeven voor een cel die twee paar chromosomen heeft.
a Teken de anafase van een cel die drie paar chromosomen heeft.
b Hoeveel chromatiden zijn er aan het eind van de anafase in deze cel aanwezig?

8 Een manier van klonen is celkerntransplantatie. Uit een onbevruchte eicel van een donorkoe wordt de celkern vervangen door een celkern van een superkoe met heel goede erfelijke eigenschappen. De ontstane eicel kan uitgroeien tot een individu in een draagkoe. Van één superkoe kunnen zo binnen korte tijd meerdere kalveren ontstaan.
a Hebben de kalveren van een superkoe die ontstaan via de kerntransplantatie allemaal hetzelfde geslacht, of kunnen ze van geslacht verschillen? Leg je antwoord uit.
b Een andere manier van klonen is embryosplitsing. Daarbij wordt het klompje cellen dat na bevruchting ontstaat in tweeën of vieren gedeeld. Elk klompje cellen groeit uit tot een individu.
Hebben kalveren die ontstaan na embryosplitsing dezelfde erfelijke eigenschappen als de koe die de eicel leverde? Leg je antwoord uit.

9 Bij verschillende diersoorten kunnen vrouwtjes nakomelingen krijgen zonder mannetjes. Vaak maken de vrouwtjes een eicel die ze zelf bevruchten. Dit verschijnsel treedt op bij verschillende insecten, haaien en vissen.
a Wat is het voordeel van deze manier van voortplanten?
b Beargumenteer of hier sprake is van geslachtelijke of ongeslachtelijke voortplanting.

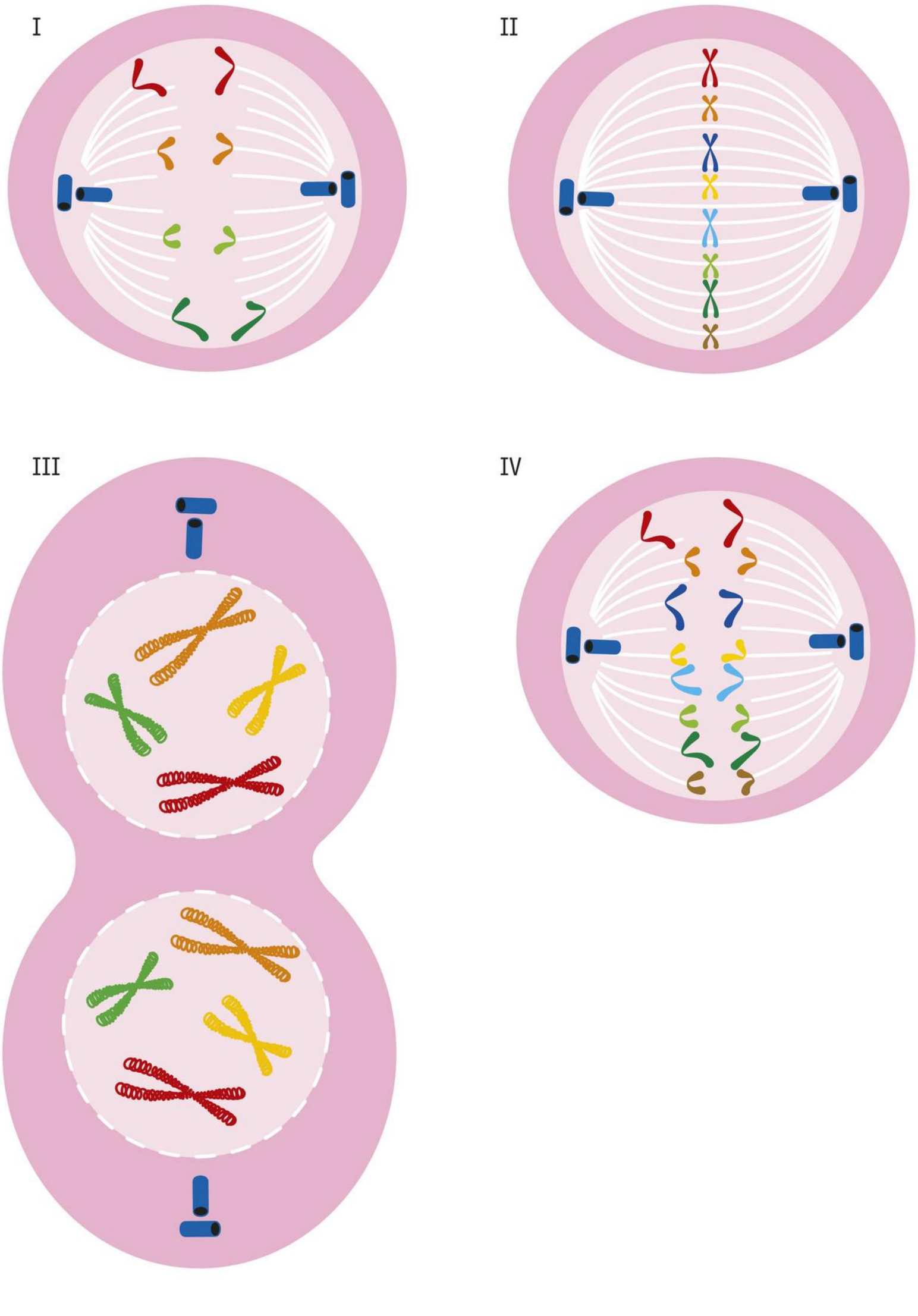
10 Tijdens een onderzoek is gedurende een celcyclus de hoeveelheid DNA in een cel gemeten. Het resultaat van dit onderzoek is in afbeelding 8 weergegeven.
In het diagram zijn vier perioden aangegeven. Neem de letters over en geef bij elke letter aan met welke fase van de celcyclus deze periode overeenkomt.

■ **Afb. 8** Hoeveelheid DNA.



11 In afbeelding 9 zijn vier cellen getekend.
Geef bij elke cel aan of deze wel of niet afkomstig kan zijn van een fase tijdens de mitose van een organisme dat acht chromosomen heeft. Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 9** Vier cellen.



12 Onderzoekers ontdekten dat in levercellen van de mens de celdeling niet altijd wordt afgemaakt. Dit gebeurt vaker bij het ouder worden. De dochtercel die ontstaat bevat dan twee celkernen.

a Hoeveel chromosomen bevat een cel met twee celkernen?

b De levercellen met twee celkernen zijn onderzocht in laboratoria. In zeldzame gevallen ondergaan deze cellen celdeling. In deze cellen ontstond een spoelfiguur met drie centrosomen. Als er twee centrosomen aanwezig zijn, worden chromatiden uit elkaar gehaald. Als er één centrosoom aanwezig is, gebeurt dat niet. Er ontstaat een dochtercel met één celkern en een dochtercel met twee celkernen.
Hoeveel chromosomen bevat een moedercel met twee celkernen in de anafase?

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

Context Wetenschap

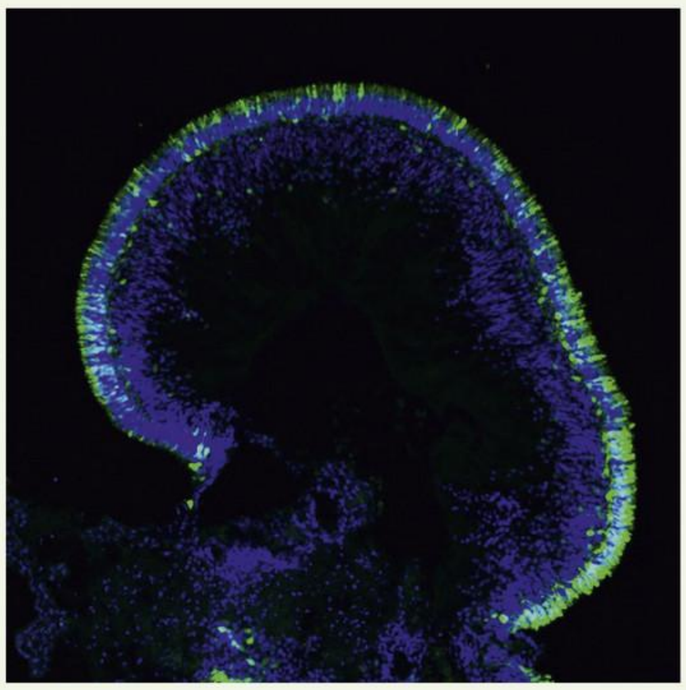
MINI-ORGANEN

Medicijnen worden door wetenschappers eerst bij gezonde mensen en daarna bij een kleine groep patiënten getest. Goedgekeurde medicijnen worden vervolgens door artsen aan alle patiënten voorgeschreven ongeacht leeftijd, geslacht, of variant van de ziekte. Soms blijkt dat bepaalde medicijnen niet bij iedereen werken. Het zou fijn zijn om van tevoren te weten of een medicijn voor een patiënt werkt.

Wetenschappers proberen organen na te maken waarop ze medicijnen en behandelingen kunnen testen. Hiervoor gebruiken ze stamcellen. Dit zijn cellen die nog in meerdere of zelfs alle typen cellen kunnen veranderen. Stamcellen worden door een arts uit een patiënt gehaald. Vervolgens worden de stamcellen door wetenschappers aangestuurd om zich te delen en te differentiëren in het gewenste type cellen. Op deze manier is het gelukt om verschillende typen mini-organen, organoïden, te maken van maximaal enkele millimeters groot. Omdat een organoïde slechts enkele cellagen dik is, lukt het om in een laboratorium de cellen te voorzien van voldoende voedingsstoffen. Dit is bij een groter model van een orgaan (nog) niet mogelijk. De organoïde bestaat uit goed werkende cellen, maar de interactie tussen de cellen gaat vaak nog niet zoals bij een orgaan.

Wetenschappers kunnen soms al een organoïde van de stamcellen van een patiënt maken. Een behandeling of medicijn kunnen ze op deze organoïde testen. Als de organoïde goed reageert op de behandeling, is de kans heel groot dat de behandeling ook goed zal werken voor deze specifieke patiënt.

■ **Afb. 10** Organoïde van het netvlies (onderdeel van het oog) van een mens. Verschillende celtypen zijn gekleurd.



Opdrachten

13 In welke fase van de celcyclus bevindt zich een stamcel die zich differentieert naar een hartcel?

14 I Een gedifferentieerde niercel is genetisch identiek aan de stamcel waar hij uit is ontstaan.

II De mitose verloopt bij een stamcel sneller, omdat hij nog niet is gedifferentieerd.

Geef van elke stelling aan of ze juist of onjuist is.

15 In de tekst staat dat je een organoïde kunt gebruiken om een behandeling voor een patiënt op te testen.
Als een behandeling niet werkt op een organoïde, zal de behandeling zeer waarschijnlijk ook niet werken voor de patiënt.
Leg dat uit.

16 Patiënten die lijden aan taaislijmziekte kunnen een duur medicijn vergoed krijgen als ze met een organoïdetest kunnen aantonen dat het medicijn voor hen werkt.
Geef een ethische reden voor deze regeling.

17 Het is wetenschappers gelukt om organoïden van de hersenen te maken. De hersencellen maakten verbinding met elkaar en stuurden signalen naar elkaar.
Geef een ethische reden tegen het maken van organoïden van de hersenen.

2 GESLACHTELIJKE VOORTPLANTING

LEERDOELEN

2.2.1 Je kunt beschrijven hoe door meiose gameten worden gevormd en hoe de bevruchting verloopt.
2.2.2 Je kunt de bouw, werking en functie van de voortplantingsorganen van de mens beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	2.2.1	**2.2.2**	**1.6.2****
Begrijpen	18, 19, 20, 22	21, 23, 24, 31	
Toepassen	25	27, 32	33
Analyseren	26, 28, 30	29	

** Dit leerdoel vind je in een ander thema.

Mensen kunnen zich niet voortplanten zonder iemand anders. Een spermacel en een eicel maken samen een nieuw mens.

LICHAAMSCELLEN EN GAMETEN

In het lichaam zijn er twee soorten cellen: **gameten** (geslachtscellen) en lichaamscellen. Gameten worden gevormd in de **voortplantingsorganen van de mens**. Elke lichaamscel, ook wel somatische cel genoemd, bevat alle genetische informatie. Dit geldt niet voor de gameten. Deze cellen bevatten de helft van de genetische informatie. De genetische informatie ligt vast in de chromosomen. Somatische cellen hebben twee sets chromosomen, terwijl gameten één set chromosomen hebben.

Bij **geslachtelijke voortplanting** komt de genetische informatie van twee vruchtbare individuen samen. De kern van een gameet van het ene individu smelt samen met de kern van een gameet van een ander individu, de **bevruchting**. Er ontstaat dan een cel met weer twee sets chromosomen. Zo ontstaat een nieuw individu, dat na verloop van tijd zelf vruchtbaar is. De levenscyclus is zo rond. Geslachtelijke voortplanting komt voor bij dieren, planten en schimmels.

Een nakomeling krijgt van beide ouders een willekeurige helft van de genen. Hierdoor kan er binnen een soort een variatie in de combinaties van genen aanwezig zijn. Er is **genetische variatie**.

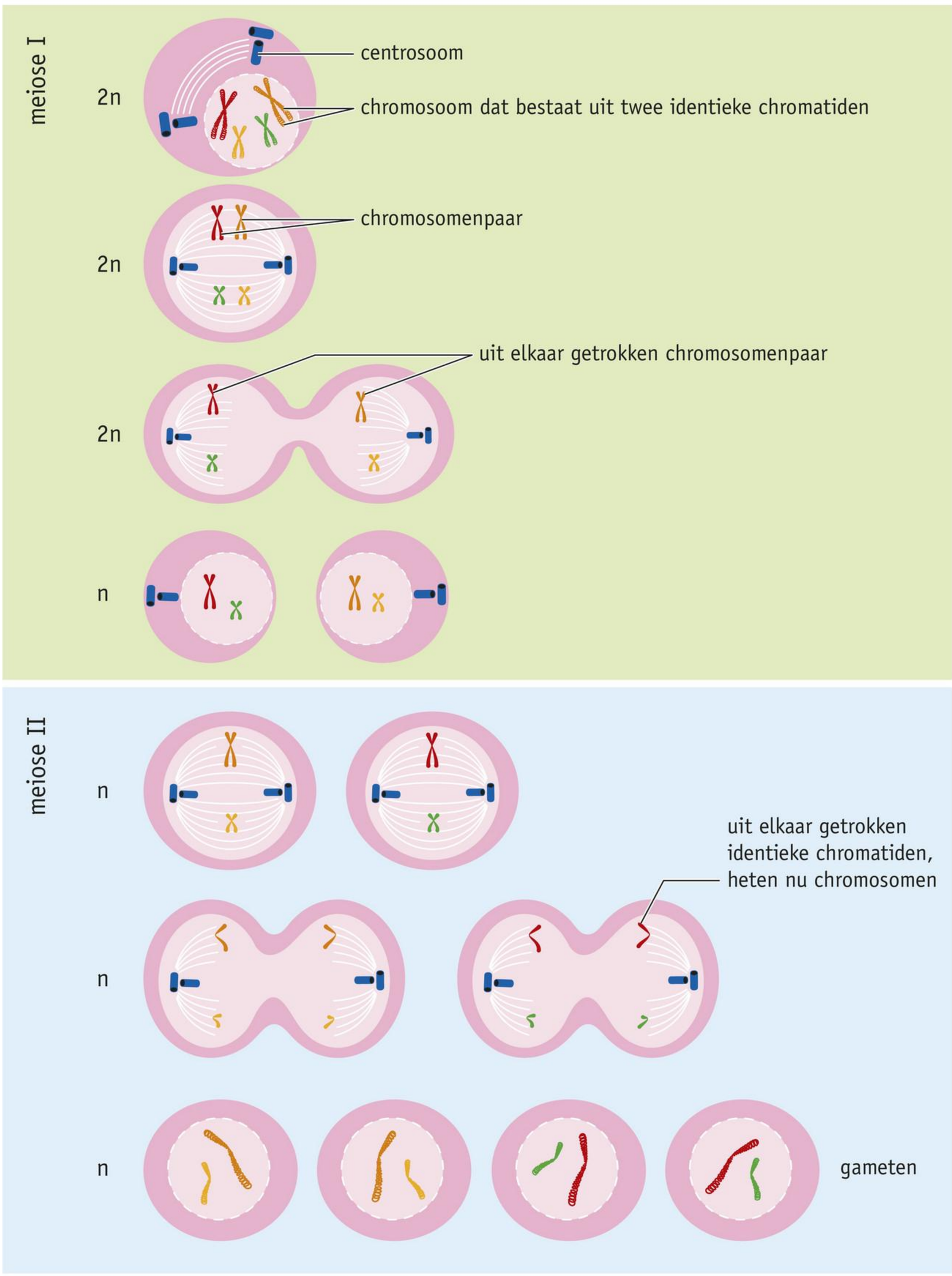
MEIOSE

Wanneer een cel één set chromosomen heeft, wordt de cel **haploïd** genoemd. Dit wordt weergegeven met de letter *n*, die staat voor het aantal verschillende chromosomen. Een cel met twee sets chromosomen wordt **diploïd** genoemd, weergegeven met 2*n*. Bij enkele diersoorten en bij veel plantensoorten zijn er meer dan twee sets chromosomen in de somatische cellen aanwezig. Deze cellen worden **polyploïd** genoemd, weergegeven met het aantal sets chromosomen gevolgd door de letter *n* (bijvoorbeeld 4*n*).

Organismen die zich geslachtelijk voortplanten, hebben speciale organen die gameten maken. Bij mensen zijn dit bij vrouwen de **eierstokken** (ovaria) en bij mannen de **teelballen**. In deze organen ontstaan haploïde dochtercellen uit diploïde moedercellen.

Het proces waarbij het aantal chromosomen van een cel wordt gehalveerd, wordt reductiedeling of **meiose** genoemd (zie afbeelding 11, *BiNaS* tabel 76B.2 en 76B.3). De meiose bestaat uit twee opeenvolgende delingen: meiose I en meiose II. Meiose I start met één diploïde cel waarvan elk chromosoom is gekopieerd en dus bestaat uit twee chromatiden. Door trekdraden worden de chromosomenparen van elkaar weggetrokken. Vervolgens deelt deze diploïde cel zich in twee haploïde cellen. In iedere haploïde cel zit nu één set chromosomen, waarbij elk chromosoom nog steeds bestaat uit twee chromatiden. Tijdens de meiose II worden de chromatiden van elkaar getrokken. Uit deze twee haploïde cellen ontstaan vier haploïde dochtercellen. Deze cellen kunnen zich ontwikkelen tot gameten.

■ **Afb. 11** Meiose ($2n = 4$).



Opdrachten KENNIS

18 Waarom bevatten gameten de helft van de genetische informatie?

19 Hoewel er organismen bestaan met grote aantallen chromosomen, is het aantal bij de meeste organismen kleiner dan honderd (zie tabel 1).

a Hoeveel chromosomen bevat een gameet van een ezel?

b Een dierenarts kijkt naar het weefsel van de teelballen van een volwassen kater. Zij telt het aantal chromosomen in de cellen. Bij verschillende typen cellen ziet ze verschillende aantallen chromosomen.
Welke aantallen chromosomen per cel kan de dierenarts tegenkomen? Leg je antwoord uit.

Tabel 1 Het aantal chromosomen per lichaamscel bij verschillende soorten.

Soort	Aantal chromosomen per celkern
Fruitvlieg	8
Erwt	14
Rijst	24
Gist	32
Kat	38
Mens	46
Chimpansee	48
Gorilla	48
Olifant	56
Rund	60
Ezel	62
Paard	64
Hond	78
Heremietkreeft	254

20 De mitose en meiose I en II staan in *BiNaS* tabel 76B. Wanneer je de mitose en meiose met elkaar vergelijkt, zijn dezelfde fasen te onderscheiden. Ook zijn er verschillen te zien.

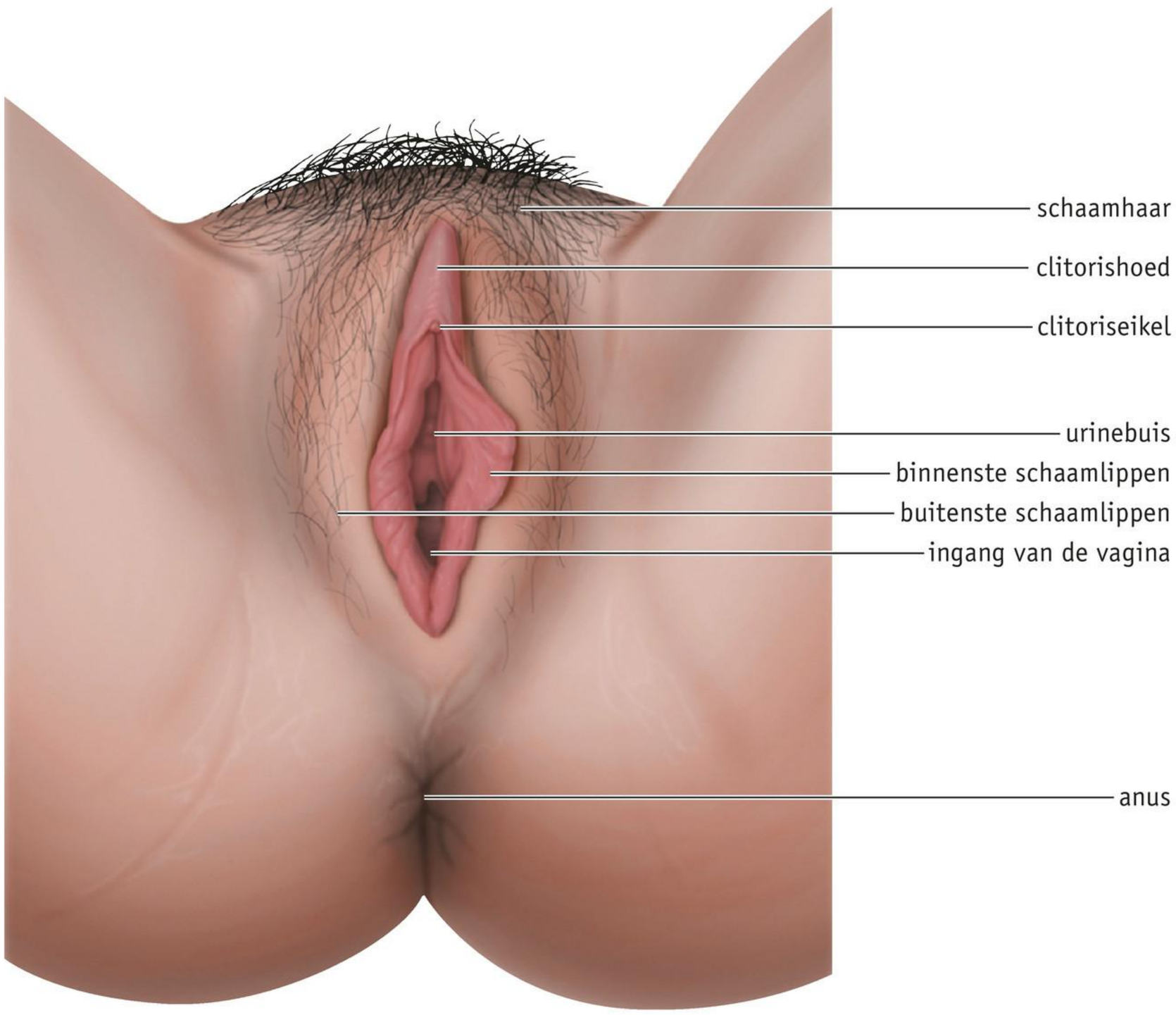
a Wat is het verschil tussen de anafase van de mitose en de anafase 1 van de meiose?

b Zijn de cellen die worden gevormd in telofase 1 diploïd of haploïd? Leg je antwoord uit.

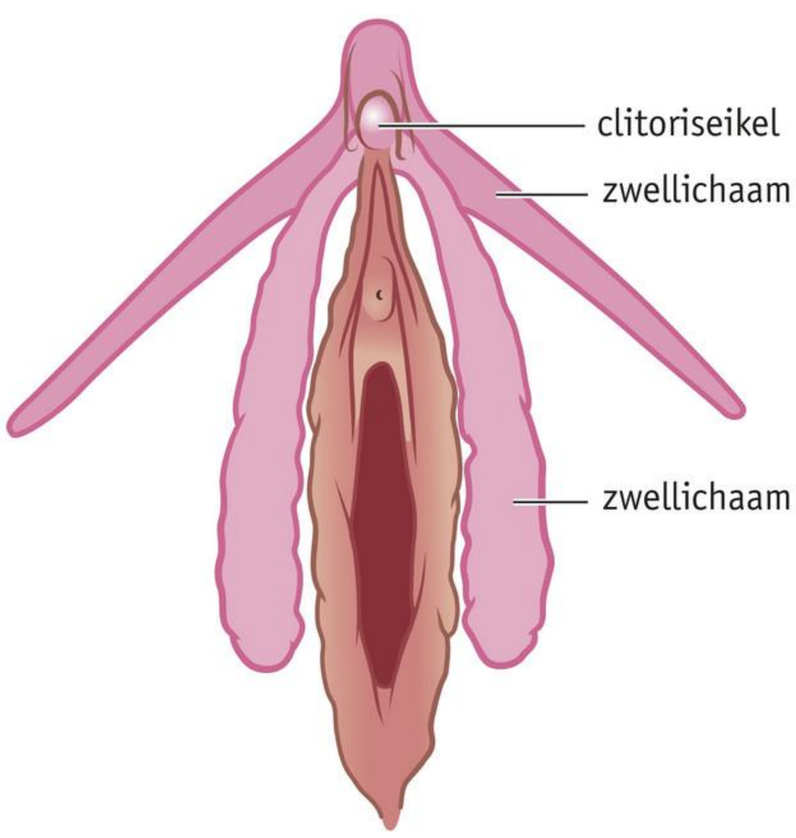
DE VROUW

Wanneer een meisje wordt geboren, kun je het geslacht bepalen aan de hand van de aanwezigheid van de **primaire geslachtskenmerken**. Dit zijn de buitenste schaamlippen, de binnenste schaamlippen, een deel van de **clitoris** en de opening van de **vagina**, die je samen de vulva noemt (zie afbeelding 12). De clitoriseikel ligt aan de bovenkant van de binnenste schaamlippen. Om de clitoriseikel ligt een huidplooi: de clitorishoed. De zwellichamen van de clitoris liggen onder de binnenste en buitenste schaamlippen (zie afbeelding 13). Wanneer een vrouw seksueel opgewonden raakt, kunnen de zwellichamen zich vullen met bloed en de clitoris kan een erectie krijgen. De wand van de binnenste schaamlippen maakt vaginaal vocht aan, waardoor de toegang tot de vagina gladder wordt en er minder stroefheid optreedt tijdens geslachtsgemeenschap. Zonder vocht verloopt de geslachtsgemeenschap pijnlijk. Wil je toch geslachtsgemeenschap, dan kun je beter een glijmiddel gebruiken.

■ **Afb. 12** Vulva.



■ **Afb. 13** Clitoris.



Een vrouw kan een **orgasme** krijgen door stimulatie van de clitoriseikel. Daarnaast kan ongeveer 20% van de vrouwen een orgasme krijgen door penetratie van de vagina. Bij een orgasme trekken de spieren aan de ingang van de vagina, bij de anus en de baarmoeder zich samen.

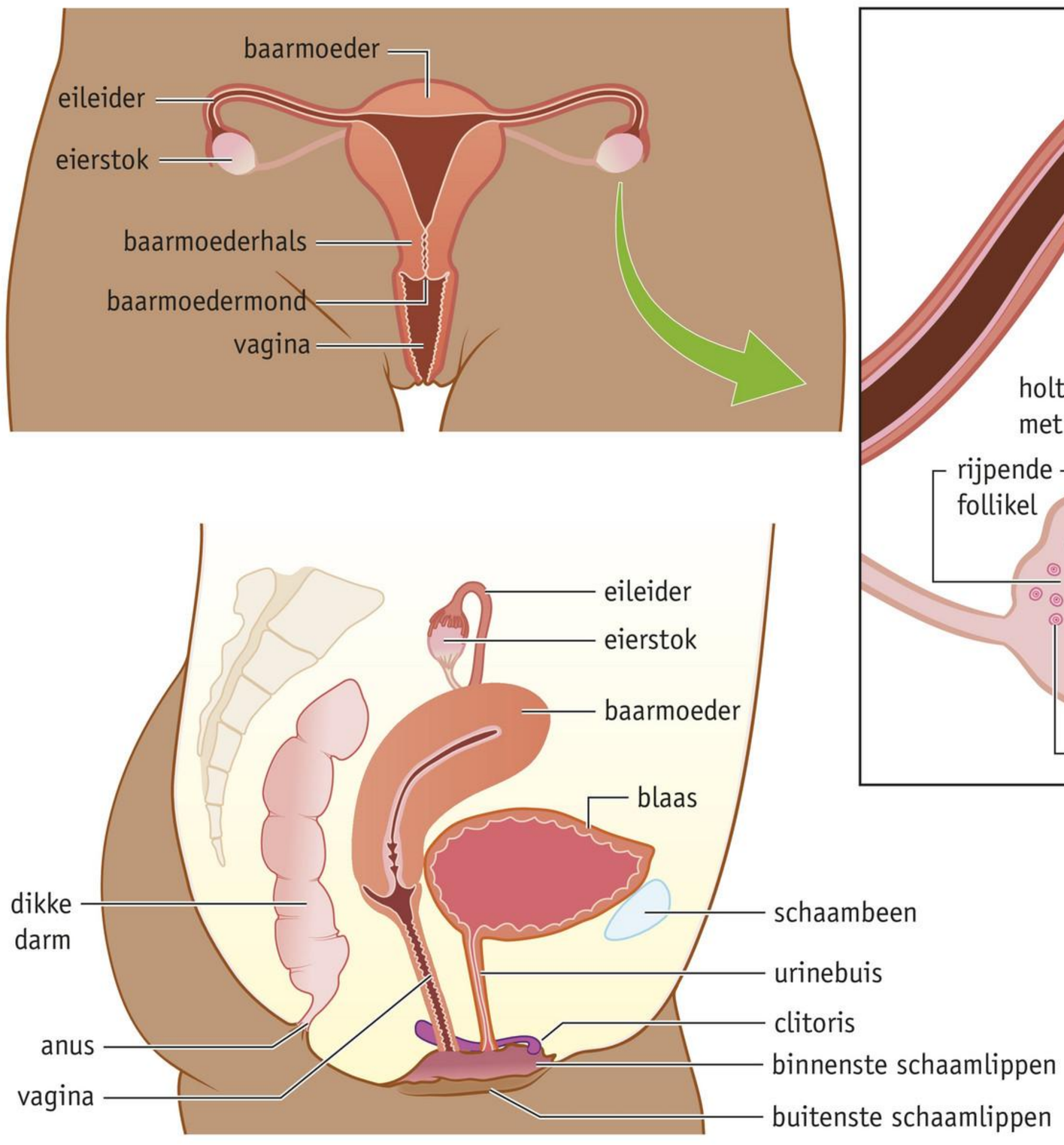
GAMETEN VAN DE VROUW

Bij de geboorte bevinden zich in elke eierstok ongeveer een miljoen onrijpe eicellen (primaire oöcyten) waaruit zich alle **eicellen** (oöcyten) ontwikkelen. Eicellen zijn de gameten van de vrouw. De vorming van eicellen heet oögenese.

De primaire oöcyten bevinden zich aan het begin van meiose I. Elke oöcyt is omgeven door een laag diploïde follikelcellen. Samen heet dit de **follikel**. Wanneer een meisje in de puberteit vruchtbaar wordt, zal vanaf dat moment tijdens elke menstruatiecyclus een aantal follikels zich verder ontwikkelen. Deze follikels groeien en nemen vocht op (zie afbeelding 14, *BiNaS* tabel 86B). De eicellen in deze follikels vervolgen de meiose. Bij meiose I deelt de eicel zich ongelijk in een eicel met veel cytoplasma en een veel kleiner **poollichaampje** (zie *BiNaS* tabel 86D). Een van de follikels ontwikkelt zich het verst en deze barst open: de ovulatie (eisprong). De eicel bevindt zich nu halverwege meiose II en heet nu secundaire oöcyt. De eicel komt in het trechtervormige uiteinde van de **eileider**. De resten van de follikel in de eierstok noem je het **gele lichaam**. Het gele lichaam heeft een hormoonproducerende functie. Bewegingen van trilharen en spierbewegingen van de eileider vervoeren de eicel in de richting van de **baarmoeder**.

Na de ovulatie blijven eicellen 12 tot 24 uur in leven. Als in deze periode geen bevruchting plaatsvindt, sterft de eicel af. Als er wel een spermacel binnendringt, wordt meiose II afgerond, waarbij opnieuw een poollichaampje ontstaat en al het cytoplasma in de bevruchte eicel blijft. Het eerste poollichaampje ondergaat soms ook meiose II. De bevruchte eicel heet **zygote**.

■ **Afb. 14** Voortplantingsstelsel van de vrouw.



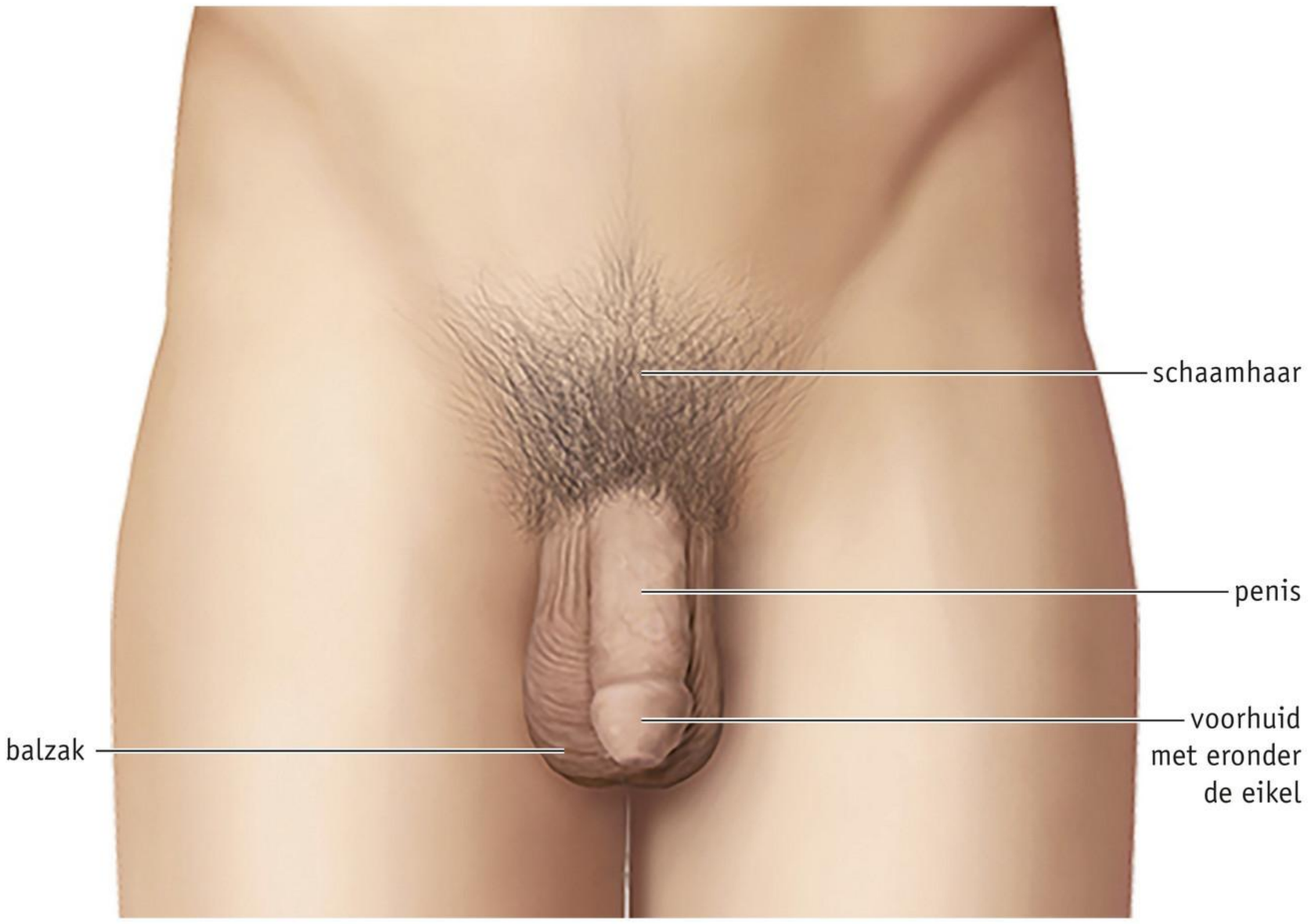
DE MAN

Wanneer een jongen wordt geboren, kun je het geslacht bepalen aan de hand van de aanwezigheid van een **penis** en teelballen (zie afbeelding 15 en 16, *BiNaS* tabel 86A). Dit zijn **primaire geslachtskenmerken** van de man. In de puberteit wordt een jongen vruchtbaar op het moment dat hij **spermacellen** (zaadcellen) gaat vormen. Spermacellen zijn de gameten van de man. Deze ontstaan in de teelballen. Daarin zitten gekronkelde zaadbuisjes, waarin 'spermacel-moedercellen' liggen (zie afbeelding 17). Deze diploïde cellen delen zich via mitose, waarna een deel van deze cellen meiose ondergaat. Uit de ontstane haploïde cellen worden spermacellen gevormd. De vorming van spermacellen heet spermatogenese. De spermacellen worden tijdelijk opgeslagen in de bijballen. De teelballen en de bijballen liggen in de balzak, een huidplooi tussen de benen, de anus en de penis.

De temperatuur in de balzak wordt gereguleerd door spieren in de balzak, die de teelballen en bijballen dichter naar het lichaam kunnen brengen of ze juist verder van het lichaam laten zakken. De ideale temperatuur voor spermatogenese en spermacellen ligt rond de 35 °C.

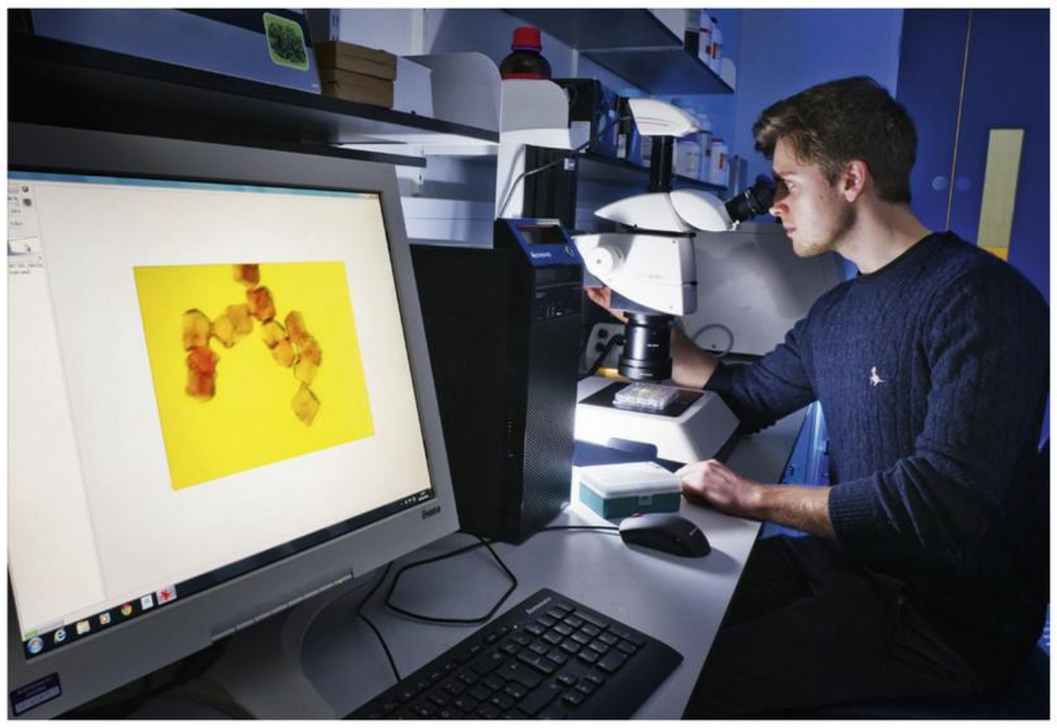
Wanneer een man seksueel opgewonden raakt, kunnen de zwellichamen in de penis zich vullen met bloed, hierdoor wordt de penis stijf (erectie). Wanneer de man seksueel gestimuleerd wordt, door bijvoorbeeld vrijen of masturbatie, kan dit een orgasme veroorzaken. Vaak vindt er tijdens een orgasme ook een zaadlozing plaats. De spermacellen worden dan vanuit de bijballen via de zaadleider vervoerd langs de zaadblaasjes en de prostaat. Deze voegen vocht toe dat de spermacellen activeert en ze energie geeft. Het vocht met de spermacellen heet nu sperma. Vervolgens verlaat het sperma het lichaam via de urinebuis.

■ **Afb. 15** Uiterlijke geslachtskenmerken van de man.



Biologie is een van de natuurwetenschappen. In de natuurwetenschappen bestuderen wetenschappers natuurverschijnselen. Andere natuurwetenschappen zijn onder andere scheikunde, natuurkunde en geologie. Tussen biologie en deze natuurwetenschappen bestaan overgangsgebieden, zoals biochemie, biomedische wetenschappen en paleontologie (zie afbeelding 1). Al deze wetenschappen dragen bij aan de kennis van het leven die we nu hebben.

■ **Afb. 1** Overgangsgebieden tussen de biologie en enkele andere natuurwetenschappen.



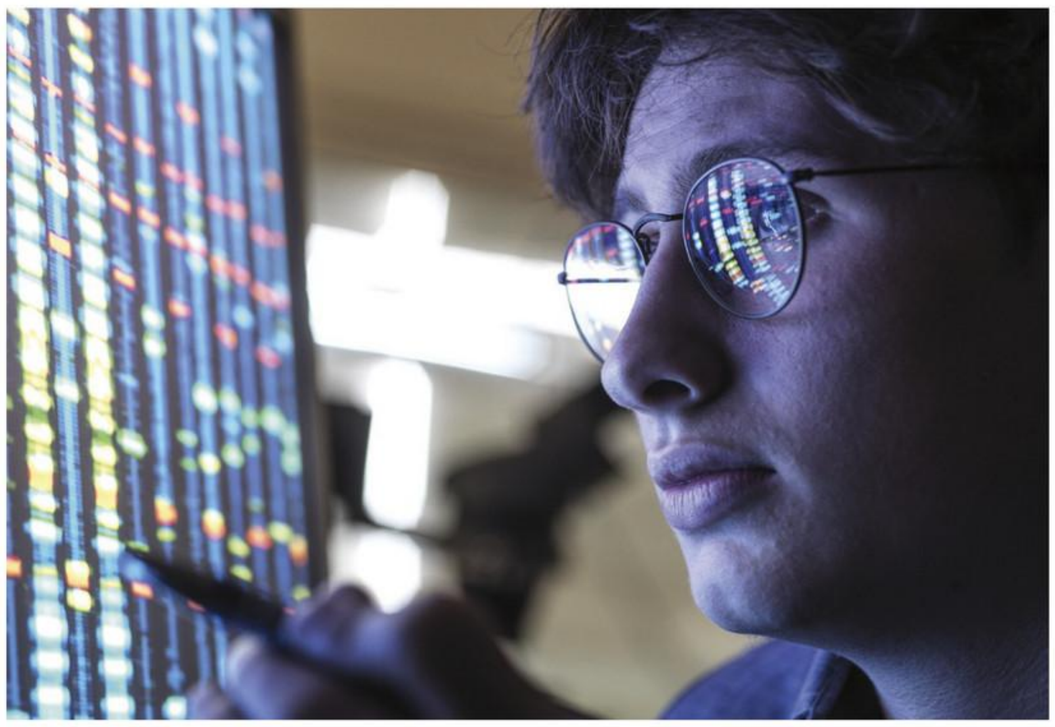
1 biofysica: biologie en natuurkunde



2 paleontologie: biologie en geologie



3 biochemie: biologie en chemie

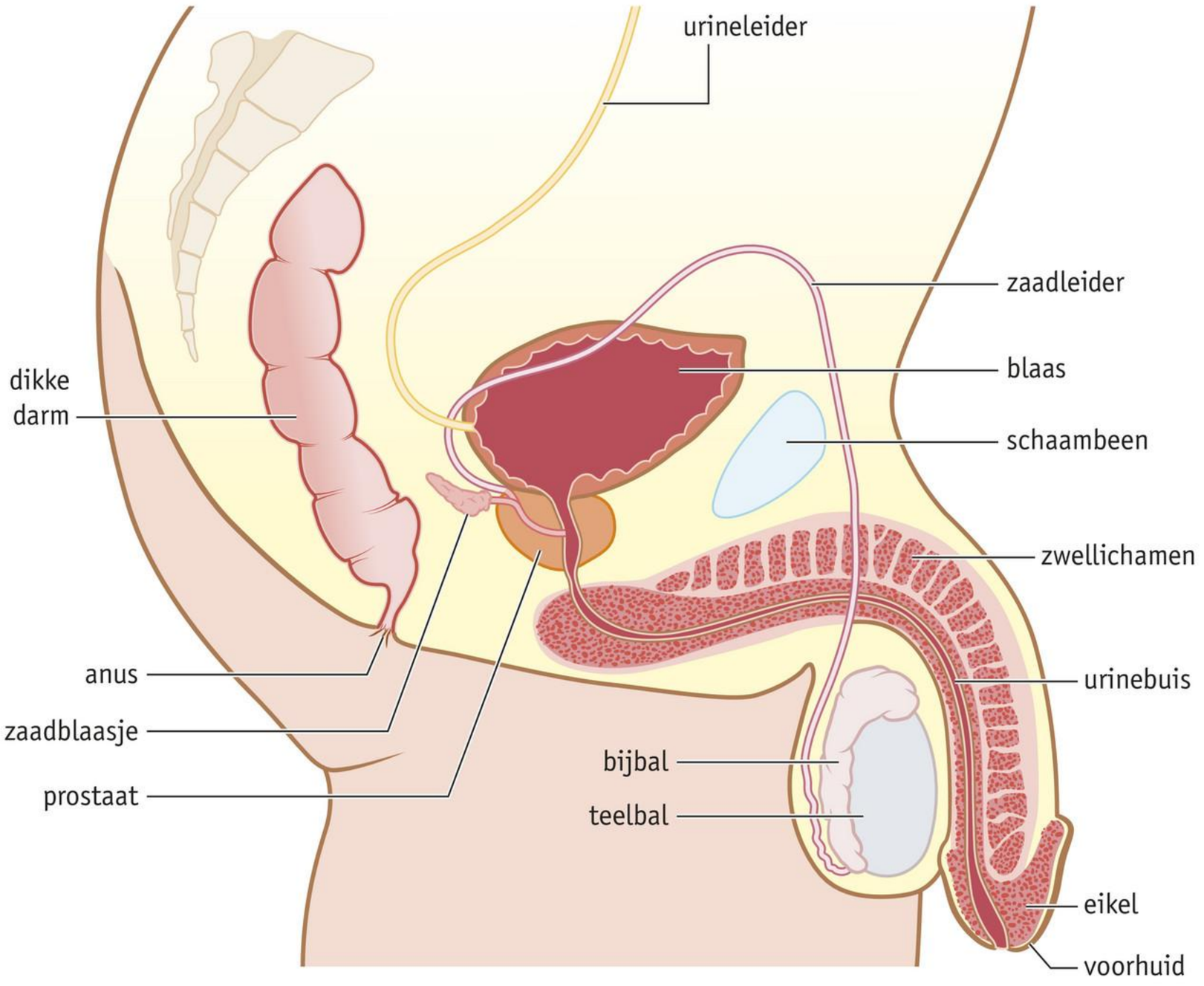


4 bio-informatica: biologie en informatica

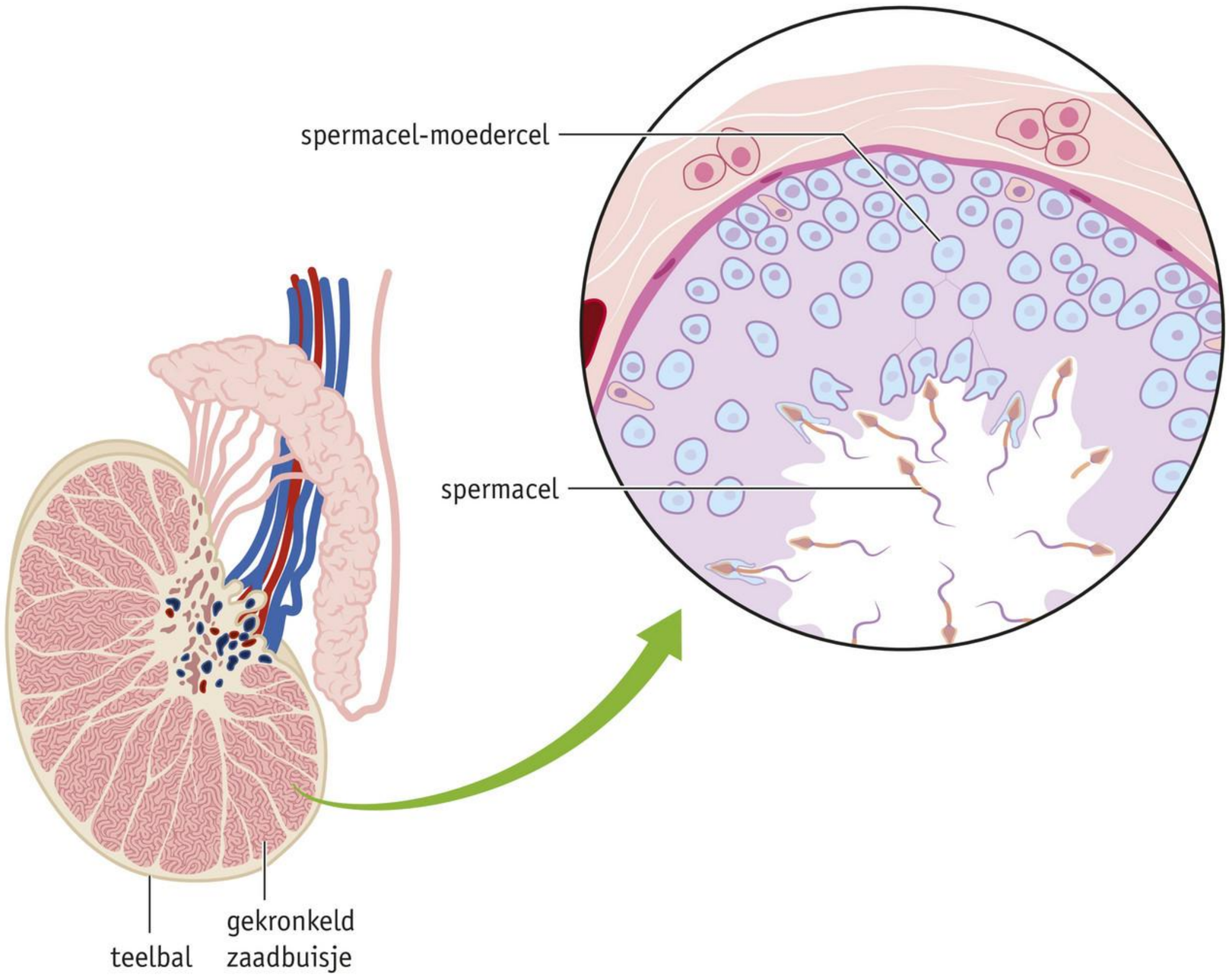


5 biomedische wetenschappen: biologie en geneeskunde

■ **Afb. 16** Voortplantingsstelsel van de man.



■ **Afb. 17** Spermatogenese.



BEVRUCHTING

Wanneer een man en een vrouw geslachtsgemeenschap hebben, komen bij een zaadlozing van de man zijn spermacellen in de vagina van de vrouw. In de vagina gaan veel spermacellen dood door de zure omgeving. Een deel van de spermacellen zwemt via de baarmoedermond en de baarmoeder naar de eileiders. Als in een eileider een eicel aanwezig is, kan bevruchting plaatsvinden.

De spermacel dringt door de lagen om de eicel heen en bindt zich aan het celmembraan van de eicel. De kern van de spermacel komt in het cytoplasma van de eicel. Na het binnendringen van de spermacel wordt een ondoordringbare laag rondom de bevruchte eicel gevormd, zodat er geen andere spermacellen bij de eicel kunnen komen.

Opdrachten KENNIS

21 Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 86D.
Leg uit hoeveel cellen er na meiose II van een primaire oöcyt bij de vrouw en een spermacel-moedercel bij de man kunnen deelnemen aan de bevruchting.

22 Zijn de primaire oöcyten van een meisjesbaby bij haar geboorte diploïd of haploïd?

23 Een vrouw maakt soms minder vocht aan in de vagina bij geslachtsgemeenschap, bijvoorbeeld na de overgang of doordat ze niet ontspannen is. Stellen kunnen er dan voor kiezen om glijmiddel te gebruiken.
Wat is een risico als er te weinig vocht is bij geslachtsgemeenschap?

24 Wanneer een man en een vrouw geslachtsgemeenschap hebben waarbij een bevruchting optreedt, legt de spermacel die de eicel bevrucht een weg af door de man en de vrouw.
Door en langs welke organen van de man en de vrouw komt de spermacel wanneer hij de eicel bevrucht?

Opdrachten INZICHT

25 Gebruik voor deze opdracht tabel 1.

a Beredeneer of het aantal chromosomen per celkern is gerelateerd aan intelligentie.

b Dieren die aan elkaar verwant zijn, hebben een gemeenschappelijke voorouder.
Zou er een relatie kunnen zijn tussen het chromosoomaantal en verwantschap? Leg je antwoord uit.

c Een onbekende cel wordt onder een microscoop bekeken. De cel heeft geen bladgroenkorrels, maar wel een celwand. Na grondig onderzoek blijkt dat de cel 24 chromosomen heeft.
Van welke soort(en) kan deze cel afkomstig zijn? Leg je antwoord uit.

26 Gebruik voor deze vraag afbeelding 9 bij opdracht 11 uit basisstof 2.1.
In afbeelding 9 zijn vier cellen getekend. Er wordt naar een organisme gekeken dat per lichaamscel acht chromosomen heeft.
Geef bij elke cel aan of hij wel of niet afkomstig kan zijn van een fase van de meiose van dit organisme. Als de cel wel afkomstig kan zijn van de meiose, geef dan ook aan of dit tijdens meiose I of meiose II is.

27 Bij stellen die moeite hebben om zwanger te worden, kan het probleem zitten in een verminderde zaadkwaliteit. Soms wordt dan het advies gegeven aan de man om geen strakke broeken en onderbroeken te dragen.
Leg uit waarom dit advies wordt gegeven.

28 **Oesters**

Naar: NBO voorronde 2020, vraag 29.

De Japanse oester (*Crassostrea gigas*) is de meest gekweekte oestersoort langs de Franse kust. Er worden diploïde en triploïde Japanse oesters gekweekt. De triploïde oesters (3*n* = 30) groeien sneller en kunnen ook 's zomers worden geoogst, terwijl diploïde oesters op dat moment paaien en gewicht verliezen. Triploïde oesters komen in de natuur nauwelijks voor. Triploïdie kan worden geïnduceerd door meiose I of meiose II te blokkeren bij net-bevruchte eicellen, maar meestal worden triploïde oesters geproduceerd door eicellen van diploïde vrouwtjes te laten bevruchten door spermacellen van tetraploïde (4*n*) mannetjes. Bij oesters vindt de gehele meiose van de eicel plaats na de bevruchting.
Over de voortplanting van oesters worden de volgende beweringen gedaan. Geef voor elke bewering aan of ze juist of onjuist is. Leg je antwoord uit.

a In het poollichaampje dat wordt gevormd bij meiose II bij diploïde oesters bevinden zich vijf chromosomen.

b De spermacellen van tetraploïde mannetjes zijn diploïd.

c Als triploïdie ontstaat door een blokkade van meiose II, is de genetische variatie binnen een nakomeling groter dan wanneer triploïdie ontstaat door een blokkade van meiose I.

29 Gebruik voor deze opdracht *BiNaS* tabel 86D.
Het eerste poollichaampje ondergaat soms meiose II en soms niet. Als dit poollichaampje geen meiose II ondergaat, zijn er twee poollichaampjes in een zygote in plaats van drie.

a Hoeveel *n* zijn het eerste poollichaampje en het tweede poollichaampje?

b Hoeveel DNA bevat het eerste poollichaampje en het tweede poollichaampje ten opzichte van de eicel? De helft, evenveel of dubbel zoveel?

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

Context Wetenschap

JONGEN OF MEISJE?

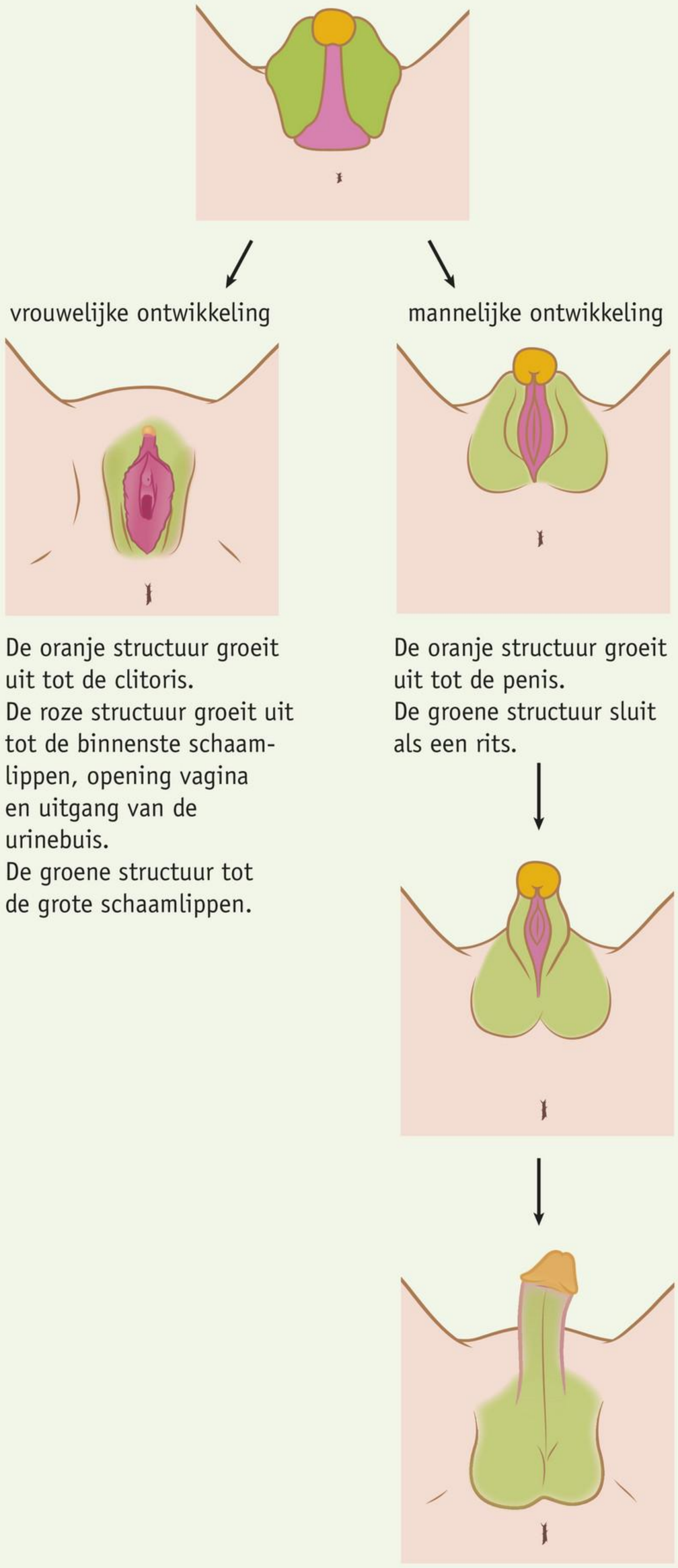
Na een lange bevalling, wordt een baby geboren: ‘En het is een …’ Elk embryo heeft de eerste zes weken van de zwangerschap dezelfde geslachtskenmerken (zie afbeelding 18 en tabel 2). Zonder de invloed van bepaalde hormonen ontstaan de voortplantingsorganen van een meisje. Bij jongens is een gen aanwezig dat zorgt voor de aanmaak van mannelijke hormonen. Deze hormonen zorgen ervoor dat de voortplantingsorganen van een man ontstaan.

Soms is het geslacht van een baby niet goed te bepalen. Er is dan (uitwendig en/of inwendig) een mix ontstaan van de voortplantingsorganen van een man en die van een vrouw. Dat wordt intersekse genoemd. Intersekse wordt veroorzaakt door afwijkende chromosoomaantallen of door een genetische aandoening, maar soms is de oorzaak onbekend. Onderzoekers willen weten of stoffen in het milieu een effect hebben op de vorming van de voortplantingsorganen. Sommige stoffen hebben namelijk een hormoonverstorende werking, zoals bestanddelen van plastics, bestrijdingsmiddelen en medicijnresten. De onderzoeksvraag is of deze stoffen zo’n verstorende werking kunnen hebben dat ze de ontwikkeling van de voortplantingsorganen beïnvloeden. Eén van de onderzochte stoffen is prochloraz, een bestrijdingsmiddel.

Onderzoekers hebben bevruchte eitjes van zebravissen blootgesteld aan verschillende concentraties van prochloraz. Vissen die zijn blootgesteld aan prochloraz blijken vaker intersekse te zijn dan vissen uit de controlegroep. Vissen die zijn blootgesteld aan de hoogste dosis prochloraz blijken vaker mannelijke geslachtsorganen te hebben.

Bij onderzoek naar zoogdieren is gevonden dat hormoonverstorende stoffen een effect kunnen hebben op de vruchtbaarheid. Er worden bijvoorbeeld minder mannelijke hormonen gemaakt of minder zaadcellen.

■ **Afb. 18** Mannelijke en vrouwelijke ontwikkeling van de geslachtskenmerken.



Tabel 2 Oorsprong van voortplantingsorganen van de mens.

Jong embryo	Vrouw	Man
Inwendig		
Geslachtsklier	eierstokken	zaadballen
Gang van Müller	Baarmoeder, eileiders en een deel van de vagina	–
Gang van Wolff	–	bijballen, zaadleiders, zaadblaasjes
Uitwendig		
Geslachtsknop	clitoris	penis
Geslachtswallen	schaamlippen	balzak

Opdrachten

30 Vrouwen hebben gewoonlijk twee X-chromosomen en mannen een X- en een Y-chromosoom. Sommige mannen hebben twee X-chromosomen en een Y-chromosoom, het syndroom van Klinefelter. De teelballen ontwikkelen zich dan vaak niet goed. Dit komt doordat er iets is misgegaan bij de meiose bij een van de ouders.

a In welke van onderstaande gevallen kan er wat zijn misgegaan (meerdere antwoorden mogelijk)? Leg je antwoord uit.

1 meiose I bij de vorming van de eicel
2 meiose II bij de vorming van de eicel
3 meiose I bij de vorming van de spermacel
4 meiose II bij de vorming van de spermacel

b In zeldzame gevallen heeft een man met het syndroom van Klinefelter niet in alle cellen XXY. Een gedeelte van de somatische cellen is XXY en het andere deel van de somatische cellen is XY of XX. Je noemt dit dan mozaïcisme.
Leg uit dat er in dit geval geen sprake is van een fout tijdens de meiose.

31 Mannen met het persisterende-gang-van-Müller-syndroom hebben mannelijke voortplantingsorganen, maar ook enkele vrouwelijke. Normaal produceren mannen een eiwit dat regelt dat de gang van Müller wordt afgebroken. Bij mannen met dit syndroom werkt het eiwit niet correct.
Welke vrouwelijke voortplantingsorganen kunnen nog aanwezig zijn bij mannen met dit syndroom?

32 Het orgasme van de man heeft een biologisch nut, namelijk voortplanting. De biologische oorzaak van het orgasme van de vrouw is onzeker. Er zijn verschillende theorieën. Een daarvan is dat het vrouwelijk orgasme de band tussen partners versterkt, waardoor beide partners voor de kinderen zullen zorgen. Een andere theorie is dat het vrouwelijk orgasme aanwezig is als overblijfsel van de gemeenschappelijke embryonale ontwikkeling met de man.
Leg uit wat er met de laatste theorie wordt bedoeld.

33 Beschrijf hoe de onderzoekers de zebravissen uit de controlegroep hebben behandeld.

3 HORMONEN

LEERDOEL

2.3.1 Je kunt de rol en werking van hormonen bij de voortplanting van de mens uitleggen.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	2.3.1
Begrijpen	34, 35, 36, 37, 38
Toepassen	39, 41a, 42, 45, 46, 47, 48, 49a
Analyseren	40, 41b, 43, 44, 49b

Tijdens de puberteit gieren de hormonen door je lijf. Deze hormonen zorgen voor veranderingen in je lichaam. Je emoties wisselen vaak ook door hormonen: je hebt vlinders in je buik, je bent blij, vrolijk, maar ook verdrietig, gekwetst en boos.

GESLACHTSHORMONEN

Hormonen zijn stoffen die door **hormoonklieren** worden gemaakt en via het bloed overal in het lichaam komen. Cellen kunnen gevoelig zijn voor een hormoon en erop reageren. Als een cel ongevoelig is voor een bepaald hormoon, zal de cel niet reageren.

Geslachtshormonen regelen verschillende aspecten van de voortplanting. Ze zorgen bijvoorbeeld voor het ontstaan van **secundaire geslachtskenmerken** (de veranderingen die optreden in het lichaam tijdens de puberteit). Voorbeelden van secundaire geslachtskenmerken bij de man zijn: gezichtsbeharing, verlaging van de stem, schaamhaar, vergroting van de geslachtsdelen en toename van de spiermassa. Voorbeelden van secundaire geslachtskenmerken bij de vrouw zijn: borstontwikkeling, schaamhaar, breder wordende heupen en toename van onderhuids vetweefsel. De geslachtshormonen zijn vanaf de start van de puberteit verantwoordelijk voor de productie van spermacellen en het regelen van de menstruatiecyclus. Ook hebben ze invloed op hoe iemand zich voelt.

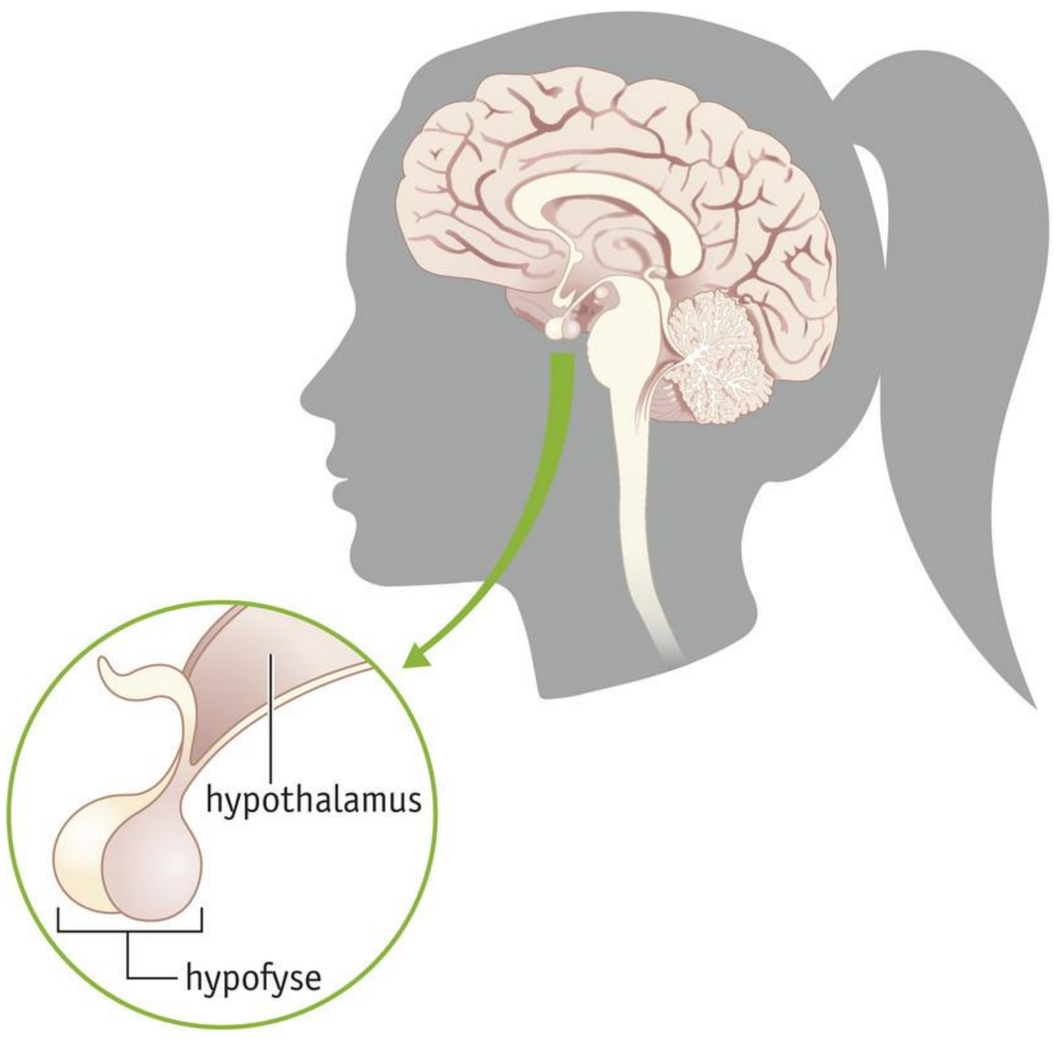
Bij mannen is de concentratie geslachtshormonen vanaf de puberteit vrij constant, hoewel deze langzaam daalt. Bij vrouwen verandert de concentratie van verschillende hormonen tijdens het leven vaak, zoals tijdens de menstruatiecyclus, tijdens een zwangerschap, na een bevalling en tijdens de overgang. Sommige vrouwen hebben veel last van de wisselende **hormoonconcentraties**. Ze kunnen allerlei lichamelijke klachten hebben, zoals pijnlijke borsten of een opgeblazen gevoel. Ze kunnen ook emotionele veranderingen hebben, zoals zich prikkelbaar, depressief of agressief voelen. Wanneer deze klachten regelmatig in de dagen voor de menstruatie optreden, kan een vrouw PMS (premenstrueel syndroom) hebben.

HYPOTHALAMUS EN HYPOFYSE

De **hypothalamus** en de **hypofyse** liggen vlak bij elkaar in het midden van het hoofd (zie afbeelding 19). De hypothalamus is als onderdeel van de hersenen onder meer verantwoordelijk voor de hormonale regeling in het lichaam. De hypofyse ligt vlak onder de hypothalamus en is de belangrijkste hormoonklier, omdat deze verschillende hormonen afgeeft. De hypothalamus activeert de hypofyse om bepaalde hormonen te produceren, door zelf **releasing hormonen** (**RH**) af te geven.

In de puberteit worden jongens en meisjes vruchtbaar en zijn dus in staat zich voort te planten. De hypothalamus geeft het hormoon GnRH (gonadotropine-releasing hormoon) af. De hypofyse reageert daarop door **follikelstimulerend hormoon** (**FSH**) en **luteïniserend hormoon** (**LH**) af te geven. Deze twee hormonen spelen zowel bij mannen als vrouwen een grote rol in de voortplanting, omdat ze de teelballen en eierstokken stimuleren.

■ **Afb. 19** Hypothalamus en hypofyse in de hersenen.



HORMONALE REGELING BIJ DE MAN

Tijdens de puberteit stijgt bij jongens de concentratie van het geslachtshormoon **testosteron**, waardoor de secundaire geslachtskenmerken ontstaan. Een verandering is het op gang komen van de productie van spermacellen. Onder invloed van GnRH uit de hypothalamus maakt de hypofyse FSH en LH:

- LH stimuleert de cellen van Leydig in de teelballen om testosteron te produceren.
- FSH en testosteron stimuleren de sertolicellen in de wand van de zaadbuisjes (zie *BiNaS* tabel 89C, ICSH = LH). Sertolicellen stimuleren vervolgens de vorming van spermacellen (spermatogenese).

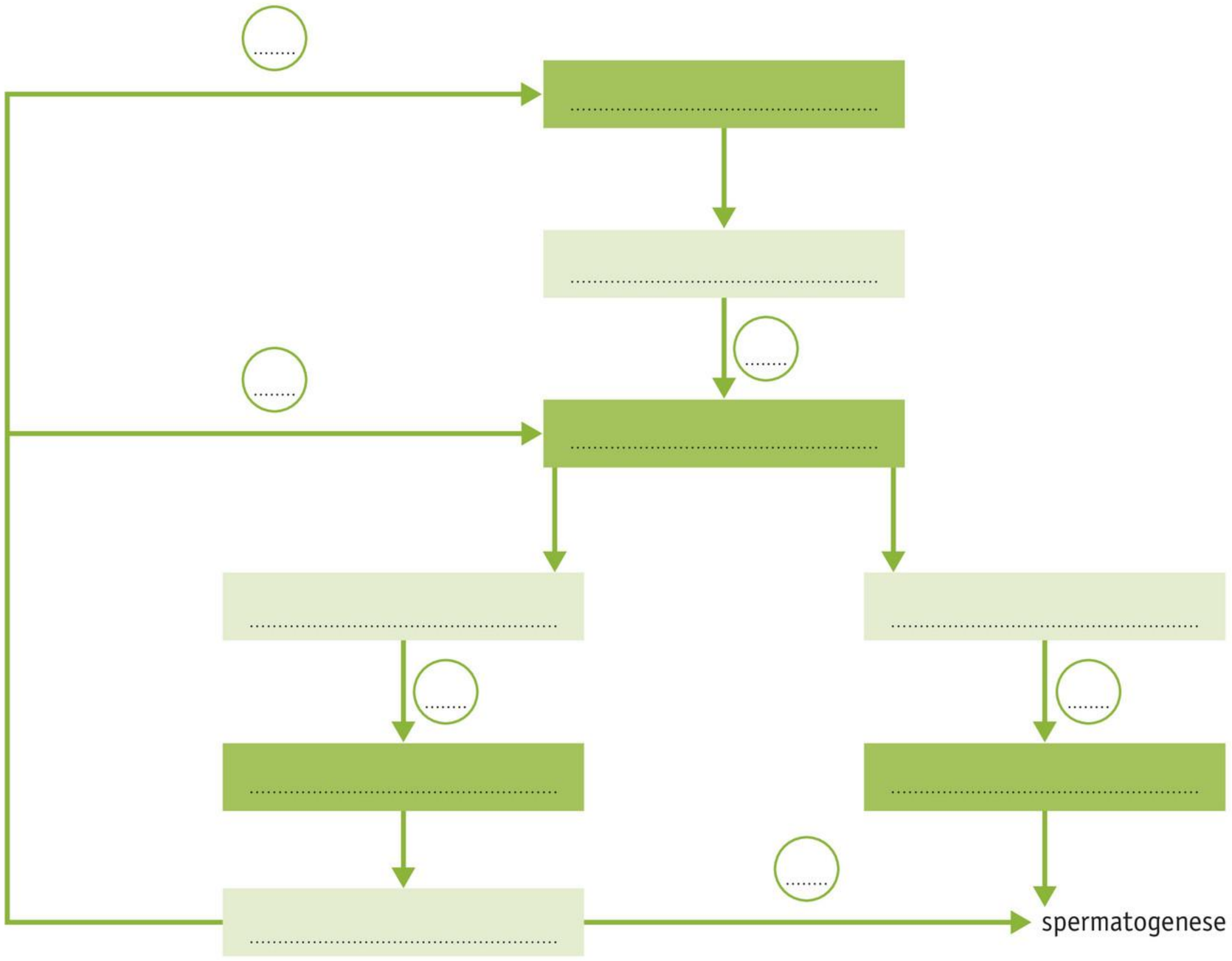
Bij een hoge testosteronconcentratie remt testosteron de aanmaak van GnRH, FSH en LH. Hierdoor daalt de testosteronconcentratie in het bloed (zie *BiNaS* tabel 89A en 89C). Dit is een voorbeeld van **negatieve terugkoppeling**: het resultaat (een hoge testosteronconcentratie) remt het proces (vorming van hormonen, waaronder testosteron). Door de negatieve terugkoppeling ontstaat een constante hormoonconcentratie.

Opdrachten KENNIS

34 De hormoonklieren en hormonen van de man kun je in een schema weergeven. In afbeelding 20 is een leeg schema weergegeven.

- Zet de namen van organen of type cellen in de donkergroene vakken.
- Zet de namen van hormonen in de lichtgroene vakken.
- Zet in de rondjes een plus (+) als het hormoon een stimulerende werking heeft en een min (–) als het hormoon een remmende werking heeft.

■ **Afb. 20** Schema met de hormonale regeling van de man.



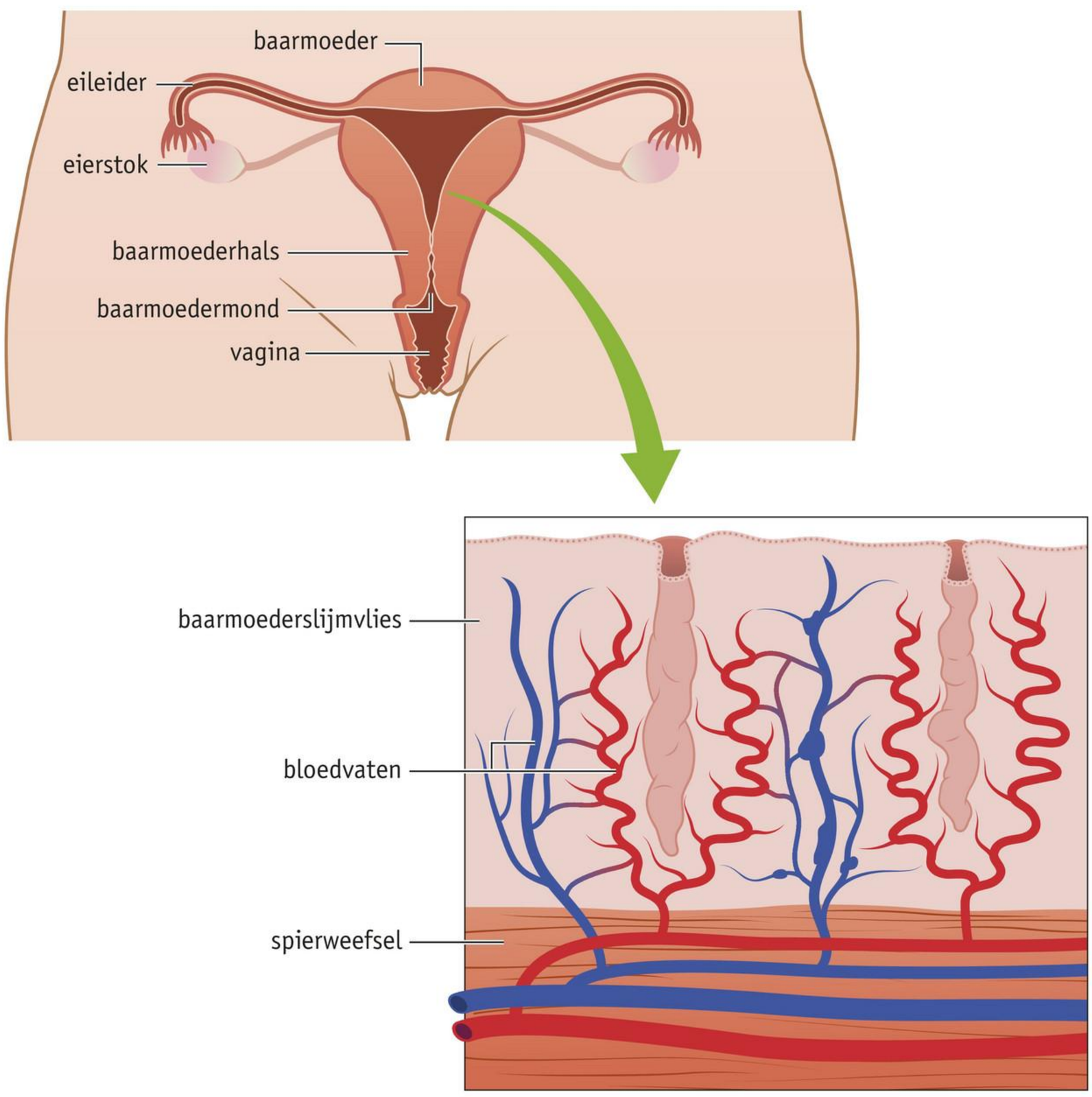
35 Als mannen een te lage testosteronconcentratie hebben, kunnen ze last krijgen van klachten zoals: erectiestoornissen, haaruitval, vermindering van spierkracht, slaapproblemen, stemmingswisselingen en geheugenproblemen. Een verlaagde testosteronconcentratie kan worden veroorzaakt door een ongezonde leefstijl of een aandoening. Ook bij gezonde mannen kan een verlaagde testosteronconcentratie optreden.
In welke levensfase van een gezonde man heeft hij de grootste kans op klachten door een te lage testosteronconcentratie?

36 Vroeger werden jongens die mooi konden zingen soms gecastreerd (teelballen verwijderd) voordat zij 10 jaar waren, zodat hun stem hoog bleef.
Leg uit waardoor de stem van de jongens hoog bleef door castratie.

HORMONALE REGELING BIJ DE VROUW

In de puberteit worden meisjes vruchtbaar en start ongeveer elke maand een menstruatiecyclus op. De **menstruatiecyclus** start met een ovulatie. Ongeveer twee weken na de eerste ovulatie komt de eerste menstruatie op gang. De binnenkant van de baarmoeder is bekleed met een slijmlaag: het baarmoederslijmvlies. De baarmoeder bestaat verder uit spierweefsel (zie afbeelding 21). In het baarmoederslijmvlies bevinden zich veel kleine bloedvaatjes. Tijdens de menstruatie wordt een deel van het baarmoederslijmvlies afgestoten. Hierbij gaat een aantal bloedvaatjes stuk, waardoor bloedverlies optreedt. De menstruatie duurt twee tot acht dagen.

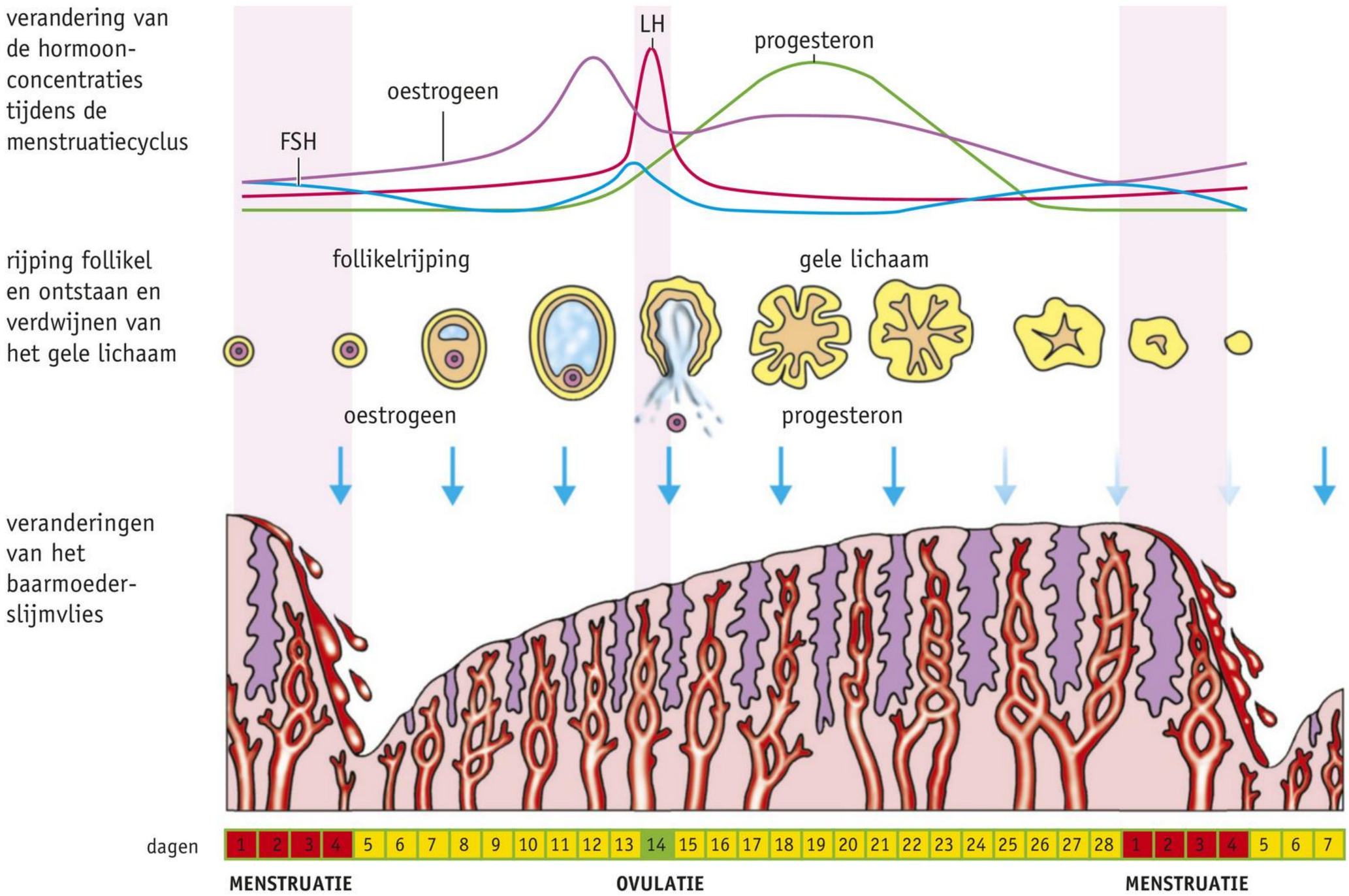
■ **Afb. 21** De baarmoeder.



Elke maand heeft een vrouw een ovulatie en een menstruatie. De lengte van de menstruatiecyclus wisselt per vrouw, maar is gemiddeld 28 dagen (zie afbeelding 22). De menstruatiecyclus wordt geregeld door verschillende hypofyse- en geslachtshormonen.

De eerste dag van de menstruatie is het begin van de menstruatiecyclus. Onder invloed van GnRH uit de hypothalamus produceert de hypofyse FSH en LH. FSH stimuleert de rijping van follikels in de eierstokken. LH stimuleert de aanmaak van meer cellen in de wand van de rijpende follikels. De cellen in de wand van de rijpende follikels produceren **oestrogenen**. Oestrogenen zijn geslachtshormonen die ervoor zorgen dat het baarmoederslijmvlies wordt gerepareerd en dikker wordt. Oestrogenen stimuleren in de puberteit de secundaire geslachtskenmerken.

■ **Afb. 22** Het verband tussen de hormonen, processen in de eierstokken en het baarmoederslijmvlies (schematisch).



De oestrogeenconcentratie stijgt doordat er steeds meer cellen in de follikels zijn die oestrogeen produceren. Deze stijgende oestrogeenconcentratie heeft een remmend effect op de aanmaak van GnRH. Hierdoor wordt de concentratie FSH lager. Alleen de follikels die het meest gevoelig zijn voor FSH groeien door. Uiteindelijk blijft er één follikel over die veel oestrogeen produceert.

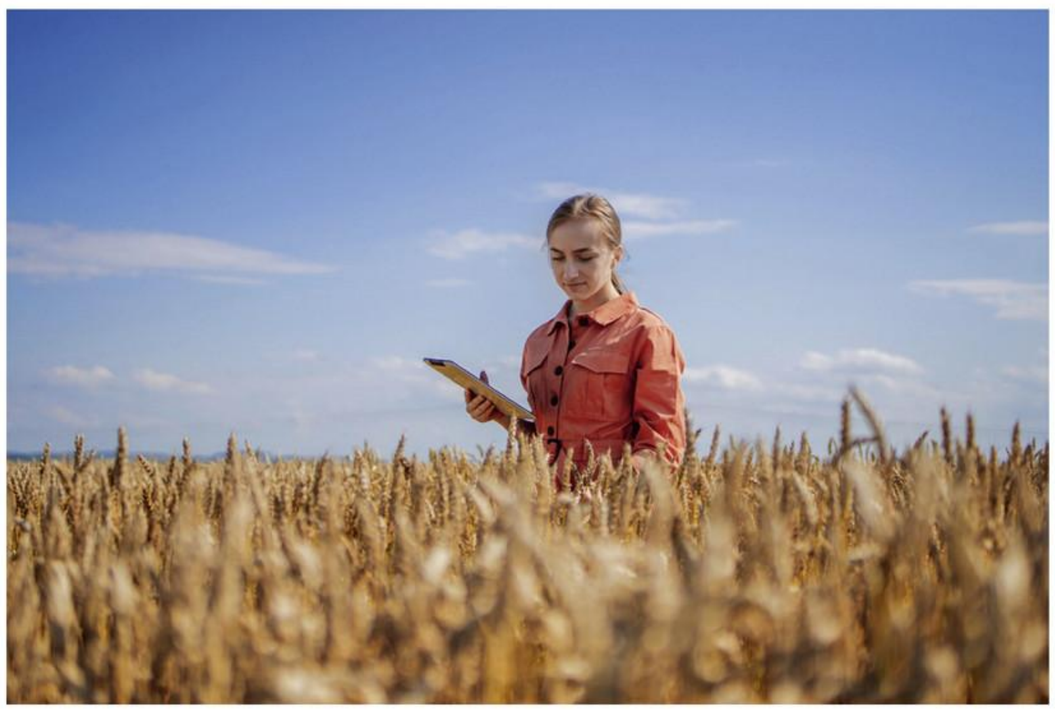
Oestrogeen heeft in zeer hoge concentraties een stimulerende werking op de hypothalamus om GnRH in pieken af te geven. Dit stimuleert de hypofyse tot afgifte van veel LH en in mindere mate FSH. De hoge concentratie LH in het bloed stimuleert de opname van vocht door de follikel, waardoor deze openbarst en er een eicel vrijkomt: dit is de ovulatie.

Als de eicel niet wordt bevrucht, sterft hij af. De resten worden opgenomen in het lichaam.

De resten van de follikel vormen het gele lichaam. In het Latijn heet het gele lichaam *corpus luteum* (*corpus* = lichaam, *luteum* = geel), vandaar de naam luteïniserend hormoon. Het nog aanwezige LH stimuleert de productie van oestrogenen en het geslachtshormoon **progesteron** door het gele lichaam. Door progesteron wordt het baarmoederslijmvlies nog dikker. Progesteron en de weer gedaalde concentratie oestrogeen remmen de afgifte van FSH en LH door de hypofyse. De concentratie LH wordt zo laag, dat het gele lichaam stopt met functioneren en verdwijnt. Progesteron en oestrogeen worden niet meer geproduceerd. Hierdoor wordt het baarmoederslijmvlies niet meer in stand gehouden en start de menstruatie.

Bij biologie leer je begrippen die met elkaar de biologische vaktaal vormen. De gemarkeerde woorden in de leerstof zijn biologische begrippen. Een situatie waarin biologie een rol speelt, noem je een context voor het vak biologie. Voorbeelden van contexten zijn onder ander de invloed van biotechnologie op de ontwikkeling van nieuwe voedingsgewassen en de rol van plantengroei in een tropisch regenwoud bij het vastleggen van koolstofdioxide (zie afbeelding 2).

■ **Afb. 2**



1 onderzoek naar de opbrengst van tarwe



2 onderzoek naar plantengroei in een tropisch regenwoud

ORGANISMEN

In de biologie bestudeer je organismen. **Organismen** zijn levende wezens, zoals planten, dieren, schimmels en bacteriën. Alle levende organismen vertonen levensverschijnselen, zoals voortplanten, groeien, ontwikkelen en stofwisseling. Met **stofwisseling** worden alle chemische (scheikundige) reacties in een organisme bedoeld. In de biologie kun je bestuderen wat er inwendig in een organisme gebeurt. Je kunt ook onderzoeken welke relaties er zijn met andere organismen en met de omgeving.

Als een organisme geen levensverschijnselen meer vertoont, noem je het dood. Dingen in de natuur die nooit hebben geleefd, noem je levenloos, bijvoorbeeld water, zuurstof, koolstofdioxide en gesteenten.

DE LEVENSCYCLUS VAN ORGANISMEN (SE)

Elk individueel organisme of individu heeft een unieke levensloop. De levensloop begint direct na het ontstaan van het organisme. Dan begint een organisme met groeien en ontwikkelen. Tijdens de ontwikkeling treden er veranderingen op in de bouw en het functioneren van het organisme of van bepaalde delen ervan. Je kunt een levensloop daardoor verdelen in verschillende fasen of stadia. De levensloop eindigt met de dood van het individu.

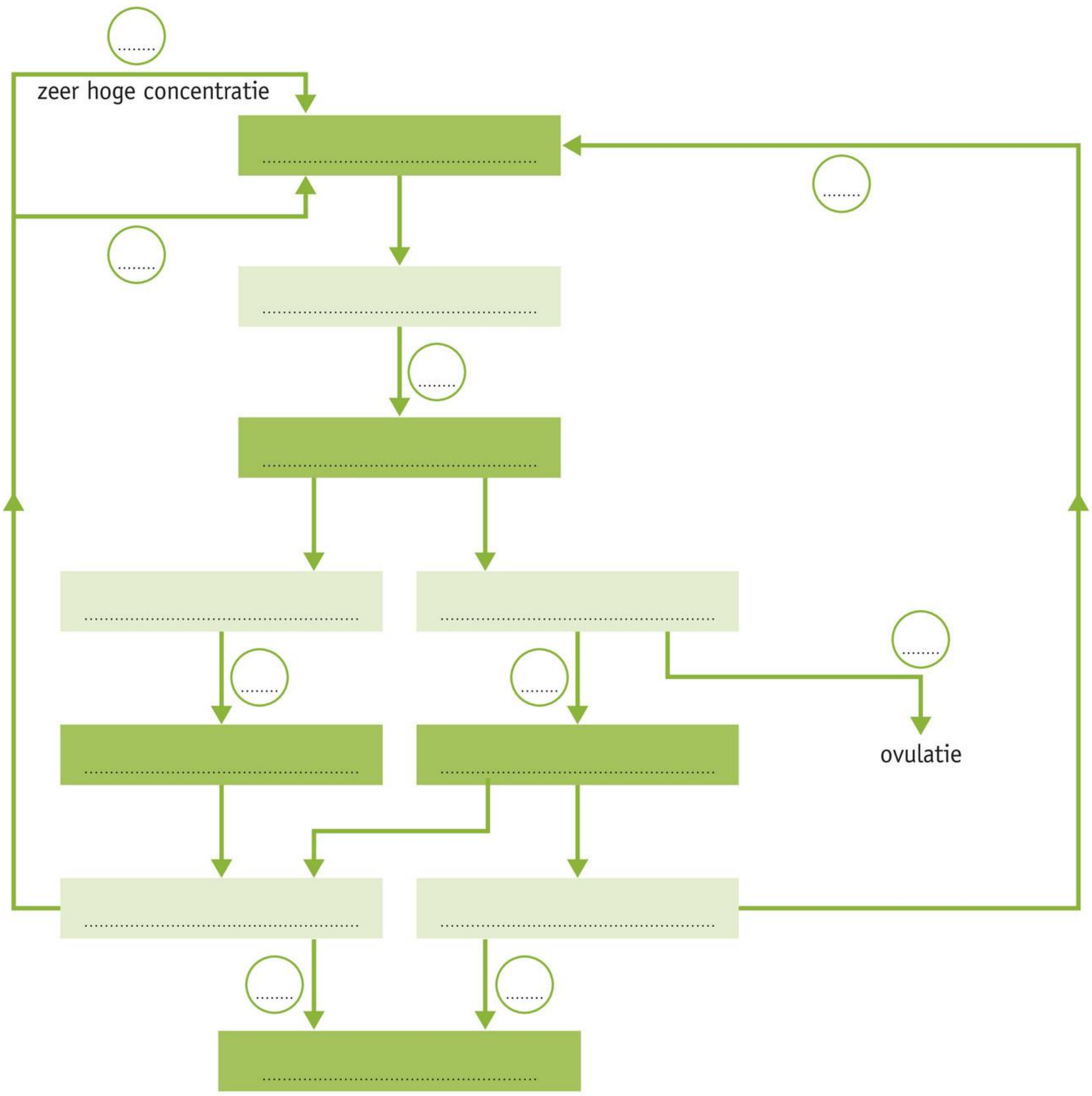
Hoewel de individuen van een soort sterven, blijft de soort voortbestaan. Individuen behoren tot dezelfde **soort** als zij zich onderling kunnen voortplanten en daarbij vruchtbare nakomelingen kunnen voortbrengen. Alle individuen van een soort doorlopen tijdens hun levensloop dezelfde stadia. Dit noem je de **levenscyclus** van een soort (zie afbeelding 3). De levenscyclus eindigt alleen als de soort uitsterft.

Opdrachten KENNIS

37 De hormoonklieren en hormonen van de vrouw kun je in een schema weergeven. In afbeelding 23 is een leeg schema weergegeven.

- Zet de namen van organen of type cellen in de donkergroene vakken.
- Zet de namen van hormonen in de lichtgroene vakken.
- Zet in de rondjes een plus (+) als het hormoon een stimulerende werking heeft en een min (–) als het hormoon een remmende werking heeft.

■ **Afb. 23** Schema met de hormonale regeling van de vrouw.



38 Gebruik voor deze opdracht afbeelding 24 op de volgende pagina.
Een vrouw wil graag zwanger worden. Haar menstruatiecyclus is heel regelmatig en duurt dertig dagen. Haar laatste menstruatie was van 8 tot en met 13 april.

a Op welke van de volgende dagen geeft het hebben van geslachtsgemeenschap de grootste kans op een zwangerschap: 9 april, 23 april, 1 mei of 7 mei? Leg je antwoord uit.

b Deze vrouw raakt niet zwanger. Ze heeft elke maand flink last van PMS. PMS wordt veroorzaakt door dalende progesteronconcentraties in het bloed.
Op welke dag of dagen heeft deze vrouw waarschijnlijk last van PMS? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 24** Kalender van april en mei.

JAARKALENDER

APRIL

week	M	D	W	D	V	Z	Z
14			1	2	3	4	5
15	6	7	8	9	10	11	12
16	13	14	15	16	17	18	19
17	20	21	22	23	24	25	26
18	27	28	29	30			

MEI

week	M	D	W	D	V	Z	Z
18					1	2	3
19	4	5	6	7	8	9	10
20	11	12	13	14	15	16	17
21	18	19	20	21	22	23	24
22	25	26	27	28	29	30	31

Opdrachten INZICHT

39 Doping

Naar: Biologie Olympiade Junior 2016 vwo, vraag 23.

Twee dure Amerikaanse sportpaarden, drafmerries, zijn in 2009 gediskwalificeerd. Zij hadden een te grote hoeveelheid van een bepaalde stof in hun bloed, die op de dopinglijst stond. Nader onderzoek wees uit dat de paarden genetisch hengsten waren, met het uiterlijk van een merrie. De nepmerries hadden een Y-chromosoom en achtergebleven, kleine testikels.
Welke stof was in een te grote hoeveelheid aanwezig? Leg je antwoord uit.

40 Wanneer een volwassen man wordt gecastreerd (teelballen verwijderd), heeft dat een effect op de hormoonconcentraties.

a Welk effect heeft castratie op de hormoonconcentraties van de volgende hormonen: LH, FSH en testosteron? Leg je antwoord uit.

b In het keizerlijke China werden gecastreerde mannen gebruikt om te werken op het keizerlijke paleis. Dit waren de enige mannen die bij de harem (verblijf voor echtgenotes) van de keizer mochten komen.
Leg uit welke eigenschap van gecastreerde mannen belangrijk was voor de keizer.

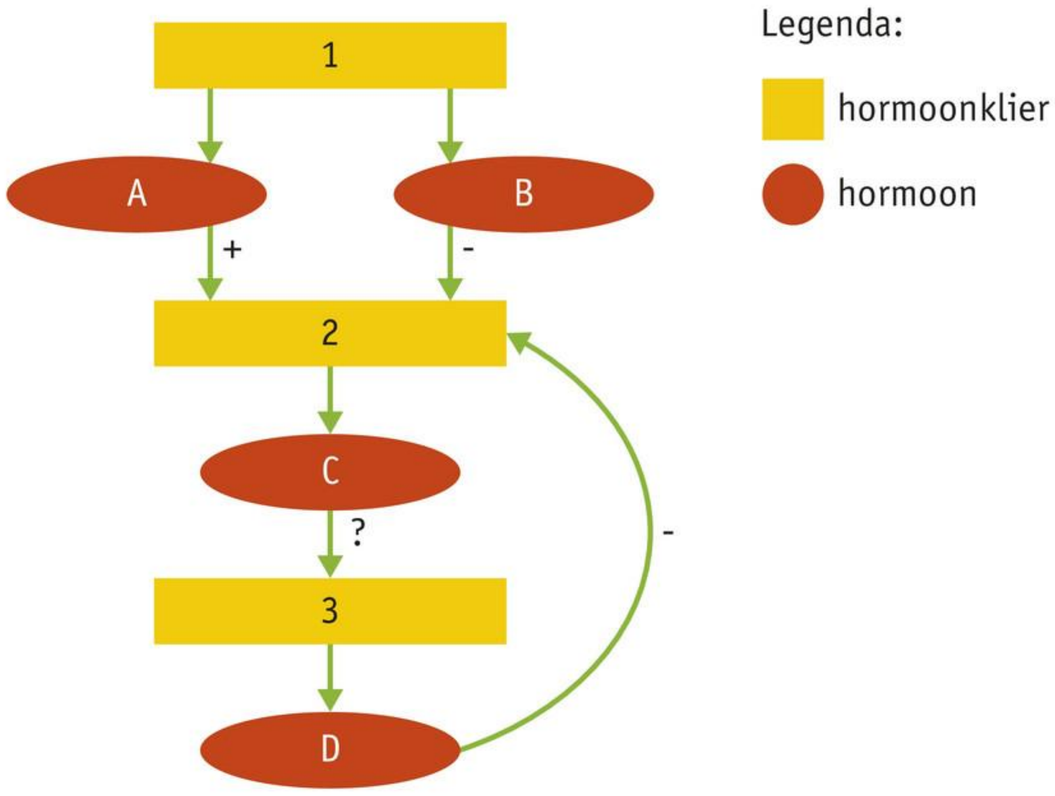
41 In de sport zijn anabole steroïden een bekend dopingmiddel. Anabole steroïden zijn synthetisch gemaakte stoffen die lijken op testosteron. De laatste jaren gebruiken ook amateursporters steeds vaker anabole steroïden. Dat is niet zonder gevaar.
Wanneer vrouwen anabole steroïden gebruiken, treden er uiterlijke veranderingen op.

a Leg uit welke veranderingen optreden en geef drie voorbeelden.

b Ook bij mannen is het gebruik van anabole steroïden niet zonder gevaar. Er kan een verminderde spermatogenese optreden en zelfs onvruchtbaarheid. De hormoonconcentratie van anabole steroïden is in het bloed namelijk wel hoog, maar in de teelballen een stuk lager dan bij zelfgeproduceerd testosteron. Ook via een andere route hebben anabole steroïden een negatief effect op de spermatogenese.
Leg uit via welke route anabole steroïden de spermatogenese verminderen.

42 In afbeelding 25 is een schema met daarin verschillende hormoonklieren en hormonen weergegeven. Dit schema is een voorbeeld van negatieve terugkoppeling. De effecten van de hormonen zijn weergegeven met plussen en minnen. De werking van hormoon C is aangegeven met een vraagteken.
Is de werking van hormoon C stimulerend, remmend of is dat niet te bepalen? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 25** Schema met de werking van verschillende hormoonklieren en hormonen.



43 Gebruik voor deze opdracht *BiNaS* tabel 89A.
Wanneer een vrouw borstvoeding geeft, produceert de hypothalamus LTH-RH.
Leg uit waarom vrouwen die regelmatig borstvoeding geven, (meestal) niet zwanger worden.

44 Bij veel dieren vindt er geen menstruatiecyclus plaats, er is dus geen menstruatie en ovulatie op een vast moment.
Bij konijnen zit de clitoris in de vagina. Door stimulatie van de clitoris neemt de concentratie LH sterk toe.
Waarom raken konijnen vrijwel altijd zwanger na een paring?

45 Van de vrouwen heeft 5 tot 10% het polycysteus-ovariumsyndroom (PCOS). Bij deze aandoening treedt er geen of nauwelijks een ovulatie op, terwijl de LH-concentratie in het bloed hoog is. Wel zijn er in de ovaria meerdere follikels aanwezig, maar deze groeien niet voldoende door.
Welk hormoon is in een te lage concentratie aanwezig? Leg je antwoord uit.

46 In *BiNaS* tabel 86C staat een afbeelding die vergelijkbaar is met afbeelding 22. In *BiNaS* staat ook een grafiek met de lichaamstemperatuur van de vrouw tijdens de menstruatiecyclus.
Voor de beantwoording van deze vraag kun je *BiNaS* tabel 89A gebruiken.
Welk hormoon is verantwoordelijk voor de stijging van de temperatuur?

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

Context Wetenschap

GEEN PUBERTEIT

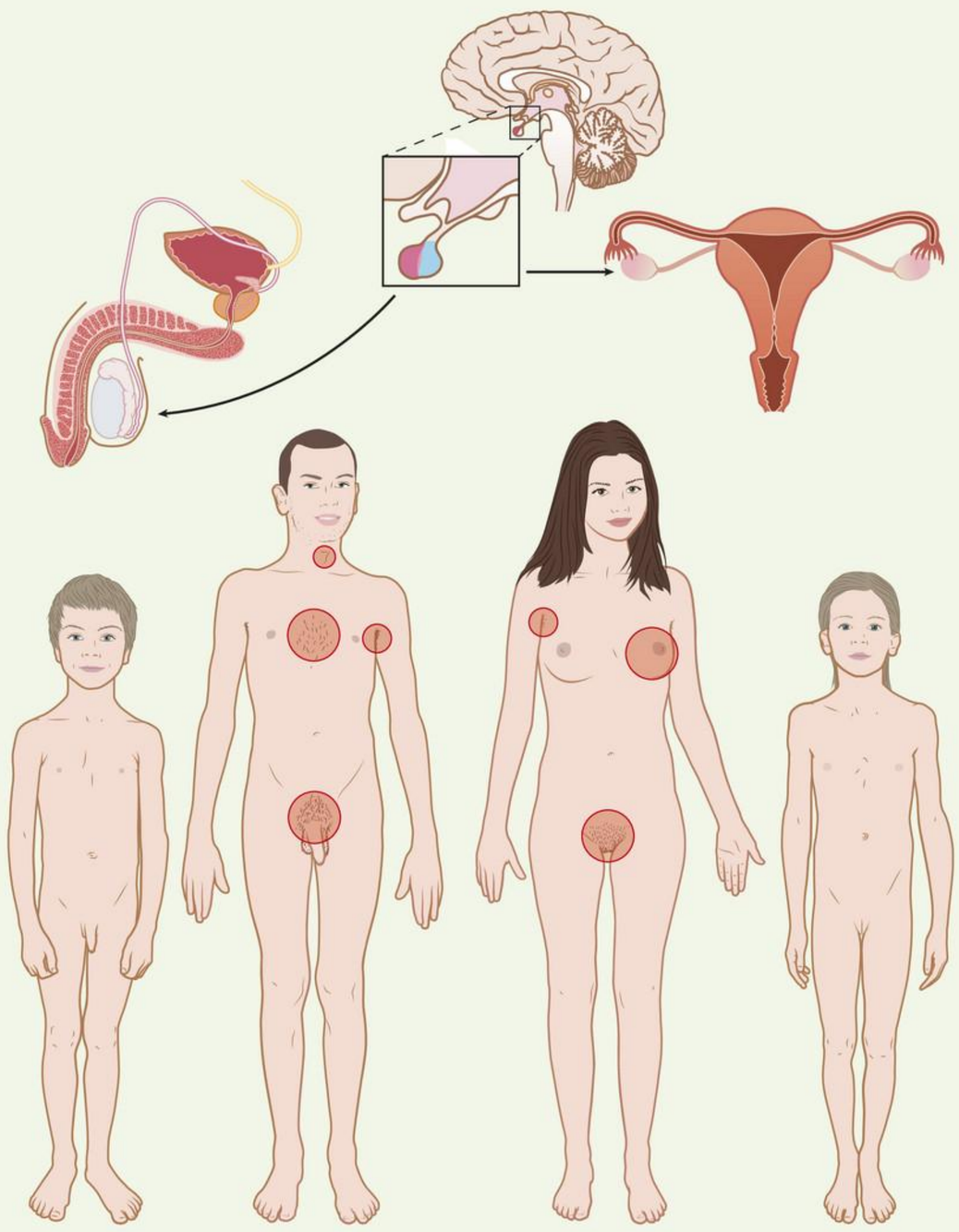
Puistjes, wisselende hormonen, menstruaties, zaadlozingen; de puberteit is voor veel jongeren geen feestje. Er zijn ook jongeren die niet in de puberteit komen. Bij hen gaat er iets mis bij het hormoon GnRH dat de puberteit moet opstarten. Ze hebben de ziekte HHG (hypogonadotroop hypogonadisme). Het is een zeldzame aangeboren aandoening bij ongeveer 1 op de 10 000 jongens en 1 op de 50 000 meisjes.

Als je HHG hebt, krijg je geen of veel later dan normaal secundaire geslachtskenmerken en ben je onvruchtbaar. Je kunt heel onzeker of verdrietig worden van HHG. Je ziet een steeds groter verschil met anderen in je lengte en in lichaamskenmerken, wat je het gevoel geeft dat je anders bent.

Wetenschappers hebben gekeken welke behandeling voor jongens of jonge mannen met HHG het best is. Om de puberteit op te starten, kunnen hormonen worden gebruikt. Als een jonge man een kinderwens heeft, moet hij andere hormonen toegediend krijgen dan als hij geen kinderwens heeft.

Secundair hypogonadotroop hypogonadisme komt ook voor. Hierbij krijgen mensen pas klachten na de puberteit. De klachten zijn bijvoorbeeld onvruchtbaarheid, gewichtstoename, stemmingswisselingen, vermoeidheid, minder zin in seks bij mannen en afwezigheid van de menstruatie bij vrouwen. De oorzaak zit dan niet in het hormoon GnRH, maar in een slecht functionerende hypofyse. De hypofyse kan bijvoorbeeld slechter gaan werken door een (goedaardige) tumor of een ontsteking door een auto-immuunreactie. Bepaalde hormonen worden dan te weinig of niet meer gemaakt.

■ **Afb. 26** Lichamelijke veranderingen in de puberteit.



Opdrachten

47 Welk hormoon of welke hormonen moeten mannen met primair HHG krijgen toegediend als zij een kinderwens hebben?

48 Jongens met HHG komen niet in de puberteit. Leg uit hoe HHG leidt tot de afwezigheid van puberteit.

49 Vrouwen met secundair HHG zijn niet vruchtbaar, dus ze kunnen niet zwanger worden.

a Leg uit waarom vrouwen met secundair HHG niet vruchtbaar zijn.

b Een vrouw met secundair HHG heeft een kinderwens. Ze krijgt verschillende medicijnen die elk de werking van een bepaald hormoon nabootsen. Ze krijgt medicatie die LH nabootst en medicatie die FSH nabootst.
Leg uit waarom deze vrouw geen GnRH, oestrogeen en progesteron krijgt toegediend.

4 ZWANGER

LEERDOELEN

2.4.1 Je kunt de ontwikkeling van zygote tot volgroeide baby beschrijven.
2.4.2 Je kunt beschrijven hoe een zygote zich ontwikkelt tot meercellig organisme door differentiatie van stamcellen en apoptose.
2.4.3 Je kunt de fasen van de geboorte beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	2.4.1	**2.4.2**	**2.4.3**	**2.3.1***
Begrijpen	50, 51, 52, 54, 56, 65ab	53	57	55
Toepassen			60	59, 63b, 64a
Analyseren	63ac, 65cde	58	61, 62, 64b	

* Dit leerdoel vind je in een andere basisstof.

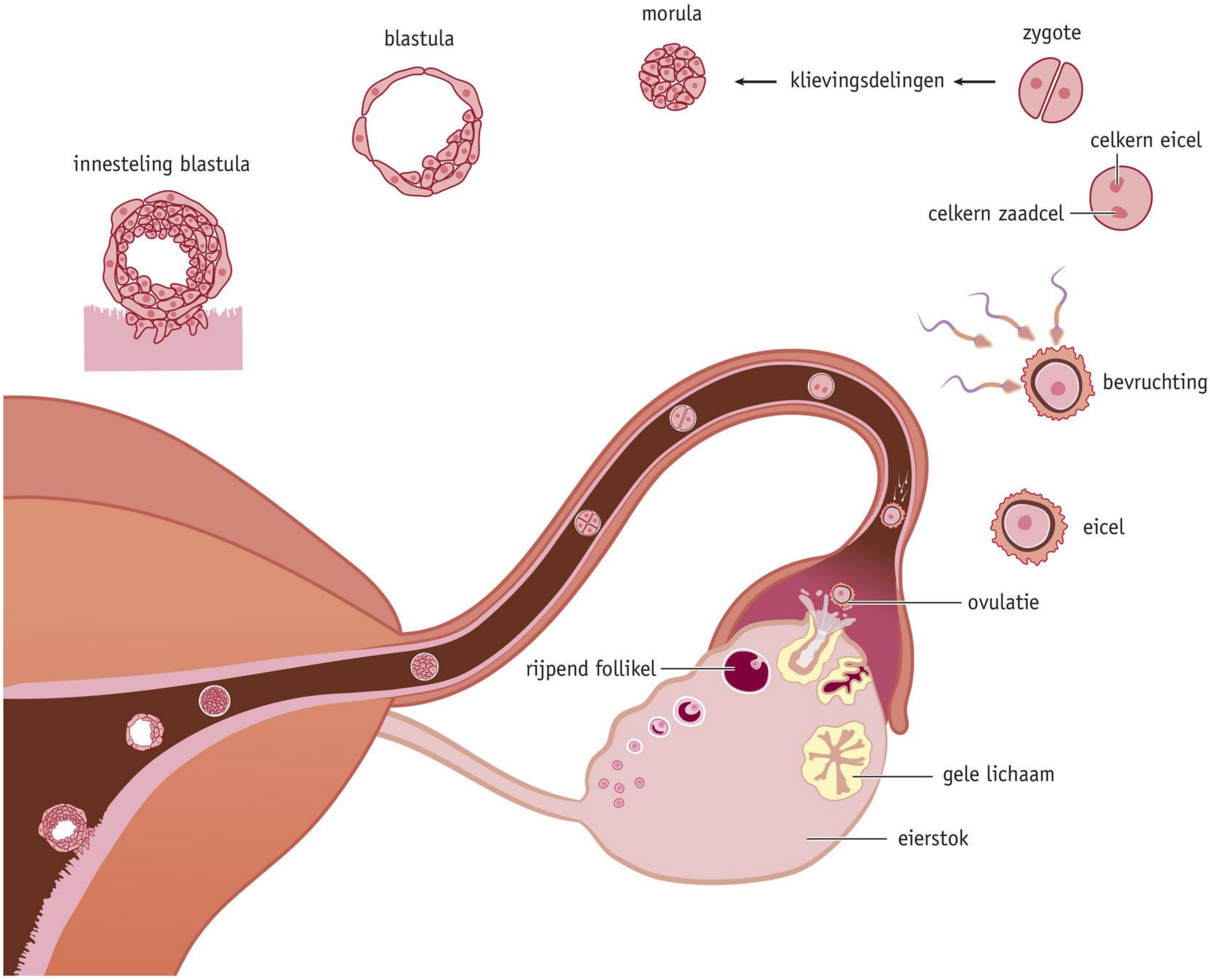
De bevruchting van een eicel is gelukt. Een klompje cellen is op weg naar de baarmoeder, waar het zich zal innestelen in het baarmoederslijmvlies. Als alles goed gaat, wordt ongeveer negen maanden later een baby geboren.

EMBRYONALE ONTWIKKELING

De eerste acht weken na de bevruchting van de eicel wordt het klompje cellen een **embryo** genoemd. De **embryonale ontwikkeling** bestaat uit veel verschillende fasen (zie afbeelding 27 en *BiNaS* tabel 86E): zygote, morula, blastula, gastrula en neurula.

De bevruchte eicel wordt ook wel zygote genoemd. Al snel gaat de zygote zich delen door middel van **klievingsdelingen**, waarbij het totale volume niet toeneemt. De ontstane cellen zijn dus bij elke deling kleiner. Het klompje cellen, de morula, bestaat uit 16 tot 32 **stamcellen**. Dat zijn cellen die nog niet (volledig) zijn gespecialiseerd en zich nog kunnen differentiëren naar alle typen cellen. Er ontstaat een holte gevuld met vocht in het klompje cellen, dat nu blastula heet (zie afbeelding 28). Een deel van het klompje cellen vormt het begin van het eigenlijke embryo: de embryoblast of embryonaalknop. De buitenste laag cellen, de trofoblast, beschermt de embryoblast. De trofoblast zorgt ook voor de innesteling in het baarmoederslijmvlies en vormt later de placenta. De trofoblast gaat **HCG** vormen, het hormoon humaan choriongonadotrofine. HCG houdt het gele lichaam in stand.

■ **Afb. 27** Embryonale ontwikkeling tot innesteling.



Tijdens de innesteling ontstaan in het baarmoederslijmvlies rond het klompje cellen holten, waar het bloed van de moeder doorheen stroomt. De trofoblast vormt het chorion (buitenste vruchtvlies). De holte die door het chorion wordt omsloten heet de chorionholte. Het chorion vormt uitstulpingen die tussen de holten in het baarmoederslijmvlies doorlopen. Via deze chorionvlokken worden zuurstof en voedingsstoffen via diffusie opgenomen uit het baarmoederslijmvlies. De uitstulpingen en holten ontwikkelen zich tot de **placenta**, een orgaan waarin uitwisseling van stoffen tussen het bloed van de moeder en het bloed van het embryo plaatsvindt.

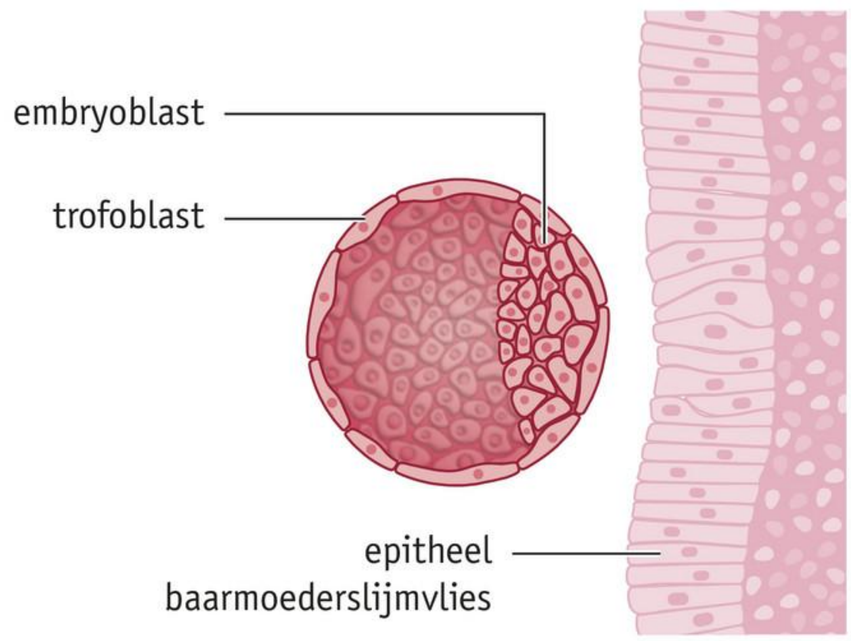
Intussen heeft ook de embryoblast zich ontwikkeld. In de embryoblast zijn twee holten ontstaan: de amnionholte en de dooierzak. Uit de cellen tussen deze beide holten ontwikkelt zich het embryo.

Het embryo is omgeven met vocht, het vruchtwater, en omsloten door een tweede vlies, het amnion (binnenste vruchtvlies). De vruchtvliezen omsluiten het embryo en het vruchtwater. Het vruchtwater beschermt het embryo tegen schokken en tegen uitdroging.

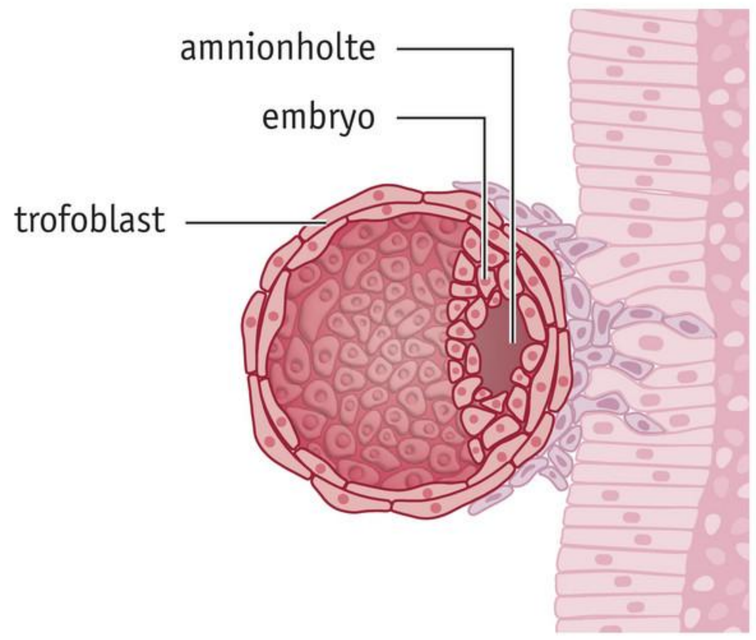
In het embryo, dat nu een gastrula is, differentiëren cellen en wordt een begin gemaakt met de darm. Vervolgens wordt een start gemaakt met het zenuwstelsel in de neurula. Hierna worden de organen gevormd. Ongeveer acht weken na de bevruchting zijn de meeste organen in aanleg aanwezig en vanaf dat moment wordt het embryo een **foetus** genoemd (zie afbeelding 29).

Na 24 weken is het embryo levensvatbaar buiten de baarmoeder. Daarom is dat in Nederland de grens waarop een zwangerschap nog mag worden onderbroken door abortus.

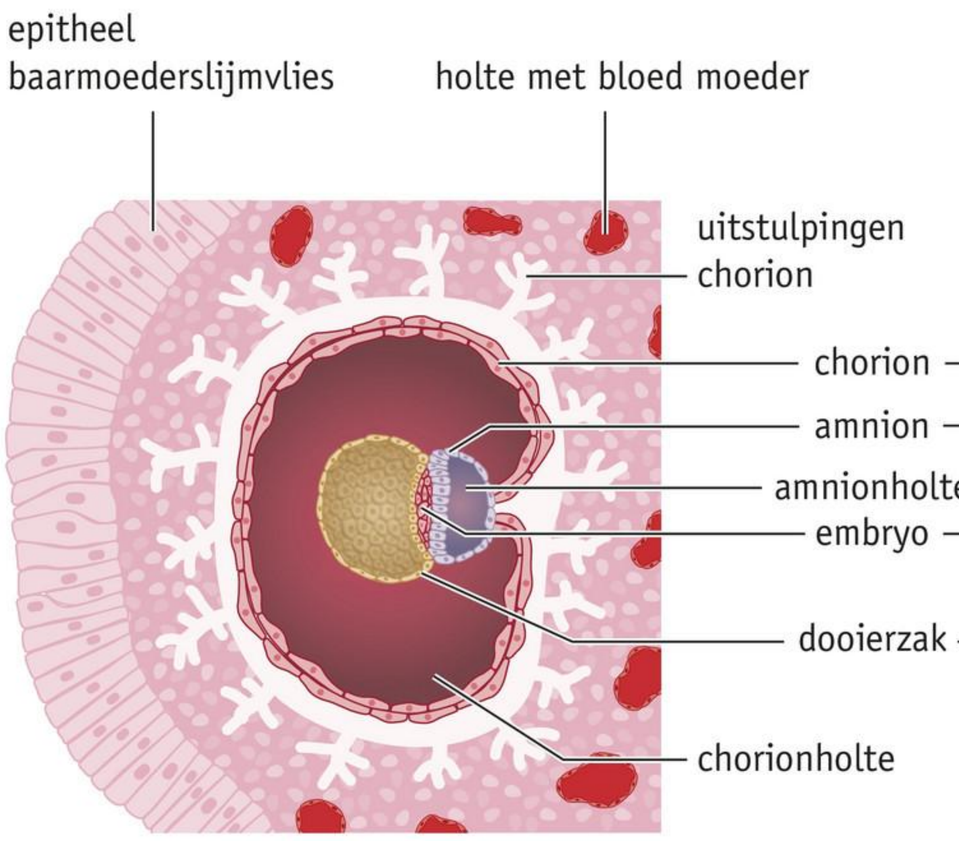
■ **Afb. 28** Ontwikkeling van een embryo.



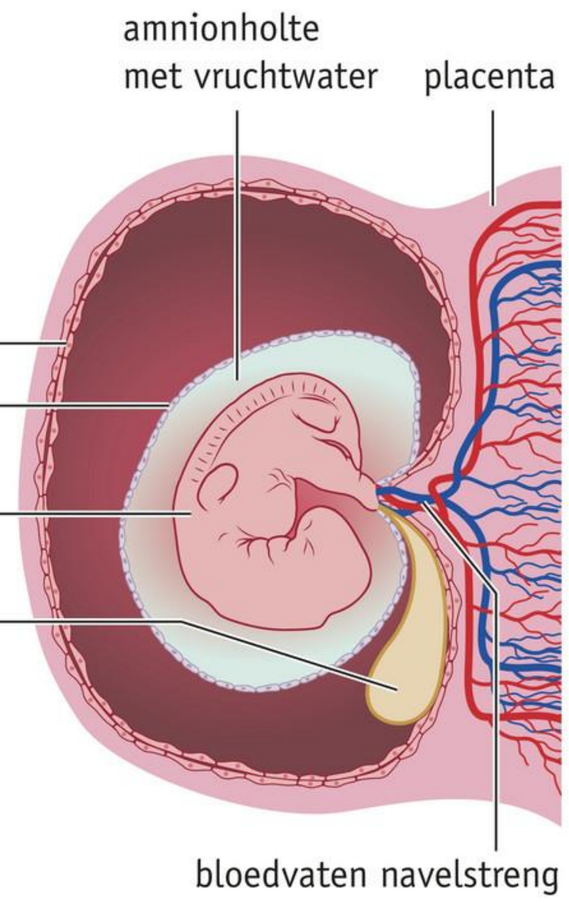
1 blastula



2 innesteling blastula in baarmoederslijmvlies



3 het ontstaan van chorionholte, amnionholte en dooierzak



4 ontwikkelend embryo

■ **Afb. 29** Foetus van twaalf weken.



ONTWIKKELING VAN DE PLACENTA

Vanuit het embryo groeien bloedvaten naar de placenta en vormen de navelstreng. In de placenta vertakken de bloedvaten zich tot haarvaten, waardoor uitwisseling van stoffen tussen het bloed van de moeder en het bloed van het kind mogelijk is door diffusie en actief transport. De stoffen die worden opgenomen en afgegeven, passeren hierbij membranen die het bloed van de moeder en het kind gescheiden houden.

Vanuit het moederbloed worden zuurstof en voedingsstoffen (zoals glucose) opgenomen in het embryonale bloed. Koolstofdioxide en andere afvalstoffen worden door het embryonale bloed afgegeven aan het moederbloed.

Enkele ziekteverwekkers zijn in staat om de membranen te passeren en bij het embryo te komen. Ook voor verschillende stoffen die schadelijk zijn voor de ontwikkeling van het embryo, zoals sommige geneesmiddelen, alcohol, nicotine en drugs, vormen de membranen geen barrière. Vrouwen die tijdens de zwangerschap roken, brengen gemiddeld kleinere kinderen ter wereld dan vrouwen die niet roken. Verder komen ook sommige antistoffen tegen ziekteverwekkers vanuit het moederbloed in het embryonale bloed terecht.

CELDIFFERENTIATIE

De cellen van de morula zijn embryonale stamcellen en kunnen zich ontwikkelen tot alle typen cellen: cellen van de baby, zoals huidcellen, spiercellen, zenuwcellen, maar ook tot cellen van de trofoblast, zoals chorioncellen en cellen van de placenta. Ook een volwassen mens heeft nog stamcellen, adulte stamcellen. Zo bevat beenmerg stamcellen die kunnen uitgroeien tot verschillende bloedcellen. Adulte stamcellen kunnen zich in minder **celtypen** differentiëren dan embryonale stamcellen.

In de geneeskunde is stamceltherapie in ontwikkeling. Met behulp van stamcellen hopen onderzoekers manieren te vinden om beschadigde cellen of zelfs hele organen te vervangen.

Tijdens de embryonale ontwikkeling krijgen weefsels en organen hun vorm. Hoe cellen zich ontwikkelen, hangt af van hun plaats in het embryo. Cellen beïnvloeden elkaar door het afgeven van stoffen, waardoor de cellen steeds meer verschillen vertonen. Dit wordt **celdifferentiatie** genoemd. Alle cellen van een embryo bevatten hetzelfde DNA, maar in elke cel is slechts een deel van het DNA actief. Welke delen actief zijn, hangt af van de plaats waar de cel zich bevindt. Hierdoor ontstaan uiteindelijk verschillende **gespecialiseerde cellen**, weefsels en organen. Beïnvloeding door cellen uit de omgeving kan er ook toe leiden dat een cel zichzelf laat afsterven. Deze geprogrammeerde celdood heet **apoptose**. Door apoptose verdwijnen overbodige en ongewenste weefsels. Bij een embryo zitten bijvoorbeeld de vingers en tenen aan elkaar vast met vliezen. De cellen in deze vliezen sterven af via apoptose.

Opdrachten KENNIS

50 Van wie tref je in de cellen van de trofoblast chromosomen aan: van de vader, van de moeder of van beide ouders? Leg je antwoord uit.

51 Een cel in het chorion ondergaat mitose. Hierbij gaat iets mis; het aantal chromosomen wordt niet gelijk verdeeld over beide dochtercellen.
Vormt dit een risico voor de ontwikkeling van het embryo? Leg je antwoord uit.

52 Bij een miskraam gaat er iets mis met de zwangerschap. Een miskraam treedt meestal op tijdens de eerste twaalf weken van de zwangerschap.
Leg uit waarom tijdens de eerste twaalf weken van de zwangerschap de kans op een miskraam groter is dan daarna.

53 In 2008 is in de Verenigde Staten een proef gestart met de toepassing van stamcellen. Het ging om mensen met een beschadiging aan hun ruggenmerg. De stamcellen voor deze test waren afkomstig van embryo's van enkele dagen oud.
Leg uit hoe het beschadigde ruggenmerg door stamceltherapie kan worden hersteld.

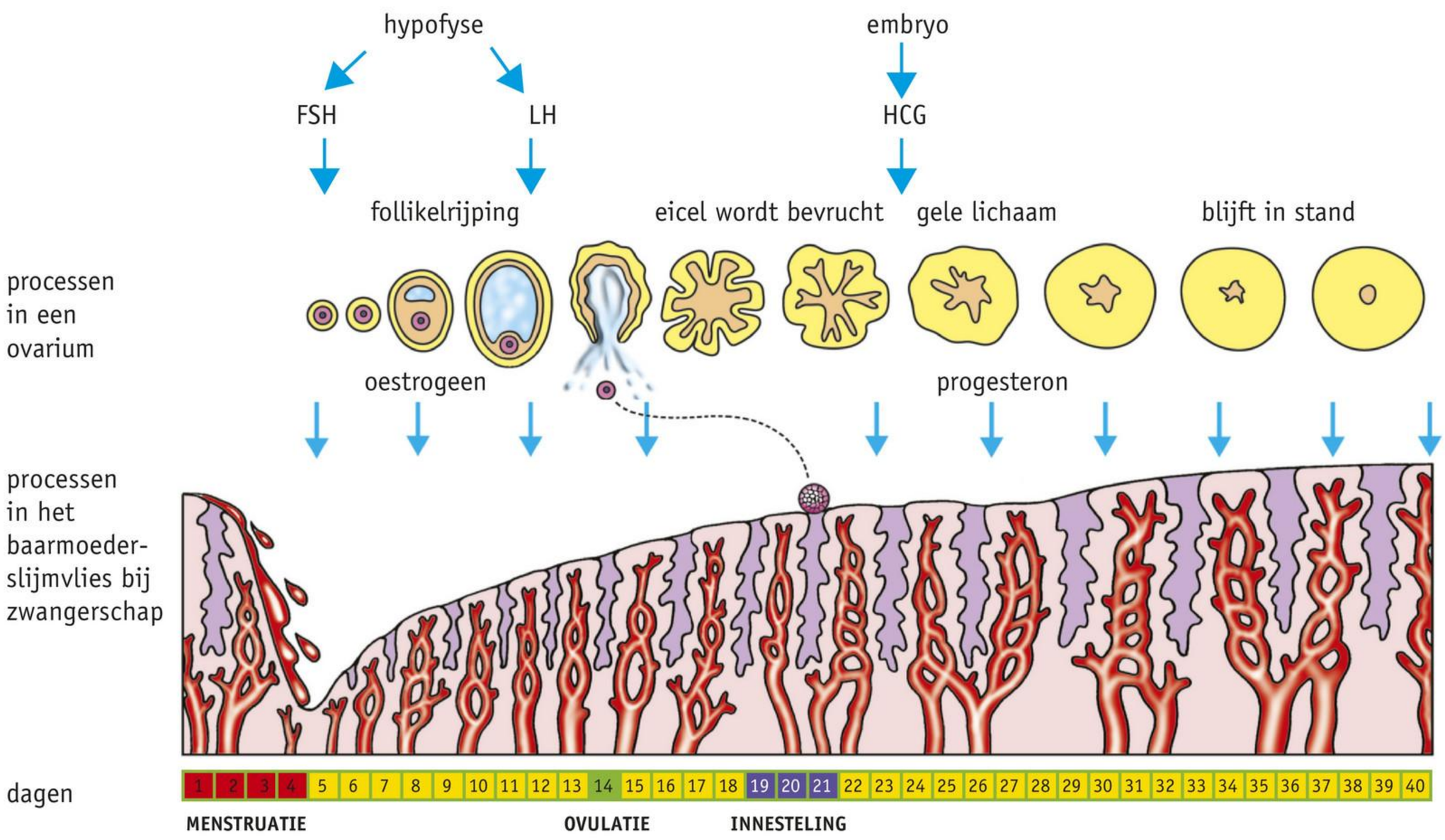
54 Bij een foetus kunnen niet alle orgaanstelsels functioneren zoals bij een baby die is geboren. De functie van deze orgaanstelsels wordt overgenomen door de placenta.
Van welke orgaanstelsels neemt de placenta de functie over?

HCG

Tijdens de zwangerschap zijn de hormoonconcentraties van de moeder anders dan tijdens de menstruatiecyclus. Er vindt dan ook geen ovulatie plaats en het baarmoederslijmvlies wordt niet afgestoten. De eerste drie maanden is het gele lichaam actief. De geproduceerde progesteron en oestrogeen houden het baarmoederslijmvlies in stand. Progesteron remt via de hypothalamus en de hypofyse de concentratie LH in het bloed. LH kan dus niet het gele lichaam in stand houden. In de trofoblast wordt HCG geproduceerd. De trofoblast ontwikkelt zich onder meer tot de placenta, waarna de placenta de productie van HCG voortzet. HCG heeft dezelfde werking als LH en stimuleert dus het gele lichaam om progesteron en oestrogeen te produceren (zie afbeelding 30).

Na ongeveer drie maanden vergaat het gele lichaam. Daarna neemt de placenta de progesteron- en oestrogeenproductie over. Deze hormonen houden de zwangerschap in stand.

■ **Afb. 30** Het verband tussen de hormonen, processen in een eierstok en het baarmoederslijmvlies (schematisch).

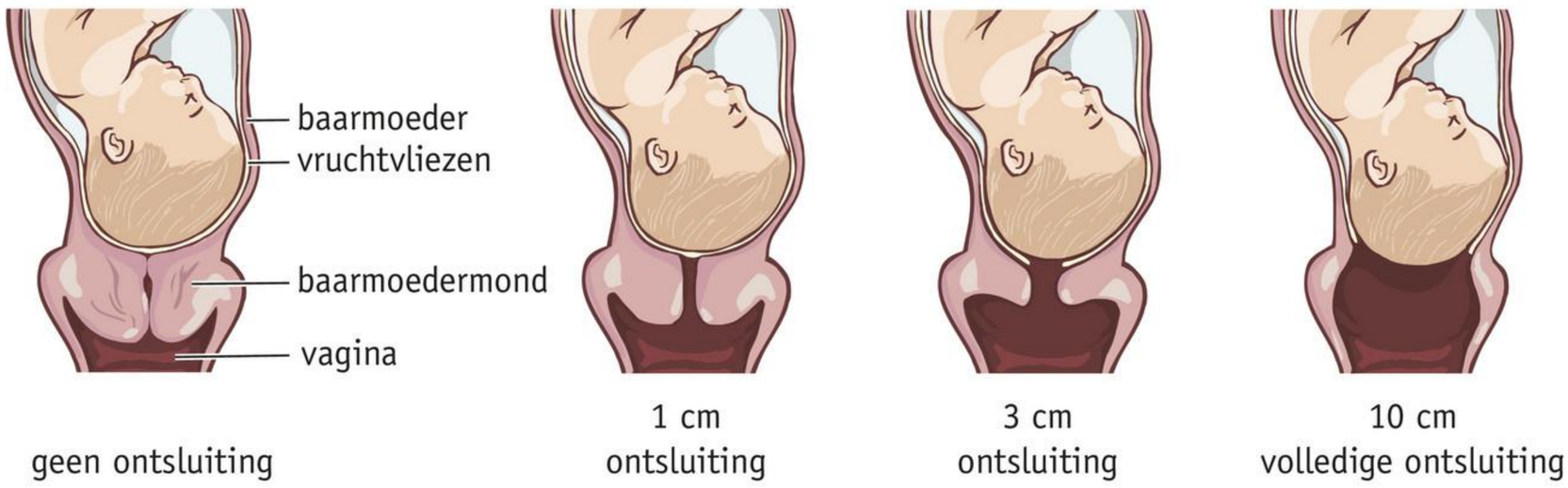


DE GEBOORTE

Na ongeveer negen maanden is de foetus volgroeid en klaar om geboren te worden. Vaak is de foetus in de laatste weken van de zwangerschap ingedaald. Het hoofd van de foetus is dan in het bekken van de moeder gezakt. Als dit niet is gebeurd voor de bevalling, gebeurt het tijdens de bevalling.

Tijdens de zwangerschap trekt de baarmoeder samen, dit zijn weeën. Pas als deze weeën regelmatig elke paar minuten komen, begint de bevalling. De baarmoedermond moet wijder en korter worden: de ontsluiting. De ontsluiting duurt enkele uren tot dagen en gaat gepaard met pijnlijke weeën. Als de ontsluiting 10 cm is, kan de foetus door de baarmoedermond (zie afbeelding 31).

■ **Afb. 31** De ontsluiting.



Na de ontsluiting komt de uitdrijving. De weeën gaan over in persweeën, waarbij de moeder de drang krijgt om mee te persen. Door de persweeën en het persen van de moeder wordt het hoofdje van de foetus door de baarmoederhals geduwd. De baby draait daarbij het hoofdje, zodat het onder het schaambeen van de moeder door kan. Ook de romp van de baby draait op deze manier (zie afbeelding 32). De uitdrijving duurt enkele minuten tot een paar uur. Bij een tweede kind verloopt de bevalling meestal sneller. Gemiddeld is een baby bij de geboorte 50 cm lang en ongeveer 3500 g zwaar.

Soms begint een bevalling met het breken van de vruchtvliezen, maar meestal breken de vruchtvliezen tijdens de ontsluiting of de uitdrijving. Het vruchtwater komt dan uit de vagina.

■ **Afb. 32** De uitdrijving.



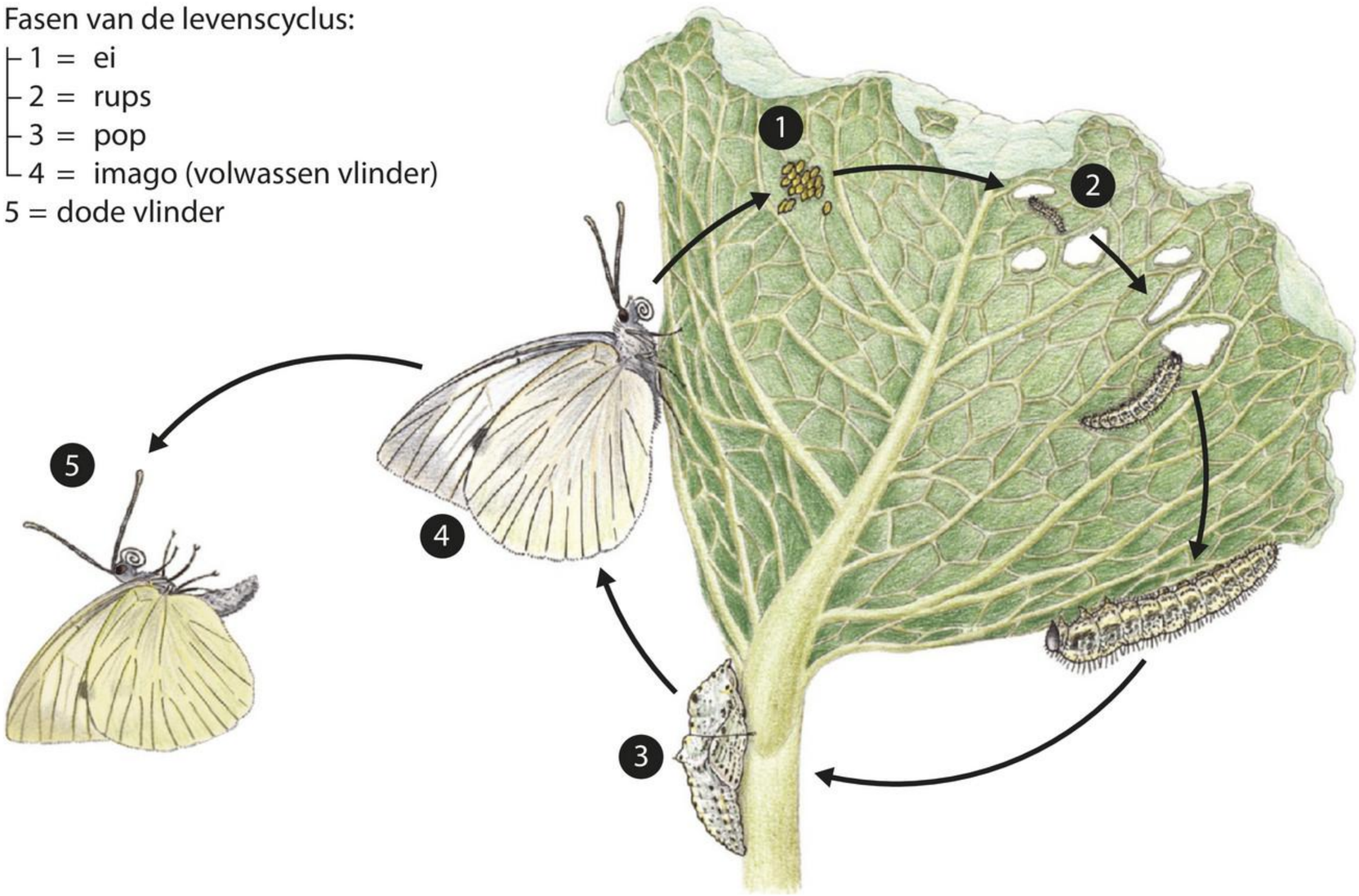
Na de geboorte is de baby nog via de navelstreng verbonden met de placenta in de baarmoeder. De verloskundige of arts zet klemmen op de navelstreng, waardoor geen bloed uit de navelstreng kan stromen. Daarna wordt de navelstreng doorgeknipt.

De placenta, vruchtvliezen en navelstreng moeten nog worden geboren: de nageboorte. Dit gebeurt meestal binnen een half uur. Nadat de placenta is uitgedreven, trekt de baarmoeder zich samen. Dit helpt om de wond in de baarmoeder te sluiten.

■ **Afb. 3** De fasen van de levenscyclus van de soort koolwitje.

Fasen van de levenscyclus:
- 1 = ei
- 2 = rups
- 3 = pop
- 4 = imago (volwassen vlinder)

5 = dode vlinder



Opdrachten KENNIS

1 Aan verschillende universiteiten in Nederland kun je biologie studeren. De eerste drie jaar van een universitaire opleiding wordt bachelor genoemd. Na je bachelor kun je aan de universiteit nog een of meerdere masters halen.

a Geef drie mogelijke masteropleidingen die je kunt volgen na het behalen van je bachelor. Gebruik bij het beantwoorden van de vraag informatie van internet.

b Geef drie mogelijke beroepen waarin je kunt werken na het behalen van je master. Gebruik bij het beantwoorden van de vraag informatie van internet.

2 Noteer in de tabel achter elk onderzoeksthema het juiste overgangsgebied.
Kies uit: *biochemie – biofysica – bio-informatica – biomedische wetenschappen – paleontologie*.

Onderzoeksthema	Overgangsgebieden
Onderzoek naar fossiele kiezen van muizen	
Onderzoek naar de aanmaak van planteneiwitten	
Onderzoek naar genetische patronen bij erfelijke ziekten	
Onderzoek naar stevigheid van bloedvatwanden	
Onderzoek naar de oorzaken van hartaandoeningen	

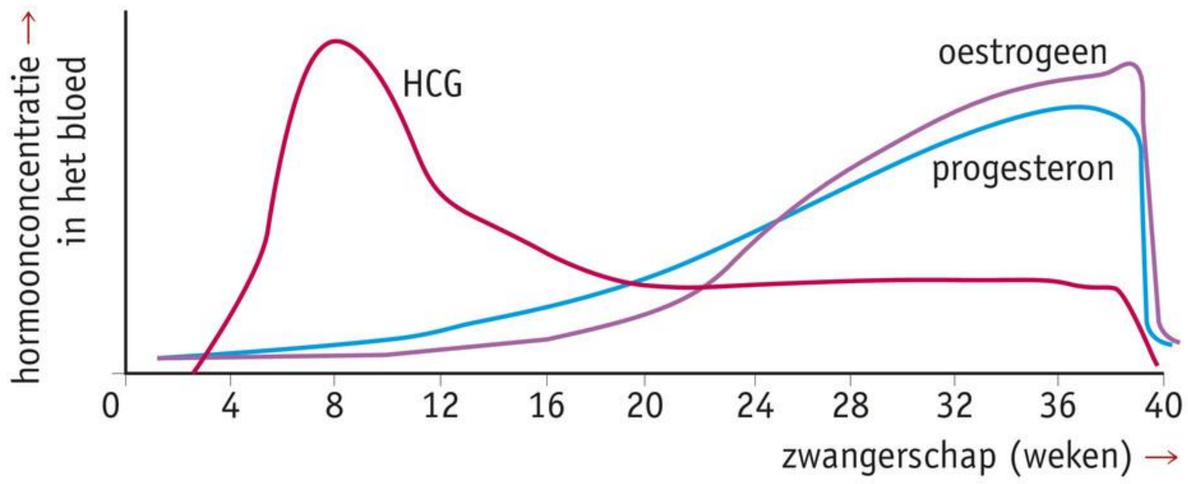
Opdrachten KENNIS

55 Moeders voor Moeders is een onderdeel van een bedrijf dat geneesmiddelen produceert. Het bedrijf haalt een hormoon uit de urine van zwangere vrouwen. Dit hormoon kan worden gebruikt voor enkele vruchtbaarheidsbehandelingen van stellen met een vruchtbaarheidsprobleem.

a Welk hormoon wordt door het bedrijf uit de urine gehaald?

b Vrouwen kunnen alleen deelnemen aan Moeders voor Moeders tijdens een bepaalde periode van hun zwangerschap.
Leg uit met behulp van afbeelding 33 welke periode dit is.

■ **Afb. 33** Hormoonconcentraties tijdens de zwangerschap.



56 De lengte van de zwangerschap wordt berekend vanaf de eerste dag van de laatste menstruatie. De berekening is + 7 dagen vanaf de eerste dag van de laatste menstruatie + 9 maanden. Bij veel vrouwen is de tijd tussen de eerste dag van de laatste menstruatie en de eisprong niet precies 14 dagen. Bij vrouwen met een onregelmatige cyclus is deze methode helemaal onbetrouwbaar.

a Waardoor is deze methode voor vrouwen met een onregelmatige cyclus onbetrouwbaar?

b De echte duur van de zwangerschap is vanaf het moment van de bevruchting tot de geboorte.
Hoeveel weken duurt de echte zwangerschap bij de mens? Leg je antwoord uit.

57 Soms ligt een foetus niet met het hoofd naar beneden, maar in stuitligging (met de billen naar beneden) of in dwarsligging (dwars). Het is dan vaak lastiger of zelfs onmogelijk om via de natuurlijke weg te bevallen. Dan kan er worden gekozen voor een keizersnede. De baby wordt dan via een snee in de buik van de moeder uit de baarmoeder gehaald.
Waarom komt een keizersnede vaker voor als er sprake is van een tweeling?

Opdrachten INZICHT

58 Na een hartinfarct is vaak een deel van de hartspier beschadigd. Wetenschappers onderzoeken of ze met stamcellen nieuwe hartcellen kunnen maken voor mensen die een hartinfarct hebben gehad.

a Wat voor type stamcellen hebben ze waarschijnlijk gebruikt?

b Geef een ethisch argument tegen het gebruik van embryonale stamcellen voor het kweken van hartspiercellen.

59 Brit en Jos willen graag kinderen. Al een paar maanden probeert Brit om zwanger te worden, maar het is nog niet gelukt. Ongeveer halverwege haar menstruatiecyclus hebben Brit en Jos geslachtsgemeenschap gehad. Brit denkt dat het nu is gelukt. Om zeker te zijn doet ze twee dagen erna een zwangerschapstest. Een zwangerschapstest meet de aanwezigheid van HCG. De uitslag is negatief.
Betekent deze uitslag dat Brit niet zwanger is? Leg je antwoord uit.

60 Nadat de placenta is uitgedreven, trekt de baarmoeder zich samen. Dit helpt om de wond te sluiten.
Beredeneer wat het gevolg kan zijn als de placenta niet of niet geheel wordt uitgedreven na de geboorte.

61 Gebruik voor deze opdracht *BiNaS* tabel 89A.
Wanneer een vrouw borstvoeding geeft, komt het hormoon oxytocine vrij. Dit hormoon stimuleert de afgifte van melk in de borst. Sommige vrouwen krijgen tijdens de eerste weken van het geven van borstvoeding buikpijn.
Leg uit hoe het komt dat vrouwen buikpijn kunnen krijgen tijdens het geven van borstvoeding.

62 Wanneer een bevalling begint met het breken van de vliezen, is het belangrijk om te weten of de foetus al is ingedaald. Als de foetus nog niet is ingedaald, mag de moeder alleen nog liggen. Als de moeder zou zitten of staan, kan er een orgaan bekneld raken dat belangrijk is voor de zuurstofvoorziening van de foetus.
Leg uit op welke manier de zuurstofvoorziening van de foetus in gevaar komt.

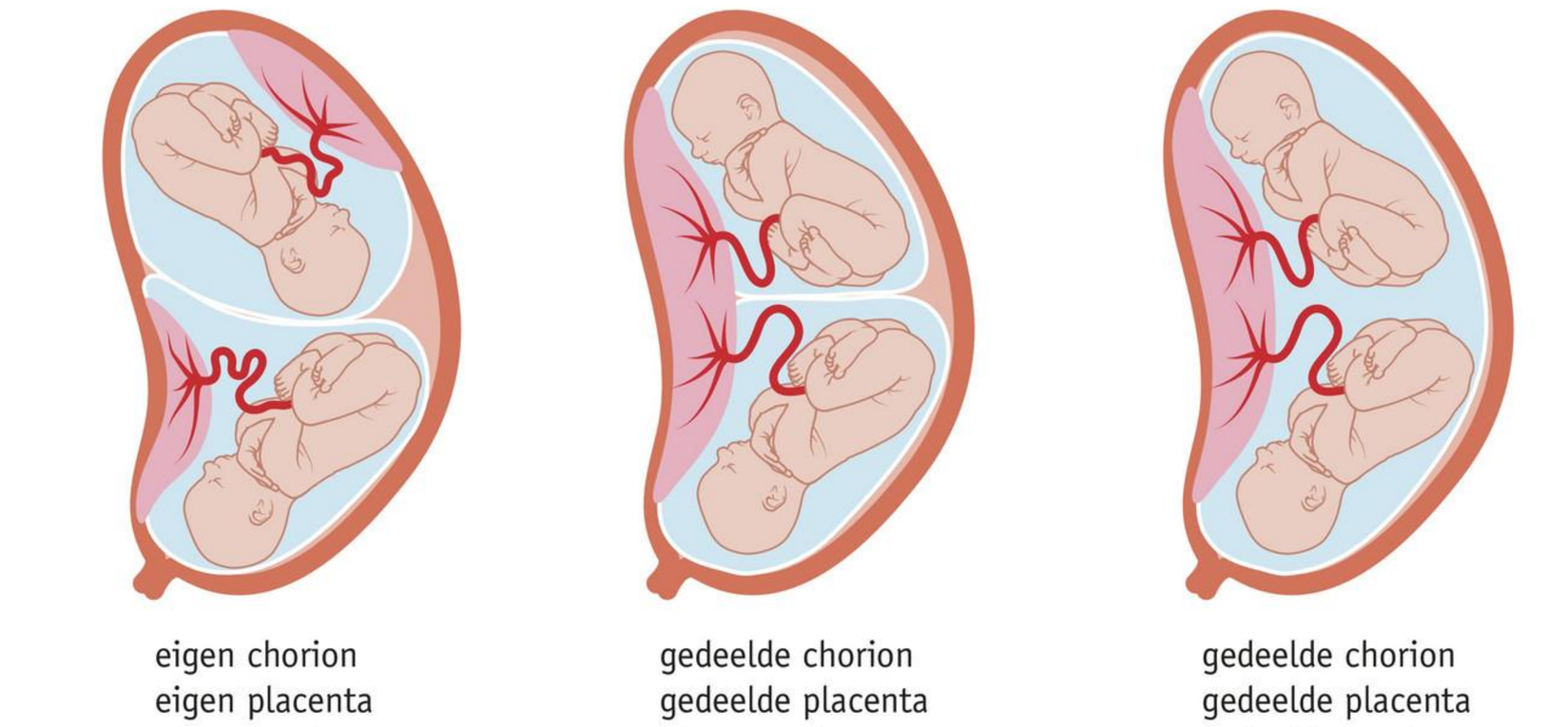
63 Wanneer een zygote zich splitst, kunnen twee zygoten doorgroeien tot een foetus. Er is dan sprake van een eeneiige tweeling. De beide embryo's kunnen de vruchtvliezen (amnion en chorion) en placenta delen, maar dat hoeft niet. Dit is afhankelijk van wanneer de embryo's zijn gesplitst: 0-3 dagen na bevruchting, 3-8 dagen na bevruchting, 8-12 dagen na bevruchting (zie afbeelding 34).
Bij een twee-eiige tweeling zijn twee eicellen bevrucht door twee verschillende zaadcellen. Beide zygoten groeien uit tot een foetus.
In afbeelding 34 is weergegeven hoe eeneiige tweelingen in de baarmoeder kunnen zitten.
Als een vrouw zwanger is van een tweeling, kan een vrouw willen weten of er sprake is van een eeneiige of een twee-eiige tweeling. Bij twee van de situaties uit afbeelding 34 is duidelijk dat het gaat om een eeneiige tweeling. Bij een van de situaties is niet tijdens de zwangerschap bekend of er sprake is van een eeneiige of een twee-eiige tweeling.

a Leg uit in welke situatie onbekend is of er sprake is van een eeneiige of een twee-eiige tweeling.

b Verwacht je bij een tweelingzwangerschap meer, minder of evenveel HCG als bij een zwangerschap van één baby? Leg je antwoord uit.

c Bij sommige tweelingzwangerschappen treedt een complicatie op waarbij er meer bloed van de ene foetus (donor) naar de andere foetus (ontvanger) gaat, dan er terugkomt (tweelingtransfusiesyndroom of TTS). Er is een risico dat de donor te weinig voedingsstoffen krijgt en afsterft. Ook de ontvanger kan nadeel ondervinden. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat het hart de grote hoeveelheid bloed niet aankan.
Is de kans dat TTS optreedt bij een eeneiige tweeling groter dan / gelijk aan / kleiner dan de kans dat TTS optreedt bij een twee-eiige tweeling? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 34** Mogelijke zwangerschappen van eeneiige tweelingen.

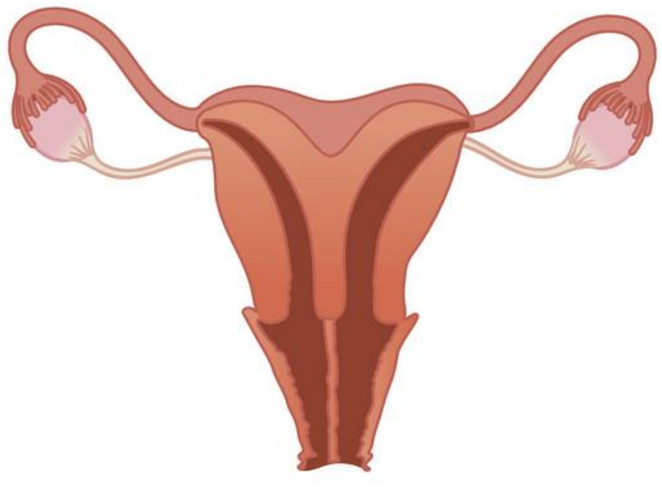


64 Soms is de aanleg van de baarmoeder, baarmoedermond en vagina niet goed gegaan. Een voorbeeld daarvan is uterus didelphys, waarbij twee baarmoeders en soms ook twee vagina's aanwezig zijn (zie afbeelding 35).

a Heeft een vrouw met uterus didelphys elke maand één of twee menstruaties? Leg je antwoord uit.

b Een vrouw met uterus didelphys kan meestal gewoon zwanger worden en bevallen. Wel is er een verhoogde kans op een miskraam of een keizersnede.
Bedenk of een vrouw met uterus didelphys zwanger kan worden van een eeneiige tweeling en/of een twee-eiige tweeling? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 35** Uterus didelphys.



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

Context Beroep

GYNAECOLOOG

Marit werkt als gynaecoloog in een academisch ziekenhuis (zie afbeelding 36). ‘Ik heb eerst de studie geneeskunde gedaan. Na mijn artsexamen heb ik gesolliciteerd naar een opleidingsplaats. Hier leer je in ongeveer zes jaar het vak gynaecologie in de praktijk. Je bent veel in overleg, je doet onderzoek en je bent de hele dag in de weer met patiënten, familie en medisch personeel.

Ik sta een groot deel van mijn tijd in de kliniek. Hier houd ik me bezig met verloskunde, onvruchtbaarheid, menstruatiestoornissen, hormoonbehandelingen, ontlastingsproblemen en ziekten zoals baarmoeder(hals)-, eierstok- en vulvakanker. Het is in dit werk nodig dat je geïnteresseerd bent in mensen en je moet een correct oordeel kunnen vellen over de problemen van een patiënt. Je moet details opmerken en op de hoogte blijven van de nieuwste ontwikkelingen. Ook moet je ertegen kunnen om onregelmatig te werken, zoals in weekenden en nachten.

Regelmatig wordt er onderzoek gedaan om ziektebeelden beter te begrijpen of betere behandelmethoden te ontwikkelen. Denk hierbij aan onderzoek naar behandeling en diagnostiek van kanker of aan onderzoek naar verminderd seksueel verlangen. Ik ben betrokken bij een onderzoek naar de beste behandeling van hevige menstruaties. Een van de behandelingen in dit onderzoek is een relatief nieuw ontwikkelde techniek, waarbij het baarmoederslijmvlies wordt verwijderd.

Ik geef ook een middag in de week college aan geneeskundestudenten.’

■ **Afb. 36** Marit aan het werk.



Opdrachten

65 **a** In welke drie categorieën kun je de werkzaamheden van Marit indelen?

b Geef drie verschillende capaciteiten die nodig zijn voor dit beroep.

c Geef enkele redenen waarom het beroep van gynaecoloog geschikt voor jou zou zijn. Denk aan de benodigde capaciteiten en jouw interesses.

d Geef enkele redenen waarom het beroep van gynaecoloog voor jou niet geschikt zou zijn. Denk aan de benodigde capaciteiten en jouw interesses.

e Concludeer op basis van jouw antwoorden bij 65c en 65d of het beroep van gynaecoloog geschikt zou zijn voor jou.

5 SEKSUALITEIT (SE)

LEERDOELEN

2.5.1 Je kunt kenmerken van de geestelijke en lichamelijke ontwikkeling van pubers en adolescenten benoemen.
2.5.2 Je kunt de functies van seksualiteit beschrijven.
2.5.3 Je bent je bewust van de seksuele diversiteit en de verschillen in normen en waarden over seksualiteit in de samenleving.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	2.5.1	**2.5.2**	**2.5.3**	**2.3.1***
Begrijpen	67	66b	68, 69, 70, 76	66a
Toepassen		72, 74abd, 77	74c, 78	
Analyseren			71, 75	73

* Dit leerdoel vind je in een andere basisstof.

Tijdens de puberteit worden veel jongeren voor het eerst verliefd. Seksuele gevoelens kunnen dan een rol gaan spelen. Misschien heb je fantasieën over hoe het zou zijn om met een jongen of een meisje te vrijen.

LEVENSFASEN EN VOORTPLANTING

De **levensfase** waarin het lichaam volwassen wordt, heet de puberteit. De periode loopt van ongeveer 10 tot 17 jaar, maar is per mens verschillend. De levensfase waarin een mens geestelijk volwassen wordt, heet **adolescentie**. In Nederland vinden veel mensen dat de adolescentie begint aan het einde van de puberteit en eindigt tussen de 20 en 25 jaar, maar soms wordt ook de puberteit als deel van de adolescentie gezien.

De geestelijke en lichamelijke veranderingen in de puberteit zijn de voorbereidingen op zelfstandig worden en de voortplanting. Tijdens deze periode ontwikkel je secundaire geslachtskenmerken en word je misschien voor de eerste keer verliefd. De hersenen ontwikkelen zich en de hormonen gieren door je lijf. Door al deze veranderingen kun je je onzeker voelen.

Na de overgang kan een vrouw niet meer zwanger worden. De voorraad follikels in de eierstokken neemt af, waardoor een vrouw uiteindelijk minder oestrogeen maakt. De overgang begint meestal tussen de 40 en 60 jaar. In 5 tot 10 jaar tijd verandert de hormonale regeling en komt tot een nieuw evenwicht. Sommige vrouwen hebben tijdens de overgang last van klachten zoals opvliegers, onregelmatig bloedverlies, hoofdpijn of stemmingswisselingen.

Ook bij mannen verandert de hormoonhuishouding naarmate ze ouder worden. Ze produceren geleidelijk minder testosteron. Sommige mannen hebben minder vaak een erectie. Mannen blijven meestal tot op hoge leeftijd vruchtbaar doordat ze spermacellen blijven produceren.

SEKSUALITEIT

Onder **seksualiteit** vallen alle gedachten, gevoelens en handelingen die hebben te maken met lust, **opwinding** en seks. Seks omvat alle handelingen waarbij je voortplantingsorganen een rol spelen en waarvan je lichamelijk opgewonden raakt. Voortplanting kan voor mensen een reden zijn om seks te hebben (**voortplantingsprikkel**), maar meestal hebben mensen andere redenen. In een relatie hebben mensen seks, omdat ze het fijn vinden en graag intimiteit met elkaar willen. Elkaar aanraken, strelen en zoenen versterkt de band tussen partners (zie afbeelding 37). Tijdens het hebben van seks komen er hormonen vrij in je lichaam die zorgen voor een ontspannen en fijn gevoel.

■ **Afb. 37** Een verliefd stel.



Voor veel mensen is seks leuk, ze genieten ervan om seksueel opgewonden te zijn en om seks te hebben. Seksuele opwinding ontstaat bijvoorbeeld door aanrakingen en fantasieën. Sommige mensen raken opgewonden van het versturen van sexy berichten, foto's of filmpjes van zichzelf. Dat wordt sexting genoemd. Veel mensen raken ook opgewonden door vormen van porno (beeldmateriaal van naakte of vrijende mensen en seksueel opwindende verhalen). Het is belangrijk om te onthouden dat porno wordt gemaakt om iemand op te winden en dus anders is dan de werkelijkheid. Door photoshop of plastische chirurgie zijn de lichamen van de mensen mooier gemaakt, zoals grotere borsten of symmetrische geslachtsdelen. In films en verhalen worden ongemakkelijke of minder sexy momenten weggelaten, waardoor je een vertekend beeld kunt krijgen van hoe je met elkaar seks kunt beleven. Ook is porno vaak vrouwonvriendelijk.

In de puberteit raken de meeste jongeren geïnteresseerd in seks. Tijdens de puberteit leren veel jongeren hun eigen lichaam op seksueel gebied kennen. Masturbatie kan een manier zijn om meer over je eigen seksualiteit te ontdekken. Stimulatie van de eikel bij mannen of de clitoris bij vrouwen kan leiden tot een orgasme.

Jongeren komen er in de puberteit ook vaak achter waar ze opgewonden van raken. Tot wie je je aangetrokken voelt, heeft te maken met je seksuele oriëntatie. De meeste mensen voelen zich aangetrokken tot iemand van het andere geslacht. Dat wordt **heteroseksueel** genoemd. Je kunt ook op iemand vallen van hetzelfde geslacht, dat heet **homoseksueel**. Homoseksuele vrouwen worden ook wel lesbiennes genoemd. Als iemand zowel op mannen als op vrouwen valt spreek je van **biseksualiteit**. Ook zijn er mensen die niet op een geslacht vallen, maar op de persoon. Dit noem je panseksueel. Als iemand zich niet seksueel aangetrokken voelt tot andere mensen, heet dat aseksueel. Sommige mensen die niet heteroseksueel zijn, kiezen ervoor om op een bepaald moment aan hun omgeving over hun seksuele oriëntatie te vertellen. Dit wordt 'uit de kast komen' of een **coming-out** genoemd. Dit kan voor sommige mensen een heel spannend moment zijn.

In Nederland wordt homoseksualiteit door de meeste mensen geaccepteerd en als gewoon gezien. Het is bij wet verboden te discrimineren op basis van seksuele oriëntatie. Homoseksuele stellen mogen in Nederland en veel andere landen trouwen en kinderen adopteren. Er zijn echter ook landen waar dit niet het geval is en waar homoseksuele mannen en vrouwen moeten vrezen voor hun leven. Soms is weerstand tegen homoseksualiteit gebonden aan een bepaalde geloofsovertuiging. Vanuit een geloofsovertuiging worden soms homoseksuele gevoelens wel toegestaan, maar het in de praktijk brengen van de homoseksuele gevoelens wordt afgekeurd.

■ **Afb. 38** Gezin met twee vaders.



Opdrachten KENNIS

66 De zin in seks verschilt per persoon, maar ook tijdens het leven van een persoon. Bijvoorbeeld stress is een belangrijke factor die de zin in seks beïnvloedt.
Bij veel vrouwen is de zin in seks onder meer afhankelijk van de concentratie oestrogeen. Hoe meer oestrogeen, hoe meer zin in seks.

a Leg uit op welk moment tijdens de menstruatiecyclus bij de meeste vrouwen de zin in seks het hoogst zal zijn. Geef in je antwoord aan waarom zin in seks op dat moment nuttig is.

b De zin in seks wordt bij mannen en vrouwen beïnvloed door testosteron.
Op welk moment in het volwassen leven is de zin in seks van veel mannen het hoogst en wanneer het laagst? Leg je antwoord uit.

67 In afbeelding 39 is voor jongens en meisjes aangegeven wanneer verschillende secundaire geslachtskenmerken ontstaan.
Meisjes tussen de 11 en 13 jaar zijn gemiddeld langer dan jongens.

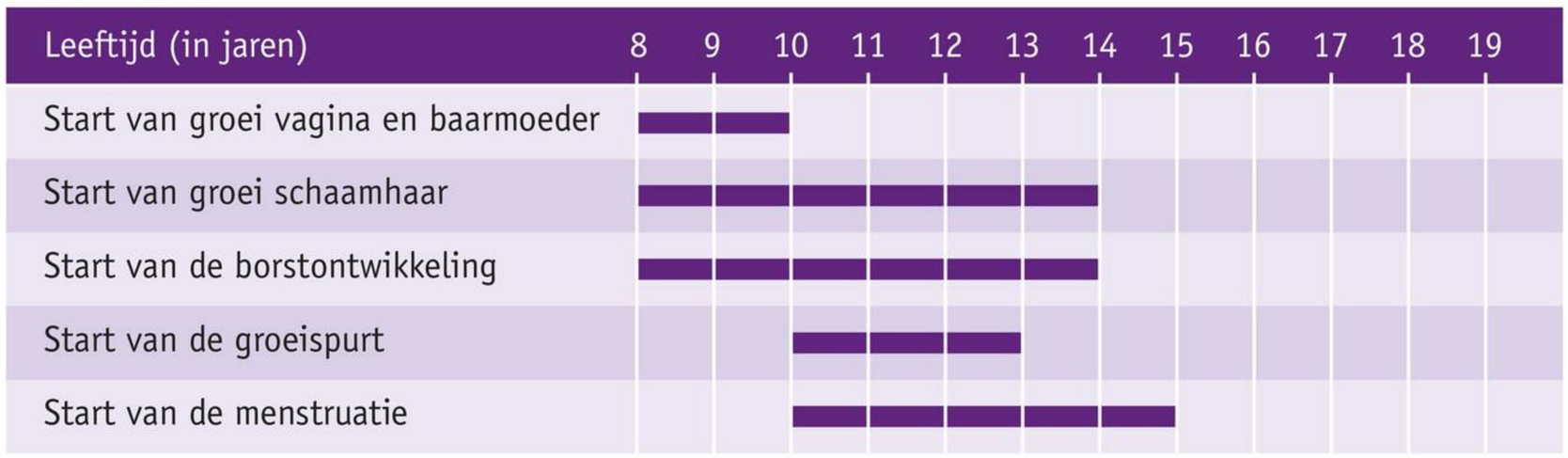
a Leg aan de hand van afbeelding 39 uit hoe het komt dat meisjes dan gemiddeld langer zijn dan jongens.

b In de meeste brugklassen zitten wel meisjes van 12 jaar die korter zijn dan een aantal jongens in de klas.
Leg uit hoe het komt dat deze meisjes korter zijn.

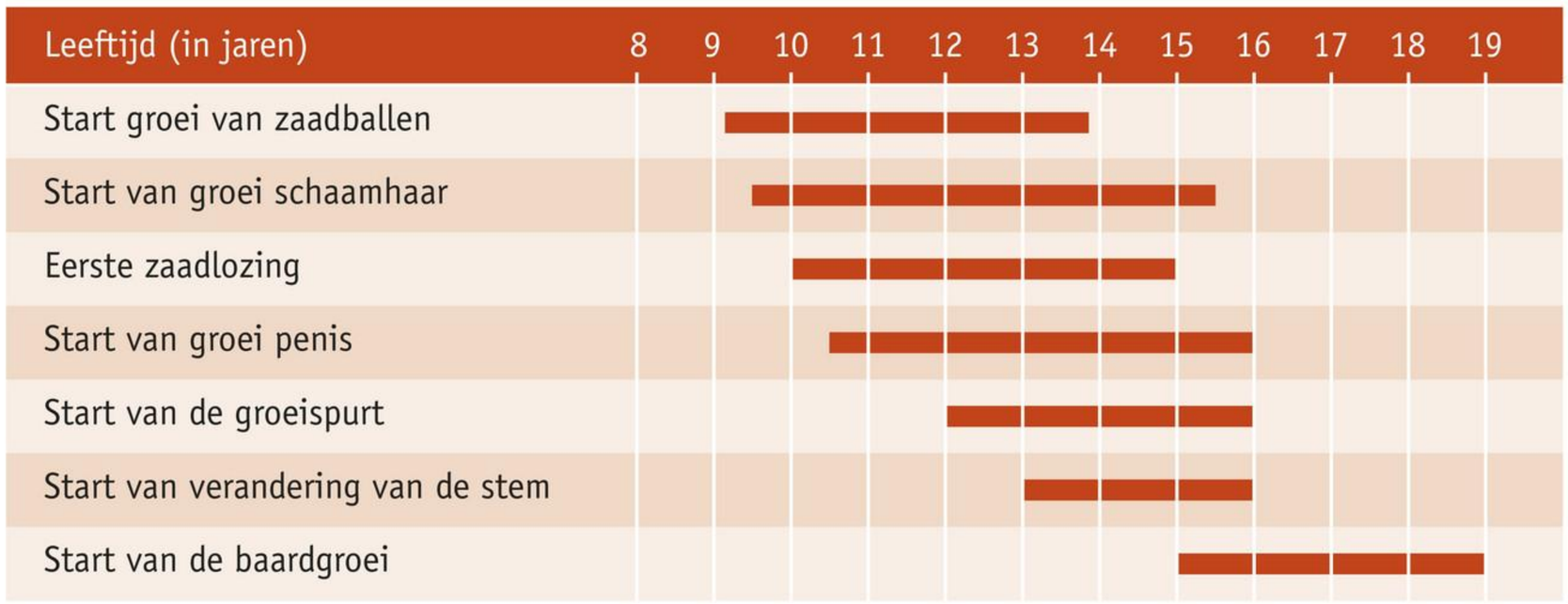
c Zou jij, aan de hand van afbeelding 39, een vriendin van 17 jaar adviseren om naar de huisarts te gaan als ze nog niet menstrueert? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 39** Secundaire geslachtskenmerken van meisjes en jongens.

Bij meisjes



Bij jongens



GENDER EN GESLACHT

Als het gaat over seksualiteit kom je tegenwoordig vaak de afkorting LHBTI tegen (soms met nog meer letters erachter). Deze letters staan voor lesbisch, homoseksueel, biseksueel, transgender en intersekse. De eerste drie gaan over seksuele oriëntatie en de laatste twee respectievelijk over gender en geslacht.

Het woord **gender** gaat niet over iemands geslacht, maar over of iemand zich meer vrouwelijk of mannelijk voelt of gedraagt en hoe de maatschappij naar vrouwelijk en mannelijk kijkt.

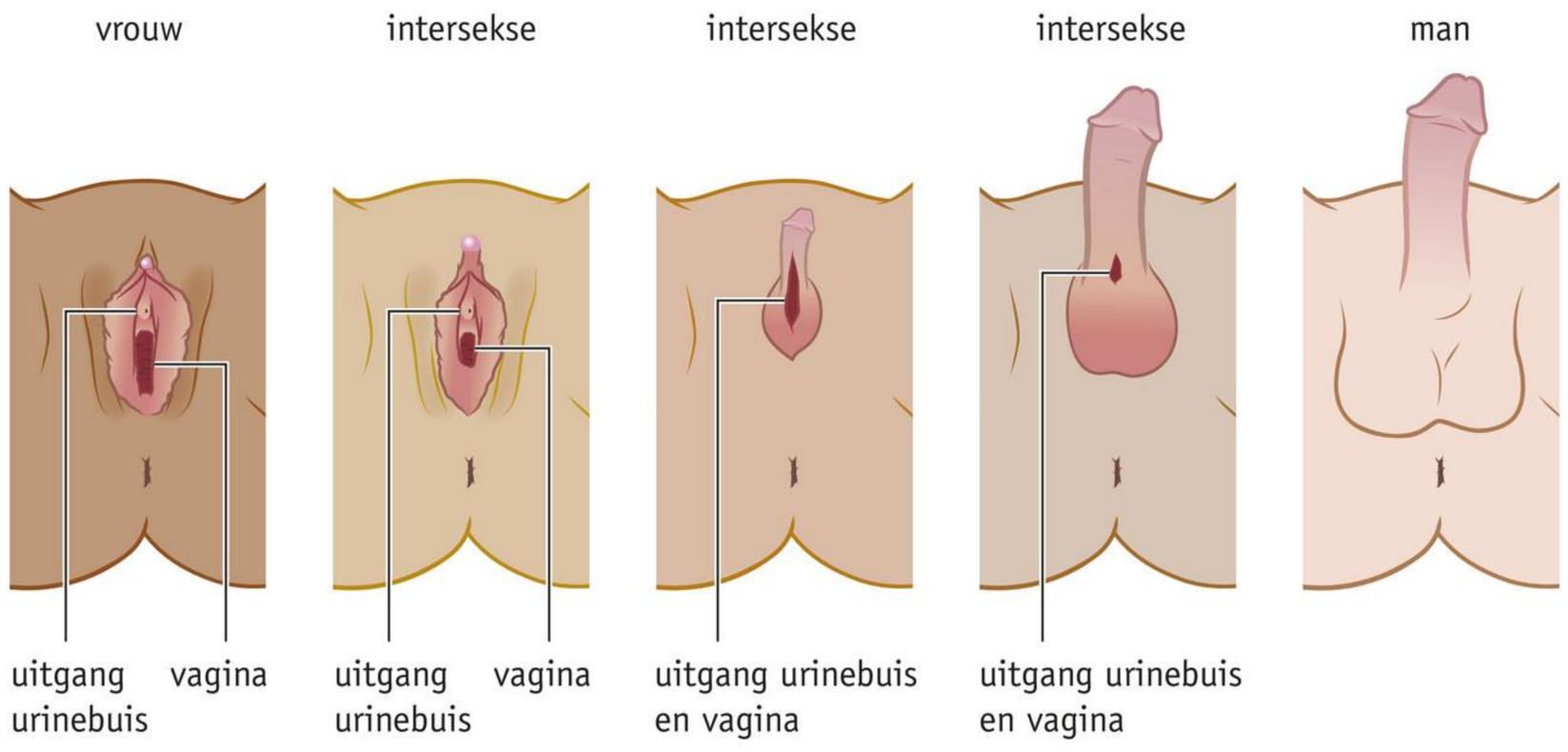
Soms herkent iemand zich niet in het geslacht waarmee die persoon is geboren. Zo iemand, een **transgender persoon** (zie afbeelding 40), heeft bijvoorbeeld het geboortegeslacht man en voelt zich vrouw, of andersom. Ook kan het zo zijn dat een transgender persoon zich een beetje van allebei voelt (genderqueer) of juist allebei niet (non-binair). Wanneer een transgender persoon zich volledig met de gender identificeert die niet overeenkomt met het geboortegeslacht, heet dat genderdysforie. In dat geval kan iemand kiezen voor hormoonbehandelingen en een geslachtsaanpassende operatie, maar dit willen niet alle transgender personen. Transgender personen kunnen hun geslacht laten veranderen in hun paspoort.

■ **Afb. 40** Transgender persoon.



Intersekse personen zijn geboren met mannelijke en vrouwelijke geslachtskenmerken. Soms is dat zichtbaar, omdat de uitwendige geslachtsdelen een combinatie zijn. Bijvoorbeeld een vergrote clitoris of een micropenis met vulvalippen (zie afbeelding 41). Andere keren is het niet zichtbaar en zijn de uitwendige geslachtsdelen die van een man of een vrouw, maar zijn de inwendige geslachtsorganen anders ontwikkeld. Bijvoorbeeld: de uitwendige geslachtsdelen van een vrouw en inwendig geen vrouwelijke geslachtsdelen, maar wel teelballen. Ook kan het zo zijn dat de hormonen of chromosomen niet volledig overeenkomen met de geslachtskenmerken. Dan kan het bijvoorbeeld gebeuren dat secundaire geslachtskenmerken zich anders ontwikkelen dan verwacht.

■ **Afb. 41** Verschillende vormen van intersekse bij de uitwendige geslachtsorganen.



WENSEN EN GRENZEN

In een (seksuele) relatie is het belangrijk elkaars wensen en grenzen te leren kennen en te respecteren. Wensen en grenzen zijn heel persoonlijk en dus voor iedereen verschillend. Bijvoorbeeld, de een vindt orale seks (met de mond) heerlijk, de ander vindt het vies. Als partners is het belangrijk om van elkaar te weten wat elk van jullie fijn vindt en wat niet. Sommige mensen vinden het best lastig om daarover te praten, maar een relatie wordt er beter van en de seks leuker.

Als jij ooit in een situatie komt waarbij je je onzeker of onprettig voelt of dingen doet die je eigenlijk niet wilt, dan moet je ermee stoppen. Neem je gevoelens serieus en zeg het tegen de ander. Ga niet verder dan je (op dat moment) wilt, ook niet om een ander een plezier te doen. Iemand die om jou geeft, laat jou nooit verdergaan dan waar jij je fijn bij voelt. Iemand die jouw grenzen niet respecteert, is de relatie niet waard.

Respecteer de grenzen van een ander. Let ook goed op signalen die een ander je geeft. Bijvoorbeeld niet terug zoenen, niet genieten van seks, geen initiatief nemen en het lichaam wegdraaien kunnen eigenlijk ‘nee’ betekenen.

SEKSUEEL ONGEWENST GEDRAG

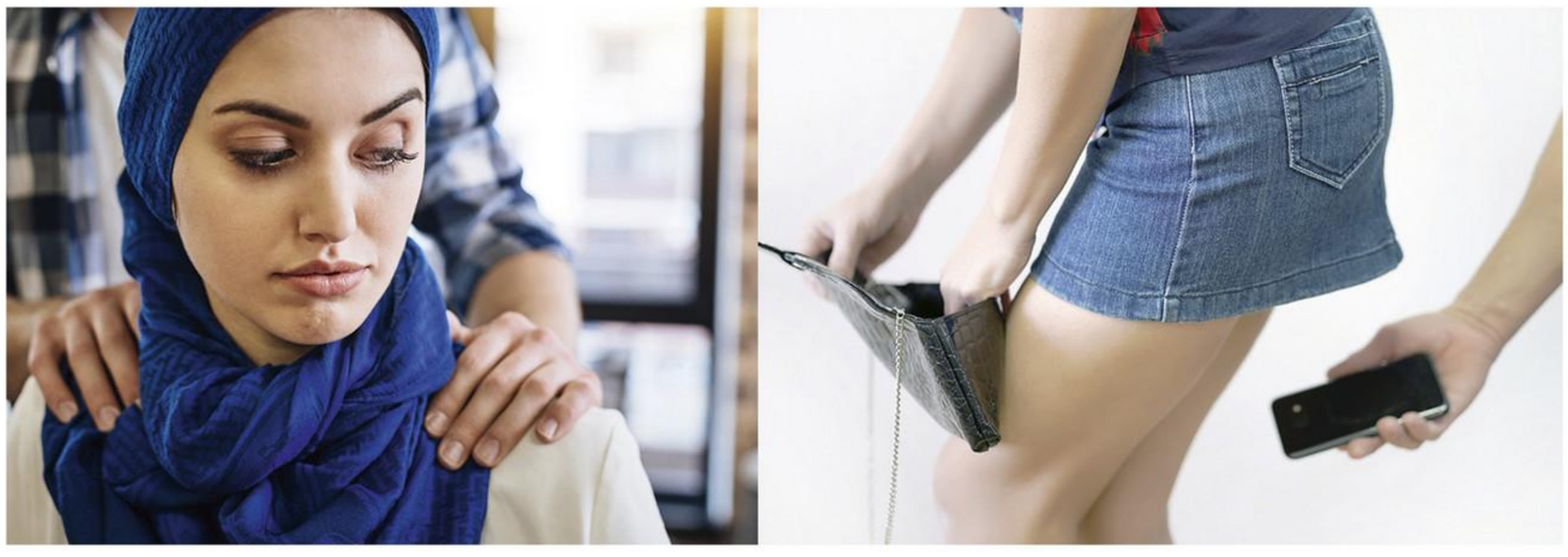
Helaas leidt seksueel gedrag soms tot ongewenst en grensoverschrijdend seksueel gedrag. Altijd geldt dat als jij geen toestemming geeft of ‘ja’ zegt, er niets mag gebeuren. Ook als je niet duidelijk ‘nee’ zegt, betekent dat nog geen ‘ja’. Elke partner moet altijd eerst nagaan of de ander wel wil.

Als iemand jouw grenzen niet respecteert en je bijvoorbeeld aanraakt, terwijl jij dat niet wilt of seksueel getinte opmerkingen maakt en jij je daar niet fijn bij voelt, spreek je van ongewenste intimiteit (zie afbeelding 42).

Als iemand zonder het te vragen aan je geslachtsdelen zit, je zoent tegen je zin in of je dwingt om geslachtsdelen van iemand anders aan te raken, is dat aanranding. Als onder geweld of dreiging het lichaam (mond, vagina of anus) wordt binnengedrongen met vingers, een penis of een voorwerp, dan heet dat verkrachting.

Seks met een minderjarige is strafbaar. Aanranding, verkrachting of seksueel ongewenst gedrag door een familielid met een minderjarige wordt incest genoemd en is strafbaar.

■ **Afb. 42** Voorbeelden van seksueel ongewenst gedrag.



Soms zijn verkeerde bedoelingen niet meteen duidelijk. Een loverboy is iemand die eerst heel aardig doet tegen een jongere en deze verleidt tot er verliefde gevoelens voor hem ontstaan. Dan probeert hij de jongere te dwingen tot prostitutie om daar zelf geld aan te verdienen.

Seksueel misbruik en grensoverschrijdend gedrag kunnen ook digitaal plaatsvinden. Voorbeelden daarvan zijn:

- Grooming: een volwassene verleidt een minderjarige tot seksuele handelingen, online (voor een webcam) of in het echt.
- Sextortion: het chanteren van een persoon met seksueel getinte beelden van deze persoon.
- Exposen: het in het openbaar online vernederen van mensen door middel van intieme foto's of filmpjes.
- Slutshaming: het in het openbaar bekritiseren van meisjes en vrouwen vanwege bepaald gedrag of hun manier van kleden.

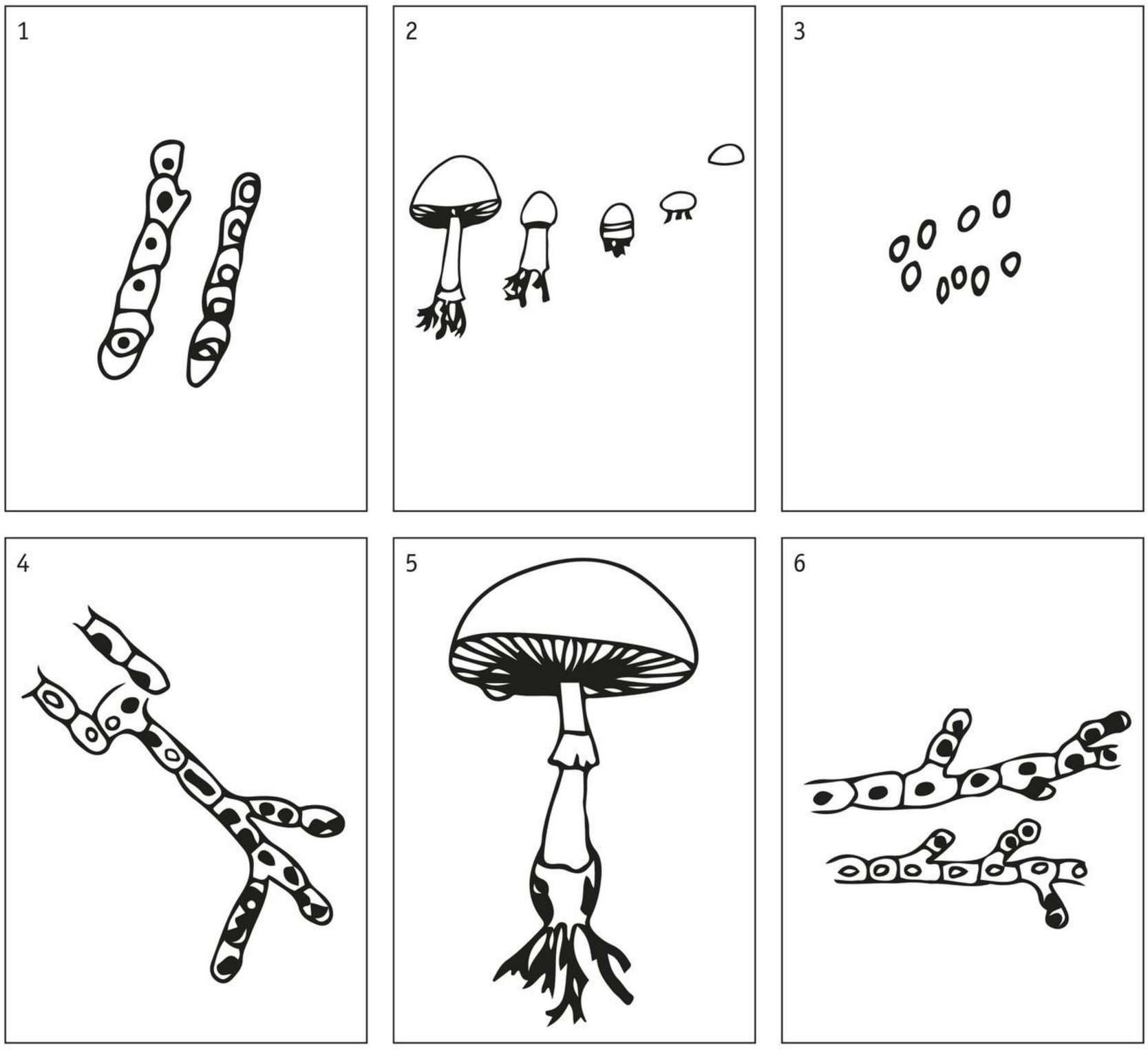
Slachtoffers van seksueel ongewenst gedrag kunnen last houden van hun ervaring tijdens hun verdere leven. Ze kunnen bijvoorbeeld emotioneel en psychisch moeite hebben met wat hen is overkomen of problemen hebben met relaties en seksualiteit.

Als jij ooit seksueel ongewenst wordt behandeld, is het belangrijk om erover te praten. Slachtoffers vinden dat vaak moeilijk, omdat ze zich kwetsbaar voelen, zich schamen, of bang zijn dat ze niet worden geloofd. Ook denken slachtoffers soms dat het hun eigen schuld is, dat ze het bijvoorbeeld hebben uitgelokt door bepaalde kleding te dragen. Dat klopt niet. Het is altijd belangrijk om het er met iemand over te hebben die je vertrouwt. Dit kan bijvoorbeeld met je ouders, een vertrouwenspersoon of mentor op school, de huisarts of een andere volwassene. Ook zijn er organisaties waar je terechtkunt: Centrum Seksueel Geweld (een organisatie die hulp biedt bij alles wat heeft te maken met seksueel geweld) en Helpwanted (een organisatie die advies geeft aan slachtoffers van online seksueel misbruik).

3 In afbeelding 4 staan verschillende fasen van de levenscyclus van de paddenstoel door elkaar.
Zet in de tabel de fasenummers in de juiste volgorde en zet bij elke fase de juiste beschrijving.
Kies uit: *ontkieming van sporen leidt tot ontwikkeling van schimmeldraden – ontwikkeling van de paddenstoel – schimmeldraden vertakken zich en vormen een netwerk – schimmeldraden zijn met elkaar versmolten – verspreiding van sporen.*

Fase-nummer	Beschrijving
5	volwassen paddenstoel

■ **Afb. 4** De verschillende fasen van de levenscyclus van de paddenstoel.



Opdrachten KENNIS

68 De afgelopen jaren worden de hastags #metoo of #ikook regelmatig gebruikt.
Leg uit wat iemand bedoelt met het gebruik van een van deze hashtags.

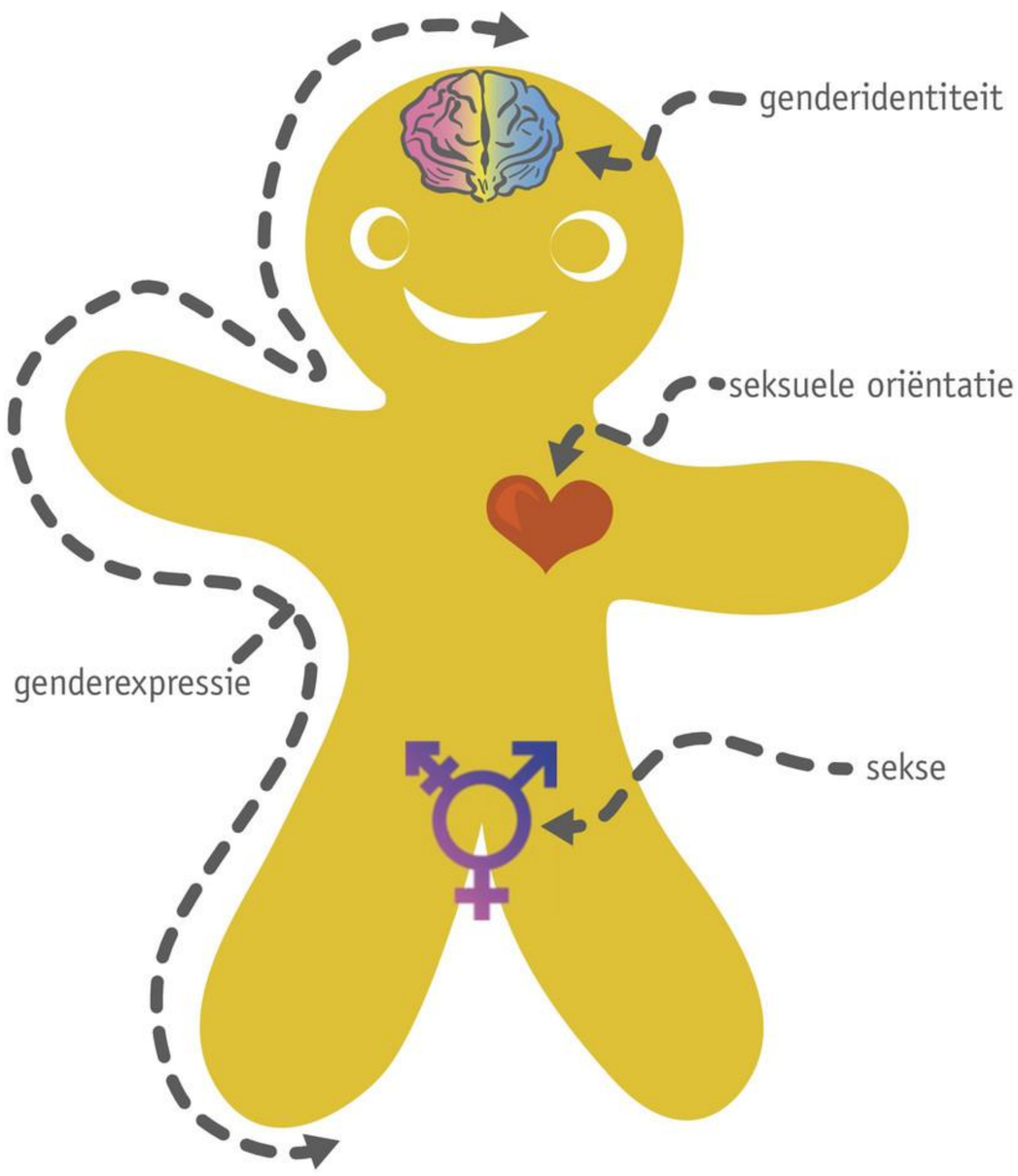
69 Een loverboy probeert vaak om een eenmaal verliefde jongere weg te houden bij zijn of haar familie en vrienden.
Leg uit waarom het voor een jongere dan nog moeilijker is om het contact met de loverboy te verbreken.

70 In afbeelding 43 zie je de Genderbread Person. Dit is een handige infographic die de verschillen tussen genderidentiteit, seksuele oriëntatie, genderexpressie en sekse eenvoudig voorstelt. Bestudeer de afbeelding.

a Bij welk begrip of welke begrippen zou transgender kunnen worden ingevuld? Leg je antwoord uit.

b Bij welk begrip of welke begrippen zou aseksualiteit kunnen worden ingevuld? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 43** De Genderbread Person.



Opdrachten INZICHT

71 Een citaat uit het actualiteitenprogramma Eén Vandaag van 31 juli 2021:
'Het lijkt alsof homoseksualiteit niet bestaat in het mannenprofvoetbal. Van de zeshonderd eredivisiespelers is niemand uit de kast. En dat terwijl je juist een rolmodel kunt zijn.'

a Geef drie redenen waarom in het mannenprofvoetbal nog niemand uit de kast is gekomen.

b In de tekst staat dat een profvoetballer die uit de kast zou komen juist een rolmodel kan zijn.
Wat wordt bedoeld met een rolmodel zijn?

72 Over seksualiteit en seks bestaan veel misverstanden. Hieronder staan vier uitspraken. Bedenk zelf, of in overleg met een klasgenoot, welke uitspraken juist zijn. Je kunt ook meer informatie zoeken.

a Er zijn minder vrouwen die masturberen dan mannen.

b Als een vrouw voor het eerst seks heeft, waarbij de penis in de vagina gaat (ontmaagd wordt), verliest ze bloed.

c Heteroseksuele stellen hebben geen anale seks (seks waarbij vingers of penis in de anus gaan).

d Als je als meisje opgewonden raakt van fantaseren over seks met een meisje, moet je lesbisch zijn.

73 Tijdens de overgang zoeken de hormonen van de vrouw naar een nieuw evenwicht. Na de overgang is een nieuw evenwicht ontstaan.
Vergelijk de concentraties voor en na de overgang van de volgende hormonen: oestrogeen, FSH en LH.

74 Hieronder staan enkele situaties. Bedenk hoe jij zou reageren in elke situatie of welk advies je een vriend of vriendin in die situatie zou geven. Overleg met klasgenoten over hun ideeën.

a Je bent op een feest en je staat al een tijd met een leuke jongen te praten. Een paar van je vrienden roepen een paar keer: 'zoenen' en duwen je tegen hem aan. Jij wilt (nog) niet met hem zoenen.

b Een vriendin van je zegt dat ze al een tijd verliefd op je is. Jij vindt haar echt heel aardig, maar je bent niet verliefd op haar.

c Je bent geboren als jongen en meestal voel je je daar goed bij, maar soms voel je je vrouwelijk. Je zou graag willen experimenteren met het dragen van een rok of jurk. Je wilt dit met je ouders bespreken.

d Je hebt al een tijdje een vriend. Hij komt vanavond naar je toe. Hij heeft gezegd dat hij vanavond graag seks wil. Jij bent daar nog niet aan toe.

75 In je klas zit een transgender meisje. Zij is geboren in een jongenslichaam, maar voelt zich meisje. Ze kleedt zich als meisje en heeft een meisjesnaam. Er wordt in de mentorklas overlegd waar ze zich gaat omkleden voor de lessen lichamelijke opvoeding. De mentor wil graag dat iedereen zich goed voelt bij het plan.
Bespreek de situatie vanuit alle oogpunten, dus vanuit de meisjes in de klas, vanuit de jongens in de klas en vanuit het transgender meisje. (Waarschijnlijk hebben niet alle meisjes dezelfde mening en ook niet alle jongens.)

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

Context Leefwereld

SEXTING: WANNEER WEL EN WANNEER NIET?

Sexting, wat is dat eigenlijk? Als je seksueel getinte berichtjes, foto's of filmpjes van jezelf naar iemand stuurt, heet dat sexting. Het woord 'sexting' is een samenvoegsel van de Engelse woorden 'sex' en 'texting'.

Sexting kan heel leuk en spannend zijn. Het kan een manier zijn om te flirten of om te laten zien dat je interesse hebt in iemand. Ook kan het een manier zijn om de spanning op te bouwen in een relatie of voor een seksuele ontmoeting. Als je een relatie hebt en niet bij elkaar in de buurt kan zijn, is het een manier om samen seksualiteit te delen.

Er zitten wel risico's aan sexting. Iemand kan jouw foto's of filmpjes doorsturen of op een pornowebsite plaatsen. Als je graag naaktbeelden van jezelf wilt versturen, is het slim om jezelf onherkenbaar in beeld te brengen, dus zonder gezicht, herkenbare tatoeages, littekens en moedervlekken.

Net als bij seksuele handelingen met je partner is het belangrijk om consent te krijgen bij sexting. In de media verschijnen soms berichten dat bekende mannen ongevraagd een 'dickpic' (naaktfoto van hun penis) naar vrouwen hebben gestuurd (zie afbeelding 44). Dit kan een intimiderend effect hebben op de ontvanger. Het versturen van naaktfoto's is dan ook strafbaar als het aanstootgevend is voor de ontvanger. Controleer dus altijd eerst bij de ander of het sturen van een naaktfoto of filmpje oké is.

■ **Afb. 44** Man doet aan sexting.



Opdrachten

76 Wat zou je kunnen doen als jouw naaktfoto's door een ex op internet zijn beland?

77 Als je vooraf bedenkt wat jij fijn zou vinden en waar jouw grenzen liggen, is de kans minder groot dat je iets doet waar je achteraf spijt van krijgt.
Bedenk voor jezelf of jij aan sexting zou willen doen in de volgende situaties en zo ja, aan welke vorm van sexting (bijvoorbeeld seksueel getinte berichtjes sturen, spannende foto van jezelf met kleding aan sturen, naaktfoto sturen).

- **a** Je bent verliefd op iemand in jouw klas.
- **b** Je hebt iemand bij het uitgaan ontmoet. Jullie hebben gezellig gekletst en nummers uitgewisseld.
- **c** Je hebt 1,5 jaar een relatie en jullie kunnen elkaar de hele zomervakantie niet zien.

78 Stel dat iemand in je klas een naaktfoto van een meisje in je klas naar je doorstuurt.
Hoe zou jij hiermee omgaan?

6 SOA'S EN GEBOORTE-REGELING (SE)

LEERDOELEN

2.6.1 Je kunt beschrijven wat de gevolgen zijn van infecties met seksueel overdraagbare aandoeningen en aangeven hoe je deze infecties kunt voorkomen.

2.6.2 Je kunt de werking van methoden van anticonceptie beschrijven en de voor- en nadelen van verschillende methoden benoemen.

▶ Practicum 3

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	2.6.1	**2.6.2**	**1.6.2****
Begrijpen	79, 80, 81, 90	82	91b
Toepassen	83, 84, 85, 89, 92	87a, 88a	91a
Analyseren	86	87bcd, 88b	

** Dit leerdoel vind je in een ander thema.

Seks kan heel leuk en fijn zijn, maar het is belangrijk om jezelf te beschermen tegen een soa of ongewenste zwangerschap. Dat kan op verschillende manieren.

SOA'S

Soa's zijn **seksueel overdraagbare aandoeningen**. Het zijn infectieziekten waarbij de ziekteverwekker via seksueel contact kan worden overgedragen. Veel soa's zijn goed te behandelen, maar sommige hebben ernstige gevolgen als ze niet op tijd worden behandeld.

Soa's worden overgedragen door contact tussen bloed, sperma, vaginaal vocht en contact met de slijmvliezen. Sommige soa's kunnen ook door huidcontact worden overgedragen. Als je seksueel contact zonder bescherming hebt, heet dat onveilig vrijen. Door veilig te vrijen is de kans op een soa kleiner.

Als je veilig wilt vrijen, kun je het volgende doen:

- Je hebt met één vaste partner seksueel contact. Je partner heeft ook alleen seksueel contact met jou. Jullie hebben allebei geen soa (jullie zijn getest) en jullie wassen eerst je handen met zeep.
- Zoenen is meestal redelijk veilig, maar als iemand wondjes of blaasjes bij de mond heeft, dan kun je beter niet zoenen.
- Als je orale seks hebt (beffen en pijpen) gebruik je een condoom of beflapje (zie afbeelding 45 en 46.
- Bij vaginale seks gebruik je een condoom.
- Gebruik bij anale seks (penis of vingers in de anus) een daarvoor geschikt condoom met extra veel glijmiddel.
- Bij scharen (twee vagina's wrijven tegen elkaar) gebruik je een beflapje of opengeknipt condoom tussen de vagina's.
- Als je seksspeeltjes met elkaar deelt, maak je ze tussendoor goed schoon en gebruik je een condoom.

■ **Afb. 45** Gekleurde condooms.



■ **Afb. 46** Gekleurde beflapjes.



Hiv, hepatitis B, hepatitis C en syfilis zijn via bloed overdraagbaar. Een besmetting met deze soa's kan dus ook plaatsvinden door het zetten van een tatoeage of piercing met besmette spullen, het delen van een scheermesje met een besmet persoon en naalden of spuiten gebruiken van een besmet persoon. Sommige soa's zijn ook overdraagbaar zonder seksueel contact, zoals uit een glas drinken van iemand die besmet is (herpes) en kleding of een handdoek gebruiken van iemand die besmet is (genitale wratten en schaamluis). In tabel 3 zie je een overzicht van een aantal soa's.

Als je wordt besmet met hiv (human immunodeficiency virus), kun je wat griepverschijnselen krijgen, maar dat hoeft niet. Vervolgens zijn er langere tijd, tot wel enkele jaren, geen klachten. Iemand is dan seropositief. Wanneer iemand met hiv niet wordt behandeld, kan dat leiden tot **aids**. Het virus valt dan de cellen van het immuunsysteem aan, waardoor het immuunsysteem het lichaam niet meer kan beschermen tegen ziekteverwekkers. Gelukkig is het in Nederland mogelijk om met medicatie hiv te remmen, zodat de levensverwachting van hiv-patiënten nu net zo hoog is als die van mensen zonder hiv. Hiv-remmers zorgen er ook voor dat het virus niet meer overdraagbaar is. PrEP zijn pillen die je kunt slikken om een infectie met hiv te voorkomen. Wanneer je misschien toch in contact bent gekomen met het hiv-virus, kun je met een PrEP-kuur een hiv-infectie voorkomen.

Tabel 3 Informatie over een aantal veelvoorkomende soa's.

Ziekte	Mogelijke ziekteverschijnselen	Te genezen met	(Mogelijke) gevolgen zonder tijdige behandeling
Chlamydia	Vaak geen klachten. Meer (of andere) afscheiding of bloed uit penis, vagina of anus. Pijn of een branderig gevoel bij het plassen. Buikpijn en koorts bij vrouwen.	Antibiotica. Maak de voorgeschreven kuur helemaal af.	Vrouw: ontstekingen in het bekken, zoals in de eileider, en onvruchtbaarheid. Man: bijbalontsteking.
Gonorroe	(Vooral vrouwen) vaak geen klachten. Meer (of andere) afscheiding of bloed uit penis of vagina. Pijn of een branderig gevoel bij het plassen.	Antibiotica. Maak de voorgeschreven kuur helemaal af.	Vrouw: ontstekingen in het bekken, zoals in de eileider, en onvruchtbaarheid. Man: bijbalontsteking.
Herpes genitalis	Aanvallen van blaasjes en zweertjes rondom de mond, geslachtsdelen of anus.	Niet te genezen. Medicijnen remmen een aanval.	Geen gevolgen. Wel kunnen de blaasjes tijdens de rest van het leven terugkomen en ben je weer erg besmettelijk.
Hepatitis B	Vaak geen klachten en anders pas na een paar maanden. Vermoeidheid, pijn in spieren en buik, geelzucht.	Geen. Vaccinatie vooraf is mogelijk.	De meeste mensen genezen vanzelf, maar 5-10% heeft een chronische infectie. Na vele jaren kan het virus de lever ernstig aantasten.
Hiv / aids	Vlak na besmetting kunnen griepachtige verschijnselen optreden. Daarna geen specifieke verschijnselen tot blijkt dat het afweersysteem niet meer voldoende werkt.	Niet te genezen. Hiv-remmers remmen de ziekte.	Vatbaarheid voor allerlei ziekten. Aids leidt in Nederland meestal niet meer tot de dood.
Syfilis	Zweertjes of vlekjes op penis, vagina, anus of mond. Deze verdwijnen na een aantal weken, maar dan is syfilis niet weg.	Antibiotica. Maak de voorgeschreven kuur helemaal af.	Huiduitslag, griepachtige klachten, haaruitval, oogklachten. Na jaren: beschadigingen aan hart, hersenen, ruggenmerg en botten. Kan leiden tot de dood.
HPV	Afhankelijk van het type virus: niets of genitale wratten.	Geen. Vaccinatie vooraf is mogelijk.	Bij sommige virussen jaren later risico op kanker van de baarmoedermond, anus of keel.

SOATEST

Na onveilig seksueel contact is een soatest de enige manier om zeker te weten of je een soa hebt. Een soatest kun je bij de huisarts of GGD doen. Bij vrouwen wordt een uitstrijkje gemaakt, daarbij wordt met een wattenstaafje over de wand van de vagina gestreken. Bij mannen is meestal een urinetest voldoende. Soms is bij een man ook een uitstrijkje van het begin van de urinebuis nodig. Wanneer onveilig anaal seksueel contact heeft plaatsgevonden, wordt soms een uitstrijkje van de anus gemaakt. Om op syfilis, hepatitis B en hiv te testen, is bloedonderzoek nodig.

Er bestaan ook thuistesten, waarmee je op soa's kunt testen. De betrouwbare thuistesten moeten vervolgens naar een laboratorium worden gestuurd.

Als blijkt dat iemand een soa heeft, is het belangrijk dat de huidige en alle vorige sekspartners op de hoogte worden gesteld. Mogelijk hebben zij een behandeling nodig.

Opdrachten KENNIS

79 Een huisarts ontvangt een patiënt. De patiënt is een man van 19 jaar. Hij heeft sinds kort een vriendin. De vriendin had een koortslip, daarom hebben ze toen niet met elkaar gezoend. De patiënt wilde namelijk zelf geen koortslip krijgen. In deze periode hebben ze wel geknuffeld en zijn vriendin heeft hem oraal bevredigd. De patiënt heeft nu last van een jeukende penis en een branderig gevoel bij het plassen. Hij heeft ook een paar blaasjes op zijn penis.

a Welke soa heeft de patiënt?

b Hoe had deze patiënt zich kunnen beschermen tegen deze soa?

80 De huisarts ontvangt nog een patiënt. De patiënt is een vrouw van 25 jaar. Ze heeft bloedverlies na seks. Plassen geeft een branderig gevoel en ze heeft buikpijn. Haar vriend heeft geen klachten. De arts schrijft voor zowel de patiënt als haar vriend een antibioticakuur voor. Hierna zijn de klachten verdwenen.

a Welke soa heeft de patiënt?

b Waarom krijgt haar vriend ook een antibioticakuur?

81 Sommige mensen denken dat ze een soa hebben, terwijl er iets anders aan de hand is. Hieronder staan twee van zulke voorbeelden. Zoek online op wat er bij beide voorbeelden wel aan de hand is en bedenk met welke soa's ze gemakkelijk worden verward.

a candida bij vrouwen

b pearly penile papules bij mannen

ZWANGERSCHAP VOORKOMEN

Veel mensen willen (nog) niet zwanger worden op het moment dat ze seksueel actief worden. Ze kunnen dan gebruikmaken van **anticonceptie**: het verhinderen van de bevruchting om zwangerschap te voorkomen. Er zijn verschillende methoden en **voorbehoedsmiddelen** die je kunt gebruiken. Anticonceptiemethoden zijn in te delen in barrièremiddelen, hormonale methoden, koperspiraal, klassieke methoden en definitieve methoden.

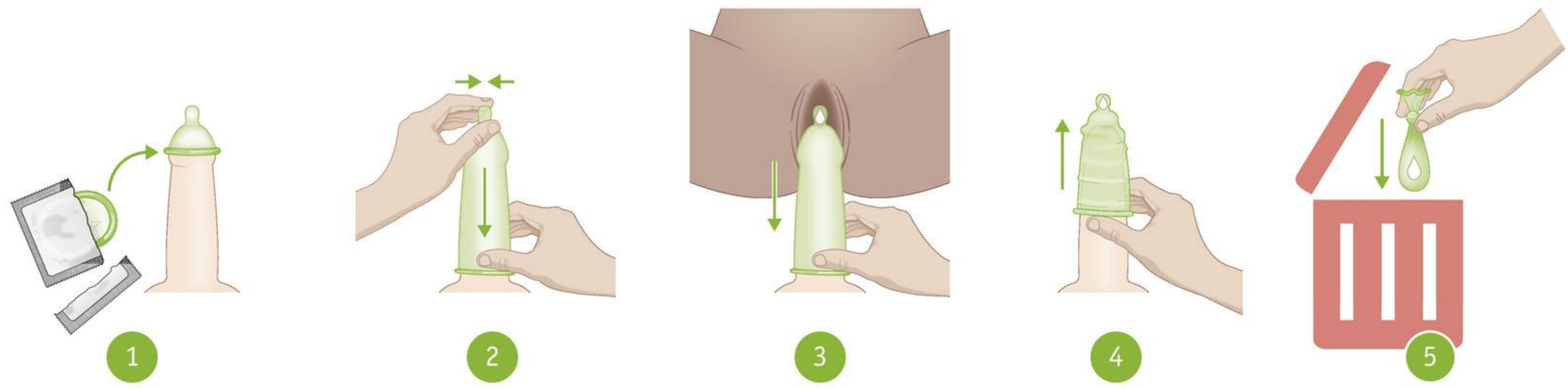
Bij barrièremiddelen zorgt het middel ervoor dat de spermacellen niet bij de eicel kunnen komen. Voorbeelden hiervan zijn het condoom (met CE-keurmerk), het vrouwencondoom en het pessarium (zie afbeelding 47). Het vrouwencondoom is een soort zakje met twee ringen dat in de vagina wordt ingebracht. Het pessarium is een kapje dat voor het vrijen over de baarmoedermond wordt gelegd en na het vrijen nog minimaal zes uur moet blijven zitten. Bij zowel het vrouwencondoom als het pessarium

is het verstandig om zaaddodende pasta te gebruiken. Het nadeel van barrièremiddelen is dat ze minder betrouwbaar zijn dan sommige andere middelen. Dit komt vaak door fout gebruik (zie afbeelding 48 voor juist gebruik van een condoom). Een condoom beschermt ook tegen besmetting met een soa.

■ **Afb. 47** Barrièremiddelen: condoom, vrouwencondoom en pessarium.



■ **Afb. 48** Juist gebruik van een condoom.



Hormonale methoden maken gebruik van **hormonale regulatie** om de cyclus van de vrouw te beïnvloeden. De gebruikte stoffen werken als de hormonen progesteron, oestrogeen of beide. De hormonen kunnen de volgende werking hebben: geen ovulatie, slijmvlies van de baarmoederwand ongeschikt maken voor innesteling, slijm in de baarmoederhals wordt dikker en daarmee vrijwel ondoordringbaar voor spermacellen. Bij goed gebruik zijn hormonale methoden heel betrouwbaar.

Voorbeelden van hormonale methoden zijn: anticonceptiering, verschillende soorten anticonceptiepillen, anticonceptiepleister, hormoonspiraaltje, prikpil en anticonceptiestaafje (zie afbeelding 49). Ook zijn er middelen om een zwangerschap te voorkomen kort na onveilige geslachtsgemeenschap: morning-afterpil en morning-afterspiraaltje.

De anticonceptiering breng je zelf in om de baarmoedermond en haal je er drie weken later uit. Dan volgt een stopweek waarin een onttrekkingsbloeding plaatsvindt. Deze bloeding kan voelen als een gewone of een lichtere menstruatie. De anticonceptiepil slik je elke dag op hetzelfde tijdstip. Bij sommige pillen volgt na drie weken een stopweek. De anticonceptiepleister moet elke week worden vervangen en na drie weken volgt weer een stopweek. Bij deze drie vormen van anticonceptie kan de vrouw ervoor kiezen om de stopweek over te slaan. De menstruatie blijft dan uit of er is een klein beetje bloedverlies, spotting.

De prikpil, het anticonceptiestaafje en het hormoonspiraaltje worden allemaal door een arts geplaatst. De prikpil is een injectie die elke twaalf weken wordt toegediend. Het anticonceptiestaafje is een staafje dat de arts in de bovenarm plaatst en drie jaar werkt. Het hormoonspiraaltje wordt in de baarmoeder geplaatst en werkt vijf jaar.

De morning-afterpil moet je het liefst binnen twaalf uur na onveilige seks slikken, maar uiterlijk binnen vijf dagen. De hoeveelheid hormonen in een morning-afterpil is vele malen hoger dan in de anticonceptiepil. De morning-afterpil gebruiken in plaats van andere anticonceptie is dan ook niet aan te raden. Tot vijf dagen na onveilige seks kan een arts ook een koperspiraaltje plaatsen.

Hormonale methoden helpen sommige vrouwen bij het verminderen van acnéklachten, stemmingswisselingen, onregelmatige menstruaties en pijnlijke menstruaties.

Hormonale methoden hebben ook nadelen. Vrouwen kunnen last hebben van bijwerkingen, zoals pijnlijke borsten, hoofdpijn, misselijkheid, sombere gevoelens, stemmingswisselingen, gewichtstoename en minder zin in seks. Ook verhoogt het gebruik van sommige hormonale middelen de kans op trombose (bloedstolsels) en hart- en vaatziekten. Dit laatste wordt versterkt als vrouwen ook roken.

■ **Afb. 49** Hormonale anticonceptie: anticonceptiering, anticonceptiepleister, anticonceptiestaafje, hormoonspiraaltje en anticonceptiepil.



Een koperspiraal is een spiraal die net als het hormoonspiraaltje in de baarmoeder wordt geplaatst, maar geen hormonen bevat. Koper maakt spermacellen onvruchtbaar en verandert het baarmoederslijmvlies, waardoor innesteling niet kan plaatsvinden. Een koperspiraal werkt vijf tot tien jaar. Een nadeel van een koperspiraal is dat het de menstruatie (vooral in het begin) kan verergeren.

Klassieke anticonceptiemethoden worden gedaan zonder hulpmiddelen. Een voorbeeld hiervan is coïtus interruptus, waarbij de penis voor de zaadlozing uit de vagina wordt gehaald. Deze methode is heel onbetrouwbaar. Een andere methode is periodieke onthouding, waarbij er geen seks is in de dagen rond de ovulatie. Deze methode is ook niet betrouwbaar, omdat bij de meeste vrouwen de ovulatie niet precies veertien dagen na de start van de menstruatie is, maar bijvoorbeeld na elf of zeventien dagen. Dit weten vrouwen vaak zelf niet. Spermacellen kunnen drie tot soms wel vijf dagen in een vrouw overleven. Deze methode is dus erg lastig te plannen en daardoor onbetrouwbaar. Wanneer de vrouw ook haar temperatuur meet, is de methode iets betrouwbaarder. Rond de ovulatie stijgt de temperatuur van de vrouw 0,3 tot 0,4 °C. Als een vrouw haar temperatuur een aantal maanden elke ochtend meet, weet zij beter wanneer haar ovulatie is. Er bestaan apps die op basis van dagelijks gemeten lichaamstemperatuur en informatie over je cyclus een voorspelling doen over de vruchtbare dagen. Het gebruik van zo'n app kan handig zijn voor vrouwen die graag zwanger willen worden. Voor vrouwen die juist niet zwanger willen worden is deze methode niet erg betrouwbaar.

Mannen en vrouwen die zeker weten dat ze geen kinderwens (meer) hebben, kunnen kiezen voor sterilisatie. Bij sterilisatie worden bij de man de zaadleiders onderbroken en bij de vrouw de eileiders. Sterilisatie is in principe blijvend, maar kan in sommige gevallen ongedaan worden gemaakt.

Er is geen manier van anticonceptie die voor iedereen de beste keus is. Het belangrijkste is dat je kiest voor een manier van anticonceptie die op dat moment goed is voor jou.

Opdrachten KENNIS

82 Elke vorm van anticonceptie heeft verschillende eigenschappen die voor jou een voordeel of een nadeel kunnen zijn. Maak een tabel waarbij je van de volgende manieren van anticonceptie de eigenschappen benoemt. Denk daarbij aan: hoe vaak moet je eraan denken, is er een pauze tijdens seks nodig, komt er een arts aan te pas, is er een kans op bijwerkingen, kan de menstruatie worden geregeld, hoe goed werkt de methode tegen zwangerschap, enzovoort.

- condoom
- anticonceptiepil
- anticonceptiering
- hormoonspiraal
- Kies zelf nog twee vormen van anticonceptie.

4 In 2018 stierf het laatste mannetje van de noordelijke witte neushoorn. Er leven alleen nog twee vrouwelijke dieren van deze soort.
Betekent dit het einde van de levensloop of van de levenscyclus van het mannetje?

5 Alle organismen hebben energie nodig.
Onder welk levensverschijnsel worden de processen gerekend die nodig zijn voor het beschikbaar maken van energie voor de cel? Leg je antwoord uit.

ORGANISATIENIVEAUS IN DE BIOLOGIE

Doordat biologie een breed vak is, bestuderen biologen biologische systemen op verschillende niveaus: de organisatieniveaus of biologische eenheden. Organismen zijn georganiseerd in biologische eenheden (zie afbeelding 5). De kleinste biologische eenheid is een molecuul. Moleculen zijn de bouwstenen van stoffen. Een belangrijk molecuul in organismen is **DNA**. Dit bevat de erfelijke informatie van een organisme.

Een **cel** is een grotere biologische eenheid en een hoger organisatieniveau dan een molecuul. In een cel tref je onderdelen aan met een bepaalde functie: de **organellen**. Een celkern is een voorbeeld van een organel. Een groep van een of meer verschillende celtypen die een gemeenschappelijke functie hebben, noem je een **weefsel**. Verschillende weefsels bij elkaar vormen samen een **orgaan**. Een orgaan is een deel van een organisme met een specifieke bouw en functie. Je hart, je ogen en je hersenen zijn organen. Organen die samen een bepaalde functie uitoefenen, vormen een **orgaanstelsel**. Voorbeelden van orgaanstelsels zijn het verteringsstelsel en het ademhalingsstelsel. De longen en de luchtpijp horen bij het ademhalingsstelsel.

Nog complexer is een organisme. Een organisme zoals een wolf is meercellig. Eenvoudige organismen zoals bacteriën bestaan uit slechts één cel. Organismen behoren tot een **populatie**. Zo noem je een groep individuen van dezelfde soort die in een bepaald gebied leeft en zich onderling voortplant. Populaties leven nooit alleen, maar altijd samen met andere populaties. Dit kunnen populaties van dezelfde soort zijn, maar ook van andere soorten. Alle verschillende populaties die in een gebied samenleven, noem je een **levensgemeenschap**. Een **ecosysteem** is een min of meer begrensd gebied waarvan een levensgemeenschap en de niet-levende natuur deel uitmaken. Tot de niet-levende natuur in een ecosysteem behoren bijvoorbeeld de temperatuur en de hoeveelheid zonlicht. Voorbeelden van ecosystemen zijn een weidegebied, een bos, een sloot of een koraalrif. Het geheel aan ecosystemen op aarde vormt het **systeem aarde**.

Als er op een hoger organisatieniveau een nieuwe eigenschap ontstaat die er op het lagere organisatieniveau niet is, noem je dat een **emergente eigenschap**. ‘Emergent’ is afgeleid van het Engelse werkwoord ‘to emerge’ (tevoorschijn komen). Een cel bestaat bijvoorbeeld uit veel moleculen. Eén enkele molecuul van een cel leeft niet. Maar interactie tussen alle moleculen levert wel een levende cel op. Interactie betekent op elkaar reageren. De moleculen van een cel reageren ook op invloeden uit de omgeving. Door interactie van organen zoals spieren, zenuwen, ogen, beenderen, hersenen en bloedvaten verschijnt de nieuwe eigenschap ‘lopen’ op het hogere organisatieniveau organisme. De genoemde organen kunnen niet zelfstandig lopen. Daarvoor is samenwerking nodig tussen de biologische eenheden van de verschillende organisatieniveaus.

Opdrachten INZICHT

83 Een condoom gebruiken bij seks is verstandig, omdat daarmee het risico op een soa een stuk kleiner wordt. Soms hebben mensen een smoes om geen condoom te gebruiken.
Hoe zou je op de volgende smoezen kunnen reageren?

1 Met condoom voel ik er minder van, dan is er niets aan.
2 We zijn toch elkaars eerste?
3 Ik ben allergisch voor rubber.
4 Ik heb geen condoom bij me en ik kan ze nu niet meer kopen.
5 Ik ken niemand met een soa.

84 Zoek het antwoord eventueel op internet op.
Is het veilig om met iemand die besmet is met hiv te tongzoenen? Leg je antwoord uit.

85 Bij anale seks is er minder vocht en dus meer wrijving dan bij vaginale seks. Hierdoor ontstaan bij anale seks gemakkelijker kleine wondjes dan bij vaginale seks.
Verwacht je dat de overdracht van soa's gemakkelijker bij anale seks gebeurt of bij vaginale seks? Leg je antwoord uit.

86 In Nederland worden alle zwangere vrouwen aan het begin van de zwangerschap getest op syfilis, hiv en hepatitis B.
Leg uit waarom dit van belang is voor het kind.

87 Hieronder staat informatie over vier stellen. Geef bij elk stel aan wat jij de beste methode van anticonceptie voor hen vindt. Leg je antwoord uit.

a Ingrid en Martin zijn vijftien jaar getrouwd en hebben twee kinderen. Ze willen geen kinderen meer.
b Noah en Nassira ontmoeten elkaar op vakantie. Ze vinden elkaar erg leuk en besluiten om seks met elkaar te hebben.
c Shanti en Omar zijn een paar maanden getrouwd, maar ze kennen elkaar al een paar jaar. Ze willen voorlopig nog geen kinderen.
d Lisette en Finn hebben ongeveer drie jaar een relatie. Lisette slikt de pil, maar wil daarmee stoppen. Ze heeft last van depressiviteit en in de bijsluiter heeft ze gelezen dat dat een bijwerking van de pil kan zijn. Lisette en Finn willen nog geen kinderen.

88 Alle anticonceptiepillen bevatten een progestageen hormoon, dat dezelfde werking heeft als progesteron.

a Beredeneer hoe het progestageen hormoon in de pil ervoor zorgt dat er geen ovulatie plaatsvindt.
b Veel anticonceptiepillen bevatten daarnaast ook oestrogeen. Dit hormoon is niet noodzakelijk om zwangerschap te voorkomen.
Leg uit waarom veel anticonceptiepillen toch oestrogeen bevatten.

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

Context Leefwereld

HPV-VACCINATIE

Ben jij gevaccineerd tegen HPV? HPV is beter bekend als het baarmoederhalskankervirus, maar HPV kan ook bij jongens kanker veroorzaken. Vaccinatie bij jongens kan pas sinds 2022.

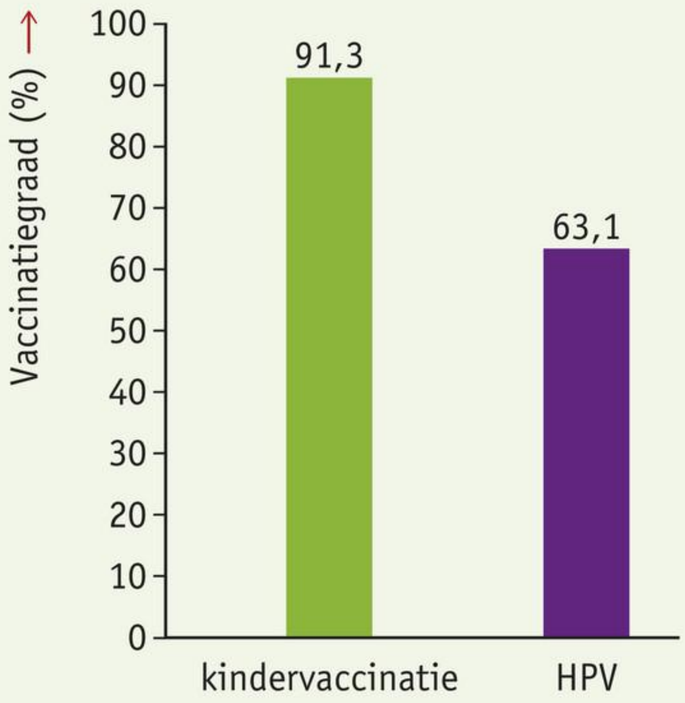
HPV (humaan papillomavirus) is een groep virussen die vrijwel iedereen in het leven krijgt: 80 tot 90% van de mensen raakt besmet. Vrijen met een condoom verkleint de kans op besmetting, maar HPV kan ook worden overgedragen via aanrakingen bij het vrijen. Je ontkomt er dus bijna niet aan als je seks hebt.

Van het grootste deel van de humaan papillomavirussen merk je niets, maar sommige veroorzaken genitale wratten. Dat zijn een soort huidkleurige bobbeltjes, soms op een steeltje. Vervelend, maar ernstiger is dat sommige van deze virussen kanker veroorzaken. Baarmoederhalskanker ontstaat bijvoorbeeld in 75% van de gevallen door HPV. HPV kan ook kanker veroorzaken in de vagina, schaamlippen, penis, anus, mond en keel.

Gelukkig kan een vaccinatie de kans dat je zo'n kanker krijgt sterk verkleinen. De HPV-vaccinatie wordt gegeven aan kinderen van 9 jaar.

Omdat jongens pas sinds kort het HPV-vaccin kunnen krijgen, zijn er alleen over meisjes gegevens bekend. Opvallend is dat het percentage meisjes dat de HPV-vaccinatie haalt veel lager is dan het percentage dat kindervaccinaties haalt (zie afbeelding 50). Dit komt doordat veel meisjes bang zijn door verhalen over langdurige bijwerkingen, zoals langdurige vermoeidheid. Onderzoekers wilden zeker weten of die verhalen kloppen. Om te onderzoeken of langdurige vermoeidheid een bijwerking is van de HPV-vaccinatie zijn twee groepen meisjes gevolgd: een groep meisjes die zijn ingeënt en een groep meisjes die niet zijn ingeënt. Het blijkt dat bij beide groepen meisjes evenveel langdurige vermoeidheidsklachten voorkomen.

■ **Afb. 50** Opkomstpercentages van meisjes bij kinder- en HPV-vaccinatie.



Opdrachten

89 In de tekst staat dat jongens sinds 2022 ook worden gevaccineerd tegen HPV. Jongens kunnen geen baarmoederhalskanker krijgen. Geef twee redenen waarom jongens toch worden gevaccineerd.

90 De leeftijd waarop de HPV-vaccinatie wordt gegeven, is vervroegd van 12 of 13 jaar naar 9 jaar.
Leg uit wat het voordeel is van het vaccineren van 9-jarigen.

91 In de tekst wordt gesproken over een onderzoek naar bijwerkingen.
a Wat was de onderzoeksvraag van de onderzoekers?
b Welke conclusie trokken de onderzoekers uit de resultaten van het onderzoek?

92 Leg uit of veilig vrijen beschermt tegen alle soorten soa's.

7 ONGEWENST KINDERLOOS

LEERDOELEN

2.7.1 Je kunt de oorzaken van verminderde vruchtbaarheid toelichten.

2.7.2 Je kunt met behulp van ethische en biologische argumenten toelichten dat er verschillende standpunten zijn over het ingrijpen in het voortplantingsproces.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	2.7.1	**2.7.2**	**2.2.1***	**2.3.1***	**2.4.1***	**2.4.2***
Begrijpen	93ab	94b	94a		93c, 101a	
Toepassen	103a	96, 100, 103b			101b	98bc, 102
Analyseren	99	95	99	97, 98a		

* Dit leerdoel vind je in een andere basisstof.

Sommige mensen willen dolgraag kinderen, maar het lukt ze niet om zwanger te worden. Artsen kunnen hen op verschillende manieren proberen te helpen. Soms lukt dit en soms niet.

ONGEWENST KINDERLOOS

In Nederland lukt het bij ongeveer een op de zes stellen die een kind willen niet om binnen een jaar zwanger te worden. Ze kunnen dan naar de huisarts gaan, die onderzoek kan laten doen naar eventueel aanwezige of eerdere soa's, of naar zaadkwaliteit. Ook kan de huisarts een stel doorverwijzen naar een gynaecoloog. Bij ongeveer 30% van de doorverwezen stellen ligt de oorzaak bij de vrouw, bij 30% bij de man en bij 30% bij beiden. In 10% van de gevallen wordt geen oorzaak gevonden.

Hoe ouder een stel is, hoe groter de kans is dat het niet lukt om kinderen te krijgen. Vooral de leeftijd van de vrouw is van belang. Bij vrouwen onder de 30 jaar is 80% binnen een jaar zwanger, bij vrouwen boven de 35 jaar is dat percentage gedaald naar 50%. Een van de oorzaken is dat de kwaliteit van de eicellen afneemt. Ook de kwaliteit van het sperma kan afnemen bij het ouder worden van de man. In Nederland krijgen stellen op een steeds latere leeftijd hun eerste kind, hierdoor is het aantal stellen dat problemen heeft met het krijgen van kinderen gegroeid.

Behalve leeftijd is ook de leefstijl van invloed op de vruchtbaarheid. De volgende zaken verlagen de vruchtbaarheid: roken, alcoholgebruik, overgewicht, drugsgebruik, ondergewicht, verstoring van het dag- en nachtritme, cafeïnegebruik bij vrouwen, blootstelling aan schadelijke stoffen, stress en overmatig sporten. Bij mannen kan koorts zorgen voor een verstoring van de spermakwaliteit voor drie maanden.

Ook zijn er oorzaken van verminderde vruchtbaarheid waar een vrouw of man geen invloed op heeft, zoals hormoonstoornissen, eerdere infecties, afwijkingen in de aanleg van de voortplantingsorganen, seksuele problemen en problemen in de baarmoeder of het baarmoederslijmvlies. Ook soa's kunnen een oorzaak zijn van verminderde onvruchtbaarheid.

VRUCHTBAARHEIDSBEHANDELINGEN

Als uit onderzoek blijkt dat de kans op zwangerschap op de natuurlijke manier te klein is, kan een stel naar een gynaecoloog of voortplantingsarts gaan. De arts kiest voor een vruchtbaarheidsbehandeling die past bij de oorzaak van de verminderde vruchtbaarheid.

Als de menstruatiecyclus heel onregelmatig is of niet aanwezig, kan door middel van hormonen de cyclus worden nagebootst. Dit wordt ovulatie-inductie genoemd. Als de kwaliteit van de spermacellen te laag is, kunnen spermacellen vlak voor de ovulatie in de baarmoeder worden ingebracht. Dit gebeurt ook als de slijmprop in de baarmoedermond de spermacellen niet doorlaat. Deze vruchtbaarheidsbehandeling wordt **kunstmatige inseminatie** (ki) of intra-uteriene inseminatie (iui) genoemd. Als blijkt dat een man geen spermacellen produceert of de kwaliteit van de spermacellen te laag is, kan worden gekozen voor kunstmatige inseminatie met spermacellen van een donor (KID). Dit kan ook een oplossing zijn voor lesbische stellen en vrouwen zonder partner die wel graag een kind willen.

Soms leiden verschillende iui-pogingen niet tot een zwangerschap of is iui niet geschikt, bijvoorbeeld vanwege afgesloten eileiders. In zulke gevallen kan worden gekozen voor **in-vitrofertilisatie** (ivf). Bij ivf wordt medicatie gegeven waardoor meerdere follikels rijpen, maar er geen ovulatie optreedt. Vervolgens vindt de punctie plaats: de eicellen worden uit de eierstokken gehaald met een lange naald die door de wand van de vagina de eierstokken aanprikt. In een laboratorium worden de spermacellen bij de eicellen gevoegd. De eicellen waarbij de bevruchting is geslaagd, ondergaan delingen. Na een aantal dagen (meestal drie of vijf) wordt het embryo (soms twee embryo's) met de grootste kans op innesteling in de baarmoeder van de vrouw geplaatst (zie afbeelding 51). De overige embryo's worden ingevroren, gebruikt voor wetenschappelijk onderzoek of vernietigd.

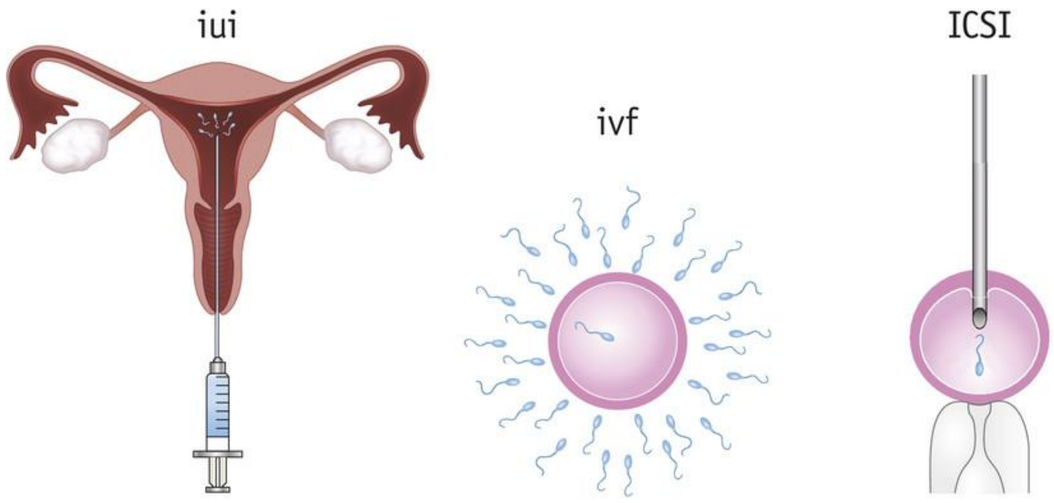
■ **Afb. 51** Een embryo voor het in de baarmoeder van de vrouw wordt geplaatst.



Als de spermacellen van een te slechte kwaliteit zijn, of als bij een eerdere ivf is gebleken dat de eicellen niet werden bevrucht, kan worden gekozen voor intracytoplasmatischesperma-injectie (**ICSI**). Bij ICSI wordt hetzelfde traject gevolgd als bij ivf, alleen in het laboratorium wordt een extra handeling uitgevoerd (zie afbeelding 52). In elke goede eicel wordt met een naald één spermacel gebracht.

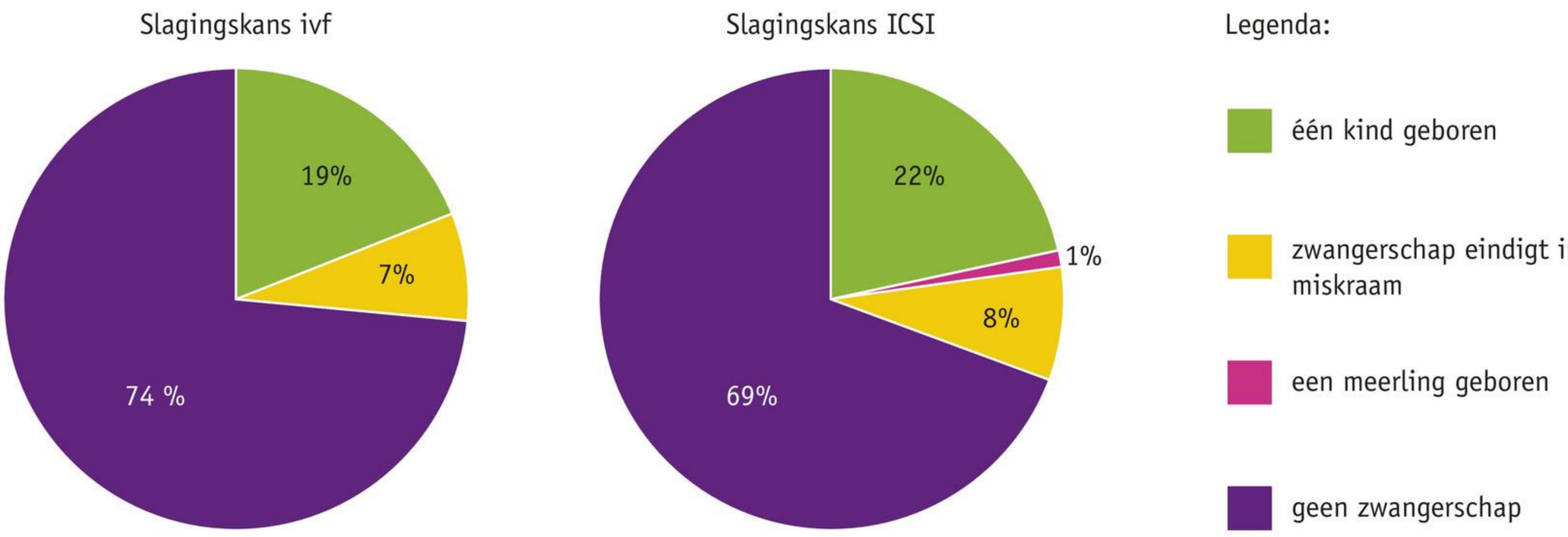
Soms is het voor mannen die vrijwel geen goede spermacellen produceren wel mogelijk dat er spermacellen uit de bijballen (PESA) of uit de teelballen (TESA) worden gehaald. Deze spermacellen kunnen worden gebruikt voor een ICSI-behandeling.

■ **Afb. 52** Vruchtbaarheidsbehandelingen: iui, ivf en ICSI.



Na ongeveer twee weken kan de vrouw een zwangerschapstest doen. Bij 40 tot 50% van de stellen leidt ivf of ICSI na één of meer pogingen tot vervulling van de kinderwens. Per poging is de kans ongeveer 20% (zie afbeelding 53).

■ **Afb. 53** Slagingskans per poging ivf en ICSI in 2019, Nederland.
Bron: Stichting Landelijke Infertiliteit Registratie



BIOLOGISCHE EN ETHISCHE ARGUMENTEN

Ivf en ICSI worden in Nederland vergoed tot de vrouw een leeftijd van 42 jaar heeft bereikt. De behandeling mag bij vrouwen tot 45 jaar worden uitgevoerd, maar veel klinieken doen dit niet. Zij geven aan dat de kwaliteit van de eicellen dan zo sterk is verminderd, dat de kans op een zwangerschap van een gezond kind te klein is. Ook zijn er meer risico's voor de moeder tijdens een eventuele zwangerschap en bevalling. Dit zijn biologische argumenten.

In andere landen zijn klinieken waar vrouwen tot een veel hogere leeftijd in aanmerking komen voor ivf. Soms wordt er dan gebruikgemaakt van een donoreicel. Er zijn mensen die tegen ivf zijn bij vrouwen boven een bepaalde leeftijd. Argumenten die worden gegeven zijn dat de kans groter is dat de moeder overlijdt als het kind nog jong is, of dat de moeder door ziekte of ouderdomskwalen niet meer voor het kind kan zorgen. Dit zijn ethische argumenten.

Opdrachten KENNIS

93 Veel klinieken en ziekenhuizen bieden geen ivf aan vrouwen met een te hoog gewicht. Ze adviseren een vrouw met overgewicht om eerst af te vallen.

a Geef een biologisch argument waarom vrouwen met een te hoog gewicht op veel plekken geen ivf mogen doen.

b Zowel mannen als vrouwen krijgen voor een ivf-behandeling een dringend advies om te stoppen met roken.
Leg uit waarom stoppen met roken voor zowel mannen als vrouwen voor een ivf-behandeling belangrijk is.

c Leg uit waarom het ook tijdens een eventuele zwangerschap belangrijk is dat zowel mannen als vrouwen niet roken.

94 Als een vrouw zwanger is, krijgt ze een NIPT-test aangeboden. Met de test wordt gekeken of de baby het downsyndroom, patausyndroom of edwardssyndroom heeft. Bij elk van deze syndromen is er een chromosoom te veel aanwezig.

a Hoeveel chromosomen heeft een diploïde cel van iemand met het edwardssyndroom?

b Baby's met het patausyndroom overlijden vaak tijdens de zwangerschap of vlak na de geboorte. Door ernstige lichamelijke problemen wordt maar 10 tot 20% van de levend geboren baby's ouder dan 1 jaar.
Als blijkt uit een NIPT-test én vervolgonderzoek dat de baby het patausyndroom heeft, kunnen de ouders ervoor kiezen om de zwangerschap af te breken. Geef van de onderstaande argumenten aan of ze een biologisch of een ethisch argument zijn.
- De zwangerschap afbreken, omdat de baby veel zal lijden door ziekte of pijn.
- De zwangerschap afbreken, omdat een oudere broer of zus wordt belast en minder aandacht zal krijgen. Alle aandacht zal naar de baby met problemen gaan.
- De zwangerschap voortzetten, omdat de baby recht heeft om te leven.

Opdrachten INZICHT

95 De invoering van de NIPT-test, voor het aantonen van het downsyndroom, patausyndroom of edwardssyndroom bij een baby, zorgde voor weerstand bij sommige mensen.
Geef een ethisch argument tegen het invoeren van de NIPT-test.

96 Bij KID worden spermacellen van een donor gebruikt. Sinds 2004 hebben alle kinderen die uit KID zijn ontstaan het recht om informatie op te vragen over de spermadonor. Voor 2004 konden donoren ervoor kiezen om sperma anoniem te donoren. Het aantal spermadonoren is sinds 2004 afgenomen.
Geef een biologisch en een ethisch argument om de anonimiteit van donoren af te schaffen.

97 Sommige vrouwen hebben een zeer onregelmatige cyclus. Als een vrouw dan een kinderwens heeft, kan een hormoonbehandeling helpen. Een van de toegediende hormonen is het zwangerschapshormoon HCG, dat eenmalig met een hoge dosis wordt toegediend.
Wat is de functie van de eenmalige hoge dosis HCG? Leg je antwoord uit.

98 In een ivf- of ICSI-traject zijn verschillende fasen te onderscheiden.

- De cellen die gevoelig zijn voor GnRH worden ongevoelig gemaakt voor GnRH.
- Een hormoon dat werkt zoals FSH wordt toegediend totdat er genoeg follikels zijn gerijpt.
- Voor de ovulatie worden de eicellen uit de eierstokken gehaald.
- Na de terugplaatsing van het embryo gebruikt een vrouw progesteron.

a Leg uit waarom een vrouw zelf onvoldoende progesteron produceert.
b Hoelang is toediening van progesteron nodig? Leg je antwoord uit.
c Produceert een vrouw die zwanger is geworden via ivf wel of geen HCG? Leg je antwoord uit.

99 De moleculen in het centromeer worden minder sterk naarmate ze de chromatiden langer bij elkaar moet houden. Hoe ouder de moeder, hoe groter de kans is op een afwijking in het aantal chromosomen in haar baby.

a Leg uit waardoor oudere moeders een grotere kans hebben op een kind met een ander aantal chromosomen.
b Leg uit waardoor dit probleem niet of in elk geval minder vaak optreedt bij mannen.

100 Voor sommige stellen is het krijgen van een kind alleen mogelijk via een draagmoeder. Dit geldt in de volgende gevallen: als bij een vrouw de baarmoeder niet functioneert of niet aanwezig is, als een zwangerschap mogelijk levensbedreigend is voor de vrouw, en voor homostellen.

Er kan bij een draagmoeder worden gebruikgemaakt van een eigen eicel en spermacel of een donoreicel (en spermacel). Een donoreicel kan van de draagmoeder zijn, maar ook van een andere vrouw. Als de draagmoeder zwanger wordt, staat zij de baby af aan de wensouders.

In ons land zijn er strenge regels omtrent draagmoederschap. Zo mag een draagmoeder er niet aan verdienen, maar haar onkosten mogen wel worden vergoed. In Nederland mag je niet via sociale media op zoek naar een draagmoeder of jezelf aanbieden als draagmoeder. Ook websites waarbij wensouders en draagmoeders elkaar zouden kunnen vinden, zijn verboden.

a Geef een ethisch argument voor het wel betalen van loon (dus niet alleen onkosten) aan een draagmoeder.
b Geef een ethisch argument tegen het betalen van loon (dus niet alleen onkosten) aan een draagmoeder.

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

Context Leefwereld

EMBRYO'S EN GAMETEN UIT DE DIEPVRIES

Stel je voor dat er iets gebeurt, waardoor je nu al weet dat het later misschien moeilijk wordt om kinderen te krijgen. Je krijgt bijvoorbeeld chemotherapie of een andere medische behandeling die je vruchtbaarheid kan aantasten. Dan kun je ervoor kiezen om je gameten in te laten vriezen. Cellen en weefsels kunnen lang worden bewaard in vloeibare stikstof bij een temperatuur van –196 °C. De biologische activiteit in de cellen stopt dan. Dit proces heet cryopreservatie.

Cryopreservatie zorgt ervoor dat veel mensen toch kinderen kunnen krijgen. Ook sommige transgenders kiezen ervoor om voorafgaand aan een geslachtsaanpassende operatie hun gameten in te laten vriezen. En spermacellen en eicellen van donoren worden regelmatig op deze manier bewaard. Soms worden zelfs hele embryo's ingevroren. Tijdens ivf en ICSI ontstaan meestal meerdere embryo's. Embryo's die niet worden gebruikt, worden beoordeeld op kwaliteit en de beste kunnen worden geselecteerd voor cryopreservatie. De embryo's kunnen jarenlang ingevroren blijven. Als een embryo na het ontdooien nog goed is, kan het in de baarmoeder van de moeder worden geplaatst.

Er zijn strenge regels over het gebruik van gecryopreserveerde embryo's. Een ziekenhuis en de ouders stellen een contract op waarin onder andere de bewaartermijn staat. Ook is in het contract opgenomen wat er met de embryo's gebeurt bij een echtscheiding of het overlijden van een van de partners.

■ **Afb. 54** Cryopreservatie van spermacellen in vloeibaar stikstof.



Opdrachten

101 Bij ivf en ICSI wordt twee tot drie dagen na de bevruchting de levensvatbaarheid van de embryo's beoordeeld. Een embryo bestaat dan uit vier tot acht cellen.

a Hoe heet een embryo in dit stadium?

b Een voorwaarde voor cryopreservatie is dat de embryo's van 'goede kwaliteit' zijn. Bedenk twee criteria om te beoordelen of een embryo van 'goede kwaliteit' is.

102 Een stel dat de ingevroren embryo's niet meer wil laten terugplaatsen in de baarmoeder (bijvoorbeeld omdat hun gezin compleet is), kan de embryo's ter beschikking stellen aan de wetenschap.
Bedenk een onderzoeksmogelijkheid die deze embryo's bieden.

103 In Nederland is het (nog) niet heel gebruikelijk, maar mensen kunnen ervoor kiezen om op jonge leeftijd hun gameten in te laten vriezen. Dus zonder dat er op dat moment een medische noodzaak is.

a Geef een biologisch argument om op jonge leeftijd de gameten in te laten vriezen.

b Geef een ethisch argument voor of tegen het op jonge leeftijd in laten vriezen van de gameten.

NOTITIES

ENDOMETRIOSE: EEN PROBLEEM VAN DE SAMENLEVING

LEERDOELEN

2.S.1 Je kunt het nut van geslachtelijke voortplanting toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

2.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheid vorm-functiedenken toepassen op geslachtelijke voortplanting.

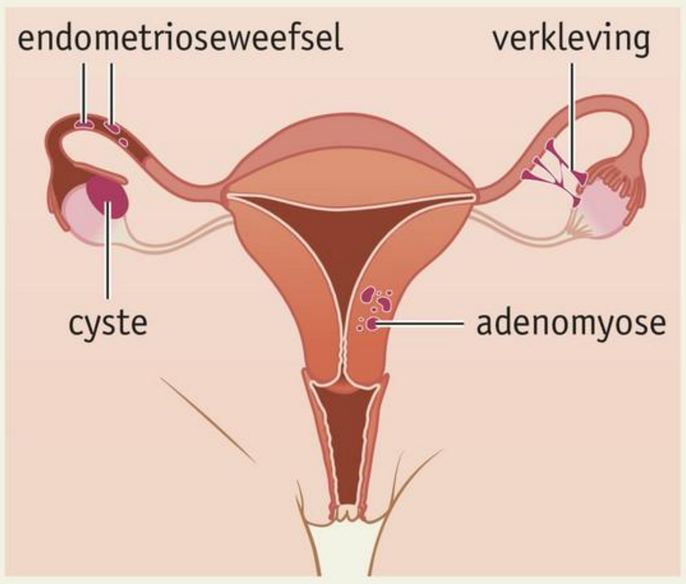
Menstruatie zorgt bij veel vrouwen voor pijnlijke krampen. Dat is normaal. Bij sommige vrouwen is de pijn zo erg dat ze rond hun menstruatie veel dingen moeten laten. Ze kunnen bijvoorbeeld niet sporten en soms zelfs niet naar school of naar hun werk. Er kan dan meer aan de hand zijn, namelijk endometriose.

In januari 2022 hield de Franse president Macron een speech over endometriose. Een op de tien vrouwen krijgt deze pijnlijke ziekte. 'De ziekte veroorzaakt pijn en maakt invalide. Het is de belangrijkste oorzaak van onvruchtbaarheid bij vrouwen.' De klachten van vrouwen met endometriose lopen uiteen van geen klachten tot klachten die de dagelijkse bezigheden belemmeren. Veelvoorkomende symptomen zijn: heftige menstruatiepijn, buikpijn (tijdens de menstruatie en/of chronisch), vermoeidheid, pijn bij ontlasting of urineren, darmproblemen, pijn bij seks en vruchtbaarheidsproblemen.

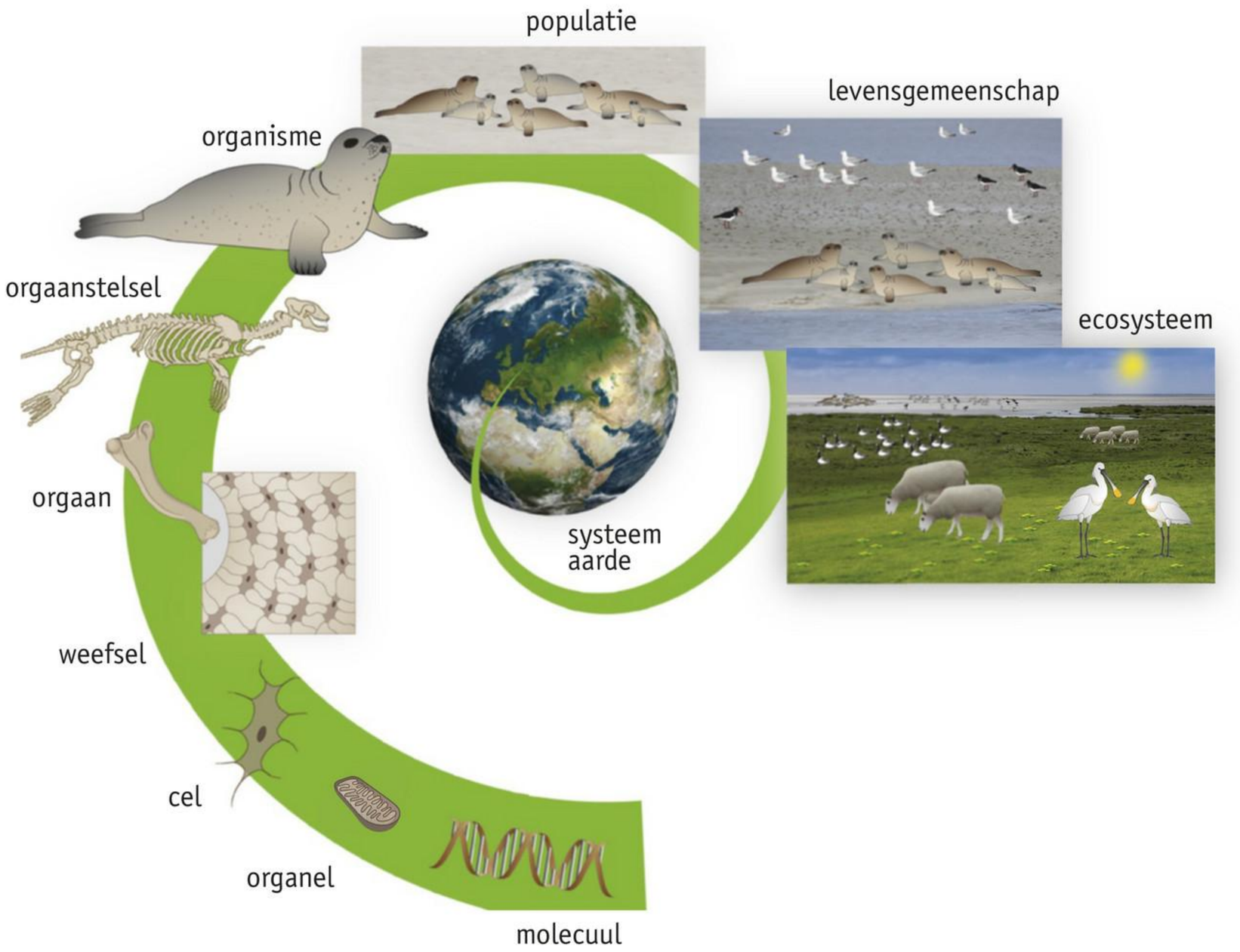
Door de uiteenlopende klachten en de onbekendheid van de ziekte wordt de diagnose meestal pas na vijf tot twaalf jaar gesteld. Vervolgens kan er weinig meer worden gedaan dan pijnstilling geven of opereren. Er zijn namelijk geen medicijnen tegen endometriose. Ook de oorzaak is onbekend. En hier moet volgens Macron juist wat aan veranderen. Macron: 'Endometriose is geen vrouwenprobleem, maar een probleem van de samenleving.' Endometriose kost de maatschappij veel geld. Er worden veel zorgkosten gemaakt. En vrouwen met endometriose zouden meer kunnen bijdragen aan de maatschappij en de economie als ze geen klachten zouden hebben. Vrouwen met endometriose kunnen vaak elke maand enkele dagen niet werken en ze kiezen regelmatig voor een parttime baan in plaats van een fulltime baan.

Bij vrouwen met endometriose zitten cellen, waaronder epitheelcellen, die lijken op baarmoederslijmvlies buiten de baarmoeder. Deze cellen vormen het endometrioseweefsel en kunnen op allerlei plekken in de buikholte zitten, zoals rondom de voortplantingsorganen, op het buikvlies, de darmen en de blaas. Bij ernstige endometriose kan het endometrioseweefsel dieper in de organen groeien en ervoor zorgen dat de organen minder goed werken. Endometrioseweefsel op de eierstokken kan holtes

■ **Afb. 1** Vrouw met endometriose.



■ **Afb. 5** Organisatieniveaus van de biologie.



Opdrachten KENNIS

6 Noem twee orgaanstelsels die betrokken zijn bij de eigenschap ‘ademhalen’. Leg je antwoord uit.

7 De Doorwertsche Heide en Laag Wolfheze zijn twee naast elkaar gelegen natuurgebieden op de Veluwe die vele jaren geleden door de snelweg A50 in tweeën werden gesplitst. Voor die tijd kwamen in beide gebieden gladde slangen voor.

a Leg uit dat door de aanleg van de snelweg twee populaties gladde slangen zijn ontstaan.

b In 2011 werd er een ecoduct aangelegd, waardoor beide gebieden weer met elkaar werden verbonden. Een ecoduct is een viaduct waar uitsluitend dieren gebruik van kunnen maken.
Kun je nu nog steeds spreken van twee populaties gladde slangen?

c Waardoor zijn er door de aanleg van de snelweg geen twee populaties merels ontstaan?

8 Op welk organisatieniveau ontstaat de emergente eigenschap ‘lopen’ bij mensen? Leg je antwoord uit.

(cystes) vormen die gevuld worden met bloed. Ook kan endometriose in de wand van de baarmoeder voorkomen (adenomyose).

Het endometrioseweefsel reageert net als baarmoederslijmvlies op progesteron en oestrogeen. Tijdens de menstruatie ontstaan er kleine bloedingen in het endometrioseweefsel. Als er bloed in de buikholte komt, zorgt dat voor pijn door irritatie van de organen en ontstekingsreacties op die plek. Dit zorgt weer voor littekens. Het littekenweefsel kan organen aan elkaar verkleven en zorgen voor vergroeiingen van organen.

Opdrachten

1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau: *blaas – buikvlies – darm – eierstokken – endometriosecyste – oestrogeen – progesteron – vrouw.*
Per organisatieniveau kunnen ook geen of meerdere begrippen worden ingevuld.

Organisatieniveau	Begrip
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Weefsel	
Cel	
Organel	
Molecuul	

2 In Nieuw-Zeeland wordt op middelbare scholen aandacht besteed aan endometriose en andere menstruatieproblemen. Hierdoor wordt de diagnose endometriose nu bij meer meisjes en vrouwen gesteld en op een jongere leeftijd.
Op welke manier wordt de populatie (maatschappij) beïnvloed door het op een jongere leeftijd stellen van de diagnose endometriose?

3 Sommige vrouwen met endometriose gebruiken medicatie die het effect van GnRH blokkeert.
Leg uit waarom deze medicatie helpt tegen klachten van endometriose.

4 Als een vrouw adenomyose heeft, kan dit de functie van de baarmoeder verstoren.
Geef een voorbeeld van een probleem dat de vrouw hierdoor kan ervaren. Leg je antwoord uit.

5 Bij een vrouw is endometrioseweefsel in de wand van de dunne darm gegroeid. Hierdoor ervaart zij darmproblemen, zoals diarree, pijn bij de ontlasting en obstipatie (vertraagde stoelgang).
Leg uit op welke manier(en) het ingegroeide endometrioseweefsel de darmproblemen kan veroorzaken.

6 Tijdens de eisprong wordt de eicel opgevangen door de eileider. Bij sommige vrouwen met endometriose komt de eicel niet in de eileider terecht.
Leg uit op welke manier(en) endometriose kan verhinderen dat de eicel vanuit de eierstok in de eileider terechtkomt.

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

2.O.1 Je kunt een plant klonen en de verschillende fasen van de ontwikkeling tekenen.

- Basisstof 1
- Vaardigheid 4

Een plant klonen

een aantal keer 15 minuten

INLEIDING

Klonen klinkt vreemd en ingewikkeld, maar eigenlijk is het iets wat veel mensen doen. In deze practicumopdracht onderzoek je hoe je zelf een plant kunt klonen.

ONDERZOEKSVRAAG

1 Noteer jouw onderzoeksvraag voor dit experiment.

HYPOTHESE

2 Noteer jouw hypothese voor dit experiment.

MATERIAAL

- een plant die je wilt klonen
- een kweekbakje of (doorzichtig) plastic bekertje
- potgrond
- satéprikkers
- water
- stekpoeder
- mesje

METHODE

- Snijd met een scherp mesje een takje met een paar bladeren van de plant.
- Zet het takje in een beker met water en laat het daar ten minste een uur staan.
- Vul het kweekbakje (of plastic bekertje) met potgrond en maak met een satéprikker een gaatje van ongeveer 3 cm diep.
- Schraap met een mesje de bast van het onderste deel van het takje een beetje weg. Let op dat je alleen de bast weg schraapt.
- Doop het takje ongeveer 2 cm in het stekpoeder. Het stekpoeder bevat plantenhormonen die de groei van wortels bevorderen.
- Doe het plantje in het gaatje in het kweekbakje.
- Druk de aarde losjes aan en geef het plantje water. Zet het plantje op een lichte plek.
- Geef het plantje met regelmaat water.
- Na enige tijd ontstaan er worteltjes en gaat het plantje groeien.

RESULTAAT

- Maak enkele tekeningen van het plantje vanaf het moment dat het gaat groeien.

CONCLUSIE

3 Noteer je conclusie en geef een antwoord op je onderzoeksvraag.

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

2.O.2 Je kunt de verschillende fasen van mitose in de worteltop van een ui herkennen en tekenen.

- ▶ Basisstof 1
- ▶ Vaardigheden 1, 2 en 4

Mitose

30–45 minuten

INLEIDING

In worteltoppen van planten vinden voortdurend celdelingen plaats. Tijdens een celdeling zijn de chromosomen zichtbaar. In deze practicumopdracht bekijk je cellen in een worteltop van een ui. Die cellen zijn niet allemaal tegelijk aan het delen.

ONDERZOEKSVRAAG

Zijn alle fasen van de mitose in de worteltop te zien?

HYPOTHESE

Als de cellen niet allemaal tegelijk delen, komen alle fasen van de mitose in het preparaat voor.

MATERIAAL

- een klaargemaakt preparaat van een lengtedoorsnede van een jonge uienwortel
- een microscoop met toebehoren

METHODE

- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×.
- Zoek cellen in vier verschillende fasen van de mitose.
- Maak hiervan tekeningen in de juiste volgorde van de mitose. Gebruik bij het tekenen een vergroting van 400×.

RESULTAAT

Het resultaat is afhankelijk van het preparaat. Waarschijnlijk heb je vier verschillende fasen van de mitose gezien en getekend.

CONCLUSIE

1 Geef antwoord op de onderzoeksvraag.

2 Wordt de hypothese bevestigd?

Practicumopdracht 3

ONDERZOEKSDOEL

2.O.3 Je kunt uitleggen hoe je een condoom op de juiste manier gebruikt. ▶ Basisstof 6

Condoom

45 minuten

INLEIDING

Condooms zijn een goede manier om je te beschermen tegen soa's en ongewenste zwangerschap. Condooms moet je wel op de juiste manier gebruiken. In dit practicum onderzoek je hoe je condooms op de juiste manier gebruikt. Vervolgens maak je een demonstratiefilmpje met uitleg.

METHODE

Zoek informatie over het op een juiste manier gebruiken van een condoom. Oefen met het omdoen van een condoom op een demonstratiepenis.
Maak een filmpje terwijl je het condoom omdoet bij de demonstratiepenis. Geef ondertussen uitleg over het juiste gebruik van een condoom.

RESULTAAT

Bekijk elkaars filmpjes.

SAMENVATTING

2.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt uitleggen op welke manieren er door ongeslachtelijke voortplanting nakomelingen ontstaan die genetisch identiek zijn aan de ouder.

- Ongeslachtelijke voortplanting: nakomelingen ontstaan uit één ouder.
  - Bacteriën planten zich ongeslachtelijk voort door zich te delen.
  - Bij meercellige organismen groeit een deel van het organisme uit tot een nieuw organisme.
- Sporen zijn een soort voortplantingscellen waaruit in veel gevallen een nieuw individu kan groeien.
  - Sporen worden gevormd door schimmels en sommige planten en bacteriën.
  - Sommige sporen kunnen jaren in een ruststadium overleven.
- Bij klonen ontstaan door toedoen van de mens genetisch identieke nakomelingen uit één individu.
- Ethische en biologische argumenten kun je gebruiken om een mening over biologische thema's te onderbouwen.

2.1.2

Je kunt het verloop van de celcyclus beschrijven en de verschillende fasen benoemen.

- Bij celdeling ontstaan uit één moedercel twee dochtercellen.
  - De dochtercellen bevatten dezelfde informatie voor genetische eigenschappen als de moedercel.
- De celcyclus (levenscyclus van de cel) bestaat uit de interfase en de M-fase (zie *BiNaS* tabel 76A).
  - De interfase bestaat uit de G_1-fase, de S-fase en de G_2-fase.
  - Tijdens de interfase zijn de chromosomen niet zichtbaar.
- G_1-fase: periode waarin de cel in grootte toeneemt en zich voorbereidt op DNA-replicatie (DNA-synthese).
- S-fase: periode waarin DNA-replicatie plaatsvindt.
  - Van elk DNA-molecuul wordt een kopie gemaakt.
  - Centromeer: de plaats waar de DNA-moleculen nog aan elkaar zitten.
- G_2-fase: periode waarin de cel in grootte toeneemt en zich voorbereidt op de mitose (kerndeling).
- M-fase: periode van mitose en celdeling (zie *BiNaS* tabel 76B.1).
  - De chromosomen (die elk bestaan uit twee chromatiden) worden zichtbaar doordat het DNA spiraliseert.
  - De centrosomen vormen een kernspoel uit trekdraden.
  - Het kernmembraan verdwijnt.
  - De trekdraden hechten aan het centromeer.
  - De chromosomen liggen in een vlak tussen de centrosomen.
  - De trekdraden trekken de chromatiden uit elkaar.
  - De chromosomen (die nu uit één chromatide bestaan) vormen twee celkernen.
  - Tussen de nieuwe celkernen snoert de cel in, waardoor twee dochtercellen ontstaan.
  - Er ontstaan celmembranen, waarbij het cytoplasma wordt verdeeld over de dochtercellen.
- De G_0-fase is een rustfase of specialisatiefase waarin geen celdeling plaatsvindt.

2.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven hoe door meiose gameten worden gevormd en hoe de bevruchting verloopt.

- Geslachtelijke voortplanting: de genetische informatie van twee vruchtbare individuen komt samen via gameten (geslachtscellen).
  - Bevruchting: gameten van twee vruchtbare individuen smelten samen.
  - De genetische informatie verschilt tussen individuen, dus er is genetische variatie.
- Het aantal chromosomen in een lichaamscel is voor elke soort constant.
- De lichaamscellen van de meeste planten en dieren zijn diploïd: van elk type chromosoom bevat een lichaamscel er twee (één paar).
  - Diploïd wordt weergegeven met $2n$, waarbij n staat voor het aantal verschillende chromosomen.
  - Bij de mens bevat elke lichaamscel 46 chromosomen.
  - Bij de mens geldt: $n = 23$ en $2n = 46$.

- Gameten zijn haploïd: van elk type chromosoom bevat een gameet er één.
  - Haploïd wordt weergegeven met *n*.
  - Bij bevruchting versmelten twee gameten, waardoor een diploïde zygote ontstaat.
- Lichaamscellen van enkele dier- en plantensoorten zijn polyploïd: van elke type chromosoom bevat een lichaamscel er meer dan twee.
  - Polyploïd wordt weergegeven met het aantal sets chromosomen gevolgd door de letter *n* (bijv. 4*n*).
- Bij meiose worden uit diploïde moedercellen haploïde gameten gevormd (zie *BiNaS* tabel 76B.2 en 76B.3).
  - Meiose bestaat uit twee elkaar opvolgende delingen: meiose I en meiose II.
- Meiose I (reductiedeling): $2n \rightarrow n + n$
  - Er ontstaan twee haploïde cellen.
- Meiose II: $n + n \rightarrow n + n + n + n$
  - Er ontstaan vier haploïde cellen.
- Bij een vrouw ontstaan in de eierstokken eicellen via meiose.
  - Elke menstruatiecyclus ontwikkelen zich enkele follikels (zie *BiNaS* tabel 86B).
  - Bij meiose I ontstaat een eicel met veel cytoplasma en een veel kleiner poollichaampje (zie *BiNaS* tabel 86D).
  - Een van de follikels ontwikkelt zich het verst en barst open: de ovulatie (eisprong).
  - De resten van de follikel in de eierstok noem je het gele lichaam.
  - De eicel die uit de follikel kwam, gaat via de eileider in de richting van de baarmoeder.
- Bij een man ontstaan in de teelballen spermacellen via meiose.
  - Spermacellen worden gevormd door celdelingen en worden vervolgens opgeslagen in de bijballen.
  - De spermacellen verlaten het lichaam tijdens een zaadlozing, die meestal plaatsvindt bij een orgasme.
- Door bevruchting ontstaat uit twee haploïde cellen één diploïde cel.
  - Bevruchting vindt in een eileider plaats.
  - De bevruchte eicel heet zygote.

2.2.2

Je kunt de bouw, werking en functie van de voortplantingsorganen van de mens beschrijven.

- De primaire geslachtskenmerken van de vrouw zijn: de buitenste schaamlippen, de binnenste schaamlippen, een deel van de clitoris en de opening van de vagina, die je samen de vulva noemt.
  - Een vrouw kan een orgasme krijgen door stimulatie van de clitoriseikel.
- De inwendige voortplantingsorganen van de vrouw zijn:
  - eierstokken: organen die eicellen (gameten van de vrouw) maken
  - eileiders: vervoeren de eicel en zygote richting de baarmoeder
  - baarmoeder: een zygote kan in de baarmoeder uitgroeien tot een baby
- De primaire geslachtskenmerken van de man zijn de penis en teelballen (zie *BiNaS* tabel 86A).
  - Een man kan een orgasme krijgen door stimulatie van de eikel.
- De inwendige voortplantingsorganen van de man zijn:
  - teelballen: organen die spermacellen (gameten van de man) maken
  - bijballen: organen die de spermacellen opslaan
  - zaadleider: vervoert spermacellen van de bijballen langs de zaadblaasjes en prostaat naar de urinebuis
  - zaadblaasjes en prostaat: organen die vocht toevoegen aan spermacellen

2.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt de rol en werking van hormonen bij de voortplanting van de mens uitleggen.

- Hormoonklieren geven hormonen af aan het bloed.
  - Cellen kunnen gevoelig of ongevoelig zijn voor een bepaald hormoon.
- Geslachtshormonen: stoffen die via het bloed aspecten van de voortplanting regelen.
  - In de puberteit ontstaan door geslachtshormonen veranderingen in het lichaam (secundaire geslachtskenmerken).
  - De secundaire geslachtskenmerken ontstaan door een hogere hormoonconcentratie van oestrogeen (bij de vrouw) en testosteron (bij de man).
- De hypothalamus is een deel van de hersenen direct boven de hypofyse.
  - De hypothalamus geeft releasing hormonen (RH) af die de werking van de hypofyse beïnvloeden, onder andere GnRH (gonadotropine-releasing hormoon).
- De hypofyse geeft onder andere de hormonen FSH en LH af aan het bloed.
  - GnRH beïnvloedt de afgifte van FSH en LH.
- FSH (follikelstimulerend hormoon).
  - Bij vrouwen: stimuleert de rijping van follikels en de afgifte van oestrogeen.

  - Bij mannen: stimuleert met testosteron de vorming van spermacellen (zie *BiNaS* tabel 89C).
- LH (luteïniserend hormoon).
  - Bij vrouwen: beïnvloedt de ovulatie en het ontstaan en in stand houden van het gele lichaam.
  - Bij mannen: stimuleert de afgifte van testosteron door de teelballen.
- Menstruatiecyclus: vrouwelijke reproductiecyclus met vierwekelijkse terugkeer van de menstruatie (zie *BiNaS* tabel 86C).
  - Begint op de eerste dag van de menstruatie (= ongeveer veertien dagen na de ovulatie).
  - In de periode tot de ovulatie produceert de hypofyse FSH en LH.
  - Op ongeveer dag 14: onder invloed van LH neemt een rijpe follikel veel vocht op en barst open: ovulatie (eisprong).
  - Na de ovulatie blijft onder invloed van LH het gele lichaam in stand en produceert oestrogeen en progesteron.
  - Aan het eind van de menstruatiecyclus verdwijnt het gele lichaam door gebrek aan LH en wordt het baarmoederslijmvlies niet meer in stand gehouden (menstruatie).
- Negatieve terugkoppeling: proces waarbij het resultaat het proces remt (bijv. een hoge testosteronconcentratie remt de vorming van testosteron, zie *BiNaS* tabel 89A en 89C).
  - Door negatieve terugkoppeling ontstaat een constante hormoonconcentratie.

2.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt de ontwikkeling van zygote tot volgroeide baby beschrijven.

- Na de bevruchting heet het klompje cellen een embryo.
- De embryonale ontwikkeling bestaat uit verschillende fasen (zie *BiNaS* tabel 86E):
  - Zygote: de bevruchte eicel ondergaat klievingsdelingen (delingen zonder groei).
  - Morula: klompje cellen die nog in alle typen cellen kunnen differentiëren (stamcellen).
  - Blastula: er ontstaat een holte in het klompje cellen. Ontstaan van de embryoblast (uiteindelijke embryo) en de trofoblast (zorgt voor innesteling in het baarmoederslijmvlies, vormt het chorion en wordt later de placenta).
  - In de embryoblast is uit een cellaag tussen de amnionholte en de dooierzak de embryo ontstaan. Het embryo ontwikkelt zich verder tot gastrula (begin van de darm ontstaat) en daarna tot neurula (begin van het zenuwstelsel ontstaat).
- Na ongeveer acht weken zijn de meeste organen in aanleg aanwezig en wordt het embryo een foetus genoemd.
- In de placenta vindt uitwisseling van stoffen plaats door diffusie en actief transport.
  - De navelstreng bevat bloedvaten en verbindt het embryo met de placenta.
  - Voedingsstoffen en zuurstof gaan van het bloed van de moeder naar het bloed van het embryo.
  - Afvalstoffen gaan van het bloed van het embryo naar het bloed van de moeder.
  - Ook ziekteverwekkers, sommige geneesmiddelen, alcohol, nicotine en drugs kunnen door de vliezen in de placenta heen.
- De placenta houdt de zwangerschap in stand:
  - De eerste drie maanden van de zwangerschap produceert de placenta HCG (humaan choriongonadotrofine). HCG houdt het gele lichaam in stand. Het gele lichaam vormt progesteron en oestrogeen.
  - Na drie maanden vergaat het gele lichaam. De placenta produceert vanaf dan progesteron en oestrogeen.

2.4.2

Je kunt beschrijven hoe een zygote zich ontwikkelt tot meercellig organisme door differentiatie van stamcellen en apoptose.

- Celdifferentiatie: uit stamcellen ontstaan gespecialiseerde cellen (celtypen).
  - Adulte stamcellen kunnen zich in minder celtypen differentiëren dan embryonale stamcellen.
  - Alle cellen van een organisme bevatten hetzelfde DNA, maar in verschillende cellen zijn verschillende delen van het DNA actief.
    - Apoptose: geprogrammeerde celdood.

2.4.3

Je kunt de fasen van de geboorte beschrijven.

- Na ongeveer negen maanden is de foetus volgroeid en klaar om geboren te worden.
- De fasen van de geboorte zijn:
  - Indaling: het hoofd van de foetus is in het bekken van de moeder gezakt.
  - Ontsluiting: de baarmoedermond wordt wijder en korter door weeën (samentrekkingen van de baarmoeder).

- Uitdrijving: door persweeën en het persen van de moeder wordt de baby geboren.
- Nageboorte: de placenta, de navelstreng en de vruchtvliezen worden geboren.

2.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt kenmerken van de geestelijke en lichamelijke ontwikkeling van pubers en adolescenten benoemen.

- Puberteit is de levensfase waarin het lichaam volwassen wordt.
  - De puberteit loopt gemiddeld van 10 tot 17 jaar.
- Tijdens de puberteit ontwikkelen zich de secundaire geslachtskenmerken.
  - Er treden lichamelijke veranderingen op en veranderingen in gedrag.
- Adolescentie is de levensfase waarin een mens geestelijk volwassen wordt.
  - De adolescentie loopt van (het einde van) de puberteit tot 20-25 jaar.
  - Tijdens de adolescentie wordt een mens zelfstandig.

2.5.2

Je kunt de functies van seksualiteit beschrijven.

- Seksualiteit zijn gedachten, gevoelens en handelingen die hebben te maken met lust, opwinding en seks.
- Seksualiteit speelt een rol bij voortplanting, intimiteit tussen partners en lustbeleving.

2.5.3

Je bent je bewust van de seksuele diversiteit en de verschillen in normen en waarden over seksualiteit in de samenleving.

- Seksuele oriëntatie kan verschillen tussen mensen, je kunt je aangetrokken voelen tot:
  - iemand van het andere geslacht (heteroseksualiteit)
  - iemand van hetzelfde geslacht (homoseksualiteit)
  - vrouwen en mannen (biseksualiteit)
  - de persoon en niet het geslacht (panseksualiteit)
  - niemand (aseksualiteit)
- Sommige mensen die niet heteroseksueel zijn, kiezen ervoor om aan hun omgeving te vertellen over hun seksuele oriëntatie: coming-out.
- In verschillende landen, culturen en geloofsovertuigingen wordt verschillend gedacht over verschillen in seksuele oriëntatie.
- Gender: hoe de maatschappij kijkt naar vrouwelijk en mannelijk én of iemand zich meer vrouwelijk of mannelijk voelt of zich zo gedraagt.
- Transgender persoon: iemand die zich niet herkent in het geslacht waarmee die persoon geboren is.
  - Genderdysforie: iemand identificeert zich volledig met de gender die niet overeenkomst met het geboortegeslacht.
- Intersekse personen zijn geboren met mannelijke en vrouwelijke geslachtskenmerken.
- In een (seksuele) relatie is het belangrijk elkaars wensen en grenzen te leren kennen en te respecteren.
- Seksueel ongewenst gedrag: als iemand de grenzen van een ander niet respecteert en iemand aanraakt, terwijl diegene dat niet wil of seksueel getinte opmerkingen maakt waar de ander zich niet fijn bij voelt, spreek je van ongewenste intimiteit.

2.6.1 BASISSTOF 6

Je kunt beschrijven wat de gevolgen zijn van infecties met seksueel overdraagbare aandoeningen en aangeven hoe je deze infecties kunt voorkomen.

- Een soa (seksueel overdraagbare aandoening) is een infectieziekte.
  - Soa's worden overgedragen via sperma, bloed, vaginaal vocht en bij contact van slijmvliezen. Sommige soa's worden overgedragen via huidcontact.
- Veilig vrijen: maatregelen nemen om de kans op een soa te verkleinen.
- Aids wordt veroorzaakt door hiv.
  - Bij een besmet persoon kan medicatie hiv remmen en ervoor zorgen dat het virus niet meer overdraagbaar is.
  - PrEP-pillen voorkomen een infectie met hiv.
- Met een soatest wordt onderzocht of je een soa hebt.

2.6.2

Je kunt de werking van methoden van anticonceptie beschrijven en de voor- en nadelen van verschillende methoden benoemen.

- Anticonceptie: het voorkomen van zwangerschap.
- Voorbehoedsmiddelen: hulpmiddelen bij het voorkomen van zwangerschap.
- Barrièremiddelen, bijv. condoom, vrouwencondoom, pessarium.
  - Barrièremiddelen voorkomen dat spermacellen in de baarmoeder komen.

  - Een condoom beschermt ook tegen de meeste soa's.
  - Barrièremiddelen zijn alleen betrouwbaar bij juist gebruik.
- Hormonale regulatie, bijv. anticonceptiepil, prikpil, anticonceptiestaafje, anticonceptiepleister en anticonceptiering, hormoonspiraaltje.
  - Hormonale methoden bevatten hormonen die in werking overeenkomen met progesteron en oestrogeen. Dat heeft het volgende effect: geen ovulatie, ongeschikt baarmoederslijmvlies, dikkere slijmprop in baarmoederhals die spermacellen tegenhoudt.
  - Hormonale methoden zijn betrouwbaar bij juist gebruik.
  - Hormonale methoden kunnen bij sommige vrouwen bijwerkingen hebben.
- Een koperspiraal verandert het baarmoederslijmvlies, waardoor er geen innesteling kan plaatsvinden. Ook maakt het koper de spermacellen onvruchtbaar.
- Klassieke anticonceptiemethoden, bijv. coïtus interruptus, periodieke onthouding (in combinatie met temperatuurmeting).
  - Klassieke anticonceptiemethoden zijn onbetrouwbaar.
- Sterilisatie: onderbreken van de zaadleiders bij de man en eileiders bij de vrouw.
  - Sterilisatie is een definitieve anticonceptiemethode.
  - Sterilisatie is erg betrouwbaar.

2.7.1 BASISSTOF 7

Je kunt de oorzaken van verminderde vruchtbaarheid toelichten.

- Oorzaken van verminderde vruchtbaarheid.
  - Leeftijd: vooral bij vrouwen neemt de vruchtbaarheid na het dertigste levensjaar af.
  - Leefstijl: roken, alcoholgebruik, overgewicht, drugsgebruik, ondergewicht, verstoring van het dag- en nachtritme, cafeïnegebruik bij vrouwen, blootstelling aan schadelijke stoffen, stress en overmatig sporten.
  - Bij mannen kan koorts voor drie maanden zorgen voor een verstoring van de spermakwaliteit.
  - Lichamelijke oorzaken, zoals: hormoonstoornissen, eerdere infecties, afwijkingen in de aanleg van de voortplantingsorganen, seksuele problemen, problemen in de baarmoeder of het baarmoederslijmvlies.
  - Soa's.

2.7.2

Je kunt met behulp van ethische en biologische argumenten toelichten dat er verschillende standpunten zijn over het ingrijpen in het voortplantingsproces.

- Kunstmatige inseminatie (ki) of intra-uteriene inseminatie (iui): spermacellen worden door een arts in de baarmoeder ingebracht.
  - Kunstmatige inseminatie met spermacellen van een donor heet KID.
- In-vitrofertilisatie (ivf): door middel van medicatie rijpen meerdere eicellen tegelijk, die uit de eierstokken worden gehaald. In een laboratorium worden spermacellen bij de eicellen gevoegd. Het embryo met de grootste kans op innesteling wordt in de baarmoeder van de vrouw geplaatst.
  - Bij ICSI (intracytoplasmatischesperma-injectie) wordt hetzelfde traject gevolgd als bij ivf. Alleen in elke goede eicel wordt met een naald één spermacel ingebracht.
  - Spermacellen kunnen uit de bijballen (PESA) of teelballen (TESA) worden gehaald en gebruikt voor een ICSI-behandeling.
- Ethische en biologische argumenten kunnen worden gebruikt om een mening te onderbouwen over het ingrijpen in het voortplantingsproces.

SAMENHANG

2.S.1 **Je kunt het nut van geslachtelijke voortplanting toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.**

2.S.2 **Je kunt de biologische vakvaardigheid vorm-functiedenken toepassen op geslachtelijke voortplanting.**

ONDERZOEK - PRACTICA

2.O.1 **Je kunt een plant klonen en de verschillende fasen van de ontwikkeling tekenen.**

2.O.2 **Je kunt de verschillende fasen van mitose in de worteltop van een ui herkennen en tekenen.**

2.O.3 **Je kunt uitleggen hoe je een condoom op de juiste manier gebruikt.**

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

EXAMENOPGAVEN

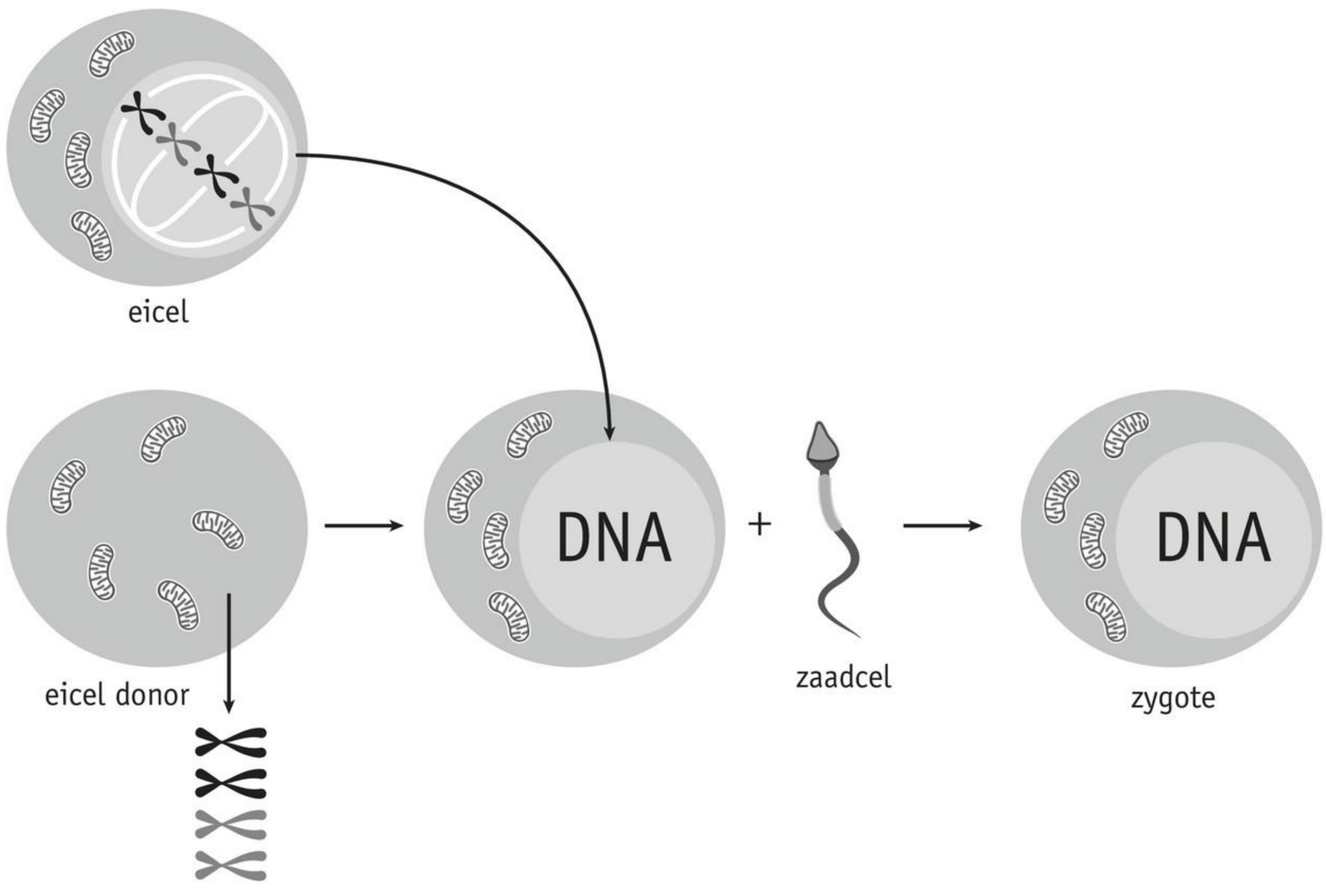
BABY MET DRIE OUDERS

Naar: examen vwo 2021-3, vraag 21.

In 2016 werd 's werelds eerste baby geboren met DNA van drie ouders. Het DNA was samengevoegd met behulp van een nieuwe conceptietechniek. Reden om deze techniek toe te passen was een afwijking in het mitochondriaal DNA van een vrouw met een kinderwens.

Stofwisselingsprocessen in mitochondria staan onder invloed van zowel kern-DNA als mitochondriaal DNA (mtDNA). Hoewel een mitochondrium slechts 37 genen bevat, zijn er behoorlijk wat stofwisselingsziekten die worden veroorzaakt door mutaties in dit mtDNA.
Bij de moeder van de drie-ouderbaby bevat een deel van de mitochondria sterk gemuteerd mtDNA. Zij heeft hier zelf geen hinder van, doordat niet alle mitochondria in haar cellen afwijkend zijn. Door de mtDNA-schade in haar eicellen is de kans klein om op natuurlijke wijze gezonde kinderen te krijgen. Daarom is voor de conceptie gebruikgemaakt van kunstmatige bevruchting met de zogenoemde Maternal Spindle Transfer-techniek (MST).
Bij MST wordt het kern-DNA van een eicel van de moeder samengevoegd met een kernloze eicel van een donor met normale mitochondria. Beide eicellen verkeren tijdens de overdracht van DNA in de laatste fase van de meiose. De hieruit geconstrueerde eicel wordt vervolgens kunstmatig bevrucht door een spermacel van de vader (afbeelding 1).
Een probleem bij het toepassen van MST is dat mitochondria met gemuteerd mtDNA bij het overbrengen van de chromosomen kunnen meeliften uit de eicel.

■ **Afb. 1** Bevruchting via MST.



9 Zeehonden die in het Waddengebied leven, worden soms geïnfecteerd met het zeehondenvirus. Hierdoor kan meer dan 50% van de zeehonden worden gedood. Het virus infecteert onder andere witte bloedcellen en zenuwcellen via speciale eiwitmoleculen, die aan de buitenkant van deze cellen zitten. Vaak worden dan de longen en het immuunsysteem van een zeehond aangetast.
Gebruik begrippen uit bovenstaande tekst en noteer ze in de tabel bij het juiste organisatieniveau.

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

Opdrachten INZICHT

10 **a** Leg uit dat bacteriën een levensloop hebben.
b Hebben bacteriën een levenscyclus?

11 Toen in 2018 het laatste mannetje van de noordelijke witte neushoorn stierf, waren er alleen nog twee vrouwelijke dieren van deze soort over.
Waarom hoeft dit nog niet het einde van de levenscyclus van de noordelijke witte neushoorn te zijn?

12 Algen zijn organismen die in staat zijn tot fotosynthese. Er zijn soorten die in zoutwater voorkomen en soorten die in zoetwater voorkomen.
a Waardoor is het lastig om van 'populaties' te spreken als de algen voorkomen in zoutwater?
b Waardoor is het eenvoudiger om van 'populaties' te spreken als de algen voorkomen in zoetwater?

13 Het begrip 'soort' is in afbeelding 5 niet opgenomen als een apart organisatieniveau. Geef daarvoor een verklaring.

14 De uitstoot van koolstofdioxide door verbranding van fossiele brandstoffen is een van de oorzaken van het versterkte broeikaseffect.
Tot welk organisatieniveau behoort koolstofdioxide en welk organisatieniveau wordt door koolstofdioxide beïnvloed?

2p **1** Vanwege onzekerheid over het aantal mitochondria met gemuteerd mtDNA in drie-ouderbaby's en de gevolgen die dat kan hebben voor de rest van hun leven, stellen sommige wetenschappers voor om de techniek alleen toe te passen voor de conceptie van jongens.
Leg uit waarom dat is aan te bevelen.

ALTERNATIEVEN VOOR 'DE PIL'

Bron: examen vwo 2021-2, vraag 1, 2 en 3.

'De pil', het meest gebruikte anticonceptiemiddel, is vanwege bijwerkingen niet voor elke vrouw geschikt. Wetenschappers zijn op zoek naar alternatieven.
De pil is meestal een combinatiepreparaat. De twee hormonen in de pil remmen een hormoonklier en een bepaald deel van de hersenen. Hierdoor wordt de afgifte van hormonen die de ovaria stimuleren om een eicel te produceren, geblokkeerd.

2p **2**
- Noteer de naam van de hormoonklier die wordt geremd door de hormonen in de pil.
- En noteer de naam van het deel van de hersenen dat de hormoonafgifte door deze hormoonklier aanstuurt.

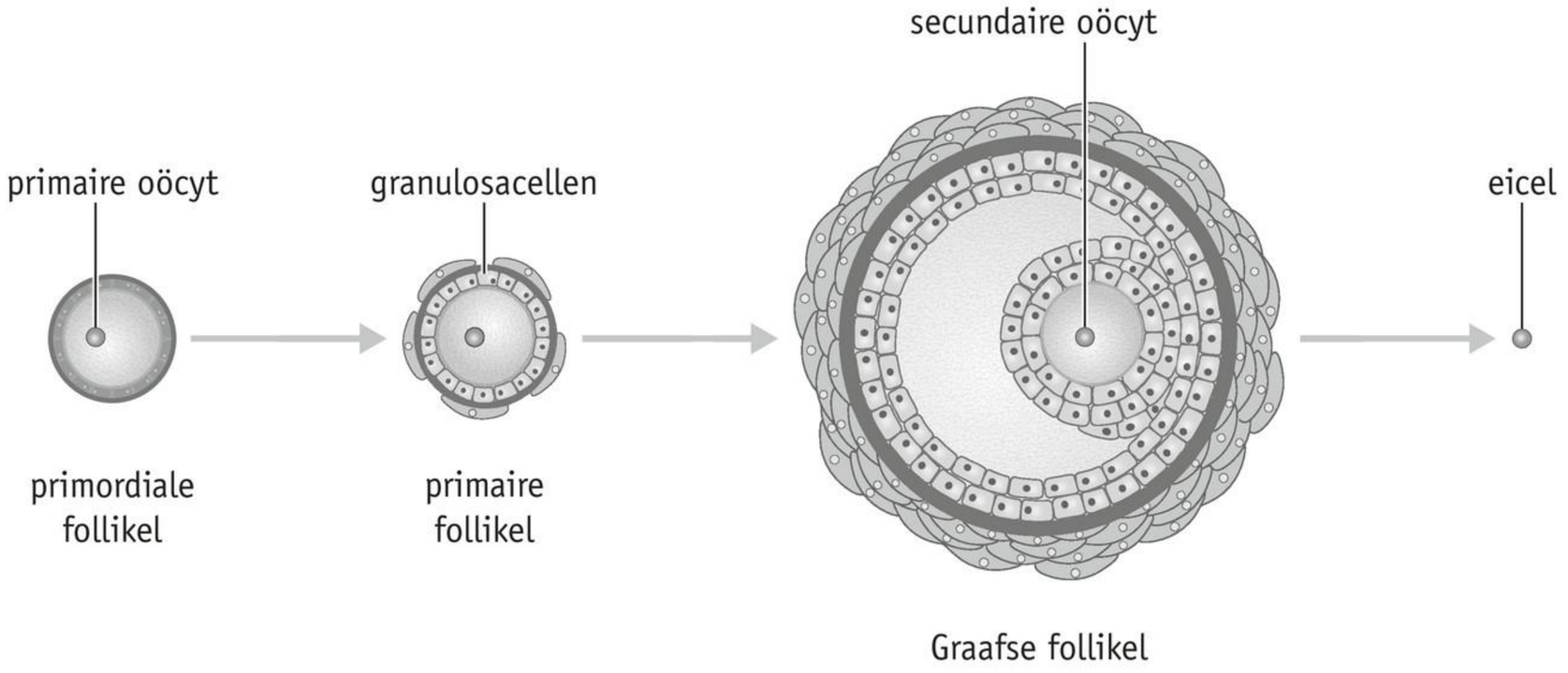
De anticonceptiepil bevat meestal een combinatie van een progestageen hormoon (een synthetische variant van progesteron) en een oestrogeen hormoon. De pil wordt gedurende drie weken geslikt, gevolgd door een stopweek waarin geen pil wordt ingenomen. Meestal vindt in de stopweek een bloeding plaats. Na de stopweek wordt weer gestart met inname van de pil.
Over het effect van deze hormonen worden de volgende beweringen gedaan:
1 Een hormoon in de pil stimuleert gedurende de slikweken de opbouw van het baarmoederslijmvlies.
2 Een hoge concentratie progestageen hormoon veroorzaakt de menstruatie.

2p **3** Welke bewering is juist?
A geen van beide
B alleen 1
C alleen 2
D zowel 1 als 2

Onderzoekers van een aantal academische ziekenhuizen in Massachusetts doen onderzoek naar een manier om de rijping van eicellen te voorkómen zonder gebruik te maken van oestrogenen of progestagenen. Zij testen het effect van het eiwithormoon MIS (Müllerian Inhibiting Substance) op de vruchtbaarheid. MIS wordt afgegeven door de granulosacellen van een rijpende follikel en remt de ontwikkeling van andere follikels – de primordiale follikels – in het ovarium.

Afbeelding 2 geeft de ontwikkeling van een follikel weer.

■ **Afb. 2** Ontwikkeling van een follikel.



Vier cellen zijn:

1 de primaire oöcyt
2 de granulosacel
3 de secundaire oöcyt
4 de eicel, net na de ovulatie

2p **4** Schrijf de nummers 1 tot en met 4 onder elkaar en noteer erachter of de betreffende cel **haploïd** of **diploïd** is.

Ga naar de *Examentrainer.*

NOTITIES



Thema 3

GENETICA

Genetica of erfelijkheidsleer is de wetenschap die bestudeert hoe organismen eigenschappen kunnen doorgeven aan hun nakomelingen. In dit thema leer je op welke manieren erfelijke eigenschappen kunnen overerven bij geslachtelijke voortplanting en los je erfelijkheidsvraagstukken op. Een voorbeeld van zo'n vraagstuk is: kan een kind blauwe ogen hebben als de vader en moeder beiden bruine ogen hebben?

Inhoud

ORIËNTATIE

Een vader met honderden donorkinderen 186
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Fenotype en genotype 188
2 Genenparen 196
3 Monohybride kruisingen 206
4 Geslachtschromosomen 214
5 Dihybride kruisingen 220
6 Speciale manieren van overerven 230
7 Opvoeding of aanleg 239

SAMENHANG

De evolutie van huidskleur 246

EXTRA STOF

Erfelijkheid in je familie
Bio-informaticus

ONDERZOEK

Practica 248

AFSLUITING

Samenvatting 254
Examenopgaven 258

EEN VADER MET HONDERDEN DONORKINDEREN

Op verzoek van 22 donorkinderen neemt een privédetective tijdens een huisbezoek 27 persoonlijke spullen van een overleden fertiliteitsarts in beslag, waaronder een bril en een tandenborstel. Waarschijnlijk heeft de arts regelmatig zijn eigen sperma gebruikt om vrouwen te insemineren, terwijl de vrouwen daarvan niet op de hoogte waren. De donorkinderen willen nu weten of de arts misschien hun biologische vader is. Een forensisch bureau kan op de voorwerpen genoeg sporen vinden om het volledige DNA-profiel van de arts vast te stellen om verwantschapsonderzoek te kunnen doen.

In Nederland worden sinds 1948 kinderen verwekt door kunstmatige inseminatie met donorsperma (KID). In de beginjaren werken artsen hier alleen aan mee als de wensouders een geheimhoudingsverklaring ondertekenen. De spermadonor is onbekend. Veel ouders en donoren willen zelf ook liever niet dat hun omgeving ervan op de hoogte is. In de loop van de jaren groeit het besef dat het voor kinderen belangrijk is om te weten wie hun biologische vader is. Uiteindelijk komt er in 2004 een wet die vanaf dan verbiedt om in Nederland anoniem sperma te doneren. Donoren van voor die tijd mogen wel anoniem blijven.

Aan een spermadonor wordt gevraagd om slechts bij één spermabank te doneren. Een andere richtlijn is dat een donor aan maximaal twaalf gezinnen sperma mag leveren. Een gezin mag wel meerdere kinderen van dezelfde donor krijgen. Door deze richtlijnen zou een donor ongeveer 25 kinderen kunnen verwekken. In de praktijk blijken deze regels heel gemakkelijk te omzeilen, want niemand controleert of een donor zich eraan houdt. Zo blijkt een man jarenlang bij elf klinieken te hebben gedoneerd. Een andere donor geeft zijn sperma niet alleen aan diverse Nederlandse en buitenlandse klinieken, maar biedt het ook aan via internet. En daar zijn de vrouwen die met deze donoren in zee gaan meestal niet van op de hoogte. Van deze spermadonor lopen naar schatting 800 kinderen rond op de wereld, waarvan er 102 via de officiële spermaklinieken in Nederland zijn voortgebracht.

Hoewel de fertiliteitsarts het zelf altijd heeft ontkent, blijkt uit de uitslag van het DNA-onderzoek dat hij in de kliniek zijn eigen sperma gebruikte. Inmiddels zijn er tegen de 70 donorkinderen van hem bekend. Ook in het buitenland, waar de arts sperma verhandelde, duiken nakomelingen van hem op.

Nieuwe voortplantingstechnologieën brengen niet alleen nieuwe mogelijkheden met zich mee, maar kunnen ook leiden tot vragen. Fiom is een organisatie die mensen ondersteunt als ze te maken krijgen met ongewenste zwangerschap en afstammingsvragen. Ze beheren de KID-DNA Databank waarin zowel spermadonoren, eiceldonoren als donorkinderen zich kunnen inschrijven en hun DNA-profiel kunnen laten opnemen. Aan de hand van de DNA-profielen kunnen donoren en donorkinderen mogelijk worden gematcht in de zoektocht naar hun biologische ouder.

■ **Afb. 1** Kinderen van dezelfde donor.



Opdrachten

1 Een privédetective nam onder andere de bril en de tandenborstel van de arts in beslag.
Hoe kan een forensisch bureau die gebruiken om het DNA-profiel van de arts vast te stellen?

2 Door genetisch onderzoek kunnen donorkinderen er soms achter komen wie hun biologische vader is.
Hoeveel chromosomen in een lichaamscel van een donorkind komen overeen met die van de spermadonor? Leg je antwoord uit.

3 De donorkinderen van de arts hebben verschillende uiterlijke eigenschappen gemeen. Zo hebben ze bijvoorbeeld korte dikke vingers en grote tanden. Ook zijn ze vaak ambitieus en gedreven.
Hoe noem je deze waarneembare eigenschappen van een organisme?

4 De moeder van een donorkind was er aanvankelijk niet van op de hoogte dat de door haar uitgekozen donor al honderden nakomelingen had. Ze vindt het geen fijn idee dat haar dochter, als ze later gaat daten met een jongen, eerst moet vragen of haar date een donorkind is en zo ja, wie dan de donorvader is.
Leg uit waarom het belangrijk is dat haar dochter dit vraagt.

5 Vrouwen kunnen een behandeling ondergaan met sperma van de eigen partner (KI) of met donorsperma (KID) (afbeelding 2).
Wanneer kun je KID met donorsperma toepassen?

■ **Afb. 2** Donorsperma.



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

1 FENOTYPE EN GENOTYPE

LEERDOELEN

3.1.1 Je kunt beschrijven wat het fenotype en wat het genotype van een organisme is en uitleggen hoe het fenotype tot stand komt.

3.1.2 Je kunt de verschillen tussen autosomen en geslachtschromosomen benoemen.

3.1.3 Je kunt omschrijven hoe de DNA-sequentie en de genexpressie erfelijke eigenschappen kunnen bepalen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	3.1.1	**3.1.2**	**3.1.3**
Begrijpen	1, 2, 4	3, 5, 15	6
Toepassen	8b, 13	8a, 10	11a
Analyseren	7, 14a	12, 14bc	9, 11b

De informatie voor je erfelijke eigenschappen is afkomstig van je ouders. Sommige eigenschappen komen tot stand door een combinatie van erfelijke eigenschappen en leefstijl, bijvoorbeeld gespierd zijn door te trainen. Je hebt ook eigenschappen die alleen worden bepaald door je leefstijl of je omgeving, bijvoorbeeld blauw haar.

FENOTYPE EN GENOTYPE

Elk organisme lijkt in meer of mindere mate op zijn ouders. Zo heeft een pasgeboren baby uiterlijke kenmerken van de vader en van de moeder. Maar de baby kan ook eigenschappen hebben die bij de vader en de moeder niet waarneembaar zijn. Alle waarneembare eigenschappen van een individu noem je het **fenotype**. Hierbij horen eigenschappen zoals haarkleur, oogkleur en lichaamsgeur, maar ook eigenschappen zoals bloedgroep en kleurenblindheid.

De informatie voor erfelijke eigenschappen van organismen ligt op de **chromosomen**. Via de chromosomen in een spermacel en een eicel worden erfelijke eigenschappen van de ouders doorgegeven aan een nakomeling. Bij de bevruchting komen de chromosomen met hun erfelijke informatie bij elkaar in de zygote. Vanaf dat moment liggen de erfelijke eigenschappen van een nakomeling vast. De informatie voor alle erfelijke eigenschappen van een individu noem je het **genotype**.

CHROMOSOMEN

Chromosomen liggen in de celkern en zien eruit als langgerekte dunne ‘draden’. Alleen bij delende cellen zijn de chromosomen zichtbaar met een lichtmicroscoop. Doordat de chromosomen dan spiraliseren, worden ze korter en dikker.

15 Het Waddengebied is een beschermd natuurgebied tussen de Noordzee en het vasteland van Nederland en Duitsland. In dit gebied komen onder andere de brandgans en de kolgans voor.

a Leg uit tot welk organisatieniveau het Waddengebied behoort.

b Behoren de brandgans en de kolgans tot dezelfde levensgemeenschap? Leg je antwoord uit.

16 Een korstmos is een zeer hecht samenlevingsverband van een schimmelsoort en een algensoort (zie afbeelding 6). De schimmel levert mineralen aan de alg voor de groei. De alg levert glucose aan de schimmel als brandstof.
Geef een argument om een korstmos als één organisme te beschouwen.

■ **Afb. 6** Rendiermos (*Cladonia rangiferina*).



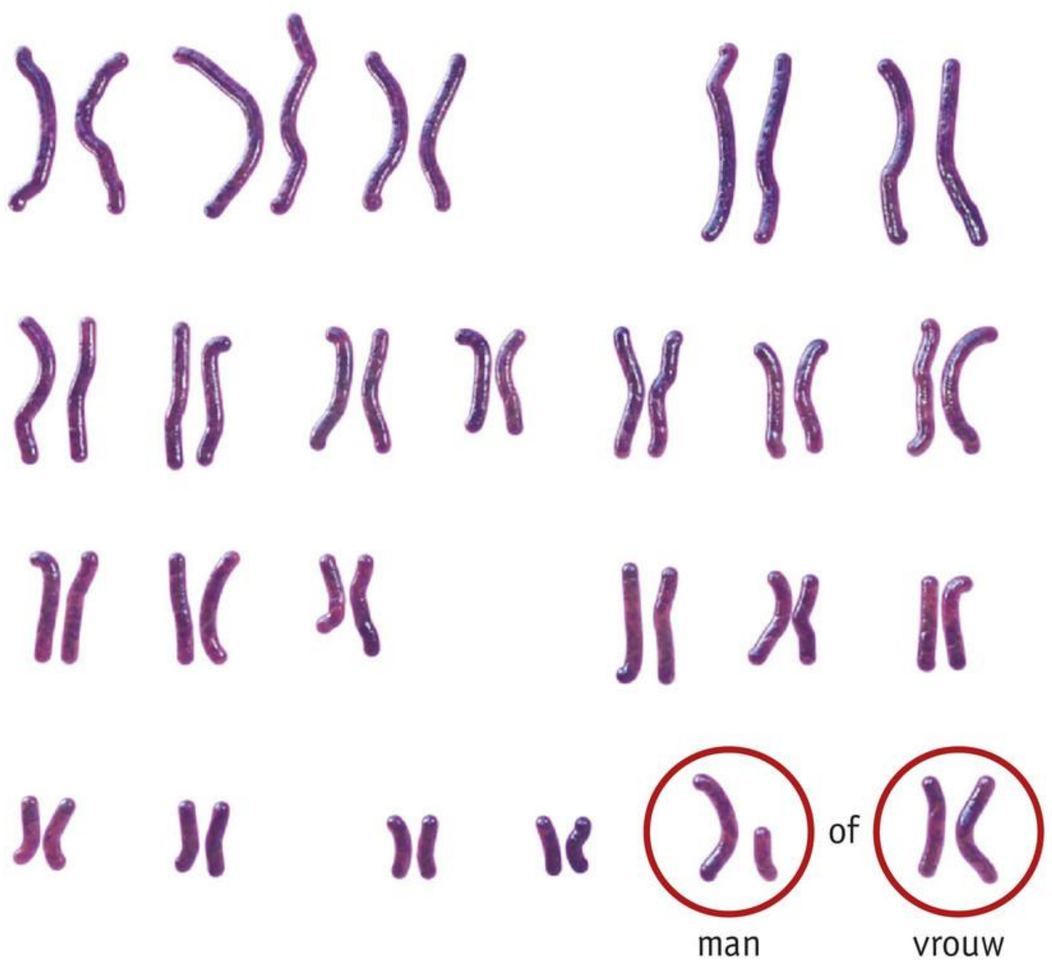
Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf*.

In afbeelding 1 zijn de gespiraliseerde chromosomen uit een lichaamscel van een mens in paren gerangschikt naar grootte. Zo'n overzicht van de chromosomen in een cel heet een karyotype. Het wordt ook wel een chromosomenportret of karyogram genoemd (zie ook *BiNaS* tabel 70B).

Bij de mens hebben vrouwen en mannen 22 paar **autosomen** in de celkern van een lichaamscel. Met het 23e chromosomenpaar kun je het geslacht van een individu bepalen. Daarom noem je deze chromosomen de **geslachtschromosomen**. Bij de man vormen deze chromosomen wel een paar, maar zijn ze niet gelijk aan elkaar (zie afbeelding 1). Het ene chromosoom is het **X-chromosoom**, het andere het **Y-chromosoom** (XY). Bij de vrouw zijn de geslachtschromosomen wel aan elkaar gelijk. Het 23e chromosomenpaar bestaat bij een vrouw uit twee X-chromosomen (XX).

Van een chromosomenpaar is één chromosoom afkomstig van de moeder, het tweede van de vader. Twee chromosomen van een paar die gelijk zijn in lengte en vorm noem je **homologe chromosomen**. Homologe chromosomen zijn niet identiek, want ze bevatten niet dezelfde erfelijke informatie.

■ **Afb. 1** Karyogram van een mens (man en vrouw).



Opdrachten KENNIS

1 Heeft een cel in je lever hetzelfde genotype als een spiercel in je biceps (armbuigspier)? Leg je antwoord uit.

2 Iemand kan relaxed of juist gestrest zijn.
Gaat het dan om het fenotype of het genotype van deze persoon? Leg je antwoord uit.

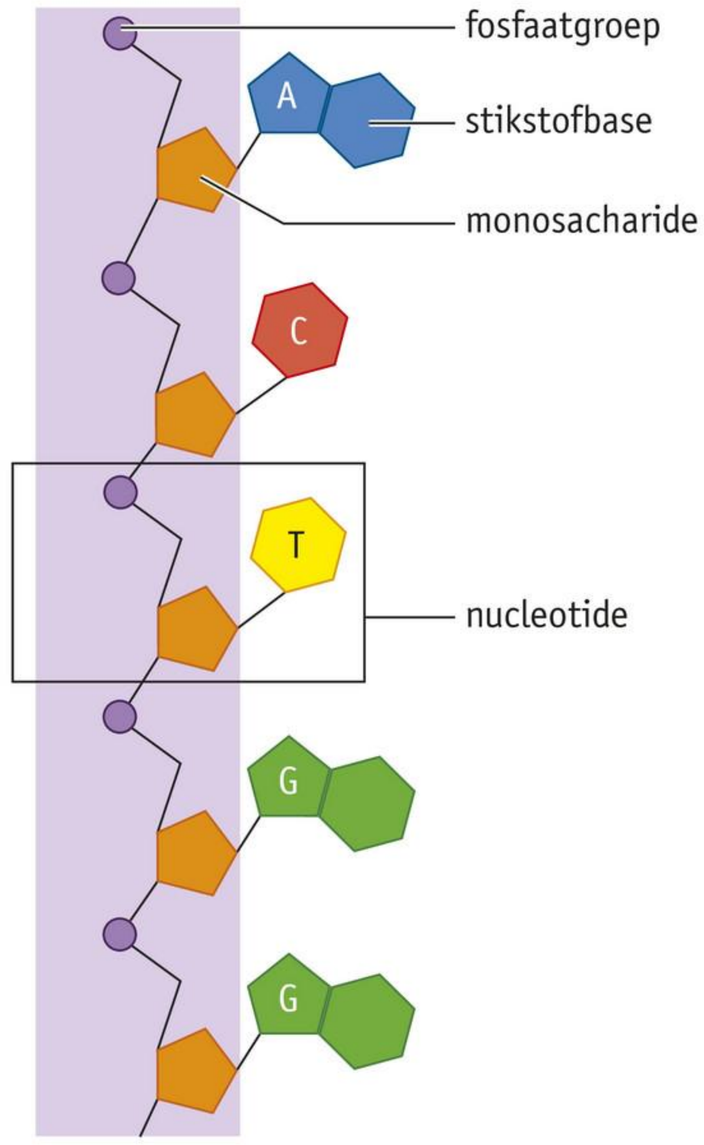
3 **a** Hoeveel paar homologe chromosomen hebben mannen in een lichaamscel? Leg je antwoord uit.
b Hoeveel paar homologe chromosomen hebben vrouwen in een lichaamscel? Leg je antwoord uit.

GENEN

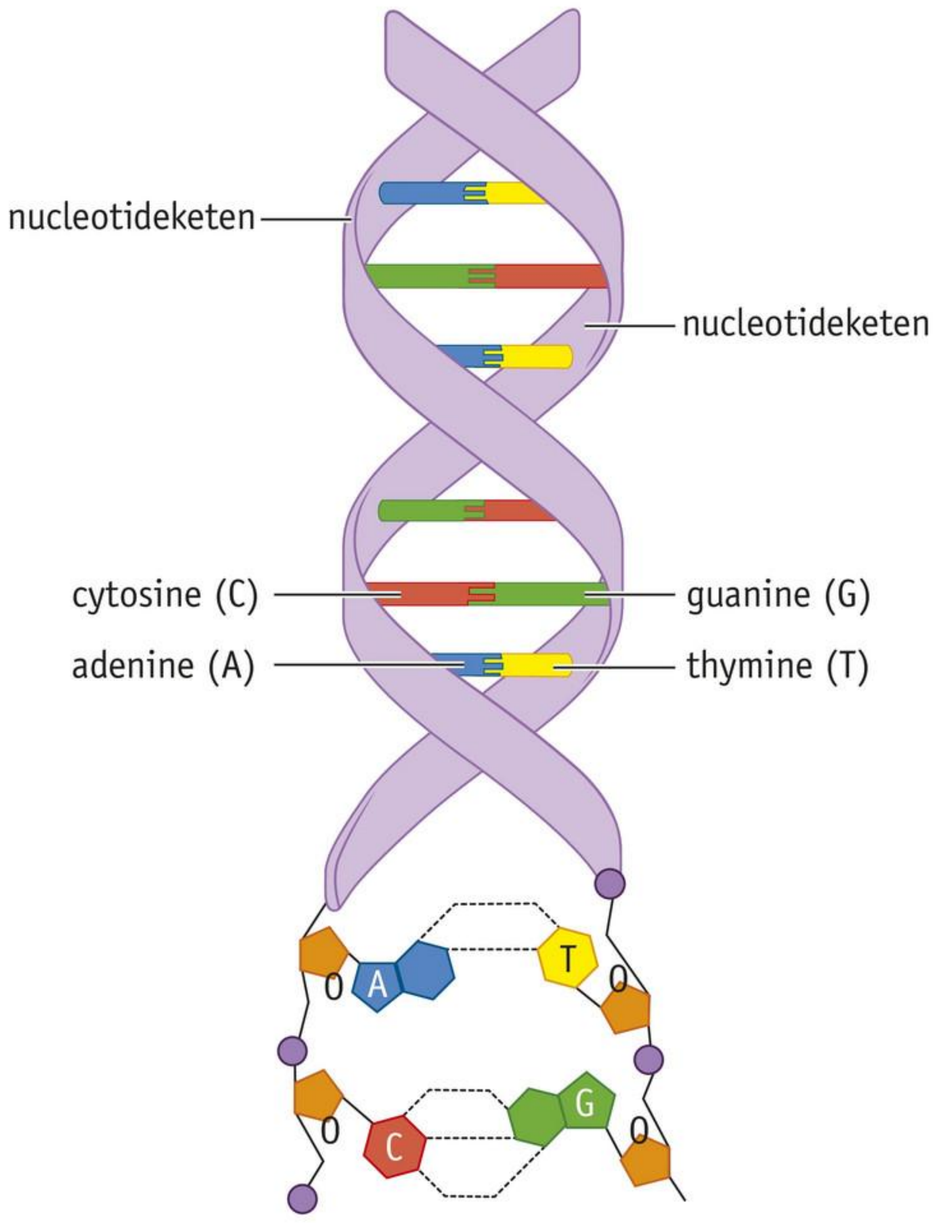
Een **gen** is een deel van een chromosoom dat de informatie bevat voor een of meer erfelijke eigenschappen of een deel van een erfelijke eigenschap. Vaak is er meer dan één gen betrokken bij het tot stand komen van een bepaalde eigenschap. Zo zijn er bij mensen meerdere genen gevonden die een rol spelen bij het ontstaan van de oogkleur.

Een chromosoom is een zeer lang DNA-molecuul dat rond eiwitmoleculen is gewikkeld. Een DNA-molecuul bestaat uit twee ketens die in een dubbele spiraal om elkaar heen gewonden liggen. Een DNA-keten is opgebouwd uit vele duizenden aan elkaar gekoppelde nucleotiden. Eén nucleotide bestaat uit een fosfaatgroep, een monosacharide (desoxyribose) en een stikstofbase (zie afbeelding 2.1). In een nucleotide kan de stikstofbase adenine (A), thymine (T), cytosine (C) of guanine (G) zijn. Er komen dus vier verschillende nucleotiden in DNA voor. In een nucleotideketen steken de stikstofbasen aan de zijkant uit de keten. Hierdoor kunnen twee nucleotiden zich met elkaar verbinden door basenparing. Elke stikstofbase heeft daarbij een vaste bindingspartner. Adenine is steeds met thymine verbonden en cytosine met guanine (zie afbeelding 2.2 en *BiNaS* tabel 71C).

■ **Afb. 2** De bouw van DNA.



1 De nucleotiden in een enkele streng DNA zijn aan elkaar gekoppeld.



2 Twee DNA-ketens vormen na basenparing een dubbele spiraal.

In cellen van schimmels, planten en dieren tref je DNA aan in de kern en in mitochondriën. In plantaardige cellen komt DNA ook voor in chloroplasten. Alle DNA-moleculen in een cel noem je het **genoom** van een organisme.

Een chromosoom bevat veel genen. Een gen, zoals bijvoorbeeld het gen voor de haarkleur, bestaat uit honderden nucleotiden die in een specifieke volgorde of sequentie zijn gerangschikt. Dit noem je de DNA-sequentie. De DNA-sequentie vormt een code voor een bepaalde eigenschap. In de DNA-sequenties van een gen komen variaties voor. De volgorde van nucleotiden voor de eigenschap zwarte haarkleur is bijvoorbeeld anders dan de volgorde van nucleotiden voor de eigenschap blonde haarkleur. Zo'n variatie in de nucleotidenvolgorde van een gen noem je een **allel**.

Genen kunnen worden aan- en uitgezet. Als genen worden aangezet, komt een eigenschap tot uiting in het fenotype en dan spreek je van **genexpressie**. Staan genen uit, dan spreek je van geninactivatie. Zo staan in bepaalde cellen van je hoofdhuid de genen aan die betrokken zijn bij de vorming van hoofdharen. Deze genen staan in je levercellen uit.

INVLOED VAN MILIEUFACTOREN EN MODIFICATIES

Het genotype bepaalt veel eigenschappen van een individu. Het fenotype wordt bepaald door het genotype en door **milieufactoren**. Voorbeelden van milieufactoren die het fenotype beïnvloeden zijn licht, lucht (bijvoorbeeld roken, luchtvervuiling), vochtigheid, temperatuur, voeding, ziekten en opvoeding. Het fenotype van een eik verandert bijvoorbeeld als er door een storm takken van de eik afbreken. Zo'n verandering noem je een modificatie. De informatie in de chromosomen (de DNA-sequentie) verandert hierdoor niet. Een modificatie wordt daardoor niet doorgegeven aan nakomelingen.

Al in de baarmoeder hebben milieufactoren invloed op mensen. Een afwijking, aandoening of ziekte die in de baarmoeder ontstaat, noem je een aangeboren afwijking of aangeboren aandoening. Als een afwijking, aandoening of ziekte via de chromosomen van de ouders wordt doorgegeven aan een nakomeling, spreek je van een erfelijke ziekte of erfelijke aandoening.

Opdrachten KENNIS

4 De levenscyclus van een insect bestaat meestal uit de fasen ei, larve, pop en volwassen insect.
Verandert het genotype van een individu door de metamorfose van larve naar volwassen insect? Leg je antwoord uit.

5 Gebruik bij deze opdracht tabel 70D in *BiNaS*.
- **a** Op welk chromosoom ligt een gen dat een bijdrage kan leveren aan het ontstaan van dyslexie?
- **b** Op welke chromosomen liggen genen die een rol kunnen spelen bij het ontstaan van borstkanker?

6 De volgende eigenschappen kunnen erfelijk zijn of een modificatie.
Noteer de erfelijke eigenschappen: *behaarde geraniumbladeren – bladeren die naar het licht zijn gericht – blauwe ogen – een gladde huid door botoxinjecties – een gladde huid bij een 15-jarige – een litteken – kleurverandering bij een kameleon (zie afbeelding 3) – rode bloemen – slap hangende geraniumbladeren.*

■ **Afb. 3** Een kameleon.



Opdrachten INZICHT

7 Wetenschappers onderzoeken welke eigenschappen bij mensen het gevolg zijn van genetische aanleg en welke eigenschappen vooral tot stand komen door invloeden uit het milieu. Uit onderzoek blijkt dat het gewicht bij vrouwen van 20 tot en met 29 jaar voor 72-85% genetisch wordt bepaald.
Leg uit hoe wetenschappers dat zouden kunnen afleiden uit de resultaten van een onderzoek bij eeneiige tweelingen.

8 Bij sommige diersoorten worden de geslachten op een andere manier bepaald dan door geslachtschromosomen. Bij bijen zijn de mannetjes (darren) haploïd. Darren ontwikkelen zich uit onbevruchte eicellen. Vrouwelijke bijen ontstaan uit bevruchte eicellen. De larven die hieruit ontstaan ontwikkelen zich afhankelijk van de voeding die ze krijgen tot een koningin of tot een werkbij.

a Zijn de verschillen tussen een werkbij en een koningin erfelijk of zijn het modificaties? Leg je antwoord uit.

b Zijn de verschillen tussen een dar en een koningin erfelijk of zijn het modificaties? Leg je antwoord uit.

9 In 1879 stopte botanicus William James Beal in de Amerikaanse staat Michigan twintig flessen met zaden in de grond. Elke twintig jaar wordt er een fles opgegraven om te zien welke zaden nog ontkiemen. Een deel van de zaadjes krijgt eerst een koudebehandeling. Deze zaadjes worden een aantal weken blootgesteld aan lage temperaturen. In het verleden bleek dat ervoor te zorgen dat de zaadjes van rond kaasjeskruid (*Malva pusilla*) alsnog ontkiemden.
De zaden van rond kaasjeskruid wilden aanvankelijk niet ontkiemen. Hoe kunnen lage temperaturen ervoor zorgen dat de zaden wel ontkiemen?

10 Het zikavirus wordt op mensen overgedragen door stekende muggen die voorkomen in (sub)tropische gebieden. Bij zwangere vrouwen kan het zikavirus een infectie veroorzaken bij het embryo of de foetus. De kinderen kunnen dan na de geboorte minder goed ontwikkelde hersenen en een erg kleine schedel hebben (microcefalie).
Is microcefalie dat is veroorzaakt door het zikavirus erfelijk of aangeboren? Leg je antwoord uit.

11 Bij krokodillen wordt het geslacht niet bepaald door geslachtschromosomen, maar door de omgevingstemperatuur. Bij de Cubaanse krokodil (zie afbeelding 4) ontwikkelen de embryo's in de eieren zich bij een temperatuur van 30 °C tot 32 °C tot mannetjes. Wanneer de nesttemperatuur lager is dan 30 °C of hoger dan 32 °C, ontwikkelen de embryo's zich tot vrouwtjes.

a Verandert het genotype van een embryo tijdens de geslachtsbepaling?

b Waardoor zal een krokodillenembryo zich alleen bij een temperatuur van 30 °C tot 32 °C tot een mannetje ontwikkelen?

■ **Afb. 4** De Cubaanse krokodil (*Crocodylus rhombifer*).



12 Yoeri wil graag weten wie zijn biologische vader is en wil daarvoor zijn DNA-profiel laten vergelijken met DNA-profielen van donoren in de KID-DNA Databank van Fiom.
Leg uit waarom je bij een mannelijke nakomeling de nucleotidenvolgorde in het Y-chromosoom kunt gebruiken om te bepalen wie de biologische vader is.

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

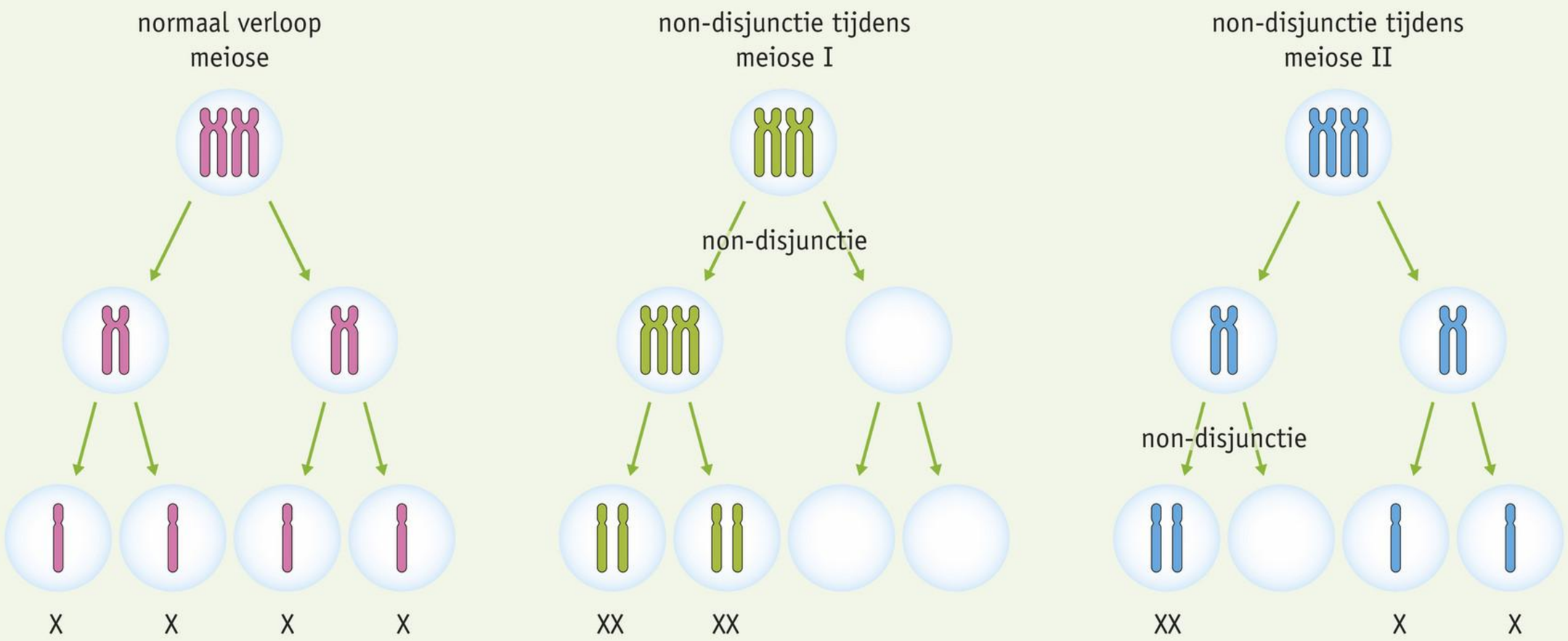
HET SYNDROOM VAN KLINEFELTER

Toen het na twee jaar nog niet was gelukt om zwanger te worden, lieten Hafsa en Gerard zich in het ziekenhuis onderzoeken. Gerards sperma bleek geen spermacellen te bevatten en bepaalde lichamelijke kenmerken van Gerard vielen op. Na een vervolgonderzoek door een klinisch geneticus werd bij Gerard het syndroom van Klinefelter vastgesteld. Deze erfelijke aandoening komt alleen bij mannen voor. Mannen met dit syndroom hebben in hun lichaamscellen ten minste één X-chromosoom te veel. Er zijn ook varianten waarbij er twee of soms drie X-chromosomen te veel voorkomen in de lichaamscellen.

Het syndroom van Klinefelter kan worden veroorzaakt doordat een geslachtscel meer dan één X-chromosoom bevat. Dat kan komen doordat bij de vorming van eicellen het paar geslachtschromosomen niet uit elkaar gaat (non-disjunctie) tijdens de anafase van meiose I (zie *BiNaS* tabel 70B). Het kan ook worden veroorzaakt doordat tijdens de anafase van meiose II de chromatiden van het X-chromosoom niet uit elkaar gaan. In beide gevallen ontstaan geslachtscellen met verschillende aantallen geslachtschromosomen (zie afbeelding 5).

Vlak na de bevruchting kunnen tijdens de embryonale ontwikkeling ook cellen met een extra X-chromosoom ontstaan. Bij deze variant van het syndroom van Klinefelter hebben mannen een mozaïekpatroon. Ze hebben lichaamscellen met 46 chromosomen én lichaamscellen met 47 chromosomen.

■ **Afb. 5** Non-disjunctie van de geslachtschromosoom bij de vorming van eicellen tijdens meiose I en tijdens meiose II.



Opdrachten

13 Zoek op internet informatie over het syndroom van Klinefelter.
Noteer minimaal vier belangrijke kenmerken van het fenotype van mannen met dit syndroom.

14 Het syndroom van Klinefelter kan worden veroorzaakt door non-disjunctie van de geslachtschromosomen in een geslachtscel tijdens de meiose (zie afbeelding 5).

a Vindt non-disjunctie bij de vorming van spermacellen plaats tijdens meiose I, tijdens meiose II of bij beide? Leg je antwoord uit.

b Het syndroom van Klinefelter kan ook vlak na de bevruchting worden veroorzaakt. Beschrijf op welke manier dan lichaamscellen met een extra X-chromosoom kunnen ontstaan.

c Leg uit waarom bij de mozaïekvariant het extra X-chromosoom in de lichaamscellen een kopie is van het X-chromosoom van de moeder.

15 Mannen met de mozaïekvariant van het syndroom van Klinefelter zijn soms vruchtbaar. Geef hiervoor een verklaring.

2 GENENPAREN

LEERDOELEN

3.2.1 Je kunt beschrijven hoe dominante en recessieve allelen in het fenotype van een organisme tot uiting kunnen komen.

3.2.2 Je kunt toelichten hoe door recombinatie nieuwe combinaties van allelen ontstaan.

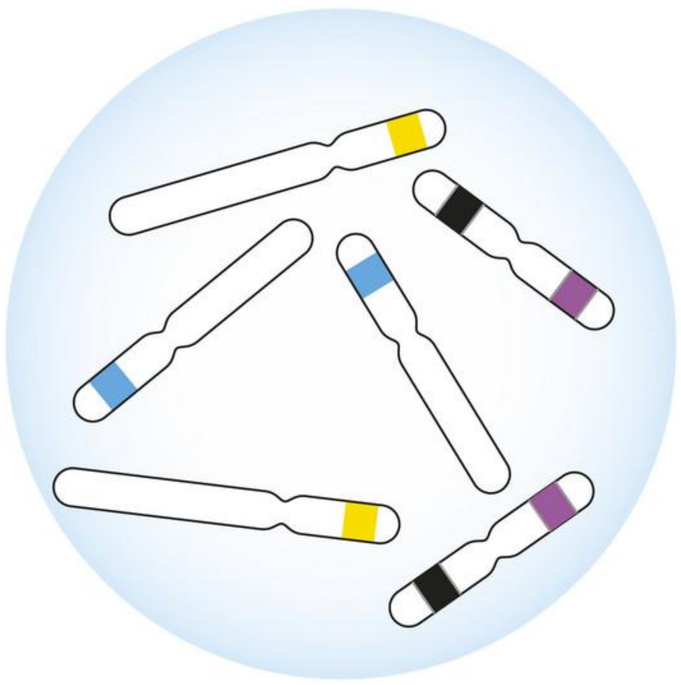
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.2.1	**3.2.2**
Begrijpen	16, 17, 18ab	18c
Toepassen	20b	19, 22a, 23b, 24a
Analyseren	20ac, 23c, 24b	21, 22bc, 23a

Kinderen erven de erfelijke eigenschappen van hun ouders. Hoe is het dan mogelijk dat twee ouders met bruine ogen een kind krijgen met blauwe ogen?

HOMOZYGOOT EN HETEROZYGOOT

Van elk gen van de mens is bekend op welk chromosoom het ligt en op welke plaats in dat chromosoom (zie *BiNaS* tabel 70C). In lichaamscellen komen chromosomen en genen in paren voor. Homologe chromosomen bevatten allelen voor dezelfde erfelijke eigenschappen. De allelen van een bepaald gen liggen in deze chromosomen op dezelfde plaats (zie afbeelding 6). Ook bij andere organismen van dezelfde soort liggen de allelen van een bepaald gen altijd op dezelfde plaats in de homologe chromosomen.

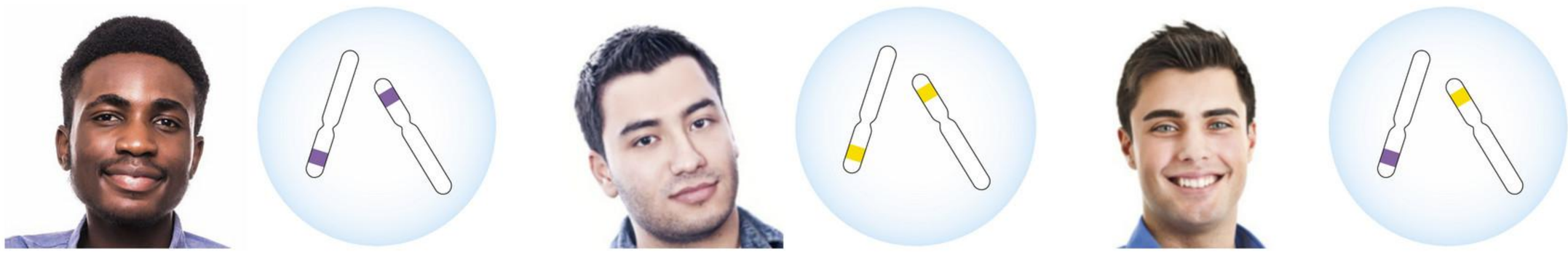
■ **Afb. 6** Kern van een lichaamscel met chromosomen en genen (schematisch).



Er bestaan meestal verschillende allelen van een bepaald gen. Voor de eigenschap haarlijn van het voorhoofd bestaat een allel voor een V-vormige haarlijn en een allel voor een rechte haarlijn. In lichaamscellen komen genen in paren voor. Een persoon bij wie de twee allelen voor de haarlijn hetzelfde zijn, is **homozygoot** voor deze eigenschap. Personen met twee allelen voor een rechte haarlijn zijn homozygoot voor de eigenschap rechte haarlijn (zie afbeelding 7.1). Personen met twee allelen voor een V-vormige haarlijn zijn homozygoot voor de eigenschap V-vormige haarlijn (zie afbeelding 7.2).

Er zijn ook personen bij wie het genenpaar voor de haarlijn bestaat uit een allel voor een rechte haarlijn en een allel voor een V-vormige haarlijn. De twee allelen voor de haarlijn zijn niet hetzelfde. Deze personen zijn **heterozygoot** voor de eigenschap haarlijn.

■ **Afb. 7** Een rechte en een V-vormige haarlijn op het voorhoofd.



1 homozygoot voor een rechte haarlijn

2 homozygoot voor een V-vormige haarlijn

3 heterozygoot voor de haarlijn

DOMINANT EN RECESSIEF

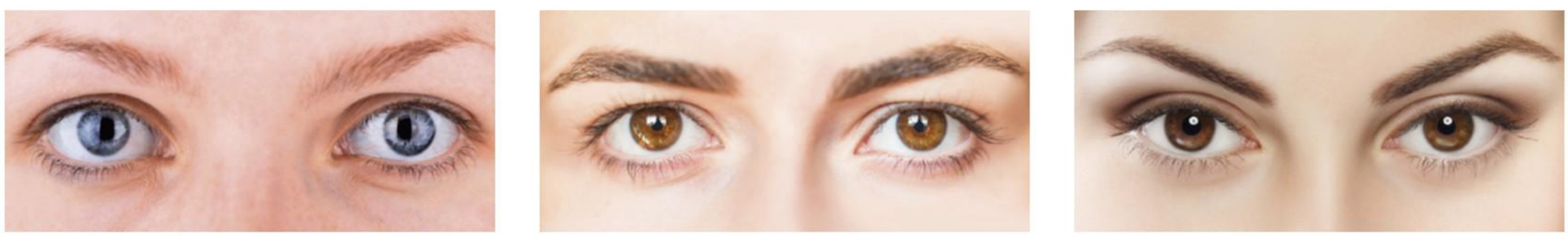
Personen die heterozygoot zijn voor de eigenschap haarlijn, blijken een V-vormige haarlijn te hebben (zie afbeelding 7.3).

Alleen het allel voor V-vormige haarlijn komt tot uiting in het fenotype. Je noemt dit allel het **dominante** allel. Een dominant allel komt altijd tot uiting in het fenotype. Het andere allel noem je het **recessieve** allel. Dit allel komt alleen tot uiting in het fenotype als er geen dominant allel aanwezig is.

De personen in afbeelding 7.2 en 7.3 hebben dezelfde haarlijn. Aan het uiterlijk is niet te zien of deze personen homozygoot of heterozygoot zijn voor de haarlijn. Personen die heterozygoot zijn, zijn drager van de recessieve eigenschap rechte haarlijn. Als het recessieve allel helemaal niet tot uiting komt in het fenotype, is het andere allel volledig dominant.

Van de meeste genen bestaan dominante en recessieve allelen. Bij sommige erfelijke eigenschappen is het onderscheid tussen dominante en recessieve allelen niet zo duidelijk. Bijvoorbeeld omdat beide allelen bij heterozygote organismen een beetje tot uiting komen in het fenotype. Je noemt deze allelen dan **onvolledig dominant**. Zo bestaan er twee allelen voor een belangrijk gen (EYCL3) dat de oogkleur bij de mens bepaalt. Bij een persoon die homozygoot is voor bruine ogen blijken de ogen donkerder te zijn dan bij iemand die heterozygoot is voor deze oogkleur (zie afbeelding 8). Het allel voor blauwe oogkleur komt enigszins tot uiting in het fenotype. Dit fenotype noem je intermediair.

■ **Afb. 8** Oogkleur bij mensen.



1 homozygoot voor blauwe oogkleur

2 heterozygoot voor bruine oogkleur

3 homozygoot voor bruine oogkleur

Bij leeuwenbekjes (zie afbeelding 9) komen allelen voor rode bloemkleur voor en allelen voor witte bloemkleur. Leeuwenbekjes die heterozygoot zijn voor de bloemkleur hebben een **intermediair** fenotype. Ze hebben roze bloemen. Beide allelen zijn onvolledig dominant.

Wanneer beide allelen van een gen volledig tot uiting komen in het fenotype, is er sprake van codominantie. De combinatie van het allel voor rode bloemkleur en het allel voor witte bloemkleur levert bij camelia's bloemen op met rode én witte kleuren (zie afbeelding 10).

Welke allelen dominant en welke recessief zijn, verschilt per soort. Net als bij leeuwenbekjes komen bij erwtenplanten ook allelen voor rode en voor witte bloemkleur voor. Maar bij erwtenplanten is het gen voor rode bloemkleur volledig dominant over dat voor witte bloemkleur. Een erwtenplant die heterozygoot is voor de bloemkleur, heeft dus rode bloemen.

■ **Afb. 9** Bloemkleur bij leeuwenbekjes.



1 homozygoot voor rode bloemkleur

2 heterozygoot voor de bloemkleur

3 homozygoot voor witte bloemkleur

■ **Afb. 10** Codominantie bij een camelia.



Context Leefwereld

EEN SUPERORGANISME IN DE TUIN

De Belgische kunstenaar en natuurliefhebber Achilles Cools heeft een mierenhoop in zijn achtertuin. Cools noemt de kolonie rode bosmieren (*Formica polyctena*) een superorganisme.

Mierennesten ontstaan meestal in een oude boomstronk. Die wordt afgedekt met naalden van sparren en dennen en verdroogde stukjes tak. Een klein aantal nesten groeit uit tot een reusachtig bouwwerk met een doorsnede van een paar meter (zie afbeelding 7). Voorwaarde is dat de zon de mierenhoop opwarmt. De nesten staan dan ook vaak op open plekken in het bos of aan de bosrand en daarin wonen dan honderdduizenden werksters met meerdere koninginnen.

Mieren kennen sociaal gedrag en een sociale organisatie. Na haar bruidsvlucht en paring sticht een jonge mierenkoningin een kolonie. Mannetjes sterven na de paring. Alleen de koningin legt eieren. De talrijke werksters in een kolonie hebben een taakverdeling. Er zijn soldaten, verkenners en verzorgers van de larven. De soldatenvrouwen kunnen bijten, steken met een angel of spuiten. De mieren communiceren door middel van stoffen die ze met behulp van hun antennes goed kunnen waarnemen. In de buurt van het nest leggen ze geursporen aan om de weg naar voedsel te kunnen vinden. Soms ontstaan er gevleugelde mannetjes en vrouwtjes die paren met soortgenoten uit andere kolonies. Daaruit kunnen dan weer nieuwe superorganismen ontstaan, zoals in de achtertuin van Achilles Cools.

■ **Afb. 7** Een superorganisme in het bos.



Opdrachten

17 De levenscyclus van een mier bestaat uit vier fasen. Een van de levensverschijnselen is groei. In welke levensfase van de mier vindt de meeste groei plaats?

18 Tot welk organisatieniveau rekenen biologen een mierenkolonie? Licht je antwoord toe.

19 Cools noemt de kolonie een ‘superorganisme’. Welk organisatieniveau van het superorganisme komt overeen met het organisatieniveau cel van een (meercellig) organisme? Licht je antwoord toe.

20 Welk organisatieniveau van de mierenkolonie zou je kunnen vergelijken met een weefsel?

21 Kan het beschreven ‘superorganisme’ zich voortplanten? Licht je antwoord toe.

GENEN WEERGEVEN

In de genetica of erfelijkheidsleer geef je genen aan met letters. Een dominant allel geef je aan met een hoofdletter, een recessief allel met een kleine letter. Wanneer een individu heterozygoot is voor een bepaalde eigenschap, geef je dat bijvoorbeeld aan met Aa. Je kunt ook andere letters gebruiken. Gebruik dan letters waarvan de hoofdletter en de kleine letter duidelijk van vorm verschillen. Dus bijvoorbeeld niet P en p, maar wel R en r.

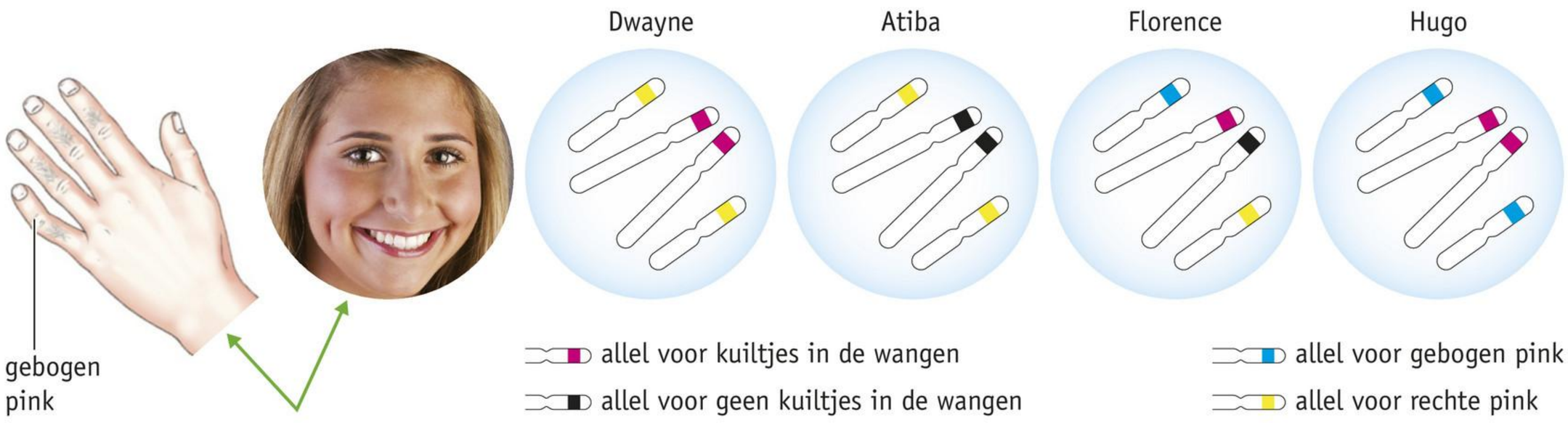
Als twee allelen van een genenpaar beide tot uiting komen in het fenotype, gebruik je een andere schrijfwijze. Een rood leeuwenbekje bijvoorbeeld, geef je aan met A^rA^r, een wit leeuwenbekje met A^wA^w en een roze leeuwenbekje met A^rA^w.

Opdrachten KENNIS

16 In afbeelding 11 zie je de lichaamscellen van vier personen schematisch getekend. Twee erfelijke eigenschappen bij mensen zijn kuiltjes in de wangen bij het lachen en een gebogen pink. Bij sommige mensen komt een gebogen pink voor, waarbij het bovenste kootje van de pink naar binnen wijst. Van deze twee eigenschappen zijn de allelen aangegeven die in de chromosomen kunnen liggen. Van Florence is ook een deel van haar fenotype weergegeven.

- **a** Geef aan welke personen homozygoot zijn voor zowel de eigenschap kuiltjes in de wang als voor de eigenschap vorm van de pink.
- **b** Welk allel voor de vorm van de pink is dominant? Leg je antwoord uit.
- **c** Leidt uit het fenotype en genotype van Florence af of het allel voor kuiltjes in de wangen dominant of recessief is.
- **d** Wie heeft er kuiltjes in de wangen? En wie heeft een rechte pink?
- **e** Geef met letters de genotypen van de vier personen aan. Gebruik daarbij Q en q voor de aanwezigheid van kuiltjes in de wangen en R en r voor de vorm van de pink.

■ **Afb. 11** Florence heeft een gebogen pink en kuiltjes in haar wangen (fenotype).

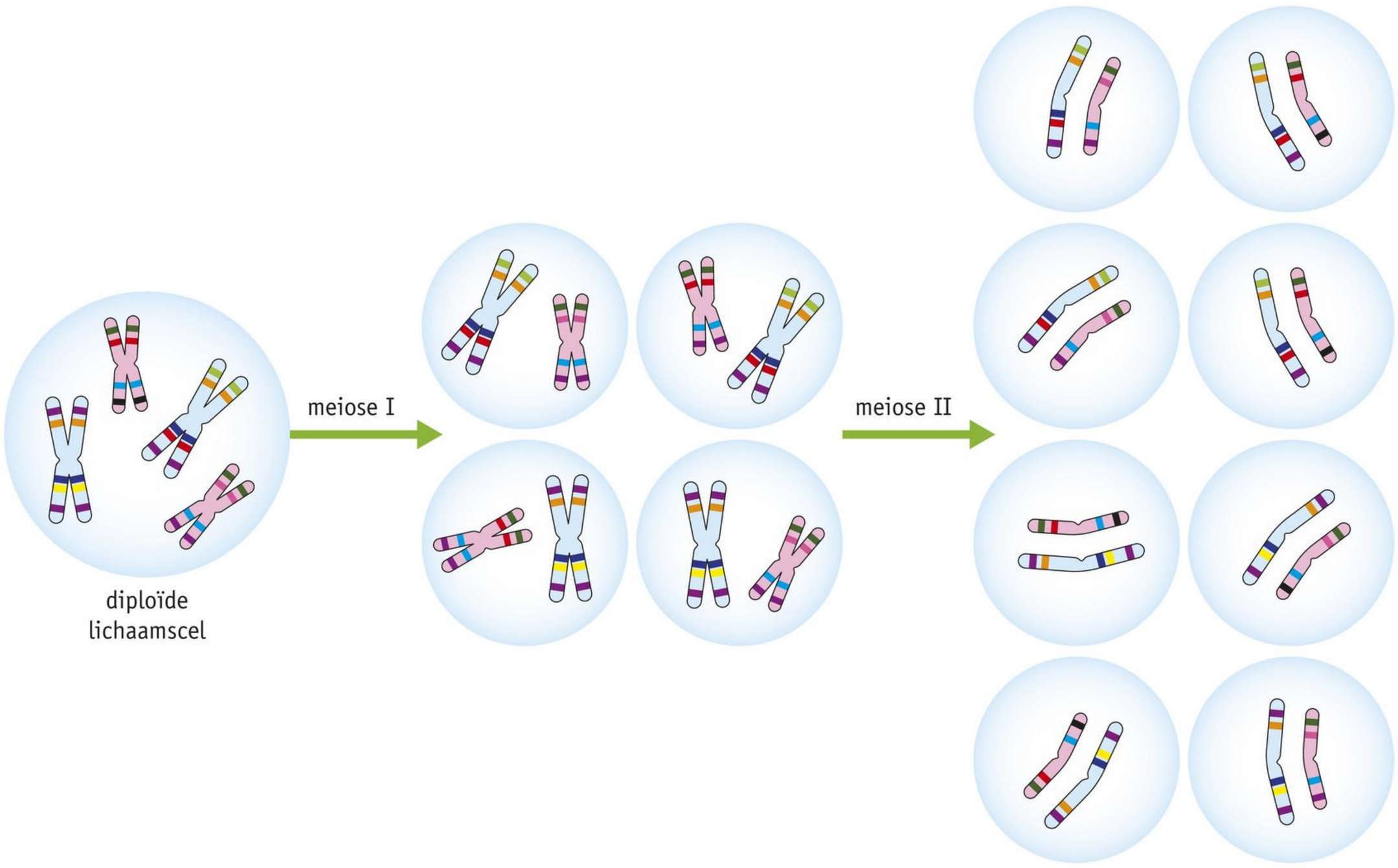


RECOMBINATIE EN MUTATIE

Het herverdelen van erfelijke eigenschappen heet **recombinatie**. Recombinatie vindt plaats bij geslachtelijke voortplanting. Hierdoor ontstaan nakomelingen met nieuwe genotypen.

De geslachtscellen (gameten) voor geslachtelijke voortplanting ontstaan door meiose. Tijdens meiose I gaan de chromosomen van een chromosomenpaar uit elkaar en worden de chromosomen met hun genen willekeurig over de dochtercellen verdeeld. Uit diploïde moedercellen (2*n*) ontstaan zo haploïde geslachtscellen (*n*).

■ **Afb. 12** Recombinatie van allelen door de vorming van geslachtscellen.

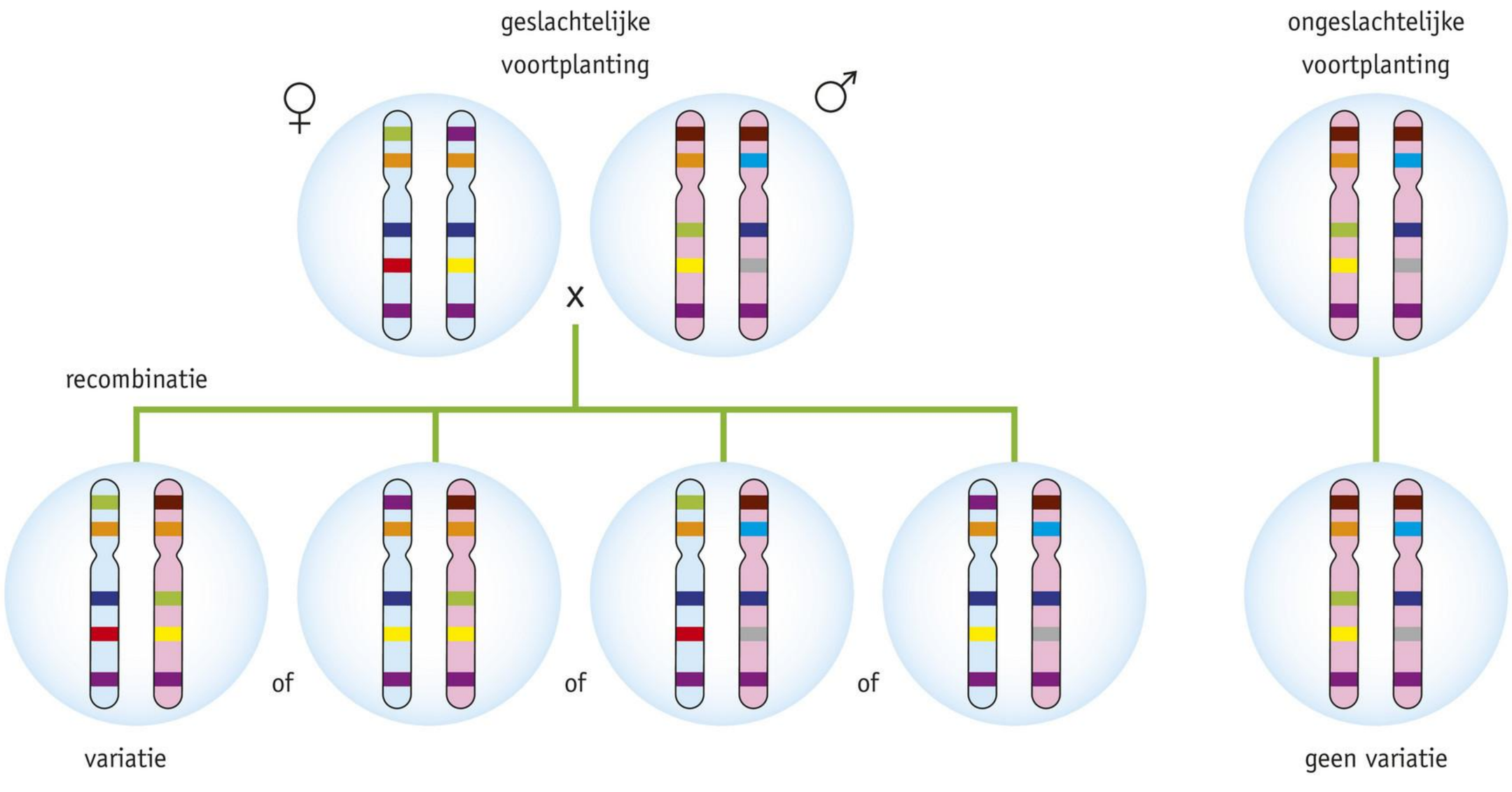


Een chromosomenpaar bevat veel genenparen. Bij alle soorten organismen liggen op elk chromosomenpaar genenparen die kunnen bestaan uit twee gelijke of uit twee ongelijke allelen. Doordat de allelen in de chromosomen van een chromosomenpaar vaak ongelijk zijn, heeft elk chromosoom een unieke combinatie van allelen. Dit noem je een **haplotype** (het haploïde genotype). Het haplotype is een groep (set) allelen die een organisme samen van één ouder overerft. Zoals bijvoorbeeld de allelen op één chromosoom.

Na de meiose zijn de chromosomen willekeurig over de geslachtscellen van een organisme verdeeld. Die hebben hierdoor verschillende genotypen met een bepaalde combinatie van allelen. In afbeelding 12 is weergegeven hoe meiose van een cel met twee chromosomenparen vier verschillende combinaties van chromosomen in de geslachtscellen kan opleveren. Bij 23 chromosomenparen kunnen er 2^{23} = 8 388 608 verschillende combinaties van chromosomen in de geslachtscellen ontstaan. Welke chromosomen de geslachtscellen bij de bevruchting bevatten, is afhankelijk van het toeval.

Bij de bevruchting versmelt een vrouwelijke geslachtscel met een mannelijke geslachtscel. De chromosomen met daarop de allelen van beide ouders komen bij elkaar en er ontstaat een diploïde zygote. Door recombinatie hebben nakomelingen een andere combinatie van allelen dan de beide ouders (zie afbeelding 13). De verschillende nakomelingen van een ouderpaar hebben vrijwel altijd verschillende genotypen.

■ **Afb. 13** Genetische variatie door geslachtelijke voortplanting.



Door recombinatie van allelen ontstaat een grote verscheidenheid in genotypen binnen een soort. Dit leidt tot een grote **genetische variatie**. Hierdoor heeft de soort een grote overlevingskans. Als de milieuomstandigheden veranderen, is de kans groot dat enkele individuen een genotype bezitten met goede aanpassingsmogelijkheden voor de nieuwe omstandigheden. Genetische variatie komt niet alleen door recombinatie van allelen tot stand, maar ook door mutaties. **Mutaties** zijn veranderingen in het DNA. Hierdoor kunnen erfelijke eigenschappen veranderen.

TWEELINGEN

Na de versmelting van een spermacel en een eicel ontstaat een zygote. Door klievingsdelingen van de zygote ontstaat een klompje cellen. De cellen hebben allemaal hetzelfde genotype als de bevruchte eicel waaruit ze zijn ontstaan. Bij het ontstaan van een eeneiige tweeling splitst het klompje cellen zich op een bepaald moment in twee klompjes. Deze klompjes cellen ontwikkelen zich tot twee individuen die precies hetzelfde genotype in alle lichaamscellen hebben.

Een twee-eiige tweeling ontstaat doordat er bij de ovulatie twee eicellen vrijkomen die ieder door een spermacel worden bevrucht. De allelen in de twee spermacellen zijn niet hetzelfde. Ook de allelen in de twee eicellen zijn niet gelijk. Bij de bevruchting ontstaan dan ook twee zygoten met een verschillend genotype. De leden van een twee-eiige tweeling lijken daardoor net zoveel op elkaar als andere broers en zussen.

Opdrachten KENNIS

17 Het allel voor een normale sinaasappel (B) is dominant over het allel voor een navelsinaasappel (b) (zie afbeelding 14).

a Geef het genotype van een navelsinaasappel weer.

b Een pitje van een heterozygote normale sinaasappel wordt geplant. Hieruit groeit een sinaasappelboom (*Citrus sinensis*) waaraan op een bepaald moment bloemen bloeien.
Welke allelen kunnen er voorkomen in de stuifmeelkorrels van de bloemen?

■ **Afb. 14** Een navelsinaasappel.



18 Bij mensen is het allel voor rechtshandigheid (A) dominant over het allel voor linkshandigheid (a). Nadine is linkshandig. Haar vader is ook linkshandig.

a Is de vader van Nadine homozygoot of heterozygoot voor linkshandigheid? Leg je antwoord uit.

b De moeder van Nadine is rechtshandig.
Is de moeder van Nadine homozygoot of heterozygoot voor rechtshandigheid? Leg je antwoord uit.

c Carmen is de tweelingzus van Nadine. Zij vormen een eeneiige tweeling.
Welk genotype en fenotype heeft Carmen voor de eigenschap linkshandigheid/rechtshandigheid? Leg je antwoord uit.

Opdrachten INZICHT

19 Voor een fruitvlieg geldt: $n = 4$.
Hoeveel verschillende genotypen kunnen de geslachtscellen van een fruitvlieg bevatten door recombinatie van allelen?

20 Bij katten kan een allel C de kleur van de vacht beïnvloeden (zie afbeelding 15). Het allel C^{ch} bevat de informatie voor het enzym tyrosinase, dat nodig is voor de vorming van het pigment eumelanine. Eumelanine geeft de zwarte kleur aan de vacht. Dit enzym wordt inactief bij temperaturen boven 33 °C. In de uiteinden van een kat is het koeler dan 33 °C, maar de romp, nek en een deel van de kop zijn warmer dan 33 °C. Op deze plaatsen is geen eumelanine in de vacht aanwezig.
Allel C^{b} is minder pigmentremmend dan allel C^{ch}. De allelen C^{b} en C^{ch} zijn even 'sterk'.
Bekijk de drie katten in afbeelding 15.

a Welke genotypen hebben de drie katten?

b Welke kat heeft een intermediair fenotype?

c Soms wordt een kat met het genotype van een Siamese kat aangezien voor een Tonkinese kat. Leg dat uit.

■ **Afb. 15** Intermediaire overerving bij katten.



1 Birmese kat **2** Tonkinese kat **3** Siamese kat

21 Als 72% van alle tweelingen bestaat uit paren van hetzelfde geslacht, hoe groot is dan ongeveer het percentage eeneiige tweelingen? Leg je antwoord uit.

22 Een veredelaar heeft meerdere keren tulpen met verschillende eigenschappen gekruist om de rood-witte papegaaitulp van afbeelding 16 te verkrijgen. Voor elke kruising zocht hij steeds twee tulpen met bepaalde eigenschappen uit en bracht vervolgens het stuifmeel van de ene tulp over op de stempel van de andere tulp.

a Leg uit hoe hierdoor een nieuwe variant van een tulp ontstaat.

b De veredelaar verwijdert al een aantal dagen voor de bestuiving de meeldraden uit de tulp die hij gaat bestuiven.
Leg uit waarom de veredelaar de meeldraden een aantal dagen voor de bestuiving moet verwijderen.

c De papegaaitulp in afbeelding 16 is heterozygoot voor de bloemkleur.
Hoe kun je dat zien aan het fenotype van de tulp?

■ **Afb. 16** Papegaaitulp.



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

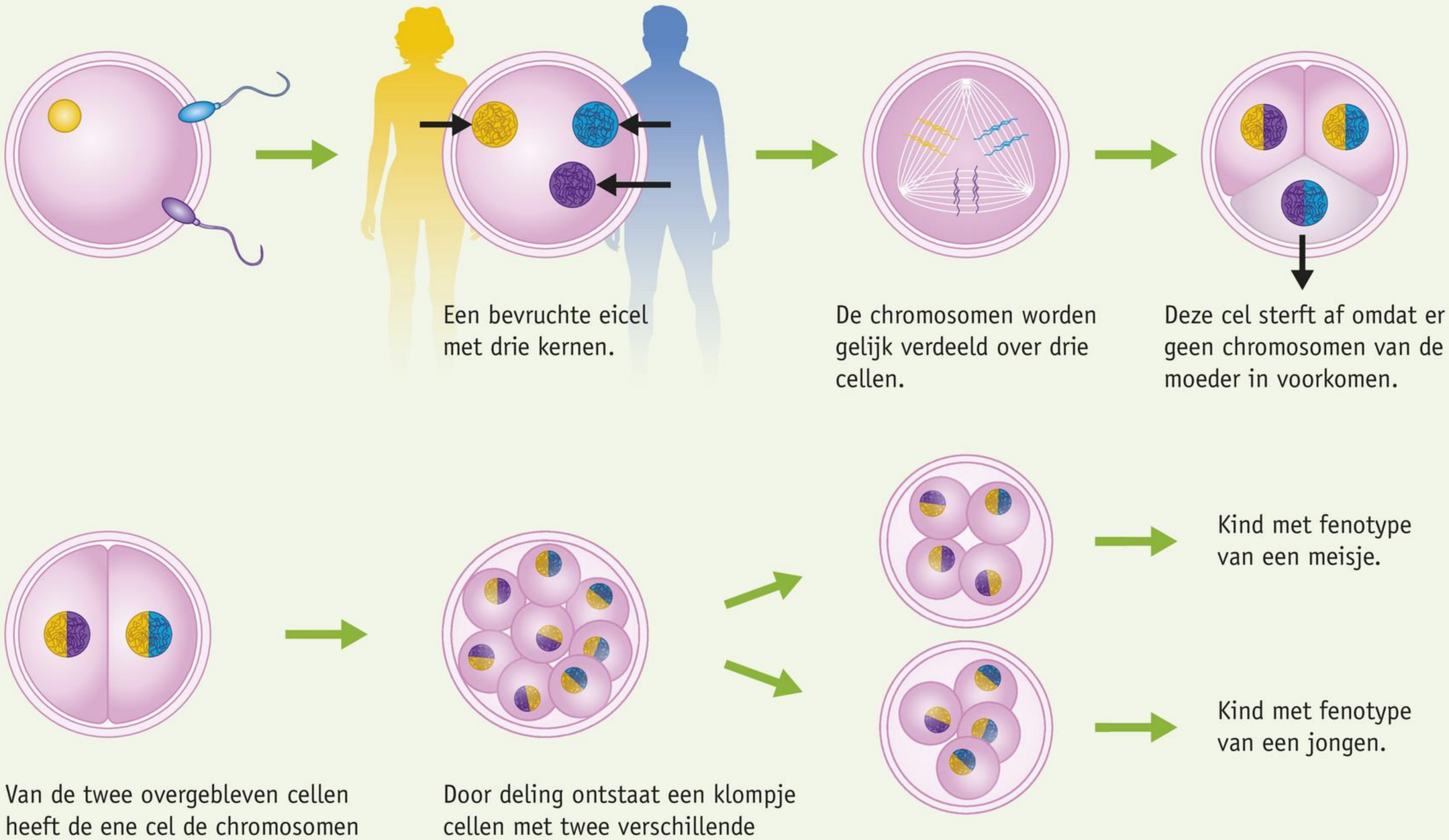
Context Wetenschap

EEN ONMOGELIJKE EENEIIGE TWEELING

In zeldzame gevallen gaat de recombinatie van erfelijke eigenschappen bij geslachtelijke voortplanting anders dan normaal. Zo ontdekten artsen bij een 14 weken-echo dat een 28-jarige vrouw zwanger was van een eeneiige tweeling, waarvan het ene kind een jongen leek te zijn en het andere een meisje. En dat is onmogelijk in het geval van een eeneiige tweeling.

Halverwege de zwangerschap werd een vruchtwaterpunctie uitgevoerd om de genotypen van de kinderen te kunnen bepalen. Uit dat onderzoek bleek dat het genetisch materiaal dat de kinderen van hun moeder hadden gekregen voor 100% overeenkomt, maar dat van hun vader maar voor 78%. Volgens de artsen lijkt het erop dat de eicel is bevrucht door twee spermacellen. De triploïde (3*n*) embryo's die dan ontstaan, blijven normaal gesproken niet in leven. Maar in dit geval zijn bij de deling van de bevruchte eicel niet twee, maar drie cellen ontstaan en zijn de chromosomen uit de twee spermacellen gelijk verdeeld over deze drie cellen (zie afbeelding 17). Een van deze cellen bevatte alleen chromosomen van de vader. Een cel waarin geen chromosomen van de moeder voorkomen, sterft af. De andere twee cellen deelden zich verder tot een klompje cellen, dat zich op een bepaald moment heeft gesplitst, zodat er een eeneiige tweeling is ontstaan. Een deel van de lichaamscellen van ieder kind bezit hierdoor chromosomen van de eerste spermacel en het andere deel van de tweede spermacel. Het ene kind heeft meer cellen van het ene genotype en het andere kind heeft meer cellen van het andere genotype. De kinderen zijn daarom niet identiek.

■ **Afb. 17** Het ontstaan van een onmogelijke eeneiige tweeling.



Opdrachten

23 De tweeling in de context is een sesquizygote tweeling. Sesqui is Latijn voor anderhalf.

- **a** Verklaar deze benaming.
- **b** Hoeveel procent van het totale DNA in de sesquizygote tweeling komt overeen?
- **c** Hoeveel verschillende haplotypen komen er voor in de lichaamscellen van de kinderen? Verklaar je antwoord.

24 Alle lichaamscellen van de kinderen van de sesquizygote tweeling bezitten 23 paar chromosomen. Maar ze bevatten niet allemaal dezelfde homologe chromosomen en dezelfde geslachtschromosomen. Beide kinderen hebben bijvoorbeeld cellen met XX en cellen met XY.

- **a** Welk geslachtschromosoom bevatten de twee spermacellen die de eicel hebben bevrucht waaruit de sesquizygote tweeling is ontstaan?
- **b** Hoewel de kinderen van de sesquizygote tweeling beiden cellen hebben met XX en XY ontwikkelden ze zich fenotypisch tot een meisje en een jongen. Bij het meisje zijn op driejarige leeftijd haar eierstokken verwijderd, omdat ze niet ontwikkeld waren. Wat bepaalt dat het ene kind fenotypisch een jongen wordt en het andere kind fenotypisch een meisje? Leg je antwoord uit.

3 MONOHYBRIDE KRUISINGEN

LEERDOELEN

3.3.1 Je kunt een kruisingsschema opstellen van een monohybride kruising.

3.3.2 Je kunt de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden uit een kruisingsschema of stamboom van een monohybride kruising.

- Practicum 1

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.3.1	**3.3.2**
Begrijpen	25, 27	26
Toepassen	30a, 31a, 32ab, 33	
Analyseren	28, 29, 30b, 31bc	32c, 34

Door kruisingsexperimenten uit te voeren, kun je bestuderen hoe een erfelijke eigenschap van generatie op generatie wordt doorgegeven. Je kunt dan ook ontdekken in welke verhouding de eigenschap in de genotypen van de volgende generatie voorkomt en welke fenotypen dat zal opleveren.

MONOHYBRIDE KRUISINGEN

Kruisingen vinden plaats door geslachtelijke voortplanting. Je kunt bij kruisingen de overerving van erfelijke eigenschappen van ouders naar nakomelingen volgen. Bij een **monohybride kruising** volg je de overerving van één erfelijke eigenschap waarbij één allelenpaar is betrokken. Je kunt dan de kans op een bepaald genotype of fenotype bij de nakomelingen bepalen.

In werkelijkheid komen veel eigenschappen tot stand door de samenwerking van meerdere genen (polygene overerving). Zo worden bijvoorbeeld de huidskleur en de oogkleur van de mens door meerdere genen beïnvloed. Dit levert veel verschillende fenotypen op.

De ouders geef je bij kruisingen aan met de letter P (*Parentes* = ouders in het Latijn). De nakomelingen geef je aan met F_1 (*Filii* = kinderen in het Latijn; 1 = eerste generatie). Als de nakomelingen van de F_1 zich onderling voortplanten, ontstaat hieruit een tweede generatie nakomelingen, die je aangeeft met F_2. Bij planten kan de F_2 ook ontstaan na zelfbestuiving van de planten in de F_1. Dan wordt stuifmeel van meeldraden overgebracht op de stempels van bloemen die aan dezelfde plant bloeien.

KRUISINGSVRAAGSTUKKEN

In de genetica worden kruisingsvraagstukken opgelost om te kunnen bepalen op welke manier bepaalde erfelijke eigenschappen aan de nakomelingen worden doorgegeven. Een voorbeeld van een kruisingsvraagstuk: bij labrador-retrievers (zie afbeelding 18) is het allel voor zwarte haarkleur (B) dominant over het allel voor bruine haarkleur (b). Een zwartharig labradorvrouwtje (teef), die homozygoot is voor de haarkleur, wordt een aantal malen gekruist met een homozygoot bruinharig labradormannetje (reu). De dieren in de F_1 planten zich onderling voort. Welke haarkleur kunnen de puppy's in de F_2 hebben? Hoe groot is de kans op een bepaalde haarkleur?

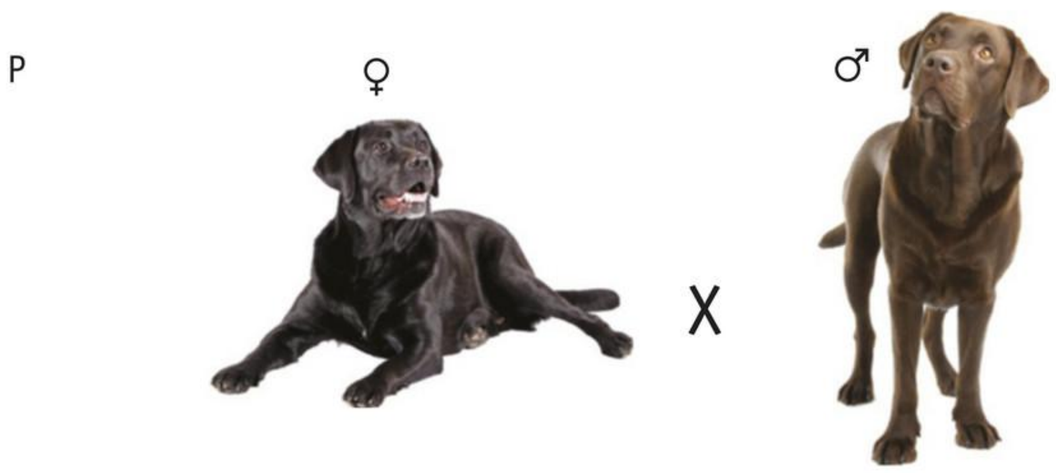
Je lost een kruisingsvraagstuk in stappen op. Bij elke kruising beantwoord je de volgende drie vragen.

1 *Wat zijn de genotypen van de ouders? Geef deze genotypen in een kruising weer.*
De ouderdieren (P) zijn homozygoot zwartharig (BB) en homozygoot bruinharig (bb). De kruising is dan: ♀ BB × ♂ bb.

2 *Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?*
In geslachtscellen komen allelen enkelvoudig voor. Elke eicel die de teef (BB) produceert, bevat allel B. Elke spermacel die de reu (bb) produceert, bevat allel b.

3 *Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eicelkern en een spermacelkern voor de nakomelingen in de F_1?*
Bij bevruchting versmelt de kern van een eicel (met allel B) met de kern van een spermacel (met allel b). De puppy die zich uit deze zygote ontwikkelt, is zwartharig (Bb). Andere mogelijkheden zijn er bij deze kruising niet. Alle dieren in de F_1 zijn heterozygoot zwartharig doordat alleen het dominante allel (B) tot uiting komt in het fenotype (zie afbeelding 18).

■ **Afb. 18** Van P- naar F_1-generatie bij een monohybride kruising.



De dieren uit de F_1 van deze kruising planten zich onderling voort.

1 Wat zijn de genotypen van de ouders? Geef deze genotypen in een kruising weer.

De ouderdieren (F_1) zijn beide heterozygoot zwartharig (Bb). De kruising is dan: ♀Bb × ♂Bb.

2 Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?

Een eicel die de teef (Bb) produceert, kan allel B of allel b bevatten. Een spermacel die de reu (Bb) produceert, kan ook allel B of allel b bevatten.

3 Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eicelkern en een spermacelkern voor de nakomelingen in de F_2?

Bij bevruchting zijn er vier mogelijkheden. Elke mogelijkheid heeft een even grote kans om voor te komen. De kans voor elke mogelijkheid is ¼ of 25%:

- Een eicel met allel B wordt bevrucht door een spermacel met allel B.
- Een eicel met allel B wordt bevrucht door een spermacel met allel b.
- Een eicel met allel b wordt bevrucht door een spermacel met allel B.
- Een eicel met allel b wordt bevrucht door een spermacel met allel b.

Om dit overzichtelijk te noteren, gebruik je een **kruisingsschema**. De allelen in de eicellen zet je boven in het schema en de allelen in de spermacellen links in het schema (zie afbeelding 19).

■ **Afb. 19** Van F_1- naar F_2-generatie bij een monohybride kruising.

F_2	allel in eicel ♀ / ♂	B	b
allel in zaadcel	B	 BB	 Bb
allel in zaadcel	b	 Bb	 bb

2 ORGANEN, WEEFSELS EN CELLEN

LEERDOELEN

1.2.1 Je kunt orgaanstelsels, organen, weefsels en cellen bij een mens herkennen en hun kenmerken en functies beschrijven.

1.2.2 Je kunt beschrijven dat groepen cellen in een weefsel, orgaan of orgaanstelsel een gezamenlijke functie uitoefenen.

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

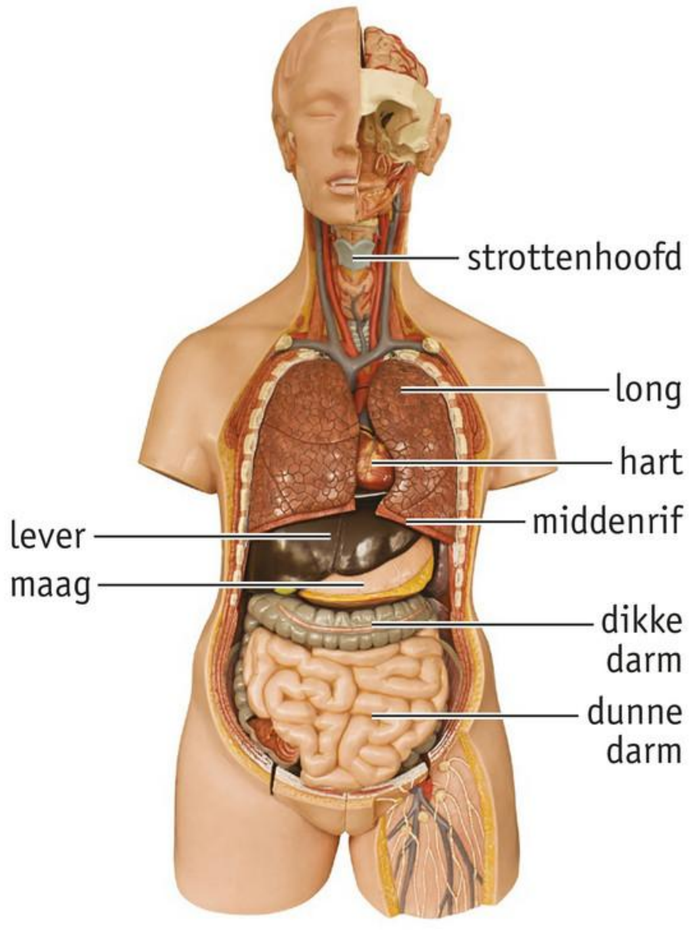
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	1.2.1	**1.2.2**	**1.2.3**
Begrijpen	22, 23, 24, 29	25, 26	27, 28, 30, 31
Toepassen	32a, 41	34, 35	32b, 38, 40, 42
Analyseren	33	36	37, 39

Stel dat je vanuit het heelal naar de aarde kijkt en steeds verder kunt inzoomen. Wanneer je uitkomt bij een mens, zoom je nog verder in op zijn lichaam. Wat zie je dan?

ORGAANSTELSELS MET ORGANEN

Een orgaanstelsel bestaat uit een aantal organen die samen een bepaalde functie uitoefenen. Voorbeelden van orgaanstelsels zijn het verteringsstelsel, het ademhalingsstelsel en het bloedvatenstelsel. In afbeelding 8 zie je een torso van een vrouw waarbij de ribben zijn weggenomen. Van verschillende organen is de naam aangegeven. Het middenrif scheidt de romp in de borstholte en de buikholte en is betrokken bij de ademhaling. In afbeelding 9 zie je twee dwarsdoorsneden van de romp van een mens.

■ **Afb. 8** Torso van een vrouw.



Opdrachten KENNIS

25 Bekijk afbeelding 19.

a Wat is de kans dat een puppy in de F_2 genotype BB heeft?

b Welk fenotype voor de haarkleur heeft deze puppy?

c Wat is de kans dat een puppy in de F_2 genotype bb heeft? Welk fenotype heeft deze puppy?

d Wat is de kans dat een puppy in de F_2 genotype Bb heeft? Welk fenotype heeft deze puppy?

e Wat is de kans dat een puppy in de F_2 zwartharig is? En hoe groot is de kans dat een puppy bruinharig is?

VERHOUDING VAN GENOTYPEN EN EEN TESTKRUISING

Bij monohybride kruisingen kunnen in de F_1 verschillende verhoudingen van genotypen en fenotypen voorkomen:

P: Aa × aa

- verhouding van genotypen in de F_1: Aa : aa = 1 : 1
- verhouding van fenotypen in de F_1: fenotype veroorzaakt door het dominante allel : fenotype veroorzaakt door het recessieve allel = 1 : 1

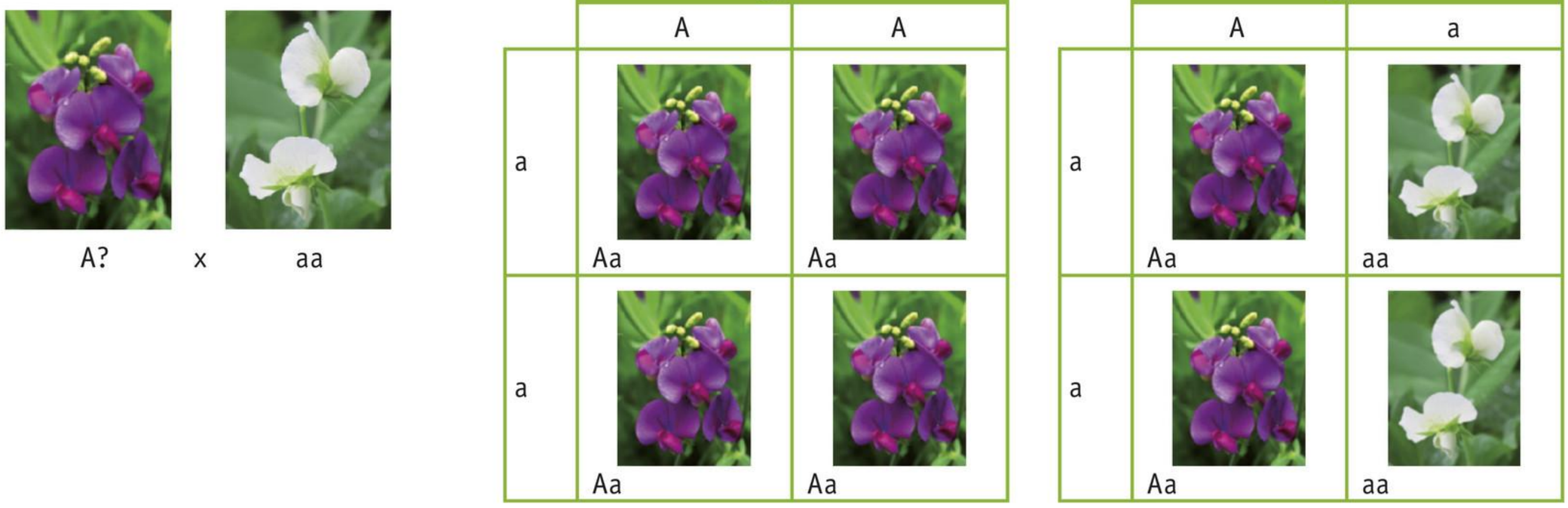
P: Aa × Aa

- verhouding van genotypen in de F_1: AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1
- verhouding van fenotypen in de F_1: fenotype veroorzaakt door het dominante allel : fenotype veroorzaakt door het recessieve allel = 3 : 1

Bij de kruising AA × aa komen in de F_1 alleen nakomelingen voor met het genotype Aa. Alle nakomelingen hebben dan hetzelfde fenotype.

Aan een organisme kun je niet zien of het homozygoot of heterozygoot is voor een dominant allel. Je kunt dit te weten komen door een testkruising uit te voeren (zie afbeelding 20). Bij een testkruising kruis je het organisme waarvan je het genotype wilt weten, met een homozygoot recessief organisme. Uit de verhouding van de verschillende fenotypen die voorkomen in de F_1 blijkt dan of het organisme homozygoot of heterozygoot is (zie afbeelding 20.2 en 20.3).

■ **Afb. 20** Een testkruising.



2 Als het organisme homozygoot is voor het allelenpaar, zal bij 100% van de nakomelingen in de F_1 het dominante allel tot uiting komen in het fenotype.

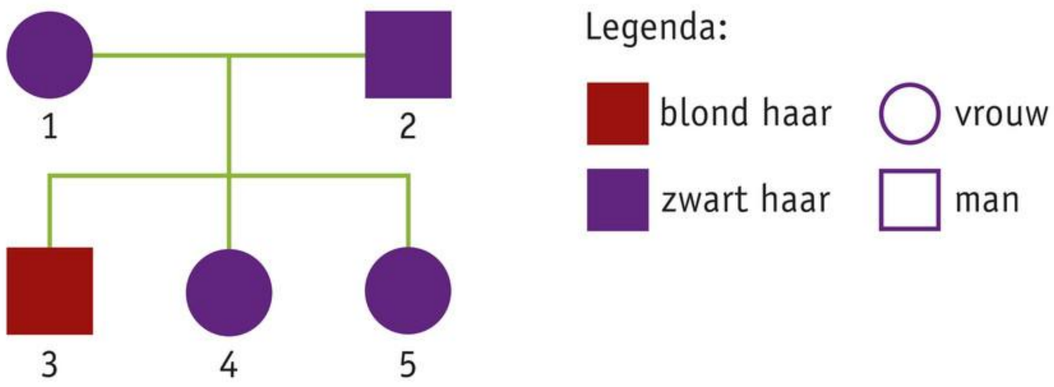
3 Als het organisme heterozygoot is voor het allelenpaar, zal bij 50% van de nakomelingen in de F_1 het dominante allel en bij 50% het recessieve allel tot uiting komen in het fenotype.

Een testkruising is alleen betrouwbaar als de F_1 uit een groot aantal nakomelingen bestaat. Wanneer er slechts enkele nakomelingen zijn, bepaalt het toeval wat de verhouding van genotypen en fenotypen in de F_1 is.

STAMBOMEN

Afbeelding 21 is een voorbeeld van een **stamboom**. Hieruit is af te lezen dat beide ouders en twee van de drie kinderen zwart haar hebben. Eén kind heeft blond haar. Uit de stamboom blijkt dat twee ouders met hetzelfde fenotype een of meer nakomelingen kunnen krijgen met een afwijkend fenotype. Dit is alleen mogelijk als beide ouders heterozygoot zijn (Aa) en de nakomeling(en) homozygoot recessief (aa).

■ **Afb. 21** Een stamboom.



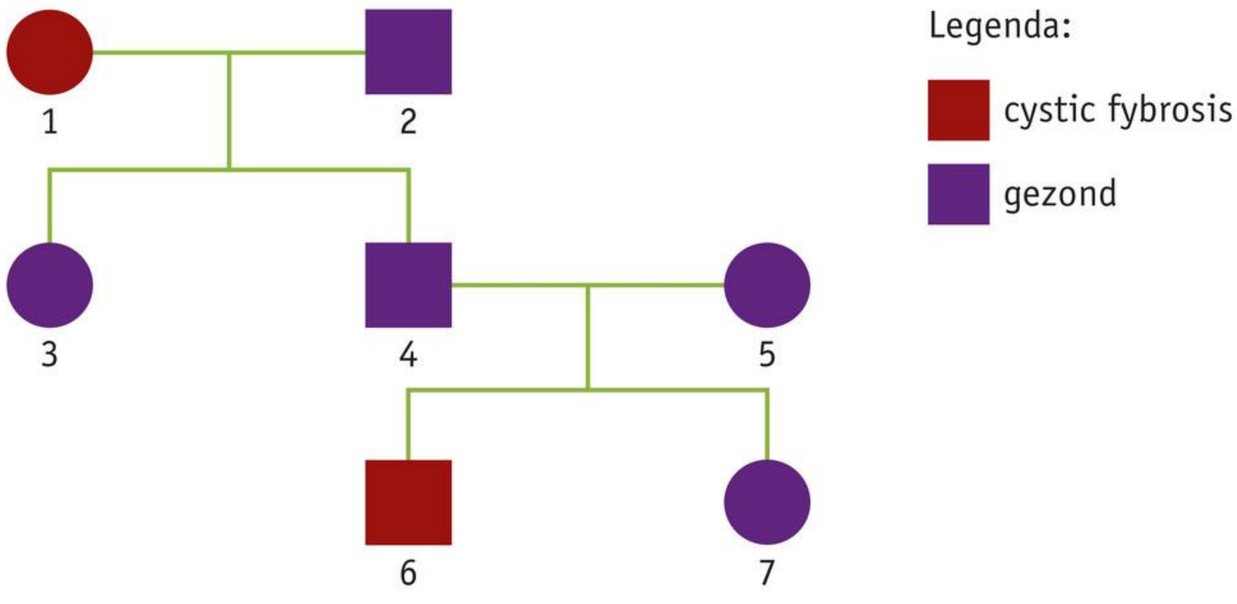
Opdrachten KENNIS

26 In afbeelding 22 zie je een stamboom van een familie waarin taaislijmziekte (CF) voorkomt.
Bij taaislijmziekte is het slijm in de luchtwegen en in de afvoerbuizen van klieren taaier en dikker dan normaal. Dat kan leiden tot chronische longinfecties, waardoor de longen steeds slechter gaan functioneren. CF wordt veroorzaakt door een recessief allel. Ongeveer een op de twintig personen bezit dit allel.

a Noteer de genotypen van de personen 4, 5 en 6.

b Noteer de genotypen van de personen 1, 2 en 3.

■ **Afb. 22** Stamboom van een familie waarin CF voorkomt.



27 Bij cavia's is het allel voor zwarte haarkleur (H) dominant over het allel voor witte haarkleur (h). Een zwarte cavia die homozygoot is voor de haarkleur, paart een aantal malen met een witte cavia. De nakomelingen in de F_1 paren onderling, waardoor een F_2 ontstaat. In afbeelding 23 is de kruising schematisch weergegeven.

a Maak het kruisingsschema voor de F_1 en voor de F_2.
b Hoe groot is de kans dat de tweede nakomeling in de F_2 zwartharig is?
c Er worden in totaal 44 dieren in de F_2 geboren.
Hoeveel van deze dieren zullen naar verwachting zwartharig zijn? En hoeveel witharig?
d Wat is de verhouding van genotypen in de F_2?
e Wat is de verhouding van fenotypen in de F_2?

■ **Afb. 23** Een kruising van een zwarte cavia met een witte cavia.

P



X



geslachtscellen ... X ...

F_1

geslachtscellen ... of ... X ... of ...

F_2

♀ / ♂	...	...
...	...	...
...	...	...

Opdrachten INZICHT

28 Bij labrador-retrievers komen allelen voor een zwarte (B) of een bruine (b) vachtkleur voor. Een hondenfokker heeft een labrador-retriever met een zwarte vacht. Het is niet bekend of de hond homozygoot of heterozygoot is voor de vachtkleur. De hondenfokker wil daarom een testkruising uitvoeren met de hond.
Welk genotype moet de andere hond hebben om het genotype van de zwarte labrador-retriever vast te kunnen stellen na een testkruising? Leg je antwoord uit.

29 In tabel 1 zie je de foutpercentages van een testkruising bij een verschillend aantal nakomelingen. Bij paarden is het allel voor donkere vachtkleur recessief ten opzichte van het allel voor blonde vachtkleur. Een merrie (♀) met een blonde vachtkleur wordt driemaal gekruist met een hengst (♂) met een donkere vachtkleur. Er worden in totaal drie veulens met een blonde vachtkleur geboren. Je kunt dan met een foutpercentage van 12,5% zeggen dat de merrie homozygoot is voor de eigenschap blonde vachtkleur.
In welk geval kan bij één nakomeling in de F_1 het foutpercentage van een testkruising toch 0% zijn?

Tabel 1 Foutpercentages bij een testkruising.

Aantal nakomelingen	Foutpercentage (%)
1	50
2	25
3	12,5
4	6,25
5	3,125

30 Radijsjes hebben allelen voor rode knolletjes (A^r) en allelen voor witte knolletjes (A^w). Radijsjes die heterozygoot zijn voor de kleur van de knolletjes, hebben paarse knolletjes (zie afbeelding 24). Bij een radijsje met paarse knolletjes vindt zelfbestuiving plaats. Er worden 56 zaden gevormd. Alle 56 zaden worden in de grond gestopt, ontkiemen en krijgen knolletjes.

a Maak een kruisingsschema van de zelfbestuiving van de paarse radijsjes.

b Geef aan hoeveel van de F_1-planten waarschijnlijk paarse knolletjes krijgen, hoeveel planten rode knolletjes en hoeveel planten witte knolletjes. Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 24** Rode, paarse en witte radijsjes.



31 De zaden van een erwtenplant zijn groen of geel. Uit een groen zaad en uit een geel zaad ontkiemen erwtenplanten. Deze erwtenplanten worden met elkaar gekruist. Er ontstaan 204 groene zaden en 187 gele zaden.

a Wat zijn de genotypen van de ouderplanten? Gebruik de letters G en g.

b Kun je uit deze gegevens afleiden welk allel dominant is: dat voor groene zaden of dat voor gele zaden?

c Uit twee andere groene zaden ontkiemen ook erwtenplanten. Als die met elkaar worden gekruist, ontstaan 298 groene zaden en 104 gele zaden.
Kun je hieruit afleiden welk allel dominant is: dat voor groene zaden of dat voor gele zaden? Leg je antwoord uit.

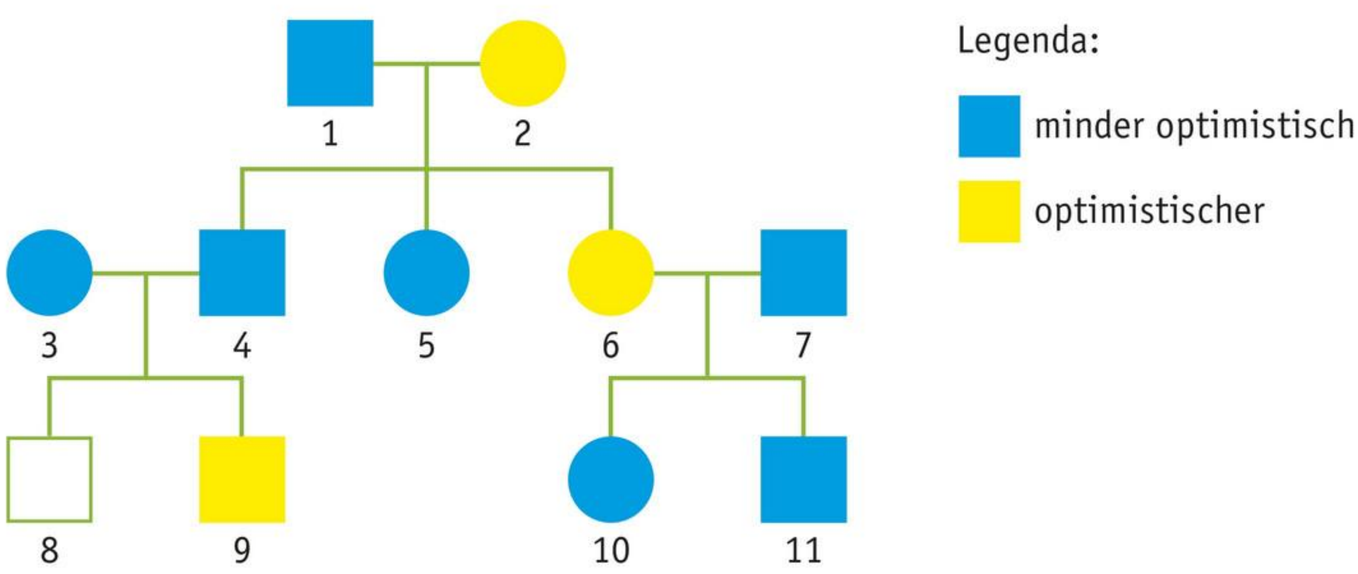
32 Op het 17e chromosoompaar bij mensen ligt het 5-HTTLPR-gen. Hiervan bestaat een kort en een lang allel. Mensen die homozygoot zijn voor het lange allel blijken gemiddeld optimistischer te zijn dan mensen met een of twee korte allellen. De lange variant (b) van het 5-HTTLPR-gen is recessief ten opzichte van de korte variant (B).
Een vrouw die behoort tot de groep die gemiddeld optimistischer is en een man die heterozygoot is voor het 5-HTTLPR-gen krijgen samen drie kinderen.

a Maak van deze kruising een kruisingsschema tot aan de F_1.

b Hoe groot is de kans dat het eerste kind van deze ouders behoort tot de groep die gemiddeld optimistischer is?

c Afbeelding 25 is een stamboom van een familie. De gele personen zijn gemiddeld optimistischer dan de blauwe personen.
Hoe groot is de kans dat persoon 8 behoort tot de groep die gemiddeld optimistischer is? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 25** Stamboom overerving 5-HTTLPR-gen in een familie.



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

Context Wetenschap

ZIEKTE VAN HUNTINGTON

De ziekte van Huntington is een ongeneeslijke erfelijke ziekte waarbij zenuwcellen in de hersenen beschadigd raken. Hierdoor worden onder andere het hersengebied dat beweging aanstuurt en de hersenschors aangetast. Bij mensen die aan de ziekte lijden komen in een periode van tien tot twintig jaar steeds meer onwillekeurige spierbewegingen en psychische veranderingen voor. Uiteindelijk kunnen ze niet meer lopen, praten, denken en redeneren en leidt de ziekte tot de dood.

De eerste symptomen van de ziekte van Huntington verschijnen meestal tussen het 35e en 50e levensjaar. De ziekte wordt veroorzaakt door te veel herhalingen van de stikstofbasen C, A en G binnen het huntingtine-gen (HHT-gen) dat verantwoordelijk is voor de productie van het eiwit huntingtine. Herhalingen van stikstofbasen (repeats) komen in het DNA van alle mensen voor. Te veel herhalingen kunnen een ziekte veroorzaken. Wanneer het HHT-gen in plaats van 10 tot 25 keer, 36 tot 120 voorkomt, vindt er een opeenstapeling plaats van het eiwit huntingtine. Hierdoor wordt het functioneren van zenuwcellen verstoord.

Opdrachten

33 Twee patiënten hebben symptomen die horen bij de ziekte van Huntington. Hun DNA wordt onderzocht. Bibi heeft een allel van het HHT-gen met 65 herhalingen en een allel van dit gen met 15 herhalingen. Nada heeft een allel met 24 herhalingen en een allel met 9 herhalingen.

a Is er bij deze patiënten sprake van de ziekte van Huntington? Leg je antwoord uit.

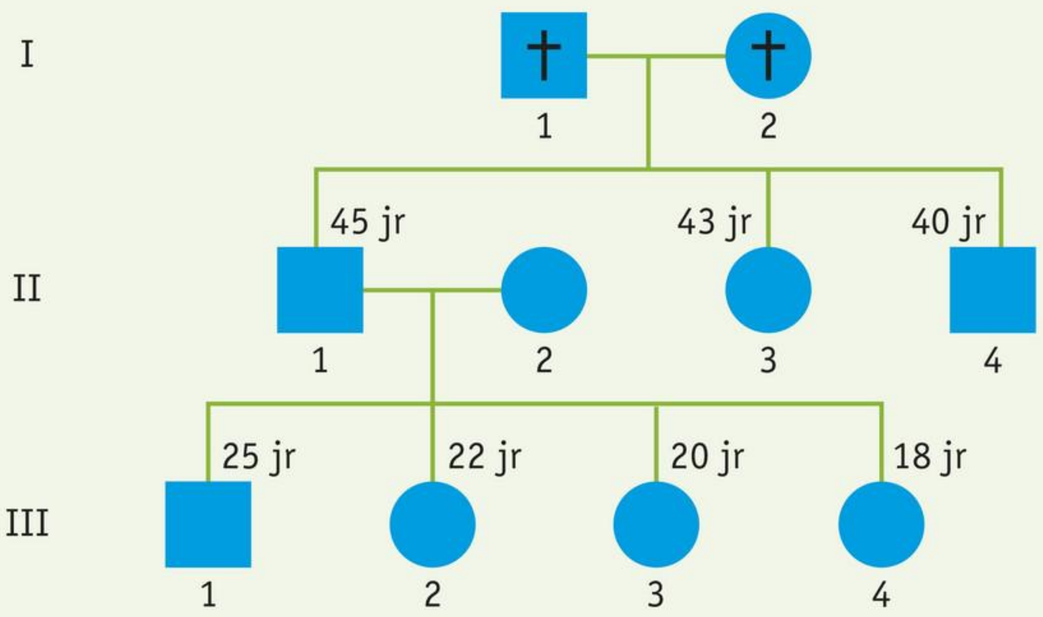
b Bij mensen is het allel dat de oorzaak is voor de ziekte van Huntington (H) dominant over het allel voor gezond huntingtine (h). Geef de genotypen van Bibi en Nada.

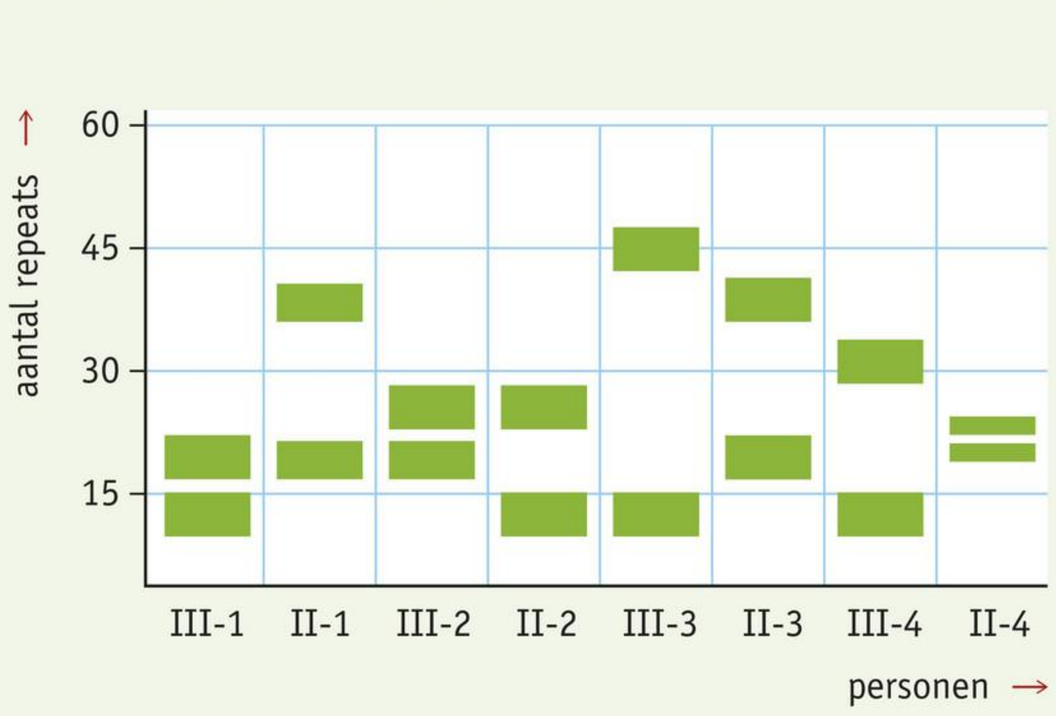
34 In afbeelding 26 zie je een stamboom van een familie waarin de ziekte van Huntington voorkomt, en een DNA-analyse van het HHT-gen van de personen uit deze familie. Van de grootouders, nummer I-1 en I-2, bestaat geen informatie over het DNA. Oma (nummer I-2) is overleden aan de ziekte van Huntington.

a Hoe groot is de kans dat een van haar kinderen (generatie II in de stamboom) de ziekte van Huntington krijgt? Leg je antwoord uit.

b Welke andere personen in deze familie hebben de ziekte van Huntington, of zullen in de toekomst de ziekte krijgen? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 26** Stamboom van een familie waarin de ziekte van Huntington voorkomt met een DNA-analyse van hun HHT-genen.





4 GESLACHTS-CHROMOSOMEN

LEERDOELEN

3.4.1 Je kunt beschrijven hoe door de overerving van geslachtschromosomen het geslacht van een mens wordt bepaald.

3.4.2 Je kunt een kruisingsschema opstellen voor X-chromosomale overerving en de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden uit een kruisingsschema, of uit stambomen over X-chromosomale overerving.

- Practicum 2

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.4.1	**3.4.2**
Begrijpen	35, 36	37, 38
Toepassen	43a, 44b	39a, 40
Analyseren	43bc, 44a	39b, 41, 42

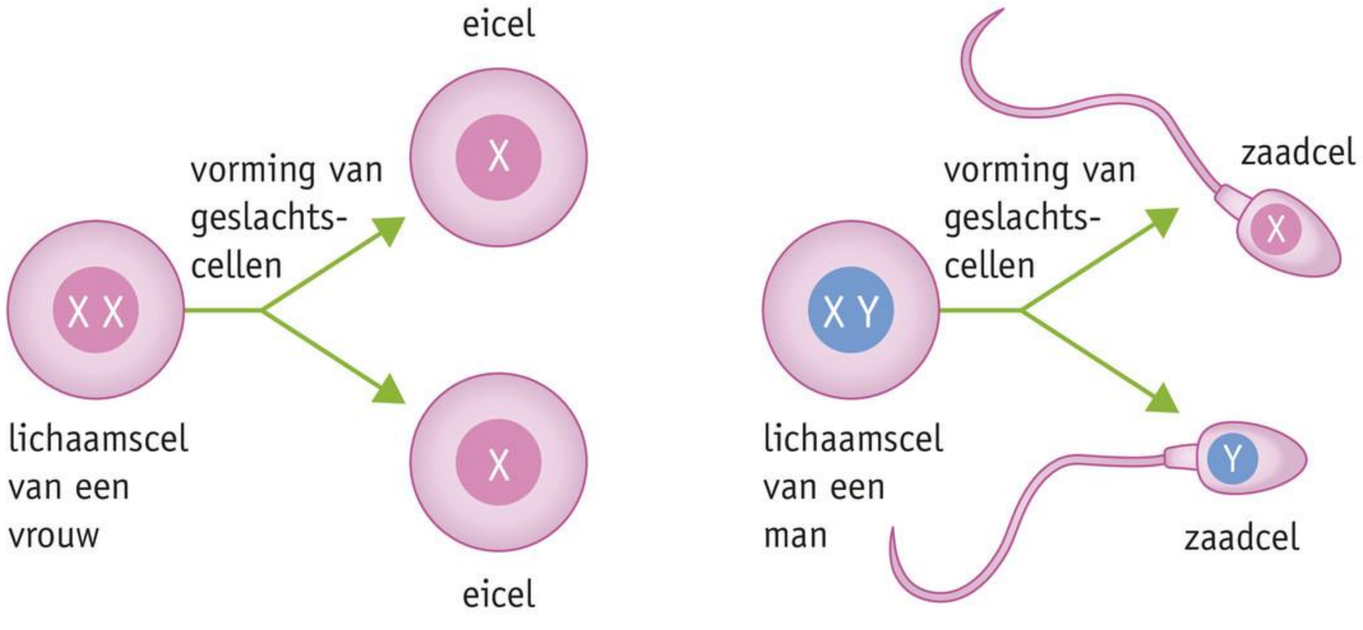
Thomas Morgan kruiste in 1910 fruitvliegjes. Hij liet een vrouwtje met rode ogen paren met een mannetje met witte ogen. Alle nakomelingen hadden rode ogen. Toen hij de nakomelingen onderling liet paren, ontdekte hij iets bijzonders: alle vliegjes met witte ogen waren mannetjes en alle vliegjes met rode ogen waren vrouwtjes.

GESLACHTSCHROMOSOMEN

Het karyotype van een organisme kun je ook als formule noteren. Eerst noteer je het aantal chromosomen dat in een celkern voorkomt en daarna noteer je welke geslachtschromosomen er voorkomen. Het normale karyotype voor een vrouw is bij mensen [46, XX] en voor een man [46, XY].

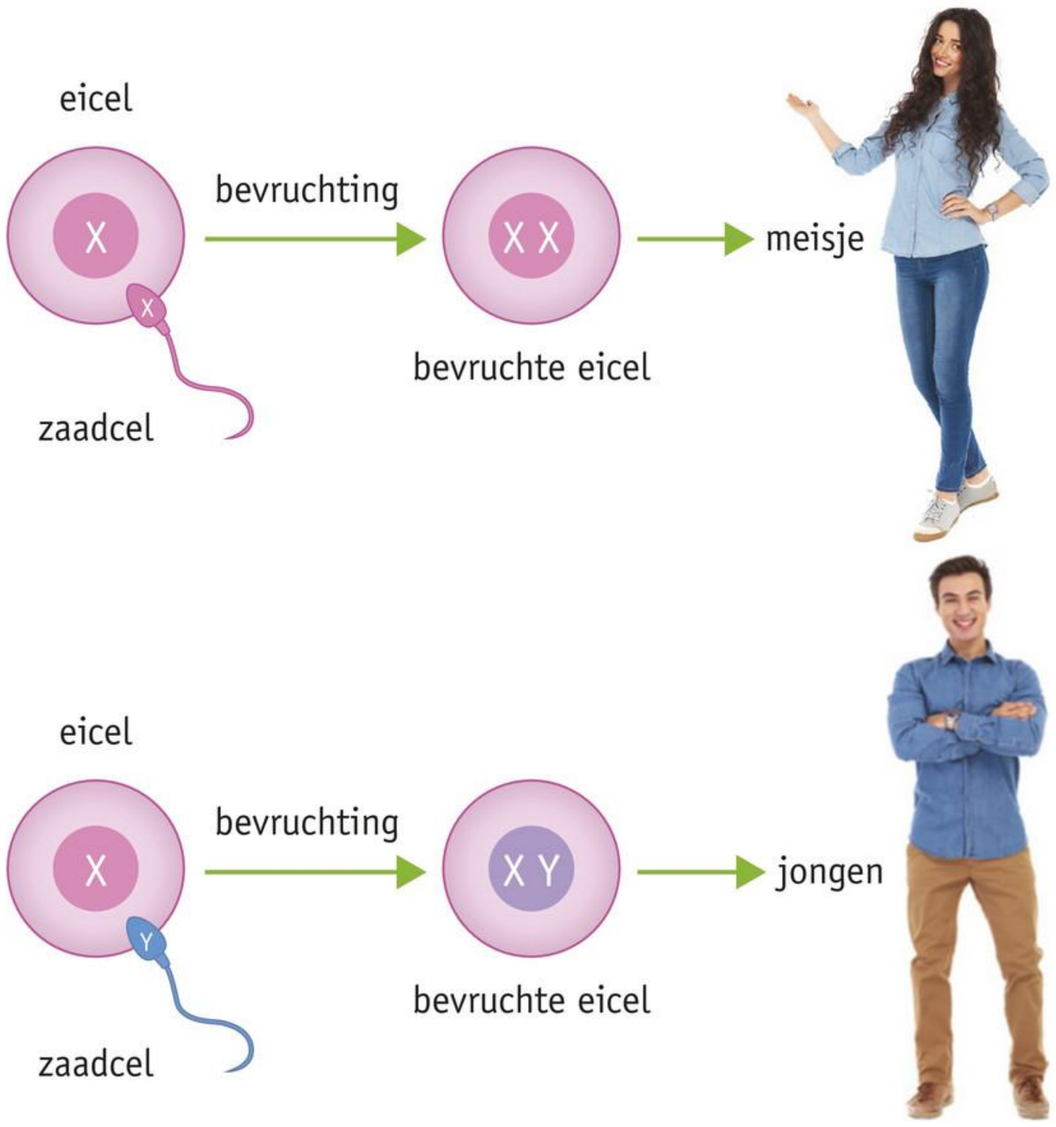
Geslachtscellen ontstaan door meiose. Hierdoor komen chromosomen in geslachtscellen enkelvoudig voor. Een geslachtscel bevat slechts een geslachtschromosoom. Een eicel van een vrouw bevat altijd een X-chromosoom. Een spermacel van een man kan een X-chromosoom of een Y-chromosoom bevatten (zie afbeelding 27).

■ **Afb. 27** Vorming van geslachtscellen.



Het geslacht van een mens komt bij de bevruchting vast te liggen en wordt bepaald door het geslachtschromosoom in de spermacel. Als bij bevruchting de kern van de spermacel een X-chromosoom bevat, ontstaat een zygote met twee X-chromosomen in de kern (XX). Hieruit ontwikkelt zich een meisje. Als de kern van de spermacel een Y-chromosoom bevat, ontstaat een zygote met een X-chromosoom en een Y-chromosoom in de kern (XY). Hieruit ontwikkelt zich een jongen (zie afbeelding 28).

■ **Afb. 28** Geslachtschromosomen bij bevruchting (schematisch).



Ook bij de meeste dieren bepaalt één chromosomenpaar het geslacht van het dier. Bij zoogdieren en bij fruitvliegjes hebben de vrouwtjes twee X-chromosomen en de mannetjes een X-chromosoom en een Y-chromosoom in elke lichaamscel. Bij vogels en enkele soorten vissen hebben de mannetjes twee X-chromosomen en de vrouwtjes een X-chromosoom en een Y-chromosoom in elke lichaamscel.

Opdrachten KENNIS

35 Bij chimpansees zijn de geslachtschromosomen X en Y op dezelfde wijze verdeeld als bij de mens. Voor chimpansees geldt $n = 24$.
Geef het karyotype van een chimpanseemannetje in een formule.

36 Bij de meeste sociale insecten (bijen, mieren) wordt het geslacht op een andere manier bepaald dan door geslachtschromosomen. Mannetjes van bladsnijmieren ontwikkelen zich uit onbevruchte eicellen. De vrouwelijke mieren (de werksters) ontstaan uit bevruchte eicellen. De koningin ontwikkelt zich ook uit een bevruchte eicel. Ze krijgt extra voeding van de werksters en is het grootst. Ze legt haar hele leven eieren. Voor een bepaalde soort bladsnijmieren geldt $n = 19$.

a Hoeveel chromosomen bevat de kern van een lichaamscel van een koningin?
b Hoeveel chromosomen bevat de kern van een lichaamscel van een mannetje?
c Hoeveel chromosomen bevat de kern van een spermacel van een mannetje?

X-CHROMOSOMALE OVERERVING

Homologe chromosomen bevatten allelen voor dezelfde erfelijke eigenschappen. Dat geldt ook voor de homologe geslachtschromosomen (XX) bij een vrouw. Het X- en het Y-chromosoom bij de man zijn niet homoloog. Het Y-chromosoom is veel korter en bevat daardoor minder erfelijke informatie. Het X- en het Y-chromosoom bevatten hierdoor niet dezelfde genen. Genen in geslachtschromosomen erven dan ook anders over dan genen in autosomen. Genen die alleen in het X-chromosoom voorkomen, noem je **X-chromosomaal**. Er ligt geen allel voor dit gen in het Y-chromosoom.

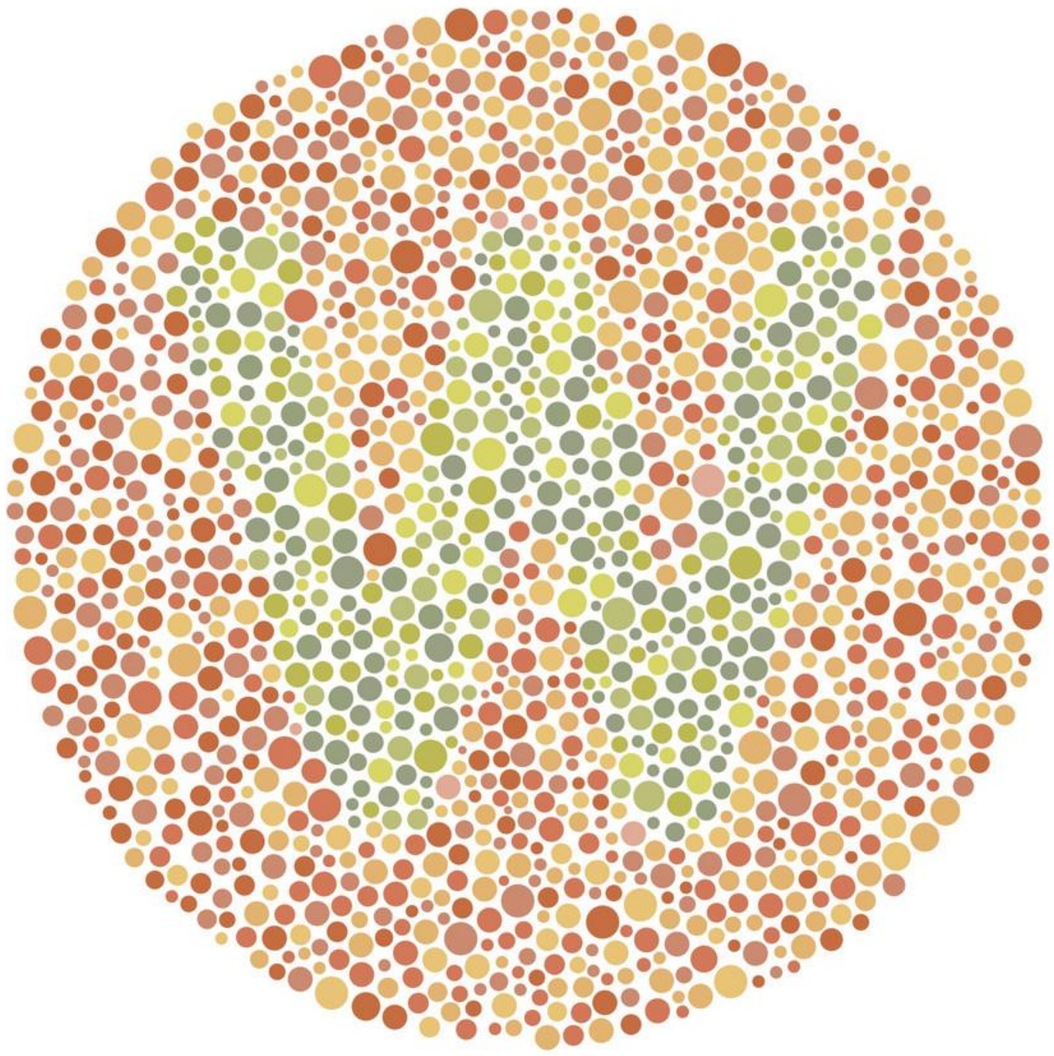
In een kruisingsschema geef je een dominant X-chromosomaal allel aan met X^A en een recessief X-chromosomaal allel met X^a. Voor een eigenschap die is veroorzaakt door een X-chromosomaal gen kan een vrouw homozygoot (X^AX^A of X^aX^a) of heterozygoot (X^AX^a) zijn. Een vrouw die hiervoor heterozygoot is, is een draagster. Een man heeft maar één X-chromosoom en kan voor een X-chromosomaal gen het genotype X^AY of X^aY hebben. De termen homozygoot en heterozygoot zijn hier niet van toepassing.

KLEURENBLINDHEID EN HEMOFILIE

Een voorbeeld van een X-chromosomaal gen bij de mens is het OPN1WL-gen. Dit gen is verantwoordelijk voor het zien van geeloranje licht en het maakt daardoor (samen met andere genen) het zien van kleuren mogelijk. Van het OPN1WL-gen komen allelen voor die rood-groenkleurenblindheid veroorzaken. Voor mensen met deze vorm van kleurenblindheid is het moeilijk of onmogelijk om onderscheid te maken tussen tinten rood, geel en groen (zie afbeelding 29). Mannen met het OPN1WL-allel dat rood-groenkleurenblindheid veroorzaakt zijn altijd rood-groenkleurenblind. Rood-groenkleurenblinde vrouwen zijn homozygoot recessief.

Ook bloederziekte of hemofilie wordt veroorzaakt door een X-chromosomaal gen. Bloederziekte komt vrijwel alleen bij mannen voor en is een aandoening waarbij het bloed niet goed kan stollen.

■ **Afb. 29** Test voor rood-groenkleurenblindheid.



Opdrachten KENNIS

37 Bij mensen is het allel voor rood-groenkleurenblindheid recessief en X-chromosomaal (X^r). Een man die alle kleuren kan zien en een vrouw die draagster is, krijgen een kind.

a Maak een kruisingsschema van deze kruising.

b Hoe groot is de kans dat er een rood-groenkleurenblinde dochter wordt geboren?

c Hoe groot is de kans dat een zoon rood-groenkleurenblind is?

38 Een man die rood-groenkleurenblind is en een vrouw die homozygoot is voor het allel dat het zien van rood-groenkleuren mogelijk maakt, krijgen samen een kind.

a Maak een kruisingsschema van deze kruising.

b Hoe groot is de kans dat er een rood-groenkleurenblind kind wordt geboren?

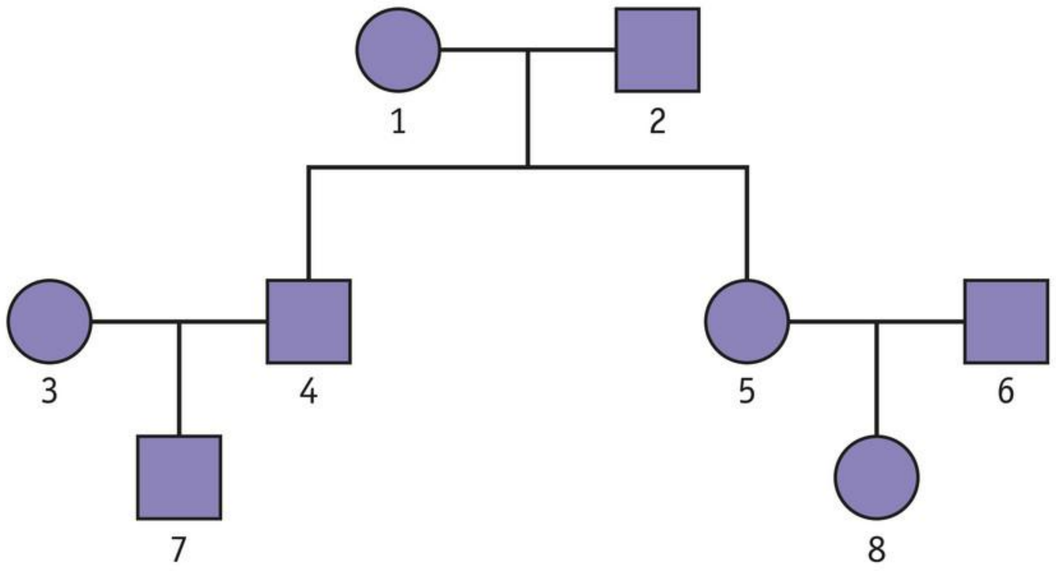
Opdrachten INZICHT

39 In afbeelding 30 zie je een stamboom van een familie waarin rood-groenkleurenblindheid voorkomt.

a Persoon 7 is rood-groenkleurenblind. Kun je met zekerheid zeggen of persoon 3 en/of persoon 4 rood-groenkleurenblind is? Leg je antwoord uit.

b Persoon 8 is ook kleurenblind. Kun je met zekerheid zeggen of persoon 5 en/of persoon 6 rood-groenkleurenblind is? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 30** Stamboom van een familie waarin rood-groenkleurenblindheid voorkomt.



40 Bij fruitvliegjes is het gen dat de oogkleur bepaalt X-chromosomaal. Het allel voor rode oogkleur (X^A) is dominant over het allel voor witte oogkleur (X^a).

a Een vrouwtje dat heterozygoot is voor de eigenschap rode ogen wordt gekruist met een mannetje met witte ogen. Wat is de verhouding van fenotypen voor de oogkleur in de F_1? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema.

b Een vrouwtje met witte ogen en een mannetje met rode ogen uit de F_1 worden gekruist.
Wat is de verhouding van fenotypen voor de oogkleur in de F_2? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema.

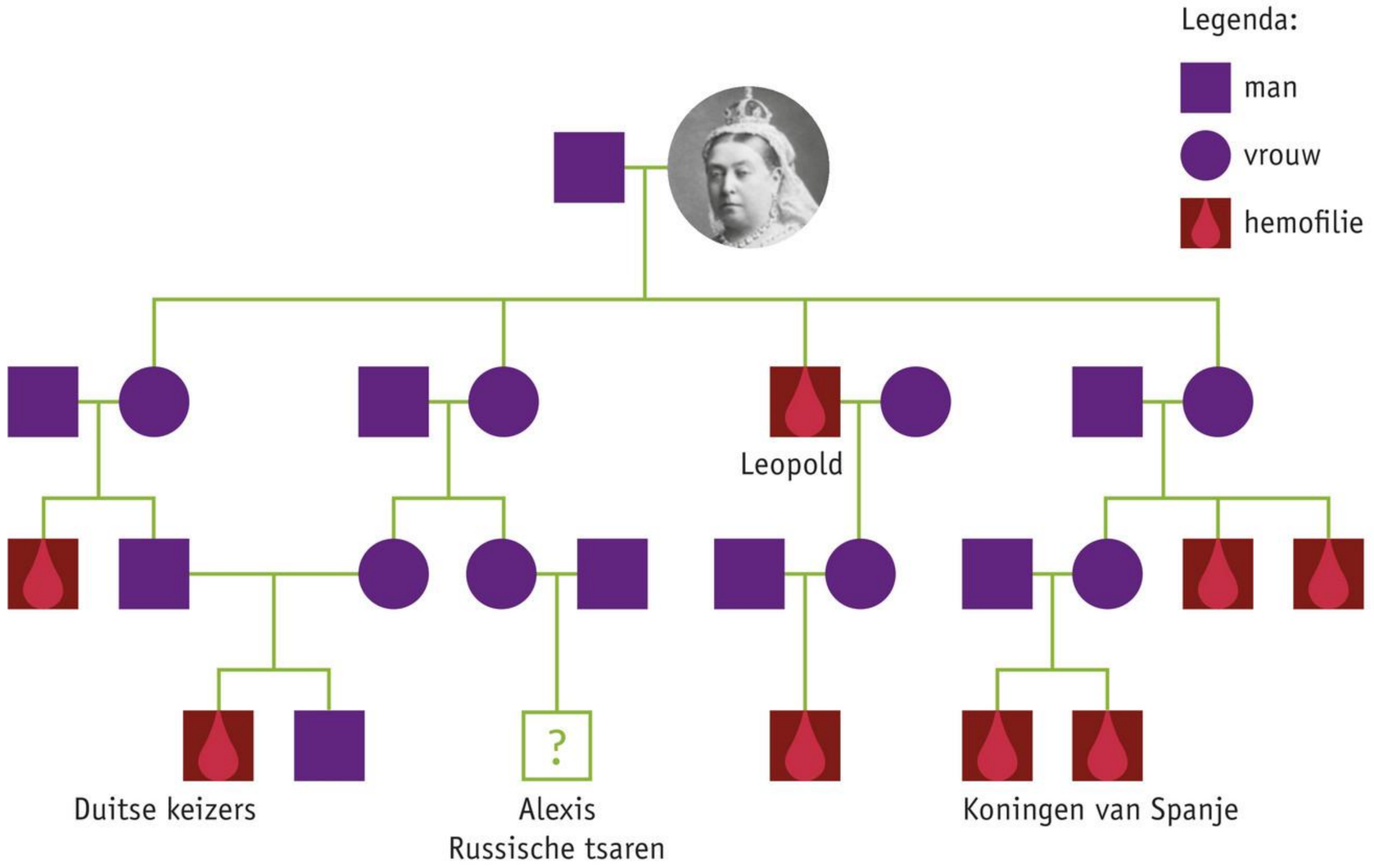
c Wat valt op als je de oogkleuren van de ouders van de F_2-generatie vergelijkt met die van de nakomelingen in de F_2-generatie?

41 Hemofilie bij de Europese adel

Voorronde Biologie Olympiade 2020, vraag 11.

Koningin Victoria's zoon, prins Leopold, was de eerste Europese edele die hemofilie kreeg. Hemofilie (bloederziekte) is een recessieve, X-chromosomale aandoening. De ziekte verspreidde zich door de Europese koninklijke adel. Afbeelding 31 toont een deel van de stamboom.
Hoe groot is de kans, op basis van deze stamboom, dat Alexis hemofilie had? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 31** Deel van de stamboom van de Europese adel.



42 Bij de meeste zoogdieren wordt het geslacht bepaald door X- en Y-chromosomen. Tijdens de ontwikkeling van een vrouwelijk embryo wordt in elke cel een van de twee X-chromosomen geïnactiveerd. In de ene cel is dit het ene X-chromosoom, in een andere cel het andere. Dit wordt bij mitose ook doorgegeven aan de nieuwe cellen. Hierdoor ontstaan groepen cellen waarin het ene chromosoom is uitgeschakeld en groepen cellen waarin het andere chromosoom is uitgeschakeld. Dit levert een mozaïekpatroon op. Als een X-chromosoom vroeg in de embryonale ontwikkeling wordt uitgeschakeld, wordt dit ook doorgegeven aan alle nieuwe cellen en ontstaat er geen mozaïekpatroon.

■ **Afb. 32** Een poes met een schildpadvacht.



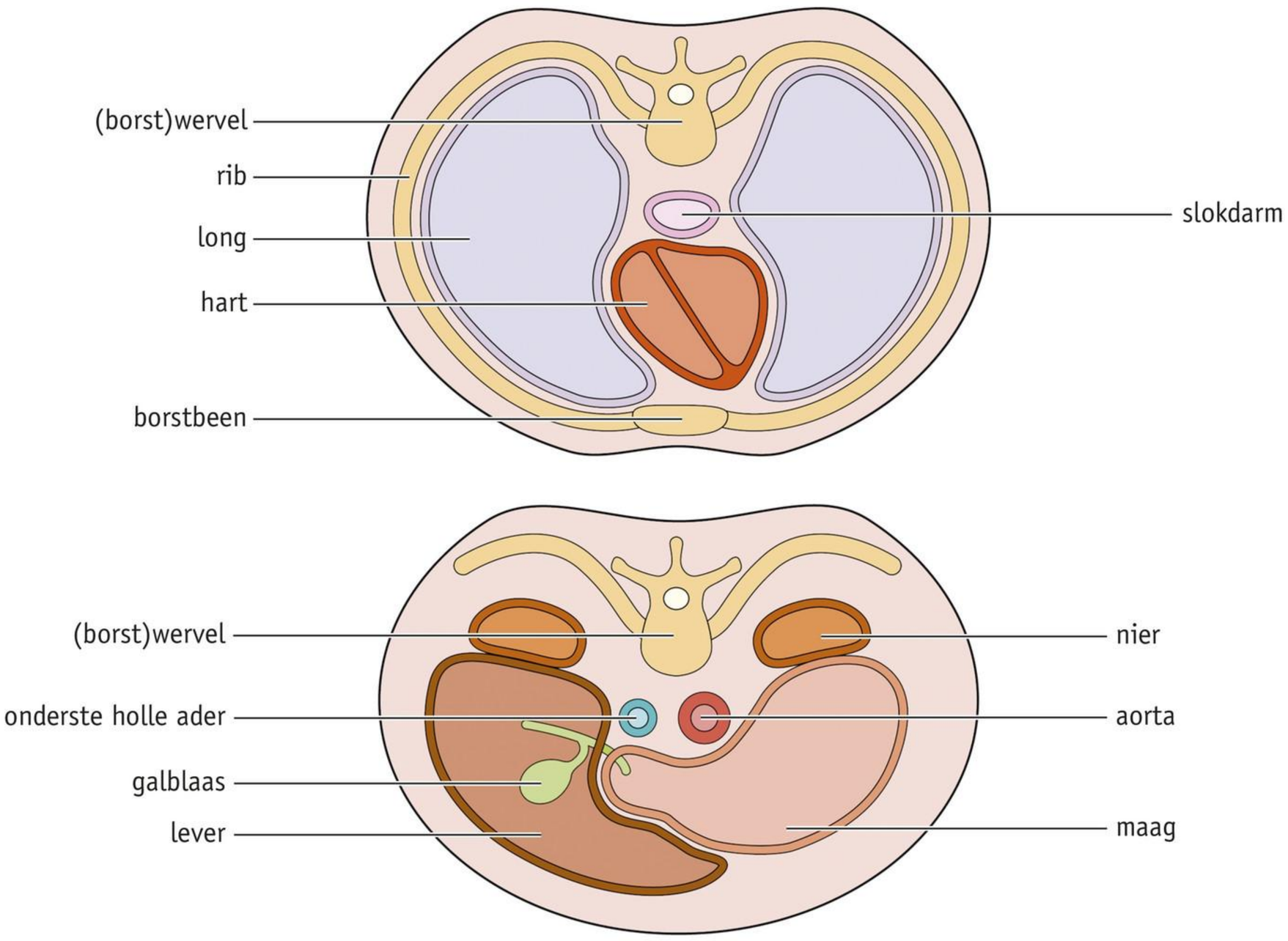
Bij een poes met een schildpadvacht (zie afbeelding 32) zijn er twee allelen op het X-chromosoom die de kleur van de vacht bepalen: oranje (X^D) en zwart (X^d).

a Waarom krijgen katers geen schildpadvacht?

b Een nest met vijf kittens bestaat uit twee poezen met een schildpadvacht, één poes met een zwarte vacht, één kater met een oranje vacht en één kater met een zwarte vacht.
Leg met behulp van een kruisingsschema uit welke genotypen beide ouders hebben.

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

■ **Afb. 9** Dwarsdoorsneden van de romp van een mens (schematisch).



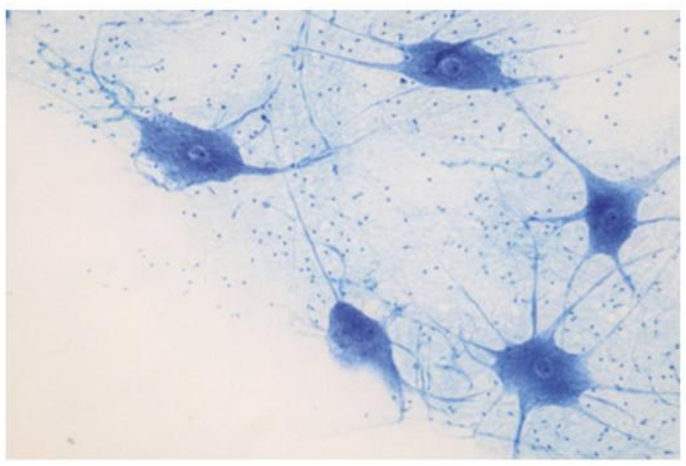
WEEFSELS

Bij meercellige organismen zijn de organen opgebouwd uit verschillende typen weefsels. Een weefsel is een groep van een of meer verschillende celtypen die een gemeenschappelijke functie hebben. Bij meercellige organismen ontstaan bij de ontwikkeling verschillende soorten cellen, zoals huidcellen, zenuwcellen en beencellen. Deze cellen hebben allemaal een eigen vorm en functie. Vorm en functie hangen nauw met elkaar samen. In je lichaam komen verschillende soorten weefsels voor. In afbeelding 10 zie je drie voorbeelden. Van elke soort weefsel bestaan verschillende typen.

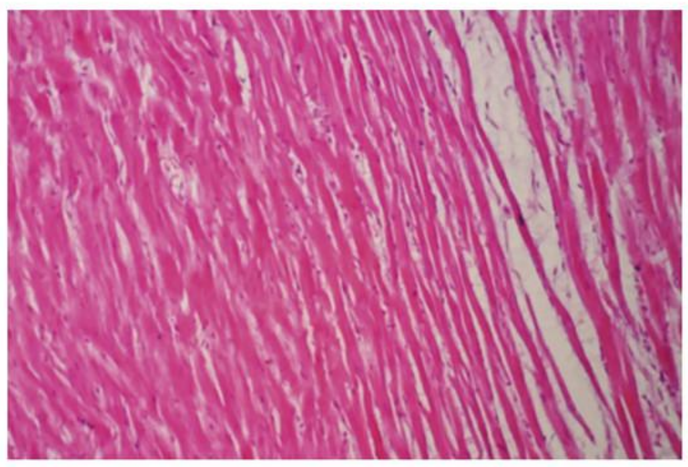
■ **Afb. 10** Drie soorten weefsel.



1 dekweefsel



2 zenuwweefsel



3 spierweefsel

Op verschillende plaatsen in je lichaam komt dekweefsel voor (*BiNaS* tabel 80B). Dit weefsel bekleedt en beschermt inwendige en uitwendige lichaamsoppervlakken. Holle organen zoals de longen en het darmkanaal zijn bekleed met dekweefsel dat slijmvlies wordt genoemd. Ook de binnenkant van je mond is bedekt met slijmvlies, het wangslijmvlies. Slijmvlies heeft een beschermende functie. De bovenste laag van je huid, de opperhuid, is een ander type dekweefsel. Alle typen dekweefsels hebben gemeenschappelijke kenmerken. De cellen zijn vaak rechthoekig en liggen heel dicht tegen elkaar aan.

Context Wetenschap

GESLACHTSBEPALING DOOR BACTERIËN

Bij pissebedden bepalen W- en Z-geslachtschromosomen het geslacht. Mannetjes bezitten ZZ-chromosomen en vrouwtjes ZW. Een gen op het Z-chromosoom is verantwoordelijk voor de ontwikkeling van een mannelijke hormoonklier. Door de invloed van de hormonen die deze klier produceert, ontwikkelen zygoten zich tot mannetjes. Het W-chromosoom bezit dezelfde genen als een Z-chromosoom, maar heeft nog een extra gen. Dit gen remt de expressie van het gen dat voor de ontwikkeling van de mannelijke hormoonklier zorgt op het Z-chromosoom. Hierdoor ontwikkelt de klier zich niet en worden er geen mannelijke hormonen geproduceerd. Zygoten met ZW-chromosomen ontwikkelen zich dan tot vrouwtjes.

Opvallend is dat de meeste populaties pissebedden bestaan uit veel meer vrouwtjes dan mannetjes. De oorzaak hiervan is de *Wolbachia*-bacterie. Deze bacterie leeft in de cellen van geïnfecteerde pissebedden. Ze kunnen alleen via eicellen worden doorgegeven aan nakomelingen omdat die voldoende cytoplasma bevatten. Spermacellen hebben dat niet. Om hun eigen overdracht te bevorderen, manipuleren *Wolbachia*-bacteriën de voortplanting van geïnfecteerde pissebedden.

Bij pissebedden die zijn geïnfecteerd met *Wolbachia*, ontwikkelen zygoten met het genotype ZZ zich tot fenotypische vrouwtjes doordat de hormoonklier zich niet ontwikkelt. Dit is een onomkeerbaar proces. Na enige tijd is door deze feminisering (toename van vrouwtjes) ongeveer 90% van een geïnfecteerde pissebedpopulatie vrouwelijk.

Opdrachten

43 **a** Wat is de verhouding mannetjes : vrouwtjes in een niet-geïnfecteerde pissebedpopulatie? Leg je antwoord uit met behulp van een kruisingsschema.

b *Wolbachia*-bacteriën zijn warmtegevoelig en gaan dood bij temperaturen van 30 °C. In een laboratorium ondergaan met *Wolbachia* geïnfecteerde pissebedvrouwtjes een warmtebehandeling. Welk percentage van de nakomelingen is mannelijk wanneer een geïnfecteerd genotypisch vrouwtje dat een warmtebehandeling heeft ondergaan, wordt gekruist met een niet-geïnfecteerd mannetje? Leg je antwoord uit.

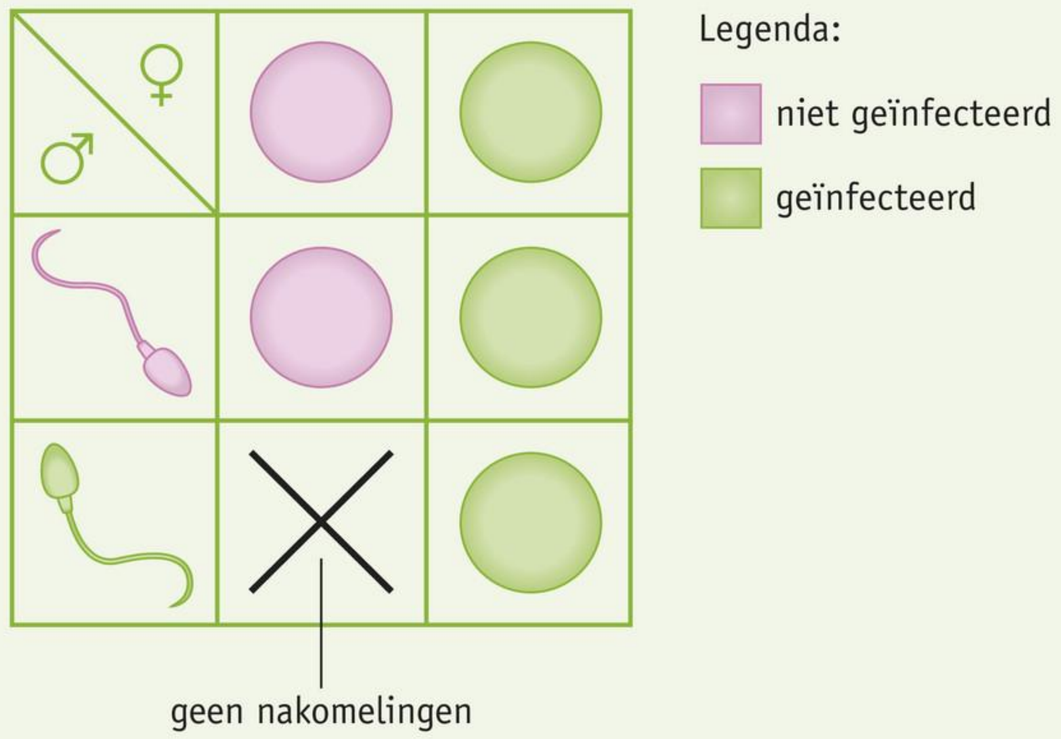
c Welk percentage van de nakomelingen is mannelijk wanneer een niet-geïnfecteerd mannetje wordt gekruist met een geïnfecteerd mannetje dat een warmtebehandeling heeft ondergaan? Leg je antwoord uit.

44 *Wolbachia*-bacteriën kunnen zorgen voor veranderingen in geslachtscellen van pissebedden, waardoor uit de bevruchte eicellen geen nakomelingen kunnen ontstaan. Bekijk afbeelding 33.

a Leg uit hoe *Wolbachia*-bacteriën door veranderingen in geslachtscellen ook hun eigen overdracht kunnen bevorderen.

b In welke type geslachtscel heeft de verandering plaatsgevonden die ervoor zorgt dat uit de bevruchte eicel geen nakomeling kan ontstaan? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 33** Mogelijkheden voor bevruchting in een pissebedpopulatie die is geïnfecteerd door *Wolbachia*.



5 DIHYBRIDE KRUISINGEN

LEERDOEL

3.5.1 Je kunt een kruisingsschema opstellen voor een dihybride kruising met onafhankelijke overerving en de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden uit een kruisingsschema, of uit een stamboom van een dihybride kruising met onafhankelijke overerving.

▶ Practicum 3

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	3.5.1
Begrijpen	45, 46, 47
Toepassen	48, 49b, 50b, 52a
Analyseren	49a, 50a, 51, 52bcd, 53

Een kattenfokker kruist twee 'black tabby' katten met elkaar om 'black tabby' kittens te krijgen. Tot zijn verbazing krijg hij een nest kittens met allemaal een egale 'cinnamon' kleur (zie afbeelding 34). Door onderzoek op internet komt de fokker erachter dat bij katten meerdere genen de vachtkleur kunnen bepalen.

■ **Afb. 34** De vachtkleur wordt bij katten door meerdere genen bepaald.



1 black tabby

2 egaal cinnamon

DIHYBRIDE KRUISINGSVRAAGSTUK

Bij een **dihybride kruising** volg je de overerving van twee erfelijke eigenschappen waarbij twee allelenparen zijn betrokken. Bij erwtenplanten bijvoorbeeld is het allel voor gele zaden (erwten) (A) dominant over het allel voor groene zaden (a). En het allel voor ronde zaden (R) is dominant over het allel voor gerimpelde zaden (r). De genen liggen in verschillende chromosomenparen en erven onafhankelijk over. Van elk chromosomenpaar gaat er bij de meiose een chromosoom met één allel naar een geslachtscel. De genen komen onafhankelijk van elkaar in geslachtscellen terecht.

Een erwtenplant met gele ronde zaden die voor beide eigenschappen homozygoot is, wordt gekruist met een erwtenplant met groene gerimpelde zaden (zie afbeelding 35).

■ **Afb. 35** Dihybride kruising van planten die groeien uit een gele ronde erwt en een groene gerimpelde erwt.



1 Wat zijn de genotypen van de ouderplanten? Geef deze genotypen in een kruising weer.

De erwtenplant met gele ronde zaden heeft genotype AARR. De erwtenplant met groene gerimpelde zaden heeft genotype aarr. De kruising is dan: AARR × aarr.

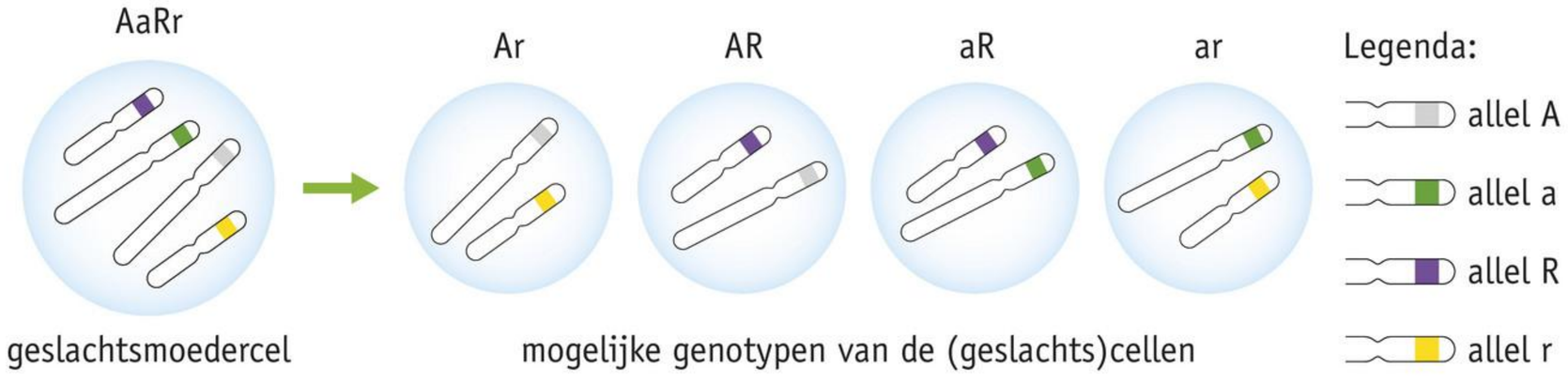
2 Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouderplanten bevatten?

In geslachtscellen komen allelen enkelvoudig voor. Van elk chromosomenpaar gaat er één allel naar een geslachtscel. Elke geslachtscel van de erwtenplant met gele ronde zaden bevat dus allel A en allel R. Elke geslachtscel van de erwtenplant met groene gerimpelde zaden bevat allel a en allel r.

3 Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eicelkern en een stuifmeelkorrel voor de nakomelingen in de F_1?

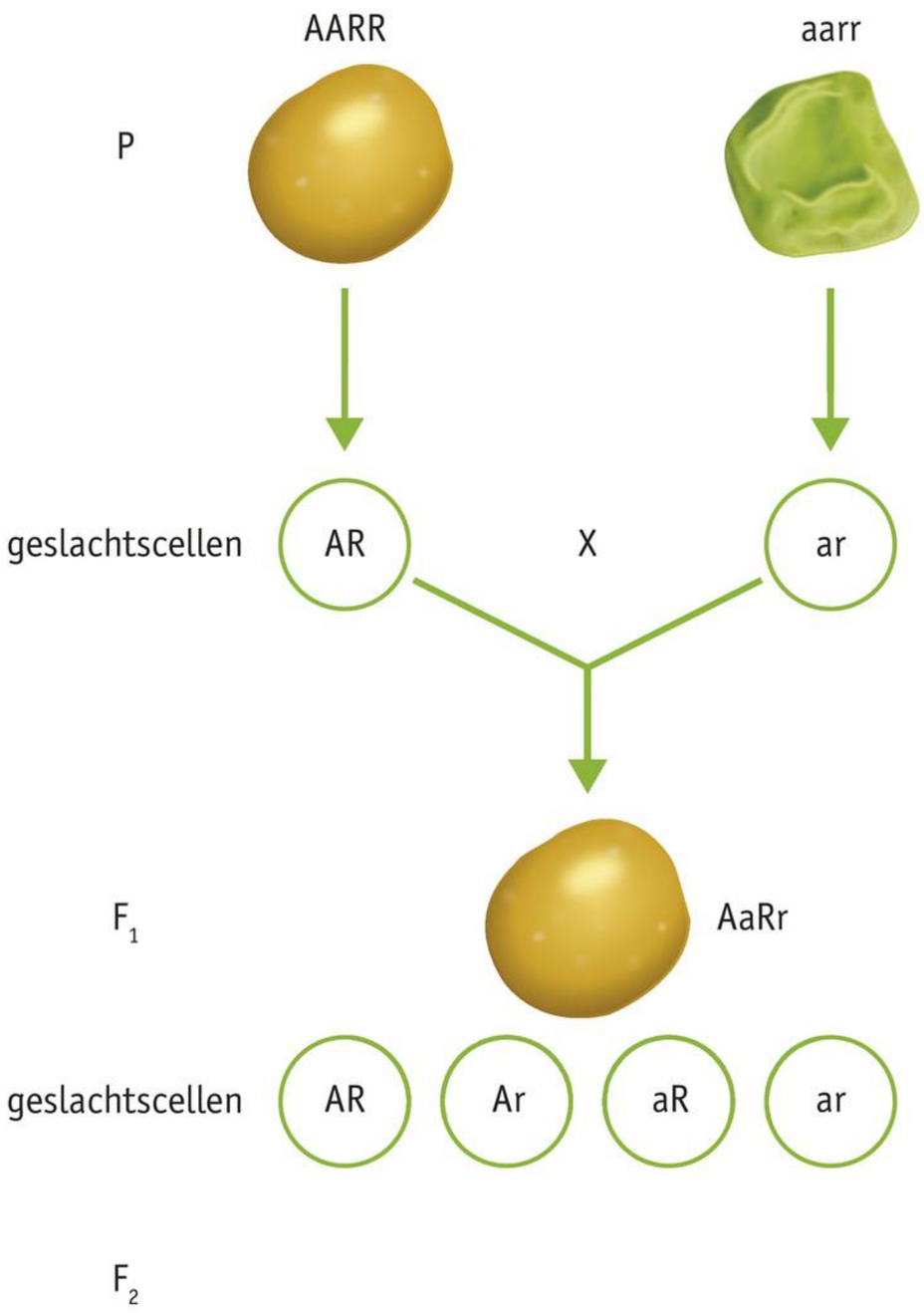
Bij bevruchting versmelt de kern van een eicel of stuifmeelkorrel (met allelen A en R) met de kern van een stuifmeelkorrel of eicel (met allelen a en r). De plant die zich uit de zygote ontwikkelt, heeft het genotype AaRr en heeft gele ronde zaden.
Alle planten in de F_1 hebben het genotype AaRr. Een plant uit de F_1 plant zich voort door zelfbestuiving. De plant kan vier typen eicellen en stuifmeelkorrels produceren (zie afbeelding 36).

■ **Afb. 36** Vorming van geslachtscellen (schematisch).



Net als bij een monohybride kruising gebruik je een kruisingsschema. De vier typen eicellen zet je boven in het schema en de vier typen stuifmeelkorrels links in het schema (zie afbeelding 37).

■ **Afb. 37** Een dihybride kruising.



Elk van de zestien mogelijkheden heeft een even grote kans om voor te komen: 1/16. Sommige genotypen komen meer dan één keer voor. In totaal zijn er negen verschillende genotypen.

Bij labrador-retrievers bepalen twee genen de kleur van de vacht. Het allel voor zwarte haarkleur (B) is dominant over het allel voor bruine haarkleur (b). Van een gen dat op een ander chromosoom ligt, bepalen de allelen of de vacht wel pigment (E) of geen pigment heeft (e). Bij aanwezigheid van twee keer het recessieve allel (e) is de vacht kleurloos. De haren zijn dan geel.
Labrador-retrievers met het genotype BBee of Bbee hebben een gele vacht, maar een donkere huid. Dat is te zien bij de neus, lippen, oogranden en voetzolen (zie afbeelding 38.1). Labrador-retrievers met het genotype bbee hebben op die plaatsen een bleke huid (zie afbeelding 38.2).

■ **Afb. 38** Gele labradorpuppy's.



1 met donkere huid (genotype BBee of Bbee) **2** met bleke huid (genotype bbee)

Je lost een vraagstuk over een dihybride kuising in dezelfde stappen op als een monohybride kruising.

Opdrachten KENNIS

45 Een zwarte labrador-retriever teef die homozygoot is voor vachtkleur en voor een huid met pigment, wordt een aantal malen gekruist met een gele labrador-retriever reu met een bleke huid (zie afbeelding 39). Als ze volwassen zijn, planten de dieren in de F_1 zich onderling voort.

- **a** Wat zijn de genotypen van de ouders (P)? Geef de genotypen in een kruising weer.
- **b** Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?
- **c** Welke mogelijkheden bestaan er bij deze kruising voor de versmelting van een eicelkern en een spermacelkern voor de nakomelingen in de F_1?
- **d** De nakomelingen uit de F_1 worden onderling gekruist: ♀ BbEe ×♂ BbEe. Deze labradors kunnen geslachtscellen met vier verschillende genotypen produceren. Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eicelkern en een spermacelkern voor de nakomelingen in de F_2? Vul het kruisingsschema (zie afbeelding 40) in.
- **e** Hoeveel verschillende genotypen komen er voor in de F_2?
- **f** In welke verhouding komen de fenotypen in de F_2 voor?

KANSEN BEREKENEN

Met een kruisingsschema kun je de verhouding van genotypen en fenotypen bij nakomelingen bepalen. Je kunt ook de kans op één bepaald genotype of fenotype bepalen. Door de kansen per eigenschap te bepalen en met elkaar te vermenigvuldigen, kun je een erfelijkheidsvraagstuk sneller oplossen.

Een voorbeeld: een tomatenplant met lange, gave bladeren wordt gekruist met een tomatenplant met korte, ingesneden bladeren. De genen voor bladlengte en bladvorm liggen in verschillende chromosomenparen. De vele nakomelingen in de F_1 hebben allemaal lange, ingesneden bladeren. De F_1 wordt door onderlinge bestuiving verder gekweekt. Welk deel van de nakomelingen in de F_2 zal naar verwachting lange, gave bladeren hebben?

Uit het fenotype van de F_1-nakomelingen blijkt dat de allelen voor lange bladeren en voor ingesneden bladeren dominant zijn. De genotypen van de ouders zijn AAbb en aaBB. Het genotype van alle nakomelingen in de F_1 is AaBb. Onderlinge bestuiving van de F_1 wordt weergegeven door AaBb × AaBb.

Om te kunnen bepalen welk deel van de nakomelingen in de F_2 lange, gave bladeren zal hebben, kijk je eerst naar de eigenschap bladlengte (Aa × Aa). De kruising van deze allelen levert in de F_2 een verhouding in de fenotypen op van 3 : 1. Het dominante allel voor lange bladeren komt in ¾ van de F_2 tot uiting.

Daarna kijk je naar de eigenschap bladvorm (Bb × Bb). Ook hier is de te verwachten verhouding van fenotypen in de F_2 3 : 1. Het recessieve allel voor gave bladeren komt in ¼ van de F_2 tot uiting. Lange, gave bladeren tref je in de F_2 aan bij ¾ × ¼ = 3/16 (of 18,75%) van de nakomelingen.

Het aantal genotypen dat bij een individu in de geslachtscellen kan voorkomen, kun je op een vergelijkbare manier berekenen. Je bepaalt eerst per genenpaar of er één of twee typen geslachtscellen kunnen worden gevormd. Daarna vermenigvuldig je de aantallen. Een individu met genotype Aa kan twee typen geslachtscellen maken. Een individu met genotype bb kan slechts één type geslachtscellen maken. Bij een individu met genotype AabbCc kunnen 2 × 1 × 2 = 4 genotypen in de geslachtscellen voorkomen.

■ **Afb. 39** Dihybride kruising van labradors.



■ **Afb. 40** Kruissingsschema van de F_2-generatie bij een dihybride kruising van labradors.

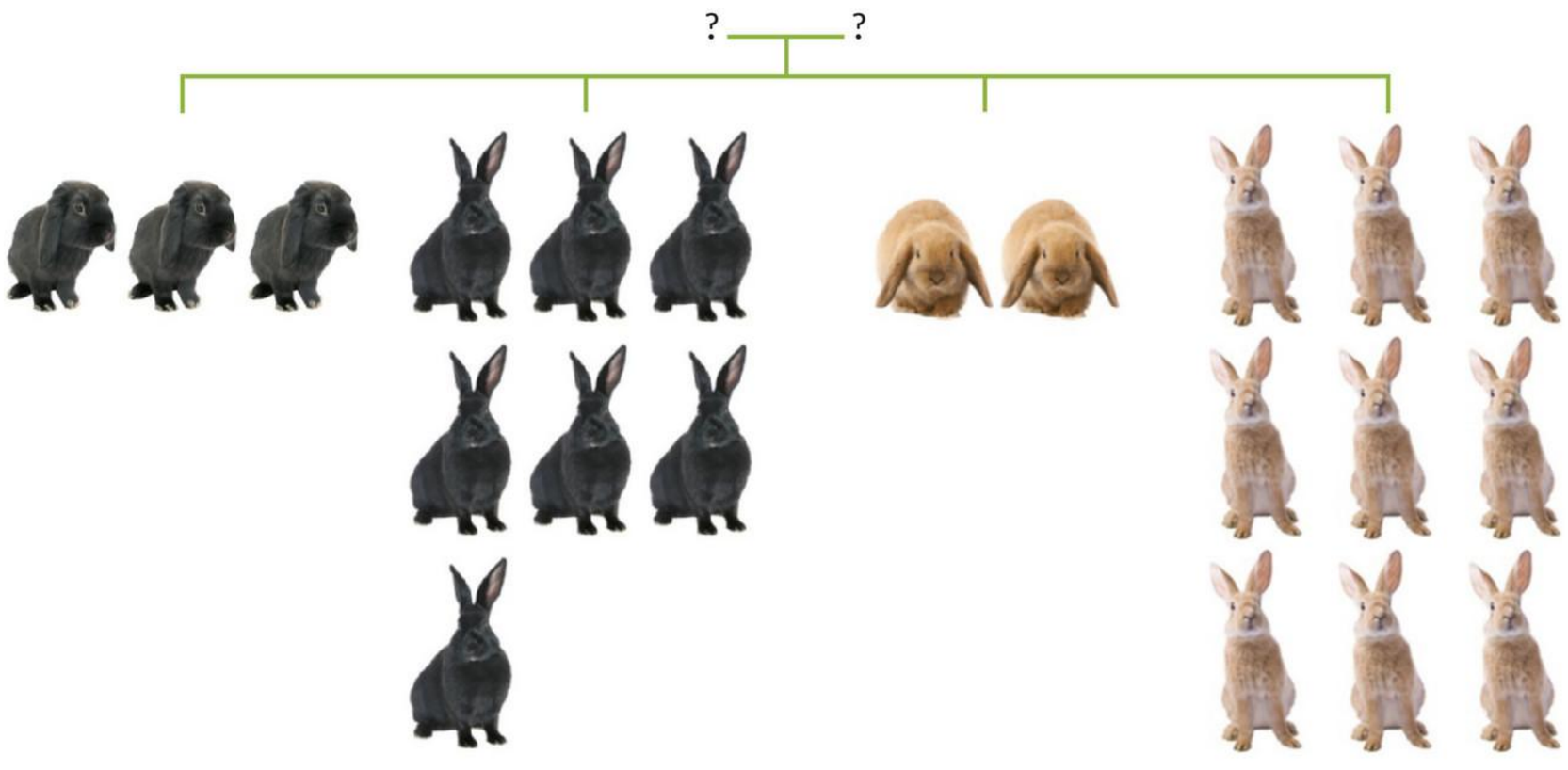
♀ / ♂	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....

GENOTYPEN VAN OUDERS BEPALEN

In kruisingsvraagstukken kun je de genotypen van de ouders afleiden uit de verhouding van de fenotypen van de nakomelingen. Je kijkt daarvoor naar de verhouding per eigenschap.

Een voorbeeld: bij konijnen is het allel voor zwarte vachtkleur (A) dominant over het allel voor bruine vachtkleur (a). Het allel voor normale oren (B) is dominant over dat voor hangoren (b). De genenparen liggen in verschillende chromosomenparen.
Twee konijnen worden een aantal malen gekruist. Ze krijgen de volgende nakomelingen: drie zwarte hangoren, zeven zwarte rechte oren, twee bruine hangoren en negen bruine konijnen met rechte oren (zie afbeelding 41). Wat zijn de genotypen van de ouders?

■ **Afb. 41** Wat zijn de genotypen van de ouders?



Je kijkt eerst naar de vachtkleur. In totaal zijn er tien zwarte en elf bruine konijnen geboren. De verhouding is dus ongeveer 1 : 1. De genotypen van de ouders zijn dan Aa en aa.

Daarna kijk je naar de vorm van de oren. In totaal zijn er zestien konijnen met rechte oren en vijf hangoorkonijnen geboren. De verhouding is ongeveer 3 : 1. De genotypen van de ouders zijn dan Bb en Bb. De genotypen van de ouders zijn dus AaBb en aaBb.
Een van de ouders is zwart met rechte oren, de andere ouder is bruin met rechte oren.

Opdrachten KENNIS

46 Bij mensen is het allel voor bruin haar (A) dominant over het allel voor blond haar (a). Het allel voor krullend haar (B) is dominant over dat voor steil haar (b). De genenparen liggen in verschillende chromosomenparen. Een vrouw met blond steil haar verwacht een kind van een man met bruin krullend haar. De man is heterozygoot voor beide eigenschappen.

a Wat zijn de genotypen van de vrouw en de man?

b Hoe groot is de kans dat het kind dezelfde haarkleur en haarvorm heeft als de vader? Noteer de berekening.

c De vrouw blijkt in verwachting te zijn van een tweeling.
Hoe groot is de kans dat beide kinderen dezelfde haarkleur en haarvorm hebben als de vader wanneer het om een eeneiige tweeling gaat? Leg je antwoord uit.

d Hoe groot is de kans dat beide kinderen dezelfde haarkleur en haarvorm hebben als de vader wanneer het om een twee-eiige tweeling gaat? Leg je antwoord uit en geef het getal in twee decimalen.

47 Bij een erwtenplant vindt zelfbestuiving plaats. Hierna ontwikkelen zich 243 zaden aan deze plant: 47 groene ronde, 17 groene gerimpelde, 44 gele gerimpelde en 135 gele ronde zaden.
Welk fenotype heeft het zaad waaruit de ouderplant zich heeft ontwikkeld? Leg je antwoord uit.

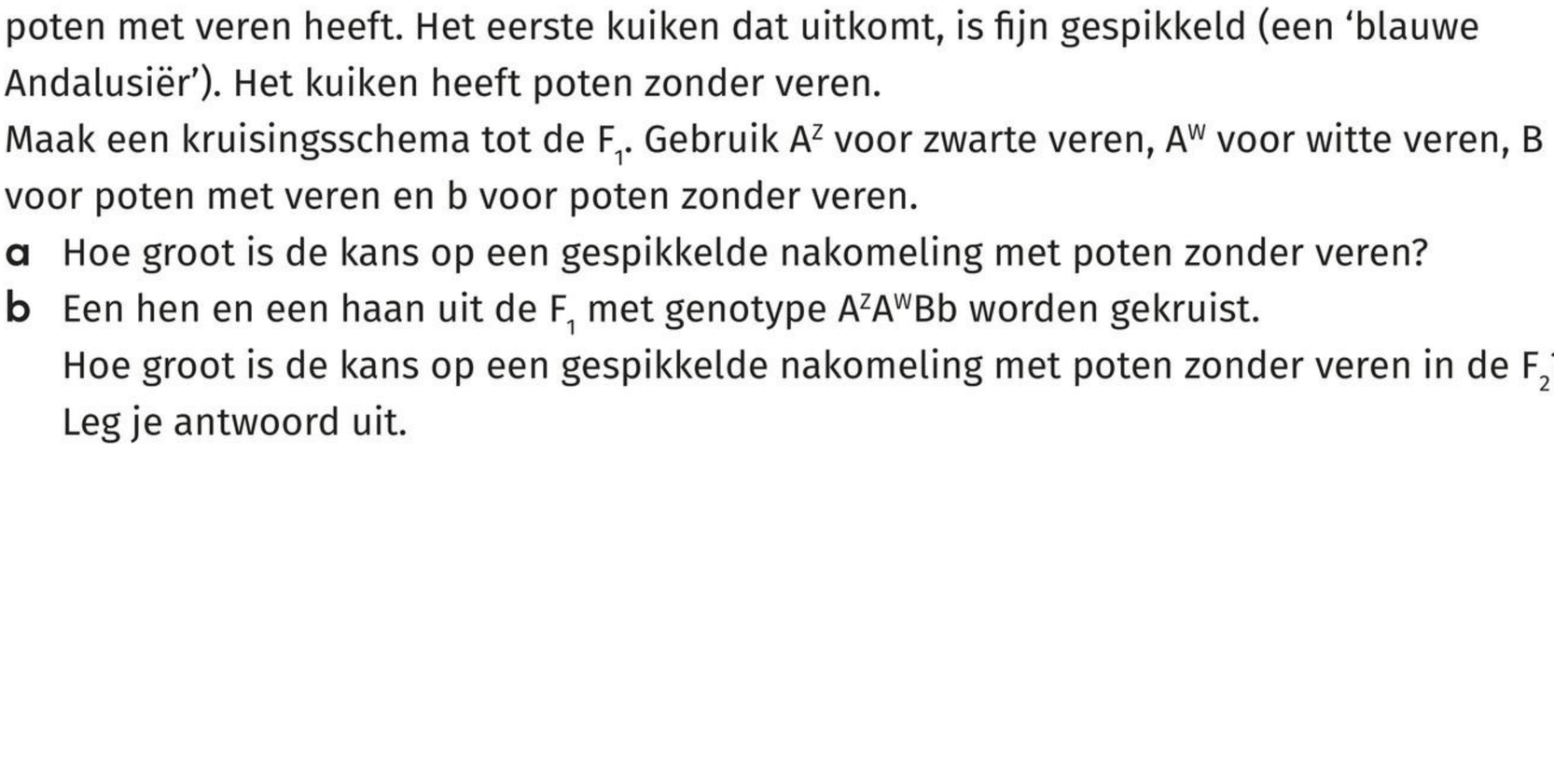
Opdrachten INZICHT

48 Bij cavia's is het allel voor zwarte vachtkleur (A) dominant over het allel voor witte vachtkleur (a). Het allel voor beharing (B) is dominant over dat voor weinig beharing (b). De genenparen liggen in verschillende chromosomenparen. Een skinny cavia heeft geen beharing op grote delen van het lichaam (zie afbeelding 42). Een skinny mannetjescavia is heterozygoot voor de eigenschap vachtkleur. Deze cavia wordt gekruist met een zwart behaard vrouwtje dat voor beide eigenschappen heterozygoot is.
Maak een kruisingsschema van deze kruising.

a Wat is de verhouding van de genotypen in de F_1?

b Na een aantal worpen zijn er 32 jongen geboren.
Hoeveel jongen zullen naar verwachting het fenotype vertonen waarin beide dominante allelen tot uiting komen?

■ **Afb. 42** Cavia's kruisen.



skinny cavia

zwarte behaarde cavia

49 Een zwarte haan die poten met veren heeft, wordt gekruist met een witte hen die ook poten met veren heeft. Het eerste kuiken dat uitkomt, is fijn gespikkeld (een 'blauwe Andalusiër'). Het kuiken heeft poten zonder veren.
Maak een kruisingsschema tot de F_1. Gebruik A^Z voor zwarte veren, A^W voor witte veren, B voor poten met veren en b voor poten zonder veren.

a Hoe groot is de kans op een gespikkelde nakomeling met poten zonder veren?

b Een hen en een haan uit de F_1 met genotype A^ZA^WBb worden gekruist.
Hoe groot is de kans op een gespikkelde nakomeling met poten zonder veren in de F_2?
Leg je antwoord uit.

50 Bij leeuwenbekjes komen rode, witte en roze bloemen voor. De bloemvorm kan regelmatig of onregelmatig zijn (zie afbeelding 43). Het allel voor onregelmatige bloemvorm (B) is dominant over het allel voor regelmatige bloemvorm (b). Twee leeuwenbekjes worden met elkaar gekruist. De nakomelingen bestaan uit 12 planten met regelmatige witte bloemen, 9 planten met regelmatige rode bloemen, 22 planten met regelmatige roze bloemen, 8 planten met onregelmatige witte bloemen, 11 planten met onregelmatige rode bloemen en 19 planten met onregelmatige roze bloemen.

a Welke genotypen hebben de ouderplanten? Leg je antwoord uit.

b Hoe groot is de kans op nakomelingen met een rood fenotype?

■ **Afb. 43** Leeuwenbekjes.



onregelmatige bloemvorm



regelmatige bloemvorm

51 Lapjeskatten hebben oranje, zwarte en witte vlekken (zie afbeelding 44). Net als bij de schildpadkat ontstaan er vlekken door inactivatie van het X-chromosoom. Naast de X-chromosomale allelen voor oranje (X^D) en zwart (X^d) wordt de vachtkleur beïnvloed door een niet-X-chromosomaal genenpaar. Wanneer allel R aanwezig is, heeft de vacht witte vlekken. Een homozygoot recessieve kat (rr) heeft geen witte vlekken.

Een kattenfokker wil zoveel mogelijk lapjespoezen krijgen en heeft daarbij de keuze uit de volgende poezen en katers:

- Mopsy: een oranje poes zonder vlekken
- Ploeske: een zwarte poes met witte vlekken
- Tommie: een zwarte kater zonder vlekken
- Todd: een zwarte kater met witte vlekken
- Vlekkie: een oranje kater met witte vlekken
- Japie: een zwarte kater met witte vlekken

Al deze poezen en katers kunnen met elkaar paren en zijn allemaal even vruchtbaar. Een testkruising met een kat zonder vlekken gaf aan dat Ploeske, Vlekkie en Japie alle drie nakomelingen kregen met zowel witte als geen vlekken. Todd kreeg alleen nakomelingen met vlekken.

a Welke genotypen hebben de verschillende katten? Leg je antwoord uit.

b Welke poes en welke kater kies je om een nest te krijgen met zoveel mogelijk lapjespoezen?

c Een poes met het genotype X^dX^dRr wordt gekruist met een kater met het genotype X^DYRr. Hoe groot is de kans dat het eerste kitten een lapjespoes is? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 44** Een lapjespoes.



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

Zenuwweefsel vind je in de organen van je zenuwstelsel: in je hersenen, je ruggenmerg en je zenuwen. Zenuwweefsel bestaat uit zenuwcellen en gliacellen. Zenuwcellen geven informatie door, waarvoor ze sterk vertakte uitlopers bezitten die een netwerk vormen. Gliacellen voorzien zenuwcellen onder andere van voeding. Spierweefsel bestaat uit cellen die kunnen samentrekken en zo beweging mogelijk maken (*BiNaS* tabel 80E).

Opdrachten KENNIS

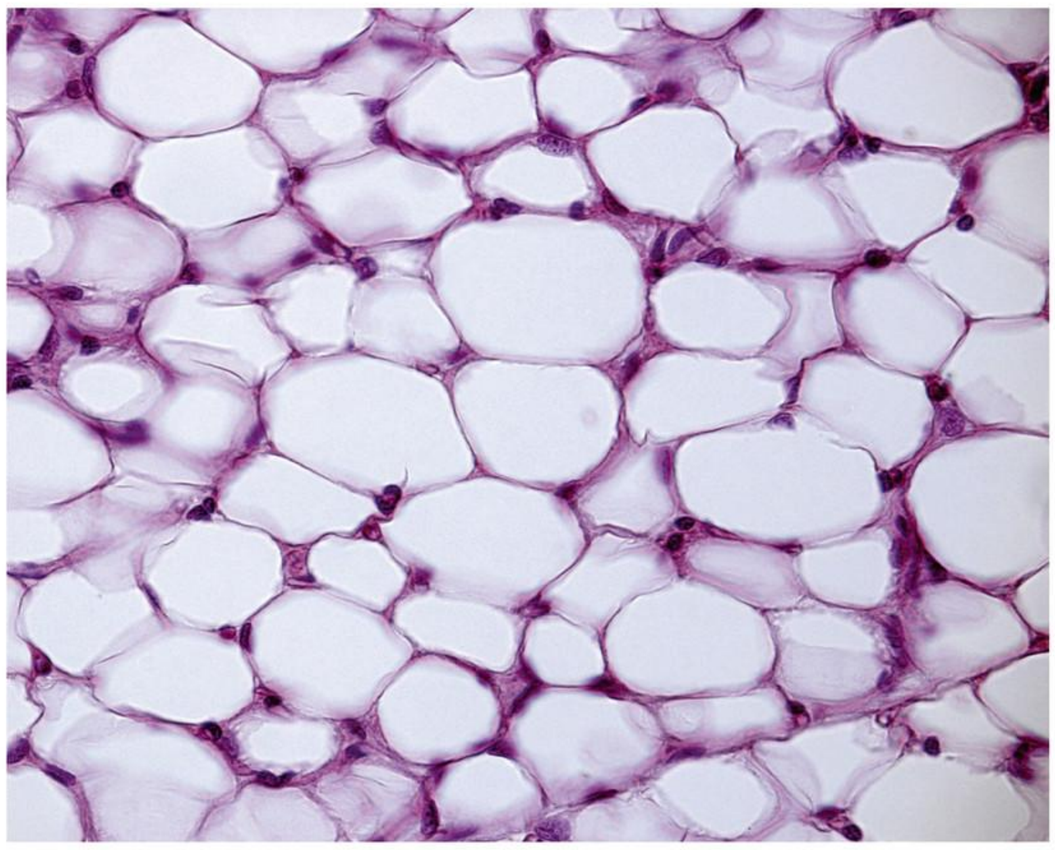
22 Afbeelding 8 laat de torso van een vrouw zien.
Welke organen horen bij het ademhalingsstelsel?

23 In afbeelding 8 zijn enkele organen in de borstholte genoemd.
Welke twee organen in de borstholte behoren tot meerdere orgaanstelsels?

24 Welke drie organen passeren het middenrif tussen borstholte en buikholte? Gebruik afbeelding 8 en 9.

25 Leg uit dat de cellen in afbeelding 11 deel uitmaken van een weefsel.

■ **Afb. 11** Microscopische foto van cellen.



26 Traanvocht wordt onder andere gemaakt door kliertjes in het slijmvlies van het oog.
Wat is de functie van traanvocht?

TUSSENCELSTOF EN VEZELS

Bij veel weefsels liggen de cellen niet direct tegen elkaar aan, maar komt **tussencelstof** voor. Het soort tussencelstof hangt samen met de functie van het weefsel. De tussencelstof kan bijvoorbeeld ter versteviging dienen. De celwand bij planten is tussencelstof en geeft de cel stevigheid.

In bindweefsel liggen cellen relatief ver uit elkaar, met daartussen verschillende soorten vezels en tussencelstof. Bindweefsel geeft steun en vorm aan afzonderlijke organen bij een dier. Het verbindt de lichaamsdelen onderling en het vult ruimten tussen organen op. De functie van het bindweefsel bepaalt het type vezel, de dichtheid ervan en het soort tussencelstof:

Context Beroep

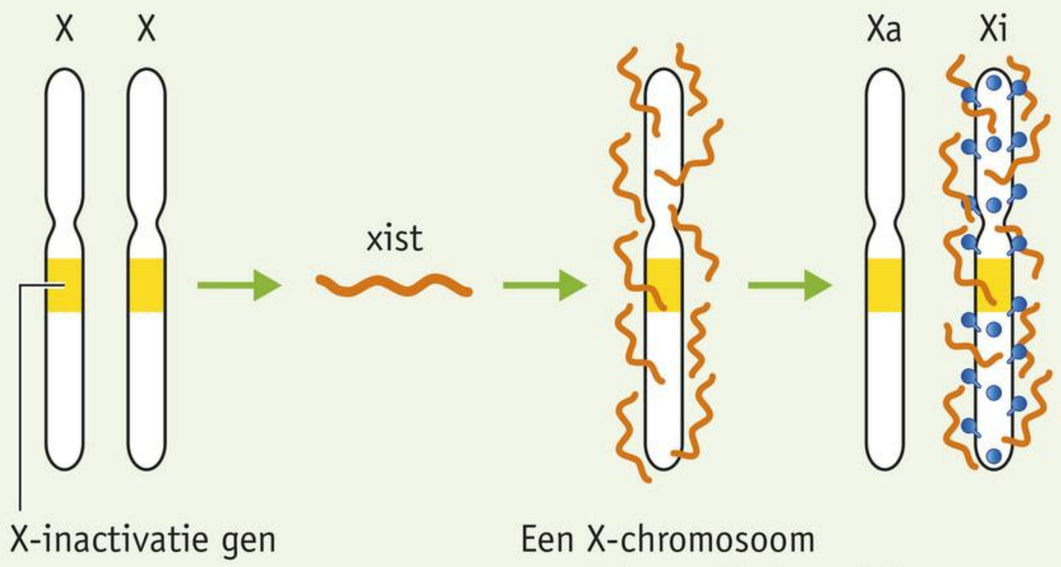
X-INACTIVATIE ONGEDAAN MAKEN

Wanneer de embryonale stamcellen van vrouwelijke zoogdieren zich specialiseren, wordt één X chromosoom volledig uitgezet. Dit noem je X-inactivatie. Omdat bijna alle vrouwelijke zoogdieren twee X-chromosomen hebben, voorkomt X-inactivatie dat ze twee keer zoveel X-chromosoomgenen hebben als mannetjes die maar één kopie van het X-chromosoom hebben. Zo wordt de expressie van genen tussen de verschillende geslachten gelijkgemaakt. Welk X-chromosoom wordt geïnactiveerd is willekeurig, maar eenmaal geïnactiveerd, blijft het gedurende de hele levensduur van de cel inactief. Bij mitose wordt deze inactivatie doorgegeven aan de dochtercellen.

Xist-moleculen zijn verantwoordelijk voor de uitschakeling van een X-chromosoom. Het gen dat de informatie bevat voor de productie van Xist ligt op het X-chromosoom zelf. De Xist-moleculen bedekken het X-chromosoom (zie afbeelding 45), waardoor het wordt geïnactiveerd (Xi). Het andere X-chromosoom wordt niet bedekt en blijft actief (Xa).

Hanane is moleculair bioloog en onderzoekt of je bij vrouwen een Xi-chromosoom weer kunt activeren. Dat zou bijvoorbeeld een oplossing kunnen zijn voor het syndroom van Rett dat ontstaat door een mutatie in een gen dat aanwezig is op het Xa-chromosoom. Vrouwen met het Rett-syndroom hebben onder andere een achterstand in het leren praten, bewegen en leren. Bij vrouwen is bij ongeveer de helft van de cellen het X-chromosoom met het goede gen geïnactiveerd. Op het Xa-chromosoom staan de genen die het syndroom van Rett veroorzaken aan. Reactiveren van het Xi-chromosoom zou dan een oplossing kunnen zijn.

■ **Afb. 45** X-inactivatie.



Opdrachten

52 Het Rett-syndroom is een aandoening die meestal wordt veroorzaakt door een mutatie in het X-chromosomale MECP2-gen. De mutatie is dominant. Bij jongens is het Rett-syndroom vaak voor de geboorte al dodelijk.

a Verklaar waarom het syndroom van Rett vrijwel nooit bij jongens voorkomt.

b Een mutatie in het MECP2-gen leidt bij meisjes niet vaak tot de dood.
Waarom is een mutatie in het MECP2-gen bij meisjes met het Rett-syndroom zelden dodelijk?

c Hanane onderzoekt of je het syndroom van Rett bij heterozygote vrouwen kunt behandelen door het Xi-chromosoom te reactiveren.
Wat moet er nog meer gebeuren in de cel om die gezond te maken?

d De verwachting is dat bij vrouwen in 50% van de lichaamscellen het ene X-chromosoom wordt geactiveerd en in 50% van de lichaamscellen het andere X-chromosoom. Bij 7% van de vrouwen blijkt deze verhouding 90% : 10% te zijn.
Welke gevolgen heeft de verhouding 90% : 10% voor een vrouw die draagster is van het gemuteerde MECP2-gen?

53 Het Rett-syndroom kan wel voorkomen bij jongens met het syndroom van Klinefelter. Mannen met dit syndroom hebben in hun lichaamscellen ten minste één X-chromosoom te veel.
Waarom blijven jongens met het syndroom van Klinefelter met een gemuteerd MECP2-gen op het X-chromosoom wel in leven?

6 SPECIALE MANIEREN VAN OVERERVEN

LEERDOELEN

3.6.1 Je kunt een kruisingsschema opstellen voor onafhankelijke overerving van multipele allelen, letale factoren en gekoppelde genen en hieruit of uit stambomen de frequentie van genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden.

3.6.2 Je kunt het overervingspatroon uitleggen bij mitochondriale overerving.

3.6.3 Je kunt uitleggen hoe bij geslachtelijke voortplanting voortplantingscellen met een unieke combinatie van genen ontstaan door recombinatie van chromosomen en crossing-over.

▶ Practicum 4

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	3.6.1	**3.6.2**	**3.6.3**
Begrijpen	54, 55, 56, 57		
Toepassen	58, 59a		59cd
Analyseren	62, 63	60, 61	59be

De twee belangrijkste bloedgroepsystemen bij mensen zijn AB0 en Rh. Het AB0-systeem kent vier bloedgroepen. Het is het belangrijkste bloedgroepsysteem bij bloedtransfusies. De verdeling van AB0-bloedgroepen tussen populaties verschilt. Ongeveer 41% van de wereldbevolking heeft bloedgroep 0. Bloedgroep AB komt het minst voor.

MULTIPELE ALLELEN

Een diploïd organisme heeft voor elk gen twee allelen. Tot nu toe heb je bij kruisingsvraagstukken steeds gekeken naar erfelijke eigenschappen met twee verschillende allelen. Voor de haarlijn bijvoorbeeld bestaat een allel voor een rechte haarlijn en een allel voor een V-vormige haarlijn. Vaak bestaan er drie of meer verschillende allelen voor een erfelijke eigenschap, ook wel **multipele allelen** genoemd. Ook van erfelijke eigenschappen met multipele allelen komen in iedere lichaamscel twee allelen voor.

Bij het AB0-systeem dat bij mensen de bloedgroep bepaalt, zijn er drie verschillende allelen voor een gen. Twee allelen zijn dominant (I^A en I^B) en één allel is recessief (i). Er zijn vier bloedgroepen: A, B, AB en 0 (nul). Bij mensen bevatten lichaamscellen twee allelen voor de bloedgroep. De volgende genotypen zijn dan mogelijk:

- I^AI^A en I^Ai: deze personen hebben bloedgroep A.
- I^BI^B en I^Bi: deze personen hebben bloedgroep B.
- I^AI^B: deze persoon heeft bloedgroep AB.
- ii: deze persoon heeft bloedgroep 0.

Een voorbeeld: een vrouw met bloedgroep AB krijgt een kind van een man met bloedgroep 0.

1 Wat zijn de genotypen van de ouders?
De ouders (P) hebben genotype ♀ I^AI^B × ♂ ii.

2 Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?
Een eicel kan allel I^A of allel I^B bevatten. Een spermacel kan allel i bevatten.

3 Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eicelkern en een spermacelkern voor de nakomelingen in de F_1?

♂ / ♀	I^A	I^B
i	I^Ai	I^Bi

De nakomelingen hebben dus 50% kans op bloedgroep A en 50% kans op bloedgroep B.

LETALE FACTOREN

Bij sommige erfelijke eigenschappen komen **letale factoren** voor. Dan levert een allel in homozygote toestand geen levensvatbare cellen of een levensvatbaar individu op. Als twee geslachtscellen met dezelfde letale factor versmelten, sterft de zygote snel. Een deel van de verwachte nakomelingen wordt niet geboren, waardoor je bij de nakomelingen andere verhoudingen in de genotypen en fenotypen aantreft.

Zo is bij muizen het agouti-gen verantwoordelijk voor het bepalen van de vachtkleur. Het allel (A) levert een donkergrijze vachtkleur op. Een gemuteerd dominant allel (A^Y) van het agouti-gen levert een veel lichtere, gelige vachtkleur op. Dit gen bevat ook een letale factor. Muizen met het genotype A^YA^Y sterven daardoor als embryo in de baarmoeder.

Twee gele muizen worden gekruist. Welke fenotypen verwacht je in de F_1 en in welke verhouding?

1 Wat zijn de genotypen van de ouders?
De ouders (P) hebben genotype ♀ AA^Y × ♂ AA^Y.

2 Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?
Een eicel en een spermacel kunnen beide allel A of allel A^Y bevatten.

3 Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eicelkern en een spermacelkern voor de nakomelingen in de F_1?
Het kruisingsschema is dan zoals aangegeven in afbeelding 46.

■ **Afb. 46** Overerving van een letale factor.

♂ \ ♀	A	A^Y
A	 AA	 AA^Y
A^Y	 AA^Y	✕ A^YA^Y

Ongeveer 25% van de embryo's heeft genotype A^YA^Y en wordt niet geboren. Deze nakomelingen tel je niet mee in de verhouding. De verhouding van fenotypen in de F_1 is dan:
gele muizen : donkergrijze muizen = 2 : 1 of 67% : 33%.

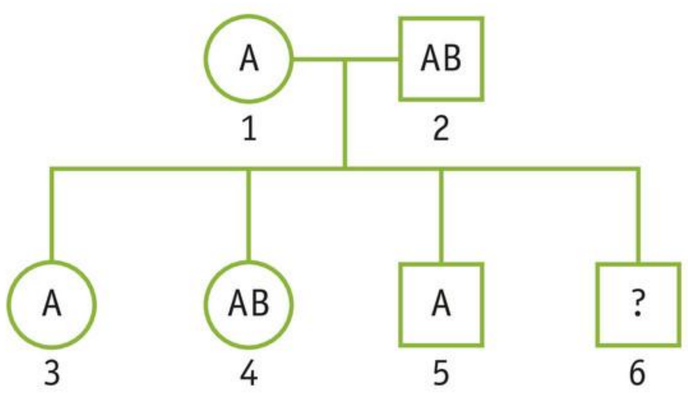
Opdrachten KENNIS

54 De stamboom in afbeelding 47 geeft de overerving weer van bloedgroepen in een familie.

a Kan persoon 6 bloedgroep B hebben? Leg je antwoord uit.

b Bij bloedgroep AB komen beide allelen tot uiting in het fenotype. Hoe erven deze allelen over?

■ **Afb. 47** De overerving van bloedgroepen in een familie.



55 In afbeelding 48 zie je een man met de erfelijke aandoening achondroplasie (dwerggroei). Deze aandoening wordt veroorzaakt door een mutatie in het FGFR3-gen. De man is slechts 1,35 m lang en heeft gedrongen ledematen. Dit komt doordat het kraakbeen van de armen en benen niet goed in bot verandert. De grootte van de romp is gemiddeld. Achondroplasie erft autosomaal dominant over en is letaal bij embryo's die homozygoot zijn voor deze eigenschap. Een man met achondroplasie en een vrouw met een normale lengte krijgen een kind.

a Hoe groot is de kans dat het kind ook achondroplasie heeft? Maak het kruisingsschema.

b Dominante letale allelen worden niet vaak aangetroffen in populaties. Leg uit waarom niet.

c Kinderen die twee keer een gemuteerd FGFR3-gen erven, sterven meestal voor de geboorte of in de vroege kinderjaren aan ademhalingsmoeilijkheden. Het dominante letale allel voor achondroplasie wordt wel aangetroffen in populaties. Leg uit hoe dat kan.

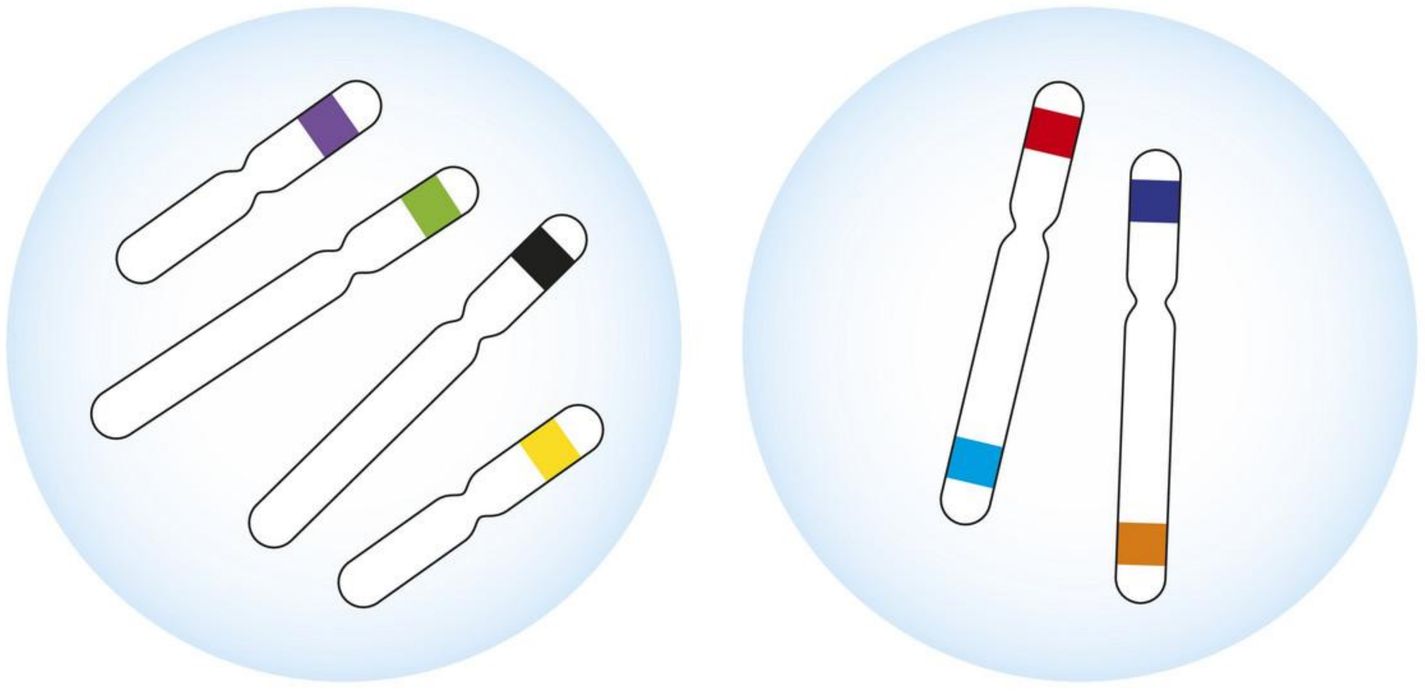
■ **Afb. 48** Man met achondroplasie.



GEKOPPELDE OVERERVING

Bij dihybride kruisingen met onafhankelijke overerving liggen de twee genenparen in verschillende chromosomenparen. De twee genenparen kunnen ook in hetzelfde chromosomenpaar liggen (zie afbeelding 49). Dan spreek je van **gekoppelde genen** en van gekoppelde overerving. Bij een dihybride kruising met gekoppelde overerving is slechts één chromosomenpaar betrokken.

■ **Afb. 49** Ligging van genen bij een dihybride kruising.



1 bij onafhankelijke overerving

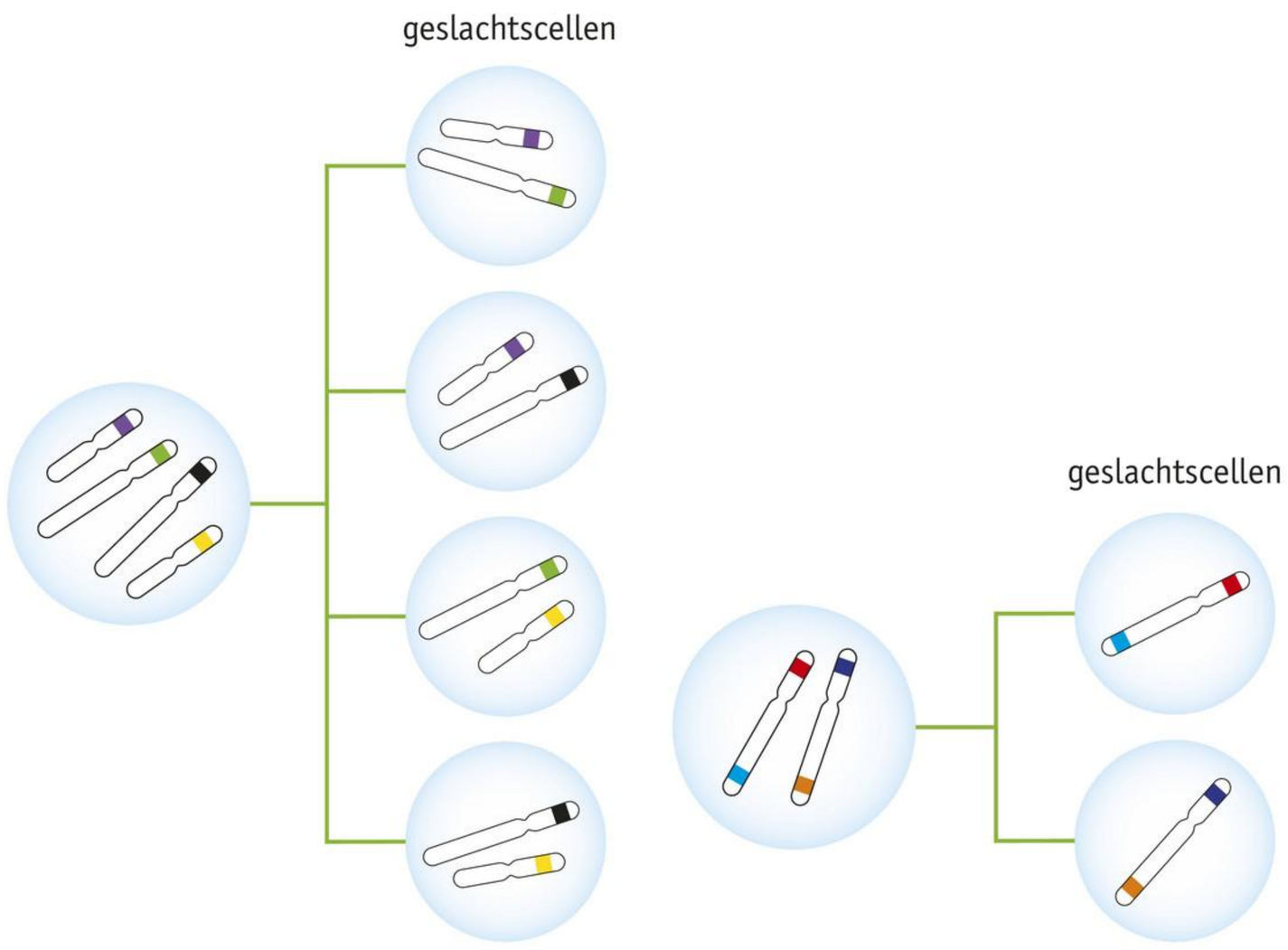
2 bij gekoppelde overerving

In kruisingsvraagstukken kun je de koppeling van genen in de chromosomen als volgt weergeven:

- het genotype van een homozygoot dominant individu: GGNN of $\frac{\underline{GN}}{\underline{GN}}$
- het genotype van een homozygoot recessief individu: ggnn of $\frac{\underline{gn}}{\underline{gn}}$
- het genotype van een heterozygoot individu: GgNn of $\frac{\underline{GN}}{\underline{gn}}$

De gekoppelde allelen van gekoppelde genen liggen op één chromosoom en worden samen doorgegeven aan de nakomelingen. Een geslachtscel van een homozygoot dominant individu bevat dan een chromosoom met <u>GN</u>. Een geslachtscel van een homozygoot recessief individu bevat een chromosoom met <u>gn</u>. En een geslachtscel van een heterozygoot individu kan een chromosoom met <u>GN</u> of met <u>gn</u> bevatten. Als een dominant allel gekoppeld is aan een recessief allel, kan het chromosoom ook <u>Gn</u> of <u>gN</u> bevatten. In afbeelding 50 zie je de mogelijke genotypen van de geslachtscellen bij onafhankelijke overerving van twee genen en bij gekoppelde overerving van twee genen. Beide individuen zijn heterozygoot voor alle eigenschappen.

■ **Afb. 50** De genotypen van geslachtscellen bij onafhankelijke en gekoppelde overerving.



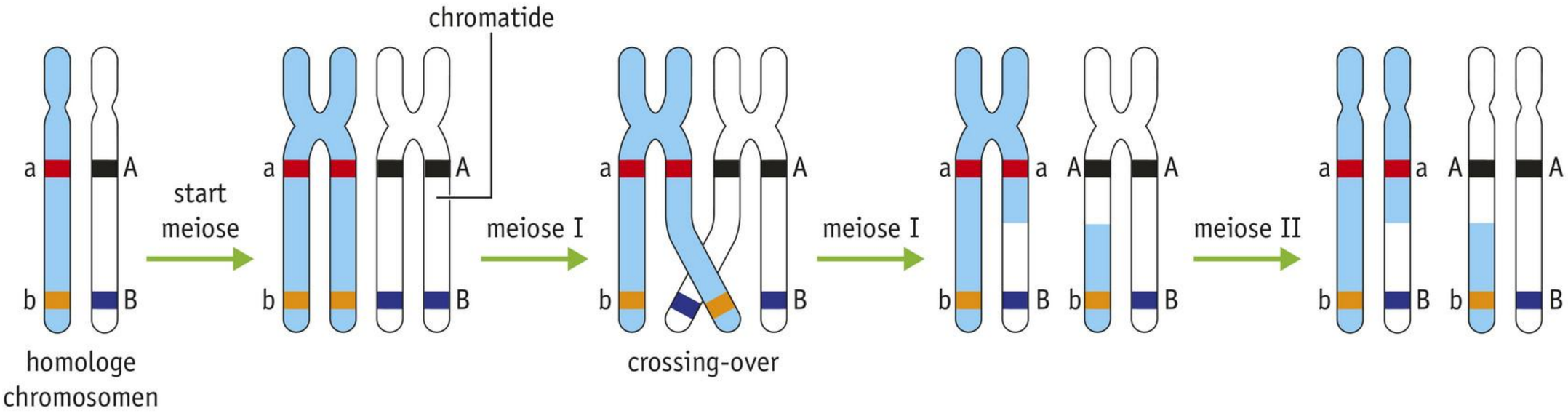
1 onafhankelijke overerving van twee genen

2 gekoppelde overerving van twee genen

OVERERVING DIE ANDERS VERLOOPT

Soms wordt de koppeling van allelen verbroken. Aan het begin van meiose I (in de metafase) liggen homologe chromosomen bij elkaar. Wanneer ze spiraliseren, kunnen de chromatiden van twee homologe chromosomen in elkaar verstrengeld raken. Als dan breuken ontstaan in de DNA-moleculen van de chromatiden die niet worden hersteld, kan **crossing-over** optreden. Hierbij worden de afgebroken chromosoomdelen uitgewisseld: ze hechten aan het andere chromosoom van het homologe paar (zie afbeelding 51 en *BiNaS* tabel 76B). Crossing-over kan in een chromosoom op elke willekeurige plaats optreden. Eén chromosoom kan daardoor allelen van twee verschillende ouders bevatten. Zo ontstaan nieuwe haplotypen. Daardoor versterkt crossing-over het effect van recombinatie tijdens de meiose, waardoor een grotere verscheidenheid aan genotypen binnen een populatie ontstaat.

■ **Afb. 51** Door crossing-over ontstaat een grotere verscheidenheid aan genotypen.



Er zijn meer oorzaken waardoor de overerving anders verloopt dan je zou verwachten. Zo kan door milieufactoren een allel van een allelenpaar bij het ene individu niet tot expressie komen en bij een andere individu met hetzelfde allelenpaar wel. Bij bepaalde muizen bijvoorbeeld kan door voeding de vachtkleur veranderen van oranjekleurig naar bruin.

Niet alleen de celkern bevat DNA, ook de mitochondriën bevatten een klein, cirkelvormig DNA-molecuul met een klein aantal genen: **mitochondriaal DNA** (of mtDNA). De mitochondriale genen erven zowel bij planten als dieren over via eicellen en niet via spermacellen of stuifmeelkorrels. Een eicel bevat veel mitochondriën. Bij dieren bevinden de mitochondriën van de spermacellen zich in de staart en die blijft bij de bevruchting meestal achter, want alleen de kop van de spermacel dringt de eicel binnen. Hierdoor komen de mitochondriën van de spermacel niet in de eicel terecht.

Opdrachten KENNIS

56 Gebruik tabel 70D in *BiNaS* voor het beantwoorden van de volgende vraag.
Erven de genen ESR1 en ESR2 gekoppeld of onafhankelijk over? Leg je antwoord uit.

57 Bij fruitvliegjes is het allel voor grijze lichaamskleur (G) dominant over het allel voor zwarte lichaamskleur (g). Het allel voor normale vleugels (N) is dominant over dat voor vleugelstompjes (n). De genen voor lichaamskleur en vleugelvorm liggen in hetzelfde chromosomenpaar.
Een grijs vrouwtje met normale vleugels, dat voor beide eigenschappen homozygoot is, wordt gekruist met een zwart mannetje met vleugelstompjes.

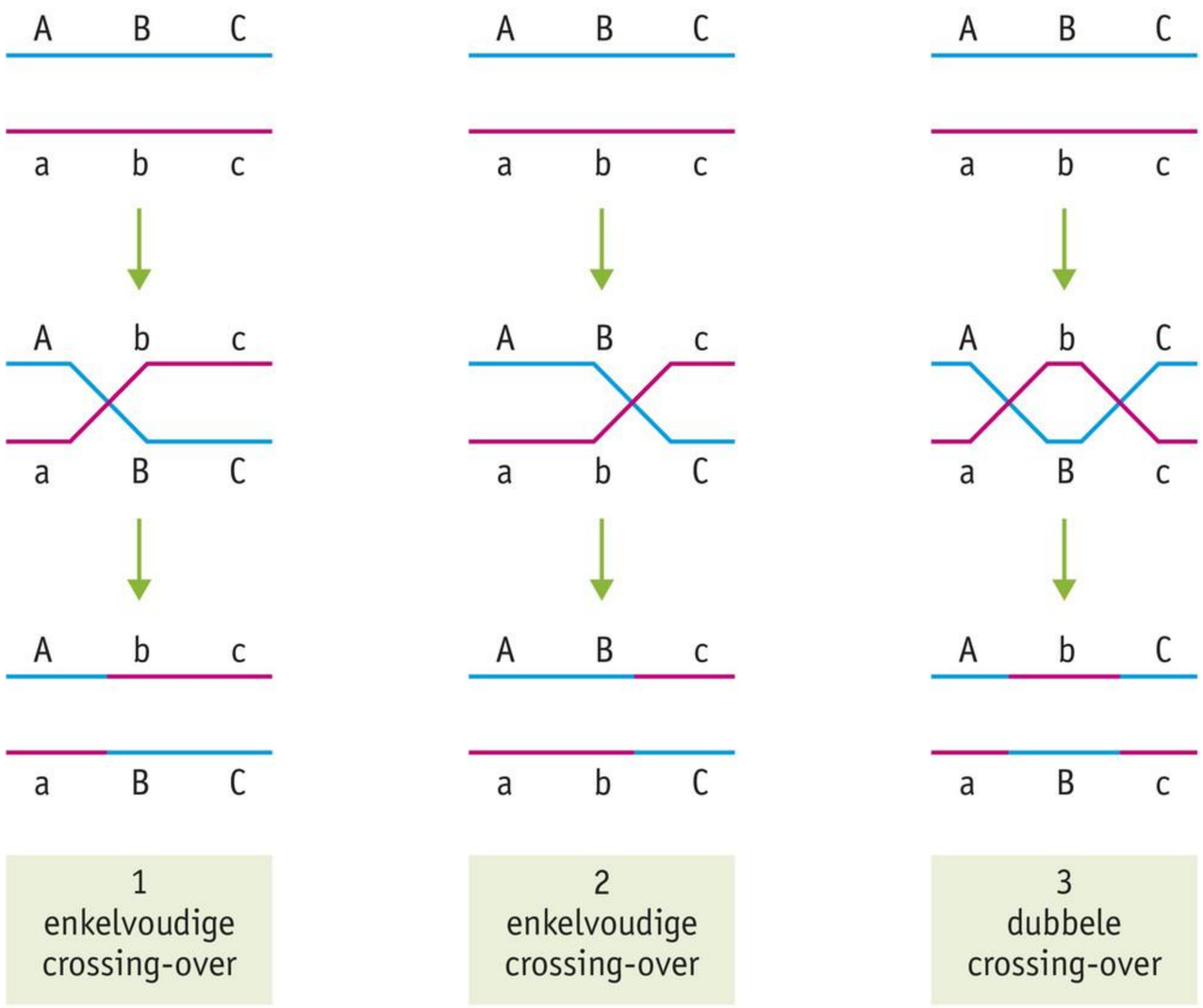
a Wat zijn de genotypen van de fruitvliegjes? Geef de genotypen ook schematisch weer.
b Wat is het genotype van een vrouwtje in de F_1-generatie? Geef het genotype ook schematisch weer.
c Een F_1-vrouwtje wordt verder gekruist met een zwart mannetje met vleugelstompjes. Maak het kruisingsschema van deze kruising.
d Welke fenotypen komen voor in de F_2 en in welke verhouding?
e Welke fenotypen komen in de F_2 niet voor, maar zou je bij onafhankelijke overerving wel in de nakomelingschap verwachten?

Opdrachten INZICHT

58 Een vrouw en een man hebben vier kinderen, die allemaal een andere bloedgroep van het AB0-systeem bezitten.
Welke genotypen voor de bloedgroep hebben de vrouw en de man?

59 Afbeelding 52 is een voorbeeld van enkelvoudige crossing-over en van dubbele crossing-over waarbij de allelen ABC en abc zijn gekoppeld. In de afbeelding is te zien dat na crossing-over nieuwe genotypen ontstaan. Gebruik deze afbeelding bij het beantwoorden van de volgende vragen.

■ **Afb. 52** Enkelvoudige en dubbele crossing-over.



Een populatie maïsplanten heeft het genotype PpQqRr. Er is een koppeling tussen de allelen PqR en pQr. Bij kruisingsproeven treedt enkelvoudige en dubbele crossing-over op. In tabel 2 zie je de allelencombinaties in duizend geslachtscellen van maïsplanten met het genotype PpQqRr en hun frequentie weergegeven.

Tabel 2

PQR	6	PQr	85	pQR	56	PqR	345
pqr	9	pqR	83	Pqr	61	pQr	355

a Waaruit kun je afleiden dat de allelen PqR en pQr zijn gekoppeld? Leg je antwoord uit.
b Welke allelencombinaties zijn ontstaan door dubbele crossing-over? Leg je antwoord uit.
c Hoe groot is de kans op enkelvoudige crossing-over bij het vormen van geslachtscellen? Geef de berekening.
d Hoe groot is de kans op dubbele crossing-over bij het vormen van geslachtscellen? Geef de berekening.
e Leg uit dat de genetische variatie in de populatie maïsplanten door crossing-over toeneemt.

60 Een DNA-test kan de verwantschap tussen familieleden aantonen. Hiervoor wordt soms mtDNA gebruikt. Om een slachtoffer van een ramp te identificeren zijn de volgende personen beschikbaar:

- vader
- moeder
- zus
- oma van vaders kant
- oma van moeders kant
- een nichtje (dochter van een zus van de vader)
- een neefje (zoon van een zus van de moeder)

Welk familielid is, of welke familieleden zijn geschikt voor de identificatie van het slachtoffer aan de hand van mitochondriaal DNA? Leg je antwoord uit.

61 De ziekte van Leber is een mitochondriale aandoening waardoor rond het twintigste jaar plotseling verlies van het gezichtsvermogen optreedt. Niet iedere persoon die het mitochondriale gen heeft, krijgt ook daadwerkelijk de ziekte van Leber. Bij mannen met het gen is de kans op deze oogziekte 32%, bij vrouwen die het gen hebben 10%.
Eduard en Maria krijgen een zoon en een dochter, Lars en Fiene. Maria heeft het gen dat de ziekte van Leber kan veroorzaken. Eduard heeft dit gen niet.
Hoe groot is de kans dat Lars de ziekte van Leber krijgt? En Fiene? Leg je antwoord uit.

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

Context Leefwereld

'KILLERMUGGEN' UIT HET LAB

De denguemug of gelekoortsmug (*Aedes aegypti*) komt voor in subtropische en tropische gebieden. De mug is een overbrenger van verschillende virussen die onder andere dengue (knokkelkoorts), gele koorts en zikakoorts kunnen veroorzaken. Een besmette mug draagt de ziekteverwekkers in de speekselklieren. Alleen vrouwtjesmuggen steken en zuigen bloed omdat de eiwitten in het bloed nodig zijn voor de ontwikkeling van hun eitjes. Voordat een vrouwtjesmug bloed gaat zuigen, spuit ze eerst speeksel met een antistollingsmiddel in het bloedvat om te voorkomen dat het bloed stolt. Hierbij kan het virus worden overgedragen.

Voor de meeste ziekten die de denguemug verspreidt, bestaan geen vaccins of medicijnen. Bovendien blijken de muggen steeds vaker resistent te zijn tegen de insecticiden die worden gebruikt om ze te doden. In de zoektocht naar een biologische bestrijdingsmethode zijn in het laboratorium twee nieuwe allelen in het DNA van een aantal mannelijke denguemuggen ingebracht. Een daarvan is een dominant letaal allel dat de vrouwelijke nakomelingen doodt als ze larve zijn. Mannelijke nakomelingen sterven niet, maar zijn drager van het letale allel. Het tweede allel maakt de beestjes fluorescerend onder bepaald licht. Door deze muggen in het wild vrij te laten, zouden de lokale populaties denguemuggen drastisch moeten verminderen. In een proefproject in Florida zijn op drie plaatsen dozen met muggeneieren geplaatst. Wanneer de muggen zijn uitgekomen, wordt gemeten hoe ver de mannelijke muggen van de dozen reizen, hoelang ze leven, hoe effectief ze de wilde vrouwelijke muggenpopulatie onderdrukken en of alle vrouwtjes met het letale gen inderdaad sterven.

■ **Afb. 53** Een denguemug (*Aedes aegypti*) zuigt bloed bij een mens.



Opdrachten

62 **a** Zijn de genetisch aangepaste mannetjesmuggen homozygoot of heterozygoot voor het dominante letale allel (A)? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema.

b Waarom is het belangrijk dat vooral de vrouwtjesmuggen doodgaan om verspreiding van dengue (knokkelkoorts), gele koorts en zikakoorts te voorkomen?

63 **a** Wat is de functie van het fluorescerende allel in het DNA van de genetisch aangepaste mannetjesmuggen?

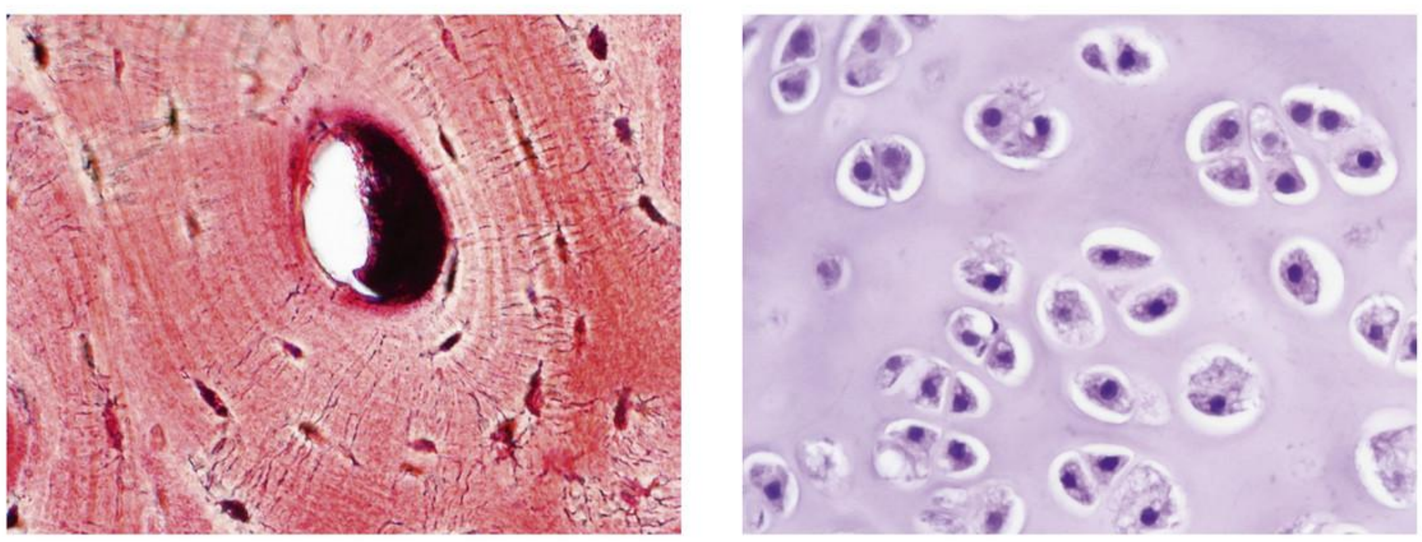
b Het is niet de bedoeling dat het letale allel in de denguemuggenpopulaties in andere delen van Florida terechtkomt.
Leg uit waarom de onderzoekers verwachten dat dit ook niet zal gebeuren.

- In pezen zitten bijvoorbeeld veel stevige vezels.
- In de wand van grote slagaders zitten veel elastische vezels.
- Vezels die een netwerk vormen, geven ondersteuning aan organen, zoals de lever en de milt.

In beenweefsel (zie afbeelding 12.1) bevinden zich tussen de cellen kalkzouten en collageenvezels. De kalkzouten geven stevigheid aan beenweefsel. Collageenvezels zijn lijmvormende vezels die in beenweefsel zorgen voor de samenhang en elasticiteit van het weefsel. Beenweefsel zou zonder collageenvezels hard, maar ook heel bros zijn en gemakkelijk breken. In de kanaaltjes in het beenweefsel bevinden zich bloedvaten en zenuwen.

Kraakbeenweefsel bestaat uit veel tussencelstof waarin groepjes van twee of drie cellen tegen elkaar aan liggen (zie afbeelding 12.2). De tussencelstof bevat bij kraakbeen minder kalkzouten, maar meer collageenvezels. Die zorgen ervoor dat het kraakbeen elastisch en buigzaam is. Hierdoor kan het weefsel enigszins vervormen.

■ **Afb. 12** Weefsels met tussencelstof.

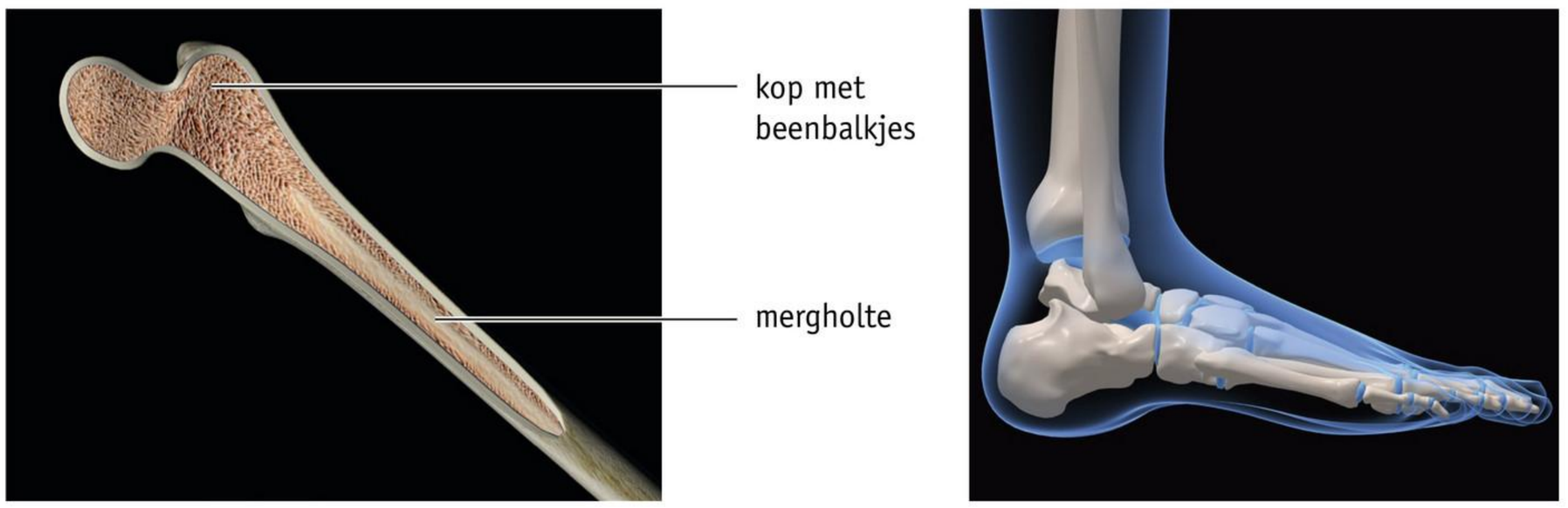


1 beenweefsel **2** kraakbeenweefsel

VORM EN FUNCTIE

Organismen zijn opgebouwd uit biologische eenheden, zoals cellen en weefsels. Tussen de vorm en de functie van biologische eenheden kun je verbanden zien. Kijk bijvoorbeeld naar het beenderstelsel. Een dijbeen is een langwerpig hol been (zie afbeelding 13.1). In de kop van een dijbeen bestaat het beenweefsel uit beenbalkjes met daartussen beenmerg. De beenbalkjes lopen in de richtingen waarin de grootste krachten op het bot worden uitgeoefend. Hierdoor zijn dijbeenderen zo licht mogelijk zonder dat dit ten koste gaat van de stevigheid. Je benen kunnen je lichaamsgewicht dragen zonder dat het je te veel energie kost om ze te verzetten. De beenderen in de voeten hebben samen een gewelfde vorm (zie afbeelding 13.2). Door deze vorm zijn de voeten goed in staat het gewicht van je lichaam te dragen en schokken op te vangen.

■ **Afb. 13** Vorm en functie gaan samen.



7 OPVOEDING OF AANLEG

LEERDOELEN

3.7.1 Je kunt uitleggen wat het belang van tweelingenonderzoek is voor de genetica.

3.7.2 Je kunt verklaren waarom overerving van eigenschappen door epigenetica soms anders verloopt dan je had verwacht.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.7.1	**3.7.2**
Begrijpen	64, 65, 66, 67abc	67d
Toepassen	72, 73a	68, 69ab, 70b
Analyseren	73b	69c, 70a, 71

Als je goed kunt leren, is dat dan een aangeboren eigenschap, of heb je dit aangeleerd? Biologisch en genetisch onderzoek geeft stapje voor stapje antwoord op deze vraag. Er is steeds meer bewijs dat het gaat om een combinatie van aanleg en opvoeding.

NATURE VERSUS NURTURE

Het fenotype wordt bepaald door het genotype en door milieufactoren. Hoe groot de invloed is van het genotype en milieufactoren op het fenotype, kun je bij planten en dieren bepalen door middel van onderzoek.

Sommige eigenschappen worden bijna uitsluitend bepaald door het genotype. Zo bepaalt je genotype je bloedgroep. Het milieu heeft hier geen invloed op. Andere eigenschappen worden (vrijwel) uitsluitend door milieufactoren bepaald, zoals een litteken of de lengte van je nagels.

Het genotype stelt bij veel eigenschappen de uiterste grenzen vast en het milieu bepaalt hoe dicht de grenzen worden benaderd. Bij een mens kan in het genotype vastliggen dat een persoon maximaal 1,80 m lang kan worden. Als alle milieufactoren optimaal zijn, zal deze lengte worden bereikt. Krijg je tijdens de groei te maken met bijvoorbeeld gebrek aan voedsel, weinig slaap, zware arbeid of langdurige ziekte, dan zal deze lengte niet worden bereikt. Hetzelfde genotype leidt dus niet altijd tot hetzelfde fenotype, maar tot een reeks mogelijkheden van het fenotype als gevolg van de invloed van het milieu.

De rol van opvoeding op het fenotype houdt psychologen, onderwijskundigen en opvoedkundigen behoorlijk bezig. Hoe groot is bijvoorbeeld de rol van aanleg (nature) en opvoeding (nurture) op je schoolprestaties? Bij mensen is deze rol van het milieu (opvoeding) en genotype (aanleg) op het fenotype lastig te bepalen, want je kunt niet zomaar experimenten met mensen doen. Tweelingenonderzoek (afbeelding 54) is wel geschikt om de invloed van genen en milieufactoren op menselijke eigenschappen te onderzoeken.

■ **Afb. 54** Een eeneiige tweeling.



TWEELINGENONDERZOEK

De genotypen van eeneiige tweelingen zijn hetzelfde, die van twee-eiige tweelingen zijn verschillend. Maar bij zowel eeneiige als twee-eiige tweelingen zijn de leeftijd en de omgeving waarin ze opgroeien gelijk. Hierdoor kunnen onderzoekers de invloed van omgevingsfactoren en genen op fenotypen bepalen. Tweelingen zijn daarom ideaal als vergelijkingsmateriaal: 'gelijk genotype en gelijk milieu' versus 'verschillend genotype en gelijk milieu'.

Wanneer de helften van eeneiige tweelingen, bijvoorbeeld door adoptie, van jongs af aan in verschillende gezinnen opgroeien, kun je te weten komen wat de invloed is van milieufactoren op het fenotype (gelijk genotype en verschillend milieu).

Opdrachten KENNIS

64 Anne en Senna zijn eeneiige tweelingzussen van 18 jaar. Anne is 12 cm groter dan Senna. Is het verschil in lengte bij deze tweelingzussen veroorzaakt door erfelijke eigenschappen of door milieufactoren?

65 Onderzoekers willen weten of intelligentie vooral door genen of vooral door milieufactoren wordt bepaald. Ze onderzoeken daarvoor tweelingen. De resultaten van hun onderzoek geven aan dat de helften van eeneiige tweelingen qua IQ meer op elkaar lijken dan de helften van twee-eiige tweelingen.

a Wat is de conclusie?

b Stel dat uit de resultaten zou blijken dat het IQ bij eeneiige en twee-eiige tweelingenparen ongeveer even groot is.
Wat zou dan de conclusie zijn?

66 Erfelijke factoren kunnen verantwoordelijk zijn voor een hoge bloeddruk.
Als erfelijke factoren een rol spelen, wie zullen dan vaker allebei een hoge bloeddruk hebben: eeneiige tweelingen of twee-eiige tweelingen? Leg je antwoord uit.

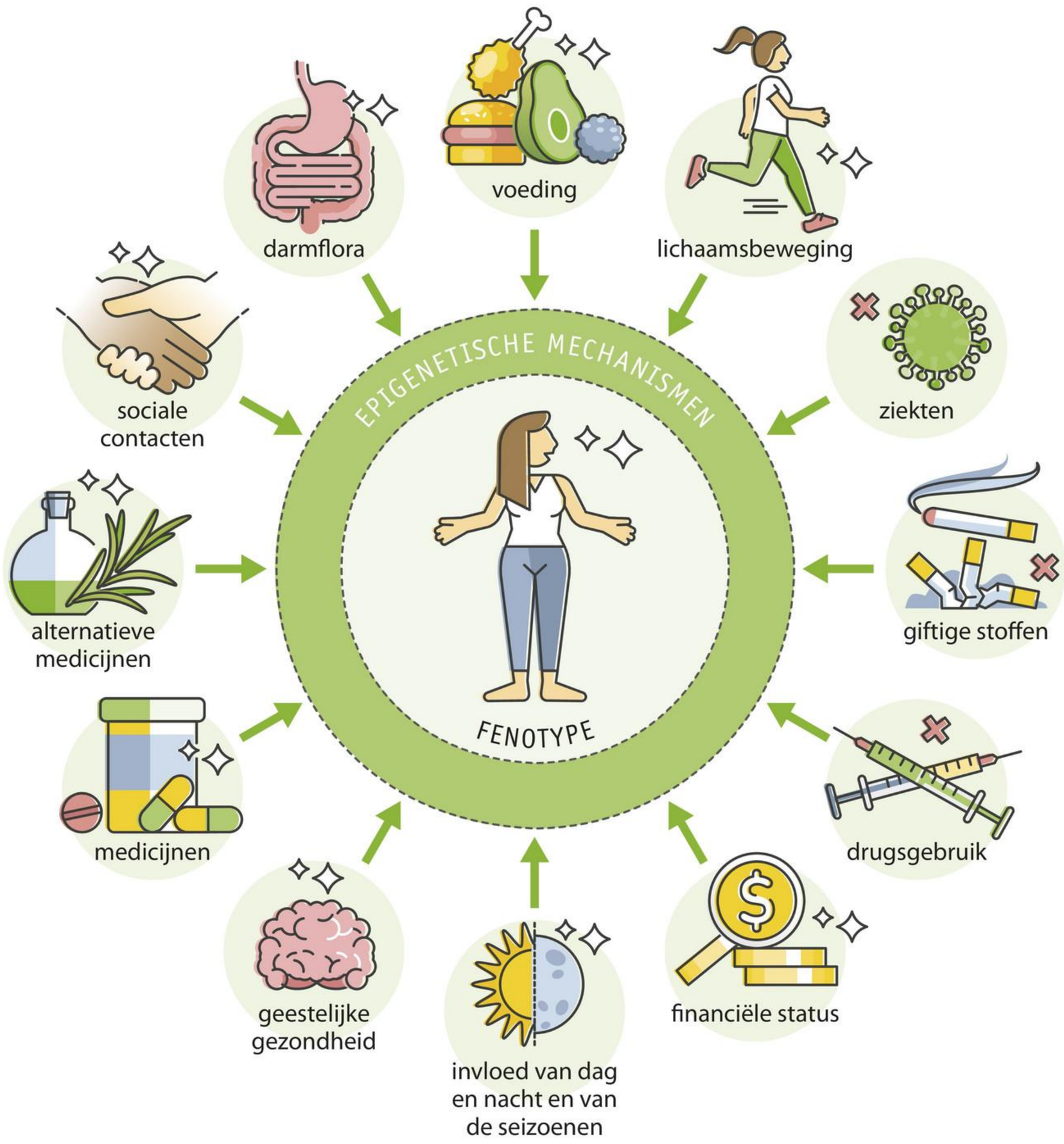
EPIGENETICA

De verhouding van fenotypen bij nakomelingen na een monohybride kruising kan afwijken van wat je had verwacht. Bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een letale factor of door een mutatie in een vroeg embryonaal stadium. Milieufactoren hebben ook invloed op het fenotype omdat ze de activiteit van genen bepalen. Ze kunnen genen aan- of uitzetten.

Al tijdens de embryonale ontwikkeling worden in de cellen genen onder invloed van milieufactoren selectief aan- of uitgezet. Daardoor ontstaan de verschillende typen cellen, zoals huidcellen, spiercellen en levercellen. Ook later worden er in een organisme genen aan- of uitgezet onder invloed van milieufactoren. **Epigenetica** bestudeert het mechanisme dat allelen in een organisme aan- en uitzet en de invloed van milieufactoren hierop (zie afbeelding 55). Dit mechanisme wordt ook wel het epigenoom genoemd. De DNA-sequentie van een allel wordt niet gewijzigd door epigenetische mechanismen.

Uit onderzoek bij muizen blijkt bijvoorbeeld dat kenmerken van een westers voedingspatroon (onder andere overconsumptie van suiker en vet) epigenetische mechanismen in werking zetten. Het westerse voedingspatroon blijkt tumoronderdrukkende genen te remmen, met een verhoogd risico op kanker tot gevolg.

■ **Afb. 55** Voorbeelden van milieufactoren die het fenotype kunnen beïnvloeden.



De wijzigingen in de genexpressie van een allel zijn vaak omkeerbaar. Een deel van de wijzigingen is wel stabiel en erfelijk en wordt doorgegeven aan de nakomelingen.

Het kan vele generaties duren voordat een toevallig gunstige mutatie in het genoom van een individu zich blijvend in een populatie nestelt. Hierdoor is het voor een soort niet mogelijk om zich snel aan te passen aan veranderingen in de omgeving. Daarvoor zijn epigenetische mechanismen wél geschikt. Terwijl het genoom nauwelijks verandert, kunnen organismen door epigenetische mechanismen toch snel zijn aangepast aan veranderingen in hun omgeving.

Genen en steeds veranderende milieufactoren bepalen dus het fenotype. Bij eeneiige tweelingen leiden epigenetische mechanismen in de loop van hun leven tot steeds duidelijkere verschillen in uiterlijk en gedrag. Het genotype van eeneiige tweelingen is gelijk, maar of bepaalde genen wel of niet tot uiting komen in het fenotype kan onderling verschillen.

De genen van ouders kunnen verschillende rollen tijdens de embryonale ontwikkeling hebben. Sommige genen van de moeder zijn in een embryo altijd uitgeschakeld, de actieve kopie komt dan van de vader. Inactieve genen kunnen ook van de vader afkomstig zijn. In dat geval komt het gen van de moeder tot expressie. Een aantal van deze genen zorgt voor de groei van een baby.

Het Igf2-gen bijvoorbeeld is verantwoordelijk voor de productie van het hormoon Igf2. Tijdens de embryonale ontwikkeling is dit hormoon belangrijk voor de groei van de foetus in de baarmoeder. Het allel dat van de vader is geërfd is dan actief, terwijl dat van de moeder niet tot expressie komt. Daardoor wordt er een normale hoeveelheid van het hormoon Igf2 gemaakt en ontwikkelt de foetus zich normaal. Wanneer een embryo in een vroeg stadium wordt blootgesteld aan een ernstig voedseltekort, zal het Igf2-gen dat afkomstig is van de moeder actiever worden en blijven. Daardoor wordt er meer Igf2-hormoon afgegeven. Het kind heeft dan een grotere kans op overgewicht, hartziekten en diabetes. Hieruit blijkt dat voedseltekort epigenetische effecten kan hebben.

Opdrachten KENNIS

67 Bij een strafrechtelijk onderzoek kijken DNA-deskundigen voor een standaard forensisch DNA-profiel naar 23 specifieke plaatsen in het DNA van een verdachte. De nucleotidensequenties op die 23 plaatsen zijn uniek voor een persoon. De deskundigen vergelijken het DNA-profiel van een verdachte met DNA-profielen in een databank om te kijken of er een match is.

a Waarom zijn de 23 plaatsen in het DNA uniek voor een persoon?

b Tweelingen kunnen ook in de DNA-databank voor strafzaken terechtkomen als ze verdachte zijn van een misdrijf of veroordeeld worden. In de DNA-databank zitten de DNA-profielen van ruim 700 eeneiige tweelingen. In 95% van de gevallen is van beiden een DNA-profiel aanwezig, maar bij eeneiige tweelingen heeft het vaak geen zin om naar de 23 plaatsen in het DNA te kijken. Op basis van het DNA-profiel kun je een spoor niet toeschrijven aan de ene of de andere helft van een eeneiige tweeling.
Leg dat uit.

c Toch komen er enkele kleine verschillen voor in het DNA van eeneiige tweelingen. Om die verschillen te kunnen ontdekken, wordt van beide leden van een eeneiige tweeling de nucleotidensequentie van het totale DNA bepaald en met elkaar vergeleken.
Naar welke kleine verschillen in het DNA zijn de DNA-deskundigen op zoek?

d Hoewel beide leden van een eeneiige tweeling dezelfde genen hebben, vertonen ze toch verschillen in fenotypen.
Leg uit hoe dat kan.

Opdrachten INZICHT

68 **Bruin vet**

NBO voorronde 2020, opgave 33.

De belangrijkste bron van lichaamswarmte voor jongen is bruin vetweefsel. Bruin vetweefsel bevat zeer veel mitochondriën en dient vooral voor warmteontwikkeling. Ook mensenbaby's hebben bij hun geboorte bruin vetweefsel. Kort daarna verdwijnt het bruin vetweefsel grotendeels, maar bij volwassenen komt het nog steeds voor rond de bloedvaten in de borst. Beweging en kou kunnen de omvorming van wit vetweefsel in bruin vetweefsel stimuleren. Sommige outdoortrainingen zijn daarop gebaseerd.
Bij de omvorming van wit vetweefsel in bruin vetweefsel onder invloed van kou treedt verandering op. Treedt deze verandering op in het genoom of in het epigenoom? Leg je antwoord uit.

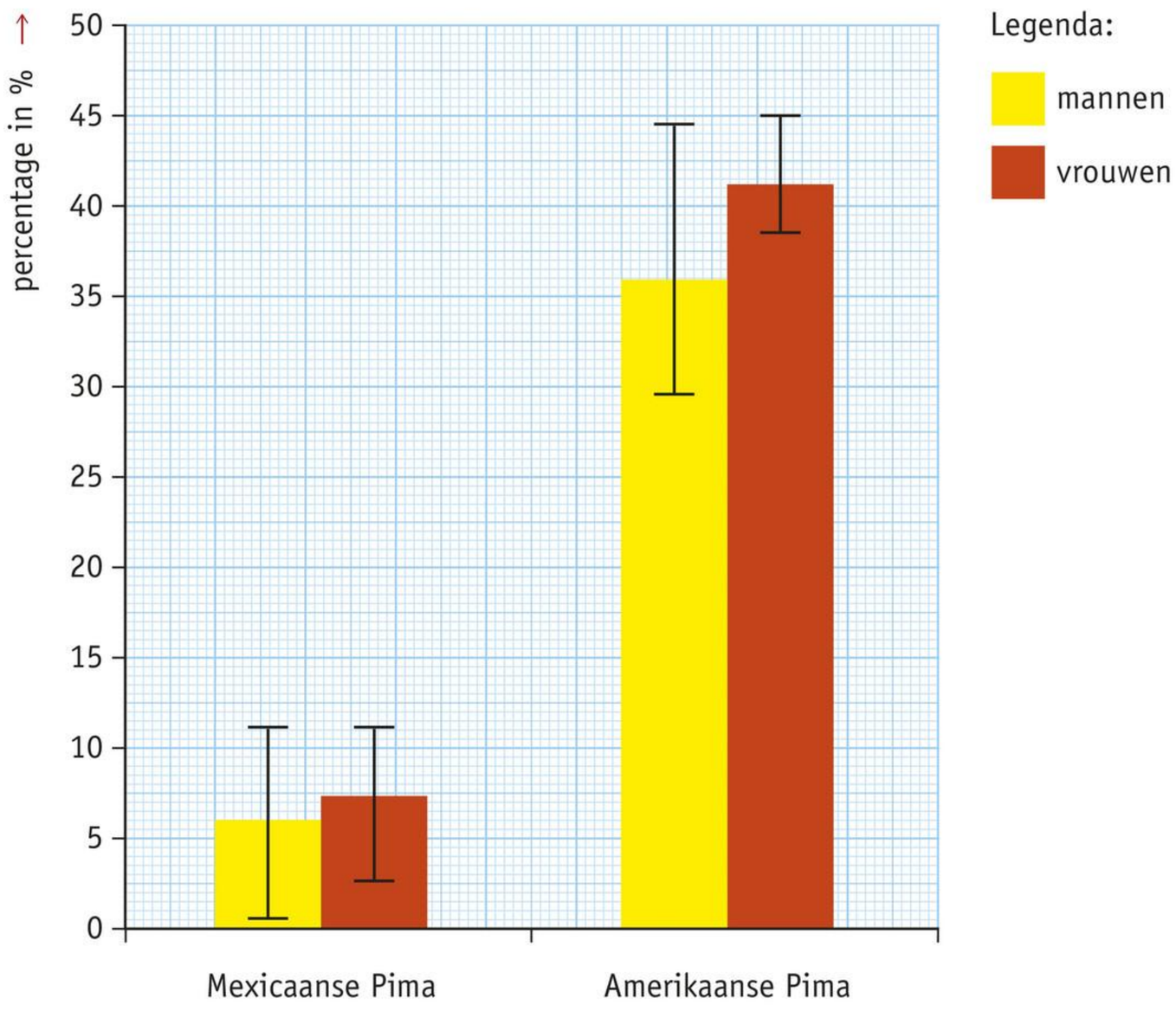
69 Pima's zijn een groep inheemse Amerikanen en hebben genetisch gezien veel aanleg om diabetes te krijgen. In een onderzoek werden volwassen Pima's die in Mexico leven vergeleken met Pima's die naar Amerika zijn gemigreerd. Er is een grote genetische overeenkomst tussen beide populaties. In afbeelding 56 en in tabel 3 zie je enkele resultaten van het onderzoek.

a Kun je uit de gegevens in afbeelding 56 en tabel 3 concluderen dat milieufactoren een rol spelen bij het ontstaan van diabetes? Leg je antwoord uit.

b Nakomelingen van de Pima's in Arizona (VS) hebben een 3,7 keer zo grote kans om diabetes te krijgen wanneer hun moeder tijdens de zwangerschap diabetes heeft in vergelijking met broers en zussen die geboren waren voordat de moeder diabetes ontwikkelde.
Kunnen milieufactoren een rol spelen bij het ontstaan van diabetes bij deze nakomelingen? Leg je antwoord uit.

c Door een gezond dieet te volgen en door meer te bewegen kan diabetes bij de Pima's in Amerika vaak worden voorkomen. Het geven van voorlichting hierover helpt daarbij.
Leg uit waarom de voorlichting aan Pima's volgens deskundigen moet beginnen bij vrouwen in de vruchtbare leeftijd.

■ **Afb. 56** Percentage volwassen personen met diabetes in twee verschillende Pima-populaties.



Tabel 3 Extreem overgewicht en fysieke arbeid in twee verschillende populaties Pima's.

	Mexicaanse Pima		Amerikaanse Pima	
	mannen	vrouwen	mannen	vrouwen
extreem overgewicht (BMI > 30) in %	6,5	19,8	63,8	74,8
aantal uren fysieke arbeid per week	32,9 (27,7 – 36,5)	22,0 (19,5 – 24,0)	12,1 (9,7 – 15,6)	3,1 (2,4 – 3,8)

70 Het syndroom van Beckwith-Wiedemann is een afwijking waarbij een kind in de baarmoeder en na de geboorte, tot een jaar of 8, sneller groeit dan gewoonlijk. De oorzaak van dit syndroom is meestal een verandering op chromosoom 11 tijdens de embryonale ontwikkeling waardoor de productie van het Igf2-hormoon toeneemt.

a Welke verandering heeft er plaatsgevonden in het Igf2-gen?

b Is het syndroom van Beckwith-Wiedemann een erfelijke ziekte of een aangeboren aandoening? Leg je antwoord uit.

71 Net als bij mensen komt ook bij leeuwen het Igf2-gen voor. Het allel dat van de vader is geërfd, is actief in nakomelingen, terwijl dat van de moeder niet tot expressie komt. Bij tijgers is de activiteit van de Igf2-genen bij mannetjes en vrouwtjes niet op die manier geregeld.

In gevangenschap paren leeuwen en tijgers soms met elkaar. Wanneer een leeuwenmannetje paart met een vrouwelijke tijger, zijn de nakomelingen (de lijgers) als ze volwassen zijn langer dan drie meter en dubbel zo zwaar als hun ouders (zie afbeelding 57).

a Waardoor worden lijgers zo groot?

b Een tijgermannetje kan ook paren met een vrouwtjesleeuw. Hun nakomeling heet een teeuw.
Verwacht je dat een teeuw groter, even groot, of kleiner is dan zijn ouders? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 57** Een lijger.



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

Context Leefwereld

DRIE IDENTIEKE VREEMDEN

Edward, David en Robert werden in 1961 geboren als eeneiige drieling (zie afbeelding 58). Een adoptiebureau zette hun jonge 19-jarige moeder onder druk om haar kinderen af te staan. Een half jaar na hun geboorte werden ze ieder apart geadopteerd door gezinnen met een verschillende sociaal-economische status: arbeidersmilieu, middenklasse en hogere middenklasse. Hun adoptieouders wisten niet dat de jongens bij een drieling hoorden.

Als de 19-jarige Robert gaat studeren aan de universiteit, vertellen medestudenten hem dat hij een 'dubbelganger' heeft. Edward en Robert ontmoeten elkaar voor het eerst en nemen aan dat ze een eeneiige tweeling zijn. Een krantenartikel over deze hereniging bereikt David, die zijn dubbelgangers herkent en met hen wordt herenigd. De tweeling blijkt een drieling te zijn.

In eerste instantie zijn de jongens heel blij elkaar te hebben gevonden. Maar hun adoptieouders hebben al snel veel vragen. Waarom wisten zij niets af van de drieling? Uiteindelijk blijkt dat de drie jongens onderdeel waren van een groot wetenschappelijk experiment met meerlingen. Psychiater Peter Neubauer liet voor deze 'Twin Study' tweelingen en drielingen in het geheim van elkaar scheiden om te onderzoeken hoe mensen worden wie ze zijn: door genetische aanleg of door opvoeding? De drieling is doelbewust bij verschillende adoptieouders geplaatst. Psychologen kwamen regelmatig bij de broertjes thuis om ze te observeren, zogenaamd omdat ze waren geïnteresseerd in de ontwikkeling van geadopteerde kinderen. Neubauer heeft zijn onderzoeksresultaten nooit durven publiceren.

■ **Afb. 58** De eeneiige drieling Edward, David en Robert.



Opdrachten

72 Edward, David en Robert zien er hetzelfde uit, roken hetzelfde merk sigaretten, blijken alle drie te hebben geworsteld en vallen alle drie op iets oudere vrouwen.

a Zijn de jongens zo geworden door hun genetische aanleg of door hun opvoeding? Leg je antwoord uit.

b Thomas J. Bouchard ontdekte dat de helften van eeneiige tweelingen die gescheiden zijn grootgebracht, ongeveer evenveel op elkaar lijken qua persoonlijkheid, interesses en gedrag als de helften van eeneiige tweelingen die samen zijn opgegroeid. De verschillen tussen tweelingen die apart worden grootgebracht zijn volgens hem volledig te wijten aan de omgeving.
Op welke twee manieren kunnen er verschillen tussen de helften van een eeneiige tweeling ontstaan?

73 Een onderzoek als dat van Neubauer zou nu niet meer kunnen, omdat een onderzoek altijd vooraf door een ethische commissie moet worden goedgekeurd.

a Geef een ethisch argument tegen het onderzoek van Neubauer. Licht je antwoord toe.

b Door tweelingstudies is bekend geworden dat autisme sterk genetisch is bepaald. Tweelingstudies zijn dus belangrijk voor het beantwoorden van bepaalde onderzoeksvragen.
Hoe kun je een tweelingenonderzoek opzetten dat ethisch verantwoord is?

DE EVOLUTIE VAN HUIDSKLEUR

LEERDOELEN

3.S.1 Je kunt het nut van recombinatie toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

3.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair denken en systeemdenken toepassen op het overerven van eigenschappen.

Huidskleur is waarschijnlijk niet meer dan een aanpassing aan de hoeveelheid zonlicht. Mensen met de donkerste huidskleur wonen over het algemeen dicht bij de evenaar. Hoe noordelijker mensen wonen, hoe bleker ze zijn.

De kleur van je huid wordt bepaald door het pigment melanine. Melanine wordt geproduceerd door cellen (melanocyten) die onder andere voorkomen in je huid, haar en ogen. Ze kunnen twee soorten melanine produceren: het bruinzwarte eumelanine en het geelrode pheomelanine. Doordat mensen verschillende hoeveelheden en soorten melanine produceren, komen er ongelooflijk veel variaties in huidskleur voor (zie afbeelding 1).

Zowel het hebben van een lichte als van een donkere huidskleur biedt voordelen. In een donkere huid beschermt melanine het DNA in de celkernen van de huidcellen tegen de negatieve effecten van uv-straling. Dit voorkomt het ontstaan van mutaties en kanker. Onder invloed van uv-licht in zonlicht wordt in de huid vitamine D aangemaakt. In gebieden waar minder zon is, kan in een lichte huid met weinig melanine gemakkelijker vitamine D worden aangemaakt. Vitamine D is noodzakelijk voor sterke botten en tanden, en een goede werking van je spieren en immuunsysteem.

Onze behaarde voorouders in Afrika hadden waarschijnlijk een lichte huidskleur onder hun vacht. Lichaamshaar beschermt tegen uv-straling. Meer dan twee miljoen jaar geleden verloren onze voorouders het grootste deel van hun lichaamshaar toen ze rechtop gingen lopen, waarschijnlijk om meer warmte kwijt te kunnen. De huidskleur evolueerde daardoor naar donker. Bij mensen die vanuit Afrika migreerden naar het noorden werd de huidskleur meestal lichter.

■ **Afb. 1** Variaties in huidskleur.



Bij de aanmaak van melanine spelen verschillende genen een rol. Zo zorgt een bepaald allel van het gen MFSD12 voor een lichte huidskleur. Het allel komt vooral voor bij Europeanen, maar ook bij de Afrikaanse San-populatie, de afstammelingen van de oudste mensen op aarde.

Ook een allel van het BNC2-gen zorgt voor de aanmaak van minder huidpigment. Europeanen en Aziaten hebben dit gen waarschijnlijk gekregen door geslachtelijke voortplanting met Neanderthalers. Die hadden al een langere periode van aanpassing aan minder zonlicht achter de rug.

Opdrachten

1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau: *DNA – huid – melanocyten – mens – Neanderthalers – ogen – San – vitamine D.*

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

2 Je kunt vitamine D zelf aanmaken, maar ook binnenkrijgen met je voedsel. Vlees bevat bijvoorbeeld veel vitamine D. Een gebrek aan vitamine D kan leiden tot aandoeningen die de overlevingskans verkleinen. Doordat onze voorouders op een bepaald moment aan landbouw gingen doen, veranderde hun dieet. Zij gingen bijvoorbeeld veel granen eten. Onderzoekers vermoeden dat de evolutie naar een lichtere huidskleur toen sneller ging.

a Leg dit uit.

b De Inuit wonen heel noordelijk in een omgeving met extreem weinig zonlicht. Toch hebben zij een relatief donkere huid.
Hoe is dit te verklaren?

c Waarom is de overlevingskans voor mensen met een donkere huidskleur nu niet kleiner als ze in een gebied met weinig zonlicht wonen?

3 Door een mutatie in het MFSD12-gen is een dominant allel ontstaan dat de productie van pheomelanine onderdrukt en de productie van eumelanine verhoogt.

a Wat is het fenotype van mensen met dit allel?

b Ook het TYR-gen speelt een rol bij de vorming van melanine. Een mutatie in dit gen kan zorgen voor een vorm van albinisme. Er wordt dan helemaal geen melanine gevormd. Huid en haren hebben hierdoor geen pigment.
Het TYR-gen erft autosomaal-recessief over.
Twee ouders met een normale melanineproductie krijgen een kind met albinisme.
Geef de genotypen van de ouders. Gebruik de letters A en a.

4 De eeneiige tweelingzusjes Amelia en Jasmine zijn genetisch identiek aan elkaar. Toch heeft Amelia een donkere huid en bruine ogen en Jasmine een lichte huid en blauwe ogen. Leg uit hoe de verschillen in uiterlijk bij deze eeneiige tweeling kunnen zijn ontstaan.

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

3.O.1 Je kunt monohybride kruisingen uitbeelden met pijpenragers en kralen.

- Basisstof 3
- Vaardigheid 6

Monohybride kruisingen uitbeelden met pijpenragers en kralen

40 minuten

INLEIDING

Bij een monohybride kruising volg je de overerving van één erfelijke eigenschap waarbij één allelenpaar is betrokken. Je kunt dan de kans op een bepaald genotype of fenotype bij de nakomelingen bepalen. In dit practicum beeld je twee monohybride kruisingen uit met behulp van pijpenragers en kralen. Je maakt een fotoverslag van het practicum.

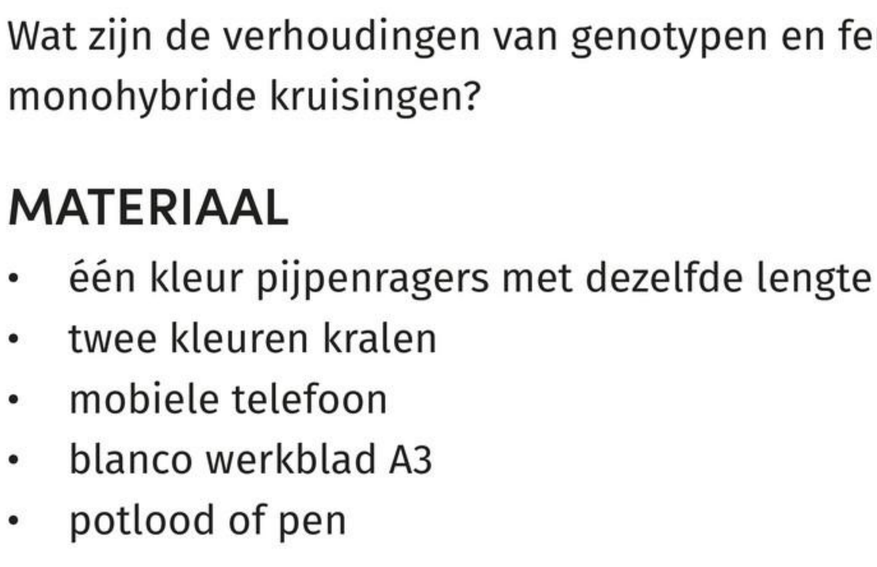
ONDERZOEKSVRAAG

Wat zijn de verhoudingen van genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van monohybride kruisingen?

MATERIAAL

- één kleur pijpenragers met dezelfde lengte
- twee kleuren kralen
- mobiele telefoon
- blanco werkblad A3
- potlood of pen

■ **Afb. 1** Pijpenragers.



■ **Afb. 2** Kralen.



Diersoorten die in het water leven, hebben in het algemeen een lichaamsvorm die weinig weerstand van het water ondervindt. Kop, romp en staart gaan geleidelijk in elkaar over. Deze lichaamsvorm heet een stroomlijnvorm. Behalve bij vissen kun je deze lichaamsvorm ook aantreffen bij vogels en zoogdieren (zie afbeelding 14). Wetenschappers kijken voor het ontwerpen van een product soms goed naar de natuur. De vorm en functie van biologische eenheden staan dan model voor een technisch ontwerp. Een duikboot heeft bijvoorbeeld een gestroomlijnde vorm en ondervindt daardoor weinig weerstand van het water.

■ **Afb. 14** Gestroomlijnde lichaamsvorm bij een dolfijn.



Opdrachten KENNIS

27 Bij welk(e) weefsel(s) in de plant dient tussencelstof ter versteviging? En bij welk dierlijk weefsel?

28 Leg uit waarom vezels in longweefsel elastisch zijn.

29 Verklaar dat de ligging van de ribben in de borstholte functioneel is.

30 Dekweefsel bekleedt en beschermt lichaamsoppervlakken. Leg uit waarom het functioneel is dat dekweefselcellen hoekig zijn en heel dicht tegen elkaar aan liggen.

31 **a** Borstbeen en ribben zijn met elkaar verbonden door kraakbeen.
Leg uit dat deze kraakbeenverbindingen belangrijk zijn voor de ademhaling.
b Waarom is het belangrijk dat er kraakbeenschijven tussen de wervels van de wervelkolom zitten?

METHODE

- Je gebruikt de pijpenragers als chromosomen en de kralen als allelen.
- Gebruik het werkblad om de kruisingen uit te beelden.
- Beeld de volgende kruising uit tot en met de F_2 volgens de stappen voor het oplossen van een kruisingsvraagstuk: een vrouwelijk dier met een rode vacht (A) dat homozygoot is voor deze eigenschap wordt gekruist met een geel (a) mannetje. De eigenschap rood is volledig dominant over geel.
- Maak eerst een legenda waarin je aangeeft welke erfelijke eigenschap een bepaalde kleur kraal vertegenwoordigt.
- Geef steeds aan wat de ouders (P) en nakomelingen zijn (F_1 en F_2). Noteer ook de genotypen en fenotypen van de organismen en de genotypen van de geslachtscellen.
- Beeld op dezelfde manier de monohybride kruising uit (tot en met de F_1) van een rood heterozygoot dier (vrouwtje) dat wordt gekruist met een geel organisme (mannetje).

RESULTATEN

- Noteer van de eerste kruising de genotypen en fenotypen van de nakomelingen in de F_1 en F_2 op het werkblad. Zet erachter in welke verhoudingen ze voorkomen.
- Als je klaar bent, maak je een foto met je mobiele telefoon.
- Print de foto's of stuur ze naar je docent.
- Herhaal dit voor de tweede kruising.

CONCLUSIE

1 Wat zijn de verhoudingen van de genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van de F_1 en de F_2?

DISCUSSIE

2 Wat ging er goed?

3 Wat kon beter?

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

3.O.2 Je kunt X-chromosomale kruisingen uitbeelden met pijpenragers en kralen.

- Basisstof 4
- Vaardigheid 6

Een X-chromosomale overerving uitbeelden met pijpenragers en kralen

20 minuten

INLEIDING

Bij een X-chromosomale eigenschap liggen de genen voor een bepaalde erfelijke eigenschap alleen op de X-chromosomen. Door een X-chromosomale kruising uit te voeren, kun je de overerving van zo'n eigenschap volgen en de kans op een bepaald genotype of fenotype bij de nakomelingen bepalen. In dit practicum beeld je een X-chromosomale kruising uit met behulp van pijpenragers en kralen. Je maakt een fotoverslag van het practicum.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat zijn de verhoudingen van genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van een X-chromosomale kruising?

MATERIAAL

- één kleur pijpenragers waarvan een deel 10 cm lang is en een deel 3 cm lang
- twee kleuren kralen
- mobiele telefoon
- blanco werkblad A3
- potlood of pen

METHODE

- Je gebruikt de pijpenragers als chromosomen en de kralen als allelen.
- Gebruik het werkblad om de kruising uit te beelden.
- Bij fruitvliegjes zijn de allelen voor rode en witte ogen X-chromosomaal. Het allel voor rode oogkleur is dominant over het allel voor witte oogkleur. Beeld de volgende kruising uit tot en met de F_2 volgens de stappen voor het oplossen van een kruisingsvraagstuk: een vrouwtje met witte ogen wordt gekruist met een mannetje met rode ogen.
- Maak eerst een legenda waarin je aangeeft welke erfelijke eigenschap een bepaalde kleur kraal vertegenwoordigt.
- Geef steeds aan wat de ouders (P) en nakomelingen zijn (F_1 en F_2). Noteer ook de genotypen en fenotypen van de organismen en de genotypen van de geslachtscellen.

RESULTATEN

- Noteer de genotypen en fenotypen van de nakomelingen in de F_1 en F_2 op het werkblad. Zet erachter in welke verhoudingen ze voorkomen.
- Als je klaar bent, maak je een foto met je mobiele telefoon.
- Print de foto's of stuur ze naar je docent.

CONCLUSIE

1 Wat zijn de verhoudingen van de genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van de F_1 en de F_2?

DISCUSSIE

2 Wat ging er goed?

3 Wat kon beter?

Practicumopdracht 3

ONDERZOEKSDOEL

3.O.3 Je kunt een dihybride kruising met onafhankelijke overerving uitbeelden met pijpenragers en kralen.

- Basisstof 5
- Vaardigheid 6

Een dihybride kruising met onafhankelijke overerving uitbeelden met pijpenragers en kralen

20 minuten

INLEIDING

Bij een dihybride kruising volg je de overerving van twee erfelijke eigenschappen. Wanneer de twee genenparen in verschillende chromosomenparen liggen, spreek je van onafhankelijke overerving. Bij een dihybride kruising met onafhankelijke overerving zijn

twee chromosomenparen betrokken. In dit practicum beeld je een dihybride kruising met onafhankelijke overerving uit met behulp van pijpenragers en kralen. Je maakt een fotoverslag van het practicum.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de verhouding van genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van een dihybride kruising met onafhankelijke overerving?

MATERIAAL

- één kleur pijpenragers met dezelfde lengte
- vier kleuren kralen
- mobiele telefoon
- blanco werkblad A3
- potlood of pen

METHODE

- Je gebruikt de pijpenragers als chromosomen en de kralen als allelen.
- Gebruik het werkblad om de kruisingen uit te beelden.
- Bij een diersoort zijn blauwe veren (A) volledig dominant over oranje veren (a) en is een lange staart (B) volledig dominant over een korte staart (b). Beeld de volgende kruising uit tot en met de F_2 volgens de stappen voor het oplossen van een kruisingsvraagstuk: een blauw vrouwtje met een lange staart dat homozygoot is voor beide eigenschappen wordt gekruist met een oranje mannetje met een korte staart.
- Maak eerst een legenda waarin je aangeeft welke erfelijke eigenschap een bepaalde kleur kraal vertegenwoordigt.
- Geef steeds aan wat de ouders (P) en nakomelingen zijn (F_1 en F_2). Noteer ook de genotypen en fenotypen van de organismen en de genotypen van de geslachtscellen.

RESULTATEN

- Noteer de genotypen en fenotypen van de nakomelingen in de F_1 en F_2 op het werkblad. Zet erachter in welke verhoudingen ze voorkomen.
- Als je klaar bent, maak je een foto met je mobiele telefoon.
- Print de foto's of stuur ze naar je docent.

CONCLUSIE

1 Wat zijn de verhoudingen van de genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van de F_1 en de F_2?

DISCUSSIE

2 Wat ging er goed?

3 Wat kon beter?

Practicumopdracht 4

ONDERZOEKSDOEL

3.O.4 Je kunt een dihybride kruising met gekoppelde overerving uitbeelden met pijpenragers en kralen.

- Basisstof 6
- Vaardigheid 6

Een dihybride kruising met gekoppelde overerving uitbeelden met pijpenragers en kralen

20 minuten

INLEIDING

Bij een dihybride kruising volg je de overerving van twee erfelijke eigenschappen. Wanneer de twee genenparen in hetzelfde chromosomenpaar liggen, spreek je van gekoppelde genen en gekoppelde overerving. Bij een dihybride kruising met gekoppelde overerving is slechts één chromosomenpaar betrokken. In dit practicum beeld je een dihybride kruising met gekoppelde overerving uit met behulp van pijpenragers en kralen. Je maakt een fotoverslag van het practicum.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de verhouding van genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van een dihybride kruising met gekoppelde overerving?

MATERIAAL

- één kleur pijpenragers met dezelfde lengte
- vier kleuren kralen
- mobiele telefoon
- blanco werkblad A3
- potlood of pen

METHODE

- Je gebruikt de pijpenragers als chromosomen en de kralen als allelen.
- Gebruik het werkblad om de kruisingen uit te beelden.
- Bij een diersoort is een rode vacht (A) volledig dominant over een gele vacht (a) en is langharig (B) volledig dominant over kortharig (b). Beeld de volgende kruising uit tot en met de F_2 volgens de stappen voor het oplossen van een kruisingsvraagstuk: een rood, langharig vrouwtje dat homozygoot is voor beide eigenschappen wordt gekruist met een geel, kortharig mannetje.
- Maak eerst een legenda waarin je aangeeft welke erfelijke eigenschap een bepaalde kleur kraal vertegenwoordigt.
- Geef steeds aan wat de ouders (P) en nakomelingen zijn (F_1 en F_2). Noteer ook de genotypen en fenotypen van de organismen en de genotypen van de geslachtscellen.

RESULTATEN

- Noteer de genotypen en fenotypen van de nakomelingen in de F_1 en F_2 op het werkblad. Zet erachter in welke verhoudingen ze voorkomen.
- Als je klaar bent, maak je een foto met je mobiele telefoon.
- Print de foto's of stuur ze naar je docent.

CONCLUSIE

1 Wat zijn de verhoudingen van de genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van de F_1 en de F_2?

DISCUSSIE

2 Wat ging er goed?

3 Wat kon beter?

SAMENVATTING

3.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt beschrijven wat het fenotype en wat het genotype van een organisme is en uitleggen hoe het fenotype tot stand komt.

- Fenotype: de waarneembare eigenschappen van een individu.
- Genotype: informatie voor alle erfelijke eigenschappen van een individu.

3.1.2

Je kunt de verschillen tussen autosomen en geslachtschromosomen benoemen.

- Een mens heeft in een lichaamscel 23 paar chromosomen (2*n*):
  - 22 paar autosomen
  - één paar geslachtschromosomen (vrouw: XX, man: XY)
  - Chromosomen die gelijk van lengte en vorm zijn, heten homologe chromosomen.
  - Een karyotype of karyogram is een rangschikking van chromosomen (zie *BiNaS* tabel 70B).
- Genoom: alle DNA-moleculen in een cel.
- Gen: een deel van een chromosoom dat de informatie bevat voor een of meer erfelijke eigenschappen of een deel van een erfelijke eigenschap.
  - Een allel is een variant van een gen.
  - Een DNA-molecuul is opgebouwd uit aan elkaar gekoppelde nucleotiden.
  - Een nucleotide bestaat uit een fosfaatgroep, desoxyribose en een stikstofbase.
  - Er zijn vier verschillende stikstofbasen: adenine (A), thymine (T), cytosine (C) en guanine (G).
  - Basenparing: de stikstofbasen van de twee nucleotideketens zijn met elkaar verbonden en vormen vaste paren: A met T en C met G (zie *BiNaS* tabel 71C).
- DNA-sequentie: specifieke volgorde van de stikstof-basen.

3.1.3

Je kunt omschrijven hoe de DNA-sequentie en de genexpressie erfelijke eigenschappen kunnen bepalen.

- Genexpressie: wanneer genen worden aangezet en tot uiting komen.
- Geninactivatie: genen staan uit.
- Het fenotype wordt bepaald door het genotype en door milieufactoren. Voorbeelden van milieufactoren zijn licht, lucht, vochtigheid, temperatuur, voeding, ziekten en opvoeding.
- Modificatie: verandering van het fenotype.
  - De informatie in de chromosomen verandert bij een modificatie niet en wordt niet doorgegeven aan nakomelingen.

3.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven hoe dominante en recessieve allelen in het fenotype van een organisme tot uiting kunnen komen.

- In lichaamscellen komen genen in paren voor.
- In geslachtscellen komen genen enkelvoudig voor.
- Homozygoot: het genenpaar voor een eigenschap bestaat uit twee gelijke allelen.
- Heterozygoot: het genenpaar voor een eigenschap bestaat uit twee ongelijke allelen.
- Dominant allel: een allel dat altijd tot uiting komt in het fenotype.
  - Individuen waarbij een dominant gen tot uiting komt in het fenotype, zijn homozygoot of heterozygoot voor deze eigenschap.
- Recessief allel: een allel dat alleen tot uiting komt in het fenotype als er geen dominant gen aanwezig is.
  - Individuen waarbij een recessief gen tot uiting komt in het fenotype, zijn homozygoot voor deze eigenschap.
- Volledig dominant: een recessief allel komt bij een heterozygoot individu helemaal niet tot uiting in het fenotype.
- Onvolledig dominant allel: beide allelen van een allelenpaar komen een beetje tot uiting in het fenotype (allel rood + allel wit = roze). Je noemt zo'n fenotype intermediair.
- Codominant: beide allelen komen volledig tot uiting in het fenotype (allel rood + allel wit = rood-wit).

3.2.2

Je kunt toelichten hoe door recombinatie nieuwe combinaties van allelen ontstaan.

- Recombinatie: door geslachtelijke voortplanting ontstaan nieuwe combinaties van allelen.
  - Recombinatie vindt plaats tijdens meiose I waarbij chromosomen van een chromosomenpaar uiteengaan en geslachtscellen met verschillende genotypen ontstaan.
  - In de geslachtscellen kunnen 2^n verschillende genotypen voorkomen (bij de mens 2^{23}).
  - Door recombinatie ontstaat een grote genetische variatie door verscheidenheid in genotypen.
- Haplotype: een groep (set) allelen die samen wordt overgeërfd van één ouder, bijvoorbeeld de allelen op één chromosoom.
- Door genetische variatie heeft een soort een grote overlevingskans, vooral bij veranderende milieuomstandigheden.
- Genetische variatie ontstaat ook door mutaties.
  - Een mutatie is een verandering in erfelijke eigenschap.

3.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt een kruisingsschema opstellen van een monohybride kruising.

- Monohybride kruising: kruising waarbij wordt gelet op de overerving van één eigenschap.
  - Bij een monohybride kruising is één genenpaar betrokken.
- Het opstellen van een kruisingsschema:
  - Geef de genotypen van de ouders in een kruising weer (een dominant gen met een hoofdletter, een recessief gen met een kleine letter).
  - Bepaal welke genen de geslachtscellen van beide ouders kunnen bevatten.
  - Ga na welke mogelijkheden er bestaan voor de versmelting van een eicelkern en een spermacelkern.
- Kruisingsschema van een monohybride kruising:

P	AA	×	aa
geslachtscellen	A		a
F_1	Aa		
geslachtscellen	A of a		A of a
F_2			

♂ \ ♀	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Verhouding in de F_2:
- genotypen: AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1
- fenotypen: fenotype waarbij het dominante gen tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve gen tot uiting komt = 3 : 1

3.3.2

Je kunt de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden uit een kruisingsschema of stamboom van een monohybride kruising.

- P: Aa × aa
  Verhouding in de F_1:
  - genotypen: Aa : aa = 1 : 1
  - fenotypen: fenotype waarbij het dominante gen tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve gen tot uiting komt = 1 : 1
- P: Aa × Aa
  Verhouding in de F_1:
  - genotypen: AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1
  - fenotypen: fenotype waarbij het dominante gen tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve gen tot uiting komt = 3 : 1
- Testkruising: een kruising waarbij je kunt afleiden of een individu homozygoot of heterozygoot is voor een bepaalde eigenschap, wanneer je dit individu kruist met een homozygoot recessief individu.
  - AA × aa of Aa × aa
  - Alleen bij een heterozygoot individu komt het recessieve allel tot uiting in de F_1.
- Uit een stamboom kun je informatie van individuen halen.
  - Als twee ouders met gelijk fenotype een nakomeling krijgen met een afwijkend fenotype, zijn beide ouders heterozygoot voor deze eigenschap (Aa).
  - De nakomeling is dan homozygoot recessief voor deze eigenschap (aa).

3.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven hoe door de overerving van geslachtschromosomen het geslacht van een mens wordt bepaald.

- Een mens heeft in een geslachtscel 23 chromosomen (*n*):
  - 22 autosomen
  - één geslachtschromosoom
- Bij een man:
  - in een lichaamscel twee ongelijke geslachtschromosomen (XY)

  - in een spermacel een X-chromosoom of een Y-chromosoom
  - karyogram [46, XY]
- Bij een vrouw:
  - in een lichaamscel twee gelijke geslachtschromosomen (XX)
  - in een eicel een X-chromosoom
  - karyogram [46, XX]
- Het geslacht van een individu komt vast te liggen op het moment van bevruchting. Bepalend hiervoor is het geslachtschromosoom in de spermacel.
  - Een meisje ontstaat als een eicel (met een X-chromosoom) wordt bevrucht door een spermacel met een X-chromosoom.
  - Een jongen ontstaat als een eicel (met een X-chromosoom) wordt bevrucht door een spermacel met een Y-chromosoom.

3.4.2

Je kunt een kruisingsschema opstellen voor X-chromosomale overerving en de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden uit een kruisingsschema, of uit stambomen over X-chromosomale overerving.

- Bij X-chromosomale overerving liggen de allelen voor een eigenschap in de geslachtschromosomen.
  - De X-chromosomen bevatten ieder een allel van het gen.
  - De Y-chromosomen bevatten geen allel van dat gen.
- X-chromosomale genen worden weergegeven als X^A of X^a.
  - Een vrouw kan als genotype X^AX^A, X^AX^a of X^aX^a hebben.
  - Een man kan als genotype X^AY of X^aY hebben.
- Een vrouw die heterozygoot is voor een X-chromosomaal gen, is een draagster.

3.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt een kruisingsschema opstellen voor een dihybride kruising met onafhankelijke overerving en de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden uit een kruisingsschema, of uit een stamboom van een dihybride kruising met onafhankelijke overerving.

- Dihybride kruising: kruising waarbij wordt gelet op de overerving van twee eigenschappen.
  - Bij een dihybride kruising zijn twee genenparen betrokken.
  - Onafhankelijke overerving: de genenparen liggen in verschillende chromosomenparen.
- Het opstellen van een kruisingsschema:
  - Geef de genotypen van de ouders in een kruising weer. Noteer de twee allelen van een genenpaar naast elkaar.
  - Bepaal welke allelen de geslachtscellen van beide ouders kunnen bevatten.
  - Ga na welke mogelijkheden er bestaan voor de versmelting van een eicelkern en een spermacelkern.
- Kruisingsschema van een dihybride kruising met onafhankelijke overerving:

P	AABB	×	aabb
geslachtscellen	AB		ab
F_1	AaBb		
	AaBb	×	AaBb
geslachtscellen	AB of Ab of aB of ab		AB of Ab of aB of ab
F_2			

♂ \ ♀	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

  - Verhouding van fenotypen in de F_2 is: 9 : 3 : 3 : 1.
    9: fenotype waarbij beide dominante allelen tot uiting komen;
    3: fenotype waarbij een dominant en een recessief allel tot uiting komen;
    3: fenotype waarbij een recessief en een dominant allel tot uiting komen;
    1: fenotype waarbij beide recessieve allelen tot uiting komen.
- Berekenen van de kans op een nakomeling met een bepaald genotype of fenotype:
  - Bepaal voor een van de eigenschappen de kans op een nakomeling met het gewenste genotype of fenotype (zoals bij monohybride kruisingen).
  - Bepaal voor de andere eigenschap de kans op een nakomeling met het gewenste genotype of fenotype.
  - Vermenigvuldig beide kansen met elkaar.

3.6.1 BASISSTOF 6

Je kunt een kruisingsschema opstellen voor onafhankelijke overerving van multipele allelen, letale factoren en gekoppelde genen en hieruit of

uit stambomen de frequentie van genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden.

- Multipele allelen: voor één erfelijke eigenschap bestaan drie of meer allelen, bijvoorbeeld bij bloedgroepen van een mens: I^A, I^B en i.
  - I^AI^A of I^Ai: bloedgroep A
  - I^BI^B of I^Bi: bloedgroep B
  - I^AI^B: bloedgroep AB
  - ii: bloedgroep 0
- Letale factor: een allel dat in homozygote toestand geen levensvatbaar individu oplevert.
  - Als twee geslachtscellen versmelten die dezelfde letale factor bezitten, wordt een deel van de verwachte nakomelingschap niet geboren.
- Gekoppelde overerving: twee genenparen liggen in hetzelfde chromosomenpaar (gekoppelde genen).
- In een kruisingsvraagstuk geef je de koppeling als volgt weer:
  - het genotype van een homozygoot dominant individu: GGNN = $\frac{GN}{\overline{GN}}$
  - het genotype van een homozygoot recessief individu: ggnn = $\frac{gn}{\overline{gn}}$
  - het genotype van een heterozygoot individu: GgNn = $\frac{GN}{\overline{gn}}$
- De koppeling van genen kan worden verbroken door crossing-over (zie *BiNaS* tabel 76B):
  - Er worden afgebroken chromosoomdelen uitgewisseld tussen de chromosomen van een homoloog paar.
  - Kan op elke willekeurige plaats in een chromosoom optreden.
  - Eén chromosoom kan daardoor allelen van twee verschillende ouders bevatten.
  - Er ontstaan nieuwe haplotypen.

3.6.2

Je kunt het overervingspatroon uitleggen bij mitochondriale overerving.

- Mitochondriën bevatten een klein, ringvormig DNA-molecuul met een klein aantal genen.
- Mitochondriaal DNA erft alleen over via eicellen.

3.6.3

Je kunt uitleggen hoe bij geslachtelijke voortplanting voortplantingscellen met een unieke combinatie van genen ontstaan door recombinatie van chromosomen en crossing-over.

- Crossing-over: tijdens meiose I kunnen twee chromatiden van homologe chromosomen stukken DNA uitwisselen. Hierdoor neemt de recombinatie toe en ontstaan er meer verschillende geslachtscellen.

3.7.1 BASISSTOF 7

Je kunt uitleggen wat het belang van tweelingenonderzoek is voor de genetica.

- Door tweelingenonderzoek kun je meer zicht krijgen op welke invloed het genotype heeft en welke invloed milieufactoren hebben op het fenotype.
  - De individuen van een eeneiige tweeling hebben hetzelfde genotype. Individuen van een twee-eiige tweeling hebben verschillende genotypen.
  - Bij een eeneiige tweeling (die gescheiden opgroeit) kan worden onderzocht welke invloed milieufactoren en genotype hebben op het fenotype.

3.7.2

Je kunt verklaren waarom overerving van eigenschappen door epigenetica soms anders verloopt dan je had verwacht.

- Epigenetica bestudeert het mechanisme (het epigenoom) dat allelen in een organisme aan- en uitzet en de invloed van milieufactoren hierop.
  - Deze wijzigingen in de genexpressie zijn omkeerbaar, maar soms stabiel en erfelijk.
  - Tweelingenonderzoek kan bijdragen aan de nature-nurturediscussie.

SAMENHANG

3.S.1 **Je kunt het nut van recombinatie toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.**

3.S.2 **Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair denken en systeemdenken toepassen op het overerven van eigenschappen.**

ONDERZOEK - PRACTICA

3.O.1 **Je kunt monohybride kruisingen uitbeelden met pijpenragers en kralen.**

3.O.2 **Je kunt X-chromosomale kruisingen uitbeelden met pijpenragers en kralen.**

3.O.3 **Je kunt een dihybride kruising met onafhankelijke overerving uitbeelden met pijpenragers en kralen.**

3.O.4 **Je kunt een dihybride kruising met gekoppelde overerving uitbeelden met pijpenragers en kralen.**

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

EXAMENOPGAVEN

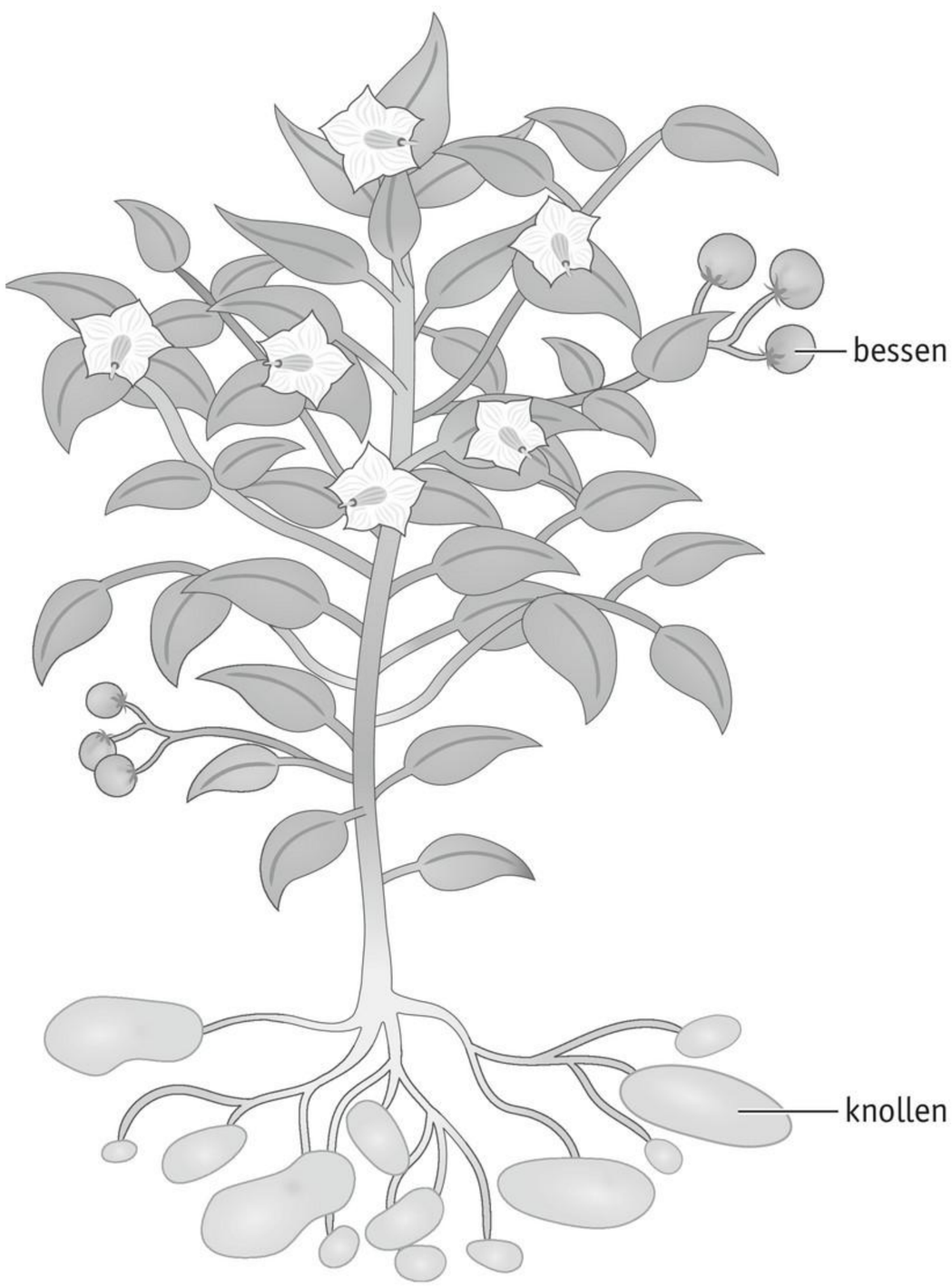
AARDAPPELS VEREDELEN

Naar: examen vwo 2021-1, vraag 24, 26, 27, 28, 29.

Dankzij een innovatieve techniek, ontwikkeld door een Nederlands plantenveredelingsbedrijf, kunnen boeren verbeterde aardappels telen uit zaad in plaats van uit pootaardappels.

Aardappelplanten (*Solanum tuberosum*) krijgen bloemen die na bestuiving uitgroeien tot bessen met honderden zaden. Beter bekend is de voortplanting door ondergronds gevormde zetmeelrijke knollen: de aardappels (afbeelding 1). De teelt van consumptieaardappels in Nederland is vooral gebaseerd op het gebruik van de knollen: een teler koopt ze als pootaardappels bij een vermeerderingsbedrijf en zet ze in de grond. Uit elke pootaardappel groeit een aardappelplant die weer nieuwe knollen produceert.

■ **Afb. 1**



2p **1** Gebruik van pootaardappels heeft voor een aardappelteler het voordeel dat de aardappelplanten die daaruit groeien, aardappels van een constante kwaliteit vormen.

a Verklaar waardoor de aardappels uit pootaardappels over het algemeen een constante kwaliteit hebben.

b Noteer een oorzaak waardoor er toch verschillen kunnen zijn.

Opdrachten INZICHT

32 Organen zijn opgebouwd uit verschillende weefsels.

a Noem drie weefsels die in je tong voorkomen.

b De tong bevat acht verschillende spieren en heeft een vrij uiteinde en is daardoor zeer beweeglijk.
Geef twee functies van de tong waarvoor die beweeglijkheid belangrijk is.

33 Naar: Biologie Olympiade Junior, vraag 10, 2005.

In het lichaam van een kikkervisje en in dat van een kikker bevinden zich onder andere de volgende orgaanstelsels:

1 het ademhalingsstelsel
2 het bloedvatenstelsel
3 het spijsverteringsstelsel

Tijdens de gedaantewisseling van een zwemmend kikkervisje tot een kikker die ook op land leeft, verandert het lichaam ingrijpend.
Welk van deze orgaanstelsels verandert of welke veranderen tijdens de gedaantewisseling? Leg je antwoord uit.

34 **a** Bloed wordt ook wel vloeibaar weefsel genoemd. Leg dit uit.

b Leg uit welk bestanddeel van bloed wordt gezien als voorbeeld van bindweefsel.

35 Beenderen zijn omgeven door beenvlies. De buitenste laag van het beenvlies bevat vezels en ondersteunt de aanhechting van pezen aan een been.
Tot welk type weefsel behoort de buitenste laag van beenvlies? Leg je antwoord uit.

36 In kraakbeen zitten geen bloedvaten.
Wat is hiervan het gevolg voor het herstel van kraakbeen na beschadiging?

37 Bij de planten in afbeelding 15 zitten de bladeren net boven de grond in een kring dicht op elkaar (een wortelrozet).
Wat is het voordeel van de positie van deze bladeren?

■ **Afb. 15** Een wortelrozet.



2p **2** Tetraploïde (4*n*) aardappelplanten zijn vaak groter en produceren grotere knollen dan de diploïde planten. Doordat de rassen die in de landbouw worden gebruikt vrijwel allemaal tetraploïd zijn, is aardappelveredeling lastig.
Hoeveel verschillende genotypen zijn bij tetraploïde aardappelplanten mogelijk voor één eigenschap met twee allelen?

A 2
B 3
C 4
D 5
E 6
F 7

2p **3** Aardappelveredelaars hebben eeuwenlang getracht door kruising en selectie gewenste eigenschappen homozygoot in de tetraploïde planten te krijgen, zoals resistentie tegen het aardappelvirus PVS. Een recessief allel r codeert voor deze resistentie. Twee tetraploïde aardappelplanten met genotype RRrr worden met elkaar gekruist. Bij tetraploïde planten ontstaan na meiose diploïde geslachtscellen.

a Noteer de genotypenverhouding van de mannelijke geslachtscellen in deze kruising.

b Noteer de kans op PVS-resistentie voor een nakomeling uit deze kruising.

2p **4** Tetraploïde aardappelrassen veredelen om een hogere opbrengst te verkrijgen, is moeilijk en tijdrovend. De Wageningse onderzoeker Pim Lindhout begon daarom met diploïde rassen. Hij kruiste een diploïde *S. tuberosum* die relatief grote knollen vormt, met de verwante soort *S. chacoense* die kleine knolletjes maakt. Bij de in de landbouw gebruikte aardappelrassen komt alleen kruisbestuiving (bestuiving met stuifmeel van een andere plant) voor, wat het lastig maakt om een homozygote zuivere lijn te verkrijgen.
S. chacoense-planten kunnen echter ook 'zelfbestuiven' (bevrucht worden door eigen stuifmeel) wanneer ze ten minste één BS-allel bezitten.
Met een diploïd ras dat kan zelfbestuiven, wordt het veredelen een stuk eenvoudiger.
In bloemen van de diploïde *S. tuberosum* kan alleen kruisbestuiving optreden.
Leg uit hoe kruisbestuiving kan leiden tot een evolutionair voordeel ten opzichte van zelfbestuiving.

2p **5** Lindhout voerde een kruising uit tussen een *S. chacoense*- en een *S. tuberosum*-plant. Bij de aardappelplanten die daaruit ontstonden (F_1) werd zelfbestuiving toegepast om een F_2 te krijgen. Van de planten in de F_1 kon ongeveer 50% zelfbestuiven en in de F_2 waren dat er 10 van de 13. Met behulp van een kruisingsschema kun je deze verhoudingen verklaren.
Geef de twee kruisingstabellen waaruit de genotypen in de F_1 en de F_2 blijken. Gebruik de symbolen B en BS voor de allelen. Geef in beide tabellen aan welk gedeelte kan zelfbestuiven.

HUIDMONDJES IN DE MIDDELEEUWEN

Naar: examen vwo 2021-2, vraag 21.

Paleo-ecoloog Thomas van Hoof van de Universiteit Utrecht vermoedt dat er een link is tussen de pestepidemie die heerste in de veertiende eeuw en de tijdelijke verlaging van de CO_2-concentratie in de atmosfeer in die tijd. Plantaardige resten uit een oude riviertak geven hiervoor aanwijzingen. Van de bladresten van de zomereik (*Quercus robur*) kon Van Hoof de dichtheid van de huidmondjes bepalen. De huidmondjesdichtheid is gerelateerd aan de CO_2-concentratie in de atmosfeer.

1p **6** Een afname van de CO_2-concentratie in de atmosfeer leidt tot een toename van de huidmondjesdichtheid. Dit kan een epigenetische of een evolutionaire oorzaak hebben.
Beschrijf wat wordt bedoeld met een epigenetische oorzaak van de toename van de huidmondjesdichtheid.

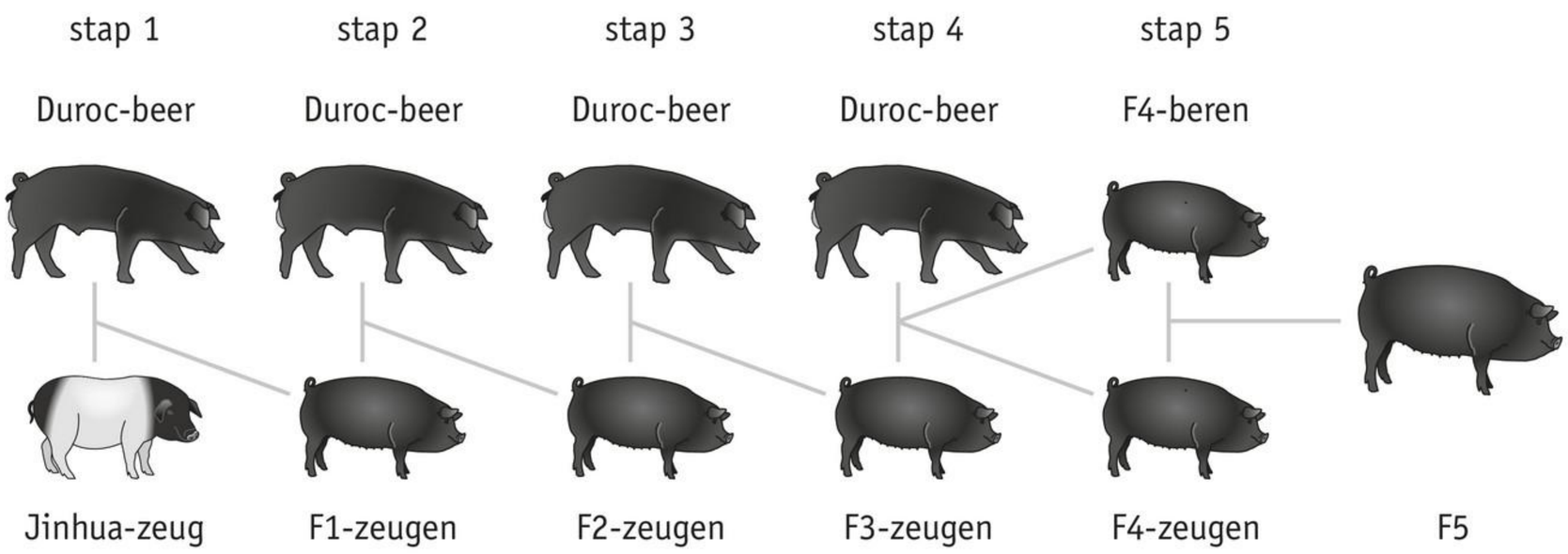
AZIATISCHE GENEN VERBETEREN HET EUROPEES VLEESVARKEN

Naar: examen vwo 2019-1, vraag 21.

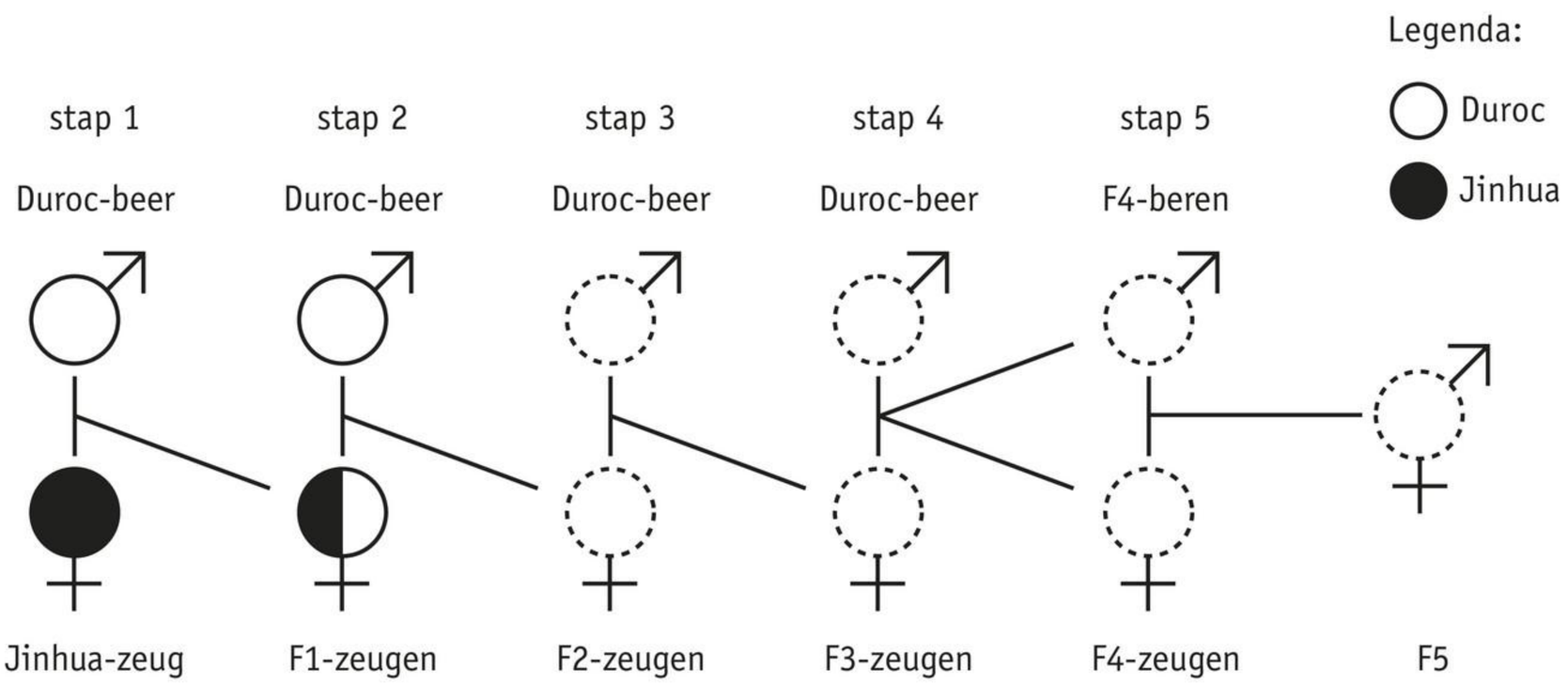
In Japan is de vleeskwaliteit van het hoogproductieve varkensras Duroc verbeterd door genen van het Jinhua-varken in te kruisen. Jinhua-varkens hebben mals vlees, maar zijn weinig productief. In afbeelding 2 is weergegeven hoe door kruising en terugkruising op de klassieke manier het varkensras kan worden veredeld.

- Stap 1: kruising tussen een Duroc-beer (mannetje) en Jinhua-zeugen (vrouwtjes) om een 'hybride' F_1-generatie te produceren.
- Stap 2: van deze F_1 worden de zeugen gebruikt om terug te kruisen met een andere Duroc-beer. Uit deze kruising ontstaat een F_2.
- Stap 3 en 4: het terugkruisen met een Duroc-beer wordt nog twee keer herhaald en levert een groep F_4-beren en F_4-zeugen op.
- Stap 5: de F_4 wordt onderling gekruist.

■ **Afb. 2**



■ **Afb. 3**



2p **7** Afbeelding 3 is een vereenvoudigde versie van het kruisingsschema (afbeelding 2), waarin de gebruikte individuen en groepen varkens zijn weergegeven als rondjes. Een zwart rondje betekent dat dit varken of deze groep varkens een 100% Jinhua-genoom heeft, een wit rondje betekent een 100% Duroc-genoom. In het schema is het genoom van de dieren bij stap 1 en stap 2 al ingevuld.
Neem het schema over en vul het schema aan zodat van elk varken en van elke groep varkens duidelijk wordt welk deel van het genoom (gemiddeld) afkomstig is van het ras Jinhua en welk deel (gemiddeld) afkomstig is van het ras Duroc.
Ga ervan uit dat elk chromosoom evenveel kans heeft om aan de volgende generatie te worden doorgegeven.

2p **8** Uit wetenschappelijk onderzoek is gebleken dat mitochondriaal DNA van de vader alleen in uitzonderlijke gevallen bij de bevruchting wordt overgedragen en aanwezig blijft in de nakomeling. Ga er bij de volgende vraag van uit dat dit bij de kruisingen van afbeelding 2 niet het geval is.
Is het mitochondriaal DNA in de cellen van de varkens van de F_5-generatie (afbeelding 2) afkomstig van het ras Duroc?

A nee
B in sommige cellen wel en in andere cellen niet
C bij sommige individuen wel en bij andere individuen niet
D ja, in alle cellen van alle individuen

Ga naar de *Examentrainer.*

REGISTER

A
actief transport 56
adolescentie 143
aids 153
allel 190
anticonceptie 155
apoptose 136
ATP 39
autosoom 189

B
baarmoeder 117
betrouwbaarheid 63
bevruchting 113
biologisch argument 106
biseksualiteit 144

C
chromosoom 35, 107, 188
cel 15
celdifferentiatie 136
celkern 29
celmembraan 29
celplasma (cytoplasma) 29
celtype 136
celwand 29
chloroplast 30
chlorofyl 30
cilium 40
clitoris 116
coming-out 144
crossing-over 234
cytoplasma (celplasma) 29
cytoskelet 40

D
diffusie 48
dihybride kruising 221
diploïde cel 113
DNA 15
dominant allel 197

E
ecosysteem 15
eicel 117
eierstok 114
eileider 117
endocytose 43
endoplasmatisch reticulum 36
embryo 133
embryonale ontwikkeling 133
emergente eigenschap 15
enzym 37
epigenetica 241
erfelijke eigenschap 35
ethisch argument 106
exocytose 37

F
fenotype 188
flagel 40
foetus 134
follikel 117
follikelstimulerend hormoon (FSH) 125
fosfolipide 42

G
gameet 113
gekoppelde genen 233
gele lichaam 117
gen 190
gender 146
genetische variatie 113, 201
genexpressie 191
genoom 190
genotype 188
geslachtelijke voortplanting 113
geslachtschromosoom 189
geslachtshormoon 124
gespecialiseerde cel 136
golgisysteem 36
grondplasma 29

H
haploïde cel 113
haplotype 200
HCG 133
heteroseksueel 144
heterozygoot 197
homoloog chromosoom 189
homoseksueel 144
homozygoot 197
hormonale regulatie 156
hormoon 124
hormoonconcentratie 124
hormoonklier 124
hypofyse 125
hypertoon 52
hypotoon 52
hypothalamus 125

I
ICSI (intracytoplasmatische sperma-injectie) 162
intermediair (fenotype) 198
in-vitrofertilisatie (ivf) 162
ionentransport 55
isotoon 52

K
kernlichaampje 35
kernporie 35
klievingsdeling 133
klonen 106
kruisingsschema 208
kunstmatige inseminatie 162

L
letale factor 231
levenscyclus 12, 107
levensfase 143
levensgemeenschap 15
luteïniserend hormoon (LH) 125
lysosoom 37

M
meiose 114
membraaneiwit 42
menstruatiecyclus 127
milieufactor 191
mitochondriaal DNA 235
mitochondrium 39
mitose 107
monohybride kruising 206
motoreiwit 40
multipel allel 230
mutatie 201

N
negatieve terugkoppeling 125

O
oestrogeen 127
ongeslachtelijke voortplanting 104
onvolledig dominant allel 197
opwinding 144
orgaan 15
orgaanstelsel 15

organel 15
organisme 12
orgasme 117
osmose 50
osmotische waarde 50
osmotische druk 50

P

passief transport 55
placenta 134
plasmolyse 54
plastide 30
penis 118
permeabel 49
polyploïde cel 113
poollichaampje 117
primair geslachtskenmerk 116, 118
progesteron 128
populatie 15

R

recombinatie 200
receptoreiwit 42
releasing hormoon (RH) 125
recessief allel 197
ribosoom 35
ruw endoplasmatisch reticulum 36

S

secundair geslachtskenmerk 124
seksualiteit 144
seksueel overdraagbare aandoening 152
semipermeabel (selectief permeabel) 50
soort 12
spermacel 118
sporen 104
stamboom 210
stamcel 133
stofwisseling 12
systeem aarde 15

T

teelbal 114
testosteron 125
transgender persoon 146
transporteiwit 56
turgor 53
tussencelstof 22

V

vacuole 30
vagina 116
validiteit 63
voorbehoedsmiddel 155
voortplantingsorganen van de mens 113
voorplantingsprikkel 144

W

weefsel 15

X

X-chromosomaal 216
X-chromosoom 189

Y

Y-chromosoom 189

Z

zygote 117

COLOFON

ONTWERP BINNENWERK
Bianca Enthoven

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

UITVOERING BINNENWERK
Crius Group

EINDREDACTIE
Claud Biemans
Arthur Jansen

AUTEURS
Marianne Gommers
Boukje Ivens
Arthur Jansen

BUREAUREDACTIE
Renske Berckmoes
Maurice Breugelmans

BEELDRESEARCH
BenU International Picture Service, Amsterdam

FOTO'S EN ILLUSTRATIES
123RF, Edwin Butter: blz. 62; 123RF, lim_atos: blz. 153 (46); Alexander Bassano: blz. 218 (31); ANP Foto / Science Photo Library, Anand Swaroop, Ph.D., NEI / National Institutes of Health: blz. 112; ANP Foto / Science Photo Library, Dr Jeremy Burgess: blz. 39 (33); ANP Foto / Science Photo Library, James King-Holmes: blz. 11 (1.1); ANP Foto / Science Photo Library, Science Pictures Ltd: blz. 135 (29); ANP Foto / Science Photo Library, Tek Image: blz. 11 (1.4); ANP Foto / Science Photo Library, Wim van Egmond / Visuals Unlimited: blz. 40 (35); ANP Foto / Science Photo Library, Zephyr: blz. 162; ANP Foto, Everett Collection, Inc.: blz. 245; ANP Foto, Science Photo Library: blz. 36 (28.2); B en U, Amsterdam: blz., 51; Bas Teunis Zoological Illustrations, Sinderen: blz. 13; Bewerking van Figure 1, Antiinflammatory and Immunomodulating Properties of Fungal Metabolites, Christina Lull, Harry Wichers en Huub Savelkoul, Mediators of Inflammation 2005(2):63-80, DOI:10.1155/MI.2005.63 (CC Attribution 3.0 Unported (CC BY 3.0) https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/): blz. 14; Can Stock Photo, Lopolo: blz. 187 (1); Collectie en foto: Natuurhistorisch Museum Rotterdam: blz. 8, 9; Cornell University: blz. 68; Dr Lesley A. Robertson, TU Delft: blz. 28; Erik Eshuis Infographics, Groningen: blz., 29 (20.2), 33, 34 (26), 35, 49 (47), 50, 59 (61), 96, 105 (3), 196, 197 (7.1-7.3), 199; Genderbread.org (Uncopyright 2017), Sam Kellerman: blz. 149; Genentech, South San Francisco: blz. 46; Gerrit Jansen: blz. 19; Henk van der Vrande: blz. 21 (9.1, 9.2), 29 (20.1), 53 (51.1-51.3), 76 (3.1, 3.2), 78, 128, 137; Imageselect / Alamy Stock Photo, James King-Holmes: blz. 30; Imageselect / Alamy Stock Photo, Martin Shields: blz. 59 (60); Imageselect / Alamy Stock Photo, Nigel Cattlin: blz. 211 (23); Imageselect / Science Source, QA International: blz. 118; Imageselect / Science Source, Richard Nowitz: blz. 11 (1.2); Imageselect, Burger / Phanie: blz. 166; Imageselect, dieKleinert: blz. 116 (12); iStockphoto, Cathleen Abers-Kimball: blz. 198 (9.3); iStockphoto: blz. 197 (8.3); Jan Daanen / Medilan, Maastricht: blz. 16, 26, 44 (42); Jeannette Steenmeijer, Zwolle: blz., 41 (37), 49 (46), 54 (53), 55 (55), 63, 103, 105 (2), 125, 126, 129, 130, 131, 138 (32), 146 (39), 156 (48), 160, 163 (52, 53), 180, 194, 200, 201, 204, 212 (25), 213, 214, 215, 218 (31), 219, 221 (35, 36), 222, 229, 232 (47), 233 (49), 235, 236, 237, 243, 244 (tabel 3), 258, 260; Life Helvex: blz. 64 (66); Medical Visuals / Maartje Kunen, Arnhem: blz., 36 (28.1, 29.1), 37 (30, 31), 39 (32), 40 (34), 41 (38), 42, 43, 44 (41), 52, 55 (56), 56 (57, 58), 95, 107, 108, 109, 111, 114, 116 (13), 117, 119 (16, 17), 122, 127, 132, 134, 135 (28), 141 (34, 35), 147, 169, 178, 190 (2.1, 2.2); Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: blz. 87; Pim Knuiman, Luc J C van Loon, Jeroen Wouters, Maria Hopman, Marco Mensink, Protein supplementation elicits greater gains in maximal oxygen uptake capacity and stimulates lean mass accretion during prolonged endurance training: a double-blind randomized controlled trial, The American Journal of Clinical Nutrition, Volume 110, Issue 2, August 2019, Pages 508–518, figure3A, https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz093 (bewerking Jeannette Steenmeijer, Zwolle): blz. 70; Prof. P. Breedveld, Bio-Inspired Technology (BITE) groep, TU Delft (“Braconid Wasp Ovipositing” by Katja Schulz is licensed under CC BY 2.0.), https://www.bitegroup.nl/interventional-devices/tissue-transportation-ovipositor-device/: blz. 27 (18); Reprinted from: Treatment of microplastics in water by anodic oxidation: A case study for polystyrene. Marthe Kiendrebeogo, M.R. Karimi Estahbanati, Ali Khosravanipour Mostafazadeh, Patrick Drogui, R.D. Tyagi. Figure 1, Environmental Pollution, 15 January 2021. With permission from Elsevier: blz. 69; Shutterstock, 3d_man: blz. 41 (36), 53 (52); Shutterstock, afotostock: blz. 11 (1.3); Shutterstock, Aldona Griskeviciene: blz. 45, 54 (54.1, 54.2); Shutterstock, Alexwilko: blz. 31 (22.1); Shutterstock, AlysonFennellPhotography: blz. 203 (16); Shutterstock, Andrey_Popov: blz. 156 (47); Shutterstock, anjahennern: blz. 25; Shutterstock, Artem Kursin: blz. 223 (38.2), 225 (40); Shutterstock, Arvind Balaraman: blz. 209 (20); Shutterstock, avelyn: blz. 32 (23.3); Shutterstock, B. Forenius: blz. 151; Shutterstock, Baevskiy Dmitry: blz. 208; Shutterstock, Bianca Grueneberg: blz. 228 (44); Shutterstock, Biomedical: blz. 23 (13.1); Shutterstock, Bphoto-art: blz. 248 (2); Shutterstock, CarlosBarquero: blz. 100; Shutterstock, Catherine Eckert: blz. 106; Shutterstock, Choksawatdikorn: blz. 21 (10.3), 23 (12.1); Shutterstock, Claudio Divizia: blz.

81; Shutterstock, cs333: blz. 226; Shutterstock, Dana E. Fry: blz. 199; Shutterstock, Di Studio: blz. 225 (39); Shutterstock, Diana Grytsku: blz. 197 (7.1); Shutterstock, Drp8: blz. 138 (31); Shutterstock, Egoreichenkov Evgenii: blz. 232 (46); Shutterstock, Elena Chevalier: blz. 32 (23.1); Shutterstock, Elena Masiutkina: blz. 105 (1); Shutterstock, Elenamiv: blz. 209 (20); Shutterstock, ennykaiser: blz. 228 (43.1); Shutterstock, Eric Isselee: blz. 203 (15.3); Shutterstock, Erik Lam: blz. 203 (15.1), 207; Shutterstock, Ermolaev Alexander: blz. 218 (32); Shutterstock, fizkes: blz. 246; Shutterstock, fotosparrow: blz. 81; Shutterstock, GOR Photo: blz. 193; Shutterstock, goran_safarek: blz. 12 (2.2); Shutterstock, Gorodenkoff: blz. 11 (1.5); Shutterstock, Gustavo Frazao: blz. 144; Shutterstock, Image Point Fr: blz. 156 (47), 157; Shutterstock, Ingo Bartussek: blz. 64 (65); Shutterstock, ivosar: blz. 232 (46); Shutterstock, Jagodka: blz. 225 (39); Shutterstock, Jan Bures: blz. 34 (25); Shutterstock, joanna wnuk: blz. 227; Shutterstock, Jose Luis Calvo: blz. 21 (10.1), 22; Shutterstock, Joy Brown: blz. 212 (24); Shutterstock, Kateryna Kon: blz. 36 (29.2), 189; Shutterstock, Kazakova Maryia: blz. 39 (33); Shutterstock, Kenan Stocks: blz. 31 (22.2); Shutterstock, Khairil Azhar Junos: blz. 228 (43.2); Shutterstock, khlungcenter: blz. 238; Shutterstock, Kirill Lukin: blz. 223 (38.1); Shutterstock, Krakenimages.com: blz. 240; Shutterstock, Kristine Rad: blz. 18; Shutterstock, Kurit afshen: blz. 191; Shutterstock, Lebendkulturen.de: blz. 58; Shutterstock, Leoniek van der Vliet: blz. 220 (34.2), 225 (40); Shutterstock, Lopolo: blz. 102; Shutterstock, LuckyBall: blz. 216; Shutterstock, lunopark: blz. 148; Shutterstock, Maples Images: blz. 197 (7.2); Shutterstock, Menno van der Haven: blz. 84; Shutterstock, Michael Kraus: blz. 157; Shutterstock, Mike Orlov: blz. 233 (48); Shutterstock, Milles Studio: blz. 6; Shutterstock, Minerva Studio: blz. 197 (7.3); Shutterstock, Mochamad Raffi Ramadhan: blz. 198 (9.1); Shutterstock, muratart: blz. 197 (8.2); Shutterstock, MyImages - Micha: blz. 73; Shutterstock, NARUDON ATSAWALARPSAKUN: blz. 48; Shutterstock, Nynke van Holten: blz. 220 (34.1); Shutterstock, operative401: blz. 202; Shutterstock, Paul Stringer: blz. 72; Shutterstock, Pongsak A: blz. 76 (2); Shutterstock, poonsap: blz. 198 (9.2); Shutterstock, Rattiya Thongdumhyu: blz. 21 (10.2); Shutterstock, Richard Peterson: blz. 226; Shutterstock, Richard Whitcombe: blz. 67; Shutterstock, Rido: blz. 61; Shutterstock, riphoto3: blz. 248 (1); Shutterstock, Robnroll: blz. 197 (8.1); Shutterstock, rodrigobark: blz. 32 (23.4); Shutterstock, RossHelen: blz. 142; Shutterstock, SB Arts Media: blz. 146 (40); Shutterstock, Sebastian Kaulitzki: blz. 23 (13.2); Shutterstock, Sergey Mikheev: blz. 187 (2); Shutterstock, Shcherbakov Ilya: blz. 211 (23), 227; Shutterstock, StockPhotosArt: blz. 226; Shutterstock, stocksolutions: blz. 20; Shutterstock, Svetlana Valoueva: blz. 207; Shutterstock, TanyaJoy: blz. 157; Shutterstock, Tara Lambourne: blz. 24; Shutterstock, Thomas Soellner: blz. 75; Shutterstock, Tinydevil: blz. 23 (12.2); Shutterstock, UruphongK: blz. 153 (45); Shutterstock, Vane Nunes: blz. 145; Shutterstock, Vasiliy Koval: blz. 203 (15.2); Shutterstock, VectorMine: blz. 241; Shutterstock, Viorel Sima: blz. 208, 215, 225 (40); Shutterstock, Vishnevskiy Vasily: blz. 226; Shutterstock, Vlad Ageshin: blz. 208, 225 (40); Shutterstock, Volodymyr Maksymchuk: blz. 12 (2.1); Shutterstock, worldlandscape: blz. 198 (10); Shutterstock, Wut_Moppie: blz. 32 (23.2); Shutterstock, YAKOBCHUK VIACHESLAV: blz. 148; Shutterstock, yod 67: blz. 244 (58); Shutterstock, Ysbrand Cosijn: blz. 207; Shutterstock: blz. 184; Studio Schuurmans, Henk Schuurmans: blz. 77; Uroš Cerkvenik, Sander W. S. Gussekloo en Johan L. van Leeuwen, Experimental Zoology Group, Wageningen University: blz. 27 (17); Voermans van Bree Fotografie, Arnhem: blz. 83.

Omslag: Adobe Stock / distrito xermar

MALMBERG

ISBN 978 94 020 6869 6
Release 7.0, vierde oplage

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

Alle rechten voorbehouden. Geen tekst- en datamining toegestaan. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp).
Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

©2025 Malmberg 's-Hertogenbosch.

Ondanks vele inspanningen is het de uitgever misschien niet gelukt alle rechthebbenden te achterhalen. Wie denkt rechthebbende te zijn, kan zich wenden tot de uitgever.

Eindredactie
Claud Biemans
Arthur Jansen

Auteurs
Marianne Gommers
Boukje Ivens
Arthur Jansen

Biologie voor jou voor de bovenbouw van het vwo bestaat uit vijf boeken. Je leert in klas 4, 5 en 6 onder andere over de ontwikkeling van organismen. Ook jij maakt een ontwikkeling door: van een beginneling tot iemand met een goede kennis van de biologie.



▲

De merel is de talrijkste vogelsoort die in Nederland broedt. Merels leven in bossen en steden. Ze maken nesten met vier of vijf eieren. Driekwart van de nesten wordt leeggeroofd voordat de jongen kunnen vliegen. De daders zijn katten, eekhoorns en vogels, zoals eksters. Merels compenseren dit verlies met drie of vier nesten per seizoen.

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

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

ISBN 978 94 020 6869 6

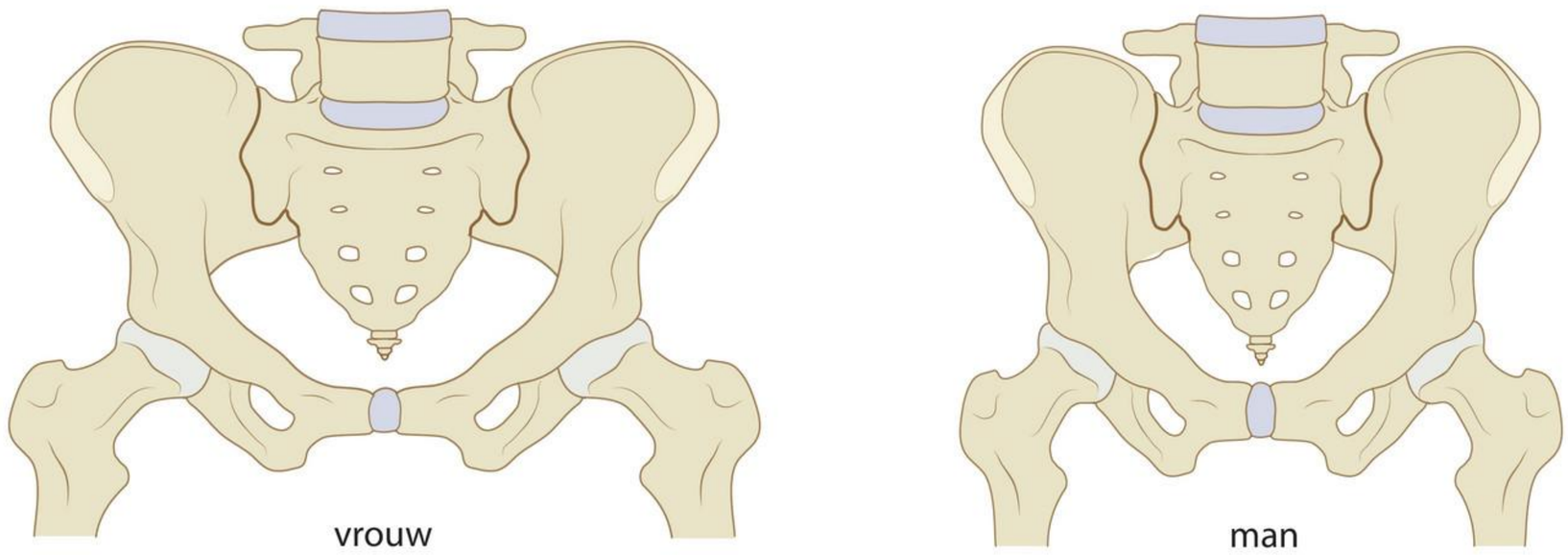
9 789402 068696

596129-04

MALMBERG

38 Het bekken bij een vrouw is breder dan bij een man (zie afbeelding 16).
Geef hiervoor een verklaring.

■ **Afb. 16** Vorm van het bekken bij vrouw en man.



39 De bladeren van loofbomen hebben een groot oppervlak.
Waarom is dit functioneel?

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

Context Wetenschap

SLUIPWESP HELPT CHIRURGEN

Chirurgen zijn op zoek naar dunne naalden waarmee ze bij operaties om kwetsbare structuren heen kunnen manoeuvreren. Bijvoorbeeld bij ingrepen in de hersenen of rondom het ruggenmerg. Vrouwelijke sluipwespen leggen eitjes in de eieren of de larven van andere insectensoorten via een legboor aan het achterlijf. Die larven zitten soms verscholen in plantendelen. Wageningse en Delftse onderzoekers gebruikten als voorbeeld voor hun *bio-inspired design* een parasitaire sluipwesp die haar flexibele legboor precies kan richten naar de plek waar een larve zich bevindt. De onderzoekers observeerden het leggedrag van een sluipwesp in een transparante gel (zie afbeelding 17). Zo zagen ze dat de legboor in alle richtingen kan buigen, hoeken van bijna 180 graden en zelfs S-bochten kan maken. Op die manier kan de sluipwesp haar flinterdunne boor heel nauwkeurig naar een bepaalde plek sturen. En dat buigzame en stuurbare is precies wat een chirurg nodig heeft in een medische naald.

Bij nadere analyse bleek dat de legboor van de wesp een holle buis is die bestaat uit drie delen die langs elkaar kunnen schuiven. De drie schuivende delen worden afwisselend bewogen. Door een deel eerst een stuk verder uit te schuiven dan de andere twee, kan de wesp bochten maken.

De onderzoekers vervaardigden een stuurbare naald die bestaat uit zes beweegbare delen en een omhulsel. De naald is slechts driemaal zo dik als een haar (zie afbeelding 18). Het prototype wordt getest bij urologische operaties. ‘Alle problemen die wij mensen hebben, bestaan ook in de natuur. Vaak heeft de natuur ze al opgelost tijdens miljoenen jaren evolutie’, zegt een onderzoeker. Het namaken is alleen niet gemakkelijk.



■ **Afb. 17** Een sluipwesp prikt met een legboor door een gel.



■ **Afb. 18** Een nagemaakte legboor voor operaties.

Opdrachten

40 Vrouwelijke sluipwespen leggen eitjes in de eieren of de larven van andere insectensoorten die soms verscholen zitten in plantendelen.
Leg uit welk voordeel de dunne flexibele legboor dan heeft voor een sluipwesp.

41 **a** Van welk orgaanstelsel van de sluipwesp maakt de legboor deel uit?

b De legboor moet vanuit het achterlijf van de sluipwesp naar het eitje of de larve worden gestuurd.
Noem twee weefsels die deel uitmaken van de legboor van de sluipwesp.

42 De legboor van de sluipwesp heeft zich in de loop van de evolutie waarschijnlijk ontwikkeld uit de angel bij een verre voorouder.
Geef twee overeenkomsten in de bouw en functie van een angel en een legboor.

3 PLANTAARDIGE EN DIERLIJKE CELLEN

LEERDOELEN

1.3.1 Je kunt een microscoop gebruiken en daarmee (delen van) organismen bestuderen.

1.3.2 Je kunt delen van dierlijke cellen en van plantaardige cellen benoemen en de functies ervan beschrijven.

- Vaardigheden 1, 2, 3 en 4
- Practica 1, 2 en 3

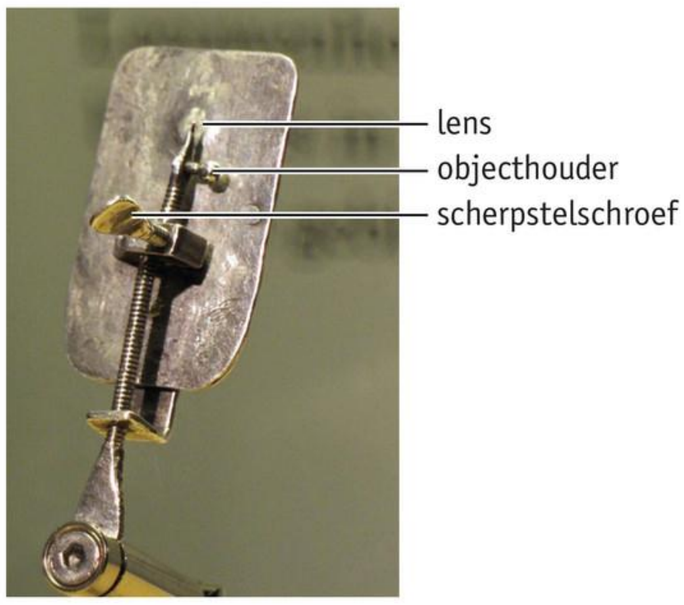
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	1.3.1	**1.3.2**
Begrijpen	48	43, 44, 45, 46, 47
Toepassen	53	49, 51, 54, 55b
Analyseren		50, 52, 55a, 56

Een cel is de kleinste biologische eenheid die kan leven. Cellen kunnen sterk van elkaar verschillen, maar ze vertonen ook overeenkomsten. Met een microscoop kun je zien dat cellen complex zijn gebouwd.

CELLEN WAARNEMEN

In 1665 bekeek Robert Hooke een stukje kurk met een zelfgebouwde microscoop die 30× kon vergroten. Hij ontdekte dat kurk uit kleine hokjes bestaat, die hij cellen noemde. Hooke introduceerde daarmee het begrip ‘cel’ in de biologie. Zijn tijdgenoot Antoni van Leeuwenhoek ontwikkelde enkele jaren later een microscoop die 266× kon vergroten. Met deze microscoop kon hij als eerste mens micro-organismen waarnemen. Van Leeuwenhoek bestudeerde, beschreef en tekende heel kleine organismen, cellen en weefsels die hij met zijn eenvoudige microscoop waarnam (zie afbeelding 19).

■ **Afb. 19** Een microscoop van Antoni van Leeuwenhoek.



Moderne microscopen spelen een belangrijke rol bij biologisch onderzoek. Als je de waterkwaliteit wilt bepalen, kun je met een microscoop bekijken welke soorten organismen in het water leven. Klinisch pathologen onderzoeken in laboratoria van ziekenhuizen cellen en weefsels met behulp van microscopen.

De meeste microscopen op school kunnen 400× tot 600× vergroten. De vergroting van een microscoop reken je uit door de vergroting van het oculair te vermenigvuldigen met de vergroting van het objectief. Als het oculair 10× vergroot en het objectief 40×, dan is de totale vergroting 400×.

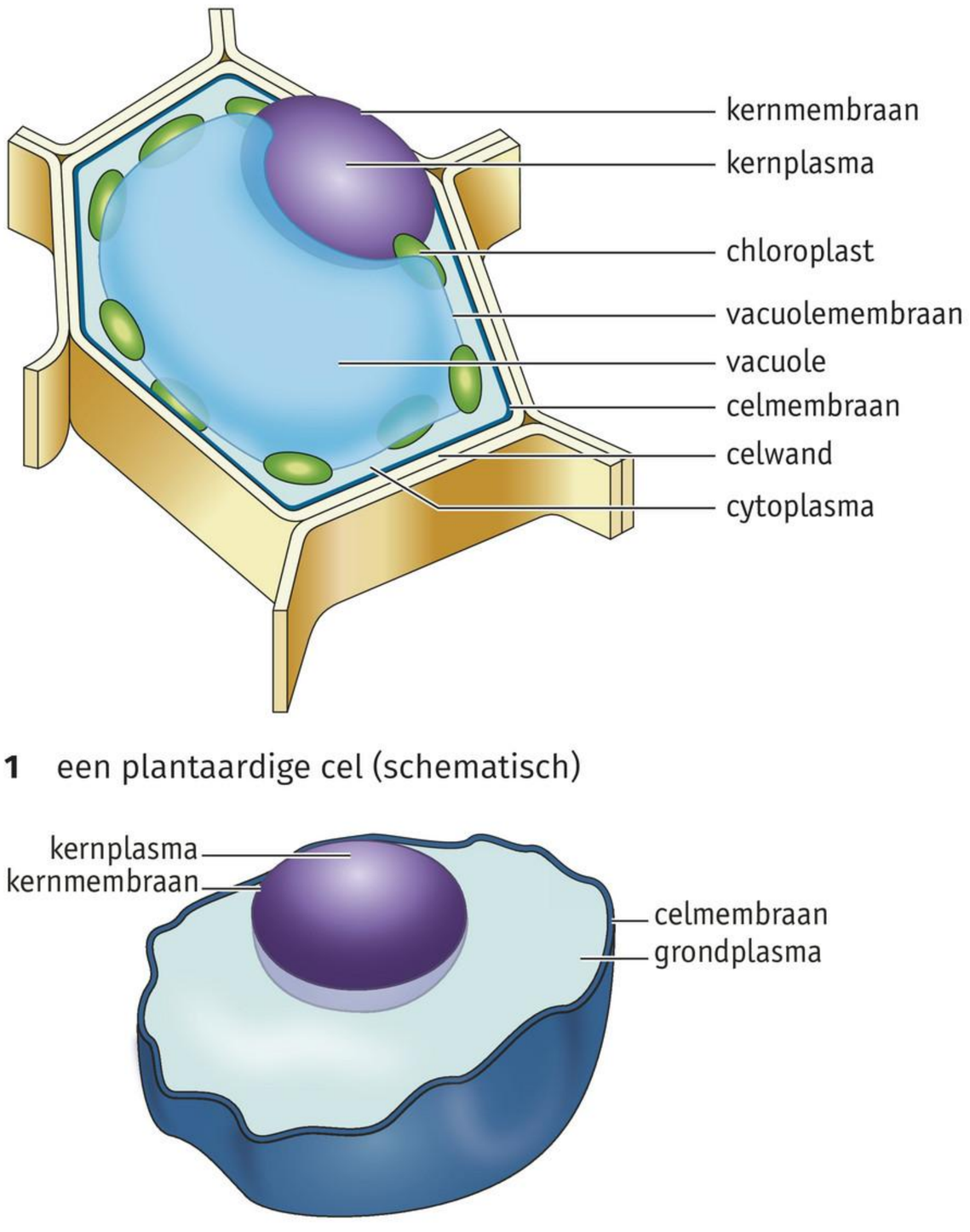
Op school gebruik je een microscoop waarbij licht door het preparaat valt. Zo'n microscoop noem je een lichtmicroscoop. Met een lichtmicroscoop kun je bijvoorbeeld verschillen tussen plantaardige en dierlijke cellen bestuderen.

CELLEN VAN PLANTEN EN DIEREN

Als je kijkt naar cellen van plantaardige en dierlijke organismen zie je overeenkomsten en verschillen. In afbeelding 20 zie je een plantaardige cel en een dierlijke cel met verschillende delen. De aangegeven delen komen niet in alle cellen van alle organismen voor. Elk deel van een cel met een eigen functie noem je een organel (*BiNaS* tabel 79B, 79C en 79D).

De buitenste laag van een cel heet **celmembraan**. Bij cellen van planten ligt om het celmembraan een **celwand**. Celwanden bestaan uit tussencelstof en behoren niet tot de cel. De tussencelstof van de celwand bevat onder andere cellulose en geeft de plantencel stevigheid. Het celmembraan bestaat voor het grootste deel uit vetmoleculen, net als alle andere membranen in de cel. Hierdoor wordt het inwendige van de cel, het **cytoplasma** (**celplasma**), gescheiden van het milieu buiten de cel. Het cytoplasma bestaat uit **grondplasma** met daarin allerlei organellen. Grondplasma bestaat uit water en opgeloste stoffen. Ook de **celkern** wordt omgeven door het grondplasma. Het kernmembraan vormt de buitenste laag van de celkern.

■ **Afb. 20** Een plantaardige en een dierlijke cel.



1 een plantaardige cel (schematisch)

2 een dierlijke cel (schematisch)

Veel plantaardige cellen hebben een grote centrale **vacuole**. Deze is gevuld met vacuolevocht en wordt omgeven door het vacuolemembraan. Het cytoplasma ligt in een dunne laag tegen het celmembraan aan. De grote centrale vacuole speelt een belangrijke rol bij de stevigheid van plantaardige cellen. Ook kan de vacuole van een plantaardige cel kleurstoffen bevatten. De kleurstoffen geven kleur aan bijvoorbeeld bloemen en vruchten.

Bij planten kunnen in het cytoplasma van de cellen **plastiden** voorkomen. Van deze organellen bestaan verschillende typen: **chloroplasten** (bladgroenkorrels), chromoplasten (kleurstofkorrels) en leukoplasten. Chloroplasten bevatten groene kleurstoffen (**chlorofyl**). In chromoplasten komen gele (xanthofyl), oranje (caroteen) en rode kleurstoffen voor. Leukoplasten dienen om stoffen zoals vet, zetmeel en eiwit in op te slaan. Zetmeelkorrels zijn bijvoorbeeld leukoplasten waarin zetmeel is opgeslagen. Sommige plastiden kunnen overgaan in andere. Zo gaan chloroplasten tijdens het rijpen van vruchten over in chromoplasten. Dit gebeurt bijvoorbeeld tijdens het rijpen van een tomaat.

Op plaatsen waar plantaardige cellen niet helemaal op elkaar aansluiten ontstaan intercellulaire ruimten. Deze ruimten zijn gevuld met lucht of vocht.

ELEKTRONENMICROSCOPEN

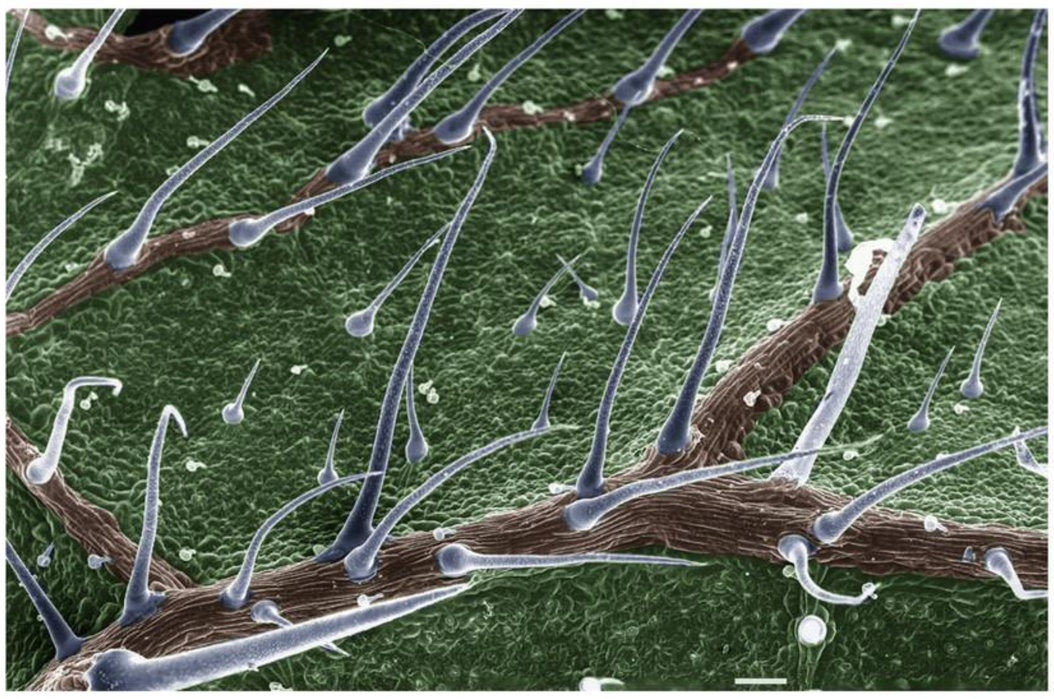
In cellen komen organellen voor die met een lichtmicroscoop niet zichtbaar zijn. Om deze organellen te bekijken, gebruik je een elektronenmicroscoop (zie afbeelding 21). Hierbij wordt een elektronenbundel op het object gericht. Bij een transmissie-elektronenmicroscoop of TEM gaat de elektronenbundel, net als licht bij een lichtmicroscoop, door het object. Onder in de microscoop ontstaat op een speciaal scherm een beeld van het object. Een andere methode is om een object af te tasten met een elektronenbundel. Het object weerkaatst de elektronen, waardoor een beeld ontstaat. Dit gebeurt met een rasterelektronenmicroscoop of SEM (Engels voor *scanning electron microscope*). Bij een transmissie-elektronenmicroscoop en bij een lichtmicroscoop heeft het beeld geen diepte. Het beeld bij een rasterelektronenmicroscoop heeft wel diepte (zie afbeelding 22).

Elektronenmicroscopen zijn aangesloten op computers. Een computer bewerkt de beelden en toont ze op een beeldscherm. Vaak worden de beelden ingekleurd, waardoor bepaalde structuren beter zichtbaar zijn.

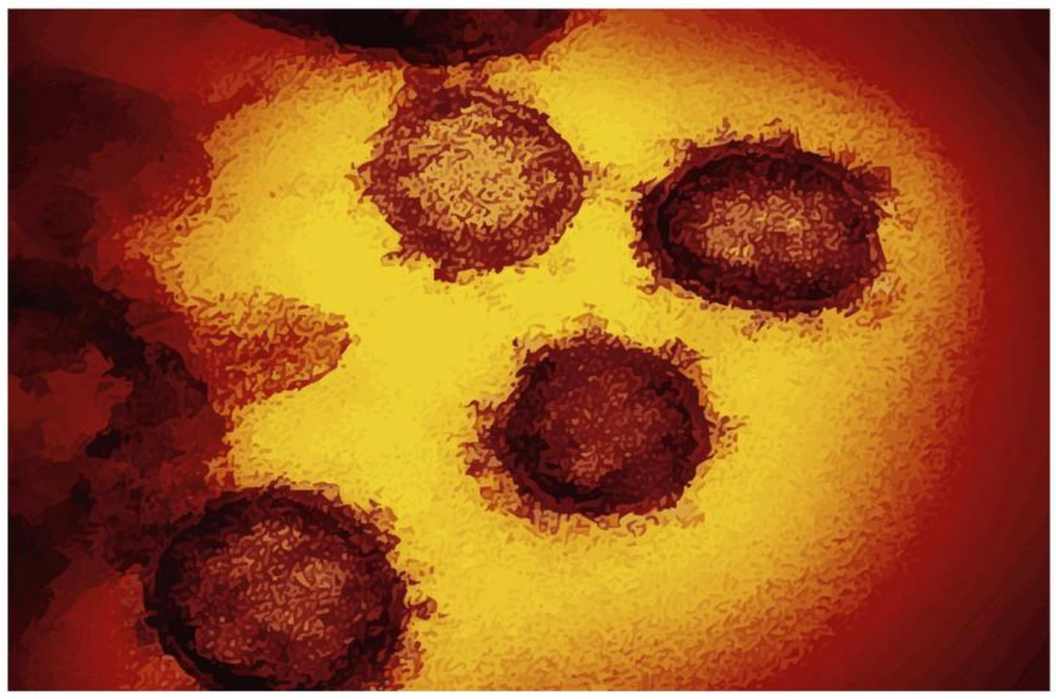
■ **Afb. 21** Een elektronenmicroscoop.



■ **Afb. 22** Elektronenmicroscopische foto's.



1 SEM-foto van een bladoppervlak kunstmatig gekleurd



2 TEM-foto van coronavirus

Opdrachten KENNIS

43 Cellen van een mens zijn dierlijke cellen. Tussen dierlijke en plantaardige cellen bestaan verschillen.
Geef in de tabel aan welke delen in dierlijke cellen aanwezig zijn en welke delen in plantaardige cellen aanwezig zijn of kunnen zijn. Noteer ook de functie van dat deel van de cel.

Deel van de cel	Is aanwezig bij dierlijke cellen	Is aanwezig of kan aanwezig zijn bij plantaardige cellen	Functie
Celmembraan			
Cytoplasma			
Grote centrale vacuole			
Celkern			
Kernmembraan			
Chloroplasten			
Chromoplasten			
Leukoplasten			

44 Welk deel van plantaardig weefsel zorgt bij planten voor stevigheid?

45 Valencia-sinaasappels (*Citris sinensis L.*) worden op grote schaal verbouwd in de staat Florida. In de winter bereiken Valencia-sinaasappels hun optimale oranje schilkleur, terwijl ze in de lente en zomer terugkeren naar een groene kleur.

a Leg uit wat er gebeurt met de plastiden in de schil van de sinaasappel.

b Welke factor zorgt voor de omzetting van een chromoplast of leukoplast naar een chloroplast?

46 **a** Hoe wordt het proces genoemd waarbij chloroplasten in fruit worden omgezet in chromoplasten?

b Wat is de functie van chromoplasten in rijp fruit?

47 De wortel die als groente wordt gebruikt, was van oorsprong wit of paars van kleur. In de 17e eeuw kregen wortels via kruisingen door Nederlandse telers hun oranje kleur. Dit ter ere van het koningshuis Oranje-Nassau.
Welke kleurstof komt vooral voor in de cellen van een wortel?

48 Onder de microscoop ziet Emma een cel bij een vergroting van 40×.

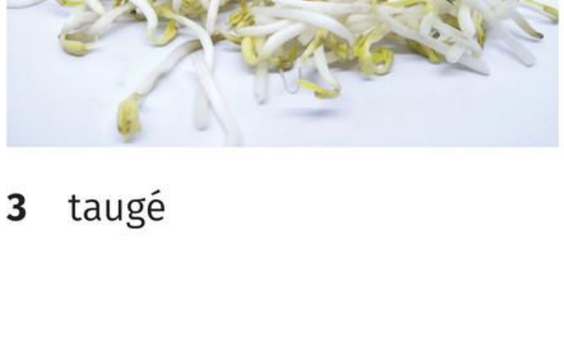
a Welke vergroting heeft het objectief van de microscoop die Emma gebruikt als het oculair 10× vergroot?

b Een cel in het preparaat is 0,3 mm lang. Emma tekent de cel 5 cm lang.
Hoe groot is de werkelijke vergroting van de tekening?

Opdrachten INZICHT

49 Planten ontwikkelen zich in het donker tot planten met lange, slappe, bleekgele stengels en kleine, bleekgele bladeren. Dit noem je etioleren. Witlof, asperges, taugé en alfalfa (zie afbeelding 23) zijn voorbeelden van geëtioleerde planten. ’s Nachts wordt witlof in de winkel afgedekt met donkerblauw papier om te voorkomen dat de bladeren groen kleuren.
Welke conclusie kun je hieruit trekken?

■ **Afb. 23** Geëtioleerde groenten.



1 witlof



2 asperges

3 taugé

4 alfalfa

50 Welke functie hebben de drie verschillende plastiden bij de teelt van voedselgewassen?

51 Chloroplasten bevatten naast chlorofyl ook andere pigmenten, zoals carotenoïden. Dit zijn kleurstoffen die de fotosynthese ondersteunen en de cel beschermen tegen de schadelijke gevolgen van zonlicht. Carotenoïden worden onderverdeeld in carotenen die oranje van kleur zijn en xanthofylen die geel van kleur zijn.
In de herfst verkleuren bladeren van groen naar geeloranje. Chlorofyl heeft een korte levensduur en wordt continu door de bladeren gemaakt. In de herfst stoppen bladeren met het aanmaken van chlorofyl.
Waardoor kleuren bladeren in de herfst van groen naar geeloranje?

52 Veel beukebomen hebben groene bladeren, maar er zijn er ook die paarse bladeren hebben.
Leg uit dat beukebomen met paarse bladeren in staat zijn tot fotosynthese.

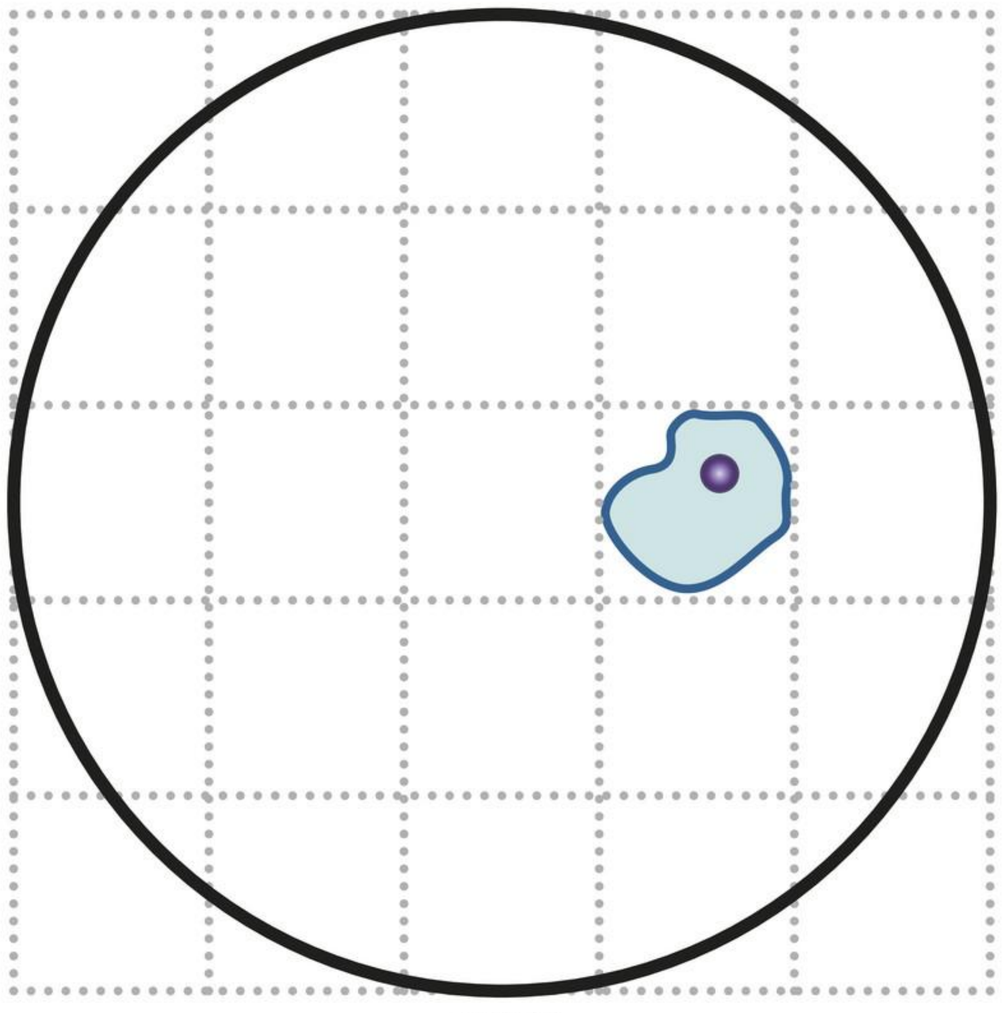
53 Naar: Biologie Olympiade Junior 2001, vraag 8.

Je kijkt door een microscoop met een vergroting van 100× en ziet wat in afbeelding 24 is getekend. Het beeld dat je met deze microscoop zou zien bij een vergroting van 50× heeft een middellijn van 2 mm.

a Hoe groot is de middellijn van het microscoopbeeld bij een vergroting van 100×?

b Je tekent de cel 5 cm groot.
Hoeveel keer vergroot heb je de cel getekend?

■ **Afb. 24** Doorsnede van een microscoopbeeld met cel.



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

Context Wetenschap

KLEUR BEKENNEN

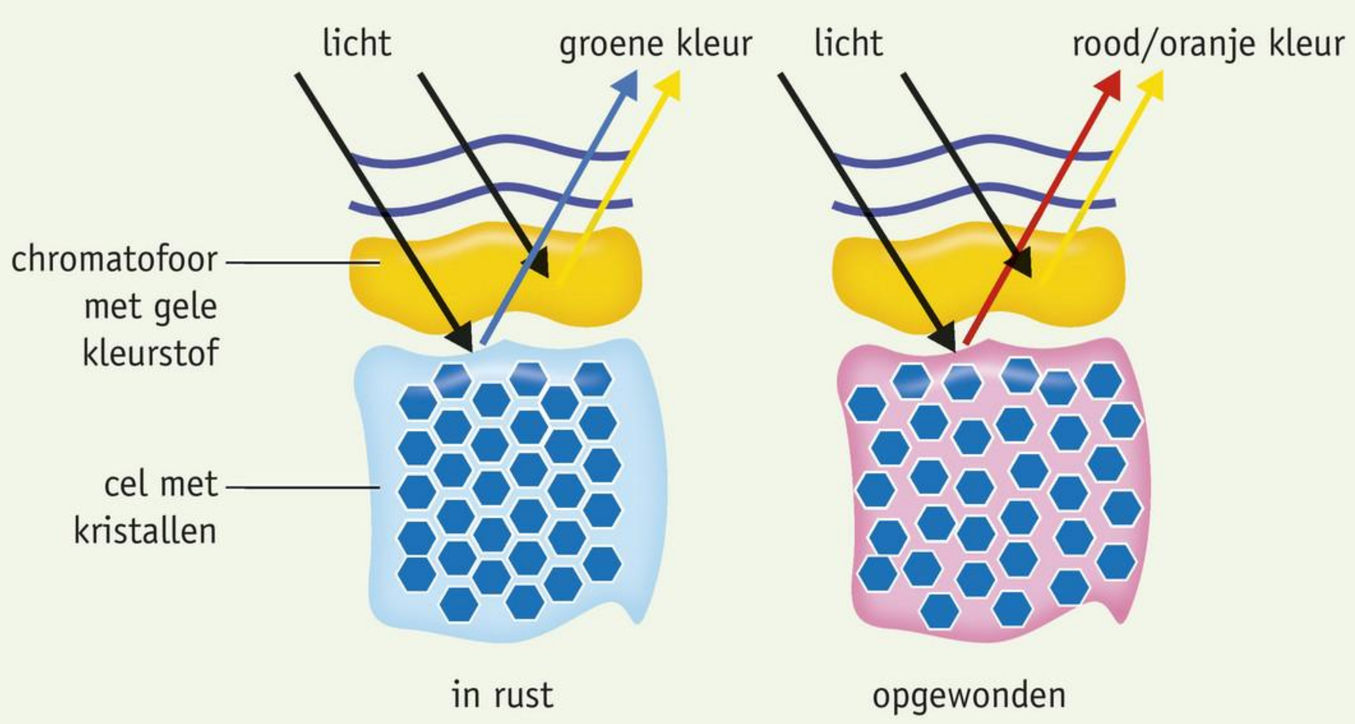
De kleur van planten ontstaat door kleurstoffen in de chromoplasten, chloroplasten of de vacuolen van hun cellen. De kleurstoffen maken fotosynthese mogelijk, of zorgen ervoor dat een plant aantrekkelijk is voor andere organismen. De kleurstof (of pigment) in de huid van zoogdieren en vogels heet melanine. Het pigment beschermt de huid tegen de schadelijke werking van ultraviolette straling.

Bij een dier kunnen kleuren dienen als camouflage. Ook kunnen dieren met hun kleuren signalen aan elkaar geven, bijvoorbeeld in de voortplantingstijd. Net als bij planten kunnen in cellen van dieren ook organellen voorkomen die kleurstoffen bevatten: de chromatoforen. Ze geven kleur aan cellen in de huid, ogen, haren, veren of vacht. Sommige inktvissen, hagedissen en vissen kunnen van kleur veranderen. Chromatoforen met een bepaalde kleur kunnen dan krimpen en die met een andere kleur juist opzwellen. Door het krimpen verdwijnt of vervaagt een kleur. De kleur is weer zichtbaar wanneer een chromatofoor opzwelt. Een panterkameleon (afbeelding 25) heeft onder de laag chromatoforen in zijn huid nog een laag cellen met kleine reflecterende kristallen (iridoforen). Wanneer de positie van de kristallen in deze cellen verandert, reflecteren de cellen een andere kleur licht (zie afbeelding 26). Bij de panterkameleon dient de kleur van de mannetjes om vrouwtjes te lokken. Vrouwtjes kunnen met hun kleur aangeven dat ze al bevrucht zijn en niet bereid tot paring.

■ **Afb. 25** Kleurverandering bij de panterkameleon.



■ **Afb. 26** Lichtreflectie door cellaag met kristallen.



Opdrachten

54 Waarom is het functioneel voor dieren dat chromatoforen kunnen krimpen en zwellen?

55 De panterkameleon heeft in de bovenste laag van zijn huid chromatoforen met gele kleurstof. In rust liggen de kristallen in de cellen daaronder dicht tegen elkaar. Ze reflecteren dan blauw licht (zie afbeelding 25).

a Welke functie heeft de kleur van de huid van een panterkameleon in rust? Leg je antwoord uit.

b Leg uit dat de felle kleur van een opgewonden mannetjes panterkameleon functioneel is.

56 Sommige dieren kunnen niet van kleur veranderen, maar zijn altijd opvallend gekleurd. Bijvoorbeeld sommige soorten gifkikkers. Leg uit dat de felle kleuren van gifkikkers hun overlevingskansen vergroten.

4 ORGANELLEN

LEERDOELEN

1.4.1 Je kunt een cel beschrijven als zelfstandig functionerende biologische eenheid.
1.4.2 Je kunt beschrijven hoe transport van stoffen via (cel)membranen plaatsvindt.
1.4.3 Je kunt de bouw en functie van het cytoskelet en het celmembraan beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	1.4.1	**1.4.2**	**1.4.3**
Begrijpen	57, 58, 59, 60, 64, 66, 75	61, 62, 63	65
Toepassen	68, 76ac	70, 72	
Analyseren	67, 73, 74, 76b	71	69

Dat het in een cel een levendige boel is, kun je op afbeeldingen niet zien. In een cel liggen de celorganellen niet op een vaste plaats. Ze bewegen continu en er is interactie met andere organellen.

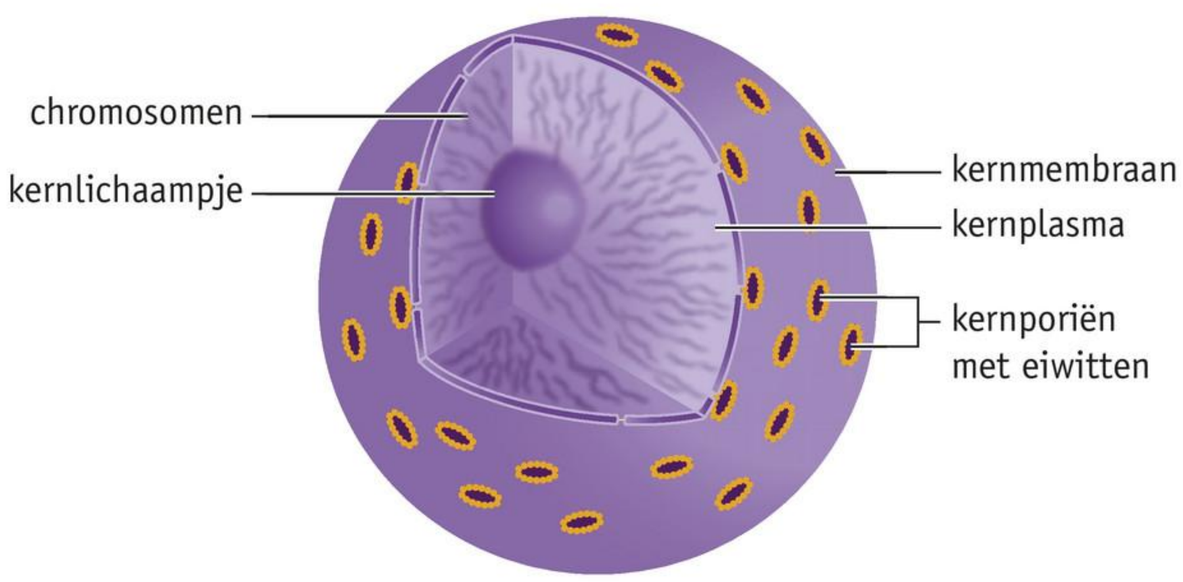
CELKERN

De celkern, vacuolen en plastiden zijn relatief grote organellen die met een lichtmicroscoop meestal goed zichtbaar zijn. Wanneer je cellen met een elektronenmicroscoop bekijkt, zie je dat er ook andere organellen in de cel aanwezig zijn. Ook zie je meer eigenschappen van de organellen die je al kent.

Je kunt bijvoorbeeld zien dat de kern is omgeven door het kernmembraan en kernplasma bevat (zie afbeelding 27). In het kernplasma liggen **chromosomen**. Deze bestaan uit lange moleculen DNA die rond een aantal eiwitten zijn gewikkeld. Het DNA bevat informatie over de bouw van eiwitten. Eiwitten bepalen de **erfelijke eigenschappen** van een organisme, zoals de bouw en functie van een cel, de kleur van de ogen en de bloedgroep.

In het kernplasma kun je het **kernlichaampje** onderscheiden. Dit is de plaats waar delen van ribosomen worden gemaakt. Deze delen verlaten de celkern via de kernporiën in het kernmembraan en gaan naar het cytoplasma. Een **kernporie** is een opening die het transport van stoffen in en uit de kern kan regelen. **Ribosomen** zijn kleine bolvormige organellen die eiwitten maken met behulp van de informatie die is vastgelegd in het DNA. Ribosomen werken samen met andere organellen bij het maken van eiwitten (eiwitsynthese).

■ **Afb. 27** De celkern (schematische tekening).



ENDOPLASMATISCH RETICULUM EN GOLGISYSTEEM

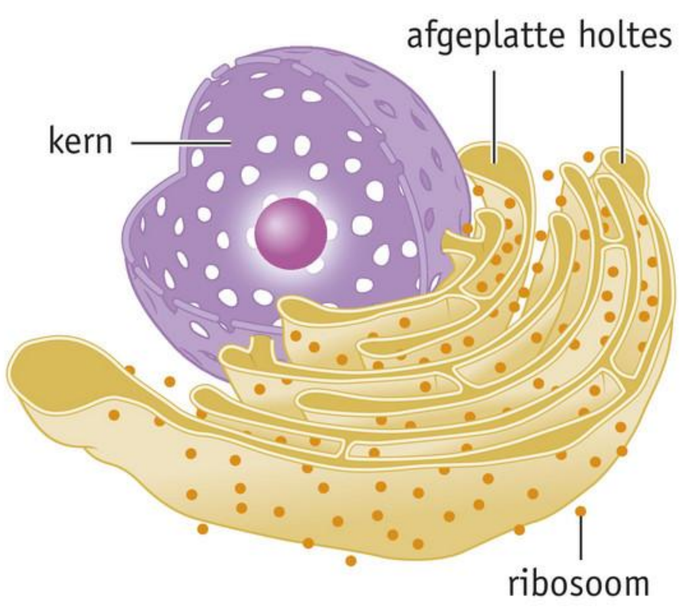
Het **endoplasmatisch reticulum** (ER) is een uitgebreid netwerk van dubbele membranen dat aansluit op het kernmembraan (zie afbeelding 28). De membranen liggen dicht tegen elkaar aan en vormen afgeplatte holten en kanaaltjes. De ruimten tussen de membranen staan met elkaar in verbinding. Er zijn twee typen endoplasmatisch reticulum: ruw en glad.

Op het membraan van het **ruw endoplasmatisch reticulum** (RER) komen ribosomen voor. Ook in het cytoplasma komen ribosomen voor. Ribosomen op het ruw endoplasmatisch reticulum geven hun eiwitten af in de holten van het endoplasmatisch reticulum. De eiwitmoleculen worden verpakt in een blaasje dat wordt afgesnoerd van het membraan van het RER.

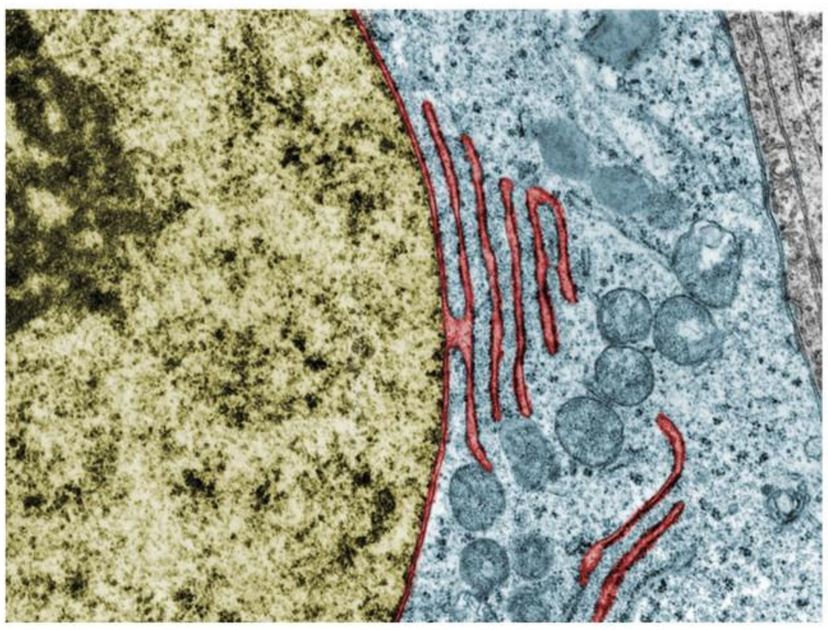
Glad endoplasmatisch reticulum (GER) heeft geen ribosomen. GER speelt een rol bij de stofwisseling in de cel, zoals bij de productie van vetten of het afbreken van gifstoffen.

Het RER heeft een transportfunctie. De eiwitmoleculen in de blaasjes die het ruw endoplasmatisch reticulum afsnoert, hebben nog niet de uiteindelijke vorm en worden naar het **golgisysteem** getransporteerd. Het golgisysteem bestaat uit series opeengestapelde platte membranen in het cytoplasma van de cel (zie afbeelding 29). Het golgisysteem neemt de blaasjes op en bewerkt de eiwitmoleculen totdat ze hun definitieve vorm hebben. Dan snoert het golgisysteem de eiwitten in blaasjes af.

■ **Afb. 28** Celkern met aansluitend ruw endoplasmatisch reticulum.

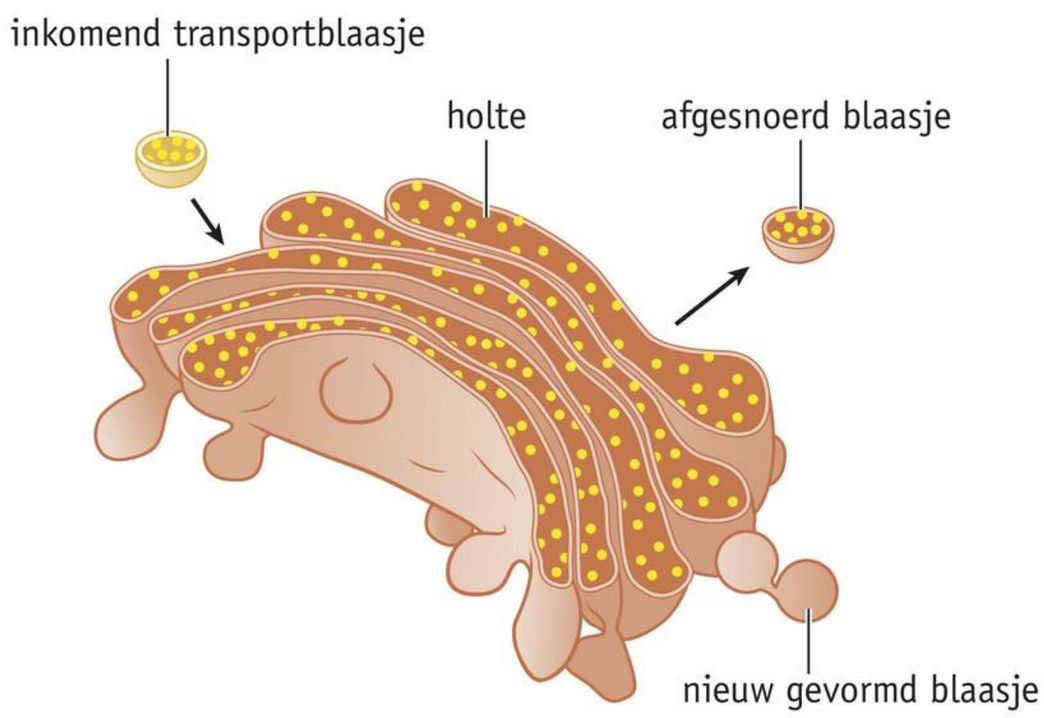


1 schematische tekening

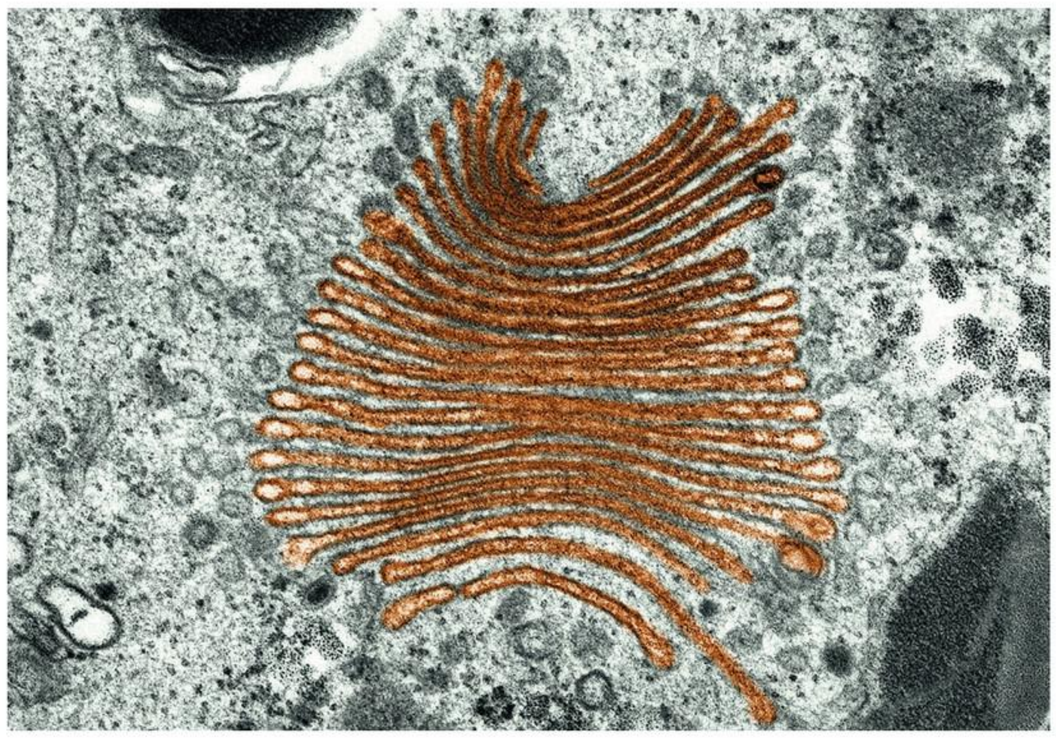


2 elektronenmicroscopische foto (TEM, 11 000×)

■ **Afb. 29** Een stapel membranen van het golgisysteem.



1 schematische tekening



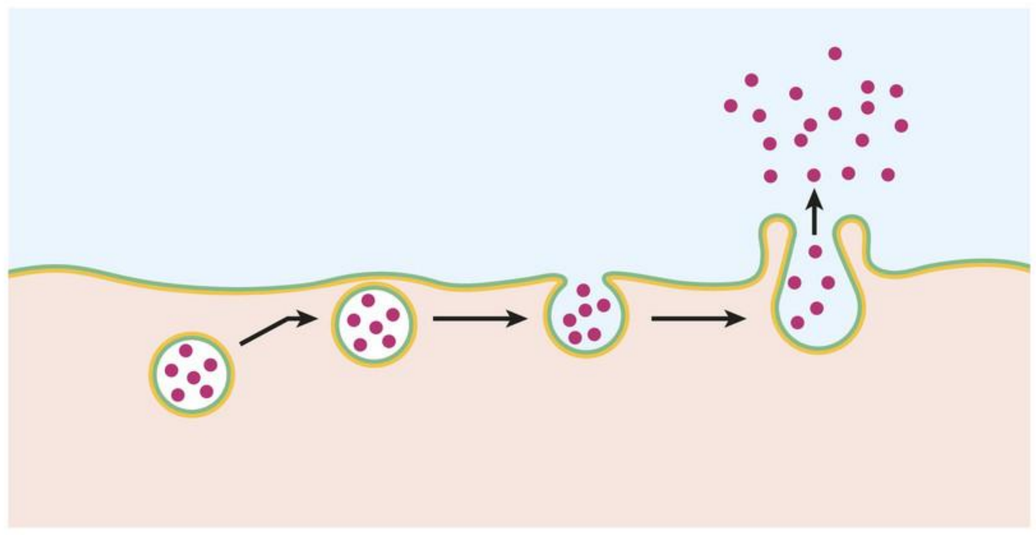
2 elektronenmicroscopische foto (TEM, 7000×)

Blaasjes die afgesnoerd zijn van het golgisysteem, kunnen versmelten met het celmembraan en de eiwitten afgeven, zodat ze buiten de cel terechtkomen. Het afsnoeren van blaasjes door het celmembraan om stoffen naar buiten de cel te transporteren, noem je **exocytose** (zie afbeelding 30). Het afgeven van stoffen door cellen noem je secretie. In cellen van klieren (bijvoorbeeld een speekselklier) en cellen van slijmvlies vindt veel secretie plaats.

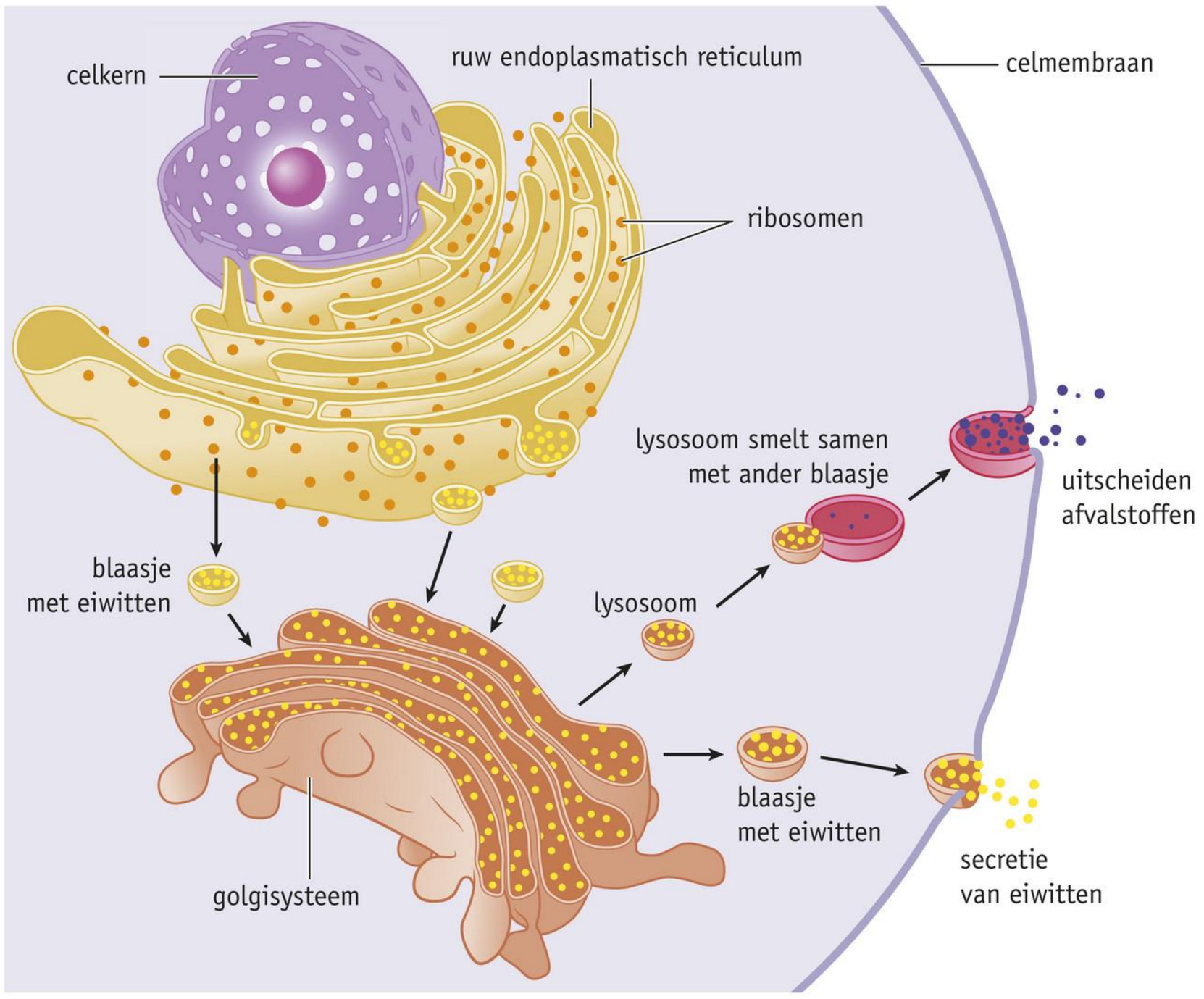
Er zijn ook blaasjes die van het golgisysteem afsnoeren en in de cel blijven, zoals **lysosomen**. De eiwitten in lysosomen zijn **enzymen** en kunnen stoffen afbreken. Lysosomen kunnen samensmelten met blaasjes die zijn gevuld met voedingsstoffen of afvalstoffen. Vervolgens zetten de enzymen deze stoffen om in andere producten, die in de cel worden gebruikt of worden uitgescheiden.

In afbeelding 31 zie je de processen van eiwitsynthese tot secretie schematisch weergegeven.

■ **Afb. 30** Exocytose.



■ **Afb. 31** Van eiwitsynthese tot secretie.



Opdrachten KENNIS

57 In de tabel staan een aantal delen van de cel met een bepaalde functie.
Beschrijf de functies van de delen.

Functionele delen van een cel	Functie
DNA	
Kernlichaampje	
Ribosoom	
RER	
Golgisysteem	
Lysosoom	

58 Het golgisysteem ligt dicht tegen het celmembraan aan.
Waarom is dit een gunstige ligging voor dit organel?

59 Wat is het laagste organisatieniveau van de biologie dat in staat is om eiwitten te maken? Leg je antwoord uit.

60 Leg uit waarom cellen van de speekselklier die onder andere enzymen maken meer ribosomen hebben dan vetcellen.

61 De galblaas geeft als het nodig is gal af aan de twaalfvingerige darm.
Is hier sprake van secretie? Leg je antwoord uit.

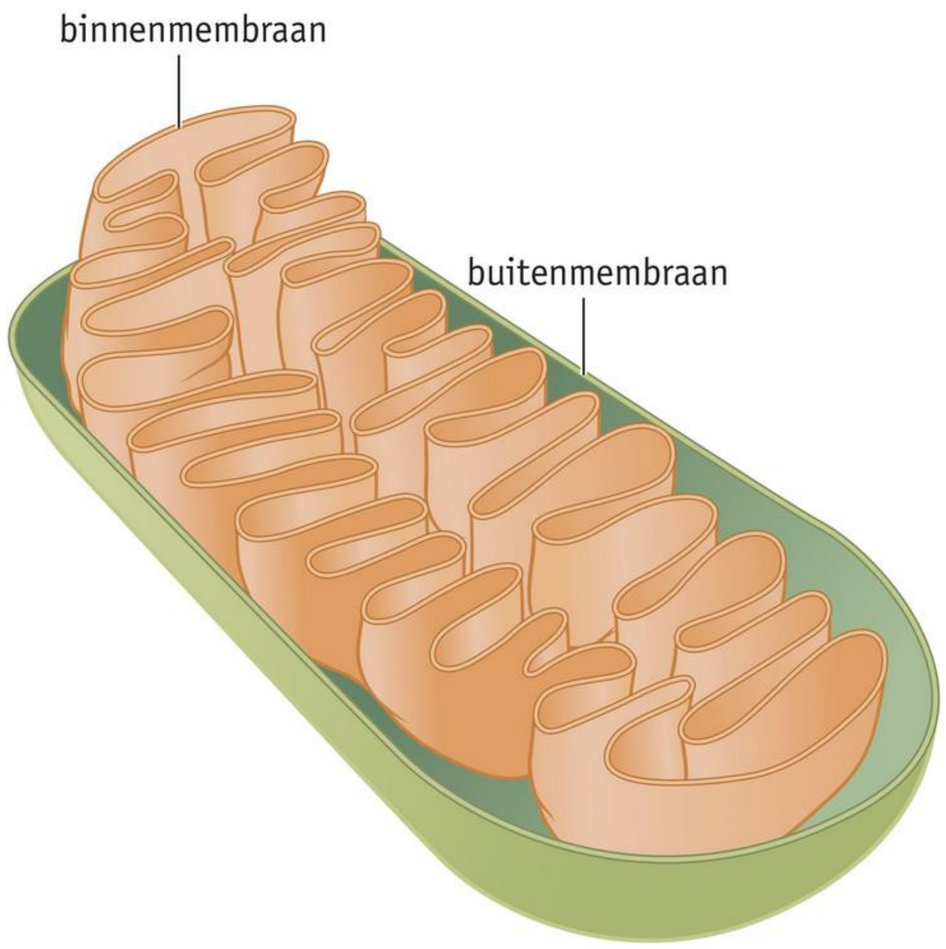
62 Hormonen zijn eiwitten die door cellen in hormoonklieren worden gemaakt. Via het celmembraan worden hormonen door de cel afgegeven.
Wat is de naam van dit transport?

MITOCHONDRIËN EN CHLOROPLASTEN

Voor veel processen in de cel is energie nodig, die geleverd wordt door mitochondriën. **Mitochondriën** (enkelvoud: mitochondrium) zijn ovaalvormige organellen. Ze hebben dubbele membranen waarvan het binnenmembraan sterk is geplooid (zie afbeelding 32). In het binnenmembraan van mitochondriën wordt via verbranding glucose afgebroken. Daarvoor zijn onder andere enzymen en zuurstof nodig. Met de energie die hierbij vrijkomt worden energierijke moleculen van de stof **ATP** (adenosinetrifosfaat) gemaakt. Als ergens in de cel energie nodig is, wordt die geleverd door de ATP-moleculen.

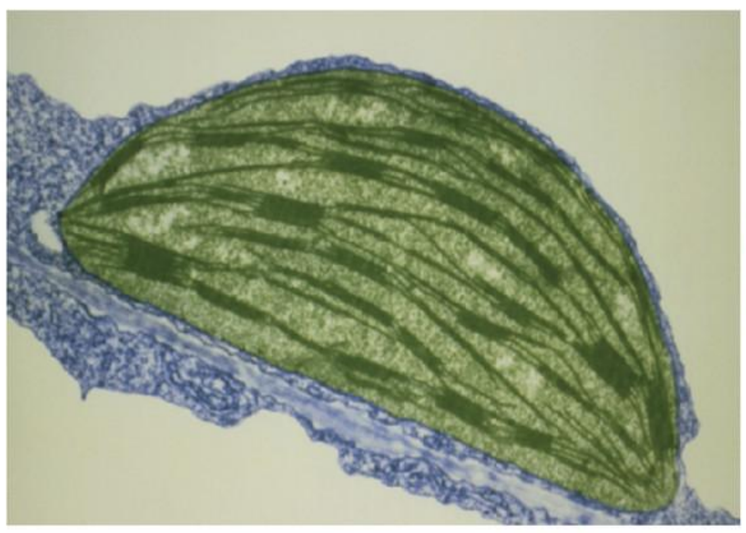
De enzymen die nodig zijn voor de productie van ATP liggen in het binnenmembraan van een mitochondrium. Door de plooiing van dit binnenmembraan is de oppervlakte wel 5× zo groot als die van het buitenmembraan. Hierdoor is er veel ruimte voor de productie van ATP-moleculen. De ATP-moleculen worden vanuit het mitochondrium getransporteerd naar plaatsen in de cel waar energie nodig is. Het aantal mitochondriën in een cel is afhankelijk van de activiteit van de cel.

■ **Afb. 32** Een mitochondrium.

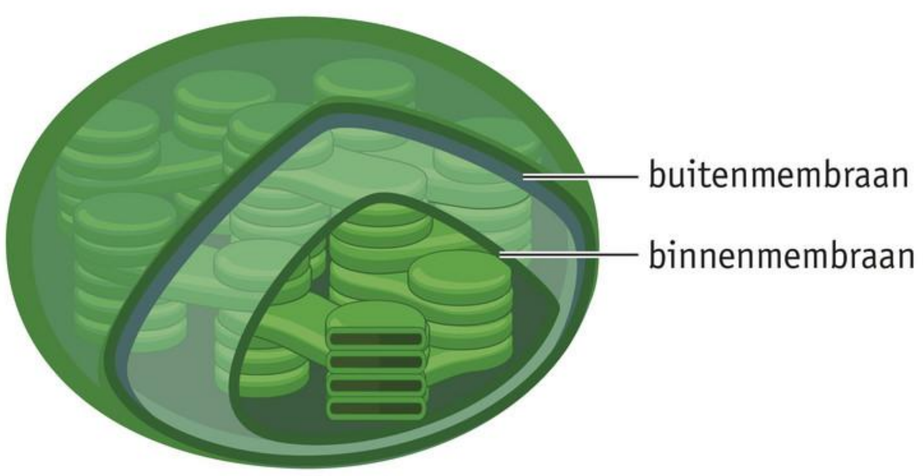


Bij fotosynthese zetten de chloroplasten in plantaardige cellen koolstofdioxide en water om in glucose en zuurstof met behulp van licht. Chloroplasten bezitten, net als mitochondriën, een dubbel membraan (zie afbeelding 33). Binnenin bevinden zich membranen die een soort platte blaasjes vormen met daartussen verbindingen. De platte blaasjes lijken gerangschikt te liggen als stapels munten. In deze membranen liggen het lichtgevoelige pigment chlorofyl en de enzymen voor de fotosynthese.

■ **Afb. 33** Een chloroplast.



1 elektronenmicroscopische foto

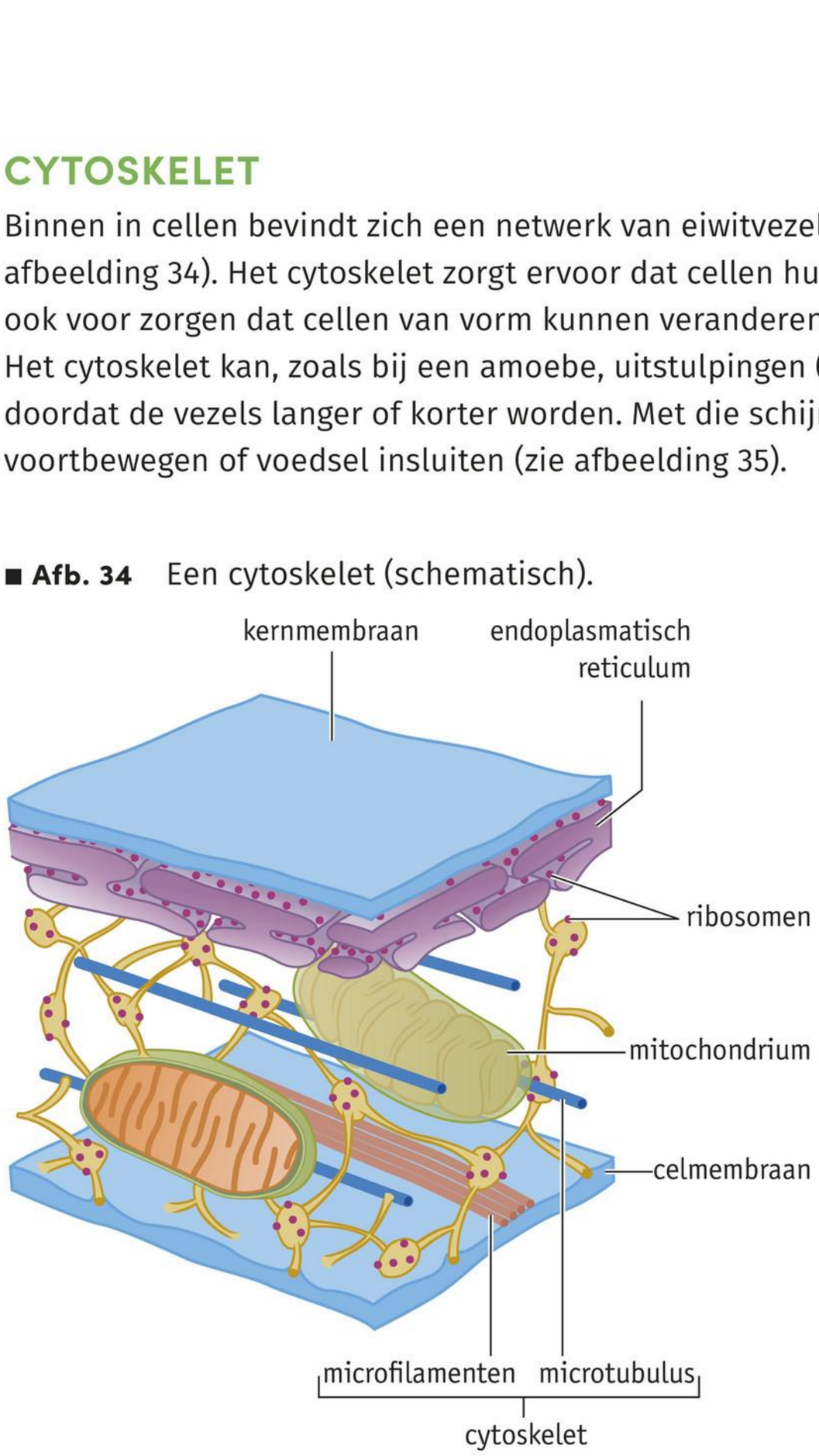


2 schematische tekening

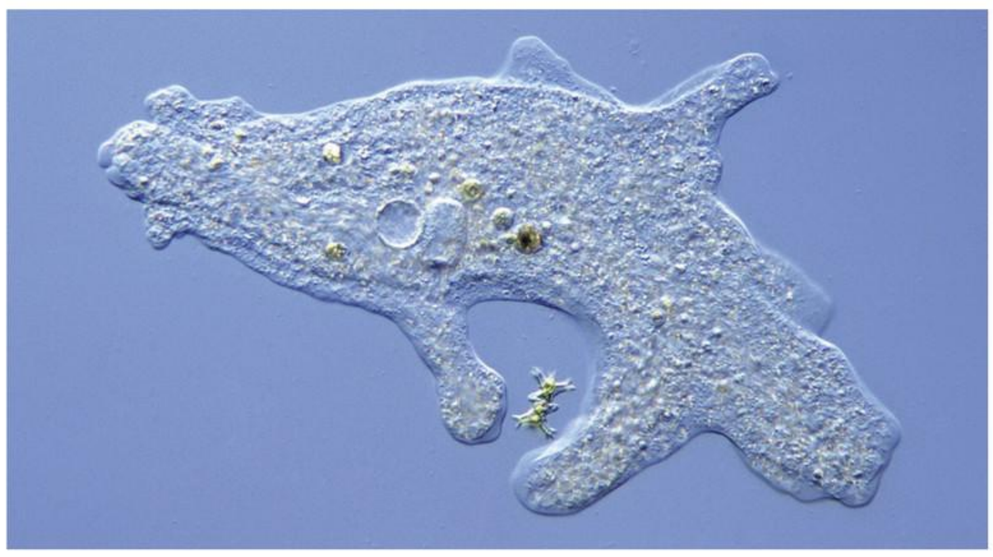
CYTOSKELET

Binnen in cellen bevindt zich een netwerk van eiwitvezels dat het **cytoskelet** heet (zie afbeelding 34). Het cytoskelet zorgt ervoor dat cellen hun vorm behouden. Het kan er ook voor zorgen dat cellen van vorm kunnen veranderen en zich kunnen verplaatsen. Het cytoskelet kan, zoals bij een amoebe, uitstulpingen (schijnvoetjes) vormen, doordat de vezels langer of korter worden. Met die schijnvoetjes kan een amoebe zich voortbewegen of voedsel insluiten (zie afbeelding 35).

■ **Afb. 34** Een cytoskelet (schematisch).



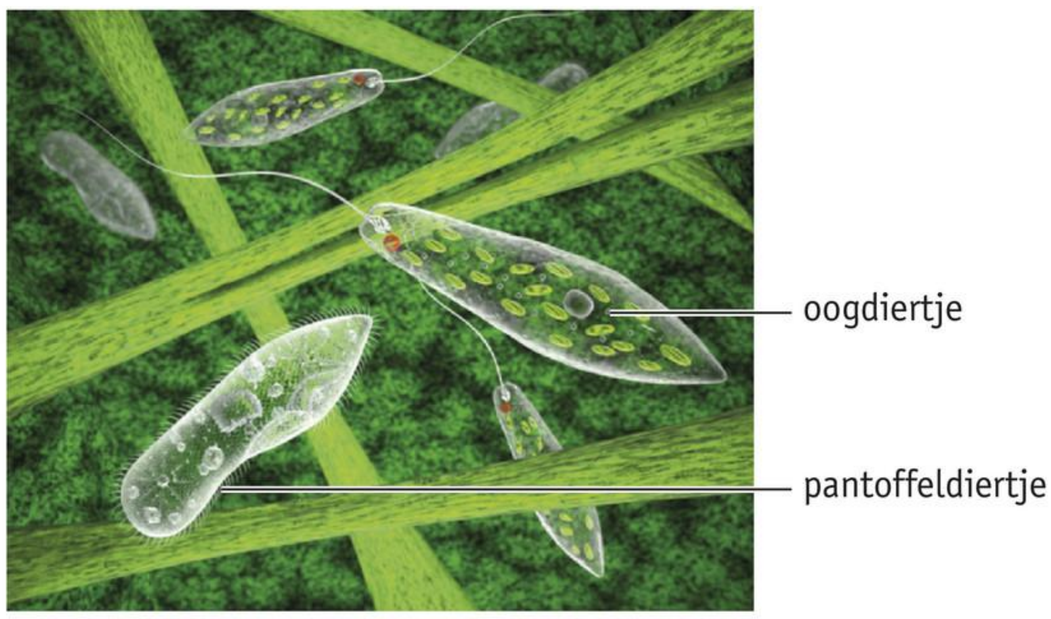
■ **Afb. 35** Amoebe met schijnvoetjes sluit alg in.



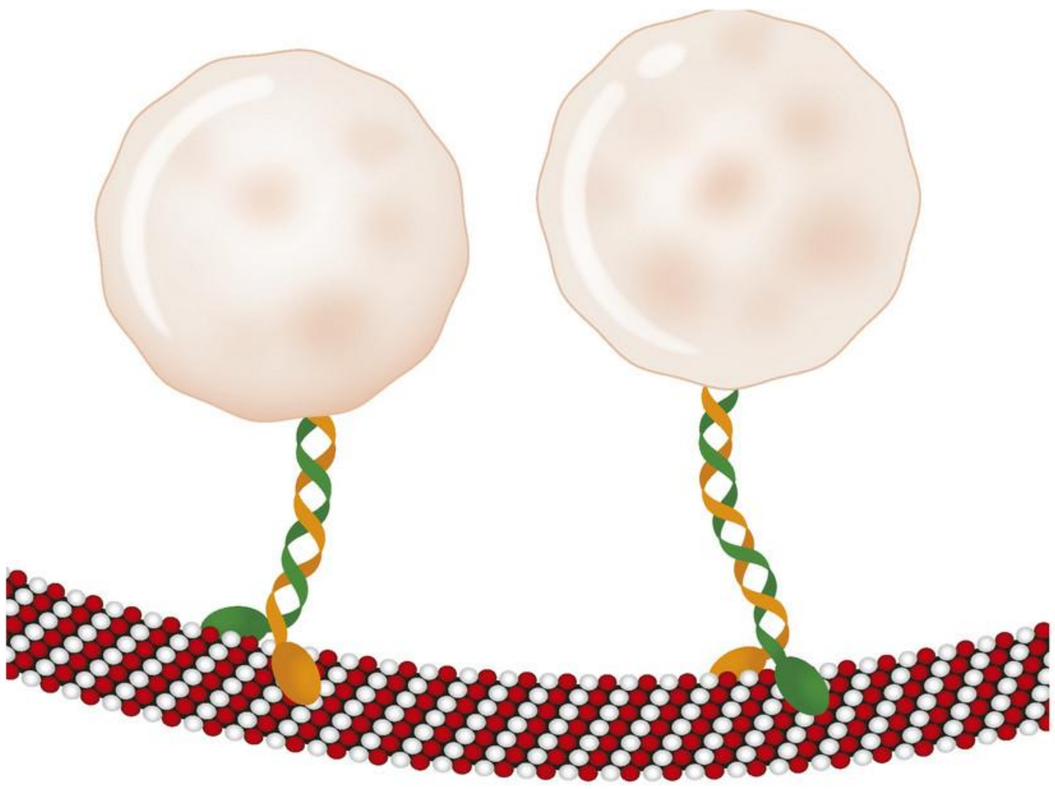
Ciliën (enkelvoud cilium) of trilharen zijn organellen die eiwitvezels bevatten en ook behoren tot het cytoskelet. Ze kunnen signalen uit de omgeving waarnemen en doorgeven aan de cel. Daarnaast hebben ze ook een functie bij de voortbeweging. Zo kunnen pantoffeldiertjes zich met de ciliën op de buitenkant van hun cel snel verplaatsen. Ze kunnen er ook voedseldeeltjes mee naar hun celmond toe bewegen. Sommige eencelligen (bijvoorbeeld oogdiertjes) en voortplantingscellen hebben een **flagel** (zweephaar) waarmee ze zich kunnen voortbewegen (zie afbeelding 36).

Speciale eiwitten, de **motoreiwitten**, gebruiken het cytoskelet als transportsysteem. Motoreiwitten lijken op een lichaam met twee voetjes die om de beurt een stapje zetten. Zo verplaatsen zij zich langs het cytoskelet en transporteren organellen of blaasjes die zijn gevuld met eiwitten, bijvoorbeeld een lysosoom (zie afbeelding 37). Op die manier kunnen bijvoorbeeld zenuwcellen eiwitten over een afstand van wel 1 meter vervoeren (zie afbeelding 38).

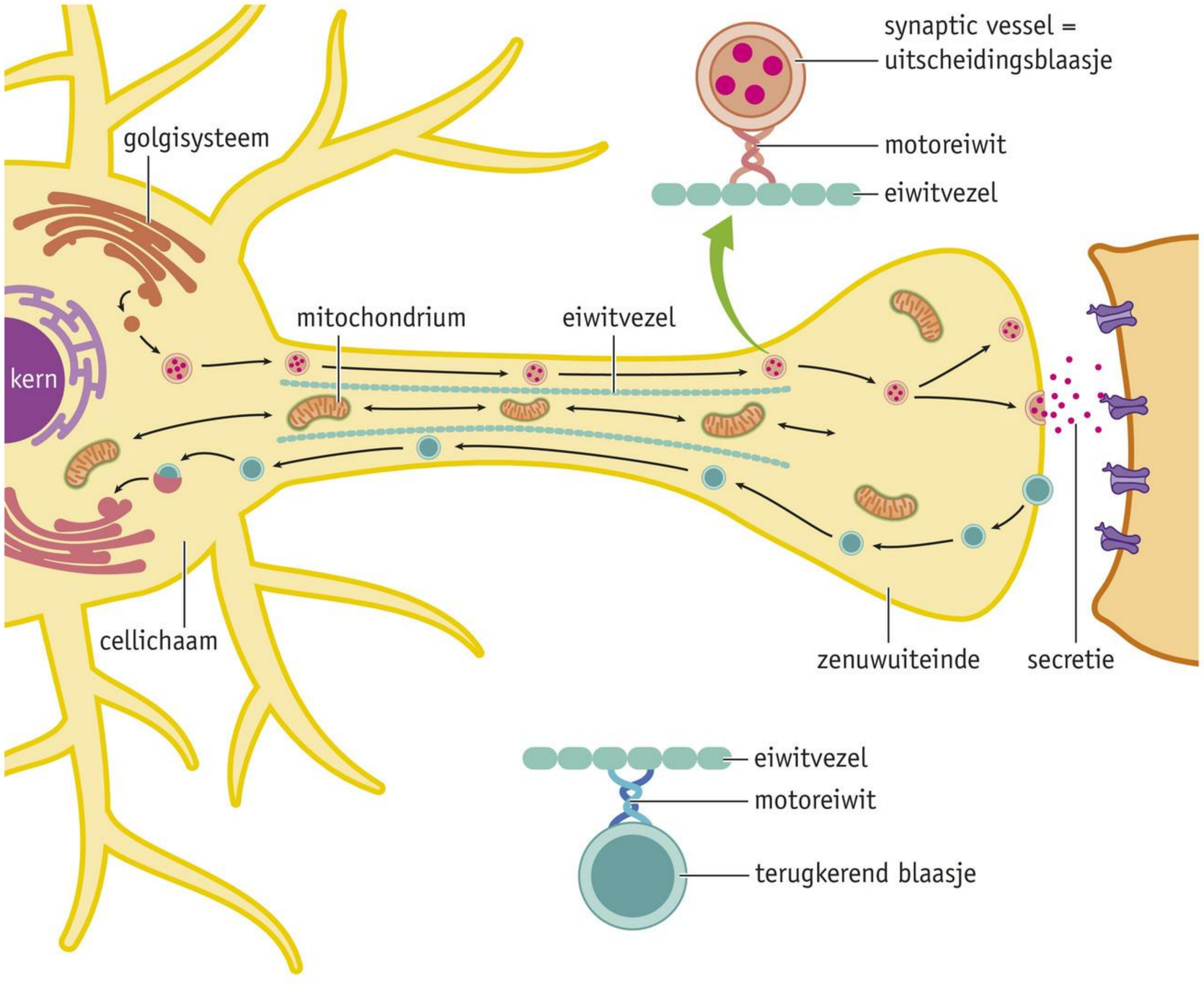
■ **Afb. 36** Pantoffeldiertjes met ciliën en oogdiertjes met een flagel.



■ **Afb. 37** Motoreiwitten transporteren blaasjes in de cel.



■ **Afb. 38** Transport met motoreiwitten door een zenuwceluitloper.



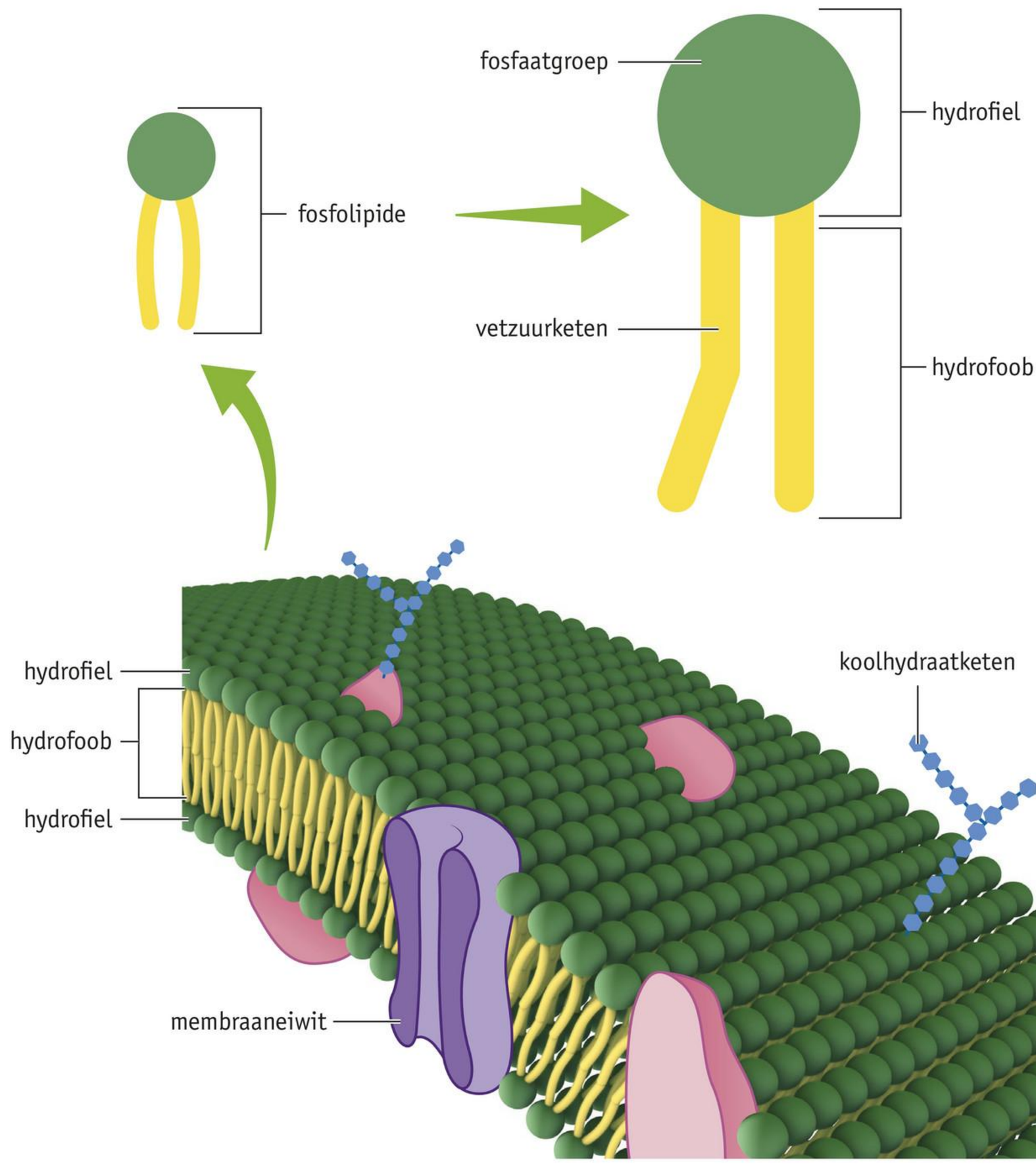
MEMBRANEN

Cellen nemen stoffen uit hun omgeving op en geven stoffen aan hun omgeving af. Deze stoffen passeren hierbij het celmembraan. Stoffen passeren in de cel ook membranen van organellen.

Membranen in de cel bestaan uit een dubbele laag **fosfolipiden** (vetachtige stoffen, *BiNaS* tabel 67G3) met daartussen eiwitmoleculen (zie afbeelding 39). Een fosfolipidemolecuul bestaat aan de ene kant uit een fosfaatgroep die in water oplosbaar is. In water oplosbaar noem je hydrofiel (polair). De andere kant is waterafstotend of hydrofoob (apolair) en bestaat uit twee lange vetzuurstaarten. Apolaire moleculen zijn oplosbaar in vetachtige stoffen. In een membraan trekken de hydrofiele koppen van de fosfolipidemoleculen naar de waterige omgeving toe. De hydrofobe staarten trekken elkaar aan en keren zich juist van water af. Zo ontstaat een dubbele laag van fosfolipiden. De fosfolipiden in het membraan zijn voortdurend in beweging, waardoor een membraan geen vaste of harde wand is, maar een dun vloeibaar vliesje. Membranen kunnen hierdoor allerlei vormen aannemen.

In een celmembraan liggen **membraaneiwitten**. Veel van deze eiwitten spelen een rol bij het transport van stoffen in en uit een cel. Daarnaast zijn er **receptoreiwitten** waaraan koolhydraatketens zitten, net als aan sommige fosfolipiden. Die koolhydraatketens spelen een rol bij de herkenning van de cel door eiwitten in het membraan van andere cellen.

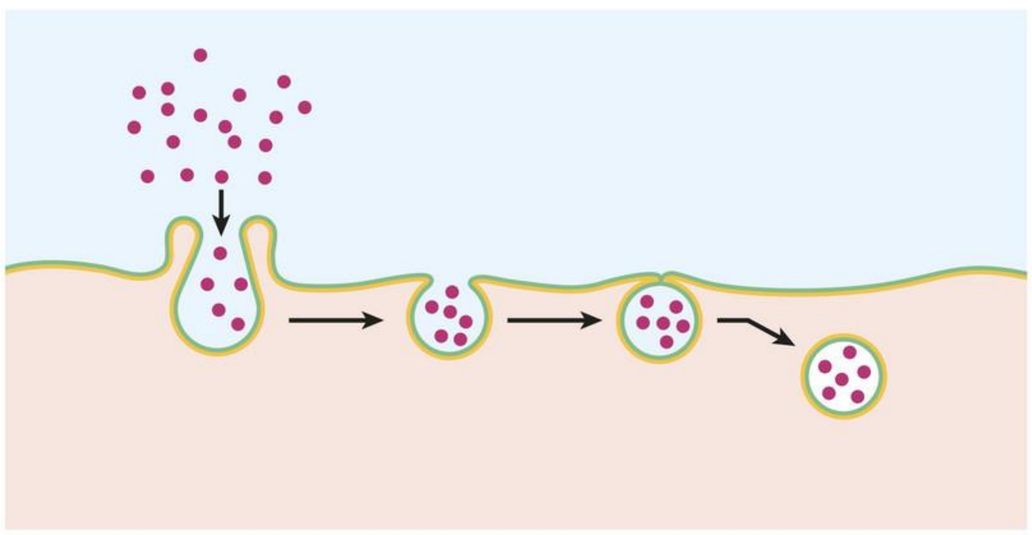
■ **Afb. 39** De bouw van een membraan.



TRANSPORT VIA BLAASJES

Blaasjes die zijn afgesnoerd van het golgisysteem, kunnen versmelten met het celmembraan. Veel cellen kunnen hun membraan ook instulpingen naar binnen toe laten maken en zo stoffen uit de omgeving opnemen. Het afsnoeren van blaasjes door het celmembraan om stoffen in de cel op te nemen, noem je **endocytose** (zie afbeelding 40). Het blaasje dat zich afsnoert van het celmembraan noem je een endosoom. In de cel versmelt het endosoom met een lysosoom, waarna enzymen uit het lysosoom de stoffen in het endosoom afbreken. Via transporteiwitten komen de afbraakproducten in het cytoplasma.

■ **Afb. 40** Endocytose.



Opdrachten KENNIS

63 Bepaalde typen witte bloedcellen nemen bacteriën op en breken ze af. Wanneer een cel kleinere organismen of voedseldeeltjes opneemt, heet dat fagocytose. Het blaasje waarin de bacterie door de cel wordt opgenomen, heet een voedingsvacuole.

a Is fagocytose een vorm van endocytose of exocytose? Leg je antwoord uit.

b Welk organel is betrokken bij de afbraak van de opgenomen bacterie?

64 Leg uit dat spiercellen meer mitochondriën bezitten dan huidcellen.

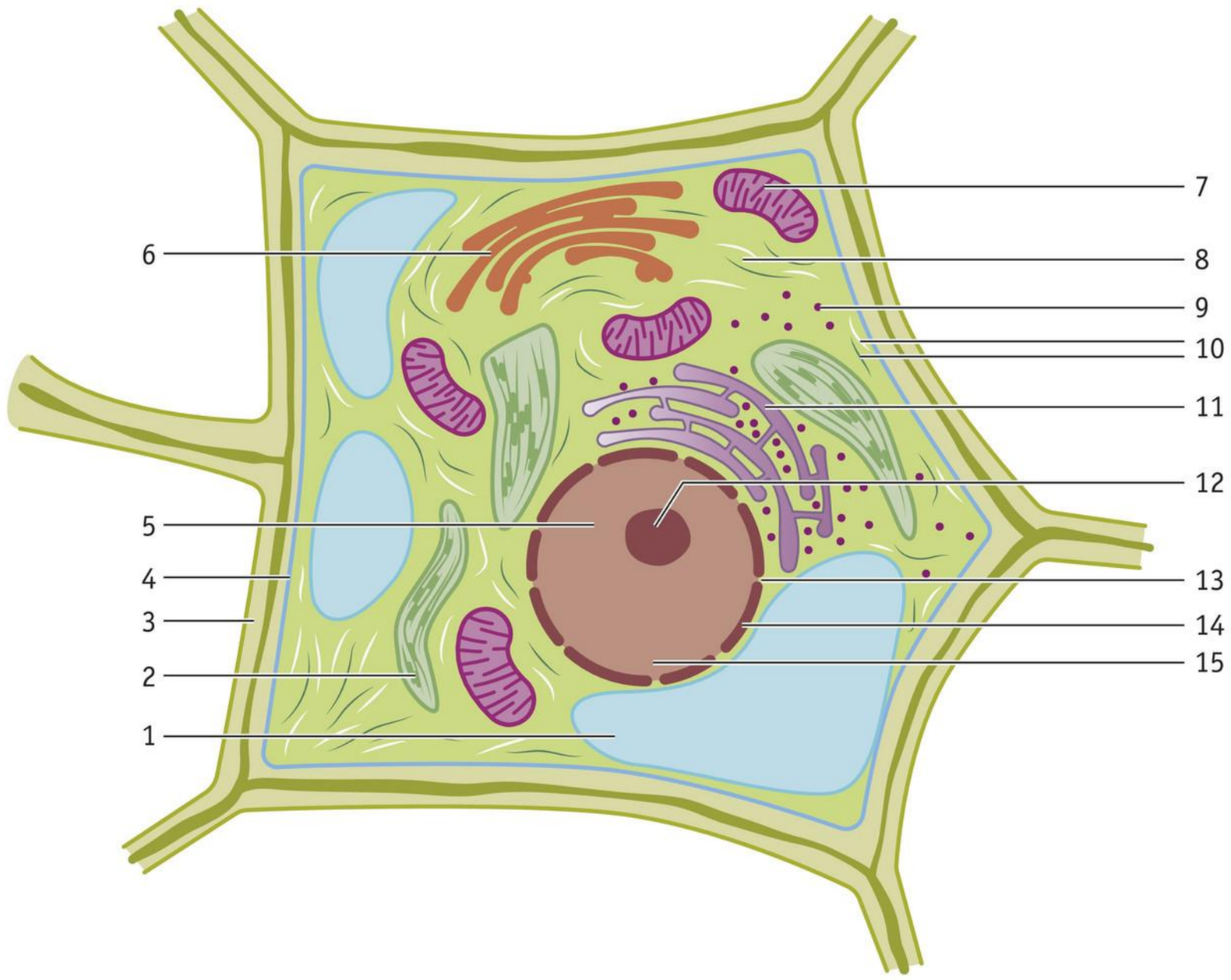
65 Welk eiwit is betrokken bij het transport van chloroplasten in een plantencel?

66 In afbeelding 41 zie je een schematische tekening van een plantaardige cel.

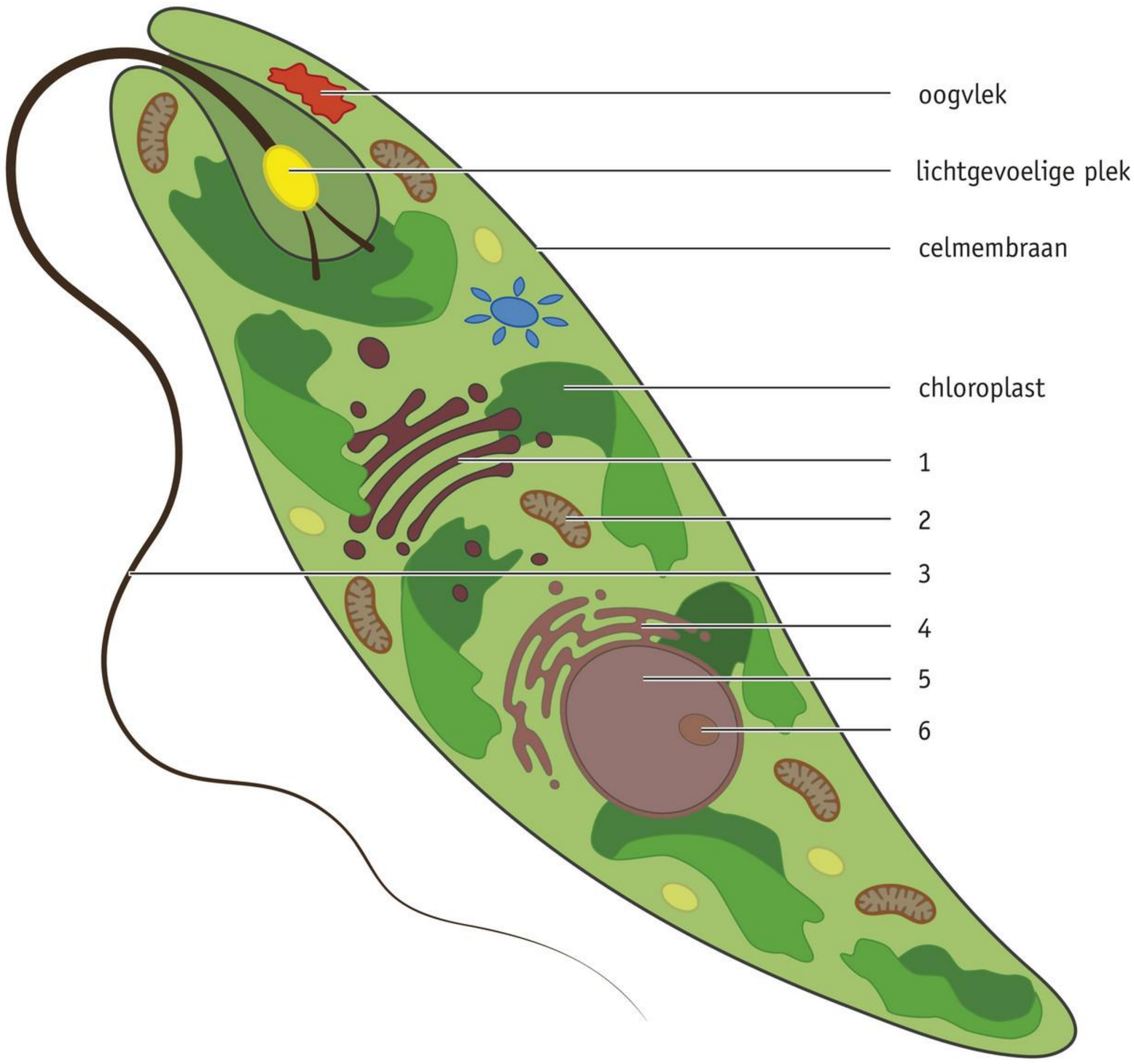
a Geef de namen van de genummerde delen.

b In afbeelding 42 is een oogdiertje afgebeeld.
Benoem de genummerde delen.

■ **Afb 41** Een plantaardige cel.



■ **Afb. 42** Een oogdiertje.



Opdrachten INZICHT

67 Amylase is een enzym dat zetmeel afbreekt. Cellen in de speekselklieren produceren amylase en geven dit enzym via een afvoerbuisje af.
Maken de ribosomen die vrij in het cytoplasma voorkomen amylase, of gebeurt dit door de ribosomen die zijn gebonden aan het endoplasmatisch reticulum? Leg je antwoord uit.

68 Het eencellig oogdiertje van afbeelding 42 heeft zowel kenmerken van dierlijke als van plantaardige cellen.

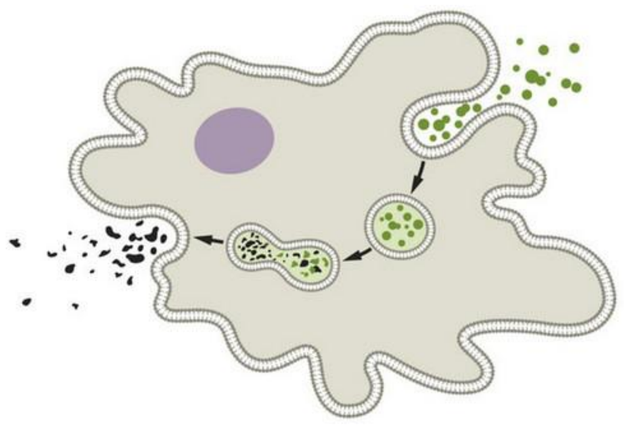
a Geef twee dierlijke kenmerken van het oogdiertje.

b Welk voordeel heeft het oogdiertje, in vergelijking met planten, doordat het licht kan waarnemen en kan bewegen?

69 In welke cellen is het cytoskelet belangrijker voor het handhaven van de vorm: in plantaardige cellen of in dierlijke cellen? Leg je antwoord uit.

70 Eencellige amoeben nemen voedingsstoffen op door endocytose en scheiden afvalstoffen uit (zie afbeelding 43).
Beschrijf wat er in de amoebe met het blaasje en de voedingsstoffen gebeurt.

■ **Afb. 43** Endocytose en exocytose bij een amoebe.



71 Waarom komt endocytose voor bij amoeben, maar niet bij algen?

72 In het menselijk lichaam komen trilharen voor op slijmvliescellen.
Welke functie hebben de trilharen op de slijmvliescellen van de luchtwegen?

73 In lysosomen van een bepaald type witte bloedcel komt het enzym glucocerebrosidase voor. Dit enzym speelt een belangrijke rol bij de afbraak van membraanonderdelen van onder meer rode bloedcellen.
Bij de ziekte van Gaucher worden geen of weinig van deze enzymen gemaakt, waardoor een tussenproduct zich ophoopt in de witte bloedcellen. Het gevolg hiervan is dat de witte bloedcellen opzwellen.

a Leg uit waardoor de witte bloedcellen groter worden.

b Witte bloedcellen zijn onderdeel van het afweersysteem. Ze doden onder andere ziekteverwekkers en ruimen deze op.
Leg uit waardoor patiënten met de ziekte van Gaucher gevoeliger zijn voor infectie.

74 Het MELAS-syndroom is een mitochondriale ziekte, waarbij de mitochondriën niet meer goed functioneren. Dit leidt bij patiënten vaak tot problemen in het functioneren van de hersenen en spieren.
Waardoor functioneren juist deze organen niet goed?

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

Context Beroep

MOTOREIWITTEN ZIJN SOMS DE WEG KWIJT

De Utrechtse hoogleraar celbiologie Casper Hoogenraad (zie afbeelding 44) bestudeert motoreiwitten in levende zenuwcellen. Hij onderzoekt hoe bepaalde ziekten of medicijnen het transport door motoreiwitten beïnvloeden. Samen met andere wetenschappers is hij erin geslaagd op basis van microscoopbeelden een beeld te construeren van voortbewegende motoreiwitten. Dit is een geweldige prestatie, want motoreiwitten zijn minder dan een tienduizendste van een millimeter groot.

Soms zijn moleculen die in het ruw endoplasmatisch reticulum en golgisysteem zijn gemaakt, nodig in de buurt van het celmembraan. Bij de uitlopers van zenuwcellen in het ruggenmerg kan dat wel een afstand van 1 meter zijn (zie afbeelding 38). De cel heeft daarvoor een oplossing: expresbezorging met motoreiwitten over een lange afstand. Motoreiwitten in cellen slepen bouwstoffen in blaasjes over de eiwitvezels van het cytoskelet. Deze motoreiwitten verplaatsen zich daarbij op een manier die nog het meest aan lopen doet denken. De eiwitten hebben namelijk twee voetjes die zich beurtelings aan de vezel binden. Aan deze expressbezorging zijn kosten verbonden in de vorm van ATP. Wanneer de stoffen die zorgen voor impulsoverdracht tussen zenuwcellen niet op tijd op de juiste plek aankomen, hapert de communicatie tussen cellen. Verschillende eiwitten met een regelfunctie blijken motoreiwitten aan of uit te schakelen. Zo bepalen ze waar de lading heengaat en wordt afgeleverd. Problemen bij de werking van motoreiwitten worden in verband gebracht met hersenziekten zoals Alzheimer. Casper Hoogenraad wil effectieve behandelingen vinden voor neurologische aandoeningen door processen die ziekten van het zenuwstelsel veroorzaken te ontrafelen. Zo wil hij voorkomen dat ook mensen met hersenziekten de weg kwijtraken.

■ **Afb. 44** Prof. dr. Casper Hoogenraad.



Opdrachten

75 Geef een voorbeeld van een molecuul dat in blaasjes wordt vervoerd door de motoreiwitten.

76 In afbeelding 38 is een zenuwcel met uitloper te zien waarin transport van motoreiwitten langs eiwitvezels plaatsvindt in de richting van het uiteinde van de uitloper.

a Leg uit wat er misgaat met het transport van stoffen door motoreiwitten in deze zenuwcel als de eiwitten met een regelfunctie niet goed functioneren.

b In afbeelding 38 zie je dat er (lege) blaasjes worden teruggevoerd naar het cellichaam en worden opgenomen door het golgisysteem. Wat is het doel van dit proces?

c In de zenuwuiteinden worden stoffen afgegeven en opgenomen. Waarom bevinden zich in zenuwuiteinden veel mitochondriën?

5 TRANSPORT DOOR MEMBRANEN

LEERDOELEN

1.5.1 Je kunt de concentratie van een oplossing berekenen.

1.5.2 Je kunt uitleggen wat diffusie en osmose is en toelichten welke rol osmose speelt bij de stevigheid van planten.

1.5.3 Je kunt beschrijven hoe transport van stoffen via (cel)membranen plaatsvindt.

- Vaardigheden 1, 2, 3, 4 en 5
- Practicum 4

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	1.5.1	**1.5.2**	**1.5.3**
Begrijpen	77, 78, 79	80, 81, 82, 83, 84	85, 86, 87
Toepassen		89a, 91c, 92	90a, 91a, 93
Analyseren		88, 89b, 91b, 94, 95, 96, 97	90b

Het celmembraan vormt de afscheiding tussen een cel en de omgeving. Het membraan van organellen vormt de scheiding met het grondplasma. Organellen en cellen wisselen stoffen uit met hun omgeving, maar hoe passeren die stoffen de membranen?

STOFFENTRANSPORT IN CELLEN

Voor een goed verloop van processen in en om een cel, is het nodig om stoffen door membranen te transporteren. Alleen apolaire stoffen zoals sommige vetten, zuurstof, stikstof en koolstofdioxide, kunnen de fosfolipidenlaag van membranen ongehinderd passeren. Voor polaire stoffen zoals ionen, eiwitten en water, zijn membranen vrijwel ondoordringbaar.

In membranen zitten speciale eiwitten die ervoor zorgen dat ook andere stoffen de membranen kunnen passeren. Bij het transport van deze stoffen speelt de concentratie van stoffen aan beide zijden van een membraan een belangrijke rol.

CONCENTRATIE

Stoffen in organismen kunnen in water zijn opgelost. Water is een oplosmiddel. Een oplossing bestaat uit een oplosmiddel en een of meer opgeloste stoffen. De concentratie geeft de hoeveelheid opgeloste stof in een bepaalde hoeveelheid oplosmiddel aan. De concentratie van een opgeloste stof kun je aangeven in de eenheden gram per liter oplossing (g/L of $g \cdot L^{-1}$).

Het is ook mogelijk om de concentratie aan te geven in gewichtseenheden, bijvoorbeeld mg opgeloste stof per kg oplossing. In dat geval kun je de concentratie ook als percentage uitdrukken. De concentratie bereken je dan ten opzichte van het totale gewicht van de oplossing, dus niet ten opzichte van de hoeveelheid oplosmiddel.

Een voorbeeld: voor een infuus wordt vaak een fysiologische zoutoplossing gebruikt die in de bloedbaan van een patiënt komt. Dit is een oplossing van 0,9% keukenzout. De concentratie in procenten bereken je door het gewicht van de stof te delen door het totale gewicht van de oplossing. Om het percentage te bepalen, vermenigvuldig je dit getal met 100%. Een fysiologische zoutoplossing kun je dus maken door 9 g keukenzout op te lossen in 991 g water. De totale oplossing weegt dan 1000 g. Dus: 9 g / 1000 g × 100% = 0,9%.

Een erg lage concentratie van een stof kun je uitdrukken in ppm (parts per million). 1 ppm komt overeen met een concentratie van 0,0001%. De concentratie kun je ook aangeven in mol per liter (mol/L of $mol \cdot L^{-1}$). Een mol is de eenheid voor het aantal deeltjes (moleculen, atomen, ionen).

DIFFUSIE

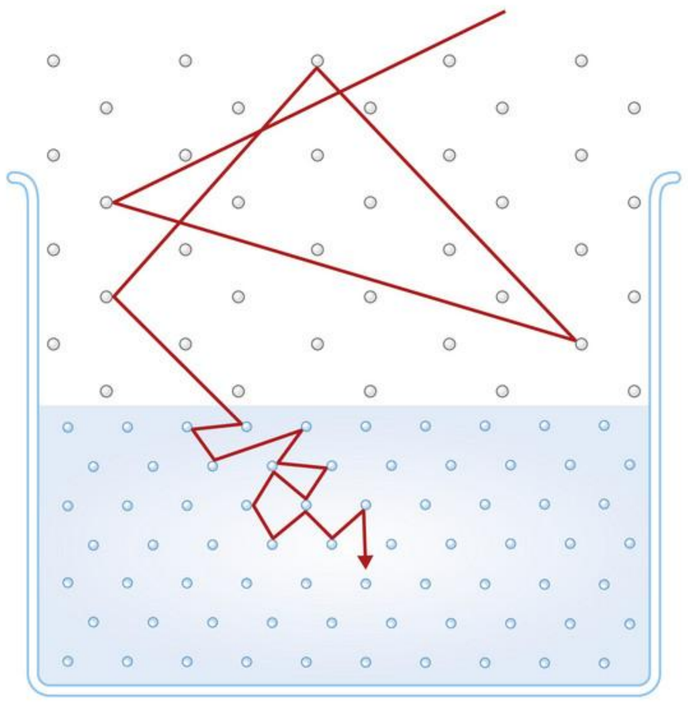
Als je in de hoek van het lokaal een gaskraan even openzet, ruik je een tijdje later overal in de klas gas. De gasmoleculen vermengen zich met de lucht en verspreiden zich over de hele ruimte. Als je in een glas water een geconcentreerde oplossing van een kleurstof druppelt en deze enige tijd laat staan, dan vermengt de kleurstof zich met het water (zie afbeelding 45). Na een tijdje is het hele glas water gekleurd. Dit verschijnsel heet **diffusie**. Diffusie is de verplaatsing van een stof van een plaats met een hoge concentratie naar een plaats met een lage concentratie van die stof. De afgifte van zuurstof door plantaardige cellen en de opname van zuurstof door dierlijke cellen vindt bijvoorbeeld plaats door diffusie.

■ **Afb. 45** Diffusie van een kleurstof in water.



Diffusie vindt plaats in een gasvormig of vloeibaar medium doordat de moleculen van gassen en vloeistoffen bewegen. Het medium kan bijvoorbeeld lucht of water zijn. De bewegingen van de moleculen zijn ongericht. Elk molecuul beweegt in een rechte lijn tot het tegen een ander molecuul botst. Door de botsing verandert de richting van de beweging. Hierdoor bewegen moleculen naar alle kanten door de ruimte die de vloeistof of het gas inneemt (zie afbeelding 46). Door diffusie verdelen moleculen zich gelijkmatig (homogeen) over de beschikbare ruimte. De concentratie is daardoor uiteindelijk overal gelijk. Er is dan een nettoverplaatsing opgetreden van moleculen (van zowel het oplosmiddel als de opgeloste stof) van plaatsen met de hoogste concentratie naar plaatsen met de laagste concentratie. In een ruimte met een gas of oplossing waarbij de concentratie overal gelijk is, bewegen de moleculen nog steeds, maar blijft de concentratie overal gelijk.

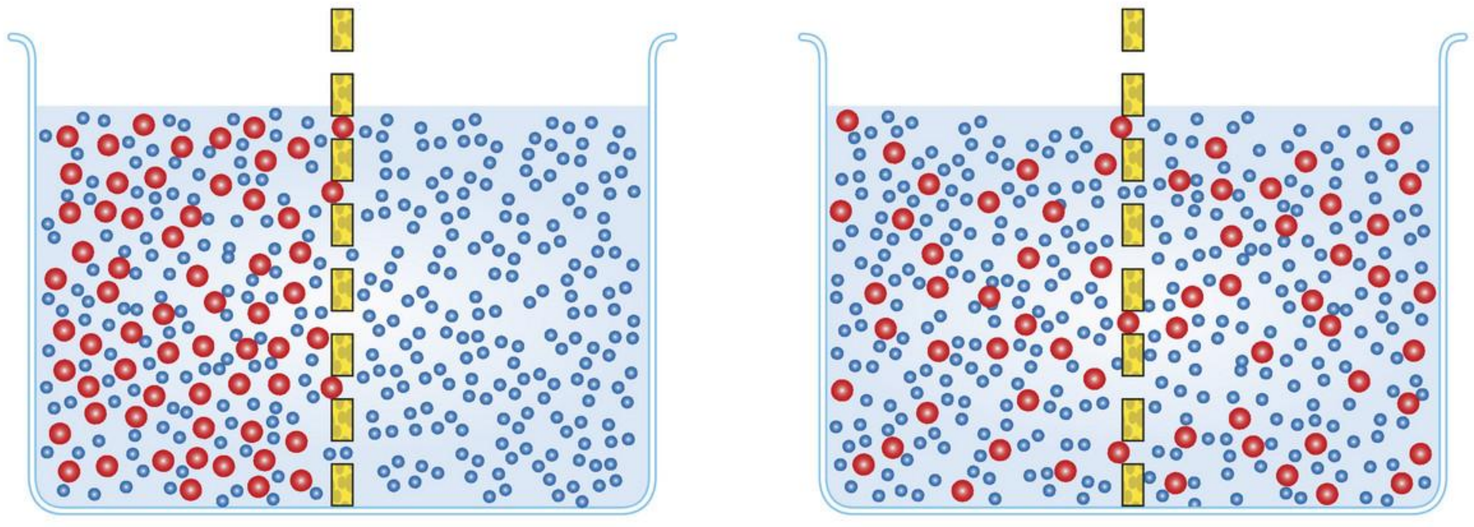
■ **Afb. 46** De afgelegde weg van een gasmolecuul in water en lucht.



OSMOSE

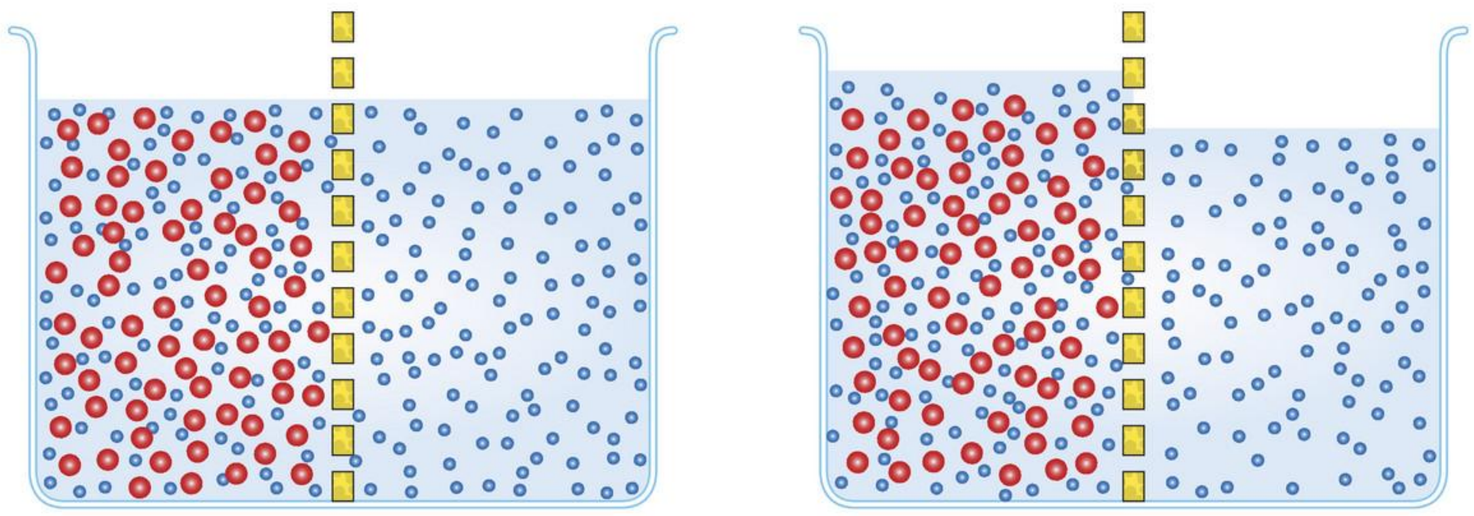
Oplossingen kunnen gescheiden zijn door een membraan met poriën (zie afbeelding 47). Als de moleculen van het oplosmiddel en van de opgeloste stoffen kleiner zijn dan de poriën in het membraan, kunnen ze passeren en kan er diffusie optreden. Zo'n membraan met poriën noem je **permeabel** of doorlatend.

■ **Afb. 47** Diffusie door een permeabel membraan.



Oplossingen kunnen ook zijn gescheiden door een membraan met poriën waar kleine moleculen wel doorheen kunnen, maar grote moleculen niet. Zo'n membraan noem je **semipermeabel** of **selectief permeabel**. In afbeelding 48 bevindt zich links van het membraan een oplossing en rechts alleen water. Het membraan is semipermeabel: de kleine watermoleculen kunnen er wel doorheen, maar de grotere moleculen van de opgeloste stof niet. Watermoleculen gaan door diffusie van de plaats met de hoogste concentratie watermoleculen (het water rechts) naar de plaats met de laagste concentratie watermoleculen (de oplossing links). Het vloeistofniveau van de oplossing links stijgt hierdoor en de concentratie van de opgeloste stoffen in deze oplossing neemt af. Het waterniveau rechts daalt. Dit proces van diffusie van water door een semipermeabel membraan heet **osmose**.

■ **Afb. 48** Diffusie door een semipermeabel membraan (osmose).



OSMOTISCHE WAARDE EN OSMOTISCHE DRUK

Door de concentratie aan opgeloste stoffen heeft een oplossing een bepaalde **osmotische waarde**. De osmotische waarde wordt bepaald door het aantal opgeloste deeltjes per volume-eenheid. Hoe meer deeltjes zich in een oplossing bevinden, des te hoger is de osmotische waarde. Het maakt hierbij niet uit welke stof is opgelost, alleen het totale aantal opgeloste deeltjes per volume-eenheid telt. Sommige stoffen vallen in water uiteen in ionen. Bijvoorbeeld keukenzout (natriumchloride, NaCl) valt in water uiteen in natriumionen (Na^+) en chloride-ionen (Cl^-). Als je glucose oplost, valt deze stof niet uit elkaar. Wanneer je keukenzout aan water toevoegt, stijgt de osmotische waarde daardoor sneller.

Wanneer twee oplossingen met een verschillende osmotische waarde zijn gescheiden door een semipermeabel membraan, gaat er water van de oplossing met de laagste osmotische waarde naar de oplossing met de hoogste osmotische waarde. De oplossing met de laagste osmotische waarde oefent een druk uit op de andere oplossing. Die druk noem je **osmotische druk**. De grootte van de osmotische druk wordt bepaald door het verschil in de concentratie van opgeloste deeltjes tussen de beide oplossingen. Hoe groter dit verschil, hoe groter de osmotische druk.

Door osmose kunnen oplossingen van verschillende concentraties aan beide zijden van een semipermeabel membraan een gelijke concentratie krijgen. Maar in de bak van afbeelding 48 neemt de oplossing in het linkerdeel steeds meer toe en wordt dus zwaarder. Dan veroorzaakt de zwaartekracht een tegenwerkende kracht, waardoor het waterniveau in het linkerdeel niet blijft stijgen. De concentraties aan beide zijden van het semipermeabele membraan worden dan niet gelijk.

Opdrachten KENNIS

77 Bereken hoeveel gram keukenzout je moet oplossen om een kg fysiologische zoutoplossing te maken.

78 Rosalie lost 6 g keukenzout en 4 g suiker op in 40 g water.
Hoe groot is de zoutconcentratie die ze krijgt en hoe groot de suikerconcentratie?

79 De CO_2-concentratie in de buitenlucht is ongeveer 0,04%. In een klaslokaal kan die concentratie aan het einde van een les gemakkelijk zijn verdubbeld.
Bereken de CO_2-concentratie in een klaslokaal aan het einde van een les en geef deze weer in ppm.

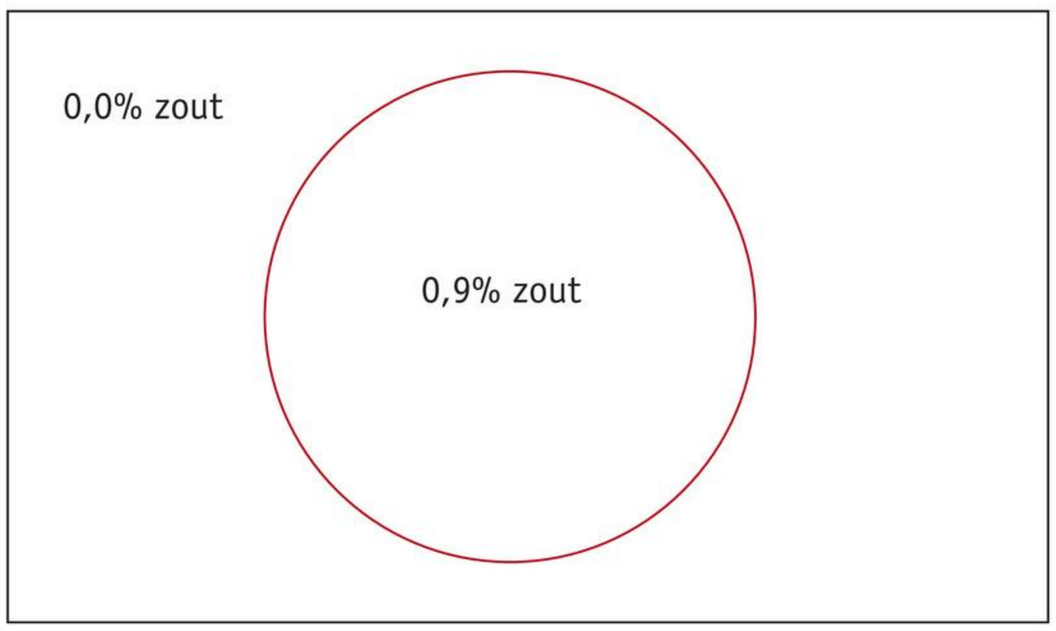
80 In welk medium zal een opgeloste stof zich sneller verplaatsen door diffusie, in een gas of in een vloeistof? Leg je antwoord uit.

81 Sem heeft net gym gehad en spuit aan het begin van de volgende les nog even wat deo onder zijn oksels. Na tien minuten is de deo overal in het lokaal te ruiken. Het is een ruim lokaal met weinig ventilatie.
Leg uit waarom je na tien minuten de deo overal in het lokaal kunt ruiken.

82 Een rode bloedcel bevat ongeveer 0,9% zout. Deze wordt in gedestilleerd water gelegd (zie afbeelding 49).
Neem de tekening over in je schrift en noteer de concentratie van zout in de rode bloedcel en in gedestilleerd water.

a Noteer de concentratie water in zowel de rode bloedcel als in gedestilleerd water.
b Waar bevindt zich de hoogste concentratie water?
c Waar is de osmotische waarde het hoogst? Leg je antwoord uit.
d Vindt er diffusie van water plaats? Zo ja, in welke richting? Leg je antwoord uit.
e Verplaatsen watermoleculen zich in de richting van de hoogste osmotische waarde of in de richting van de laagste osmotische waarde?
f Vindt er diffusie plaats van natrium- en chloorionen? Zo ja, in welke richting? Leg je antwoord uit.

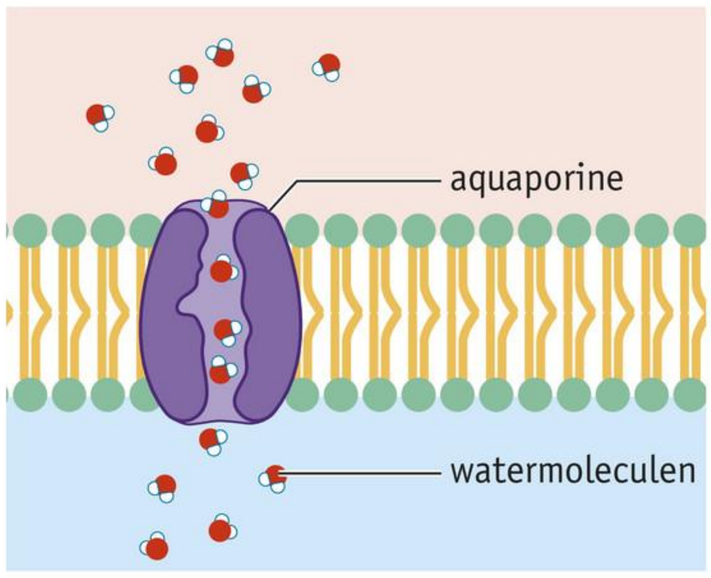
■ **Afb. 49** Een rode bloedcel in gedestilleerd water.



MEMBRANEN ZIJN SEMIPERMEABEL

Celmembranen en membranen van organellen zijn semipermeabel. Deze membranen scheiden oplossingen met een verschillende concentratie. Diffusie en osmose spelen daardoor een belangrijke rol bij het transport van stoffen in cellen van organismen. Via diffusie kunnen zuurstof en koolstofdioxide membranen ongehinderd passeren en de cel in of uit worden getransporteerd. Watermoleculen kunnen de fosfolipidenlaag van celmembranen wel passeren, maar heel traag. Sommige celmembranen bevatten speciale eiwitten, aquaporines (*aqua* = water, *porine* = porie) voor een snel transport van watermoleculen (zie afbeelding 50). Hierdoor zijn deze membranen semipermeabel. Hoe hoger de dichtheid van aquaporines in een celmembraan, hoe groter de doorlaatbaarheid voor water is. De celmembranen van niercellen hebben bijvoorbeeld een hoge dichtheid van aquaporines.

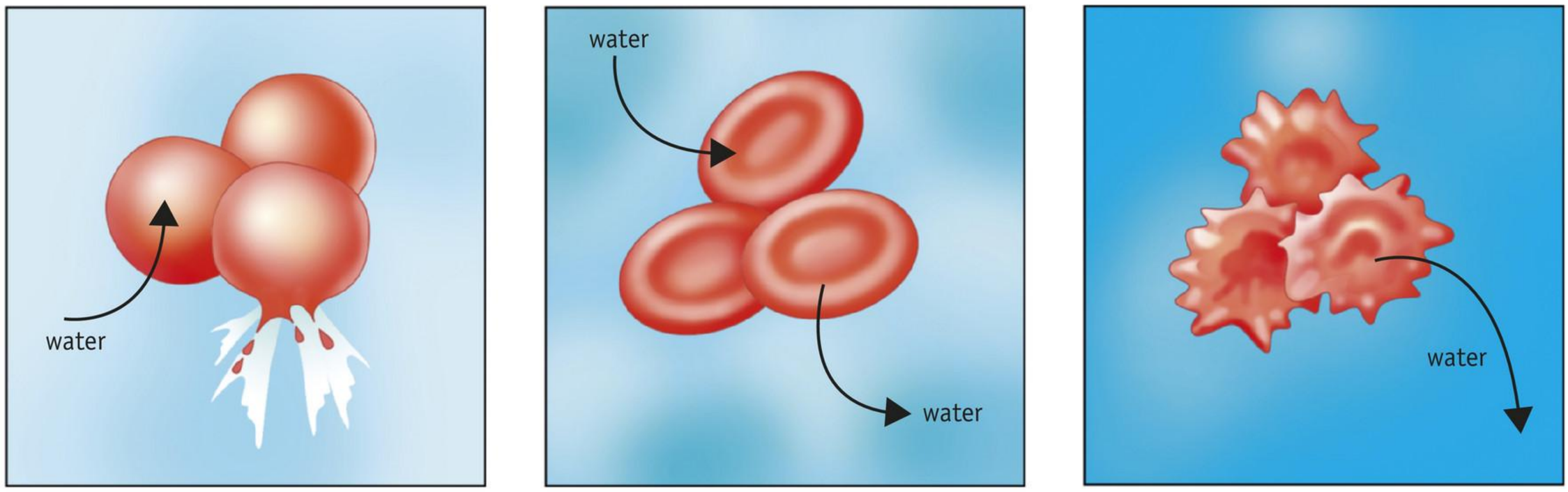
■ **Afb. 50** Aquaporine.



OSMOSE BIJ DIERLIJKE CELLEN

Dierlijke en plantaardige cellen reageren op veranderingen van de osmotische waarde van het vocht in hun directe omgeving. Wanneer je een dierlijke cel, bijvoorbeeld een rode bloedcel, in een oplossing legt waarvan de osmotische waarde gelijk is (**isotoon**) aan de osmotische waarde van het grondplasma in de rode bloedcel, dan blijft het volume van de cel gelijk. Er gaan evenveel watermoleculen door het celmembraan de cel in als de cel uit (zie afbeelding 51.2). Leg je een rode bloedcel in een oplossing waarvan de osmotische waarde lager is (**hypotoon**) dan die van het grondplasma in de rode bloedcel, dan zal water door osmose de cel in gaan. Het volume van de rode bloedcel neemt daardoor toe. Uiteindelijk kan het celmembraan barsten (zie afbeelding 51.1). In een oplossing waarvan de osmotische waarde hoger is (**hypertoon**) dan die van het grondplasma in de rode bloedcel, gaat water de cel uit, waardoor het volume van de cel afneemt en de cel krimpt. De cel kan sterven door het waterverlies (zie afbeelding 51.3).

■ **Afb. 51** Effecten van verschillende osmotische waarden in de omgeving op dierlijke cellen.



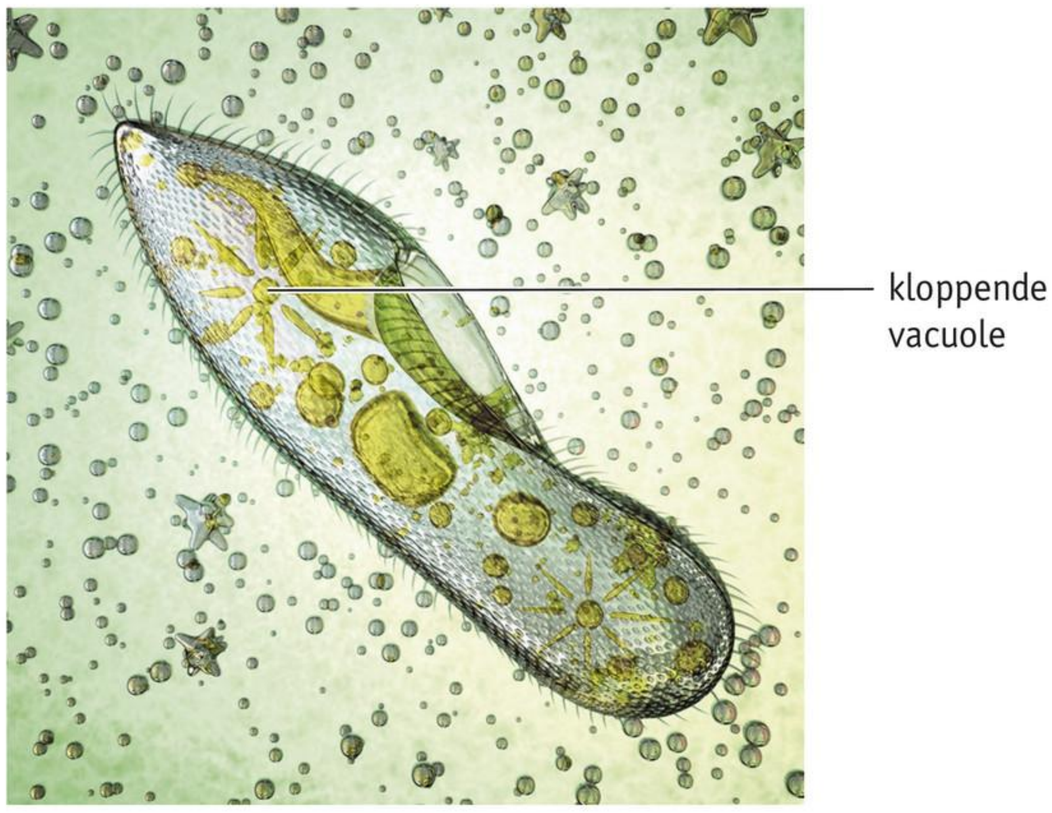
1 De omgeving heeft een lagere osmotische waarde (hypotoon).

2 De osmotische waarden zijn gelijk (isotoon).

3 De omgeving heeft een hogere osmotische waarde (hypertoon).

Doordat celmembranen semipermeabel zijn, hebben dieren die leven in een hypertoon of hypotoon milieu, aanpassingen om het verlies van water of het teveel aan opname van water te reguleren. Bij een eencellig zoetwaterorganisme, zoals het pantoffeldiertje, heeft het grondplasma een hogere osmotische waarde dan het slootwater waarin het leeft. Hierdoor neemt het pantoffeldiertje door osmose voortdurend water op. Dit water wordt verzameld in een vacuole die zich regelmatig samentrekt: de kloppende vacuole (zie afbeelding 52). De vacuole perst het teveel aan water door een porie naar buiten.

■ **Afb. 52** Pantoffeldiertje met kloppende vacuolen.

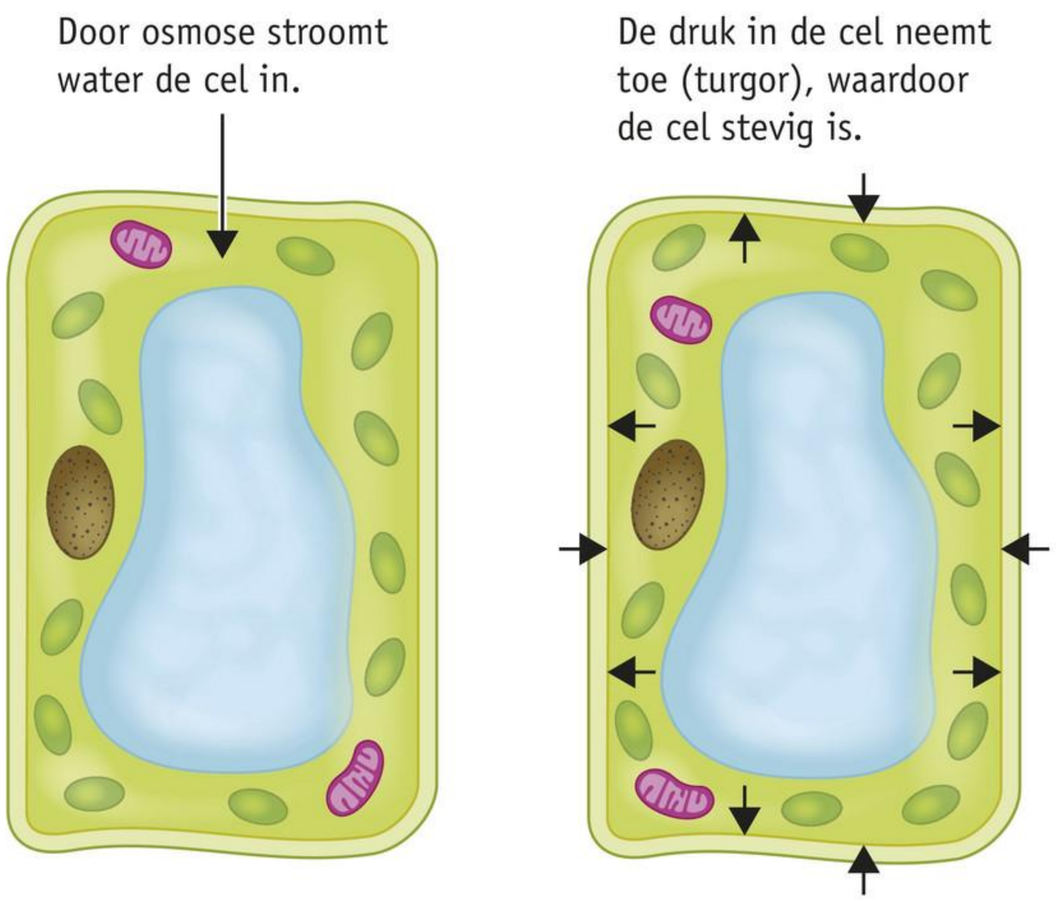


STEVIGHEID DOOR OSMOSE

Celwanden van planten zijn volledig permeabel voor water en opgeloste stoffen. Plantaardige cellen nemen via de celwand water op of geven het aan de celwand af. Als de osmotische waarde in de celwand lager is dan die van het grondplasma, stroomt water via aquaporines de plantencel binnen, waardoor deze opzwelt. Vanwege de stevige celwand om de plantaardige cellen barsten zij niet zoals dierlijke cellen. Wel neemt de druk van het grondplasma op de celwand toe. Deze druk heet **turgor** en zorgt ervoor dat plantaardige cellen stevig zijn (zie afbeelding 53, 54.1 en 55.1). Je kunt dit vergelijken met een fietsband die je oppompt. De druk in de binnenband neemt toe, maar door de stevige buitenband kan de binnenband op een bepaald moment niet verder uitzetten. De band is dan hard.

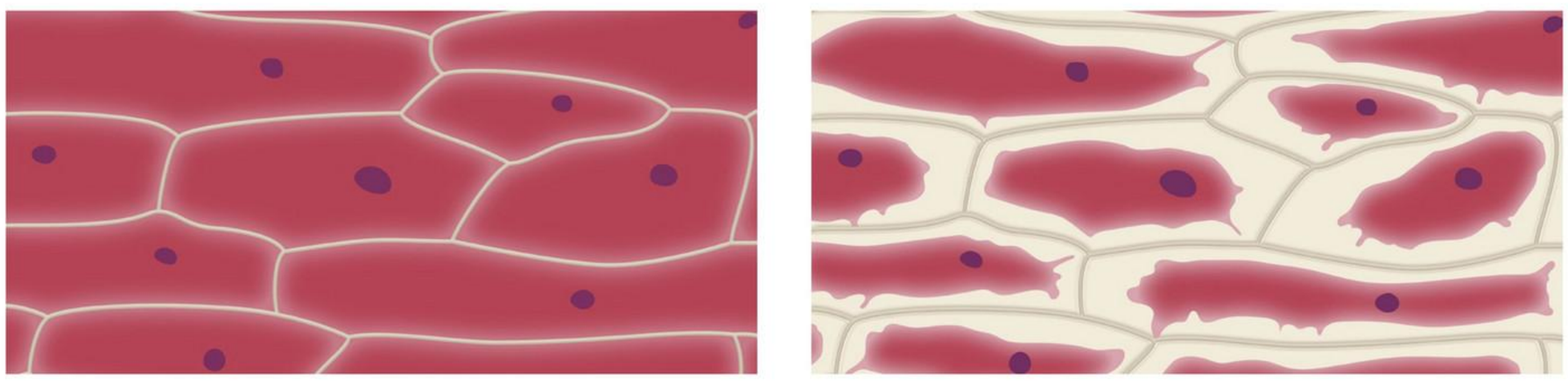
Onder normale omstandigheden hebben plantaardige cellen een omgeving met voldoende water. Dan hebben plantaardige cellen turgor. Door turgor zijn de weefsels van planten stevig.

■ **Afb. 53** Osmotische druk veroorzaakt turgor bij plantaardige cel.



Als door verdamping de osmotische waarde van het vocht in de celwanden stijgt, gaat water door osmose de cel uit. De turgor daalt, waardoor de omvang van de celwand afneemt. Op het moment dat de osmotische waarde binnen en buiten de cel gelijk is, verdwijnt de turgor (grensplasmolyse), en verliezen de cellen hun stevigheid (zie afbeelding 55.2: isotoon). Als de osmotische waarde van het vocht in de celwanden door verdamping verder toeneemt, gaat nog meer water de cel uit. Het celmembraan laat dan los van de celwand. Dit verschijnsel heet **plasmolyse** (zie afbeelding 54.2 en 55.3). De interactie met andere cellen neemt hierdoor af en uiteindelijk gaat de cel dood. Hierbij verdwijnt het bladgroen en krijgt het afgestorven weefsel een bruine kleur.

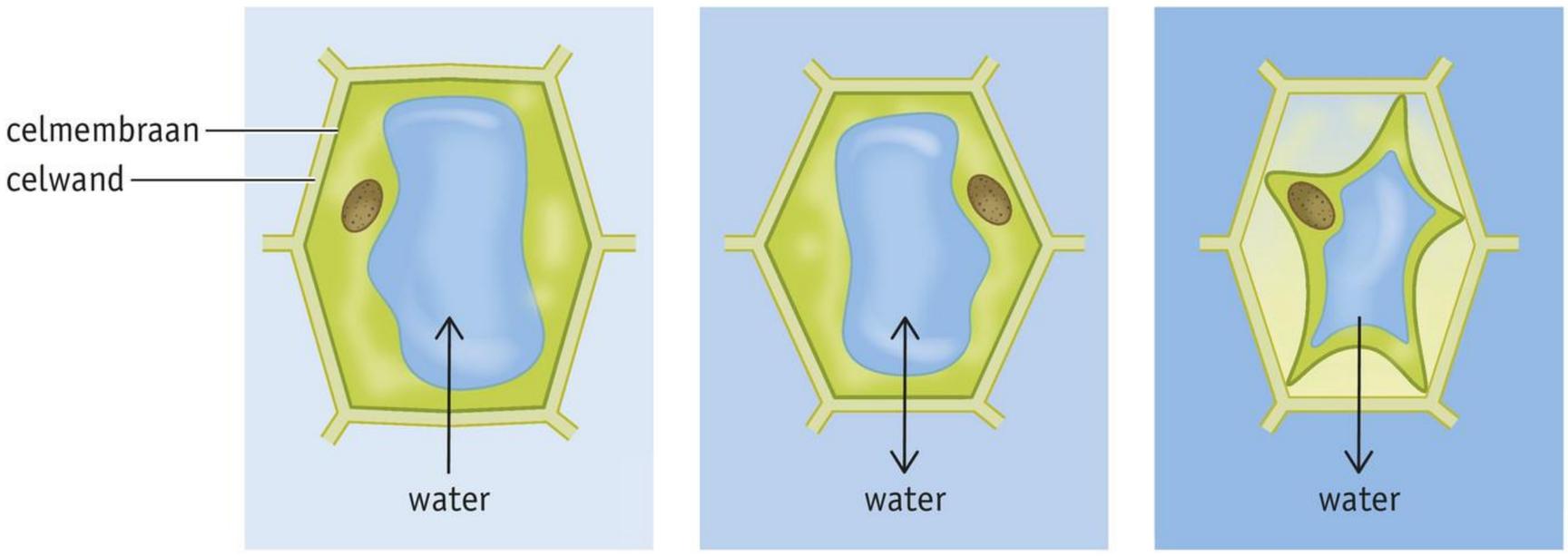
■ **Afb. 54** Plasmolyse in cellen van een rode uit.



1 plantencellen met turgor

2 plantencellen in plasmolyse

■ **Afb. 55** Effecten van toenemende osmotische waarde in de omgeving van een plantaardige cel.



1 De omgeving is hypotoon. Water wil de cel in. De cel heeft turgor.

2 De omgeving is net isotoon geworden. De cel verloor water. Er is geen osmotische druk en geen turgor.

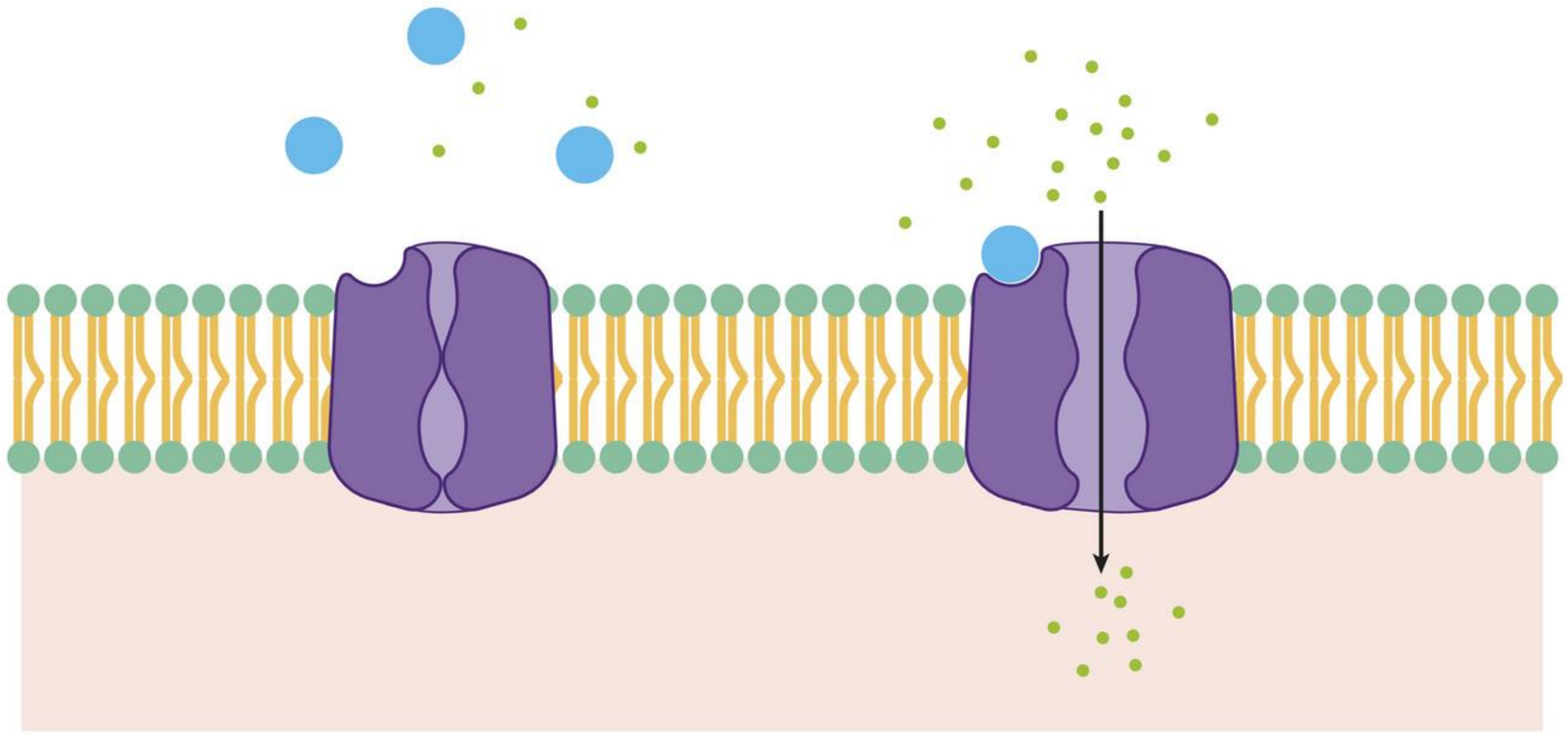
3 De omgeving was hypertoon. Water is de cel uit, De cel is in plasmolyse.

PASSIEF TRANSPORT

Een cel kan op een aantal manieren stoffen door het membraan transporteren. Stoffen kunnen verplaatsen van een hoge naar een lage concentratie van die stof. Het transport vindt dan plaats met het concentratieverval mee. Voor deze vorm van transport is geen energie nodig. Dit noem je daarom **passief transport**. Diffusie en osmose zijn voorbeelden van passief transport.

Het transport van stoffen via de fosfolipiden in een membraan gaat altijd van een hoge naar een lage concentratie. Dat geldt ook voor het transport via transportkanaaltjes zoals aquaporines. Transportkanaaltjes zijn membraaneiwitten met een transportfunctie. Voor het **ionentransport** van bijvoorbeeld Na^+, K^+ en Ca^+, bestaan ionkanaaltjes. Een cel kan de opname van een stof reguleren door een ionkanaaltje te sluiten of juist te openen. Dat kan bijvoorbeeld doordat een bepaalde stof aan het kanaaltje bindt. Hierdoor verandert de vorm van het kanaaltje en wordt het ionkanaal ondoorlaatbaar of juist doorlaatbaar voor een bepaalde soort moleculen (zie afbeelding 56).

■ **Afb. 56** Een cel kan de doorlaatbaarheid van een transportkanaaltje regelen.



1 kanaaltje gesloten

2 kanaaltje geopend

TRANSPORTEIWITTEN: PASSIEF EN ACTIEF TRANSPORT

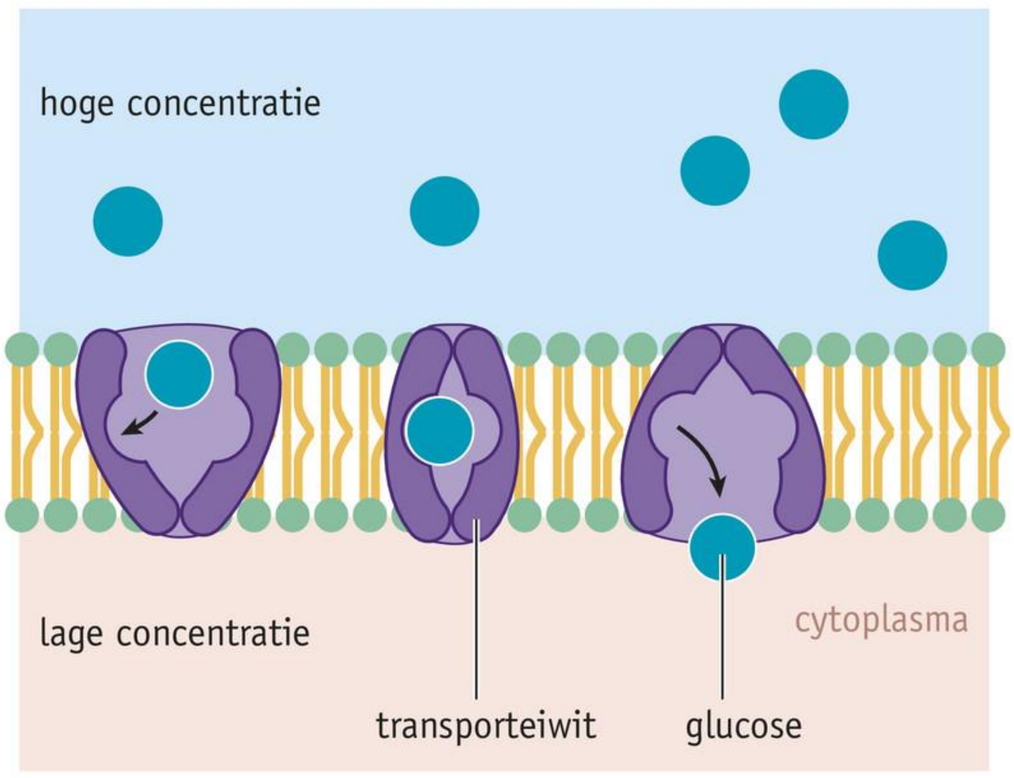
In het celmembraan komen ook andere **transporteiwitten** voor. Zij hebben geen kanaaltje, maar binden specifieke moleculen en transporteren ze van buiten naar binnen of omgekeerd. Bepaalde transporteiwitten maken het transport van grote moleculen zoals glucose mogelijk. Wanneer een glucosemolecuul bindt aan het transporteiwit, verandert de vorm van het eiwit. Hierdoor kan het molecuul het membraan passeren (zie afbeelding 57). Dit transport is een vorm van passief transport.

Transporteiwitten kunnen maar één soort molecuul transporteren en zijn dus specifiek voor een bepaalde stof.

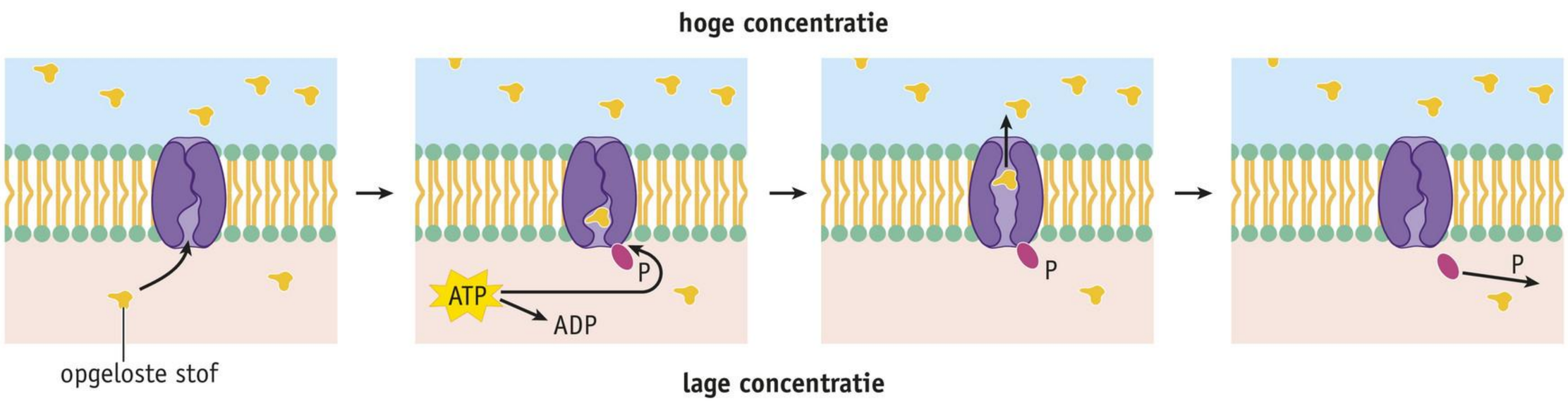
Voor veel stoffen is de snelheid van de diffusie afhankelijk van de dichtheid van transporteiwitten in het celmembraan. Die dichtheid kan voor een stof per celtype verschillend zijn. Hoe hoger de dichtheid, hoe sneller de diffusie van een stof kan verlopen.

Transporteiwitten kunnen stoffen ook transporteren tegen het concentratieverval in. Stoffen gaan dan via het membraan van een lage naar een hoge concentratie. Voor deze vorm van transport is energie nodig. Dit heet **actief transport**. ATP-moleculen (zie afbeelding 58) leveren meestal de energie.

■ **Afb. 57** De werking van een transporteiwit.



■ **Afb. 58** Actief transport.



1 De opgeloste stof bindt met het transporteiwit.

2 ATP wordt omgezet in ADP en P, de vrijgekomen fosfaatgroep bindt met het transporteiwit.

3 Het eiwit verandert van vorm, de opgeloste stof verlaat aan de andere kant van het membraan het transporteiwit.

4 De fosfaatgroep laat los van het transporteiwit.

Opdrachten KENNIS

83 Kan er in een dierlijke cel turgor voorkomen? Leg je antwoord uit.

84 Een plantaardige cel wordt van een fysiologische zoutoplossing overgebracht in een 2% zoutoplossing.

a Verandert de concentratie zout in de celwand?

b Verandert de hoeveelheid zout in de cel? Leg je antwoord uit.

c Leg uit wat er gebeurt met de osmotische waarde van het grondplasma in de cel.

d Leg uit hoe de turgor in de cel verandert.

85 Bij de verbranding van glucose in de mitochondriën ontstaat koolstofdioxide dat via de celmembranen wordt afgegeven aan de omgeving.

a Welk proces zorgt voor de afgifte van koolstofdioxide via de celmembranen?

b Leg uit waarom dit transport geen energie kost.

86 Cellen in de dunne darm nemen glucose op. In de dunne darm is de concentratie glucose in de voedselbrij hoger dan in de dunne darmcel.
Is hier sprake van actief of van passief transport? Leg je antwoord uit.

87 In de tabel staan verschillende manieren van transport in cellen. Vul de tabel in. Kies uit: *ja* – *nee*.

Manier	Is er energie nodig?	Is het specifiek voor een bepaalde stof?	Kan de opname van stoffen worden gereguleerd?
Diffusie door de fosfolipiden van het celmembraan			
Osmose			
Passief transport via een transporteiwit			*ja en nee*
Actief transport via een transporteiwit			

Opdrachten INZICHT

88 Mensen met taaislijmziekte (cystische fibrose) produceren taaier en dikker slijm dan normaal. Onder andere in de luchtwegen nestelen ziekteverwekkers zich gemakkelijker in dit dikke slijm. Patiënten met taaislijmziekte hebben daardoor continu ontstekingen in de longen.
Taaislijmziekte wordt veroorzaakt doordat ionkanaaltjes in de membranen van slijmproducerende cellen niet goed functioneren. Negatief geladen chloride-ionen blijven daardoor achter in de cel. Om het elektrisch evenwicht in de cel te herstellen, neemt de cel extra positief geladen natrium-ionen op.
Leg uit dat de verhoogde concentratie van natrium- en chloride-ionen in de slijm producerende cellen leidt tot taaier, ingedikt slijm.

89 Steeds meer landbouwgrond bevat een verhoogde concentratie zouten. De oorzaak hiervan is dat bemesting en irrigatiewater kleine hoeveelheden zouten bevatten die na verdamping in de bodem achterblijven.

a Leg uit dat een verhoogde zoutconcentratie in de bodem bij planten kan zorgen voor een watertekort.

b Bij het besproeien van planten komt irrigatiewater ook op bladeren terecht. Bladeren kunnen hiervan schade ondervinden.
Treedt er in bladcellen die schade ondervinden door sproeiwater turgor of plasmolyse op? Leg je antwoord uit.

90 Tijdens het sporten verbruiken spieren veel glucose en zuurstof.

a Hoe worden zuurstof en glucose in de spiercellen opgenomen?

b Na het sporten neemt Pieter vaak een suikerrijk drankje om te herstellen.
Kost de opname van glucose door de spiercellen energie? Leg je antwoord uit.

91 Bij vissen die in zee leven is de zoutconcentratie van het lichaamsvocht lager dan de zoutconcentratie van het omringende zeewater. Zeevissen beschermen zich tegen uitdroging door water te drinken en het teveel aan zout via de kieuwen uit te scheiden. De huid van vissen is doorlaatbaar voor water.

a Verlaat het zout de kieuwen via het celmembraan of via transporteiwitten?

b Een zeevis die in zoetwater komt, blijft maar drinken.
Is dit de enige manier waarop water de vis binnenkomt? Leg je antwoord uit.

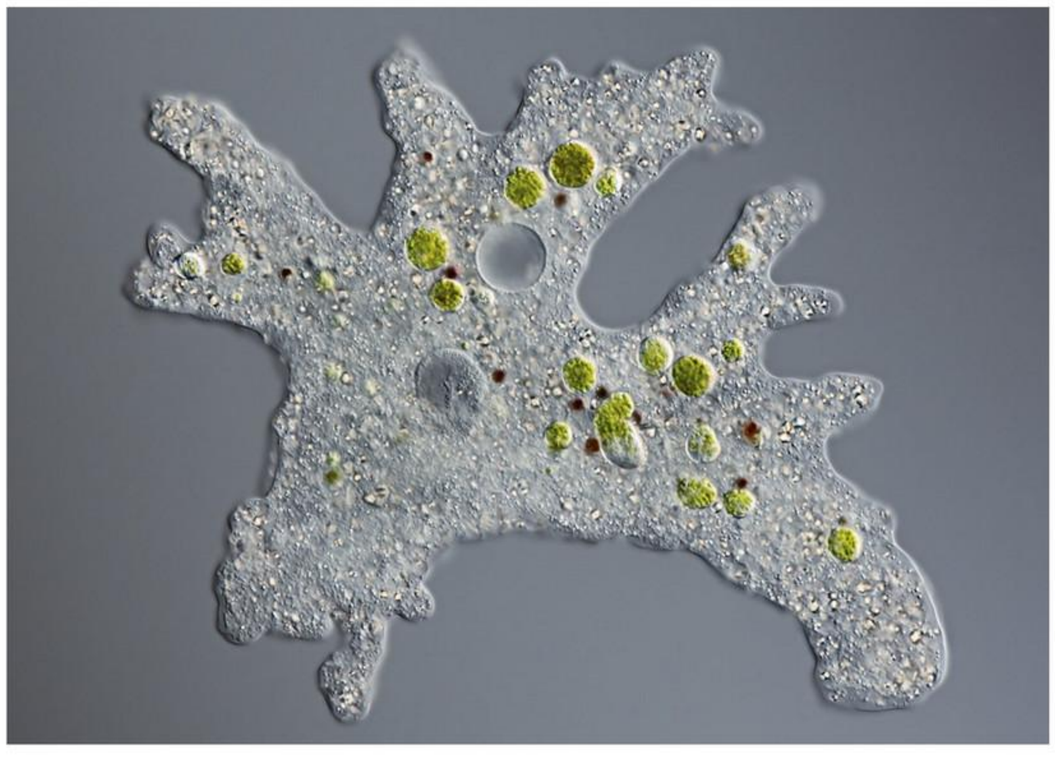
c Visseneieren zijn omgeven door een semipermeabel vlies.
Leg uit wat er gebeurt met de eitjes van zoetwatervissen als ze in zoutwater worden gelegd.

92 Diffusie

Naar: Biologie Olympiade Junior 2009, vraag 23b.

Een amoebe is een eencellig zoetwaterorganisme (zie afbeelding 59).
Wat gebeurt er met de waterconcentratie, de concentratie opgeloste stoffen en de cel als een amoebe in zeewater wordt gelegd?

■ **Afb. 59** Een amoebe.



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

Context Leefwereld

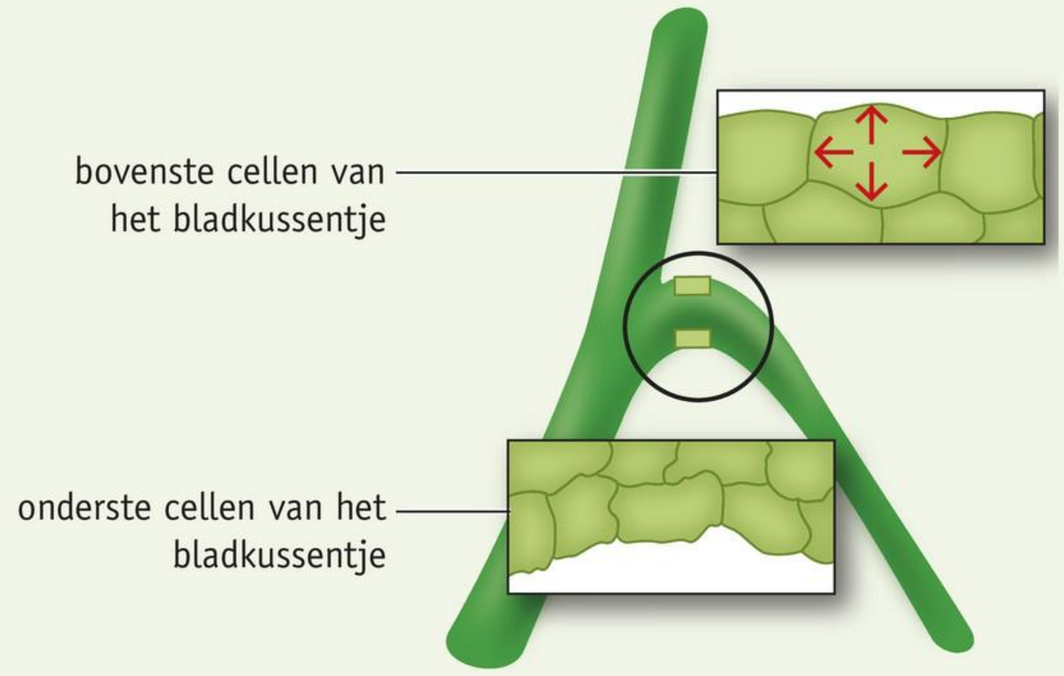
GEVOELIGE AANWINST VOOR JE URBAN JUNGLE

Wanneer je kruidje-roer-me-niet (*Mimosa pudica*) aanraakt, vouwen de bladeren zich snel dicht (zie afbeelding 60). Een bijzondere reactie van dit gevoelige plantje. In de natuur beschermt deze reactie de plant tegen vraat. Blaadjes van deze plant zitten met een verdikking, het bladkussentje, onder aan de bladsteel vast aan de stengel (zie afbeelding 61). Dit bladkussentje bevat cellen aan de boven- en onderkant die beweging van het blad mogelijk maken. Wanneer je het blad aanraakt, activeert dit de afvoer van K^+-ionen door diffusie in de onderste cellen van het bladkussentje. Die zakken daardoor in, waardoor het blad zich sluit. Het sluiten gebeurt binnen 45 seconden. Het kan wel tien minuten duren voordat het blad zich weer opent. In het donker vouwen de blaadjes van *M. pudica* zich op in de slaapstand. Voor het vouwen moet de temperatuur boven de 18 graden Celsius zijn. Kruidje-roer-me-niet groeit in het wild in subtropisch Midden- en Zuid-Amerika bij temperaturen van rond de 20 tot 25 graden Celsius. In Nederland kun je deze plant dus het best binnen op een warm plekje in de zon neerzetten. Dan heb je ook de grootste kans dat de pluizige bloemen met roze bloemhoofdjes verschijnen. Na bestuiving ontstaan de zaadjes in peulen. Doe je vrienden een plezier met de zaadjes.

■ **Afb. 60** *Mimosa pudica* met open en dichtgevouwen blad.



■ **Afb. 61** Bladkussentjes bij een dichtgevouwen blad.



Opdrachten

93 In afbeelding 60 zie je dat een blad aan een stengel zich dichtvouwt door osmose.
Hoe passeren K^+-ionen het celmembraan?

94 Leg uit hoe de onderste cellen van het bladkussentje door osmose hun turgor verliezen.

95 Wetenschappers ontdekten dat in de cellen van een bladkussentje die hun turgor hebben verloren, stukjes eiwitvezel voorkomen.
Leg uit hoe dat komt.

96 Na het vouwen van de bladeren duurt het even voordat ze zich weer openen.
Beschrijf het proces dat zorgt voor het heropenen van de bladeren.

97 Waarom kun je kruidje-roer-me-niet maar beter niet te vaak aanraken?

6 NATUURWETEN-SCHAPPELIJK ONDERZOEK

LEERDOELEN

1.6.1 Je kunt verschillende typen en methoden van natuurwetenschappelijk onderzoek beschrijven.

1.6.2 Je kunt een natuurwetenschappelijk onderzoek opzetten, uitvoeren en de resultaten ervan analyseren en daaruit conclusies trekken.

1.6.3 Je kunt een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren.

- Vaardigheden 6 en 7
- Practica 5 en 6

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	1.6.1	**1.6.2**	**1.6.3**
Begrijpen	98, 99, 100, 103a	101, 103b	102
Toepassen		104, 106abcd, 109, 110, 111	
Analyseren		105, 106e, 107, 112, 113	108

Door natuurwetenschappelijk onderzoek proberen biologen antwoord te krijgen op vragen als: Waarom zijn Nederlanders zo lang? Heeft ginseng een medicinale werking en verlengt ginseng de levensverwachting van mensen? Wat was de invloed van wolharige mammoeten op het Nederlandse landschap?

ONDERZOEKEN

Alle biologische kennis is afkomstig van onderzoek. Door nieuw wetenschappelijk onderzoek naar de levende natuur groeit de biologische kennis. Een bioloog die zich bezighoudt met wetenschappelijk onderzoek stelt zichzelf vragen over verschijnselen die hij waarneemt in de levende natuur. Het antwoord is niet altijd in de literatuur te vinden. Een bioloog kan dan een onderzoeksvraag formuleren en een natuurwetenschappelijk onderzoek uitvoeren om het antwoord op de vraag te vinden.

Onderzoeksvragen kunnen heel verschillend zijn. Daarom zijn ook de typen onderzoek en de onderzoeksmethoden om op die vragen een antwoord te vinden heel verschillend.

Literatuuronderzoek

Er bestaat een kans dat een natuurwetenschappelijke vraag al eerder is gesteld en mogelijk al is beantwoord. Daarom is het belangrijk om eerst een literatuuronderzoek uit te voeren (zie afbeelding 62). Literatuuronderzoek is een methode om bestaande kennis over een onderwerp te verzamelen. Deze kennis is te vinden in verschillende bronnen, zoals wetenschappelijke artikelen, boeken, scripties en archiefmateriaal. Goed literatuuronderzoek doe je door verschillende betrouwbare bronnen te gebruiken en de informatie die je leest kritisch te beoordelen.

■ **Afb. 62** Literatuuronderzoek.



Beschrijvend onderzoek

Als onderzoeker let je op bepaalde eigenschappen van het verschijnsel dat je bestudeert. Soms is het verzamelen van observaties (waarnemingen) de enige onderzoeksmethode om antwoord te krijgen op een vraag, bijvoorbeeld wanneer je het gedrag van organismen bestudeert. Observeren is een activiteit die je nauwkeurig moet uitvoeren met van tevoren vastgestelde regels. Om antwoord te krijgen op een vraag kun je ook metingen uitvoeren en gegevens verzamelen. De verzamelde gegevens noem je data. Vervolgens geef je de waarnemingen duidelijk weer met woorden, tekeningen, schema's of foto's.

Zo kun je bijvoorbeeld weefsels van verschillende organismen met een microscoop observeren en waarnemen dat alle organismen uit cellen bestaan. Je kunt ook gegevens over het DNA van een organisme verzamelen. Of je kunt in kaart brengen welke plantensoorten er in een weiland groeien. Deze onderzoeken zijn voorbeelden van een beschrijvend onderzoek. Bij een beschrijvend onderzoek probeer je een algemene regel af te leiden (een conclusie) uit veel specifieke gevallen (de data of observaties). Beschrijvend onderzoek kan ook leiden tot het opstellen van hypothesen.

Hypothesetoetsend onderzoek

Een hypothese is een mogelijke verklaring voor een waarneming van een verschijnsel, of een mogelijk verband tussen verschijnselen. Bij een hypothesetoetsend onderzoek bedenkt een onderzoeker een methode om een hypothese te toetsen. Dat kan bijvoorbeeld met een experiment. Hierbij stel je een experimenteergroep bloot aan een factor die je wilt onderzoeken. Daarnaast is er een zogenoemde controlegroep, die je niet blootstelt aan de te onderzoeken factor, dit noem je de blancoproef. Experimenten kun je uitvoeren in een laboratorium of in een veldsituatie.

Etholoog (gedragsbioloog) Frans de Waal vroeg zich af of kapucijnaapjes (zie afbeelding 63) onrechtvaardigheid afkeuren. Uit eigen observaties en die van anderen heeft De Waal geleerd dat niet alleen mensen maar ook dieren, zoals mensapen, olifanten en dolfijnen, een gevoel voor eerlijkheid kennen. Hij verwacht daarom dat kapucijnaapjes onrechtvaardigheid afkeuren. Hij voerde een experiment uit in het laboratorium om deze hypothese te toetsen. Daarvoor liet hij twee kapucijnaapjes in een kooi een taak uitvoeren. De aapjes gaven hem een steen en kregen daarvoor een beloning. Dat kon een stuk komkommer zijn, of een druif, waar kapucijnaapjes dol op zijn. Het eerste aapje at het stuk komkommer meteen op nadat hij het als beloning had gekregen. Hij was er blijkbaar tevreden mee. Hij zag daarna dat het tweede aapje een druif als beloning kreeg. Toen het eerste aapje vervolgens weer een stuk komkommer kreeg, smeet hij het weg. Uit het experiment blijkt dat een kapucijnaap negatief reageert op ongelijke beloning voor dezelfde inspanning.

■ **Afb. 63** Een kapucijnaapje.



Je kunt ook met andere onderzoeksmethoden gegevens verzamelen om een hypothese te toetsen. Bijvoorbeeld door het houden van een interview of een online-enquête: een aantal personen beantwoordt mondeling of schriftelijk vragen. Dit gebeurt meestal in de vorm van een steekproef. Je selecteert dan (min of meer) willekeurig een deel van de te onderzoeken groep, omdat het niet mogelijk is alle personen mee te laten doen. Het is belangrijk dat de steekproef representatief is. Een representatieve steekproef is een goede afspiegeling van de te onderzoeken groep.

Wetenschappers werken ook met modellen. Een model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Met een model kun je op de computer een onderzoeksvraag beantwoorden. Je kunt dan bijvoorbeeld een virtueel experiment doen, wanneer een echt experiment niet kan of heel moeilijk is. Het gebruik van modellen voor onderzoek noem je modelleren.

Ontwerpend onderzoek

Een andere methode van onderzoek is het ontwerpen van een product als antwoord op een onderzoeksvraag. Bij dit ontwerpend onderzoek ontwikkelt een onderzoeker materialen, instrumenten, modellen of systemen (zie afbeelding 64). De onderzoeker bedenkt hoe het product eruit moet zien en aan welke eisen het moet voldoen. Eerst wordt een testversie van het product gebouwd, het prototype. Na de testfase worden de resultaten geëvalueerd en de eisen bijgesteld. Ten slotte wordt de definitieve versie van het product gebouwd. Deze manier van onderzoek heeft onder andere geleid tot de ontwikkeling van apparaten waarmee cellen en weefsels veel beter kunnen worden onderzocht, zoals de elektronenmicroscopen. En het onderzoek naar DNA is veel gemakkelijker geworden sinds een PCR-apparaat DNA heel snel kan vermenigvuldigen.

■ **Afb. 64** De verschillende fasen van het ontwerpend onderzoek.



VALIDITEIT EN BETROUWBAARHEID

De belangrijkste grondbeginselen van wetenschappelijk onderzoek zijn **validiteit** en **betrouwbaarheid**. Met validiteit wordt bedoeld dat de resultaten die tijdens het onderzoek worden verkregen ook echt antwoord geven op de onderzoeksvraag. Je moet hiervoor met je methode of onderzoeksmodel hebben gemeten wat je wilde meten. Betrouwbaarheid betekent dat de resultaten op een objectieve manier zijn verkregen en dat herhaling van het onderzoek mogelijk is. Andere onderzoekers moeten bij herhaling van het onderzoek dezelfde resultaten krijgen.

Opdrachten KENNIS

98 Onderzoekers doen eerst literatuuronderzoek voordat ze zelf waarnemingen verrichten. Waarom is het belangrijk dat ze eerst literatuuronderzoek doen?

99 Wetenschappelijke artikelen over medische onderzoeken naar de behandeling van aandoeningen als multiple sclerose worden gepubliceerd in internationale tijdschriften. In zo'n artikel worden onder andere de werkwijze en de resultaten weergegeven. Waarom doen onderzoekers dit?

100 **a** Geef een voorbeeld van een onderzoeksvraag voor een beschrijvend onderzoek over de Posbank, een heideveld op de Veluwe (zie afbeelding 65).

■ **Afb. 65** De Veluwse Posbank.

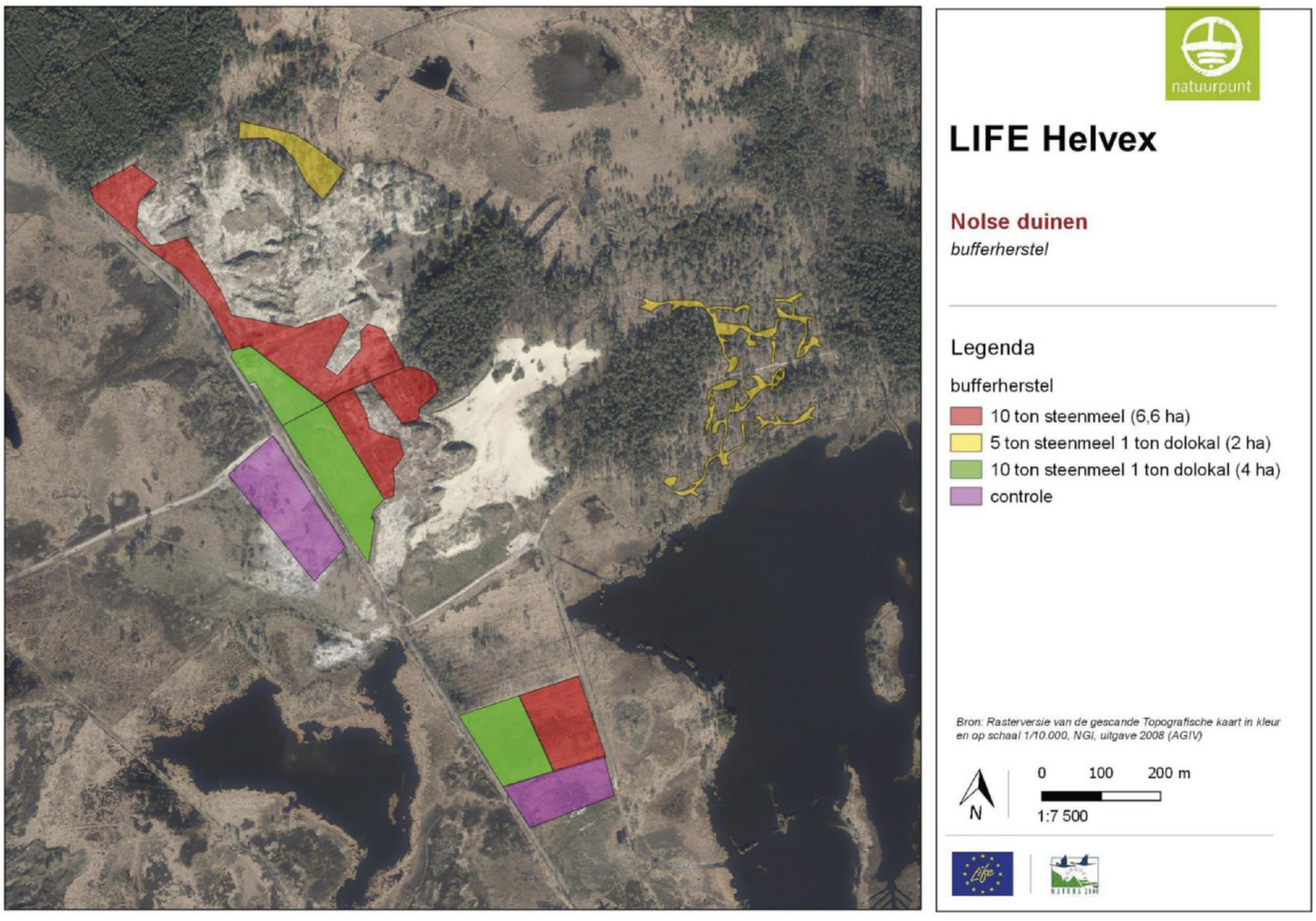


b Geef een voorbeeld van informatie die je zou kunnen opzoeken in de literatuur voordat je op zoek gaat naar het antwoord op je onderzoeksvraag.

c In de Nolse duinen (Kalmthoutse heide) wordt onderzocht of je de negatieve effecten van het neerslaan van stikstof kunt afremmen. De bodem is sterk verzuurd, waardoor kwetsbare planten en dieren met uitsterven zijn bedreigd. Door het uitstrooien van steenmeel, een bodemverbeteraar op basis van fijngemalen gesteente, wordt geprobeerd de verzuring van de bodem tegen te gaan (zie afbeelding 66).
Gaat het hier om een literatuuronderzoek, een beschrijvend onderzoek, een hypothesetoetsend onderzoek of een ontwerpend onderzoek? Leg je antwoord uit.

d In afbeelding 66 zie je twee paarse percelen.
Hoe worden de paarse percelen behandeld? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 66** Overzicht van de percelen die zijn betrokken bij het onderzoek op de Nolse heide.



FASEN VAN EEN NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

Het hypothesetoetsend onderzoek wordt gezien als hét model voor een natuurwetenschappelijk onderzoek. Bij onderzoek ga je steeds op dezelfde manier te werk. Bij het hypothesetoetsend onderzoek doorloop je de volgende fasen:

Waarneming
Een onderzoek begint vaak bij iets wat je opvalt, of bij iets wat je waarneemt (observatie) en waarvan je je vervolgens afvraagt hoe dat zit. Het is de waarneming van een bepaald natuurverschijnsel dat in aanmerking komt voor verder onderzoek.

Onderzoeksvraag
Wanneer je een natuurverschijnsel ziet als een natuurwetenschappelijk probleem dat je wilt onderzoeken, formuleer je hierbij een onderzoeksvraag. Met deze vraag kun je op zoek naar het antwoord. Een onderzoeksvraag kan ook ontstaan naar aanleiding van eerder onderzoek of na literatuuronderzoek. De vraag maakt duidelijk wat je precies wilt weten en wat je gaat onderzoeken.

Hypothesevorming
In deze fase probeer je een mogelijke verklaring voor het probleem te geven. Je stelt hiervoor een hypothese op, meestal op basis van wat al bekend is. Op grond van de hypothese kun je een verwachting uitspreken over de uitkomst van het onderzoek. Je geeft aan welke metingen of observaties je waarschijnlijk doet als de hypothese juist is.

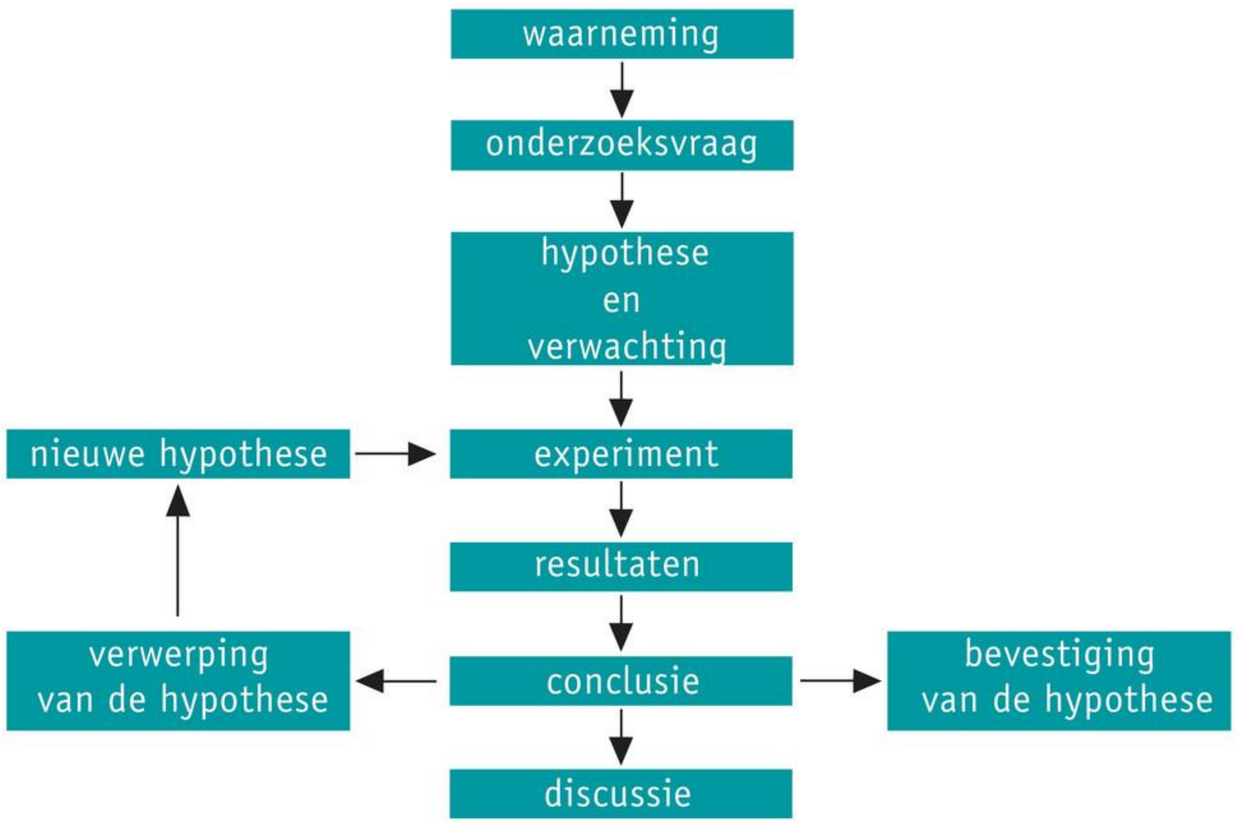
Experimentele fase
In deze fase vindt de echte uitvoering van het onderzoek plaats. Bij hypothesetoetsend onderzoek doe je dat meestal met een experiment waarmee je toetst of de opgestelde hypothese juist is of onjuist. In een of meerdere experimenteergroepen stel je organismen bloot aan een bepaalde factor. In de controlegroep voer je hetzelfde experiment uit, maar nu is deze factor afwezig (blancoproef). Per experiment kun je maar één factor tegelijk onderzoeken. Alle andere omstandigheden moeten bij de experimenteergroep en bij de controlegroep gelijk zijn. Om betrouwbare gegevens te krijgen, moeten de groepen uit grote aantallen bestaan. De experimentele fase kan ook bestaan uit het vergelijken van twee of meer groepen zonder dat er een experiment wordt uitgevoerd. Zo kun je bijvoorbeeld de zang vergelijken van merels die in de stad leven en merels die in het bos leven.

Resultaten
In deze fase verzamel je (meet)gegevens of observaties. De resultaten geef je zo overzichtelijk mogelijk weer. Dat kan in de vorm van tabellen, grafieken en diagrammen.

Conclusie
Met de resultaten en alle informatie die je in de literatuur hebt opgezocht, geef je antwoord op de onderzoeksvraag. Dit antwoord noem je de conclusie. Komt de conclusie overeen met de geformuleerde hypothese, dan is de hypothese juist of bevestigd. Wanneer de hypothese onjuist blijkt te zijn, wordt de hypothese verworpen. Je kunt dan een nieuwe hypothese opstellen en deze met een nieuw experiment toetsen.

Discussie
In de discussie ga je in op de conclusie van je onderzoek en geef je aan of je resultaten valide en betrouwbaar zijn en of ze overeenkomen met je verwachtingen. Je probeert daarbij de eventuele verschillen tussen de resultaten en de hypothese te verklaren. Ook ga je in op de beperkingen van je onderzoek en bespreek je eventuele zwakke punten in de proefopzet en het verloop van het onderzoek. Verder kun je beschrijven welke bijdrage jouw onderzoek levert aan de beroepspraktijk en/of de wetenschap en kun je suggesties doen voor vervolgonderzoek (zie afbeelding 67).

■ **Afb. 67** Fasen van een natuurwetenschappelijk onderzoek.



Bij andere typen onderzoek doorloop je niet alle fasen van een natuurwetenschappelijk onderzoek. Bij beschrijvend onderzoek stel je bijvoorbeeld geen hypothese op en voer je geen experiment uit, maar verzamel je metingen of observaties. Bij ontwerpend onderzoek stel je ook geen hypothese op.

Een beschrijving van een natuurwetenschappelijk onderzoek kan als boek verschijnen of wordt gepubliceerd in wetenschappelijke tijdschriften zoals *Nature* en *Science*. Een onderzoeker wordt vaak beoordeeld op het aantal en de kwaliteit van zijn wetenschappelijke publicaties. Soms staan vereenvoudigde samenvattingen in populairwetenschappelijke tijdschriften als *Kijk* en *NWT Magazine* of in wetenschappelijke bijlagen van kranten.

Opdrachten KENNIS

101 Onderzoek
Naar: Biologie Olympiade Junior 2002, vraag 15.

Anneke doet een klein wetenschappelijk onderzoek. Je kunt dit onderzoek in vijf stappen verdelen. In willekeurige volgorde zijn deze stappen:

1 Anneke laat een vis eerst in koud en daarna in warm water zwemmen.
2 Anneke stelt vast dat vissen in koud water langzamer zwemmen dan in warm water.
3 Anneke leest in een boek dat vissen in koud water langzamer zwemmen dan in warm water.
4 Anneke vraagt zich af of het waar is dat vissen in koud water langzamer zwemmen dan in warm water.
5 Anneke verwacht dat vissen in koud water en in warm water even snel zwemmen.

a Welk van bovenstaande stappen uit dit onderzoek geeft de hypothese weer? Noteer het nummer.
b Welk van bovenstaande stappen uit dit onderzoek geeft het resultaat weer? Noteer het nummer.

102 Iris Veltman is opgeleid als milieukundige. Ze gebruikte haar kennis om voor zichzelf een onderhoudsvrije tuin in te richten met eetbare planten en struiken. Inmiddels gebruikt ze haar ervaringen in ontwerpend onderzoek en aanleg van eetbare tuinen voor andere mensen. Om deze tuinen te kunnen ontwerpen doorliep Iris de volgende fasen van ontwerpend onderzoek:

1 Een tuinontwerp maken van de tuin en aangeven welke planten waar moeten worden aangeplant.
2 De resultaten en opgedane kennis gebruiken voor nieuwe tuinontwerpen.
3 De tuin aanleggen volgens het tuinontwerp.
4 Informatie zoeken over eetbare planten en kijken of de planten ook mooi zijn in een tuin.
5 Hoe kan ik een onderhoudsvrije tuin inrichten met eetbare planten en struiken?
6 De groei- en bloeiwijze van de eetbare planten testen en eventuele ongeschikte planten uit de tuin verwijderen.

Noteer de nummers van de fasen in de juiste volgorde.

103 Onderzoeker Maíra C. Proietti en haar collega's hebben onderzocht hoe octopussen afval gebruiken dat in zeeën en oceanen is terechtgekomen. Zij gebruikten daarvoor foto's die door wetenschappers met behulp van onderwaterrobots zijn gemaakt en foto's die door anderen vrijwillig beschikbaar werden gesteld.

a Gaat het hier om een literatuuronderzoek, een beschrijvend onderzoek, een hypothesetoetsend onderzoek of een ontwerpend onderzoek? Leg je antwoord uit.
b Zijn er bij dit onderzoek fasen van een natuurwetenschappelijk onderzoek die ontbreken?

Opdrachten INZICHT

104 Maíra C. Proietti en haar collega's ontdekten dat octopussen verschillende soorten afval gebruiken om in te schuilen. Zo zagen ze een octopus die van een oude autoaccu zijn schuilplaats had gemaakt. In een accu komen giftige stoffen voor. Andere octopussen gebruiken kapotte flessen waaraan ze zich kunnen verwonden als schuilplaats (zie afbeelding 68).
Het onderzoek roept ook nieuwe vragen op. Wat zou een geschikte onderzoeksvraag kunnen zijn voor een vervolgonderzoek?

■ **Afb. 68** Een octopus die een gebroken fles als schuilplaats gebruikt.



105 Waarom wordt in een experiment een blancoproef opgenomen?

106 Regelmatig worden in Namibië neushoorns vervoerd vanuit afgelegen gebieden waar je niet met een auto kunt komen. Bijvoorbeeld om de dieren over verschillende leefgebieden te verspreiden, of om ze te beschermen tegen stroperij. Verdoofd en met touwen om hun enkels worden de neushoorns ondersteboven hangend aan een helikopter naar een andere locatie gebracht (zie afbeelding 69). Of dit ook de beste vervoersmethode is, was lang onbekend. Omdat paarden in deze positie moeilijker kunnen ademhalen werd gedacht dat het ondersteboven vervoeren van neushoorns ook meer risico's zou opleveren voor de gezondheid van een neushoorn. Een neushoorn op zijn zij op een platform vervoeren zou minder riskant zijn. Wetenschappers besloten het uit te zoeken om deze bedreigde diersoort zo min mogelijk risico te laten lopen tijdens het transport.

a Formuleer een onderzoeksvraag bij dit onderzoek.

b Wat is een mogelijke hypothese bij dit onderzoek?

c De onderzoekers onderzochten twaalf neushoorns. Alle neushoorns werden verdoofd. Zes neushoorns werden daarna tien minuten ondersteboven aan een kraan gehangen. De andere zes werden op hun zij op een platform gelegd. Ondertussen werd hun ademhaling en bloedsomloop gemeten.
Wat moeten de onderzoekers vervolgens doen om een conclusie te kunnen trekken?

d Na het trekken van de conclusie hebben de onderzoekers hun hypothese moeten verwerpen. Wat is de conclusie van het onderzoek?

e In de beschrijving van het onderzoek worden in de discussie twee verbeterpunten voor een vervolgonderzoek genoemd.
Noem twee verbeterpunten van het onderzoek en leg je antwoord uit.

■ **Afb. 69** Een neushoorn wordt per helikopter vervoerd.



107 Bij een hypothesetoetsend onderzoek kun je maar één factor tegelijk onderzoeken. Leg dit uit.

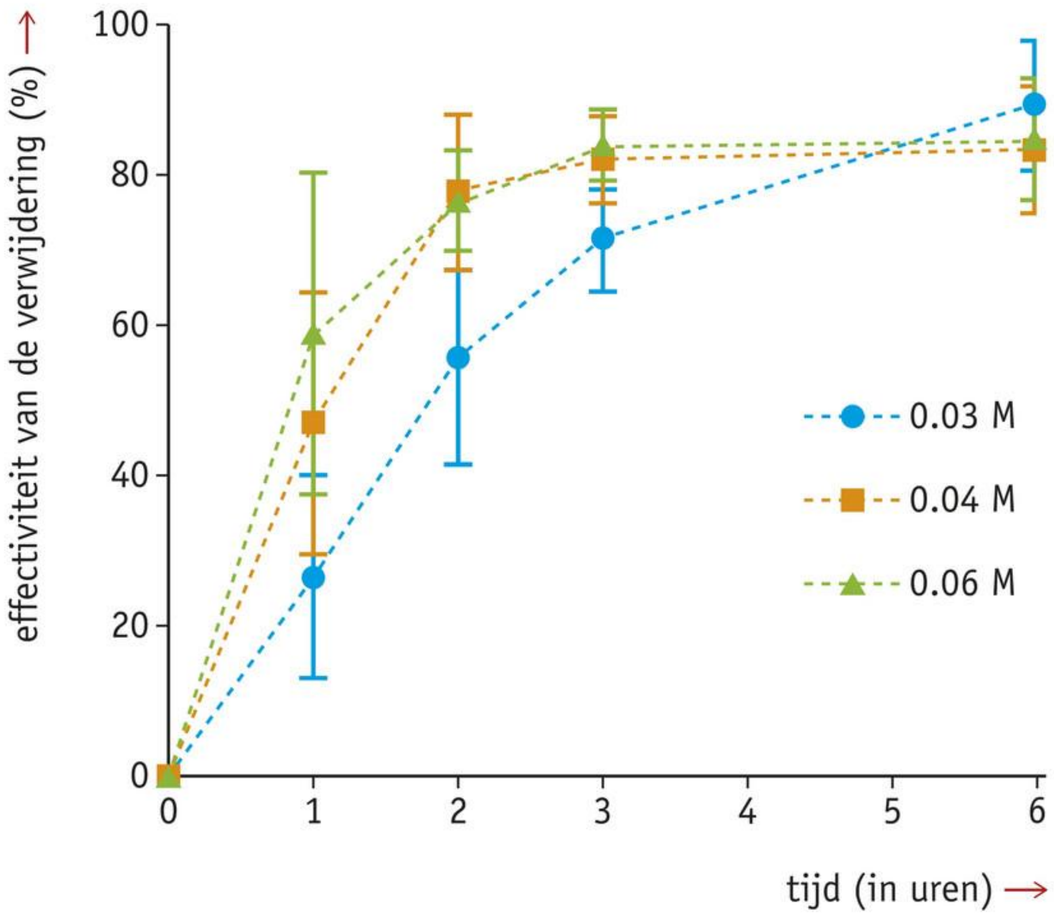
108 Microplastics zijn onder andere schadelijk voor waterdieren, schildpadden en vogels. Ze verstoppen het verteringskanaal, stillen de honger en veranderen het eetgedrag. Dat is nadelig voor de groei en voortplanting van dieren. Tijdens het draaien van een was komen er veel microplastics vrij uit de synthetische vezels van kleding. Die komen allemaal terecht in het afvalwater. Omdat de microplastics zo klein zijn, is het niet mogelijk om ze uit het water te filteren. Franse onderzoekers hebben een prototype bedacht van een installatie waarmee ze microplastics in water kunnen afbreken met elektriciteit tot CO_2 en watermoleculen. Ze gebruikten daarvoor water dat kunstmatig was verontreinigd met plasticdeeltjes. In afbeelding 70 zijn de resultaten weergegeven.

a Leg uit waarom het afbraakproces niet kan plaatsvinden in stromend water.

b Het team is nu van plan om te experimenteren met afvalwater buiten het laboratorium.
Leg uit waarom het nodig is dat het team experimenteert met afvalwater buiten het laboratorium.

c Volgens de onderzoekers is het zinvoller om de installaties bij bijvoorbeeld commerciële wasserijen te plaatsen dan bij een afvalwaterzuiveringsinstallatie.
Leg uit waarom je de installaties beter direct bij de bron van microplastics kunt plaatsen.

■ **Afb. 70** Resultaten van het afbreken van microplastics met elektriciteit.



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

Context Wetenschap

EIWIT GEEFT SPORTERS EXTRA LUCHT

Steeds meer mensen doen aan conditietraining om gezond te blijven. Door conditietraining neemt je maximale zuurstofopnamecapaciteit ($VO_{2\ max}$) toe. Eerder onderzoek heeft een verband aangetoond tussen een hoge maximale zuurstofopnamecapaciteit en een lager overlijdensrisico.

Sommige sporters nemen extra eiwitten in, omdat ze verwachten dat hun $VO_{2\ max}$ daardoor sneller toeneemt. Onderzoek naar het effect van extra eiwitinname leverde eerder tegenstrijdige resultaten op, omdat bijvoorbeeld de opzet te kleinschalig was, of het was niet zeker dat de proefpersonen dezelfde trainingen hadden gedaan. Wageningse onderzoekers van de afdeling Humane voeding kozen voor een nieuwe proefopzet die aan alle wetenschappelijke eisen moest voldoen.

Een groep van 44 gezonde jonge mannen, allemaal zonder speciaal dieet of medicijngebruik, nam deel aan het onderzoek. De groep werd willekeurig verdeeld in een experimenteergroep en een controlegroep. De experimenteergroep kreeg eiwitten en de controlegroep een hoeveelheid koolhydraten met dezelfde energiewaarde als de eiwitten. De eiwit- en koolhydraatsupplementen zagen er hetzelfde uit. In tegenstelling tot eerder onderzoek wisten zowel de sporters als de onderzoekers niet of ze in de experimenteergroep of in de controlegroep waren ingedeeld. Zo'n opzet noem je een dubbelblind onderzoek.

De 44 recreatieve sporters trainden drie keer per week gedurende tien weken. Na elke training en elke avond namen de proefpersonen hun voedingssupplementen. De toediening van eiwit zou theoretisch effectief moeten zijn. Het belangrijkste doel was het effect meten van het eiwitsupplement op de maximale zuurstofopnamecapaciteit. De resultaten van het onderzoek zijn opgenomen in afbeelding 72. De inname van extra eiwit blijkt sporters extra lucht te geven.

Naar: P. Knuiman e.a., 'Protein supplementation elicits greater gains in maximal oxygen uptake capacity and stimulates lean mass accretion during prolonged endurance training: a double-blind randomized controlled trial', *Am J Clin Nutr* 2019; 110:508-518.

■ **Afb. 71** Bepaling van de maximale zuurstofopnamecapaciteit bij een sporter.



Opdrachten

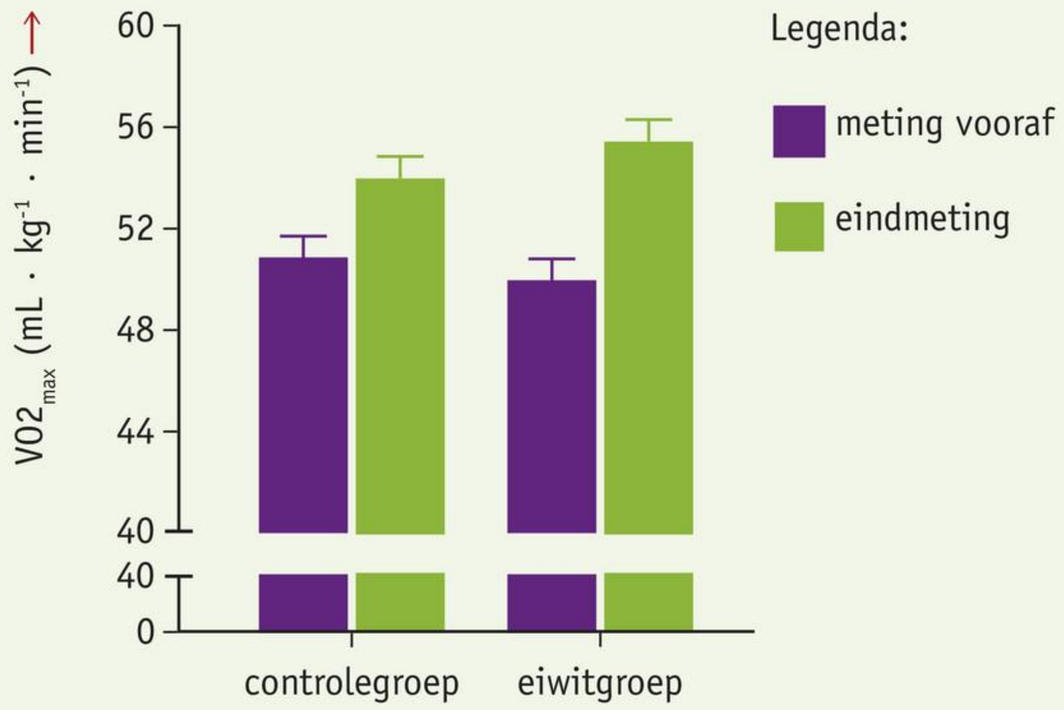
109 De onderzoekers wilden weten of extra eiwit in de voeding zou leiden tot een snellere toename van de maximale zuurstofcapaciteit bij recreatieve sporters.
Wat was de hypothese van de onderzoekers? Leg je antwoord uit.

110 Hoe zou je het onderzoek nog betrouwbaarder kunnen maken?

111 Leg uit waarom het belangrijk is dat de voedingssupplementen voor de experimenteergroep en voor de controlegroep er hetzelfde uitzagen.

112 In afbeelding 72 is het resultaat van het onderzoek weergegeven. De onderzoekers concludeerden dat hun hypothese was bevestigd.
Leg uit hoe dat uit het diagram blijkt.

■ **Afb. 72** Effect van tien weken conditietraining op de maximale zuurstofopnamecapaciteit, met en zonder eiwitsupplement.



113 Het onderzoek is uitgevoerd met een groep jonge mannen.
Is de conclusie van dit onderzoek geldig voor andere bevolkingsgroepen in Nederland? Leg je antwoord uit.

EXPEDITIE SPITSBERGEN

LEERDOELEN

1.S.1 Je kunt verschillende typen van natuurwetenschappelijk onderzoek toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

1.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheden ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op planten en dieren.

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

■ **Afb. 1** Ligging van het eiland Edgeøya in Spitsbergen.



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

Lineke Woelders, paleo-ecoloog, bestudeert met haar team de invloed van klimaatverandering op waterecosystemen. In haar onderzoeksrapport in *Nature* (2018) stelt zij vast dat de temperatuurstijging op aarde nergens zo sterk is als in het poolgebied. Uit satellietopnamen en onderzoek ter plaatse constateert zij een sterke groei van groene algen en een verandering in de bodemafzetting van kiezelwieren in een meertje op Spitsbergen. Deze verschijnselen gaan samen met de sterke temperatuurstijging en de toegenomen CO_2-concentratie sinds begin jaren negentig. De onderzoekers schrijven de ecologische veranderingen toe aan de temperatuurstijging in het poolgebied.

Opdrachten

1 Noteer in de tabel de volgende begrippen bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *alg (2×)* – *CO_2* – *eiland Edgeøya* – *ijsbeer* – *klimaatverandering* – *rendieren* – *rendierschedel*.

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

2 De onderzoekers moeten goed oppassen voor rondzwervende ijsberen. De ijsbeer (*Ursus maritimus*) is het grootste landroofdier ter wereld. Hij zwerft op jacht naar zijn voedsel, de kleine zeehond, langs de rand van het pakijs over het hele Noordpoolgebied. De ijsbeer heeft allerlei aanpassingen om in dit klimaat te kunnen functioneren.
Welke functies hebben de volgende vier aanpassingen: stukjes huid tussen de tenen, grote en brede voetzolen, behaarde voetzolen en kleine kussentjes onder de voetzolen (zie afbeelding 2)?

■ **Afb. 2** Voetzool van een ijsbeer.



3 Het voedsel van de rendieren op Edgeøya is een groot deel van het jaar onbereikbaar, omdat het zich onder sneeuw bevindt. In 1977 moesten de rendieren zich in drie zomermaanden volvreten met onder andere grassen en korstmossen om een grote vetreserve op te bouwen. Zo konden ze de volgende maanden doorkomen.

a Beschrijf hoe de voedselvoorziening van rendieren tussen 1977 en 2015 is veranderd en welke gevolgen dit heeft voor de rendieren.

b Stel een hypothese op over de overlevingskansen van rendieren op Edgeøya door de klimaatverandering.

4 Lineke Woelders onderzocht de invloed van klimaatverandering op waterecosystemen.

a Wat was de onderzoeksvraag in dit onderzoek?

b Welke conclusie trekken de onderzoekers?

5 Planten langs de kust van Edgeøya groeien in een bodem met een hoog zoutgehalte. Ook het zoutgehalte van het grondwater is hoog. NaCl is in hoge concentraties giftig voor planten. Planten hebben aanpassingen om via de wortels opgenomen zoutionen uit te scheiden of op te slaan in de vacuolen.

a Leg uit waarom cellen van planten die in een zoute omgeving groeien een hogere osmotische waarde hebben dan de osmotische waarde van het grondwater.

b Onder welke omstandigheden kan een plant wel (zout) water opnemen uit de omgeving?

VAARDIGHEDEN

Vaardigheid 1

ONDERZOEKSDOEL

1.O.1 Je kunt een microscoop gebruiken en daarmee (delen van) organismen bestuderen.

- Basisstof 3
- Practica 1, 2, 3 en 4

Werken met een microscoop

De meeste cellen en weefsels zijn zo klein dat je alleen met een microscoop de details kunt bekijken. Microscopen vergroten het beeld dat je ziet. De meeste microscopen op school kunnen 400× tot 600× vergroten (zie afbeelding 1). De vergroting van een microscoop reken je uit door de vergroting van het oculair te vermenigvuldigen met de vergroting van het objectief. Als het oculair 10× vergroot en het objectief 40×, dan is de totale vergroting 400×.

DOEL

Je bekijkt een kant-en-klaar preparaat met een microscoop.

WERKWIJZE

Stel eerst in op de kleinste vergroting.

- Draai de tubus helemaal omhoog (of de tafel helemaal omlaag).
- Draai het objectief 4× voor.
- Leg het preparaat onder de klemmen, midden boven de opening in de tafel.
- Kijk van opzij en draai de tubus helemaal omlaag (of de tafel helemaal omhoog).
- Doe de lamp aan.
- Kijk door het oculair en draai met de grote schroef langzaam de tubus omhoog (of de tafel omlaag), tot het beeld scherp wordt.

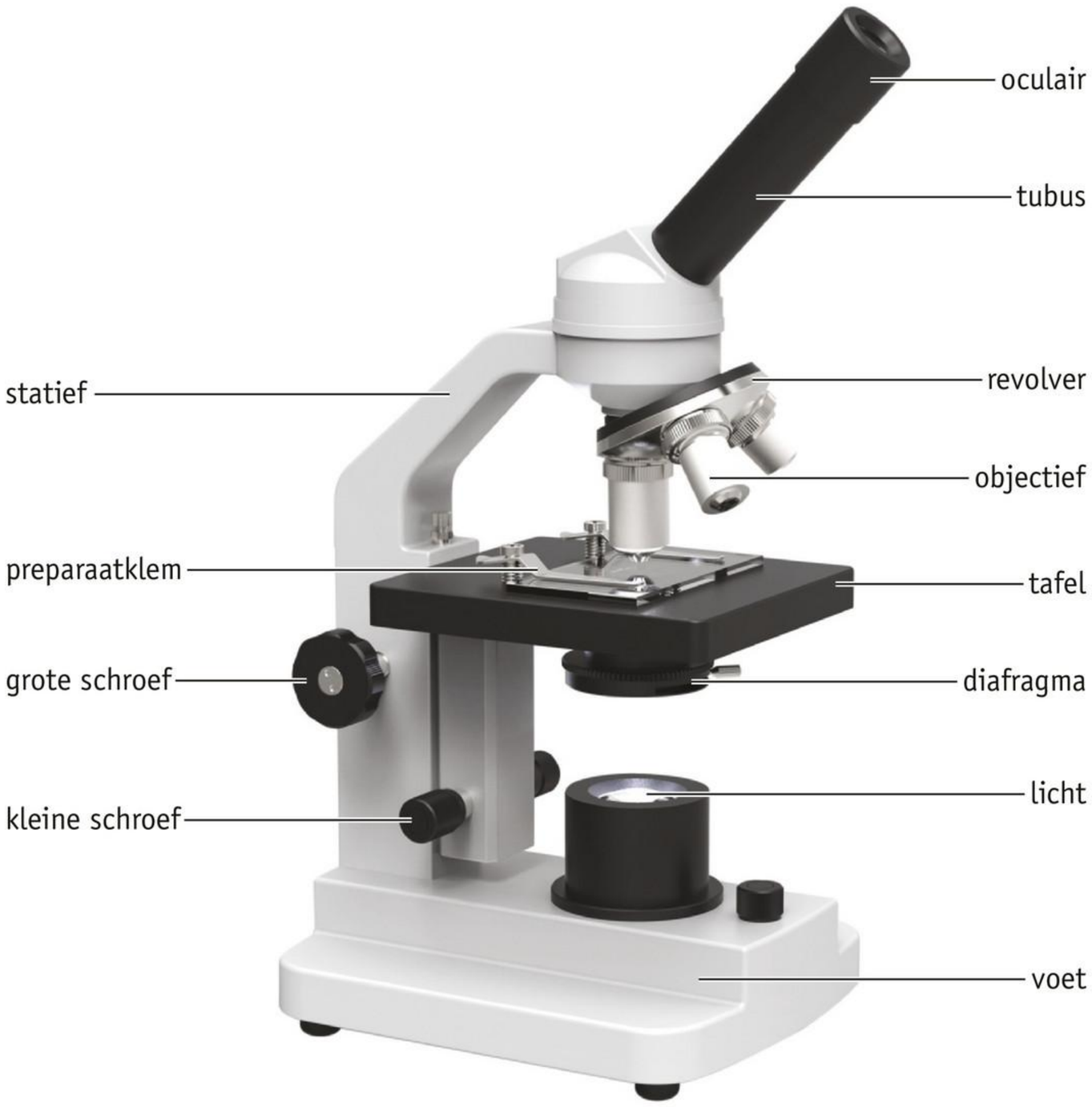
Stel met de kleine schroef nauwkeurig scherp.

- Verander het diafragma en kijk welke grootte van het diafragma het beste beeld geeft.

Instellen op een grotere vergroting.

- Je hebt al scherpgesteld bij een kleinere vergroting.
- Schuif het gedeelte van het preparaat dat je sterker wilt vergroten in het midden van het beeld.
- Draai het objectief dat één maat groter is voor (draai niet aan de grote schroef).
- Stel met de kleine schroef nauwkeurig scherp.

■ **Afb. 1** Een lichtmicroscoop.



Vaardigheid 2

ONDERZOEKSDOEL

1.O.1 Je kunt een microscoop gebruiken en daarmee (delen van) organismen bestuderen.

- Basisstof 3
- Practica 1, 2, 3 en 4

Een preparaat bekijken

DOEL

Je bekijkt een klaargemaakt preparaat met een microscoop en maakt een schematische tekening.

WERKWIJZE

Teken enkele cellen uit de verschillende preparaten.

Vaardigheid 3

ONDERZOEKSDOEL

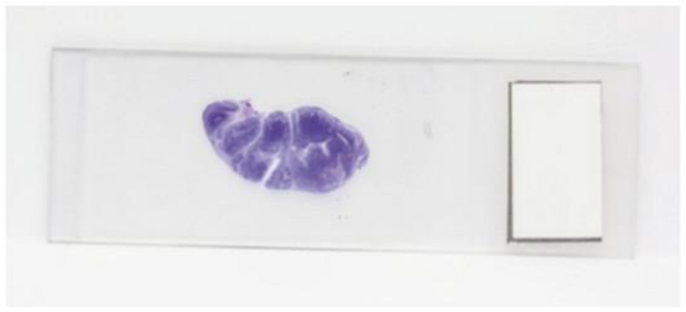
1.O.1 Je kunt een microscoop gebruiken en daarmee (delen van) organismen bestuderen.

- Basisstof 3
- Practica 1, 2, 3 en 4

Een preparaat maken

Om cellen onder een microscoop te kunnen bekijken moet je eerst een preparaat maken. Een preparaat bestaat uit een objectglas en een dekglas met daartussen het object dat je onder een microscoop wilt bekijken (zie afbeelding 2). Het object in een preparaat moet erg dun zijn om licht door te kunnen laten. Vaak maak je dan een doorsnede. Hiervoor kun je een object op verschillende manieren doorsnijden. In afbeelding 3 zie je twee manieren waarop je een doorsnede van een tak kunt maken: een lengtedoorsnede (1) en een dwarsdoorsnede (2 en 3).
Een preparaat leg je op de tafel van de microscoop en je zet het vast met de preparaatklemmen. Daarna stel je de microscoop in.

■ **Afb. 2** Een preparaat.



DOEL

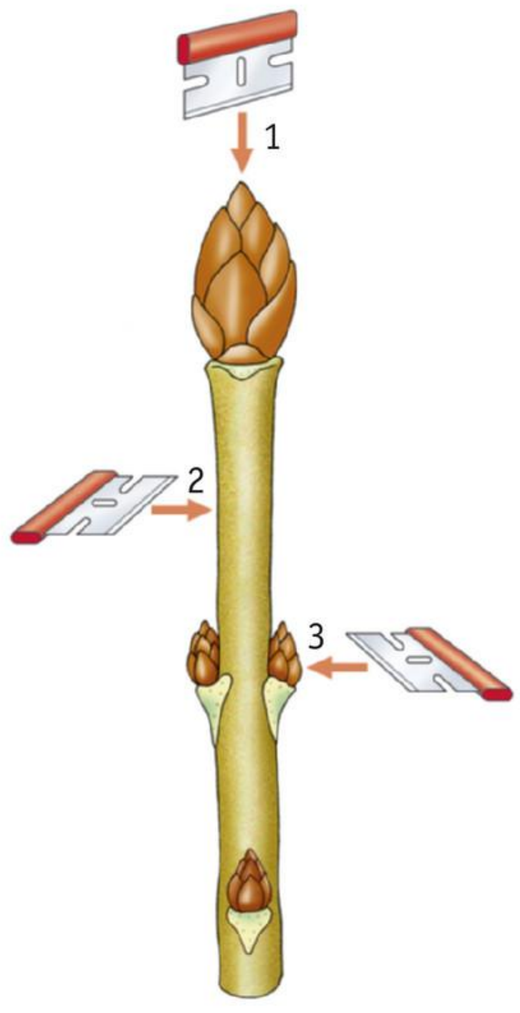
Met een microscoop kun je alleen (delen van) een organisme bekijken die heel erg dun zijn en licht doorlaten. Je maakt hiervan een preparaat.

WERKWIJZE

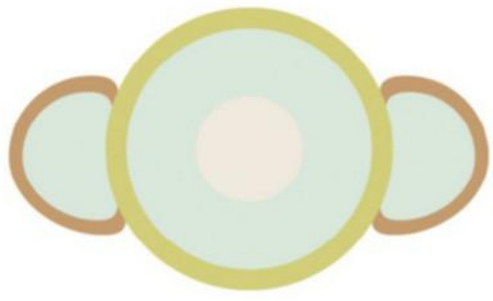
Zie afbeelding 4:

- Breng een druppel water op een schoon voorwerpglas. Pak de glaasjes daarna alleen nog vast bij de randen.
- Leg het (deel van het) organisme voorzichtig in de druppel water. Let erop dat het niet oprolt of dubbel komt te liggen.
- Doe er voorzichtig een dekglaasje op. Voorkom dat er luchtbellen ontstaan. Haal overtollig water met een filtreerpapiertje weg.

■ **Afb. 3** Lengtedoorsnede en dwarsdoorsnede van een tak.

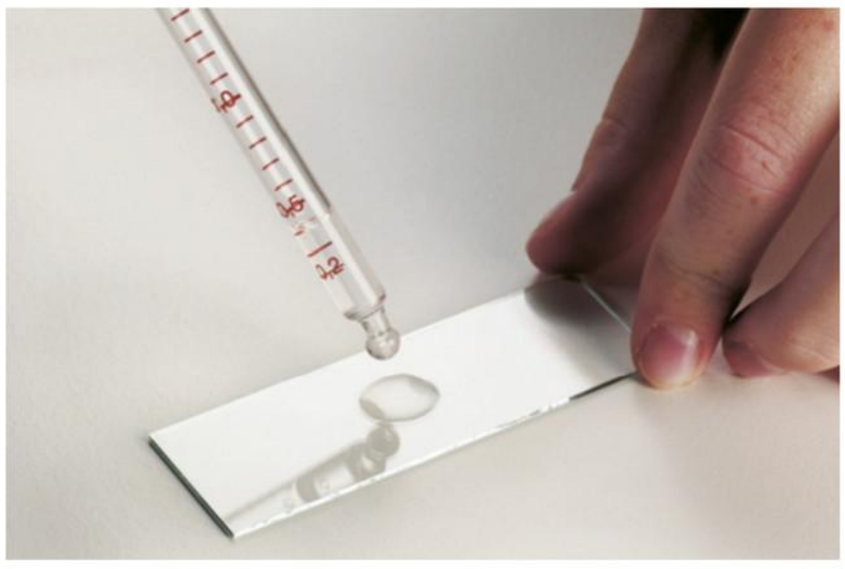


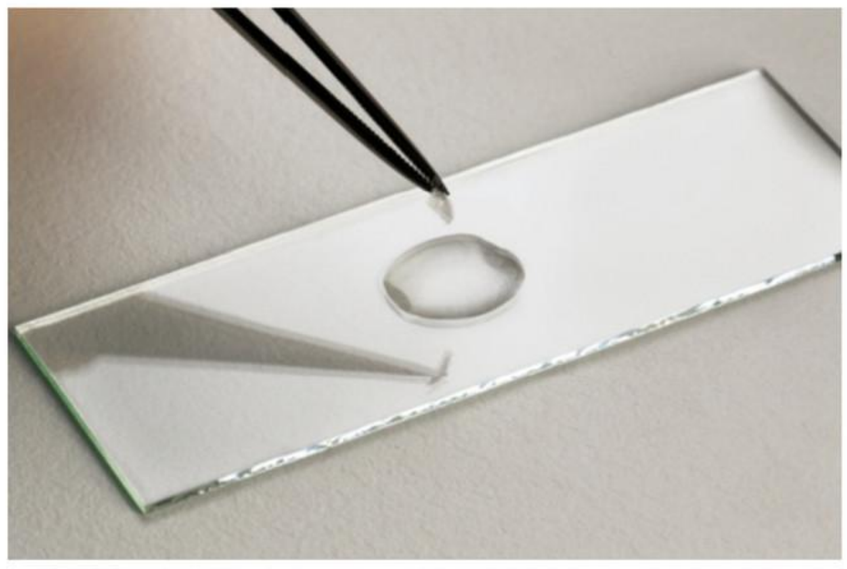
1 lengtedoorsnede (1)

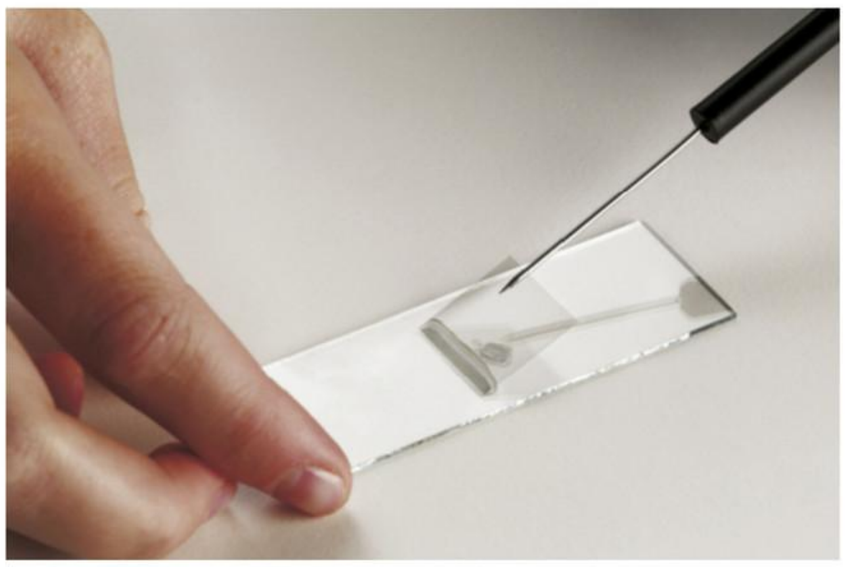


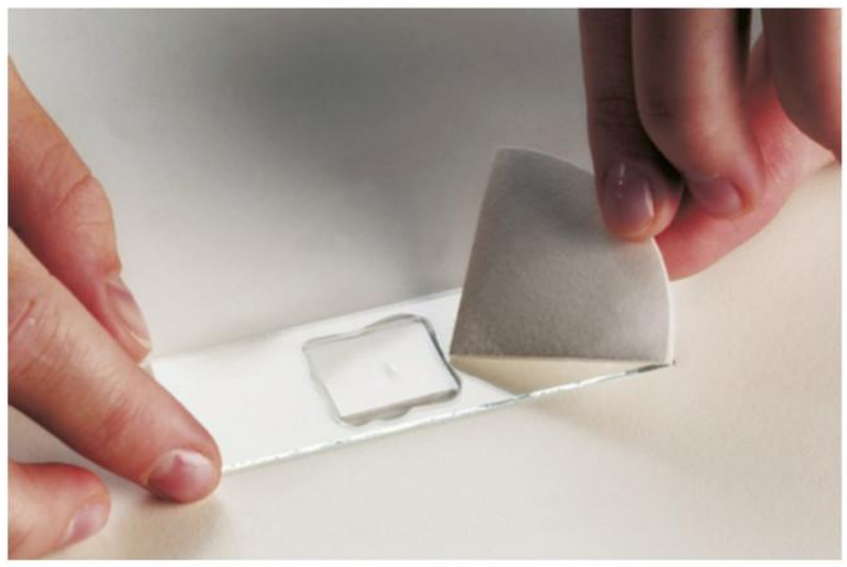
2 dwarsdoorsnede van plaats 3

■ **Afb. 4** Een preparaat maken.









Vaardigheid 4

ONDERZOEKSDOEL

1.O.2 Je kunt een tekening van (een deel van) een organisme maken en de delen aangeven.

- Basisstof 3
- Practica 1, 2, 3 en 4

Tekeningen maken

Wanneer je een tekening maakt van wat je ziet, leer je nauwkeurig observeren. Noteer bij je tekening welke vergroting je hebt gebruikt. Dit is dan niet de exacte vergroting van je tekening. Als je groot tekent, zal de vergroting groter zijn dan wanneer je klein tekent.

DOEL

Als je een (deel van een) organisme tekent, bekijk je het heel nauwkeurig. In je tekening teken je alleen de belangrijkste kenmerken.

WERKWIJZE

- Verdeel een bladzijde (A4) in tweeën.
- Teken groot.
- Gebruik een potlood.
- Teken eerst de omtrek.
- Teken wat je ziet.
- Maak niet te ingewikkelde tekeningen.
- Noteer boven in het tekenvak:
  - de naam van (het deel van) het organisme
  - de vergroting
  - het type doorsnede
  - eventueel de kleurstof die is gebruikt
- Zet de namen bij de delen die je kent (met horizontale verbindingsstreepjes).

Vaardigheid 5

ONDERZOEKSDOEL

1.O.3 Je kunt de concentratie van een oplossing berekenen.

- Basisstof 5
- Practicum 5

Een verdunningsreeks maken

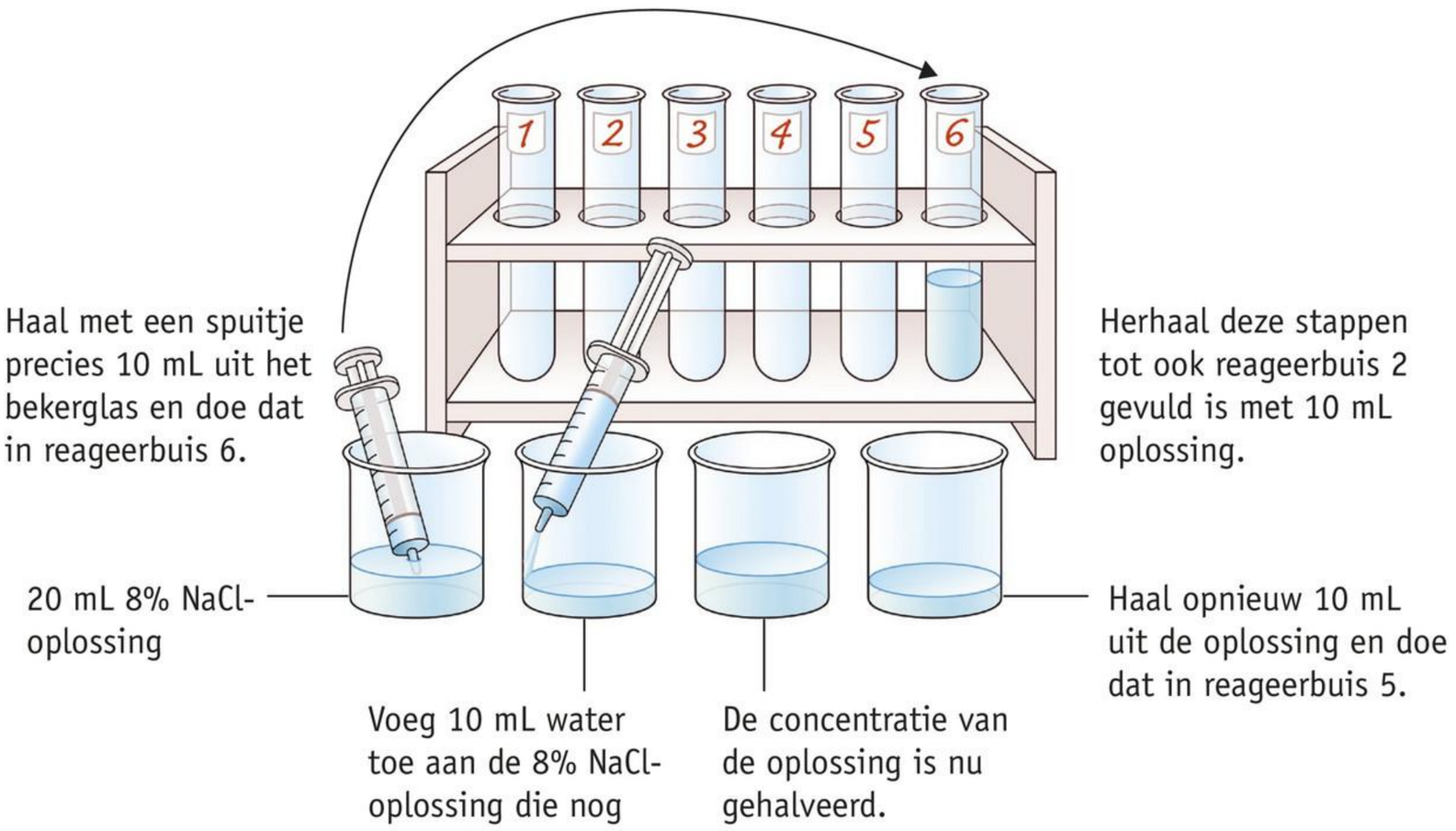
DOEL

Om tijdens een onderzoek de invloed van de concentratie van een opgeloste stof te bepalen, maak je een verdunningsreeks. Als je één keer een oplossing maakt en met grote hoeveelheden werkt, is de kans op meetfouten klein.

WERKWIJZE

- Maak in een bekerglas een dubbele hoeveelheid van de oplossing met de hoogste concentratie.
- Doe precies de helft van deze oplossing in een schone reageerbuis. Je kunt hiervoor een spuitje (zie afbeelding 5), maatcilinder of pipet gebruiken.
- Vul de overgebleven helft in het bekerglas aan met een even grote hoeveelheid water.
- De concentratie in het bekerglas is nu gehalveerd.
- Herhaal de tweede en derde stap tot de laagste concentratie is bereikt. Maak het materiaal tussentijds steeds goed schoon (zie afbeelding 5).

■ **Afb. 5** Een verdunningsreeks maken.



Vaardigheid 6

ONDERZOEKSDOEL

1.O.4 Je kunt een werkplan schrijven voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek.

- Basisstof 6
- Practicum 6

Een werkplan maken

In de biologie is het experiment een veelgebruikte onderzoeksmethode. Bij onderzoek maak je van tevoren een werkplan.

DOEL

In een werkplan beschrijf je welk experiment of welke experimenten je bij een onderzoek wilt uitvoeren, welke materialen je daarvoor nodig hebt en hoe je de resultaten wilt verwerken. Proefopstellingen bij experimenten moet je beschrijven of tekenen. Ook beschrijf je welke handelingen je op welke tijdstippen verricht en hoe je je resultaten verzamelt en verwerkt.

WERKWIJZE

Hier volgt een aantal vragen die je kunt stellen bij het maken van een werkplan.

Methode

- Welke factor onderzoek je?
- Met welk organisme voer je het experiment uit? Waarom met dit organisme? Hoeveel organismen neem je om betrouwbare gegevens te verkrijgen?
- Onder welke omstandigheden voer je het experiment (en de blancoproef) uit? Hoe zorg je ervoor dat andere factoren niet van invloed zijn?

Materialen

- Wat heb je nodig om het onderzoek te kunnen uitvoeren?

Resultaten

- Op welke manier voer je de metingen uit om aan je resultaten te komen?
- Op welke manier geef je de resultaten weer?

Vaardigheid 7

ONDERZOEKSDOEL

1.O.5 Je beschrijft de fasen en resultaten van je onderzoek in een verslag volgens het werkplan dat je hebt opgesteld.

- Basisstof 6
- Practica 5 en 6

Een verslag schrijven

Elk onderzoek wordt afgesloten met een verslag. Hierin beschrijf je nauwkeurig de verschillende fasen van het natuurwetenschappelijk onderzoek.

DOEL

In een verslag geef je weer wat je hebt gedaan om te laten zien dat de resultaten van je natuurwetenschappelijk onderzoek betrouwbaar zijn.

WERKWIJZE

Je beschrijft nauwkeurig de verschillende fasen van het natuurwetenschappelijk onderzoek. Een verslag bestaat uit de volgende onderdelen:

1 Titel

2 Inleiding
In de inleiding geef je achtergrondinformatie over je onderwerp. Je geeft een beschrijving van het natuurwetenschappelijke probleem dat je wilt onderzoeken. Je formuleert een onderzoeksvraag en stelt eventueel een hypothese op. Op grond van je hypothese spreek je een verwachting uit over de uitkomst van je onderzoek.

3 Werkplan: materiaal en methode
Hierin beschrijf je welke onderzoeksmethode je toepast. In dit deel van het verslag maak je ook een lijst van de benodigde materialen. De beschrijvingen van de onderzoeksmethode en de materialen moeten zo nauwkeurig zijn dat iemand anders in staat is het onderzoek te herhalen.

4 Resultaten
Hierin beschrijf je het verloop van het onderzoek, bijvoorbeeld het verloop en de uitkomsten van het experiment. Noteer je observaties in woorden en vat je meetresultaten samen in tabellen. In de biologie worden deze tabellen vaak omgezet naar grafieken en/of diagrammen.

5 Conclusie
Hierin beschrijf je de interpretatie van je resultaten. Je geeft ook aan of je de resultaten van je hypothese kunt bevestigen of verwerpen.

6 Discussie
In een discussie kijk je kritisch naar de proefopstelling en de uitvoering van het onderzoek. Alles draait om de vraag: ‘Hoe zeker ben ik van het gevonden antwoord op de onderzoeksvraag?’ Is alles volgens plan verlopen? Je geeft ook een verklaring van de resultaten die je hebt gevonden. Als de resultaten de hypothese niet bevestigen, probeer dan zo mogelijk redenen te geven waarom dat zo is. Stel eventueel een nieuwe hypothese op en geef aan hoe je deze hypothese kunt onderzoeken.

7 Literatuur
Hierin vermeld je de bronnen die je bij dit onderzoek hebt geraadpleegd.

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

1.O.6 Je kunt de zichtbare delen van een plantencel herkennen en benoemen.

- Basisstof 3
- Vaardigheden 1, 2, 3 en 4

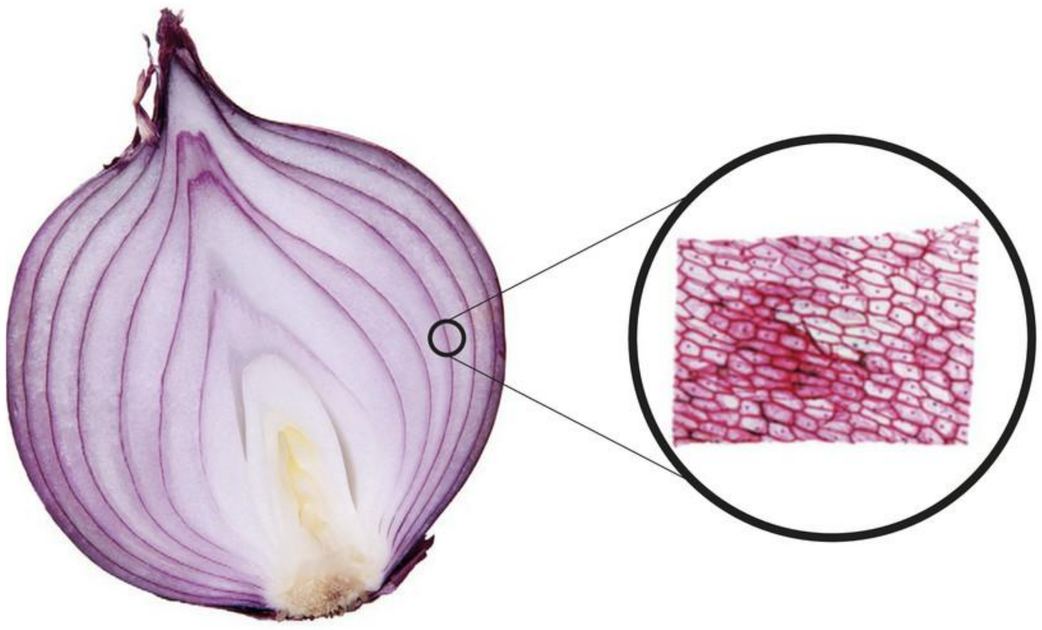
Een plantaardige cel

30 minuten

INLEIDING

Een ui bestaat uit rokken. Cellen met rode kleurstof zitten in de cellen aan de buitenkant van de buitenste rokken van de rode ui (zie afbeelding 1). In dit practicum bekijk je enkele organellen in een plantaardige cel van een rode ui en maak je een schematische tekening.

■ **Afb. 1** Vliesje van de buitenkant van de rok van een ui.



ONDERZOEKSVRAAG

Hoe zien cellen van een rode ui eruit?

MATERIAAL

- een rode ui
- een microscoop
- prepareermateriaal (pincet, prepareernaald, mesje, schaartje, voorwerpglas, dekglaasje, druppelflesje met water en filtreerpapier)

METHODE

- Maak een sneetje in het buitenste vliesje en trek een stukje van het vliesje los. Als het vliesje te groot is, snijd dan een stukje van ongeveer 1 cm^2 uit.
- Maak een preparaat van het vliesje.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 40×, daarna bij een vergroting van 100×.

Misschien zie je in het preparaat grote zwarte cirkels. Dat zijn luchtbellen. Zoek voor het bekijken van de cellen een stukje zonder luchtbellen op. Het kan ook zijn dat het vliesje is dubbelgeklapt. Je ziet dan twee cellagen op elkaar. Zoek een deel op waar de cellen niet over elkaar liggen.

RESULTATEN

- Teken één plantaardige cel van een rode ui helemaal en geef het begin van de omliggende cellen aan.
- Teken volgens de tekenregels.
- Benoem de delen van de cel die je ziet: *celwand – cytoplasma – vacuole – celkern*.

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

1.0.7 Je kunt de zichtbare delen van een dierlijke cel herkennen en benoemen.

- Basisstof 3
- Vaardigheden 1, 2, 3 en 4

Een dierlijke cel

30 minuten

INLEIDING

Cellen van je wangslijmvlies zijn dierlijke cellen. Omdat een cel van het wangslijmvlies kleurloos is, kleur je de cel met eosine. In dit practicum oefen je met het maken en kleuren van een preparaat en bekijk je enkele organellen in een dierlijke cel.

ONDERZOEKSVRAAG

Hoe zien cellen van wangslijmvlies eruit?

MATERIAAL

- een plastic roerstaafje
- een microscoop
- prepareermateriaal
- eosine of jodiumoplossing
- een druppelpipet

METHODE

- Doe een druppel eosine op een voorwerpglas.
- Schraap met het plastic roerstaafje langs de binnenkant van je wang (zie afbeelding 2).
- Doe het schraapsel in de druppel eosine op het voorwerpglas en maak het preparaat verder af.
- Bekijk het preparaat. Begin bij een vergroting van 40×. Zoek met een sterkere vergroting losliggende cellen op. Soms liggen cellen over elkaar of zitten ze aan elkaar vast.

■ **Afb. 2** Schraap met een plastic roerstaafje langs de binnenkant van je wang.



RESULTATEN

- Teken enkele wangslijmvliescellen volgens de tekenregels.
- Benoem de delen van de cel die je herkent.

Practicumopdracht 3

ONDERZOEKSDOEL

1.O.6 Je kunt de zichtbare delen van een plantencel herkennen en benoemen.

- Basisstof 3
- Vaardigheden 1, 2, 3 en 4

Bladgroenkorrels

30 minuten

INLEIDING

Waterpestplanten zijn te koop als 'zuurstofplantjes' voor aquaria. Het blad van waterpest is twee cellagen dik en daardoor kun je er gemakkelijk een preparaat van maken. In dit practicum bekijk je bladgroenkorrels van waterpest.

ONDERZOEKSVRAAG

Hoe zien cellen van waterpest eruit?

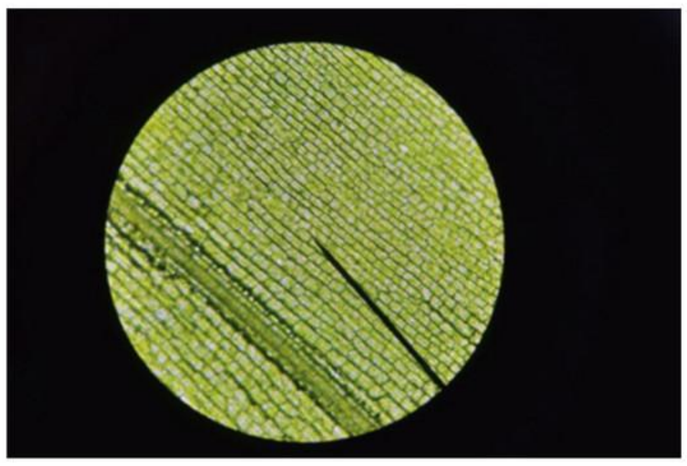
MATERIAAL

- een stengel met bladeren van waterpest
- een microscoop
- prepareermateriaal

METHODE

- Trek met het pincet een blaadje van waterpest af en maak daarvan een preparaat.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×. Stel scherp op een van beide cellagen.
- Zet het diafragma op de grootste opening. Bekijk het preparaat bij een vergroting van 400×. Stel zo scherp dat je bij een cel de bladgroenkorrels in een laagje langs de celwand ziet liggen.
  Als je de bladgroenkorrels in het midden van een cel ziet liggen, heb je scherpgesteld op de bovenkant of op de onderkant van de cel. Misschien zie je de bladgroenkorrels met het cytoplasma rondstromen. De celkern is bij waterpest kleurloos, die kun je niet zien.

■ **Afb. 3** Waterpest onder de microscoop.



RESULTATEN

- Teken één cel met de celwand uit een blaadje van waterpest.
- Teken volgens de tekenregels.
- Benoem de delen van de cel die je herkent.

Practicumopdracht 4

ONDERZOEKSDOEL

1.O.8 Je kunt het effect van een hypertone en hypotone oplossing op een plantencel beschrijven.

- Basisstof 5
- Vaardigheden 1, 2, 3 en 4

Plasmolyse

30 minuten

INLEIDING

Bij plasmolyse wordt de inhoud van een plantaardige cel kleiner door waterverlies en laat het celmembraan los van de celwand. In dit practicum bekijk je plasmolyse bij cellen van een rode ui.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat gebeurt er met cellen van een rode ui in een hypertone zoutoplossing?

MATERIAAL

- een rode ui
- een microscoop
- prepareermateriaal
- kaliumnitraatoplossing (KNO_3) van 10% in een flesje met een druppelpipet
- gedestilleerd water

METHODE

- Maak een preparaat van het buitenste rode vliesje van een rok van de ui.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×. Zoek cellen waarvan de vacuolen rood zijn gekleurd.
- Breng aan de rand van het dekglas een druppel KNO_3-oplossing aan. Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×, terwijl je met filtreerpapier de KNO_3-oplossing onder het dekglas door zuigt. Wacht tot de cellen plasmolyse vertonen. Zuig eventueel een tweede druppel KNO_3-oplossing onder het dekglas door.
- Teken drie aan elkaar grenzende cellen met de celwanden.
- Zuig nu op dezelfde manier met filtreerpapier gedestilleerd water onder het dekglas door. Kijk wat er met de cellen gebeurt.
- Teken opnieuw drie aan elkaar grenzende cellen met de celwanden.

RESULTATEN

- Teken drie aan elkaar grenzende, in plasmolyse verkerende cellen met de celwanden.
- Teken drie aan elkaar grenzende cellen in gedestilleerd water.
- Gebruik de tekenregels.

Practicumopdracht 5

ONDERZOEKSDOEL

1.O.8 Je kunt het effect van een hypertone en hypotone oplossing op een plantencel beschrijven.

- Basisstof 6
- Vaardigheden 5 en 7

Grensplasmolyse in aardappelcellen

40 minuten

INLEIDING

De schil van aardappels gaat verdamping tegen. Toch drogen aardappels na een tijdje uit en worden ze slapper en kleiner. Op het moment dat de osmotische waarde binnen en buiten de cel gelijk is, verdwijnt de turgor en treedt er grensplasmolyse op. Cellen verliezen hun stevigheid. Verliest de cel nog meer water, dan treedt er plasmolyse op en verandert de grootte van de cel niet meer. In dit practicum onderzoek je of je de grensplasmolyse van aardappelcellen in aardappelstaafjes kunt bepalen door ze in verschillende oplossingen te leggen.

ONDERZOEKSVRAAG

Kun je de grensplasmolyse van aardappelcellen bepalen aan de hand van de lengte en stevigheid van aardappelstaafjes, die in oplossingen met oplopende osmotische waarde hebben gelegen?

HYPOTHESE

Wanneer de lengte en stevigheid van de aardappelstaafjes vanaf een bepaalde concentratie niet meer verandert, treedt grensplasmolyse op.

MATERIAAL

- 6 reageerbuizen (Ø 18 mm) en een reageerbuisrek
- etiketten of watervaste stift
- een bekerglas met gedestilleerd water
- een bekerglas van 50 mL met precies 20 mL keukenzoutoplossing (NaCl-oplossing) van 8%
- een spuitje, maatcilinder of pipet van 10 mL
- een grote aardappel
- een scheermes of aardappelschilmesje
- een liniaal

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 6.
- Doe 10 mL gedestilleerd water in reageerbuis 1. De concentratie keukenzout in buis 1 is dan 0%.
- De verschillende concentraties in buis 2 tot en met 6 krijg je door een verdunningsreeks te maken van 8% tot 0,5% keukenzoutoplossing. Begin met 20 mL van een keukenzoutoplossing van 8%. Gebruik voor het afmeten van de hoeveelheden het spuitje van 10 mL en maak dat na ieder gebruik goed schoon met gedestilleerd water.
- Snijd uit de aardappel staafjes van precies 50 mm lang en ongeveer 7 mm breed en dik.
- Doe in iedere reageerbuis een staafje. Zorg ervoor dat in alle buizen het staafje aardappel helemaal in de vloeistof zit.
- Laat de buizen een dag staan en haal dan de staafjes uit de buizen.
- Meet de lengte van elk staafje in millimeter nauwkeurig.

RESULTATEN

- Geef de resultaten weer in een tabel. Noteer de lengte aan het begin, de lengte aan het einde en de lengteverandering. Noteer ook bij ieder staafje of het stevig aanvoelt of niet, ten opzichte van een vers staafje aardappel.
- Maak van de gegevens over de lengteverandering een grafiek.

CONCLUSIE

1 In welk traject van de grafiek bezitten de aardappelcellen turgor?

2 In welk traject van de grafiek is er sprake van plasmolyse?

3 Bepaal de NaCl-concentratie waarbij in het aardappelstaafje in de aardappelcellen grensplasmolyse optreedt. Dit doe je door een rechte lijn te trekken door de eerste drie punten van de grafiek en een rechte lijn te trekken door de laatste drie punten van de grafiek. Op het snijpunt van beide lijnen treedt grensplasmolyse op. Leid je antwoord af uit de grafiek.

4 Welke conclusie kun je trekken?

DISCUSSIE

5 Zijn er veranderingen in lengte of stevigheid van de staafjes opgetreden die je niet had verwacht? Welke verklaring heb je hiervoor?

Practicumopdracht 6

ONDERZOEKSDOEL

1.O.9 Je kunt een proefopstelling ontwerpen met een dialysemembraan waarmee je osmose zichtbaar kunt maken.

- Basisstof 6
- Vaardigheden 6 en 7

Osmose zichtbaar maken

50 minuten

INLEIDING

Een dialysemembraan is een semipermeabel membraan dat wordt gebruikt in kunstnieren. In dit ontwerpend onderzoek toon je osmose aan met behulp van een dialysemembraan, een pipet, suikeroplossing van 10% en water. Je ontwerpt met deze materialen zelf een proefopstelling.

ONDERZOEKSVRAAG

Hoe kun je osmose aantonen met een proefopstelling waarbij je een dialysemembraan, een pipet, suikeroplossing van 10% en water gebruikt?

MATERIAAL

- dialyseslang van ± 15 cm
- elastiekjes
- 10 mL-pipet
- suikeroplossing van 10% met (blauwe) kleurstof
- leidingwater
- bekerglas 1000 mL
- bekerglas 100 mL
- touwtje
- standaard voor pipet

METHODE

- Bedenk wat er gebeurt als je water en een suikeroplossing van 10% scheidt door een semipermeabel membraan.
- Bekijk de materialen. Ontwerp hiermee een proefopstelling om osmose aan te tonen. Gebruik hierbij afbeelding 4. Maak een tekening van je proefopstelling waarin je met een pijl aangeeft in welke richting water zich door osmose gaat verplaatsen.
- Als je je ontwerp klaar hebt, vraag je docent dan om deze te controleren.
- Wanneer je ontwerp in orde is, kun je het gaan uitvoeren. Zorg ervoor dat je het vloeistofniveau in de pipet goed kunt aflezen.

Tip: maak het stukje dialyseslang flink nat en wrijf het zo tussen duim en wijsvinger dat de tegen elkaar geplakte kanten losraken. Zorg ervoor dat je het dialysemembraan onder en boven goed dichtbindt zodat het niet kan lekken.

■ **Afb. 4** Een dialysemembraan met pipet.



RESULTATEN

- Noteer het vloeistofniveau (in mL) in je pipet aan het begin.
- Noteer het vloeistofniveau (in mL) in je pipet na een half uur.
- Bepaal het volume (in mL) waarmee het vloeistofniveau is gestegen of gedaald.

CONCLUSIE

1 Welke conclusie kun je trekken?

DISCUSSIE

2 Wat ging er goed?

3 Wat kon beter?

4 Als de resultaten niet overeenkomen met je verwachting, wat zijn dan mogelijke redenen?

SAMENVATTING

1.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt beschrijven wat biologie is en uitleggen dat biologie op veel gebieden een rol speelt.

- Biologie is een natuurwetenschap en bestudeert organismen (levende wezens).
  - Alle organismen vertonen levensverschijnselen zoals voortplanting, groei, ontwikkeling en stofwisseling.
  - Stofwisseling: alle chemische reacties in een organisme.
  - Een organisme dat geen levensverschijnselen meer vertoont, is dood. Dingen in de natuur die nooit hebben geleefd, zijn levenloos.
- Tussen biologie en andere natuurwetenschappen bestaan overgangsgebieden, zoals: biochemie, biomedische technologie en paleontologie.
- Biologische begrippen vormen met elkaar de biologische vaktaal.
- Een context voor het vak biologie is een situatie waarin biologie een rol speelt.

1.1.2

Je kunt het verschil tussen levensloop en levenscyclus beschrijven.

- Elk organisme (individu) heeft een levensloop. De levensloop begint direct na het ontstaan van het organisme en eindigt met de dood van het organisme.
- Elke soort heeft een levenscyclus, omdat alle individuen van een soort tijdens hun levensloop dezelfde fasen of stadia van ontwikkeling doorlopen. Hoewel individuen van een soort sterven, blijft de soort voortbestaan.
- Soort: organismen die zich onderling kunnen voortplanten en daarbij vruchtbare nakomelingen voortbrengen.

1.1.3

Je kunt de organisatieniveaus van de biologie benoemen en uitleggen dat op elk hoger organisatieniveau emergente eigenschappen kunnen ontstaan.

- Biologen bestuderen biologische systemen op verschillende niveaus: de organisatieniveaus of biologische eenheden.
- Molecuul: bouwstenen van stoffen, bijv. DNA.
  - DNA bevat de erfelijke informatie voor een organisme.
- Organellen zijn onderdelen in een cel met een eigen functie.
- Cel: organismen bestaan uit een of meer cellen.
- Weefsel: een groep van een of meer verschillende celtypen met een gemeenschappelijke functie.
- Orgaan: deel van een organisme met een specifieke bouw en functie.
- Organisme: eencellig of meercellig levend wezen (individu).
- Populatie: groep individuen van dezelfde soort die in een bepaald gebied leven en die zich onderling voortplanten.
- Ecosysteem: een min of meer begrensd gebied dat bestaat uit levende en niet-levende natuur.
- Systeem aarde: het geheel aan ecosystemen op aarde.
- Emergente eigenschap: als er op een hoger organisatieniveau een nieuwe eigenschap ontstaat die er op het lagere organisatieniveau niet is.
- Interactie: biologische eenheden reageren op elkaar en op de invloeden uit hun omgeving.

1.2.1 BASISSTOF 2

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

- Orgaanstelsel: een aantal organen dat samen een bepaalde functie uitoefent.
  - Bijv. verteringsstelsel en beenderstelsel.
- Organen in de romp van een mens zijn bijv.: lever, maag, strottenhoofd, long, hart, middenrif, dikke darm, dunne darm, wervel, rib, borstbeen, galblaas, lever, nier, aorta.

1.2.2

Je kunt beschrijven dat groepen cellen in een weefsel, orgaan of orgaanstelsel een gezamenlijke functie uitoefenen.

- De vorm van cellen hangt samen met de functie.
- Organen zijn opgebouwd uit weefsels.
  Soorten weefsels, bijv.: dekweefsel (zie *BiNaS* tabel 80B), zenuwweefsel, spierweefsel (80E) en bindweefsel (80D).
- Bij veel weefsels liggen de cellen niet direct tegen elkaar aan, maar komt tussencelstof voor. Het soort tussencelstof hangt samen met de functie van het weefsel. Tussencelstof zorgt voor stevigheid in plantaardig weefsel (celwanden) en in beenweefsel bij dieren.

1.2.3

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

- Bij organismen is er een verband tussen de vorm en de functie van de biologische eenheden waaruit ze zijn opgebouwd.
  - Langwerpige, holle botten bij de mens: zijn licht en stevig.
  - Beenbalkjes in de kop van een dijbeen: maken het been licht en geven stevigheid.
  - Gewelfde vorm van de botten in de voeten: draagt het gewicht en vangt schokken op.
  - Gestroomlijnde lichaamsvorm bij diersoorten die in het water leven: weinig weerstand.

1.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt een microscoop gebruiken en daarmee (delen van) organismen bestuderen.

- Bij een lichtmicroscoop valt licht van onder door een preparaat.
  - De vergroting van een lichtmicroscoop is de vergroting van het oculair × de vergroting van het objectief.
- Bij een elektronenmicroscoop wordt gebruikgemaakt van een elektronenbundel en het beeld verschijnt op een computerscherm. De beelden worden vaak ingekleurd.
  - Met een TEM (transmissie-elektronenmicroscoop) is geen diepte te zien.
  - Met een SEM (rasterelektronenmicroscoop) is wel diepte te zien.

1.3.2

Je kunt delen van dierlijke cellen en van plantaardige cellen benoemen en de functies ervan beschrijven.

- *BiNaS* tabel 79B Plantaardige cel, 79C Dierlijke cellen.
- Celwand: tussencelstof om de cel heen.
  - Een celwand behoort niet tot de cel en zorgt voor stevigheid.
- Celmembraan: scheidt het inwendige van de cel, het cytoplasma (celplasma), van het milieu buiten de cel.
- Cytoplasma bestaat uit grondplasma (water en opgeloste stoffen) met daarin allerlei organellen.
- Grondplasma bestaat uit water met daarin opgeloste stoffen.
- De celkern is omgeven met het kernmembraan en bevat kernplasma.
- Vacuole: blaasje in het cytoplasma dat is omgeven door een vacuolemembraan en gevuld met vacuolevocht.
  - Speelt een belangrijke rol bij de stevigheid van de cel en kan kleurstoffen bevatten.
- Plastiden:
  - Chloroplasten (bevatten chlorofyl).
  - Chromoplasten (bevatten kleurstoffen).
  - Leukoplasten dienen om stoffen als zetmeel, vet en eiwitten op te slaan.
  - Sommige plastiden kunnen overgaan in andere plastiden.
- Dierlijke cellen bevatten geen grote centrale vacuole en geen plastiden en om dierlijke cellen ligt geen celwand.

1.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt een cel beschrijven als zelfstandig functionerende biologische eenheid.

- *BiNaS* tabel 79D Enkele organellen van de cel.
- In het kernplasma liggen chromosomen.
  - Chromosomen bestaan uit moleculen DNA die rondom eiwitten zijn gewikkeld.
  - DNA bevat genen met informatie over de erfelijke eigenschappen van een organisme.
  - Kernporiën: openingen die het transport van stoffen in en uit het kernplasma regelen.
- Ribosomen: bolvormige organellen, op het endoplasmatisch reticulum of vrij in het cytoplasma.
  - Functie: eiwitsynthese op basis van de informatie in het DNA.
  - Kernlichaampje: plaats in het kernplasma waar delen van ribosomen worden gemaakt.

- Endoplasmatisch reticulum (ER): netwerk van dubbele membranen dat is aangesloten op het kernmembraan.
  - Ruw endoplasmatisch reticulum (RER) heeft ribosomen. Functie: transport van eiwitten en het afsnoeren van blaasjes mogelijk maken.
  - Glad endoplasmatisch reticulum (GER) heeft geen ribosomen. Functie: verschilt per celtype, bijv. vetten of hormonen maken.
- Golgisysteem: opgestapelde platte membranen in het cytoplasma.
  - Functie: eiwitten bewerken tot de uiteindelijke vorm en verpakken in blaasjes, en productie van lysosomen.
  - Eiwitten kunnen buiten de cel worden afgegeven (exocytose) of binnen de cel worden gebruikt.
- Lysosomen: blaasjes in de cel die enzymen bevatten.
- Mitochondriën: ovaalvormige organellen met dubbele membranen, waarvan het binnenmembraan sterk is geplooid (oppervlaktevergroting).
  - Functie: energie beschikbaar maken voor de cel met behulp van zuurstof (verbranding).
  - De beschikbare energie wordt opgeslagen en vervoerd door ATP-moleculen.
- Chloroplasten (bladgroenkorrels): organellen met dubbel membraan.
  - Functie: fotosynthese. Koolstofdioxide en water worden, met behulp van lichtenergie, omgezet in glucose en zuurstof.
  - In chloroplasten komen veel gestapelde platte blaasjes voor met daartussen verbindingen.
  - In deze membranen liggen de enzymen voor fotosynthese.

1.4.2

Je kunt beschrijven hoe transport van stoffen via (cel) membranen plaatsvindt.

- Transport via blaasjes.
  - Exocytose: afsnoeren van blaasjes door het celmembraan om eiwitten of afvalstoffen naar buiten de celte transporteren.
  - Secretie: het afgeven van stoffen door cellen.
  - Endocytose: afsnoeren van blaasjes door het celmembraan om stoffen in de cel op te nemen.

1.4.3

Je kunt de bouw en functie van het cytoskelet en het celmembraan beschrijven.

- Cytoskelet: een netwerk van eiwitvezels in cellen zorgt ervoor dat:
  - de cel zijn vorm behoudt
  - de organellen op hun plaats blijven
  - de vorm van een cel kan veranderen
  - sommige cellen zich kunnen verplaatsen (schijnvoetjes)
- Ciliën en flagellen behoren tot het cytoskelet:
  - Ciliën: receptoreiwitten met een signaalfunctie of functie bij de voortbeweging.
  - Flagellen: zweepharen die dienen voor de voortbeweging.
- Motoreiwitten: verplaatsen zich langs het cytoskelet en transporteren blaasjes, zoals lysosomen, met daarin eiwitten.
- Celmembraan: een dubbele laag fosfolipiden, met daarin eiwitmoleculen en cholesterol (voor stevigheid).
  - Een fosfolipidemolecuul bestaat uit een hydrofiele kop (fosfaatgroep, polair) en een hydrofobe staart (vetzuurstaart, apolair).
  - Polaire en apolaire stoffen stoten elkaar af. Vet (apolair) en water (polair) mengen bijv. niet.
  - Sommige fosfolipiden en eiwitten (receptoreiwitten) bezitten koolhydraatketens voor herkenning.

1.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt de concentratie van een oplossing berekenen.

- Concentratie geeft de hoeveelheid opgeloste stof in een bepaalde hoeveelheid oplosmiddel aan.
  - De hoeveelheid opgeloste stof kan worden aangegeven in gram per volume ($g \cdot L^{-1}$), in massaprocenten (%) of bij lage concentraties in ppm.

1.5.2

Je kunt uitleggen wat diffusie en osmose is en toelichten welke rol osmose speelt bij de stevigheid van planten.

- Diffusie: verplaatsing van een stof van een plaats met een hoge concentratie naar een plaats met een lage concentratie van die stof.
  - Diffusie wordt veroorzaakt door beweging van moleculen.
  - Diffusie vindt plaats in vloeistoffen en gassen. Uiteindelijk zijn alle stoffen gelijkmatig over de ruimte verdeeld (concentraties overal in de ruimte gelijk).

- Osmose: diffusie van water door een semipermeabel (selectief permeabel) membraan.
  - Een semipermeabel membraan laat wel water door, maar niet de opgeloste stof.
  - Bij osmose treedt waterverplaatsing op, door het semipermeabel membraan, van een plaats met een lage osmotische waarde naar een plaats met een hoge osmotische waarde.
  - De osmotische waarde van een oplossing wordt bepaald door de totale concentratie opgeloste deeltjes.
  - Osmotische druk: de druk die de oplossing met de laagste osmotische waarde uitoefent op de andere oplossing.
  - De grootte van de osmotische druk wordt bepaald door het verschil in de concentratie van opgeloste deeltjes tussen de beide oplossingen aan weerszijden van het semipermeabel membraan.
  - Aquaporines: speciale eiwitten in sommige celmembranen (aqua = water, porine = porie) voor een snel transport van watermoleculen.
- Een dierlijke cel in een oplossing:
  - met een gelijke osmotische waarde (isotoon) als die van het cytoplasma behoudt zijn vorm;
  - met een lagere osmotische waarde (hypotoon) dan die van het cytoplasma, neemt water op en kan barsten;
  - met een hogere osmotische waarde (hypertoon) dan die van het cytoplasma geeft water af en krimpt.
- Celwanden van plantaardige cellen zijn permeabel voor water (met opgeloste stoffen).
- Onder normale omstandigheden (voldoende water beschikbaar voor de plant) is de osmotische waarde van het grondplasma hoger dan die van de vloeistof in de celwanden.
  - Turgor: de druk van het grondplasma op de celwand. Een hogere osmotische waarde in het grondplasma dan in de celwand veroorzaakt een osmotische druk van de celwand in de richting van de cel, waardoor de cel stevig is.
- Als het vocht in de celwanden een hogere osmotische waarde heeft dan het grondplasma, stroomt door osmose water de cel uit. De turgor daalt en de osmotische waarde van het grondplasma stijgt.
  - Grensplasmolyse: de situatie waarbij de turgor net nul is en het celmembraan nog tegen de celwand aan ligt.
  - Plasmolyse: de cel krimpt door osmose zo ver dat het celmembraan loslaat van de celwand.

1.5.3

Je kunt beschrijven hoe transport van stoffen via (cel) membranen plaatsvindt.

- Transport van apolaire stoffen zoals zuurstof, koolstofdioxide en vetoplosbare stoffen vindt plaats door diffusie dwars door de fosfolipidenlagen heen.
- Het celmembraan vormt de scheiding tussen de cel en zijn omgeving.
  - Celmembranen en membranen van organellen zijn semipermeabel (selectief permeabel).
  - Transportkanaaltjes: membraaneiwitten die de opname en afgifte van veel stoffen reguleren.
  - Aquaporines: transportkanaaltjes voor het transport van water door membranen.
  - Ionkanaaltjes: transportkanaaltjes voor het transport van ionen, bijv. Na^+, K^+ en Ca^+.
- Het transport van stoffen is afhankelijk van het concentratieverschil.
- Passief transport: transport van stoffen door membraaneiwitten waarbij geen energie nodig is.
  - Verloopt met het concentratieverval mee.
  - Vormen van passief transport: diffusie, osmose, transport via transportkanaaltjes en bepaalde transporteiwitten.
  - Transporteiwitten kunnen bepaalde moleculen binden en door passief transport opnemen of afgeven.
- Actief transport: transport van stoffen door bepaalde transporteiwitten. Er is energie (ATP) voor nodig.
  - Actief transport verloopt tegen het concentratieverval in.

1.6.1 BASISSTOF 6

Je kunt verschillende typen en methoden van natuurwetenschappelijk onderzoek beschrijven.

- Literatuuronderzoek is een methode om bestaande kennis over een onderwerp te verzamelen.
- Beschrijvend onderzoek: de onderzoeker verzamelt observaties en/of metingen (data) die tot een conclusie kunnen leiden.
- Hypothesetoetsend onderzoek: een onderzoeker bedenkt een onderzoeksmethode om een hypothese te toetsen.

- Voorbeelden van onderzoeksmethoden: experiment, interview, enquête.
  - Hypothesetoetsend onderzoek onderzoekt een verband tussen oorzaak en gevolg.
  - Een hypothese is het meest waarschijnlijke antwoord op een onderzoeksvraag die wordt getoetst met een onderzoeksmethode.
  - Steekproef: onderzoekers selecteren een representatief deel van de te onderzoeken groep.
- Ontwerpend onderzoek: een onderzoeker ontwikkelt materialen, instrumenten, modellen of systemen naar aanleiding van een ontwerpvraagstuk.

1.6.2

Je kunt een natuurwetenschappelijk onderzoek opzetten, uitvoeren en de resultaten ervan analyseren en daaruit conclusies trekken.

- Fasen van een natuurwetenschappelijk onderzoek:
  - Literatuuronderzoek is een oriëntatie op het vraagstuk.
  - Onderzoeksvraag: beschrijft een natuurwetenschappelijk vraagstuk waarop een antwoord wordt gezocht.
  - Hypothese: geeft het meest waarschijnlijke antwoord op de onderzoeksvraag.
- In een werkplan beschrijf je hoe je je onderzoek gaat uitvoeren en maak je een lijst van de materialen die je nodig hebt.
- Experiment: de fase van de uitvoering van het onderzoek waarin je toetst of de opgestelde hypothese juist is of onjuist. Je stelt een werkplan op voor een experiment:
  - Bij een experiment wordt vaak gewerkt met een of meerdere experimenteergroepen en een controlegroep (de blancoproef).
  - Per experiment wordt één factor tegelijk onderzocht, alle andere omstandigheden zijn gelijk.
  - Om betrouwbare gegevens te krijgen, bestaan alle groepen uit grote aantallen.
  - Resultaten: verzamelde observaties of (meet)gegevens geef je overzichtelijk weer.
  - Conclusie: je geeft antwoord op de onderzoeksvraag en je verwerpt of bevestigt de hypothese.
  - Discussie: je probeert de resultaten van je onderzoek te verklaren en je gaat in op de beperkingen van je onderzoek.

1.6.3

Je kunt een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren.

- Bij ontwerpend onderzoek ontwikkelt een onderzoeker materialen, instrumenten, modellen of systemen.
- Fasen van een ontwerpend onderzoek:
  - De onderzoeker bedenkt hoe het product eruit moet zien en aan welke eisen het moet voldoen.
  - Een testversie (prototype) van het product wordt gebouwd.
  - De testversie wordt geëvalueerd en de eisen bijgesteld.
  - De definitieve versie van het product wordt gebouwd.

SAMENHANG

1.S.1 **Je kunt verschillende typen van natuurwetenschappelijk onderzoek toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.**

1.S.2 **Je kunt de biologische vakvaardigheden ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op planten en dieren.**

ONDERZOEK – VAARDIGHEDEN

1.O.1 **Je kunt een microscoop gebruiken en daarmee (delen van) organismen bestuderen.**

1.O.2 **Je kunt een tekening van (een deel van) een organisme maken en de delen aangeven.**

1.O.3 **Je kunt de concentratie van een oplossing berekenen.**

1.O.4 **Je kunt een werkplan schrijven voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek.**

1.O.5 **Je beschrijft de fasen en resultaten van je onderzoek in een verslag volgens het werkplan dat je hebt opgesteld.**

ONDERZOEK – PRACTICA

1.O.6 **Je kunt de zichtbare delen van een plantencel herkennen en benoemen.**

1.O.7 **Je kunt de zichtbare delen van een dierlijke cel herkennen en benoemen.**

1.O.8 **Je kunt het effect van een hypertone en hypotone oplossing op een plantencel beschrijven.**

1.O.9 **Je kunt een proefopstelling ontwerpen met een dialysemembraan waarmee je osmose zichtbaar kunt maken.**

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

EXAMENOPGAVEN

HUIDMONDJES IN DE MIDDELEEUWEN

Bron: examen vwo 2021-2, vraag 23.

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

2p **1** Krimpt het blad als gevolg van verlies aan turgor? En krimpt het blad als gevolg van voortschrijdende plasmolyse?

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

VEROUDERING EN VERJONGING

Bron: examen vwo 2021-2, vraag 36.

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

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

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

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

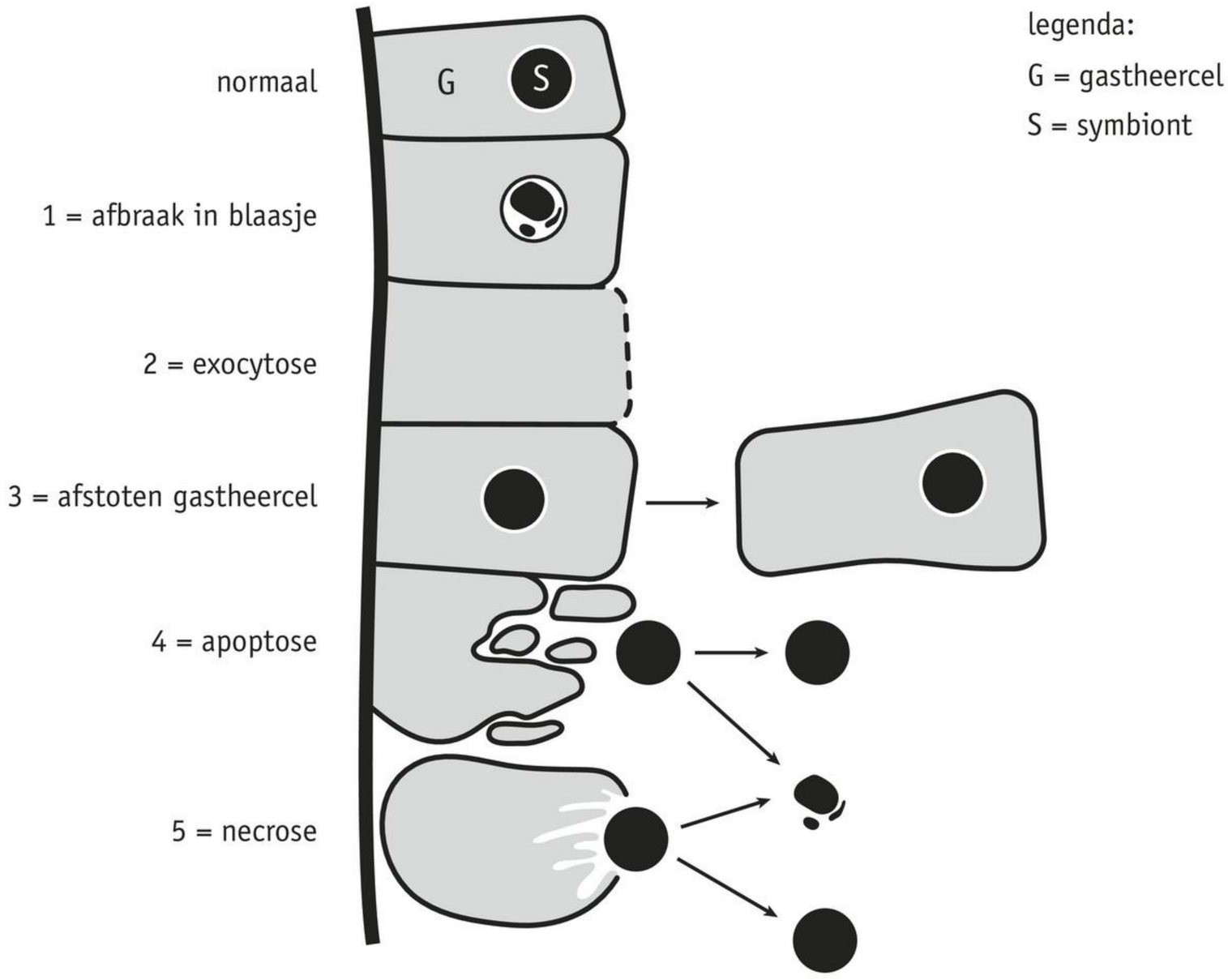
KORAALVERBLEKING

Bron: examen vwo 2021-3, vraag 8.

Koraalriffen in tropische oceanen zijn de grootste structuren die door organismen op aarde zijn gevormd. Deze waardevolle ecosystemen worden in hun voortbestaan bedreigd door klimaatverandering.

Koraalriffen worden opgebouwd door kolonievormende koraaldiertjes. De koraaldiertjes hebben een bekervormig uitwendig skelet van kalk ($CaCO_3$), waarmee ze zijn vastgehecht aan elkaar en aan de ondergrond. Het rif groeit doordat de kalkskeletten steeds boven elkaar worden afgezet.
Elk koraaldiertje heeft rondom de mondopening een ring van tentakels met netelcellen, waarmee het plankton en kleine diertjes uit het water vangt. De koraaldiertjes leven bijna allemaal in symbiose met verschillende soorten zoöxanthellen. Deze eencellige algen horen alle tot het geslacht *Symbiodinium*.
Zoöxanthellen leven in cellen van de tentakels van de koraaldiertjes en produceren daar organische stoffen en zuurstof, die door de koraaldiertjes worden gebruikt.
De verstoring van de fotosynthese leidt tot een ophoping van schadelijke zuurstofverbindingen, zoals H_2O_2, waardoor de koraalcellen hun zoöxanthellen afstoten om celbeschadiging te voorkomen.
Er zijn verschillende manieren waarop koraaldiertjes hun schadelijke zoöxanthellen kunnen verwijderen (zie afbeelding 1). De afbeelding is niet compleet: de tekening laat nog niet zien hoe de exocytose van de symbiont (nummer 2) gaat.

■ **Afb. 1** Verschillende manieren waarop koraaldiertjes hun schadelijke zoöxanthellen kunnen verwijderen.



2p **3** Neem de schets van nummer 2 over en maak de tekening af. Hanteer dezelfde stijl die is gebruikt bij de andere tekeningen.

ANTIVRIESEIWITTEN

Naar: examen vwo 2021-3, vraag 10, 12, 14.

De Amerikaanse onderzoeker Arthur DeVries ontdekte dat poolvissen aanpassingen hebben die voorkómen dat ze bevriezen in het ijskoude water.

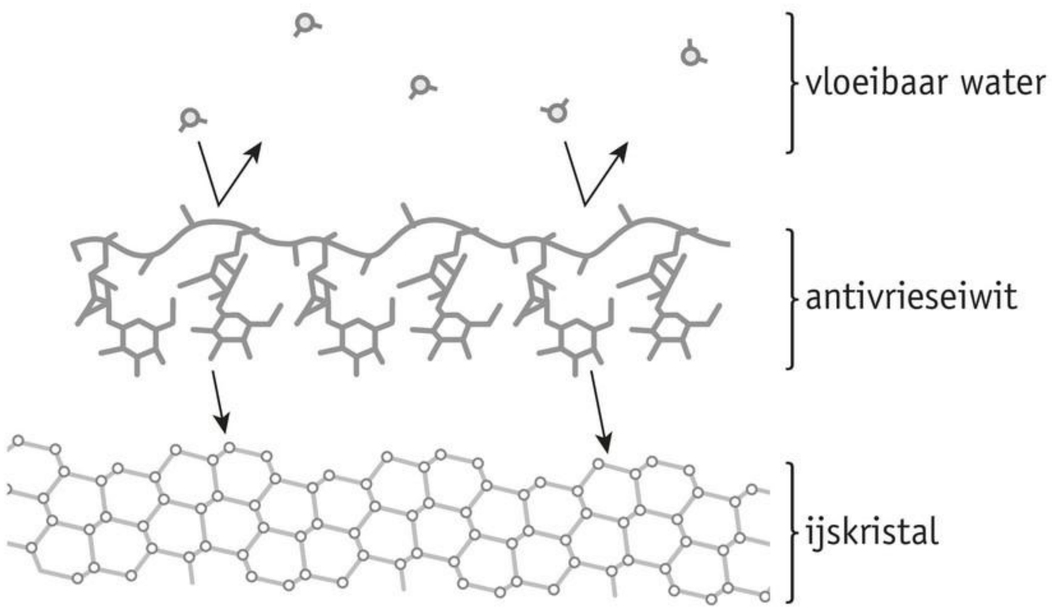
Rond Antarctica, waar de watertemperatuur gemiddeld –1,9 °C is, vormen zich ijskristallen in het water. In dit ijskoude water zijn aangepaste vissen te vinden, met antivrieseiwitten in hun lichaam. Zonder deze antivrieseiwitten zouden in het lichaam van deze koudbloedige vissen ijskristallen ontstaan die schade aanrichten doordat ze membranen van cellen kapot prikken.

2p **4** IJsvorming in het bloedplasma kan leiden tot osmotische problemen voor de bloedcellen, omdat ijskristallen veel minder zout bevatten dan vloeibaar water.
Wordt het bloedplasma bij ijsvorming hyper- of hypotoon ten opzichte van het cytoplasma van de bloedcellen? En wat is het gevolg van deze osmotische verandering voor de bloedcellen?

	het bloedplasma wordt	de bloedcellen
A	hypertoon	knappen
B	hypertoon	krimpen
C	hypotoon	knappen
D	hypotoon	krimpen

Een ijskristal ontstaat meestal uit een zoutdeeltje en een paar watermoleculen. Het ijskristal groeit daarna doordat er steeds meer watermoleculen aan vasthechten. Antivrieseiwitten binden zich vermoedelijk aan de ijskristallen door de vorming van waterstofbruggen en verhinderen vervolgens de groei van het ijskristal. De mogelijke werking van antivrieseiwitten is schematisch weergegeven in afbeelding 2.

■ **Afb. 2** Mogelijke werking van antivrieseiwitten.



2p **5** De werking van het antivrieseiwit in afbeelding 2 kan worden verklaard door de moleculaire eigenschappen van dit eiwit.
Licht toe dat dit antivrieseiwit zowel een hydrofiele als een hydrofobe zijde nodig heeft om functioneel te kunnen zijn.

2p **6** Antivrieseiwitten (AFGP's, van 'antifreeze glycoprotein') komen veel voor in poolvissen. Het AFGP-gen bevat ook de code voor een signaalpeptide. Een signaalpeptide bevindt zich aan het begin van de eiwitketen. Als de synthese van het eiwit aan de ribosomen is voltooid, bepaalt het signaalpeptide waar het eiwit terechtkomt. AFGP wordt uiteindelijk via exocytose uitgescheiden.
Komt AFGP na synthese terecht in het ER of in het grondplasma? En welk organel verzorgt het versturen van de blaasjes met AFGP naar de celmembraan?

	AFGP komt terecht in	**organel dat verstuurt**
A	grondplasma	golgi-systeem
B	grondplasma	lysosoom
C	ER	golgi-systeem
D	ER	lysosoom

STRESS VERSNELT EVOLUTIE VAN MEXICAANS VISJE

Naar: examen vwo 2018-1, vraag 15.

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

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

Vissen doen aan osmoregulatie door netto meer of minder zouten op te nemen via de kieuwen en uit het voedsel in de darmen. Ook kunnen ze de mate van reabsorptie van zouten uit de voorurine regelen.
Wanneer de Mexicaanse tetra *Astynax mexicanus* migreert van een bovengrondse naar een ondergrondse rivier moet hij zich snel aanpassen aan de veranderde osmotische waarde van zijn nieuwe leefomgeving.

2p **7** Op welke wijze kan zo'n migrerende riviertetra zijn osmotische waarde trachten te handhaven in de grotten?

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

Ga naar de *Examentrainer*.

NOTITIES