

# 3

# Erfelijkheid en evolutie

Eigenschappen erven over van ouders op kinderen. Toch hoeft je helemaal niet op je broer of zus te lijken. Door veranderingen in erfelijke eigenschappen zijn veel verschillende soorten planten en dieren ontstaan.

## INTRODUCTIE

Opdrachten voor kennis	172
Voorkennistoets	
Filmpjes voor kennis	



## BASISSTOF

1 Genotype en fenotype	174
2 Genen	179
3 Kruisingen	185
4 Stambomen	192
5 Variatie in genotypen	196
6 Evolutie	203
7 Verwantschap	211
8 DNA-technieken (SE)	221
Samenhang	226
<i>Detoxduiven op de Dam</i>	



## EXTRA STOF

9 Kleur bij katten	
10 Klonen	

## ONDERZOEK

Leren onderzoeken	229
Practica	231

## AFSLUITING

Samenvatting	232
Flitskaarten	
Diagnostische toets	



## EXAMENOPGAVEN



239
-----





# Wat weet je al over erfelijkheid en evolutie?

## LEERDOELEN

- 1 Je kunt de verschillen uitleggen tussen geslachtelijke en ongeslachtelijke voortplanting.
- 2 Je kunt benoemen dat alle cellen van je lichaam dezelfde erfelijke informatie bevatten.
- 3 Je kunt uitleggen wat genotype en fenotype zijn.
- 4 Je kunt de verschillen benoemen tussen mitose en meiose.
- 5 Je kunt benoemen dat soorten verwant zijn als ze een gemeenschappelijke voorouder hebben.

In de onderbouw heb je al geleerd over onderwerpen die te maken hebben met erfelijkheid en evolutie. Je hebt deze kennis nodig voor dit thema. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

## OPDRACHTEN VOORKENNIS

1

Over welk type voortplanting gaat de zin?

- a Twee geslachtscellen versmelten.
  - A geslachtelijke voortplanting
  - B ongeslachtelijke voortplanting
  - C beide
- b Er vindt bevruchting plaats.
  - A geslachtelijke voortplanting
  - B ongeslachtelijke voortplanting
  - C beide
- c De nakomelingen hebben dezelfde erfelijke eigenschappen als de ouders.
  - A geslachtelijke voortplanting
  - B ongeslachtelijke voortplanting
  - C beide
- d De nakomelingen hebben verschillende erfelijke eigenschappen.
  - A geslachtelijke voortplanting
  - B ongeslachtelijke voortplanting
  - C beide

2

In afbeelding 1 is schematisch weergegeven hoe geslachtelijke voortplanting verloopt. Zet de juiste woorden bij de nummers. Gebruik daarbij: *bevruchte eicel – bevruchting – celkern – chromosoom – zaadcel*.

1 = .....

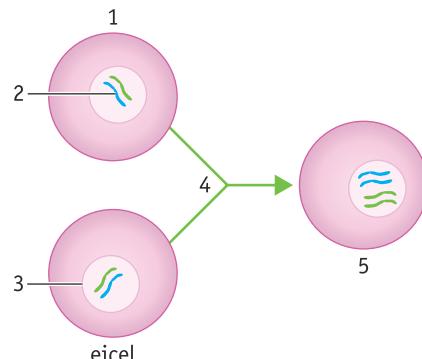
2 = .....

3 = .....

4 = .....

5 = .....

Afb. 1 Geslachtelijke voortplanting.

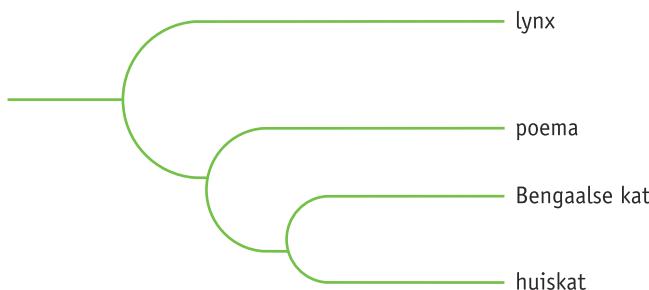


- 3** Welk woord hoort bij de omschrijving? Het aantal letters is al gegeven.
- 1 In deze cel komen de chromosomen enkelvoudig voor (12 letters). ....
  - 2 Mannelijk geslachtschromosoom (1 letter). ....
  - 3 Lange dunne ‘draden’ in de celkern (11 letters). ....
  - 4 Stof die de informatie bevat voor erfelijke eigenschappen (3 letters). ....
  - 5 De stukjes DNA die samen de erfelijke informatie bevatten voor een erfelijke eigenschap (3 letters). ....
  - 6 De informatie voor de erfelijke eigenschappen van een organisme (8 letters). ....
  - 7 Alle eigenschappen van een organisme, zoals het uiterlijk (8 letters). ....

- 4** Vergelijk de gewone celdeling met de reductiedeling.
- 1 Een andere naam voor de gewone celdeling is *meiose / mitose*.  
Een andere naam voor de reductiedeling is *meiose / mitose*.
  - 2 Bij de reductiedeling worden *geslachtscellen / lichaamscellen* gevormd.  
Bij de gewone celdeling worden *geslachtscellen / lichaamscellen* gevormd.
  - 3 In de dochtercellen komen de chromosomen in paren voor.  
*gewone celdeling / reductiedeling*
  - 4 Eerst gaan de chromosomen van elk paar uit elkaar en daarna de DNA-ketens van elk chromosoom.  
*gewone celdeling / reductiedeling*
  - 5 Het doel van deze celdeling is de vorming van nieuwe cellen voor groei, vervanging en herstel.  
*gewone celdeling / reductiedeling*

- 5** In afbeelding 2 zie je een gedeelte uit een stamboom van katachtigen.
- a Welke gemeenschappelijke voorouder leefde het kortst geleden?  
*de voorouder van de lynx en de huiskat / Bengaalse kat en de huiskat*
  - b Welke katachtige is het meest verwant aan de huiskat? En welke het minst?
    - 1 Het meest verwant aan de huiskat is de *Bengaalse kat / lynx / poema*.
    - 2 Het minst verwant aan de huiskat is de *Bengaalse kat / lynx / poema*.
  - c Hoe meer het DNA van twee soorten overeenkomt, hoe *korter / langer* geleden hun gemeenschappelijke voorouder leefde.
  - d Van welke katachtige komt het DNA het meest overeen met dat van de lynx?  
*Bengaalse kat / lynx / poema*

Afb. 2 Stamboom van katachtigen.



Ga naar de Voorkennistoets en de Filmpjes.

# 1 Genotype en fenotype

## LEERDOELEN

- 3.1.1 Je kunt omschrijven wat een genotype, wat een fenotype en wat een gen is.
- 3.1.2 Je kunt beschrijven hoe organismen informatie over erfelijke eigenschappen overdragen aan hun nakomelingen via chromosomen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	3.1.1	3.1.2	1.0.3**
Onthouden	1b, 7a		
Begrijpen	1a, 3, 7b	2, 3	
Toepassen	4, 5abc	6, 7d	5e
Analyseren	7ce		5d

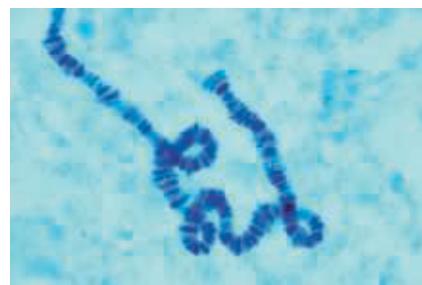
\*\* Dit leerdoel vind je in een ander thema.

**'Wat lijkt jij veel op je vader.' 'Je bent precies je moeder.'** Deze opmerkingen heb je misschien weleens gehoord van familie of vrienden. Ze gaan over je erfelijke eigenschappen.

## CHROMOSOOM, GEN EN ALLEL

De celkern van elke lichaamscel van een mens bevat 46 chromosomen. Chromosomen bestaan uit DNA. Deze stof bevat de informatie voor alle erfelijke eigenschappen van een organisme. De stukjes DNA die samen de informatie bevatten voor één eigenschap, noem je een **gen**. Elk chromosoom bevat een groot aantal genen. Met een speciale microscoop zijn de stukjes DNA van genen zichtbaar als banden of strepen (zie afbeelding 1). De twee chromosomen van een chromosomenpaar bevatten informatie voor dezelfde erfelijke eigenschappen.

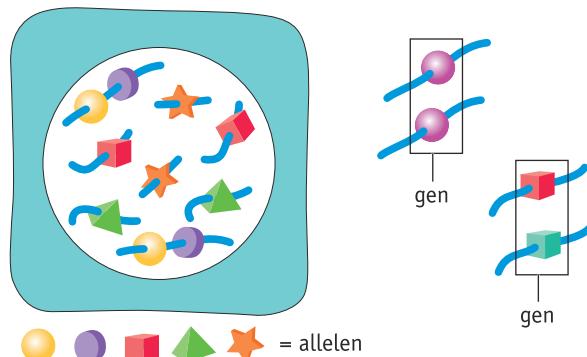
Afb. 1 Chromosoom (microscopische foto).



Genen kunnen 'aan' of 'uit' staan in een cel. In de cellen van je haarzakjes staat het gen voor haarkleur aan, maar in je levercellen niet. Cellen verschillen dus van elkaar doordat niet in elke cel alle genen aan staan.

Elk gen bestaat uit twee **allelen**, één op elk chromosoom (zie afbeelding 2). De twee allelen van een gen kunnen verschillen. Het gen voor haarkleur bijvoorbeeld kan bestaan uit één allele 'bruin haar' en één allele 'rood haar'. Een allele is dus een bepaalde variant van een gen, bijvoorbeeld zwart, bruin, blond of rood haar.

Afb. 2 Lichaamscel met chromosomen, genen en allelen (schematisch).

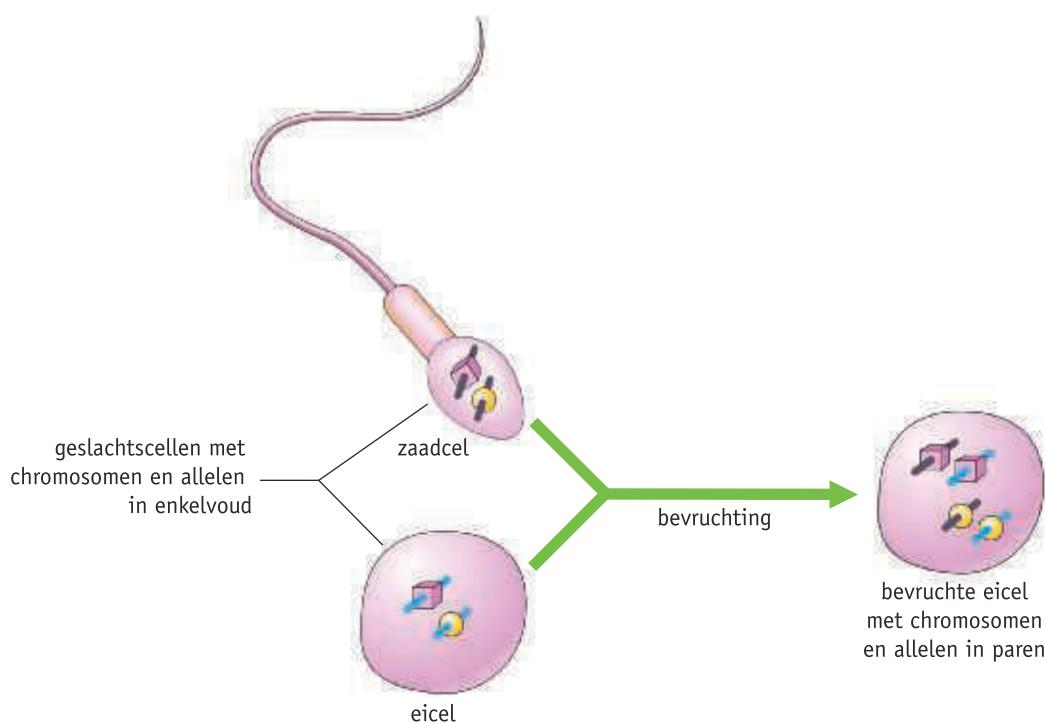


### HOE ONTSTAAT HET GENOTYPE?

De informatie voor alle erfelijke eigenschappen samen noem je het **genotype** van dat organisme. Het genotype wordt bepaald op het moment dat een eicel wordt bevrucht door een zaadcel. Bij de bevruchting komen de chromosomen van een zaadcel en de chromosomen van een eicel bij elkaar. Daardoor bevat de bevruchte eicel weer chromosomenparen (zie afbeelding 3). Elk gen bestaat dan uit een allel van de vader en een allel van de moeder.

Alle genen samen zijn het genotype van het nieuwe organisme. De bevruchte eicel groeit door middel van mitose (gewone celdeling) uit tot een nieuw organisme. Bij mitose verandert het genotype van lichaamscellen niet. Het genotype blijft dus een heel leven lang hetzelfde.

**Afb. 3** Na de bevruchting bestaat elk gen weer uit twee allelen.



### HOE ONTSTAAT HET FENOTYPE?

Alle eigenschappen van een organisme noem je het **fenotype** van dat organisme. Bij het fenotype horen de zichtbare eigenschappen, zoals je oogkleur. Maar ook de onzichtbare eigenschappen horen erbij, zoals je bloeddruk, je karakter en de bouw van je organen. Doordat iedereen een ander genotype heeft, zien mensen er heel verschillend uit.

Het fenotype kan veranderen. Zwart haar kun je rood laten verven. De kleur van je haar verandert dan, maar je genotype blijft hetzelfde. Het haar dat nieuw aangroeit, is daarom weer zwart. Je bezit nog steeds het genotype voor zwart haar. Deze erfelijke informatie kun je ook doorgeven aan je kinderen. Het maakt dan niet uit of je haar is geverfd of niet.

Het fenotype wordt bepaald door je genotype, maar ook je leefstijl en de omgeving hebben er invloed op. Het fenotype kan door allerlei oorzaken veranderen, zonder dat het genotype verandert. De oorzaken van deze veranderingen noem je invloeden uit het milieu. Invloeden uit het milieu zijn bijvoorbeeld de mensen waar je mee omgaat, zon (of geen zon) en wat je eet en drinkt. Het fenotype van een organisme komt tot stand door het genotype en door invloeden uit het milieu.

## KENNIS

- 1**

  - a Elk chromosoom bevat één gen / meerdere genen.
  - b De informatie voor de erfelijke eigenschappen van een organisme heet het *genotype* / *fenotype*.  
Alle eigenschappen van een organisme heet het *genotype* / *fenotype*.

- 2** Vul achter elke cel in hoeveel allelen er zijn per erfelijke eigenschap (per gen).

Bevruchte eicel:

Eicel:

Lichaamscel:

Zaadcel:

3 Samenvatting



Zet de volgende begrippen onder elkaar, van groot naar klein. Omschrijf bij elk begrip in eigen woorden wat het betekent. Je mag ook een voorbeeld gebruiken of een tekening.  
*allel – celkern – chromosomen – fenotype – gen – genotype*

INZICHT

**Maak de volgende opdrachten in je schrift.**

- 4** Welke eigenschappen zijn erfelijk? Kies uit: *behaarde bladeren – bladeren die slap hangen – bladeren met stekels – blauwe ogen – huid met weinig rimpels door botoxinjecties – kort haar – litteken – piercings in het gezicht – rode bloemen – wipneus – zwaar lichaam door speciale voeding.*

**5**

In afbeelding 4 zie je een hortensia, een struik die in veel tuinen voorkomt. De kleur van de bloemen is niet altijd hetzelfde. Ze kunnen roze, wit, paars of blauw worden. In zure grond worden de bloemen blauw. Als de grond niet zuur is, zijn de bloemen roze. Tuinliefhebbers voegen kalk aan de grond toe om de grond minder zuur te maken. Zo krijgen ze roze bloemen aan de plant.

- a** Een tuinliefhebber heeft in de tuin een hortensia met roze bloemen.  
Welke twee factoren bepalen de kleur van de bloemen?
- b** Een tuinder snijdt een stekje van de plant af en geeft dat cadeau aan een vriend. De vriend zet het stekje in de tuin. Het jaar daarop komen er blauwe bloemen aan de plant. Is het genotype van de nieuwe plant anders dan het genotype van de oorspronkelijke plant? Leg je antwoord uit.
- c** Leg uit waardoor het fenotype van de plant is veranderd.
- d** Sommige mensen denken dat grond zuurder wordt als je er roestige spijkers in stopt. Beschrijf een proef waarmee je kunt onderzoeken of dit idee juist is. Beschrijf ook het resultaat van de proef als het idee juist is.
- e** Voordat je een onderzoek start, formuleer je een onderzoeksvraag, een hypothese en een verwachting.  
Bij welke stap van een onderzoek hoort het idee dat roestige spijkers de grond zuurder maken?

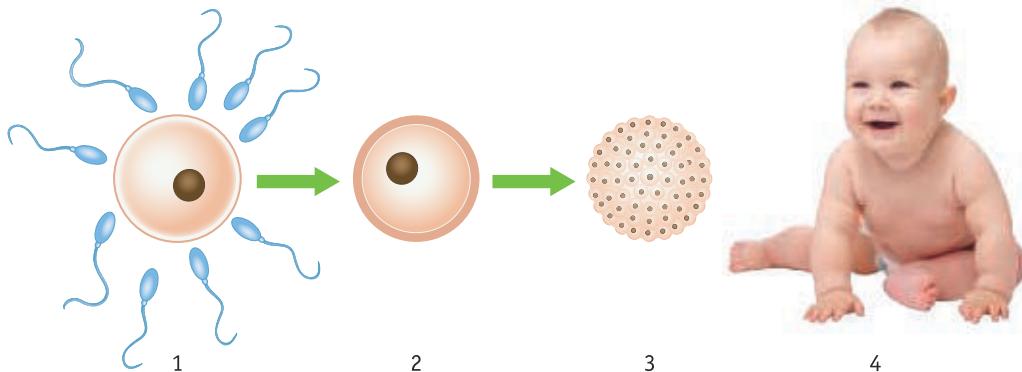
**Afb. 4** Een bloeiende hortensia.

**6**

In afbeelding 5 zie je de bevruchting en de ontwikkeling van de bevruchte eicel tot een baby.

- a** Tussen welke twee stappen komt het genotype tot stand? Leg je antwoord uit.
- b** Zijn de genen in een spiercel van deze baby gelijk aan de genen in de bevruchte eicel, of zijn ze verschillend? Leg je antwoord uit.
- c** Leg uit hoe het komt dat bij deze baby de witte bloedcellen andere eigenschappen hebben dan de spiercellen.

**Afb. 5** De ontwikkeling van bevruchte eicel tot baby.



**+ 7**

Lees de tekst ‘Blowen en risico op psychosen’.

- a Het COMT-gen kent twee varianten.  
Wat is een ander woord voor een ‘variant van een gen’?
- b Welke twee varianten zijn er van het COMT-gen?
- c In de tekst staat dat er drie combinaties mogelijk zijn met twee allelen. Leg dat uit.
- d Verandert blowen het genotype van de gebruiker? Leg je antwoord uit.
- e Krijgt een persoon met de Met-Met-variant nooit een psychose na het gebruik van cannabis? Leg je antwoord uit door de juiste zin te citeren uit de tekst.

**Afb. 6****Blowen en risico op psychosen**

Ze horen stemmen, zijn achterdochtig of denken dat ze achtervolgd worden. Mensen met psychosen lijden aan gedachten die niet kloppen met de werkelijkheid.

Onderzoek toonde aan dat het COMT-gen een belangrijke rol zou kunnen spelen bij psychosen. Dit COMT-gen komt voor op chromosoom 22 en kent twee allelen: het Val-allel en het Met-allel. Er zijn dus drie combinaties mogelijk.

De Limburgse onderzoeker Cecile Henquet toonde met haar onderzoek aan dat er een verband is tussen de verschillende varianten van het COMT-gen en de ontwikkeling van psychosen na blowen. Als je twee allelen ‘Val’ hebt, loop je vier keer zo veel risico op een psychose. Met de Met-Met-combinatie heb je de kleinste kans op een psychose na cannabisgebruik.

Bron: [www.jmouders.nl/gevoelig-voor-psychose](http://www.jmouders.nl/gevoelig-voor-psychose).

 Ga naar de *extra opdrachten*, *Flitskaarten* en *Test jezelf*.

# 2 Genen

## LEERDOEL

- 3.2.1 Je kunt omschrijven wat homozygoot, heterozygoot, dominant, recessief en intermediair fenotype betekenen.

► Practicum 1

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	3.2.1
Onthouden	1
Begrijpen	2, 3, 4ac
Toepassen	4bd, 5ab, 6a
Analyseren	4e, 5c, 6b, 7

**Je kunt verschillende allelen hebben voor een eigenschap. Welke eigenschap je dan krijgt, hangt af van de sterkte van het allele.**

## HOMOZYGOOT EN HETEROZYGOOT

Een gen kan informatie bevatten over de vorm van je haar. Er is een allele voor steil haar en een allele voor krullend haar. Als je steil haar hebt, zijn de twee allelen voor de haarrvorm gelijk aan elkaar (zie afbeelding 1). Je bent dan **homozygoot** voor de eigenschap steil haar (homo = gelijk).

Als je gen voor de haarrvorm uit twee allelen voor krullend haar bestaat, ben je homozygoot voor de eigenschap krullend haar (zie afbeelding 2).

Een allelenpaar voor de haarrvorm kan ook bestaan uit één allele voor steil haar en één allele voor krullend haar. De twee allelen voor de haarrvorm zijn dan ongelijk (zie afbeelding 3). Als dat bij jou zo is, dan ben je **heterozygoot** voor de haarrvorm (hetero = verschillend).

**Afb. 1** Persoon die homozygoot is voor steil haar.



twee allelen voor steil haar

**Afb. 2** Persoon die homozygoot is voor krullend haar.



twee allelen voor krullend haar

**Afb. 3** Persoon die heterozygoot is voor de haarrvorm.



één allele voor steil haar en één allele voor krullend haar

- allel voor steil haar
- allel voor krullend haar

## DOMINANTE EN RECESSIEVE ALLELEN

Personen die heterozygoot zijn voor de haarrvorm, hebben het allele voor steil haar en het allele voor krullend haar. Als je naar ze kijkt, zie je alleen krullend haar. Het allele voor steil haar is niet te zien aan het uiterlijk. Dit komt doordat het allele voor krullend haar ‘sterker’ is. Het is een **dominant allele**. Een dominant allele zie je altijd terug in het fenotype. Het allele voor steil haar noem je een **recessief allele**. Een recessief allele zie je alleen terug in het fenotype als er geen dominant allele aanwezig is.

Voor de meeste erfelijke eigenschappen zijn er twee verschillende allelen. Vaak is een van de twee allelen dominant. Bij erwtenplanten is het allele voor rode bloemkleur dominant. Het allele voor witte bloemkleur is recessief (zie afbeelding 4).

**Afb. 4** Erwtenplanten.



- 1 homozygoot of heterozygoot voor rode bloemkleur      2 homozygoot voor witte bloemkleur

### LETTERS VOOR ALLELEN

Genotypen geef je aan met een lettercombinatie. Voor één erfelijke eigenschap gebruik je één letter. Een dominant allele geef je aan met een hoofdletter, een recessief allele met dezelfde klei

Bijvoorbeeld:

- Het allele voor krullend haar is dominant. Dit kun je aangeven met de letter **A**.
- Het allele voor steil haar is recessief. Dit kun je aangeven met de letter **a**.

Hiermee zijn drie genotypen voor haarsvorm mogelijk:

- 1 **AA**: Deze persoon is homozygoot voor de haarsvorm krullend haar. Het fenotype is krullend haar.
- 2 **Aa**: Deze persoon is heterozygoot voor de haarsvorm. Het fenotype is krullend haar.
- 3 **aa**: Deze persoon is homozygoot voor de haarsvorm steil haar. Het fenotype is steil haar.

Iemand met krullend haar kan twee allelen voor krullend haar hebben, maar ook één voor krullend haar en één voor steil haar. Aan het fenotype kun je dan niet zien wat het genotype is.

### INTERMEDIAIR FENOTYPE

Bij sommige erfelijke eigenschappen is er geen dominant allele en geen recessief allele. Beide allelen zijn dan even sterk. Bij een heterozygoot genotype ontstaat dan een **intermediair fenotype**. Dit is een mix van de beide eigenschappen in het fenotype.

Het leeuwenbekje is een plant met allelen voor rode bloemkleur en voor witte bloemkleur. Geen van beide allelen is dominant. Leeuwenbekjes die heterozygoot zijn voor de bloemkleur, hebben daardoor roze bloemen. Als twee allelen even sterk zijn, kun je ook dat aangeven met letters (zie afbeelding 5).

**Afb. 5** Leeuwenbekjes.



1 homozygoot voor rode bloemen:  $A_r A_r$



2 homozygoot voor witte bloemen:  $A_w A_w$



3 heterozygoot voor de bloemkleur:  $A_r A_w$

## KENNIS

**1**

- a Een persoon die in elke celkern twee allelen heeft voor steil haar, is voor deze eigenschap *heterozygoot / homozygoot*.
- b Een persoon die in elke celkern twee allelen heeft voor krullend haar, is voor deze eigenschap *heterozygoot / homozygoot*.
- c Een persoon die heterozygoot is voor de eigenschap haarvorm, heeft in elke celkern twee *dezelfde / verschillende* allelen voor deze eigenschap.

**2**

Bij rozen zijn er allelen voor rode bloemkleur en voor witte bloemkleur. In het fenotype komen rode, witte en roze bloemen voor.

- a Welk fenotype is het intermediaire fenotype bij rozen?
  - A rode bloemen
  - B roze bloemen
  - C witte bloemen
- b Welke genotypen hebben de rozen met rode, witte en roze bloemen?
  - 1 De plant met rode bloemen heeft genotype:  $A_r A_r / A_w A_w / A_r A_w$
  - 2 De plant met witte bloemen heeft genotype:  $A_r A_r / A_w A_w / A_r A_w$
  - 3 De plant met roze bloemen heeft genotype:  $A_r A_r / A_w A_w / A_r A_w$
- c Een andere plantensoort is heterozygoot voor bloemkleur en heeft een allel voor rode bloemen en een allel voor witte bloemen. Deze plant heeft rode bloemen als fenotype.  
Heeft deze plantensoort een intermediair fenotype? *ja / nee*  
Het allel voor rode bloemen is *dominant / recessief / geen van beide*.

## 3

**Samenvatting**

Zet bij de volgende begrippen een definitie en een bijbehorend genotype (in letters).

Gebruik daarbij: A – a –  $A_a$  –  $A_b$ . Het dominante allele is voorgedaan.

Dominant allele	Het allele dat altijd tot uiting komt in het fenotype.	A
Recessief allele		
Homozygoot		
Heterozygoot		
Intermediair		

**INZICHT****Maak de volgende opdrachten in je schrift.**

## 4

In afbeelding 6 zijn de lichaamscellen van vier verschillende personen schematisch getekend. Vier allelen zijn aangegeven. Op de chromosomen liggen genen voor de lengte van de wimpers en voor rechts- of linkshandigheid.

a Bekijk de lichaamscel van Marloes.

Is Marloes heterozygoot of homozygoot voor de eigenschap ‘lengte van de wimpers’?

b Marloes heeft lange wimpers.

Is de eigenschap ‘lange wimpers’ dominant of recessief?

c Bekijk de lichaamscel van Rachel.

Is Rachel heterozygoot of homozygoot voor de eigenschap ‘rechts- of linkshandigheid’?

d Ga er in deze vraag van uit dat het milieu (de omgeving) geen invloed heeft op links- of rechtshandig zijn.

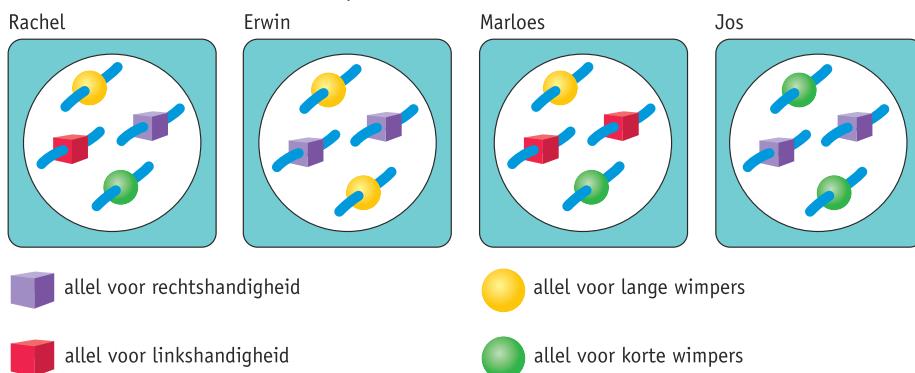
Rachel is rechtshandig.

Welke eigenschap is dominant: rechtshandig of linkshandig?

e Neem de tabel over en vul hem in. Gebruik daarbij: *links – rechts – kort – lang*.

	Rachel	Erwin	Marloes	Jos
Rechts- of linkshandig				
Wimpers				

**Afb. 6** Lichaamscellen van vier personen.



5

PTC is een stof die in bijvoorbeeld spruitjes voorkomt. Sommige mensen kunnen PTC proeven als een heel bittere smaak, andere mensen juist niet. Bij mensen is het allel voor het proeven van PTC dominant ( $T$ ) en het allel voor niet-proeven van PTC is recessief ( $t$ ).

- a** Wat is het genotype van iemand die homozygoot dominant is voor het proeven van PTC?
  - b** Wat is het genotype van een persoon die geen PTC kan proeven? Leg je antwoord uit.
  - c** Bestaan er mensen die geen PTC kunnen proeven en heterozygoot zijn? Leg je antwoord uit.

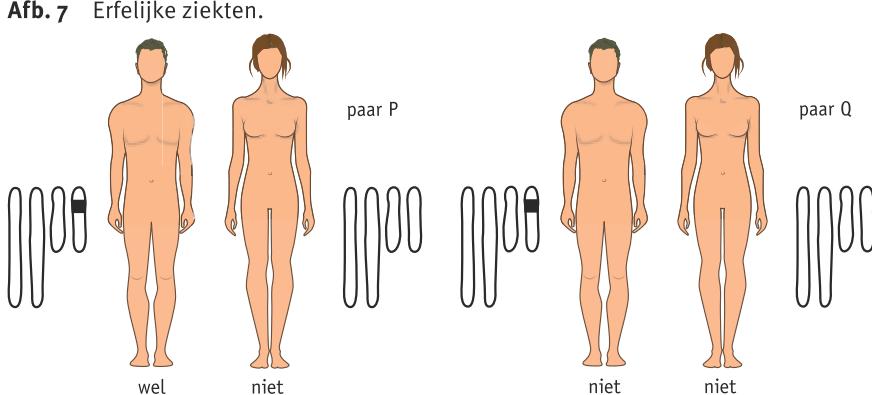
6

Er bestaat een groep erfelijke ziekten die tot gevolg heeft dat het bindweefsel veel te slap is. Er zijn verschillende allelen die zo'n ziekte kunnen veroorzaken. Sommige van de allelen zijn dominant, andere zijn recessief.

In afbeelding 7 zie je twee ouderparen: paar P en paar Q. Beide mannen komen uit een familie waarin een bindweefselziekte voorkomt. In de families komt niet dezelfde bindweefselziekte voor.

Naast de ouderparen zijn de chromosomen afgebeeld waarop de genen liggen voor zo'n ziekte. Onder de personen staat geschreven of ze wel of niet ziek zijn.

- a Bij welke van de twee mannen is het allel recessief: bij de man van paar P of bij de man van paar Q? Leg je antwoord uit.
  - b Een andere erfelijke aandoening is het DEND-syndroom. Iemand met het DEND-syndroom heeft epilepsie en andere hersenaandoeningen. Er zijn ook mensen die een milde vorm van dit syndroom hebben. Deze mensen hebben moeite met praten of bewegen, maar hebben geen epilepsie en zijn minder ernstig ziek.  
Geef een verklaring voor het bestaan van een ernstige variant van dit syndroom en



#### Legenda:

wel = heeft de ziekte wel

wel = heeft de ziekte wel  
niet = heeft de ziekte niet

● = allele dat zo'n ziekte veroorzaakt

**+ 7**

Lees de tekst ‘Sclerosteose’.

- a Komt het gen voor sclerosteose voor op de geslachtschromosomen (X- of Y-chromosoom) of op een van de andere chromosomenparen uit de celkern? Leg je antwoord uit.
- b Mensen die homozygoot zijn voor sclerosteose, hebben een  $3\times$  grotere botmassa dan mensen met een normale botgroei. Bij mensen die heterozygoot zijn, is de hoeveelheid bot  $1,5\times$  groter.  
Is hetallel voor sclerosteose dominant, recessief of erft de eigenschap intermediair over? Leg je antwoord uit.

Afb. 8

### Sclerosteose

In Zuid-Afrika komt een bijzondere botziekte voor: sclerosteose. Bij deze ziekte blijven de botten levenslang doorgroeien. De patiënten hebben ver vooruitstekende kaken en ze zijn erg lang. Een ander gevolg van de ziekte is doofheid. Doordat de botten van de schedel steeds dikker worden, worden de gehoorzenuwen afgekneld.

Alle mensen met sclerosteose stammen waarschijnlijk af van één enkele voorouder, die in de zeventiende eeuw vanuit Nederland emigreerde. Sclerosteose komt even vaak voor bij mannen als bij vrouwen.

 Ga naar de *extra opdrachten, Flitskaarten en Test jezelf*.

# 3 Kruisingen

## LEERDOELEN

- 3.3.1 Je kunt een kruisingsschema opstellen.  
 3.3.2 Je kunt bij een gegeven kruising genotypen en fenotypen van ouders en/of nakomelingen afleiden.

► Practicum 1

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.3.1	3.3.2
Onthouden	1a	
Begrijpen	1bc, 2abcde, 3, 5a	2fg, 3
Toepassen	5b, 6a	4, 5c
Analyseren		5d, 6bcd

Ouders geven erfelijke eigenschappen door aan hun nakomelingen. Welk genotype de nakomeling krijgt, hangt af van het toeval. Toch kun je de kans op een bepaalde eigenschap voorspellen.

## EEN KRUISING

In afbeelding 1 zie je een angorakonijn. Dit konijn heeft lange haren. Fokkers hebben hiervoor gezorgd, door steeds de konijnen met de langste haren met elkaar te laten paren. De nakomelingen kregen zo ook weer lange haren. Als je twee dieren met elkaar nakomelingen laat krijgen, heet dat **kruisen**. Bij alle kruisingen in deze basisstoffen gaat het steeds om één erfelijke eigenschap (één gen).

**Afb. 1** Een angorakonijn, gefokt op de eigenschap ‘vacht met lange haren’.



Bij een kruising geef je de ouders aan met de letter P (Latijn: *parentes* = ouders). De eerste generatie nakomelingen geef je aan met F<sub>1</sub> (Latijn: *filii* = kinderen). Een **generatie** zijn alle organismen in één laag van een reeks voortplantingen. Bij veel kruisingen planten de organismen in de F<sub>1</sub> zich ook weer voort. Hieruit ontstaat een tweede generatie nakomelingen: de F<sub>2</sub>.

**Generatie P zijn de ouders.**

**F<sub>1</sub> zijn de kinderen van deze ouders (P).**

**F<sub>2</sub> zijn de kinderen van deze kinderen (F<sub>1</sub>).**

## EEN KRUISINGSSCHEMA MAKEN

Door een **kruisingsschema** te maken, kun je voorspellen welk fenotype de nakomelingen van een kruising krijgen. Een kruisingsschema is een tabel waarin je alle mogelijke combinaties van allelen bij één kruising noteert.

Bij labradors (zie afbeelding 2) is het allele voor een zwarte vacht (A) dominant over het allele voor een gele vacht (a). Een zwartharig vrouwtje dat homozygoot is voor de vachtkleur, paart met een geelharig mannetje. De nakomelingen ( $F_1$ ) paren ook weer met elkaar. Je wilt weten welke vachtkleur de labradors in generatie  $F_2$  kunnen hebben. Ook wil je weten hoe groot de kans is op elke vachtkleur in de  $F_2$ . Hoe je het kruisingsschema van deze kruising maakt, zie je in het volgende stappenplan.

**Afb. 2** Zwartharige labrador × geelharige labrador.



### STAP 1 (P): BEDENK WAT DE FENOTYPEN EN GENOTYPEN VAN DE OUDERS ZIJN.

Het vrouwtje is homozygoot zwartharig. Het allele voor zwarte vachtkleur is dominant, dus het genotype van het vrouwtje is AA.

Het mannetje is geelharig. Het allele voor gele vachtkleur is recessief. Het genotype van het mannetje is dus aa. De kruising is dan:

$$P = AA \times aa$$

### STAP 2 (GESLACHTSCELLEN): BEDENK WELKE ALLELEN IN DE GESLACHTSCELLEN VAN BEIDE OUDERS KUNNEN VOORKOMEN.

Geslachtscellen ontstaan door reductiedeling (meiose). In geslachtscellen komt van elk gen één allele voor.

Het genotype van het vrouwtje is AA. Elke eicel die het vrouwtje maakt, bevat het allele A. Het genotype van het mannetje is aa. Elke zaadcel die het mannetje maakt, bevat het allele a.

### STAP 3 ( $F_1$ ): STEL VAST WELK GENOTYPE EN FENOTYPE DE NAKOMELINGEN KUNNEN HEBBEN.

Bij bevruchting versmelt de kern van een eicel (met allele A) met de kern van een zaadcel (met allele a). Het genotype van de bevruchte eicel is in dit geval altijd Aa. De nakomeling die zich uit deze bevruchte eicel ontwikkelt, heeft altijd een zwarte vacht.

Andere mogelijkheden zijn er bij deze kruising niet.

$$F_1 = Aa$$

### STAP 4: STEL VAST WELK GENOTYPE EN FENOTYPE DE DIEREN IN DE $F_2$ KUNNEN HEBBEN.

De dieren in de  $F_1$  planten zich onderling voort. Bij bevruchting weet je niet welke eicel door welke zaadcel wordt bevrucht. Er zijn vier mogelijkheden:

- Een eicel met het allele A wordt bevrucht door een zaadcel met het allele A.
- Een eicel met het allele A wordt bevrucht door een zaadcel met het allele a.
- Een eicel met het allele a wordt bevrucht door een zaadcel met het allele A.
- Een eicel met het allele a wordt bevrucht door een zaadcel met het allele a.

Om dit overzichtelijk op te schrijven, zet je de stappen in regels onder elkaar:

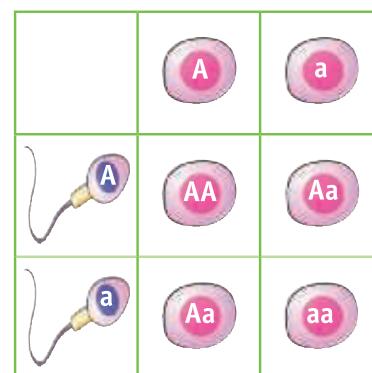
P geslachtscellen $F_1$	AA A Aa	$\times$	aa a Aa
geslachtscellen	A of a		A of a

Voor de  $F_2$  maak je een kruisingsschema. De allelen in de eicellen zet je boven in het schema. De allelen in de zaadcellen komen links in het schema (zie afbeelding 3).

Het kruisingsschema ziet er dan zo uit:

$F_2$		A	a
	A	AA	Aa
a	Aa	aa	

**Afb. 3** Mogelijkheden van bevruchting  $F_2$ .



Je ziet dat er vier mogelijkheden zijn voor het genotype van de nakomelingen in de  $F_2$ :

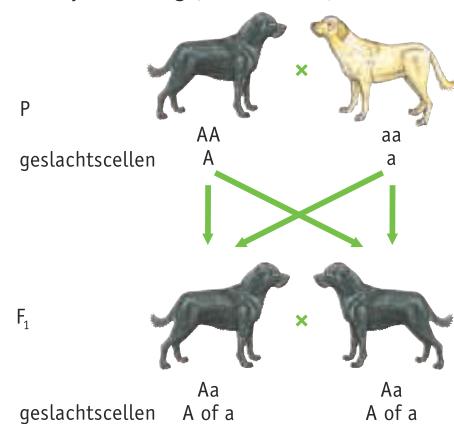
- De kans dat een dier uit de  $F_2$  het genotype Aa heeft, is de helft of 50%.
- De kans op genotype AA is 25%.
- De kans op genotype aa is 25%.

Er zijn twee mogelijke fenotypen:

- De kans op een zwarte labrador in de  $F_2$  is 75%. Dit zijn de genotypen AA en Aa.
- De kans op een gele labrador is 25%. Dit is het genotype aa.

In afbeelding 4 is deze kruising schematisch weergegeven met tekeningen.

**Afb. 4** Kruising (schematisch).



	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

## VERHOUDINGEN

Bij twee of drie nakomelingen zijn de genotypen van de  $F_1$  afhankelijk van het toeval. Maar bij een groot aantal nakomelingen zie je steeds dezelfde verhouding van genotypen en fenotypen in de volgende generatie (zie afbeelding 5).

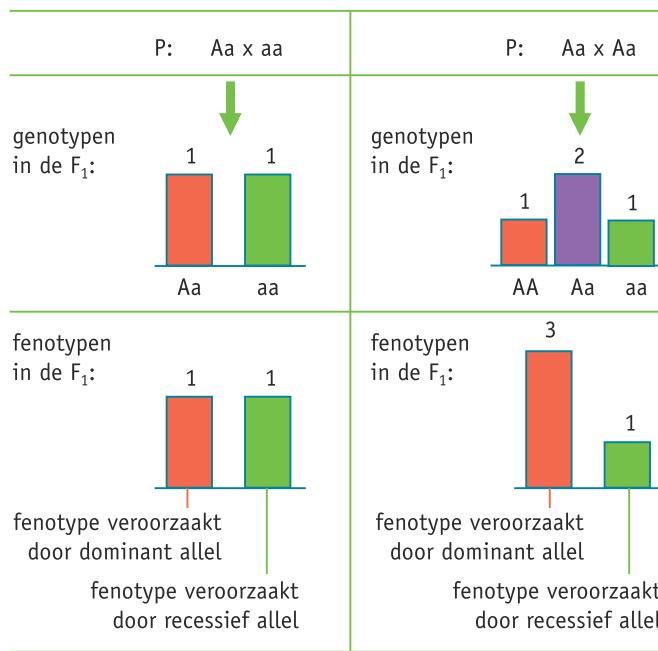
Is één ouder heterozygoot ( $Aa$ ) en de andere ouder homozygoot recessief ( $aa$ ), dan krijg je de volgende genotypen, fenotypen en verhoudingen:

- genotypen                       $Aa = 50\%$ ,  $aa = 50\%$
- verhouding genotypen       $Aa : aa = 1 : 1$
- verhouding fenotypen         $1 : 1$

Zijn beide ouders heterozygoot ( $Aa$ ), dan krijg je de volgende genotypen, fenotypen en verhoudingen:

- genotypen                       $AA = 25\%$ ,  $Aa = 50\%$ ,  $aa = 25\%$
- verhouding genotypen       $AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1$
- verhouding fenotypen         $3 : 1$

**Afb. 5** Bij grote aantallen nakomelingen komt bij de nakomelingen steeds dezelfde verdeling van genotypen en fenotypen voor.



## KENNIS

1

- a Hoe geef je bij een kruising de ouders aan?
  - A met  $F_1$
  - B met  $F_2$
  - C met P
- b De ouders van de  $F_2$  zijn de P /  $F_1$ .
- c Hoeveel generaties zijn P,  $F_1$  en  $F_2$  samen? 1 / 2 / 3 / 4 generaties

2

In afbeelding 6 zie je muizen met een verschillende vachtkleur. Bij muizen is het allele voor een zwarte vacht ( $H$ ) dominant over het allele voor een witte vacht ( $h$ ). Een zwarte vrouwtjesmuis die homozygoot is voor de vachtkleur, wordt gekruist met een wit mannetje. De nakomelingen van deze muizen worden gekruist waardoor een  $F_2$  ontstaat.

a Wat zijn de genotypen van de ouders?

vrouwje: ..... mannetje: .....

b Welke allelen bevatten de geslachtscellen van de ouders?

De eicellen bevatten het allele  $H / h$ .

De zaadcellen bevatten het allele  $H / h$ .

c Welk genotype heeft de bevruchte eicel? .....

d Welke haarkleur hebben de muizen in de  $F_1$ ? .....

e Hier zie je de volledige kruising met P,  $F_1$  en  $F_2$ .

Vul de genotypen en allelen in. Kies uit: H – h – HH – Hh – hh.

P	.....	x	.....	$F_2$
geslachtscellen	.....		.....	
$F_1$	.....	x	.....	
geslachtscellen	H of h		H of h	

	H	h
H		
h		

f Hoe groot is de kans dat een nakomeling in de  $F_2$  homozygoot recessief is voor de haarkleur? ..... %

g Hoe groot is de kans dat een muis in de  $F_2$  een zwarte vacht heeft? ..... %

Afb. 6 Zwarte muis en witte muis.



### 3

#### Samenvatting



- Noteer in eigen woorden de vier stappen om de verhouding in fenotypen van de  $F_2$  te bepalen.
- Werk het stappenplan uit met het voorbeeld  $P = BB \times bb$ . Maak daarbij een kruisingsschema voor de  $F_2$ .

Stap 1 (P): .....

Stap 2: .....

Stap 3 ( $F_1$ ): .....

Stap 4 ( $F_2$ ): .....

Voorbeeld:

P	BB	x	bb	$F_2$
geslachtscellen	.....		.....	
$F_1$	.....		.....	
geslachtscellen	.....		.....	


**INZICHT**

**Maak de volgende opdrachten in je schrift.**

**4**

In afbeelding 7 zie je een peulvrucht met erwten erin. De erwten zijn de zaden van de plant. De kleur van erwten is een erfelijke eigenschap. Er is een allel voor gele erwten en een allel voor groene erwten.

Een erwtenplant is gegroeid uit een gele erw. Hij wordt gekruist met een andere erwtenplant die ook is gegroeid uit een gele erw. Onder de nakomelingen uit deze kruising komen zowel gele als groene erwten voor.

- a Zijn de beide ouderplanten heterozygoot of homozygoot voor de kleur van de erwten? Leg je antwoord uit.
- b Welke eigenschap is dominant: gele of groene erwten? Leg je antwoord uit.

**Afb. 7** Peulvrucht met erwten.

**5**

Bij leeuwenbekjes is een roze bloemkleur een intermediair fenotype.

- a Twee leeuwenbekjes met roze bloemen planten zich onderling voort. Welk genotype hebben de planten met roze bloemen?
- b Twee leeuwenbekjes met roze bloemen worden gekruist. Hoeveel procent kans is er op nakomelingen met rode bloemen? Laat met een kruisingsschema zien hoe je aan je antwoord komt.
- c Uit de kruising van twee leeuwenbekjes met roze bloemen worden 56 zaden (nakomelingen) gevormd. Hoeveel nakomelingen in de  $F_1$  zullen roze bloemen krijgen?
- d De verhoudingen in genotype en fenotype bij de nakomelingen zie je alleen bij grote aantallen nakomelingen.  
Als je bijvoorbeeld maar vier nakomelingen hebt, dan zie je niet altijd de precieze verhouding terugkomen. Leg dit uit.

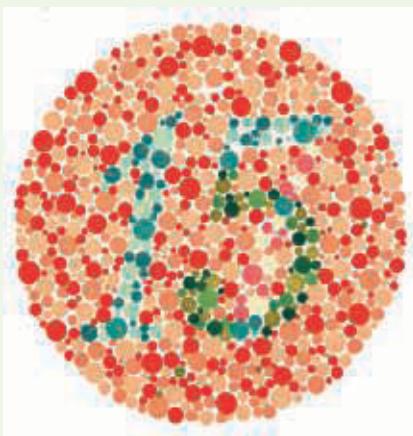
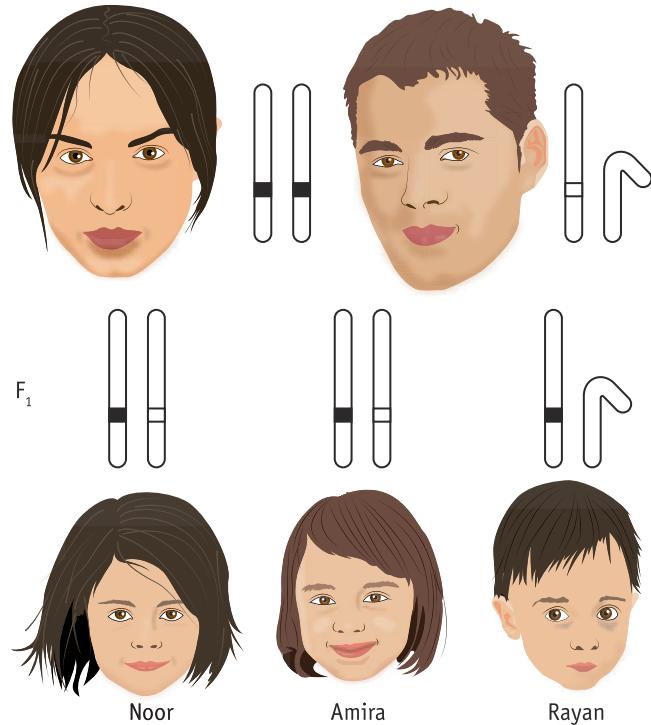
**+ 6**

Lees de tekst ‘Doe de kleurentest!’.

- a In afbeelding 9 zie je de geslachtschromosomen van het gezin Alaoui. De moeder is kleurenblind (wat dus erg zeldzaam is). Welk kind is kleurenblind? Leg je antwoord uit.
- b Het gezin Alaoui verwacht een vierde kindje. Ze weten al dat dit kind een meisje wordt. Hoe groot is de kans dat dit meisje kleurenblind is? Leg je antwoord uit.
- c Charlotte, een meisje uit een ander gezin, is kleurenblind voor rood en groen. Wat is het genotype van Charlotte: homozygoot, heterozygoot, dominant en/of recessief? Leg je antwoord uit.
- d Is de vader van Charlotte kleurenblind? Leg je antwoord uit.

**Afb. 8****Doe de kleurentest!**

Zie jij in de foto geen cijfer 15 staan? Dan kun je rood en groen moeilijk onderscheiden. Waarschijnlijk ben je een jongen. De kans dat je een meisje bent én rood-groen-kleurenblind, is heel klein. Het allele dat bepaalt of je rood-groen-kleurenblind bent, ligt namelijk op het X-chromosoom. Als je een dominant allele hebt, kun je rood en groen goed onderscheiden. Als je alleen recessieve allelen hebt, kun je dat niet. Meisjes hebben twee X-chromosomen. Als het recessieve allele op één chromosoom voorkomt, zorgt het dominante allele op het andere chromosoom ervoor dat er niets aan de hand is. Jongens hebben maar één X-chromosoom. Als daar een recessief allele op voorkomt, zien zij het cijfer 15 niet staan.

**Afb. 9** Geslachtschromosomen van het gezin Alaoui.

Ga naar de *extra opdrachten, Flitskaarten en Test jezelf*.

# 4 Stambomen

## LEERDOEL

- 3.4.1 Je kunt uit een gegeven stamboom afleiden welke genotypen de ouders en/of nakomelingen hebben, welk allel dominant is en welk allel recessief.

► Leren onderzoeken 1

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	3.4.1
Onthouden	1
Begrijpen	2, 3
Toepassen	4abc, 5
Analyseren	4d, 6

**De kans is groot dat je eigenschappen hebt die je niet bij je ouders terugziet.  
Misschien heb jij bijvoorbeeld blond haar en jouw ouders allebei donker haar.**

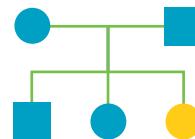
## STAMBOOM VAN EEN GEZIN

In afbeelding 1 zie je een **stamboom** van een man en vrouw en hun drie kinderen, een zoon en twee dochters. Afbeelding 2 laat hun stamboom in symbolen zien. Daarbij is een rondje een vrouw en een vierkantje een man. Met een stamboom kun je zien hoe een eigenschap als haarkleur in je familie is doorgegeven.

**Afb. 1** Stamboom van een gezin.



**Afb. 2** Stamboom van het gezin in symbolen.



Legenda:

- bruin haar
- blond haar

In de stamboom van afbeelding 1 zie je dat beide ouders en twee van de drie kinderen bruin haar hebben. Eén kind heeft blond haar. Met deze stamboom kun je de genotypen voor de haarkleur van iedereen in het gezin bepalen. In de volgende stappen zie je hoe dit gaat.

### STAP 1: KIJK WELK FENOTYPE IEDEREEN UIT DE STAMBOOM HEEFT.

In afbeelding 1 zie je welke haarkleur iedereen heeft. Vader, moeder en twee kinderen hebben bruin haar. Eén kind heeft blond haar.

### STAP 2: WAT IS HET GENOTYPE VAN HET KIND MET EEN ANDER FENOTYPE DAN VADER ÉN MOEDER?

Beide ouders hebben bruin haar. Eén kind heeft blond haar. Een fenotype dat afwijkt van dat van beide ouders, kan alleen ontstaan als beide ouders heterozygoot zijn. Het kind heeft dan van beide ouders een recessief allel gekregen. Daardoor weet je zeker dat dit kind homozygoot is voor het recessieve allel. Het genotype van dit kind is ‘aa’ (zie afbeelding 3).

**STAP 3: SCHRIJF BIJ DE STAMBOOM WAT JE NU WEET OVER HET GENOTYPE VAN DE ANDERE GEZINSLEDEN.**

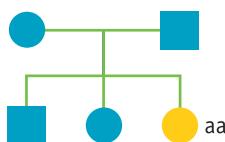
De gezinsleden met bruin haar hebben in elk geval één dominant allel. Bij deze personen geef je het dominante allel aan met de letter 'A' (zie afbeelding 4).

**STAP 4: VUL DE GENOTYPEN ZO VEEL MOGELIJK AAN.**

Beide ouders hebben bruin haar. Ze kunnen alleen een kind krijgen met blond haar als ze allebei heterozygoot zijn ( $Aa$ , zie afbeelding 5).

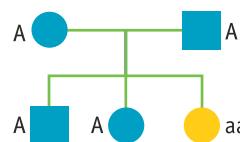
De kinderen met bruin haar kunnen homozygoot dominant zijn ( $AA$ ) of heterozygoot ( $Aa$ ).

**Afb. 3** Het genotype van de blonde dochter is 'aa'.



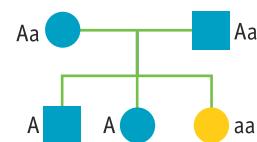
Legenda:  
● bruin haar  
● blond haar

**Afb. 4** De personen met bruin haar hebben minstens één dominant allel (A).



Legenda:  
● bruin haar  
● blond haar

**Afb. 5** Het genotype van vader en moeder is 'Aa'. Het genotype van de kinderen met bruin haar kan AA of Aa zijn.



Legenda:  
● bruin haar  
● blond haar

## KENNIS

**1**

- a In een stamboom is een rondje een *man / vrouw*.
- b Een homozygoot dominant genotype voor eigenschap G noteer je als *gg / Gg / GG*.

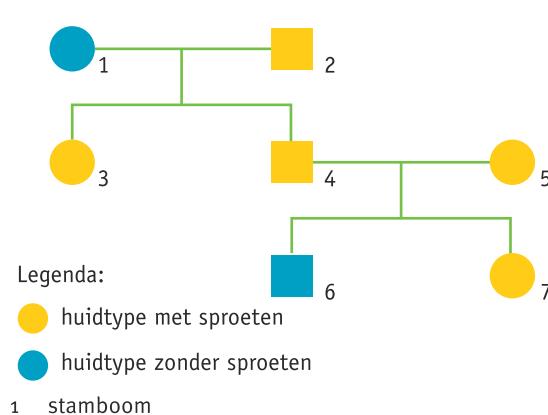
**2**

Bij mensen komen verschillende huidtypen voor. Sommige mensen hebben een huidtype met sproeten, andere mensen niet.

In afbeelding 6 is een stamboom van een familie weergegeven.

- a Welke personen hebben een huidtype zonder sproeten? 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7
- b Welk allel is dominant?  
Het allel voor het huidtype *met / zonder* sproeten is dominant.
- c Wat is het genotype van personen 1 en 6?
- d Persoon 3 heeft genotype *aa / Aa / AA*.  
Persoon 4 heeft genotype *aa / Aa / AA*.  
Persoon 5 heeft genotype *aa / Aa / AA*.

**Afb. 6**



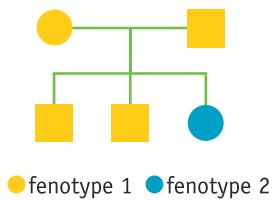
2 huidtype met sproeten

**3****Samenvatting**

In afbeelding 7 zie je een stamboom.

- Zet achter de stappen wat je moet doen om de genotypen af te kunnen leiden.
- Vul ook de legenda in door te noteren wat het rondje en wat het vierkantje voorstelt.

**Afb. 7** Een stamboom.



stap 1: .....

stap 2: .....

stap 3: .....

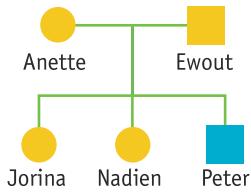
stap 4: .....

**INZICHT****Maak de volgende opdrachten in je schrift.****4**

Anette en Ewout Biegel willen graag kinderen. In de familie komt een erfelijke ziekte voor: SMA. Bij SMA sterven cellen in het ruggenmerg af, waardoor spieren minder goed werken. Je hebt SMA als je twee recessieve allelen hebt. Anette en Ewout willen weten hoe groot de kans is dat hun kinderen deze ziekte krijgen. Daarom hebben ze een stamboomonderzoek laten doen. Na een aantal jaren hebben ze drie kinderen.

In afbeelding 8 zie je de stamboom van de familie Biegel.

**Afb. 8** Stamboom van de familie Biegel.

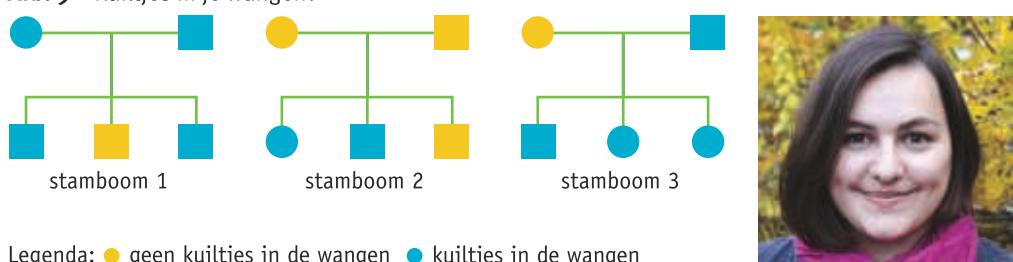


- Wie is homozygot recessief voor de eigenschap SMA?
- Bepaal het genotype van alle personen in de stamboom van afbeelding 8. Gebruik de letters A en a. Bij sommige personen zijn meerdere genotypen mogelijk. Geef dan beide mogelijkheden.

- c Zoon Peter krijgt een relatie met Esmee. Uit onderzoek blijkt dat Esmee homozygoot dominant is.  
Peter en Esmee willen graag een kind.  
Hoe groot is de kans dat hun kind een allele voor SMA heeft? Leg je antwoord uit.
- d Dochter Jorina krijgt een relatie met een man, Govert. Govert heeft geen SMA, maar in zijn familie komt deze ziekte wel voor. Jorina en Govert krijgen het advies om een stamboomonderzoek te doen.  
Geef een argument om dit onderzoek te laten doen.

**5**

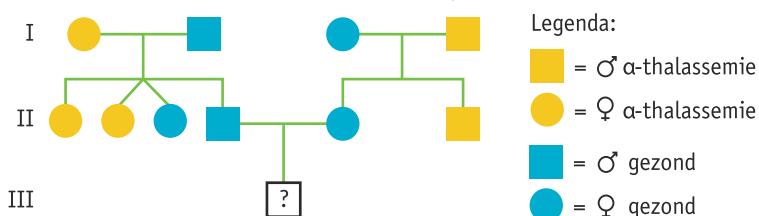
Sommige mensen hebben kuiljes in de wangen als ze lachen. Het allele voor kuiljes in de wangen is dominant.  
In afbeelding 9 zijn drie stambomen getekend.  
Welke stamboom is onjuist? Leg je antwoord uit.

**Afb. 9** Kuiljes in je wangen?**+ 6**

Alpha-thalassemie is een ziekte door afwijkende rode bloedcellen. Patiënten met deze ziekte voelen zich lusteloos en vermoeid. Het is een erfelijke ziekte die alleen voorkomt bij mensen die homozygoot zijn voor het allele van deze erfelijke eigenschap.

In afbeelding 10 zie je een stamboom van een familie waarin deze ziekte voorkomt. Van het jonge kind in de derde generatie (III) is nog niet bekend of het deze ziekte heeft.

- a Hoe groot is de kans dat dit kind alpha-thalassemie heeft? Leg je antwoord uit en gebruik daarbij een kruisingsschema.  
b In de stamboom is bij generatie II een tweeling weergegeven.  
Is dit een eeneiige tweeling of een twee-eiige tweeling? Leg je antwoord uit.

**Afb. 10** Stamboom van een familie met alpha-thalassemie.

Ga naar de *extra opdrachten, Flitskaarten en Test jezelf*.

# 5 Variatie in genotypen

## LEERDOELEN

- 3.5.1 Je kunt beschrijven hoe door geslachtelijke voortplanting variatie in genotypen ontstaat.  
 3.5.2 Je kunt omschrijven wat een mutatie is en je kunt omschrijven hoe kanker ontstaat.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.5.1	3.5.2
Onthouden		2a, 3
Begrijpen	1, 4	2b, 4
Toepassen	6b	8abd, 9ab
Analyseren	5, 6acd	7, 8c, 9c

**Variatie zie je bij mensen, maar ook bij dieren en planten. En dat maakt de wereld een stuk kleurrijker.**

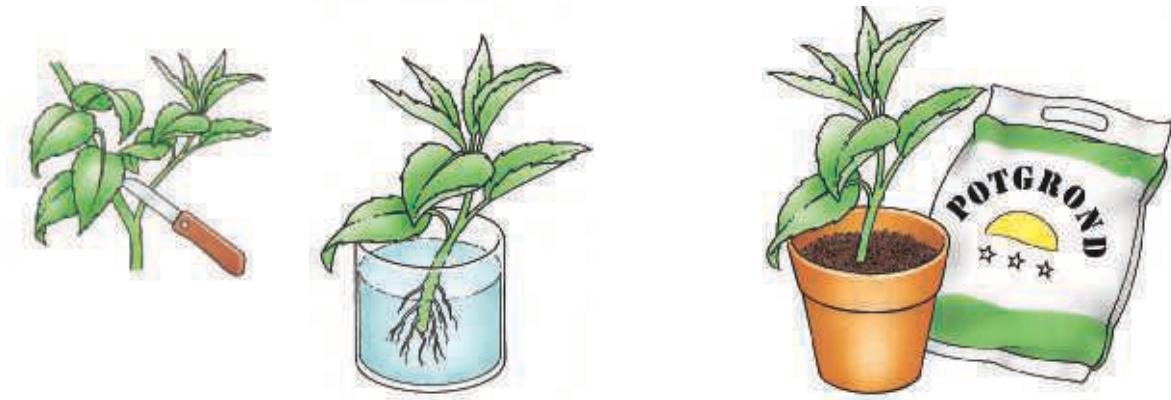
## ONGESLACHTELIJKE VOORTPLANTING

Een deel van een plant kan uitgroeien tot een nieuwe plant. Dit is een vorm van ongeslachtelijke voortplanting. Het genotype van de nieuwe plant is precies hetzelfde als dat van de ouderplant. Het fenotype kan wel verschillend zijn, als de milieumomstandigheden anders zijn.

Een voorbeeld van ongeslachtelijke voortplanting is stekken (zie afbeelding 1).

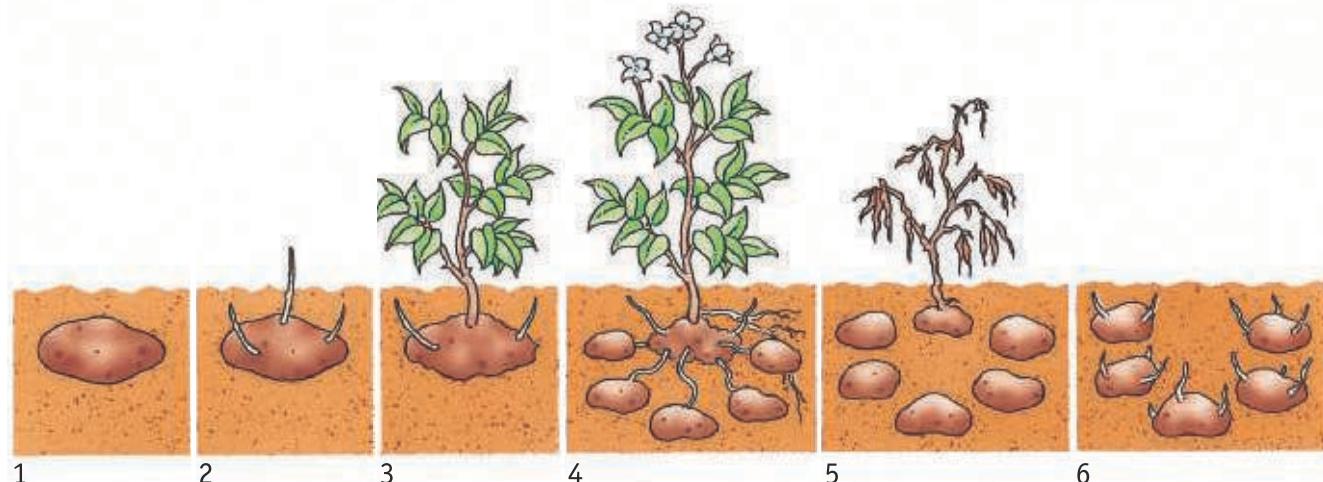
Bij aardappelplanten vindt ongeslachtelijke voortplanting plaats met knollen (zie afbeelding 2). Uit elke knol groeit een nieuwe aardappelplant.

**Afb. 1** Een kamerplant stekken: ongeslachtelijke voortplanting bij een plant.



- 1 Snijd met een scherp mes een stukje stengel af.
- 2 Zet dit stukje stengel in een potje met water. Het stengeltje gaat dan wortels vormen.
- 3 Als de wortels groot genoeg zijn, zet je het stengeltje in een bloempot met potgrond.

**Afb. 2** Ongeslachtelijke voortplanting door knollen (bij een aardappel).



### GESLACHTELIJKE VOORTPLANTING

Bij geslachtelijke voortplanting versmelten twee geslachtscellen met elkaar. Omdat de geslachtscellen verschillende genotypen hebben, zijn er voor het genotype van de bevruchte eicel veel verschillende mogelijkheden. Zo ontstaan er organismen met steeds andere genotypen en fenotypen (zie afbeelding 3). Biologen noemen dit **variatie in genotypen**.

**Afb. 3** Bij geslachtelijke voortplanting ontstaat variatie in genotypen en daardoor ook in fenotypen.

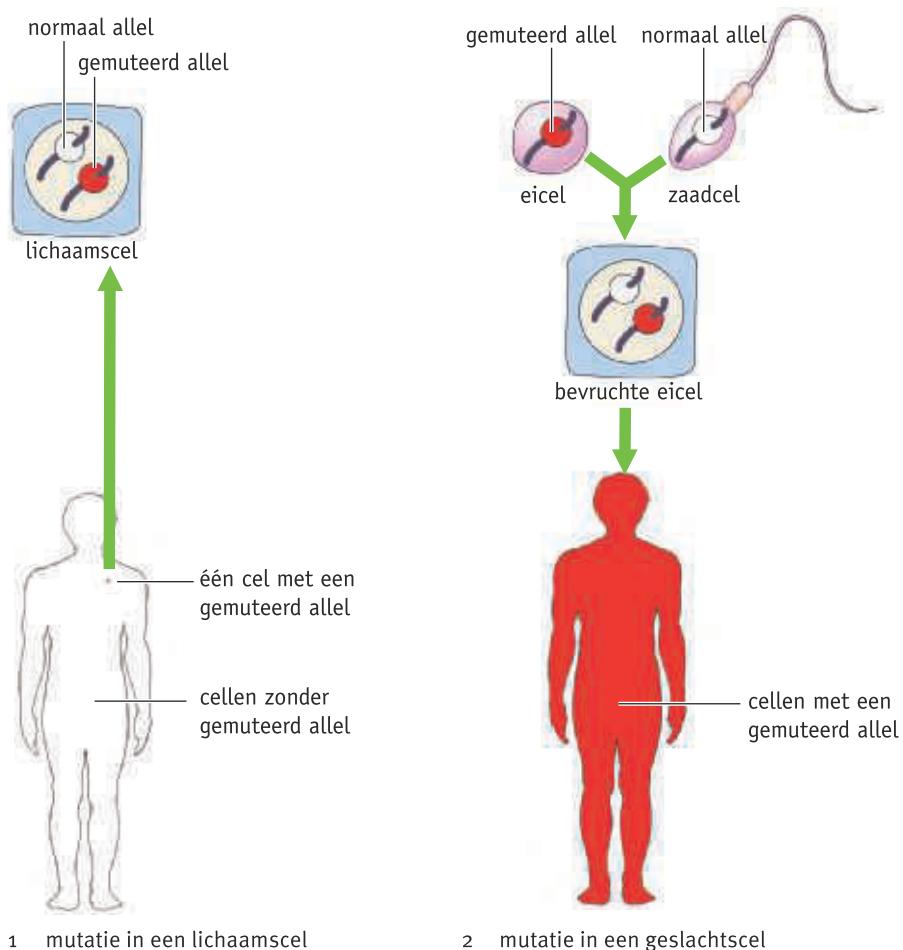


### MUTATIE

Een nieuw genotype ontstaat bij geslachtelijke voortplanting, maar een genotype kan ook veranderen door een mutatie. Een **mutatie** is een plotselinge verandering in het DNA. Het veranderde gen is gemuteerd.

Mutaties kunnen in elke cel plaatsvinden. Als in een lichaamscel een mutatie plaatsvindt, verandert het genotype in de andere lichaamscellen niet (zie afbeelding 4.1). Maar als een gemuteerd allele in een geslachtscel voorkomt, kan de mutatie worden doorgegeven aan de nakomelingen. Als deze geslachtscel bij bevruchting met een andere geslachtscel versmelt, zit het gemuteerde allele in de bevruchte eicel. Uit de bevruchte eicel ontwikkelt zich, door mitose, een nakomeling. In elke cel zit dan de mutatie (zie afbeelding 4.2).

**Afb. 4** De invloed van een mutatie (schematisch).



Een organisme waarbij een gemuteerd allele in het fenotype tot uitdrukking komt, heet een **mutant**. Een voorbeeld hiervan is een albino (zie afbeelding 5). De oorzaak van albinisme is een mutatie in het gen voor de aanmaak van pigment (de kleurstof voor huid en haar). Albinisme komt voor bij mensen, dieren en planten.

Een mutatie kan heel af en toe spontaan ontstaan, bijvoorbeeld tijdens een celdeling. Een mutatie kan ook ontstaan door invloeden buiten het lichaam. Dit noem je **mutagene invloeden**. Voorbeelden van mutagene invloeden zijn uv-straling, röntgenstraling, sigarettenrook en asbestdeeltjes.

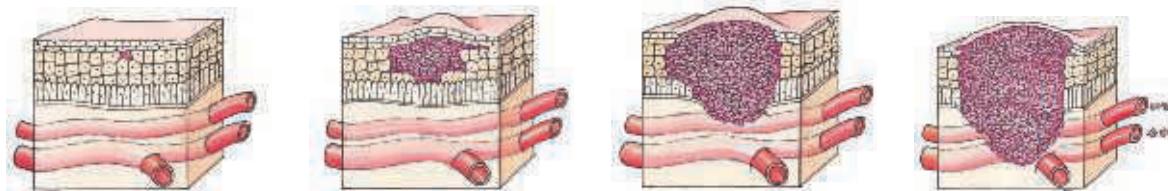
**Afb. 5** Albinisme.



## KANKER

Sommige mutaties zorgen ervoor dat cellen te snel en zonder te stoppen gaan delen. Op deze manier ontstaat een tumor (gezwel). Een goedaardige tumor groeit langzaam en tast de omringende weefsels niet aan. Maar er zijn ook kwaadaardige tumoren. Deze groeien snel en dringen de omringende weefsels binnen. Dit noem je kanker (zie afbeelding 6). Als de cellen van een kwaadaardige tumor in het bloed komen, kunnen ze zich door het hele lichaam verplaatsen. In andere lichaamsdelen kunnen de cellen dan uitgroeien tot nieuwe tumoren. Op die manier ontstaan uitzaaiingen (metastasen).

**Afb. 6** Het ontstaan van kanker (schematisch).



- 1 Bij één cel zijn mutaties opgetreden, waardoor de cel een kankercel wordt.
- 2 De kankercel deelt zich ongeremd.
- 3 Er is een gezwel ontstaan, waarbij de bouw van de weefsels is verstoord.
- 4 Er vindt uitzaaiing plaats: cellen van het gezwel komen in het bloed of in de lymfe terecht.

## KENNIS

**1**

Hoe ontstaat variatie in genotypen?

- 1 Twee geslachtscellen versmelten bij *geslachtelijke / ongeslachtelijke* voortplanting.
- 2 De eicellen van één vrouw hebben *hetzelfde genotype / verschillende genotypen*.
- 3 Nakomelingen van dezelfde ouders hebben daardoor *hetzelfde genotype / verschillende genotypen*.
- 4 Nakomelingen van ongeslachtelijke voortplanting hebben *hetzelfde genotype / verschillende genotypen*.

**2**

a Wat is een mutatie?

Een mutatie is een .....

b Wat gebeurt er met een mutatie bij mitose?

- A De mutatie komt in een van de dochtercellen.
- B De mutatie komt in beide dochtercellen.
- C De mutatie verdwijnt weer.

**3**

a Een goedaardige tumor groeit *langzaam / snel*.

b Een kwaadaardige tumor verplaatst zich in het lichaam via *bloed / weefsel*.

4

## Samenvatting



Maak een samenvatting van de basisstof.

- Ongeslachtelijke en geslachtelijke voortplanting:

INZICHT

## **Maak de volgende opdrachten in je schrift.**

5

Je hebt een appelboom met stevige appels en een appelboom met zoete appels. Je wilt een ras maken van stevige, zoete appels. Om die appel te kweken, heb je een combinatie nodig van geslachtelijke voortplanting en ongeslachtelijke voortplanting.

Leg uit hoe je voor het kweken van deze nieuwe appel geslachtelijke én ongeslachtelijke voortplanting gebruikt.

6

Bij tulpen komt de bloemkleur tot stand onder invloed van een gen.

Een kweker heeft twee rode tulpen. Hij weet niet of het allel voor rode bloemkleur dominant of recessief is. Hij wil meer tulpen kweken met rode bloemen. Hij kan dat op verschillende manieren doen.

- a** De kweker laat de twee tulpen elkaar bestuiven.  
Hebben alle nakomelingen dan rode bloemen? Leg je antwoord uit.
  - b** De kweker kweekt nieuwe tulpen door ongeslachtelijke voortplanting.  
Is hij er dan zeker van dat alle nakomelingen rode bloemen hebben? Leg je antwoord uit.
  - c** De kweker hoort van zijn collega's dat de rode bloemkleur bij tulpen recessief is. Hij kruist de twee rode tulpen door bestuiving.  
Hebben alle nakomelingen dan rode bloemen? Leg je antwoord uit.
  - d** De kweker plant de tulpen, met een rode bloem, ongeslachtelijk voort. Toch ziet hij tot zijn verbazing in het veld van honderden nakomelingen één tulp met een witte bloem.  
Op welke manier kan deze witte tulp zijn ontstaan?

**7**

Bij kanker kunnen uitzaaiingen ontstaan. Dan is een operatie om de tumor(en) te verwijderen meestal niet voldoende om een patiënt te genezen. Vaak wordt er dan een chemotherapie gegeven. Een chemotherapie vernietigt snel delende cellen, dus ook kankercellen.

Leg uit dat bij uitzaaiingen alleen het verwijderen van een tumor vaak niet voldoende is.

**8**

Lees de tekst ‘Een prik en uitstrijkje tegen baarmoederhalskanker’.

- Welke mutagene factor veroorzaakt baarmoederhalskanker?
- Sinds 2009 kunnen meisjes vanaf 9 jaar drie prikken halen tegen baarmoederhalskanker.  
Waarom is er gekozen om de prikken te geven vanaf 9 jaar?
- Leg uit op welke manier bevolkingsonderzoek ervoor zorgt dat zo veel mogelijk baarmoederhalskanker wordt voorkomen.
- Leg uit dat de vaccinatie en het bevolkingsonderzoek extra belangrijk zijn voor meisjes en vrouwen die later kinderen willen.

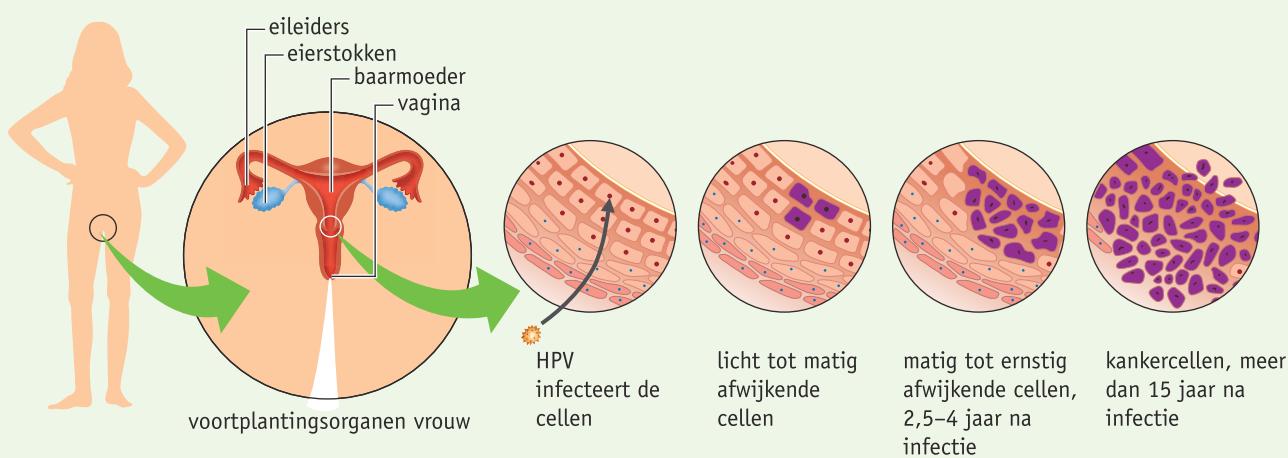
**Afb. 7**

### Een prik en uitstrijkje tegen baarmoederhalskanker

Jongens en meisjes vanaf 9 jaar kunnen een vaccinatie krijgen tegen HPV (humaan papillomavirus). Dit virus wordt vooral overgedragen via seksuele contacten. Op latere leeftijd kan het virus baarmoederhalskanker veroorzaken.

In Nederland krijgen elk jaar zo'n 830 vrouwen te horen dat ze baarmoederhalskanker hebben. De meesten zijn dan tussen de 30 en 35 jaar oud. In ernstige gevallen moet de baarmoeder worden verwijderd. Jaarlijks sterven ongeveer 200 vrouwen aan baarmoederhalskanker.

Alle vrouwen tussen de 30 en 60 jaar krijgen één keer in de vijf jaar een oproep voor het bevolkingsonderzoek baarmoederhalskanker. Ze kunnen dan bij de huisarts een uitstrijkje laten maken. Bij een uitstrijkje worden cellen uit het slijmvlies van de baarmoederhals weggehaald en onderzocht. Zo kunnen afwijkende cellen vroegtijdig worden ontdekt. Als er afwijkende cellen zijn, begint de behandeling zo snel mogelijk. Zo kunnen baarmoederhalskanker en uitzaaiingen daarvan worden voorkomen.



**+ 9**

Lood is een metaal dat röntgenstraling kan tegenhouden. Lood wordt onder andere gebruikt om loodsshorten te maken (zie afbeelding 8).

- a In ziekenhuizen draagt het personeel dat röntgenfoto's maakt een loodsshort of ze staan achter een scherm met lood erin.  
Leg uit waarom.
- b Een loodsshort beschermt ook de voortplantingsorganen.  
Leg uit waarom dat belangrijk is.
- c Het gebruik van radioactieve stoffen en röntgenstraling in ziekenhuizen neemt toe. Soms draagt het personeel in een ziekenhuis een dosimeter. Dit is een plaatje dat verkleurt als er straling op komt. Hoe meer straling, hoe meer verkleuring.  
Wat is de functie van het dragen van een dosimeter voor het personeel in een ziekenhuis?

Afb. 8 Een loodsshort.



💻 Ga naar de *extra opdrachten, Flitskaarten en Test jezelf*.

# 6 Evolutie

## LEERDOELEN

- 3.6.1 Je kunt omschrijven wanneer organismen tot één soort behoren.  
 3.6.2 Je kunt beschrijven wat de evolutietheorie inhoudt en hoe geslachtelijke voortplanting, mutatie en natuurlijke selectie bijdragen aan het ontstaan van nieuwe rassen en soorten.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.6.1	3.6.2
Onthouden		2ad
Begrijpen	1, 2a, 3, 6a	2bce, 3
Toepassen	6b	4, 5, 7a
Analyseren	6c	7bc, 8

**Dankzij hun witte vacht vallen ijsberen niet op als ze hun prooi besluipen. Doordat ze geen bladeren hebben, verliezen cactussen minder water in de droge woestijn. Organismen hebben een grotere kans om te overleven als ze zijn aangepast aan hun omgeving.**

## SOORTEN EN RASSEN

Een Afrikaanse olifant en een Indische olifant lijken veel op elkaar, maar ze behoren tot verschillende soorten (zie afbeelding 1). Organismen die veel op elkaar lijken, hoeven dus niet tot dezelfde soort te behoren. Organismen behoren pas tot één **soort** als ze samen vruchtbare nakomelingen kunnen krijgen. De nakomelingen die ze krijgen, moeten zich dus ook weer kunnen voortplanten.

Afb. 1 Twee soorten olifanten.



1 Afrikaanse olifant



2 Indische olifant

Sommige soorten kun je verder verdelen in rassen, bijvoorbeeld appels. Alle appels kunnen elkaar bestuiven, dus alle appels behoren tot dezelfde soort. Maar er zijn wel verschillende appels (zie afbeelding 2). Van zure groene tot zoete rode, en van harde tot zachte appels. Dit zijn appels van verschillende rassen. Een **ras** is een groep organismen binnen één soort die door bepaalde erfelijke eigenschappen verschilt van de rest van de soort. Rassen zijn kunstmatig ontstaan, bijvoorbeeld door fokken of kweken.

Afb. 2 Twee appelrassen.



1 Braeburn



2 Granny smith

## EVOLUTIE

Er zijn miljoenen verschillende soorten organismen op de wereld. Al deze soorten zijn in de loop van een zeer lange tijd ontstaan en veranderd. Dit wordt evolutie genoemd. Charles Darwin was de belangrijkste bedenker van de **evolutietheorie**. Deze theorie gaat uit van drie dingen:

- variatie in genotypen
- natuurlijke selectie
- ontstaan van nieuwe soorten

### Variatie in genotypen

Een populatie is een groep organismen van dezelfde soort die zich onderling kunnen voortplanten. Voorbeelden van populaties zijn: alle merels in een bos, alle konijnen op Ameland of alle paardenbloemen in een bergwei.

Binnen een populatie komen verschillen voor. Deze verschillen zijn ontstaan door geslachtelijke voortplanting en mutatie. Hierdoor komen in een populatie ook steeds andere fenotypen voor. Slakken van dezelfde soort kunnen bijvoorbeeld verschillend gekleurde huisjes hebben (zie afbeelding 3). De kleur van het huisje wordt bepaald door het genotype van de slak.

Afb. 3 Verschillen in fenotype binnen een populatie slakken.



### Natuurlijke selectie

Een slak kan veel nakomelingen in zijn leven krijgen. Niet alle nakomelingen blijven leven. Ze kunnen bijvoorbeeld worden opgegeten of worden overreden. Slakken met een geel huisje worden in het groene gras sneller gezien door vogels (zie afbeelding 4). Deze opvallende slakken hebben een grotere kans om opgegeten te worden dan slakken met een schutkleur.

De slakken met een schutkleur zullen langer in leven blijven en zelf ook weer nakomelingen krijgen. Zo kunnen er steeds meer slakken met een schutkleur komen. Deze slakken zijn beter aangepast aan het milieu waarin ze leven. Het **milieu** zijn alle omstandigheden die invloed kunnen hebben op een organisme. Voorbeelden zijn roofdieren, ziekten, voedsel, regen en kou.

**Afb. 4** Slakken met een opvallend gekleurd huisje hebben een grotere kans om opgegeten te worden.



Dieren of planten met een fenotype dat goed is aangepast aan het milieu, hebben een grotere overlevingskans. Zij krijgen meer nakomelingen die overleven en die zelf ook weer nakomelingen krijgen. Dit noem je **natuurlijke selectie**. De organismen die het best zijn aangepast aan het milieu, krijgen de meeste nakomelingen.

Vooral het genotype bepaalt of een individu goed of slecht is aangepast aan het milieu. Een populatie met veel verschillende genotypen en fenotypen heeft een grote overlevingskans. Als het milieu verandert, zijn sommige nakomelingen aangepast aan de nieuwe omstandigheden. Bijvoorbeeld: als het milieu van de slakken steeds droger wordt, zal er minder groen gras zijn. Dan hebben misschien juist de gele slakken een voordeel (een gunstig genotype). Door natuurlijke selectie zullen de gele slakken dan in leven blijven en meer nakomelingen krijgen. Hierdoor verandert de soort.

#### Het ontstaan van nieuwe soorten

Zolang de slakken met verschillende kleuren met elkaar blijven voortplanten, behoren ze tot dezelfde soort. Er zijn dan alleen verschillende vormen van één soort ontstaan (zie afbeelding 5).

Als de verschillende vormen van een soort zich niet meer met elkaar voortplanten, kunnen na lange tijd twee soorten ontstaan. De vormen gaan dan zoveel van elkaar verschillen, dat ze niet meer met elkaar kunnen voortplanten.

**Afb. 5** Verschillende vormen van een soort.



1 vormen van cichliden in het Malawimeer



2 vormen van mais op de markt

Een nieuwe soort kan bijvoorbeeld ontstaan als een populatie wordt gescheiden in twee groepen. Bijvoorbeeld een populatie egels in een woonwijk aan de rand van een bos. Op een dag wordt er een snelweg aangelegd tussen de woonwijk en het bos. Hierdoor worden de egels in twee groepen verdeeld. Aan de ene kant van de snelweg woont een groep egels in tuinen. Aan de andere kant van de snelweg zijn de egels het bos in gegaan (zie afbeelding 6). Door de snelweg ontmoeten de egels van de twee groepen elkaar niet meer.

In beide groepen egels zijn er verschillende genotypen en fenotypen. Het milieu in het bos is anders dan het milieu in de tuinen. De egels in het bos hebben daardoor voordeel van andere eigenschappen dan de egels in de tuinen. Door natuurlijke selectie kunnen de verschillen tussen de twee groepen egels steeds groter worden. Misschien worden de verschillen zo groot dat de egels zich niet meer met elkaar kunnen voortplanten. Dan zijn twee soorten ontstaan. Dit kan wel honderden tot duizenden jaren duren.

**Afb. 6** Een egel.



## KENNIS

1

- a Kunnen een Afrikaanse olifant en een Indische olifant samen nakomelingen krijgen? *ja / nee*
- b Een paard en een ezel kunnen zich samen voortplanten. Hun nakomelingen heten muilezels. Muilezels kunnen zich niet voortplanten, ze zijn onvruchtbaar.  
Behoren paarden en ezels tot dezelfde soort? *ja / nee*
- c Behoren alle planten van een populatie brandnetels tot dezelfde soort? *ja / nee*
- d Twee Waddeneilanden zijn Texel en Vlieland. Op deze eilanden leven egels die allemaal met elkaar vruchtbare nakomelingen kunnen krijgen.  
De egels behoren *wel / niet* tot dezelfde soort. Deze egels leven in *hetzelfde / een ander* gebied. Deze egels behoren *wel / niet* tot dezelfde populatie.

2

- a Variatie binnen een populatie kan ontstaan door *geslachtelijke / ongeslachtelijke* voortplanting en door *mitose / mutatie*.
- b Een schutkleur is een erfelijke eigenschap. Een egel met een schutkleur krijgt waarschijnlijk *meer / minder* nakomelingen dan een egel zonder schutkleur.
- c Veel zaadplanten zijn afhankelijk van insecten voor de bestuiving.  
Welke zaadplant heeft een grotere overlevingskans?  
*een plant met bloemen met een schutkleur / een plant met felgekleurde bloemen*
- d De evolutietheorie gaat onder andere uit van natuurlijke selectie.  
Wat zijn de andere twee uitgangspunten van de evolutietheorie?

1 .....

2 .....

- e In een bepaalde populatie is veel variatie in genotypen aanwezig.

Zet de volgende gebeurtenissen in de juiste volgorde. Stap 1 en 6 zijn gegeven.

- 1 ..... De populatie is aangepast aan het milieu.
- ..... Andere eigenschappen zijn nu voordelig.
- ..... De organismen met deze eigenschappen krijgen de meeste nakomelingen.
- ..... De soort verandert.
- ..... Het milieu verandert.
- 6 ..... De populatie is aangepast aan het milieu.

### 3

#### Samenvatting



Maak een samenvatting van de basisstof.

#### Soorten en rassen

Soort = .....

Ras = .....

Evolutie = .....

Uitgangspunten van de evolutietheorie:

- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....

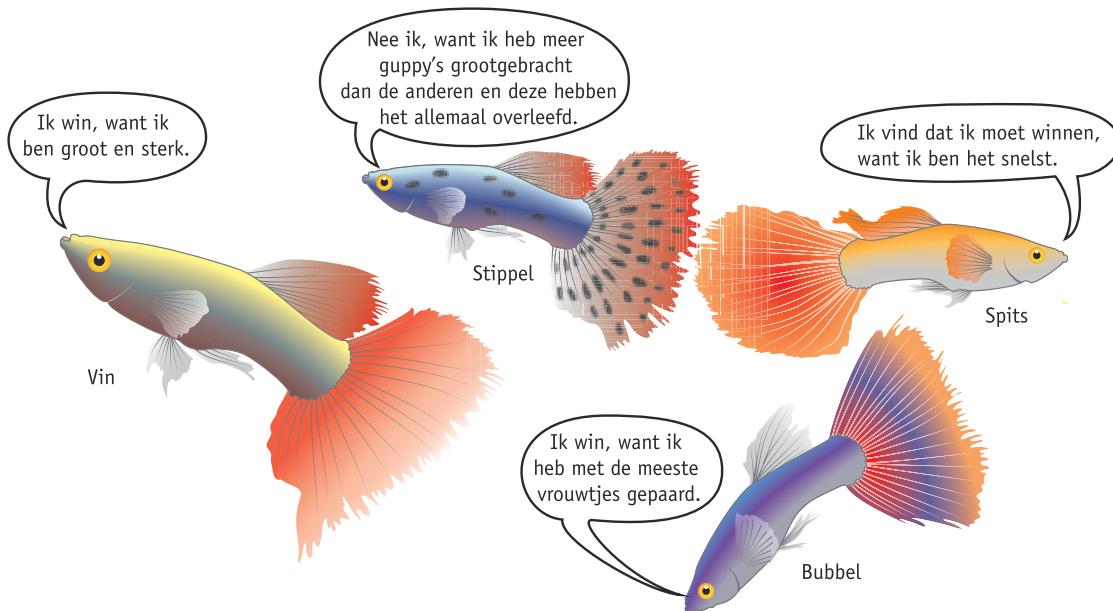
**INZICHT**

**Maak de volgende opdrachten in je schrift.**

**4**

In afbeelding 7 zijn vier vissen schematisch weergegeven. Alle vissen behoren tot dezelfde soort. Elke vis beweert dat hij het best is aangepast aan zijn milieu. Welke vis is volgens jou het best aangepast? Leg je antwoord uit.

**Afb. 7** Vier vissen.

**5**

Lees de tekst ‘Een nieuwe slakkensoort’.

Zijn de beweringen juist of onjuist?

- 1 Het rechtsomdraaiend huisje is ontstaan door een toevallige verandering in het DNA van de slak.
- 2 De slakken met een linksomdraaiend huisje kunnen paren met de slakken met een rechtsomdraaiend huisje.
- 3 Er kan alleen een nieuwe soort ontstaan als dezelfde mutatie bij deze slakken zich vaker voordoet binnen deze populatie.
- 4 De kans op nakomelingen is voor beide vormen even groot.

**Afb. 8**

### Een nieuwe slakkensoort

Japanse onderzoekers hebben ontdekt dat één gen bepaalt in welke richting het huisje van een Japanse landslak draait. Bij deze slakkensoort draait het huisje normaal gesproken linksom. De onderzoekers hebben ontdekt dat een mutatie in het gen ervoor kan zorgen dat het huisje rechtsom draait. Hierdoor zijn er twee vormen van deze slakkensoort. Twee slakken waarbij het huisje in tegenovergestelde richting draait, kunnen niet met hun geslachtsorganen bij elkaar komen. De huisjes zitten elkaar in de weg. Hierdoor kunnen slakken van de twee vormen zich niet met elkaar voortplanten. Een mutant waarvan het huisje rechtsom draait, kan zich alleen voortplanten als hij een andere mutant tegenkomt die ook een rechtsomdraaiend huisje heeft. Omdat die kans heel klein is, is ook nog niet bekend of er ook echt een nieuwe soort ontstaat.



**6**

In afbeelding 9 zie je een labradoodle. Een labradoodle is een kruising tussen een labrador retriever en een poedel. Een labradoodle teef (vrouwje) kan pups krijgen met een labradoodle reu (mannetje).

- a Behoren de labrador retriever en de poedel tot dezelfde soort? Leg je antwoord uit.
- b Wat zou een reden kunnen zijn voor het kruisen van twee hondenrassen?
- c Alle hondenrassen horen tot dezelfde soort.

Bedenk minstens één reden waarom je niet zomaar alle rassen met elkaar moet proberen te kruisen.

**Afb. 9** Drie honden.



1 labrador retriever



2 poedel



3 labradoodle

**7**

Puerto Rico is een eiland in de Cariben. Op dit eiland komt een bepaalde hagedissensoort voor: de anolis (zie afbeelding 10). Anolissen leefden in het bos. Toen de steden op het eiland steeds groter werden, trokken sommige anolissen naar de stad. Het milieu in de stad is anders dan in het bos. In de stad zijn daardoor andere eigenschappen voordelig dan in het bos.

- a De anolissen in de steden hebben langere poten dan de anolissen die in het bos leven.  
Zijn alle poten van de anolissen in de stad even lang? Leg je antwoord uit.
- b De poten van anolissen in de steden zijn gemiddeld langer.  
Is een anolis in de stad in het voordeel met lange poten of met korte poten? Leg je antwoord uit.
- c Bedenk waarom een anolis in de steden voordeel heeft bij lange poten.



**Afb. 10** Een anolis met lange poten op een muur in de stad.

**+ 8**

Lees de tekst ‘Sikkelcelanemie’.

- Een individu kan homozygoot zijn voor het gezonde allele, homozygoot voor het gemuteerde allele of heterozygoot.  
Van welk individu is de overlevingskans het grootst in een gebied zonder malaria? En in een gebied met malaria?
- Leg uit dat sikkelcelanemie vaker voorkomt in Afrika dan in Europa.
- In Nederland komt geen malaria voor. Er zijn wel Nederlanders met sikkelcelanemie. Leg uit hoe dat kan.
- Omschrijf hoe het is gekomen dat populaties op plaatsen met malaria veel vaker sikkelcelanemie hebben.

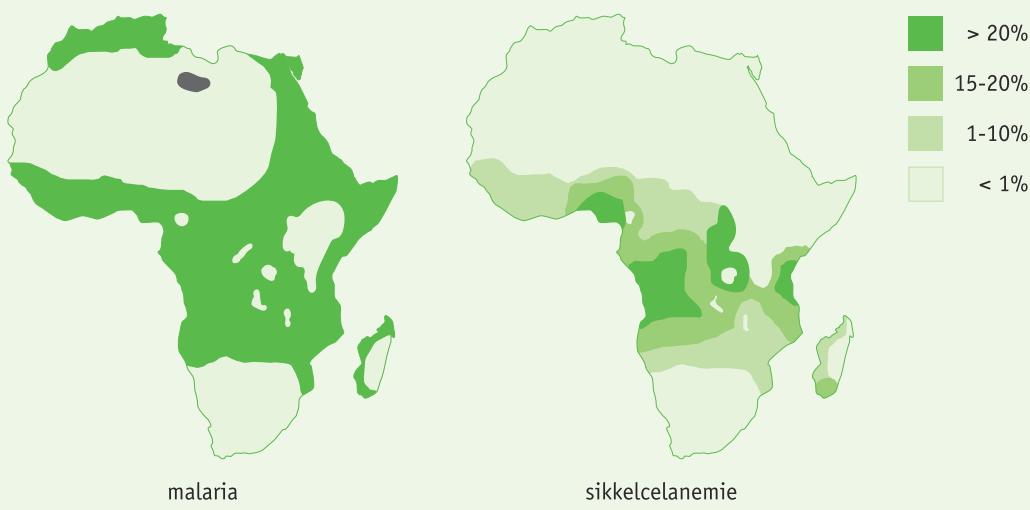
**Afb. 11**

### Sikkelcelanemie

Mensen met sikkelcelanemie hebben rode bloedcellen die zijn misvormd en hierdoor kunnen deze cellen minder goed zuurstof vervoeren dan normale rode bloedcellen. In afbeelding 12 zie je een misvormde bloedcel (sikkelcel) tussen normale rode bloedcellen liggen.

Sikkelcelanemie is ontstaan door een mutatie in het gen voor hemoglobine.

Personen met sikkelcelanemie zijn homozygoot voor deze eigenschap. Dat betekent dat beide allelen gemuteerd zijn. Wanneer een persoon heterozygoot is, is slechts een van de twee allelen gemuteerd. In dat geval is sprake van een milde vorm van sikkelcelanemie. Mensen met sikkelcelanemie blijken een hogere weerstand te hebben tegen malaria.



**Afb. 12** Een sikkelcel tussen gewone rode bloedcellen.



Ga naar de *extra opdrachten, Flitskaarten en Test jezelf*.

# 7 Verwantschap

## LEERDOELEN

- 3.7.1 Je kunt toelichten wat fossielen hebben bijgedragen aan de evolutietheorie.  
 3.7.2 Je kunt toelichten dat overeenkomsten in de bouw van organen, de bouw van cellen en de samenstelling van stoffen in cellen duiden op verwantschap.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.7.1	3.7.2
Onthouden	1a	2ab
Begrijpen	1b, 4, 5ab	2cde, 3, 4, 6d, 7a
Toepassen	5cd	5e, 6abc, 7b, 8abc, 9
Analyseren		6e, 7c, 8d

Dinosaurussen konden enorm groot zijn. Je kunt je bijna niet voorstellen dat ze echt geleefd hebben. Alle vogels die nu op aarde leven, zijn verwant aan de dino's. Dat blijkt uit hun DNA.

## FOSSIËLEN

Fossielen zijn versteende overblijfselen van organismen of afdrukken van organismen in gesteenten (zie afbeelding 1). Van de meeste soorten organismen komen fossielen alleen voor in gesteentelagen van een bepaalde ouderdom. Voorbeelden hiervan zijn fossielen van dinosauriërs. Dit betekent dat die soorten organismen alleen in die periode geleefd hebben. Uit fossielen blijkt dat in de geschiedenis van de aarde soorten zijn ontstaan, zijn veranderd en/of weer zijn verdwenen.

Afb. 1 Fossielen.



1 versteende afdruk van een organisme



2 versteend organisme

## VERWANTSCHAP

Tijdens de ontwikkeling van het leven op aarde zijn allerlei soorten organismen ontstaan. Soorten die een gemeenschappelijke voorouder hebben, vertonen **verwantschap**.

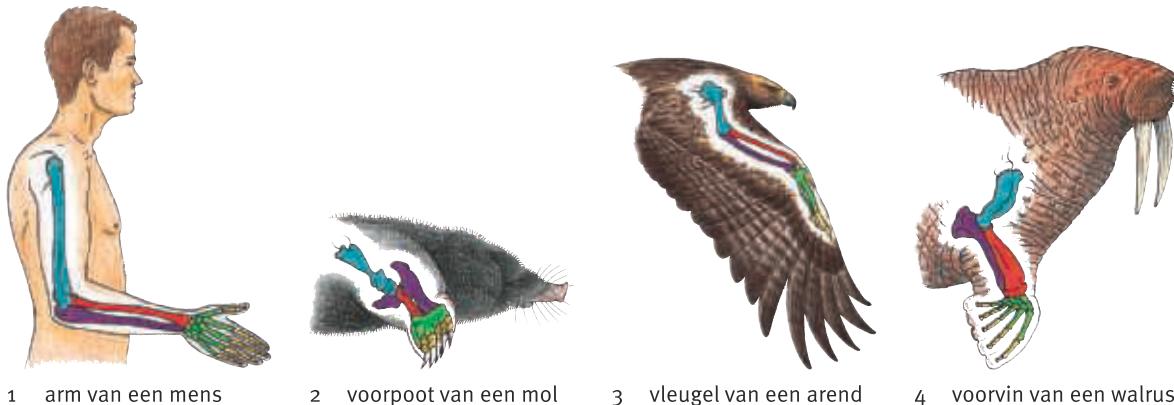
Biologen zoeken naar verwantschap door te kijken naar overeenkomsten in:

- de bouw van organen
- de processen in cellen
- de samenstelling van stoffen in cellen

### De bouw van organen

De vleugel van een arend, de voorpoot van een mol, de voorvin van een walrus en de arm van een mens hebben een verschillende functie, zoals zwemmen of graven. In afbeelding 2 zie je de skeletten van deze ledematen. Overeenkomstige botten hebben dezelfde kleur. Je ziet dat de bouw erg veel op elkaar lijkt. Deze verschillende diersoorten hebben waarschijnlijk een gemeenschappelijke voorouder gehad. Door aanpassing aan verschillende milieus hebben de ledematen een verschillende functie gekregen met een daarbij passende vorm. Je kunt immers veel beter graven met grote ‘handen’ en beter zwemmen met ‘armen’ in de vorm van een vin.

Afb. 2 Armskeletten.



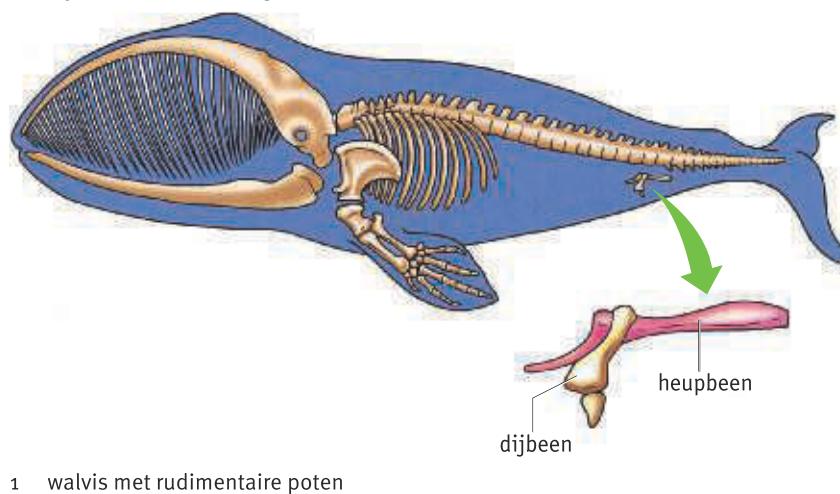
Bij verschillende soorten die in hetzelfde milieu leven, kunnen organen met dezelfde functie ontstaan. Een vlinder en een vleermuis hebben allebei vleugels waarmee ze kunnen vliegen (zie afbeelding 3). De vleugels zijn niet hetzelfde gebouwd. De vleugel van een vlinder bevat geen beenderen, de vleugel van een vleermuis wel. Een vlinder en een vleermuis zijn dus niet verwant aan elkaar.

Afb. 3 Organen met een overeenkomst in functie.

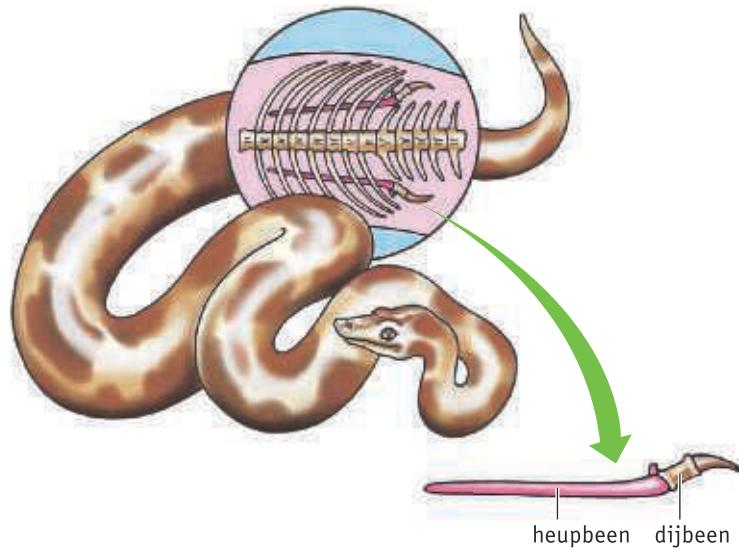


### Bouw: rudimentaire organen

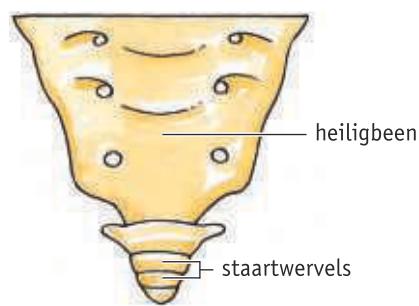
Een slang en een walvis hebben geen poten. Toch hebben sommige reuzenslangen en walvissen nog ‘resten’ van poten in hun skelet (zie afbeelding 4). Door aanpassing aan het milieu kunnen bepaalde organen niet meer nodig zijn. Deze organen kunnen na een hele lange tijd verdwijnen. De resten of overblijfselen ervan noem je rudimentaire organen. Bij de mens zijn de staartwervels rudimentair (zie afbeelding 5). Rudimentaire organen zijn een bewijs dat verschillende soorten organismen een gemeenschappelijke voorouder hebben.

**Afb. 4** Rudimentaire organen.

1 walvis met rudimentaire poten



2 python met rudimentaire poten

**Afb. 5** Rudimentair orgaan bij de mens: staartwervels.**Processen in cellen**

In cellen vinden processen plaats zoals celdeling en verbranding. Bij bijna alle organismen verlopen deze processen op dezelfde manier. Ook deze overeenkomst is een bewijs voor verwantschap.

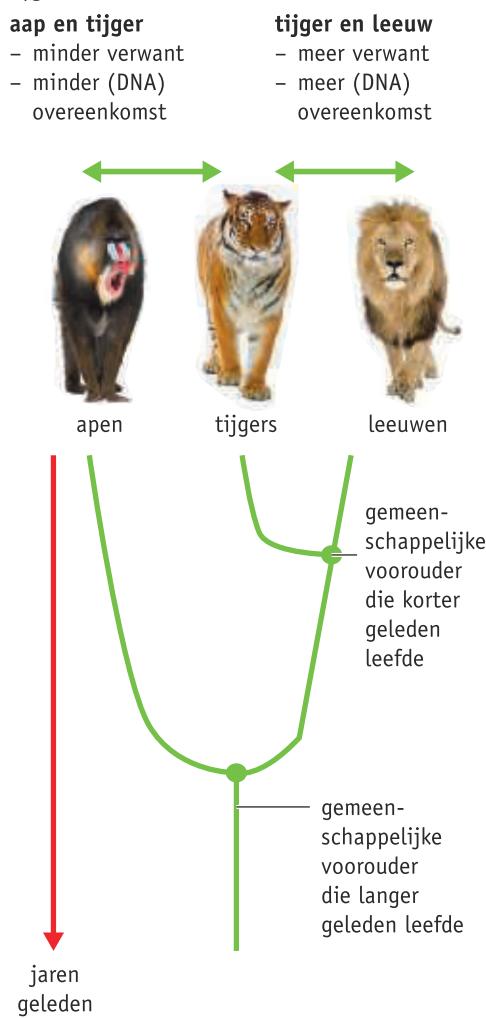
### Stoffen in cellen

De samenstelling van stoffen bij organismen kan steeds nauwkeuriger worden bepaald. Onderzoekers hebben bijvoorbeeld de samenstelling van het DNA en van sommige eiwitten onderzocht bij verschillende soorten organismen. Hoe meer deze stoffen bij twee soorten organismen overeenkomen, des te koper is het geleden dat hun gemeenschappelijke voorouder leefde.

### STAMBOMEN

Door al het DNA van organismen te vergelijken, kan een stamboom van de verwantschap worden opgesteld. Dat noem je een **evolutieaire stamboom**. In afbeelding 6 zie je een evolutieaire stamboom van apen, leeuwen en tijgers. In de afbeelding staat hoe je deze stamboom kunt aflezen.

**Afb. 6** Evolutieaire stamboom met afstamming van apen, tijgers en leeuwen.



### KENNIS

- 1
  - a Hoe heten versteende overblijfselen van organismen, of afdrukken van organismen in gesteenten? .....
  - b Overblijfselen van dinosauriërs worden gevonden in gesteentelagen die gevormd zijn voor / in / na de tijd dat de dino's leefden.

- 2**
- a Verwantschap betekent dat soorten een ..... hebben.
  - b Hoe heet een overblijfsel van een orgaan dat geen functie meer heeft? een ..... orgaan
  - c In afbeelding 6 zie je dat de tijger en de leeuw dichter bij elkaar staan dan de aap en de leeuw. De tijger is dus het meest verwant aan de *aap / leeuw*.
  - d Het DNA van de leeuw verschilt het meest van het DNA van de *aap / tijger*.
  - e Je kent nu twee verschillende stambomen: een stamboom van een familie en een evolutionaire stamboom.  
Wat is het verschil tussen deze twee stambomen?  
Uit een stamboom van een familie is af te lezen  
*hoe eigenschappen overerven / welke soorten het meest aan elkaar verwant zijn.*  
Uit een evolutionaire stamboom is af te lezen  
*hoe eigenschappen overerven / welke soorten het meest aan elkaar verwant zijn.*

- 3**
- In de basisstof worden verschillende bewijzen gegeven voor verwantschap. De voorbeelden hierna gaan over deze bewijzen.  
Zet achter elk voorbeeld het bewijs dat erbij hoort. Gebruik daarbij: *celprocessen – de bouw van cellen – de bouw van organen – de samenstelling van stoffen – fossielen – rudimentaire organen.*
- 1 De voorvin van een walrus en de arm van een mens zijn uit dezelfde beenderen opgebouwd. ....
  - 2 Het DNA van de mens lijkt veel op dat van chimpansees. ....
  - 3 Van verschillende soorten haaien kun je versteende tanden vinden. ....
  - 4 Alle cellen bezitten een celmembraan. ....
  - 5 Een koala heeft een relatief grote blindedarm om plantaardig voedsel te verteren. Bij de mens is dit orgaan veel kleiner. ....
  - 6 Een celdeling verloopt in een bacterie hetzelfde als in de gewone lichaamscellen van mensen. ....

- 4**
- ### Samenvatting
- Maak een samenvatting van de basisstof.
- 
- Fossielen hebben bijgedragen aan de evolutietheorie, doordat .....  
.....  
.....
  - Bewijzen voor verwantschap tussen soorten:  
– .....  
– .....  
– .....
  - In een evolutionaire stamboom .....  
.....

## INZICHT

**Maak de volgende opdrachten in je schrift.**

5

- a Ook van voorouders en verwanten van mensen worden fossielen gevonden. Van de aapmens ‘Lucy’ werden delen van het skelet gevonden (zie afbeelding 7). Aan de hand van deze delen werd een voorstelling gemaakt van hoe ‘Lucy’ eruitzag. Hoelang geleden leefde ‘Lucy’?
- b Zijn de fossielen van ‘Lucy’ versteende overblijfselen van een organisme of afdrukken van een organisme in gesteenten?
- c Leg uit waardoor alleen de botten van ‘Lucy’ zijn gefossiliseerd.
- d Leg uit waardoor er weinig fossielen van wormen worden gevonden.
- e Aan welk(e) kenmerk(en) van ‘Lucy’ zie je dat ze verwant is aan de mens van nu?

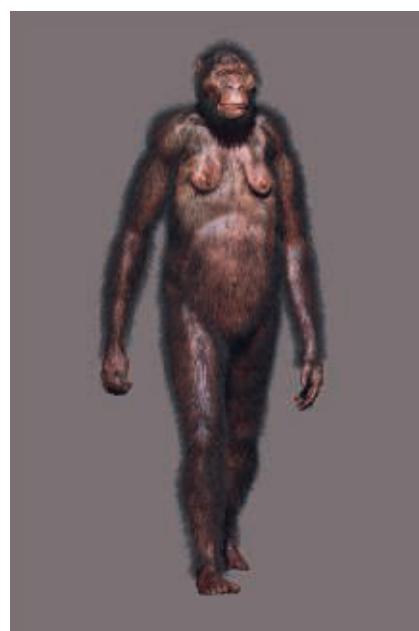
Afb. 7 Met fossielen kan een reconstructie worden gemaakt van een organisme.



1 fossielen (3,2 miljoen jaar oud) van de aapmens ‘Lucy’



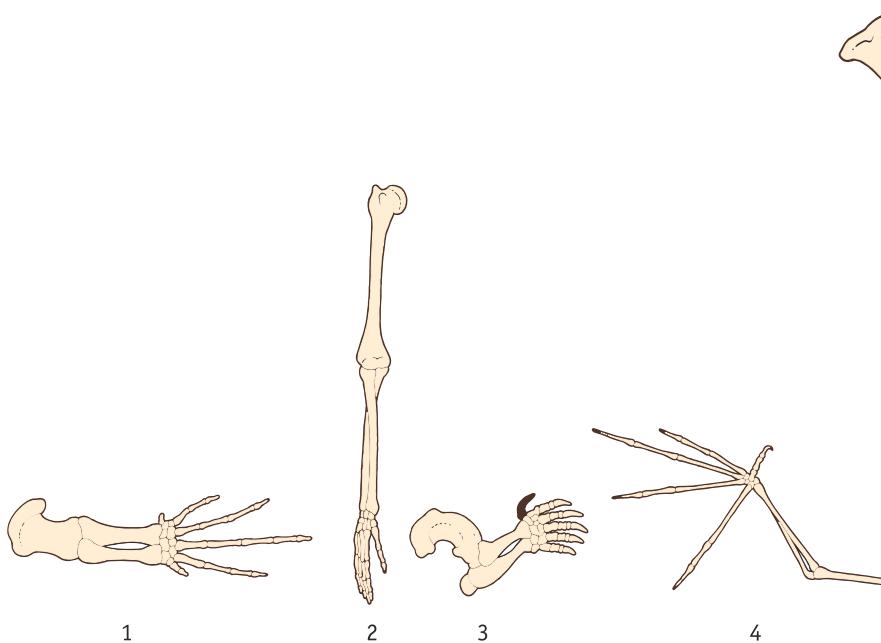
2 reconstructie van het skelet van ‘Lucy’



3 voorstelling van hoe ‘Lucy’ eruitzag

6

- a In afbeelding 8 zie je de armskeletten van een mens, een mol, een paard, een vleermuis en een walvis.
  - 1 Noteer de nummers met de naam van het organisme.
  - 2 Noteer daarachter de functie van de arm. Gebruik daarbij: *graaforgaan – grijporgaan – looporgaan – stuurorgaan – vliegorgaan*.
- b Welk deel van het armskelet is bij de vleermuis sterk ontwikkeld?
- c Welk bot is bij de walvis in verhouding tot de andere armskeletten kort en breed?
- d In afbeelding 9 zie je de vleugel van een libel. Hebben de vleugel van een libel en de vleugel van een vleermuis dezelfde bouw? En hebben ze dezelfde functie?
- e Vier organismen zijn: *libel – vleermuis – vlinder – walvis*. Verdeel de organismen in tweetallen op basis van verwantschap en leg je antwoord uit.

**Afb. 8** Armskeletten.**Afb. 9** Vleugel van een libel.

7

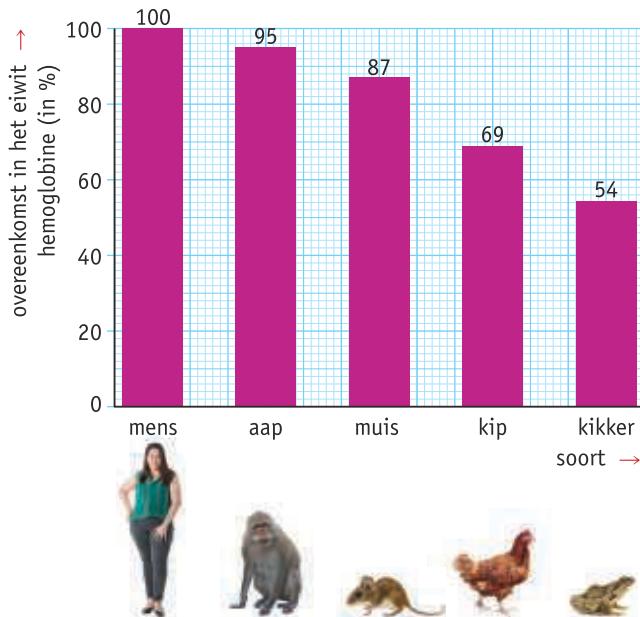
Lees de tekst ‘Hemoglobine’.

- a Hoeveel procent overeenkomst bestaat er tussen het eiwit hemoglobine van de mens en dat van de aap?
- b Welk organisme is meer verwant aan de mens: de kikker of de muis? Leg je antwoord uit.
- c Insecten hebben geen rode bloedcellen.  
Kun je de verwantschap tussen mensen en insecten afleiden uit het onderzoek naar hemoglobine? Leg je antwoord uit.

**Afb. 10**

### Hemoglobine

Je lijkt voor maar liefst 95% op een resusaap en voor 87% op een muis. Zelfs met een kip en een kikker heb je meer dan 50% overeenkomst. Tenminste, als je kijkt naar het eiwit hemoglobine. Hemoglobine zorgt voor de rode kleur van rode bloedcellen. In het diagram zie je hoeveel procent hemoglobine van verschillende soorten overeenkomt met hemoglobine van de mens. De overeenkomst tussen de mens en de aap is het grootst. Het is dus aannemelijk dat de mens korter geleden een gemeenschappelijke voorouder had met de aap dan met de muis.



**8**

Lees de tekst ‘Mammoet-DNA’ en bekijk afbeelding 12. Links in deze afbeelding staan de namen van tijdperken, bijvoorbeeld holoceen en mioceen. Ook zie je hoeveel miljoen jaar geleden deze tijdperken begonnen en eindigden.

- a Naar aanleiding van de evolutionaire stamboom in afbeelding 12 worden twee beweringen gedaan:
  - 1 Zowel de Aziatische als de Afrikaanse olifant heeft zich ontwikkeld uit de Moeritherium.
  - 2 De wolharige mammoet is uitgestorven in het pleistoceen.Geef van elke bewering aan of deze juist is of onjuist en leg uit waarom.
- b Een mutatie leidt tot een veranderde samenstelling van het DNA.  
Bekent een verschil in het DNA tussen twee organismen dat het twee verschillende soorten zijn? Leg je antwoord uit.
- c Uit welk weefsel is het gevonden mammoet-DNA afkomstig? Leg je antwoord uit.
- d Nieuwe fossielen van mammoeten worden telkens weer op hun DNA onderzocht. Wetenschappers hopen zo de volledige samenstelling van het DNA te ontrafelen. Sommige wetenschappers beweren dat het hierdoor mogelijk wordt om de mammoet weer ‘tot leven te wekken’. Leg uit dat je de mammoet volgens deze wetenschappers weer tot leven kunt wekken met het complete DNA.

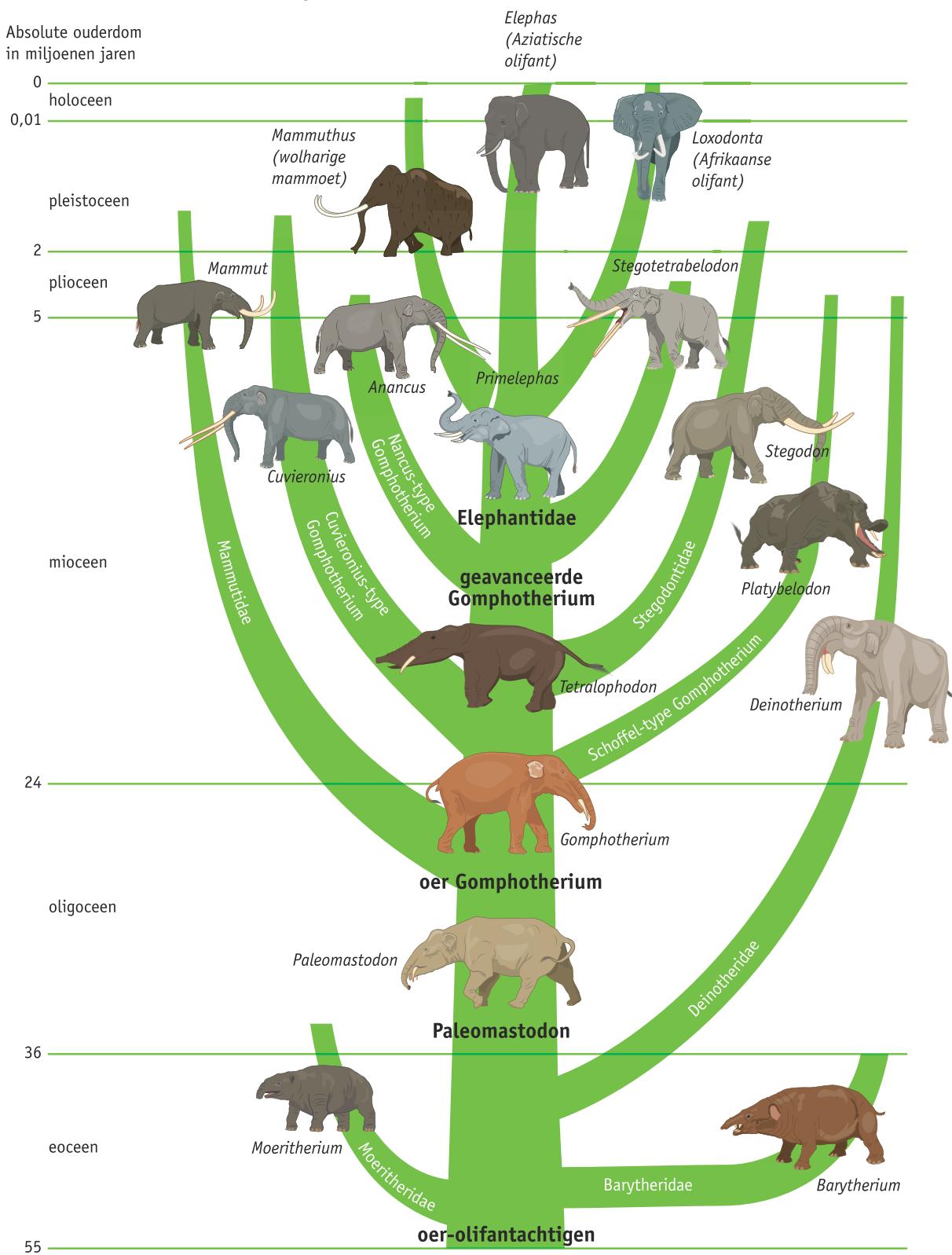
Afb. 11

### Mammoet-DNA

In de bevroren grond van Siberië hebben wetenschappers botten van een wolharige mammoet ontdekt. De botten zijn 27 000 jaar oud. De vondst levert waardevolle informatie op. De botten bevatten namelijk DNA van de mammoet.

Met behulp van een speciale techniek bepaalden wetenschappers de samenstelling van het DNA. Vervolgens is gekeken naar de overeenkomsten en verschillen in de samenstelling van het DNA tussen de mammoet (*Mammuthus*), de Afrikaanse olifant (*Loxodonta*) en de Aziatische olifant (*Elephas*). De overeenkomst in hun DNA is minstens 98,5%. Deze drie onderzochte olifantgroepen blijken zich te hebben ontwikkeld uit ‘oer-olifantachtigen’. Deze leefden ruim vijftig miljoen jaar geleden op aarde.



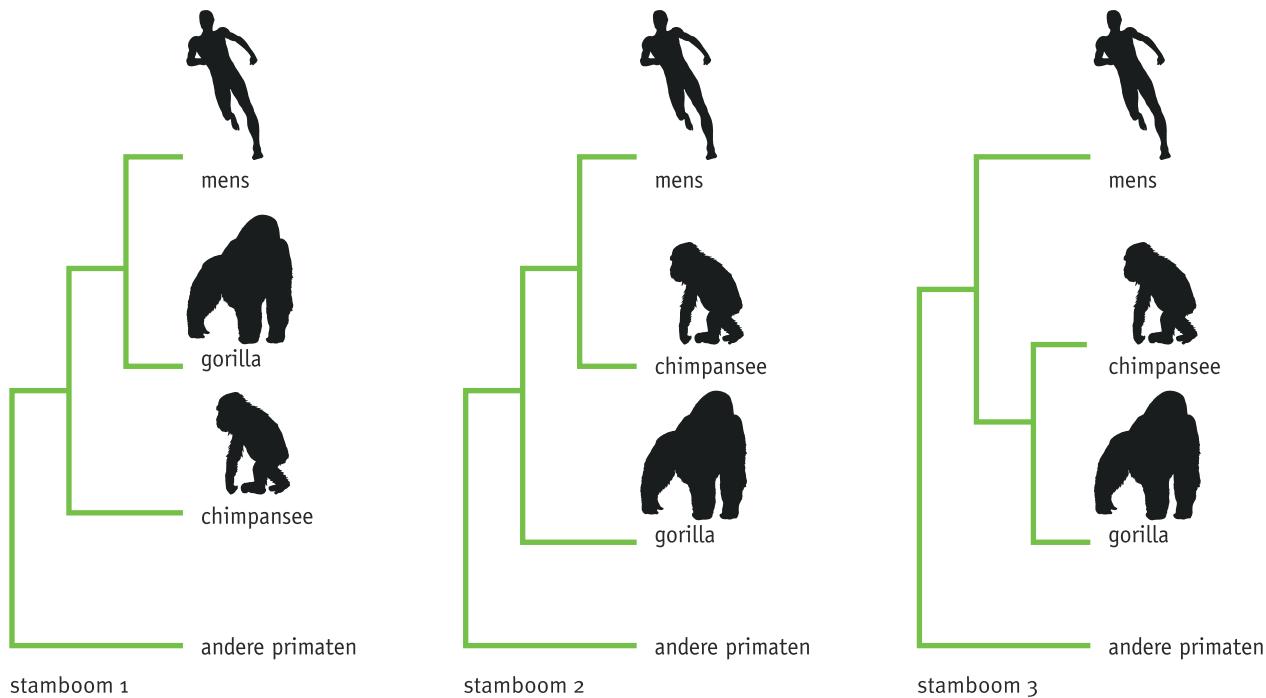
**Afb. 12** Stamboom van olifantachtigen.

+ 9

Het DNA van de mens komt voor 98,63% overeen met dat van de chimpansee en voor 98,25% met dat van de gorilla. De overeenkomst met andere primaten, zoals de orang-oetan, is niet groter dan 96,6%. Ook blijkt dat de chimpansee en de mens meer verwant zijn aan elkaar dan aan de gorilla.

Welke stamboom in afbeelding 13 geeft de mate van verwantschap op basis van deze gegevens het best weer? Leg je antwoord uit.

Afb. 13 Drie stambomen.



💻 Ga naar de *extra opdrachten, Flitskaarten en Test jezelf*.

# 8 DNA-technieken (SE)

## LEERDOEL

3.8.1 Je kunt enkele DNA-technieken in de biotechnologie beschrijven. (SE)

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	3.8.1
Onthouden	1, 2
Begrijpen	3, 4b, 7a
Toepassen	4a, 5, 6, 7bc, 8bc
Analyseren	7d, 8a

Dankzij de kennis over DNA kunnen organismen worden ingezet om ons te helpen.

Bijvoorbeeld door bacteriën medicijnen voor ons te laten maken.

## BIOTECHNOLOGIE

Bij allerlei technieken worden organismen gebruikt om producten voor mensen te maken. De verzamelnaam voor deze technieken is **biotechnologie**. Sommige vormen van biotechnologie zijn al heel oud, bijvoorbeeld gist gebruiken om brood te bakken of schimmels gebruiken om kaas te maken. Hierbij gebruiken mensen de organismen zoals ze zijn, zonder ze te veranderen.

Bij andere technieken worden de erfelijke eigenschappen van organismen wel veranderd. Met recombinant-DNA-technieken kun je DNA van de ene soort overbrengen naar het DNA van een andere soort. Zo kun je een eigenschap van één soort overbrengen naar een andere soort. Een voorbeeld zijn bacteriën die het hormoon insuline maken. Gezonde mensen maken insuline in hun eigen lichaam. Mensen die diabetes hebben, spuiten insuline in hun bloed om het suikergehalte te regelen. Die insuline wordt gemaakt door bacteriën waarin een menselijk gen is ingebracht.

Sinds 2015 wordt de crispr-cas-techniek gebruikt. Met crispr-cas kun je heel nauwkeurig in het DNA 'knippen en plakken'. Dit is een vorm van *gene editing* (gen-aanpassing). Er zijn ook andere technieken voor gene editing, maar die zijn minder precies dan crispr-cas. Ook zijn ze minder gemakkelijk toe te passen.

Gene editing wordt gebruikt om genen te repareren, te verwijderen of juist toe te voegen in het DNA van een organisme. In de gezondheidszorg wordt crispr-cas ingezet voor gentherapie. Gentherapie is het gebruik van gene editing om kapotte genen te repareren. De techniek kan bijvoorbeeld gebruikt worden om erfelijke bloedziekten te genezen.

Het aanpassen van erfelijke eigenschappen bij organismen door de mens wordt **genetische modificatie** genoemd. Een genetisch gemodificeerd organisme noem je transgeen. Meestal zijn het bacteriën en schimmels die genetisch worden gemodificeerd, maar soms ook planten en dieren.

## ANDERE DNA-TECHNIEKEN

Ieder mens heeft zijn eigen, unieke DNA (behalve eeneiige tweelingen). Je kunt dat vergelijken met een vingerafdruk die ook voor ieder mens uniek is. Hierdoor kun je DNA gebruiken om misdaden op te lossen. Als op de plaats van een misdrijf huidschilders, sperma of bloed worden gevonden, kan het DNA hiervan worden onderzocht. Vervolgens kan het DNA worden vergeleken met dat van een verdachte (zie afbeelding 1). Ook kunnen met het DNA uiterlijke kenmerken worden bepaald.

Met een DNA-test kan ook worden onderzocht of je familie van elkaar bent, doordat DNA altijd afkomstig is van je biologische vader en moeder. Dat heet DNA-verwantschapsonderzoek.

**Afb. 1** DNA-patroon van meerdere personen. Elke verticale lijn geeft het DNA-profiel weer van één persoon.



## KENNIS

**1**

- a De verzamelnaam voor technieken, waarbij organismen worden gebruikt om producten voor mensen te maken, is .....
- b Het aanpassen van de erfelijke eigenschappen van een organisme heet .....
- c Technieken waarmee DNA van een soort wordt toegevoegd aan het DNA van een andere soort, zijn .....-technieken.
- d Organismen waarvan de erfelijke eigenschappen door de mens zijn veranderd, heten .....

**2**

Gentherapie is het gebruik van gene editing om:

- A kapotte genen te repareren.
- B nieuwe genen toe te voegen.
- C oude genen te verwijderen.
- D zieke genen te genezen.

**3**

### Samenvatting



Maak een samenvatting van de basisstof.

Beschrijf in eigen woorden wat de begrippen betekenen.

- Biotechnologie: .....  
.....
- Genetische modificatie: .....  
.....
- Recombinant-DNA-technieken: .....  
.....
- Crispr-cas: .....  
.....
- Gene editing: .....  
.....

- Gentherapie: .....
- Transgenen: .....
- DNA-verwantschapsonderzoek: .....

## INZICHT

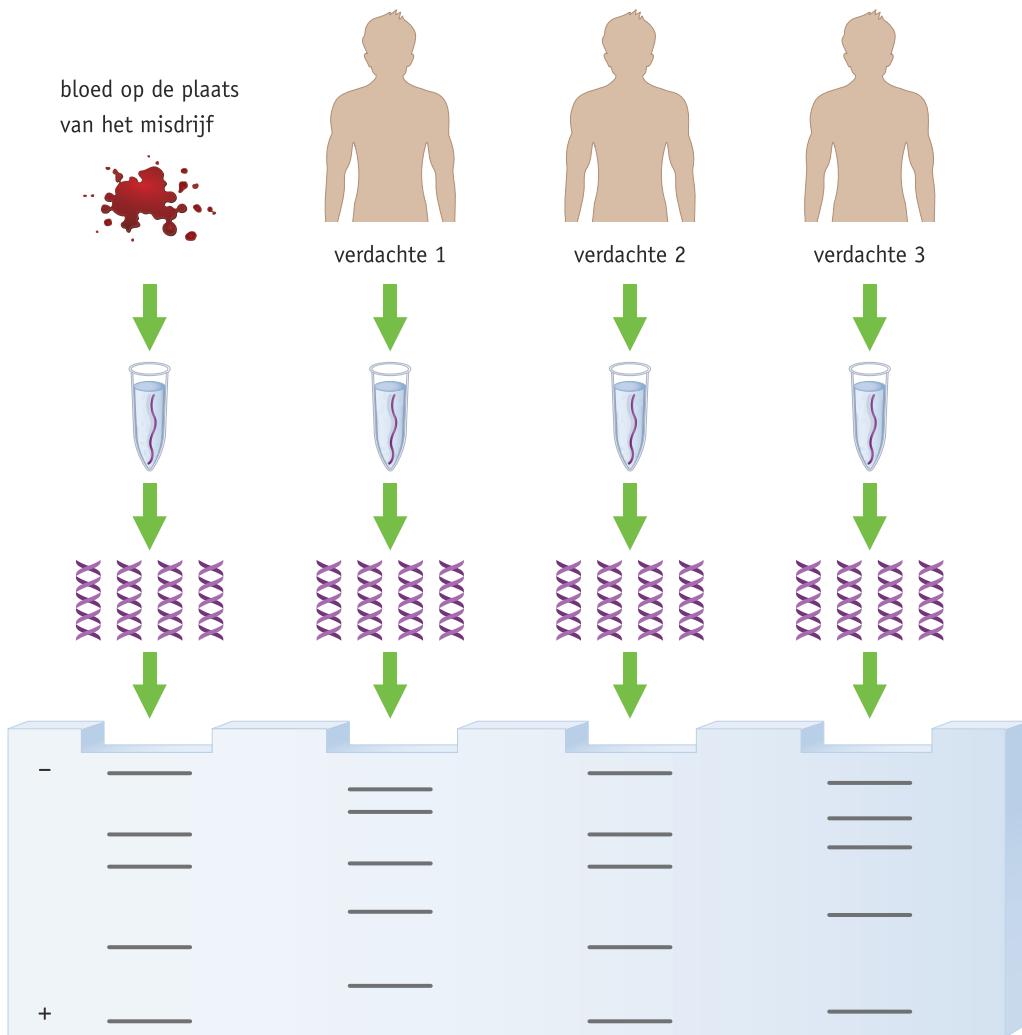
**Maak de volgende opdrachten in je schrift.**

4

De politie vindt bloed op de plaats van een misdaad. Na onderzoek worden drie mensen ervan verdacht de misdaad te hebben gepleegd. Om de dader te vinden, wordt DNA-onderzoek gedaan. In afbeelding 2 zie je de resultaten van het onderzoek.

- Welke verdachte moet de politie arresteren? Leg je antwoord uit.
- Is de verdachte opgespoord aan de hand van zijn genotype of van zijn fenotype?

**Afb. 2** Resultaten van een DNA-onderzoek.



**5**

- Er zijn voor- en tegenstanders van genetische modificatie.  
 Hierna staan argumenten die voor- en tegenstanders kunnen gebruiken.  
 Geef bij elk argument aan of dit past bij voorstanders of bij tegenstanders van genetische modificatie.
- 1 De mens heeft niet het recht de erfelijke eigenschappen van andere organismen te veranderen.
  - 2 Door genetische modificatie kunnen erfelijke ziekten worden genezen.
  - 3 Door genetische modificatie kan een onderzoeker alle organismen ‘maken’ die hij maar wil.
  - 4 Genetisch gemodificeerde organismen kunnen in de natuur terechtkomen en daar schade veroorzaken.
  - 5 Medicijnen kunnen goedkoper en beter worden geproduceerd.

**6**

Lees de tekst ‘De gloeivis’.

- a De gloeivis krijgt in de natuur minder jongen dan andere zebrafissen.  
 Geef hiervoor een verklaring.
  - b Heeft de gloeivis hetzelfde fenotype als een normale zebrafvis? En hetzelfde genotype?
  - c Welke DNA-techniek(en) kun je gebruiken om bij vissen een gen van een andere soort in te brengen?
  - d Voor het genetisch modifieren van de groene visjes wordt een gen uit een kwal gebruikt.
- Is de kwal een transgen organisme? Leg je antwoord uit.

**Afb. 3**

### De gloeivis

In de Verenigde Staten kun je in dierenwinkels gloeivissen kopen van het bedrijf Glofish. Gloeivissen zijn genetisch gemodificeerde zebrafiszjes. Onderzoekers uit Singapore hebben deze visjes een gen gegeven uit een zeeanemoon. Dankzij dit gen worden de vissen felrood als je ze verlicht met een uv-lamp. Er zijn ook varianten in andere kleuren. De groene hebben een gen dat afkomstig is uit een kwal.

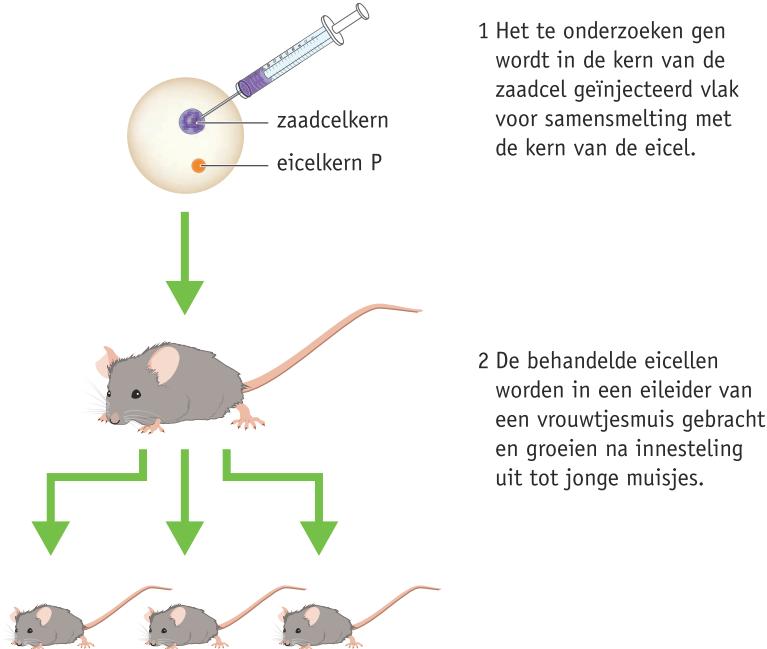
In Europa is het verboden om genetisch gemodificeerde dieren in te voeren. Om toch te kunnen invoeren, is speciale toestemming nodig. De gloeivissen mogen hier dus niet worden verkocht.

In het wild kom je gloeiviszjes vrijwel niet tegen. Daar overleven ze minder goed dan andere zebrafiszjes, doordat ze te weinig jongen krijgen.

**7**

In afbeelding 4 zie je hoe een gen van een mens wordt overgebracht in een muis. Het gen wordt ingebracht in een chromosoom van een bevruchte eicel van de muis. Hierdoor kan de functie van een menselijk gen worden onderzocht.

- a Is dit een voorbeeld van genetische modificatie? Leg je antwoord uit.
- b In de kern van cel P komen 20 chromosomen voor.  
 Hoeveel chromosomen komen er voor in de spiercellen uit de rechtervoorpoot van de muis? Leg je antwoord uit.
- c Bezitten alle jonge muizen een gen dat afkomstig is van de mens? Leg je antwoord uit.
- d Leg uit hoe onderzoekers de functie van het menselijk gen kunnen ontdekken.

**Afb. 4** Een gen wordt overgebracht in een muis.**+ 8**

De crispr-cas-techniek werkt bij bacteriën, planten, dieren en mensen. Ook kun je DNA van bijvoorbeeld bacteriën plaatsen in dieren.

- a Leg uit hoe het kan dat de techniek bij alle verschillende organismen werkt.
- b In Amerika zijn appels te koop die niet meer bruin verkleuren na het snijden. Dit is gelukt door bepaalde genen kapot te knippen met crispr-cas.  
Leg in eigen woorden uit hoe crispr-cas ervoor kan zorgen dat een appel niet meer bruin wordt.
- c Bedenk zelf een voorbeeld waarbij jij crispr-cas graag zou willen inzetten.

Ga naar de *extra opdrachten*, *Flitskaarten* en *Test jezelf*.

# Samenhang

## DETOXDUIVEN OP DE DAM

**Wie aan de natuur denkt, denkt meestal niet aan de stad. Maar in de stad leven ook wilde planten en dieren. Veel van die soorten zijn perfect aan het stadse leven aangepast.**

### STADSDUIVEN

De stadsduif is een soort die goed is aangepast aan zijn milieu. Duiven komen oorspronkelijk niet in Nederland voor, maar in rotsachtige gebieden. De stadsduif stamt af van de rotsduif en voelt zich daardoor prima thuis op de smalle richels en kozijnen van hoge gebouwen. Ook zijn er in de stad veel schuilplaatsen voor de duiven en is er genoeg voor ze te eten. In de steden zijn ook weinig natuurlijke vijanden voor de duif. De stadsduif is veel brutaler dan de duiven op het platteland, en zijn veren zijn een stuk donkerder.

Afb. 1 Duiven op de Dam in Amsterdam.



### ZWARE METALEN

Een nadeel van het leven in de stad is de grote hoeveelheid gif in het milieu, zoals zware metalen. Je moet dan niet denken aan spijkers en schroeven, maar aan heel kleine deeltjes. Die deeltjes zijn zo klein dat ze kunnen oplossen in het bloed van de duiven. De duiven krijgen de zware metalen binnen via hun voedsel. Vrouwjesduiven leggen minder eieren als ze veel van die metalen in hun bloed hebben. Ook de mannetjes zijn minder vruchtbaar.

Het blijkt dat duiven met donkergekleurde veren minder last hebben van de zware metalen. De donkere kleurstof in de veren bindt zich aan de metalen in het bloed. De metalen worden daardoor opgeslagen in de veren. De gezondheid van de duiven gaat dan veel minder achteruit. De donkere kleurstof haalt de zware metalen uit het bloed: de duiven detoxen zichzelf. Detoxen betekent ‘gif eruit halen’.

### STADSEVOLUTIE

Vaak gaat evolutie onmerkbaar langzaam, maar niet altijd. Kijk maar naar de duiven. Vanwege zware metalen in het milieu is het genotype van de stadsduiven veranderd. Ze hebben een donkerder verenkleed gekregen. Om evolutie in werkelijkheid te zien, hoef je dus niet ver te reizen of fossielen in een museum te bestuderen. Evolutie gebeurt ook heel dichtbij, gewoon in de stad.

## OPDRACHTEN

**1**

- a Leg uit dat stadsduiven met donkergekleurde veren goed zijn aangepast aan het milieu waarin ze leven.
- b Leg uit dat er steeds meer donkergekleurde duiven komen in de populatie stadsduiven.
- c In de tekst staat dat de veren van de duiven donkerder zijn geworden door zware metalen in het milieu.  
Inez denkt dat het ook zou kunnen komen doordat gebouwen in steden donkerder zijn. Donkere duiven hebben dan een betere schutkleur en vallen minder op voor hun natuurlijke vijanden.  
Heeft Inez gelijk? Leg je antwoord uit.

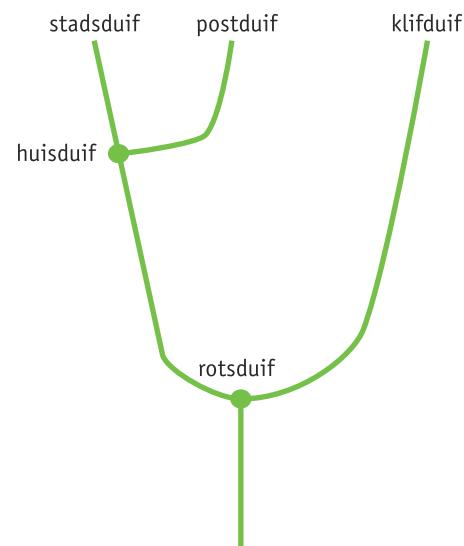
**2**

De stadsduif is nauw verwant aan de postduif. Samen hebben ze een gezamenlijke voorouder met de huisduif. De huisduif heeft een gezamenlijke voorouder met de rotsduif. De klifduif staat het verst van deze soorten af en is het nauwst verwant met de rotsduif.

Lenka tekent een evolutionaire stamboom met deze duivensoorten (zie afbeelding 2).

- a Wat klopt er niet aan de evolutionaire stamboom van Lenka?
- b Teken een juiste evolutionaire stamboom van de huisduif, de klifduif, de postduif, de rotsduif en de stadsduif.

**Afb. 2** De evolutionaire stamboom van Lenka.

**3**

In de tekst staat dat het genotype van de stadsduif zo veranderd is dat hun veren donkerder zijn. Een onderzoeker wil controleren of dit klopt. Ze denkt dat de kleurverandering ook kan komen door invloeden uit het milieu.

- a Hoe zouden invloeden uit het milieu voor de kleurverandering kunnen zorgen?
- b Is volgens de onderzoeker het genotype of het fenotype van de duiven veranderd? Of allebei? Leg je antwoord uit.
- c Voor haar onderzoek vangt de onderzoeker een aantal donkergekleurde duiven in de stad en een aantal lichtgekleurde duiven van het platteland. Ze wil door middel van kruisingen eerst controleren of de duiven tot dezelfde soort behoren.  
Wat moet ze daarvoor doen?
- d De onderzoeker geeft de lichtgekleurde duiven een jaar lang voer en water met zware metalen. Na een jaar laat ze de duiven paren. Ook de jongen krijgen voer en water met zware metalen.

Als invloeden uit het milieu de oorzaak zijn, zijn de veren van de jongen dan na een jaar licht of donker? En als genetische veranderingen de oorzaak zijn?

- e De onderzoeker geeft de donkergekleurde duiven een jaar lang voer en water waar geen zware metalen in zitten. Na een jaar laat ze de duiven paren. Ook de jongen krijgen voer en water zonder zware metalen.

Als invloeden uit het milieu de oorzaak zijn, zijn de veren van de jongen dan na een jaar licht- of donkergekleurd? En als genetische veranderingen de oorzaak zijn?

**4**

Er is een gen dat bepaalt of een duif een kuif heeft. Het allele K voor ‘geen kuif’ is dominant. Het allele k voor ‘kuif’ is recessief.

- a Welke genotypen kunnen duiven zonder kuif hebben?
- b In het wild komen duiven met een kuif bijna niet voor.  
Welk genotype hebben bijna alle wilde duiven voor de kuif? Leg je antwoord uit.
- c Een duivenfokker kruist twee duiven. Het mannetje heeft een kuif en het vrouwtje is homozygoot voor ‘geen kuif’. De twee nakomelingen kruist hij weer met elkaar.
  - Werk de kruising uit volgens het stappenplan voor P en F<sub>1</sub>.
  - Maak een kruisingsschema voor de F<sub>2</sub>.
- d Bij duiven die net uit het ei zijn gekropen, is moeilijk te zien of het mannetjes of vrouwtjes zijn. Daarom laat de fokker DNA-testen uitvoeren.  
Waardoor is het mogelijk om met een DNA-test het geslacht van een duivenjong te bepalen?
- e Het valt de duivenfokker op dat het vrouwtje in generatie P poten heeft die helemaal bedekt zijn met veren, en dat het mannetje kale poten heeft. De beide nakomelingen in F<sub>1</sub> hebben poten die half met veren bedekt zijn.  
Hoe heet het fenotype voor veren op de poten van de duiven in F<sub>1</sub>?
- f De fokker kruist de twee nakomelingen in F<sub>1</sub> nog een keer met elkaar. Daaruit worden vier jongen geboren in F<sub>2</sub>. Alle mogelijke fenotypen komen voor in F<sub>2</sub> in de te verwachten verhouding.  
Teken een mogelijke stamboom van deze twee kruisingen voor de eigenschap pootveren. Duiven waarbij de poten volledig met veren bedekt zijn, kleur je in; duiven met kale poten laat je open. Duiven waarvan de poten half bedekt zijn, arceer je. Zet telkens het genotype met betrekking tot de pootveren erbij. Bedenk zelf een logische naam voor de allelen.

**5**

Evolutie kan snel gaan. Hoe sneller een genetische aanpassing kan worden doorgegeven, hoe sneller de evolutie gaat. Die snelheid hangt af van:

- de generatietijd
- de sterkte van natuurlijke selectie
- de populatiegrootte
- a Wordt een aanpassing sneller of langzamer doorgegeven bij een grotere generatietijd (de tijd vanaf de geboorte totdat er nieuwe nakomelingen zijn)?
- b Wordt een aanpassing sneller of langzamer doorgegeven bij een sterkere natuurlijke selectie?
- c Wordt een aanpassing sneller of langzamer doorgegeven bij een grotere populatiegrootte?

 Ga naar de *Extra stof*.

# Leren onderzoeken

1

## JE ONDERZOEK SCHRIFTELJK PRESENTEREN

### LEERDOEL

- 3.0.1 Je kunt een biologisch onderzoek voorbereiden, uitvoeren en presenteren. ► Basisstof 4

### ERFELIJKHED IN JE FAMILIE

Je hebt allerlei eigenschappen die bepalen hoe je eruitziet, zoals je haarkleur, de kleur van je ogen en de vorm van je handen. Die eigenschappen zijn erfelijk en daarom zie je ze ook terug bij sommige familieleden. Je kunt ontdekken hoe eigenschappen binnen jouw familie overerven door een stamboomonderzoek uit te voeren.

Je gaat zo'n onderzoek doen. Je kiest één bepaald kenmerk van het gezicht of de handen (zie afbeelding 1). Je onderzoekt hoe dit kenmerk overerft bij zo veel mogelijk familieleden (broers, zussen, ouders, grootouders, ooms, tantes, neven, nichten). De resultaten geef je weer in een stamboom en je maakt een verslag van je onderzoek.

**Afb. 1** Erfelijke kenmerken.



### BIOLOGISCH ONDERZOEK

Je gaat bij een biologisch onderzoek altijd op dezelfde manier te werk. Een biologisch onderzoek start met een probleemstelling. In dit geval zou de probleemstelling kunnen zijn: *Hoe erven kenmerken van het gezicht of de handen over bij mensen?*

Omdat deze probleemstelling te vaag is om te kunnen onderzoeken, moet je je probleemstelling nauwkeuriger omschrijven. Je kiest één kenmerk uit waarmee je je onderzoek goed kunt uitvoeren. Dat moet dan een kenmerk zijn waarvan in je familie verschillende fenotypen voorkomen. Als namelijk al je familieleden voor een bepaalde eigenschap hetzelfde fenotype hebben, kun je geen conclusies trekken over de overerving van deze eigenschap.

Je ziet in afbeelding 1 verschillende kenmerken die geschikt zijn om de overerving ervan te onderzoeken. Je formuleert een onderzoeksraag die precies omschrijft wat je wilt onderzoeken. Bijvoorbeeld:

*Hoe erfde het kenmerk ... over in mijn familie?*

Je probeert voordat je met je onderzoek begint een antwoord te geven op je onderzoeksraag: je formuleert een hypothese. Je hypothese is bijvoorbeeld dat het allele voor een bepaalde eigenschap dominant is of recessief. Bij de verwachting ga je je resultaten voorspellen. Je verwachting kan bijvoorbeeld zijn:  
... dat een bepaalde eigenschap bij meer dan 50% van je familie voorkomt  
(bij de hypothese dat het allele voor deze eigenschap dominant is).

Daarna bedenk je een onderzoeksopzet om te onderzoeken of je hypothese klopt. Je maakt hierbij een werkplan. In je werkplan beschrijf je bijvoorbeeld welke familieleden je kiest voor je onderzoek. Je vermeldt op welke dag(en) je het onderzoek wilt uitvoeren. Ook beschrijf je hoe je de resultaten wilt weergeven. Maak hierbij in elk geval een stamboom.

Als je je onderzoek hebt uitgevoerd, maak je er een verslag van. Je verslag bestaat uit zes onderdelen:

- 1 probleemstelling
- 2 onderzoeksraag
- 3 hypothese en verwachting
- 4 experiment
- 5 resultaten
- 6 conclusie

## OPDRACHT

1

- a Voor welk kenmerk van het gezicht of de handen ga je je onderzoek uitvoeren?
  - b Wat is jouw onderzoeksraag?
  - c Welk antwoord verwacht je te vinden bij jouw onderzoeksraag?
  - d Welke familieleden vraag je om mee te doen aan je onderzoek?
  - e Wanneer ga je het onderzoek uitvoeren?
  - f Welke spullen heb je nodig om je onderzoek uit te voeren?
  - g Hoe ga je de resultaten weergeven? Maak je bijvoorbeeld een tabel?
- Laat de antwoorden controleren door je docent. Die beoordeelt of de opzet voor jouw onderzoek goed is. Daarna kun je het onderzoek gaan uitvoeren.
  - Als je klaar bent met het onderzoek, schrijf je een verslag. Het verslag bestaat uit de volgende onderdelen:
    - Wat wil ik onderzoeken? Beschrijf de probleemstelling en de onderzoeksraag. Gebruik hiervoor de onderzoeksraag die je bij vraag b hebt opgeschreven.
    - Wat is mijn hypothese? Gebruik hiervoor de verwachting die je bij vraag c hebt opgeschreven.
    - Wat ga ik doen? Beschrijf hier je experiment.
    - Wat neem ik waar? Geef je resultaten weer.
    - Trek een conclusie uit de resultaten van je onderzoek. Bij dit onderdeel geef je antwoord op de onderzoeksraag. Maak hierbij in elk geval een stamboom.

-  Ga naar de *Flitskaarten en Test jezelf*.

# Practica

1

## MAISKORRELS

### LEERDOELEN

- 3.2.1 Je kunt omschrijven wat homozygoot, heterozygoot, dominant, recessief en intermediair fenotype betekenen. ► Basisstof 2 en 3
- 3.3.1 Je kunt een kruisingsschema opstellen.
- 3.3.2 Je kunt bij een gegeven kruising genotypen en fenotypen van ouders en/of nakomelingen afleiden.

 45 minuten

### WAT GA JE DOEN?

Je gaat achterhalen of het allel voor ruwe maiskorrels recessief of dominant is. Daarvoor onderzoek je deze eigenschap bij maiskollen.

### WAT HEB JE NODIG?

- een maiskolf

### WAT MOET JE DOEN?

- Van je docent krijg je een maiskolf met verschillende zaden.

Elke maiskorrel (zaad) is een nakomeling van een bevruchte maisplant. De zaden met rimpels noem je ruwe zaden. De zaden zonder rimpels noem je gladde zaden.

- Tel het aantal nakomelingen met rimpels (de ruwe zaden).
- Tel het aantal nakomelingen zonder rimpels (de gladde zaden).
- Maak een tabel met de aantallen ruwe en gladde zaden.
- Maak een staafdiagram met de gegevens uit je tabel.

### OPDRACHT

1

- a Maak twee kruisingsschema's. Neem voor het allel van de ruwe zaden de letter R en van de gladde zaden de letter r.
- b De hypothese is: 'Het allel voor ruwe maiskorrels is dominant over het allel voor gladde maiskorrels.'  
Klopt deze hypothese met jouw resultaten volgens jouw kruisingstabellen?
- c Wat is de conclusie die je bij jouw resultaten kunt trekken?

# Samenvatting

## BASIS 1

### GENOTYPE EN FENOTYPE

#### 3.1.1 Je kunt omschrijven wat een genotype, wat een fenotype en wat een gen is.

- Genotype: de informatie voor alle erfelijke eigenschappen van een organisme.
  - Deze informatie ligt in de chromosomen in de kern van elke lichaamscel.
  - Het genotype bestaat uit alle genen in een celkern.
- Fenotype: alle eigenschappen van een organisme.
  - Het fenotype komt tot stand door het genotype en door invloeden uit het milieu.
- Gen: de stukjes DNA die samen de informatie bevatten voor één eigenschap.
  - Een chromosoom bestaat uit veel genen.
  - In lichaamscellen komen chromosomen in paren voor.
  - In lichaamscellen bestaat een gen uit twee allelen (varianten van een gen).
  - De allelen van een gen kunnen gelijk of ongelijk zijn.

#### 3.1.2 Je kunt beschrijven hoe organismen informatie over erfelijke eigenschappen overdragen aan hun nakomelingen via chromosomen.

- Het genotype van een organisme wordt bepaald op het moment van bevruchting.
  - In geslachtscellen komen chromosomen enkelvoudig voor.
  - In geslachtscellen komen allelen enkelvoudig voor.
  - Bij de bevruchting vormen de chromosomen uit de zaadcel en de chromosomen uit de eicel weer chromosomenparen.
  - In een bevruchte eicel bestaat een gen weer uit twee allelen.

### BEGRIPPEN

#### allel

Variant van een gen; elk gen bestaat uit twee allelen.

#### fenotype

Alle eigenschappen van een organisme.

#### gen

De stukjes DNA die samen de informatie voor een erfelijke eigenschap bevatten.

#### genotype

De informatie voor alle erfelijke eigenschappen van een organisme; alle genen in een celkern samen.

## BASIS 2

### GENEN

#### 3.2.1 Je kunt omschrijven wat homozygoot, heterozygoot, dominant, recessief en intermediair fenotype betekenen.

- Homozygoot: het gen voor een eigenschap bestaat uit twee gelijke allelen (AA of aa).
- Heterozygoot: het gen voor een eigenschap bestaat uit twee ongelijke allelen (Aa).
- Dominant allele: een allele dat altijd tot uiting komt in het uiterlijk.
  - Een dominant allele wordt aangegeven met een hoofdletter.
  - Organismen waarbij een dominant allele in het uiterlijk tot uiting komt, kunnen homozygoot of heterozygoot voor deze eigenschap zijn.
- Recessief allele: een allele dat alleen tot uiting komt in het uiterlijk als er geen dominant allele aanwezig is.
  - Een recessief allele wordt aangegeven met een kleine letter.
  - Organismen waarbij een recessief allele in het fenotype tot uiting komt, zijn homozygoot voor deze eigenschap.

- Wanneer geen van beide allelen van een gen dominant is, heeft het organisme een intermediair fenotype voor deze eigenschap.
  - Beide allelen van het genenpaar komen even sterk tot uiting in het fenotype.
  - Een intermediair fenotype noteer je met vier letters, bijv.:  $A_r A_r$  = rood,  $A_w A_w$  = wit,  $A_r A_w$  = roze.

## BEGRIPPEN

### dominant allele

Allel dat altijd tot uiting komt in het uiterlijk.

### heterozygoot

Twee verschillende allelen voor een bepaalde eigenschap.

### homozygoot

Twee gelijke allelen voor een bepaalde eigenschap.

### intermediair fenotype

Fenotype waarin beide allelen even sterk tot uiting komen.

### recessief allele

Allel dat alleen tot uiting komt als er geen dominant allele is.

## BASIS 3

## KRUISINGEN

### 3.3.1 Je kunt een kruisingsschema opstellen.

- In een kruisingsschema worden de generaties aangegeven met letters.
  - P: de ouders
  - $F_1$ : de eerste generatie nakomelingen
  - $F_2$ : de generatie nakomelingen die ontstaat door onderling voortplanten van  $F_1$ -individuen
- Het opstellen van een kruisingsschema.
  - Bedenk wat de fenotypen en genotypen van de ouders zijn.
  - Bedenk welke allelen in de geslachtscellen van de ouders kunnen voorkomen.
  - Stel vast welke genotypen en fenotypen de nakomelingen kunnen hebben.
  - Stel vast welke genotypen en fenotypen de organismen in de  $F_2$  kunnen hebben.
- Stappenplan en kruisingsschema bij een kruising van homozygoot dominant met homozygoot recessief:

P	AA	$\times$	aa
geslachtscellen	A		a
$F_1$		Aa	
	Aa	$\times$	Aa
geslachtscellen	A of a		A of a

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

- Verhouding van genotypen in de  $F_2$ : AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1.
- Verhouding van fenotypen in de  $F_2$ : fenotype waarbij het dominante allele tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve allele tot uiting komt = 3 : 1.

- Stappenplan en kruisingsschema bij een intermediair fenotype:

P	$A_r A_r$	$\times$	$A_w A_w$
geslachtscellen	$A_r$		$A_w$
$F_1$		$A_r A_w$	
	$A_r A_w$	$\times$	$A_r A_w$
geslachtscellen	$A_r$ of $A_w$		$A_r$ of $A_w$

	$A_r$	$A_w$
$A_r$	AA <sub>r</sub>	AA <sub>w</sub>
$A_w$	A <sub>r</sub> A <sub>w</sub>	A <sub>w</sub> A <sub>w</sub>

- Verhouding van genotypen in de  $F_2$ :  $A_r A_r$  :  $A_r A_w$  :  $A_w A_w$  = 1 : 2 : 1.
- Verhouding van fenotypen in de  $F_2$ , bijv.  $A_r A_r$  = rood,  $A_r A_w$  = roze,  $A_w A_w$  = wit: rood : roze : wit = 1 : 2 : 1.

### 3.3.2 Je kunt bij een gegeven kruising genotypen en fenotypen van ouders en/of nakomelingen afleiden.

- P: Aa × aa
  - Verhouding van genotypen in de F<sub>1</sub>: Aa : aa = 1 : 1.
  - Verhouding van fenotypen in de F<sub>1</sub>: fenotype waarbij het dominante allele tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve allele tot uiting komt = 1 : 1.
- P: Aa × Aa
  - Verhouding van genotypen in de F<sub>1</sub>: AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1.
  - Verhouding van fenotypen in de F<sub>1</sub>: fenotype waarbij het dominante allele tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve allele tot uiting komt = 3 : 1.
- P: A<sub>r</sub>A<sub>w</sub> × A<sub>w</sub>A<sub>r</sub>
  - Verhouding van genotypen in de F<sub>1</sub>: A<sub>r</sub>A<sub>w</sub> : A<sub>w</sub>A<sub>r</sub> = 1 : 1.
  - Verhouding van fenotypen in de F<sub>1</sub>: fenotype waarbij beide allelen tot uiting komen : fenotype waarbij een van de allelen tot uiting komt = 1 : 1.
- P: A<sub>r</sub>A<sub>w</sub> × A<sub>r</sub>A<sub>r</sub>
  - Verhouding van genotypen in de F<sub>1</sub>: A<sub>r</sub>A<sub>r</sub> : A<sub>r</sub>A<sub>w</sub> : A<sub>w</sub>A<sub>r</sub> = 1 : 2 : 1.
  - Verhouding van fenotypen in de F<sub>1</sub>: fenotype waarbij beide allelen tot uiting komen : fenotype waarbij een van de allelen tot uiting komt = 1 : 1.

#### BEGRIJPEN

##### generatie

De nakomelingen van hetzelfde ouderpaar.

##### kruisen

Twee organismen die met elkaar nakomelingen krijgen.

##### kruisingsschema

Tabel met alle mogelijke combinaties van allelen bij een kruising.

#### BASIS 4

#### STAMBOMEN

### 3.4.1 Je kunt uit een gegeven stamboom afleiden welke genotypen de ouders en/of nakomelingen hebben, welk allele dominant is en welk allele recessief.

- In een stamboom geef je een vrouw weer met een rondje en een man met een vierkantje.
- 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).

#### BEGRIJP

##### stamboom

Schematisch overzicht van een erfelijke eigenschap binnen een familie.

#### BASIS 5

#### VARIATIE IN GENOTYPEN

### 3.5.1 Je kunt beschrijven hoe door geslachtelijke voortplanting variatie in genotypen ontstaat.

- Bij geslachtelijke voortplanting versmelten twee geslachtscellen.
  - Door reductiedeling (meiose) ontstaan geslachtscellen met veel verschillende genotypen.
  - Welke geslachtscellen bij bevruchting versmelten, is afhankelijk van het toeval. Hierdoor ontstaan telkens nieuwe genotypen.
  - Bij geslachtelijke voortplanting verschilt het genotype van de nakomeling(en) van dat van de ouder(s).

- Bij ongeslachtelijke voortplanting groeit een deel van een individu uit tot een nieuw individu.
  - Deze groei vindt plaats door gewone celdeling (mitose). Hierbij hebben de dochtercellen hetzelfde genotype als de moedercel.
  - Bij ongeslachtelijke voortplanting is het genotype van de nakomeling(en) gelijk aan dat van de ouder(s).

### 3.5.2 Je kunt omschrijven wat een mutatie is en je kunt omschrijven hoe kanker ontstaat.

- Mutatie: een plotselinge verandering van het DNA.
  - Mutant: een individu waarbij een gemuteerd allele tot uiting komt in het fenotype.
- Als een mutatie in een lichaamscel optreedt, heeft dit meestal geen gevolgen. Het genotype van de andere lichaamscellen blijft ongewijzigd.
- Als een mutatie in een geslachtscel optreedt, kan dit wel een grote uitwerking hebben.
  - Deze geslachtscel moet dan betrokken zijn bij de bevruchting. Elke lichaamscel van de nakomeling bevat dan het gemuteerde allele.
- Mutagene invloeden verhogen het aantal mutaties:
  - straling (bijv. radioactieve straling, röntgenstraling of ultraviolette straling in zonlicht)
  - bepaalde chemische stoffen (bijv. stoffen in sigarettenrook, asbest)
- Ontstaan van kanker: ergens in het lichaam gaat een cel zich ongeremd delen.
- Uitszaaiing: cellen van het eerste gezwell komen elders in het lichaam terecht en kunnen op andere plaatsen in het lichaam nieuwe gezwellen vormen.

## BEGRIJPEN

### mutagene invloeden

Invloed uit de omgeving die de kans op een mutatie vergroot.

### mutant

Individu met een gemuteerd allele in het fenotype.

### mutatie

Plotselinge verandering van het DNA.

### variatie in genotypen

Verschillen in de erfelijke informatie van organismen binnen een soort.

## BASIS 6

## EVOLUTIE

### 3.6.1 Je kunt omschrijven wanneer organismen tot één soort behoren.

- Organismen behoren tot één soort als ze samen vruchtbare nakomelingen kunnen voortbrengen.
- Individuen van één soort kunnen tot verschillende rassen behoren.
  - De rassen kunnen sterk in uiterlijk verschillen.
  - Organismen die tot verschillende rassen van dezelfde soort behoren, kunnen zich samen voortplanten.

### 3.6.2 Je kunt beschrijven wat de evolutietheorie inhoudt en hoe geslachtelijke voortplanting, mutatie en natuurlijke selectie bijdragen aan het ontstaan van nieuwe rassen en soorten.

- Evolutie is de ontwikkeling van het leven op aarde, waarbij soorten ontstaan, veranderen en/of verdwijnen.
- De evolutietheorie is een verklaring voor het ontstaan, veranderen en/of verdwijnen van soorten.
- In een populatie komen voortdurend andere genotypen (en fenotypen) voor.
  - Door mutaties en geslachtelijke voortplanting ontstaat variatie in genotypen (en fenotypen).

- Natuurlijke selectie: individuen met bepaalde gunstige erfelijke eigenschappen zijn goed aangepast aan hun milieus. Daardoor krijgen ze meer nakomelingen dan individuen zonder deze erfelijke eigenschappen.
  - Individuen met een betere aanpassing aan het milieu hebben een grotere overlevingskans. Bijv.: dieren met een goede schutkleur worden minder snel opgemerkt door roofdieren dan dieren met een opvallende kleur.
  - Van individuen met een gunstig genotype zullen veel nakomelingen in leven blijven en zich voortplanten.
- Een soort evolueert (verandert) als door natuurlijke selectie een groep blijft voortbestaan en de oorspronkelijke vorm uitsterft.
  - Bijv.: als het milieu verandert, kan een andere vachtkleur de beste schutkleur blijken te zijn.
- Een nieuwe soort kan ontstaan als individuen die oorspronkelijk tot dezelfde populatie behoorden, zich niet meer met elkaar voortplanten.
  - Bijv.: een deel van een populatie kan langdurig geïsoleerd (gescheiden) raken van de rest van de populatie. Dit deel vormt een nieuwe populatie.
  - Beide populaties ontwikkelen zich langdurig gescheiden in verschillende milieus.
  - Na verloop van lange tijd zijn er zoveel verschillen ontstaan, dat individuen van de twee populaties zich niet meer met elkaar kunnen voortplanten. Er zijn twee soorten ontstaan.

## BEGRIPPEN

### evolutietheorie

Verklaring voor het ontstaan, veranderen en verdwijnen van levensvormen op aarde.

### milieu

Alle omstandigheden die invloed kunnen hebben op een organisme.

### natuurlijke selectie

Individuen met gunstige erfelijke eigenschappen krijgen meer nakomelingen.

### ras

Groep organismen binnen een soort die verschilt van de rest van de soort.

### soort

Organismen die samen vruchtbare nakomelingen kunnen krijgen.

## BASIS 7

## VERWANTSCHAP

### 3.7.1 Je kunt toelichten wat fossielen hebben bijgedragen aan de evolutietheorie.

- Fossielen: versteende overblijfselen van organismen of afdrukken van organismen in gesteenten.
  - Uit gevonden fossielen blijkt dat in de loop van de evolutie soorten zijn ontstaan, veranderd en/of verdwenen.

### 3.7.2 Je kunt toelichten dat overeenkomsten in de bouw van organen, de bouw van cellen en de samenstelling van stoffen in cellen duiden op verwantschap.

- Overeenkomst in de bouw van organen.
  - Organen met een verschillende functie kunnen veel overeenkomst in bouw vertonen. Bijv.: de vleugel van een vogel, de voorvin van een walrus, de voorpoot van een mol en de arm van een mens.
  - Deze organen zijn waarschijnlijk uit dezelfde grondvorm ontstaan. De organismen hebben een gemeenschappelijke voorouder gehad. De verschillen zijn ontstaan door aanpassing aan het milieu.
- Overeenkomst in de functie van organen.
  - Organen met eenzelfde functie kunnen weinig overeenkomst in bouw vertonen. Bijv.: de vleugel van een vogel en de vleugel van een vlinder.
  - Deze organen zijn waarschijnlijk niet uit dezelfde grondvorm ontstaan. De organismen zijn dus niet nauw verwant aan elkaar.

- Rudimentaire organen: organen die geen functie meer hebben en nauwelijks tot ontwikkeling komen.
  - Bijv.: het bekken bij een walvis, de pootresten bij reuzenslangen, de staartwervels bij de mens. Bij verwante soorten komen deze organen wel volledig tot ontwikkeling.
  - Door rudimentaire organen wordt het aannemelijk dat verschillende soorten organismen een gemeenschappelijke voorouder hebben.
- Overeenkomst in de bouw van cellen en de samenstelling van stoffen in de cellen.
  - Elk organisme bestaat uit een of meer cellen. De cellen vertonen overeenkomsten in bouw.
  - Cellen van verschillende organismen vertonen overeenkomsten in processen. Bijv.: celdeling en verbranding verlopen bij vrijwel alle organismen op dezelfde manier.
  - Cellen van verschillende organismen tonen overeenkomsten in de samenstelling van stoffen. Bijv.: DNA en eiwitten.

**BEGRIPPEN****evolutionaire stamboom**

Schematisch overzicht van de verwantschap tussen soorten.

**verwant(schap)**

Soorten met een gemeenschappelijke voorouder.

**BASIS 8****DNA-TECHNIEKEN****3.8.1 Je kunt enkele DNA-technieken in de biotechnologie beschrijven. (SE)**

- Biotechnologie is een verzamelnaam voor technieken waarbij organismen worden gebruikt om producten te vervaardigen voor de mens.
  - De veranderde organismen kunnen bijv. geneesmiddelen of hormonen produceren.
- Genetische modificatie: de mens verandert de erfelijke eigenschappen van andere soorten organismen.
  - Een genetisch gemodificeerd organisme noem je transgeen.
- Met recombinant-DNA-technieken wordt DNA van de ene soort overgebracht naar het DNA van een andere soort.
  - Bijv. crispr-cas: een techniek om nauwkeurig in het DNA te ‘knippen en plakken’.
- Gene editing (gen-aanpassing): genen repareren, verwijderen of toevoegen in het DNA van een organisme.
  - Gentherapie is het gebruik van gene editing om kapotte genen te repareren.
- Andere DNA-technieken:
  - Ieder mens heeft zijn eigen, unieke DNA. Met een DNA-test maak je een beeld van het DNA.
  - Als op de plaats van een misdrijf DNA wordt aangetroffen, wordt dit DNA vergeleken met het DNA van verdachte personen.
  - Met een DNA-test kun je verwantschapsonderzoek doen. Daaruit blijkt of mensen familie zijn van elkaar.

**BEGRIPPEN****biotechnologie**

Alle technieken waarbij organismen worden gebruikt om producten voor mensen te maken.

**genetische modificatie**

Aanpassen van erfelijke eigenschappen van organismen door de mens.

## EXTRA 9

## KLEUR BIJ KATTEN (VERDIEPING)



## 3.9.1 Je kunt beschrijven dat katten informatie over de vachtkleur doorgeven via de geslachtschromosomen.

- Een kat kent drie basiskleuren: zwart, rood of zwartrood.
- Het gen voor de kleur ligt op het X-chromosoom.
- Er zijn vijf verschillende genotypen en fenotypen mogelijk.
  - Genotype  $X^bX^b$  heeft als fenotype een zwarte poes.
  - Genotype  $X^BX^B$  heeft als fenotype een rode poes.
  - Genotype  $X^BX^b$  heeft als fenotype een zwartrode poes (schildpadpoes).
  - Genotype  $X^bY$  heeft als fenotype een zwarte kater.
  - Genotype  $X^BY$  heeft als fenotype een rode kater.
- Een zwartrode kater bestaat niet.
- De andere vachtkleuren van een kat worden bepaald door andere genen.

## EXTRA 10

## KLONEN (VERBREDING)



## 3.10.1 Je kunt methoden beschrijven om organismen te klonen en uitleggen wat de functie van klonen is.

- Bij stekken neem je een deel van een plant en dit deel laat je uitgroeien tot een nieuwe plant. Deze nieuwe plant is een kloon van de ouderplant.
- Een kloon is genetisch identiek aan de ouderplant.
- Dieren kun je ook klonen, bijv. door embryosplitsing en celkerntransplantatie.
  - Embryosplitsing: een klompje cellen, ontstaan uit een bevruchte eicel, wordt uit elkaar gehaald en teruggeplaatst. Elk gesplitst klompje cellen wordt een nakomeling.
  - Celkerntransplantatie: een celkern wordt in een lege eicel geplaatst.
- Klonen van cellen kunnen worden gebruikt als geneesmiddel.

## ONDERZOEK

## LEREN ONDERZOEKEN &amp; PRACTICA

## 3.0.1 Je kunt een biologisch onderzoek voorbereiden, uitvoeren en presenteren.

Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

# Examenopgaven

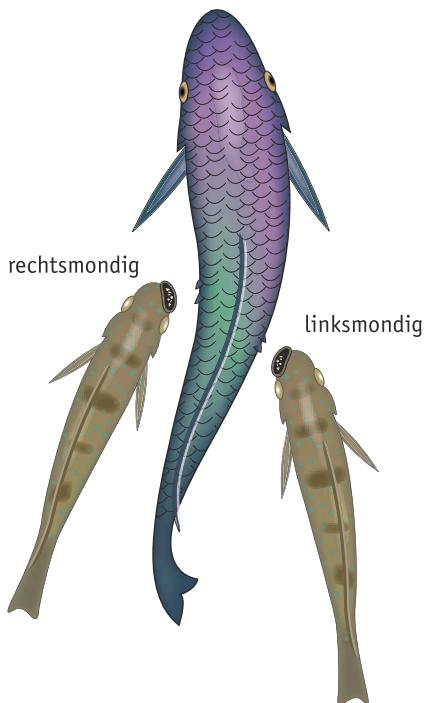
## SCHUBBENETERS

Bron: examen vmbo-gt 2019-1, vraag 40 tot en met 43.

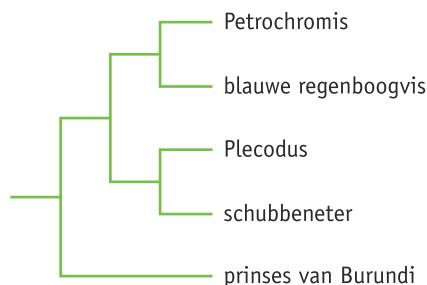
Schubbeneters leven in een meer in Afrika. Het zijn vissen die zich voeden met schubben van andere vissen.

Schubbeneters worden geboren met een scheve bek. De scheve bek zit links of rechts aan de voorkant van de vis (zie afbeelding 1). Jonge schubbeneters ontdekken dat ze met hun scheve bek het makkelijkst schubben van één zijkant van een vis kunnen afhappen. Een wetenschapper vermoedt dat het meer waarin de schubbeneters leven, al twintig miljoen jaar bestaat. Ze gaat ervan uit dat veel vissen in het meer een gemeenschappelijke voorouder hebben en maakt een stamboom (zie afbeelding 2).

Afb. 1



Afb. 2



- 1p **1** Hoe heet de theorie die verklaart hoe in de loop van de tijd door mutatie en selectie nieuwe soorten ontstaan uit een gemeenschappelijke voorouder?
  
- 1p **2** Welke groep vissen is volgens de stamboom het langst geleden als aparte groep ontstaan?
  - A Petrochromis
  - B blauwe regenboogvis
  - C Plecodus
  - D schubbeneter
  - E prinses van Burundi

- 1p **3** Aan welke groep vissen is een schubbeneter het meest verwant volgens de stamboom?
- Aan de Petrochromis.
  - Aan de blauwe regenboogvis.
  - Aan de Plecodus.
  - Aan de prinses van Burundi.
- 1p **4** Uit kruisingsproeven blijkt dat de eigenschappen linksmondig en rechtsmondig erfelijk zijn.  
In tabel 1 staan de resultaten van enkele kruisingen met schubbeneters.  
Hetallel voor rechtsmondig is recessief. Uit welke kruising kun je dat met zekerheid afleiden?
- Kruising 1.
  - Kruising 2.
  - Kruising 3.

**Tabel 1**

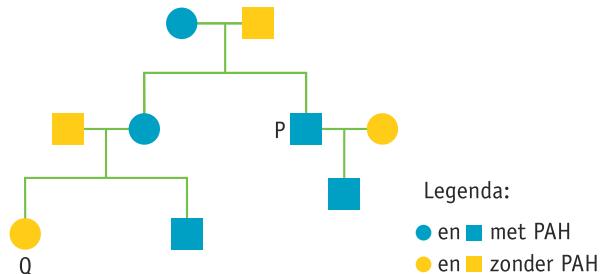
Kruising	Ouders	Nakomelingen	
		Linksmondig	Rechtsmondig
1	linksmondig × linksmondig	769	225
2	linksmondig × rechtsmondig	506	536
3	rechtsmondig × rechtsmondig	0	479

**PAH**

*Naar: examen vmbo-gt 2019-1, vraag 5.*

PAH is een aandoening waarbij de bloedvaten in de longen vernauwd zijn. Hierdoor moet het hart krachtiger samentrekken dan normaal om het bloed de longslagaders in te pompen. Bij PAH is daardoor de bloeddruk in de longslagaders heel hoog.

- 2p **5** PAH kan verschillende oorzaken hebben. Eén daarvan is een erfelijke afwijking, veroorzaakt door een dominant allele (A).  
In afbeelding 3 zie je een stamboom van een familie waarin de erfelijke vorm van PAH voorkomt.  
Wat is het genotype van persoon P? En wat is het genotype van persoon Q?

**Afb. 3**

## SIKKELCELANEMIE

*Bron: examen vmbo-gt 2019-1, vraag 15.*

Bij iemand met sikkcelanemie bevatten de rode bloedcellen een afwijkende vorm van hemoglobine. Daardoor kunnen deze cellen niet goed functioneren. Sikkcelanemie wordt veroorzaakt door een recessief allele (a).

- 1p **6** Hoe heet iemand met één allele voor sikkcelanemie?
- 1p **7** Twee personen zijn beiden heterozygoot voor het gen dat sikkcelanemie veroorzaakt. Ze verwachten samen een kind.  
Hoe groot is de kans dat dit kind sikkcelanemie krijgt?  
A 0%.  
B 25%.  
C 50%.  
D 75%.  
E 100%.

## TUINSLAKKEN

*Bron: examen vmbo-gt 2018-1, vraag 36 en 37.*

In afbeelding 4 zie je een tuinslak. Het huisje van deze tuinslak kan geel of bruin zijn. De kleur is een erfelijke eigenschap. Het allele voor de bruine kleur is dominant (A).

Afb. 4



- 2p **8** Een tuinslak die heterozygoot is voor de kleur van het huisje, paart met een homozygote tuinslak. Ze krijgen nakomelingen met een bruin huisje en nakomelingen met een geel huisje.  
Wat is het genotype van de homozygote ouder? En wat is het fenotype?
- 1p **9** In een tuin is de bodem bedekt met bruin strooisel. Het strooisel bestaat uit dode resten van organismen. In deze tuin leeft een populatie slakken. Er zijn slakken met gele huisjes en slakken met bruine huisjes. De slakken eten van de dode resten op de bodem van de tuin. Zelf worden de slakken gegeten door vogels.  
In de loop van enkele jaren neemt het deel van de populatie dat bestaat uit slakken met gele huisjes af. Het deel met bruine huisjes neemt juist toe. Dit is het gevolg van natuurlijke selectie.  
Leg uit hoe door natuurlijke selectie het aantal slakken met bruine huisjes in deze populatie toeneemt.

 Ga naar de *extra Examenopgaven* en de *Examentraining*.