

pp164

Thema 3. Genetica

pp165

Genetica of erfelijkheidsleer is de wetenschap die bestudeert hoe eigenschappen van ouders kunnen worden doorgegeven aan nakomelingen. In dit thema leer je de manieren waarop erfelijke eigenschappen kunnen overerven en los je erfelijkheidsvraagstukken op. Een voorbeeld van zo'n vraagstuk is: als vader en moeder beiden zwart haar hebben, kan hun kind dan blond haar hebben?

Inhoud

ORIËNTATIE

- Designerdogs 166
- Voorkennistoets (Online)
- Voorkennisfilmpje (Online)

BASISSTOF

1. Fenotype en genotype 168
2. Genenparen 175
3. Monohybride kruisingen 184
4. Geslachtschromosomen 194
5. Speciale manieren van overerven 201
6. Opvoeding of aanleg (SE) 208

SAMENHANG

- Twin strangers 214

EXTRA STOF

- Erfelijkheid in je familie (Online)

ONDERZOEK

- Practica 216

AFSLUITING

- Samenvatting 220
- Examenopgaven 224

Oriëntatie

Designerdogs

Een labradoodle, een puglie of een schnoodle: wie wil er nu niet zo'n schattige 'designerdog'? Ze zijn razendpopulair vanwege hun uiterlijk, omdat ze geen allergische reactie veroorzaken, kindvriendelijk zijn en intelligent. Het fokken van deze honden krijgt ook veel kritiek omdat hun gezondheid soms te wensen overlaat.

Een designerdog is een kruising tussen twee rashonden. Deze rashonden moeten een goedgekeurde stamboom bezitten als bewijs van raszuiverheid. Een designerdog is dus niet zomaar een kruising tussen een rashond en een willekeurige andere hond. De rassen die worden gekruist, zijn geselecteerd op bepaalde eigenschappen. Zo kruisen fokkers bijvoorbeeld een poedel met een labrador om een labradoodle te krijgen. Van poedels is bekend dat ze geen allergische reactie veroorzaken en van labradors dat ze kindvriendelijk zijn. Als een fokker deze twee rassen kruist, hoopt hij dat het resultaat een labradoodle is die beide eigenschappen bezit.

Veel rashonden en designerdogs hebben last van bepaalde ziekten of nadelige eigenschappen. Vaak hoor je dat deze honden zijn 'doorgefokt'. Dat betekent dat er bij het fokken zo lang op bepaalde eigenschappen is geselecteerd, dat ze nadelig worden voor de dieren zelf.

Zo heeft de mopshond een korte snuit waardoor hij moeilijk adem kan halen. Bij andere rassen komen weer andere problemen voor. Sommige rassen hebben een te klein hoofd, waardoor een hond altijd hoofdpijn heeft. Of heupdysplasie, een aandoening waardoor een hond moeilijk kan lopen.

ba

Bijchrift: Afb. 1. Vrouw met labradoodle.

ea

pp167

Voorstanders van designerdogs zeggen dat nakomelingen minder last hebben van nadelige gevolgen door verschillende rassen te kruisen. Tegenstanders beweren dat de nadelige eigenschappen van de twee rassen dan juist bij elkaar komen.

Geen van deze uitspraken is juist volgens dierenarts en onderzoekster Lisa Expeels. Zij deed jarenlang onderzoek naar de genetische gezondheid van zowel rashonden als designerdogs. Met genetische gezondheid bedoelt ze dat er geen erfelijke ziekten of aandoeningen voorkomen. Uit haar onderzoek blijkt dat de gezondheid van de ouderhonden bepalend is voor de gezondheid van de pups. Deze conclusie geldt zowel voor designerdogs als voor rashonden.

Het echte probleem is volgens Lisa Expeels de selectie van de ouderhonden door de fokkers. Fokkers selecteren ouderhonden niet op basis van hun genetische gezondheid, maar op basis van uiterlijke of persoonlijkheidskenmerken. Fokkers doen geen DNA-testen om te kijken of de ouders erfelijke eigenschappen voor ziekten bij zich dragen die ze door kunnen geven aan hun puppy's.

Lisa Expeels geeft aan dat zolang fokkers op deze manier selecteren, de gezondheid van de dieren hieronder lijdt.

Opdrachten

Opdracht 1.

Een fokker kruist een mannelijke poedel met een vrouwelijke labrador om zo labradoodle-pups te krijgen.

Welk percentage erfelijke eigenschappen heeft één pup gemeenschappelijk met de poedel?

Opdracht 2.

De labradoodles uit afbeelding 2 zijn allemaal broers en zussen. Zij hebben dus dezelfde ouders. Toch zien ze er niet allemaal hetzelfde uit. Ook de erfelijke eigenschappen van deze honden verschillen van elkaar.

Hoe komt het dat deze puppy's niet allemaal dezelfde erfelijke eigenschappen bezitten?

ba

Bijchrift: Afb. 2. Labradoodle-puppy's.

ea

Opdracht 3.

Om te fokken worden honden geselecteerd op basis van bepaalde uiterlijke kenmerken. Deze kenmerken worden deels bepaald door de erfelijke informatie in hun DNA, maar ook deels door invloeden uit de omgeving.

Geef twee voorbeelden van invloeden uit de omgeving die het uiterlijk van een hond beïnvloeden.

Opdracht 4.

Bij rashonden en designerdogs komen vaker erfelijke ziekten zoals epilepsie voor. Dit komt doordat er regelmatig (verre) familieleden met elkaar worden gekruist.

Neemt de genetische variatie toe of af als familieleden met elkaar worden gekruist?

Opdracht 5.

In 2018 werd in de Tweede Kamer een discussie gevoerd over het fokken van rashonden en designerdogs. Carola Schouten, minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, gaf toen aan dat zij het fokken van rassen voor het plezier van de mens zonder de inachtneming van de gevolgen voor de dieren vindt getuigen van een gebrek aan medeleven.

Wat is jouw mening over het fokken van rassen designerdogs? Onderbouw je mening met een argument.

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

pp168

Basisstof

1. Fenotype en genotype

bk

LEERDOELEN

- 3.1.1 Je kunt beschrijven wat het fenotype en wat het genotype van een organisme is.
- 3.1.2 Je kunt uitleggen wat autosomen, geslachtschromosomen en homologe chromosomen zijn.
- 3.1.3 Je kunt uitleggen dat een fenotype tot stand komt door de combinatie van genotype en de invloed van milieufactoren.

bt

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

et

ek

Als je in de spiegel kijkt, dan zie je welke eigenschappen je deelt met je moeder of je vader. Maar niet al je eigenschappen zijn afkomstig van je ouders. Welke eigenschappen zijn erfelijk en welke niet?

Fenotype en genotype

Elk organisme lijkt in meer of mindere mate op zijn ouders. Een pasgeboren baby bijvoorbeeld heeft eigenschappen van zijn vader en zijn moeder. Maar de baby kan ook eigenschappen hebben die bij de vader en de moeder niet waarneembaar zijn.

Alle waarneembare eigenschappen van een individu noem je het **fenotype**. Hierbij horen eigenschappen zoals haarkleur, oogkleur en lichaamsgeur, maar ook eigenschappen zoals bloedgroep en kleurenblindheid.

De informatie voor alle erfelijke eigenschappen van een individu noem je het **genotype**.

Deze **genetische informatie** ofwel **genetische code** ligt opgeslagen in de chromosomen. Het genotype komt tot stand als bij bevruchting de zaadcel van de vader en de eicel van de moeder versmelten. Zowel de zaadcel als de eicel bevat chromosomen. Via deze chromosomen dragen beide ouders erfelijke eigenschappen over aan hun kind (zie afbeelding 1).

pp169

ba

Bijchrift: Afb. 1. Ontstaan van het genotype bij bevruchting.

bND

Beschrijving afbeelding

geslachtscel (zaadcel) met informatie voor erfelijke eigenschappen van de vader
chromosomen afkomstig van de vader en de moeder

het fenotype: de waarneembare eigenschappen van de baby

geslachtscel (eicel) met informatie voor erfelijke eigenschappen van de moeder

bevruchte eicel: het genotype is tot stand gekomen op het moment van de bevruchting

eND

ea

Chromosomen

Chromosomen zijn langgerekte dunne 'draden' in de celkern, ze bestaan uit DNA dat is opgerold om eiwitten. Chromosomen zijn alleen bij delende cellen met een lichtmicroscoop waarneembaar.

In afbeelding 2 zijn de 46 chromosomen van een menselijke lichaamscel naar grootte in paren gerangschikt. Deze rangschikking van chromosomen heet een karyogram. Dit noem je ook wel een chromosomenportret (zie *BiNaS* tabel 70B).

Een menselijke lichaamscel bevat 23 paar chromosomen. Er kunnen bij zowel mannen als vrouwen 22 gelijke chromosomenparen worden gevormd. Deze 44 chromosomen noem je **autosomen**. Doordat de chromosomen van een chromosomenpaar gelijk zijn in lengte en vorm, noem je zo'n paar **homologe chromosomen**. Homologe chromosomen bevatten informatie voor dezelfde eigenschappen.

Met het 23e chromosomenpaar wordt het geslacht van een individu bepaald. Daarom heten deze chromosomen de **geslachtschromosomen**. Er zijn twee verschillende geslachtschromosomen, het **X-chromosoom** en het **Y-chromosoom**. Bij vrouwen zijn de

geslachtschromosomen aan elkaar gelijk: twee X-chromosomen (XX). De man heeft een X-chromosoom en een Y-chromosoom (XY). Deze zijn dus niet gelijk aan elkaar, maar vormen wel een paar.

ba

Bijzchrift: Afb. 2. Karyogram van een lichaamscel van de mens.

ea

Opdrachten - kennis

Opdracht 1.

Wat is het fenotype van een individu?

Opdracht 2.

Als een mannelijke leeuw volwassen wordt, dan krijgt hij manen. Leg uit of hiermee het fenotype of het genotype van deze leeuw verandert.

Opdracht 3.

Hoeveel procent van het genotype van een individu is afkomstig van de vader?

Opdracht 4.

Wat zijn homologe chromosomen?

Opdracht 5.

Vrouwen hebben 23 paar homologe chromosomen, terwijl mannen maar 22 paar homologe chromosomen hebben.

Waarom hebben mannen één paar homologe chromosomen minder dan vrouwen?

Genen

Een **gen** is een deel van een chromosoom dat de informatie bevat voor een of meer erfelijke eigenschappen, of voor een deel van een erfelijke eigenschap. Vaak is bij een bepaalde eigenschap meer dan één gen betrokken. Er zijn bijvoorbeeld meerdere genen die een rol spelen bij het ontstaan van de kleur van je ogen en je lichaamslengte. Een chromosoom bevat één zeer lang molecuul van de stof DNA en veel eiwitmoleculen. Het DNA-molecuul bestaat uit twee ketens die in een dubbele spiraal om elkaar heen gewonden liggen (zie afbeelding 3.1).

ba

Bijchrift: Afb. 3. Bouw van DNA.

bND

Zie tekeningenband.

Beschrijving afbeelding

nucleotideketen

nucleotideketen

1. Een DNA-molecuul is opgebouwd uit twee ketens, die in een dubbele spiraal om elkaar heen liggen.

fosfaatgroep

desoxyribose

osfaatgroep

desoxyribose

stikstofbase

basenpaar

stikstofbase

stikstofbase

nucleotide

desoxyribose

fosfaatgroep

2. Een DNA-molecuul bestaat uit twee ketens van aan elkaar gekoppelde nucleotiden.

eND

ea

pp171

In afbeelding 3.2 zie je dat DNA is opgebouwd uit nucleotiden. Een nucleotide bestaat uit een fosfaatgroep, desoxyribose en een stikstofbase. In een DNA-molecuul komen vier verschillende stikstofbasen voor: adenine (A), thymine (T), cytosine (C) en guanine (G). Ze vormen vaste paren:

- adenine is steeds verbonden met thymine (A-T);
- cytosine is steeds verbonden met guanine (C-G).

Je noemt dit daarom vaste basenparing.

Een chromosoom bevat een groot aantal genen (zie afbeelding 4). Eén gen bestaat uit honderden nucleotiden die in een bepaalde volgorde zijn gerangschikt. Dit noem je de DNA-sequentie. In deze volgorde kunnen variaties voorkomen. Zo'n variatie heet een **allel**. Zo bevat het allel voor zwarte haarkleur een andere volgorde van stikstofbasen dan het allel voor blonde haarkleur.

ba

Bijzchrift: Afb. 4. Genen op homologe chromosomen.

bND

Beschrijving afbeelding

chromosoom

genenpaar dat bestaat uit twee dezelfde allelen

genenpaar dat bestaat uit twee verschillende allelen

eND

ea

Genen kunnen worden aan- en uitgezet. Als een gen wordt aangezet, komt de erfelijke eigenschap van dit gen tot uiting. Je spreekt dan van genexpressie. Staan genen uit, dan spreek je van geninactivatie.

Een voorbeeld: in bepaalde cellen van je hoofdhuid staan de genen aan die betrokken zijn bij de vorming van hoofdharen. De genen voor deze eigenschap staan uit in je levercellen. Alle DNA-moleculen in een cel noem je het **genoom** van een organisme. In cellen vind je het meeste DNA in de celkern. DNA komt ook voor in mitochondriën en bladgroenkorrels.

Invloed van milieufactoren en modificaties

Het genotype bepaalt veel eigenschappen van een individu, maar niet alle. Het fenotype wordt bepaald door het genotype en door milieufactoren. Voorbeelden van milieufactoren die het fenotype beïnvloeden zijn licht, lucht (roken, luchtvervuiling), vochtigheid, temperatuur, voeding, ziekten en opvoeding. Het fenotype van een eik bijvoorbeeld verandert als er door een storm takken van de eik afbreken. Een dergelijke verandering noem je een modificatie. Bij een modificatie verandert de informatie in de chromosomen niet. Een modificatie wordt dus niet doorgegeven aan nakomelingen. De invloed van het milieu op mensen begint al in de baarmoeder. Wanneer een afwijking, aandoening of ziekte in de baarmoeder ontstaat, spreek je van een aangeboren afwijking of een aangeboren aandoening. Als deze via de chromosomen van de ouders wordt doorgegeven, is er sprake van een erfelijke ziekte of erfelijke aandoening.

pp172

Opdrachten - kennis

Opdracht 6.

Zet de volgende begrippen in de juiste volgorde van groot naar klein:

[] chromosoom

[] gen

[] genoom

[] nucleotide

[] stikstofbase

Opdracht 7.

- Hebben een zenuwcel en een spiercel in jouw lichaam hetzelfde genotype?
- Het uiterlijk en de functie van een zenuwcel en een spiercel verschillen. Door welke processen komt dit verschil tot stand?

Opdracht 8.

Geef in de tabel aan of het om een erfelijke eigenschap of een modificatie gaat.

bt

Eigenschap	Erfelijk	Modificatie
Behaarde bladeren bij een geranium	[]	[]
Slaphangende bladeren van een geranium	[]	[]
Blonde haren vanaf de geboorte	[]	[]
Blonde haren door een behandeling bij de kapper	[]	[]
Een litteken op je knie	[]	[]

et

Opdracht 9.

Wat is het verschil tussen een allel en een gen?

Opdrachten - inzicht

Opdracht 10.

Foetaal-alcoholsyndroom is een hersenaandoening die ontstaat doordat de moeder alcohol blijft drinken tijdens de zwangerschap. De alcohol komt via het bloed en de placenta bij het ongeboren kind terecht en remt daar de normale ontwikkeling van de hersenen. Kinderen die worden geboren met foetaal-alcoholsyndroom hebben vaak leer- en gedragsproblemen als gevolg van deze verstoerde hersenontwikkeling.

- a. Is foetaal-alcoholsyndroom een voorbeeld van een erfelijke eigenschap of een modificatie? Leg je antwoord uit.
- b. Is foetaal-alcoholsyndroom een aangeboren aandoening?

Opdracht 11.

De Radboud Universiteit in Nijmegen heeft onderzocht of dyslexie erfelijk is. Hiervoor is het DNA onderzocht van kinderen met dyslexie en het DNA van hun ouders.

Marieke heeft net als haar vader dyslexie. Haar broertje en moeder hebben geen dyslexie. Bij het onderzoek is gekeken naar bepaalde allelen in het DNA.

Hoe kunnen onderzoekers aan de hand van de allelen vaststellen of dyslexie erfelijk is?

pp173

Opdracht 12.

Karyogrammen

Voorronde Biologie Olympiade Junior 2018, vraag 9.

Een karyogram is een bewerkte microscoopfoto van de chromosomen in een cel. Door een karyogram te bestuderen kunnen afwijkingen in aantal of vorm van chromosomen worden vastgesteld. Die afwijkingen kunnen verschillende syndromen veroorzaken.

Hieronder staan vier syndromen beschreven.

- Mensen met het syndroom van Down hebben een extra chromosoom 21.
- Mensen met het syndroom van Patau hebben een extra chromosoom 13.
- Jongens met het syndroom van Klinefelter hebben naast hun Y-chromosoom twee of meer X-chromosomen.
- Meisjes met het syndroom van Turner hebben een X-chromosoom te weinig of een van de X-chromosomen heeft een afwijkende vorm.

ba

Bijzchrift: Afb. 5. Verschillende karyogrammen.

bND

Beschrijving afbeelding

karyogram 1

karyogram 2

karyogram 3

karyogram 4

eND

ea

Welk karyogram uit afbeelding 5 hoort bij welk syndroom? Noteer je antwoord als volgt:

karyogram 1 = ...

karyogram 2 = ...

Enzovoort.

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

Context Leefwereld - Blown en risico op psychosen

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

Cannabisgebruik (wiet en hasj) heeft invloed op de aanmaak van dopamine in de hersenen. Dat speelt een rol bij het ontstaan van psychosen. Hierdoor verhoogt cannabisgebruik het risico op psychosen bij mensen die hier gevoelig voor zijn.

Het COMT-gen beïnvloedt de gevoelighed van mensen voor psychosen. Dit COMT-gen komt voor op chromosoom 22 en kent twee varianten: de Val-variant en de Met-variant. Doordat elk chromosoom van chromosomenpaar 22 een variant van het gen heeft, zijn er drie combinaties mogelijk: Val/Val, Val/Met of Met/Met.

Er is een verband tussen de verschillende varianten van het COMT-gen en de ontwikkeling van psychosen na het gebruik van cannabis. Met bepaalde combinaties van dit gen loop je vier keer zo veel risico op de ontwikkeling van psychosen als je wiet rookt.

Zo blijkt dat personen met twee Val-varianten (Val/Val) op chromosomenpaar 22 het meeste risico lopen op psychosen. Deze combinatie komt ongeveer bij 25% van de Nederlandse bevolking voor. Niet alleen lopen zij meer risico op psychosen, maar ook treden bij hen geheugenproblemen op als gevolg van cannabisgebruik.

Personen met de Met/Met-combinatie hebben de kleinste kans op psychosen of geheugenproblemen na cannabisgebruik.

ba

Bijzchrift: Afb. 6. Jongeren die blonen.

ea

Opdrachten

Opdracht 13.

a. Het gebruik van cannabis kan leiden tot een psychose.

Behoort het krijgen van een psychose tot het fenotype of het genotype van een persoon?

b. Verandert het gebruik van cannabis het genotype van een persoon? Leg je antwoord uit.

c. Is het krijgen van een psychose als gevolg van cannabisgebruik erfelijk? Leg je antwoord uit.

d. Krijgt een persoon die twee keer de Met-variant heeft, nooit een psychose na het gebruik van cannabis?

pp175

2. Genenparen

bk

LEERDOELEN

- 3.2.1** Je kunt uitleggen hoe het fenotype van een organisme tot stand komt en hierbij de begrippen homozygoot, heterozygoot, dominant en recessief gebruiken.
- 3.2.2** Je kunt beschrijven hoe door recombinatie nieuwe combinaties van allelen ontstaan.

bt

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.2.1	3.2.2
Onthouden	15a	19
Begrijpen	14, 15b, 16, 18	17
Toepassen	20, 21, 22, 24, 25a, 26	
Analyseren	25b	23

et

ek

Je hebt vast weleens twee ouders met bruine ogen gezien die een kind hebben met blauwe ogen. Dit is niet zo vreemd als het lijkt: de oorzaak zit in de genen.

Homozygoot en heterozygoot

In lichaamscellen komen chromosomen en genen voor in paren. Homologe chromosomen bevatten dan ook genen voor dezelfde erfelijke eigenschappen. De genen liggen in elk chromosoom op dezelfde plaats (zie afbeelding 7).

ba

Bijzchrift: Afb. 7. Cel met chromosomen en genen (schematisch).

ea

Een gen voor een bepaalde eigenschap kan verschillende allelen hebben. Voor de eigenschap haarlijn bestaan er allelen voor een V-vormige haarlijn en allelen voor een rechte haarlijn. Bij personen met een rechte haarlijn bestaat het genenpaar voor de haarlijn uit twee allelen voor een rechte haarlijn (zie afbeelding 8.1). Je noemt deze personen **homozygoot** voor de eigenschap rechte haarlijn, omdat zij twee dezelfde allelen hebben.

Ook personen bij wie het genenpaar voor de haarlijn bestaat uit twee allelen voor een V-vormige haarlijn zijn homozygoot voor een V-vormige haarlijn (zie afbeelding 8.2). Er zijn ook personen van wie het genenpaar voor de haarlijn bestaat uit één allel voor een rechte haarlijn en één allel voor een V-vormige haarlijn. De twee allelen voor de haarlijn zijn dan ongelijk. Deze personen zijn **heterozygoot** voor de haarlijn (zie afbeelding 8.3).

ba

Bijdrage: Afb. 8. Een rechte en een V-vormige haarlijn op het voorhoofd.

bND

Beschrijving afbeelding

1. homozygoot voor een rechte haarlijn
2. homozygoot voor een V-vormige haarlijn
3. heterozygoot voor de haarlijn

eND

ea

Dominant en recessief

Personen die heterozygoot zijn voor de eigenschap haarlijn, blijken een V-vormige haarlijn te bezitten. Slechts één van beide allelen komt tot uiting in het fenotype. Je noemt dit allel het **dominante allel**. Het andere allel noem je het **recessieve allel**. Dit allel komt alleen tot uiting in het fenotype als er geen dominant allel aanwezig is. Het

dominante allele is als het ware 'sterker' dan het recessieve allele. De personen in afbeelding 8.2 en 8.3 hebben dezelfde haarlijn. Aan het fenotype is niet te zien of deze personen homozygoot zijn voor de haarlijn of heterozygoot. Personen die heterozygoot zijn, zijn **drager** van de recessieve eigenschap rechte haarlijn. Zij hebben het recessieve allele wel in hun genotype, maar dat is niet te zien aan hun fenotype.

Voor de meeste erfelijke eigenschappen geldt dat er dominante en recessieve allelen zijn. Er is sprake van volledige dominantie wanneer het recessieve allele helemaal niet tot uiting komt in het fenotype. Bij sommige erfelijke eigenschappen is het onderscheid tussen dominante en recessieve allelen minder duidelijk.

Bij de mens bijvoorbeeld is het allele voor bruine oogkleur dominant over het allele voor blauwe oogkleur. Bij iemand die homozygoot is voor bruine ogen, blijken de ogen donkerder te zijn dan bij iemand die heterozygoot is voor de oogkleur (zie afbeelding 9). Het recessieve allele komt toch een beetje tot uiting in het fenotype. Het allele voor bruine oogkleur noem je daarom **onvolledig dominant**.

ba

Bijschrift: Afb. 9. Oogkleur bij mensen.

bND

Beschrijving afbeelding

1. homozygoot voor blauwe ogen
2. heterozygoot voor oogkleur
3. homozygoot voor bruine ogen

eND

ea

pp177

Bij leeuwenbekjes zijn er allelen voor een rode bloemkleur en allelen voor een witte bloemkleur (zie afbeelding 10). Geen van beide allelen is recessief. De beide allelen voor de bloemkleur zijn bij deze planten als het ware 'even sterk'. Leeuwenbekjes die heterozygoot zijn voor de bloemkleur hebben roze bloemen. Beide allelen voor de bloemkleur komen enigszins tot uiting in het fenotype. Het fenotype dat ontstaat door twee onvolledig dominante allelen noem je een **intermediair** fenotype.

ba

Bijzchrift: Afb. 10. Bloemkleur bij leeuwenbekjes.

bND

Beschrijving afbeelding

1. homozygoot voor rode bloemkleur
2. heterozygoot voor bloemkleur
3. homozygoot voor witte bloemkleur

eND

ea

Allelen kunnen ook **codominant** overerven. Bij codominantie komen beide allelen volledig tot uiting in het fenotype. Bij bepaalde runderrassen resulteert een combinatie van een allele voor witte vacht en een allele voor zwarte vacht, in runderen met een gevlekte vacht (zie afbeelding 11).

ba

Bijzchrift: Afb. 11. Codominantie bij Holsteiner runderen.

ea

Welke allelen dominant en welke recessief zijn, verschilt per soort. Zo komen bij erwtenplanten ook allelen voor rode en voor witte bloemkleur voor, net als bij leeuwenbekjes. Maar een erwtenplant die heterozygoot is voor de bloemkleur, heeft rode bloemen. Bij erwtenplanten is het allele voor rode bloemen dominant over dat voor witte bloemen. Dit geldt voor alle planten van deze soort.

Genen weergeven

In de genetica of erfelijkheidsleer geef je genen aan met letters. Een dominant allele geef je aan met een hoofdletter, een recessief allele met een kleine letter. Zo geef je een individu dat heterozygoot is voor een bepaalde eigenschap aan met Aa. Je kunt ook andere letters gebruiken voor het aangeven van de allelen. Gebruik steeds dezelfde letter waarvan de hoofdletter en de kleine letter duidelijk van vorm verschillen zodat het verschil duidelijk zichtbaar is. Gebruik dus niet P en p, maar wel R en r.

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

Opdrachten - kennis

Opdracht 14.

- Hoeveel allelen voor oogkleur zijn aanwezig in een cel van je oog?
- Hoeveel allelen voor oogkleur zijn aanwezig in een geslachtscel?
- Leg uit of er ook allelen voor oogkleur in een spiercel aanwezig zijn.

Opdracht 15.

- Wat is een dominant allele?
- Is intermediair hetzelfde als onvolledig dominant? Leg je antwoord uit.

Opdracht 16.

In afbeelding 12 is een lichaamscel van Sjors schematisch getekend met daarin chromosomen en allelen.

Leg uit voor hoeveel eigenschappen Sjors homozygoot is.

Bijschrift: Afb. 12. Lichaamscel van Sjors met chromosomen en allelen.

ea

Recombinatie en mutatie

Het herverdelen van erfelijke eigenschappen heet **recombinatie**. Door recombinatie hebben nakomelingen een andere combinatie van allelen dan beide ouders. Recombinatie vindt plaats door meiose en geslachtelijke voortplanting (zie afbeelding 13).

ba

Bijzchrift: Afb. 13. Recombinatie van allelen door de vorming van geslachtscellen.

bND

Beschrijving afbeelding

meiose

kern in diploïde lichaamscel

mogelijke genotypen in haploïde geslachtscellen

eND

ea

Recombinatie door meiose vindt plaats tijdens meiose I. De allelen in een chromosomenpaar verschillen vaak. Bij meiose I gaan de chromosomen van een chromosomenpaar uit elkaar en worden willekeurig over de dochtercellen verdeeld. Hierdoor hebben de dochtercellen een verschillend genotype.

Bijvoorbeeld bij individuen van een soort met drie paar chromosomen ($2n = 6$) kunnen na meiose geslachtscellen ontstaan met acht (2^3) verschillende combinaties van chromosomen (zie afbeelding 13). Bij de mens ($n = 23$) kunnen geslachtscellen ontstaan met 2^{23} (8,4 miljoen) verschillende combinaties van chromosomen. Welke chromosomen de geslachtscellen bevatten die na bevruchting een nieuw individu opleveren, is afhankelijk van het toeval.

Bij geslachtelijke voortplanting ontstaat door bevruchting weer een diploïde cel (zygote) en worden de chromosomen en dus ook de allelen van beide ouders bij elkaar gebracht. Zo ontstaan bij de bevruchting door recombinatie nieuwe genenparen (zie afbeelding 14). De nakomeling zal altijd een andere combinatie van erfelijke eigenschappen bezitten dan de ouders. Meerdere nakomelingen van een ouderpaar verschillen vrijwel altijd van genotype.

ba

Bijchrift: Afb. 14. Geslachtelijke en ongeslachtelijke voortplanting (schematisch).

bND

Beschrijving afbeelding

geslachtelijke voortplanting

recombinatie

variatie

ongeslachtelijke voortplanting

geen variatie

eND

ea

pp180

Door recombinatie van allelen ontstaat een grote verscheidenheid aan genotypen binnen een soort. Je spreekt ook wel van **genetische variatie**. Hierdoor heeft de soort een grote overlevingskans. Als de milieuomstandigheden wijzigen, is de kans groot dat enkele individuen een genotype bezitten met een goede aanpassingsmogelijkheid voor nieuwe omstandigheden. Genetische variatie komt niet alleen tot stand door recombinatie van allelen, maar ook door mutaties. Mutaties zijn veranderingen in erfelijke eigenschappen.

Tweelingen

Een eeneiige tweeling ontstaat uit de versmelting van één zaadcel en één eicel. Na delingen van de zygote ontstaat een klompje cellen met hetzelfde genotype. Door omstandigheden splitst het klompje cellen zich in twee klompjes cellen. Deze ontwikkelen zich tot twee individuen waarbij alle lichaamscellen hetzelfde genotype hebben.

Een twee-eiige tweeling ontstaat uit twee zaadcellen en twee eicellen. De allelen in twee zaadcellen zijn niet precies hetzelfde. Dit geldt ook voor de allelen in de twee eicellen. De beide leden van een twee-eiige tweeling hebben dan ook niet hetzelfde genotype. Ze lijken net zo veel op elkaar als andere broers en zussen op elkaar lijken.

Opdrachten - kennis

Opdracht 17.

Fruitvliegen hebben acht chromosomen in hun lichaamscellen.

- a. Hoeveel chromosomen bevat een eicel van een fruitvlieg?
- b. Hoeveel paar homologe chromosomen bevat een zaadcel van een fruitvlieg?
- c. Hoeveel verschillende genotypen kan een geslachtscel van een fruitvlieg bevatten door recombinatie van de chromosomen? Leg je antwoord uit met een berekening.

Opdracht 18.

Xander en Ilona zijn een tweeling. Leg uit of zij een eeneiige of een twee-eiige tweeling zijn.

Opdracht 19.

Recombinatie zorgt voor meer genetische variatie binnen een soort. Waarom is genetische variatie belangrijk voor een soort?

Opdrachten - inzicht

Opdracht 20.

Bij cavia's is het allele voor een korte vacht dominant over het allele voor een lange vacht. Issam heeft een langharige cavia.

Kan Issam uit het fenotype van zijn cavia afleiden welke allelen de cavia heeft? Leg je antwoord uit.

pp181

Opdracht 21.

In afbeelding 15 zie je een foto van Florence. Zij heeft blauwe ogen en kuiltjes in haar wangen. In afbeelding 16 zie je een lichaamscel van Florence met daarin de chromosomen en allelen schematisch weergegeven.

- Het allele voor blauwe ogen is recessief. Welk chromosomenpaar bevat het allele voor oogkleur?
- Leg uit of het allele voor kuiltjes in de wangen dominant of recessief is.

ba

Bijzchrift: Afb. 15. Florence.

ea

ba

Bijzchrift: Afb. 16. Lichaamscel van Florence (schematisch).

ea

Opdracht 22.

In afbeelding 17 zijn de lichaamscellen van drie personen schematisch weergegeven.

Elke cel hoort bij een van deze drie personen:

- Piërrre met bruine ogen en kuiltjes in zijn wangen
- Fatima met bruine ogen en geen kuiltjes in haar wangen
- Sven met blauwe ogen en geen kuiltjes in zijn wangen Welke cel hoort bij wie?

ba

Bijzchrift: Afb. 17. Lichaamscellen (schematisch).

bND

Beschrijving afbeelding

cel 1

cel 2

cel 3

eND

ea

Opdracht 23.

Is dat erfelijk?

Voorronde Biologie Olympiade Junior havo 2016, vraag 5.

Wetenschappers willen weten in hoeverre de eigenschap intelligentie erfelijk is.

Daarvoor bestuderen zij de uitslagen van IQ-testen (intelligentiequotiënt). In het jaar 2000 hebben alle leerlingen van groep 8 van de basisschool in Nederland een intelligentietest gemaakt. Er is berekend hoe vaak het voorkwam dat eeneiige en tweeeiige tweelingen een gelijk IQ hadden en hoe vaak het voorkwam dat twee willekeurige leerlingen een gelijk IQ hadden, zie tabel 1.

bt

Tabel 1. Resultaten IQ-onderzoek

	Eeneiige tweelingen	Twee-eiige tweelingen	Twee willekeurige leerlingen
% met hetzelfde IQ	85%	62%	20%

et

De wetenschappers bedachten verschillende conclusies en verklaringen op basis van deze studie. Welke conclusies met verklaringen zijn juist? Noteer de cijfers.

1. Tweelingen scoren vaker hetzelfde omdat ze precies even oud zijn.
2. Tweelingen scoren vaker hetzelfde omdat ze dezelfde ouders hebben.
3. Eeneiige tweelingen scoren vaker hetzelfde dan twee-eiige tweelingen, omdat ze hetzelfde DNA hebben.
4. Eeneiige tweelingen scoren vaker hetzelfde dan twee-eiige tweelingen, omdat ze altijd van hetzelfde geslacht zijn.
5. Uit deze resultaten blijkt dat intelligentie erfelijk is.

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

Context Beroep - Tomaten veredelen

Er bestaan heel veel verschillende varianten van tomaten: rode en gele, grote en kleine, rond of ovaal. Je kunt het zo gek niet bedenken of de varianten komen wel voor.

Achter iedere variant zit een zorgvuldig uitgezochte selectieprocedure. Nederlandse plantenveredelaars hebben deze selectieprocedure zo verfijnd dat Nederlandse tomatenzaden over de hele wereld erg gewild zijn.

Hoe gaat het veredelen van een tomatenplant in zijn werk? Plantenveredelaar Amy (zie afbeelding 18) vertelt dat het proces begint met het uitzoeken van planten die de gewenste eigenschappen bezitten. Vervolgens worden er ouderrassen geproduceerd door middel van langdurige inteelt. Inteelt wil in dit geval zeggen dat de planten zich vermeerderen door zelfbestuiving en bevruchting. Hierbij wordt stuifmeel van meeldraden overgebracht op de stempels van bloemen die aan dezelfde plant bloeien.

De plant wordt dus met zichzelf gekruist. Het doel van de inteelt is dat er rassen ontstaan die homozygoot zijn voor de eigenschappen.

Als plantenveredelaars eenmaal de gewenste ouderrassen hebben verkregen, kruisen zij planten van twee verschillende rassen met elkaar. De nakomelingen die hieruit ontstaan noem je F_1 -hybriden. Deze hybriden zijn heterozygoot voor de geselecteerde eigenschappen (zie afbeelding 19). Dat levert bij planten een extra voordeel op, deze planten groeien sneller en geven grotere vruchten. Daarom zijn eigenlijk alle tomatenplanten die kwekers telen heterozygoot.

Helaas voor de telers verdwijnt dit extra voordeel als ze de heterozygote planten een aantal keren ongeslachtelijk vermeerderen. Voor veredelaars is dat wel goed nieuws, want zij zijn daardoor altijd nodig om zaden met gunstige eigenschappen te produceren.

ba

Bijchrift: Afb. 18. Plantenveredelaar Amy.

ea

ba

Bijchrift: Afb. 19. Ontstaan van F₁-hybriden.

bND

Beschrijving afbeelding

ouder 1

ouder 2

F₁ hybride

eND

ea

Opdrachten

Opdracht 24.

Stel dat jij tomatenkweker bent, op welke twee erfelijke eigenschappen zou jij tomatenplanten selecteren?

Opdracht 25.

- a. Zijn zelfbestuiving en bevruchting een voorbeeld van geslachtelijke of ongeslachtelijke voortplanting? Leg je antwoord uit.
- b. Waarom willen veredelaars dat de ouderrassen homozygoot zijn voor de gewenste eigenschappen?

Opdracht 26.

Plantenveredelaars kiezen tijdens het veredelingsproces soms voor geslachtelijke voortplanting en soms voor ongeslachtelijke voortplanting van de tomatenplanten.

- a. Waarom wil een veredelaar dat de oudergewassen zich geslachtelijk voortplanten?
- b. Waarom wil een veredelaar of kweker de heterozygote tomatenplanten ongeslachtelijk vermeerderen?

pp184

3. Monohybride kruisingen

bk

LEERDOELEN

3.3.1 Je kunt een kruisingsschema opstellen van een monohybride kruising.

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

- Vaardigheid 6
- Practicum 1

bt

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.3.1	3.3.2
Onthouden	27	
Begrijpen	29ab, 38a	28, 29c, 30, 31, 32
Toepassen	35ab, 38b	33, 35cd, 36ab, 37, 39
Analyseren		34, 36c

et

ek

Als je konijnen wilt fokken met een speciale kleur vacht, dan kun je op zoek gaan naar een mannetjes- en vrouwtjeskonijn die deze eigenschap al hebben. Hebben dan alle babykonijnen precies dezelfde kleur vacht, of kom je voor verrassingen te staan?

Kruisingen

Door organismen van dezelfde soort te kruisen via geslachtelijke voortplanting, proberen plantenveredelaars en fokkers van dieren nakomelingen te krijgen met

speciale erfelijke eigenschappen. Ook mensen geven hun erfelijke eigenschappen door via geslachtelijke voortplanting. Bij een **monohybride kruising** let je op de overerving van één eigenschap waarbij één allelenpaar is betrokken. In werkelijkheid komen veel eigenschappen tot stand door de samenwerking van meerdere genen. Zo worden bijvoorbeeld de huidskleur en de oogkleur van de mens door meerdere genenparen beïnvloed. Dit levert veel verschillende fenotypen op.

Bij kruisingen geef je ouders aan met de letter P (*Parentes* = ouders in het Latijn). De nakomelingen geef je aan met F₁ (*Fili*= kinderen in het Latijn; 1 = eerste generatie). Als deze nakomelingen zich onderling voortplanten, ontstaat hieruit een tweede generatie nakomelingen, die je aangeeft met F₂. Bij planten kan de F₂ ook ontstaan na zelfbestuiving van planten in de F₁. Hierbij wordt stuifmeel van meeldraden overgebracht op de stempels van bloemen die zich aan dezelfde plant bevinden.

Kruisingsvraagstukken

Bij konijnen is het allele voor staande oren (H) dominant over het allele voor hangende oren (h). Een moer (vrouwelijk konijn) die homozygoot is voor de eigenschap staande oren, wordt een aantal malen gekruist met een rammelaar (mannelijk konijn) die homozygoot is voor de eigenschap hangende oren (zie afbeelding 20).

ba

Bijschrift: Afb. 20. Kruising konijnen.

bND

Beschrijving afbeelding

- (v) homozygoot voor staande oren
- (m) homozygoot voor hangende oren

eND

ea

De dieren in de F₁ planten zich onderling voort. Welk type oren kunnen de nakomelingen in de F₂ hebben? Hoe groot is de kans voor elk oortype? Dit is een voorbeeld van een kruisingsvraagstuk. Je lost een kruisingsvraagstuk in stappen op.

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

De ouderdieren zijn homozygoot voor staande oren (HH) en homozygoot voor hangende oren (hh). De kruising is dan: HH x hh.

2. *Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?*

Geslachtscellen hebben een van de twee allelen. Elke eicel die de moer (HH) produceert, bevat allele H. Elke zaadcel die de rammelaar (hh) produceert, bevat allele h.

3. *Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eikelkern en een zaadcelkern?*

Bij bevruchting versmelt de kern van een eicel (met allele H) met de kern van een zaadcel (met allele h). Het konijntje dat zich uit deze zygote ontwikkelt, heeft staande oren (Hh). Andere mogelijkheden voor de versmelting van een eikelkern en een zaadcelkern zijn er bij deze kruising niet. Alle dieren in de F₁ zijn heterozygoot en hebben staande oren. Het dominante allele komt tot uiting bij organismen die minstens één dominant allele bezitten.

Een kruisingsschema maken

Wanneer de heterozygote konijnen uit de F₁ zich onderling voortplanten staat nog niet vast welk genotype na bevruchting ontstaat.

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

De ouderdieren zijn heterozygoot voor staande oren (Hh). De kruising is dan: Hh x Hh.

2. *Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?*

De moeder met genotype Hh kan eicellen maken die H of h bevatten. De vader heeft ook genotype Hh en maakt dus zaadcellen die H of h bevatten.

3. *Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eikelkern en een zaadcelkern?*

Welke eicel door welke zaadcel wordt bevrucht weet je niet.

Er zijn vier mogelijkheden:

- Een eicel met allele H wordt bevrucht door een zaadcel met allele H.
- Een eicel met allele H wordt bevrucht door een zaadcel met allele h.
- Een eicel met allele h wordt bevrucht door een zaadcel met allele H.
- Een eicel met allele h wordt bevrucht door een zaadcel met allele h.

Om dit overzichtelijk te noteren, gebruik je een **kruisingsschema** (zie afbeelding 21). De allelen in de zaadcellen zet je links in het schema en de allelen in de eicellen boven in het schema.

ba

Bijchrift: Afb. 21. Kruisingsschema van de konijnen uit de F₁.

ea

Er zijn dus vier mogelijkheden voor de versmelting van een eikelkern en een zaadcelkern. Elke mogelijkheid heeft een even grote kans om voor te komen in de F₂. De kans voor elke mogelijkheid is 1/4 of 25%. In afbeelding 22 is het complete kruisingsschema van dit vraagstuk weergegeven.

pp187

ba

Bijzchrift: Afb. 22. Monohybride kruisingsschema konijnen.

bND

Beschrijving afbeelding

genotypen geslachtscellen

genotypen geslachtscellen

F_2

(m)

(v)

H

h

H

HH

Hh

h

Hh

hh

eND

ea

Opdrachten - kennis

Opdracht 27.

Hoeveel allelen van één ouder zijn betrokken bij een monohybride kruising?

Opdracht 28.

Bekijk afbeelding 22.

- Hoe groot is de kans dat een konijn in de F₂ het genotype HH heeft? Geef je antwoord in een breuk en als percentage.
- Hoe groot is de kans dat een konijn in de F₂ het genotype Hh heeft? Geef je antwoord in een breuk en als percentage.
- Hoe groot is de kans dat een konijn in de F₂ staande oren heeft?
- Hoe groot is de kans dat een konijn in de F₂ hangende oren heeft?

Opdracht 29.

Bij labradors is het allele voor een zwarte vacht (B) dominant over het allele voor een bruine vacht (b).

Een zwarte mannetjeshond (homozygoot) en een bruine vrouwtjeshond worden met elkaar gekruist. De nakomelingen uit de F₁ paren onderling, waardoor de F₂ ontstaat. In afbeelding 23 zie je het kruisingsschema schematisch weergegeven.

- Wat is het genotype van de ouders?
- Vul het kruisingsschema uit afbeelding 23 in.
- Welke fenotypen kunnen er voorkomen in de F₂?

ba

Bijschrift: Afb. 23. Kruisingsschema labradors.

bND

Beschrijving afbeelding

(m) homozygoot voor zwarte vacht

(v) homozygoot voor bruine vacht

geslachtscellen = [] X []

F₁

geslachtscellen = []: [] of [] X []: [] of []

F₂

(m)

(v)

[]

[]

eND

ea

Verhouding genotypen en een testkruising

Na een kruising kunnen in de F₁ verschillende verhoudingen voorkomen. Enkele voorbeelden:

P: Aa x aa

- verhoudingen van genotypen, Aa : aa = 1 : 1
- verhoudingen van fenotypen, fenotype veroorzaakt door dominant allele: fenotype veroorzaakt door recessief allele = 1 : 1

P: Aa x Aa

- verhoudingen van genotypen, AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1
- verhoudingen van fenotypen, fenotype veroorzaakt door dominant allele: fenotype veroorzaakt door recessief allele = 3 : 1

Aan een cavia met een kortharige vacht kun je niet zien of dit organisme homozygoot (AA) of heterozygoot (Aa) is voor het dominante allele. Je kunt hier achter komen door een testkruising uit te voeren (zie afbeelding 24.1). Bij een testkruising kruis je het organisme met een organisme waarvan je weet dat het homozygoot recessief is (aa, cavia met langharige vacht). Uit de F₁ blijkt dan of dit geteste organisme homozygoot of heterozygoot is (afbeelding 24.2 en 24.3). Deze test is gebaseerd op de verschillende fenotypen die in de F₁ voorkomen.

ba

Bijzchrift: Afb. 24. Testkruising.

bND

Beschrijving afbeelding

1.

Indien homozygoot

2. Als de ouder homozygoot is voor het genenpaar dan zal bij 100% van de nakomelingen in de F₁ het dominante allele tot uiting komen.

Indien heterozygoot

3. Als de ouder heterozygoot is voor het genenpaar, dan zal bij 50% van de nakomelingen in de F1 het dominante allel tot uiting komen.

eND

ea

pp190

Na een kruising kunnen er in de F₁ verschillende verhoudingen voorkomen:

- P: AA x aa (zie afbeelding 24.2)
- Alle nakomelingen hebben het genotype Aa.
- Alle nakomelingen hebben het fenotype kortharige vacht.
- P: Aa x aa (zie afbeelding 24.3)
- Verhouding van genotypen in de F₁ = Aa : aa = 1 : 1.
- Verhouding van fenotypen in de F₁ = kortharige vacht : langharige vacht = 1 : 1.

Bij de testkruising met cavia's met de genotypen AA x aa komen alleen nakomelingen met het genotype Aa voor. Er komt dus slechts één fenotype voor onder de nakomelingen.

Bij de testkruising met cavia's met de genotypen Aa x aa komen er zowel nakomelingen met het genotype Aa als het genotype aa voor. Hier zijn dus twee verschillende fenotypen onder de nakomelingen.

In het algemeen geldt dat een testkruising alleen betrouwbaar is als het aantal nakomelingen in de F₁ groot genoeg is. Als er weinig nakomelingen zijn, is de verhouding van genotypen en fenotypen in de F₁ sterk afhankelijk van toeval.

Stambomen

In afbeelding 25 is een voorbeeld van een **stamboom** getekend. In stambomen worden mannelijke organismen aangeduid met een vierkant en vrouwelijke organismen met een cirkel. In de legenda staat aangegeven wat de kleuren betekenen.

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

ba

Bijzchrift: Afb. 25. Een stamboom.

bND

Beschrijving afbeelding

Legenda:

blond haar

zwart haar

vrouw

man

eND

ea

Opdrachten - kennis

Opdracht 30.

Van een konijn met staande oren is niet bekend of het homozygoot (HH) of heterozygoot (Hh) is voor deze eigenschap. Een konijnenfokker kan dan kiezen voor een testkruising.

Leg uit hoe de fokker met een testkruising het genotype van het konijn kan achterhalen.

Opdracht 31.

Mensen bezitten allelen voor rechts- en/of linkshandigheid. Twee ouders krijgen drie kinderen, waarvan er twee rechtshandig zijn en één linkshandig.

Mag je op basis van deze gegevens concluderen dat rechtshandigheid dominant is?

Leg je antwoord uit.

Opdracht 32.

In afbeelding 26.1 is in een stamboom weergegeven of iemand kan tongrollen (zie afbeelding 26.2).

Het allele voor tongrollen (T) is dominant over het allele voor niet-tongrollen (t).

- a. Welke genotypen hebben persoon 3 t/m 5? Geef de nummers met daarachter het bijbehorende genotype.
- b. Van welke personen in de stamboom weet je niet zeker wat het genotype is? Leg je antwoord uit.

ba

Bijzchrift: Afb. 26. Stamboom tongrollen.

bND

Zie tekeningenband.

Beschrijving afbeelding

Legenda:

niet tongrollen

tongrollen

1. stamboom

2. tongrollen

eND

ea

Opdrachten - inzicht

Opdracht 33.

Quang wil een stamboom maken over het tongrollen in zijn familie.

Zijn opa, de vader van zijn vader, kan tongrollen net zoals zijn vader, zijn oom (de broer van Quangs vader) en hijzelf. Zijn oma (de moeder van Quangs vader) kan niet tongrollen. Ook Quangs moeder en kleine broertje kunnen niet tongrollen.

Maak een stamboom van Quangs familie. Geef ook de genotypen van de individuen.

Opdracht 34.

Fokkers van dieren willen graag gezonde en sterke nakomelingen zonder erfelijke aandoeningen. Een testkruising maakt duidelijk of een dier een allel bezit voor een erfelijke aandoening.

Wordt een testkruising ingezet bij dominant of recessief overervende aandoeningen?

Leg je antwoord uit.

Opdracht 35.

Bij leeuwenbekjes komen rode, roze en witte bloemen voor. Er is een allel voor rode bloemkleur (A^r) en een allel voor witte bloemkleur (A^w). Leeuwenbekjes die heterozygoot zijn voor bloemkleur, hebben roze bloemen.

Bij een leeuwenbekje met roze bloemen vindt zelfbestuiving plaats. Er worden 56 zaden gevormd.

- a. Wat is het genotype van een intermediair fenotype?
- b. Maak een kruisingsschema van de zelfbestuiving bij dit leeuwenbekje.
- c. Alle 56 zaden ontkiemen.

Hoeveel planten in de F_1 zullen waarschijnlijk roze bloemen hebben? Leg je antwoord uit.

- d. Wat is de verhouding van fenotypen bij de nakomelingen in de F_1 ?

Opdracht 36.

Zaden van een erwtenplant zijn groen of geel.

Uit een groene erwtenplant en een gele erwtenplant ontstaan erwtenplanten. Deze erwtenplanten worden met elkaar gekruist. Er ontstaan 204 groene zaden en 187 gele zaden.

- In welke verhouding komen de groene en gele erwten voor in de F₁?
- Welk genotypen hebben de ouderplanten? Gebruik de letters G en g.
- Kun je uit deze gegevens afleiden welk allel dominant is: het allel voor groene erwten of het allel voor gele erwten? Leg je antwoord uit.

Opdracht 37.

Bij kippen en hanen is het allel voor bruine veren (B) dominant over het allel voor witte veren (b). In afbeelding 27 zie je een stamboom van een pluimveefamilie. Welke genotypen hebben de individuen? Noteer de nummers met daarachter het bijbehorende genotype.

ba

Bijschrift: Afb. 27. Stamboom van pluimvee.

bND

Zie tekeningenband.

Beschrijving afbeelding

Legenda:

bruine veren

witte veren

eND

ea

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

Context Beroep - Een genetisch consulente

Genetisch consulente Erica Jansen begeleidt en adviseert mensen bij erfelijkheidsvragen en coördineert erfelijkheidsonderzoek bij patiënten en hun familieleden. Vaak komen patiënten bij haar om advies te vragen over erfelijke vormen van borstkanker of darmkanker.

Een andere ziekte waarover Erica regelmatig advies geeft, is de ziekte van Huntington. 'Momenteel begeleid ik de 25-jarige Anouk. Ze twijfelt nog steeds of ze zich wil laten onderzoeken en voert hier regelmatig met mij gesprekken over. Anouks vader lijdt aan deze ziekte en haar opa is eraan overleden. De kans dat Anouk ook de ziekte van Huntington heeft, is 50%. Omdat ze graag met haar vriend Mark kinderen wil, denken ze nu samen na over een DNA-onderzoek. Ze willen de ziekte namelijk niet doorgeven aan hun kinderen.'

Huntington is een ongeneeslijke erfelijke zenuwziekte, die zich pas rond het veertigste levensjaar openbaart. Mensen die aan de ziekte lijden, vertonen allerlei onwillekeurige spierbewegingen en gaan verstandelijk achteruit. Uiteindelijk overlijden ze aan deze ziekte. De ziekte wordt veroorzaakt door een mutatie in het huntingtine-gen (HTT). Dit gen is verantwoordelijk voor de productie van het eiwit huntingtine. Door de mutatie vindt er een opeenstapeling plaats van het eiwit huntingtine en dat verstoort het functioneren van zenuwcellen.

ba

Bijzchrift: Afb. 28. Erica aan het werk.

ea

Opdrachten

Opdracht 38.

Een genetisch consulente werkt vaak in het ziekenhuis. Voor het beroep genetisch consulent moet je een post-hbo-opleiding volgen. Je volgt dan na je hbo nog een verdiepende opleiding.

- a. Welke hbo-studierichting moet je eerst kiezen als je genetisch consulent wilt worden?
- b. Welke vaardigheden zijn belangrijk voor een genetisch consulent? Geef er twee.

Opdracht 39.

In afbeelding 29 zie je een stamboom. Bij mensen is het allel dat de ziekte van Huntington veroorzaakt (H) dominant over het allel voor gezond huntingtine (h).

- a. Wat is het genotype van de personen uit de stamboom? Noteer de nummers met daarachter het genotype.
- b. Na veel twijfelen hebben Mark en Anouk besloten om toch te laten onderzoeken of Anouk het H-allel van haar vader heeft geërfd. De uitslag van het DNA-onderzoek is dat ze inderdaad het allel voor de ziekte van Huntington bezit. Mark bezit dit allel niet. Hoe groot is de kans dat Mark en Anouk een kind krijgen met de ziekte van Huntington? Leg je antwoord uit.

ba

Bijzchrift: Afb. 29. Stamboom van een familie met de ziekte van Huntington.

bND

Zie tekeningenband.

Beschrijving afbeelding

Legenda:

ziekte van Huntington

gezond

eND

ea

pp194

4. Geslachtschromosomen

bk

LEERDOELEN

3.4.1 Je kunt beschrijven hoe geslachtschromosomen het geslacht van een mens bepalen.

3.4.2 Je kunt een kruisingsschema maken voor X-chromosomale overerving en de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen hieruit afleiden.

3.4.3 Je kunt de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden uit een stamboom over X-chromosomale overerving.

- Vaardigheid 6

- Practicum 2

bt

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	3.4.1	3.4.2	3.4.3
Onthouden	40		44a
Begrijpen	41, 42, 43	45, 46, 51	44b
Toepassen	47	48	52bc
Analyseren	50		49, 52a

et

ek

Thomas Morgan kruiste in 1910 een vrouwelijk fruitvliegje met rode ogen met een mannetje met witte ogen. Alle nakomelingen hadden rode ogen. Toen hij de nakomelingen onderling liet paren, leverde dat een bijzonder resultaat op: alle vliegjes met witte ogen waren mannetjes en alle vrouwtjes hadden rode ogen.

Geslachtschromosomen

In afbeelding 1 van basisstof 1 staat een karyogram van een mens. Het karyogram van een organisme kun je ook als formule noteren. Daarbij noteer je eerst het aantal chromosomen en daarna welke geslachtschromosomen voorkomen. Bij mensen is een normaal karyogram voor een man [46, XY] en voor een vrouw [46, XX].

In geslachtscellen komen chromosomen enkelvoudig voor. Geslachtscellen ontstaan na meiose, waarbij de chromosomen van een paar uit elkaar gaan. Een geslachtscel bevat slechts één geslachtschromosoom. Een eicel van een vrouw bevat altijd een X-chromosoom. Een zaadcel van een man kan een X-chromosoom of een Y-chromosoom bevatten.

Als bij bevruchting de kern van de zaadcel een X-chromosoom bevat, ontstaat een zygote met twee X-chromosomen in de kern. Hieruit ontwikkelt zich een meisje (XX).

Als de kern van de zaadcel een Y-chromosoom bevat, ontstaat een zygote met een X-chromosoom en een Y-chromosoom in de kern. Hieruit ontwikkelt zich een jongetje (XY). Het geslacht van een mens komt bij de bevruchting vast te liggen. Het geslachtschromosoom in de zaadcel bepaalt het geslacht (zie afbeelding 30).

pp195

ba

Bijdrift: Afb. 30. Geslachtsbepaling bij bevruchting.

bND

Beschrijving afbeelding

eicel

zaadcel

bevruchting

bevruchte eicel

meisje

eicel

zaadcel

bevruchting

bevruchte eicel

jongen

eND

ea

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

Opdrachten - kennis

Opdracht 40.

In welk cellen komen geslachtschromosomen voor: in lichaamscellen, in geslachtscellen of in beide?

Opdracht 41.

In afbeelding 31 is een menselijke cel schematisch weergegeven. In deze cel zijn niet alle chromosomen getekend, maar slechts drie paar chromosomen. Eén paar stelt de geslachtschromosomen voor.

- a. Welk paar stelt de geslachtschromosomen voor? Leg je antwoord uit.
- b. Is de cel in afbeelding 31 een lichaamscel of een geslachtscel? Leg je antwoord uit.

ba

Bijzchrift: Afb. 31. Cel met chromosomen (schematisch).

ea

Opdracht 42.

Kippen hebben in iedere lichaamscel 38 paar autosomen en 1 paar geslachtschromosomen. Ze hebben dus in totaal 39 paar chromosomen. Bij kippen hebben hanen XX en hennen XY.

- a. Wat is de formule voor het karyogram van een haan?
- b. Wat is de formule voor het karyogram van een hen?

Opdracht 43.

Bij mensen wordt het geslacht bepaald door het geslachtschromosoom in de zaadcel.

Welke geslachtscel bevat bij kippen het geslachtsbepalende chromosoom?

X-chromosomale overerving

Net als bij autosomen liggen in geslachtschromosomen ook genen. Maar doordat het Y-chromosoom veel korter is, heeft het veel minder genen dan het X-chromosoom.

Hierdoor liggen in het X-chromosoom genen die niet in het Y-chromosoom voorkomen. Genen in geslachtschromosomen erven dan ook anders over dan genen in autosomen. Genen die alleen in het X-chromosoom voorkomen, noem je **X-chromosomaal** (zie afbeelding 32). Er ligt geen allel voor deze genen in het Y-chromosoom.

ba

Bijchrift: Afb. 32. X-chromosomale genen (schematisch).

ea

In een kruisingsschema geef je een dominant X-chromosomaal allel aan met X^A en een recessief X-chromosomaal allel met X^a . Voor een eigenschap die is veroorzaakt door een X-chromosomaal gen kan een vrouw homozygoot (X^AX^A of X^aX^a) of heterozygoot (X^AX^a) zijn. Een vrouw die heterozygoot is kan draagster zijn van een recessieve erfelijke eigenschap, zonder dat die eigenschap bij haar tot uiting komt. Voor een man

zijn de termen 'homozygoot' en 'heterozygoot' niet van toepassing op eigenschappen die X-chromosomaal overerven. Een man heeft immers maar één X-chromosoom en heeft voor zo'n eigenschap als genotype $X^A Y$ of $X^a Y$.

Voorbeeld van een X-chromosomaal kruisingsvraagstuk

Bij fruitvliegjes liggen de allelen voor rode en witte oogkleur in het X-chromosoom. Het allele voor rode oogkleur (X^A) is dominant over het allele voor witte oogkleur (X^a).

Een homozygoot vrouwtje met rode ogen wordt gekruist met een mannetje met witte ogen. De F_1 -vliegjes worden onderling gekruist. Welke fenotypen komen voor in de F_2 en in welke verhouding?

In afbeelding 33 zijn de kruisingen schematisch weergegeven.

pp197

ba

Bijchrift: Afb. 33. Kruising van fruitvliegen.

bND

Beschrijving afbeelding

(v) rode ogen

(m) witte ogen

eND

ea

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

Voor de ouders geldt dat het vrouwtje het genotype X^AX^A heeft en het mannetje het genotype X^aY .

2. *Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?*

Het vrouwtje kan alleen maar eicellen maken met X^A . Het mannetje kan zaadcellen maken met X^a of zaadcellen met Y .

3. *Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eikelkern en een zaadcelkern?*

Bij deze bevruchting bevat een eicel altijd allel X^A . Voor het allel van de zaadcel zijn twee mogelijkheden: X^a en Y . Zie het volgende uitgewerkte kruisingsschema.

$$P = (v) X^AX^A \times (m) X^aY$$

$$\text{geslachtscellen} = X^A \text{ } X^a \text{ of } Y$$

In de F_1 komen heterozygote vrouwtjes met rode ogen voor (X^AX^a) en mannetjes met rode ogen (X^AY). Bij onderlinge kruising van de F_1 -vliegjes krijg je:

$$F_1 = (v) X^AX^a \times (m) X^AY$$

$$\text{geslachtscellen} = X^A \text{ of } X^a \text{ } X^a \text{ of } Y$$

$$F_2$$

bt

(m) / (v)	X^A	X^a
X^A	X^AX^A	X^AX^a
Y	X^AY	X^aY

et

In de F_2 komen voor:

- 50% vrouwtjes met rode ogen (X^AX^A en X^AX^a)
- 25% mannetjes met rode ogen (X^AY)
- 25% mannetjes met witte ogen (X^aY)

In de F_2 zie je dat bij de mannetjes een fenotype voorkomt (witte ogen) dat bij de vrouwtjes ontbreekt. Als je na een kruising met grote aantallen nakomelingen zo'n verhouding aantreft, dan kun je hieruit afleiden dat er een X-chromosomaal gen bij de overerving is betrokken.

Opdrachten - kennis

Opdracht 44.

Beantwoord de vragen met behulp van afbeelding 33.

- a. Wat is de verhouding van fenotypen voor de oogkleur in de F₁?
- b. Wat is de verhouding van fenotypen voor de oogkleur in de F₂?

Opdracht 45.

Een X-chromosomale kruising wordt soms omgekeerd uitgevoerd: de eigenschappen van de ouders (P) zijn omgekeerd ten opzichte van de originele kruising. Je kruist dan een vrouwtje met witte ogen en een mannetje met rode ogen.

- a. Maak een kruisingsschema van deze kruising.
- b. Geef het genotype en fenotype van de fruitvliegjes die draagster zijn voor de eigenschap witte ogen.

Opdracht 46.

Marijn is rood-groenkleurenblind en zijn vrouw is kleurenziend (homozygoot). Marijns vrouw is in verwachting van een zoon.

- a. Hoe groot is de kans dat hun zoon rood-groenkleurenblind is? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema. Gebruik de allelen X^B en X^b.
- b. Mohammed is ook rood-groenkleurenblind en zijn vrouw is draagster voor de eigenschap rood-groenkleurenblindheid.

Hoe groot is de kans dat hun zoon rood-groenkleurenblind is? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema.

Opdrachten - inzicht

Opdracht 47.

Er worden veel meer jongens geboren met rood-groenkleurenblindheid dan meisjes.

Hoe kun je dit verklaren?

Opdracht 48.

Bij kippen is de geslachtsbepaling door geslachtschromosomen anders dan bij mensen.

Een haan heeft twee X-chromosomen en een hen heeft één X-chromosoom en één Y-chromosoom.

Bij kippen is het allele voor een bruine eierschaal dominant en X-chromosomaal (X^A).

Een haan kan geen eieren leggen, maar bezit wel de genen voor het bepalen van de kleur van de eierschaal.

Een hen die witte eieren legt, wordt gekruist met een haan die homozygoot is voor het allele X^A .

a. Kunnen er in de F_1 hennen voorkomen die witte eieren leggen? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema.

b. De hanen en hennen uit de F_1 planten zich onderling voort.

Hoeveel procent van de hennen uit de F_2 zullen bruine eieren leggen en hoeveel procent van de hennen witte eieren? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema.

pp199

Opdracht 49.

Misvormde tanden door HED

Voorronde Biologie Olympiade 2018, vraag 8.

Patiënten met HED (hypohidrotische ectodermale dysplasie) hebben een genetische afwijking waardoor ze een verstoorde ontwikkeling van de tanden hebben en een verminderde zweetproductie.

HED wordt vaak veroorzaakt doordat in een allel van het EDA-gen een mutatie voorkomt. In afbeelding 34 is een stamboom van een familie weergegeven waarin HED voorkomt.

HED wordt veroorzaakt door een X-chromosomaal recessief allele. Hoe kun je dit afleiden uit de stamboom?

ba

Bijzchrift: Afb. 34. Familie met HED.

bND

Zie tekeningenband.

Beschrijving afbeelding

Legenda:

HED

gezond

drager

eND

ea

Opdracht 50.

Bij bijen wordt het geslacht niet bepaald door geslachtschromosomen. De darren (mannetjes) ontstaan uit onbevruchte eicellen en vrouwelijke bijen uit bevruchte

eicellen. Afhankelijk van de voeding ontwikkelt een bevruchte eicel zich tot werkster of tot koningin. Voor bijen geldt $n = 16$.

- a. Hoeveel chromosomen bevat een lichaamscel van een koningin?
- b. Hoeveel chromosomen bevat een lichaamscel van een dar?
- c. Komt bij bijen ook een Y-chromosoom voor?

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

Context Leefwereld - De koninklijke ziekte

Hemofilie was een veelvoorkomende ziekte in Europese koninklijke families in de negentiende en twintigste eeuw. Via twee dochters en de jongste zoon van de Britse koningin Victoria heeft de ziekte zich verspreid naar verschillende koningshuizen in Europa zoals Duitsland, Spanje en Rusland. Omdat de ziekte zoveel voorkwam bij koninklijke families werd ze ook wel *the royal disease* (Engels voor 'de koninklijke ziekte') genoemd.

Hemofiliepatiënten hebben last van een verminderde bloedstolling, wat kan leiden tot inwendige bloedingen in bijvoorbeeld de urinewegen of gewrichten. De aandoening wordt veroorzaakt door een recessief allele op het X-chromosoom.

Ook prins Alexej Nikolajevitsj van Rusland had hemofilie. In zijn geval is het recessieve allele indirect afkomstig van koningin Victoria, die draagster was (zie afbeelding 35).

Alexej was de achterkleinzoon van koning Victoria.

De ouders van koningin Victoria hadden beiden het allele niet. Waarschijnlijk is het ontstaan door een spontane mutatie (verandering in het DNA) in de geslachtscellen van haar vader. Hij was al wat ouder en de kans op mutaties neemt dan toe.

ba

Bijzchrift: Afb. 35. Stamboom van koningshuizen van Europa.

bND

Beschrijving afbeelding

prins Albert

koningin Victoria

Victoria jun.

Friedrich III.

Heinr. v. Pr

Irene v. H.

Waldemar v. Pruisen

Heinrich v. Pruisen

Ludwig v. Hessen

Alice v. Engl.

Friedriech v Hessen

Alix v. H.-D.

Nikolaus II.

Alexej v. Rusland

Leopold v. Albany

Helene v. Waldeck

Alice v E.

Alexander v T.-A.

Rupprecht

Beatrice v. Engl.

Heinrich v. Battenberg

Victoria

Alphons XIII. v. Spanje

Moritz

Leopold v. Battenberg

Alphonso v. Spanje

Jaime de Borbón

Beatrix Isabel

Maria Chritina

Gonzalo v Borbón en Battenberg

Juan de Borbón

María de las Mercedes

Juan Carlos

Legenda:

draagster

hemofilie

gezond

eND

ea

Opdrachten

Opdracht 51.

Het recessieve allele voor hemofilie wordt weergegeven als X^b .

- a. Wat is het genotype van koningin Victoria?
- b. Hoe komt het dat koningin Victoria zelf geen last had van hemofilie?

Opdracht 52.

Alexej is de achterkleinzoon van Victoria, de zoon van haar kleindochter.

- a. Hoe groot was de kans dat Alexej het recessieve allele zou erven van Victoria? Leg je antwoord uit met een berekening.
- b. Koningin Victoria heeft heel veel achterkleinkinderen. In de stamboom in afbeelding 36 staan er elf weergegeven. Hoe groot is het percentage achterkleinkinderen met hemofilie? Leg je antwoord uit met een berekening.
- c. Alle achterkleinkinderen die hemofilie hebben zijn jongens.

Waarom is de kans op hemofilie bij jongens groter dan bij meisjes?

5. Speciale manieren van overerven

bk

LEERDOELEN

3.5.1 Je kunt kruisingsschema's maken voor onafhankelijke overerving van multipele allelen, letale factoren en gekoppelde genen.

3.5.2 Je kunt uit de kruisingsschema's voor onafhankelijke overerving van multipele allelen, letale factoren en gekoppelde genen, of uit stambomen hiervan, de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden.

- Vaardigheid 6

- Practicum 3

bt

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.5.1	3.5.2
Onthouden	53, 57	
Begrijpen	54b, 55, 56, 58, 59, 64a	54a
Toepassen	64b	60, 61a, 63, 65b
Analyseren		61b, 62, 65ac

et

ek

Het is goed als je weet welke bloedgroep je hebt, zeker als je een bloedtransfusie nodig hebt. De verdeling van bloedgroepen verschilt per regio. Ongeveer 63% van de wereldbevolking heeft bloedgroep O. Bloedgroep AB komt het minst voor. Welke bloedgroep je hebt, is erfelijk bepaald.

Multipele allelen

Tot nu toe heb je bij kruisingsvraagstukken steeds gekeken naar erfelijke eigenschappen met twee verschillende allelen. Voor de haarlijn bijvoorbeeld bestaat een allele voor een rechte haarlijn en een allele voor een V-vormige haarlijn. Vaak bestaan er drie of meer verschillende allelen voor een erfelijke eigenschap, ook wel **multipele allelen** genoemd. Ook van erfelijke eigenschappen met multipele allelen komen in iedere lichaamscel twee allelen voor.

De AB0-bloedgroep bij mensen wordt bepaald door één gen, waarvoor drie allelen bestaan. Twee allelen zijn dominant (I^A en I^B) en één allele is recessief (i). De allelen I^A en I^B erven codominant over. Er zijn vier bloedgroepen: A, B, AB en 0 (nul). Bij mensen bevatten lichaamscellen twee allelen voor de bloedgroep. De volgende genotypen zijn dan mogelijk:

- $I^A I^A$ en $I^A i$: deze personen hebben bloedgroep A;
- $I^B I^B$ en $I^B i$: deze personen hebben bloedgroep B;
- $I^A I^B$: deze persoon heeft bloedgroep AB;
- $i i$: deze persoon heeft bloedgroep 0.

pp202

Voorbeeld van een kruisingsvraagstuk met multipele allelen

Een vrouw met bloedgroep 0 krijgt een kind van een man met bloedgroep AB.

Hoe groot is de kans dat het kind bloedgroep AB heeft?

ba

bND

Beschrijving afbeelding

$P = (v) ii \times (m) I^A I^B$

geslachtscellen = i I^A of I^B

(m)

(v)

i

I^A

$I^A i$

I^B

$I^B i$

eND

ea

De kans dat het kind bloedgroep AB ($I^A I^B$) heeft, is dus 0%.

Letale factoren

Bij sommige erfelijke eigenschappen komen **letale factoren** voor. Dan levert een allele in homozygote toestand geen levensvatbare cellen of levensvatbaar individu op. Als twee geslachtscellen versmelten die dezelfde letale factor bevatten, sterft de zygote snel.

Een deel van de verwachte nakomelingen wordt niet geboren, waardoor je bij de nakomelingen andere verhoudingen in de genotypen en fenotypen aantreft.

Voorbeeld van een kruisingsvraagstuk voor letale factoren

Bij manxkatten is het allele voor een korte staart (*m*) dominant over het allele voor normale staartlengte (*M*) (zie afbeelding 36). Het gen *M* bevat een letale factor, dat wil zeggen dat katten met het genotype *MM* in een vroeg embryonaal stadium sterven.

Twee manxkatten met korte staarten paren met elkaar. Welke fenotypen verwacht je in de *F₁* en in welke verhouding?

ba

Bijdrage: Afb. 36. Manxkat met korte staart.

ea

Omdat het genotype *MM* geen levensvatbaar individu oplevert, hebben manxkatten met een korte staart één keer het dominante allele *M*. Deze katten hebben dus het genotype *Mm*. Het kruisingsschema wordt dan:

ba

bND

Beschrijving afbeelding

P = (v) *Mm* x (m) *Mm*

geslachtscellen = *M* of *m* - *M* of *m*

F₁

(m)

(v)

M

m

M

MM

Mm

m

Mm

mm

eND

ea

pp203

In de F₁ komen de volgende fenotypen voor:

- 67% katten met een korte staart (Mm)
- 33% katten met normale staartlengte (mm)

De verhouding van de fenotypen in de F₁ is 2 : 1. Ongeveer 25% van de zygoten (die met MM) sterft voor de geboorte. Deze zygoten tel je niet mee in de verhouding van fenotypen in de F₁.

Opdrachten - kennis

Opdracht 53.

Bij bloedgroepen zijn de allelen I^A en I^B codominant. Wat is het verschil tussen codominant en intermediair?

Opdracht 54.

Een man en een vrouw, beiden met bloedgroep AB, krijgen een kind.

- a. Maak een kruisingsschema van deze kruising.
- b. Welke bloedgroepen kan het kind hebben?

Opdracht 55.

Waarom zijn de verhoudingen van de fenotypen bij de nakomelingen na een kruising met letale factoren anders dan bij een gewone kruising?

Opdracht 56.

De acteur Peter Dinklage (zie afbeelding 37) heeft de erfelijke aandoening achondroplasie (dwerggroei). Hij is slechts 1,35 m lang en heeft korte armen en benen. Dit komt doordat het kraakbeen van de armen en benen niet goed in bot verandert. De grootte van de romp is gemiddeld. Achondroplasie erft autosomaal dominant over en is letaal bij embryo's die homozygoot zijn voor deze eigenschap.

Een man en een vrouw, beiden met de aandoening achondroplasie, krijgen samen een kind.

Hoe groot is de kans dat dit kind geen achondroplasie heeft? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema.

ba

Bijzchrift: Afb. 37. Peter Dinklage.

ea

Gekoppelde overerving

Bij de monohybride kruisingen heb je steeds gelet op de overerving van één eigenschap. Je kunt ook kruisingen uitvoeren waarbij twee genen zijn betrokken. Als deze genen op hetzelfde chromosomenpaar liggen, spreek je van **gekoppelde genen**; er is dus sprake van gekoppelde overerving. Je geeft de genen van een chromosoom samen door (zie afbeelding 38).

ba

Bijzchrift: Afb. 38. Ontstaan van geslachtscellen bij gekoppelde genen.

bND

Beschrijving afbeelding

lichaamscel

geslachtscellen

eND

ea

Voorbeeld van een kruisingsvraagstuk met gekoppelde genen

Bij fruitvliegjes is het allele voor grijze lichaamskleur (G) dominant over het allele voor zwarte lichaamskleur (g). Het allele voor normale vleugels (N) is dominant over dat voor vleugelstompjes (n). De genen voor lichaamskleur en vleugelvorm liggen in hetzelfde chromosomenpaar.

Een grijs vrouwtje met normale vleugels, dat voor beide eigenschappen homozygoot is, wordt gekruist met een zwart mannetje met vleugelstompjes (zie afbeelding 39). Een vrouwtje in de F₁ wordt verder gekruist met een zwart mannetje met vleugelstompjes.

Welke fenotypen verwacht je in de nakomelingschap en in welke verhouding?

ba

Bijchrift: Afb. 39. Kruising fruitvliegjes.

bND

Beschrijving afbeelding

- (v) grijs lichaam en normale vleugels
- (m) zwart lichaam en vleugelstompjes

eND

ea

De genotypen van de ouders zijn GGNN (homozygoot dominant) en ggnn (homozygoot recessief). Het genotype van een vlieg in de F₁ is GgNn.

Bij de moeder liggen de allelen G en N in hetzelfde chromosoom. Bij de vader liggen de allelen g en n in hetzelfde chromosoom. De koppeling geef je aan door het chromosomenpaar waarin de genen liggen, schematisch weer te geven.

Het genotype van de moeder geef je weer met = GN/GN.

Het genotype van de vader geef je weer met gn/gn.

Een eicel van de moeder geef je weer met GN, een zaadcel van de vader met gn.

Het genotype van de F₁-vliegjes is dan: = GN/gn.

pp205

Vrouwjes in de F_1 kunnen twee typen eicellen produceren: eicellen met GN en eicellen met gn. Het kruisingsschema wordt dan:

ba

bND

Beschrijving afbeelding

$P = GN/GN \times Gn/gn$.

geslachtscellen = GN en gn

$F_1 = GN/gn$

Een vrouwje in de F_1 wordt verder gekruist met een zwart mannetje met vleugelstompjes.

$P = GN/gn \times Gn/gn$

geslachtscellen = GN of gn - gn

F_2

(m)

(v)

GN

gn

gn

GN/gn

gn/gn

gn

GN/gn

gn/gn

eND

ea

In de nakomelingschap van de F_2 komen de volgende fenotypen voor:

- 50% grijze vliegen met normale vleugels
- 50% zwarte vliegen met vleugelstompjes

De volgende fenotypen komen bij de nakomelingen niet voor:

- grijze vliegen met vleugelstompjes
- zwarte vliegen met normale vleugels

Bij onafhankelijke overerving zou je deze fenotypen wel in de nakomelingschap verwachten. Wanneer bij grote aantallen nakomelingen dergelijke verwachte fenotypen ontbreken, kun je hieruit afleiden dat er sprake is van gekoppelde overerving.

Opdrachten - kennis

Opdracht 57.

Wanneer erven genen gekoppeld over?

Opdracht 58.

Bij mensen liggen de genen voor oogkleur en haarkleur op hetzelfde chromosoom. Het allele voor bruin haar (A) en het allele voor bruine ogen (B) erven gekoppeld over. De allelen voor blond haar (a) en blauwe ogen (b) zijn ook gekoppeld.

Een man met bruin haar en bruine ogen, die homozygoot is voor beide eigenschappen, en een vrouw met blond haar en blauwe ogen krijgen een kind.

- a. Kan het kind blond haar en blauwe ogen hebben? Leg je antwoord uit.
- b. De man en vrouw krijgen een dochter met bruin haar en bruine ogen. Zij trouwt met een man met blond haar en blauwe ogen.

Hoe groot is de kans op een kleinkind met blond haar en blauwe ogen? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema.

pp206

Opdracht 59.

Gebruik **BiNaS** tabel 70D.

Geef een voorbeeld van twee eigenschappen die bij mensen gekoppeld overerven.

Opdrachten - inzicht

Opdracht 60.

In afbeelding 40 is in een stamboom de overerving van bloedgroepen in een familie weergegeven.

- a. Wat zijn de genotypen van de ouders?
- b. Is het mogelijk dat het kind dat is aangegeven met '?' bloedgroep 0 heeft? Zo ja, hoe groot is deze kans?

ba

Bijchrift: Afb. 40. Stamboom over bloedgroepen.

bND

Zie tekeningenband.

Beschrijving afbeelding

Legenda:

bloedgroep A

bloedgroep B

eND

ea

Opdracht 61.

Een onderzoeker wil weten of de genen voor de eigenschappen bladvorm en bloemkleur op hetzelfde chromosoom liggen. Hij kruist daarom een plant met gele

bloemen en pijlvormige bladeren, met een plant met witte bloemen en ovale bladeren. De F_1 wordt verder gekruist door middel van zelfbestuiving. In de F_2 zijn er 28 planten met gele bloemen en pijlvormige bladeren en 11 planten met witte bloemen en ovale bladeren.

- Welke bloemkleur en welke bladvorm zijn dominant?
- Is hier sprake van gekoppelde of onafhankelijke overerving? Leg je antwoord uit.

Opdracht 62.

Bij muizen is een gele vachtkleur dominant over een agouti, (donkere) vachtkleur. Hetallel voor een gele vachtkleur wordt weergegeven met A^Y en voor agouti met A .

Wanneer twee heterozygote gele muizen meerdere keren met elkaar worden gekruist ontstaat er een F_1 die bestaat uit 115 gele muizen en 59 agouti muizen.

- Wat is de verhouding van fenotypen in de F_1 ?
- Van welke speciale vorm van overerving is hier sprake?

Opdracht 63.

Bij konijnen is hetallel voor een langharige vacht (A) dominant over een kortharige vacht (a), en hetallel voor rechte oren (B) dominant over hangende oren (b). De eigenschappen erven gekoppeld over.

Een langharig mannetje met hangende oren wordt gekruist met een kortharig vrouwtje met rechte oren. Beide dieren zijn homozygoot voor de eigenschappen. De nakomelingen uit de F_1 paren onderling en produceren zo de F_2 .

- Welke allelen zijn aan elkaar gekoppeld?
- Welke fenotypen zul je aantreffen in de F_2 en in welke verhouding? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema.

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

Context Leefwereld - Een stamceltransplantatie

Bij Derek (19) is leukemie geconstateerd. Dat is een vorm van kanker waarbij je te veel witte bloedcellen aanmaakt die er anders uitzien en niet goed functioneren. Gezonde witte bloedcellen beschermen je lichaam tegen ziekten. Door de leukemie is Derek erg vatbaar voor infecties en heeft hij een tekort aan rode bloedcellen en bloedplaatjes. Derek krijgt in eerste instantie chemotherapie. Met medicijnen wordt geprobeerd de productie van de abnormale cellen te stoppen of af te remmen. Als de chemotherapie niet werkt, kan Derek een stamceltransplantatie ondergaan. Via een infuus krijgt hij dan gezonde stamcellen van een donor toegediend.

Liam, de broer van Derek, wil graag weten of hij eventueel een geschikte stamceldonor is. Daarvoor moeten zowel de bloedgroep als bepaalde eiwitten op de buitenkant van zijn lichaamscellen overeenkomen. Die eiwitten noem je HLA-eiwitten. HLA-eiwitten spelen een belangrijke rol bij je afweer.

Welke HLA-eiwitten je hebt, hangt af van je HLA-type. Je HLA-type wordt bepaald door meerdere gekoppelde genen waarbij voor ieder gen veel verschillende allelen bestaan. Bij broers en zussen is de kans het grootst dat HLA-typen voldoende overeenkomen. De kans dat Liam dezelfde chromosomen van zijn ouders heeft geërfd als Derek is ongeveer 25%.

Derek en Liam doneren allebei bloed om hun HLA-type te laten bepalen. Uit de test blijkt dat Liam geen match is voor Derek. Gelukkig heeft de chemotherapie zijn werk gedaan en heeft Derek geen stamceltransplantatie meer nodig.

Opdrachten

Opdracht 64.

Van Derek en Liam wordt de bloedgroep bepaald. Derek heeft bloedgroep 0 en Liam heeft bloedgroep A.

- a. Wat zijn de mogelijke genotypen van Liam en Derek?
- b. De ouders van Liam en Derek hebben ook bloedgroep A.

Kun je met zekerheid zeggen welk genotype de ouders hebben? Leg je antwoord uit.

Opdracht 65.

Je HLA-type wordt bepaald door meerdere genen die gekoppeld overerven. Zo liggen de genen voor HLA-A, HLA-B en HLA-DR allemaal op chromosoom 6. Welk allele je hebt voor het HLA-gen wordt aangegeven met een cijfer. Je hebt bijvoorbeeld de allelen HLA-A1, HLA-B6, enzovoort.

In afbeelding 41 zie je de HLA-typen van Derek en zijn ouders weergegeven.

- a. Welke mogelijke genotypen kan Liam hebben? Leg je antwoord uit met een kruisingsschema.
- b. Hoe groot is de kans dat Liam hetzelfde genotype heeft als Derek?
- c. Voor HLA-A, HLA-B en HLA-DR bestaan erg veel verschillende allelen per gen. Voor ieder van deze genen komen meer dan 600 verschillende allelen voor.

Waarom is de kans heel klein dat iemand exact hetzelfde HLA-type heeft als jij?

ba

Bijzchrift: Afb. 41. HLA-typen van Derek en zijn ouders.

bND

Beschrijving afbeelding

vader

moeder

A1

A29

A2

A3

B44

B7

B44

B8

DR17

DR15

DR4

DR7

Derek

Liam

A1

B44

DR17 A3

B8

DR7

??

eND

ea

6. Opvoeding of aanleg (SE)

bk

LEERDOELEN

3.6.1 Je kunt uitleggen wat het belang van tweelingonderzoek is voor de genetica.

3.6.2 Je kunt verklaren waarom overerving soms anders verloopt dan je verwacht.

bt

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	3.6.1	3.6.2
Onthouden	66	67
Begrijpen	68, 69, 70	71
Toepassen	72	73, 76, 77a, 78
Analyseren	74	75, 77b

et

ek

Als je goed kunt leren, is dat dan een aangeboren eigenschap, of heb je dit aangeleerd? Biologisch en genetisch onderzoek geven stapje voor stapje antwoord op deze vraag. Er is steeds meer bewijs dat het gaat om een combinatie van aanleg en opvoeding.

Nature versus nurture

Het fenotype wordt bepaald door het genotype en door milieufactoren. Hoe groot de rol van het genotype en milieufactoren op het fenotype is, kun je bij planten en bij dieren bepalen door middel van onderzoek.

Sommige eigenschappen worden bijna uitsluitend bepaald door het genotype. Zo bepaalt je genotype je bloedgroep. Hierop heeft het milieu geen invloed. Andere

eigenschappen worden (vrijwel) uitsluitend door milieufactoren bepaald, zoals een litteken of de lengte van je nagels.

Het genotype stelt bij veel eigenschappen de uiterste grenzen vast en het milieu bepaalt hoe dicht de grenzen worden benaderd. Bij een mens kan in het genotype vastliggen dat je maximaal 1,80 m lang kunt worden. Als alle milieufactoren optimaal zijn, zul je deze lengte bereiken. Krijg je tijdens de groei te maken met bijvoorbeeld gebrek aan voedsel, weinig slaap, zware arbeid of langdurige ziekte, dan zul je deze lengte niet bereiken.

Afb. 42. Nature of nurture?

Do not blame your parents for who you are. They gave you the genes, but you choose how to wear them.

Travis J. Hedrick, Th D. Mba

pp209

Hetzelfde genotype leidt dus niet altijd tot hetzelfde fenotype, maar tot een reeks mogelijkheden van het fenotype als gevolg van de invloeden van het milieu.

De rol van opvoeding op het fenotype houdt psychologen, onderwijskundigen en opvoedkundigen behoorlijk bezig. Hoe groot is bijvoorbeeld de rol van aanleg (nature) en opvoeding (nurture) op je schoolprestaties? Bij mensen is deze rol van het milieu (opvoeding) en genotype (aanleg) op het fenotype (gedrag) lastig te bepalen. Je kunt niet zomaar experimenteren met mensen doen. Tweelingonderzoek kan in deze discussie wel een belangrijke bijdrage leveren.

Tweelingonderzoek

Eeneiige tweelingen hebben hetzelfde genotype en twee-eiige tweelingen hebben verschillende genotypen. Bij zowel eeneiige als twee-eiige tweelingen zijn de leeftijd en de omgeving waarin ze opgroeien gelijk. Daarom zijn tweelingen ideaal als vergelijkingsmateriaal: 'gelijk genotype en gelijk milieu' tegenover 'verschillend genotype en gelijk milieu'.

Wanneer eeneiige tweelingen, bijvoorbeeld door adoptie, van jongs af aan in verschillende gezinnen opgroeien, kun je te weten komen wat de invloed is van milieufactoren op het fenotype (gelijk genotype en verschillend milieu).

Opdrachten - kennis

Opdracht 66.

Vanaf welk moment ligt het genotype van een individu vast?

Opdracht 67.

Welke termen worden in de genetica gebruikt in plaats van *nature* en *nurture*?

Opdracht 68.

Yigit en Derman zijn geboren als een Siamese tweeling. De tweeling was met het hoofd vergroeid (zie afbeelding 43). Ze zijn door een chirurgisch team van elkaar gescheiden. Heeft een Siamese tweeling hetzelfde genotype of een verschillend genotype?

ba

Bijchrift: Afb. 43. Siamese tweeling.

ea

Opdracht 69.

Bij tweelingenonderzoek gebruiken wetenschappers gegevens van twee-eiige tweelingen die samen in een gezin opgroeien. De leden van deze tweelingen vertonen onderling verschillen in fenotype.

- a. Waardoor worden de verschillen in het fenotype vooral veroorzaakt: door verschillen in genotype of door milieufactoren?
- b. Soms krijgen onderzoekers gegevens van eeneiige tweelingen die onder verschillende omstandigheden opgroeien.

Wordt hiermee de invloed van het genotype of de invloed van milieufactoren op het fenotype onderzocht?

pp210

Genexpressie

Je hebt geleerd dat de verhouding van fenotypen bij nakomelingen na een monohybride kruising soms kan afwijken van wat je had verwacht. Dat kan bijvoorbeeld doordat er in een allele een letale factor aanwezig is. Of wanneer het gaat om een X-chromosomale kruising.

Ook milieufactoren kunnen invloed hebben op de verhouding van fenotypen bij nakomelingen. Bijvoorbeeld doordat ze ervoor zorgen dat een bepaald allele bij het ene individu niet tot expressie komt en bij een ander individu met hetzelfde allelenpaar wel. Zo blijkt uit onderzoek dat bij muizen de voeding die de moeder eet tijdens de zwangerschap invloed heeft op de vachtkleur van de nakomelingen. Bij gele muizen met hetzelfde genotype kan voeding bepalen of zij een donkere of een lichtere vachtkleur krijgen (zie afbeelding 44). De milieufactor voeding heeft hier invloed op het fenotype.

ba

Bijzchrift: Afb. 44. Kleurvariatie bij gele muizen.

bND

Beschrijving afbeelding

geel

licht gevlekt

gevlekt

zwaar gevlekt

donker

eND

ea

Milieufactoren hebben dus invloed op het aan- en uitzetten van bepaalde allelen.

Hierdoor kan de genexpressie veranderen.

Bij mensen kan voedseltekort de genexpressie van bepaalde genen beïnvloeden.

Kinderen die tijdens de Hongerwinter van 1944 zijn verwekt, hebben bijvoorbeeld een grotere kans op overgewicht en diabetes, doordat de genexpressie van bepaalde genen is verhoogd.

Bij eeneiige tweelingen leidt de invloed van milieufactoren tot steeds duidelijkere verschillen in uiterlijk en gedrag op latere leeftijd. Het genotype van eeneiige tweelingen is gelijk, maar of bepaalde genen wel of niet tot uiting komen in het fenotype kan onderling verschillen.

Opdrachten - kennis

Opdracht 70.

Bij eeneiige tweelingen neemt het verschil in fenotype vaak toe naarmate de tweeling ouder wordt.

- a. Hoe komt het dat de fenotypen meer gaan verschillen naarmate ze ouder worden?
- b. Hoe kunnen verschillen in het fenotype bij eeneiige tweelingen worden veroorzaakt?

Opdracht 71.

Waarom is bij mensen de invloed van nature en nurture moeilijker te bepalen dan bij dieren?

Opdrachten - inzicht

Opdracht 72.

Hortensia's (zie afbeelding 45) zijn sierplanten voor in de tuin. De planten in de afbeelding zijn allemaal stekjes van dezelfde moederplant en hebben allemaal hetzelfde genotype. Toch heeft iedere plant een ander fenotype.

Geef twee voorbeelden van milieufactoren die verantwoordelijk kunnen zijn voor het verschil in fenotype.

ba

Bijchrift: Afb. 45. Hortensia's.

ea

Opdracht 73.

In afbeelding 46 is een experiment over de vachtkleur bij muizen weergegeven.

- a. Welke conclusie kun je trekken uit het experiment in afbeelding 46?
- b. Het allele voor donkere vacht wordt aangegeven met a en het gen voor een gele vacht wordt weergegeven met A. De nakomelingen uit het experiment hebben allemaal hetzelfde genotype.

Welk genotype hebben de nakomelingen uit het experiment? Leg je antwoord uit.

Afb. 46. Experiment over vachtkleur bij muizen.

Onderzoek - De invloed van alcohol op de vachtkleur bij muizen.

Inleiding: Muizen met hetzelfde genotype voor gele vachtkleur vertonen toch verschillen in de expressie van het allele voor gele vachtkleur. Wanneer het allele actief is, is de vachtkleur geel. Is het gen inactief, dan is de vachtkleur donker. Soms is het gen plaatselijk uitgeschakeld en dan is de vacht geelbruin gevlekt.

Onderzoeksvraag: Beïnvloedt alcoholconsumptie voor de bevruchting de genexpressie van het allele voor gele vachtkleur bij de jongen die worden geboren?

Hypothese: Alcoholconsumptie voor de bevruchting beïnvloedt de genexpressie van het allele voor gele vachtkleur bij de jongen die worden geboren.

Experiment: Een groot aantal homozygote donkere muizen ((v)) wordt gekruist met een groot aantal homozygote gele muizen ((m)). De donkere muizen worden verdeeld in twee groepen. Groep 1 krijgt geen alcohol voor de bevruchting, dit is de controlegroep, en groep 2 wel. De vachtkleur van de nakomelingen wordt met elkaar vergeleken.

Resultaten:

bt

Vachtkleur	Groep 1	Groep 2
Geel	21%	6%
Gevlekt	66%	59%
Bruin	13%	25%
Totaal	91	69

et

Conclusie: []

pp212

Opdracht 74.

Najib wil onderzoeken of nicotineverslaving bepaald wordt door nature of nurture. Hij vergelijkt hiervoor twee groepen eeneiige tweelingen. Groep 1 bestaat uit eeneiige tweelingen die beiden roken en groep 2 bestaat uit eeneiige tweelingen waarvan er één wel rookt en één niet.

Wanneer kan Najib de conclusie trekken dat nicotineverslaving wordt bepaald door nurture?

Opdracht 75.

Het aantal X-chromosomen in lichaamscellen van mannelijke en vrouwelijke zoogdieren is verschillend. Maar de genexpressie van deze chromosomen is wel gelijk. Om te voorkomen dat vrouwen meer expressie van de genen op de X-chromosomen hebben, wordt in iedere cel een willekeurig X-chromosoom uitgeschakeld. Dit betekent dat bij vrouwen groepjes cellen ontstaan waarin het X-chromosoom van vader actief is, maar ook groepjes cellen waarin het X-chromosoom van moeder actief is.

Bij lapjeskatten is dit goed zichtbaar. Lapjeskatten zijn altijd poezen ((v)). Een van de genen voor vachtkleur bij katten ligt op het X-chromosoom. De verschillend gekleurde vlekken bij lapjeskatten ontstaan doordat in verschillende groepen cellen van de vacht een ander X-chromosoom tot expressie komt.

- Zijn lapjeskatten homozygoot of heterozygoot voor het X-chromosomale gen voor vachtkleur? Leg je antwoord uit.
- Waarom kunnen katers ((m)) geen lapjeskat zijn?

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

pp213

Context Leefwereld - Zin in zoetigheid

De meeste mensen hebben af en toe behoefte aan iets lekkers. Sommige mensen hebben echter meer moeite om van lekkernijen af te blijven dan anderen. Echte zoetekauwen blijken een andere genexpressie van het FGF21-gen te hebben dan mensen die gemakkelijker van snoep af kunnen blijven.

Het FGF21-gen reguleert de aanmaak van bepaalde stoffen en hormonen die een rol spelen bij de stofwisseling. Deense onderzoekers ontdekten dat onder invloed van deze stoffen en hormonen bepaalde delen in de hersenen gevoeliger zijn voor suiker en daardoor de zin in zoetigheid onderdrukken.

Je fenotype wordt bepaald door je genotype en de mate van genexpressie. Hoe meer genexpressie, hoe meer stoffen en hormonen je aanmaakt. Personen die het allel A voor het FGF21-gen bezitten hebben meer behoefte aan zoetigheid, omdat zij minder stoffen en hormonen aanmaken.

De hoeveelheid suiker die je eet heeft ook weer invloed op de expressie van het FGF21-gen. Als je veel suiker eet, leidt dat in levercellen tot meer expressie van het FGF21-gen. Hierdoor neemt de hoeveelheid stoffen en hormonen toe waardoor de hersencellen tijdelijk gevoeliger worden voor suiker. Dat remt de behoefte aan zoetigheid.

De genexpressie van het FGF21-gen beïnvloedt dus de behoefte aan suiker, maar de hoeveelheid suiker die je eet beïnvloedt ook de genexpressie. Onderzoekers werken aan een medicijn dat de genexpressie van het FGF21-gen stimuleert, zodat je minder zin krijgt in zoetigheid.

ba

Bijchrift: Afb. 49 Suikerrijk eten.

ea

Opdrachten

Opdracht 76.

Uit onderzoek blijkt dat mensen die allel A van het FGF21-gen bezitten meer behoefte hebben aan suiker dan mensen zonder dat allel. Wordt de extra behoefte aan suiker bij deze mensen uitsluitend bepaald door het genotype?

Opdracht 77.

- a. Waarom lopen mensen die het allel A hebben voor het FGF21-gen meer kans op obesitas en diabetes? Leg je antwoord uit in drie stappen.
- b. Hoe zou een medicijn de zin in zoetigheid kunnen onderdrukken?

Opdracht 78.

Is het zo dat iedereen die allel A bezit obesitas krijgt?

Samenhang

Twin strangers

bk

LEERDOELEN

3.S.1 Je kunt aangeven hoe erfelijkheid een rol speelt op verschillende organisatieniveaus.

3.S.2 Je kunt uitleggen hoe erfelijkheid een rol speelt bij evolutionair denken.

ek

Niamh Geaney werd uitgedaagd tijdens een tv-programma om op zoek te gaan naar haar dubbeldanger. Iemand die er exact zo uitziet als jij, terwijl je geen familie bent. Toen zij Karen ontmoette, was iedereen verbaasd over hoeveel ze op elkaar leken. De video van hun ontmoeting ging dan ook viraal via YouTube en dit leidde uiteindelijk tot de start van het 'twin strangers project'. Door dit project heeft Niamh ondertussen al kennisgemaakt met maar liefst drie dubbeldangers.

ba

Bijzchrift: Afb. 1.

ea

Niamh Geaney dacht dat haar dubbeldangers misschien wel verre familie van haar waren. Maar uit een DNA-test bleek dat dat niet zo was. Ze deelden de afgelopen 20 000 jaar zelfs geen gemeenschappelijke voorouder.

Als je wilt weten of je met iemand een gemeenschappelijke voorouder deelt, kun je kijken naar een groep allelen die je van slechts één ouder hebt gekregen. Bij mannen

worden hiervoor vaak de allelen op het Y-chromosoom gebruikt. Mannen erven het Y-chromosoom van hun vader. Bij vrouwen wordt gekeken naar de allelen van het DNA in de mitochondriën, die erf je altijd via de eicel van je moeder. Hoe meer de allelen van twee individuen verschillen, hoe langer het geleden is dat zij een gemeenschappelijke voorouder hadden.

Hoe is het mogelijk dat sommige mensen zo veel op elkaar lijken terwijl ze absoluut geen familie zijn van elkaar? Joseph McInerney, de vicevoorzitter van de American Society of Human Genetics, geeft aan dat mensen voor 99,5% dezelfde DNA-sequenties hebben. De verschillen in genotypen en fenotypen bij mensen worden veroorzaakt door 0,5% van het DNA. In deze 0,5% zitten onder andere de allelen die je gezichtskenmerken bepalen, zoals haarkleur, oogkleur, kuiltjes in de wangen, wipneus, enzovoort. Qua allelen is er uiteraard niet oneindig veel variatie mogelijk, want er zijn maar een beperkt aantal allelen voor een gen. Hierdoor is het eigenlijk een kwestie van kansberekening.

pp215

Joseph McInerney geeft aan dat de kans dat je iemand tegenkomt die sprekend op jou lijkt het grootst is in je eigen omgeving. Zeker als je familie daar al generaties lang woont. De kans is dan groot dat dit wel een ver familielid is waarmee jij je DNA-sequenties voor meer dan 99,5% deelt.

Opdrachten

Opdracht 1.

Noteer in de tabel de volgende begrippen bij het juiste organisatieniveau.

Kies uit:

DNA-sequentie

DNA-test

dubbelgangers

eicel

eigen omgeving

familie

generaties

gezichtskenmerken

voorouder

bt

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	[]
Ecosysteem	[]
Populatie	[]
Organisme	[]
Orgaan	[]
Cel	[]
Molecuul	[]

et

Opdracht 2.

Bij mannen wordt aan de hand van allelen op het Y-chromosoom bepaald hoelang geleden ze een gemeenschappelijke voorouder hadden. Bij vrouwen kijk je naar allelen in het DNA uit de mitochondriën.

Bij mannen kan ook met het DNA uit de mitochondriën worden vastgesteld hoelang geleden de gemeenschappelijke voorouder leefde. Waarom kun je dit bij mannen ook met het DNA uit de mitochondriën bepalen?

Opdracht 3.

Bij een DNA-test worden de DNA-sequenties van individuen vergeleken. Er wordt een DNA-test uitgevoerd om te bepalen of twee mensen familie van elkaar zijn.

Wordt het DNA onderzocht dat mensen gemeenschappelijk hebben (99,5%), of het DNA (0,5%) dat de verschillen in genotypen en fenotypen veroorzaakt? Leg je antwoord uit.

Opdracht 4.

Volgens Joseph McInerney is het bestaan van dubbelgangers slechts een kwestie van kansberekening.

Volgens onderzoekers aan de universiteit van Londen zijn er 32 genen verantwoordelijk voor je gezichtskenmerken. Stel dat er voor deze 32 genen maar twee allelen bestaan, een dominant en een recessief allele.

- a. Hoeveel verschillende combinaties van allelen zijn er dan mogelijk voor gezichtskenmerken?
- b. In 2021 zijn er ongeveer 8 miljard mensen op de wereld. Hoeveel mensen hebben dan waarschijnlijk dezelfde allelecombinatie voor alle gezichtskenmerken als jij?
- c. Sommige mensen hebben veel eigenschappen die worden veroorzaakt door een dominant allele.

Is de kans dat je een dubbelganger hebt dan groter of kleiner?

Onderzoek

Practica

Practicumopdracht 1

bk

ONDERZOEKSDOEL

3.O.1 Je kunt monohybride kruisingen uitbeelden met pijpenragers en kralen.

- Basisstof 3
- Vaardigheid 6

ek

Monohybride kruisingen uitbeelden met pijpenragers en kralen

Tijd: 40 minuten

Inleiding

Bij een monohybride kruising volg je de overerving van één erfelijke eigenschap waarbij één allelenpaar is betrokken. Je kunt dan de kans op een bepaald genotype of fenotype bij de nakomelingen bepalen. In dit practicum beeld je twee monohybride kruisingen uit met behulp van pijpenragers en kralen. Je maakt een fotoverslag van het practicum.

Onderzoeksraag

Wat zijn de verhoudingen van genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van monohybride kruisingen?

Materiaal

- één kleur pijpenragers met dezelfde lengte

- twee kleuren kralen
- mobiele telefoon
- blanco werkblad A3
- potlood of pen

ba

Bijchrift: Afb. 1. Pijpenragers.

ea

ba

Bijchrift: Afb. 2. Kralen.

ea

pp217

Methode

- Je gebruikt de pijpenrangers als chromosomen en de kralen als allelen.
- Gebruik het werkblad om de kruisingen uit te beelden.
- Beeld de volgende kruising uit tot en met de F_2 volgens de stappen voor het oplossen van een kruisingsvraagstuk: een vrouwelijk dier met een rode vacht (A) dat homozygoot is voor deze eigenschap wordt gekruist met een geel (a) mannetje. De eigenschap rood is volledig dominant over geel.
- Maak eerst een legenda waarin je aangeeft welke erfelijke eigenschap een bepaalde kleur kraal vertegenwoordigt.
- Geef steeds aan wat de ouders (P) en nakomelingen zijn (F_1 en F_2). Noteer ook de genotypen en fenotypen van de organismen en de genotypen van de geslachtscellen.
- Beeld op dezelfde manier de monohybride kruising uit (tot en met de F_1) van een rood heterozygoot dier (vrouwje) dat wordt gekruist met een geel organisme (mannetje).

Resultaten

- Noteer van de eerste kruising de genotypen en fenotypen van de nakomelingen in de F_1 en F_2 op het werkblad. Zet erachter in welke verhoudingen ze voorkomen.
- Als je klaar bent, maak je een foto met je mobiele telefoon.
- Print de foto's of stuur ze naar je docent.
- Herhaal dit voor de tweede kruising.

Conclusie

1. Wat zijn de verhoudingen van de genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van de F_1 en de F_2 ?

Discussie

2. Wat ging er goed?
3. Wat kon beter?

Practicumopdracht 2

bk

ONDERZOEKSDOEL

3.O.2 Je kunt X-chromosomale kruisingen uitbeelden met pijpenragers en kralen.

- Basisstof 4
- Vaardigheid 6

ek

Een X-chromosomale overerving uitbeelden met pijpenragers en kralen

Tijd: 20 minuten

Inleiding

Bij een X-chromosomale eigenschap liggen de genen voor een bepaalde erfelijke eigenschap alleen op de X-chromosomen. Door een X-chromosomale kruising uit te voeren, kun je de overerving van zo'n eigenschap volgen en de kans op een bepaald genotype of fenotype bij de nakomelingen bepalen. In dit practicum beeld je een X-chromosmale kruising uit met behulp van pijpenragers en kralen. Je maakt een fotoverslag van het practicum.

pp218

Onderzoeksvraag

Wat zijn de verhoudingen van genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van een X-chromosomale kruising?

Materiaal

- één kleur pijpenrangers waarvan een deel 10 cm lang is en een deel 3 cm lang
- twee kleuren kralen
- mobiele telefoon
- blanco werkblad A3
- potlood of pen

Methode

- Je gebruikt de pijpenrangers als chromosomen en de kralen als allelen.
- Gebruik het werkblad om de kruising uit te beelden.
- Bij fruitvliegjes zijn de allelen voor rode en witte ogen X-chromosomaal. Beeld de volgende kruising uit tot en met de F_2 volgens de stappen voor het oplossen van een kruisingsvraagstuk: een vrouwtje met witte ogen wordt gekruist met een mannetje met rode ogen.
- Maak eerst een legenda waarin je aangeeft welke erfelijke eigenschap een bepaalde kleur kraal vertegenwoordigt.
- Geef steeds aan wat de ouders (P) en nakomelingen zijn (F_1 en F_2). Noteer ook de genotypen en fenotypen van de organismen en de genotypen van de geslachtscellen.

Resultaten

- Noteer de genotypen en fenotypen van de nakomelingen in de F_1 en F_2 op het werkblad. Zet erachter in welke verhoudingen ze voorkomen.
- Als je klaar bent, maak je een foto met je mobiele telefoon.
- Print de foto's of stuur ze naar je docent.

Conclusie

1. Wat zijn de verhoudingen van de genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van de F₁ en de F₂?

Discussie

2. Wat ging er goed?
3. Wat kon beter?

Practicumopdracht 3

bk

ONDERZOEKSDOEL

- 3.O.3 Je kunt gekoppelde overerving uitbeelden met pijpenragers en kralen.

- Basisstof 5
- Vaardigheid 6

ek

pp219

Gekoppelde overerving uitbeelden met pijpenrangers en kralen

Tijd: 20 minuten

Inleiding

Je kunt ook kruisingen uitvoeren waarbij twee genen zijn betrokken. Wanneer de twee genenparen in hetzelfde chromosomenpaar liggen, spreek je van gekoppelde genen en gekoppelde overerving. Bij gekoppelde overerving is slechts één chromosomenpaar betrokken. In dit practicum beeld je een kruising met gekoppelde overerving uit met behulp van pijpenrangers en kralen. Je maakt een fotoverslag van het practicum.

Onderzoeksvraag

Wat zijn de verhoudingen van genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van een kruising met gekoppelde overerving?

Materiaal

- één kleur pijpenrangers met dezelfde lengte
- vier kleuren kralen
- mobiele telefoon
- blanco werkblad A3
- potlood of pen

Methode

- Je gebruikt de pijpenrangers als chromosomen en de kralen als allelen.
- Gebruik het werkblad om de kruisingen uit te beelden.
- Bij een diersoort is een rode vacht (A) volledig dominant over een gele vacht (a) en is harig (B) volledig dominant over kaal (b). Beeld de volgende kruising uit tot en met de F₂ volgens de stappen voor het oplossen van een kruisingvraagstuk: een rood, harig vrouwtje dat homozygoot is voor beide eigenschappen wordt gekruist met een geel, kaal mannetje.

- Maak eerst een legenda waarin je aangeeft welke erfelijke eigenschap een bepaalde kleur kraal vertegenwoordigt.
- Geef steeds aan wat de ouders (P) en nakomelingen zijn (F_1 en F_2). Noteer ook de genotypen en fenotypen van de organismen en de genotypen van de geslachtscellen.

Resultaten

- Noteer de genotypen en fenotypen van de nakomelingen in de F_1 en F_2 op het werkblad. Zet erachter in welke verhoudingen ze voorkomen.
- Als je klaar bent, maak je een foto met je mobiele telefoon.
- Print de foto's of stuur ze naar je docent.

Conclusie

1. Wat zijn de verhoudingen van de genotypen en fenotypen bij de nakomelingen van de F_1 en de F_2 ?

Discussie

2. Wat ging er goed?
3. Wat kon beter?

Afsluiting

Samenvatting

Basisstof 1

3.1.1

Je kunt beschrijven wat het fenotype en wat het genotype van een organisme is.

- Fenotype: de waarneembare eigenschappen van een individu. Hierbij horen eigenschappen zoals haarkleur, oogkleur en lichaamsgeur, maar ook eigenschappen zoals bloedgroep en kleurenblindheid.
- Het fenotype wordt bepaald door het genotype en milieufactoren.
- Genotype: informatie voor alle erfelijke eigenschappen van een individu.

3.1.2

Je kunt uitleggen wat autosomen, geslachtschromosomen en homologe chromosomen zijn.

- De mens heeft in een lichaamscel 23 paar chromosomen ($2n$):
 - 22 paar autosomen
 - 1 paar geslachtschromosomen (XX = vrouw en XY = man)
- X-chromosoom: een van de geslachtschromosomen: komt bij vrouwen in paren voor, komt bij mannen enkelvoudig voor.
- Y-chromosoom: het andere geslachtschromosoom, komt alleen enkelvoudig voor bij mannen.
- Homologe chromosomen: chromosomen die gelijk zijn in lengte en vorm en informatie bevatten voor dezelfde erfelijke eigenschappen.
- Genetische informatie / genetische code: de informatie voor erfelijke eigenschappen die opgeslagen ligt in het DNA.

- Karyogram (of chromosomenportret) (zie *BiNaS* tabel 70B): rangschikking van chromosomen uit een cel naar grootte en in paren.
- Nucleotiden: bouwstenen van het DNA.
 - Een nucleotide kan één van de volgende vier stikstofbasen bevatten: adenine (A), cytosine (C), thymine (T) of guanine (G).
 - Een DNA-molecuul bestaat uit twee ketens van aan elkaar gekoppelde nucleotiden. De stikstofbasen van de twee ketens zijn met elkaar verbonden. Ze vormen vaste paren (basenparing): A-T en C-G.
- DNA-sequentie: de volgorde van de nucleotiden in het DNA.
- Chromosoom: één molecuul van de stof DNA met eiwitmoleculen.
- Gen: een deel van een chromosoom dat de informatie bevat voor een of meer erfelijke eigenschappen of een deel van een erfelijke eigenschap.
- Allel: variant van een gen; ieder allel heeft een eigen volgorde van nucleotiden.
- Genoom: alle DNA-moleculen in een cel.

3.1.3

Je kunt uitleggen dat een fenotype tot stand komt door de combinatie van genotype en de invloed van milieufactoren.

- Het fenotype wordt bepaald door het genotype en door milieufactoren, bijvoorbeeld licht, lucht, vochtigheid, temperatuur, voeding, ziekten en opvoeding.
- Modificatie: verandering in fenotype, veroorzaakt door milieufactoren. Een modificatie is niet erfelijk. De informatie in de chromosomen verandert niet.
- Genexpressie: het aanzetten van genen. Hierdoor komen erfelijke eigenschappen tot uiting.
- Geninactivatie: het uitzetten van genen. Hierdoor komen erfelijke eigenschappen niet tot uiting.
- Erfelijke ziekte: een ziekte die wordt doorgegeven via de chromosomen. van de ouders.
- Aangeboren afwijking: een afwijking die ontstaat door milieufactoren in de baarmoeder.

Basisstof 2

3.2.1

Je kunt uitleggen hoe het fenotype van een organisme tot stand komt en hierbij de begrippen homozygoot, heterozygoot, dominant en recessief gebruiken.

- Elk gen heeft een bepaalde plaats in een bepaald chromosoom.
- In lichaamscellen komen chromosomen en genen in paren voor (chromosomenpaar en genenpaar).
- In geslachtscellen komen chromosomen en genen enkelvoudig voor.

pp221

- Homozygoot: het genenpaar voor een eigenschap bestaat uit twee gelijke allelen.
- Heterozygoot: het genenpaar voor een eigenschap bestaat uit twee ongelijke allelen.
- Dominant allele: een allele dat altijd tot uiting komt in het fenotype.
 - Individuen bij wie een dominant allele tot uiting komt in het fenotype, zijn homozygoot of heterozygoot voor deze eigenschap.
- Recessief allele: een allele dat alleen tot uiting komt in het fenotype als er geen dominant allele aanwezig is.
 - Individuen bij wie een recessief allele tot uiting komt in het fenotype, zijn homozygoot voor deze eigenschap.
- Onvolledig dominant: twee onvolledig dominante allelen komen bij een heterozygoot individu beide tot uiting in het fenotype.
- Intermediair fenotype: het fenotype dat ontstaat bij onvolledige dominantie.
- Codominantie: beide allelen komen volledig tot uiting in het fenotype.

3.2.2

Je kunt beschrijven hoe door recombinatie nieuwe combinaties van allelen ontstaan.

- Recombinatie: het herverdelen van erfelijke eigenschappen waardoor nieuwe combinaties van chromosomen en allelen ontstaan.
 - Recombinatie vindt plaats door meiose en geslachtelijke voortplanting.
 - Tijdens meiose I gaan chromosomen van een chromosomenpaar uiteen, waardoor er geslachtscellen met verschillende genotypen ontstaan. In de geslachtscellen kunnen 2^n verschillende genotypen voorkomen (bij de mens 2^{23}).
- Door recombinatie ontstaat een grote genetische variatie door verscheidenheid in genotypen. Hierdoor heeft een soort een grotere overlevingskans, vooral bij veranderende milieuomstandigheden.
- Genetische variatie ontstaat ook door mutaties.
 - Mutatie: verandering in een erfelijke eigenschap.

Basisstof 3

3.3.1

Je kunt een kruisingsschema opstellen van een monohybride kruising.

- Monohybride kruising: kruising waarbij je let op de overerving van één eigenschap.
 - Bij een monohybride kruising is één allelenpaar betrokken.
- Het opstellen van een kruisingsschema:
 - Geef de genotypen van de ouders in een kruising weer.
 - Geef een dominant allel weer met een hoofdletter en een recessief allel met dezelfde kleine letter.
 - Stel vast welke allelen de geslachtscellen van beide ouders kunnen bevatten.
 - Ga na welke mogelijkheden er bestaan voor de versmelting van een eicelkern en een zaadcelkern.
 - De F_2 ontstaat door onderlinge kruising van de nakomelingen uit de F_1 .
- Kruisingsschema van een monohybride kruising:

Beschrijving afbeelding

P: (m) AA x (v) aa

geslachtscellen: A - a

F_1 : Aa

(m) Aa x (v)Aa

geslachtscellen: A or a - A or a

F_2

(m)

(v)

A

a

A

AA

Aa

a

Aa

aa

- Verhouding in de F₂:

genotypen: AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1

fenotypen: fenotype waarbij het dominante allele tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve allele tot uiting komt = 3 : 1

pp222

3.3.2

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

- Kruisingsvraagstuk: een vraagstuk over hoe bepaalde erfelijke eigenschappen worden doorgegeven. Wordt meestal opgelost met een kruisingsschema.

- P: Aa x aa

- Verhouding in de F₁:

genotypen: Aa : aa = 1 : 1

fenotypen: fenotype waarbij het dominante allele tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve allele tot uiting komt = 1 : 1

- P: Aa x Aa

- Verhouding in de F₁:

genotypen: AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1

fenotypen: fenotype waarbij het dominante allele tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve allele tot uiting komt = 3 : 1

- Testkruising: uit de F₁ leid je af of een individu homozygoot of heterozygoot is voor een bepaalde eigenschap. Hiervoor kruis je een individu met een homozygoot recessief individu: AA x aa of Aa x aa. Alleen bij een heterozygote ouder komt het recessieve allele tot uiting in de F₁.

- Stambomen: schematisch overzicht dat laat zien hoe een bepaalde erfelijke eigenschap in een familie overerft.

- 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).

Basisstof 4

3.4.1

Je kunt beschrijven hoe geslachtschromosomen het geslacht van een mens bepalen.

- Bij een man:
 - in een lichaamscel: twee ongelijke geslachtschromosomen (XY)
 - in een zaadcel: een X-chromosoom of een Y-chromosoom
- Bij een vrouw:
 - in een lichaamscel: twee gelijke geslachtschromosomen (XX)
 - in een eicel: een X-chromosoom
- Karyogram: kan ook worden weergegeven in een formule. Bij de mens is dat [46, XX] voor een vrouw en [46, XY] voor een man.
- Het geslacht van een individu komt vast te liggen op het moment van bevruchting.
 - Een meisje ontstaat als een eicel (met een X-chromosoom) wordt bevrucht door een zaadcel met een X-chromosoom.
 - Een jongen ontstaat als een eicel (met een X-chromosoom) wordt bevrucht door een zaadcel met een Y-chromosoom.

3.4.2

Je kunt een kruisingsschema maken voor X-chromosomale overerving en de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen hieruit afleiden.

- Bij X-chromosomale overerving liggen de genen voor een eigenschap in de geslachtschromosomen. Bij een X-chromosomale kruising:
 - elk X-chromosoom bevat een allel voor een gen
 - het Y-chromosoom bevat geen allel voor dit gen
- X-chromosomale allelen worden weergegeven als X^A of X^a .
 - Een vrouw kan als genotype X^AX^A , X^AX^a of X^aX^a hebben.
 - Een man kan als genotype X^AY of X^aY hebben.

3.4.3

Je kunt de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden uit een stamboom over X-chromosomale overerving.

- Bij X-chromosomale kruisingen geeft de moeder één van haar twee X-chromosomen door aan een zoon.

- X-chromosomaal gebonden aandoeningen komen vaker tot uiting bij mannen dan bij vrouwen.
- Zonen erven de afwijking altijd van hun moeder.
- Draagster: een vrouw die heterozygoot is voor een recessieve X-chromosomale eigenschap, waardoor deze eigenschap niet tot uiting komt in haar fenotype.

Basisstof 5

3.5.1

Je kunt kruisingsschema's maken voor onafhankelijke overerving van multipele allelen, letale factoren en gekoppelde genen.

- Multipele allelen: voor één erfelijke eigenschap bestaan drie of meer verschillende allelen. Bijvoorbeeld voor de bloedgroepen van de mens bestaan drie allelen: I^A , I^B en i .
 - $I^A|I^A$ of $I^A|i$: bloedgroep A
 - $I^B|I^B$ of $I^B|i$: bloedgroep B
 - $I^A|I^B$: bloedgroep AB
 - ii : bloedgroep O
- Letale factor: een allele dat geen levensvatbaar individu oplevert als een genenpaar bestaat uit twee van zulke allelen.
 - Als beide ouders dezelfde letale factor bezitten, wordt een deel van de verwachte nakomelingen niet geboren.
- Onafhankelijke overerving: twee genenparen liggen in verschillende chromosomenparen.
- Gekoppelde overerving: twee genenparen liggen in hetzelfde chromosomenpaar.
- In kruisingsopgaven worden gekoppelde genen als volgt aangegeven:
 - het genotype van een homozygoot dominant individu wordt weergegeven als: GN/GN
 - het genotype van een homozygoot recessief individu als: gn/gn
 - het genotype van een heterozygoot individu als: GN/gn

3.5.2

Je kunt uit de kruisingsschema's voor onafhankelijke overerving van multipele allelen, letale factoren en gekoppelde genen, of uit stambomen hiervan, de frequentie van bepaalde genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden.

- Bij multipele allelen zijn meer dan drie verschillende fenotypen mogelijk. Welke fenotypen in welke verhouding voorkomen bij de nakomelingen is afhankelijk van het fenotype en genotype van de ouders.
- Bij letale factoren is de verhouding van de fenotypen bij de nakomelingen van twee heterozygote ouders niet 3 : 1 (fenotype behorend bij dominant allele : fenotype behorend bij recessief allele), maar 2 : 1.
- Bij gekoppelde genen zijn de verhoudingen van de genotypen en fenotypen bij de nakomelingen vergelijkbaar met die van een monohybride kruising.
- Niet alle combinaties van eigenschappen komen voor in het fenotype van de nakomelingen.

Basisstof 6

3.6.1

Je kunt uitleggen wat het belang van tweelingonderzoek is voor de genetica.

- Door tweelingonderzoek kun je meer zicht krijgen op de invloed die het genotype heeft en welke invloed milieufactoren hebben op het fenotype.
 - De individuen van een eeneiige tweeling hebben hetzelfde genotype.
 - Een twee-eiige tweeling lijkt net zo veel op elkaar als andere broers of zussen en kan van verschillend geslacht zijn.
- Bij een eeneiige tweeling (die gescheiden opgroeit) kun je onderzoeken welke invloed milieufactoren op het fenotype hebben.

3.6.2

Je kunt verklaren waarom overerving soms anders verloopt dan je verwacht.

- Genexpressie is het mechanisme dat verantwoordelijk is voor het aan- en uitzetten van allelen en kan worden beïnvloed door milieufactoren.

Samenhang

- 3.S.1 Je kunt aangeven hoe erfelijkheid een rol speelt op verschillende organisatieniveaus.

3.S.2 Je kunt uitleggen hoe erfelijkheid een rol speelt bij evolutionair denken.

Onderzoek - practica

3.O.1 Je kunt monohybride kruisingen uitbeelden met pijpenragers en kralen.

3.O.2 Je kunt X-chromosomale kruisingen uitbeelden met pijpenragers en kralen.

3.O.3 Je kunt gekoppelde overerving uitbeelden met pijpenragers en kralen.

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

Examenopgaven

De ziekte van Wilson

Bron: examen havo 2019-2, vraag 6 en 7.

Toen Jannekes vriend opmerkte dat haar ogen van kleur leken te veranderen, dacht zij dat hij een grapje maakte. Maar in de spiegel ziet ze tussen het blauw en het wit van haar ogen een randje geelbruin. Voor de zekerheid gaat zij naar de dokter. Die vermoedt dat Janneke de ziekte van Wilson heeft.

De ziekte van Wilson is een zeldzame aandoening waarbij de uitscheiding van koper is verstoord. Hierdoor hoopt koper zich op in de lever, maar ook aan de rand van het hoornvlies, waardoor de verkleuringen ontstaan.

De dokter verwijst Janneke door voor DNA-onderzoek. Hiermee wordt de diagnose bevestigd. De internist in het ziekenhuis legt uit dat bij de ziekte van Wilson een gen op chromosoom 13 is gemuteerd. Dit gen codeert normaal voor een eiwit dat levercellen nodig hebben om koper via de gal uit te scheiden.

De ziekte van Wilson blijkt vaker voor te komen in de familie van Janneke. In afbeelding 1 is de stamboom van Jannekes familie te zien.

ba

Bijchrift: Afb. 1. Stamboom van Jannekes familie.

bND

Beschrijving afbeelding

overgrootvader

overgrootmoeder

Sem

oma Rita

tante Sylvia

Janneke

Legenda:

gezond

ziekte van Wilson

eND

ea

Opdracht 1 (1p).

Uit de stamboom is af te leiden dat de ziekte van Wilson autosomaal overerft. Als de overerving X-chromosomaal was geweest, zou een van de ouders van Sem of Janneke de ziekte ook moeten hebben.

Wie zou in dat geval de ziekte ook hebben?

- A. Sems vader
- B. Sems moeder
- C. Jannekess vader
- D. Jannekess moeder

Opdracht 2 (2p).

Jannekes tante Sylvia (afbeelding 1) wil weten wat de kans is dat zij drager is van hetallel voor de ziekte van Wilson. Ga ervan uit dat Jannekes oma Rita geen drager is.

Hoe groot is de kans dat Sylvia drager is?

- A. 0%
- B. 25%
- C. 50%
- D. 75%
- E. 100%

Kwieker ouder door genmutatie

Naar: examen havo 2021-3, vraag 32.

De meest voorkomende oorzaak van dementie is de ziekte van Alzheimer.

Bij de ziekte van Alzheimer gaan sommige zenuwcellen in de hersenen en de verbindingen tussen deze zenuwcellen kapot. Hierdoor kunnen de hersenen niet goed meer functioneren. In de eerste fase wordt het geheugen geleidelijk slechter. In latere fasen krijgt de patiënt problemen met taal en ingewikkelde handelingen en uiteindelijk ontstaan problemen met het uitvoeren van eenvoudige taken.

Er zijn verschillende genen die het risico op alzheimer beïnvloeden. Een van deze genen beïnvloedt de verhouding tussen 'slecht cholesterol' (LDL) en 'goed cholesterol' (HDL) in het bloed. Dit gen staat bekend als het 'lang-leven-gen'. Onderzoekers ontdekten een allele van het lang-leven-gen dat een lagere concentratie LDL en een hogere concentratie HDL veroorzaakt. Ze vroegen zich af of mensen die dankzij dit gunstige allele langer leven, ook langer geestelijk gezond blijven. Om dat te onderzoeken werd vier jaar lang het geheugen getest van proefpersonen die ouder waren dan 70 jaar en bij de start van het onderzoek geen geheugenproblemen hadden. Ook werd bij hen bepaald of ze het normale allele (allele 1) of het afwijkende, gunstige allele (allele 2) van het lang-leven-gen hadden. Alleen bij mensen die twee kopieën van allele 2 hebben, ging het

geheugen minder snel achteruit. Van deze groep kregen ook veel minder mensen alzheimer.

Opdracht 3 (2p).

Is allele 2 dominant of recessief? Leg je antwoord uit.

Overerving bij varkens

Naar: examen havo 2009-2, vraag 7, 8 en 10.

Varkens zijn in veel culturen belangrijk vee. Van het varken komen veel rassen voor die alle afstammen van het wilde zwijn.

Een tam varken heeft in elke lichaamscel 38 chromosomen. Het West-Europese wilde zwijn heeft echter 36 chromosomen. In afbeelding 2 staan links de chromosomen van zowel het varken als het wilde zwijn weergegeven. Bij het varken ontbreekt chromosomenpaar nummer 2. Bij het wilde zwijn ontbreken de chromosomenparen nummer 6 en 9. Chromosomenpaar nummer 20 verschilt naargelang het geslacht: XX voor zeugen ((v)) en XY voor beren ((m)).

Rechts in afbeelding 2, een portret van een varkensbeer.

pp226

ba

Bijzchrift: Afb. 2 Karyogram en portret van varkensbeer.

ea

Opdracht 4 (1p). Hoeveel chromosomen komen er voor in een spermacel van de beer, het mannelijke tamme varken?

De vorm van de oren bij varkens kan verschillen. Er zijn varkens met hangoren en varkens met staande oren. Een beer met hangende oren wordt gekruist met een zeug met staande oren, het resultaat zie je in het kruisingsschema van afbeelding 3.

ba

Bijzchrift: Afb. 3 Kruisingsschema van varkens.

bND

Beschrijving afbeelding

beer met lange hangoren

zeug met staande oren

F₁ alle biggen hebben middelgrote, halfhangende oren en zijn daarvoor fokonzuiver

F₁ X F₁ middelgrote, halfhangende oren

middelgrote, halfhangende oren

F₂ lange, hangende oren 25%

middelgrote, halfhangende oren 50%

korte staande oren 25%

eND

ea

Opdracht 5 (2p). Over deze kruising worden drie uitspraken gedaan ten aanzien van het genotype voor de vorm van de oren.

1. Aan het fenotype van de varkens in de F_2 kun je direct zien wat het genotype van het varken is.
2. Alle nakomelingen in de F_1 zijn genotypisch hetzelfde.
3. Alle nakomelingen in de F_2 hebben een homozygoot genotype.

Welke van deze uitspraken is of welke zijn juist?

- A. alleen 1
- B. alleen 3
- C. alleen 1 en 2
- D. alleen 1 en 3
- E. alleen 2 en 3
- F. zowel 1, 2 als 3

In de varkenshouderij heb je bij het fokken te maken met erfelijke gebreken. Enkele voorbeelden daarvan zijn: een waterhoofd, een gesloten anus en een verkorte onderkaak. Deze gebreken erven recessief over en zijn daardoor moeilijk uit te roeien. Een gezonde beer of zeug kan wel drager zijn van zo'n recessief allele.

Van een gezonde beer met goede vleeskwaliteiten wil men door middel van testkruising uitzoeken of hij drager is van een afwijkend allele voor verkorte onderkaak.

Opdracht 6 (2p). Uit kruisingen tussen deze beer en drie verschillende zeugen ontstaat de volgende nakomelingenschap:

1. Bij kruising met zeug 1, met een normaal fenotype, een worp van twaalf biggen waarvan zes met een verkorte onderkaak.
2. Bij kruising met zeug 2, met een normaal fenotype, een worp van vijf biggen waarbij geen enkel dier een verkorte kaak heeft.
3. Bij kruising met zeug 3, met een normaal fenotype, een worp van acht biggen waarvan twee met een verkorte onderkaak.

Uit welke kruising of uit welke kruisingen kun je met zekerheid vaststellen dat de beer drager is van het recessieve allele?

- A. alleen kruising 1
- B. alleen kruising 2
- C. alleen kruising 3
- D. zowel kruising 1 als 3
- E. zowel kruising 2 als 3
- F. uit geen enkele kruising

Msud

Naar: examen havo 2018-2, vraag 12.

Maud werkt als diëtiste in een academisch ziekenhuis. Een van haar patiëntjes is Stan, een baby met de zeldzame erfelijke stofwisselingsziekte MSUD. Met de ouders bespreekt zij een dieet voor Stan.

Kenmerkend voor MSUD (*maple syrup urine disease*) is een zoetige geur van de urine. Deze geur doet denken aan esdoornsiroop (*maple syrup*). Bij patiënten met MSUD werkt een bepaald enzym niet goed waardoor ze bepaalde aminozuren (delen van eiwitten) niet kunnen afbreken. Hierdoor ontstaat een te hoge concentratie van deze aminozuren in het bloed. Dit leidt ertoe dat MSUD, indien onbehandeld, hersenschade kan veroorzaken.

Voor een uitgebreid onderzoek naar MSUD in de familie van Stan werd bij familieleden wangslijmvlies afgenoem en onderzocht. In de stamboom van de familie (afbeelding 4) zijn de uitslagen aangegeven.

ba

Bijzchrift: Afb. 4 Stamboom familie van Stan.

bND

Zie tekeningenband.

Beschrijving afbeelding

Legenda:

geen MSUD

MSUD

* bij deze persoon is een afwijkend allel aangetroffen

eND

ea

Opdracht 7 (2p). De ouders van Stan vragen zich af wat de kans is dat een volgend kind ook MSUD heeft.

- a. Hoe groot is de kans op een volgend kind met MSUD, indien dit kind een jongen is?
- b. Hoe groot is de kans op een volgend kind met MSUD, indien het kind een meisje is?

Online: ***Ga naar de Examentrainer.***

pp228

Notities

[]

pp229

[]