

3.4 Hoe erft bloemkleur over?

Je hebt een zaadveredelingsbedrijf. Er is belangstelling voor een nieuw plantenras. Het ras kan witte, rode, gele of oranje bloemen hebben. Je wilt zaden aan de mensen leveren waarbij het zeker is of er rode, gele, witte of oranje bloemen uit komen.

Je weet niet hoe die kleuren overerven. Om er achter te komen welke erfelijke eigenschappen dominant, recessief, intermediair of co-dominant zijn heb je 22 kruisingen gedaan en je heb nu de gegevens van die 22 proefveldjes binnen (werkblad 1 tot en met 4; op te halen bij de docent). Bij de kruisingen maakte het niet uit welke plant de eicellen en welke plant het stuifmeel leverde. De omgekeerde (reciproke) kruising gaf dezelfde resultaten.

1. Wat betekent de laatste zin voor de genen van je bloemen?

Je moet nu gaan uitzoeken:

- Hoe de erfelijke eigenschappen voor de verschillende bloemkleuren overerven (dominant, recessief, intermediair, co-dominant) en welke combinatie van erfelijke eigenschappen welk uiterlijk geeft.
- Welke planten je moet gaan kruisen zodat je nakomelingen krijgt met dezelfde bloemkleur (alleen oranje, alleen rode, alleen witte of alleen gele bloemen).

Uitvoering

Haal de werkbladen op bij de docent. Neem 5 minuten om met elkaar een voor een de bladen met de resultaten van de proefveldjes te bekijken. Kijk of je wonderlijke resultaten ziet die je op het eerste gezicht niet zou verwachten. Let vooral op de kruisingen waar de ouders hetzelfde zijn maar de nakomelingen verschillend. Probeer ook verklaringen te vinden voor de verhouding tussen de verschillende kleuren van de nakomelingen.

Stel vragen wanneer je niet snapt wat je ziet en maak daarna een plan om het probleem op te lossen: hoe erft een bloemkleur over?

Vul ook tabel 2 en 3 in die bij de verschillende werkbladen horen.

2. Zijn de bloemen op de werkbladen genotypes of fenotypes?

Stappenplan:

1. Bekijk kruisingen 1 t/m 6. Wat is je conclusie over de manier van overerven van de erfelijke eigenschappen voor rode en witte bloemen? Noteer je conclusie in tabel 2. Noteer op de juiste wijze in tabel 3 kruising 1 t/m 6 in.
2. Bekijk kruisingen 7 t/m 12. Wat is je conclusie over de manier van overerven van de erfelijke eigenschappen voor gele en witte bloemen? Noteer je conclusie in tabel 2. Noteer op de juiste wijze in tabel 3 kruising 7 t/m 12 in.
3. Bekijk kruisingen 13 t/m 22. Wat is je conclusie over de manier van overerven van de erfelijke eigenschappen voor rode, gele, oranje en witte bloemen? Noteer je conclusie in tabel 2. Noteer op de juiste wijze in tabel 3 kruising 13 t/m 22 in.

Tabel 2: conclusies kruisingen

Fenotype:	wit	rood	geel	oranje
Geconcludeerd uit kruising:				
Gen				
Dominant/recessief/ co-dominant /intermediair				
Genotypes mogelijk				

Tabel 3: uitslagen kruisingen bloemen

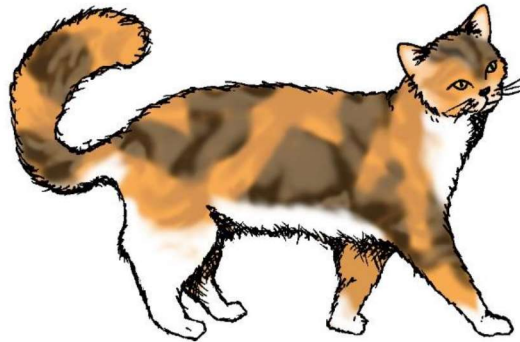
	Ouders fenotype	Ouders genotype	Nakomelingen fenotype	Nakomelingen genotype (noteer ? als je niet zeker kunt zijn)
1	Wit x Wit		12/12 Wit	
2	Rood x Rood		12/12 Rood	
3	Rood x Wit		12/12 Wit	
4	Rood x Rood		12/12 Rood	
5	Rood x Rood		.../12 Rood .../12 Wit	
6	Rood x Wit		.../12 Rood .../12 Wit	
7	Wit x Wit		12/12 Wit	
8	Geel x Geel		12/12 Geel	
9	Geel x Wit		12/12 Geel	
10	Geel x Geel		.../12 Geel .../12 Wit	
11	Geel x Wit		.../12 Geel .../12 Wit	
12	Geel x Geel		12/12 Geel	
13	Rood x Geel		12/12 Oranje	
14	Oranje x Oranje		.../12 Rood .../12 Geel .../12 Oranje	
15	Rood x Oranje		.../12 Rood .../12 Oranje	
16	Geel x Oranje		.../12 Geel .../12 Oranje	
17	Geel x Rood		.../12 Rood .../12 Geel .../12 Wit .../12 Oranje	
18	Rood x Geel		.../12 Oranje .../12 Geel	
19	Rood x Oranje		.../12 Rood .../12 Oranje .../12 Geel	
20	Wit x Oranje		.../12 Rood .../12 Geel	
21	Geel x Oranje		.../12 Oranje .../12 Geel	
22	Geel x Oranje		.../12 Rood .../12 Geel .../12 Oranje	

3.5 Kruisen met katten

Een cattery is een kattenfokkerij. De meeste catteries verkopen hun kittens. Een raskat kost ongeveer 500 tot 750 euro, met uitschieters naar 1500 euro! Je krijgt er dan inentingen bij, een medisch dossier en een stamboom. Een kat mét stamboom is veel meer waard.

Hestia

Op een nacht ontsnapt Hestia, een lapjeskat, uit haar verblijf. Een paar weken later blijkt ze zwanger te zijn. Na 9 weken worden de kittens geboren (figuur 2). Drie katers kunnen de vader van de kittens zijn. Maar welke? Deze informatie is nodig om een stamboom te kunnen maken.



Figuur 1:
Hestia is een lapjeskat met witte vlekken op de buik en poten

Met behulp van de genetica van de vachtkleur kunnen we de vader van Hestia's kittens opsporen. Er zijn 20 genen bekend die de vachtkleur beïnvloeden, maar waarschijnlijk zijn er veel meer. Voor dit onderzoek zijn vijf genen geselecteerd (tabel 1).

Opdracht: Ga met behulp van genetische informatie na welke van de drie katers de vader van de kittens is.

Stappenplan

1. Bekijk figuur 2 en lees info 1 (verderop). Dit is informatie over de verschillende genen die in deze opdracht aan de orde komen. Je kunt de verschillende fenotypes en genotypes die je uit figuur 2 en info 1 kunt afleiden invullen in de onderzoekstabel.

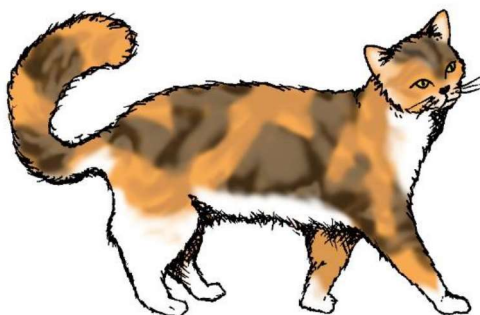
Kom je er niet uit? Kijk welke vervolgstap je moet zetten:

2. Lees info 2: X-chromosomale overerving. Vul in de onderzoekstabel de **basiskleur (rood/zwart)** van alle katten in. Vul ook in wat je over het genotype weet. Kun je een kater uitsluiten van het vaderschap?
3. Lees info 3: dihybride kruisingen. Maak de bijbehorende opdrachten. Vul vervolgens de fenotypes en genotypes (**verdunning, witte vlekken**) in de onderzoekstabel in. Kun je een kater uitsluiten van het vaderschap?
4. Lees info 4: gekoppelde genen. Maak de bijbehorende opdrachten over het stamboomonderzoek. Vul vervolgens de fenotypes en genotypes (**patroon 1: tabby en patroon 2: mackerel/blotched**) in de onderzoekstabel in. Kun je een kater uitsluiten van het vaderschap?

(na de opdracht zijn enkele lege kruisingsschema's opgenomen)

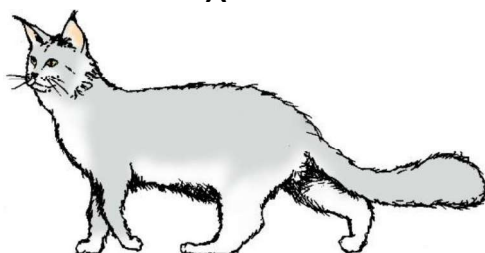
Figuur 2 :
(volgende pagina)
Hestia, het nestje kittens en de drie mogelijke vaders.

P



X

Hermes?



Genotype:

Zeus?



Genotype:

Hades?



Genotype:

F1

Artemis ♀

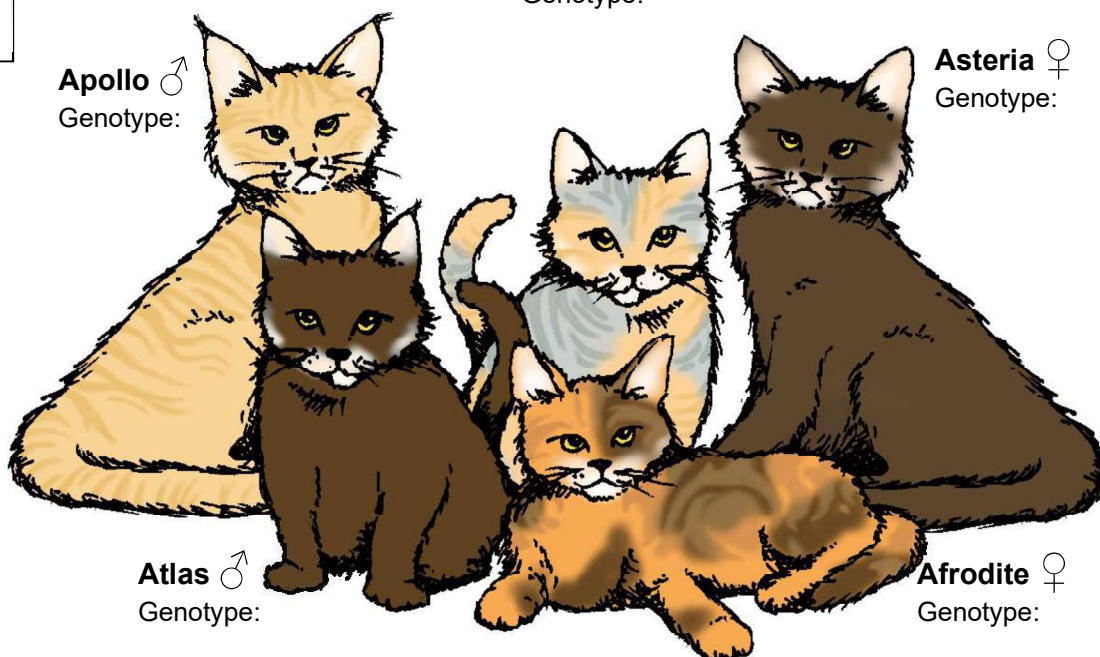
Genotype:

Apollo ♂
Genotype:

Asteria ♀
Genotype:

Atlas ♂
Genotype:

Afrodite ♀
Genotype:



Onderzoekstabel: fenotypes en genotypes		
Naam	Fenotype (doorhalen wat niet van toepassing is)	Genotype
Hestia (v)	Kleur(en): zwart / rood / wit Verdunning: ja / nee Patroon: effen / gestreept / gevlekt	Kleur: Verdunning: Patroon:
Hermes (m)	Kleur(en): zwart / rood / wit Verdunning: ja / nee Patroon: effen / gestreept / gevlekt	Kleur: Verdunning: Patroon:
Zeus (m)	Kleur(en): zwart / rood / wit Verdunning: ja / nee Patroon: effen / gestreept / gevlekt	Kleur: Verdunning: Patroon:
Hades (m)	Kleur(en): zwart / rood / wit Verdunning: ja / nee Patroon: effen / gestreept / gevlekt	Kleur: Verdunning: Patroon:
Kittens		
Apollo (m)	Kleur(en): zwart / rood / wit Verdunning: ja / nee Patroon: effen / gestreept / gevlekt	Kleur: Verdunning: Patroon:
Atlas (m)	Kleur(en): zwart / rood / wit Verdunning: ja / nee Patroon: effen / gestreept / gevlekt	Kleur: Verdunning: Patroon:
Artemis (v)	Kleur(en): zwart / rood / wit Verdunning: ja / nee Patroon: effen / gestreept / gevlekt	Kleur: Verdunning: Patroon:
Asteria (v)	Kleur(en): zwart / rood / wit Verdunning: ja / nee Patroon: effen / gestreept / gevlekt	Kleur: Verdunning: Patroon:
Afrodite (v)	Kleur(en): zwart / rood / wit Verdunning: ja / nee Patroon: effen / gestreept / gevlekt	Kleur: Verdunning: Patroon:
Aantekeningen		

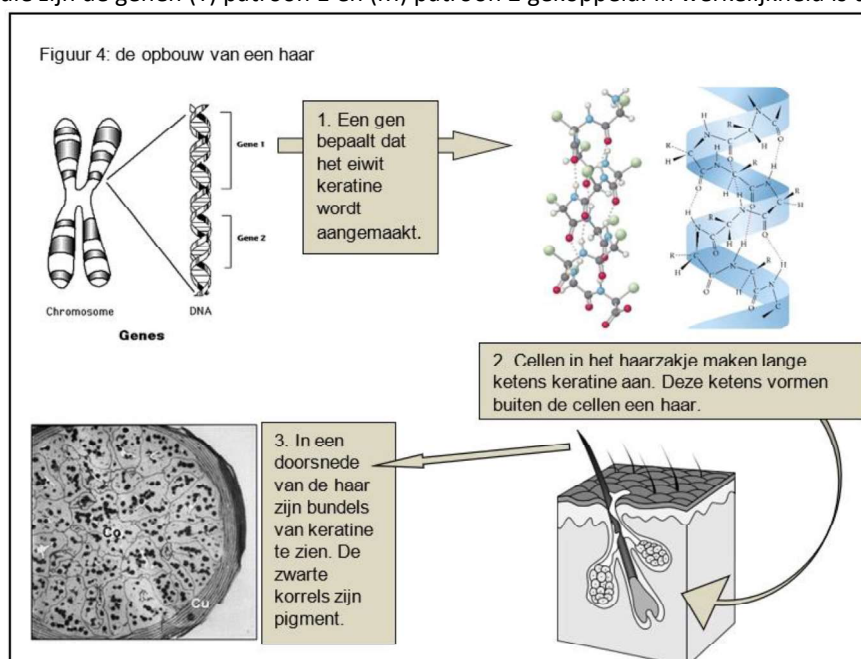
Info 1: Toelichting genen en vachtkleur

Haren zijn opgebouwd uit het eiwit keratine. Keratine is kleurloos. Pigmenten voegen de kleur toe (figuur 4). Zoogdieren hebben maar twee basispigmenten: eumelanine (zwart) en pheomelanine (rood). De geselecteerde genen beïnvloeden de kleurpigmenten. Dit kan door het pigment zelf te bewerken of door de verdeling over de haren of over het lichaam.

Tabel 1: Verschillende genen die invloed hebben op de kleuring van de kattenvacht.					
Eigenschap	Dominant		Recessief		Bijzonderheden
1. Vachtkleur	Rode vacht	X^R			X-chromosomaal en onvolledig dominant
	Zwarte vacht	X^Z			
2. Witte vlekken	Wel witte vlekken	S	Geen witte vlekken	s	
3. Verdunning	Geheel gepigmenteerd (Dense)	D	Verdund: Zwart wordt zilver* Rood wordt creme	d	
De onderstaande genen T en M zijn gekoppeld**					
4. Patroon 1: Een patroon of een effen vacht**	Tabby (=patroon)	T	Effen	t	
5. Patroon 2: Vorm van het patroon: strepen of vlekken	Tabby mackerel (=recht gestreept)	M	Tabby blotched (=gevekt)	m	Als patroon 1 (gen T) effen is, dan is patroon 2 niet zichtbaar.

*De verdunning van zwart wordt eigenlijk blauw(achtig). De gebruikte kleuring (zilver) is een vereenvoudiging van de daadwerkelijke genetica. We hebben het gen B (Black) buiten beschouwing gelaten. Dit gen maakt kleuren mogelijk zoals chocolade, cinnamon, lilac, en fawn. Vervolgens kan elk van deze kleuren weer verdund (D=dense) worden. Zo zijn er nog enkele genen betrokken bij de uiteindelijke vachtkleur.

**In deze module zijn de genen (T) patroon 1 en (M) patroon 2 gekoppeld. In werkelijkheid is dit niet het geval.



Het gen voor de basiskleur: rood, zwart of roodzwart

Dit gen heeft invloed op de vorming van de kleurpigmenten. Het gen dat zorgt dat de basiskleur van een kat rood of zwart wordt ligt op het X-chromosoom. De allelen van dit gen noteren we zo:

X^Z en X^R

Een kat met $X^Z X^Z$ heeft een zwarte vacht en is een vrouwtje.

Een kat met $X^R Y$ heeft een rode vacht en is een mannetje.



Witte vlekken (Spots) (S):

Dit gen geeft aan of een kat witte vlekken heeft op de borst en op de poten (S). Een kat zonder witten vlekken heeft ss. Een kat met Ss heeft witte vlekken.

Het is niet bekend hoe dit gen werkt.

Verdunning (Dense) (D):

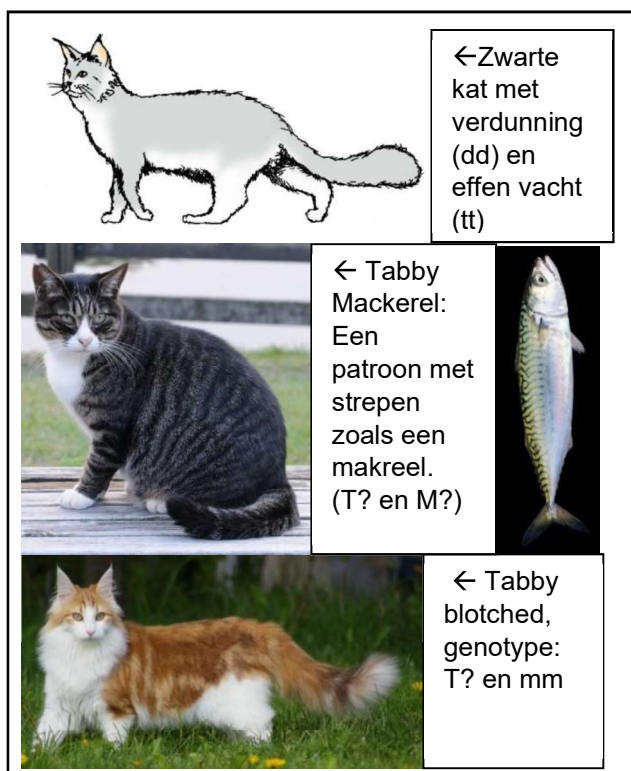
Dit gen geeft aan of een kat een verdunning van de basiskleur heeft. Een zwarte vacht wordt bijvoorbeeld zilver of grijsachtig. Een rode vacht wordt crème-keurig. Een kat met D heeft geen verdunning, een kat met dd wel. Dit gen codeert voor een transporteiwit. Dit eiwit zorgt voor de verdeling van pigment over de haren.

Mackerel (M):

Het gen Mackerel bepaalt wélk patroon er in de vacht zit: gestreept als een makreel (M) of gevlekt (blotched) (mm). Dit gen codeert voor een eiwit dat actief is in de cellen die haren maken. Dit gen geeft aan hoeveel pigmenten er naar een haar moeten gaan.

Tabby (T):

Dit gen geeft aan of er een patroon in de vacht zit (T) of dat de vacht effen is (tt). **Het gen Tabby regelt of het gen Mackerel tot uiting komt in het fenotype!** Dit gen codeert voor een eiwit dat andere eiwitten stuk kan maken. Hoe dit precies leidt tot een getekende of effen vacht is niet bekend.



Info 2: X-Chromosomale overerving

Naast autosomen (de normale chromosomen) hebben alle zoogdieren ook geslachtschromosomen. Katten hebben 19 chromosomenparen, waarvan één paar de geslachtschromosomen zijn. Mensen hebben 22 paar autosomen en één paar geslachtschromosomen. Bij de geslachtschromosomen van zoogdieren zien we een **X-chromosoom** en een **Y-chromosoom**. Dieren met twee X-chromosomen zijn vrouwelijk en dieren met een X- én een Y-chromosoom zijn mannelijk.

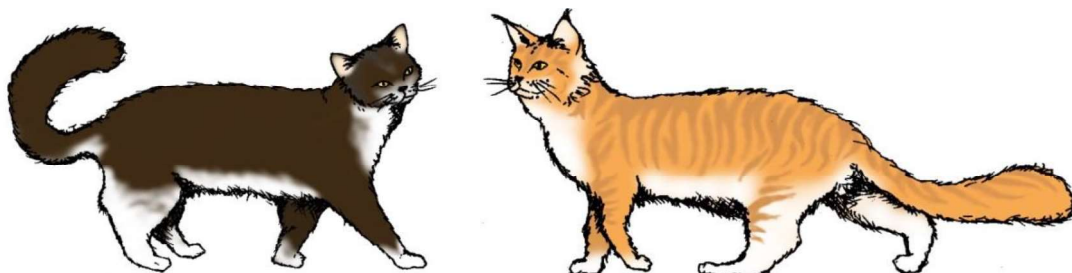
Het X- en Y-chromosoom verschillen sterk in vorm. Het Y-chromosoom is maar een zeer klein chromosoom. Op het Y-chromosoom liggen maar enkele genen waarvan de belangrijkste het SRY-gen is. Dit gen bepaalt het geslacht: mannelijk als je het gen wel hebt en vrouwelijk als je het gen niet hebt. In een kruisingsschema ziet dat er als volgt uit:

$\begin{array}{c} \text{♀} \\ \text{X} \end{array}$	X	Y
	XX	XY

Uit het kruisingsschema kun je concluderen dat geslachtscellen van het mannelijke dier bepalen of een kind een meisje of jongetje wordt. De kans daarop, volgens het schema, is 50%.

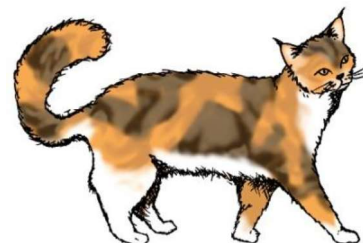
Rode katten hebben de X-factor!

Op het X-chromosoom, dat veel groter is dan het Y-chromosoom, liggen veel genen. Bijvoorbeeld het gen dat er voor zorgt dat een kattenvacht rood of zwart kleurt.



Figuur 9: De ouders van Hestia: Diane (links) en Zeus (rechts).
Genotype Diane: $X^Z X^Z$
Genotype Zeus: $X^R Y$

De allelen X^Z en X^R zijn **co-dominant**. Dit wil zeggen dat in een heterozygoot individu beide allelen tot uiting komen. Een lapjespoe zoals Hestia heeft dus genotype $X^Z X^R$ (let op het gebruik van hoofdletters: beide allelen komen tot uiting).



Lapjespoezen, maar geen lapjeskaters!

Een lapjeskat is vrijwel altijd een vrouwtje. Het vlekkenpatroon in de vacht ontstaat wanneer in de cellen 1 van de 2 X-chromosomen wordt gespiraliseerd: het lichaampje van Barr. Dit gespiraliseerde X-chromosoom is niet meer actief. Doordat deze spiralisatie willekeurig is, ontstaan de lapjes in de vacht: óf rood is actief, óf zwart is actief.

Info 3: Meer genen tegelijk: dihybride kruisingen

Voor het onderzoek naar de vaderkater zouden we elk gen en elk onderdeel van de vachtkleur apart kunnen gaan bekijken. Maar het kan ook handig zijn om meerdere genen tegelijk te bekijken.

Kruisingen waarbij slechts gelet wordt op één enkel gen noemen we **monohybride kruisingen**. Kruisingen waarbij twee genen een rol spelen noemen we **dihybride kruisingen**. Bekijken we nog meer kruisingen tegelijk dan spreken we over **polyhybride kruisingen** (oud-grieks: mono = één, di = twee, poly = veel).

Hieronder is een dihybride kruising uitgewerkt met de genen voor witte vlekken en verdunning van de vacht. Beide ouderkatten zijn heterozygoot voor beide eigenschappen:

P:	♀		♂
Genotype	SsDd	x	SsDd
Geslachts-cellen	SD Sd sD sd		SD Sd sD sd

Het maken van een kruisingsschema is niet moeilijk zolang je eerst duidelijk opschrijft welke genotypes de geslachts-cellen kunnen krijgen!

F1:

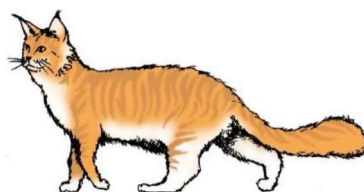
♀ \ ♂	SD	Sd	sD	sd
SD	SSDD	SSDd	SsDD	SsDd
Sd	SSDd	SSdd	SsDd	Ssdd
sD	SsDD	SsDd	ssDD	ssDd
sd	SsDd	Ssdd	ssDd	ssdd

De kans om een kat met **genotype** SSDd te krijgen is $2 \cdot \frac{1}{16} = \frac{1}{8}$
De kans om een kat te krijgen met **fenotype** witte vlekken én een niet verdunde vacht is: $\frac{9}{16} = 56\%$

Kansberekening bij dihybride kruisingsschema's werkt hetzelfde als bij monohybride kruisingsschema's. Elk vakje heeft evenveel kans om geworpen te worden: 1 op 16.

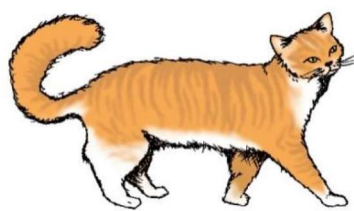
Denk aan dobbelstenen: de kans om een zes te gooien is 1 op 6 oftewel $\frac{1}{6}$. De kans om met twee dobbelstenen twee zessen te gooien is $\frac{1}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{36}$.

Eigenlijk bestaat een dihybride kruising uit TWEE verschillende monohybride kruisingen. Alleen werk je ze nu TEGELIJKERTIJD uit. Je had de twee verschillende monohybride kruisingen ook ACHTER ELKAAR kunnen uitwerken.



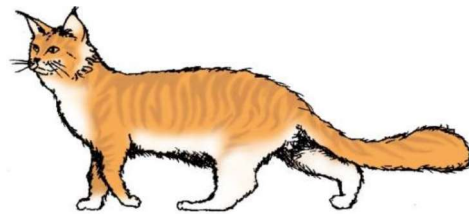
Oefenen met een dihybride kruising:

Xantippe en Socrates, de ouders van Zeus, hebben het volgende genotype: SsDd en SsDd. Ook zijn beide ouderkatten geheel rood.

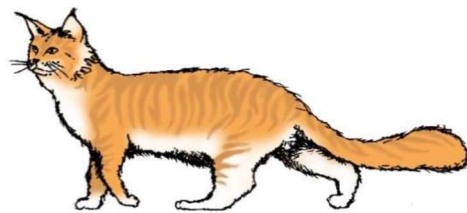


Xantippe: SsDd

X



Socrates: SsDd



Zeus

Figuur 12:
De ouders
van Zeus:
Xantippe en
Socrates

1. Bepaal met behulp van een dihybride kruisingsschema hoeveel procent kans elke nakomeling heeft op hetzelfde fenotype als Zeus (een onverdunde rode vacht met witte vlekken).

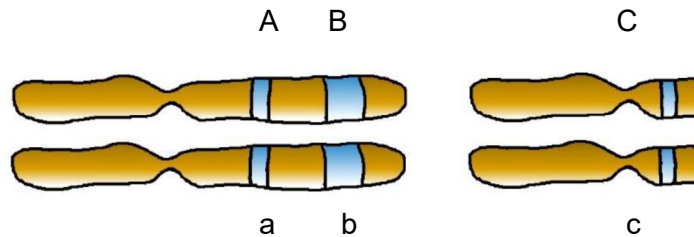
2. Bepaal met behulp van hetzelfde schema wat de kans is op een lichtoranje kat zonder witte vlekken. Beschrijf de kans met behulp van een breuk, een percentage én een getal met twee cijfers achter de nul (zoals 0,14).

P: ♀ (Xantippe) X ♂ (Socrates)				
Fenotype:				
Genotype:				
Geslachtscellen:				
♀	♂			

Info 4: Gekoppelde genen

Katten hebben 19 paar chromosomen (mensen hebben 23 paar chromosomen). De genen voor verschillende eigenschappen liggen op deze chromosomen, dus ook de genen die bepalen of een kat plukken op zijn oren krijgt of witte vlekken in zijn vacht. Maar we hebben geen informatie op wélke van de 19 chromosomenparen deze genen te vinden zijn. Het is zelfs mogelijk dat ze op hetzelfde chromosoom liggen. In dat geval spreken we van gekoppelde genen.

Hieronder zijn twee chromosomenparen getekend. De genen A en B zijn gekoppeld. De genen A en C en de genen B en C zijn niet gekoppeld.



Gekoppelde genen noteren we als volgt:

$$\begin{array}{cc} \underline{AB} & C \\ \hline ab & c \end{array}$$

Het genotype van geslachtscellen van de bovenstaande combinatie kan er dus als volgt uit zien:

$\left(\frac{AB}{ab} \right) C$, $\left(\frac{AB}{ab} \right) c$, $\left(\frac{ab}{ab} \right) C$ of $\left(\frac{ab}{ab} \right) c$

Gekoppelde genen erven over als één gen en er kan dus een kruisingsschema voor een monohybride kruising worden gebruikt.

Meiose en gekoppelde genen

3. Bekijk de meiose op http://www.bioplek.org/sheets/sheet_meiosemitose1.html.

a. Leg uit dat niet-gekoppelde genen bij de meiose wel worden gemixt (gerecombineerd), maar gekoppelde genen niet.

b. Zoek op http://www.bioplek.org/4ath/4ath_stw3_blad8_erf.html op wat de term crossing-over betekent.

c. Leg uit hoe 'crossing-over' de recombinatie van gekoppelde genen beïnvloedt.

Opdracht: stamboomonderzoek naar gekoppelde genen

Uit een studie blijkt dat de genen voor Tabby (T) en Mackerel (M) op hetzelfde chromosoom liggen³. Ze zijn dus gekoppeld (zie info 5 voor uitleg gekoppelde genen).

De cattery gebruikt in hun onderzoek de stamboom van Hestia. Ze willen erachter komen hoe de genen Tabby en Mackerel bij Hestia zijn gekoppeld. De genotypes van de grootouders van Hestia waren al een keer uitgezocht.

Zeus en Hestia:

Ga na wat de genotypes zijn van Zeus, Diane en Hestia.

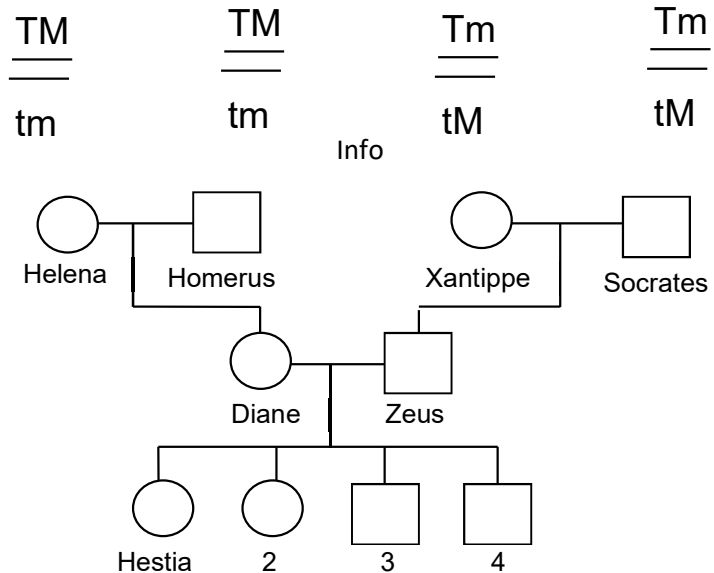
Je kunt een kruisingsschema gebruiken.

Over de katten:

Zeus is een gestreepte kater.

Diane is een effen poes.

Hestia heeft een gevlekte vacht.



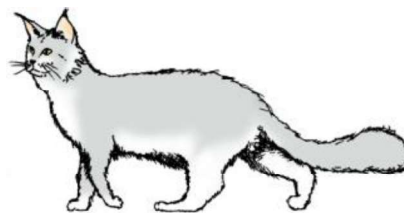
Figuur 6: de stamboom van Hestia. Bekende genotypes zijn genoteerd.

Hades en Hermes:

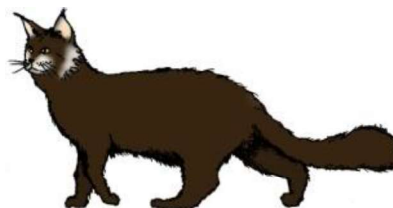
Ga na wat de genotypes zijn van Hades en Hermes.

Je kunt de genotypes van de katers Hermes en Hades achterhalen als je kijkt naar hun vacht en hoe hun ouders eruit zagen. Vul ook deze gegevens aan in de onderzoekstabel.

Kater **Hermes**: zilveren, effen vacht.
Moeder: Tabby Blotched (gevekt)
Vader: Tabby Blotched (gevekt)



Kater **Hades**: zwarte, effen vacht
Moeder: effen vacht
Vader: Tabby Blotched (gevekt)



³ Dit is gesteld voor deze module. In werkelijkheid zijn de genen waarschijnlijk niet gekoppeld.