



In de voetsporen van de poolvos

een lessenserie over natuurlijke selectie, Caspar Geraedts (1999)



From photographs by the Scholastic Photographic Agency.]

ARCTIC FOXES.

1. Erfelijkheid en evolutie

Sinds een aantal decennia zijn wetenschappers er van overtuigd dat al het leven op aarde aan elkaar verwant is. Zij nemen aan dat al het leven (van mosplantje tot mensachtige) in miljarden jaren ontstaan is uit primitieve eencelligen. Dat betekent dat soorten in de loop der tijd kunnen veranderen (*evoluëren*) en dat die verandering zo groot kan worden dat er sprake is van een nieuwe soort. Dit brengt de vraag met zich mee waardóór soorten kunnen veranderen. Hoe kunnen we het veranderen van eigenschappen van soorten in de loop der tijd verklaren? De afgelopen eeuwen hebben veel wetenschappers zich met deze vraag bezig gehouden. Al is er nog steeds onduidelijkheid omtrent de details, evolutiebiologen zijn het inmiddels wel eens over welk ‘mechanisme’ verantwoordelijk is voor evolutie. In deze lessen maak je kennis met dit mechanisme en doen we een poging om evolutie ‘na te bootsen’.

1.1 De hals van de giraffe

Bas en Maarten brengen een bezoek aan Burgers dierenpark in Arnhem. Op een gegeven moment komen zij aan bij het verblijf van de okapi's en de giraffen. Bas en Maarten lezen op een bordje dat okapi's nauw verwant zijn aan de giraffen. Inderdaad hebben de okapi's net als giraffen een schuin aflopende rug, twee met huid bedekte ‘horentjes’ op hun schedel en een lange smalle grijptong waarmee zij de groene bladeren van takken afstropen. Het meest opvallende verschil tussen de twee verschillende soorten is natuurlijk de lengte van de hals. Giraffen leven in open steppegebieden in Afrika en voeden zich met jonge bladeren die hoog in de kruinen van de bomen groeien. De okapi's leven juist in dicht begroeide Afrikaanse wouden en voeden zich met jonge bladeren van struiken. Uit vondsten van fossielen leiden biologen af dat de okapi en de giraffe afstammen van een groep hertachtige hoefdieren die 25 miljoen jaar geleden in Afrika leefde. Deze gemeenschappelijke voorouder had, net als de okapi, een korte hals. Tussen Bas en Maarten ontstaat een discussie over het ontstaan van de lange hals van de giraffe.



- B: *Ik denk dat de nek van een giraffe iets langer werd toen hij in een gebied ging leven met veel hoge bomen.*
- M: *Hoezo?*
- B: *Nou, een giraffe moet zijn hals uitstrekken om bij de hogere blaadjes te komen. Zo werd zijn nek een klein beetje langer. De hals van de nakomelingen van die giraffen kregen een nog iets langere nek en na verloop van tijd was de hals zo lang als ie nu is bij de giraffe.*
- M: *Ja, maar als ze hier in de dierentuin de voederbak van de okapi steeds hoger zetten, dan wordt zijn hals toch ook niet langer?*
- B: *Wel een beetje. Waarom zou dat niet kunnen? Als wij naar een warm land verhuizen dan wordt onze huid toch ook iets donkerder door de zon? Dan zal de hals van de giraffe ook wel iets langer kunnen worden.*
- M: *Maar als onze huid bruin wordt door de zon, en we zouden kinderen krijgen dan zouden die weer gewoon blank zijn. De kinderen van die giraffe zullen bij hun geboorte gewoon weer een korte hals hebben.*

1. Wat vind je van de verklaring van Bas voor het ontstaan van de lange hals van de giraffe? Ben je het met hem eens of kun je je meer vinden in de bezwaren van Maarten? Verklaar je antwoord.

.....

Bas geeft de volgende verklaring voor het langer worden van de nek van de giraffe. De giraffen krijgen een iets langere hals doordat zij bij het verzamelen van bladeren hun nek moeten uitstrekken. Deze eigenschap wordt doorgegeven aan de nakomelingen. Vervolgens krijgen die weer een langere hals. In het algemeen zou je de verklaring van Bas dus als volgt kunnen samenvatten: *organismen veranderen onder invloed van hun omgeving en hun levenswijze en geven deze aanpassingen door aan hun nakomelingen*. Kan het zo zijn dat deze manier van aanpassen verantwoordelijk is voor het ontstaan van de lange hals van de giraffe? Heeft iedere generatie giraffen een langere hals? Om deze vragen te beantwoorden moeten we gaan kijken naar de manier waarop eigenschappen worden doorgegeven aan de nakomelingen.

1.2 Genen en erfelijkheid

Je hebt vast wel eens van DNA gehoord. In het DNA ligt informatie over je eigenschappen opgeslagen. Zo ligt bijvoorbeeld in het DNA vast welke kleur ogen je hebt. Maar ook of je een jongen of een meisje bent, de vorm van je oorlelletje, je bloedgroep etc. Eigenlijk ligt in het DNA alle informatie besloten die je nodig hebt om vanuit een bevruchte eikel uit te groeien tot het mens dat jij bent en om als mens te blijven functioneren. Het is als het ware een bouwtekening van jezelf. Deze bouwtekening ligt in iedere cel van je lichaam. Als een cel zich deelt in twee cellen dan wordt ook het DNA gekopieerd, zodat iedere cel die bouwtekening krijgt.



Iedere eigenschap van een organisme ligt vast in een specifiek deel (of een aantal delen) van het DNA. Zo'n deel noemt men een *gen*. Er is bijvoorbeeld een gen dat bepaalt dat de kleur van je ogen blauw is. Iemand met bruine ogen heeft een iets ander gen dat bepaalt dat hij bruine ogen heeft. Zo zijn er ook genen waarin de informatie over de vorm van je neus ligt besloten en genen die bepalen of je stijl of krullend haar hebt.

Organismen lijken in veel opzichten op hun ouders. Dat kun je ook bij je zelf zien. Waarschijnlijk lijkt je wat betreft sommige eigenschappen op je vader, en wat betreft andere eigenschappen meer op je moeder. Dit komt omdat je zowel genen van je vader (via een spermacel) als genen van je moeder (via een eikel) erft. Die genen zijn *exacte kopieën* van de genen van je ouders. Het 'erven' van een eigenschap is eigenlijk niets anders dan een kopie van een gen van je ouders ontvangen.

Eigenschappen worden dus bepaald door genen. Betekent dit dan dat alles volledig in het DNA is vastgelegd en dat je niet meer kan veranderen? Nee, bepaalde eigenschappen kunnen ook tijdens je leven veranderen. Als je in een warm land gaat wonen, wordt je huid na verloop van tijd bruiner door de zon. Een ander voorbeeld is een bodybuilder die door veel te trainen een steeds gespierder lichaam krijgt. In beide gevallen zijn er dus eigenschappen die veranderen. Echter, als iemands huid bruiner wordt door de zon, verandert dat niets aan het gen voor huidskleur dat hij of zij met zich mee draagt. Zo zal er ook niets veranderen in het DNA van de bodybuilder. Hoe je er uit ziet wordt dus niet alleen bepaald door je genen maar ook voor een deel door je omgeving: het klimaat, voeding, lichamelijke inspanning, etc.

2. Hieronder staat een aantal voorbeelden van eigenschappen van organismen. Geef aan welke eigenschappen doorgegeven worden aan de nakomelingen (genetisch bepaald zijn).

eigenschap wordt doorgegeven aan de nakomelingen?	wel	niet
Een bodybuilder wordt steeds gespierder door intensieve training.		
Een vrouw verliest door een ongeluk een van haar handen.		
Een kolibrie is met zijn lange snavel in staat om nectar te drinken uit bloemen met een diepe kelk.		
Een hond wordt geleerd om 's ochtends de krant van de deurmat te halen.		
Een blank meisje verhuist naar Afrika en haar huid wordt in de loop der tijd bruin.		
Een ijsbeer valt met zijn witte vacht niet op in een besneeuwde omgeving.		
Een inwoner van Tanzania (Afrika) heeft een donkerbruine huid.		
Een rozenstruik groeit in de schaduw van een boom en blijft daardoor kleiner dan rozenstruiken die in de zon staan.		
Een jongen krijgt tijdens zijn pubertijd een gespierder lichaam, zonder dat hij hiervoor traint.		

3. Laten we nog eens kijken naar de verklaring van Bas voor het langer worden van de hals van de giraffe. Geef aan of de volgende twee waarnemingen de verklaring van Bas bevestigen of juist weerleggen. Verklaar je antwoord.

De oorspronkelijke bewoners van Australië, de aboriginals, hebben een donkere huidskleur. Ruim twee eeuwen geleden werd het land gekoloniseerd door (blanke) Engelsen. Het grootste deel van de huidige bevolking van dit land stamt af van deze kolonisten (92%) en is gewoon blank. Ook heeft Australië het hoogste percentage patiënten met huidkanker ter wereld.

dit bevestigt / weerlegt de verklaring van Bas, want...

.....

.....

Begin deze eeuw deed de bioloog Weiss onderzoek naar de erfelijkheid van eigenschappen. In zijn laboratorium amputeerde hij de staarten van een groep muizen. Van de nakomelingen van deze muizen amputeerde hij weer de staarten. Hij deed dit dertig generaties achter elkaar. De muizen bleven nakomelingen krijgen met een staart.

dit bevestigt / weerlegt de verklaring van Bas, want...

.....

.....

Het is duidelijk dat sommige eigenschappen van een organisme worden beïnvloed door zijn omgeving of zijn manier van leven: de huid van de mens wordt bruiner door de zon, het veelvuldig gebruik van bepaalde spieren doet het spiervolume toenemen, een gebrek aan gezonde voeding tijdens de ontwikkeling van een organisme remt de groei. De 'evolutietheorie' van Bas gaat er van uit dat veranderingen die op deze manier tot stand komen, worden doorgegeven aan de nakomelingen. Die nakomelingen veranderen op hun beurt weer onder invloed van de omgeving of levenswijze. Dit gaat dan door tot organismen voldoende zijn aangepast aan de omgeving.

Met de hedendaagse kennis over genen en erfelijkheid weten we dat dit niet kan kloppen:

Ten eerste hebben omgeving en levenswijze maar een beperkte invloed.

Eigenschappen van een organisme worden voor een belangrijk deel bepaald door zijn genen (zijn erfelijk materiaal). Zo krijgt niet iedereen in de zomer een even bruine huid. De mate waarin iemand een bruine huid kan krijgen is weer wel genetisch vastgelegd. Sommige eigenschappen zoals haarkleur, oogkleur en je bloedgroep veranderen helemaal niet onder invloed van de omgeving.

Ten tweede worden aanpassingen of veranderingen die tijdens het leven van een organisme optreden niet aan de nakomelingen doorgegeven.

Ook al kunnen omgevingsfactoren veranderingen veroorzaken, er verandert hierdoor niets aan het erfelijk materiaal (de genen, het DNA) van een organisme. Zijn nakomelingen erven dus wel de genen, maar niet de veranderingen die tijdens zijn leven zijn opgetreden. Dus ook al zou een giraffe een iets langere nek krijgen, dan zou hij dat niet doorgeven aan zijn kinderen.

Maar hoe kunnen (eigenschappen van) soorten dan wel veranderen?

2. De evolutietheorie van Darwin

2.1 Variatie en populaties

4a. Als we nu eens niet naar één enkele giraffe, maar naar een hele groep giraffen kijken. Zijn alle giraffen in zo'n groep identiek, of zijn er verschillen? En zo ja, welke verschillen zouden er kunnen zijn?

.....

.....

4b. Stel je eens een groep giraffen met een korte hals voor die 15 miljoen jaar geleden in Afrika leefde. Ze leefden in een open gebied met voornamelijk hoge begroeiing. Er groeiden weinig struikachtige planten en relatief veel bomen. Is iedere giraffe in de groep even goed aangepast aan deze omgeving? Verklaar je antwoord.

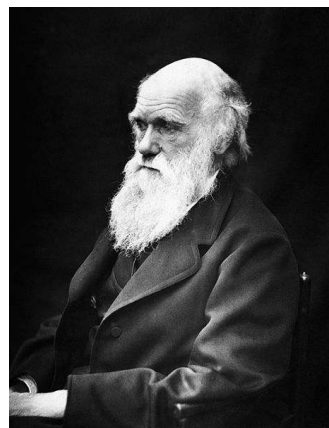
.....

.....

In 1859 publiceerde de engelse onderzoeker Charles Darwin zijn beroemde boek 'On the origin of 'species' dat handelt over het ontstaan van soorten. Darwin beschrijft in dit boek een, voor die tijd, geheel nieuwe verklaring voor het ontstaan van soorten. Het begrip *variatie* speelt hierbij een essentiële rol. Het gegeven dat er allerlei verschillen bestaan tussen de individuen van een soort lijkt misschien erg voor de hand liggend, maar Darwin was de eerste die deze variatie in verband bracht met het veranderen van soorten.



verschillende kleurenpatronen bij *Donax variabilis*



Charles Darwin (1809 – 1882)

Het grote verschil tussen de evolutietheorie van Bas en de evolutietheorie van Darwin, is dat Darwin niet uitgaat van veranderingen die optreden in een individu, maar van veranderingen in een groep individuen, een *populatie*.

Een **populatie** is een groep individuen van één soort die in hetzelfde gebied voorkomen en die zich onderling voortplanten.

Een soort kan dus uit meer dan één populatie bestaan. Vaak zijn deze populaties van elkaar gescheiden door geografische barrières, zoals bergketens, rivieren of andere gebieden waar die bepaalde soort niet kan overleven. Door deze barrières kunnen individuen van verschillende populaties zich niet onderling voortplanten.

5. Geef van de volgende groepen organismen aan of ze één populatie vormen of niet. Waarom wel/niet?

a. Alle forellen (een zoetwatervis) die voorkomen in drie verschillende meren in Canada.

.....

b. Alle loofbomen (o.a. eikenbomen, beukenbomen en berkenbomen) in een bos.

.....

c. Alle Afrikaanse olifanten op één savanne.

.....

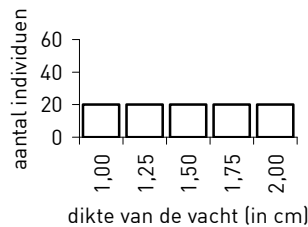
d. Een koppel huismussen (een mannetje en een vrouwtje) met een nest jongen.

.....

2.2 De vacht van de poolvos

Op de Noordpool ligt de temperatuur grote delen van het jaar enkele tientallen graden onder het vriespunt. Met zijn dikke vacht is de poolvos één van de weinige dieren die zich in zo'n extreme omgeving kan handhaven. Wetenschappers nemen aan dat de poolvos afstamt van gewone vossen die in een veel milder klimaat leefden en die een veel dunnere pels hadden. Hoe is, in de loop der tijd, de dikke vacht van de poolvos ontstaan?

6. Stel je eens een populatie van 100 gewone vossen voor met een normale dunne vacht. Laten we aannemen dat de dikte van hun vacht varieert tussen 1 en 2 centimeter. Hierin onderscheiden we grofweg 5 varianten: vossen met een vachtdikte van 1, 1.25, 1.5, 1.75, of 2 centimeter. Deze varianten behoren wel gewoon tot dezelfde soort. Iedere variant komt even vaak voor: er zijn van iedere variant 20 individuen (zie onderstaand staafdiagram). Laten we verder aannemen dat de vachtdikte vastgelegd is in de genen. De dikte van de vacht wordt bepaald door een specifiek gen voor 'vachtdikte'. Er zijn dus ook 5 verschillende varianten van dit gen.



Het aandeel van vijf varianten in de populatie.
Er zijn 20 individuen van iedere variant. De populatie bestaat in totaal uit 100 individuen.

a. De populatie vossen verhuist naar een gebied waar de temperatuur gemiddeld een aantal graden lager is dan in hun oorspronkelijke leefomgeving. Zal elke variant zich met evenveel succes weten te handhaven in de koudere omgeving? En zoniet, welke variant heeft het meeste overlevingssucces?

.....

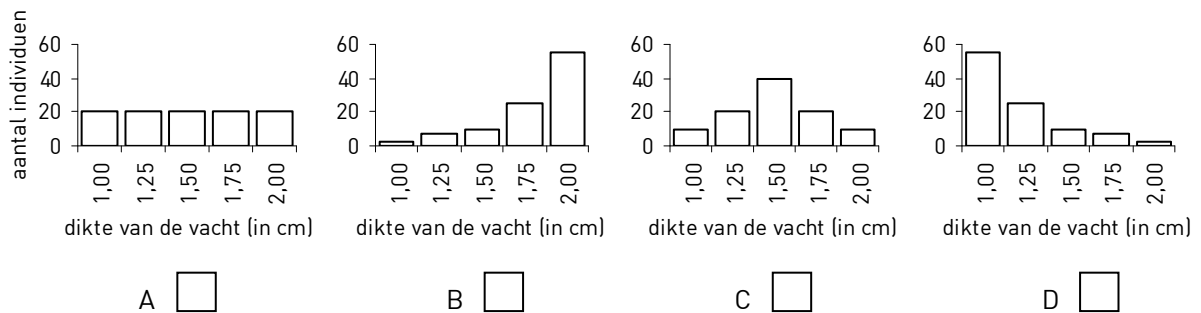
.....

b. De populatie blijft in de koudere omgeving leven en plant zich daar voort. Als we aannemen dat de hele populatie in totaal 100 nakomelingen voortbrengt, zal iedere variant dan evenveel nakomelingen voortbrengen? En zoniet, welke variant heeft denk je dan het meeste voortplantingssucces?

.....

.....

c. Hoe zal de verdeling van de vijf varianten in de volgende generatie zijn? De onderstaande staafdiagrammen geven vier mogelijke verdelingen weer. Kruis aan welk staafdiagram volgens jou de meest waarschijnlijke verdeling weergeeft.



d. Leg uit waarom je dit antwoord hebt gekozen.

.....

.....

7. De populatie blijft een aantal generaties lang in de koude omgeving leven. Wat zal er gebeuren met de verdeling van de varianten? Wat zal, na een aantal generaties, de gemiddelde vachtdikte zijn?

.....

.....

Het bovenstaande is hét cruciale punt binnen de evolutietheorie van Darwin: *natuurlijke selectie*. De individuen in een populatie verschillen onderling. Sommige individuen bezitten (toevallig) eigenschappen waardoor zij beter functioneren in hun leefomgeving dan anderen. Over het algemeen leven individuen met deze eigenschappen langer en produceren ze meer nakomelingen dan de rest. Als deze eigenschappen erfelijk zijn dan zijn er in de volgende generatie meer individuen met die eigenschappen.

Natuurlijke selectie. In een populatie is genetische (erfelijke) variatie. Op grond van deze variatie is een deel van de populatie beter in staat te overleven en nakomelingen te krijgen dan de rest. Hierdoor vindt er een verandering plaats in de samenstelling van de populatie.

8. We hebben nu gezien hoe door natuurlijke selectie die vossen overblijven die (toevallig) het best zijn aangepast aan hun omgeving. Maar levert dit een voldoende verklaring voor het ontstaan van de dikke vacht van de poolvos, als we aannemen dat een poolvos een vacht heeft van 5 centimeter dik? Waarom wel of niet?

.....

.....

2.3 Het ontstaan van nieuwe variatie

De (genetische) variatie in een populatie is beperkt. In de oorspronkelijke populatie vossen uit vraag 6 kwamen geen vossen voor met een vacht dikker dan 2 centimeter. Tijdens de evolutie van de vos naar de poolvos moeten er dus nieuwe (genetische) varianten zijn ontstaan, die verantwoordelijk zijn voor een vacht van ongeveer 5 centimeter dik. We hadden al gezien dat genen niet veranderen onder invloed van omgevingsfactoren. Er kunnen dus geen nieuwe varianten zijn ontstaan door de kou. Maar hoe ontstaan nieuwe genetische varianten dan wel?



Hugo de Vries
(1848 – 1935)

Deze vraag werd pas aan het begin van de 20^e eeuw, lang na de dood van Darwin, beantwoord door de Nederlander Hugo de Vries. Deze bioloog ontdekte dat er tijdens de celdeling wel eens foutjes worden gemaakt bij het kopiëren van DNA, dus bij het kopiëren van genen. Deze foutjes worden *mutaties* genoemd. Als zo'n fout gemaakt wordt bij de vorming van geslachtscellen (spermacellen of eicellen), zal een nakomeling in plaats van het normale gen een gemuteerd gen 'erven'. In veel gevallen heeft zo'n mutatie geen invloed, maar soms ontstaat er *bij toeval* een nieuwe genetische variant.

Tijdens de evolutie zullen zich ook mutaties voorgedaan hebben in het gen van de poolvos dat verantwoordelijk is voor vachtdikte. Sommige mutaties leverden een functioneel gen op en zo ontstonden nieuwe genetische varianten. Zo kan een bepaalde mutatie een gen opgeleverd hebben dat verantwoordelijk is voor een vachtdikte van 2,5 centimeter. De vos met dit gen bleef relatief langer leven en kreeg meer nakomelingen dan de andere vossen van de populatie. Op deze manier veranderde de populatie weer van samenstelling en nam de gemiddelde vachtdikte toe.

Door **mutaties**, toevallige foutjes die optreden in het DNA, kunnen nieuwe (genetische) varianten ontstaan .

9. Nieuwe, gemuteerde genen kunnen dus resulteren in nieuwe eigenschappen. Denk je dat een gemuteerd gen altijd zorgt voor een betere aanpassing aan de leefomgeving van een organisme, of kan een mutatie ook resulteren in een eigenschap waardoor het voortplantingssucces van een organisme juist minder wordt? Leg je antwoord uit.

.....

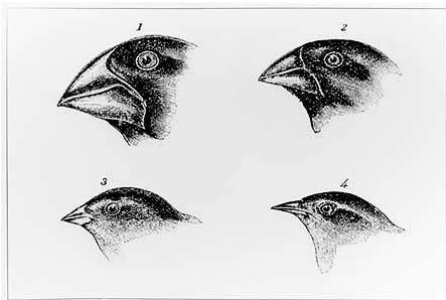
10. Er bestaan twee varianten van de poolvos, elk met een andere kleur vacht. De zogenaamde 'witvos' heeft een volkomen witte wintervacht, terwijl de wintervacht van de 'blauwvos' lichtgrijs of bruinig is. Deze twee varianten behoren gewoon tot dezelfde soort. Het is uit onderzoek gebleken dat de blauwvos de oorspronkelijke poolvos is en dat de witvos naar alle waarschijnlijkheid door een *mutatie* is ontstaan. Beide varianten komen nog steeds voor, maar zij leven wel in andere streken. In wat voor soort omgeving zal de witvos het meest talrijk zijn, en in welke streken denk je dat de blauwvos het meest voorkomt?

.....

3. Het nabootsen van natuurlijke selectie

In 1831 kreeg de 22-jarige Darwin het aanbod om als ‘natuuronderzoeker’ mee te reizen met het marineschip de ‘Beagle’. Tijdens deze reis die vijf jaar duurde verzamelde Darwin een onvoorstelbare hoeveelheid biologische gegevens, levende dieren, fossielen en plantenmateriaal. Het waren de ervaringen van deze reis die Darwin voor het eerst op het idee van zijn evolutietheorie brachten. De reis van de ‘Beagle’ voerde ook langs een eilandengroep in de Grote oceaan, de Galápagos eilanden. Darwin ontdekte daar meer dan 10 nieuwe soorten vinken, die vrij veel op elkaar lijken maar verschillende snavelvormen hebben (zie onderstaande illustratie). De meeste van deze vinkensoorten leven niet op alle eilanden, sommige soorten komen maar op één eiland voor. Deze vinkensoorten vertonen allemaal sterke overeenkomsten met de vinken die Darwin kende van het vasteland in Zuid-Amerika. De onderlinge overeenkomsten doen het vermoeden rijzen dat de vinkensoorten die op de Galápagos eilanden voorkomen allen afstammen van eenzelfde voorouder, afkomstig van het vasteland. Hoe kan het nou gebeuren dat uit één enkele soort vink zoveel verschillende soorten ontstaan?

In deze les gaan we proberen een verklaring te vinden voor dit verschijnsel. We gaan natuurlijke selectie nabootsen. De klas wordt verdeeld in 3 groepen, die ieder één ‘eiland’ krijgen toegewezen. Volg nauwkeurig de instructies die worden gegeven en schrijf de uitkomsten van het spel in de tabel.



kopjes van vier verschillende soorten vinken

HET SIMULATIESPEL

Benodigdheden per groep:

- een groot aantal gekleurde kraaltjes
- een gekleurde lap stof
- een mutatiewiel

In deze simulatie stellen de kraaltjes organismen voor die alle tot dezelfde soort behoren. Net zoals in werkelijkheid zijn de individuen van deze soort niet identiek. Er zijn tien verschillende kleurvarianten. Stel je voor dat de kleur van deze organismen wordt bepaald door één gen. Er zijn dus tien verschillende varianten van dit gen, die ieder verantwoordelijk zijn voor één specifieke kleur. Net zoals de verschillende vachtdiktes van de poolvos bepaald worden door verschillende genetische varianten.

Als een kraaltje zich voortplant krijgt hij in principe identieke nakomelingen. Een rood kraaltje krijgt dus rode kinderen. Maar de vorige les heb je geleerd dat er door *mutaties*, toevallige foutjes in een gen, soms nieuwe varianten van een gen, en dus ook nieuwe eigenschappen kunnen ontstaan. Het kan dus voorkomen dat een rood kraaltje toevallig een geel kindje krijgt. Welke kleur de mutant heeft wordt bepaald met het mutatiewiel.

De gekleurde lap stof doet dienst als de leefomgeving van de organismen. Stel je de lap stof maar voor als een eiland. Op de kraaltjes wordt gejaagd, het zijn prooidieren. De rol van roofdier wordt vervuld door jezelf: je 'jaagt' op de kraaltjes door ze van hun leefomgeving weg te nemen. Spreid de lap zó op een tafel uit dat minstens vijf mensen er gemakkelijk omheen kunnen staan.

Aan het begin van het experiment zijn de eilanden nog onbevolkt. Vervolgens wordt ieder eiland bevolkt door een kleine groep organismen die afkomstig is van één populatie kraaltjes op het vasteland. In de populatie op het vasteland komen vier verschillende kleurvarianten voor. Op ieder eiland komen 25 individuen terecht. Dit is de startpopulatie. Volg nu de volgende stappen.

1. **de startpopulatie:** Noteer in de tabel (bij startpopulatie) hoeveel individuen van elke kleurvariant aanwezig zijn.
2. **voortplanting:** Deze 25 individuen gaan zich voortplanten. Daartoe krijgt ieder kraaltje 3 identieke nakomelingen. Als er dus 4 roze kraaltjes aanwezig zijn in de startpopulatie dan worden er nog (4 keer 3 is) 12 roze kraaltjes bijgedaan. Als je dit gedaan hebt dan bestaat de populatie dus uit 100 individuen. Verspreid de 100 kraaltjes gelijkmatig over het eiland. Zorg ervoor dat ze niet in groepjes bij elkaar liggen.
3. **selectie 1:** Vijf mensen uit je groep vervullen de rol van roofdier. Zij gaan om het eiland heen staan, met hun rug naar de tafel toe. Op een teken van iemand draait ieder 'roofdier' zich om, en pakt zo snel mogelijk een kraaltje weg. *Let op: het is belangrijk dat je altijd het eerste kraaltje pakt dat je ziet.* Vervolgens wordt op dezelfde manier een tweede kraaltje weggenomen (*weer het eerste kraaltje dat je ziet*) en dit wordt net zolang herhaald totdat ieder 'roofdier' 15 prooidieren heeft weggepakt. Als het goed is zijn er nu 25 prooidieren overgebleven. Controleer dit even, anders kom je later in de knoei. Noteer in het eerste schema op de volgende bladzijde (bij de 1^e generatie) hoeveel kralen er van iedere kleur zijn overgebleven.
4. **voortplanting:** De overgebleven 25 individuen planten zich weer voort. Ieder kraaltje krijgt 3 nakomelingen die aan de populatie worden toegevoegd. De populatie bestaat nu weer uit 100 individuen.
5. **mutatie:** Maar je weet van de vorige les dat door toevallige foutjes die optreden in het DNA, mutaties, er nakomelingen met nieuwe eigenschappen kunnen ontstaan. In deze simulatie gaan we er van uit dat 10 nakomelingen een gemuteerd gen erven. Deze kraaltjes noemen we mutanten. Doe de populatie kraaltjes in een bakje en hussel ze door elkaar. Laat iemand uit het groepje met zijn ogen dicht 10 kraaltjes uit het bakje nemen.

Er zijn dan nog 90 kraaltjes over. Deze 10 kraaltjes worden vervangen door 10 mutanten. De kleur van iedere mutant wordt met het mutatiewiel als volgt bepaald: draai aan het wiel en voeg een prooidier aan de populatie toe met de kleur waar het pijltje bij stilstaat. De 10 mutanten worden vervolgens aan de 90 kraaltjes toegevoegd. De populatie bestaat nu uit 90 'normale' kraaltjes en 10 mutanten.

6. **selectie 2:** De 100 kraaltjes worden gelijkmatig over het eiland verdeeld. Er zijn weer vijf roofdieren die ieder 15 kraaltjes wegnemen op dezelfde manier als de vorige selectieronde. Er blijven 25 kraaltjes over. Noteer na afloop weer in de tabel hoeveel individuen er van elke kleur zijn overgebleven.
7. **voortplanting en mutatie:** Als beschreven bij stap 4 en 5.
8. **selectie 3:** Als beschreven bij stap 3.
9. Herhaal de cyclus **voortplanting-mutatie-selectie** nog drie maal totdat je in totaal zes selectierondes hebt gehad, en de tabel helemaal is ingevuld.

	<i>start populatie</i>	<i>1^e generatie</i>	<i>2^e generatie</i>	<i>3^e generatie</i>	<i>4^e generatie</i>	<i>5^e generatie</i>	<i>6^e generatie</i>
WIT							
GEEL							
LICHTGROEN							
DONKERGROEN							
LICHTBLAUW							
PAARS							
ROZE							
ZALMROZE							
ROOD							
ZWART							

11. Vergelijk de samenstelling van de startpopulatie met die van de populatie na de zes selectierondes.

a. Is er iets veranderd aan de samenstelling van de populatie, en zo ja wat?

.....

.....

b. Bij de poolvossen die naar een koudere streek verhuizen werd er geselecteerd op vachtdikte. De vossen met de dikste vacht leven langer en krijgen meer nakomelingen. Waar wordt in deze simulatie op geselecteerd?

.....

c. Welke kleurvarianten hebben het meeste overlevingssucces en voortplantingssucces in jouw omgeving?

.....

12 a. Zijn de mutanten die ontstaan altijd beter aangepast aan hun leefomgeving, of niet? Waar hangt dit van af?

.....

12b. Stel dat je de simulatie nog een keer zou doen, maar dan zonder dat er mutaties ontstaan. Ieder kraaltje krijgt dus altijd identieke nakomelingen. Hoe zou de populatie er dan na zes selectierondes uitzien?

.....

.....

13 a. Vergelijk de eindpopulatie op jouw eiland met de eindpopulaties van de andere eilanden. Welke verschillen zie je, en hoe kun je die verschillen verklaren?

.....

.....

13b. Laten we eens terugkeren naar de verschillende soorten vinken die Darwin ontdekte op de Galápagos eilanden. Welke verklaring kun je bedenken voor het voorkomen van vinken met verschillende snavelvormen op de verschillende eilanden?

.....

.....