



# RAAD VAN BEHEER

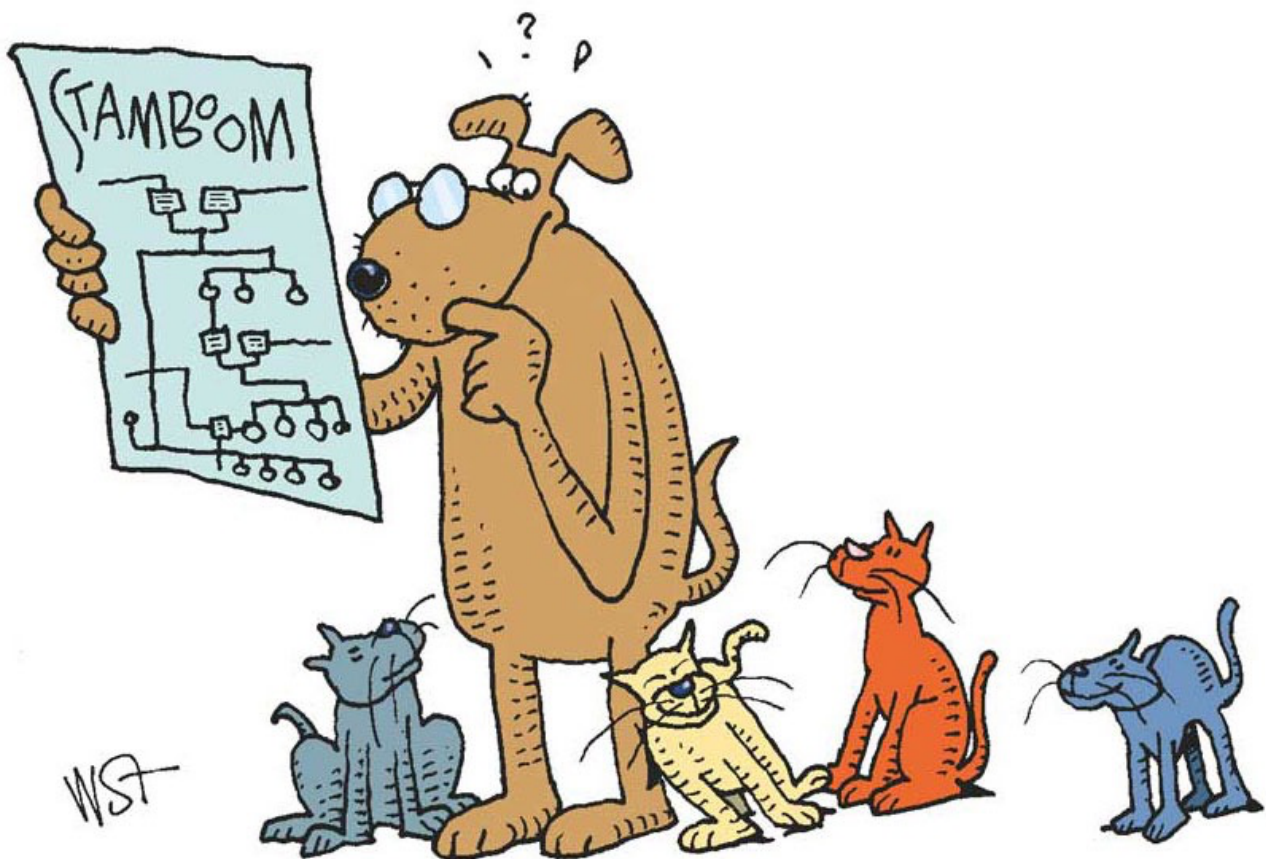
## HOUDEN VAN HONDEN

### MODULE 1      ERFELIJKHEIDSLEER, BASIS

Module 1 Erfelijkheidslcer, basis	Eindtermen	Geschatte lesuren
K. kent de bouw van de cel, zijn functies en de celdeling	Mitose en meiose. Globale celleer (verschil tussen dierlijke en plantaardige cel, kern).	6 uur
K. kent basisprincipes van de genetica  K. kent basisterminologie van de genetica	Chromosomen. Wetten van Mendel. Mono- en dihybride kruising. Geslachtsgebonden en geslachtsbeperkte overerving.  Incomplete dominantie. Mutaties. Genotype en fenotype. Homo- en heterozygoot. Dominantie en recessiviteit. Loci en genen.	
K. kent basisprincipes van de populatiegenetica	Basisregels voor het maken van een fokcombinatie. Kent de basisprincipes van inteelt en verwantschap.	

# INHOUD

<b>INLEIDING</b>	<b>3</b>
<b>DE BOUW VAN DE CEL</b>	<b>4</b>
CELKERN	5
CELDELING	7
GESLACHTSBEPALING	8
SAMENGEVAT	9
<b>ERFELIJKHEIDSLEER OF GENETICA</b>	<b>10</b>
INLEIDING	10
EEN AANTAL BEGRIPPEN	10
MENDELSE GENETICA	15
DE WETTEN VAN MENDEL	16
EEN MONOHYBRIDE KRUISING	17
EEN DIHYBRIDE KRUISING	20
SUBLETAAL	22
DE LETALE FACTOR	22
ONGEWENST?	23
GESLACHTSGEBONDEN	24
GESLACHTSBEPERKT	
<b>POPULATIEGENETICA</b>	<b>26</b>
INTEELT EN VERWANTSCHAP	28
SAMENGEVAT	30



## INLEIDING

Alles wat leeft is opgebouwd uit cellen. Cellen zijn in feite de bouwstenen van elk levend wezen en is zelf de kleinste vorm van leven.

In de biologie noemt men iets levend als het:

- Zichzelf in stand kan houden
- Kan groeien.
- Kan voortplanten

Soms is iets levends zo klein als een bacterie en bestaat het uit maar 1 cel: de zogenaamde ééncelligen. Dieren bestaan uit enorm veel meer cellen. Dat worden de meercelligen genoemd. Daar horen natuurlijk ook de mens en de hond bij.

Een hondenlichaam bestaat uit verschillende soorten cellen, met verschillende functies. Voor erfelijkheidsleer zijn de voortplantingscellen de meest belangrijke. Als een eicel en zaadcel zich verenigen vormt dat het begin van een nieuw meercellig organisme. Of, simpel gezegd: van een nieuw leven.

## DE BOUW VAN DE CEL

Cellen zijn onregelmatig gevormde structuren die omgeven worden door een soort wand. De cellen van planten hebben een celwand met cellulose. Een dierlijke cel heeft geen celwand maar een celmembraan: een dun vliesje dat de vloeistof omgeeft.

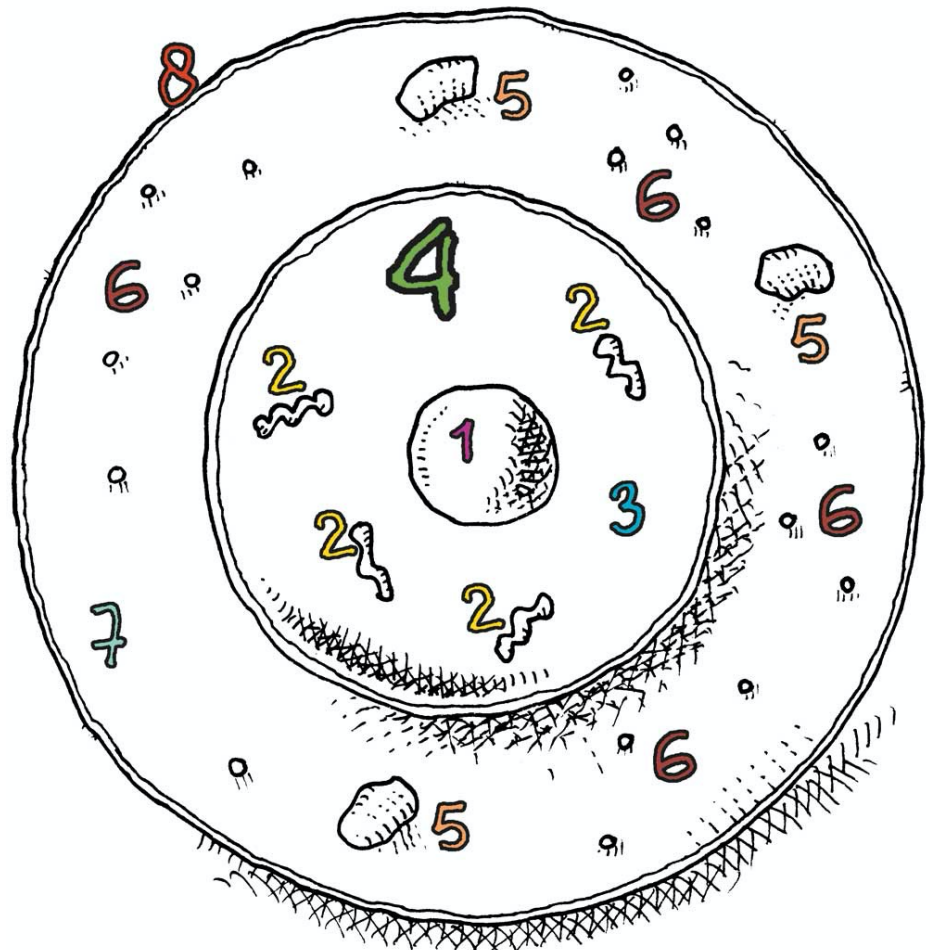
Binnen het celmembraan bevindt zich een waterige massa, het cytoplasma. Hierin zitten verschillende cellichamen, of celorganen.

De belangrijkste zijn:

- De mitochondriën, die zorgen voor de energievoorziening van de cel. Het zijn krachtcellen met hun eigen DNA, het zogenaamde mitochondriale DNA. De zaadcel dankt zijn beweeglijkheid aan deze mitochondriën; ze zijn de motor van de zaadcel.
- De ribosomen, die zijn belangrijk voor de opbouw van eiwitten.
- De centrosoma, die een belangrijke rol spelen bij de celdeling

## DE CEL

- 1 NUCLEOLUS
- 2 CHROMOSOMEN
- 3 NUCLEOPLASMA
- 4 CELKERN
- 5 MITOCHONDRIËN
- 6 RIBOSOMEN
- 7 CYTOPLASMA
- 8 MEMBRAAN



## CELKERN

Het belangrijkste deel van de cel, zeker voor de erfelijkheidsleer, is de celkern, of gewoon: de kern. De kern bevat een waterige massa, het nucleoplasma, waarin een soort draadjes drijven. Die draadjes zijn de chromosomen. Chromosomen zijn feitelijk de verpakking van het DNA. In het DNA liggen de genen: de erfelijke eigenschappen. Om de celkern zit een wand, het kernmembraan. De celkern heeft zelf ook weer een kern: de nucleolus. De kern is het besturingssysteem van de cel. Hij regelt wat waar en wanneer nodig is.

Het celmembraan is semi-permeabel, dat wil zeggen halfdoorlatend. Hierdoor kan de aan- en afvoer van brandstof en afvalstoffen plaatsvinden.

Met het **cytoplasma** wordt alles bedoeld wat in de cel zit *behalve* de kern. **Protoplasma** is de hele inhoud van de cel, dus *inclusief* de kern.

De chromosomen, die zich in de kern bevinden, bevatten duizenden stukjes erfelijke informatie. Eén zo'n stukje informatie is een gen. Een gen is een eenheid van erfelijk materiaal en bestaat uit stukjes DNA. Het woord gen wordt gebruikt voor het aanduiden van één eigenschap. De plaats op het chromosoom waarop een gen ligt, heet de locus.

Bij de voortplanting levert de moeder de eicel en de vader de zaadcel. Op het moment dat deze twee voortplantingscellen (gameten genoemd) bij elkaar komen en versmelten, wordt er gesproken van de bevruchting. De bevruchte eicel heet de zygote: dit is de cel die bestaat uit de samengesmolten gameten. De helft van de erfelijke eigenschappen wordt door de vader geleverd en de andere helft door de moeder. Deze zygote bestaat voor de helft uit genetische gegevens van de vader, en de andere helft uit die van de moeder. Dat is samen een enorme hoeveelheid informatie.

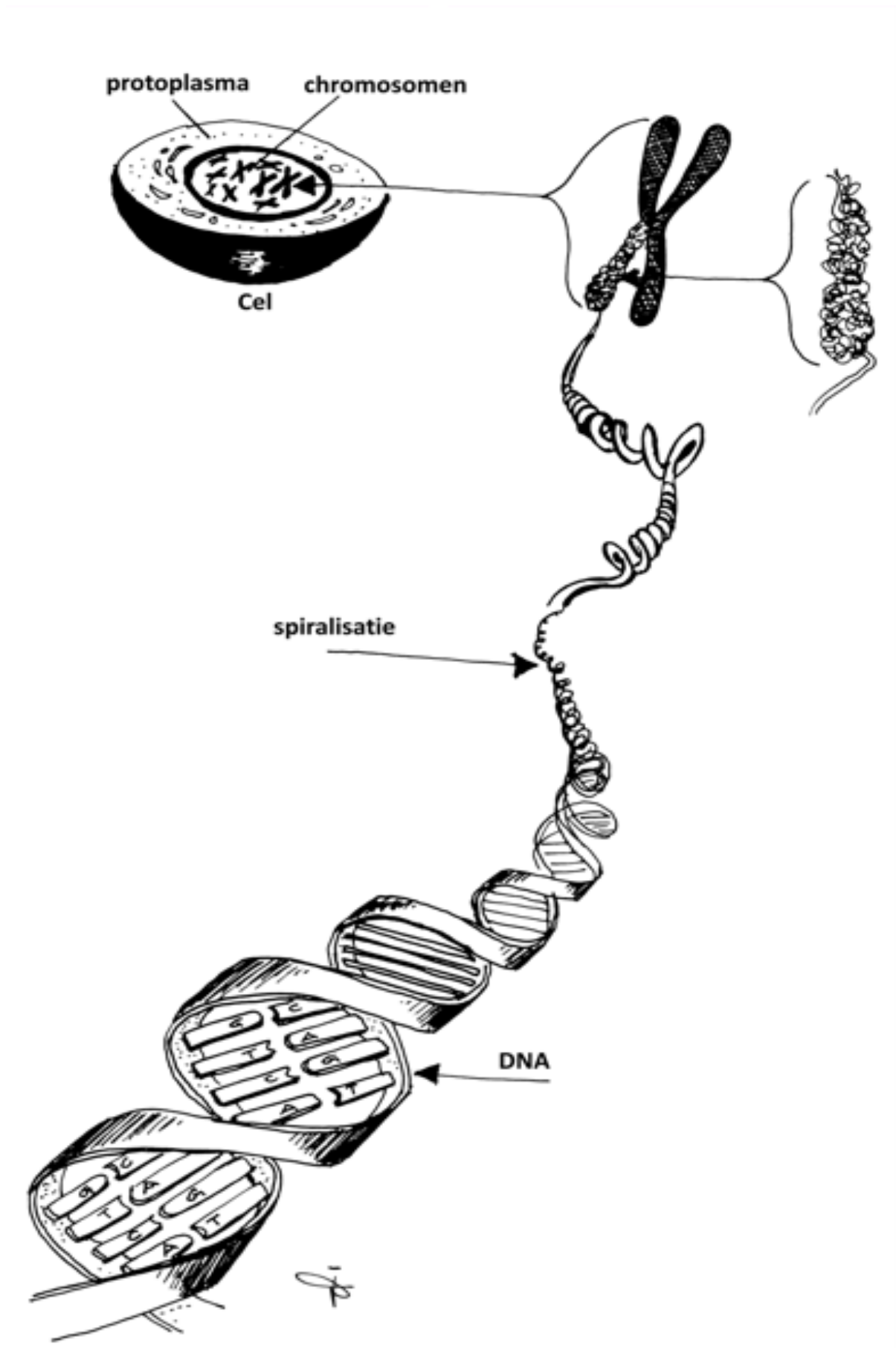
Direct na de bevruchting gaat deze cel zich delen. Na verloop van tijd gaan de cellen in vorm en functie van elkaar verschillen. Zij specialiseren in botcellen, spiercellen, zenuwcellen, huidcellen enz. Hoe hoger een dier op de evolutieladder staat, hoe meer specialisatie er zal plaatsvinden.

Als een cel specialiseert, wordt een groot gedeelte van de erfelijke informatie op non-actief gezet. Alleen de informatie die de cel nodig heeft is nog toegankelijk. De informatie van een zenuwcel is bijvoorbeeld niet van belang voor een darmwandcel. Die informatie wordt daarom uitgeschakeld. Alle erfelijke informatie blijft wel in de cel aanwezig, maar is niet actief.

Iedere diersoort heeft een eigen aantal chromosomen. Zo heeft de hond 78 chromosomen. De mens heeft er 46, het fruitvliegje heeft er 8. Chromosomen bestaan altijd uit paren van twee. Er kan geen voortplanting tussen diersoorten plaatsvinden als het aantal en het soort chromosomen niet hetzelfde is.

Soms kan er wel een jong geboren worden, zoals bij een ezel (62 chromosomen) en een paard (64 chromosomen). Maar dat nageslacht is zelf zelden tot nooit vruchtbaar en kan zich niet verder voortplanten.

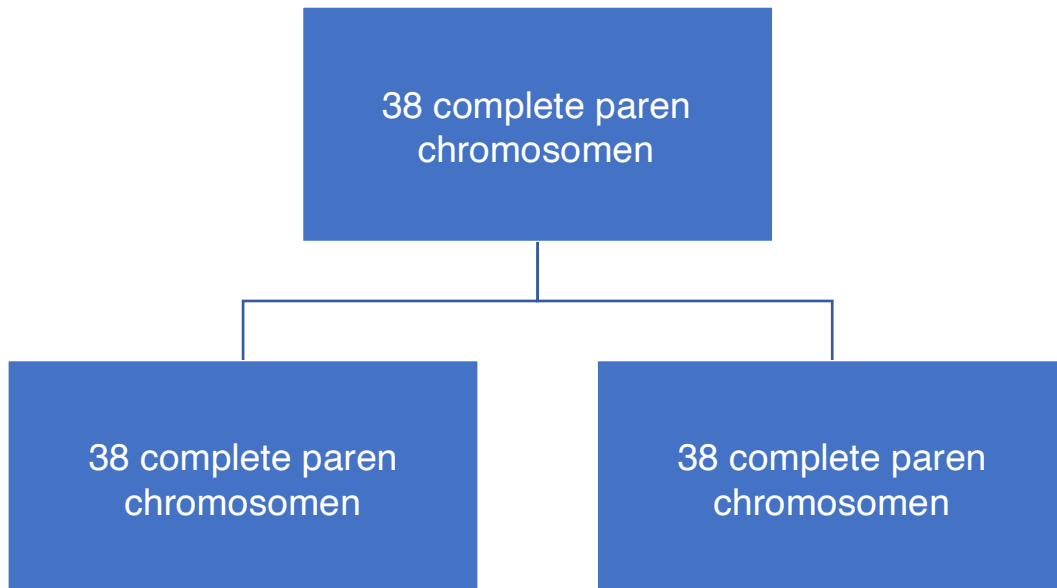
Een hond heeft dus 39 **paar** chromosomen, waarvan één paar het geslachtschromosoom is.



## CELDELING

Cellen delen zich. Dat gebeurt in het begin van leven, bij een bevruchte eicel. Maar ook bij een volwassen wezen gaat celdeling steeds door. Dat gebeurt om te groeien, of om beschadigde of afgestorven cellen te vervangen. Die deling gebeurt op twee manieren:

- De **mitose** of indirecte celdeling. Dit is de celdeling zoals die na de bevruchting gebeurt, of om andere cellen te vervangen. Uit één cel ontstaan twee nieuwe, identieke cellen.



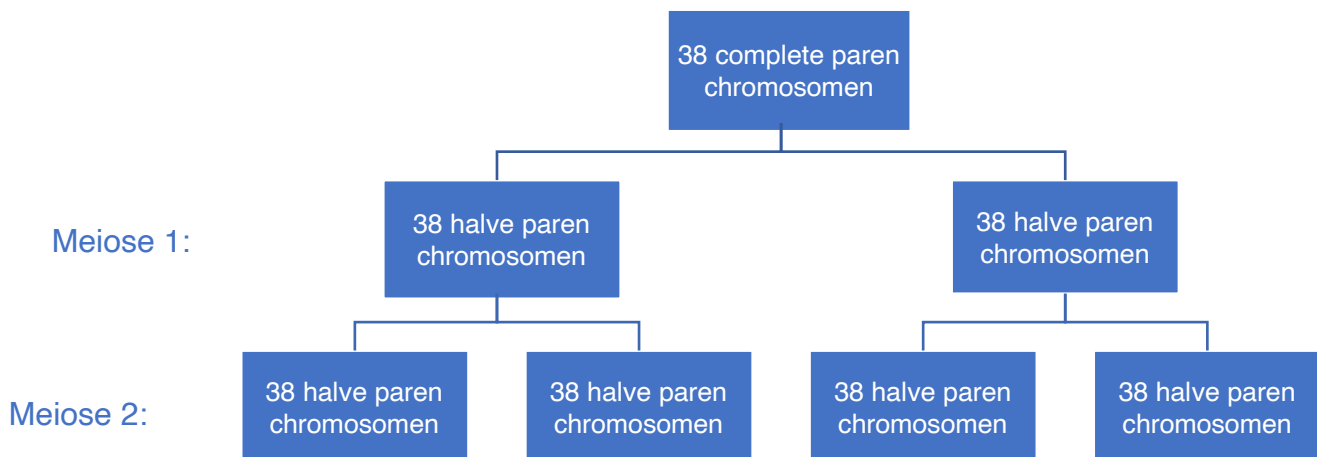
- De **meiose** of reductiedeling. Deze deling is speciaal voor het aanmaken van geslachtscellen.

Van geslachtscellen is het de bedoeling dat ze met een andere geslachtscel gaan samensmelten. Om in die samengesmolten cel niet het dubbele aantal chromosomen te krijgen, moet er in een geslachtscel daarom maar de helft van het normale aantal chromosomen aanwezig zijn. Daar zorgt de meiose of reductiedeling voor.

Hoe gaat dat in zijn werk?

De reductiedeling begint hetzelfde als bij de mitose: het kernmembraan verdwijnt en de chromosomen worden zichtbaar. Maar nu worden de chromosomen niet gekopieerd, maar de paren worden uit elkaar getrokken. Op het moment dat de cel zich weer insnoert zijn er twee cellen ontstaan met elk dus de **helft** van het oorspronkelijke aantal. Het aantal chromosomenparen is nu gesplitst.

Na de eerste meiose volgt een tweede meiose. Nu kopiëren de cellen zich, maar nog steeds is er per cel maar de helft van het normale aantal chromosomen aanwezig. Uit één cel ontstaan dus vier voortplantingscellen.



Met andere woorden: een eicel en een zaadcel hebben dus maar de helft van het normale aantal chromosomen. Bij reuen is elk nieuw gevormde zaadcel kiemkrachtig. Bij een teef sterven er van de vier gevormde eicellen drie af, en blijft er maar eentje over. Dat komt doordat er maar voor één cel voldoende cytoplasma is. De andere drie sterven dus af.

Bij een dekking komen de zaadcel en eicel bij elkaar. De nieuwe cel, de zygote, heeft dan weer het normale aantal chromosomen. Bij de hond is dat 39 paar, dus 78 chromosomen in totaal.

## GESLACHTSBEPALING

Van de 39 paar chromosomen is één paar anders dan de rest. Dat zijn de geslachtschromosomen, die bestaan uit X en Y chromosomen.

Een reu heeft een chromosomenpaar dat bestaat uit een X en een Y, dus XY.

Een teef heeft een chromosomenpaar dat bestaat uit twee X-en, dus XX.

Zoals hierboven beschreven worden bij **meiose** de chromosomen verdeeld. Dat betekent dat een teef alleen maar de X kan doorgeven aan haar nageslacht. Bij de reu is dat anders: hij kan of een X of een Y doorgeven. Het is dus de reu die het geslacht van de nakomelingen bepaalt.

Een hond bestaat uit duizenden eigenschappen (genen).

Bij het doorgeven van eigenschappen van ouder op nakomeling, kunnen die eigenschappen fokzuiver of fokonzuiver zijn. Dat betekent dat een ouderdier een eigenschap kan hebben die veroorzaakt wordt door een gen dat dubbel aanwezig is (fokzuiver, vergelijkbaar met de XX) of een eigenschap die wordt veroorzaakt door twee verschillende genen (fokonzuiver, vergelijkbaar met de XY).



## SAMENGEVAT

Een cel is een zelfstandige levenseenheid. De hond bestaat uit vele duizenden cellen. Een hond groeit dankzij de gewone celdeling oftewel mitose, waarbij de chromosomen vóór de deling gekopieerd worden. De nieuwe cellen zijn exacte kopieën van de cel die gedeeld is.

Een organisme ontstaat door het versmelten van gameten of geslachtscellen (eicel of zaadcel). Die gameten ontstaan door de reductiedeling of **meiose**, waarbij de chromosomenparen worden verdeeld. De nieuwe cellen hebben de helft van de chromosomen van de cel die gedeeld is. Niet iedere nieuwe cel heeft precies dezelfde eigenschappen. Er kunnen verschillen in zitten. Een bevruchte eicel, dus de samensmelting van eicel en zaadcel, heet een **zygote**.



## ERFELIJKHEIDSLEER OF GENETICA

### INLEIDING

Bij erfelijkheid gaat het over eigenschappen die van ouders op nakomelingen doorgegeven worden. Eigenschappen van de ouders zijn in de nakomelingen terug te vinden.

Dat houdt in dat wanneer een hond met een hond gekruist wordt, verwacht mag worden dat er een hond uitkomt. Als een hond van ras A met een andere hond van ras A gekruist wordt, mag verwacht worden dat pups van ras A geboren worden. En wanneer ras A gekruist wordt met ras B komen dus de eigenschappen van beide rassen in de nakomelingen terug.

De mens bemoeit zich al eeuwen met de voortplanting van honden. Vroeger selecteerde de mens honden omdat ze voor hem nuttig waren. Als iemand een goede waakhond had, kon een andere goede waakhond erbij gezocht worden als fokpartner. Dan was de kans groot dat ook de pups geschikt voor dat werk zouden zijn. Hetzelfde gold voor goede jachteigenschappen, voor honden die een kar konden trekken, of een hond die makkelijk tot vechten was aan te zetten. Uiterlijk speelde ook een rol, want als waakhond wil je een indrukwekkende hond, en voor een hond die door doornige struiken moet rennen is een ruwe vacht een goede bescherming. Zo heeft de mens rassen gemaakt.

Sinds de tweede helft van de 19de eeuw ging de mens steeds meer op uiterlijk selecteren. De hondenshows ontstonden, en er werden rasstandaarden gemaakt.

Elke selectie die de mens uitvoert op steeds dezelfde eigenschappen heeft tot gevolg dat het aantal beschikbare genen kleiner wordt. Dat geldt voor selectie op uiterlijk, maar ook voor selectie op aanleg. En met een kleiner aantal genen wordt het risico dat erfelijke ziektes zich kunnen uiten groter. Door meer over erfelijkheidsleer te leren wordt geprobeerd om problemen te voorkomen, en controle te krijgen over problemen die er al zijn.

### EEN AANTAL BEGRIPPEN

Erfelijkheid bepaalt de aanleg van het individu. Omgevingsfactoren bepalen hoe veel van die aanleg tot uiting komt.

#### Genotype-fenotype

Zoals eerdergenoemd, bevindt het erfelijk materiaal zich in chromosomen, die in de celkern liggen. Al het erfelijk materiaal van een individu wordt het **genotype** genoemd. Dit vormt de basis van het individu.

Maar er is nog een andere belangrijke factor die bepaalt hoe een individu zich ontwikkelt. Dat is het **milieu**, oftewel de invloeden van buitenaf. Het genetisch materiaal samen met de omgeving zorgt voor de uiterlijke verschijningsvorm.

Dat heet het **fenotype**.

Met andere woorden:

$$\textit{genotype} + \textit{milieu} = \textit{fenotype}$$

Dit gegeven is de basis van de genetica.

Het milieu bepaalt dus mede hoe de erfelijke aanleg tot ontwikkeling komt. Een hond kan de erfelijke aanleg hebben om heel groot te worden, maar met gebrekkige voeding zal hij dat formaat niet halen.

Een hond kan nooit méér worden dan er in aanleg aanwezig is. Een hond kan wel minder worden dan dat er in aanleg aanwezig is. Een goede aanleg kan door milieufactoren minder worden. Bijvoorbeeld: een gebit dat in aanleg goed is, kan slechter worden door verkeerde trek- en sjorspelletjes.

### **Modificatie**

Het bewust ingrijpen op het uiterlijk van een hond, zoals bijvoorbeeld het couperen van een staart, is natuurlijk niet erfelijk. Zo'n kunstmatige uiterlijke wijziging wordt modificatie genoemd.

### **Epigenetica**

Door invloeden van buitenaf tijdens de dracht kan een verandering in een genfunctie ontstaan. Het gen zelf wordt niet anders, maar de effectieve functie wordt gewijzigd.

Bijvoorbeeld: door stress wordt het stresshormoon cortisol aangemaakt. Als de teef tijdens de dracht stress ondervindt kan dat van de moeder op de pups worden overdragen, terwijl ze nog in de baarmoeder zitten. De pups zullen daardoor hun hele leven een meetbaar hoger stressniveau dan normaal hebben. Zo'n gewijzigde genexpressie is niet erfelijk. De pups kunnen dat dus niet doorgeven.

### **Aangeboren**

Een aangeboren afwijking is een afwijking waarmee een pup geboren wordt. Dit wil nog niet zeggen dat die afwijking erfelijk is. Er kunnen allerlei redenen zijn voor een aangeboren afwijking, zoals medicijngebruik van de moeder. Als dit de oorzaak is, is het niet erfelijk en zal er bij een volgend nest geen probleem zijn.

### **Variatie**

Verschillen tussen pups in één nest kunnen worden veroorzaakt door erfelijk materiaal. Dat wordt variatie genoemd. Bijvoorbeeld verschillen in grootte, oogkleur, en haarkleur. Dit is wel erfelijk bepaald en kan dus weer doorgegeven worden aan de volgende generatie.

### **Mutatie**

Een mutatie is een sprongsgewijze blijvende verandering in het erfelijk materiaal (DNA). Zo is het oorspronkelijke kleurpatroon van de hond de wolfskleur, agouti geheten. Alle andere kleurpatronen op datzelfde locus die nu bij honden voorkomen zijn een gevolg van mutatie.

Door selectie op zo'n mutatie, door de natuur of door de mens, zijn nieuwe vachtpatronen ontstaan en ook behouden gebleven.

Mutaties komen heel veel voor, elk individu heeft wel een paar. De meeste zijn niet zichtbaar, en zullen dan ook nooit opgemerkt worden.

Spontane mutaties kunnen zorgen dat er nieuwe eigenschappen binnen een populatie ontstaan. Naast deze spontane veranderingen in het genetisch materiaal kan het milieu ook mutaties veroorzaken. Denk maar eens aan radioactieve straling, röntgenstraling, kernstraling of chemische stoffen, zoals medicatie.

Er zijn verschillende soorten mutaties:

- **Genmutatie:** er ontstaat een verandering in een gen. Meestal betreft het zulke kleine wijzigingen dat ze niet worden opgemerkt. Ook vachtpatronen zijn mutaties, maar die zijn door selectie normaal geworden.
- **Segmentmutatie:** de volgorde van de structuur van het chromosoom is gewijzigd.
- **Genoommutatie:** er zijn meer of minder chromosomen dan normaal.
- **Somatische mutatie:** dit is niet erfelijk; het gaat hier om een plaatselijke mutatie die alleen bepaalde lichaamscellen treft maar niet in het erfelijk materiaal aanwezig is. Op die plek zit er een afwijking: bijvoorbeeld een zwarte vlek op een overigens gele vacht.

## Locus

De plek op een chromosoom waar een gen zich bevindt heet de **locus**. Er liggen altijd twee genen op een locus. Die twee genen hebben betrekking op dezelfde eigenschap.

## Allel

Het woord allel wordt gebruikt om de variant van een gen aan te duiden. Er liggen altijd twee allelen, twee gen varianten, op één locus.

Als er van een gen meer dan twee varianten of allelen voorkomen, wordt dat multiple allelen genoemd. Er zijn altijd maar twee allelen aanwezig, omdat er simpelweg maar plaats is voor twee. Maar de mogelijke variatie kan groter zijn, en zo is het dus wisselend welke variatie een dier op dat locus heeft.

## Dominant-Recessief

In veel gevallen heeft een gen maar twee varianten, waarbij de ene dan vaak de andere overheerst. Dit heet een dominant – recessieve verhouding. Het dominante gen is de overheersende en het recessieve gen is de onderdrukte. Vaak -maar niet altijd- is dat voor 100%. Dat betekent dat het recessieve gen wel aanwezig is in het totale erfelijke materiaal, maar het is niet te zien. Een voorbeeld is de basiskleur voor de hond. Die bestaat uit 2 genen, namelijk zwart en bruin. De zwarte kleur wordt veroorzaakt door het dominante gen en de bruine kleur door het recessieve gen. Stel, de teef geeft alleen het zwarte gen. Zij heeft dan zwart pigment en daarmee een zwarte neus. De reu geeft alleen het bruine gen en heeft dan een bruine neus. Alle nakomelingen hebben dan een zwarte neus hoewel ze wel het bruine gen hebben (gekregen) van hun vader.

De teef heeft in dit voorbeeld tweemaal het (dominante) gen voor zwart en is **homozygoot** voor zwart. De reu heeft tweemaal het (recessieve) gen voor bruin en is **homozygoot** voor bruin.



De nakomelingen hebben één zwart en één bruin gen en hebben een zwarte neus. Het gen dat zwart geeft, onderdrukt het gen dat bruin geeft. Deze nakomelingen zijn **heterozygoot** voor zwart.

### Onvolkomen dominantie

Bij onvolkomen dominantie zijn beide eigenschappen van genen die op dezelfde locus liggen te zien. Zoals gezegd kunnen genen op dezelfde locus elkaar kunnen beïnvloeden.

Soms is het ene gen dominant ten opzichte van het andere gen. Dat andere gen wordt dan recessief genoemd. Maar het is lang niet altijd zo dat er maar één gen zichtbaar is.

Bij honden komt het soms voor dat er twee eigenschappen van verschillende loci tegelijk te zien zijn. Dat wordt dan ook **onvolkomen dominantie** genoemd. Een voorbeeld is brindle: de strepen zijn te zien, maar de ondergrond ook. Je ziet dus twee genen tegelijk. Welke genen er zichtbaar zijn kan variëren, zodat de uiting van zo'n eigenschap dus vaak variabel is.

### Intermediaire overerving

Bij intermediaire overerving komen ook beide genen tot uiting, maar er ontstaat een heel nieuwe eigenschap. Denk aan het kruisen van een rode bloem met een witte. Er ontstaat een roze bloem. Bij honden komt dit niet voor bij eigenschappen die op dezelfde locus liggen.

## Fokzuiver

Als beide allelen hetzelfde zijn, wordt een hond fokzuiver, of homozygoot genoemd. Als de allelen verschillend zijn, heet dat fokonzuiver, of heterozygoot. Een recessieve eigenschap moet dus altijd dubbel (fokzuiver) aanwezig zijn om zich te kunnen laten zien. Als een recessieve eigenschap te zien is, is de hond dus homozygoot en daarmee altijd fokzuiver. In het bovenstaande voorbeeld is de teef fokzuiver voor de kleur bruin. Bij een hond die homozygoot is voor een eigenschap is duidelijk wat hij doorgeeft. Bij een heterozygoot is dat niet zo.

## Fokwaarde

De fokwaarde van een hond is wat hij genetisch doorgeeft. Als duidelijk te zien is wat een hond heeft doorgegeven aan zijn nakomelingen en het zijn goede/gewenste eigenschappen, dan wordt gezegd dat die hond een goede fokwaarde heeft. De fokwaarde wordt dus bepaald door de kwaliteit van zijn nakomelingen.

## Fokwaardeschatting

De waarde van een hond die wordt bepaald aan de hand van onderzoeksresultaten van de hele populatie. Dit is behoorlijk theoretisch, en in de praktijk niet altijd haalbaar.

## Autosomaal

Alle chromosomen (76) behalve de geslachtschromosomen worden **autosomen** genoemd. Een autosomale overerving wil zeggen dat de eigenschap niet via de geslachtshormonen overerft en dus ook niet gebonden is aan reu of teef.

## Enkelvoudig/meervoudig verervend

Een eigenschap kan door één gen of één "locus" bepaald worden. Zo'n eigenschap heet dan enkelvoudig overervend. Maar vaak wordt een eigenschap door meerdere genen bepaald en dan wordt het meervoudig overervend genoemd. Andere gebruikte benamingen zijn polygenetisch of complex overervend.

## Multifactorieel overervend

Bij multifactorieel overerven, dus met meerdere factoren, zijn er meerdere genen betrokken. Bovendien speelt milieu een rol. Bij epilepsie zijn bijvoorbeeld meerdere genen betrokken, maar de ziekte komt alleen tot uiting als er een trigger van buitenaf is. Omdat zo'n trigger vaak minimaal is, wordt het vaak niet opgemerkt waardoor het lijkt of een probleem "opeens" tot uiting komt.

## Geslachtsgebonden

Wanneer een eigenschap enkelvoudig recessief is, dan betekent dit dat het gen voor die eigenschap te vinden is op één van de chromosomen. De eigenschap wordt bepaald door één allel en de eigenschap wordt recessief overgeërfd. De eigenschappen kunnen worden doorgegeven door de vader, maar ook door de moeder.

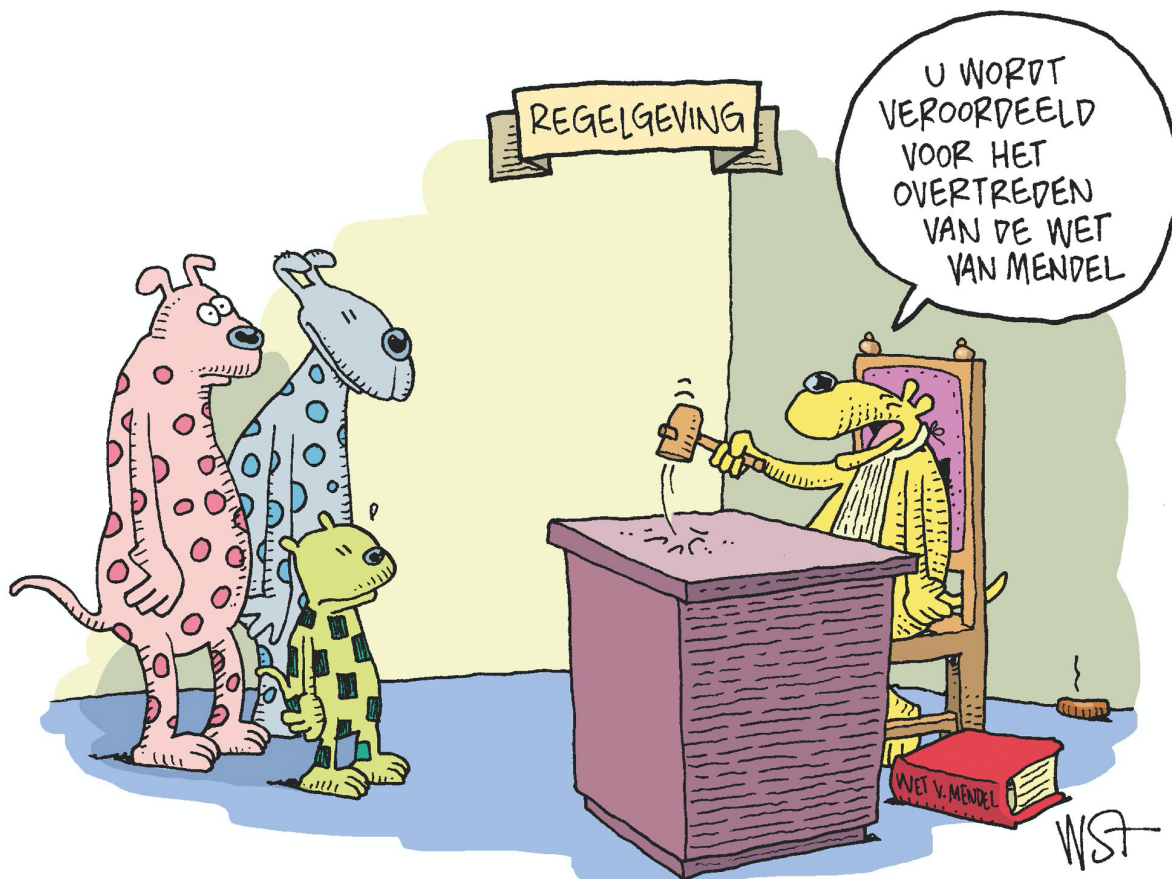
Eigenschappen die alleen te vinden zijn op de geslachtschromosomen heten **geslachtsgebonden** eigenschappen.

## MEDELSE GENETICA

Aan de basis van de erfelijkheidsleer staat een monnik, Gregor Mendel. Hij leefde rond 1850, en kweekte erwten op de binnenplaats van zijn klooster. Het viel hem op dat bij het kruisen van planten steeds dezelfde resultaten kwamen. Hij schreef alles over zijn experimenten op, en de basis van zijn ontdekkingen worden nog steeds gebruikt. Ze staan bekend als "de wetten van Mendel".

*Later hebben ook Hugo de Vries, Thomas Hunt Morgan (onderzoek met fruitvliegjes), Avery, Crick & Watson (zij ontdekten het DNA = Desoxyribose Nucleïne Zuur (acid)) een grote rol gespeeld in het ontdekken van wetmatigheden in de erfelijkheid. Nog steeds is genetica volop in ontwikkeling, en worden er nog regelmatig nieuwe dingen ontdekt.*

*De wetenschap is zo ver dat er ingegrepen kan worden in het genetisch materiaal, zoals gentechnologie en klonen.*



Het is inmiddels bekend genen de dragers zijn van erfelijke eigenschappen. De plaats die een gen op het chromosoom heeft heet de locus. Maar er zijn altijd meerdere genen die op dezelfde plaats kunnen zitten. Die worden multiple allelen genoemd.

Omdat in de genetica letters gebruikt worden om genen weer te geven, krijgen multiple allelen altijd (deels) dezelfde letters. Als het gen dominant is krijgt het een hoofdletter. Een recessief gen krijgt een kleine letter.

Zoals al in een eerder voorbeeld aangehaald: de zwarte (basis)kleur is dominant en krijgt de hoofdletter: **B**. Zijn allel, de bruine kleur, is recessief. Die krijgt de kleine letter: **b**.

Er zijn daardoor drie mogelijkheden die op dat locus aanwezig kunnen zijn: BB, Bb en bb. Dus wat je ziet, is niet altijd wat je krijgt. Een zwarte hond kan zwart-zwart (BB) zijn maar ook zwart-bruin (Bb). Als een hond Bb is, is hij zwart maar draagt hij ook het allel voor bruin.

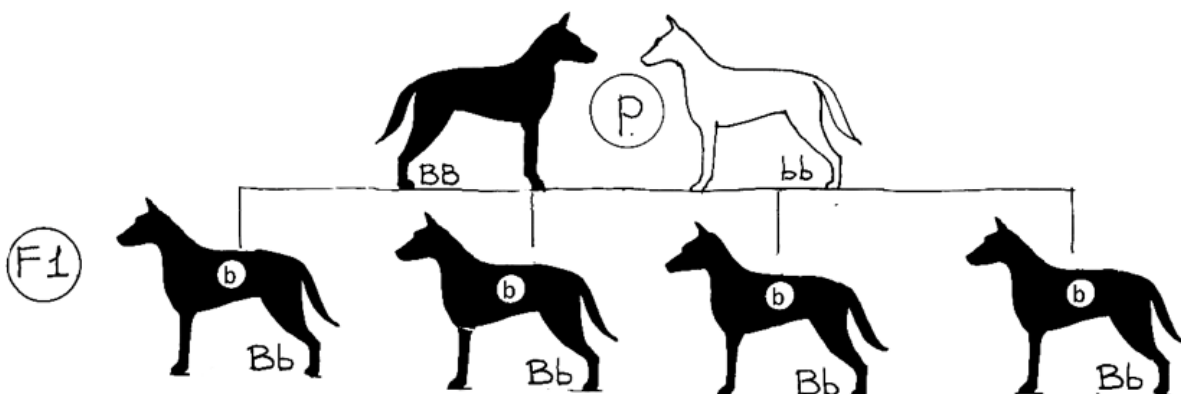
## DE WETTEN VAN MENDEL

Van alles wat Mendel ontdekte maakte hij 4 wetten.

In de erfelijkheidsleer worden de letters P en F als aanduiding voor een generatie gebruikt. P staat voor parentes (= ouders) oftewel de 1e generatie. F staat voor filius (= zoon), dus dat is het nageslacht. F1 is dan de 1e generatie nakomelingen van dat eerste ouderpaar. F2 is dan de 2e generatie enz.enz.

### 1. De Uniformiteitwet (=1<sup>o</sup> wet van Mendel)

Als twee homozygoten individuen gekruist worden, die slechts in één eigenschap van elkaar verschillen, dan is de hele F1-generatie identiek.



### 2. Dominantieregels (= 2e wet van Mendel)

Alle individuen uit de eerste generatie vertonen hetzelfde kenmerk als het kenmerk van één van beide ouders (P-generatie). Het maakt hierbij niet uit of het ene of het andere individu de vader of de moeder is, met andere woorden, het maakt niet uit of de vader een bepaalde eigenschap heeft of dat de moeder die heeft (en omgekeerd natuurlijk).

### 3. Splitsingsregel (= 3e wet van Mendel)

Bij inteelt van de F1-generatie ontstaat een F2-generatie waarbij de individuen onderling verschillen. Dat is altijd in de volgende verhouding:

Driekwart (75%) vertoont de kenmerken van de ene grootouder en een kwart (25%) de kenmerken van de andere grootouder oftewel we zien een verhouding van 3 : 1.



Genotypisch is er een andere verhouding, namelijk: een kwart heeft de genen van de ene grootouder, een kwart die van de andere en tweekwart heeft het genotype van de F1-generatie. Oftewel dit is een verhouding van 1 : 2 : 1.

#### 4. Onafhankelijkheidsregel (= 4e wet van Mendel)

Wanneer men twee individuen met elkaar kruist, die in meer dan één eigenschap van elkaar verschillen dan erven deze eigenschappen onafhankelijk van elkaar over.

Afhankelijk van het aantal eigenschappen waarin de dieren die gekruist worden met elkaar verschillen wordt gesproken over:

- Een **monohybride** kruising, als de ouderdieren in één eigenschap van elkaar verschillen.
- Een **dihybride** kruising als dat twee eigenschappen zijn.
- Een **trihybride** kruising als dat drie eigenschappen zijn.
- Een **polyhybride** kruising als dat meerdere eigenschappen zijn die verschillen, enzovoorts. Het zal duidelijk zijn dat in de praktijk alle kruisingen tussen honden **polyhybride** kruisingen zijn.

### EEN MONOHYBRIDE KRUISING

De 1ste wet van Mendel gaat over het kruisen van twee homozygoten honden die in één eigenschap van elkaar verschillen. Dit is dus een monohybride kruising en de ouderdieren worden aangeduid met de letter P.

Dit is precies hetzelfde voorbeeld als dat hierboven gebruikt werd. Maar nu is het opgeschreven op de manier zoals gebruikelijk is in de genetica. De P-generatie is homozygoot, en heeft de basiskleuren zwart en bruin. Zoals bekend is zwart dominant en die krijgt daarom hoofdletter B. Bruin is recessief en krijgt dus de kleine letter b. Gesteld wordt dat de teef zwart is dus BB, en dat de reu bruin is dus bb. Dat wordt als volgt opgeschreven:

<b>Teef ▶</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>▼ Reu</b>	<b>Bb</b>	<b>Bb</b>
<b>b</b>	<b>Bb</b>	<b>Bb</b>
<b>b</b>	<b>Bb</b>	<b>Bb</b>

Dat houdt in dat alle individuen in de F1-generatie zwart zijn (1e wet van Mendel) en er uitzien als de moederhond (dominantieregel = 2de wet van Mendel). Ook genotypisch zijn ze gelijk.

Let op: de moederhond is homozygoot voor zwart met BB, maar de nakomelingen in de F1 zijn dan wel zwart, maar ze zijn heterozygoot: namelijk Bb.

Als nu inteelt met de F1 gedaan wordt, dus F1 gekruist met F1, dan worden heterozygoten gekruist: Bb x Bb. Dat kunnen we in een schema zetten zoals hieronder:

<b>Teef ▶</b> ▼ <b>Reu</b>	<b>B</b>	<b>b</b>
<b>B</b>	<b>BB</b>	<b>Bb</b>
<b>b</b>	<b>Bb</b>	<b>bb</b>

De generatie die nu ontstaat wordt de F2 genoemd.

Nu blijkt dat in de F2 de volgende combinaties van genen voorkomen:

- eenmaal BB en dat geeft fenotypisch zwart
- eenmaal bb en dat geeft fenotypisch bruin
- tweemaal Bb en dat geeft fenotypisch zwart, maar is heterozygoot

Er is dus niet te zien welke zwarte hond uit de F2 homozygoot is. Vroeger was de enige manier om daarachter te komen om een testkruising te doen met een hond waarvan zeker was dat die homozygoot dus recessief is voor die eigenschap (in het voorbeeld bruin). Maar tegenwoordig zijn er gentesten beschikbaar.

De zwarte honden in de F2 kunnen dus genotypisch BB of Bb zijn. Als die gekruist worden met een bruine (bb) hond zijn er twee mogelijkheden:

- Of de zwarte hond is homozygoot zwart: dan is de combinatie dus BB x bb. En dat is dezelfde combinatie als waarmee gestart is in de P-generatie. De nakomelingen uit deze combinatie zijn dan allemaal Bb. Zwart dus.
- Of de zwarte hond is heterozygoot zwart, en dan is de combinatie Bb x bb. Als dan gekeken wordt wat ze vererven dan blijkt dat de bruine hond alleen gameten met de letter b (dus gen voor bruin) geeft, en de zwarte hond òf een B òf een b.

- Dat betekent dat de nakomelingen òf Bb zijn (dus zwart) òf bb en dat is bruin. Zo is meteen te zien dat het zwarte ouderdier heterozygoot moet zijn geweest, omdat die anders geen bruin had *kunnen* geven. Ook is nu duidelijk dat de zwarte nakomeling wederom heterozygoot moet zijn: hij heeft sowieso een b van de ene (bruine) ouder gekregen.

Dit geldt voor alle F2-generaties waarvan de grootouders homozygoot zijn voor een bepaalde eigenschap, dus ook bij het volgende voorbeeld.

Een hond met lang haar wordt gekruist met een hond met kort haar. Het is bekend dat kort haar dominant is en die krijgt dus de hoofdletter (in dit geval L) en lang haar is recessief en krijgt de kleine letter (dus l van **long** hair).

De eerste stappen worden overgeslagen. Bij de F1 x F1 is dan het volgende te zien: Ook hier zijn de volgende lettercombinaties in de F2 te zien:

Teef ► ▼ Reu	L	l
L	LL	Ll
l	Ll	ll

- eenmaal LL
- eenmaal ll
- tweemaal Ll

Drie van de vier zijn kortharig. Eentje is langharig, genotypisch en fenotypisch gezien.

## KANSBEREKENING VANUIT DE F2

Waar een fokker vaak mee te maken heeft is de vraag hoe een eigenschap van een grootouder in het komende nest zou kunnen doorwerken, als de hond waar mee gefokt gaat worden die eigenschap zelf niet heeft.

Stel dat de teef waarmee gefokt gaat worden, de F2, zwart is. Haar ouders, de F1 zijn ook zwart (B-), maar een van de grootouders is bruin (bb).

De F1 uit die combinatie is daarom in elk geval Bb. Dat maakt de kans dat de F2 Bb is 25%. De andere twee grootouders zijn zwart en de F1 is ook zwart. Zij kunnen Bb of BB zijn. Van die kant is niets bekend, aangezien het fenotype in F1 ook zwart is.

De F2 teef heeft dus vanaf de ene kant 25% kans Bb te zijn, vanaf de andere kant is dat niet bekend. Daarvoor zal verder teruggedaan moeten worden om meer te weten te komen.

Wie wil weten of de teef bruin geeft kan een fokpartner met bb gebruiken. Een bruine reu dus. Dan is de kans op Bb het grootst, maar zelfs als het hele nest zwart is bewijst dat niet dat de teef BB is: ze kan nog steeds Bb zijn. Dat is de wet van de grote getallen: het kan domme pech zijn dat er geen bruin uitkomt (of geluk als het juist gewenst is)

## EEN DIHYBRIDE KRUISING

Maar hoe gaat het nu bij een kruising waarbij er sprake is van twee verschillende erfelijke eigenschappen? De 3de wet van Mendel heeft geleerd dat die twee verschillende erfelijke eigenschappen onafhankelijk van elkaar vererven.

In dit voorbeeld wordt een zwarte, kortharige hond (het maakt niet uit of dat de reu of de teef is) gekruist met een bruine, langharige hond.

Het is bekend dat zwart (B) dominant is over bruin (b).  
Het is ook bekend dat kortharig (L) dominant is over langharig (l).

De zwarte, kortharige hond is dus genotypisch: BB LL

<b>P</b>	<b>bbll</b>	<b>x</b>	<b>BBLL</b>
<b>Gameten bevatten:</b>	<b>b en l</b>	<b>x</b>	<b>B en L</b>
<b>F1</b>		<b>BbLl</b>	

De bruine, langharige hond is dan genotypisch: bb ll

De F1-generatie is genotypisch BbLl. Fenotypisch zijn ze zwart en kortharig (net als hun ene ouder). Let wel: ze zijn heterozygoot voor beide eigenschappen.

De F2-generatie (= F1 x F1) ontstaat dus uit een kruising van (genotypisch gezien) BbLl x BbLl.

De F1-generatie kan nu vier verschillende gameten leveren, nl.:

- B met L dus BL
- B met l dus Bl
- b met L dus bL
- b met l dus bl

(Wanneer het over eigenschappen op dezelfde locus gaat wordt de hoofdletter vóór de kleine letter geschreven. Maar in dit geval wordt de kleine b gewoon voor de hoofdletter L gezet, omdat die eigenschap op een ander locus ligt en onafhankelijk overerft.)

Om het duidelijk te maken wordt deze kruising weer in een schema gezet. Vier maal vier mogelijkheden geeft een totaal van 16 verschillende mogelijkheden. Hiervan zijn er een aantal gelijk (zowel fenotypisch als genotypisch).

Teef ▶	<b>BL</b>	<b>Bl</b>	<b>bL</b>	<b>bl</b>
▼ Reu				
<b>BL</b>	<b>BBLL</b>	<b>BBLl</b>	<b>BbLL</b>	<b>BbLl</b>
<b>Bl</b>	<b>BBlL</b>	<b>BBll</b>	<b>BblL</b>	<b>Bbll</b>
<b>bL</b>	<b>bBLL</b>	<b>bBLl</b>	<b>bbLL</b>	<b>bbLl</b>
<b>bl</b>	<b>bBlL</b>	<b>bBll</b>	<b>bbLl</b>	<b>bbll</b>

- eenmaal BBLL (zwart kortharig)
- eenmaal bbll (bruin langharig)
- eenmaal BBll (zwart langharig)
- eenmaal bbLL (bruin kortharig)
- viermaal BbLl (zwart kortharig)
- tweemaal BBll (zwart kortharig)
- tweemaal bbLl (bruin kortharig)
- tweemaal BbLL (zwart kortharig)
- tweemaal Bbll (zwart langharig)

Dit zijn dus alle genotypische mogelijkheden:

Fenotypisch zijn de 16 combinaties onder te verdelen in:

- 9 zijn zwart kortharig  
dat zijn degenen met tenminste één grote B en tenminste één grote L
- 3 zijn zwart langharig  
dat zijn degenen die tenminste één grote B en twee kleine l-en hebben
- 3 zijn bruin kortharig  
dat zijn degenen met twee kleine b's en tenminste één grote L
- 1 is bruin langharig  
dat is degene met 2 kleine b's en twee kleine l-en

Genotypisch is er dus meer variatie dan fenotypisch. Er zijn namelijk 9 verschillen in genotype, en maar 4 verschillen in fenotype.

Als een eigenschap dominant is, dan overerft hij in de F2 fenotypisch 75%. Genotypisch ligt dat wat ingewikkelder. Van die 75% is 25% homozygoot, en 50% heterozygoot.

Datzelfde gebeurt bij een recessieve eigenschap. In de F2 vererft een recessieve eigenschap namelijk maar 25%. Omdat het over recessief gaat, geldt dat voor zowel genotype als voor fenotype.

Maar hoe het ook berekend wordt (fenotypisch of genotypisch): voor alle gevallen geldt de wet van de kansberekening: de wet van de grote getallen. Deze berekeningen gaan alleen op bij veel worpen en veel nakomelingen. In één nest kunnen de verhoudingen dus heel anders liggen.

## SUBLETAAL

Subleetaal betekent dat er risico is op het veroorzaken van schade.

Dat geldt bijvoorbeeld voor merle. Merle is de naam van een vachtpatroon dat voorkomt bij onder andere Collies en Shetland Sheepdogs. Het is autosomaal dominant. Fokken met merle kan het risico op problemen met de zintuigen verhogen. Het gen voor merle breekt namelijk pigmentcellen af, waardoor de kleur vervaagt, of zelfs verdwijnt. Voor de goede ontwikkeling van het gehoor zijn pigmentcellen nodig en om die reden mag er in Nederland geen merle x merle gefokt worden. Bovendien wordt er een verband vermoed tussen het gen voor merle met een aantal oogafwijkingen.



## DE LETALE FACTOR

Bij naakthonden zijn de normale erfelijke verhoudingen er niet. Hier geen 3 : 1 in de F1 bij een dominant/recessieve overerving.

Volgens de 1ste wet van Mendel zou bij een enkelvoudig dominante eigenschap fokzuiver behaard x fokzuiver onbehaard de F1 100% onbehaard moeten zijn. Dat bleek niet zo te zijn. In de F2 bleek de verhouding zelfs 2 : 1 te zijn.

Hier is sprake van een **letale** factor. Letaal wil zeggen niet levensvatbaar en dat is hier het geval: de pups met deze factor worden **niet** geboren. De naaktfactor heeft de letter H (dus dominant), en de factor die volledige beharing geeft is recessief, dus h.

	H	h
H	†	Hh
h	Hh	hh

Met andere woorden: de pup die HH heeft wordt niet geboren. Hij is (naar alle waarschijnlijkheid) overleden in de baarmoeder in het vroegste stadium van de dracht. Dit wordt een letale factor genoemd.

Het gen H beïnvloedt al in een vroeg stadium van de dracht de ontwikkeling van huid en beharing, maar ook de vorming van het gebit op een nadelige manier. Bij de naakthonden hebben de heterozygoten (dus de naakten) dan ook vaak een incompleet gebit.

## ONGEWENST?

Door het creëren van rassen gaan genen verloren. Immers door op het één te selecteren, raakt het ander weg. Daarmee worden in principe ook meer kansen op problemen gecreëerd. Stel dat die problemen veroorzaakt worden door een recessief gen, of meerdere recessieve genen. Als het aantal verschillende genen vermindert dan wordt de kans dat die recessieve genen elkaar ontmoeten steeds groter. Daarmee groeit de kans op de uiting van problemen.

Bij het creëren van rassen worden gewenste eigenschappen vastgelegd door het zoveel mogelijk homozygoot maken van die eigenschappen. Daarbij worden soms ook ongewenste eigenschappen meegenomen. Het is dan nodig om die ongewenste eigenschappen weg te fokken.

Dat kunnen onschuldige eigenschappen zijn zoals vachtkleur, maar ook gezondheid beperkende eigenschappen. Voor de vraag "Welke eigenschap is het gemakkelijkst weg te fokken? Een dominante eigenschap of een recessieve?" maakt het in de genetica niet uit of het gaat om een onschuldige, of om een gezondheid beperkende eigenschap. Het principe is hetzelfde.

Als voorbeeld wordt weer de zwarte en de bruine vachtkleur genomen.

Bekend is dat zwart dominant is en de letter B heeft en bruin recessief en de letter b.

Binnen een ras zijn de volgende genotypen mogelijk: BB, Bb en bb.

Stel dat binnen een ras slechts één kleur geaccepteerd is: zwart. BB en Bb zijn de zwarte honden, maar het is niet zichtbaar welke van die zwarte honden homozygoot is. Als de bruine kleur uitgebannen moet worden in het ras, wordt het dan moeilijk om aan te geven welke hond wel of niet gebruikt kan worden. De enige kleur waarvan zeker is dat die homozygoot is, is natuurlijk de bruine kleur (bb).

Maar als de zwarte kleur uitgebannen moet worden gaat dat heel makkelijk. Zwart laat zich altijd zien. Door de zwarte honden niet meer voor de fok te gebruiken is het probleem in één generatie opgelost.

Het is dus de **dominante** eigenschap die het gemakkelijkst weg kunt fokken is.

De

dominante eigenschap is altijd zichtbaar (of het nu homo- of heterozygoot zwart is) en van de recessieven is bekend dat ze altijd homozygoot zijn, dus fokzuiver. Zwart is in dit voorbeeld dus het makkelijkst weg te fokken.

## GESLACHTSgebonden

Geslachtsgebonden eigenschappen zijn eigenschappen waarvan de genen te vinden zijn op de geslachtschromosomen en wel in het bijzonder op het X-chromosoom. Voorbeelden hiervan die bij mensen voorkomen zijn kleurenblindheid en hemofilie (= bloederziekte).

Hemofilie komt ook bij de hond voor, maar het is niet bekend of honden ook kleurenblind kunnen zijn.

Deze eigenschappen gedragen zich recessief ten opzichte van het normale zicht of de normale bloedstolling.

Zoals al vermeld is zijn de vrouwelijke geslachtschromosomen XX en de mannelijke XY.

Het Y-chromosoom is genetisch praktisch leeg. Er liggen alleen de genen voor de aanleg van de mannelijke geslachtsorganen op. Dit betekent dat alleen het X-chromosoom de geslachtsgebonden eigenschappen kan doorgeven.

Bij bijvoorbeeld hemofilie, een ziekte die op het X-chromosoom zit, is te zien dat:

- XX een gezonde teef is zonder problematische genen op een X-chromosoom.
- Xx een teef is die draagster is van een ziek gen, dat bijvoorbeeld hemofilie veroorzaakt.
- xx een zieke teef is (wat bij hemofilie bijna niet voorkomt).
- XY een gezonde reu is.
- xY een zieke reu is.

Als twee gezonde dieren gekruist worden dan komen daar alleen gezonde dieren uit. XY maal XX geeft alleen XX en XY.

Wanneer twee ogenschijnlijk gezonde dieren gekruist worden, waarbij de teef draagster blijkt te zijn dan ontstaat:



<b>Teef ▶</b> <b>▼ Reu</b>	<b>X</b>	<b>x</b>
<b>X</b>	<b>XX</b>	<b>xX</b>
<b>Y</b>	<b>XY</b>	<b>xY</b>

Met andere woorden: uit zo'n combinatie is er 25% kans op een bloederzieke reu (xY) en 25% kans op wederom een draagster (Xx) van het ongewenste gen. 50% van de nakomelingen zijn echter volledig gezond.

Het is hoogst ongebruikelijk dat een teef bloederziekte heeft, maar het kan wel.

Er bestaan ernstige vormen van bloederziekte, die zich bij bijvoorbeeld het wisselen van de tanden al uiten. Maar er bestaan ook minder ernstige vormen die zich niet zo duidelijk uiten en pas aan het licht komen als een dergelijk dier ouder is. Zo'n reu kan dan al in de fokkerij zijn ingezet. In schema ziet het kruisen met zo'n bloederzieke reu er als volgt uit:

<b>Teef ▶</b> <b>▼ Reu</b>	<b>X</b>	<b>x</b>
<b>x</b>	<b>Xx</b>	<b>xx</b>
<b>Y</b>	<b>XY</b>	<b>xY</b>

Er is dus 25% kans op een draagster, 25% kans op een gezonde reu, 25% kans op een zieke teef en 25% kans op een zieke reu. De enige manier waarop teven deze ziekte dus kunnen krijgen is door het gebruik van een lijder.

Het gebruik van een zieke teef zal niet gauw voorkomen. Een zieke teef overleeft vaak de eerste loopsheid niet, of anders zal ze, als bij de loopsheid de ziekte naar voren is gekomen, niet meer gebruikt worden om mee te fokken.

Een combinatie van een lijder (zieke reu) met een gezonde, vrije teef zal alleen maar gezonde honden voortbrengen, maar dan zijn wel alle teven uit deze combinatie draagster.

Bij de geslachtsgebonden eigenschappen kan een reu dus nooit drager zijn. Hij is, als hij het ziekmakende gen draagt, altijd lijder. Dat komt doordat hij er geen ander, gezond gen tegenover heeft staan: hij heeft maar één X chromosoom.

## GESLACHTSBEPERKT

Iets heel anders zijn de geslachtsbepaalde eigenschappen. Dat zijn eigenschappen waarvan de genen op de autosomale (dus niet-geslachts-) chromosomen liggen, maar die alleen kunnen voorkomen bij een bepaald geslacht. Denk aan melkgift of cryptorchisme.

De reu en de teef kunnen dus beide die eigenschappen doorgeven, maar het komt alleen tot uiting bij het geslacht dat daarvoor de aanleg heeft.

## POPULATIEGENETICA

Tot dusver werd voornamelijk de genetica van het individu behandeld. Maar er is, zeker voor fokkers, nog een heel belangrijk onderdeel: de populatiegenetica. Als het gaat over rashonden, wordt gesproken over een rassenpopulatie. Daarmee worden alle honden binnen dat ras bedoeld die zich met elkaar zouden kunnen voortplanten. Omdat deze honden zich alleen met het eigen ras (mogen) voortplanten, wordt dit een gesloten populatie genoemd. Een gesloten populatie kent logischerwijze veel beperkingen.

Populatiegenetica gaat over de problemen die door de gesloten populaties kunnen ontstaan, en leert hoe daar mee om te gaan.

Voor een fokker is het belangrijk om te begrijpen welke combinaties gemaakt kunnen worden, en waarom de keuze voor de ene of de andere reu wel of niet verantwoord of verstandig is. Daar kan populatiegenetica bij helpen.

Een belangrijke wetmatigheid in de populatiegenetica is de wet van Hardy-Weinberg. Deze wet is genoemd naar de Brit Hardy en de Duitser Weinberg, die in 1908 onafhankelijk van elkaar dit principe ontdekten. Deze wet leert dat bij stabiele populaties de genensamenstelling over opeenvolgende generaties constant blijft.

Er zijn wel wat voorwaarden aan deze wet verbonden, namelijk:

- er is "random mating", dat wil zeggen dat elke hond het doet met elke andere hond. Er is dus geen geselecteerde partnerkeuze
- Er zijn geen mutaties
- De populatie is oneindig
- Er is geen migratie

Dit is natuurlijk puur theoretisch. In de praktijk is het nooit haalbaar, omdat er altijd selectie, mutatie en migratie is. Deze wet kan misschien in de natuur gelden, maar nooit in gecontroleerde fokkerij.

Voor de populatie van een bepaald ras geldt die onmogelijkheid nog sterker, want de populatie is zeer beperkt (tot het ras) en de fokker selecteert de partner van de teef.

Dat betekent dat bij de populaties van rashonden de geneeigenschappen absoluut niet gelijk blijven. Door selectie gebeurt het omgekeerde: er verdwijnen genen, en andere genen komen steeds meer voor.



Elk individu draagt een aantal genen voor afwijkingen bij zich. Omdat het meestal enkelvoudig recessieve afwijkingen zijn (ze zitten dus op één gen) heeft diegene nergens last van. Dat individu wordt "drager" van die afwijking genoemd.

Het gaat pas fout als daar hetzelfde afwijkende gen bijkomt. Als de fokpartner ook drager van datzelfde afwijkende gen is kunnen die twee genen bij nakomelingen samen komen. Dan ontstaat een individu dat homozygoot voor de afwijking is.

Dit heet een "lijder". Bij de lijder is de afwijking te zien. De hond is ziek. Als in een populatie steeds minder variëteit in genen is, wordt het risico dat de afwijkende genen samenkomen steeds groter. Een vermindering in genetische variëteit leidt daardoor tot steeds meer erfelijke afwijkingen en ziektes. Daarom is het zo belangrijk dat de inteelt in een ras zo laag mogelijk wordt gehouden wordt.

Geen enkele fokker wil natuurlijk erfelijke afwijkingen. Daarom is het van groot belang om andere keuzes te maken bij het zoeken naar een goede fokpartner voor de teef.

Als er rashonden worden gefokt is het vaak de bedoeling om een eigenschap fokzuiver te fokken, dus homozygoot. Maar dat geldt natuurlijk niet als het gaat om een gezondheidsprobleem. Dan is het juist de bedoeling dat die eigenschap niet zichtbaar wordt, of liever nog, dat die er helemaal niet is. Helaas hebben alle rashondenpopulaties ziektes. In de natuur selecteren problemen zich vaak vanzelf uit: de zieke dieren gaan dood en komen zo niet in de fokpopulatie terecht. Maar bij rashonden gaat dat niet op, omdat niet de natuur, maar de mens bepaalt welke hond gekruist wordt en met wie. Die methode heet dan ook kunstmatige selectie.

In een ideale populatie, zoals Hardy-Weinberg het beschreven, is er een eindeloze keuze aan fokpartners. Bij een rashondenpopulatie is dat heel anders: de keuze wordt enorm beperkt omdat fokkers alleen een fokpartner binnen hun eigen ras kiezen. Een ideale populatie heeft tenminste 1000 onverwante fokdieren, maar ook dat is niet realistisch.

Bovendien worden in de rashondenfokkerij vaak steeds dezelfde dieren voor de fok gebruikt: fokkers gaan vaak massaal naar een reu die veel heeft gewonnen, een geweldige sporthond is, of een speciale kleur heeft. Daardoor ontstaat inteelt nog sneller. Aan de andere kant zijn er heel veel honden die nooit in de fok komen. Als zo'n hond problemen met de gezondheid of met het gedrag heeft is dat soms maar goed ook. Maar er zijn ook heel veel prima honden die nooit voor de fokkerij worden ingezet.

## INTEELT EN VERWANTSCHAP

Inteelt betekent dat er homozygotie ontstaat. Dat ontstaat doordat de allelen van een gen afkomstig zijn van een gemeenschappelijke voorouder in de stamboom van de vader en de moeder. Anders gezegd: doordat er gemeenschappelijke voorouders zijn, eindigen kopieën van hetzelfde gen in één en dezelfde nakomeling. Die homozygotie is op zich wat fokkers nastreven: daardoor gaan dieren op elkaar lijken. Ze krijgen een duidelijk rastype.

Maar te veel homozygotie is niet goed, want hoewel er gestreefd wordt naar eenheid in uiterlijk, is eenheid in zieke genen natuurlijk niet de bedoeling. Toch is dat automatisch het gevolg als er binnen een gesloten stamboek wordt gefokt.

De vraag is dus: hoe kan daar verstandig mee worden omgegaan?

### De verwantschapscoëfficiënt

De mate van verwantschap (= de verwantschapscoëfficiënt) tussen twee honden wordt bepaald door de hoeveelheid allelen die gemeenschappelijk is in die twee honden, doordat ze van dezelfde voorouders afstammen. De verwantschapscoëfficiënt tussen een reu en zijn dochter is 0,5 omdat de dochter de helft van de allelen van de reu heeft (en natuurlijk de andere helft van de moeder).

De verwantschapscoëfficiënt tussen een grootmoeder en kleindochter is 0,25. De verwantschapscoëfficiënt tussen volle broers en volle zussen is gelijk aan 0,5. Volle broers en zussen krijgen van elke ouder 50% van de allelen (maar niet precies dezelfde helft!) en daardoor hebben ze gemiddeld dus voor 50% dezelfde allelen.

Een verwantschapscoëfficiënt is te berekenen tussen twee honden, maar ook bijvoorbeeld tussen een hond en het gemiddelde van de hele populatie.

## De inteeltcoëfficiënt

De mate van inteelt (= de inteeltcoëfficiënt) is alleen te berekenen voor een individuele hond. Vaak wordt die inteeltcoëfficiënt in de fokkerij voor een combinatie van een reu en teef uitgerekend. Het getal dat zo wordt berekend gaat over de denkbeeldige pups uit die combinatie.

Inteeltcoëfficiënt is een kansberekening. Die berekening geeft aan hoe groot het risico is dat de hond van een en dezelfde voorouder hetzelfde gen krijgt, omdat die voorouder bij beide ouders in de stamboom voorkomt.

Inteeltcoëfficiënt wordt berekend over meerdere generaties. Als voorouders dus vaker voorkomen zal het IC-getal (of in het Engels: het COI-getal) snel stijgen.

Als broer en zuster gekruist worden is de inteeltcoëfficiënt daarvan 0,25.

De verwantschapscoëfficiënt tussen een volle broer en zus is 0,5.



*Om de inteeltcoëfficiënt te kunnen berekenen is er een formule beschikbaar:*

$$F_x = \sum (0,5)^n (1 + F_a)$$

*F<sub>x</sub> = De inteeltcoëfficiënt van de hond.*

*∑ = Som voor alle verwantschapspaden met een gemeenschappelijke voorouder voor vader en moeder.*

*F<sub>a</sub> = De inteeltcoëfficiënt van een gemeenschappelijk voorouder*

*n = Het aantal individuen in elk verwantschapspad in een stamboom die geteld worden vanaf de vader en vanaf de moeder tussen een gemeenschappelijke voorouder bij de vader en dezelfde gemeenschappelijke voorouder bij de moeder.*

## Inteelt is niet erfelijk!

Als een dier met een hoge inteeltcoëfficiënt gekruist wordt met een totaal onverwant dier, van bijvoorbeeld een ander ras, dan is de inteeltcoëfficiënt van hun nakomelingen 0. Een fokker hoeft daarom niet terug te schrikken voor een mogelijke dekpartner met een hoog IC.

Als het een niet-verwante, gezonde hond is, zou hij weleens een heel goede inbreng kunnen hebben. Gelukkig is er tegenwoordig uitstekende software beschikbaar om dit uit te rekenen.

## SAMENGEVAT

Het is belangrijk dat fokkers zich goed realiseren wat inteelt nu eigenlijk is en welk risico het heeft. Bij stijgende inteelt is het risico op ziektes hoger. Selectie zal niet altijd uitkomst bieden.

Al kunnen ziektes worden weg geselecteerd, vaak steken weer nieuwe aandoeningen de kop op. Als er weinig variatie in genen overblijft, wordt de kans groot dat recessieve genen elkaar tegenkomen. Het is daarom belangrijk te beseffen dat aandoeningen in populaties horen.

Dat is ook niet erg als die aandoeningen zich niet kunnen uiten. Waar het om gaat is dat er zoveel genetische variatie blijft dat de kans klein is dat dieren er ook werkelijk ziek van worden.

**RAAD VAN BEHEER**  
HOUDEN VAN HONDEN

### COLOFON

Marjoleine Rosendaal  
Carla Dusseldorp

Vormgeving: Pauline van der Lans-Zaalberg

Cartoons - Wim Stevenhagen  
Illustraties- Jan Coppens

Foto's: © Raad van Beheer op Kynologisch Gebied

©Copyright afbeeldingen: Raad van Beheer op Kynologisch Gebied in Nederland, privé-archief

© Raad van Beheer op Kynologisch Gebied in Nederland

© Copyright: Raad van Beheer op Kynologisch Gebied in Nederland. Alle rechten voorbehouden. Het is ten strengste verboden om zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Raad van Beheer op Kynologisch Gebied dit voorgaande materiaal, te kopiëren, opnieuw te verspreiden, te publiceren of te wijzigen.

