

## 14. CHROMOMEN IN TOUW

### *erfelijkheid met kralen en touwtjes*

Het chromosoommodel dat hier wordt beschreven kost enige tijd om te maken, maar kan vervolgens jarenlang in verschillende lessen en leerjaren gebruikt worden. De eerste keer dat je leerlingen met het model laat werken kun je gebruik maken van de practicuminstructies hieronder. In vervollessen, over verschillende typen kruisingen, kan het model naar behoefte ter ondersteuning gebruikt worden. Dit uitbeeldpracticum is ontwikkeld door Caspar Geraedts (VU Lerarenacademie, Amsterdam).

---

duur	één lesuur (50 minuten), incl. voor- en nabespreking, voor de introductie van het model; in vervollessen over verschillende typen kruisingen kan het model ter ondersteuning gebruikt worden
doelgroep	derde klas havo/vwo, bovenbouw vmbo/havo/vwo
doelen	<p>Leerlingen kunnen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• uitleggen wat bedoeld wordt met de begrippen gen, allel, dominant, recessief, homozygoot, heterozygoot, chromosoom, chromosomenpaar, autosoom, en geslachtschromosoom;</li> <li>• kruisingsvraagstukken oplossen, waaronder monohybride kruisingen, dihybride kruisingen (bij onafhankelijke en gekoppelde overerving), X-chromosomale overerving, en multiële allelen.</li> </ul>
nodig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• chromosoommodel, gemaakt van touwtjes en kralen (zie verderop)</li> </ul>



#### voorbereiding (eenmalig)

1. Maak van vijf verschillende kleuren koord (meubel- of jassenkoord<sup>1</sup>) en grote houten kralen een chromosoommodel. De kralen zelf hoeven niet perse gekleurd te zijn. Per set heb je 10 koordjes en 12 kralen nodig. Het is prettig om in totaal zo'n 10 tot 15 sets te hebben om leerlingen in tweetallen (of kleine groepjes) te kunnen laten werken.
2. Knip de koordjes in verschillende lengtes (per kleur moet de lengte natuurlijk wel steeds hetzelfde zijn). Schuif om elk koordje één kraal (en bij één kleur koord nog een tweede kraal, voor gekoppelde overerving). Leg in beide uiteinden van het koordje een knoop.
3. Schrijf de letters van de allelen op de kralen. Gebruik de legenda (zie bijlage) als voorbeeld; maar naar eigen inzicht kleuren, genen en eigenschappen kiezen is natuurlijk ook een optie.
4. Verzamel de sets (10 touwtjes die de chromosomen van één diploïde cel voorstellen) in gripzakjes (zip-lock bags) of plastic potjes.

#### voorbereiding (per keer)

1. Print voor elke leerling de legenda, het blad 'nakomelingen produceren' en het overzicht met verschillende soorten kruisingen.
2. Maak daarnaast een aantal afdrukken van het kruisingsschema met cellen (op A3-papier).

#### uitvoering

##### *het model verkennen*

1. Geef leerlingen per tweetal een set touwtjes. Deel ook de legenda en het blad 'nakomelingen produceren' uit.
2. Laat leerlingen de eerste keer dat ze met het model werken het model bestuderen. Wat stellen de touwtjes voor? En wat de kralen? Wat valt verder op (van elke kleur touwtjes zijn er twee, van één kleur hebben de chromosomen niet zelfde lengte)? Herhaal eventueel de begrippen diploïd, haploïd, autosoom en geslachtschromosoom.
3. Bespreek hier eventueel ook wat er niet aan het model klopt (zie (na)denkwerk).
4. Vraag de leerlingen of ze aan de hand van het model kunnen uitleggen wat het verschil is tussen een gen en een allel.
5. Laat de leerlingen – met behulp van de legenda – op basis van hun eigen genotype uitzoeken welk fenotype ze hebben. Dat noteren ze op het blad 'nakomelingen produceren'.

---





<sup>1</sup> Zie bijvoorbeeld: [www.furnituren4fun.eu](http://www.furnituren4fun.eu).

*geslachtscellen maken en nakomelingen produceren*

6. Laat de leerlingen nu een partner kiezen (dus een tweetal met een genotype van het andere geslacht), en het fenotype en eventueel het genotype van deze partner opschrijven.
7. Leerlingen gaan nu samen met deze partner een aantal nakomelingen produceren. Ze vormen eerst geslachtscellen door (willekeurig!) van elke kleur één touwtje te kiezen.
8. De mannelijke geslachtscel wordt dan aan de vrouwelijke toegevoegd, dat is de bevruchting.
9. Vervolgens worden het fenotype en het genotype van de nakomeling genoteerd.
10. Voor de volgende nakomelingen worden stap 7, 8 en 9 herhaald.

*Kansen bij monohybride kruisingen (kan natuurlijk ook een volgende les)*

11. Bespreek vervolgens met de leerlingen of een nakomeling alle eigenschappen kan hebben (nee, dat is natuurlijk afhankelijk van de genotypen van de ouders), én of de kans op verschillende mogelijke eigenschappen even groot is (nee, de kans op homozygoot recessieve individuen is vaak kleiner).
12. Vraag of iemand een voorbeeld kan geven (uit de simulatie) van een kruising waarbij beide ouders heterozygoot zijn. Vraag de leerlingen wat in zo'n geval de kans is op een homozygoot dominant, een heterozygoot en een homozygoot recessief individu.
13. Gebruik nu het chromosoommodel om de koppeling te maken tussen enerzijds de meiose (en de vorming van de geslachtscellen) en anderzijds het berekenen van kansen bij het oplossen van kruisingsvraagstukken. Deel de kruisingsschema's uit (één per groepje). Laat leerlingen nu één genenpaar kiezen, en met hun touwtjes de bovenste rij en de linker kolom van het schema 'invullen'. Het schema kan nu (op een los blaadje of in een schrift) overgenomen worden, en de kans op de verschillende genotypen en fenotypen bij de nakomelingen worden berekend.
14. Laat de leerlingen hetzelfde nog eens doen voor een of twee andere genenparen.

		Welke chromosomen (en de daarop liggende genen) van de vader kunnen bij de meiose in een spermacel terecht komen?	
			
Welke chromosomen (en de daarop liggende genen) van de moeder kunnen bij de meiose in een eicel terecht komen?			
			

### (na)denkwerk

- Bespreek wat wel en niet aan het model klopt. In dit model lijken de genen/allelen op (of om) het chromosoom te liggen, en gemaakt te zijn van een ander materiaal; in werkelijkheid zijn genen/allelen natuurlijk delen van het DNA-molecuul waar het chromosoom zelf uit bestaat. Ook hebben chromosomen in werkelijkheid geen verschillende kleuren (wel verschillende lengtes).

### aanpassen/uitbreiden

- Bij het vormen van geslachtscellen en het uitbeelden van de bevruchting kun je leerlingen eventueel ook echt papieren geslachtscellen laten maken<sup>2</sup>. Tweetallen die (volgens het chromosoommodel) een jongen zijn, maken een spermacel door een papieren puntzak te vouwen, en een hier een strook papier (de staart) aan vast te nieten. Tweetallen die een meisje zijn krijgen een grote envelop die de eicel voorstelt. De vijf touwtjes die in de geslachtscel terechtkomen worden vervolgens in de puntzak of envelop gedaan. Tenslotte gooien de jongens hun spermacel naar de meisjes en vindt bevruchting plaats.
- In vervolglussen over verschillende typen kruisingen kan het chromosoommodel ter ondersteuning gebruikt worden, bijvoorbeeld bij ‘gewone’ monohybride kruisingen, dihybride kruisingen (bij onafhankelijke en gekoppelde overerving), X-chromosomale overerving, en multiële allelen.
- Hetzelfde model kan gebruikt worden voor uitbeeldpractica over mitose en meiose (zie practicum 17).

### bijlagen

- chromosomen in touw – legenda
- chromosomen in touw – nakomelingen produceren
- chromosomen in touw – overzicht kruisingen
- chromosomen in touw – kruisingsschema met cellen

---

<sup>2</sup> Naar een idee van Tomás de Schutter (voorheen Spinoza Lyceum, Amsterdam).