

45. HARDY-WEINBERG MET LEGO®

Werken met de regel/wet van Hardy-Weinberg is lastig vanwege de abstractie, en het steeds schakelen tussen de organisatieniveaus van allel, organisme en populatie. In deze simpele seks-simulatie blijkt de regel écht te kloppen! En als die niet klopt zijn er plausible verklaringen. Dit uitbeeldpracticum is ontwikkeld door Gee van Duin (Cartesius Lyceum, Amsterdam).

duur	50 minuten
doelgroep	bovenbouw vwo
doelen	<p>Leerlingen kunnen:</p> <ul style="list-style-type: none">• het verband tussen gene-pool (allelen) en populatie (individueen) toelichten;• de formules ($p + q = 1$ en $p^2 + 2pq + q^2 = 1$) kunnen koppelen aan situaties (respectievelijk allelen en individuen);• allelfrequenties berekenen uit genotypenfrequenties en omgekeerd;• vijf omstandigheden noemen waarin de wet van Hardy-Weinberg niet geldt.
voorkennis	gen, allel, homozygoot, heterozygoot, dominant, recessief
nodig	<ul style="list-style-type: none">• twee kleuren identieke, kleine Lego®-steentjes (formaat 2x1 of 2x2), twee keer zoveel als er leerlingen zijn en het liefst flink ongelijke aantallen van elke kleur (bijvoorbeeld in een verhouding 3 : 1)• eventueel PowerPoint (zie bijlage)



voorbereiding

1. Elk steentje stelt een exemplaar voor van hetzelfde gen; de kleuren geven de allelen weer, een dominante en een recessieve. Samen vormen de steentjes de *gene-pool* van een populatie.
2. Klik de steentjes in tweetallen op elkaar, waarbij de dominante *bovenop* zit bij de heterozygoten. Let op: het is slim om eerst even uit te rekenen wat met deze allelfrequenties het Hardy-Weinberg-evenwicht zou worden, en daar in de setjes van twee steentjes flink van af te wijken.
3. Zet de steentjes in een geordende serie op tafel, zodat de leerlingen er makkelijk omheen kunnen komen staan.

uitvoering

1. Na een introductie vraag je de leerlingen rond de tafel met de klaargezette sets. Licht toe dat elke set van twee steentjes op elkaar een genenpaar is van een individu, soms met twee dezelfde allelen, soms met twee verschillende.
2. Dan zijn er twee vragen aan de groep: (a.) welke allelen zijn er en hoeveel? (bijvoorbeeld geel en blauw), en (b.) welke genotypen en welke fenotypes zijn er? (hier moet duidelijk worden dat bij twee verschillende kleuren de bovenste dominant is; deze vraag is de aanleiding om de begrippen homozygoot dominant, homozygoot recessief en heterozygoot te herhalen).
3. Laat nu een leerling de aantallen allelen per genotype op het bord schrijven (voor een groep van 20 leerlingen zijn dat bijvoorbeeld 13 geel-geel, 4 geel-blauw en 3 blauw-blauw).
4. Haal nu alle setjes los en rommel de steentjes door elkaar. Je ziet nu met de bril van de populatiebioloog die in dit geval alleen maar kijkt naar de aantallen allelen in de populatie: de gene-pool. In dit voorbeeldgeval zijn er 40 allelen: 30 daarvan geel en 10 blauw. De frequentie is dus 75% geel en 25% blauw of 0,75 geel en 0,25 blauw.
5. Nu moet, voor start van de simulatie, de oorspronkelijke verdeling van genotypen weer worden hersteld – nu kijk je dus naar individuen. Ook daarvan nu de frequentie (laten) berekenen en op het bord zetten.
6. Leg uit dat iedere leerling zo'n setje van twee Lego®-genen krijgt en benadruk dat je even mag kijken en onthouden wat je hebt, maar dat anderen jouw allelen niet mogen zien (“In het echt zie je ook niet iemands allelen!”).
7. Als ieder een setje heeft, moeten ze volop met elkaar gaan paren. Paren betekent (zonder dat je het zelf ziet) één steentje ruilen met de partner van dat moment. Dat is dus de uitwisseling van genen.
8. Als er genoeg gepaard is moeten alle setjes van dat moment op tafel komen en weer geordend worden. Aantallen genotypen en frequenties komen weer op het bord/scherm in een nieuwe regel. Is daar iets in veranderd (meestal wel...)?
9. Verbreek tenslotte alle setjes en tel hoeveel steentjes er zijn van elke kleur. Dat is natuurlijk onveranderd, want er zijn geen steentjes uit het spel gegaan.
10. Nu moeten leerlingen met de formule $p^2 + 2pq + q^2$ uitrekenen wat je op basis van de allelfrequenties voor individufrequenties zou verwachten. In principe zou je een verschuiving in de richting van de theoretische verdeling moeten krijgen. Bij flink lang paren gaat dat meestal wel goed. Als het niet goed gaat is er altijd nog de ontsnapping via: “Zie je wel, de populatie is kennelijk te klein...”. Rekenvoorbeeld: bij 20 leerlingen en 30 gele en 10 blauwe blokjes is $p = 0,75$ en $q = 0,25$. Theoretisch wordt het dan:
 - $p^2 = 0,5625 \rightarrow 11,25$ individuen (was 13)
 - $2pq = 0,375 \rightarrow 7,5$ individuen (was 4)
 - $q^2 = 0,0625 \rightarrow 1,25$ individuen (was 3)
 Door de decimalen heb je speelruimte: de 11,25 wordt goed gevonden als het 11 of 12 is enzovoorts.
11. Ten slotte moet je nog de toepassingsbeperkingen van de wet van Hardy-Weinberg bespreken – zie ook het (na)denkwerk hieronder.

(na)denkwerk

- Wat als iemand te laat zou zijn gekomen: mag hij/zij nog meedoen? (Nee, geen *immigratie*)
- Wat als iemand eruit wordt gestuurd? (Nee, geen *emigratie*)
- Hoe kun je hiermee bottleneck-effect simuleren? (Bijvoorbeeld: alleen de alfabetisch eerste drie blijven over door een ramp – wat is dan de allelfrequentie?)
- Hoe kun je mutaties simuleren? (Gele vervangen door blauwe - of groene, witte, rode!)
- Hoe kun je selectieve partnerkeuze bevorderen? (Door de dominante kleuren te laten zien)
- Wat zijn de biologische onjuistheden? (Bijvoorbeeld: het paren is wat merkwaardig omdat je je eigen nakomeling bent)

uitbreiding

- Je kunt dit practicum ook toepassen met drie allelen zoals bij de ABo-bloedgroepen. Met drie allelen wordt de formule: $p^2 + 2pq + q^2 + 2pr + 2qr + r^2 = 1.0$.
- Een realistischer (oefen)context is het werkblad over tongrollen dat als bijlage is toegevoegd (met de antwoorden daar weer achteraan).

bijlage

- werkblad met oefencontext
- PowerPoint