

A photograph of two young women in a laboratory setting, overlaid with a light blue tint. The woman on the left is using a pipette to transfer liquid into a multi-well plate. The woman on the right is smiling and looking at the work. Various lab equipment like a tray and a rack are visible on the table.

# GENETICA IN BEWEGING

De moeite waard om te leren

**Marijke Domis-Hoos  
Mieke Kapteijn  
Dirk Jan Boerwinkel**

---

# GENETICA IN BEWEGING

De moeite waard om te leren

**Marijke Domis-Hoos**  
**Mieke Kapteijn**  
**Dirk Jan Boerwinkel**

met bijdragen van Maarten Foeken

**NVON** **REEKS 9**

**Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen (NVON)**  
**Utrecht, Nederland 2012**

## Ontwerp en vormgeving omslag en binnenwerk

Tim Jacobs, Identim, [www.identim.nl](http://www.identim.nl)

## Foto omslag

Gerard Stout, [stout@nhl.nl](mailto:stout@nhl.nl)

## Conceptcartoons

Horst Wolter, [drawnbyhorst@gmail.com](mailto:drawnbyhorst@gmail.com)

## Druk

Euradius, Meppel

ISBN/EAN: 978-90-8797-008-6

## Bestelwijze

U kunt het boek bestellen via [ledenservice@nvon.nl](mailto:ledenservice@nvon.nl) onder vermelding van artikelnummer 72.

## NVON-secretariaat

[secretariaat@nvon.nl](mailto:secretariaat@nvon.nl)

© 2012 NVON

**Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen**

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden overgenomen, gekopieerd, gedigitaliseerd, elektronisch worden doorgegeven of op welke wijze dan ook vermenigvuldigd zonder schriftelijke toestemming van de NVON.

---

## Inhoud

Ten geleide	5	
Voorwoord	6	
Dankwoord	7	
Leeswijzer	8	
<b>1</b>	<b>Het ontstaan van genetica als natuurwetenschap</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Wat moeten leerlingen van genetica weten?</b>	<b>17</b>
2.1	Genetica in de syllabi voor vmbo-gt, havo en vwo	19
2.2	Frequentie van geneticavragen in examens	20
2.3	De verdeling van vragen over verschillende begrippen	21
2.4	De frequentie en het type niet-tekstuele informatie	22
2.5	Contexten	24
2.6	Conceptsyllabus 2015 (havo) en 2016 (vwo)	25
<b>3</b>	<b>Leermoeilijkheden</b>	<b>27</b>
3.1	Intuïtieve ideeën, preconcepten, misconcepten	29
3.2	Abstracte begrippen en formeel redeneren	32
3.3	Complexiteit, systeemdenken en véél taal	34
3.4	Het oplossen van vaak complexe problemen	37
Intermezzo:	Epigenetica	38
<b>4</b>	<b>Hoe spoor je leermoeilijkheden op?</b>	<b>43</b>
4.1	Preconcepten en opvattingen opsporen	44
4.2	Alternatieve concepten in de klas bespreken: conceptcartoons	46
4.3	Diagnostisch toetsen van redeneervaardigheden	48
Intermezzo:	Biotechnologie	50
<b>5</b>	<b>Modellen van chromosomen en DNA</b>	<b>57</b>
5.1	Mitose en meiose '(uit)leggen'	58
5.2	DNA-model van blikjes en plastic flessen	60
5.3	DNA in tweedimensionale afbeeldingen in schoolboeken	62
5.4	DNA-replicatie met Lego	63
5.5	Eiwitsynthese: drama met Lego	65
5.6	DNA-replicatie, -transcriptie en -translatie: DNA stickers	66
Intermezzo:	De impact van het X- en het Y-chromosoom	68

---

<b>6</b>	<b>Mendelgenetica</b>	<b>73</b>
6.1	De familie Reebop, spekkeestjes of spekkeestbeesten	74
6.2	De familie Reebop in de onderbouw	75
6.3	Een alternatieve 'in vitro fertilisatie'	77
6.4	Organisatieniveaus: jojoën met genetica	79
6.5	Kunnen meisjes ook kleurenblind worden?	81
6.6	Kruisingsvraagstukken	83
Intermezzo: <b>Forensisch onderzoek</b>		88
<b>7</b>	<b>Populatiegenetica 1</b>	<b>93</b>
7.1	Hardy-Weinberg met Lego	95
7.2	Wat is een genenpool en hoe kan die veranderen?	96
7.3	Hardy-Weinberg met een school rietvissen	98
7.4	Genetic drift met stochastische rammelaars	100
Intermezzo: <b>Genetisch screenen en diagnostisch testen</b>		102
<b>8</b>	<b>Populatiegenetica 2</b>	<b>111</b>
8.1	Rekenvoorbeelden	112
8.2	Opgaven populatiegenetica	120
Intermezzo: <b>Plantenveredeling</b>		124
<b>9</b>	<b>Genetica in contexten</b>	<b>129</b>
9.1	Jij en je genen	130
9.2	Plantenveredeling: op zoek naar bloemen met speciale kleuren	132
9.3	Tastbare erfelijkheid met Petunia's	134
9.4	Slaveredeling in de praktijk	136
9.5	Kaapse viooltjes	137
9.6	Fokkerij: Labrador Retrievers, een ras apart	138
Intermezzo: <b>Fokkerij</b>		140
<b>10</b>	<b>Het genoombeeld in ontwikkeling</b>	<b>145</b>
10.1	Het genoom is meer dan de som der genen	146
10.2	Relaties tussen gen, eigenschap en omgeving	150
10.3	Genomen kennen geen grenzen	155
<b>Groene genetica en Rijk Zwaan</b>		<b>158</b>
<b>Literatuur</b>		<b>159</b>
<b>Bronnen van illustraties</b>		<b>163</b>
<b>Over de auteurs</b>		<b>164</b>
<b>Register</b>		<b>165</b>

---

---

## Ten geleide

### Genetica was, is en zal belangrijk blijven

Als bioloog, afgestudeerd in Utrecht en gepromoveerd in Wageningen, werkzaam geweest op het International Rice Research Institute IRRI in de Filippijnen, durf ik dat met 100% overtuiging te zeggen: genetica is daadwerkelijk *science for impact*, wetenschap die er toe doet.

De VN voorspellen dat de wereldbevolking groeit tot 9 miljard in 2050. Een enorme toename en de Life Sciences zullen met antwoorden moeten komen voor het vraagstuk: *How to feed our world*. De wereldbevolking voeden kan onder andere door toepassingen van de genetische wetenschap in de wereld van plant en dier. Op dit terrein bestaan er al jarenlang kruisbestuivingen tussen Wageningen University en de werelden van planten en dieren. Nederland is beroemd om zijn kennis en prestaties op het gebied van de plantenveredeling en veefokkerij.

Het boek u nu in uw handen heeft, *Genetica in beweging*, is een heel concreet bewijs van de vruchtbare samenwerking in de 'Gouden driehoek', de samenwerking tussen bedrijfsleven, onderwijs en onderzoek.

Wageningen UR wil in 2020 in het domein *Gezonde Voeding en Leefomgeving* hét kennisinstituut in Europa zijn en wereldwijd tot de top behoren. Wageningen UR opereert met haar onderzoek en onderwijs in de kern van het maatschappelijke speelveld en vindt het heel belangrijk dat haar kennis in de praktijk wordt gebruikt. *Science for Impact* is niet voor niets de titel van de jubileumuitgave ter gelegenheid van het 90-jarig bestaan van Wageningen University.

Biologie is overal aanwezig in ons domein *Gezonde Voeding en Leefomgeving*. Onze thema's zijn: duurzame voedselproductie, voeding en gezondheid, water en klimaat, *biobased economy*, diergezondheid, dierenwelzijn, natuur en biodiversiteit. Onze unieke 'Wageningen aanpak' kenmerkt zich daarnaast door het verbinden van kennis op verschillende schaalniveaus, alsook de interacties daartussen: aan de ene kant van gen en cel tot plant, dier en ecosysteem, aan de andere kant van individu tot huishouden, samenleving en internationale gemeenschappen.

Het is dan ook met trots en genoegen dat Wageningen University haar bijdrage mag leveren aan het tot stand komen van dit boek in een samenwerkingsverband van onderwijs (NVON), wetenschap (uit Wageningen Rolf Hoekstra en Hans de Jong) en bedrijfsleven (Rijk Zwaan).

Ik wens u en uw leerlingen veel plezier, en meer nog inzicht in en enthousiasme voor het domein genetica in uw lessen en daarna.

Martin J. Kropff

Rector Magnificus, Wageningen UR

---

## Voorwoord

Natuurwetenschappen ontwikkelen zich tegenwoordig in hoog tempo. Dagelijks brengen de media ons nieuwe technologieën, fascinerende resultaten en grote doorbraken op het gebied van natuurkunde, scheikunde, geneeskunde en biologie. We zuchten onder de overdaad aan nieuwe informatie die op ons af komt. Voor een docent is het dan een grote uitdaging om op de hoogte te blijven van de meest interessante zaken die wij onze leerlingen willen vertellen.

Laat ik beginnen met een paar algemene problemen die leerlingen kunnen hebben met genetica. Het vak lijkt ouderwets; van de wetten van Mendel (circa 1865), die de grondslag vormen van het vakgebied hebben niet veel leerlingen gehoord. Begrippen als genen, allelen en meiose spreken slechts weinigen aan. Daarnaast vindt men genetica een lastig puzzelvak. Het is waar dat genetica een speciale manier van denken vereist. Je kijkt naar het fenotype, moet kritisch nadenken over de overerving van waargenomen eigenschappen; moet een model bedenken over de genetische basis, dat toetsen, liefst met behulp van statistische methoden, en vervolgens nieuwe experimenten bedenken waaraan je eerdere hypothesen kunt toetsen. In plaats daarvan kijken leerlingen liever naar het concept van DNA – RNA – eiwit; dat is duidelijker en concreter in een experiment te duiden. Juist door die moleculaire benadering lijkt genetica zijn unieke gezicht te hebben verloren. Immers de meeste levende organismen hebben DNA als drager van erfelijke informatie, sommigen alleen RNA, al dan niet in complexe verbinding met speciale eiwitten. Genen kunnen zich laten vertalen als een stukje DNA of RNA. Daarmee lijkt de unieke benadering van de genetica als gespecialiseerde discipline in de biologie te vervagen. Maar genetica is veel meer dan DNA. Het bestudeert vooral de overerving en recombinatie van eigenschappen, ook als die niet direct in het concept van DNA, transcriptie en translatie vallen. De genetica, soms beter beschreven als erfelijkheidsleer, kijkt ook naar kwantitatieve eigenschappen, zoals groeisnelheid en gevoeligheid voor ziekte, en naar de mate waarin omgeving en celstructuur het fenotype beïnvloeden. Het vakgebied kijkt ook naar de verhouding van erfelijke eigenschappen in families en hele populaties, en de rol van genetische veranderingen in evolutionaire processen.

De wetenschappelijke ontwikkelingen in de genetica van de laatste 10 jaar worden door vele genetici beschouwd als grensverleggend voor hun eigen vakgebied en voor de hele biologie.

Dit boek besteedt ook aandacht aan deze recente wetenschappelijke ontwikkelingen.

Met deze woorden hoop ik een bescheiden bijdrage te hebben geleverd aan dit geneticaboek. Ik wens u veel plezier bij het lezen ervan en hoop dat u veel informatie erin vindt die u in uw lessen kunt gebruiken.

Hans de Jong

Hoogleraar Cytogenetica, Wageningen University  
Voorzitter van de Stichting Nationale Biologie Olympiade

---

## Dankwoord

Negen jaar geleden nam Alfred Schermer het initiatief om een boek te maken over de didactiek van de genetica. Hij vroeg Marie-Christine Knippels, toen pas gepromoveerd op dit onderwerp, als eerste om mee te werken aan dit boek om de leerbaarheid van genetica vergroten. Toen besloten werd tot verschijning in de NVON-reeks maakten in 2008 Marijke Domis-Hoos en Mieke Kapteijn de definitieve doorstart.

In aansluiting op de adviezen van de Commissie Vernieuwing Biologie Onderwijs (CVBO) voegden we intermezzo's in met contexten waarin genetica een belangrijke rol speelt. Dirk Jan Boerwinkel leverde bijdragen vanuit zijn onderzoek over hoe leerlingen voor te bereiden op nieuwe toepassingen van genetische kennis en technologie.

Veel mensen waren betrokken bij het proces. Maarten Foeken stelde zijn ervaring uit zijn lespraktijk en zijn belangstelling voor fokprocessen beschikbaar. Hij las ook in een vroeg stadium het hele script door en voorzag het van commentaar. Gee van Duin leverde ideeën voor het gebruik van Legoblokjes. Horst Wolter maakte de conceptcartoons.

Daarnaast waren er veel mensen die meepraatten over wat het moest worden, conceptstukken schreven, foto's maakten, modellen en activiteiten uitprobeerden of stukken lazen.

Behalve Alfred Schermer en Marie-Christine Knippels waren dat Goos en Frans van de Berg, Joke 't Hart, Joeri en Phoebe, Cees de Jonge, Tonneke van der Kooij, Jelske Kuiper, Henk van Netten, Ineke Puijck, Wies Teepe, Els Twint en Liesbeth Vredeveld.

De input en het commentaar van Lidewij Henneman van het VUMC en Rob van der Luyt, Jacques Giltay en Edwin Cuppen van het UMC was essentieel bij het intermezzo over genetisch screenen en diagnostisch testen en het hoofdstuk over nieuwe genoombeelden. Vanuit het Flsme, het Cancer Genomics Centre en het Centre for Society and Life Sciences leverden velen commentaar op eerdere versies: Annelies Speksnijder, Paul van der Zande, Arend Jan Waarlo, Marc van Mil, Carin Cruijssen en Frans van Dam. Hienke Sminia van het Netherlands Bioinformatics Centre heeft veel inbreng gehad in de opdrachten van hoofdstuk 10. Professor Rolf Hoekstra controleerde het boek op wetenschappelijke onnauwkeurigheden en professor Hans de Jong schreef een voorwoord.

De eindsprint werd getrokken door Henry Kramers. Zij was op de haar eigen nauwkeurige manier verantwoordelijk voor de bureauredactie, maakte de literatuurlijst, stelde het register samen, verzorgde samen met de vormgever Tim Jacobs de publicatie en richtte de website in.

Boeken moeten ook aantrekkelijk zijn en dat kost geld. Toen we Rob Dirks (adjunct-directeur Research & Development Rijk Zwaan) vroegen om sponsoring, zei hij onmiddellijk en volmondig ja. In volgende gesprekken kwam de passie en de creativiteit van de plantengeneticus naar voren die zich zorgen maakt over het gebrek aan belangstelling van Nederlandse studenten voor dit vak: "Natuurlijk was het belangrijk om het boek aantrekkelijk te publiceren, natuurlijk konden we illustratiemateriaal krijgen". Hetzelfde gebeurde aan Wageningen University die een uitgave over geneticaonderwijs graag tot haar verantwoordelijkheid wil rekenen.

Allemaal heel hartelijk bedankt, jullie hebben allemaal een wezenlijke bijdrage geleverd aan het in stand blijven van de inspiratie en aan het uiteindelijke product. Zoals heel veel in dit leven worden dingen pas echt wat wanneer je het samen doet.

Marijke Domis, Mieke Kapteijn en Dirk Jan Boerwinkel

---

## Leeswijzer

### Dit boek kunt u op allerlei manieren gebruiken.

#### *Bent u geïnteresseerd in algemene informatie?*

Hoofdstuk 1 geeft in vogelvlucht de geschiedenis van de genetica. Hoogtepunten uit de geschiedenis van de genetica vindt u ook op de tijdlijn die onderaan de bladzijden in het hele boek meeloopt.

Hoofdstuk 2 beschrijft welke genetica er in de eindexamenprogramma's en examens voor vmbo, havo en vwo zit en hoe dat in 2013 voor havo en vwo gaat veranderen.

Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van wat bekend is over leermoeilijkheden die leerlingen met het leren van genetica kunnen hebben.

Hoofdstuk 10 geeft een voorproefje van de ontwikkelingen in de genetica die ons beeld van genen, hun expressie en hun interactie langzaam maar zeker grondig veranderen en ook nieuwe technieken beschikbaar maken.

#### *Bent u geïnteresseerd in activiteiten die u met leerlingen in de klas kan doen?*

Hoofdstuk 4 tot en met 9 beschrijven activiteiten waarmee u aan de leermoeilijkheden tegemoet kan komen en waarmee u leerlingen kan motiveren. Erboven staan bij elke activiteit na icoontjes de tijdsduur, de groepsgrootte en het niveau. Ook is er een icoontje voor de leermoeilijkheden uit hoofdstuk 3 waaraan de activiteit tegemoet komt.

Hoofdstuk 10 bevat ook activiteiten voor leerlingen maar hier gekoppeld aan zeer recente ontwikkelingen in de genetica die (nog) niet in examenprogramma's en syllabi voorkomen.

Dit boek bevat geen activiteiten rondom oordeelsvorming in de genetica. Daarvoor verwijzen we naar NVON-reeks 8: *Ruim en evenwichtig, oordeelsvorming in de biologieles*.

#### *Bent u geïnteresseerd in de contexten waarin genetica een rol speelt?*

Tussen de tien hoofdstukken in worden in de intermezzo's contexten besproken waarin genetische kennis een belangrijke rol speelt. Verder is er een intermezzo over epigenetica. Ieder intermezzo sluit af met een lijstje van genetische begrippen die een specifieke betekenis hebben binnen de betreffende context. Ook (al dan niet genetische) begrippen die belangrijk zijn binnen die context en niet tot de begrippen uit de syllabus horen worden op een rij gezet.

#### *De website [www.nvon.nl/genetica](http://www.nvon.nl/genetica)*

In het boek staan geen leerlingeninstructies en werkbladen. Die kunt u downloaden van de website [www.nvon.nl/genetica](http://www.nvon.nl/genetica). Via het menu op de website, ingedeeld volgens de hoofdstukken in dit boek, vindt u ook links naar activiteiten die via het web beschikbaar zijn en informatie over gedrukte bronnen. Wilt u de tijdlijn of de conceptcartoons gebruiken in uw klas, op de website is een versie te downloaden. Bij sommige hoofdstukken en intermezzo's is extra informatie te vinden, bijvoorbeeld artikelen uit kranten of tijdschriften.

Wij wensen u veel plezier toe bij het gebruik van het boek!

Marijke Domis-Hoos, Mieke Kapteijn en Dirk Jan Boerwinkel