

Nawoord

‘Survival of the fittest metaphor’

Jos de Mul

How odd it is that anyone should not see that all observation must be for or against some view if it is to be of any service.

Charles Darwin

Hoewel de toon die Denis Noble in *De muziek van het leven* ten aanzien van het neodarwinisme in de levenswetenschappen aanslaat zonder meer kritisch is, valt het op dat hij in zijn boek dit reductionistische paradigma en zijn eigen, meer integratieve systeembenadering toch als min of meer gelijkwaardige alternatieven presenteert. Dat hangt samen met Nobles opvatting van de rol van metaforen in de wetenschap. Wanneer hij Dawkins' metafoor van 'zelfzuchtige genen' vergelijkt met zijn eigen metafoor, waarin genen worden opgevat als 'fysiologische gevangenen', benadrukt hij dat we hier slechts te maken hebben met verschillende interpretaties van dezelfde wetenschappelijke feiten. De gebruikte metaforen hebben echter volgens Noble geen enkele waarheidswaarde, het zijn louter retorische middelen om anderen te *overtuigen* van een bepaalde subjectieve interpretatie. Enkel uitspraken over toetsbare feiten kunnen waar of onwaar zijn.

Wanneer we de reeks artikelen in beschouwing nemen die Noble na de publicatie van *De muziek van het leven* in 2006 het licht heeft doen zien, dan valt echter op dat Nobles kritiek op het neodarwinisme gaandeweg radicaliseert en ook Dawkins' metaforiek object van kritiek wordt.¹ Hiervoor lijken twee zaken

¹ Zie de bibliografie, waarin de belangrijkste artikelen die aanknopen bij *De muziek van het leven* staan vermeld (Noble, 2008b, 2008a; Kohl & Noble, 2009; Kohl

verantwoordelijk. In de eerste plaats is er sinds de publicatie van Nobles boek een groot aantal empirische studies verschenen die niet alleen de beperktheid van het neodarwinistische paradigma onderstrepen, maar bovendien het door Noble bepleite alternatief ondersteunen. In de tweede plaats ontwikkelde zich bij Noble het inzicht dat de keuze voor een bepaalde metafoor meer is dan een polemische of retorische aangelegenheid. Metaforen hebben wel degelijk een belangrijke cognitieve functie. Ze spelen niet alleen een belangrijke *heuristische* rol in de wetenschappelijke theorievorming en het empirisch onderzoek, maar hebben bovendien belangrijke antropologische en ethische implicaties.

In het hiernavolgende zal ik deze punten nader toelichten. Om te beginnen zal ik enkele van de empirische bevindingen toelichten die Noble ertoe hebben aangezet zijn kritiek op het neodarwinisme te radicaliseren. Vervolgens zal ik stilstaan bij de theoretische implicaties daarvan, zoals die tot uitdrukking komen in begrippen als 'neerwaartse oorzakelijkheid', 'emergentie' en 'biologische relativiteit'. Aansluitend ga ik wat dieper in op het voor de genetica cruciale begrip 'biologische informatie', dat door Noble in *De muziek van het leven* wel wordt gebruikt, maar niet wordt uitgelegd. Daarna zal ik aan de hand van Dawkins' 'zelfzuchtige genen' en Nobles 'muziek van het leven' het cognitieve belang van metaforen in de biologie nader toelichten. Ten slotte bespreek ik enkele implicaties van de door Dawkins en Noble gekozen metaforen voor ons praktische zelfbegrip.

et al., 2010; Noble, 2010, 2011b, 2011c, 2011a; Ellis et al., 2012; Noble, 2012a, 2013; Noble et al., 2014a; Noble et al., 2014b; Noble, 2015b, 2015a, in druk). De meeste van de genoemde publicaties zijn door Noble verzameld in *The Music of Life Sourcebook*, dat is te downloaden via de aan dit boek gewijde website (<http://musicoflife.co.uk/>). Eveneens instructief voor Nobles ontwikkeling zijn *The Selected Papers of Denis Noble: a Journey in Physiology towards Enlightenment*, waarin de opgenomen artikelen worden afgewisseld met korte autobiografische terugblikken op zijn intellectuele ontwikkeling (Noble, 2012b).

Empirische ondergraving van de moderne synthese

Zoals we in het voorwoord ('Nobles kruistocht tegen het neodarwinisme') hebben gezien, vindt volgens het op Weismann geïnspireerde centrale dogma van de neodarwinistische moderne synthese genetische verandering uitsluitend plaats in de geslachtscellen. Het organisme en de omgeving hebben daarop geen enkele invloed. In de woorden van Ernst Mayr, een van de grondleggers van de moderne synthese: 'Iedere richting, controle en beperking van de ontwikkelingsmachine ligt opgeslagen in de blauwdruk van het DNA-genotype als een verzameling instructies en potenties' (geciteerd in Crick, 1958). Genetische verandering van dit 'programma' is volgens de moderne synthese voornamelijk een toevallig (random) effect van mutaties van individuele nucleotiden door kopieerfoutjes onder invloed van straling en andere toevallige factoren, en van de zogenaamde genetische drift, als gevolg waarvan genetische verandering een zeer traag en gradueel proces is.²

Een veelheid aan empirische studies die in de afgelopen jaren zijn gepubliceerd, toont de onhoudbaarheid van deze fundamentele uitgangspunten van de moderne synthese. Ik licht deze algemene bevinding toe aan de hand van enkele in het oog springende voorbeelden (een uitvoeriger overzicht van relevante studies bieden: Noble, 2013; Noble et al., 2014a; Noble, 2015a, 2015b).

In de eerste plaats blijkt dat *veel mutaties niet toevallig* zijn (Shapiro, 2011, 82). Bij immunologische processen blijkt zowel de plaats waar de mutaties plaatsvinden als de snelheid waarmee dit gebeurt sterk te variëren, waardoor het vermogen van het afweersysteem om zich tegen steeds wisselende indringers teweer te stellen op gerichte wijze wordt vergroot. Deze natuurlijke vorm van *genetic engineering* is niet beperkt tot het afweersysteem, maar doet zich ook voor bij de ontwikkeling van organische functies en verklaart waarom het aantal ledematen,

2 Zie de uiteenzetting van het centrale dogma in 'Denis Nobles kruistocht tegen het neodarwinisme', pagina 25-26 hierboven.

segmenten en wervels bij evolutionair ver van elkaar gelegen taxonomische groepen vaak duidelijke overeenkomsten veroort. De ontwikkeling van het leven is geen louter toevallig proces, maar een ‘constructieve ontwikkeling’ (Laland et al., 2015).

Daarbij komt dat *genetische verandering niet gradueel is*, maar dat er vaak hele stukken DNA waarop zich één of meer genen bevinden, van plaats wisselen. Dergelijke door Barbara McClintock in 1951 ontdekte, maar lange tijd veronachtzaamde mobiele genetische elementen (*jumping genes*) – waarvoor ze in 1983 een Nobelprijs kreeg toegekend – zijn geen uitzonderlijke verschijnselen, zoals recent onderzoek laat zien.³ Niet minder dan twee derde van het menselijk genoom is afkomstig van dergelijke mobiele elementen (De Koning et al., 2011). Bovendien blijkt dergelijk ‘knip-en-plakwerk’ in veel gevallen niet eenmalig te zijn. Het genoom blijkt voor een belangrijk deel te bestaan uit semistabiele elementen die onder invloed van enzymen regelmatig worden herordend en/of naar andere locaties in het genoom worden verplaatst (transpositie), waardoor de in het DNA gecodeerde informatie verandert (Beurton et al., 2008). Deze voortdurende interactie tussen genen en uit het organisme afkomstige elementen betekent een verdere ondergraving van het centrale dogma van de moderne synthese (Mattick, 2012). Het ‘springen’ van de genen beperkt zich bovendien niet tot transposities binnen het genoom. Ze komen ook voor tussen soorten. Bij prokaryoten (eencelligen zonder kern) is een dergelijke horizontale overdracht schering en inslag, maar ook bij eukaryoten (cellen met een kern) komt het regelmatig voor. Veel onderdelen van de eukaryotische cel (zoals de mitochondria) waren oorspronkelijk bacteriën die door de cel zijn opgenomen en daarbij hun DNA hebben ingebracht. De verticaal georiënteerde

3 Een van de redenen van de veronachtzaming was dat McClintock tot haar bevindingen kwam in haar onderzoek naar mais, terwijl de moderne synthese grotendeels georiënteerd is op zoölogisch onderzoek, en veel minder op eencellige organismen en planten. Inmiddels is de aanwezigheid van mobiele genetische elementen ook bij veel diersoorten, inclusief de mens, aangetoond (Noble, 2013, 1239).

stamboom van het leven op aarde (*tree of life*) is dus veeleer een *network of life* (Woese & Goldenfeld, 2009).

In het licht van het uitgesproken antilamarckisme van het neodarwinisme (zie pagina 20), is de opmerkelijkste ontwikkeling wel de hernieuwde aandacht voor de *epigenetische overerving van aangeleerde eigenschappen*, een verzamelnaam voor vormen van overerving die niet verlopen via verandering van de volgorde van het DNA. Daar blijken een groot aantal verschillende vormen van te bestaan, zoals de hechting van de expressie regulerende chemische groepen aan het DNA, overerving van regulerende stoffen via de eicel en hormonen, overerving van zorg en andere gedragspatronen tussen ouders en nageslacht, verticale en horizontale sociale overdracht, en modificatie van de omgeving (Laland et al., 2015). Eigenschappen van organismen blijken dus niet alleen te worden overgedragen van geslachtscel op geslachtscel, maar ook van geslachtscellen op lichaamscellen, van lichaamscellen op geslachtscellen, en van lichaamscellen op lichaamscellen, al dan niet via de omgeving (Badyaev & Uller, 2009).

In het voorafgaande merkte ik op dat verschillende van deze epigenetische mechanismen al in de jaren vijftig van de vorige eeuw zijn beschreven door Waddington (zie pagina 28-29), maar net als bij McClintock werden ook zijn bevindingen veronachtzaamd of vanuit neodarwinistisch perspectief ‘wegverklaard’. Wat daarbij ongetwijfeld een belangrijke rol speelde, was dat de biologie in Waddingtons tijd nog niet bij machte was om zijn empirische bevindingen op moleculair niveau te verklaren.

Het epigenetische onderzoek, dat na de eeuwwisseling een enorme vlucht heeft genomen, heeft niet alleen talloze nieuwe voorbeelden van deze niet-mendeliaanse (d.w.z. niet via verandering in het genoom verlopende) overerving aan het licht gebracht, maar is nu ook beter in staat de moleculaire processen die daarbij een rol spelen te beschrijven. Een tamelijk spectaculair voorbeeld is het experiment dat Sun met zijn collega's in Wuhan heeft uitgevoerd. Daarbij werd de kern van een geslachtscel van een karper in de bevruchte maar van zijn kern (en daarmee van zijn genoom) ontdane eicel van een goudvis geplaatst. Waar op

basis van het centrale dogma verwacht mocht worden dat het resultaat een karper zou zijn, bleek het experiment een hybride op te leveren, die bijvoorbeeld wat het aantal wervels betreft nauwer verwant was aan de goudvis dan aan de karper (Sun et al., 2005). Ook bij mensen zijn diverse epigenetische effecten aangetoond. Zo leert een in Zweden uitgevoerd longitudinaal onderzoek dat mannen die tijdens hun preadolescentie ondervoed waren, kleinzoons kregen die minder vaak stierven aan hart- en vaatziekten (Pembrey et al., 2006).

Een voorbeeld van epigenetische overerving via gedrag vormt Ian Weavers onderzoek naar het effect van het likken en strelen van jonge ratten door hun moeders, waaruit bleek dat deze jongen op latere leeftijd hetzelfde gedrag ten opzichte van hun nageslacht gingen vertonen als de ouders. De verklaring daarvan is dat het zorggedrag ertoe leidt dat er zich specifieke chemische groepen hechten aan relevante genen in de hippocampus, het deel van de hersenen dat een belangrijke rol speelt in de geheugenfunctie (Weaver, 2009).

Opmerkelijk zijn ook de dierexperimenten van de onderzoeksgroep van Larry Feig. Hij plaatste muizen gedurende hun adolescentie in een omgeving die verrijkt was met speeltjes, sociale interactie en een loopwiel. Het was niet erg verrassend dat bleek dat hun geheugenfunctie daardoor aanmerkelijk verbeterde. Wél verrassend was dat de volgende generaties (via de moeder) tevens over een beter geheugen beschikten, ook wanneer deze nakomelingen niet in een verrijkte omgeving werden geplaatst (Arai et al., 2009). Onderzoek naar overerving van de aangeleerde reactie van de *Caenorhabditis elegans* (een kleine worm die veel gebruikt wordt in genetisch onderzoek) op virale infecties, leert dat het bestudeerde epigenetische mechanisme daar zo robuust is dat aangeleerde reacties minstens honderd generaties standhouden (Rechavi et al., 2011).

De genoemde voorbeelden van niet-mendeliaanse overerving maken duidelijk dat de moderne synthese op zijn best slechts een deel van de in evolutie en overerving waargenomen verschijnselen kan verklaren. Veel van de onderzochte verschijnselen

nooten Noble bovendien ertoe een stap verder te gaan en vraagtekens te plaatsen bij enkele fundamentele uitgangspunten van het neodarwinistische paradigma. Waar hij aanvankelijk nog pleit voor het *uitbreiden* van de neodarwinistische moderne synthese met lamarckiaanse elementen (de zogenaamde *Extended Synthesis*), pleit hij in zijn latere werk ervoor om de moderne synthese te *vervangen* door een Geïntegreerde Synthese (*Integrated Synthesis*).⁴ Hiertoe ontwikkelt hij in zijn theoretische artikelen na 2006 een nieuw conceptueel kader, dat voortbouwt op intuïties die zich reeds aftekenen in *De muziek van het leven*.

Evolutie voorbij het neodarwinisme: een nieuw conceptueel kader

Noble staat in het 'postgenomische' tijdperk niet alleen in zijn kritiek op het neodarwinistische paradigma. Na de voltooiing van het Human Genome Project (1990-2003) en de stormachtige ontwikkeling van de epigenetica hebben ook veel andere wetenschappers gepleit voor een uitbreiding van de moderne synthese in de richting van een Extended Synthesis (zie bijv. Pigliucci & Müller, 2010; Laland et al., 2015; Richardson & Stevens, 2015). Ook veel aanhangers van het neodarwinisme erkennen inmiddels deze noodzaak.

Noble en verwante meer radicale critici stellen echter dat een aantal fundamentele uitgangspunten van het neodarwinisme een dergelijke uitbreiding niet toestaat.

In 'Evolution beyond neo-Darwinism: a new conceptual framework' betoogt Noble dat het neodarwinistische conceptuele kader is doortrokken van een radicale vorm van filosofisch en wetenschappelijk reductionisme (Noble, 2015b). Zolang men daaraan vasthoudt is het onmogelijk de nieuwe empirische bevindingen een plaats binnen de evolutietheorie te geven. Het gencentrische reductionisme van het neodarwinisme ziet

4 Zie de grafische weergaven van de Extended Synthesis (figuur 1) en de Integrated Synthesis (figuur 2). Deze afbeeldingen zijn ontleend aan respectievelijk Pigliucci (2010, 11) en Noble (2015b, 8).

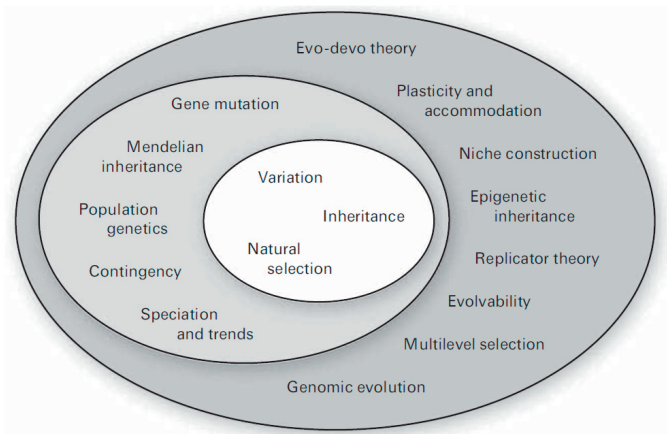


Fig. 1: Extended Synthesis.

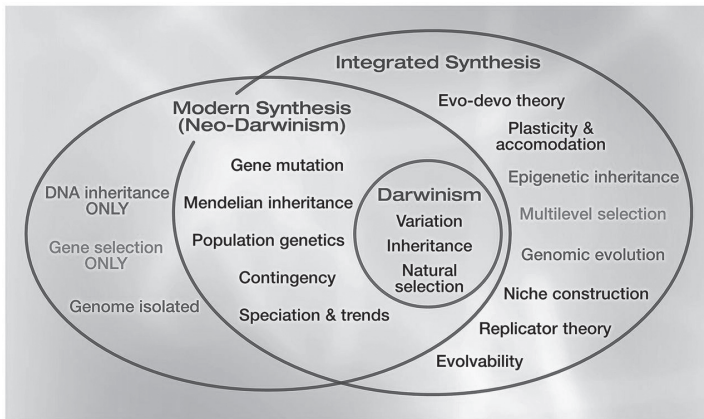


Fig. 2: Integrated Synthesis.

Noble vooral tot uitdrukking komen in veelvuldig gebruikte termen als 'code', 'programma', 'blauwdruk', 'boek van het leven', 'replicator' en 'voertuig van de genen', die we bijvoorbeeld aantreffen in Dawkins' *Onze zelfzuchtige genen* (Dawkins, 1976, 1995).

In zekere zin ligt de kern van het neodarwinistische paradigma in de transformatie die het begrip 'gen' ondergaat ten tijde van de ontdekking van het DNA. Het begrip 'gen' dat in het begin van de vorige eeuw door Johannsen in aansluiting op Mendels notie van erfelijke factoren is geïntroduceerd was de aanduiding van discrete erfelijke eigenschappen (Johannsen, 1909). Bij dit begrip werd onbepaald gelaten waar deze eigenschappen zich precies in het organisme bevinden. Ze werden door neodarwinistische genetica echter vereenzelvigd met specifieke sequenties van het DNA. Om te kunnen verklaren hoe dergelijke ketens van moleculen (het genotype) in staat waren uiterst complexe en gevarieerde organismen (fenotypen) voort te brengen, werd het DNA – geïnspireerd door de niet lang daarvoor door o.a. Alan Turing bedachte programmeerbare computer – door genetici als Jacques Monod en François Jacob opgevat als een in een vierletterige code geschreven softwareprogramma. En zoals een computerprogramma, afhankelijk van de instructies (algoritmen) die het bevat, uiteenlopende machines kan realiseren (en daarom door Turing treffend een 'universele machine' werd genoemd), zo kan het DNA-programma met behulp van een groot aantal in de genen vervatte subprogramma's uiteenlopende organen en organismen fabriceren (Jacob, 1982).

Het probleem is nu volgens Noble dat het DNA helemaal geen instructies bevat. Naarmate de kennis van de moleculaire mechanismen toenam, werd duidelijk dat de term 'genetisch programma' een misleidende metafoor is, aangezien de ontwikkeling van een organisme, anders dan een computerprogramma, geen serieel – stap voor stap – proces is, maar bestaat uit een groot aantal parallelle processen. Als je de rol van het DNA in computertermen zou willen uitdrukken, dan is het veeleer – om het beeld te gebruiken dat reeds in *De muziek van het leven* regelmatig opduikt (zie de pagina's 34, 40, 49, 54, 56, 61, 71, 73, 86, 177) – een uit mallen (templates) en schakelaars bestaande database, die door organen wordt gebruikt om de benodigde stoffen aan te maken. Het DNA doet niets uit zichzelf. Als er al in metaforische termen van 'instructies' kan worden gesproken,

dan is het de cel die het genoom instrueert. Het is om die reden dat McClintock het genoom aanduidt als een 'orgaan van de cel' (McClintock, 1984). En als er al sprake is van een 'programma', dan alleen op het niveau van de cel, het orgaan of het organisme als geheel. Zo zien we bijvoorbeeld een IF-THEN-ELSE-routine belichaamd in feedbackmechanismen, zoals we die aantreffen in het hartritme (Noble, 2015b, 10, zie ook hoofdstuk 5 van *De muziek van het leven*).

De idee dat het gen, net als een softwareprogramma van een computer, geen deel uitmaakt van de 'hardware' van de cel (hoewel het tijdelijk in het DNA is gematerialiseerd), komt bij uitstek tot uitdrukking in het door Dawkins gebruikte dichotome begrippenpaar 'replicator' en 'voertuig', waarbij het eerste begrip staat voor de 'onsterfelijke' en 'immateriële' – aan het platoonse idee herinnerende – genetische 'oervorm', en het tweede voor de realisatie daarvan in het sterfelijke, materiële organisme (Dawkins, 1995, 36v.). Volgens Noble is de aldus opgevatte tegenstelling zowel op conceptuele als empirische gronden onhoudbaar. Teneinde dochtercellen te kunnen voortbrengen, dienen zowel het DNA als de rest van de cel te worden gekopieerd. Het verschil is dat de cel zichzelf kopieert door te groeien (d.w.z. door zijn complexe structuur geleidelijk te kopiëren en zichzelf vervolgens te dupliceren), terwijl het DNA alleen wordt gekopieerd bij de deling van de geslachtscel. Qua informatiegehalte doet de complexe driedimensionale cel niet onder voor het DNA (Noble, 2011b; 2015b, 11, zie ook Noble, 2011c). Bovendien veronderstelt de betrouwbare reproductie van het DNA het voorafgaande bestaan van de cel, aangezien deze de noodzakelijke structuren en processen bevat om fouten in de DNA-reproductie te corrigeren. De zelfreproductie van de cel moet daarom aan de ontwikkeling van DNA vooraf zijn gegaan (Müller & Newman, 2003). Dat strookt met de huidige inzichten over de ontwikkeling van het leven op aarde, waarbij DNA als een relatieve laatkomer wordt beschouwd (Schrum et al., 2010). Blijkbaar geldt dat niet alleen organismen, maar ook de *mechanismen* van reproductie zich in de loop van de tijd hebben ontwikkeld: 'Evolution evolves' (Noble et al., 2014).

Misschien wel de belangrijkste uitdaging van het reductionistische paradigma van het neodarwinisme is gelegen in het begrip ‘neerwaartse oorzakelijkheid’ (*downward causation*), een begrip dat reeds herhaaldelijk opduikt in *De muziek van het leven* om de terugkoppelingsmechanismen (*feedback mechanisms*) te beschrijven die een cruciale rol spelen in organisch leven (zie de pagina’s 83, 87v., 105, 114, 149). Volgens Noble wordt het gedrag van organismen niet uitsluitend van ‘onderaf’ bepaald door de onderlinge interactie van moleculen en atomen (of van nog meer elementaire subatomaire deeltjes), maar worden deze elementaire processen tevens aangestuurd door de hogere systeemniveaus, zoals weefsels, organen en het – meer of minder bewuste – organisme als geheel. De notie van neerwaartse oorzakelijkheid is nauw verbonden met die van ontologische (ofwel sterke) emergentie, de opvatting dat een verzameling materiële deeltjes nieuwe eigenschappen verkrijgt zodra ze een bepaald niveau van organisatorische complexiteit bereikt (El-Hani & Pereira, 2000).

In zijn bespreking van het hartritme in *De muziek van het leven* duidt Noble het ritme als voorbeeld van een dergelijke emergente eigenschap (door hem ook aangeduid als ‘systeemeigenschap’, zie pagina 103 hierboven). Dat ritme is niet het werk van een of andere metafysische vitale kracht, noch kan het worden herleid tot een verondersteld ‘oscillatorgen’; het vloeit voort uit het complexe samenspel van de verschillende onderdelen van het hart. In het artikel ‘A biological theory of relativity’ verbindt Noble de notie van ‘neerwaartse oorzakelijkheid’ met de idee dat er in levende organismen *geen* geprivilegieerd niveau van veroorzaking bestaat, maar dat, afhankelijk van het object van onderzoek, ieder niveau kan worden begrepen als een startpunt van veroorzaking (Noble, 2012a).

Nu is ‘neerwaartse oorzakelijkheid’ een sterk omstreden notie in de wetenschap en wetenschapsfilosofie, met name onder aanhangers van het zogenaamde ontologisch (ook wel als ‘sterk’ aangeduid) reductionisme. Anders dan het methodologisch reductionisme, dat reductie van complexe naar meer elementaire

verschijnselen terecht beschouwd als een vruchtbare manier om wetenschappelijke vraagstukken aan te pakken, stelt het sterke reductionisme dat alle verschijnselen in de wereld – van de meest elementaire processen in de natuur tot verschijnselen als menselijke vrijheid en bewustzijn – in laatste instantie worden bepaald door het gedrag van elementaire deeltjes. Het geheel is volgens deze opvatting niets anders dan de som van de delen en kan op dit niveau volledig worden verklaard. Fysische systemen worden dan opgevat als ‘causaal gesloten’, wat wil zeggen dat er geen ruimte is voor aanvullende verklaringsprincipes (Clayton & Davies, 2006, xii).⁵

Met name onder invloed van wetenschappen die zich bezighouden met complexiteit (zoals we die aantreffen in chaotische processen, netwerken, non-lineaire en zelforganiserende systemen) is het ontologisch reductionisme onder vuur komen liggen. Bovendien laat deze sterke vorm van reductionisme zich moeilijk rijmen met onze alledaagse ervaring. Als ik het glas thee dat naast het toetsenbord van mijn computer staat naar mijn mond breng, kan ik me moeilijk onttrekken aan de indruk dat mijn intentie om een slok thee te nemen deze handeling veroorzaakt. ‘Neerwaartse veroorzaking’, zo drukt de Franse wetenschapsfilosoof Michel Bitbol het pregnant uit, ‘lijkt onmogelijk als begrip, maar is onomstotelijk als feit’ (Bitbol, 2012). Er zijn verschillende pogingen ondernomen om deze paradox op te lossen, bijvoorbeeld door een beroep te doen op het indeterminisme van de kwantumfysica, door een beroep te doen op de eindige computationele bronnen van het universum, of door het universum te beschouwen als een open systeem. Duidelijk is dat hier nog vele vragen onbeantwoord zijn en dat dit niet de plaats is deze uitvoerig te bespreken (zie voor een overzicht Clayton &

5 Er bestaat ook een zwakkere vorm van ontologisch reductionisme, dat stelt dat alle verschijnselen weliswaar in principe reduceerbaar zijn tot elementaire processen en zo causaal kunnen worden verklaard, maar dat de eigenschappen van de hogere aggregatieniveaus niet vooraf vanuit de elementaire processen kunnen worden voorspeld. En in de kwantummechanica krijgt de notie (statistische) ‘waarschijnlijkheid’ zelfs een fundamentele ontologische status.

Davies, 2006). Ik wil hier slechts één aspect uitlichten dat in het bijzonder relevant is voor ons begrip van het (menselijk) leven en de rol die neerwaartse oorzakelijkheid daarin speelt, maar dat in Nobles werk enigszins onderbelicht blijft: het *biologische informatiebegrip*.

Biologische informatie

Het begrip 'informatie' is mede door de ontwikkeling van de computer en de daarop gebaseerde informatiewetenschappen een kernbegrip geworden in de hedendaagse wetenschappen en het hedendaagse wereldbeeld. Het wordt wel beschouwd als een van de fundamentele bouwstenen van het universum, naast materie en energie (De Mul, 1999). Ook in de biologie is 'informatie' sinds de ontdekking van het DNA een kernbegrip geworden. Onder 'biologische informatie' versta ik hier niet zozeer informatie *over* de complexe structuur van het genoom, zoals die in de bio-informatica wordt verzameld en met behulp van uiteenlopende vormen van datamining wordt geanalyseerd, maar op de informatie die *in* de genen is opgeslagen en op het nageslacht wordt overgedragen. Dergelijke biologische informatie – doorgaans aangeduid met term 'genetische code' – kunnen we, zoals we hiervoor met Noble opmerkten, het beste begrijpen als een mal. De volgorde van de vier basen in het DNA wordt immers achtereenvolgens 'vertaald' in de volgorde van basen in het messenger-RNA (transcriptie), en de volgorde van de aminozuren in het eiwit (translatie).⁶

In het geval van de transcriptie van DNA naar messenger-RNA is dat een louter fysisch proces. De specifieke volgorde van de DNA-codons of -triplets, de reeksen van telkens drie nucleotiden, speelt daarbij geen rol. De reden dat we bij de translatie (en uitsluitend daar!) wel van een 'code' en 'codering' kunnen spreken is dat de codons bij de translatie tussen de RNA-codons en de aminozuren in het eiwit wel een bemiddelende rol spelen

6 Zie de uiteenzetting over transcriptie en translatie op bladzijde 24 van 'Denis Nobles kruistocht tegen het neodarwinisme'.

en net als in het geval van de relatie tussen symbool en zijn betekenis in menselijke communicatiesystemen arbitrair zijn. Zoals verschillende woorden ('boom', 'tree', 'arbre') op hetzelfde object betrekking kunnen hebben, zo kunnen verschillende codons aan hetzelfde aminozuur zijn gekoppeld. Dat is mogelijk omdat de translatie wordt bemiddeld door zogeheten transfer-RNA, 'adaptermoleculen' met aan de ene zijde een chemische voorkeur voor een specifieke codon en aan de andere zijde voor een specifiek aminozuur (vgl. Griffiths & Stotz, 2013, 154-55).

Bij de translatie kunnen we dus met recht spreken van een genetische code, die soms met verwijzing naar een van de ontdekkers van het DNA ook wel wordt aangeduid als *Crick information*. Daarbij dienen we wel te bedenken dat er ook een belangrijk verschil is met de menselijke taal. De DNA-taal is namelijk, anders dan de woorden in de menselijke taal, louter *syntactisch*. Hoewel de volgorde van de RNA-codons cruciaal is voor de productie van eiwitten kennen ze geen 'intentionele gerichtheid' en 'betekenen' ze niets.⁷ Ze hebben met andere woorden *pragmatiek* noch *semantiek*, en in die zin is de metafoor van 'het boek van het leven' nogal misleidend.⁸ In termen van

7 Tenzij men deze 'intentionaliteit' of dit 'betekenen' opvat als een synoniem voor 'veroorzaken'. Dit wordt wel de 'natuurlijke betekenis' of ook wel de causale informatie-inhoud genoemd (Grice, 1957). Zo kan men zeggen dat rook informatie bevat over vuur. Het begrip 'informatie' wordt dan echter metaforisch gebruikt, van een code in informatietheoretische zin is dan geen sprake. Zie voor een kritische bespreking van het semantisch opgevatte biologische informatiebegrip Griffiths & Stotz (2013, 160-78).

8 Tekens kennen een syntactische, pragmatische en semantische dimensie (De Mul, 1999). De syntaxis heeft betrekking op de volgorde van de tekens, de pragmatiek op de wijze waarop het teken het intentionele gedrag of handelen van de ontvanger beïnvloedt, en de semantiek heeft betrekking op de betekenis, het mentale beeld dat tekens kunnen oproepen. Het volgende, simpele voorbeeld kan dit verhelderen: wanneer ik in de krant lees dat het vandaag waarschijnlijk gaat regenen, dan is de syntaxis gelegen in de op het krantenpapier gedrukte letters, de semantiek in de betekenis die zich al lezende in mijn geest vormt, en de pragmatiek komt tot uitdrukking in het feit dat ik een paraplu meeneem wanneer ik naar buiten ga. Hoewel mentaal alle drie deze semiotische dimensies kent, zijn er ook tekensystemen die uitsluitend een syntaxis kennen (zoals het messenger-RNA)

de semiotiek (tekenleer) uitgedrukt hebben we hier slechts te maken met een basale *manufacturing semiosis* (Barbieri, 2009, 233). Wanneer we zeggen dat het genoom biologische informatie bevat, dan betekent dit dat de volgorde van de nucleotiden in het DNA en RNA (d.w.z. biologische specificiteit) respectievelijk verticaal wordt doorgegeven aan het nageslacht en horizontaal – op een arbitraire wijze – correleert met die van de aminozuren in het eiwit.

Wanneer we biologische informatie op dit moleculaire niveau ‘slechts syntactisch’ noemen, dan moet dat overigens niet laatdunkend worden begrepen. Men kan de duizelingwekkende complexiteit van de parallelle productie van de vele tienduizenden eiwitten en de verbazingwekkend nauwkeurige transmissie van de genetische informatie van organismen op hun nageslacht slechts in verwondering gadeslaan. Het DNA-molecuul maakt het mogelijk een enorme hoeveelheid syntactische informatie op te slaan in een microscopisch kleine ruimte. Het laat zich bijzonder eenvoudig vermenigvuldigen, is in principe oneindig, dankzij de coderende werking van het messenger-RNA willekeurig uitbreidbaar, en bovendien ook nog bijzonder stabiel en inert. Het is alsof je een harddisk vol gegevens in een badkuip gooit, er wat warm water en wat chemicaliën bij giet en in een mum van tijd beschikt over vele miljoenen identieke harddisks (Bergstrom & Rosvall, 2009, 4).

Maar hoe indrukwekkend ook (en aantrekkelijk als businessmodel), het is pas in samenwerking met de hele levende cel dat de ‘DNA-databases’ en ‘RNA-databases’ deel worden van een *pragmatisch* informatiesysteem (Witzany, 2014). Ook in de levende cel zijn de elementaire processen weliswaar nog in syntactische termen te beschrijven en (causaal) te verklaren, maar door middel van uiteenlopende feedbacksystemen zijn deze processen nu opgenomen in een doelmatig systeem, waarbinnen ze allerlei emergente functies uitoefenen, die niet

of een combinatie van syntaxis en pragmatiek (zoals simpele organismen zonder centraal zenuwstelsel en (zelf)bewustzijn, of automaten zoals de thermostaat).

langer uitsluitend in causale termen zijn te begrijpen, maar een functionele verklaring behoeven. Zo is het ritme van het hart slechts te begrijpen in het licht van de functie die dit ritme heeft binnen het functioneren van het hart, en van de functie die het hart heeft in het lichaam als geheel.

Een van de belangrijkste emergente functies hierbij is de signaalfunctie, zoals we die aantreffen in de feedbackmechanismen die het ritme van het hart reguleren. We hebben hier te maken met wat in termen van de tekenleer kan worden aangeduid als een *signalling semiosis* (Barbieri, 2009, 234). Deze signaalfunctie is cruciaal voor de neerwaartse oorzakelijkheid. Deze moet niet worden begrepen als een nieuwe elementaire kracht in aanvulling op de reeds aanwezige causale krachten in de constituerende elementen, maar bestaat veeleer in de *organisatie* van deze basale causale krachten met behulp van de informatie daarover die de signalen een weefsel, orgaan of het organisme verschaffen (Van Gulick, 1995).⁹ In deze zin dient ook de terminologie van Noble te worden begrepen, wanneer hij de genen de gevangenen van het organisme noemt: hun causale kracht wordt ingezet ten behoeve van het functioneren van het orgaan en daarmee van het organisme als geheel.

Het pragmatische karakter van organische informatiesystemen is erin gelegen dat ze hun gedrag aanpassen op basis van signalen over veranderingen in de binnen- en/of buitenwereld. We kunnen de emergentie van deze pragmatische dimensie overigens reeds waarnemen bij een simpele thermostaat. Op basis van de ingestelde temperatuur zal de thermostaat op signalen uit de omgeving (de actuele temperatuur) reageren met het aan- of uitzetten van de verwarming of airco. De thermostaat verwarmt of koelt zelf niet, maar – en dat is zijn functie – organiseert de

9 'Een bepaald fysisch geheel kan vele causale krachten hebben, maar slechts bepaalde subsets zullen in een gegeven situatie actief zijn. De grotere context (bijvoorbeeld het patroon) waarvan het deel uitmaakt kan van invloed zijn op welke causale krachten geactiveerd worden. [...] Het geheel is geen simpele functie van de delen, aangezien het ten minste partieel bepaalt wat de bijdrage van de delen is' (Van Gulick, 1995, 251).

aanwezige causale verwarmende en verkoelende krachten met behulp van een informatieel feedbacksysteem en houdt daarmee de temperatuur in huis constant.

Nu kunnen met betrekking tot neerwaartse oorzakelijkheid verschillende typen worden onderscheiden (Ellis, 2009). De thermostaat is een voorbeeld van een *non-adaptieve vorm* van neerwaartse oorzakelijkheid, aangezien de constituerende krachten en het – in dit geval door een ontwerper geïmplementeerde – doel in principe niet aan verandering onderhevig zijn. Bij *adaptieve vormen*, zoals we die in de levende natuur aantreffen, is dit wel het geval. Door mutaties doen zich immers voortdurend variaties voor in het genetisch materiaal, waarbij in het proces van natuurlijke selectie de variaties die beter aangepast zijn aan de omgeving overleven en minder aangepaste variaties juist verdwijnen. Dankzij zelforganisatie kan het organisme ook de selectiecriteria aanpassen aan een nieuwe context. In wat Ellis *adaptieve informatiele controle* noemt, zijn de door het organisme nagestreefde doelen bovendien niet langer (louter) het gevolg van natuurlijke selectie, maar kan het organisme door leerprocessen en de anticipatie op toekomstige situaties tussen verschillende doelen (eten, vluchten, kroost beschermen etc.) kiezen.

Bij mensen neemt de neerwaartse oorzakelijkheid door de ontwikkeling van het (zelf)bewustzijn en symbolische representatie (van grotschilderingen en natuurlijke talen tot abstracte wiskundige tekensystemen) een nieuwe vlucht. Het is hier dat biologische informatie een *semantische* dimensie verkrijgt, en onderwerp wordt van *interpretive semiosis* (Barbieri, 2009, 234). Deze symbolische tekensystemen maken het niet alleen mogelijk om ervaringen uit het verleden op te slaan en beter op de toekomst te anticiperen, maar ze stellen de mens ook in staat zich allerlei niet-bestaande situaties voor te stellen en nieuwe doelen te bedenken. De neerwaartse oorzakelijkheid krijgt hier de vorm van (zelf)bewuste sturing (Murphy et al., 2009). Opnieuw is er hierbij sprake van emergentie. Hoewel er geen (zelf)bewustzijn mogelijk is zonder brein, zou het van een problematisch reductionisme getuigen wanneer we zouden

proberen het (zelf)bewustzijn te reduceren tot neurale processen in het brein. Maar anderzijds zou het eveneens een misverstand zijn 'het zelf' op te vatten als een niet-materieel 'denkend ding', zoals Descartes en andere dualisten hebben gedaan (Descartes, 1999, 239). Het zelf heeft, zoals Noble het in het laatste hoofdstuk van *De muziek van het leven* uitdrukt, niet zozeer het karakter van een ding, maar is veeleer een geïntegreerd *proces* met een zekere handelingsbekwaamheid (*agency*) (zie hierboven pagina 183v., zie ook Noble et al., 2014). Net als dat bij voorafgaande vormen van neerwaartse oorzakelijkheid het geval was, is dit emergente handelingssubject geen causale kracht van dezelfde orde als de constituerende organische krachten. Neerwaartse oorzakelijkheid krijgt hier de vorm van het leiden van je leven (ofwel van de daarin aanwezige krachten) met behulp van betekenisvolle – artistieke, religieuze, wetenschappelijke – verhalen, die bestaan uit een weefsel van semantische motieven, redenen en waarden.

Metaforen, modellen en mobiele begrippen

In de pogingen van de mens om door middel van neerwaartse oorzakelijkheid de organische wereld te bedwingen speelt de taal een belangrijke rol. Taal is immers niet alleen een middel om de wereld te beschrijven, maar ook om invloed uit te oefenen op onszelf en anderen. We gebruiken taal om te overreden, bevelen, verzoeken, beloven, bidden, etc. De wetenschap is daarop geen uitzondering: wetenschappers proberen collega's met argumenten en retorische stijlmiddelen te overreden, beloven nuttige toepassingen, smeken om subsidie etc.

Ook Noble wijst daar in de inleiding van *De muziek van het leven* op, en gaat daarbij vooral in op de rol die metaforen hierin spelen. Zoals we hebben gezien wijst hij er in zijn polemieken met Dawkins op dat de keuze van de metafoor – genen beschouwen als 'zelfzuchtige actoren' dan wel als 'gevangenen van het organisme' – afhankelijk is van 'sociologische, polemische gezichtspunten, die kunnen verschillen naar gelang het standpunt van de spreker' (zie hierboven, pagina 52). Wat opvalt is het scherpe onderscheid dat Noble daarbij maakt tussen enerzijds harde

empirische feiten en anderzijds de subjectieve metaforische interpretatie van die feiten. Het scheppen van metaforen is 'geen wetenschap maar een kunst' (zie hierboven, pagina 57), en anders dan bij een dispuut over wetenschappelijke feiten en theorieën – hier valt hij Dawkins expliciet bij – kan een strijd tussen concurrerende metaforen niet worden beslecht door een empirische test. De *proof of the pudding* lijkt in het geval van metaforen vooral gelegen in hun retorische succes.

Deze 'ornamentele' opvatting van metaforen – in latere publicaties gebruikt hij termen als 'interpretatieve vernis' (Noble, 2015b, 7) – maakt dat Noble de concurrerende metaforen van Dawkins en hemzelf (in weerwil van de retorische aanval) niet anders kan duiden dan als vanuit wetenschappelijk oogpunt bezien min of meer gelijkwaardige alternatieven:

Welke beschrijving je prefereert, is niet in de eerste plaats afhankelijk van wetenschappelijke kennis. Beide metaforen kunnen een kleurrijke interpretatie zijn van goede wetenschap. De problemen liggen in de beperkingen van de metaforen. [...] Elke metafoor heeft z'n voor en tegen, en het kan geen kwaad om ze te gebruiken, mits we beseffen wat we doen. [...] Geen metafoor correspondeert precies met de situatie die erdoor wordt beschreven. Bepaalde aspecten worden benadrukt ten koste van andere. Dit kan schadelijk zijn als we de metaforen te letterlijk nemen, of toepassen buiten hun bereik, en ze interpreteren als wetenschappelijk enig juiste in wetenschappelijke zin. [...] Verschillende, zelfs strijdige metaforen kunnen uiteenlopende aspecten van dezelfde situatie belichten. En die kunnen stuk voor stuk juist zijn, al zijn de metaforen zelf niet te verenigen (zie hierboven, de pagina's 53-55).

Omdat metaforen zo gemakkelijk tot misverstand kunnen leiden zou men ze volgens Noble dan ook het beste kunnen vermijden. Ze zijn, zo stelt Noble in *De muziek van het leven* met een knipoog naar Wittgenstein, te vergelijken met ladders die je weg moet werpen nadat je erop geklommen bent (zie hierboven, pagina

192). Want 'uiteindelijk wordt het lot van wetenschappelijke theorieën bepaald door empirische tests' (zie hierboven, pagina 55).

Die stellingname is om meer dan een reden problematisch. In de eerste plaats staat Nobles opvatting dat er geen enkele empirische toets bestaat om concurrerende metaforen te vergelijken op gespannen voet met zijn niet aflatende pogingen in *De muziek van het leven* en de latere artikelen om aan te tonen dat zijn metafoor meer recht doet aan de empirische bevindingen van de biologische wetenschap dan Dawkins' metafoor. Dat weerspreekt het idee dat er geen enkele empirische toetsing mogelijk is. In 'Neo-Darwinism, the Modern Synthesis and Selfish Genes: Are They of Use in Physiology' uit 2011 lijkt Noble dat overigens ook zelf in te zien. Hoewel hij vasthoudt aan de idee dat individuele metaforische uitspraken niet empirisch te toetsen zijn, stelt hij nu dat, wanneer we een groot aantal metaforische uitspraken bekijken, we wel degelijk vruchtbare en minder vruchtbare metaforen kunnen onderscheiden (Noble, 2011c).

In *De muziek van het leven* draagt Noble zelf al een paar argumenten aan die verhelderen op welke wijze metaforen vruchtbaar kunnen zijn. Behalve een retorische, hebben metaforen ook een heuristische functie; ze fungeren als een zoeklicht dat de aandacht vestigt op specifieke aspecten van een bepaalde zaak (zie hierboven, pagina 54). Als zodanig zijn ze meer dan louter ornamenten, ze sturen het onderzoek in een bepaalde richting. Het cognitieve gehalte van metaforen is bovendien niet beperkt tot hun verwijzende functie. Ze hebben ook esthetische en metafysische betekenis: 'Metaforen wedijveren om inzicht, en criteria als eenvoud, schoonheid, creativiteit, die we gebruiken om wetenschappelijke theorieën te beoordelen, boven hun empirische juistheid' (zie hierboven, pagina 55).

Deze argumenten stemmen overeen met inzichten uit de postpositivistische wetenschapsfilosofie, waarin wordt gesteld dat de analogieën waarop metaforen berusten het mogelijk maken nieuwe, nog niet goed begrepen verschijnselen in kaart te brengen (Hesse, 1966; Keller, 2002). Zo vond de golftheorie van het licht haar inspiratie in het golfkarakter van fysieke media

zoals water. Daarmee vinden er ook verschuivingen plaats in de betekenis van de gehanteerde begrippen. Zo liet de toepassing op licht de betekenis van het begrip 'golf' niet onberoerd. Metaforen mobiliseren begrippen. Daarbij brengen ze niet alleen overeenkomsten aan het licht, maar openen ze ook onze ogen voor de verschillen tussen de zaken die in de metafoor worden samengebracht. Bijvoorbeeld voor eigenschappen van lichtgolven die we juist niet aantreffen bij de golven in de zee.

Sommige wetenschapsfilosofen gaan nog een stap verder dan Noble en stellen dat in laatste instantie alle wetenschappelijke modellen als metaforen moeten worden begrepen. Ook in 'letterlijke' termen of in wiskundige formules uitgedrukte modellen berusten niet op een een-op-eencorrespondentie tussen elementen van het model en van de werkelijkheid. Het zijn meer of minder fictieve abstracties, waarvan de waarde niet zozeer wordt afgemeten aan een letterlijke overeenstemming, maar veeleer – pragmatisch – aan de mate waarin ze ons in staat stellen gebeurtenissen in de werkelijkheid te kunnen verklaren, voorspellen en beheersen (Van Fraassen, 1980).¹⁰

In dat licht bezien is de bijna rituele nadruk die Noble in *De muziek van het leven* legt op het verschil tussen metaforen en wetenschappelijke feiten nogal problematisch. Er bestaat geen theorievrije waarneming, en geen enkele theorie is volkomen vrij van metaforiek. Functionerend als 'zoeklicht' bepalen metaforen mede wat zich in de waarneming als feit kan voordoen. Ze hebben met andere woorden behalve een epistemologische ook een ontologische dimensie. Metaforen zijn productief in de zin dat ze nieuwe werelden ontsluiten en nieuwe praktijken in het leven roepen.

¹⁰ Noble lijkt zich in zijn meer recente geschriften overigens steeds verder af te keren van een naïeve correspondentietheorie van de waarheid, die stelt dat een uitspraak waar is wanneer deze overeenstemt met een stand van zaken in de werkelijkheid. Als puntje bij paaltje komt geldt: 'All models are wrong.' Persoonlijke mededeling Noble, 20 juli 2015.

Productief is evenwel niet hetzelfde als geslaagd. Sommige metaforen zijn gelukkiger gekozen dan andere. Empirisch onderzoek of voortschrijdend theoretisch inzicht kan nopen tot het bijstellen of verwerpen van de gehanteerde metaforen. Zo zagen we in het voorafgaande dat het toegenomen inzicht in de mechanismen van transcriptie en translatie de neodarwinistische vergelijking van het DNA met een computerprogramma of een boek met kant-en-klare recepten heeft ondergraven. Dat heeft onder meer geleid tot pogingen de gebruikte metafoor bij te stellen en het DNA bijvoorbeeld op te vatten als een woordenboek, dat een competente spreker – weefsels en organen – behoeft om tot betekenisvolle uitspraken te komen (Copland, 2005), of als een verzameling door elkaar gehusselde gedichten, die op meerdere niveaus – letters, woorden, zinnen, elementaire en meer abstracte, overdrachtelijke betekenissen – interpretatie behoeven (Borgstein, 1998).

In *De muziek van het leven* gaat Noble nog een stap verder en kiest hij doelbewust voor een niet-linguïstische metafoor. Misschien heeft Nobles liefde voor de muziek daarin een rol gespeeld, maar de voornaamste reden is een cognitieve: deze metafoor is beter dan de aan taal ontleende metaforen (DNA als tekst, recept of woordenboek) in staat de nieuwe empirische bevindingen te beschrijven en in een betekenisvol geheel met elkaar te verbinden. Zo maakt de muziekmetafoor inzichtelijk dat in organisch leven net als in een orkest vele processen zich gelijktijdig – parallel in plaats van sequentieel – afspelen. Ook stelt de muziekmetafoor ons in staat te verhelderen dat we in organismen vooral pragmatische betekenis aantreffen, doelmatig georganiseerde processen zonder semantische inhoud. Instrumentele muziek en organismen hebben geen betekenis zoals de natuurlijke taal die heeft, tenzij we de ‘taal’ van de muziek of het organisme metaforisch opvatten. Bijvoorbeeld als gezegd wordt dat de eerste tonen van de vijfde symfonie van Beethoven de klopp van het noodlot betekenen. Of dat genen zelfzuchtig zijn. Natuurlijk zijn er wel voorbeelden van semantische betekenis in de muziek en bij organismen. Zowel bij vocale

muziek als bij mensen treffen we boven op de pragmatische laag ook betekenisvolle klanken aan.¹¹

Het is cruciaal om de rol van metaforiek in wetenschap te erkennen. Het vasthouden aan een dogmatisch onderscheid tussen letterlijk en metaforisch taalgebruik onttrekt de productieve werking van de metafoor aan het oog. Dat laat zich goed illustreren aan de hand van de plaats die de metafoor van het ‘zelfzuchtige gen’ inneemt in Dawkins’ *Onze zelfzuchtige genen*. In weerwil van het feit dat deze metafoor het hele betoog draagt, hamert Dawkins in zijn boek – net als Noble in *De muziek van het leven* – voortdurend op het onderscheid tussen metaforisch en letterlijk, wetenschappelijk taalgebruik: ‘Uit praktische overwegingen, net zoals we steno gebruiken, heb ik het gen besproken alsof het doelgericht handelde. We hebben woorden als “zelfzuchtig” en “meedogenloos” gebruikt bij onze beschrijving van het gen, terwijl we heel goed wisten dat dit maar bij wijze van spreken was’ (Dawkins, 1995, 28, vgl. 11, 37, 43, 62, 75, 111, 147, 157, 223, 228). De metafoor¹² wordt door Dawkins gepresenteerd als niet meer dan een verkorte aanduiding van wat in werkelijkheid een louter mechanisch, moleculair proces is. De vraag is echter of Dawkins zich daarbij niet schuldig maakt aan wat Kenneth Burke de *pathetic fallacy* heeft genoemd, ‘de *ambiguous* personificatie van onpersoonlijke gebeurtenissen’ (Burke, 1969, 153). Het *ambiguous* gebruik van termen als ‘zelfzuchtig’ met betrekking tot het gen brengt een verschuiving in dit begrip teweeg.

Bovendien treedt er in Dawkins’ tekst niet alleen een verschuiving op in het doeldomein van de metafoor, het met het DNA-molecuul geïdentificeerde gen, maar ook in het brondomein,

11 Ook in de levensfilosofie van Wilhelm Dilthey treffen we regelmatig vergelijkbare muzikale metaforen aan, bijvoorbeeld wanneer hij stelt dat impliciete (vaak niet-talige) ‘belevingen zich verhouden zoals in een andante van een symfonie motieven optreden, die worden ontwikkeld (explicatie) om vervolgens weer samen te komen (implicatie)’ (Dilthey, 1914-2005, VI, 316; vgl. De Mul, 2004, 176).

12 In de Nederlandse vertaling van *The Selfish Gene* is het woord *metaphor* consequent vertaald met het Nederlandse ‘beeldspraak’.

zelfzuchtige mensen. Want niet alleen krijgen genen menselijke eigenschappen toegedicht, mensen worden op hun beurt door Dawkins in mechanische termen beschreven. Zo lezen we in *Onze zelfzuchtige genen*: 'Ik wil een moeder nu eens gewoon zien als een apparaat dat is geprogrammeerd om voor alles kopieën te verbreiden van de genen die in haar meerijden. Aangezien u en ik, als mens, weten wat het betekent om bewuste bedoelingen te hebben, is het het eenvoudigst wanneer ik het begrip bedoeling gebruik ter verduidelijking van het gedrag van overlevingsapparaten' (147). En waar deze mechanische opvatting van de moeder in het voorafgaande citaat nog wordt gepresenteerd als een vergelijking, wordt het individu in een latere passage letterlijk genomen: 'Om ons niet in details te verliezen, spreken we weer af het individu te beschouwen als iets dat bewuste doeleinden nastreeft, waarbij we blijven beseffen dat dit alleen maar bij wijze van spreken is. *In werkelijkheid is een lichaam een apparaat dat blindelings wordt geprogrammeerd door zijn zelfzuchtige genen*' (Dawkins, 1995, 172, curs. JdM).

In weerwil van het feit dat Dawkins metaforisch en letterlijk taalgebruik strikt wenst te scheiden, lijkt dat onderscheid hier dus geheel te vervagen en wordt de metafoor de status van een feit toegekend. Want wat lichamen ook precies mogen zijn, ze aanduiden als apparaat kan toch moeilijk anders worden gezien dan metaforisch taalgebruik (Midgley, 1979; Journet, 2010, 46). Maar precies daarin is de retorische kracht van Dawkins' boek gelegen. Door het ambigue gebruik van de metafoor van de zelfzucht slaagt Dawkins er op retorisch niveau in om de even dogmatische als problematische neodarwinistische scheiding tussen het gen en het lichaam retorisch te overbruggen en de in veel opzichten heterogene taalspelen van moleculaire biologie, populatiegenetica en het intentionele handelen van de mens met elkaar te verbinden. En de enorme impact die het boek heeft gehad, zowel op biologische onderzoekers als op het grote publiek, bewijst dat dit een bijzonder succesvolle retorische manoeuvre is geweest.

Biologische metaforen en praktisch zelfbegrip

Metaforen spelen niet alleen een cruciale rol in onze pogingen kennis over de wereld en onszelf te verwerven, maar ze hebben ook praktische betekenis. Iedere ontologie brengt een deontologie met zich mee, ze ontsluiten ook een bepaalde handelingsruimte. Ze hebben met andere woorden, zoals Noble in *De muziek van het leven* opmerkt, ‘verstreckende sociale en ethische implicaties’ (zie hierboven, pagina 61). De keuze voor een bepaald verhaal is cruciaal voor de identiteit die we daarmee zelfreflectief constitueren. Ook op dit punt is de vergelijking van de posities van Dawkins en Noble instructief.

Dawkins productieve koppeling van mechanische moleculaire processen, mathematische berekeningen van de populatiegenetica en menselijke handelingsmotieven door middel van de metafoor van de zelfzuchtige genen heeft een hoge prijs: het leidt onvermijdelijk tot een bijzonder deterministische kijk op het menselijk leven. Blijkbaar schrok Dawkins zelf terug voor deze consequentie, aangezien hij op de eerste en laatste bladzijden van zijn boek expliciet stelt dat mensen hieraan kunnen ontsnappen: ‘Wij zijn gebouwd als genetische apparaten [...], maar we bezitten het vermogen ons tegen onze makers te verzetten. Wij kunnen, als enigen op de wereld, in opstand komen tegen de tirannie van de zelfzuchtige replicateurs’ (Dawkins, 1995, 232). Maar hoe dat in het licht van het genetisch reductionisme dat alle voorafgaande bladzijden doordesemt mogelijk is, blijft in *Onze zelfzuchtige genen* volkomen onopgehelderd. Dat is vooral vreemd omdat Dawkins in weerwil van het feit dat hij overwegend over niet-menselijke organismen spreekt, zijn argumentatie toch regelmatig op de mens betreft. Bijvoorbeeld wanneer hij in het hoofdstuk over de strijd der seksen opmerkt dat ‘als we nadenken over evolutionaire argumenten zoals in dit hoofdstuk, we onherroepelijk ook aan onze eigen soort en onze eigen ervaringen denken’ (Dawkins, 1995, 192). Dat nadenken stemt niet vrolijk.

Dat wordt temeer duidelijk wanneer we zien dat Dawkins er niet alleen op is gericht moleculaire genetica, populatiegenetica

en menselijk handelen onder één noemer te brengen, maar tevens tracht een antwoord te formuleren op de netelige praktische vraag die door het neodarwinisme spookt. Centraal in *Onze zelfzuchtige genen*, dat zoals de ondertitel in de Nederlandse vertaling aangeeft voor alles handelt *over evolutie, agressie en eigenbelang*, staat namelijk de vraag hoe altruïsme mogelijk is. Indien de evolutie, zoals het neodarwinisme beweert, uitsluitend wordt voortgedreven door de natuurlijke selectie, en slechts de best aangepaste kans zien zich te reproduceren, hoe heeft niet-egoïstisch gedrag, zoals we dat bij sociale dieren (zoals sociale insecten en zoogdieren, waaronder de mens) aantreffen zich dan ooit kunnen ontwikkelen? Immers, zo formuleert Dawkins het probleem, 'je mag verwachten dat de altruïst waarschijnlijk iets meer kans loopt te sterven (hoe gering die waarschijnlijkheid ook is), terwijl de begunstigde waarschijnlijk iets meer kans krijgt te overleven' (19). Het antwoord dat hij in *Onze zelfzuchtige genen* formuleert, komt er kortgezegd op neer dat 'ogenschijnlijk altruïsme in werkelijkheid vaak vermomde zelfzucht is' (19). Wanneer een dier zich bijvoorbeeld opoffert voor zijn soortgenoten of zijn kroost, dan dient dit schijnbaar altruïstische gedrag in werkelijkheid slechts het voortbestaan van de genen die ze delen.

Tezamen met het sterke determinisme leidt dit inzicht tot een nogal zwarte, zo niet nihilistische kijk op het leven van de mens. Want hoewel Dawkins aan het begin van zijn boek oproept tot altruïsme – 'Laten we proberen onbaatzuchtigheid en altruïsme aan te leren, omdat we zelfzuchtig geboren zijn' – en op de laatste bladzijde stelt dat 'we er zelfs over [kunnen] praten hoe we bewust een zuiver belangeloos altruïsme zouden kunnen aankweken en onderhouden, iets dat in de hele geschiedenis van de aarde nog nooit eerder heeft bestaan' (Dawkins, 1995, 17, 232), de 'zelfzuchtige metaforiek' dat het hele verdere betoog draagt, biedt zelfs geen begin van een antwoord op de vraag hoe we daartoe als 'genetische apparaten' ooit bij machte zouden kunnen zijn. Het tegendeel is eerder het geval. Zoals Dawkins zelf – met ontelijke verontwaardiging – opmerkt in de inleiding tot de '30th Anniversary Edition' uit 2006 van *The Selfish Gene*,

hebben sommige critici het boek bekritiseerd vanwege het feit dat het in de jaren tachtig van de vorige eeuw heeft gediend als een ideologische rechtvaardiging voor het *greed is good* van het thatcherisme en de daarbij horende negentiende-eeuwse competitieve en xenofobe opvatting van de menselijke natuur (Dawkins, 2006, xiv).

Die verwijzing naar 'de negentiende-eeuwse competitieve en xenofobe opvatting van de menselijke natuur' is daarbij niet helemaal terecht, voor zoverre ze een verwijzing naar Darwin zou impliceren. Ook op dit punt geldt namelijk dat Darwin zelf een heel wat meer genuanceerde opvatting had over de menselijke moraal dan de neodarwinisten die zich op hem beroepen. Volgens Darwin heeft de menselijke moraal niet alleen zijn wortels in de toegenomen intelligentie van de mens – voor zoverre Dawkins argumenten aanvoert voor de mogelijkheid altruïsme te realiseren, lijkt hij zijn kaarten op een door de menselijke rede verlicht egoïsme te zetten¹³ – maar ook in de sociale instincten die we met andere sociale dieren (sociale insecten, zoogdieren) delen (Darwin, 2009, 70-106; zie ook Midgley, 2009). Daarmee zou ook op het vlak van het sociale gedrag en de moraal van emergente eigenschappen kunnen worden gesproken.

Anders dan bij Dawkins, scheidt het conceptuele vocabulaire van Noble met termen als 'neerwaartse oorzakelijkheid' wel ruimte voor een bij onze alledaagse ervaring aansluitend zelfbegrip, waarin de mens als een handelingsbekwaam – dat wil zeggen niet volstrekt gedetermineerd en volkomen egoïstisch – subject kan worden begrepen. Dat wil niet zeggen dat we geheel autonome subjecten zouden zijn. Aangezien het leven zowel door opwaartse als neerwaartse oorzakelijkheid wordt gekenmerkt, hebben wij geen complete controle erover. Wij zijn geen volstrekt autonome subjecten, aangezien we net zozeer bepaald worden door de processen die zich op lagere niveaus afspelen

13 'We bezitten tenminste de geestelijke uitrusting om liever onze zelfzuchtige belangen op langere termijn te koesteren dan onze zelfzuchtige belangen op korte termijn' (Dawkins, 1995, 17, 232).

als dat wij deze processen kunnen bepalen, en veel processen laten zich niet of nauwelijks onder onze neerwaartse controle brengen. Zo leert de bestudering van 'de syntaxis van het leven' dat veel ziekten genetische componenten bezitten, die (nog) grotendeels aan onze beheersing ontsnappen. En op het vlak van 'de pragmatiek van het leven' geldt dat we onze basale drijfveren (honger, agressie, seksuele aandriften) vaak slechts met moeite onder heerschappij van onze rationele principes, argumenten en motieven kunnen brengen. En de voorafgaande reflectie op 'de semantiek van het leven' leert dat ook de rationaliteit zelf veel valkuilen kent in de vorm van denkfouten, drogredeneringen, retorische verleiding etc.

Dat geeft het menselijk leven een tragische dimensie. Griekse tragedies lijken om die reden een meer realistische visie op het menselijk leven tot uitdrukking te brengen dan rationalistische opvattingen die alle nadruk leggen op menselijke vrijheid en autonomie. Neem bijvoorbeeld de door Euripides ten tonele gevoerde Medea, die met een mes in haar hand naast haar slapende kinderen staat, worstelend met de demon van de wraakzucht die haar influistert hen te doden om haar ontrouwe echtgenoot, die haar diep heeft vernederd, te treffen. Medea wordt verteerd door wraakgevoelens, maar ze houdt ook zielsveel van haar kinderen. Ze is een tragische 'heldin', niet zozeer nog vanwege haar lijden (er bestaan vele vormen van lijden die niet tragisch zijn), maar omdat ze de demon die haar aanzet tot de kindermoord als *haar* demon accepteert en daarmee de verantwoordelijkheid voor deze gruwelijke daad op zich neemt. Medea is niet vrij te noemen in de zin dat noch de omstandigheden noch haar karakter door haarzelf zijn gekozen. Maar ze had de keuze met haar demon mee te gaan of zich ertegen te verzetten. Door haar demon uiteindelijk als de hare te accepteren en dienovereenkomstig te handelen, neemt ze haar 'verantwoordelijkheid zonder vrijheid' (Alford, 1992). Handelingsbekwaamheid is, net als alle vormen van neerwaartse oorzakelijkheid, niet zozeer een aanvullende causale kracht, maar het vermogen om tussen de vaak tegenstrijdige krachten die ons tot handelen aanzetten te kunnen kiezen.

Het is precies dit vermogen dat Medea tot een moreel subject maakt, hoe betreurenswaardig haar lot en hoe verwerpelijk haar daad ook is. Deze narratieve en argumentatieve speelruimte ten opzichte van wat ons drijft maakt onze menselijkheid uit (zie De Mul, 2014, 179-244).

Gelukkig kent ons leven niet alleen tragische momenten en klinkt de muziek van het menselijk leven dankzij het vermogen ons leven tot op zekere hoogte te kunnen sturen gelukkig vaak welluidend. En ook de postneodarwinistische biologie geeft aanleiding tot een zeker optimisme. Zo noopt, om een enkel voorbeeld te noemen, het recente epigenetische onderzoek tot een herziening van de veel bediscussieerde tegenstelling tussen nature en nurture. De hiervoor besproken onderzoeken van de onderzoeksgroepen van Ian Weavers en Larry Feig (zie hierboven, pagina 98) leren dat natuur en opvoeding zeer nauw zijn verstrengeld. Niet in de zin dat ontwikkeling ‘van allebei een beetje’ is, maar omdat de effecten van opvoeding en omgeving zelf overerfbaar kunnen zijn. Dit onderzoek lijkt bijvoorbeeld te suggereren dat goed onderwijs niet alleen de huidige generatie slimmer maakt, maar ook de (klein)kinderen van die generatie (Grosveld & De Mul, 2010). Wil deze optimistische boodschap worden begrepen, dan is het van belang dat deze op de juiste wijze wordt getoonzet. En precies dat is wat Nobles *De muziek van het leven* de lezer biedt: een aubade aan het leven.

Beknopte biografie van Denis Noble

Denis Noble (1936) genoot zijn opleiding aan de Emanuel School en het University College London (UCL). Daar maakte hij in 1960, als 24-jarige PhD-student, naam met twee publicaties in het gezaghebbende tijdschrift *Nature*, waarin hij een eerste wiskundige model van het hartritme presenteerde. Deze publicaties leverden hem na de verdediging van zijn proefschrift in 1961 een baan op als Assistant Lecturer in fysiologie aan het UCL.

In 1963 volgden de prestigieuze benoemingen als fellow, tutor en lecturer aan het Balliol College van Oxford University. Hier zette hij zijn carrière voort als professional fellow en van 1984 tot aan zijn emeritaat in 2004 als Burdon Sanderson Professor of Cardiovascular Physiology en co-Director of Computational Physiology.

Gedurende zijn academische carrière was het onderzoek van Noble vooral gericht op de ontwikkeling van computermodellen van biologische organen en systemen ten behoeve van de analyse en interpretatie van hun functies, van het moleculaire niveau tot aan het gehele organisme. Daarbij ontwikkelde hij zich tot een van de pioniers van de systeembioïologie. Met een internationaal team creëerde hij – gebruikmakend van supercomputers – het eerste virtuele orgaan: een virtueel hart.

Ook op bestuurlijk terrein speelde Noble een belangrijke rol. Als secretaris-generaal (1993-2001) en sinds 2009 president van de International Union of Physiological Sciences was hij initiator en organisator van een aantal omvangrijke internationale onderzoeksprojecten, zoals het in 1993 van start gegaane Physiome Project. Dit project is gericht op de ontwikkeling van kwantitatieve fysiologische modellen van organen ter interpretatie van het menselijk genoom. Voor zijn werk ontving hij diverse internationale prijzen en eredoctoraten aan vooraanstaande universiteiten.

Ook na zijn emeritaat is Noble is zeer actief gebleven, nu vooral als auteur van boeken en artikelen over de theorie en filosofie van de biologie. In totaal publiceerde hij meer dan vijfhonderd artikelen en elf boeken. Met het elegante, in vele talen vertaalde boek *The Music of Life. Biology Beyond Genes* (2006), waarin hij het dominante neodarwinistische paradigma in de levenswetenschappen aanvalt en een gloedvol pleidooi houdt voor een meer integratieve benadering van het leven, bereikte hij een groot publiek.

Denis Nobles website <http://musicoflife.co.uk/> bevat een groot aantal links naar te downloaden artikelen, recensies van zijn werk, videoregistraties van lezingen etc.

Bibliografie

Hoofdtekst

- Anway, M.D., Cupp, A.S., Uzumcu, M. en Skinner, M.K. (2005). Epigenetic trans-generational actions of endocrine disruptors and male fertility. *Science*, **308**, 1466-1469.
- Armstrong, D.M. (1961). *Perception and the physical world*. Londen, Routledge & Kegan Paul.
- Batchelor, S. (1994). *The awakening of the West: the encounter of Buddhism and Western culture*. Berkeley, Parallax Press.
- Bateson, P. (2004). The active role of behaviour in evolution. *Biology and Philosophy*, **19**, 283-298.
- Bennett, M.R. en Hacker, P.M.S. (2003). *Philosophical foundations of neuroscience*. Oxford, Blackwell.
- Black, D.L. (2000). Protein diversity from alternative splicing: a challenge for bioinformatics and post-genome biology. *Cell*, **103**, 367-370.
- Celotto, A.M. en Graveley, B.R. (2001). Alternative splicing of the *Drosophila Dscam* pre-mRNA is both temporally and spatially regulated. *Genetics*, **159**, 599-608.
- Coen, E. (1999). *The art of genes: how organisms make themselves*. Oxford University Press.
- Colvis, C.M., Pollock, J.D., Goodman, R.H., Impey, S., Dunn, J., Mandel, G. et al. (2005). Epigenetic mechanisms and gene networks in the nervous system. *Journal of Neuroscience*, **25**, 10375-10389.
- Cornman, J.W. (1975). *Perception, common sense and science*. New Haven en Londen, Yale University Press.
- Crampin, E.J., Halstead, M., Hunter, P.J., Nielsen, P., Noble, D., Smith, N., en Tawhai, M. (2004). Computational physiology and the Physiome Project. *Experimental Physiology*, **89**(1), 1-26.
- Crick, F.H.C. (1994). *The astonishing hypothesis: the scientific search for the soul*. Londen, Simon & Schuster.
- Dawkins, R. (1976) *The selfish gene*. Oxford University Press.
- Dawkins, R. (1976). Hierarchical organisation: a candidate principle for ethology. In *Growing points in ethology: based on a conference sponsored by St. John's College and King's College, Cambridge* (red. P.P.G. Bateson en R.A. Hinde), p. 7-54. Cambridge University Press.
- Dawkins, R. (1982). *The extended phenotype: the gene as the unit of selection*. Londen, Freeman.
- Dawkins, R. (2003). *A devil's chaplain*. Londen, Weidenfeld & Nicolson.
- Deisseroth, K., Mermelstein, P.G., Xia, H. en Tsien, R.W. (2003). Signaling from synapse to nucleus: the logic behind the mechanisms. *Current Opinion in Neurobiology*, **13**, 354-365.

- Dover, G. (2000). *Dear Mr Darwin: letters on the evolution of life and human nature*. Londen, Weidenfeld & Nicolson.
- Downer, L. (2003). *Madame Sadayakko: the geisha who seduced the West*. Londen, Headline.
- Feytmans, E., Noble, D. en Peitsch, M. (2005). Genome size and numbers of biological functions. *Transactions on Computational Systems Biology*, 1, 44–9.
- Foster, R. en Kreitzman, L. (2004). *Rhythms of life: the biological clocks that control the daily lives of every living thing*. Londen, Profile Books.
- Gould, S.J. (2002). *The structure of evolutionary theory*. Cambridge, MA, Belknap Press of Harvard University Press.
- Hardin, P.E., Hall, J.C. en Rosbash, M. (1990). Feedback of the *Drosophila* period gene product on circadian cycling of its messenger RNA levels. *Nature*, 343, 536–540.
- Houshmand, Z., Livingston, R.B. en Wallace, B.A. (red.) (1999). *Consciousness at the crossroads: conversations with the Dalai Lama on brain science and Buddhism*. New York, Snow Lion Publications.
- Hunter, P.J., Robbins, P. en Noble, D. (2002). The IUPS Human Physiome Project. *Pflügers Archiv – European Journal of Physiology*, 445, 1–9.
- International_HapMap_Consortium (2005). A haplotype map of the human genome. *Nature*, 437, 1299–1319.
- Jacob, F. (1970). *La Logique du vivant, une histoire de l'hérédité*. Parijs, Gallimard.
- Jablonka, E. en Lamb, M. (2005). *Evolution in four dimensions: genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life*. Cambridge, MA, en Londen, MIT Press.
- Konopka, R.J. en Benzer, S. (1971). Clock mutants of *Drosophila melanogaster*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 68, 2112–2116.
- Kövecses, Z. (2002). *Metaphor: a practical introduction*. Oxford University Press.
- Kupiec, J.-J. en Sonigo, P. (2000). *Ni Dieu ni gene*. Parijs, Seuil.
- Lakoff, G. en Johnson, M. (2003). *Metaphors we live by*. University of Chicago Press.
- Lamarck, J.-B. (1994). *Philosophie zoologique*; oorspronkelijke editie van 1809 met inleiding van André Pichot. Parijs, Flammarion.
- Levi, J. (2003). *Propos intempestifs sur le Tchouang-tseu*. Parijs, Editions Allia.
- McMillen, I.C. en Robinson, J.S. (2005). Developmental origins of the metabolic syndrome. *Physiological Reviews*, 85, 577–633.
- Maynard Smith, J. (1998). *Evolutionary genetics*. New York, Oxford University Press.
- Maynard Smith, J. en Szathmáry, E. (1999). *The origins of life: from the birth of life to the origin of language*. New York, Oxford University Press.
- Mayr, E. (1982). *The growth of biological thought: diversity, evolution and inheritance*. Cambridge, MA, en Londen, Belknap Press.
- Monod, J. en Jacob, F. (1961). *Cold Spring Harbor Symposia Quantitative Biology*. 26, 389–401.
- Noble, D. (2002). The rise of computational biology. *Nature Reviews. Molecular Cell Biology*, 3, 460–463.

- Noble, D. en Noble, S.J. (1984). A model of sino-atrial node electrical activity based on a modification of the DiFrancesco-Noble (1984) equations. *Proceedings of the Royal Society of London, Serie B*, **222**, 295-304.
- Noble, D., Denyer, J.C., Brown, H.F. en DiFrancesco, D. (1992). Reciprocal role of the inward currents $i_{b,Na}$ and if in controlling and stabilizing pacemaker frequency of rabbit sino-atrial node cells. *Proceedings of the Royal Society of London, Serie B*, **250**, 199-207.
- Novartis Foundation (1998). *The limits of reductionism in biology*. Chichester, Wiley.
- Novartis Foundation (2001). *Complexity in biological information processing*. Chichester, Wiley.
- Novartis Foundation (2002). *In silico simulation of biological processes*. Londen, Wiley.
- Pichot, A. (1999). *Histoire de la notion de gène*. Parijs, Flammarion.
- Schrödinger, E. (1944). *What is life? The physical aspect of the living cell*. Cambridge University Press.
- Smith, N.P., Pullan, A.J. en Hunter, P.J. (2001). An anatomically based model of transient coronary blood flow in the heart. *SIAM Journal of Applied Mathematics*, **62**(3), 990-1018.
- Stelling, J., Klamt, S., Bettenbrock, K., Schuster, S. en Gilles, E.D. (2002). Metabolic network structure determines key aspects of functionality and regulation. *Nature*, **420**, 190-193.
- Stevens, C. and Hunter, P.J. (2003). Sarcomere length changes in a model of the pig heart. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, **82**, 229-41.
- Tomlinson, K.A., Hunter, P.J. en Pullan, A.J. (2002). A finite element method for an eikonal equation model of myocardial excitation wavefront propagation. *SIAM Journal of Applied Mathematics*, **63**, 324-350.
- Wada, S. (2002). *The oxherder*. New York, George Braziller.
- Watson, F.L., Puttnam-Holgado, R., Thomas, F., Lamar, D.L., Hughes, M., Kondo, M. et al. (2005). Extensive diversity of Ig-superfamily proteins in the immune system of insects. *Science*, **309**, 1874-8.

Voorwoord en nawoord

- Alford, C.F. (1992). Responsibility without freedom. Must antihumanism be inhumane? Some implications of Greek tragedy for the post-modern subject. *Theory and Society*, **21**, 157-181.
- Arai, J., Li, S., Hartley, D.M. & Feig, L. A. (2009). Transgenerational Rescue of a Genetic Defect in Long-Term Potentiation and Memory Formation by Juvenile Enrichment. *The Journal of Neuroscience*, **29**, 1496-1502.
- Badyaev, A.V. & Uller, T. (2009). Parental effects in ecology and evolution: mechanisms, processes and implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, **364**, 1169-1177.
- Barbieri, M. (2009). A Short History of Biosemiotics. *Biosemiotics*, **2**, 221-245.

- Bergstrom, C. & Rosvall, M. (2009). The transmission sense of information. *Biology and Philosophy*, 26, 159-176.
- Beurton, P.J., Falk, R. & Rheinberger, H.-J. (2008). *The Concept of the Gene in Development and Evolution: Historical and Epistemological Perspectives*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Bianconi, E., Piovesan, A., Facchin, F., Beraudi, A., Casadei, R., Frabetti, F., Vitale, L. et al. (2013). An Estimation of the Number of Cells in the Human Body. *Annals of Human Biology*, 40, 6, 463-671.
- Bitbol, M. (2012). Downward causation without foundations. *Synthese*, 185, 233-255.
- Borgstein, J. (1998). The poetry of Genetics: or reading a genetic sequence – a literary model for cellular mechanisms. *The Lancet*, 351, 1353-1354.
- Burke, K. (1969). *A grammar of motives*. Berkeley, University of California Press.
- Buskes, C.J.J. (2006). *Evolutionair denken: de invloed van Darwin op ons wereldbeeld*. Amsterdam, Nieuwezijds.
- Clayton, P. & Davies, P.C.W. (2006). *The re-emergence of emergence: the emergentist hypothesis from science to religion*. Oxford/New York, Oxford University Press.
- Copland, P. (2005). The book of life. *Journal of Medical Ethics*, 31, 278-279.
- Crick, F.H.C. (1956). Ideas on protein synthesis. In *Wellcome Library for the History and Understanding of Medicine. Francis Harry Compton Crick Papers*. <http://profiles.nlm.nih.gov/ps/retrieve/ResourceMetadata/SCBBFT>.
- Crick, F.H.C. (1958). On protein synthesis. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 12, 138-163.
- Crick, F.H.C. (1970). The central dogma of molecular biology. *Nature*, 227, 561-563.
- Darwin, C. (2009a). *The Origin of Species By Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. Cambridge/New York, Cambridge University Press.
- Darwin, C. (2009b). *The descent of man and selection in relation to sex*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Dawkins, R. (1976). *The selfish gene*. Oxford, Oxford University Press.
- Dawkins, R. (1995). *Onze zelfzuchtige genen*. Amsterdam, Pandora Pockets.
- Dawkins, R. (2006a). *The God delusion*. Boston, Houghton Mifflin Co.
- Dawkins, R. (2006b). *The selfish gene*. Oxford/New York, Oxford University Press.
- Dawkins, R. (2009). *God als misvatting*. Amsterdam, Nieuw Amsterdam.
- Dennett, D. C. (1995). *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*. Londen, Allen Lane The Penguin Press.
- Dennis, M.Y., Nuttle, X., Sudmant, P.H., Antonacci, F., Graves, T.A., Nefedov, M. et al. (2012). Evolution of Human-Specific Neural SRGAP2 Genes by Incomplete Segmental Duplication. *Cell*, 149, 912-922.
- Descartes. (1999). *De Uitgelezen Descartes. Ingeleid en toegelicht door Han van Ruler*. Tiel/Amsterdam, Lannoo ; Boom.
- Dilthey, W. (1914-2005). *Gesammelte Schriften*. Stuttgart/Göttingen, B.G.Teubner, Vandenhoeck & Ruprecht.

- Dobzhansky, T. (1937). *Genetics and the origin of species*. New York, Columbia University Press.
- Ellis, G.F.R. (2009). Top-Down Causation and the Human Brain. In *Downward causation and the neurobiology of free will* (ed. N.C. Murphy, G.F.R. Ellis & T. O'Connor), pp. 63-81. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag.
- Ellis, G.F.R., Noble, D. & O'Connor, T. (2012). Top-down causation: an integrating theme within and across the sciences? *Interface Focus*, 2, 1-3.
- van Fraassen, B.C. (1980). *The scientific image*. Oxford/New York, Clarendon Press & Oxford University Press.
- Grice, H.P. (1957). Meaning. *Philosophical Review*, 66, 377-388.
- Griffiths, P. & Stotz, K. (2013). *Genetics and philosophy: an introduction*. Cambridge/New York, Cambridge University Press.
- Grosveld, F. & de Mul, J. (2010). Opvoeding en omgeving kunnen net als eigenschappen erfelijk zijn. In *de Volkskrant*, 3 april 2010, 10.
- el-Hani, C.N. & Pereira, A.M. (2000). Higher-level Descriptions: Why Should We Preserve Them? In *Downward Causation: Minds, Bodies and Matter* (ed. P. B. Andersen, C. Emmeche, N.O. Finnemann & P.V. Christiansen), pp. 118-142. Aarhus, Aarhus University Press.
- Hesse, M.B. (1966). *Models and analogies in science*. Notre Dame, IN, University of Notre Dame Press.
- Huxley, J. (1942). *Evolution, the modern synthesis*. Londen, G. Allen & Unwin Ltd.
- Jacob, F. (1982). *The possible and the actual*. Seattle, University of Washington Press.
- Johannsen, W. (1909). *Elemente der Exakten Erblichkeitslehre*. Jena, Gustav Fischer.
- Johnson, R.E., Washington M.T., Prakash, S. & Prakash, L. (2000). Fidelity of human DNA polymerase. *Journal of Biological Chemistry*, 275, 7447-7450.
- Journet, D. (2010). The recourses of Ambiguity. Context, Narrative, and Metaphor in Richard Dawkins's *The Selfish Gene*. *Journal of Business and Technical Communication*, 24, 29-59.
- Keller, E.F. (2002). *Making sense of life: explaining biological development with models, metaphors, and machines*. Cambridge, Harvard University Press.
- Kohl, P., Crampin, E.J., Quinn, T.A. & Noble, D. (2010). Systems Biology: an approach. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 88, 25-33.
- Kohl, P. & Noble, D. (2009). Systems biology and the virtual physiological human. *Molecular Systems Biology* 5, 1-6.
- de Koning, A.P., Gu, W., Castoe, T.A., Batzer, M.A. & Pollock, D.D. (2011). Repetitive elements may comprise over two-thirds of the human genome. *PLoS Genetics*, 7, e1002384.
- Laland, K.N., Uller, T., Feldman, M.W., Sterelny, K., Müller, G.B., Moczek, A., et al. (2015). The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions. *Proceedings of the Royal Society of London, Serie B*, 282, 1-14.
- Lamarck, J.B. de (1968). *Philosophie zoologique*. Parijs, Union générale d'éditions.
- von Linné, C. (1963). *Systema naturae*. Published for the Ohio Herpetological Society by Cushing-Malloy, Ann Arbor, Michigan.

- Mattick, J.S. (2012). Rocking the foundations of molecular genetics. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **109**, 16400-16401.
- Maynard Smith, J. (1998). *Evolutionary genetics*. Oxford/New York, Oxford University Press.
- McClintock, B. (1984). The significance of responses of the genome to challenge. *Science*, **226**, 792-801.
- Midgley, M. (1979). Gene-juggling. *Philosophy*, **54**, 439-458.
- Midgley, M. (2009). What is selfishness? In *The Guardian*, 20 april 2009.
- de Mul, J. (1999). The Informatization of the worldview. *Information, Communication & Society*, **2**, 604-629.
- de Mul, J. (2004). *The Tragedy of Finitude. Dilthey's Hermeneutics of Life*. New Haven/Londen, Yale University Press.
- de Mul, J. (2014). *De domesticatie van het noodlot. De wedergeboorte van de tragedie uit de geest van de technologie*. Rotterdam, Lemniscaat.
- Müller, G. & Newman, S.A. (2003). Origination of organismal form: the forgotten cause in evolutionary theory. In *Origination of Organismal Form* (ed. G. Müller & S. A. Newman), pp. 3-10. Cambridge, MA, MIT Press.
- Murphy, N.C., Ellis, G.F.R. & O'Connor, T. (2009). Downward causation and the neurobiology of free will. In *Understanding Complex Systems*. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag.
- Noble, D. (2006). *The music of life biology beyond the genome*. Oxford/New York, Oxford University Press.
- Noble, D. (2008a). Claude Bernard, the first systems biologist, and the future of physiology. *Experimental Physiology*, **93**, 16-26.
- Noble, D. (2008b). Genes and causation. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, **366**, 3001-3015.
- Noble, D. (2010). Biophysics and systems biology. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, **368**, 1125-1139.
- Noble, D. (2011a). The aims of systems biology: between molecules and organisms. *Pharmacopsychiatry*, **44** 9-14.
- Noble, D. (2011b). Differential and integral views of genetics in computational systems biology. *Journal of the Royal Society Interface Focus*, **1**, 7-15.
- Noble, D. (2011c). Neo-Darwinism, the modern synthesis, and selfish genes: are they of use in physiology? *Journal of Physiology*, **589**, 1007-1015.
- Noble, D. (2012a). A Biological theory of relativity: no privileged level of causation. *Journal of the Royal Society Interface Focus*, **2**, 55-74.
- Noble, D. (2012b). *The selected papers of Denis Noble: a journey in physiology towards enlightenment*. Londen/Singapore/Hackensack, Imperial College Press.
- Noble, D. (2013). Physiology is rocking the foundations of evolutionary biology. *Experimental Physiology*, **98**, 1235-1243.
- Noble, D. (2015a). Conrad Waddington and the origin of epigenetics. *The Journal of Experimental Biology*, **218**, 816-818.

- Noble, D. (2015b). Evolution beyond neo-Darwinism a new conceptual framework. *The Journal of Experimental Biology*, 218, 7-13.
- Noble, D. (in druk). Digital and analogue information in organisms. In *Information and Causality: From Matter to Life*.
- Noble, D., Jablonka, E., Joyner, M. J. & Omholt, S. W. (2014a). Evolution evolves: physiology returns to centre stage. *Journal of Physiology*, 592, 2237-2244.
- Noble, D., Noble, R. & Schwaber, J. (2014b). What is it to be Conscious? In *The Claustrum. Structural, Functional, and Clinical Neuroscience* (ed. J. Smythies, L. Edelstein & V. Ramachandran), pp. 353-363. Amsterdam/New York, Elsevier.
- Pembrey, M.E., Bygren, L.O., Kaati, G., Edvinsson, S., Northstone, K., Sjöström, M., et al. (2006). Sex-specific, male-line transgenerational responses in humans. *European Journal of Human Genetics*, 14, 159-166.
- Pigliucci, M. & Müller, G.B. (2010). Elements of an extended evolutionary synthesis. In *Evolution: The Extended Synthesis* (ed. M. Pigliucci & G.B. Müller), pp. 3-17. Cambridge, MA, MIT Press.
- Reardon, S. (2012). The humanity switch. *New Scientist (AU/NZ)*, 10-11.
- Rechavi, O., Minevish, G. & Hobert, O. (2011). Transgenerational inheritance of an acquired small RNA-based antiviral response in *C. elegans*. *Cell*, 147, 1248-1256.
- Richardson, S.S. & Stevens, H. (2015). *Postgenomics : perspectives on biology after the genome*. Londen, Duke University Press, Durham.
- Schrum, J.P., Zhu, T.F. & Szostak, J.W. (2010). The Origins of Cellular Life. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2, 1-15.
- Shapiro, J.A. (2011). *Evolution: a view from the 21st century*. Upper Saddle River, NJ, FT Press.
- Smolinski, M.S., Hamburg, M.A. & Lederberg, J. (2003). *Microbial threats to health: emergence, detection, and response*. Washington D.C., National Academies Press.
- Sun, Y.-H., Chen, S.-P., Wang, Y.-P., Wei Hu & Zhu, Z.-Y. (2005). Cytoplasmic Impact on Cross-Genus Cloned Fish Derived from Transgenic Common Carp (*Cyprinus carpio*) Nuclei and Goldfish (*Carassius auratus*) Enucleated Eggs. *Biology of Reproduction*, 72, 510-515.
- Van Gulick, R.N. (1995). Who's in charge here? And who's doing all the work? In *Mental causation* (ed. J. Heil & A. Mele), pp. 233-256. Oxford, Clarendon Press.
- Waddington, C. H. (1956). Genetic assimilation of the bithorax phenotype. *Evolution. International Journal of Organic Evolution*, 10, 1-13.
- Waddington, C.H. (1957). *The strategy of the genes; a discussion of some aspects of theoretical biology*. Londen, Allen & Unwin.
- Weaver, I.C.G. (2009). Life at the Interface Between a Dynamic Environment and a Fixed Genome: Epigenetic Programming of Stress Responses by Maternal Behavior. In *Mammalian Brain Development*. (ed. D. Janigro), pp. 17-39. New York, Springer.
- Weismann, A. (1892). *Aufsätze über Vererbung und verwandte biologische Fragen*. Jena, Gustav Fischer.

- Williams, G.C. (1966). *Adaptation and natural selection*. Princeton, Princeton University Press.
- Witzany, G. (2014). Pragmatic turn in biology: From biological molecules to genetic content operators. *World Journal of Biological Chemistry*, 5, 279-285.
- Woese, C.R. & Goldenfeld, N. (2009). How the microbial world saved evolution from the Scylla of molecular biology and the Charybdis of the modern synthesis. *Microbiology and Molecular Biololgy Review*, 73, 14-21.

Index

- aantal genen 83, 89
ademhaling 111, 112, 118, 125
aflezen van gensequenties 47
altruïsme 53, 218, 219
ambigüiteit van taal 77, 78
aminozuren 24, 25, 45, 74, 80n, 205, 207
antireductionisme 173
arme boer, verhaal 63, 64
asymmetrie tussen genen en systemen 61
asymmetrie tussen reductionisten en
integrationisten 109
Auckland, Universiteit van 104, 128
- baarmoeder 81, 178
bacteriën 23, 24, 68, 132, 133, 135, 159, 196
Batchelor, Stephen 185n
Bateson, Patrick 157
Beethoven, Ludwig van 89, 126, 158, 214
beperkingen van metafoor 53, 54, 211
berekendbaarheid 118
beweging en handeling 171
bewustzijn 159, 166-168, 171, 175, 179,
204, 207, 209, 210
bijwerking 142
bio-informatica 74, 205
biologische functies 47, 48, 67, 68, 74,
93, 122
biologische oscillatoren 108, 111
bistro-omelet, verhaal 76, 165n
blauwdruk 34, 43, 195, 200
bloed 24, 121, 127, 129, 180
 baan 19, 91
 omloop 91, 128
 stroom 161, 162
 toevoer 179
Blue Gene, computer 119, 128
Boeddha 188
boeddhisme 185, 187, 188
boek van het leven 22, 35, 49, 74, 75, 77,
200, 206
bottom-up/van onderaf 43, 69, 84, 87,
105, 108, 109, 117, 118, 120, 122, 123
Brenner, Sydney 14, 37, 73, 81, 117, 122, 123
Brunsviga, rekenmachine 102
- calciumionen 48, 166
calciumkanaal 106
cambrische explosie 139
cartesiaans theater 167, 182
- cel, paden 42
celcompartimenten 69
celkern 22, 24, 25, 28, 46
cellen, harmonie 139-142, 157
celmembraan 75, 98
centraal dogma van de biologie 33,
58, 133
Chang-an 67
chemische markering van genen 137, 138
Chinees schrift 145-147
Chinees keizer, verhaal 63
Chinees tekens 145, 147, 156
chromosoom 41
ciliaten 132
circadiaanritme 111, 113, 114, 149
claustrum 159
Coen, Enrico 83, 90, 95, 125
combinatorisch aflezen 47
combinatorische explosie 67
compensatiemechanismen 61, 151
componist van de muziek van het
leven 159
computer, parallel met 95, 96
computerfysiologie 122
computerprogramma 49, 86, 106, 201, 214
computers gebruiken voor biologische
berekeningen 97
Crick, Francis 12, 22, 25, 41, 120n, 159,
175, 195, 206
currygerecht 165
- Daphnia 91
Darwin, Charles 12, 17-20, 23, 131-133,
143, 193, 219
database 34, 40, 49, 54, 61, 71, 73, 86, 128,
175n, 177, 201, 207
Dawkins, Richard 12-15, 21, 26, 34, 35,
42, 50, 52, 54, 57, 58, 95, 193, 194, 200,
202, 210-212, 215-219
Descartes, René 162, 167, 168, 188, 189, 210
diepgevroren hersenen 178
dirigent van het leven 159
DNA-gekte 41, 42
Dover, Gabriel 90, 145, 158
Drosophila 46, 70
Dscam-gen 46, 70, 116
dualisme 120, 162, 165

- E. coli 69
 Eccles, John 120, 168
 Eckhart, Meister 188
 EDSAC-computer 98
 eicel 23, 81, 86, 90, 91, 135, 136, 197
 eigenschappen op systeemniveau 103
 eilanden 131-134
 Einstein, Albert 184
electro-transcription coupling 88
 elektrische activiteit 98, 110, 126
 elektrische excitatie 129, 154
 elektrische lading 87, 99, 124
 elektrische potentiaal 87, 88, 105, 109
 elektrische stroom 87, 99, 126
 emergente eigenschappen 219
 endocriene klieren 91, 125
 energiebesparing 101
 energiefabriekjes 90
 engineering 125, 128
enhancer-sequenties 47
 epigenetica 28-30, 199
 epigenetische effecten 29, 90, 198
 epigenetische overerving 28, 136, 138-140, 142, 197, 198
 eukaryoten 132, 133, 196
 evolutie 12, 13, 17-19, 25, 26, 29, 30, 57, 61, 62, 79, 96, 116, 131, 138, 139, 143, 147-151, 154-157, 159, 184, 191, 198, 199, 218
 biologie 12, 16, 157
 proces 63, 69, 78, 153, 156
 theorie 11, 12, 17, 19, 22, 54, 145, 157, 158, 199
 exciteerbare cellen 98
 exonen 46, 70
 explosie van omstandigheden (*conditions explosion*) 177
 expressiepatronen 28, 84, 133, 141

 farmaceutische industrie 142, 155
 Faustiaans pact 153
 fenotype 21, 23, 24, 28, 42, 50, 56, 135, 138, 139, 201
 fosfolipide 75, 98
 Foster, Russell 114-116
 fotoreceptoren 94, 166
 fruitvliegje 28, 46, 70, 113, 116
 fruitvliegje, liefdestroubadours 116
 functionaliteit 61, 73, 74, 77, 79, 96, 116, 151
 fysiologen 153, 166
 fysiologie 32, 33, 98, 101, 118, 121, 122, 124, 126, 128, 156, 157, 223
 fysiroom 74

 Galápagos 131, 133
 Galilei, Galileo 111
 gangmakerritme 48, 68, 101, 102, 107, 110, 112, 155, 168, 176
 geest 50, 51, 60, 167-169, 185, 187, 189, 206
 gegevens/gebeurtenissen/oorzaken op laag niveau 174
 geheugen/herinneringen 40, 120n, 181, 198
 gencentrisch 14, 26, 199
 gencomponent 112
 genen als gevangenen 35, 51, 53
 genen op non-actief stellen (*knockout*) 61, 113, 151, 152
 genen programmeren alles 96
 genen spelen 24, 138
 genen, perspectief 42, 50, 53, 96, 157
 genetica 11, 12, 16, 17, 20-22, 29, 30, 49, 56, 69, 149, 150, 194
 genetisch determinisme 35, 42, 44, 49, 52, 58, 85
 genetisch programma 144, 201
 genetische drift 21, 94, 195
 genetische inprenting 137
 genexpressie in organen 84
 genexpressie 29, 45, 47, 56, 58, 59, 61, 73, 84, 87-89, 91, 92, 94, 109, 112, 113, 128, 136, 180
 genexpressiepatronen 89, 129, 137, 141, 142
gen-knockout 61, 113, 151, 152
 genmarkering 90, 141
 genmodule 114
 genmutatie 31, 94, 113, 114
 gennetwerken 149
 gen-ontologie 49, 116
 genoom als database 49, 56, 71, 73, 177
 genoom geen programma 58, 71, 93, 177
 genoom 12, 22-26, 28, 29, 31, 32, 34, 35, 41, 42, 47, 49, 56, 58, 61, 67, 68, 71-75, 77, 78, 81, 83, 84, 86, 89, 90, 93, 94, 124, 133, 135, 136, 145, 148, 149, 177, 178, 196, 197, 202, 205, 207, 223
 genotype 21, 23, 24, 42, 139, 157, 195, 201
 genotypeverandering 139
 genperspectief 50
 genproducten 47, 85
 gen-proteïnenetwerken 90, 123, 149, 153
 gentranscriptie 93
 God 17, 144, 156, 183, 184
 god(en) 97, 98, 184-187
 Gould, John 131
 Gould, Stephen 50, 54

- gregoriaanse zang 140
grootte van genaantallen 70
- Hamilton, William 53
hard-wired 95, 96
harmonie 5, 139, 140-142, 157, 192
hartfalen 89
hartkwaal 154
hartritme 27, 98, 99, 103, 104, 110-112,
116, 117, 151, 153, 202, 203, 223
hartritmestoornis 110, 112, 141
harts slag en maat in de muziek 111
harts slag 83, 92, 99-101, 111, 129, 155
hemoglobine 24, 121, 122
herrezen zelf 180
hersenen 28, 35, 48, 79, 83, 125, 137,
159-163, 165-169, 173-180, 182, 185, 188,
189, 198
hersenen-geest, problematiek 165, 166,
168
hersentransplantatie 180
Hodgkin, Alan 88, 98, 99, 102
hogere functies 48, 49, 55, 60, 113, 121
Holmes, Kenneth 126, 127
horlogemaker 156
hormoneion 24, 42, 91, 112, 151, 180,
189, 197
hoxgenen 150
Hutter, Otto 37, 99, 104
Huxley, Andrew 98, 99, 102
Huxley, Julian 21
- IBM-computer 97, 119
immuunsysteem 70, 116, 118, 125
indeling in segmenten 150
inprenting 137
insect, immuniteit 70, 116
insectengenoos 150
insectenoog 150
integratieve systeembioogie 30, 101,
118, 121, 176
integrationist 109, 110, 118, 165
Intel-processor 125
intenties 157, 169
interactie in twee richtingen 75
interactie op systeemniveau 56, 60, 88,
103, 122, 124, 157
intronen 46
ionen 87, 88, 98-101, 105-108
iongradiënten 100, 101
isovormen 70
jaarritme 111
- Jacob, François 34, 44, 144, 201
Jupiter, bewoners 183, 184
- kaarten 167, 174, 175, 219
kaliumionen 99, 100, 166
kaliumkanaalproteïne 154, 155
kaliumkanalen 99-101, 106, 107, 152, 153
kanalen 99, 100, 103, 105, 107, 155
Kant, Immanuel 78
Katz, Bernard 100
kern 23, 24, 52, 81, 84, 88, 114, 132, 137,
160, 196, 197, 201
kernbegrip 205
kerngenoom 91
kernmembraam 115
klokgen 113, 115, 116
kom rijst, verhaal 64
Kreitzman, Leon 114-116
Kupiec, Jean-Jacques 37, 144
- Lamarck, Jean-Baptiste-Pierre-
Antoine 17-20, 22, 132, 143
'lamarckisme' 20, 58, 89, 90, 131, 136, 143,
144, 197
lam-*kursi* 165
LEGO 56, 116
Leonardo da Vinci 5, 192
liefdesliedjes 116
lipiden 75, 80, 81, 86, 98, 99
logica van het leven 55, 156
- maanritme 111
machinecode 77
Magritte, René 129, 130
maternaal effect 90
maternale proteïnen 90
mathematische explosie 67
mathematische modellen 74, 98, 103,
114, 128
mathematische reeksen 67
Maxwell, demon van 143
Maynard Smith, John 26, 39, 57, 58, 91,
131, 138, 142, 144
Mayr, Ernst 144, 195
medicijnen 142, 155, 180
meditatie 181, 183, 187, 188
meerdimensionale schalen 86
membraan 69, 75, 87, 88, 93, 94, 99, 115
mens als massa moleculen 120
mens als proteïnesoep 56
Mercury, computer 97, 102-104, 108
messenger-RNA 24, 205-207
metabolische netwerken 68

- metafoor als kunst 57, 211
 metafoor als ladder van inzicht 192
 metafoor als vooroordeel 190
 metafoor, bedenken 57
 metaforen
 biologische niveaus als metafoor 16,
 194, 217
 blauwdruk 200
 boek van het leven 49, 206
 buiten 124, 191
 genen als gevangenen 35, 51, 53
 genoom als pijporgel 93, 136, 145
 genoom als programma 58, 93, 202
 hoog 190, 191
 laag 191
 omhoog 96, 191
 omlaag 191
 orkest van het leven 125, 159
 partituur 34, 81, 86, 178
 pijporgel 71, 72, 83, 145
 recept van het leven 84
 symfonie van het leven 182
 toonladders en toonaarden 140
 zelf als metafoor 190-192
 zelfzuchtig gen 53
 methylering van cytosinen 137
 middeleeuwse toonladders 140
middle-out 122, 123, 128
 mitochondriën 81, 90, 91, 132, 133
 mitochondriën-DNA 91, 133
 modulair 55, 68, 116, 130
 modulaire systemen 104, 105, 147, 150
 modulariteit 125, 147, 149, 153, 154
 moleculaire computers 75
 moleculaire genetica 56, 217
 Monod, Jacques 34, 44, 201
 multifunctionaliteit 74
 mutaties 23-25, 29, 30, 61, 113, 124, 139,
 154, 155, 195, 209
 natriumion 88, 100
 natriumkanalen 88, 152, 153, 166
 nature en nurture 85, 221
 neerwaartse oorzakelijkheid 14, 87, 89,
 91-93, 105, 109, 114, 149, 194, 203, 205,
 208-210, 219, 220
 negatieve terugkoppelingslussen 112, 113
 neodarwinisme 12, 13, 17, 20, 30, 133, 144,
 193-195, 197, 199, 203, 205, 218
 neurofysioloog 166, 168, 174
 neurowetenschap 161, 165, 166, 171, 188
 neurowetenschappers 88, 120, 166, 168
 Newton, Isaac 184
 non-lineariteit 67
 Novartis Foundation 37, 117, 126
 nucleotiden 22, 24, 27, 41, 44, 45, 195,
 205, 207
nucleus suprachiasmaticus 112, 113
 omelet, verhaal 76, 77
 ontologie 176, 217
 ontwerpfouten 154, 156
 oorzakelijkheid kwantificeren 93
 oorzakelijkheid 92
 opties inperken 69
 orgaanmodellen 122
 organisatieniveaus 42, 118, 190
 organist 72, 83, 89, 93-96
 orkest van het leven 125, 159
 oscillatie 102, 103, 105-107, 112, 152
 oscillator 68, 102, 103, 108, 111, 115, 154,
 176, 203
 ossenhoeder (verhaal) 186, 191
 overerving niet alleen via DNA 133
 overerving via kiembaan 138, 140-142
 Paley, William 156
 partituur 34, 81, 86, 178
period-gen 113-116
 Pichot, André 41, 144
 pijporgels 71, 72, 83, 145
 plotselinge hartdood 31, 124, 153, 155
 polyfone harmonie 140
 populatiegenetica 21, 24, 216, 217
 post-transcriptionele modificatie 87
 post-transcriptionele regulering 70
 privétaal 162n-164, 168, 175, 189
 privéwereld 161, 162
 programma van het leven 22, 34, 35, 43,
 60, 71, 93, 149
 programma 27, 34, 35, 58, 61, 71, 84-86, 93,
 94, 96, 106, 144, 149, 177, 195, 201, 202
promotor-elementen 47
 proteïnen vouwen 77, 118, 119
 proteoom 73
 qualia 160, 162-165, 167, 168, 175
 rationeel gedrag 173
 reageerbuisbaby 81
 recept voor het leven 84
 recept 76, 81, 214
 receptoren 91, 114
 reductionisme 14n, 86, 108, 109, 173, 199,
 203, 204, 209, 217

- reductionistisch 13, 33, 54, 55, 84, 93, 99, 108-110, 113, 117, 120-122, 127, 130, 165, 170, 193, 203
- reductionistische oorzakelijke keten 43, 45
- regulerende netwerken 94, 95, 150
- regulering van genexpressie 29, 47
- religie 184, 186, 188
- remodelling* 89
- ribosomen 44, 80n, 81, 132
- RNA 24-26, 57, 80, 191, 205-207
- rol van metafoor 54, 193

- samenwerking tussen cellen 90, 112, 140, 207
- samenwerking tussen genen 14, 48, 53, 68, 113, 140
- schaakbord, verhaal 63-68
- schepper 156, 184
- Schubert-cd, verhaal 39, 40-41
- segmenten 46, 196
- Sherrington, Charles 120, 168
- Silmans 39-41, 79, 81, 131-135, 167
- Small, Bruce 128
- sodium-calcium exchange*/natrium-calciumuitwisseling 116, 166
- software 27, 95, 128, 202
- solipsistisch 161
- Sonigo, Pierre 37
- sperma 79
- spermacel 23
- spieren 42, 87, 92, 100, 126, 169, 171
- spiermembraan 87
- spiervezel, gerichtheid 128
- splicevarianten 46, 56, 70
- sporthart 89
- strijdige metaforen 54, 55, 211
- subcellulaire mechanismen 43, 92
- symfonie van het leven 182
- syndroom van Down 116
- systemniveau 33, 88, 122, 124, 203
- systemperspectief 34, 56
- Szathmáry, Eors 39, 57, 58

- taal van het genoom 78
- tachycardie 110
- taoïstische filosofie 187
- terracotta krijgers 67
- terugkoppeling 56, 73, 88, 93, 105-109, 112, 114, 115, 151, 203
- terugkoppelingsslussen 112-114

- toonaarden 140
- toonladders en toonaarden 140
- top-down/van bovenaf 92, 118, 121-123, 126
- transcriptie 24, 27, 47, 60, 81, 87, 88, 115, 205, 214
- transmitters 91, 92
- transport van zuurstof 121
- Trautwin, Wolfgang 99
- troubadours 140, 178

- vergelijking van genomen 132
- verschuiving in verklaringsniveau 177
- vertaling (genetisch) 74
- vertaling (linguïstisch) 185
- verwardheid van natuur 148
- verworven eigenschappen 18, 19, 29, 58, 132, 134, 136, 143
- virtueel hart 128, 130, 223
- virtuele anatomische modellen 128
- virussen 24, 45n, 132, 133, 135, 159
- vitalisme 108, 120, 121
- vleugelslag oscillaties 116

- waarneming 78, 111, 160, 168, 187, 213
- Wanamakerorgel 72
- Watson, James 22, 41, 70
- Watson, Thomas 97
- Weissman, August 20, 137
- wijsbeweging, experiment 171-173
- Wittgenstein, Ludwig 184, 192, 211
- Wolpert, Lewis 126, 127

- zelf 114, 162, 166, 168, 169, 175, 176, 178-182, 184, 185, 187-189, 210
- zelfzuchtig gen 53
- zenboeddisme 183
- zenuwcel 88, 98-100, 111, 112, 120n, 136, 137, 159
- zenuwen 87, 88, 94, 98, 99, 126
- zenuwimpuls 99, 102, 111
- zenuwstelsel 88, 92, 118, 125, 159, 160, 166, 170, 174, 175, 190, 207
- ziel 5, 154, 162, 168, 184, 185, 192
- zintuiglijke indrukken 160, 164
- zoenen 78
- zoogdierenoog 94, 150
- zuurstof 79, 121
- zuurstoftransport (idem transport van zuurstof) 24, 121

