

Informatie: sleutelbegrip tussen materie en meer?¹

Rob Nijhoff, Henk Jochemsen

1. *Life sciences*, informatie en reductie

De *life sciences* zijn in. Jonge studies zoals medische technologie schuilen onder deze grote paraplu, maar ook volwassen disciplines zoals moleculaire biologie, en vakken zoals toxicologie, dat zich nu bijvoorbeeld richt op celschade door nano-toepassingen. De term *life sciences* bevat precies de spanning tussen *natuurwetenschap*, die graag voorspelbare, causale verbanden in kaart brengt, en *leven* – een typering die weinig mensen zonder meer toe zullen willen kennen aan een voorspelbare machine. Neigen niettemin de *life sciences* ertoe om leven te reduceren tot ‘slechts’ materie - zij het materie met een zekere minimale complexiteit, namelijk zelforganiserende, zelf-reproducerende materie? Vormen van reductie stellen immers het eigene van het leven ter discussie - en juist het eigene van levende organismen is fundamenteel voor ethische attitudevorming en regelgeving als het gaat om flora, fauna en het ‘mensenpark’.

De kernvraag van dit artikel luidt: is *informatie* een bruikbaar sleutelbegrip om eventuele reductionistische tendensen in de *life sciences* tegen te gaan? Zo ja, welke denkstappen maken een niet-reductionistische insteek inzichtelijk? Op basis van de conclusies zal kort de ethische ‘winst’ benoemd worden van een niet-reductionistisch omgaan met leven.

Yockey

Aanleiding tot de aandacht voor informatie is het recent verscheen *Information, evolution and the origin of life* (2005), van de hand van Hubert P. Yockey. Immers, al zo’n halve eeuw is de *informatiebioloog* Yockey kroongetuige van de manier waarop het begrip informatie op de grens figureert van levende en leven-loze materie. Met groot kritisch gemak en sceptisch genoegen schiet hij gaten in oersoep-theorieën, die van heel veel *toeval* uitgaan (2005, p.114, 182), in noties als *onherleidbare complexiteit* rond *Intelligent Design* (178-179) én in claims die *zelforganisatie* als sleutel zien (164-165). Zijn kruis? Vooral het *informationele* eenrichtingsverkeer vanaf het informatie-dragende DNA naar de eiwitten die de cel op grond daarvan aanmaakt: op basis van een serie ‘codons’ op het DNA ligt wel de aminozuurketen van het eiwit vast, maar andersom valt uit deze aminozuurvolgorde binnen het eiwit onmogelijk met zekerheid de oorspronkelijke codonvolgorde op het DNA af te leiden (zie paragraaf *Eiwitsynthese: van DNA tot eiwit*). Hoe ze ook de vorm van DNA gekregen heeft, het is deze informatie die voor levensprocessen fundamenteel en leidend is.

Yockey in zijn kritische rol: informatie is niet ‘negatieve entropie’, ook niet als Manfred Eigen dat beweert, of Norbert Wiener. Wiener ziet dat Shannons statistische formule voor informatie lijkt op een thermodynamische entropie-formule, afgezien van een minteken. Maar het blijft een categoriefout wiskundige statistiek en thermodynamica te verwarren (32, 185). Nog zo één: organische moleculen kun je nabouwen met behulp van anorganische. In 1828 lukte dat al met ureum. Is daarmee het onderscheid achterhaald tussen organische (‘levende’) en anorganische (‘leven-loze’) chemie? Nee, zegt Yockey, want juist *levende* organismen blijven bij bepaalde organische moleculen een onverklaarde exclusieve voorkeur te vertonen

¹ Gepubliceerd als: R Nijhoff, H Jochemsen, “Informatie: sleutelbegrip tussen materie en meer?” *Ethische Perspectieven* 2006;16, nr.4.:51-65.

Henk Jochemsen is directeur van het Prof. dr. G.A. Lindeboom Instituut voor Medische Ethiek
Rob Nijhoff was toen projectmedewerker bij het Prof. dr.G.A. Lindeboom Instituut.

voor óf de ‘linksdraaiende’ óf de ‘rechtsdraaiende’ variant, ook al bevindt zich in hun omgeving een mengsel van beide (2, 116-117, 144, 174).

Is leven te herleiden tot materie plus informatie? Vooral DNA staat bij deze vragen in de spotlights: is dat een *fysisch-chemische* molecuulstructuur en verder niets, of reduceert zo’n *fysicalistische* beschrijving DNA ten onrechte tot een aantal fysische objecten, processen en eigenschappen?

Wat voor reductie iemand ook wraakt, hamvraag blijft: welk ‘meer’ zou er dan bestaan of in een beschrijving onontkoombaar zijn? Met het functioneren van DNA als vertrekpunt biedt dit artikel een visie op de complexe wijze waarop materie en ‘meer’ samenhangen, een visie die verder gaat dan de gemeenplaats ‘het geheel is meer dan de som der delen’. Uitgedrukt in een claim met een vraag: sommige gehelen omvatten subtielere substructuren dan *delen*, en zeker informatie is niet een ‘deel’ van het DNA. Maar wat dan wel?

Opzet

Paragraaf 2 biedt een korte introductie van het proces van eiwitsynthese, vanaf het aflezen van het DNA. Kenners van dit proces kunnen meteen naar de informatietheoretische weergave van dit proces, en vandaar naar de vraag van paragraaf 3: Welke code bevat DNA? Een precisering van het begrip ‘code’ blijkt relevant voor de verheldering van het begrip ‘informatie’. Temidden van allerlei soorten processen nemen informatieprocessen een specifieke plaats in, betogen we in paragraaf 4, en de term ‘informatieproces’ is meer dan een metafoor (paragraaf 5). Na een precisering van *soorten* informatie om te verhelderen van wat voor soort informatie DNA de drager is (paragraaf 6), volgt in paragraaf 7 de cruciale denkstap: een proces kan tegelijkertijd causaal en informationeel van aard zijn. In de daaropvolgende paragrafen volgt een manier om dergelijke dubbelheden filosofisch te verantwoorden: paragraaf 8 introduceert het gedeeltelijk bekende vocabulair van aspecten, reductie en superveniëntie; paragraaf 9 introduceert naast delen en gehelen de *enkapsis* als een ongelijkvloerse ‘geheel-geheel’-verhouding. Tenslotte vat paragraaf 10 de conclusies samen van het voorgaande, op basis waarvan we in slotparagraaf (11) de ethische winst benoemen.

2. Eiwitsynthese: van DNA tot eiwit

Een DNA-molecuul bestaat uit de bekende dubbele helix-structuur. Deze draagt een sequentie (rij) *basen* – schijnbaar willekeurig steeds een C, G, A of T. Deze basen, samengenomen in segmenten van drie (tripletten), blijken veelal te *matchen* met aminozuren, de bouwelementen waaruit een eiwitketen bestaat. Hoe verloopt nu dit *matchen* bij de aanmaak van een eiwit? Het ‘lezen’ van een serie tripletten is in feite kopiëren. De gekopieerde serie (*messenger-RNA*, *mRNA*) verplaatst zich naar ribosomen elders in de cel. Dat zijn ‘bouwplaatsen’: elk bouwproject levert een eiwit op. Hoe? Een derde vorm van RNA, transfer-RNA (tRNA), heeft aan één kant een speciaal triplet en aan de ander kant een bepaald aminozuur. Een tRNA-triplet hecht zich op de goede plek aan een corresponderend triplet van het mRNA. Een speciaal enzym (ook een eiwit) bindt dan het aminozuur van het tRNA aan de groeiende aminozuurketen waarvan de aminozuren zijn aangedragen door andere tRNAs die correspondeerden met de tripletten die eerder op het mRNA lagen. Kort gezegd, het tRNA ‘vertaalt’ via een enzym de basenvolgorde op het mRNA naar de aminozuurvolgorde in de eiwitketen. De nieuwgevormde eiwitketen zal zich vervolgens buigen of opvouwen op een eiwit-specifieke, driedimensionale wijze, tot de vorm waarin het als eiwit werkzaam kan worden.

Informatie-theoretisch

Nu hetzelfde proces in informatietheoretische termen: op een DNA-molecuul bevindt zich ergens een symboolrij *X*, geschreven in een *bron-alfabet*, de basen C, G, A, T. Precies deze rij wordt overgeschreven naar een symboolrij *X'* (mRNA), in de letters van een soortgelijk *boodschap-alfabet*, ook basen. Deze symboolrij *X'* wordt elders in de cel gebruikt als ‘recept’ om een corresponderende rij *X''* op te stellen: het eiwit. Dat is zelf een keten opgebouwd uit de elementen van een *doel-alfabet*, typen aminozuren, waarvan in de natuur zo’n twintig verschillende voorkomen.

Kortom, bij DNA-gestuurde eiwitsynthese *matchen*, corresponderen, de sequenties *X* en *X'* met *X''*, en kan een correspondentie-code worden opgesteld tussen enerzijds bron- en boodschap-alfabet (tripletten van basen) en anderzijds het doel-alfabet (typen aminozuren).

3. Welke code bevat DNA?

In alledaags spraakgebruik geeft een code – bijvoorbeeld een ‘pincode’ – een specifiek rijtje tekens aan, symbolen, zoals cijfers. Daardoor is de gewoonte ontstaan ook bij DNA een *sequence*, een rijtje van basen (verdeeld in tripletten) een code te noemen, de ‘DNA-code’, met associaties richting het ‘geheimschrift van het leven’. Yockey hecht echter aan wiskundig nauwkeurig taalgebruik en preciseert daarom het woord ‘code’ als een correspondentie (*mapping*) tussen een alfabet A en een alfabet B (2005, p.14). Neem bijvoorbeeld de Morse code: die legt een relatie tussen ons vertrouwde letters en leestekens enerzijds en een verzameling anderzijds van elementen die elk bestaan uit punten en streepjes (lange en korte signalen).

Toegepast op DNA zou men, strikt genomen, niet de basentripletten *code* moeten noemen, maar de correspondentie tussen tripletten en aminozuren. Dankzij deze code, deze correspondentie, verloopt eiwitsynthese in een cel DNA-gestuurd. Alleen, wat wil *DNA-gestuurd* hier zeggen? Niet dat het DNA initiatief neemt. In een cel van een levend organisme is het vaak een fysiologische prikkel, zoals een voedingsstof in een bepaalde concentratie, dat de prikkel vormt, het startschot waardoor een heel proces op gang komt. Eén van de eerste fasen van dit proces bestaat uit het gaan lezen (kopiëren) van een specifiek deel van het DNA. Het zo gevormde mRNA verplaatst zich dan binnen de cel richting de plaats van de eiwitsynthese. Daar blijkt de *volgorde* van de tripletten van het DNA *sturend*, bepalend te zijn voor de volgorde van de aminozuren die tot een streng (het eiwit) verbonden worden. Door de aangemaakte eiwitten daalt de concentratie van genoemde voedingsstof (deze wordt verbruikt) waardoor weer een prikkel ontstaat om de aanmaak van dat eiwit te gaan stilleggen. In een organisme en in iedere cel wordt een groot aantal van dergelijke dynamische terugkoppelingscycli en evenwichten in stand gehouden.

Vergelijk een cel met een restaurant. Het DNA is daarbij niet zozeer de manager van het restaurant (laat staan de eigenaar), en ook niet de kok, maar eerder het kookboek: het bevat de *receptuur* van eiwitten. In minder culinaire en meer technische beeldspraak: DNA bevat het ‘montagevoorschrift’. Over de houdbaarheid van deze metaforen verderop meer.

4. Soorten processen

Wij mensen, onderzoekers, zijn het zelf die processen in cellen waarnemen en benoemen. Gaat het nu bij het ‘aflezen’ en decoderen van DNA om niet meer dan aardig gevonden, informatietechnische beeldspraak? Vindt in de werkelijke cellen zelf enkel een complexe

verwevenheid van elkaar wederzijds beïnvloedende causale fysisch–chemische processen plaats, en niet meer dan dat?

Tussen allerlei celprocessen blijken wel degelijk waarneembare verschillen te bestaan, verschillen in *soort* proces. Allereerst is het beslist opvallend dat rond het functioneren van het DNA specifieke rijtjes basen en een *codesysteem* een rol spelen. Volgens Yockey (2005, p.2, 93) zijn nergens anders in de natuur- of scheikunde reacties bekend die bepaald worden door een rijtje symbolen in een bepaalde volgorde of een correspondentie-code. Alleen al dit kennelijk unieke gegeven maakt het informatieproces rond DNA tot een specifiek proces dat enkel bij levende organismen is waargenomen.

Daarnaast kan men verschillende soorten processen onderscheiden naar energieverbruik. Het bouwen van eiwitten kost veel energie dat wordt geleverd door mitochondriën in de vorm van *ATP*. Qua energieniveau is dit ‘bouwproces’ te onderscheiden van het ‘aanvoerproces’ dat genoemd montagevoorschrift levert, op basis van afgelezen DNA.

Tenslotte kan men de onderlinge verhouding en afhankelijkheden tussen processen apart analyseren. De manier waarop de processen op elkaar ingrijpen en een gebeurtenis beïnvloeden, ook los van het energieverbruik, kunnen voldoende aanleiding geven om verschillen in processoort te onderscheiden.

Neem een trein die, hopelijk, voor een rood sein tot stilstand komt. Gaat het sein op groen, dan voert de machinist enige handelingen uit waardoor de trein weer op gang komt. Letterlijk onder hoogspanning remt de trein, en trekt weer op. De bediening van het sein is eveneens een causale keten, een proces dat echter via een ander energiecircuit functioneert dan de hoogspanning. Tussen sein- en treingedrag bevindt zich ook nog de machinist: deze neemt via zijn netvlies het kleurverschil waar, en reageert vervolgens motorisch, los van zowel sein-circuit als hoogspanning. Daarbij vinden ook in zijn lichaam weer allerlei causale processen plaats, waaronder die op celniveau. (We verwaarlozen hier gemakshalve de mogelijke invloed van zijn of haar eventuele vrije wil. Met causaliteit bedoelen we hier fysische causaliteit, ‘biljartbal-causaliteit’.)

Dit voorbeeld toont hoe we – *ook* energetisch – het aansturingproces van het sein en de besturingshandelingen door de machinist kunnen onderscheiden van het ‘hoogenenergetische gedrag’ van de trein als geheel. De eerste twee zou men informatieprocessen kunnen noemen, de laatste beslist niet. Van Riessen (1949, 530-538) onderscheidt in zijn analyse van technische processen een hoofdproces zoals montage, van nevenprocessen zoals inschakel-, controle- en regelprocessen. Naar analogie daarvan laat zich ook het DNA-gerelateerde informatieproces onderscheiden van de eigenlijke eiwitsynthese (de ‘montage’). Hoewel het gebruik van metaforen in zekere zin onontkoombaar is – een interessant fenomeen op zich –, gaat het hierbij om meer dan metaforen. Om dat te beargumenteren, concentreren we ons op de term ‘informatieproces’.

In het dagelijks spraakgebruik kunnen we bij een informatieproces ruwweg denken aan een boodschap die via een kanaal wordt verzonden tussen een bron (een zender, veelal een mens) en een doel (ontvanger, meestal ook een mens). Deze voorstelling is door Shannon (1948) daadwerkelijk als diagram weergegeven en wiskundig geformaliseerd in zijn beroemde artikel *A mathematical theory of communication*. Daarbij had hij vooral technische systemen op het oog. Voor hem was de hoofdvraag: wat is de minimaal benodigde kanaalcapaciteit zodat bij bepaalde telegrafische toepassingen de boodschappen van de zender nog identificeerbaar overkomen bij de ontvanger? Maar opeens kwam door dit artikel informatietheorie als aparte, algemene, sterk wiskundige, exacte discipline op de wetenschappelijke kaart te staan. Als katalysator daarvoor fungeerde het interdisciplinair optreden van Wiener en diens *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*, uit hetzelfde jaar 1948. Hij zag soortgelijke *feedback*-mechanismen in machines als in levende organismen,

zoals bij het gebruik van spieren. Maar kun je dat soort mechanismen nog steeds informatieprocessen noemen?

5. On-menselijke informatieprocessen: metafoor of analogie?

Zender en ontvanger zijn van een bepaalde aard. Tussen mensen veronderstelt informatie-uitwisseling een zeker begrip, interpretatievermogen en onderlinge betekenisafspraken. Planten kunnen in geuren en kleuren dieren prikkelen. *Informeert* de plant de bij over honing? Bij processen *binnen* een cel van een willekeurig organisme ligt eventuele informatieoverdracht nog weer anders, of, voorzichtiger, het ligt op een ander niveau. Sommige auteurs beperken informatieprocessen ‘per definitie’ tot taaldaden die mentale activiteit vereisen: informatieoverdracht beperkt zich dan hoofdzakelijk tot mensen, eventueel nog uitgebreid tot die tussen mens (baas) en dier (hond), en tussen dieren (variërende alarmroepen van vogels). In deze laatste visie lijken informatieprocessen rond DNA inderdaad niet meer dan metaforen.

Echter, vanwege het opvallende, unieke optreden van een *code* in het functioneren van DNA, zoals gesignaleerd door Yockey (zie de vorige paragraaf), kiezen wij voor een meer ruimhartige aanpak. Noem het ‘empirische opdringerigheid’, die uitgaat boven – subjectief – opgelegde of ingelegde beeldspraak: het begrip ‘code’ dringt zich nu eenmaal op aan wie het functioneren van DNA wil beschrijven. En het begrip ‘code’ is nu eenmaal – ook historisch, rond de Tweede Wereldoorlog, sinds Shannon – sterk verbonden met informatietheorie: hoe codeer, verstuur en ontcijfer ik identificeerbare boodschappen over een kanaal, ook bij ruis? Daarbij blijft als oorspronkelijke context waarin mensen een informatieproces waarnemen, dat proces tussen mensen (of ook tussen dieren): dat bleek uit hun alledaagse spraakgebruik. Die context zou men de bepalende, *originaire* omgeving kunnen noemen voor het begrip ‘informatie’.

Maar hoe zit het dan met informatie-achtige processen die niet tussen mensen plaatsvinden, of tussen organismen met mentale mogelijkheden? Wat is het overeenkomstige in zulke informatieproces-achtige situaties? Wat geeft reden om van een ‘informatieproces’ te spreken? Zou dat het relatief lage energieverbruik zijn? Onwaarschijnlijk. Of is het woord ‘relatief’ de sleutel? Dat veronderstelt immers een ‘ten opzichte van ...’: een informatieproces is een proces dat in een verhouding staat tot een ‘hoofdproces’? Dat lijkt waarschijnlijker – maar er zijn allerlei soorten hoofd- en nevenprocessen denkbaar, dus blijft de vraag: *welke* verhouding tot een hoofdproces maakt een nevenproces tot *informatieproces*? Bovendien lijkt de informatie-uitwisseling soms zelf het hoofdproces (*chatten*).

Een zinvolle kandidaat lijkt ons het *verwijzende* karakter van wat zich voordoet: symbool X verwijst naar (staat voor) object (entiteit, gebeurtenis) X’ (vgl. Jochemsen, 2002).

Belangrijk is nu dat we het informatieproces rond DNA werkelijk deze eigenschap kunnen toekennen. De wiskundige Ronald Meester (2005, 220) schrijft, met de nadruk op *ons* en *wij*, mensen: ‘De informatie die in biologische systemen zit is alleen maar opmerkelijk voor ons omdat wij bepaalde achtergrondkennis hebben’. Dat is waar, behalve het ‘alleen maar’: dat suggereert alsof het etiket informatie enkel *toegekend* wordt *aan* een realiteit. Terwijl blijkbare iets in die realiteit ‘zich opdringt’ en aanleiding geeft tot deze beschrijvingswijze; deze mogelijk maakt: juist *dit* etiket *past*. Precies het informatie-technische begrip ‘code’ blijkt van toepassing: tripletten corresponderen met, verwijzen naar, aminozuren.

Het DNA-gerelateerde proces in de cel laat zich daarom niet enkel als een vorm van beeldspraak *vergelijken* met een informatieproces tussen organismen met mentale mogelijkheden, het is een proces binnen de cel dat werkelijk een *analogie* vertoont met een informatieproces tussen bijvoorbeeld twee mensen. Een *metafoor* laat in een bepaald

taaldomein (hier de biologie) met een opvallende, domein-vreemde terminologie (hier: ‘code’) precies een aspect oplichten dat overeenkomst vertoont met een ander taaldomein (informatietheorie). Hier is de overeenkomst tussen de verschijnselen in de verschillende domeinen echter zo onontkoombaar, dat het hier om een ander verschijnsel gaat. Vandaar dat we aan een andere term de voorkeur geven: het gaat hier om *analogie*.

Wanneer we als zender resp. ontvanger binnen de cel beschouwen het DNA-molecuul resp. een ribosoom (zie kader *Eiwitsynthese*), dan blijkt het *verwijzende* karakter van de volgorde van tripletten een werkelijk analoog verschijnsel; het is niet slechts een metaforische overeenkomst, vergelijkenderwijs, van één aspect van de rol van DNA in de eiwitsynthese met een informatieproces tussen bijvoorbeeld mensen en hun woorden. Dat laatste mag dan wel de ‘natuurlijke’, originele omgeving zijn voor een informatieproces, het proces rond het aflezen van DNA verloopt zodanig analoog daarmee, dat ook daar de term ‘informatieproces’ gerechtvaardigd is. Op het gebruik van deze analogie en daarmee verband houdende metaforen gaan we nog iets dieper in, op zoek naar de relatie tussen ‘leven’, de onmiskenbare causale processen die dit leven ‘dragen’ en het onontkoombare informatiekarakter van sommige van deze processen.

6. Soorten informatie: ingrediënten, instructies en uitvoering

Wanneer we het *verwijzend* karakter als typerend zien voor informatie, kan men daarbinnen weer verschillende soorten informatie blijven onderscheiden. Zo verschilt bijvoorbeeld beschrijvende informatie (‘Daar leest iemand’) van vóórschrijvende informatie (‘Gij zult...’; voorschriften zoals recepten). Borgmann (1999) breidt deze tweedeling verder uit. Hij onderscheidt:

- (a) informatie *over* de werkelijkheid (‘*about* reality’: beschrijvingen, verhalen - eventueel fictief -, ...);
- (b) informatie *voor* de werkelijkheid (‘*for* reality’: aanwijzingen, recepten, bouwtekeningen, partituren, ...); en
- (c) informatie *als* werkelijkheid (‘*as* reality’, zoals een DVD).

Vanwaar die derde? Omdat een DVD verder gaat dan de partituur van een muziekstuk: bij de partituur moeten de musici de aanwijzingen opvolgen en zo het stuk uitvoeren, realiseren. Op de DVD ‘ligt’ een complete uitvoering zelf ‘vast’ (althans, beeld en geluid). Wel vereist de DVD apparatuur voor decoderen, versterken, hoorbaar en zichtbaar maken. Het stappenplan voor *deze* realisatie ligt al vast in de apparatuur, maar wordt *aangestuurd* vanuit de DVD. Algemener gesteld: informatie *als* realiteit (c) veronderstelt informatie *over* en *voor* de realiteit (a en b), terwijl die *voor* de realiteit (b) noodzakelijk ook informatie *over* de realiteit (a) veronderstelt.

Hoe ligt dit nu bij de eiwitsynthese, of liever: bij het informatieproces (het aflezen van het DNA) dat het ‘montagevoorschrift’ leverde? Is het DNA te vergelijken met een recept, een metafoor uit het culinaire domein? Op dit punt blijkt dat in beschrijvingen niet alleen *analoge* processen een rol kunnen spelen, maar tegelijk ook *metaforen*, ondanks hun beperkingen. Recepten of montagevoorschriften zou Borgmann rangschikken onder ‘voorschrijvende informatie’ of ‘informatie *voor* de werkelijkheid’. Nu hoeft dergelijke voorschrijvende informatie niet alleen voor mensen bestemd te zijn. Een computerprogramma is een reeks instructies, voorschriften, bedoeld om juist niet door mensen uitgevoerd te worden, maar door een computer. Op grond van een ‘ouder’ stappenplan dat het functioneren van de computer definieert.

De aanduiding van DNA met de metafoor ‘receptuur’ kan nu preciezer. Niet alleen bevat het DNA een opsomming van de (volgorde van de) ‘ingrediënten’ van een eiwit, maar

gedeeltelijk ook de ‘bereidingswijze’, het voorschrift voor de verschillende processtappen. Een *stopcodon* is een voorbeeld van een instructie op het DNA zelf (‘Hier eindigt de codering voor dit eiwit’). Echter, ook aangemaakte eiwitten kunnen verdere stappen weer beïnvloeden, en zelfs het aflezen van DNA belemmeren.

Met andere woorden, in de rij DNA-tripletten ligt niet alleen een volgorde van aminozuren vast, maar gedeeltelijk ook instructies die invloed hebben op wat met de tripletten gebeurt, op de uitvoering. Andere delen van het stappenplan om een eiwit te realiseren liggen echter al in structuur en functioneren van de cel als geheel opgeslagen – zoals het feit dat sommige aangemaakte eiwitten het proces weer beïnvloeden. Bovendien is de aanmaak van DNA zelf het resultaat van ‘uitgevoerde DNA-instructies’. Conclusie: net als een DVD bevat DNA ook informatie *als* realiteit. En dat soort informatie omvat, aldus Borgmann, zowel informatie *over* in dit geval de structuur van de eiwitten, en informatie *voor* de bouw ervan. Niet een technisch, door mensen gevormd, apparaat zoals een DVD-speler zorgt daarbij voor de uiteindelijke uitvoering, de eiwitsynthese, maar dat gebeurt binnen een levende cel. Ook vanuit de metafoor ‘montagevoorschrift’ is in te zien dat een groot deel van het montagevoorschrift al in het functioneren van de cel ‘verwerkt’ zit. Het DNA codeert daarbij de te monteren materialen, de aminozuren, hun volgorde, en specifieke manieren om de ‘montage’, de uitvoering te beïnvloeden.

7. Causaal én informatieel

Elk organisme, en elke cel, zit vol met dergelijke complexe mechanismen en causale verbanden waardoor stoffen elkaar en hun werking beïnvloeden. Met de aanduiding van een deel van die processen als informatieprocessen wordt de causaliteit van deze processen ook niet ontkend. De vraag is dan hoe het informatieproces zich verhoudt tot het causale karakter ervan. Wiener (1948, 132) schreef ooit nogal lapidair: informatie is informatie, niet materie of energie. Afgezien van een zeker verband, zoals hiervoor gesignaleerd, tussen informatie(-proces) en energie(-verbruik), laat deze uitspraak de vraag naar hun onderlinge verhouding open.

Het informatiedragende karakter van een DNA-molecuul hangt samen met de *vrije* binding van basen aan de DNA-keten in allerlei per soort organisme verschillende, niet natuurwetmatig noodzakelijke volgorden. ‘Vrij’ kan men hier onder andere begrijpen als ‘zonder energetisch verschil’. Tegelijk blijft elke binding zelf een natuurwetmatig, causaal proces. Deze verhouding tussen vrije en toch causale binding vraagt nadere toelichting. Hoe verhouden zich het fysische, causale proces in de cel en het informatieproces? Beide processen verlopen als het ware parallel, in de vorm van één en hetzelfde proces. Dat is niet enkel een onderscheid in beschrijving (‘informatieproces als metafoor’). Er spelen ontische, waarneembare, soms zelfs – in bijvoorbeeld relatief energieverbruik – meetbare, verschillen tussen een niet-informatieel causaal en een informatieel causaal proces. Dat roept het beeld op van niveaus, van een gelaagde werkelijkheid. Over de verhouding tussen deze lagen kan men nog veel zeggen, maar dat de werkelijkheid van levende cellen zich aan onderzoekers voordoet als gelaagd, is iets om apart bij stil te staan. Het onderscheid van, om te beginnen, de twee niveaus waarop onderzoekers resp. informatiele en causale processen waarnemen, en de vraag hoe deze zich verhouden, zijn thema’s zowel voor filosofen als voor *life science* onderzoekers en anderen die zich vanuit hun vakwetenschap met informatie bezighouden.

Zo heeft de filosoof Dretske (1981, p.26-37, 156-161, 211 incl. nt. 19, 263) speciaal werk gemaakt van het verschil tussen causaliteit en informatie. Hij beargumenteert het onderscheid niet met energetische overwegingen, maar allereerst met behulp van vrij abstracte statistische

en logische berekeningen van het informatiegehalte dat een ontvanger heeft over de toestand van de zender. Hoe gedetermineerd een bepaalde toestand bij de zender ook veroorzaakt is (causaliteitsniveau) door een toestand van de ontvanger, het informatiegehalte bij de ontvanger hangt ook af van de andere mogelijke toestanden van ontvanger en zender. Stel: de toestanden S1, S2 of S3 bij de zender S veroorzaken op onmiskenbare, causale wijze ontvanger-toestand R1. Alle S-toestanden S1 tot en met S4 komen een kwart van de tijd voor. Stel echter, dat S4 optreedt in combinatie met toestand R2, R3 of R4 bij de ontvanger, op nogal onvoorspelbare wijze. Als één van deze laatste drie zich voordoet, heeft ontvanger R beslist meer informatie over zender S en diens toestand, dan wanneer R1 optreedt. Het duidelijkste causale verband levert op informatieniveau het minste op.

Bovendien kan een ontvanger op de hoogte raken van een voor een bepaald fenomeen noodzakelijke (of waarschijnlijke) conditie aan de kant van de zender, terwijl dan niet deze conditie zelf, maar enkel het fenomeen aan de kant van de zender een bij de ontvanger waarneembare toestand veroorzaakt. Deze waarneembare toestand, in combinatie met kennis over het verband tussen conditie en fenomeen, geeft informatie over deze conditie, terwijl deze conditie zelf deze waarneembare toestand niet (direct) veroorzaakt. Dretske gebruikt hier gelukkig het meer concrete voorbeeld van een deurbel: de informatie 'er staat iemand bij de voordeur' (om die informatie gaat het immers) is afhankelijk van, maar ook te onderscheiden van het ononderbroken causale proces van 'de knop van de bel wordt ingedrukt' tot de bewustwording van het geluid. Zo raakt tegelijk de informatie 'de draad van de bel is niet kapot' bij de ontvanger beschikbaar, maar juist bij normaal functioneren zal deze zich daar niet mee bezig houden.

Dretske concludeert onder andere dat causale analyse alleen onvoldoende verklaring biedt van onze zintuiglijke ervaring (1981, p.157), ook 'informationele relaties' spelen een rol. Die conclusie stimuleert om ook op celniveau rekening te houden met het onderscheid tussen causale processen die wel en die niet met informatieoverdracht van doen hebben.

Van meer algemeen filosofische aard is de consequentie van het onderscheid causaal en informatieel, dat het ingewikkelder wordt om complexe structuren en verschijnselen te beschrijven, zoals die optreden in een cel. Enerzijds laat de cel zich opdelen in entiteiten - onder meer deelprocessen en deelstructuren (of deelgebieden). Anderzijds laten althans sommige deelgebieden, en wellicht de cel als geheel, zich weer onder verschillende gezichtspunten beschrijven. Het aflezen van DNA, bijvoorbeeld, doet zich tegelijk voor als een causaal proces én als een informatieel proces (ten behoeve van de eigenlijke eiwitsynthese).

8. Aspecten, reductie en superveniëntie

In de werkelijkheid kan men enerzijds meer of minder omvattende *gehelen* opmerken, en anderzijds *gezichtspunten* (*aspecten*) binnen deze gehelen. De filosoof Dooyeweerd heeft het structurele belang benadrukt van deze twee verschillende manieren waarmee mensen de werkelijkheid benaderen: een *entitaire* en een (*modale*) *aspectuele* benadering. De entitaire is de primaire: entiteiten doen zich aan ons mensen voor als gehelen; het functioneren ervan in verschillende aspecten ontdekt een onderzoeker pas door nadere analyse.

Dit onderscheid blijkt bruikbaar wanneer iemand structuur en functioneren van een specifiek DNA-molecuul wil beschrijven. Deze goed af te bakenen entiteit functioneert onmiskenbaar in tenminste twee aspecten of modi - zowel op het fysische vlak (met fysische causaliteitsrelaties) als op informatieel niveau (met informatiele relaties). Vooral als entiteiten onderling vervlochten blijken te zijn, kan een gecombineerde entitaire *en* aspectuele analyse hun samenhang verhelderen. Een voorbeeld daarvan volgt hieronder: de samenhang

van de fysische molecuulstructuur (de atomen en hun bindingen) en het meer-dan-fysische DNA-molecuul als geheel.

Om dergelijke vervlechtingen als ‘multimodale’, multi-aspectuele vervlechtingen te kunnen beschrijven, gaan we eerst kort in op vormen van reductie en superveniëntie als pogingen om te beschrijven hoe modale aspecten in de werkelijkheid zich tot elkaar verhouden. Hoeveel ruimte blijft er immers voor een multimodale beschrijving, wanneer een vorm van superveniëntie verschillende aspecten tot één aspect (het fysische) reduceert?

Reductie, die we al noemden in de inleiding, komt voor in soorten en maten, die nog onderlinge afhankelijk zijn ook (Moreland-Rae, 2000, p.64-66). Om – vereenvoudigend – twee daarvan te noemen: *ontische* reductie gaat ervan uit dat ‘hogere’ structuren en processen (zoals leven) te verklaren zijn uit enkel fysisch-chemische processen, en streeft dus naar dergelijke verklaringen. Maar laat de bijzondere structuur van een DNA-molecuul zich op die manier volledig verklaren? Vanwaar dan bijvoorbeeld de – in fysisch-chemisch opzicht – vrije volgorde van de basen? Een vorm van *beschrijvende* reductie stelt als eis dat *elke* puur wetenschappelijke beschrijving slechts fysisch-chemische termen en causaliteiten mag bevatten. Sceptici over deze eis kaatsen de uitdaging vaak terug: probeer het maar! - altijd houd je ‘ongewenste’ termen over.

Allerlei beschouwingen circuleren over de herleidbaarheid van aspecten, vlakken of niveaus in een gelaagde, multimodale werkelijkheidsopvatting. Ons interesseren nu ‘bottom up’-verklaringen die hogere (‘superveniërende’) vormen van functioneren (zoals *leven*) herleiden tot ‘lagere’ (‘subveniërende’, zoals het fysisch-chemische). Het hogere *superveniëert* het lagere. Vervolgens kan men weer onderscheiden tussen *structurele superveniëntie* en *emergente superveniëntie*.

Structurele superveniëntie is een naam die wordt gegeven aan het verschijnsel dat de combinatie van delen eigenschappen oplevert die elk deel afzonderlijk niet had, maar vanuit de combinatie goed verklaarbaar zijn. Neem bijvoorbeeld watermoleculen die los, op zichzelf, niet, maar in veelvoud, in combinatie, wel de eigenschap ‘nat’ opleveren. Dat heeft te maken met de bijzondere eigenschappen, de structuur van een watermolecuul. Deze is zodanig dat een veelvoud van deze moleculen de mogelijkheid biedt tot een soepel over elkaar heen ‘rollen’. Dat is voelbaar, en dat noemen Nederlandstaligen ‘nat’.

Bij *emergente superveniëntie* gaat het om een sterker, meer kwalitatief onderscheid. Laten we emergent superveniërende eigenschappen kortweg emergente eigenschappen noemen. Ook deze treden op zodra samenstellende delen meer complexe gehelen vormen. Maar in dit geval worden de nieuwe eigenschappen beschouwd als *niet herleidbaar* tot de eigenschappen, het functioneren of de structuur van de samenstellende delen afzonderlijk, ook niet na combinatie van deze delen. Deze positie roept veel meer debat op. Toch is het goed verdedigbaar wanneer iemand bijvoorbeeld het menselijk beslissen niet herleidbaar acht tot het fysisch-chemisch functioneren van het brein, hoezeer elke beslissing dat functioneren ook veronderstelt. Ook de argumentatie van Dretske hierboven pleit o.i. voor een informatieniveau dat kwalitatief onderscheiden is van het onderliggende fysische causaliteitsniveau.

Structurele superveniëntie accepteert, met andere woorden, wel de twee onderscheiden beschrijvingsniveaus (de menselijk-zintuiglijke – ‘nat’ – en de fysische), maar gaat uit van *ontische* reductie, herleiding, van het fenomeen tot het meest basale niveau. Emergente superveniëntie ontkent voor een hogere orde-fenomeen de mogelijkheid van zowel ontische als beschrijvende reductie. In beide gevallen is ‘nat’ overigens beslist geen metafoor, maar een beschrijvende term die in zichzelf waarde heeft.

9. Delen, gehelen en *enkapsis*

Leveren de fysische DNA-gerelateerde processen nu op structurele of emergente wijze de informationele eigenschappen op? Of ligt het nog anders? Het informationele functioneren van het DNA-molecuul wordt, anders dan de natheid van watermoleculen, niet alleen bepaald door de structuur van het molecuul zelf. Wel maakt de specifieke DNA-structuur het informationele gebruik mogelijk, vooral door het vrije, zonder energetisch verschil, kunnen binden van elk van de vier basen aan de ruggengraat van het DNA. Maar het DNA-gerelateerde informatieproces zelf is een functioneren op (minimaal) celniveau. De cel en haar beschrijving betekent *entitair*, niet modaal, een meer omvattend geheel dan het DNA als molecuul.

Daarbij blijft de mogelijkheid open dat op celniveau een zodanige complexiteit bereikt is, dat het kunnen optreden van informationele processen daarbij niet een emergent maar een structureel superveniërende eigenschap is 'op' de combinatie van onderliggende causale celprocessen. Welke volgorde de basen innemen op het DNA laat zich echter niet op celniveau verklaren (behalve bij eencelligen), ook niet op bijvoorbeeld weefselniveau, maar is afhankelijk van het nog meer omvattende geheel, namelijk het (soort) organisme.

Dit betekent dat de eigenaardige structuur van het DNA-molecuul, inclusief de specifieke basenvolgorde, alleen begrijpelijk wordt binnen het functioneren van – minimaal – de cel als geheel. Als men een cel ziet als de kleinste levende, biotische eenheid, dan is het DNA-molecuul een typisch *biotisch*, door *leven* gekenmerkt molecuul. In normale omstandigheden treft men DNA-moleculen enkel binnen cellen aan. En ook het informationele functioneren van het DNA-molecuul wordt bepaald door – minimaal – het levensproces van de cel als geheel.

Daarbij kan men het DNA-molecuul als totaal, als entiteit, wel afbakenen als een deel van de cel-als-geheel. De fysische molecuulstructuur van het DNA echter is beslist niet op dezelfde manier af te bakenen als een 'deel' van het DNA, laat staan de 'informatie-structuur' van het DNA. De verhouding tussen het DNA-molecuul als informatiedrager, als *biomolecuul* en de samenstellende atomen en bindingen ligt anders. De fysische molecuulstructuur ligt helemaal verweven en gebonden in het DNA als biomolecuul. De fysische molecuulstructuur is *ingekapseld* binnen (in Dooyeweerd's termen: '*enkaptisch* gebonden door') het DNA als informatiedragend biomolecuul. Deze inkapseling, *enkapsis*, duidt hier op de relatie tussen een entiteit (substructuur) en het deze entiteit omvattende geheel dat voor deze entiteit bepalend is, in dit geval: *het DNA dat in een informationeel proces in de cel betrokken is*. Zo ligt fysisch marmer gebonden in een standbeeld, en verhoudt zich tot dat beeld anders dan een deel ervan, zoals een arm of een hoofd. De artistieke, ruimtelijke structuur van het marmer wordt niet bepaald door de interne structuur van het marmer zelf, maar door het beeld als creatie, of liever: door de beeldhouwer en zijn of haar intentionele, vormende activiteit.

Dit 'hogere gebruik' van het marmer, of, *mutatis mutandis*, van de DNA-als biomolecuul, heft de ingesloten, fysische structuur niet op en *verandert* de eigen fysische structuur daarvan ook niet, integendeel, het maakt er juist gebruik van. Voor het begrijpen van de specifieke vormgeving moet men echter van het grotere geheel uitgaan. De fysische structuur van het marmer maakt de gekozen vorm mogelijk, maar verklaart de speciale vorm van het beeld niet. Dat geldt ook voor de fysische structuur van DNA-moleculen: het maakt het informationele functioneren van DNA mogelijk, maar biedt voor het feitelijke informationele functioneren binnen de levende cel onvoldoende verklaring.

Een *enkapsis*-verhouding is, met andere woorden, een geheel/geheel-verhouding, waarbij de gehelen van ongelijksoortige 'orde' zijn. Dat is precies het verschil met een deel/geheel-verhouding waarbij het deel (de arm van een standbeeld) van dezelfde orde is als het beeld-als-geheel (namelijk de fysische stof marmer). De fysische structuur van een DNA-molecuul (een geheel van atomen en hun bindingen) ligt enkaptisch vervlochten in het DNA als biomolecuul (eveneens een geheel).

Ten opzichte van deze fysische molecuulstructuur van het DNA vereist het informationele functioneren zoiets als een *emergente* superveniëntie op het fysisch-causale: de positionering van basen op het DNA-molecuul laat zich volstrekt niet vanuit de atomen of hun bindingen alleen verklaren. De specifieke volgorde van basen in een bepaald organisme veronderstelt minimaal een celstructuur als geheel. Ten opzichte van deze cel als geheel – een levend, biotisch geheel – kan men dezelfde informatieprocessen mogelijk ook beschouwen als een vanuit deze complexe constellatie verklaarbare *structurele* (niet emergente) superveniëntie, *ontisch* herleidbaar tot een fysisch substraat, maar dan toch niet op een ‘slechts’ fysisch-causaal substraat, maar in elk geval op een *levend, biotisch ingekapseld* fysisch substraat, het DNA als biomolecuul. Dit substraat doet zich alleen op celniveau of hoger voor. Daarmee komt een nieuwe, bijkomende vraag in beeld: behalve de verhouding tussen informatie en fysische drager, speelt dan ook die tussen ‘leven’ en fysisch substraat. Binnen dit artikel beperken we ons echter tot de claims (a) dat levende organismen een gelaagde werkelijkheidsstructuur vertonen (fysisch, levend, informationeel), waarbij ‘gelaagd’ verwijst naar aspecten, niet naar delen of substructuren die men ook kan afbakenen; (b) dat sommige substructuren niet ‘gewoon’ delen zijn van, maar structuren die *enkaptisch* vervlochten liggen binnen meer omvattende gehelen (zoals de atomen en bindingen binnen een DNA-molecuul); (c) dat een sterke relatie tussen informatie en leven (levende organismen) aannemelijk is. Ook de stap, als het om leven gaat, van celniveau naar weefsel, orgaan of organisme zal hier achterwege blijven, al is het duidelijk dat een complexer organisme ruwweg correleert met een groter aantal en meer complexe DNA-moleculen en een meer complexe celstructuur. Deze variatie in DNA- en cel-complexiteit laat zich niet verklaren met behulp van structurele superveniëntie op celniveau. De eventuele ‘structurele’ verklaringswijze moet zich noodzakelijkerwijs verbreden naar het meer omvattende geheel van het organisme. Een open vraag blijft echter ook dan in hoeverre (en *hoe*) vervolgens het milieu van het organisme weer meegenomen moet worden in het ontstaan van de DNA-complexiteit. Naarmate de verklaringen vanuit structurele superveniëntie zich verder tot meer omvattende gehelen verbreden, krijgen juist ‘top down’ invloeden vanuit deze grotere gehelen meer aandacht, zoals de effecten van het organisme als geheel op de cel, en van beide op het DNA en zijn functioneren. Omdat onduidelijk blijft wat als meest omvattende begrenzing moet worden genomen van wat invloed heeft op de beschreven biologische informatieprocessen, beschikken wij op dit moment over onvoldoende argumenten om een keuze te maken tussen structurele of emergente superveniëntie.

10. Conclusie: leven, organismen en informatie

Of men nu de graad van complexiteit die men op celniveau waarneemt de naam ‘leven’ als emergente of structurele superveniëntie waardig keurt, in beide gevallen is ‘leven’ als beschrijving (epistemisch) een bruikbaar stenogram. Zoals al bleek in paragraaf 3, ziet Yockey het voorkomen van informationele processen zoals die rond DNA, als kenmerkend voor leven: nergens is hij een spoor van het functioneren van een code bij fysisch-chemische reacties tegengekomen, los van levende organismen.

Over het *ontstaan* van deze informatieprocessen doet Yockey slechts negatieve uitspraken. Zoals de observatie dat voor het maken van DNA en eiwitten een netwerk nodig is dat o.a. bestaat uit DNA en, als katalysator, enzymen – zelf een soort eiwitten. Dat levert een kip-of-ei probleem op, dat tot nu toe onopgelost bleef (2005, 115, 122, 160). Maar Yockey laat zich hierdoor niet ontmoedigen: wanneer de informatieprocessen, zoals die rond DNA, eenmaal op gang gekomen zijn, dan ziet hij wel degelijk mogelijkheden tot en ook daadwerkelijk aanwijzingen van verdere ontwikkeling (evolutie). Bijvoorbeeld de overgang van DNA

opgebouwd in *codons* van *doubletten* (twee basen als eenheid van de codering) naar DNA die uit codons bestaat van *tripletten*.

In het voorgaande hebben we ons beperkt tot het huidige functioneren van informatieprocessen in de cel. DNA bevat informatie *als* realiteit (Borgmann). Te onderscheiden zijn *verschillende* causale processen zoals het aflezen van het DNA en de eiwitsynthese zelf. Dit aflezen is een voorbeeld van een causaal proces dat tegelijkertijd een informatieproces is. De molecuulstructuur en de sequentie van DNA kan niet verklaard worden op grond van de samenstellende delen, maar slechts vanuit de structuur van het DNA als geheel en het functioneren van de cel als geheel. De fysisch-chemische samenstelling van het DNA-molecuul is niet een 'deel' ervan, maar ligt *ingekapseld* in het DNA-molecuul als drager van biologische informatie. Het functioneren van het DNA-molecuul als biomolecuul in een informatieproces is bepalend voor samenstelling en vorm van het molecuul. Daarbij blijft de eigenheid van de samenstellende atomen en bindingen behouden.

De vraag of het informatiele functioneren, of zelfs het *leven*, van een cel met structurele superveniëntie verklaard kan worden, of via een vorm van emergente superveniëntie, of anderszins, kan in het kader van dit artikel openblijven. De conclusie hier is allereerst: informatieprocessen vormen een aparte, tenminste in *beschrijving* onherleidbare categorie verschijnselen die zich niet alleen tussen bewust communicerende wezens voordoet, maar die ook zijn waar te nemen in alle cellen van alle levende organismen, tot in de vorm van een *code* toe. Dit komt overeen met Yockey (2005). Ten tweede, de met DNA verbonden informatieprocessen in de cel zijn te beschouwen als *biologische informatieprocessen*, die men binnen de biologie kan beschrijven naar *analogie* van (al dan niet technisch bemiddelde) informatieprocessen tussen organismen met mentale vermogens, omdat deze processen ook werkelijk op *informatie*le wijze verlopen; men kan symbolische betekenissen (een *code*) ontdekken en benoemen. Tenslotte zijn de fysische dragers van deze code volledig *vervlochten*, niet enkel in de totaalstructuur van het DNA, maar (minimaal) in heel de levende cel waarin deze informatiedragers functioneren. Met de term *enkapsis* kan deze specifieke vervlechting van ongelijksoortige structuren en substructuren worden onderscheiden van een eenvoudiger deel-geheel verhouding. Ook biologische informatieprocessen zijn als informatieprocessen geen deel van, maar wel *enkaptisch vervlochten* in (het functioneren van) levende organismen. Binnen deze vervlechtingen doen zich genoemde analogieën voor. Terloops is erop gewezen dat een organisme als geheel, alsmede de populatie en het milieu waarin die zich bevindt, via een dergelijke *enkapsis*, sterk medebepalend is voor het functioneren van de informatie (in de vorm van symbolen, de *codons*) van zijn DNA. Reducerende, zoals fysicalistische, *bottom up* verklaringen die onvoldoende rekenen met kwalitatieve categorie-verschillen, analogieën, vervlechtingen en *top down* invloeden, doen geen recht aan de werkelijke complexiteit van het leven.

11. De morele winst

Wie niet alleen de complexiteit van het leven inziert, maar deze ook als een multi-aspectuele ('gelaagde') complexiteit opvat, zal ermee rekenen dat het ingrijpen op één aspect van een organisme of diens omgeving nooit tot dat ene aspect beperkt blijft. Het zal gevolgen hebben op het functioneren van het organisme in de andere aspecten.

Dat is meer dan een open deur. Zo *zijn* wij, mensen, niet onze hersenen (zoals Dick Swaab meent). Hersenen zijn fysieke dragers van uitermate complexe processen, die fysiek (materieel) van aard zijn, maar *tegelijkertijd* informatieel en biotisch (en psychisch en wat niet al). Beïnvloeding van mijn totale psychosociale welbevinden kan evenveel gevolgen

hebben voor het functioneren van mijn hersenen als andersom voor mijn welbevinden het elektronisch of chemisch ingrijpen op mijn hersenweefsel.

Respect voor de integriteit van een levend organisme vraagt, zeker bij de mens, om bezinning op en praktische voorzorg in de brede samenhangen van een diversiteit aan aspecten - *voordat* men besluit tot een ingrijpen dat sterk vanuit één aspect gemotiveerd is. Het gebruiken van LSD (vorige eeuw, jaren '60!) of elektroshock-therapie bij depressieve personen is daarbij een sprekend voorbeeld. Maar binnen de *life sciences* liggen de mogelijkheden tot technisch-fysisch ingrijpen inmiddels voor het oprapen. Denken vanuit het geheel van een organisme (proefdier, patiënt) is geen vaag holisme, maar rekenen met aantoonbare wisselwerkingen. Een bruikbare filosofische verantwoording van het onherleidbare karakter van andere aspecten dan het materiële binnen organismen, versterkt de positie van iedereen die pleit voor een niet-reductionistische of niet-fysicalistisch benaderen van de werkelijkheid. Een mogelijke verantwoording is hierboven gegeven met het onderscheid van aspecten en gehelen, en door het kunnen benoemen van ongelijksoortige geheel/geheel-verhoudingen (*enkapsis*): een biotisch DNA-molecuul functioneert binnen een informationeel proces, terwijl zowel in molecuul als proces allerlei fysische atomen en bindingen hun eigensoortige fysische rol spelen.

De onherleidbaarheid van aspecten speelt dus een rol in argumentaties om recht te doen aan empirische fenomenen. Deze onherleidbaarheid is dus niet maar een geliefd trefwoord van moraalridders die de vooruitgang van wetenschap en techniek graag bemoeilijken.

Integendeel: die vooruitgang is juist gebaat bij het rekenen met genoemde onherleidbare aspecten, met dientengevolge zeer complexe gehelen en met hun soms zeer ingekapselde samenhangen. Dat betekent dus een meer dan morele winst.

Literatuur

BORGMANN Albert (1999), *Holding on to reality. The nature of information at the turn of the millennium*. Chicago, University of Chicago Press.

DOOYEWEERD Herman (1997 [1957]), *A New Critique of Theoretical Thought III*. Lewiston, Edwin Mellen Press.

DRETSKE Fred I. (1981), *Knowledge and the flow of information*. Cambridge, Mass., MIT Press.

EIGEN Manfred (1992), *Steps toward Life*. Oxford, Oxford U.P..

FLÜCKIGER Daniel F. (1995), *Contribution towards a unified concept of information*. Inaugural dissertation. Bern. <http://mypage.bluewin.ch/federico.flueckiger>.

JOCHENSEN Henk (2002), 'Bezinning op beelden in biotech en ICT' in K. BOERSEMA, J. VAN DER STOEP, M. VERKERK, A. VLOT (red.), *Aan Babels stromen. Bevrijdend perspectief op ethiek en techniek*. Amsterdam, Buijten & Schipperheijn, p. 77-90.

KAUFFMAN Stuart A. (1993), *The origins of order. Self-organization and selection in evolution*. New York, Oxford U.P.

KÜPPERS Bernd-Olaf (1996), 'Der semantische Aspekt von Information und seine evolutionsbiologische Bedeutung' in *Nova Acta Leopoldina NF 72* (1996) 294, p. 195-219.

MEESTER Ronald (2005), 'Informatie en evolutie' in Cees DEKKER e.a. (red.), *Schitterend ongeluk of sporen van ontwerp? Over toeval en doelgerichtheid in de evolutie*. Kampen, Ten Have, p. 209-224.

NAUTA Doede Jr. (1970), *The meaning of information*. Den Haag, Mouton.

SHANNON Claude E. (1948), 'A mathematical theory of communication' in Bell Systems Technical Journal 27 (1948), p. 379-423, p. 623-656.

SLOB Marjan (red.) (2004), Een ander ik. Technologisch ingrijpen in de persoonlijkheid. Diemen, Veen Magazines/Rathenau Instituut.

SLOTERDIJK Peter (2000), Regels voor het mensenpark. Amsterdam, Boom.

VAN RIESSEN Herman (1949), Filosofie en techniek. Kampen, Kok.

WIENER Norbert (1961[1948]), Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine. Cambridge, Mass., MIT Press 2 (oorspr. New York 1948).

YOCKEY Hubert P. (2005), Information, evolution and the origin of life. Cambridge, Cambridge U.P.

YOCKEY Hubert P. (1958), 'Some introductory ideas concerning the application of information theory in biology' in YOCKEY Hubert P. e. a. (Eds.), Symposium on Information Theory in Biology. Galinburg, Tennessee, October 29-31, 1956. London, Pergamon Press, p. 50-59.