

DE GROENE AMSTERDAMMER

Essay

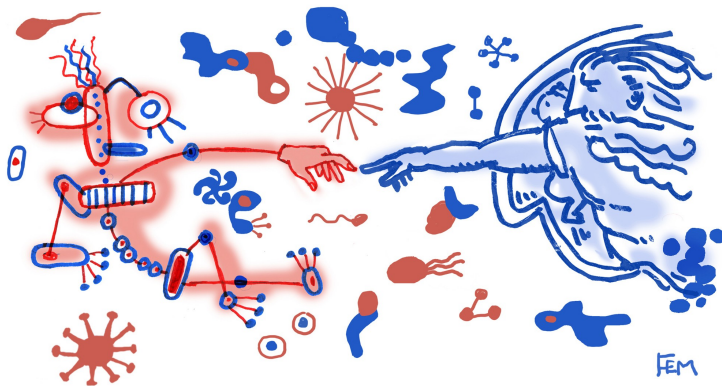
Het einde van het gencentrisme

Genetisch zuiver? Ach

Gemodificeerde soja vinden we al eng, maar varkens met mensencellen roepen pas echt walging op. Waarom eigenlijk? Welbeschouwd zijn we allemaal polygenome organismen, en verdienen begrippen als 'individu' en 'soort' een flinke nuancering.

Jos de Mul beeld Femke van Heerikhuizen

28 augustus 2019 – uit nr. 35

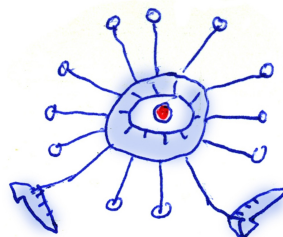


Wie kent ze niet, de wonderlijke mens-diercombinaties in de Griekse mythologie? De Centaur, de met knots of boog uitgeruste paardmens; Medusa, de vrouw met de verstenende blik uit wier hoofd slangen in plaats van haren groeien; Chimaera, het monster met het hoofd van een leeuw, het lichaam van een geit en een slang als staart? Ze zaaiden dood en verderf. Een hele troost dat ze niet echt bestaan.

Of moeten we zeggen: niet echt *bestonden*? Want mens-diercombinaties zijn weer helemaal terug, en ditmaal niet als scheppingen van de mythologische verbeelding, maar als producten van de hedendaagse biotechnologie. Nadat de genetica in de afgelopen decennia heeft geleerd DNA te lezen, is met de ontwikkeling van CRISPR/Cas9 – een soort programmeerbare biologische schaar – het tijdvak aangebroken van *genome editing*: het bewerken van erfelijke eigenschappen. Daarmee is het in principe niet alleen mogelijk geworden om genetische defecten van een individu te repareren of genetische verbeteringen aan te brengen, maar ook om genetische eigenschappen van verschillende soorten te vermengen.

Zoals vaak het geval is met nieuwe technologieën, fungeren ze niet alleen als *instrument* voor de wetenschapper, maar ook als *metafoor* om het object van onderzoek te begrijpen. Zo inspireerde de komst van de machinetechniek in de zestiende en zeventiende eeuw het idee dat het menselijk lichaam een ingewikkelde machine is. De mechanisering van het wereldbeeld schiep niet alleen een nieuw beeld van het leven, maar ontsloot ook een nieuwe handelingsruimte. Als je het hart beschouwt als pomp, nodigt dat ook uit om een defect hart te repareren of te vervangen. De machinetafoor heeft de moderne geneeskunde vleugels gegeven.

In de huidige biotechnologie zijn biologie en informatica nauw verstrengeld. Een belangrijk deel van de biologie heeft zich van de levende natuur (*in vivo*) en het laboratorium (*in vitro*) naar de computer (*in silico*) verplaatst en is daarmee digitaal geworden. Digitale databases zijn onontbeerlijk om de volgorde van de drie miljard basen waaruit het menselijke DNA-molecuul is opgebouwd te analyseren en manipuleren. De database fungeert daarin ook als een conceptuele metafoor. De evolutie van het leven op aarde wordt niet langer alleen –



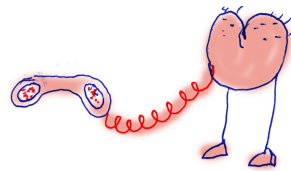
en zelfs niet meer in de eerste plaats – begrepen als een bijna vier miljard jaar lange geschiedenis, maar voor alles als een tamelijk toevallig pad door de mondiale genenpool, de database van het leven.

Biotechnologen bestuderen niet langer uitsluitend de bestaande paden, maar construeren met behulp van hun databases ook nieuwe. Dankzij CRISPR/Cas9 is het creatief knippen en plakken met het DNA van verschillende biologische soorten relatief eenvoudig geworden. Het *logisch* mogelijke aantal recombinaties van de genen uit de genenpool van het leven is hyperastronomisch groot. Maar anders dan bij het creatief fotoshopen van digitale foto's, zijn aan het aantal mogelijke organismen fysische, chemische, biologische en historische grenzen gesteld. Zo is een gevleugeld paard zoals de mythische Pegasus logisch denkbaar, en in principe ook fysisch en chemisch mogelijk, maar is het biologisch onmogelijk dat een planteneter van die omvang voldoende energie zou kunnen vergaren om het luchtruim te kiezen. Omgekeerd, omdat de paardachtigen ooit het pad der planteneters zijn ingeslagen, is het onwaarschijnlijk dat zij zich alsnog tot vleeseters zullen ontwikkelen.

Dat neemt niet weg dat er nog talloze combinaties van biologische soorten overblijven die wel realiteit zijn of kunnen worden. In de natuur treffen we ze aan in de vorm van *hybriden*; de rijpe eicel van de ene diersoort is dan bevrucht met de spermacel van een andere. Zo is de muilezel een hybride van paard en ezel. Ook de mens heeft in zijn evolutie hybridisering ondergaan. Recent genetisch onderzoek heeft aangetoond dat de archaische en moderne *Homo sapiens* zich de afgelopen driehonderdduizend jaar heeft gekruist met andere gelijktijdig levende hominiden, zoals de neanderthaler, de denisova-mens en ongespecificeerde Afrikaanse hominiden. Dat wij nog allen genen van deze verwanten bezitten, leert dat deze mensachtigen zo nauw verwant waren dat ook hun hybride nakomelingen zich, anders dan bij de muilezel, konden voortplanten.

Met de komst van de biotechnologie is het mogelijk geworden om uiteenlopende mens-diercombinaties kunstmatig te fabriceren. Bijvoorbeeld in de vorm van transgene dieren, waarbij met behulp van genoombewerkingstechnieken als CRISPR/Cas9 een of meerdere menselijke genen worden toegevoegd aan het genoom van een dier. Dat gebeurt niet alleen om de functie van uiteenlopende genen te bestuderen, maar ook om bacteriën mens-specifieke stoffen als insuline te laten produceren, of om dierlijk weefsel bedoeld voor xenotransplantatie te 'humaniseren' om afstoting te voorkomen.

Nu behouden transgene dieren in sterke mate hun soortspecifieke eigenschappen. Anders zit dat met de zogenaamde cybriden en chimere. Bij cybriden zijn de celkern en het cytoplast (de overige onderdelen van de cel, zoals het cytoplasma, mitochondriën en andere organellen en de celmembranen) afkomstig van verschillende soorten. Cybride technieken kunnen onder meer worden gebruikt om uitstervende diersoorten 'terug te halen' door celkerntransplantatie in het embryo van een verwante soort. Een fictief voorbeeld van dergelijke zogeheten '*interspecies cybrides*' zijn de dinosauriërs in Spielberg's beroemde film *Jurassic Park*. Minder spectaculair, maar realistischer zijn de in 2018 in *Nature Scientific Reports* beschreven pogingen om zo de bedreigde Russische steur voor uitsterven te behoeden.



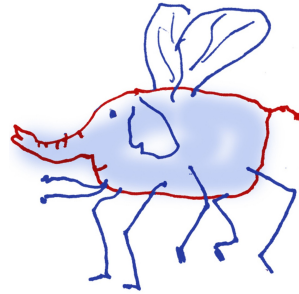
In het geval van chimere gaat het niet om een combinatie van genetisch materiaal van twee soorten in één cel, maar om composietorganismen, die al voor de geboorte bestaan uit cellen afkomstig van bevruchte eicellen van meerdere soorten. Ook in het geval van chimeervorming is het succes mede afhankelijk van de mate van evolutionaire verwantschap van de organismen. Zo is het sinds de jaren tachtig onder meer gelukt chimere te maken van verschillende muizensoorten, of door combinatie van genetisch materiaal van muizen en ratten, van het Europese rund en de zebou ofwel het bultrund, en van schapen en geiten, die laatste met als resultaat de 'sheit'. Deze chimere zijn vruchtbaar, maar de nakomelingen zullen weer gewone schapen of geiten zijn.

Bij het injecteren van pluripotente cellen (vroegembryonale cellen die nog kunnen uitgroeien tot verschillende typen cellen) van muis en rat in een varkensembryo in een vroege fase van ontwikkeling (vóór implantatie in de baarmoeder), bleek echter dat de bijdrage van de ingebrachte pluripotente cellen aan de ontwikkeling van het embryo zeer gering was. En dat gold ook voor het experiment waarin humane stamcellen in *in vivo* geproduceerde varkensembryo's werden ingebracht. Blijkbaar doet zich hier een 'xenobarrière' of 'genetische xenofobie' voor. Wanneer de evolutionaire afstand te groot is, blijkt chimeervorming onmogelijk.

De creatie van mens-diercombinaties is niet zonder risico's. Niet alleen blijkt het menselijke immuunsysteem zich heftig te verzetten tegen dierorganen, dierlijke weefsels bevatten bovendien vaak potentieel gevaarlijke genetische elementen.

Zo zit het DNA van het varken – een van de favoriete donordieren – vol met kopieën van het varkensvirus (PERV), dat als een paard van Troje met een orgaan kan meekomen en de mens kan besmetten. Nu maakt CRISPR/Cas9 het weliswaar mogelijk dergelijke virussen uit te schakelen, maar in 2018 hebben twee in *Nature Medicine* en *Nature Biotechnology* gepubliceerde onderzoeken aangetoond dat genoombewerking met behulp van CRISPR/Cas9 in de onderzochte gevallen onbedoeld heeft geleid tot de verwijdering en verplaatsing van hele sequenties in het DNA van de gastheer, wat volgens Bradley Allen – een van de auteurs – ernstige schade aan het DNA toebrengt, waardoor tot twintig procent van de cellen hun anti-kankerfuncties verliezen en mogelijk ziekteverwekkend worden. Doordat fouten vaak op ver van de gemodificeerde delen gelegen locaties optreden, zijn ze moeilijk te detecteren met standaardmethoden die worden gebruikt om te kijken of een CRISPR-bewerking succesvol is.

Bij nader inzien zijn die effecten niet heel verwonderlijk. Denk aan de duizelingwekkende complexiteit van genetische netwerken, waarin een en hetzelfde gen uiteenlopende functies kan vervullen. Dat vormt niet alleen stof voor fascinerende sciencefictionfilms als *Annihilation* (2018), waarin genetische experimenten leiden tot een explosie van plant-diermenscombinaties, maar herinnert ook aan echte rampen die regelmatig plaatsvinden als gevolg van niet-voorspelde en vaak onvoorspelbare neveneffecten van technisch ingrijpen in de natuur.



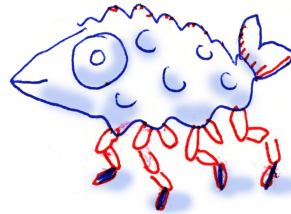
De weerstand die chimeren oproepen, wordt niet alleen door de mogelijke risico's gemotiveerd. In hun essay *Menselijke organen kweken in dieren: een ethische discussie* (2017) noemen Henk Jochemsen, Wybo Dondorp en Guido de Wert als voornaamste ethische bezwaren tegen het maken van chimeren dat veranderingen in het dierlijke brein theoretisch kunnen leiden tot menselijke cognitieve vermogens of menselijke vormen van bewustzijn bij dieren; dat functionele menselijke geslachtscellen onbedoeld zouden kunnen resulteren in de groei van menselijk embryo's in dieren; en dat de chimeren menselijke lichaamskenmerken zouden kunnen krijgen, zoals menselijke huidtypen, ledematen of gezichtsstructuur.

Eerdere studies, gepubliceerd in het *Journal of Medical Ethics* (2009) en *Stem Cell Translational Medicine* (2016), laten zien dat tegenstanders van chimeren hun afkeer vaak in emotionele termen uiten en walging als grond voor hun afwijzing noemen. Soms gebeurt dit op religieuze gronden, bijvoorbeeld wanneer er wordt gewezen op de heiligheid van de goddelijke schepping, die de mens niet mag verstoren. Seculiere critici wijzen op hun beurt op de menselijke waardigheid en de integriteit van de soort. In beide gevallen lijkt er een taboe te rusten op de versterking van de orde der natuur, in het bijzonder wanneer deze erin bestaat de genetische zuiverheid van soorten te 'vervuilen'. Wat daarbij opvalt is dat daarin feitelijke en normatieve argumenten nauw verweven zijn. De vervaging van het onderscheid tussen mens en dier lijkt op zichzelf al gevoelens van walging op te roepen.

Eerdere studies, gepubliceerd in het *Journal of Medical Ethics* (2009) en *Stem Cell Translational Medicine* (2016), laten zien dat tegenstanders van chimeren hun afkeer vaak in emotionele termen uiten en walging als grond voor hun afwijzing noemen. Soms gebeurt dit op religieuze gronden, bijvoorbeeld wanneer er wordt gewezen op de heiligheid van de goddelijke schepping, die de mens niet mag verstoren. Seculiere critici wijzen op hun beurt op de menselijke waardigheid en de integriteit van de soort. In beide gevallen lijkt er een taboe te rusten op de versterking van de orde der natuur, in het bijzonder wanneer deze erin bestaat de genetische zuiverheid van soorten te 'vervuilen'. Wat daarbij opvalt is dat daarin feitelijke en normatieve argumenten nauw verweven zijn. De vervaging van het onderscheid tussen mens en dier lijkt op zichzelf al gevoelens van walging op te roepen.

Elke menselijke cultuur is gebaseerd op een reeks fundamentele

onderscheiden, tussen natuur en cultuur, mens en dier, man en vrouw, leven en dood, het menselijke en het goddelijke. Wat niet onderscheiden kan worden is *unheimlich* en roept vrees en walging op. De vervuiling van de scheidslijn tussen de soorten veroorzaakt onheil.



Dat hangt samen met het feit dat in het presocratische wereldbeeld de natuurlijke en morele orde samenvallen. Als Oedipus in de gelijknamige tragedie van Sophocles zijn vader doodt en zijn moeder huwt (de twee fundamentele taboes waarop de menselijke cultuur is gebaseerd),

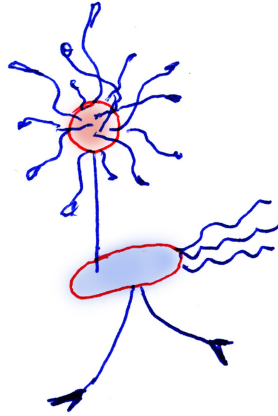
vervuilt hij zowel de natuurlijke als de morele orde. Als gevolg daarvan breekt de pest uit in Thebe. Dit mythische denken is ook in de moderne wereld niet volledig verdwenen. Toen enkele decennia geleden de opmars van aids begon, werd de ziekte in sommige religieuze kringen beschouwd als een straf voor het overtreden van de natuurlijke, seksuele orde.

In de Griekse tragedies doemen vervuilingen voortdurend op. In Sophocles' *Antigone* doden de twee zonen van Oedipus elkaar in de strijd om de opvolging. Oedipus' zwager Kreon neemt zijn verantwoordelijkheid en probeert de neuzen van de verdeelde stad weer een richting op te krijgen door de ene broer een heldenbegrafenis te geven en het lichaam van de andere broer – als straf voor zijn verraad – ten prooi te geven aan de gieren en wolven. Zus Antigone vindt echter dat het haar heilige plicht is haar broer te begraven. Doden behoren immers onder de grond. Met zijn weigering de verrader te begraven, overtreedt Kreon zowel de natuurlijke als de morele orde. Als Kreon vervolgens Antigone als straf levend opsluit in een grot, veroorzaakt hij een tweede pollutie: levenden behoren immers boven de grond en niet begraven te worden. Zoals gebruikelijk in tragedies loopt het slecht af.

Alle culturen proberen polluties te bezweren en daarvoor ontwikkelen zij verschillende strategieën. Volgens de mythe van de Chimaera kwam er pas een einde aan de ellende toen Bellerophon – merkwaardig genoeg zelf gezeten op het gevleugelde paard Pegasus, óók een chimeer – de Chimaera met zijn lans doodde. De Grieken liepen vooruit op het idee van de vaccinatie: grote polluties moet je met kleinere bestrijden. In de Griekse tragedies wordt de doorbreking van de natuurlijke en morele orde ongedaan gemaakt door de opoffering of zelfopoffering van tragische helden. Als Oedipus erachter komt dat de man die hij doodde zijn vader was, en de vrouw die hij huwde zijn moeder, steekt hij zich de ogen uit en kiest hij voor vrijwillige ballingschap. Ook Kreon verlaat, nadat als gevolg van zijn handelen zijn zoon (de verloofde van Antigone) en zijn vrouw zelfmoord hebben gepleegd, volkomen ontredderd de stad.

In moderne culturen wordt getracht vervuilingen te bezweren door onderscheiden te verabsoluteren. Waar in het mythische wereldbeeld de natuurlijke en morele orde voortdurend door elkaar lopen, daar worden in het moderne, dichotome denken *goed* en *kwaad* strikt gescheiden en wordt gepoogd het noodlot te bezweren door het lot met behulp van indrukwekkende technologische middelen in eigen hand te nemen. De vraag is evenwel of dat werkelijk lukt. De tragische ironie is dat moderne technologieën aan de lopende band uiteenlopende polluties veroorzaken. De unheimliche, tussen leven en dood zwevende Antigone treffen we tegenwoordig in comateuze toestand aan op de intensive care en met behulp van geavanceerde biotechnologieën creëren we aan de lopende band cybriden en chimeren.

Niet alleen produceert de biotechnologie chimeren, postgenomisch onderzoek leidt ook tot ontzuivering en – meer in het bijzonder – chimerificatie van ons beeld van de levende natuur. Laat mij dit toelichten aan de hand van de ondermijning van het door Francis Crick in 1956 in zijn lezing *Ideas on Protein Synthesis* geformuleerde neodarwinistische ‘centrale dogma’, dat de mainstream genetica zo’n vijftig jaar lang heeft gedomineerd. Dit ‘centrale dogma’ luidt dat uitsluitend de in de celkern aanwezige genen dragers zijn van erfelijke eigenschappen, dat het voor ieder organisme unieke genoom in iedere cel van het lichaam is te vinden en gedurende het leven van een individu op kleine kopieerfoutjes (mutaties) na niet verandert. Het genoom zou zo, als een zichzelf afspeelend computerprogramma, de verdere ontwikkeling van het organisme volledig bepalen.



Dit ‘gencentrisme’ leidde tot de verwachting dat het in kaart brengen van de precieze volgorde van de basenparen in het menselijk genoom – zoals dat tussen 1990 en 2003 gebeurde in het Human Genome Project – ons niet alleen in staat zou stellen het menselijk genoom te onderscheiden van het genoom van andere *soorten*, maar ook menselijke *individuen* heel precies te kunnen identificeren op basis van het voor ieder individu unieke DNA. De forensische genetica, die tegenwoordig in de rechtspraak wordt gebruikt om te bepalen of de DNA-sporen afkomstig zijn van een verdachte, is hierop gebaseerd.

Het postgenomisch onderzoek heeft echter duidelijk gemaakt dat het centrale dogma de werkelijkheid op zijn best nogal eenzijdig voorstelt. Zo heeft de epigenetica – het onderzoek naar factoren buiten de celkern die de overerving van eigenschappen beïnvloeden – in de afgelopen decennia duidelijk gemaakt dat niet alleen chemische stoffen buiten de celkern en uit de omgeving maar ook het gedrag van het organisme een veel grotere invloed hebben op de overerving van eigenschappen dan gedacht. Dat een organisme een bepaald gen voor een bepaalde eigenschap heeft, wil nog niet zeggen dat dit gen ook tot expressie komt. Het DNA moet niet zozeer begrepen worden als een computerprogramma dat zichzelf afspeelt, maar veeleer als een database vol recepten voor organische bouwstenen die door het organisme naar behoefte kunnen worden geraadpleegd en gebruikt.

Hoe groot de invloed van die epigenetische factoren is, blijkt uit een spectaculair experiment dat de Chinese geneticus Sun Yong-Hua in 2005 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 genen) 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. De stoffen uit die van zijn genen ontdane eicel bleken dus van cruciale invloed te zijn op de expressie van de ‘karpergenen’.

Fascinerend is ook dat die epigenetische factoren overerfbaar blijken te zijn. Zo werd in 2006 in Zweden op basis van longitudinaal onderzoek aangetoond dat mannen die tijdens hun preadolescentie ondervoed waren, kleinzoons kregen die minder vaak stierven aan hart- en vaatziekten. Een ander voorbeeld van epigenetische overerving via gedrag vormt een in 2009 gepubliceerd onderzoek van Ian Weavers 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 zich specifieke chemische groepen hechten aan relevante genen in de hippocampus, het deel van de hersenen dat een belangrijke rol speelt in de geheugenfunctie – en dat die groepen ook worden overerfd.

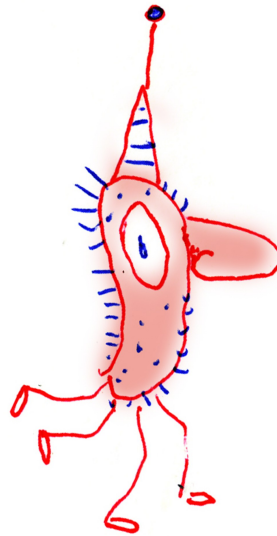
Een neodarwinist zou kunnen proberen het belang van die epigenetische overerving te relativeren door erop te wijzen dat de DNA-code ondanks de aanhechting van een extra chemische groep hetzelfde blijft. Maar dat is alleen mogelijk op basis van een platoonse abstractie (‘zuivering’ zo men wil) van de chemische realiteit, aangezien door die aanhechting niet alleen de ruimtelijke structuur van het DNA-molecuul verandert, maar ook de werking ervan. Het is alsof je zou beweren dat de salade niçoise nog steeds dezelfde is nadat je er een hete Chinese peper doorheen hebt geroerd.

Een tweede ondermijning van het centrale dogma vindt plaats in het onderzoek naar *horizontale overerving*. Het centrale dogma gaat ervan uit dat erfelijk materiaal uitsluitend verticaal wordt doorgegeven, binnen iedere soort van de ene generatie op de volgende. Volgens microbioloog Carl Woese dient dat beeld te worden bijgesteld. In de eerste fase van de evolutie van het leven op aarde bestonden er volgens Woese nog in het geheel geen afzonderlijke soorten, maar vond er voortdurend vrije horizontale overdracht van genetisch materiaal plaats tussen prokaryoten (cellen zonder kern), waardoor alle cellen van elkaar profiteerden. Een vroege vorm van ‘open source-biologie’. De eerste eukaryoten (cellen met kern, zoals bacteriën) die weigerden te delen, maakten een einde aan dit ‘biologisch communitarisme’ en markeerden het begin van de darwiniaanse evolutie waarin de verschillende soorten elkaar voortdurend naar het leven staan.

Nu zou men kunnen stellen dat deze ‘open source-biologie’ tot een ver verleden hoort, maar de huidige biotechnologie lijkt haar door genetische modificatie en de creatie van cybriden en chimeren weer in ere te herstellen. De fysicus Freeman Dyson noemt in zijn essay *Our Biotech Future* (2007) de verticale overerving met veel gevoel voor understatement zelfs een kortstondige ‘darwiniaanse onderbreking’ van de horizontale overerving. In het komende post-darwiniaanse tijdperk zullen geen onderscheiden soorten meer bestaan en zullen de regels van het open source-delen zijn uitgebreid van de uitwisseling van software naar de uitwisseling van genen.

Postgenomisch onderzoek laat bovendien zien dat horizontale genenoverdracht niet beperkt is gebleven tot die vroege eencelligen zonder kern, maar ook in het meercellige dierenrijk voorkomt. Dat de mitochondriën – de energiefabriekjes – in de menselijke cel een van de celkern afwijkend DNA bezitten, is het gevolg van het feit dat het oorspronkelijk vrij levende bacteriën waren, die zich al in een vroeg stadium in de evolutie in de menselijke cel hebben genesteld en een symbiose met hun gastheer zijn aangegaan. In die zin zijn wij van nature al hybride mens-diercombinaties.

Bovendien blijkt horizontale genenoverdracht niet alleen voor te komen tussen bacteriën en mensen en tussen virussen en mensen (een proces dat door globalisering en de daarmee gepaard gaande voortdurende wereldwijde uitwisseling van organismen sterk is geïntensiveerd), maar zich overal in de natuur tussen verschillende dieren voor te doen. In een in 2017 gepubliceerd artikel tonen Huang Wenze en zijn collega's door een steekproefsgewijze vergelijking van het menselijk genoom met het genoom van 53 andere gewervelde dieren aan dat ten minste 642 genen – vooral genen die met de stofwisseling van doen hebben – door horizontale overdracht afkomstig zijn van andere gewervelden, in meerderheid zelfs van niet-zoogdieren.



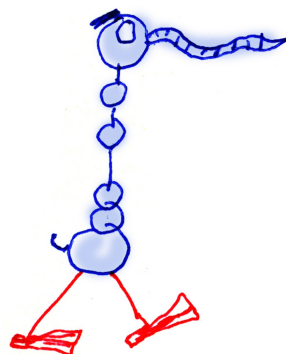
Er is nog een derde reden om de genetische zuiverheid van soorten te betwijfelen en die is in zekere zin nog radicaler, omdat deze het soortbegrip als zodanig ter discussie stelt: het polygenome karakter van organismen. Dit hangt samen, zoals John Dupré in *The Polygenomic Organism* (2010) betoogt, met het feit dat zich in ons lichaam triljoenen bacteriële cellen bevinden, die tezamen ongeveer negentig procent van alle cellen in ons lichaam uitmaken. En gezien de grote verscheidenheid aan DNA vormen deze bacteriën zelfs 99 procent van ons totale DNA. We dienen Arthur Rimbauds *'Je est un autre'* dus letterlijk op te vatten!

Nu zou men deze bacteriën natuurlijk kunnen opvatten als parasieten, die zich om opportunistische redenen in onze darmen ophouden. Maar evenmin als de hedendaagse samenleving kan ons lichaam zonder deze 'gastarbeiders', die het smerige werk opknappen. Misschien is het beter de menselijke en bacteriële cellen op te vatten als symbionten die simpelweg niet meer zonder elkaar kunnen leven. Bacteriën spelen niet alleen een onontbeerlijke rol bij de spijsvertering, maar ook bij het activeren van de genen die werkzaam zijn in ons immuunsysteem. En omgekeerd spelen genen in het menselijk genoom een rol bij de regulatie van de bacteriënpopulaties in het menselijk lichaam. Het is niet zonder ironie dat de oorspronkelijke indringers nu helpen potentiële nieuwe indringers buiten te houden.

Het inzicht in het belang van de co-evolutie van mens en zijn bacteriële inwoners heeft geresulteerd in het omvangrijke *Human Microbiome Project*, dat wordt opgevat als een noodzakelijke opvolger en misschien zelfs wel als integraal onderdeel van het *Human Genome Project*. Wat hierbij vooral fascineert, is dat bacteriën door hun grote verscheidenheid aan erfelijk materiaal – die het gevolg is van de horizontale genenoverdracht – in hoge mate bijdragen aan de uniciteit van de afzonderlijke menselijke individuen. Als het woord 'individu' – dat letterlijk 'ondeelbaar' betekent – gezien het symbiotische karakter van de mens en microbe überhaupt nog bruikbaar is. Dupré stelt dat we levende wezens wellicht beter kunnen opvatten als tijdelijke dingen die zich op het kruispunt bevinden van genetische afstammingslijnen en metabolische processen.

Duidelijk is dat de veronderstelling van genetische zuiverheid van individuen en soorten door de studie van epigenese, horizontale genenoverdracht en het polygenomische karakter van organismen ernstig in verlegenheid is gebracht en dat begrippen als 'individu' en 'soort' een flinke nuancering behoeven. En ook het denkbeeld dat de evolutie primair wordt voortgedreven door elkaar concurrerende individuen en soorten is aan herziening toe. In de evolutie speelt intensieve samenwerking van 'individuen' en 'soorten' een niet minder belangrijke rol. Waarbij wel moet worden aangetekend dat co-evolutie – bijvoorbeeld in het geval van mens en ziekteverwekkende bacteriën – niet altijd goed afloopt.

Misschien is die nadruk op individualisme en onderlinge strijd in het klassieke Darwinisme wel meer ingegeven door de opkomst van het negentiende-eeuwse liberalisme en kapitalisme dan door de biologische realiteit.



Van mythologie naar technologie

De Gezondheidsraad heeft op verzoek van de regering onlangs advies uitgebracht over de aanpassing van artikel 25 van de Embryowet, dat grenzen stelt aan biotechnologische handelingen met mens-diercombinaties. Ten behoeve van dat advies heeft de Gezondheidsraad aan de Koninklijke Academie

voor Wetenschappen (KNAW) gevraagd huidige en toekomstige ontwikkelingen van chimere en cybriden en de daarmee samenhangende ethische en maatschappelijke vraagstukken in kaart te brengen. Tijdens het KNAW-symposium *Mens-diercombinaties: Van mythologie naar technologie* over het conceptrapport van de KNAW betoogde wijsgerig antropoloog Jos de Mul dat recente ontwikkelingen in de theorie en praktijk van de moleculaire genetica het onderscheid tussen biologische soorten deconstrueert en ons daarmee, na een drie miljard jaren durend 'darwiniaans tussenspel', terugvoert naar een vroege periode in de evolutie waarin organismen vrijelijk genetisch materiaal uitwisselden.



Uit De Groene Amsterdammer van 28 augustus 2019
www.groene.nl/2019/35

De Groene Amsterdammer
Onafhankelijk weekblad sinds 1877