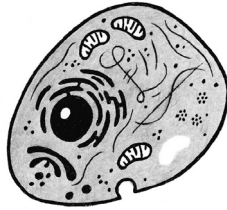


# INHOUD

- 1 Hoe bouw je een mens? 9
- 2 De buitenkant: huid en haar 19
  - 3 Je microbiële kant 37
    - 4 De hersenen 57
      - 5 Het hoofd 81
  - 6 De mond en de keel 101
  - 7 Het hart en het bloed 121
- 8 De scheikundige afdeling 147
- 9 In de snijkamer: het skelet 167
- 10 Op stap: bipedalisme en lichaamsbeweging 183
  - 11 Evenwicht 195
  - 12 Het immuunsysteem 209
- 13 Adem: longen en ademhaling 223
  - 14 Eten, goed voor u 237
    - 15 De darmen 259

16	Slaap	269
17	Afdalen tot kruishoogte	283
18	In den beginne: bevruchting en geboorte	297
19	Zenuwen en pijn	313
20	Als het misgaat: ziekten	327
21	Als het helemaal misgaat: kanker	343
22	Goede en slechte geneeskunde	359
23	Het einde	375
	Noten	391
	Bibliografie	417
	Dankbetuiging	431
	Illustratieverantwoording	433
	Register	435

## HOE BOUW JE EEN MENS?



Hoe gelijk aan een god!

– William Shakespeare, *Hamlet*

**L**ang geleden, toen ik nog in de eerste klas van de middelbare school zat, leerde ik van een docent biologie dat alle chemische stoffen waaruit een mensenlichaam is opgebouwd, in een ijzerhandel te koop waren voor pakweg 5 dollar of zo. Ik herinner me het exacte bedrag waarop hij uitkwam niet meer. Het kan 2,97 of 13,50 dollar zijn geweest, maar het was zelfs voor de jaren zestig heel weinig geld. Ik weet nog dat ik versteld stond bij de gedachte dat je een slungelachtig en puistig ding als ik voor een appel en een ei kon maken.

Het was zo'n spectaculaire nederig stemmende openbaring dat die me mijn hele leven is bijgebleven. De vraag is: was het waar? Zijn we echt zo weinig waard?

Veel autoriteiten (waarvoor je misschien 'studenten in de natuurwetenschappen zonder een date op vrijdag' moet lezen) hebben herhaaldelijk geprobeerd, overwegend als bron van vermaak, om uit te rekenen hoeveel het aan materiaal zou kosten om een mens te bouwen. De respectabelste en uitgebreidste poging van de laatste jaren werd misschien wel ondernomen door de Britse Royal Society of Chemistry. Als onderdeel van het Cambridge Science Festival van 2013 berekende men hoeveel het zou kosten om alle elementen samen te voegen die nodig waren om de acteur Benedict Cumberbatch te bouwen. (Cumberbatch was

dat jaar de gastdirecteur van het festival en was, heel handig, een mens van gangbare omvang.)<sup>1</sup>

Al met al zijn er volgens de berekeningen van de RSC negenenvijftig elementen nodig om een mens te bouwen. Zes hiervan – koolstof, zuurstof, waterstof, stikstof, calcium en fosfor – zijn goed voor 99,1 procent van wat ons tot ons maakt, het restant is voor een aanzienlijk deel lichtelijk verrassend. Wie had gedacht dat we incompleet zouden zijn zonder een beetje molybdeen in ons, of vanadium, mangaan, tin en koper? Onze behoefte aan sommige hiervan is buitengewoon bescheiden, moet worden gezegd, en wordt gemeten in miljoenste of zelfs miljardste delen. Zo hebben we slechts twintig atomen kobalt en dertig atomen chroom nodig per 999 999 999,5 atomen van al het andere.<sup>2</sup>

De omvangrijkste component in ieder mens, die 61 procent van de beschikbare ruimte vult, is zuurstof. Het lijkt misschien een beetje tegen de intuïtie in te druisen dat we voor bijna twee derde zijn samengesteld uit een geurloos gas. De oorzaak dat we niet licht en veerkrachtig rondhuppen als een ballon, is dat de zuurstof overwegend is gebonden aan waterstof (die goed is voor nog eens 10 procent van je) om water te vormen. En water, zoals je zult weten als je ooit hebt geprobeerd een kinderzwembadje te verplaatsen of gewoon in drijfnatte kleren hebt rondgelopen, is verrassend zwaar. Het is een beetje ironisch dat de twee lichtste dingen in de natuur, zuurstof en waterstof, een van de zwaarste dingen zijn als ze worden gecombineerd, maar zo is de natuur. Zuurstof en waterstof zijn ook twee van de goedkoopste elementen in je. Al je zuurstof kost je hooguit 10,37 euro en je waterstof bijna 19 euro (ervan uitgaande dat je ongeveer net zo groot bent als Benedict Cumberbatch). Je stikstof (2,6 procent van je) is zelfs nog goedkoper met slechts 31 eurocent voor een lichaam. Maar hierna wordt het vrij duur.

Je hebt ongeveer 13,6 kilo aan koolstof nodig, en die kost je volgens de Royal Society of Chemistry 51 600 euro. (Ze gebruikten alleen de puurste vorm van alles. De RSC wilde geen mens maken van bedenkelijk allooi.) Calcium, fosfor en kalium zijn weliswaar in veel kleinere hoeveelheden nodig, maar maken je toch nog eens 54 700 euro lichter. Het grootste deel van de rest is zelfs nog duurder per volume-eenheid, maar is gelukkig slechts benodigd in microscopisch kleine hoeveelheden. Thorium kost ruim 2300 euro per gram, maar vormt slechts 0,0000001 procent van je, zodat je de lichaamshoeveelheid kunt kopen voor 24 eurocent. Al het tin dat je nodig hebt, kan van jou zijn voor 5 eurocent, terwijl het zirkonium en het niobium je elk hooguit 2 euro-

cent kosten. De 0,000000007 procent van je die wordt gevormd door samarium, kun je blijkbaar gratis meenemen. Het staat in het RSC-verslag genoteerd voor een prijs van 0,00 euro.

Van de negenenvijftig elementen die in ons zijn aangetroffen, staan vierentwintig vanouds bekend als 'essentiële elementen', omdat we niet zonder ze kunnen. De rest is een samenraapseltje. Sommige zijn duidelijk nuttig, sommige kunnen nuttig zijn, maar we weten nog niet precies op welke manier, andere zijn niet schadelijk en niet nuttig, maar liften gewoon mee als het ware, en een paar zijn gewoon slecht. Cadmium is bijvoorbeeld het op tweeëntwintig na meest voorkomende element in het lichaam en vormt 0,1 procent van je totaal, maar het is zwaar giftig. We hebben het niet in ons omdat ons lichaam ernaar verlangt, maar omdat het vanuit de bodem in planten terechtkomt en vervolgens in ons als we de planten eten. Als je in Noord-Amerika woont, krijg je waarschijnlijk zo'n 80 microgram cadmium per dag binnen, en niets daarvan is goed voor je.

Een verrassende hoeveelheid van wat er op dit elementaire niveau gebeurt, wordt nog steeds uitgedroogd. Pak bijna willekeurig een cel uit je lichaam en die zal een miljoen of meer atomen selenium bevatten, maar tot voor kort had niemand enig idee waarvoor die er zaten. We weten nu dat selenium twee vitale enzymen vormt, waarvan een tekort in verband wordt gebracht met verhoogde bloeddruk, artritis, bloedarmoede, sommige vormen van kanker en misschien zelfs een lager percentage zaadcellen.<sup>3</sup> Het is dus zonder meer een goed idee om wat selenium binnen te krijgen (het zit vooral in noten, volkorenbrood en vis), maar aan de andere kant geldt dat een te grote hoeveelheid onherstelbare schade aan je lever kan toebrengen.<sup>4</sup> Net als met zoveel in het leven, luistert het nauw om de verhoudingen goed te krijgen.

Al met al komen de kosten van het bouwen van een nieuwe mens, met de behulpzame Benedict Cumberbatch als voorbeeld, volgens de RSC neer op het exacte bedrag van 112 458,16 euro. Arbeidskosten en BTW drijven de prijs vanzelfsprekend verder op. Waarschijnlijk mag je blij zijn als je een Benedict Cumberbatch voor minder dan zo'n 225 000 euro mee naar huis kunt nemen. Dat is alles welbeschouwd nog geen enorm fortuin, maar duidelijk ook niet de schamele paar dollar die mijn docent van de middelbare school noemde. Daarentegen deed *Nova*, een populairwetenschappelijk programma dat al tientallen jaren op PBS in Amerika wordt uitgezonden, in 2012 een vergelijkbaar onderzoek voor een aflevering die 'Hunting the Elements' heette.<sup>5</sup> De onderzoekers

kwamen uit op een bedrag van 150 euro voor de waarde van de fundamentele componenten in het menselijk lichaam. Dat geeft ook wel iets aan wat we onvermijdelijk onder ogen moeten zien in het verdere verloop van dit boek, namelijk dat op het terrein van het menselijk lichaam de details vaak verrassend onzeker zijn.

Overigens is dit natuurlijk niet echt belangrijk. Hoeveel je ook betaalt, of hoe zorgvuldig je de materialen ook bij elkaar zoekt, je gaat heus geen mens maken. Je kunt de slimste mensen die nu leven of ooit hebben geleefd, bij elkaar roepen en hen voorzien van de totale som van alle menselijke kennis, en dan nog kunnen ze samen geen enkele levende cel maken, laat staan een replica van Benedict Cumberbatch.

Dat is ongetwijfeld het verbazingwekkendst aan ons – we zijn slechts een verzameling inerte componenten, hetzelfde spul dat je in een vuilnishoop aantreft. Dit heb ik eerder ook in een ander boek gezegd, maar het is het volgens mij waard om te herhalen: het enige bijzondere aan de elementen die jou tot jou maken, is dat ze jou maken. Dat is het wonder van het leven.

We leiden ons leven in deze warme homp vlees en nemen het bijna als vanzelfsprekend voor lief. Hoevelen van ons weten zelfs maar bij benadering waar de milt zit of wat hij doet? Of kennen het verschil tussen pezen en bindweefsels? Of weten wat onze lymfklieren met ons voorhebben? Hoeveel keer per dag knipper je met je ogen, denk je? Vijfhonderd keer? Duizend? Je hebt uiteraard geen idee. Nou, je knippert per dag veertienduizend keer met je ogen – zo vaak dat je ogen in de tijd dat je wakker bent gedurende een dag drieëntwintig minuten gesloten zijn.<sup>6</sup> Maar je hoeft er nooit over na te denken omdat je lichaam elke seconde van elke dag letterlijk een ontelbaar aantal taken uitvoert – een biljard, een quintiljoen, een octiljoen, een deciljard (dit zijn echte getallen); in elk geval een hoeveelheid die de verbeelding ver te boven gaat – zonder dat je er een moment aandacht aan hoeft te besteden.

In de seconde sinds je deze zin begon te lezen, heeft je lichaam een miljoen rode bloedcellen aangemaakt. Ze snellen al door je lichaam, stromen door je aderen, houden je in leven. Elke van die rode bloedcellen ratelt ongeveer honderdvijftigduizend keer door je heen, waarbij hij zuurstof aflevert aan je cellen, en presenteert zich vervolgens, moegestreden en van geen nut meer, aan de andere cellen om geruisloos te worden geëlimineerd voor het algemeen belang van jou.

Alles bij elkaar zijn er zeven miljard miljard miljard (dat is 7 000 000

ooo ooo ooo ooo ooo ooo ofwel zeven quadriljard) atomen die jou vormen. Niemand weet waarom die zeven miljard miljard miljard zo'n dringend verlangen hebben om jou te zijn. Het zijn per slot van rekening geesteloze deeltjes zonder enige gedachte of enig begrip. Toch zijn ze op de een of andere manier voor de duur van jouw bestaan bezig met de opbouw en het onderhoud van al de ontelbare systemen en structuren die nodig zijn om je draaiende te houden, om jou tot jou te maken, om je vorm te geven en je te laten genieten van die zeldzame en uiterst aangename gesteldheid die we leven noemen.

Dat is een veel grotere taak dan je denkt. In uitgepakte vorm ben je zonder meer gigantisch. Als je longen helemaal worden uitgestrekt, bedekken ze een tennisbaan, en de luchtwegen daarbinnen strekken zich uit van Londen tot Moskou. De lengte van al je bloedvaten voert je tweeënhalf keer rond de aarde.<sup>7</sup> Het opmerkelijkste onderdeel van alles is je DNA. Je hebt er 1 meter van in elke cel, en dat in zoveel cellen dat als je al het DNA in je lichaam in een enkele dunne streng zou uitleggen, het zich uitstrekt over een lengte van 16 miljard kilometer, tot voorbij Pluto.<sup>8</sup> Denk je eens in: er is genoeg van jou om tot buiten het zonnestelsel te gaan. Je bent in de meest letterlijke zin kosmisch.

Maar je atomen zijn alleen maar bouwblokken, en leven zelf niet. Waar het leven precies begint, is moeilijk te zeggen. De basiseenheid van het leven is de cel – daarover is iedereen het wel eens. De cel zit vol met bedrijvige dingen – ribosomen en eiwitten, DNA, RNA, mitochondriën en talloze andere microscopische mysteriën – maar geen daarvan leeft zelf. De cel op zich is slechts een compartiment – een soort kamertje: een cel – om die dingen te omvatten, en leeft zelf net zomin als andere kamers. Maar als al deze dingen bij elkaar worden gebracht, heb je op de een of andere manier leven. Dat is het deel waar de wetenschap geen vat op heeft. Ik hoop eigenlijk dat het ook nooit zal gebeuren.

Het opmerkelijkst is misschien wel dat niets de leiding heeft. Elke component van de cel reageert op signalen van andere componenten, terwijl ze allemaal tegen elkaar stoten en rond elkaar krioelen als botsautootjes. Toch resulteert al deze willekeurige beweging in vlotte, gecoördineerde actie, niet alleen in de cel, maar in het hele lichaam, waarbij cellen communiceren met andere cellen in de verschillende delen van je persoonlijke kosmos.

Het hart van de cel is de nucleus, ofwel kern. Deze bevat het DNA van de cel – 1 meter lang, zoals we eerder al opmerkten, in elkaar gefrommeld in een ruimte die we redelijkerwijs oneindig klein mogen noemen.

Er past zoveel DNA in een celkern doordat het uiterst dun is. Je moet wel twintig miljard strengen DNA naast elkaar leggen om tot de breedte van een dunne mensenhaar te komen.<sup>9</sup> Elke cel in je lichaam (strikt genomen, elke cel met een kern) bevat twee exemplaren van je DNA. Daarom heb je ook genoeg voor het traject naar Pluto en verder.

Het DNA bestaat voor slechts één doel – om meer DNA te maken. Je DNA is eenvoudigweg een instructieboekje om jou te maken. Een DNA-molecule is samengesteld, zoals je je vast en zeker zult herinneren van talloze televisieprogramma's of de biologieles, uit twee strengen, die met dwarsstukjes zijn verbonden om de befaamde gedraaide ladder te vormen die we dubbele helix noemen. Een stuk DNA is opgedeeld in segmenten die we chromosomen noemen, en kortere afzonderlijke eenheden die we genen noemen. De som van al je genen is het genoom.

DNA is bijzonder stabiel. Het kan tienduizenden jaren standhouden. Het stelt wetenschappers van nu in staat om de antropologische situatie van een zeer ver verleden te onderzoeken. Waarschijnlijk zal vrijwel niets van wat je op dit moment bezit – een brief, een sieraad of een dierbaar erfstuk – over duizend jaar nog bestaan, maar je DNA zal vrijwel zeker nog bestaan en achterhaalbaar zijn, als iemand ernaar zou willen zoeken. DNA geeft informatie ook buitengewoon betrouwbaar door. Het maakt niet meer dan ongeveer één fout per miljard gekopieerde stukjes informatie. Niettemin komt dat neer op ongeveer drie fouten, of mutaties, per celdeling. De meeste van die mutaties kan het lichaam negeren, maar zo nu en dan hebben ze blijvende gevolgen. Dat is evolutie.

Alle componenten van het genoom hebben één enkel doel – de voortgang van je bestaan gaande houden. Het is een wat nederig stemmende gedachte dat de genen die je hebt, ontzaglijk oud zijn en misschien – tot dusver tenminste – eeuwig. Jij zult sterven en verdwijnen, maar je genen gaan door zolang jij en je nakomelingen zich blijven voortplanten. Het is ronduit opzienbarend als je bedenkt dat je persoonlijke afstammingslijn niet één keer in de drie miljard jaar sinds het leven begon, is verbroken. Om ervoor te zorgen dat jij hier en nu bent, moesten al je voorouders met succes het genetische materiaal aan een nieuwe generatie doorgeven voordat ze doodgingen of op een andere manier aan de zijlijn van het voortplantingsproces kwamen te staan. Dat is nogal een keten van succes.

Wat genen specifiek doen, is instructies geven voor de bouw van eiwitten. Het merendeel van de nuttige dingen in het lichaam zijn eiwitten. Sommige bespoedigen chemische veranderingen en worden enzy-



men genoemd. Andere dragen chemische boodschappen over en worden hormonen genoemd. Nog weer andere vallen ziekteverwekkers (antigenen) aan en worden antistoffen genoemd. Het grootste van al onze eiwitten noemen we titine, dat de elasticiteit van de spieren bevordert. De volledige chemische naam bestaat uit 189 819 letters, waarmee het bijvoorbeeld het langste woord in het Nederlands of Engels zou zijn, behalve dat woordenboeken geen chemische namen erkennen.<sup>10</sup> Niemand weet hoeveel soorten eiwitten er in ons zitten, maar de schattingen lopen uiteen van een paar honderdduizend tot een miljoen of meer.<sup>11</sup>

Het paradoxale van de genetica is dat we allemaal heel verschillend zijn en toch in genetisch opzicht vrijwel identiek. Alle mensen hebben 99,9 procent van hun DNA gemeen, en toch zijn geen twee mensen gelijk.<sup>12</sup> Mijn DNA en jouw DNA zullen op drie tot vier miljoen plaatsen van elkaar verschillen, wat maar een klein deel van het totaal is, maar genoeg om tot een groot verschil tussen ons te leiden.<sup>13</sup> Je hebt ook ongeveer honderd persoonlijke mutaties in je – stukjes genetische instructie die niet helemaal overeenkomen met de genen die je ouders je gegeven hebben, maar die helemaal van jou zijn.<sup>14</sup>

Hoe dit allemaal in detail in zijn werk gaat, is nog steeds grotendeels een raadsel voor ons. Slechts 2 procent van het menselijk genoom bepaalt de code voor eiwitten, wat wil zeggen dat slechts 2 procent iets doet wat aantoonbaar en ondubbelzinnig praktisch van aard is. Wat de rest precies doet, is niet bekend. Veel ervan is naar het schijnt alleen maar aanwezig, zoals sproeten op de huid. Bij een deel ervan valt er geen touw aan vast te knopen. Een bepaalde korte sequentie, die we een Alu-sequentie noemen, wordt meer dan een miljoen keer herhaald in ons genoom, waaronder soms midden tussen belangrijke genen die de code voor eiwitten bepalen.<sup>15</sup> Voor zover iemand er iets van kan zeggen, is het alleen maar loos gebrabbel, maar het vormt 10 procent van al ons genetisch materiaal. Het mysterieuze deel werd een tijdje junk-DNA genoemd, maar wordt nu met de wat vriendelijkere benaming ‘duister DNA’ aangeduid, die aangeeft dat we niet weten wat het is of waarom het er is. Een deel is betrokken bij de regulering van de genen, maar van de rest moet de functie nog grotendeels worden vastgesteld.

Het lichaam wordt vaak vergeleken met een machine, maar het is echt veel meer dan dat. Het werkt vierentwintig uur per dag en dat tientallen jaren achtereen zonder (voor het grootste deel) regelmatig onderhoud of de installatie van reserveonderdelen. Het loopt op water en

een paar organische mengsels, is zacht en ziet er mooi uit, is op handige wijze mobiel en plooibaar, plant zich met enthousiasme voort, maakt grappen, voelt genegenheid, waardeert een rode zonsondergang en een verkoelend briesje. Van hoeveel machines kun je dat zeggen? Het lijkt geen enkele twijfel. Je bent echt een mirakel. Maar goed, het moet gezegd worden, dat is een worm ook.

En hoe viereen we de glorie van ons bestaan? Nou, voor de meesten van ons komt dat neer op minimaal aan lichaamsbeweging doen en maximaal eten. Denk eens aan alle troep die je in je keel gooit en hoeveel tijd van je leven wordt doorgebracht in een bijna-vegetatieve toestand voor een licht uitstralend scherm. Maar op de een of andere wonderbaarlijke manier zorgt ons lichaam voor ons, haalt het voedzame stoffen uit de diverse etenswaren die we naar binnen stouwen, en houdt het ons tientallen jaren over het algemeen op een vrij hoog niveau gaande. Zelfdoding door levensstijl duurt eeuwen.

Zelfs als je bijna alles verkeerd doet, houdt je lichaam je in stand en intact. De meesten van ons zijn op de een of andere manier daar een bewijs van. Vijf van de zes rokers krijgen geen longkanker.<sup>16</sup> De meeste mensen die een goede kandidaat voor een hartaanval zijn, krijgen geen hartaanval. Elke dag dreigt naar schatting één van de vijf cellen in je lichaam zich tot kanker te ontwikkelen, en vangt je immuunsysteem die cellen af en doodt ze.<sup>17</sup> Denk je dat eens in. Enkele tientallen keren per week, ruim duizend keer per jaar, krijg je de meest gevreesde ziekte van onze tijd, en elke keer redt je lichaam je. Natuurlijk ontwikkelt een gezwel zich heel soms tot iets ernstigs waaraan je dood kunt gaan, maar in verhouding komt het zelden tot kanker: de meeste cellen in het lichaam repliceren zich miljarden keren zonder dat er iets fout gaat. Kanker mag dan een gangbare doodsoorzaak zijn, maar het is geen gangbare gebeurtenis in het leven.

Ons lichaam is een universum van 37,2 biljoen cellen die voortdurend in min of meer volmaakte harmonie opereren.<sup>18\*</sup> Een pijntje, een oprisping van indigestie, een blauwe plek of een puistje zijn ongeveer alles

---

\* Dit getal is vanzelfsprekend een beredeneerde gok. Er zijn menselijke cellen in diverse soorten, maten en dichtheden, en ze zijn letterlijk ontelbaar. Dit aantal van 37,2 biljoen werd in 2013 genoemd door een team van Europese wetenschappers onder leiding van Eva Bianconi van de Università di Bologna in Italië, en werd vermeld in de *Annals of Human Biology*.