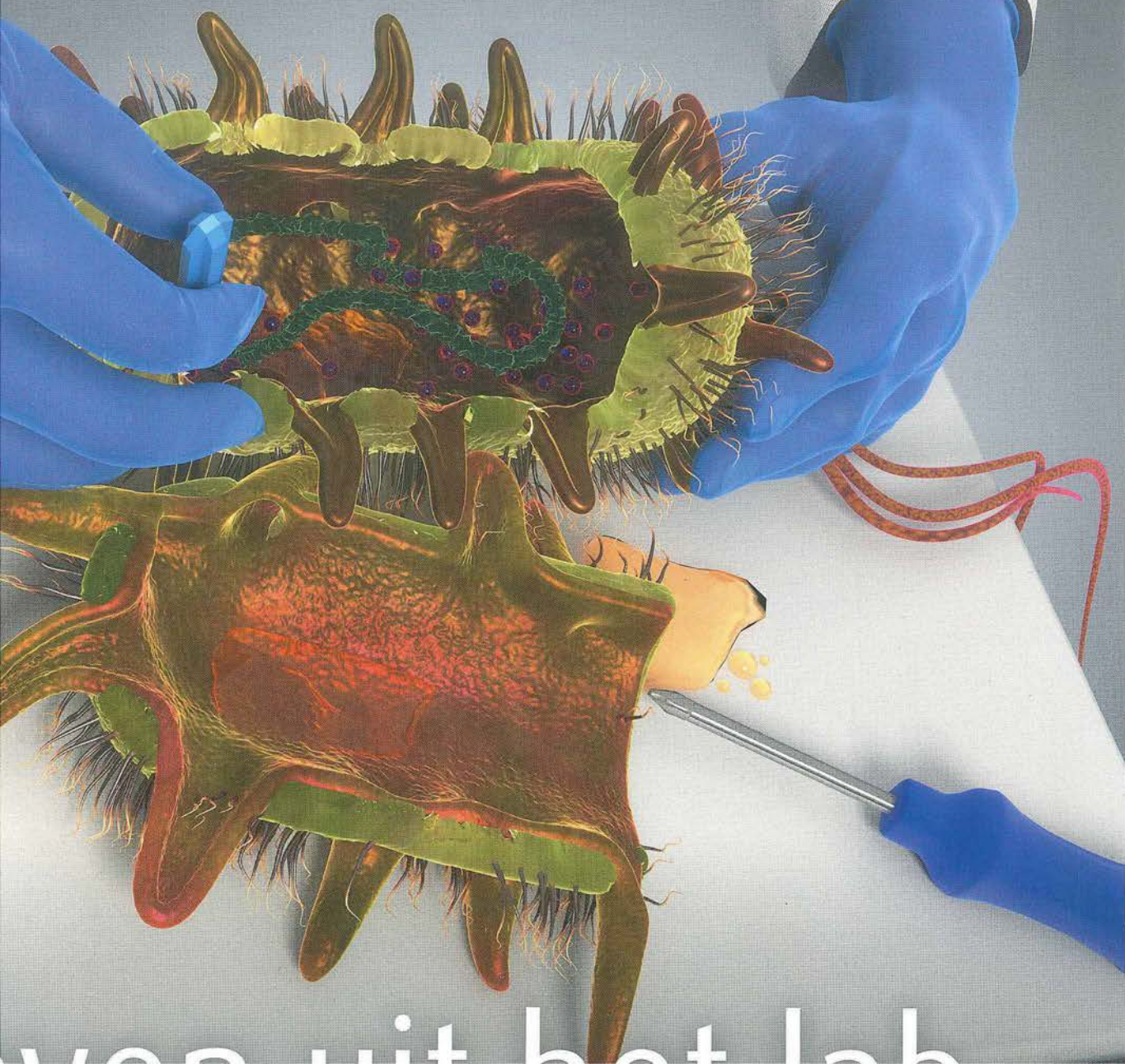


MAAKT JE WERELD



E INGENIEUR

ang 131 | januari 2019



ven uit het lab

Ingenieurs en biowetenschappers proberen met man en macht zelf een werkende cel te maken. Om te begrijpen wat leven nu eigenlijk is én omdat synthetische cellen waarschijnlijk allerlei nuttige dingen kunnen doen. Een cel schroef je echter niet zomaar in elkaar. tekst ir. Jim Heirbaut

NEDERLANDSE ONDERZOEKERS BOUWEN LEVENDE CEL

MEER DAN EEN MACHINE

BOTTOM-UP OF TOP-DOWN?

Waar de wetenschappers van BaSyC vanuit onderdelen een werkende, levende en zich replicerende cel in elkaar proberen te zetten – de bottom-up-aanpak – kun je het ook andersom aanvliegen. Deze top-down-aanpak is vooral bekend van de Amerikaanse pionier J. Craig Venter. Die neemt een bestaande bacterie en sloopt er het DNA uit om er vervolgens synthetisch DNA in te stoppen. Zo wil hij meer leren over de functies die in het genetische materiaal zijn vastgelegd. Het verschil is dat Venter uitgaat van een levend organisme uit de natuur, terwijl de Nederlanders met dode onderdelen een levende cel hopen te bouwen. Dat laatste klinkt haast nóg ambitieuzer.

Overigens werken de top-downers en de bottom-uppers hier en daar al samen. Zo gaat Wilhelm Huck van de Radboud Universiteit samen met John Glass van het J. Craig Venter Institute proberen een werkende bacteriecel samen te stellen. Die moet bestaan uit een blaasje van lipide, met daarin het kunstmatige minimale DNA van Venter (zie 'Minimaal DNA' op pagina 16), en een paar cruciale onderdelen uit een bacterie die nodig zijn om eiwitten te maken.

Baf! Met een welgemikte zwiep van de vliegenmepper is die irritante bromvlieg uitgeschakeld. Daar hebben we geen last meer van. Maar meteen begint een schuldgevoel te knagen. Daarnet leefde het beestje nog, trippelde het – knappe prestatie! – zijwaarts hangend over de ruit. Nu ligt het levenloos in de vensterbank. In de vlieg zitten nog dezelfde onderdelen, weefsels en materialen, maar toch weten we zeker dat hij nooit meer door de kamer zal vliegen. Iets is weg. Maar wat is dat iets; wat is leven?

Op die vraag proberen Nederlandse wetenschappers een antwoord te vinden. Sinds vorig jaar loopt het project BaSyC, Building a Synthetic Cell. Daarin werken onderzoekers van de Vrije Universiteit Amsterdam, de TU Delft, de Rijksuniversiteit Groningen, de Radboud Universiteit Nijmegen, Wageningen UR en onderzoeksinstituut AMOLF samen om een eenvoudige bacterieachtige cel van een paar micrometer lang in elkaar te sleutelen. Deze cel moet zichzelf een tijdje in leven kunnen houden, goed functioneren en zich delen.

In Nederland lopen we mee voorop in dit vakgebied, maar ook in onder meer Duitsland en de Verenigde Staten proberen wetenschappers en bio-ingenieurs levende cellen in elkaar te zetten. Daarmee volgen ze allemaal een veelgeciteerde uitspraak van de beroemde natuurkundige Richard Feynman: 'Ik begrijp iets pas echt als ik het kan bouwen.'

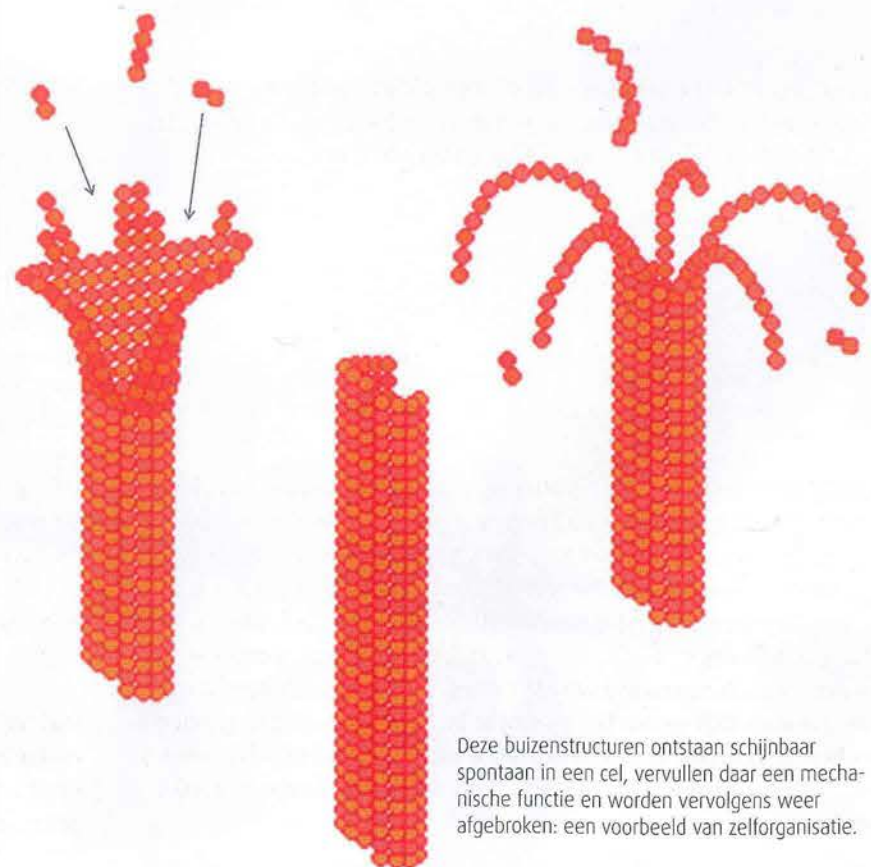
Geen handleiding

Een ingenieur die iets nieuws gaat bouwen, zal eerst een pakket van eisen opstellen, dan de machine ontwerpen, vervolgens de afzonderlijke onderdelen identificeren, die tekenen en vervaardigen, en ten slotte het hele bouw pakket in elkaar schroeven. Lijkt dat een beetje op hoe men binnen BaSyC een cel wil maken?

Ja en nee. Natuurlijk gaan de onderzoekers systematisch en analytisch te werk. Maar een levende cel is veel meer dan een machine. 'Bij het bouwen van een machine heb je een klassiek ingenieursprobleem. Als het bouwen van een synthetische cel klassiek ingenieurswerk was, hadden we het al lang gedaan', vertelt de Nijmeegse chemicus prof.dr. Wilhelm Huck, die zich voor BaSyC richt op de chemische netwerken in de cel. 'We ken-

nen weliswaar de onderdelen die de cel moet hebben en wat die op zichzelf doen, maar we hebben geen handleiding die ons vertelt hoe we de cel in elkaar moeten zetten. We begrijpen van een levende cel uit de natuur nog niet waardóór die leeft.'

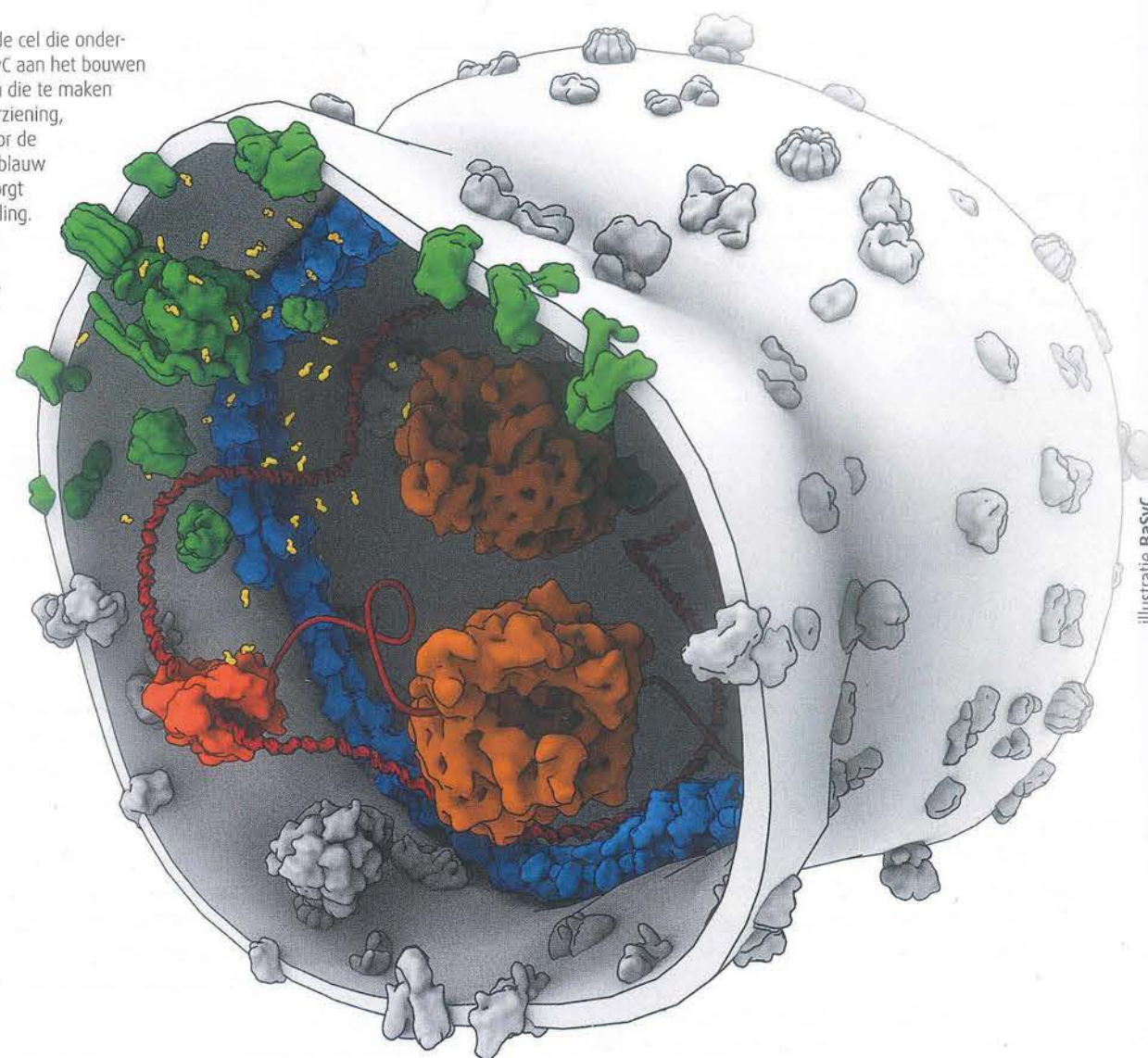
'We weten in elk geval zeker dat een cel niet alleen maar een mechanische machine is', zegt BaSyC-onderzoeksleider prof.dr. Marileen Dogterom, hoogleraar bionanoscience aan de TU Delft. 'Daarnaast vinden er chemische processen plaats; de gewone chemische reacties, maar ook processen van zelforganisatie.' Denk aan membranen die schijnbaar als



Deze buisstructuren ontstaan schijnbaar spontaan in een cel, vervullen daar een mechanische functie en worden vervolgens weer afgebroken: een voorbeeld van zelforganisatie.

illustratie Gijsje Koenderink

Schematisch overzicht van de cel die onderzoekers binnen project BaSyC aan het bouwen zijn. In groen de onderdelen die te maken hebben met de energievoorziening, voeding en bouwstenen voor de biosynthese van stoffen. In blauw een ring van eiwitten die zorgt voor insnoering bij de celdeling. In oranje en rood de onderdelen die zorgen voor het aflezen van DNA, wat resulteert in mRNA (stukjes code), en voor het decoderen van dit mRNA om de juiste eiwitten te maken.



illustratie BaSyC

vanzelf ontstaan en eiwitdraden die de cel insnoeren tijdens de celdeling. Bovendien is een cel uit de natuur verbazingwekkend stabiel, zegt Dogterom. 'Hij is enorm robuust en zelfcorrigerend.'

Alle losse onderdelen bij elkaar stoppen levert geen levende cel op

Zelfs het bouwen van een relatief eenvoudige cel is daarom enorm ingewikkeld. 'Moeilijker dan het bouwen van een Boeing 747, zeg ik weleens tegen mijn studenten', vertelt de Groningse biochemicus prof.dr. Bert Poolman. 'Zo'n vliegtuig heeft 6 miljoen onderdelen, een *Escherichia coli*-bacterie een paar miljoen eiwitten. Dat is dan vergelijkbaar, zou je zeggen. Maar in zo'n eencellige zijn alle componenten – van losse moleculen tot eiwitten, draden en blaasjes – dynamisch. Ze verplaatsen zich en werken op elkaar in. Deze dynamiek snappen we echt nog niet goed. Om bij de analogie van het vliegtuig te blijven: bij ons valt er steeds een vleugel af als we iets net niet helemaal goed doen.'

Het is ook ergens wel logisch dat wetenschappers grote moeite hebben om zelfs maar een onderdeelje van een cel te bouwen. De natuur heeft hier al miljarden jaren mee kunnen experimenteren: er traden allerlei willekeurige mutaties op en er hebben waarschijnlijk miljoenen soorten en varianten van cellen bestaan. Daarbij verloren de onhandige of slecht werkende systemen het van betere cellen en onderdelen. Zo zijn gaandeweg de cellen overgebleven die helemaal zijn afgestemd om optimaal te functioneren onder bepaalde omstandigheden. De BaSyC-wetenschappers hebben echter aanzienlijk minder tijd tot hun beschikking dan de natuur. Poolman: 'Wij willen het graag zo snel mogelijk goed hebben. We gaan dan ook binnen BaSyC een relatief eenvoudige cel bouwen. Zeg maar een soort T-Ford, de allersimpelste uitvoering van een auto.'

Daarbij staat één ding wel vast. Als je alle losse onderdelen voor een werkende cel zou hebben en je zou die bij elkaar stoppen, dan is de kans dat je een levende cel krijgt nihil. Binnen het project



Een celmembraan van dichtbij. In grijs tinten en in groen zijn verschillende lipiden te zien die samen het membraan vormen. In rood en oranje zijn de eiwitten afgebeeld die zorgen voor het transport van moleculen en die dwars door het membraan heen gaan. Hierdoor kunnen ze ook moleculen van buiten de cel naar binnen halen en andersom.

BaSyC gaan de onderzoekers de verschillende modules waar ze aan werken dan ook niet in één keer samenvoegen. In plaats daarvan proberen ze steeds een simpele module werkend te krijgen. Die maken ze vervolgens stapje voor stapje iets uitgebreider.

Grijphandjes

Welke onderdelen hebben de onderzoekers tot hun beschikking? Om te beginnen het celmembraan, dat de buitenkant wordt van de synthetische cel. Bij bacteriën bestaat dat uit lipiden: vetachtige stoffen waarvan de identieke moleculen zichzelf spontaan aaneenrijgen tot een membraanstructuur. Het membraan dat door de lipiden wordt gevormd, houdt de boel weliswaar prima bij elkaar, maar sluit de cel niet hermetisch af. Het is namelijk belangrijk voor een cel dat er stoffen in en uit kunnen. Om die functie te simuleren, hebben Poolman en zijn mensen in Groningen een modelsysteem gebouwd. Dat bestaat uit een membraan met hier en daar zogeheten transporteiwitten. 'Dat zijn een soort grijphandjes', vertelt Poolman. 'Zo'n handje pakt een molecuul van een bepaalde stof aan de buitenkant vast en trekt dat de cel in. Vervolgens neemt hetzelfde grijphandje een molecuul dat in de cel is gevormd met een vloeiende draaibeweging mee naar buiten. En dat gaat de hele tijd zo door. Voeding erin, afval eruit.'

Poolmans Groningse collega prof.dr. Arnold Driessen zoekt ondertussen naar betere materialen om het kunstmatige celmembraan mee te bouwen. 'Binnenkort gaan we samen voor het eerst de lipiden van een groep heel sterke organismen gebruiken die verwant zijn aan bacteriën:

de archaea', vertelt biofysicus prof.dr. Gijsje Koenderink van de VU Amsterdam en AMOLF. Deze eencelligen overleven in de natuur bij de meest extreme omstandigheden. Ze worden bijvoorbeeld gevonden in geisers, bij meer dan 100 °C, maar ze blijven ook in leven bij extreme kou, of in zure en basische milieus.

Binnen BaSyC heeft Koenderink vooral als taak om de hele mechanische machinerie van de cel te verzorgen. Die bestaat behalve uit het celmembraan ook uit een cytoskelet ('cyto' betekent cel). Dat zorgt net als ons eigen skelet voor stevigheid, zodat een cel niet als een plum-

MINIMAAL DNA

De onderzoekers van het project BaSyC, dat het bouwen van een synthetische cel tot doel heeft, willen uiteindelijk ook zelf een compleet stuk DNA ontwerpen met de codes voor alle benodigde componenten in de cel. Op dit moment zijn wetenschappers nog niet in staat een werkende cel te maken met DNA dat ze helemaal zelf hebben 'verzonnen'. Dat bleek onder meer uit onderzoek van het Amerikaanse J. Craig Venter Institute. Dat slaagde er in 2010 wel in het DNA van een bacterie uit de natuur te vervangen door synthetisch DNA, gemaakt naar voorbeeld van natuurlijk DNA. En in 2016 sloopten wetenschappers van het instituut zoveel mogelijk stukjes uit het synthetische DNA van een bacterie, terwijl hij toch bleef leven. Zo probeerden ze het 'minimale DNA' te achterhalen dat een levende bacterie nodig heeft. Van de 473 genen in dat minimale DNA vielen echter 149 genen niet aan een functie te koppelen. 'Dat we van zoveel genen hun rol in de cel niet kennen, kwam als een grote verrassing', zegt prof.dr. John Glass van het J. Craig Venter Institute. 'De afgelopen twee jaar hebben we geprobeerd te achterhalen wat deze onbekende eiwitten doen.' Deels is dat gelukt, maar de rol van sommige eiwitten blijft onbekend. Daardoor kunnen we nog geen cel inclusief DNA *from scratch* bouwen: we snappen nog niet elk lijntje code van de software die DNA is.

pudding in elkaar zakt. Het cytoskelet zit binnen in de cel en is opgebouwd uit draadjes die vertakende structuren vormen (zie de figuur op pagina 18). De draadjes bestaan op hun beurt weer uit eiwitten. Deze eiwitten gedragen zich als de bekende speelgoedmagneetjes: identieke bolletjes die gemakkelijk aan elkaar kunnen klikken. De bolletjes kunnen ook snel weer losschieten en dan een andere structuur vormen. Dankzij deze flexibele structuur kan het cytoskelet veranderen van een sterk vertakte structuur, die heel stevig is, in een structuur met minder vertakkingen, voor als de cel zich moet vervormen om bijvoorbeeld te delen of bewegen.

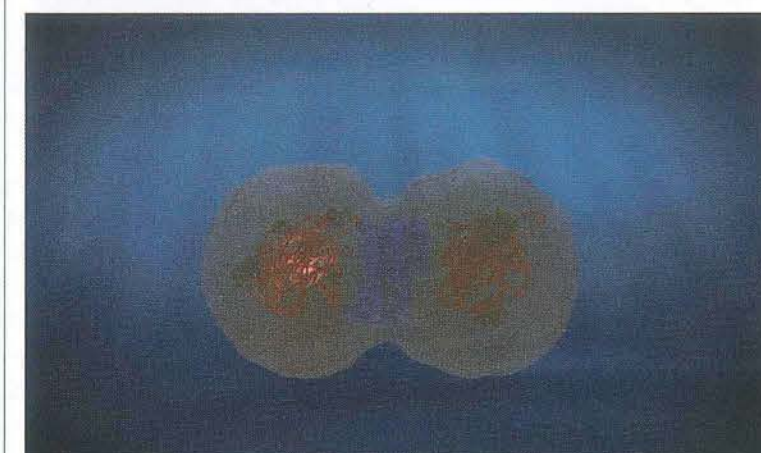
Wirwar van activiteit

Zo'n overgang naar een andere structuur voltrekt zich in een paar minuten en Koenderink wil uitvinden hoe de natuur dat voor elkaar krijgt. Hoe weten de eiwitten dat ze zich moeten herschikken? Het antwoord is dat ze dat natuurlijk niet weten – het zijn geen voorgeprogrammeerde robotjes. Maar wat is dan de drijvende kracht die zorgt dat een structuur schijnbaar ineens van vorm verandert?

Heb je een deel van een proces werkend, dan gaat verderop iets mis

'Dat is nog knap ingewikkeld', zegt Koenderink. 'Het draait allemaal om een soort klok die in de cel loopt.' Deze klok is een cyclus die de cel doorloopt. De concentratie van een bepaalde stof neemt tijdens die cyclus op een plek toe, terwijl die even verderop laag blijft. Zo ontstaat een gradiënt in de concentratie van die stof. Eiwitten reageren op zo'n gradiënt door bepaalde ruimtelijke structuren te gaan vormen. Valt het concentratieverschil weg, dan worden deze ook weer afgebroken.

Een natuurlijke cel zit vol met dit soort chemische netwerken. 'Neem het dag- en nachtritme of het metabolisme van gist bij de omzetting van suiker', vertelt Huck. Met collega's heeft hij al een eenvoudig voorbeeld hiervan nagebouwd: een oscillerend netwerk dat draait om enzymen in een reactor. Na verloop van tijd zorgen die enzy-



Deze animatie laat zien hoe een ringvormige eiwitstructuur (de blauwe ring) de bacterieel afknijpt en zo bijdraagt aan de celdeling.

illustraties BaSyC

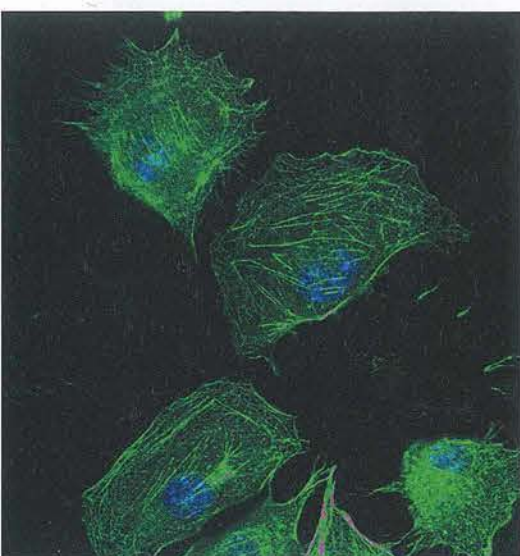
VOOR GOD SPELEN?

Rond het bouwen van een synthetische cel komen allerlei ethische en filosofische vragen op. Zoals: is het wel aan de mens om uit dode materie leven te maken?

Binnen het project BaSyC zit naast verscheidene biowetenschappers, chemici en natuurkundigen ook een filosoof: prof.dr. Hub Zwart van de Radboud Universiteit Nijmegen. Hij heeft de taak om de inhoudelijke wetenschappers lastige vragen te stellen. Een zelfgebouwde levende cel laat nog jaren op zich wachten, maar Zwart hamert erop dat we nu al over de gevolgen moeten nadenken. Want we doen dit met de beste bedoelingen, 'maar er is mogelijk ook een duistere kant. Misschien kan dit ook destructief uitwerken.' Pas als het lukt om een robuuste versie van de synthetische cel te bouwen, worden ook de risico's duidelijk, zoals: kunnen we de cel op een verantwoordelijke en doordachte wijze inzetten of gaat hij letterlijk een eigen leven leiden? Zwart: 'Een nieuwe technologie heeft altijd de mogelijkheid van *dual use* in zich. Je kan haar zowel voor het goede als

men voor de toename van een chemische stof, die ze vervolgens ook weer afbreken. Na een tijdje begint de hele cyclus opnieuw.

Het moeilijke punt is dat in een cel heel veel van dit soort chemische netwerken door elkaar heen werkzaam zijn, die elkaar ook nog eens beïnvloeden. Dat maakt het begrijpen van de wirwar van chemische activiteit al lastig, laat staan om zoiets zelf goed te ontwerpen in de nog te bouwen kunstmatige cel. Het is misschien wel de lastigste



Met fluorescentiemicroscopie gemaakte foto van cellen en hun cytoskelet. De eiwitdraden die het cytoskelet vormen zijn groen, de celkern is blauw.

voor minder aantrekkelijke doelen inzetten.' De toekomstige kunstmatige cel kan leiden tot fabriekjes die betaalbare en goede geneesmiddelen produceren, maar iemand kan er ook levensgevaarlijke stoffen mee maken. 'We zien dat nu ook bij de technieken voor het bewerken van DNA. In mijn vak is het dilemma vaak: op welk moment moet je hierover gaan nadenken bij een nieuwe technologie die in ontwikkeling is? We denken tegenwoordig: zo vroeg mogelijk.'

Een vraag die voor de hand ligt is: met het bouwen van levensvatbare cellen lijkt de mens in staat om uit dode materie leven te maken. Dat was tot nu toe voorbehouden aan de natuur, of aan God voor wie het vanuit een religie bekijkt. Mag de mens dit wel doen? 'Gaat de intrinsieke waarde van het leven dan niet verloren?', vult Zwart de vraag aan. 'Of is het juist de ultieme vorm van bewondering: het feit dat je wilt weten hoe het leven werkt? Ik begrijp heel goed dat mensen leven willen maken, en daar is ook niets op tegen, mits wij wetenschappers nederig blijven.'

klus van project BaSyC: hoe regel je de plaatselijke concentraties van alle verschillende moleculen in de cel, zodat die goed samenwerken? 'Om dat voor elkaar te krijgen, hebben we niet alleen biochemici en biofysici aan boord, maar ook informatici en biofysisch chemici', vertelt Huck. 'Zij modelleren de kinetiek van complexe chemische netwerken: hoe verlopen de chemische reacties die met elkaar samenhangen.'

Duw- en trekwerk

Terug naar Koenderink, die de mechanische basis van de kunstmatige cel bouwt en onderzoekt. Met behulp van *microfluidics*, instrumenten met smalle kanaaltjes, brengt ze de eiwitten die later het celskelet gaan vormen binnen in een schil van lipiden. Aan die eiwitten zijn lichtgevendende moleculen vastgemaakt, zodat deze later goed zichtbaar zijn onder de microscoop.

De grote vraag die Koenderink probeert te beantwoorden, is hoe de mechanische eigenschappen van de cel afhangen van de ordening van de eiwitten in het celskelet. Hoe sterk moeten de eiwitdraden zijn verknoot om de cel te verstevigen en hoe sterk moeten ze zijn verankerd aan het celmembraan?

Om daar zicht op te krijgen, bekijkt de Amsterdamse hoogleraar die eiwitstructuren onder een microscoop. In een ander experiment onderwerpt ze de cel aan wat subtiel duw- en trekwerk. Door met behulp van een pipet een klein beetje aan een cel te zuigen, vervormt deze. Meet de vervorming als functie van de kracht en je hebt de mechanische eigenschappen van de cel gekarakteriseerd. Het zal werktuigbouwers bekend voorkomen, maar 'een cel gedraagt zich heel anders dan de meeste materialen. Hij vervormt elastisch bij kleine krachten, maar kan ook blijvend vervormen', aldus Koenderink.

foto Rafael Philippen/NWO



Marileen Dogterom, onderzoeksleider van het project BaSyC, dat een synthetische cel wil bouwen: 'We moeten echt stap voor stap dingen uitproberen en goed kijken wat er gebeurt.'

elkaar verbonden. Het product van de ene chemische reactie is bijvoorbeeld de grondstof voor de andere reactie.

De energiecentrale van Poolman doet het inmiddels heel aardig. 'We kunnen de vorming van ATP ongeveer een dag op een hoog niveau houden.' Die ATP wordt voor van alles gebruikt in de cel. Bijvoorbeeld om van ATP de lipiden te maken die nodig zijn voor het celmembraan. Poolmans Groningse collega Driessen heeft dit proces buiten de cel onder de knie; samen willen zij dat nu ook heel graag in de cel kunnen.

Steigerpijpen

Een van de eisen die BaSyC stelt aan de te bouwen cel is dat hij minstens één keer kan delen. Daarmee halen de onderzoekers zich een hoop op de hals, want de celdeling is in de natuur een knap ingewikkeld proces, dat uit vele stappen bestaat. Eerst wordt het DNA, dat opgerold zit,

Lange buizen ontstaan als vanzelf en breken zichzelf ook weer af

Een eigenschap van de cel die doet denken aan een machine, is het feit dat hij energie nodig heeft om te functioneren. Waar een machine op benzine draait, gebruikt een natuurlijke cel ATP (adenosinetriphosfaat) als brandstof. De tweede vorm van energie in cellen zijn ionengradienten, wat is te vergelijken met elektriciteit als energiebron. 'Neem een membraan dat ionen kan doorlaten. Als je daar ionen doorheen laat gaan, bijvoorbeeld protonen, dan komt er een elektrische potentiaal over dat membraan te staan', legt Poolman uit.

Dat spanningsverschil is essentieel voor de cel, want het kan de trigger zijn voor een bepaalde actie of het opstarten van een chemische reactie. Denk aan het transport van voedingsstoffen in de cel of de uitscheiding van afvalproducten. Ook de beweging van een bacterie wordt meestal door een elektrische potentiaal gedreven. De brandstof ATP is nodig bij het vormen van stoffen en structuren in de cel.

Poolman en collega's hebben een systeem gemaakt dat zowel ATP als elektrische energie maakt, maar op een eenvoudigere manier dan levende cellen in de natuur doen. Deze 'energiecentrale' bestaat slechts uit vijftien componenten. Zelfs dat kleine aantal stelde Poolman echter al voor verrassingen, zoals het onverwacht - en ongewenst - veranderen van de zuurgraad. Dit is een algemeen probleem waar alle BaSyC-onderzoekers op zijn tijd mee te maken hebben: heb je een deel van een proces werkend, dan gaat er verderop iets mis. In een levende cel zijn namelijk veel van de chemische en mechanische processen met

uitgelezen en gekopieerd. De kopie van het DNA zit nog aan het origineel vast, dus die moet eerst worden losgeknipt. Nu zijn er twee identieke stukken DNA. Die bewegen zich naar de uiteinden van de cel, die inmiddels wat langer is geworden. Verschillende soorten eiwitten vormen nu samen een ring aan de binnenkant van de cel. Die ring wordt steeds kleiner zodat de cel wordt ingesnoerd en uiteindelijk zelfs in tweeën splitst. Zo zijn er, na ongeveer dertig minuten, twee cellen ontstaan.

Een speciale rol is hierbij weggelegd voor buizenstructuren die zorgen voor het transporteren van onderdelen en het uit elkaar trekken van chromosomen tijdens de celdeling. BaSyC-onderzoeksleider Dogterom doet onderzoek naar deze buizen, een soort steigerpijpen, die zichzelf heel knap in elkaar zetten en weer afbreken waar dat nodig is. 'We onderzoeken nu of we deze buis-



Op initiatief van project BaSyC kwamen eind augustus 2018 aan de TU Delft 160 onderzoekers uit de hele wereld bijeen om kennis uit te wisselen over het bouwen van een kunstmatige cel. Tweede van rechts is de Groningse biochemicus Bert Poolman.

vormige structuren in onze synthetische cel kunnen gebruiken.'

De buisjes groeien door zelfassemblage: identieke bouwsteentjes gaan als vanzelf aan elkaar zitten, met een vrij losse binding. Deze zogeheten supra-moleculaire binding laat gemakkelijker los dan een covalente binding (waarmee atomen aan elkaar vastzitten in een chemische verbinding) en dit

Het wordt steeds duidelijker hoe ingewikkeld een cel in elkaar zit

maakt snelle en dynamische vorming van de buizenstructuren mogelijk. 'Die zelfassemblage wordt in de natuur aangestuurd door 'gewone' chemische reacties', vertelt chemicus prof.dr. Bert Meijer van de TU Eindhoven, die veel onderzoek doet naar zelfassemblage van synthetische stoffen, maar niet betrokken is bij het BaSyC-project. Alles draait om de concentratie van bepaalde stoffen die nodig zijn voor de zelfassemblage. Is er voldoende aanwezig van een stof, dan 'klikken de kralen aan elkaar'. Meijer: 'De buisvormige structuren ontstaan op het juiste moment, op de juiste

NUTTIGE BIJVANGST

Project BaSyC zal in totaal tien jaar lopen en officieel in 2027 worden beëindigd. Een lange periode, maar toch denkt niemand van de voor dit artikel geïnterviewde onderzoekers dat er op dat moment al een perfect werkende kunstmatige cel is. Wel verwachten ze dan een heel eind op weg te zijn. 'Ons einddoel is wat mij betreft ook niet zozeer het maken van die synthetische cel. We willen vooral weten hóe de cel werkt', zegt onderzoeksleider Marileen Dogterom.

Bovendien wordt van al dit onderzoek nuttige bijvangst verwacht, ofwel kennis die is toe te passen in andere vakgebieden, zoals de geneeskunde. 'Wij maken echt een nieuwe soort cel. Misschien is die wel te gebruiken om lokaal, dus in het lichaam, een medicijn te produceren.' Wellicht maken we een bacterie die het heerlijk vindt om vervuilde grond schoon te maken. Of actueler: eentje die CO₂ uit de lucht haalt en er een nuttige grondstof van maakt.

plek. Is er niet genoeg van een stof, dan groeit er niets.' *Just-in-time-management* uit de natuur.

Nu het BaSyC-project ruim een jaar loopt, wordt steeds duidelijker hoe ingewikkeld een levende cel in elkaar zit. Het zelf bouwen kost daardoor vereende inspanningen, niet in de laatste plaats omdat een handleiding node wordt gemist. Niemand weet in welke volgorde je de onderdelen in elkaar moet zetten. In de woorden van Bert Poolman: 'Het is elke keer weer improviseren.' Onderzoeksleider Dogterom formuleert het iets anders: 'We moeten echt stap voor stap dingen uitproberen en goed kijken wat er gebeurt. Dat levert nieuwe inzichten op. We zullen gaandeweg de spelregels van de cel leren kennen.'

SLIJPTOL

Omdat mijn drie meter hoge boekenkasten niet in mijn nieuwe appartement kunnen, zit er niets anders op dan ze door te zagen. Ik heb ze al meer dan een half leven: profielen van gegalvaniseerd staal, een mooi simpel systeem. Architecten zijn er zo dol op dat je geen foto kunt zien van een architectenbureau of daar staan ze. Ik ben er ook zo op gekomen, via mijn vriend M.

Terwijl de verhuizers af en aan liepen met dozen, zette ik daadkrachtig eerst de decoupeerzaag en, toen dat niet lukte, de hoogfrequente multitool op het staal. Zelfs een inderhaast nieuw aangeschaft en behoorlijk prijzig blad maakte nauwelijks een krasje. 'Dat moet u met een slijptol doen, mijnheer', zei een van de verhuizers. Die zou ik later dan maar huren. Eerst alles naar boven, dat wil zeggen: de twee trappen op naar mijn nieuwe appartement.

De volgende dag, te midden van stapels dozen, zocht ik naar een te huren slijptol. De goedkoopste was 32 euro voor twee dagen, 90 euro borg. Uit nieuwsgierigheid keek ik even hoe duur die dingen eigenlijk zijn. Een uur later stond ik in de bouwmarkt en rekende er een af voor 20 euro. Ik weet niet of ik ooit nog een slijptol nodig heb en het is onduidelijk hoe lang dat ding van mij meegaat, maar ik heb er nu een en ik kan hem zelfs uitlenen aan vrienden en bekenden.

Vreemd, dat het voordeliger is om een apparaat te kopen dan te huren. Ik snap wel hoe dat in elkaar zit: dat die slijper van de bouwmarkt van veel betere kwaliteit is, dat de bouwmarkt meer kosten heeft, noem maar op. Maar ergens wringt het. Al was het maar omdat ik met die slijptol in mijn hand ineens aan mijn dochter moest denken.

We liepen door de supermarkt, terwijl zij uitlegde dat ze probeerde verpakt eten te vermijden, fruit en groente los kocht, enzovoort. Alles om zo weinig mogelijk plastic te gebruiken. Ze is niet bepaald een milieuactivist, maar ze behoort tot de generatie die te maken heeft met de gevolgen van de consumptiemaatschappij waarvan we in de jaren zestig en later zo hebben genoten: plastic in de oceanen, rivieren vol chemicaliën uit de textielindustrie in Indonesië, de onvoorstelbare verspilling die *fast fashion* met zich meebrengt.

Voor dat laatste. Weinig mensen weten het, maar de modewereld staat broederlijk naast de

olieproductie in de top vijf van meest vervuilde industrieën. Bedrijven als Zara, H&M en al die anderen brengen soms wekelijks nieuwe collecties uit. Dat spul ligt heel kort in de winkel, want de volgende collectie staat al weer te wachten. Wat niet wordt verkocht, gaat zelden naar de recycling en meestal gewoon op grote afvalhopen. De Britse journalist Stacey Dooley maakte er een schokkende reportage over. Onderdeel daarvan was de prijs van katoen, de meest verkochte textielsoort. Op een plein in een Engelse stad had ze enorme containers met water neergezet. Vervolgens vroeg ze winkellende mensen of ze konden schatten hoeveel water

Plastic mag dan een hoop problemen opleveren, het is ook geweldig materiaal voor verpakkingen

nodig was voor hun T-shirt of spijkerbroek. De reacties waren vol ongeloof en schaamte. Voor de productie van een T-shirt is pakweg 1500 liter water nodig, voor een spijkerbroek soms wel 15.000. Er waren mensen die zich ter plekke voornamen om anders te gaan winkelen. Maar hoe doe je dat als een T-shirt 2,99 kost? En wat is het alternatief?

Met het goede voorbeeld van mijn dochter voor ogen winkel ik nu anders, maar ik kan niet zeggen dat het makkelijk is. Plastic mag dan een hoop problemen opleveren, het is ook geweldig verpakkingsmateriaal: licht, sterk, luchtdicht, noem maar op. Het pakje zuurkool dat altijd in mijn voorraadkast ligt, blijft alleen maar zo lang goed dankzij plastic. En waarin verpakken we vloeibaar wasmiddel als we plastic willen vermijden? Glas? Ik dacht het niet.

Ondertussen zit ik hier met een slijptol die ik heb gekocht omdat hij eigenlijk te goedkoop was. Dat is het echte probleem: de prijs. Je kunt nauwelijks verwachten dat mensen hun consumptiegedrag veranderen als er geen of een veel te duur alternatief is. De markt is dwingend en overheden grijpen nauwelijks in. Misschien moeten we onze hoop vestigen op slimme ingenieurs die oplossingen bedenken voor de rotzooi die we zelf hebben gemaakt.

MÖRING

Marcel Möring is schrijver, bekend van romans als *In Babylon* (1997), *Dis* (2006), *Louderingsberg* (2011) en *Eden* (2017).