

De mechanisering van het insect

BIOTECHNOLOGIE Kevers met sensoren in hun kop, vlinders met afstandbediening. Science fiction? Nee. Cyborginsecten bestaan.

Tamar Stelling

December 2011 bevonden vijf diep donkerbruine kakkerlakken zich onderstevoren vastgeketend aan een petrischaaltje. Ze waren pioniers. Fysisch chemicus Daniel Scherson van de Case Western Reserve University had zojuist 's werelds allereerste biobrandstofcellen voor insecten geïmplanteerd in hun magen. Een paar uur lang zetten deze brandstofcellen suikers in de kakkerlakkenmagen om in elektriciteit, met enzymen en twee elektrodes. Resultaat: een stroompje van 0,2 volt. Niet veel. Gezien de grootte van de gebruikte elektrodes, betekende dat dat er maar liefst tweehonderd miljoen van dit soort kakkerlakken met biobrandstofcellen nodig waren geweest om een gloeilamp van 20 watt aanhoudend te laten branden.

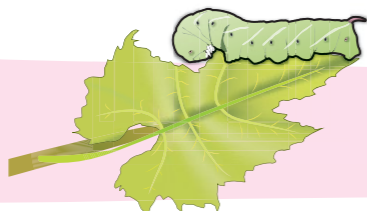
Ondanks deze minimale energie-opbrengst wordt Scherson sinds de publicatie van zijn paper hierover begin dit jaar in het *Journal of the American Chemical Society* elke dag benaderd door entomologen, biomedisch en elektrotechnisch ingenieurs en pers. Duizenden blogs en nieuwssites vieren of vrezden de schijnbaar niet te stuiten opmars van het cyborginsect aan de hand van Schersons nieuwe brandstofcel. Vanwaar alle heisa?

“Deze biobrandstofcel is bewust ontworpen met als doel te profiteren van despecialiseerde suikers die in insectenbloed zitten”, zegt Scherson. “Ik wil nu dat het ook daadwerkelijk apparaten op een kakkerlak gaat voorzien van energie, zoals radio'sensoren. Een batterij is op een gegeven moment op, deze in potentie continue bron van energie biedt een uitkomst.”



< 1 week >

Larf nachtvlinder eet zich vol



< 1 week >

Nog geen implantaat in larf, deze overleeft de operatie zelden



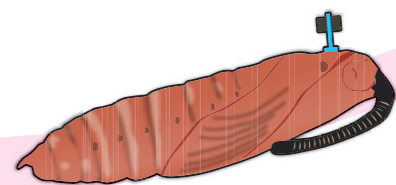
< 1 week >

Vroeg stadium pop: implantaat wordt ingebracht dmv operatie



< 2 weken >

Laat stadium pop: 90 procent van het weefsel vormt zich opnieuw



Weefselgroei is compleet: mechanische en elektrische koppeling tussen implantaat en weefsel is goed

< 1 week >

De bladspruitkever *Mecynorrhina torquata* van 6 cm groot en 8 gram zwaar.

FOTO NATIONAL GEOGRAPHIC STOCK/DAVID LIITTSCHWAGER



dat de vlieggedrag van de kever gelijk was aan die van de vlieg, een goed bestudeerde vlieger. Deze slaat zijn vleugels een beetje zoals een stemvork oscilleert. Hij stuurt ze niet direct aan met spieren, zoals de nachtvlinder, maar spant afwisselend twee paar spieren aan waardoor zijn thorax vervormt. Als gevolg klappen de vleugeltjes heel snel op en neer.

Sato en Maharbiz wilden deze spieren met stroomstootjes controleren, maar besloten om alleen de vliegrichting te beïnvloeden. “We wilden expliciet niet elk aspect van de vlucht beheersen, omdat de kever zelf veel te goed is in bijvoorbeeld het aanpassen van zijn snelheid en vluchtroute aan wind en obstakels”, zegt Maharbiz.

Ze konden niets implanteren in de popfase, want de cocon van de kever naar keuze bleek zo hard als een kokosnoot. Dus brachten ze slechts zes elektroden aan bij reeds volwassen kevers: op de thorax, in de rechter en linker vliegspleet, in de optische lobben (neuronen die achter de ogen liggen) en centraal in de hersenen. Daarmee waren de kevers van Maharbiz en Sato ruim een dag op afstand bestuurbaar. Daarna was de batterij leeg. In 2009 verkoos *Time Magazine* deze ‘cyborg beetle’ tot één van de vijftig beste uitvindingen van dat jaar.

Bladspietkevers

Bij een ander insect is het wel al gelukt om hem volledig ‘vrijelijk’ vliegend op afstand te besturen. Elektrisch ingenieurs Michel Maharbiz en Hirota Sato, beiden destijds verbonden aan de University of California, Berkeley, zagen af van de nachtvlinder als modelinsect, en kozen voor een veel grotere Japanse bladspruitkever. Elektronica en batterijen op het schild waren geen punt voor deze 8 gram wegende *Mecynorrhina torquata* van 6 centimeter lang. Een ander voordeel vond Maharbiz

stuurd door de printplaatjes, waardoor een nachtvlinder bijvoorbeeld naar links of rechts vliegt, begint met vliegen of juist stopt.” Tot voor kort hingen Bozkurts bestuurbare nachtvlinders wel nog vast aan elektrodes (*tethered flight*) of aan heliumballonnen (*pseudo free-flight*), omdat het maximale laadvermogen van de nachtvlinder toch overschreden werd. Volgens Bozkurt is dit gewoon een kwestie van de miniaturisering van de gebruikte elektronica en bestaan de technieken daarvoor allang – zie bijvoorbeeld onze iPhones. Dat komt nog, voor de nachtvlinder.

in kwam het onderzoek van fameus entomoloog Carroll Williams in de jaren vijftig aan Harvard University aan bod. Williams sneed poppen van verschillende insecten van dezelfde soort doormidden, en legde ze willekeurig weer tegen elkaar aan. Volledig intacte insecten ontpopten zich. Ook sneed hij poppen doormidden, en plaatste hij tussen beide helften een glazen buisje met een zoutoplossing. Een insectenequivalent van ons ruggenmerg groeide door het buisje zichtbaar weer terug van kop tot staart. Insecten met glazen-buisjesegment overleefden de metamorfose – al was het niet voor lang.

Zo leerde Lal dat tijdens de popfase van een insect 90 procent van het weefsel zich opnieuw vormt. Hij ontwikkelde een nieuwe chirurgische methode om juist in die popfase implantaten aan te brengen in de nachtvlinder. “Implantaten aangebracht in volwassen nachtvlinders wilden

Bij een groeiende groep wetenschappers en wetenschapsfinanciers in met name de Verenigde Staten en Japan, heerst een grote interesse in de creatie van zeer kleine, op afstand bestuurbare en liefst ook vliegende ‘dingen’. De insect-cyborg voldoet aan het profiel. Een cyborg of cybernetisch organisme is een samensmelting van levende materie en machine. Behang een insect met radio's, sensoren en camera's en de insectmachine is in te zetten om eventuele terroristen te lokaliseren, bespioneren en af te luisteren. Om te polsen hoe radioactief een bepaald gebied nog is na een ramp, of om bedolven mensen te vinden onder het puin van een aardbeving. Om maar wat te noemen.

Het probleem is alleen dat al die elektronica door iets gevoed moeten worden, en een insect maar een beperkt percentage van zijn lichaamsgewicht kan meetorsen. Ook kleine batterijen en accu's zijn zwaar en gaan slechts uren tot hooguit dagen mee. Dit verklaart de impact van Schersons biobrandstofcel, die de insectvreemde elektronica letterlijk integreert in een insectenlichaam. Alsof het er organen bij heeft.

Steeds meer ingenieurs richten zich op de integratie van machine in insect, meent Scherson, omdat het maken van robots op insectschaal maar matig lukt. De Nederlandse ingenieur David Lentink beaamt dit. In 2008 bedacht hij de DelFly Micro, een vliegend robotje met een camera aan boord, met een spanwijdte van 10 centimeter en een gewicht van drie gram. Momenteel is de groep van Harvard-professor Robert Wood het verst met de constructie van minuscule robotvliegjes, met een spanwijdte van amper drie centimeter, vertelt Lentink. “Maar die halen het qua mogelijkheden en energie-efficiëntie nog lang niet bij echte insecten. Mischien lukt dat wel nooit.”

Zodoende is Schersons biobrandstofcel een belangrijke schakel in de insect-vermechanseringstrend die sinds 2006 sterk in opkomst is, mede dankzij de sponsoring van het Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) – een instituut van het

Amerikaanse ministerie van defensie dat militaire technologie ontwikkelt. DARPA begon begin 2007 met het Hybrid Insect Micro Electromechanical Systems programma (HI-MEMS) en richt zich hiermee, naar eigen slechts uren tot hooguit dagen mee. Dit verklaart de impact van Schersons biobrandstofcel, die de insectvreemde elektronica letterlijk integreert in een insectenlichaam. Alsof het er organen bij heeft.

Cyborg nachtvlinder

Elektrisch ingenieur Amit Lal van Cornell University gaf in 2006 de aanzet voor deze ontwikkeling, nadat hij het sciencfictionboek *Sparrowhawk* (1990) las door Thomas A. Easton, hoogleraar natuurwetenschappen aan het Thomas College. In dit boek vliegen genetisch gemanipuleerde insecten en vogels rond, uitgerust met geïmplanteerde mechanische controlestructuren, die gebruikt worden als lastdieren. Lal vroeg zich af hoe reëel deze fictie zou kunnen zijn. Hij legde zich toe op de nachtvlinder als modeldier, een echte krachtpatser onder insecten. Zelf amper 2 à 3 gram zwaar, kan hij 50 tot 60 procent van zijn lichaamsgewicht meetorsen. Gemiddeld is dat 20 à 30 procent bij insecten.

“Het bleek een hele uitdaging om iets bij volwassen nachtvlinders te implanteren, omdat ze een heel vreemd defensiemechanisme hebben”, zegt biomedisch ingenieur Al-

per Bozkurt, die betrokken was bij Lals onderzoek met nachtvlinders. Inmiddels heeft hij een eigen cyborginsect-onderzoeksgroep aan de North Carolina State University; Bozkurt Research Group (BoRG), ook met nachtvlinders. “Opereren op insecten is niet zoals het uitvoeren van een operatie bij mensen.” Ze hebben een hard schild, waar je moeilijk doorheen komt, en ze zijn natuurlijk heel klein. “Daarnaast is het lijfje van de nachtvlinder bedekt met haarachtige schubjes, die een soort van semivastzitten aan het lichaam.” Bij aanraking laten ze los. Ze dienen onder andere als glijmiddel, waardoor de nachtvlinder eenmaal gevangen door een vogelsnavel nog kan ontdekkend worden als lastdieren. Lal vroeg zich af hoe reëel deze fictie zou kunnen zijn. Hij legde zich toe op de nachtvlinder als modeldier, een echte krachtpatser onder insecten. Zelf amper 2 à 3 gram zwaar, kan hij 50 tot 60 procent van zijn lichaamsgewicht meetorsen. Gemiddeld is dat 20 à 30 procent bij insecten.

“Het bleek een hele uitdaging om iets bij volwassen nachtvlinders te implanteren, omdat ze een heel vreemd defensiemechanisme hebben”, zegt biomedisch ingenieur Al-

per Bozkurt, die betrokken was bij Lals onderzoek met nachtvlinders. Inmiddels heeft hij een eigen cyborginsect-onderzoeksgroep aan de North Carolina State University; Bozkurt Research Group (BoRG), ook met nachtvlinders. “Opereren op insecten is niet zoals het uitvoeren van een operatie bij mensen.” Ze hebben een hard schild, waar je moeilijk doorheen komt, en ze zijn natuurlijk heel klein. “Daarnaast is het lijfje van de nachtvlinder bedekt met haarachtige schubjes, die een soort van semivastzitten aan het lichaam.” Bij aanraking laten ze los. Ze dienen onder andere als glijmiddel, waardoor de nachtvlinder eenmaal gevangen door een vogelsnavel nog kan ontdekkend worden als lastdieren. Lal vroeg zich af hoe reëel deze fictie zou kunnen zijn. Hij legde zich toe op de nachtvlinder als modeldier, een echte krachtpatser onder insecten. Zelf amper 2 à 3 gram zwaar, kan hij 50 tot 60 procent van zijn lichaamsgewicht meetorsen. Gemiddeld is dat 20 à 30 procent bij insecten.

“Het bleek een hele uitdaging om iets bij volwassen nachtvlinders te implanteren, omdat ze een heel vreemd defensiemechanisme hebben”, zegt biomedisch ingenieur Al-