

De kleine breed-bandhuismoeder, gefotografeerd na de jaarlijkse mot-tentelling in Brill, Groot-Brittannië



Milieuwetenschapper – Paul Hebert

# Al het leven op aarde

Het begon met tulpenbollen. **Paul Hebert** stopte ze als kleine jongen in de grond en was verrukt door het resultaat. Sindsdien onderzoekt hij biodiversiteit. Bij zijn project is haast geboden: zo lang we de soorten op aarde niet kennen, kunnen we ze ook niet beschermen. **door Sanne Bloemink**

**PAUL HEBERT (1947)** raakte al op jonge leeftijd gefascineerd door biodiversiteit. Zijn vader vocht in de Tweede Wereldoorlog mee met het Canadese leger en raakte bevriend met een Nederlands gezin. Na de oorlog ontving Heberts gezin in Canada elk jaar een zak tulpenbollen van de Nederlandse vrienden. 'We keken daar elk najaar naar uit. Aan mij was de taak om de bollen te planten en dat had zoiets magisch. Je stopt die bruine dingen in de grond en in de lente komen daar al die gekleurde planten uit!'

Op zijn zesde begon hij met het verzamelen van vlinders en later breidde hij zijn verzameling uit met verschillende soorten insecten. Op twaalfjarige leeftijd schreef Hebert een brief naar twee universiteiten en een museum met de mededeling dat hij meer wilde leren over insecten. Het leidde tot een uitnodiging van het Royal Ontario Museum in Toronto om daar

een medewerker te helpen met het verzamelen van insecten. 'Ik raakte meer en meer onder de indruk van al die soorten organismen.' Hebert werkte verschillende zomers in het museum.

Eenmaal op de universiteit besloot hij dat hij een overzicht zou gaan samenstellen van alle vlinders en motten die zich bevonden rondom een wetenschappelijk onderzoeksstation bij de universiteit. 'Dat was de eerste keer dat ik werd blootgesteld aan de taak om een grote hoeveelheid soorten uit elkaar te houden: het waren er zo'n duizend... en ik merkte hoe moeilijk het was om ze namen te geven, omdat we in Canada geen enkele specialist hadden op dat gebied. Hoewel het onthouden van duizend namen natuurlijk moeilijk was, kwam het me destijds nog voor als iets wat me uiteindelijk wel zou kunnen lukken.'

Hebert vertrok later naar Cambridge in Engeland voor zijn promotieonderzoek en con-

centreerde zich op de uitbreiding van zijn verzameling met een aantal 'erg bekende' Europese motten. 'Elke avond was ik met een lichtje in de tuin motten aan het verzamelen.'

Na Cambridge volgde een postdoc fellowship aan de Universiteit van Sydney, van waaruit hij verschillende expedities naar Papoea-Nieuw-Guinea leidde. Telkens vertrok hij voor een periode van een maand naar dit tropische land. En telkens gingen deze expedities weer naar dezelfde berghelling waar het team zich zette aan de verzameling van motten, heel veel motten. Heberts doel was om inzichtelijk te maken hoe al die verschillende soorten motten zich distribueerden over deze berghelling.

**TAXONOMIE HEEFT** een lange geschiedenis, omdat het in wezen gaat over de manier waarop wij mensen onze weg hebben moeten vinden in de wereld. *Hebert*: 'Nog lang voordat we begonnen aan landbouw en ons eigen eten gingen verbouwen, liepen we door de bossen en de savannes en moesten we beslissen wat eetbaar was en wat niet. Welke planten giftig waren en welke niet.' Er is sprake van een diepgewortelde menselijke traditie en een drang tot classificatie van de organismen om ons heen vanuit dit eenvoudige

dige, pragmatische perspectief. Maar waar die beoordeling van de organismen om ons heen op wetenschappelijke, categorische wijze gebeurt, 'daar begint de taxonomie', aldus Hebert.

Linnaeus (1707-1778) bouwde een dergelijk systeem en wordt beschouwd als de grondlegger van die moderne taxonomie. Sinds 1758 hebben vele wetenschappers bijgedragen aan het verdiepen van ons begrip van biodiversiteit binnen de context van dit linneaanse classificatiesysteem. Deze wetenschappers gebruikten morfologische methoden om soorten te onderscheiden: kijkend naar kleur, vorm en grootte. Maar wat nieuw was in het systeem van Linnaeus was dat nu ook namen werden gegeven aan soorten en dat een hiërarchie werd aangebracht met een indeling op basis van phyla, klassen, orders, families, genera, soorten en ondersoorten.

'In de 260 jaar dat biologen en taxonomen zich hebben beziggehouden met het catalogiseren van al het leven op aarde hebben ze grote vooruitgang geboekt', vertelt Hebert. Toen Linnaeus begon waren zo'n tienduizend soorten geïnventariseerd en niemand had enig idee hoeveel soorten er in totaal op aarde voorkwamen. Inmiddels zijn er 1,9 miljoen soorten geregistreerd. 'Maar het is zorgelijk als je bedenkt dat het ons zó lang heeft gekost om al die soorten te registreren en dat dit aantal slechts tien procent van alle multicellulaire organismen op onze planeet uitmaakt. De meeste organismen kennen we wel, maar de wereld wordt vooral bewoond door piepkleine organismen. Het uit elkaar houden van tienduizend soorten, zoals in de tijd van Linnaeus, is een gecompliceerde taak, maar stel je eens voor hoe je dat moet doen bij vijftien of negentien miljoen soorten. De conclusie is dat de traditionele, logische benadering van de taxonomie tegen serieuze grenzen aan is gelopen.'

**HEBERT KWAM TOT** dit inzicht in het Natural History Museum in Londen waar hij de hele mottenverzameling uit Papoea-Nieuw-Guinea mee naartoe had genomen. Daar was het plan om alle soorten te identificeren en van een naam te voorzien. Maar de moed zakte hem in de schoenen: 'Ik realiseerde me dat we op één avond, op die ene berghelling, meer dan tweeduizend soorten hadden verzameld en dat de meeste van die soorten totaal onbekend waren. Plotseling zag ik de rest van mijn leven voor me: het beschrijven van die duizenden motten op die ene berghelling. Ik begreep dat ik nooit al die namen zou kunnen onthouden, zelfs niet de namen van alle soorten van de verzameling van één nacht!' Het was 1978 en Hebert keerde het biodiversiteitsonderzoek de rug toe. 'Ik droeg mijn volledige collectie over aan de Canadese Nationale Collectie en besloot geen onderzoek op grote schaal meer te doen naar biodiversiteit. Het onderscheiden van soorten op basis van morfologie (vorm, kleur, grootte) is simpelweg niet op te schalen naar grootscheepse studies, begreep ik. Ik

realiseerde me bovendien dat mijn hoofd nooit groot genoeg zou zijn voor het classificeren van al het leven op aarde. En ik wilde niet mijn hele leven op één berghelling zitten; dat vond ik een te kleine bijdrage aan de wetenschap.'

De 22 jaren die daarop volgden liet Hebert het onderzoek naar biodiversiteit links liggen en richtte hij zich op andere problemen. Hij keerde terug naar zijn geboorteland en besloot in het Arctische gebied van Canada te gaan werken, op een plek waar – Hebert lacht – 'zo min mogelijk soorten aanwezig waren. Ik probeerde niet meer naar biodiversiteit op grote schaal te kijken, maar in plaats daarvan op kleine schaal mezelf de vraag te stellen: waar komt biodiversiteit vandaan in een gebied als dit?' Hij bestudeerde voortplantings- en evolutiesystemen, waarbij hij telkens genetisch gereedschap gebruikte. 'Op die manier kon ik in kaart brengen hoe in het verre verleden bepaalde soorten het Canadese Arctische gebied waren gaan koloniseren vanuit de gebieden die ijsvrij waren gebleven gedurende het Pleistoceen.'

## 'Ik wilde niet mijn hele leven op één berghelling zitten; dat vond ik een te kleine bijdrage aan de wetenschap'

Hoewel Hebert zich vanaf 1978 niet meer bezighield met grootscheepse biodiversiteitsstudies werd hij er wel voortdurend mee geconfronteerd: 'Het mooie aan het werken met studenten is dat ze je er altijd aan herinneren hoeveel je niet weet.' Tijdens zijn werk bijvoorbeeld in het Great Barrier Reef (het grote koraalrif voor de oostkust van Australië) kwam de ene na de andere student naar hem toe met een organisme en de vraag wat het was. 'Ik moest dan antwoorden dat ik geen idee had.' Voor Hebert telkens een antwoord dat hij liever niet had gegeven en een stekende herinnering aan zijn diep gekoesterde droom: het in kaart brengen van al het leven op aarde.

In zijn vroege genetische werk had hij al geconstateerd dat hij met de toenmalige technologie kleine aantallen soorten van elkaar kon onderscheiden met behulp van genetische informatie. In de jaren negentig volgden later grote technologische doorbraken en werd het mogelijk om DNA-sequenties (de volgordes van nucleotiden in een DNA- of RNA-macromolecuul) uit te lezen. Toch kon daarmee nog steeds het meeste leven niet worden bestudeerd, omdat je daarvoor een heleboel weefsel nodig had. In de periode 1990-2000 was het meeste genetische werk daarom gericht op kleine aantallen grote organismen en hun voorouderlijke relaties. Het doel van het onderzoek was het in kaart brengen van een zogenoemde fylogenetische 'levensboom' voor deze

organismen. Zo'n levensboom is een diagram waarmee je evolutionaire relaties tussen organismen in kaart kunt brengen. De vertakkingen van de boom staan voor de manier waarop soorten zijn geëvolueerd uit een serie van gemeenschappelijke voorouders. Zo schrijf je een soort genetische geschiedenis die ver teruggaat in de tijd.

Toch bleef Hebert nadenken of er niet een manier zou kunnen zijn waarop hij DNA snel en gemakkelijk zou kunnen gebruiken om soorten van elkaar te onderscheiden. Totdat hij eind jaren negentig door een supermarkt liep en keek naar de barcodes op alle producten. 'Plotseling begreep ik: DNA is precies zoals die barcodes! Ja, de strengen zijn wat langer, maar het principe is hetzelfde. Waarop ik dacht dat het mogelijk moest zijn om met een klein stukje DNA alle soorten op onze planeet te kunnen onderscheiden.'

Hij deed het licht in zijn achtertuin weer aan en keerde terug naar zijn motten. In die achtertuin verzamelde hij ongeveer driehonderd soorten motten die hij wist te classificeren op de traditionele manier. Vervolgens las hij de sequenties uit van een klein stukje mitochondriaal DNA (de mitochondriën zijn een soort energiebron in de cel). Hij vond dat elke soort zijn eigen distinctieve, genetische signatuur had. Oftewel: de genetische classificatie kwam overeen met de traditionele classificatie. In 2002 schreef hij met collega's zijn eerste paper over *barcoding*. 'Het was gebaseerd op erg weinig bewijs. We hadden in die tijd ook nog nauwelijks geld.'

Tijdens een verhaal dat hij hield naar aanleiding van de publicatie ontmoette hij een vertegenwoordiger van de Sloan Foundation uit New York. Deze vertegenwoordiger kwam naar hem toe en zei: 'Als jij denkt dat dit waar is, dan zou het een revolutie in de biologie kunnen betekenen.' Omdat hij bevestigend antwoordde, besloot de Sloan Foundation tien miljoen dollar te investeren in een Consortium for the Barcode of Life (CBOL), gevestigd in Washington DC. De Moore Foundation in San Francisco volgde met nog een grote investering waarmee Hebert de effectiviteit van DNA-barcoding kon testen; het project was serieus van start.

Als eerste nam Hebert contact op met Daniel 'Dan' Janzen die samen met zijn vrouw Winnie Hallwachs in Costa Rica een groot tropisch biodiversiteitsproject runt. 'Een van de kritiekpunten in die tijd was namelijk dat het makkelijk was om soorten te onderscheiden in Canada, omdat wij maar zo weinig soorten hebben hier. In de tropen zou ons systeem wel snel uit elkaar vallen, werd aangenomen.' Maar het barcodingsysteem bleef wonderwel in stand. Janzen heeft inmiddels vierhonderdduizend specimens opgestuurd en de barcodes hebben een grote bijdrage geleverd aan het ecologische werk in Costa Rica.

Na drie jaar werk aan zijn project kwam de regering van Canada over de brug met nog meer grote investeringen. Inmiddels heeft het land ongeveer honderd miljoen dollar geïnvesteerd. Hebert: 'Plotseling ging het allemaal heel snel.' In 2010 werd het International Barcode of Life Project, iBOL, (ibol.org) gelanceerd en inmid-

Paul Hebert, laureaat van de Dr. A.H. Heinekenprijs voor Milieuwetenschappen, houdt zijn publiekslezing op 26 september in de Leidse Schouwburg.

dels zijn vijfhonderdduizend soorten geregistreerd. 'Ja, ik leef echt de droom.'

Toch wijst Hebert erop dat een megaproject als de *barcoding of life* alleen kan slagen als sprake is van intensieve, internationale samenwerking. Hij vergelijkt het met andere grote wetenschappelijke projecten: 'Als je sterren wilt bestuderen, dan ga je op een bergtop staan in Chili of Hawaï en krijg je een goed idee van de diversiteit van items in het heelal, toch? Of als je graag atomen kapot wilt slaan, dan pak je er een paar miljard en ga je naar de deeltjesversneller in Cern. Maar als je wilt kijken naar biodiversiteit, dan word je geconfronteerd met verschillende soorten regelgeving die vaak terug te voeren is op het Biodiversiteitsverdrag uit 1992. Op basis daarvan verplichten 195 landen zich om biodiversiteit te identificeren en te bewaken.' Hebert denkt dat dit een van de grootste uitdagingen is van het project. 'Onze discipline heeft geen ervaring met megawetenschap. De barcoding of life zou de eerste kunnen worden; ik hoop dat dit het inderdaad ook wordt.' In september wordt de tweede fase van iBOL gelanceerd en het is de bedoeling dat in 2025 internationale steun is verworven voor een twintig jaar durend programma waarbij al het leven op de planeet wordt geregistreerd.

Hebert wijst erop dat er haast is bij dit project. 'Ik heb niets tegen deeltjesfysica of astronomie, ik vind het zelfs razend interessant, maar mijn punt is dat sterren en atomen er de komende miljarden jaren zullen zijn, maar soorten op aarde niet. We kunnen hier niet mee wachten. Talloze soorten zijn al uitgestorven. In Nederland en de landen daaromheen is de insectenbiomassa in de laatste dertig jaar met 75 procent afgenomen. De tijd dringt.'

**TOCH STOND NIET** iedereen in de wetenschappelijke wereld meteen te juichen toen barcoding werd geïntroduceerd. Hebert beaamt het en lacht. 'Laat ik het zo zeggen: ik was blij dat ik een vaste aanstelling had toen ik hiermee begon!' Uit de hoek van de taxonomie had hij die kritiek wel verwacht; taxonomen vonden de 'invasie van moleculen in hun domein niet leuk'. Maar ook de evolutionair biologen roerden zich meer dan hij had gedacht; ze vonden barcoding te simpel en meenden dat je naar alle genen moest kijken. Dat is nu eenmaal wat vereist is voor fylogenetisch werk: de constructie van de levensboomdiagram waarbij je terug gaat kijken naar bepaalde soorten precies gemeenschappelijke voorouders hebben en waar de genetische vertakkingen in die boom dus precies plaatsvinden. Bij barcoding wordt slechts gekeken naar een heel klein stukje mitochondriaal DNA, bestaand uit slechts 650 basenparen. Hoe is het mogelijk dat je daaruit een soort kunt onderscheiden?

Hebert geeft toe dat hij nog niet precies begrijpt waarom barcoding zo goed werkt. Maar dát het werkt is zeker. Neem een promovendus in Finland die besloot om alle negentienhonderd soorten kevers die bekend zijn in Finland te



Paul Hebert – 'DNA is precies als barcodes'

barcoden. Hij nam van elke soort een aantal exemplaren en las de reeksen DNA af. Het onderscheid op grond van barcoding bleek in 98 procent van de gevallen gelijk te zijn aan de classificatie op basis van 260 jaar taxonomische studie. 'We hebben een bijna perfecte match met het systeem van Linnaeus.' Barcoding kan dus de resultaten van traditionele taxonomie bevestigen, maar in toenemende mate gebruiken Hebert en zijn collega's het systeem ook om nieuwe informatie te genereren. Neem de paar honderd kleine, blauwe vlinders uit Costa Rica die Dan Janzen opstuurde: 'Wij zagen geen enkele variatie, ze zagen er identiek uit. Maar uit de barcoding kwam naar voren dat er wel degelijk genetische verschillen waren tussen de vlinders.' Janzen besloot de rupsen van de vlinders te bestuderen, en toen bleek dat de genetisch verschillende rupsen ook allemaal aten van verschillende 'waardplanten'. Janzen nam foto's van de rupsen en die bleken er bovendien ook anders uit te zien. Dus de rupsen, hun voedsel én de barcodes waren verschillend, maar toch werden ze allemaal als één soort beschouwd. 'Omdat de vlinder er hetzelfde uitzag.' *Splitting* heet dit in taxonomisch jargon: er worden meer soorten onderscheiden dan voorheen. Het tegenovergestelde heet *lumping*, dan gooi je verschillende soorten juist weer op één hoop en maak je er één soort van.

De gouden regel van reproductie (dat twee individuen met elkaar nakomelingen kunnen krijgen) leek altijd de ultieme test voor het uit elkaar houden van soorten, maar in de natuur is dit gewoonlijk maar moeilijk te testen. Uiteindelijk blijft classificatie van soorten een

**'We hebben een bijna perfecte match met het systeem van Linnaeus'**

subjectieve aangelegenheid: 'Of je nu te maken hebt met *lumpers* of met *splitters*, taxonomie is door de jaren heen vloeiend geweest. Er waren geen objectieve criteria die overal ter wereld op dezelfde manier werden toegepast,' zegt Hebert.

Darwin zei ook dat het concept van een soort altijd een menselijk concept blijft. Zijn die objectieve criteria er dan nu plots wel met barcoding? De quote van Darwin suggereert immers dat diversiteit zou plaatsvinden op een glijdende schaal, dat de ene soort vogel zou voortvloeien in de andere soort vogel, dat je overal ook *blended* soorten zou zien. Darwin ging er dan ook van uit dat soorten niet vastlagen en dat ze met de tijd veranderden. Hebert: 'Ja, dat klopt ook, zeker als je ver teruggaat in de tijd. Dan wordt de afbakening van een soort een stuk grijzer.'

Toch ziet Hebert in het heden genetisch strakke, netjes afgebakende grenzen die scherp in beeld komen met barcoding. 'Neem Homo sapiens. Het is duidelijk dat er maar één menssoort is op aarde en dat zijn wij. Maar ga je eens vijftig- tot honderdduizend jaar terugkijken, dan blijkt die grens niet zo makkelijk meer te trekken. Het is bewezen dat er verschillende ondersoorten mensen bestonden en dat die wel degelijk met elkaar nakomelingen hebben gekregen, zoals de Neanderthaler en de Homo sapiens. Daar wordt de lijn opeens diffuus.'

In het heden verschillen mensen genetisch – als je naar de barcodes kijkt – maar heel weinig van elkaar. Terwijl wij onderling maar op maximaal één of twee paren van de 650 verschillen, zien we in vergelijking met chimpansees plotseling op wel 75 basenparen substituties. Een grote stap dus van mens naar chimpansee. Elke keer dat je zo'n grote afstand ziet, betekent dit dat er een lange periode is geweest van 'reproductieve isolatie', een lange periode waarin geen DNA werd gedeeld, verduidelijkt Hebert.

**HET BARCODINGPROJECT** is van groot belang voor het beschermen van biodiversiteit op aarde. Immers: 'Als je niet weet wat er aan leven op aarde is, weet je ook niet hoeveel het afneemt en kun je het ook niet beschermen.' Hebert vergelijkt het met het bijhouden van het weer. 'Dat doen we pas vanaf 1880 en moet je nagaan hoe belangrijk dit is geweest voor het registreren van wereldwijde veranderingen in ons klimaat.'

Hebert en zijn collega's krijgen steeds meer vertrouwen in barcoding. Ze hebben inmiddels veel van deze studies gedaan en leren steeds meer over de genetische regels van soorten. Een belangrijk element is de schaalbaarheid: doordat classificatie nu zó ontzettend veel sneller kan dan vroeger, kan biodiversiteit in grote gebieden worden gemonitord. Zo wordt er deze zomer een gebied dat een duizendste deel is van het totale aardoppervlak gemonitord op insecten. 'Het zit allemaal in een enorme stroomversnelling. Dat is voor mij een van de meest spannende dingen die barcoding kan bijdragen aan biodiversiteitswetenschap: de mogelijkheid om, in een razend tempo, een inventaris te maken van al het leven op aarde.' ♦