

De natuur als uitvinder

Ylva Poelman

De natuur als uitvinder

Miljarden jaren aan innovatie
gratis beschikbaar



Uitgeverij Carrera, Amsterdam 2015

© Ylva Poelman, 2015
© Uitgeverij Carrera, Amsterdam 2015
Omslagontwerp: Riesenkind, 's-Hertogenbosch
Typografie: Perfect Service, Schoonhoven
Redactie: Joke Jonkhoff
Illustraties: Maartje Kunen, Medical Visuals

ISBN 978 90 488 2541 7
ISBN 978 90 488 2542 4 (e-book)
NUR 910/950

www.denatuuralsuitvinder.nl

www.uitgeverijcarrera.nl
www.overamstel.com

OVERAMSTEL
uitgevers

Carrera is een imprint van Overamstel Uitgevers bv

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.



Inhoud

Voorwoord 9

DEEL 1 – Spieken in de natuur 15

1 – DE GEREEDSCHAPSKIST VAN DE GALÁPAGOS 17

Elk vogeltje eet zoals het gebekt is 17

De natuur heeft het wiel wel degelijk uitgevonden (en motoren, tandwielen en explosies) 21

Het wiel en de motor 22

Het tandwiel 23

Explosies 24

De technische natuur 25

2 – BETER GOED GEJAT DAN SLECHT VERZONNEN 27

Bionica: biologische techniek als inspiratiebron voor menselijke techniek 27

Het laboratorium van de natuur 31

Mensen komen net kijken 36

Waarom is dit hét bionicatijdperk? 37

Hightechinstrumenten 37

Geavanceerde theorieën 38

Bijdrage aan oplossingen voor huidige uitdagingen 38

Bionica is business 41

Bionica maakt techniek aaibaar 42

Innovatiemethode 42

Wat je hierna nog leest 47

3 – HET OVERLEVEN VAN DE ENERGIEZUINIGSTE 51

- Alles kost energie* 54
- Kosten en baten* 56
- Energiezuinig voedsel zoeken* 60
- Energiezuinig voortbewegen* 64
- Energiezuinig nadenken* 71
- De botsing tussen twee energiebesparingen* 74

4 – MINIMALISTISCHE BOUWMEESTERS 79

- Minimalistische bomen* 80
- Minimalistische botten* 84
- Minimalistische spinnenzijde* 88
- Minimalistische honingraten* 93
- Minimalistische kiezelwieren* 97

5 – DOORBRAAKINNOVATIES UIT DE NATUUR 104

- Wat zijn doorbraakinnovaties?* 105
- Serendipiteit* 108
- Tijdbesparende innovaties* 114
- Evolutionaire strategie* 118
- Een uitvinding of idee is nog geen innovatie* 124
- Radicale innovaties in de natuur* 129
 - Ontstaan van leven* 130
 - Fotosynthese* 132
 - Meercellig leven* 136
 - Seksuele voortplanting* 136
 - Landleven* 137
 - Interne voortplanting* 140
 - Warmbloedigheid* 140

6 – ONGELIJKE TECHNIEKEN 147

Zoek de zes verschillen 147

Hiërarchische structuren 154

Vele ingrediënten versus vele recepten 160

Basingrediënt 1: eiwitten 161

Basingrediënt 2: koolhydraten 161

Basingrediënt 3: vetten 162

Basingrediënt 4: nucleïnezuren 162

Andere grondstoffen, vergelijkbare materialen 163

Eeuwige recycling 165

Hetzelfde, maar dan anders 168

Informatie, zelfassemblage en structuur 172

Multifunctioneel construeren 176

Essentieel water 177

Water als bouwstof 177

Een uniek materiaal 178

Essentieel voor het leven 180

Water in de menselijke techniek 181

7 – UITVINDEN ALS DE NATUUR 184

Biologische techniek versus menselijke techniek 185

Efficiency versus Verkwisting 185

Evolueren versus Plannen 188

Flexibiliteit versus Rigiditeit 190

Lokaal versus Globaal 193

Recepten versus Ingrediënten 194

Ontwerpregels uit de natuur 199

Voorbeeld van de indirecte methode: Exploration Architecture 201

Voorbeeld van de indirecte methode: InterfaceFlor 203

DEEL 4 – Nóg meer inspiratie uit de natuur 205

8 – DIERLIJK GEDRAG ALS INSPIRATIEBRON 207

Optimalisatiestrategieën voor netwerken, logistiek en planningen 209

Wisdom of the crowd 212

Samenwerkende robots 217

Inzichten voor samenwerkende teams, bedrijfsstrategieën en organisatievormen 218

Samenwerken in (innovatie)teams 219

Bedrijfsstrategieën 220

Regeldruk 221

Nog meer inspiratie uit de natuur? 223

Dankwoord 227

Verklarende woordenlijst 229

Literatuurlijst 245

Voorwoord

‘The biggest innovations of the twenty-first century will be the intersection of biology and technology. A new era is beginning.’

– Steve Jobs, mede-oprichter van Apple

‘To be original, is to return to the origin: nature.’

– Antoni Gaudí, architect van de Sagrada Familia

De natuur als uitvinder? Uitvinder van wat? Een uitvinding is een vernuftig gevonden oplossing, meestal op technisch gebied, aldus Van Dale. Normaal gesproken wordt hierbij uitgegaan van het menselijk vernuft, maar dit boek gaat over het vernuft van de natuur. Met natuur wordt hier de levende natuur bedoeld, die bestaat uit biologische organismen en biologische processen.

De natuur is de uitvinder van de mens en zij is daarmee indirect verantwoordelijk voor al onze uitvindingen. De natuur zou echter veel van onze uitvindingen op een heel andere manier aanpakken. Het klinkt misschien wat vreemd, maar in de natuur bestaan heel slimme technische oplossingen voor voortbewegen, boren, filteren, pompen, isoleren, vasthechten, waarnemen, repareren, beschermen, enzovoort. Er zijn zelfs kevers die explosies kunnen opwekken. Je kunt het zo gek niet bedenken of de natuur heeft een oplossing gevonden.

Deze biologische techniek verschilt aanzienlijk van onze eigen menselijke technologie en daar maakt bionica gretig gebruik van. Bionica is zowel een heel praktische innovatiemethode als een wetenschappelijke discipline, die de biologische techniek gebruikt als een bron van onconventionele ideeën voor onze eigen techniek. De term bionica is een samentrekking van bios (= leven) en technica (= techniek). Bionica staat

ook bekend als biomimicry, biomimetica of bio-geïnspireerd. Eigenlijk zijn dat allemaal woorden voor spieken bij de natuur.

Het inzetten van bionica als innovatiemethode heeft een aantal duidelijke voordelen. Ten opzichte van onze techniek gebruikt de natuur bijna altijd minder energie en minder materiaal. Oplossingen voor onze menselijke technische uitdagingen geïnspireerd door de biologische techniek leveren daarom vaak een aanzienlijke efficiencywinst. Hierbij is 50 procent of zelfs meer energie- of materiaalbesparing geen uitzondering. Ook levert de natuur 'proven technology': technologie die in de praktijk heeft bewezen goed te functioneren. Een innovatieproces is vaak een kwestie van zoeken, uitproberen, vallen en weer opstaan. Bionica stroomlijnt dit proces door gericht te zoeken naar bestaande oplossingen in de natuur en deze te vertalen naar menselijke techniek. Dit kan een aanzienlijke tijdswinst opleveren. Een ander voordeel is dat bionica out-of-the-box-oplossingen biedt die regelmatig voor technische doorbraken zorgen bij technologie die aan haar plafond zit en die geen progressie meer kan maken.

De natuur is al bijna 4 miljard jaar 'in bedrijf'. Hierbij speelt de duurzaamheid van het functioneren van de natuur en haar techniek een belangrijke rol. Dat moet ook wel, anders had ze het niet al die tijd volgehouden. Hoewel de mens en zijn techniek veel heeft bereikt, is het maar zeer de vraag of wij het op de ingeslagen weg ook 4 miljard jaar zullen volhouden. Steeds verder dringt het besef door dat meer van hetzelfde niet de oplossing gaat brengen voor de aaneenschakeling van crises in de afgelopen decennia, en voor de crises die nog op de loer liggen.

Een 'tipping point' (kantelpunt) is het kritische punt in een situatie waarbij een grote en vaak niet te stoppen verandering in die situatie optreedt, met mogelijk catastrofale gevolgen. Er kan sprake zijn van een langzame opbouw naar het kritische punt, waarbij de laatste druppel de emmer doet overlopen. Denk aan een besneeuwde berg waarbij het gewicht van de sneeuwlaag bij elke sneeuwbus toeneemt, totdat de sneeuwlaag ineens gaat schuiven en in een lawine verandert. Met een laatste beetje sneeuw werd het kritieke punt bereikt.

Velen maken zich zorgen over naderende tipping points in onder andere het klimaat en in de ecosystemen. Dit zijn complexe systemen waarin het veranderen van slechts een gering aantal cruciale aspecten

tot een omslag kan leiden. In een goed functionerend ecosysteem bijvoorbeeld, kan het uitsterven van een aantal essentiële soorten tot de volledige ineenstorting van het goed gebalanceerde ecosysteem zorgen. En of we het nou leuk vinden of niet, de menselijke soort is onderdeel van de biosfeer, het leefgebied van alle organismen op onze planeet. Dit omvat zowel de levende natuur als de niet-levende, of anorganische natuur. Onder dat laatste vallen bijvoorbeeld water, gesteenten en de atmosfeer. Het bereiken van tipping points in klimaat of ecosystemen gaat dus ook óns aan.

Het oplossen van de huidige uitdagingen en het veiligstellen van een goede toekomst voor de komende generaties zijn denk ik vooral een kwestie van mentaliteit: het anders willen doen. Daar de noodzaak van inzien en niet denken 'het zal mijn tijd wel duren'. En hoe je het ook wendt of keert, duurzaamheid speelt daar per definitie een rol in. Duurzaamheid is de ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden, zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen, aldus de definitie van de VN-commissie Brundtland. Laat de natuur daar nu een geweldige inspiratiebron voor zijn. Ze heeft duurzaamheid immers uitgevonden. Hierbij streeft de natuur niet naar maximale winst (laat staan rijkdom, roem of macht) voor individuele soorten, maar naar een optimale situatie voor het geheel en een zo groot mogelijke veerkracht om klappen op te vangen. We hoeven alle antwoorden dus gelukkig niet zelf te bedenken en we kunnen meer dan genoeg inspiratie putten uit het functioneren van de natuur en daar onze eigen draai aan geven.

Technologie is niet de ultieme oplossing voor alle uitdagingen, maar kan daar wel aan bijdragen. Met haar wortels in de biologische techniek is bionica bij uitstek geschikt voor een technologische bijdrage. Bionica gaat wat mij betreft dan ook niet over het innoveren om meer te consumeren, maar over vernieuwingen die ons helpen een duurzame toekomst te creëren. De aanzienlijke besparingen op fossiele brandstoffen en op schaarse, moeilijk te winnen en vervuilende grondstoffen, zijn hier voorbeelden van. Nog beter is het om producten en processen geïnspireerd door de natuur te herontwerpen, zodat deze stoffen kunnen worden vervangen door milieuvriendelijke, veelvoorkomende en hernieuwbare bronnen.

Biologie heeft me altijd geïntrigeerd. Hoewel ik uiteindelijk theoretische natuurkunde en sterrenkunde ben gaan studeren, heeft de verwondering over en bewondering voor de natuur me nooit losgelaten. Elk voorjaar verbaas ik me weer over haar veerkracht wanneer alle schijnbaar dode of verdwenen planten en dieren weer tot leven of tevoorschijn komen. Als middelbare scholier spendeerde ik mijn meeste zakgeld aan natuurboeken en ik kan de meest vreemde dieren en planten benoemen, zoals de hoatzin. Als kuiken heeft deze vogel nog klauwtjes aan zijn vleugels, wat me altijd doet denken aan de uitgestorven voorouder van vogels, de archeopteryx. Aan de andere kant ben ik gefascineerd door wetenschap, techniek en innovatie, het nieuwe en onconventionele. Bionica bevindt zich precies op het snijpunt van deze interesses. Het is dan ook geen wonder dat ik er jaren geleden door werd gegrepen en ermee aan de slag ben gegaan. Het is mijn manier om niet te denken 'het zal mijn tijd wel duren' en om een steentje bij te dragen aan een innovatieve en duurzame toekomst.

Met dit boek hoop ik duidelijk te maken dat bionica technische vooruitgang en (economische) waarde verenigt met duurzaamheid. Dat was en is nog steeds mijn grootste drijfveer om me op bionica te storten. Bionica is een multidisciplinair vakgebied, waarin onder andere biologie, natuurkunde, scheikunde en engineering relevant zijn. Het is een heel concreet en toepasbaar vakgebied. Bionica heeft niets te maken met bomen knuffelen, waar overigens niets mis mee is. Persoonlijk vind ik bomen een beetje te hard om te knuffelen. Wel hoop ik dat dit boek de bewondering voor de natuur doet toenemen en er een extra dimensie aan toevoegt. Want wat de natuur heeft bereikt, ook in technisch opzicht, is zeker bijzonder. Daar kunnen we echt nog wat van leren.

Omdat voor veel mensen techniek uit de natuur een bizar concept is, bevat het eerste hoofdstuk een introductie, om zo duidelijk te maken dat dit bij nadere beschouwing helemaal niet zo vreemd is. Het gaat erom te zien hoe bijzonder de natuur werkt. Hoofdstuk 2 vertelt meer over bionica als vakgebied en innovatiemethode: waarom bionica juist *nu* tot bloei kan (en moet) komen. Ook gaat dat hoofdstuk over de evolutie van de achterliggende biologische technologie.

In het tweede deel van het boek worden in de hoofdstukken 3 tot en met 5 de genoemde voordelen (energie-, materiaal-, tijdbesparing

en doorbraakinnovaties) nader uitgewerkt. Het derde deel is wat meer technisch van aard. De hoofdstukken 6 en 7 beschrijven in welke opzichten de biologische en de menselijke techniek nu precies van elkaar verschillen. Het laatste onderdeel van het boek, hoofdstuk 8, laat zien dat niet alleen de techniek uit de natuur inspireert tot bijzondere menselijke technologie, maar dat gedrag van dieren dat ook doet. Bovendien biedt dit gedrag ideeën voor logistiek, planning en sociale innovatie, zoals het samenwerken in teams en op een creatieve wijze over bedrijfsstrategieën nadenken. In aparte kaders worden steeds concrete bionica-voorbeelden beschreven. Hierin wordt aangegeven hoe de biologische techniek, verweven in specifieke organismen, bijzondere menselijke producten of processen heeft geïnspireerd. Tot slot vind je achterin nog een verklarende woordenlijst.

Ik hoop dat je na het lezen van dit boek ook enthousiast bent geworden om iets met bionica te gaan doen. Dat leidt hopelijk niet alleen tot bijzondere uitvindingen, op welk gebied dan ook, maar ook tot een andere, meer duurzame manier van denken. Hoewel onze techniek tot de indrukwekkende en fascinerende ruimtevaart heeft geleid, moeten we het vooralsnog met één planeet doen. Daarom moeten we een beetje zuinig zijn op onze Aarde.

Ylva Poelman

DEEL I

Spieken in de natuur

De gereedschapskist van de Galápagos

Als je aan de natuur denkt, waar denk je dan aan? Bos? Biologie? Pluizige beestjes? Waar je waarschijnlijk niet aan denkt is techniek, maar hoe gek het ook klinkt: de natuur zit er vol mee. Ons brein wordt vaak vergeleken met een computer en ons hart met een pomp. En dat is zeker niet gekscherend bedoeld. Ons hart is inderdaad een pomp, een verdraaid goede zelfs. Het hart van een persoon in rust pompt 300 liter bloed per uur, 7.200 liter per dag en 2,6 miljoen liter per jaar rond. Bovendien werkt deze pomp volcontinu en kan dat wel 120 jaar volhouden, mits er verstandig mee wordt omgesprongen natuurlijk. De pomp van menselijke makelij die datzelfde kan presteren, moet nog worden uitgevonden. Dit maakt het hart één van de vele voorbeelden waarin de techniek uit de natuur de techniek van de mens overtreft. Met 'de natuur' wordt hier de 'levende' natuur bedoeld, die bestaat uit biologische organismen en processen. De natuur gebruikt namelijk bijna altijd minder energie en materialen, kent een ongekennde gevoeligheid en nauwkeurigheid, optimaliseert moeiteloos verschillende functies tegelijkertijd, verzoent tegenstrijdige eisen met elkaar, werkt bij omgevingsdruk en -temperatuur en recyclet bovendien alle materialen. Daar kunnen wij nog wel wat van leren.

Elk vogeltje eet zoals het gebekt is

Ook de 'godfather' van de evolutietheorie, Charles Darwin, stuitte tijdens zijn beroemde reis met de Beagle op het technisch vernuft van de natuur. Op de Galápagoseilanden trof hij de later naar hem vernoemde Darwinvinken aan. Deze vinken stammen allemaal af van enkele vinken die ooit vanuit het vasteland van Zuid-Amerika op de afgelegen eilan-

den terecht zijn gekomen. Deze kolonisten vonden op de eilanden verschillende voedselbronnen. In de loop van de evolutie ontstonden uit dit kleine groepje 'vasteland-vinken' verschillende typen 'eiland-vinken', de Darwinvinken, elk type gespecialiseerd in een bepaald soort voedsel.

Het belangrijkste stuk gereedschap dat deze vinken hebben om aan voedsel te komen, is hun snavel. Hierbij eet elk vinkje letterlijk zoals het gebekt is. De snavels van sommige nakomelingen van de oorspronkelijke vasteland-vinken veranderden in de loop der tijd van grootte en vorm. Hiermee kregen deze nakomelingen een voordeel bij het manipuleren van bepaalde soorten voedsel die op de eilanden te vinden zijn. Dit vergrootte de kans op overleven en op nageslacht voor deze vogels. Geleidelijk ontstonden zo nieuwe soorten eiland-vinken met verschillende snavelvormen, geschikt voor specifieke soorten voedsel.

De diverse bekken van de Darwinvinken kunnen klemmen, breken, knippen, plukken, knabbelen en strippen. De spechtvink is zelfs in staat om met zijn bek stokjes of cactusstekels te gebruiken om larven mee uit hout te peuteren. Al deze vogelbekken uit de gereedschapskist van de Galápagos doen niet onder voor de tangen die wij tussen onze eigen werktuigen aantreffen. De bek van een tang heet dan ook niet voor niets een bek.

De grote grondvink bijvoorbeeld is een zaadeter en hij is uitgerust met een sterke, brede en hoge snavel, vergelijkbaar met die van een papegaai. Deze snavel is uitermate geschikt om grote, harde zaden mee te kraken en werkt vergelijkbaar met een notenkraker met het uiterlijk van een griptang. De kleine boomvink heeft juist een langere en smallere snavel, met een gebogen punt die functioneert als een gebogen punttang en knabbeltang. Deze vogel is een insecteneter en gebruikt zijn gespecialiseerde snavel om behendig insecten van bomen af te plukken of om ermee door de bast te knabbelen, zodat hij bij de daar verstopte insecten en larven kan komen.

De snavels van de Darwinvinken zijn functioneel gezien allemaal min of meer tangen, maar in het vogelrijk bestaan snavels die een nog grotere diversiteit in vorm en functie vertonen. De vreemd gevormde bek van de flamingo bijvoorbeeld is een zeef waarmee de vogel kleine kreeftjes en ander voedsel uit het water filtert. Pelikanen zijn echte vis-

eters en hebben ruim bemeten snavels die werken als schepnetten. Met hun bek en keelzak scheppen ze vis met water op, waarna ze het water weer uit de bek laten stromen en de vis doorslikken.



Figuur 1: Snavels van vogels hebben vergelijkbare functies als onze menselijke gereedschappen.

Boven links: grote grondvink – notenkraaker

Boven midden: pelikaan – schepnet

Boven rechts: specht – hamer en beitel

Onder links: flamingo – zeef

Onder midden: reiger – speer

Onder rechts: roodborstje – pincet

Een andere grote bek is te vinden op de toekan, een vruchteneter. Een lange snavel is handig om ver mee te reiken om bij het fruit te kunnen komen, zonder al te veel van plaats te hoeven veranderen. Of deze luiheid de 'oversized' snavel helemaal verklaart, is echter de vraag. Er zijn immers meer luie, fruit etende vogels en die zijn niet gezegend met een dergelijke uit de kluiten gegroeide toeter voor hun kop. Uit onderzoek blijkt dat de toekan zijn snavel ook als een koelsysteem gebruikt. Door

het grote oppervlak van de bek kan de toekan veel warmte aan de omgeving afgeven, net als de Afrikaanse olifant die dat met zijn grote oren doet. Zowel de snavel als de oren functioneren als radiateurs van een auto. Het bloed dat door deze 'radiateurs' stroomt, koelt af aan de buitenlucht en zorgt ervoor dat de dieren een teveel aan lichaamswarmte kwijtraken. De oren zijn er dus niet alleen om mee te horen en de snavel is er niet alleen om voedsel mee te bemachtigen. Het combineren van functies in hetzelfde lichaamsonderdeel is een veelvoorkomend en materiaal besparend 'specialisme' van de natuur.

Een in het oog springende vraag is natuurlijk hoe de toekan met zijn enorme snavel, die wel de helft van zijn lichaamslengte kan beslaan, überhaupt kan functioneren. Je zou verwachten dat hij topzwaar is en continu op zijn snufferd valt, maar in de praktijk gebeurt dat niet. Hier komt een ander technisch specialisme van de natuur om de hoek kijken, namelijk lichtgewicht construeren, wat in hoofdstuk 4 uitgebreid wordt beschreven. De binnenkant en buitenkant van de snavel bestaan uit hoorn, een hard en sterk materiaal. Tussen deze lagen bevindt zich een sponsachtige structuur met vele gaten. Stutten van bot zorgen voor de nodige stevigheid. De sterke snavel van de toekan bestaat dus vooral uit lucht en dat zorgt ervoor dat de snavel slechts ééntwintigste deel van het lichaamsgewicht vormt. Maar eigenlijk is het vanzelfsprekend dat de toekan niet is uitgerust met een topzware bek. Dat zou de vogel dusdanig hinderen dat de soort nooit zou zijn ontstaan, of al lang zou zijn uitgestorven, en wij zijn kleurrijke bek nooit te zien hadden gekregen.

De laatste snavel die hier de revue passeert, is ook de luidruchtigste. De specht heeft een snavel als een scherpe beitel en gebruikt zijn kop als een hamer. Met dit setje gereedschappen hamert hij door de bast van bomen om bij de daaronder levende insecten te kunnen komen, die hij vervolgens met zijn kleverige tong van de boom plukt. Als speciale aanpassing voor deze manier van leven heeft hij een schokdemper in zijn kop om permanente hoofdpijn en een hersenschudding te voorkomen. Tijdens het hameren kan hij zich afzetten met behulp van zijn stevige staart die hij als een steun tegen de boom plaatst. Om door al dit geweld niet van de boom te vallen, heeft de specht poten met twee tenen die naar voren en twee tenen die naar achteren wijzen, waardoor hij goed grip heeft op de boomstam.

De snavel, de schokdemper, de tong, de staart en de poten van de specht werken allemaal samen. Ze vormen met elkaar een efficiënte machine voor de jacht op insecten die zich veilig wanen onder de boombast. Al deze onderdelen zijn op elkaar afgestemd en gezamenlijk geoptimaliseerd. De natuur kijkt naar het geheel en optimaliseert niet zozeer de afzonderlijke onderdelen. Stel dat de natuur supersterke spieren zou ontwikkelen, maar de botten waar de spieren aan zijn bevestigd zou laten voor wat het is. Tijdens het aanspannen zouden deze spieren zoveel kracht op de botten uitoefenen dat de botten zouden breken. Dus supersterke spieren moeten gepaard gaan met supersterke botten. Maar die moeten dan natuurlijk weer niet zo zwaar worden dat het lastig wordt of dat het te veel energie zou kosten om voort te bewegen. Om succesvolle organismen te fabriceren, moet de natuur dus aan allerlei, vaak tegenstrijdige eisen voldoen en daar het beste van maken.

De natuur heeft het wiel wel degelijk uitgevonden (en motoren, tandwielen en explosies)

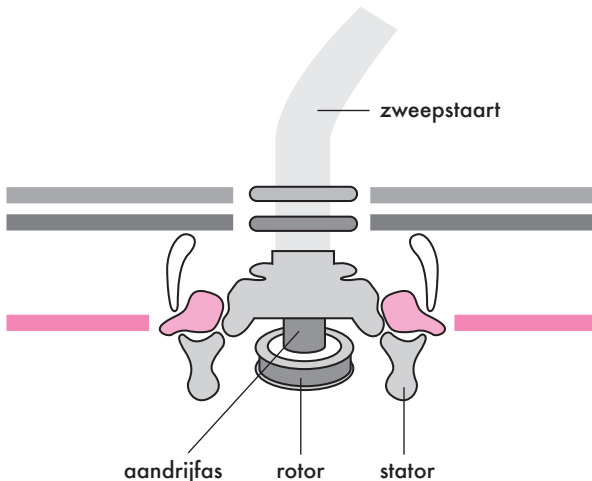
Vogelbekken zijn mooie staaltjes techniek uit de natuur, maar dat zijn natuurlijk niet de enige voorbeelden. Ook vogelpoten en vogelvleugels, om het even bij de vogels te houden, zijn voorbeeldige stukjes techniek. Eenden hebben zwemvliezen, roofvogels grijphaken en lelielopers hebben zeer lange, slanke tenen, om zo de druk van hun gewicht te verdelen, waardoor ze over drijvende waterplanten kunnen lopen. Gieren zijn geweldige zweefvliegtuigen en kolibries zijn met hun snelle vleugelslag de helikopters onder de vogels: ze kunnen stil hangen in de lucht, vooruit, achteruit, links, rechts, omhoog en omlaag. Dit is erg handig voor een vogel die nectar zuigt uit bloemen, maar nergens kan landen om dat te doen.

Maar het kan nog veel gekker. De natuur heeft niet alleen tangen, radiateurs, zwemvliezen en helikopters uitgevonden, maar bijvoorbeeld ook allerhande auto-onderdelen, zoals motoren, tandwielen, explosies en, in tegenstelling tot de algemene overtuiging, het wiel.

Het wiel en de motor

Om met het laatste te beginnen, het wiel zoals wij dat onder onze auto's gebruiken, heeft de natuur strikt genomen niet uitgevonden. Dat zou waarschijnlijk ook weinig functioneel zijn. Stel je een mier met wieltjes voor. Bij de eerste de beste afgebroken tak die het beestje op zijn weg tegenkomt, zou het een groot probleem hebben. Alhoewel de mier ongetwijfeld door de natuur uitgerust zou zijn geweest met six wheel drive, zijn deze pootjes toch echt veel handiger om over een obstakel als een tak heen te komen. En dan denken we nog niet eens aan een omgevallen boomstam.

Simpel gezegd echter, zijn de wielen van een auto bevestigd aan een as. Deze as drijft de wielen aan en wordt zelf aangedreven door de motor. Dit principe bestaat wél in de natuur. Bacteriën als de salmonellabacterie hebben zweepstaarten waarmee ze zich voortbewegen. Zweepstaarten zijn een soort haren, slechts een fractie van een mensenhaar dik en zien er schroefvormig uit. Deze haartjes zijn op ronddraaiende

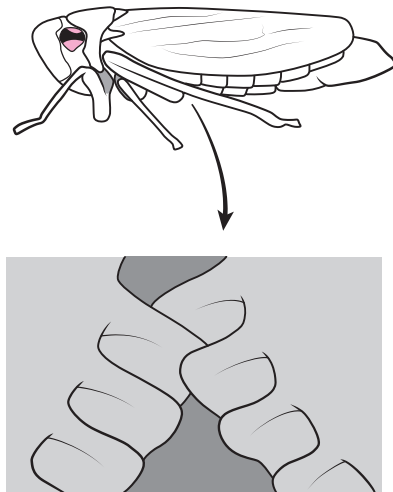


Figuur 2: Een bacteriemotor bestaat net als een elektromotor uit een stilstaand gedeelte (stator) en een ronddraaiend gedeelte (rotor). De rotor drijft de aandrijfas aan waarop de zweephaar is bevestigd. De beweging van de zweepstaart stuwt de bacterie voort.

assen ‘gemonteerd’ die worden aangedreven door een minuscuul motortje. Het motortje is een complex molecuul dat als brandstof waterstofionen (waterstofatomen die een elektron missen) oftewel protonen gebruikt. Het zorgt ervoor dat de as met de daaraan in de lengterichting verbonden zweepstaart tot wel 1.000 toeren per minuut kan maken. Als de zweepstaart van het motormolecuul wordt verwijderd, kan de motor onbelast zelfs tot 17.000 toeren per minuut halen. Bovendien kan de draairichting van de as bijna onmiddellijk veranderen, van linksom naar rechtsom, of andersom. Dat geeft de bacterie een grote beweeglijkheid.

Het tandwiel

Een veelvoorkomend onderdeel van auto’s is het tandwiel, in allerlei maten en soorten. Je vindt ze onder andere in de versnellingsbak, en ze zijn nodig voor de overbrenging van de beweging van de zuigers in de motor naar de wielassen. Maar wie dacht dat wij mensen het tandwiel het eerst hebben uitgevonden, die heeft het mis.



Figuur 3: De cicade *Issus coleoptratus* heeft tandwielen in zijn achterpoten. Hiermee synchroniseert het insect de beide achterpoten tijdens zijn krachtige afzet om te voorkomen dat hij gaat buitelen of tollen.

Een piepkleine cicade blijkt al veel langer dan wij in het bezit te zijn van tandwielen. Deze ‘tandwielcicade’ is een klein insect van amper zeven millimeter groot dat niet kan vliegen, maar wel een enorme sprongkracht heeft. Het beestje kan tot een meter hoog springen, meer dan 140 keer zijn lengte, en heeft hierbij een afzetsnelheid van 3 meter per seconde. Met een dergelijke sprongkracht is het belangrijk dat het insect zich met beide achterpoten tegelijk afzet, omdat het anders gaat buiten of tollen. Tandwielen in zijn twee achterpoten grijpen vlak voor de sprong in elkaar om de poten te coördineren zodat ze tegelijkertijd afzetten. Dit stelt de cicade in staat om een perfect gesynchroniseerde sprong te maken, zonder acrobatische toeren, en die hem tot grote hoogte brengt.

Explosies

De benzinemotor van een auto is een explosiemotor. Die is gebaseerd op een heel ander principe dan de protonmotor van de zweepstaart. In de cilinders van de benzinemotor wordt een kleine hoeveelheid brandstof met behulp van een elektrische vonk van de bougie tot ontploffing gebracht. De explosie doet de zuiger in de cilinder bewegen en deze beweging wordt uiteindelijk omgezet in het aandrijven van de wielassen. Een dieselmotor heeft geen vonk nodig om de explosie op te wekken, omdat diesel bij sterke samendrukking spontaan ontploft.

Explosies zijn wel de meest onwaarschijnlijke fenomenen die je in de natuur verwacht aan te treffen. Toch is het zo. De bombardeerkever gebruikt explosies om zijn vijanden, die dachten een lekker maaltje te verschalken, op de vlucht te laten slaan. Het mechanisme van de kever om een explosie op te wekken doet enigszins denken aan tweecomponentenlijm. De twee componenten (substanties) van de lijn worden afzonderlijk van elkaar opgeslagen en de kleverige werking treedt pas op tijdens het mengen van de twee substanties. Ook de bombardeerkever heeft twee reservoirs waarin apart van elkaar twee vloeistoffen liggen opgeslagen (waterstofperoxide en hydrochinon); los van elkaar zijn deze stoffen relatief onschuldig. Als de kever zich bedreigd voelt, openen spieren de kleppen van de twee reservoirs en worden de chemicaliën met elkaar gemengd in een ‘mengkamer’ in het achterlijf van de kever.

Deze kamer scheidt enzymen (katalysatoren) af die voor een heftige reactie zorgen, waarbij de temperatuur oploopt tot bijna 100 °C en er gas-sen ontstaan. De druk in de mengkamer neemt snel toe en zorgt ervoor dat de gassen via een uitlaatklep de kever explosief en met een hoorbare plof verlaten. Om ervoor te zorgen dat de kever zichzelf niet opblaast, zorgt de druk er tegelijkertijd voor dat de kleppen van de reservoirs weer sluiten om de inwendige organen van de kever te beschermen tijdens de explosie. Ook is de mengkamer bedekt met een beschermende laag, zodat dit orgaan het explosieve geweld kan weerstaan. Sommige bombardeerkevers zijn in staat om de gasuitlaat op de vijand te richten voor het beste resultaat. De gassen die de kever uitstoot, stinken verschrikkelijk en zijn sterk bijtend. Mocht de explosie zelf nog niet het gewenste resultaat hebben, dan doet de chemische oorlogsvoering dat alsnog.

De technische natuur

We zien de natuur vaak als mooi of lelijk, gevaarlijk of schattig, kruid of onkruid. De natuur hecht echter geen belang aan esthetische vormgeving of aan nut voor de mens. Het enige dat telt is of het functioneert. Het hoeft niet perfect te werken, maar wel goed genoeg. Heeft een organisme voldoende adequate techniek in huis, zodat het onder de heersende omstandigheden aan voldoende voedsel kan komen, kan het zich de vijanden van het lijf houden, de concurrentie aftroeven en dat alles lang genoeg om nakomelingen te produceren, dan is het een succesvol organisme.

De naakte molrat bijvoorbeeld is in onze ogen afzichtelijk lelijk, maar hij is desalniettemin een succesvol en bijzonder knaagdier. Hij leeft in groepen onder de grond en heeft net als mieren en bijen slechts één koningin en een paar mannetjes die zich voortplanten. De rest bestaat uit mannelijke en vrouwelijke werkers die zich niet voortplanten. Verder hebben ze vele aanpassingen om onder de grond te kunnen leven, voelen ze geen pijn, krijgen ze nooit tumoren en kunnen ze voor een knaagdier stokoud worden. Vooral deze laatste twee eigenschappen hebben de aandacht van onderzoekers getrokken in de hoop oplossingen te

vinden voor kanker en een lang leven. De mannetjespauw daarentegen vinden we met zijn indrukwekkende staart een prachtig dier. Dit enorme aanhangsel is echter bijzonder onhandig voor de haan in zijn dagelijks leven, maar is wel een magneet voor de vrouwtjes voor wie de staart niet indrukwekkend (en dus onhandig) genoeg kan zijn. Een haan die met een dergelijke 'handicap' kan overleven, moet immers heel wat in zijn mars hebben. Ook in de natuur heeft ieder nadeel zijn voordeel.

Veel mensen kijken slechts oppervlakkig naar de natuur. Zo bewonderen we het jachtluipaard om zijn enorme snelheid van meer dan 100 kilometer per uur, maar vragen we ons nooit af hoe dit dier daartoe in staat is. Wat heeft de natuur allemaal onder de motorkap van de cheeta gesleuteld om het snelste landdier dat op de aardbol rondloopt te fabriceren? Dit boek laat zien dat als wij ons daarin verdiepen, we telkens versteld staan van het technisch genie van de natuur en de bijzondere uitvindingen die ze heeft gedaan. Daarmee is ze een geweldige inspiratiebron voor onze eigen techniek, want als één ding inmiddels duidelijk zal zijn geworden, is dat spreken over natuur én techniek dubbelop is: natuur = techniek!