

MENS

MILIEU EDUCATIE NATUUR SAMENLEVING

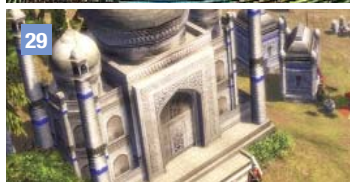
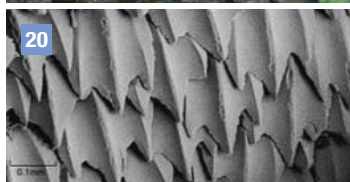
85

Populairwetenschappelijk tijdschrift
Driemaandelijks | OKT-NOV-DEC 2012

Biomimicry

de natuur als inspiratie
voor menselijk vernuft

Design van het leven	5
3,85 miljard jaar knutselen	5
Overleven doe je door evolueren	6
Wees efficiënt	6
Pas je aan wanneer je randvoorwaarden veranderen	8
Ontwikkeling gaat hand in hand met groei	9
Je hoort bij je omgeving	11
Gebruik levensvriendelijke chemie	12
Dwars door de biomimetische spiegel	17
Titaandioxide-kristallen groeien met de hulp van diatomeeën	17
Diep in de zee	19
Hoe de natuur ons kan leren rekenen	22
Biologische evolutie lost computer vraagstukken op	24
Genetische algoritmen	25
Rekenen met mieren en met DNA	27
Van de genetica naar de computer thuis?	29
Om af te sluiten...	29



Bio-
MENS

© 2012 Uitgeverij Acco

MeNS wordt uitgegeven door Uitgeverij Acco,
de inhoud, wetenschappelijke correctheid en
popularisatie wordt verzorgd door Bio-MENS vzw.

www.uitgeverijacco.be
www.biomens.eu

Omslagontwerp en vormgeving

Peter Faes - www.odevie.com
Uitgeverij Acco

Academische begeleiding

Prof. Dr. Roland Caubergs, Universiteit Antwerpen
roland.caubergs@ua.ac.be

Hoofredactie

Dr. Ing. Joeri Horvath, Universiteit Antwerpen
joeri.horvath@ua.ac.be

Eindredactie

Jan T'Sas, GCV Neejandertaal

Kernredactie

Lic. Karel Bruggemans, VRT
Prof. Dr. Roland Caubergs, Universiteit Antwerpen
Dr. Guido François, Universiteit Antwerpen
Prof. Dr. Geert Potters, Hogere Zeevaartschool
Dr. Lieve Maesele, Hogeschool Gent
Lic. Els Grieten, Universiteit Antwerpen
Lic. Chris Thoen, middelbaar onderwijs
ir. Marjolein Vanoppen, Universiteit Gent
ir. Ariane Ooms, Universiteit Antwerpen
Prof. Dr. Diane Van Strydonck, Universiteit Antwerpen

Communicatiecoördinator Bio-MENS

Kaat Vervoort
Herrystraat 8b, 2140 Antwerpen
Tel. +32 (0)3 609 52 30
Fax +32 (0)3 609 52 37
contact@biomens.eu

Algemene coördinatie

Dr. Sonja De Nollin
Tel. +32 (0)495 23 99 45
sonja.denollin@ua.ac.be

Abonnementenadministratie

Voor België en Nederland:
Uitgeverij Acco
Blijde Inkomststraat 22, 3000 Leuven
Tel. 016 62 80 00 - Fax 016 62 80 01
uitgeverij@acco.be

Abonnementen worden stilziggend voor één jaar-
gang verlengd. Opzeggen doet u uitsluitend via mail
naar uitgeverij@acco.be, uiterlijk op 31 januari van
de lopende jaargang.

Abonnementsprijzen (4 nummers)

Gewoon jaarabonnement: €35 incl. btw
Educatief jaarabonnement: €25 incl. btw
Losse nummers: €9,95 incl. btw per nummer

Advertentietarief

Voor meer informatie neemt u contact op met
uitgeverij Acco.

Losse nummers

t.e.m. MeNS 81 te bestellen bij Bio-MENS vzw.



In memoriam Crista van Haeren

(6 maart 1954 – 21 augustus 2012)

Weggaan kun je beschrijven als een soort van blijven.

Niemand wacht want je bent er nog.

Niemand neemt afscheid want je gaat niet weg.

- Rutger Kopland -

Tot ons groot verdriet is onze lieve voorzitter Crista van Haeren op 21 augustus 2012 van ons heengegaan. Allen die haar hebben gekend, ervaren dit als een ramp. Het was een voorrecht om met haar om te mogen gaan. Zo kenmerkend waren haar vriendelijkheid, haar humor, haar innerlijke en uiterlijke schoonheid, en haar steeds zo appreciërende dankbaarheid, ook voor kleine dingen. Haar stille kracht was indrukwekkend. We treuren om haar, om wie ze was en wat ze voor ons betekende.

Crista heeft gestreden tegen een meedogenloos monster. Helaas was het een gevecht dat ze op den duur niet winnen kon. Ze bleef er sereen en helder bij, zoals steeds. Ze heeft nooit de moed opgegeven. Ze klaagde nooit, hoe moeilijk haar toestand ook werd.

Ze was opgeleid als biologe aan de Universiteit Gent. Daar werd ze ook doctor in de wetenschappen. Later deed ze research aan het Instituut voor Tropische Geneeskunde. In het begin van de jaren 1990 kreeg ze een aanstelling aan het Instituut voor Criminalistiek en Criminologie (NICC), in de afdeling Drugs en Toxicologie. De laatste jaren was haar internationaal engagement enorm. Ze zette zich in voor ENFSI, de Europese overkoepelende organisatie van forensische instituten.

Crista's inzet voor Bio-MENS was zeer groot. Eerst was ze penningmeester en later voorzitter. In 2010 schreef ze een MeNS-nummer (74) dat nauw aan-

sloot bij haar eigen forensische ervaring. Het werd een pareltje van nauwgezetheid en competentie. Ook deze mooie combinatie was kenmerkend voor haar. In september 2012 verscheen een nummer (84) over kanker. Het is impliciet aan haar opgedragen. Ze heeft de tekst gewikt en gewogen en heeft haar goedkeuring gegeven aan het eindresultaat. Helaas heeft ze het moment van publicatie niet meer mogen meemaken.

Wij breken hier, als eerbetoon aan Crista, een lans voor meer gecoördineerd kankeronderzoek. Hoe groot de huidige inspanningen ook zijn, het eind is nog niet in zicht. De resultaten zijn bijvoorbeeld ongelijk verdeeld over de deelgebieden. We hebben doelgerichte projecten nodig, met voldoende financiering en in synergetische, internationale samenwerking tussen wetenschappers, oncologen en farmaceutische en biotechnologische experts. Zo moeten we de 'moeilijke' kankers zoals longkanker aanpakken. Bruikbare resultaten uit het toepassingsgericht onderzoek zijn zeer dringend gewenst.

Lieve Crista, we treuren om jou, maar tegelijk blijven je zachte glimlach en je warmte voor altijd in ons hart. We zijn je voor eeuwig dankbaar voor alles wat je ons gegeven hebt.

Guido François, haar echtgenoot
De kernredactie van MeNS
De Raad van Beheer van Bio-MENS vzw

Biomim

De natuur als inspiratie voor menselijk vernuft

Dossier samengesteld door Prof. Dr. Geert Potters (Hogere Zeevaartschool & Universiteit Antwerpen), Prof. Dr. Kris Laukens (Universiteit Antwerpen) en Ludwig Callaerts (ActUA & Universiteit Antwerpen).

De levende natuur. Een bron van ontspanning voor de wandelaar of de fietser. Een bron van genot voor de vogelliefhebber die met zijn verreiker de velden intrekt. Voor de snorkelaar die geniet van de pracht van de koralen. Voor de kunstenaar die een gepaste muze zoekt voor zijn pen of penseel.

Daarnaast zijn er de biowetenschappers die de schoonheid van de natuur en de geheimen van haar organisatie willen doorgronden. Ook zij worden gedreven door hun passie en grenzeloze creativiteit.

Maar daar eindigt de menselijke belangstelling voor de natuur niet mee. Steeds meer kijken ook ingenieurs, architecten, productontwikkelaars en zelfs computerwetenschappers (zie verderop) nadrukkelijk naar voorbeelden uit de levende wereld om de problemen waarmee ze in hun werk worden geconfronteerd, efficiënt aan te pakken. Deze manier van denken noemen we biomimicry. De mens bootst namelijk de levende natuur na (bios, 'leven' en mimesis, 'imitatie'). Andere termen zijn 'biomimetics' (dat gaat dan vooral over chemische voorbeelden) en 'bionics' (wat eerder een link met de elektronica veronderstelt).

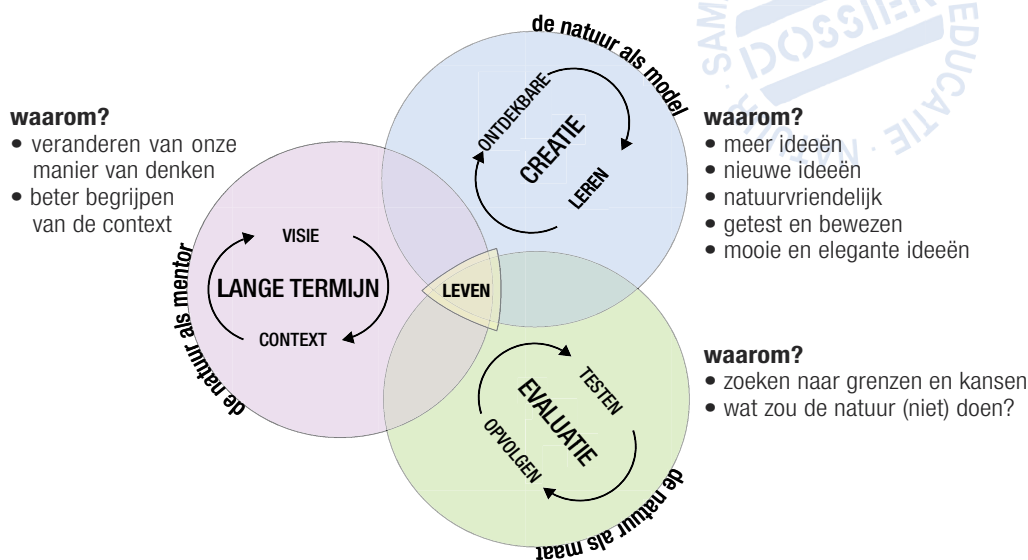


Eastgate Centre, Harare, Zimbabwe: Het ontwerp van dit winkelcentrum en kantorencomplex is een mooi voorbeeld van biomimicry in de architectuur: net als bij een termietenheuvel worden de koeling en verwarming van dit gebouw volledig geregeld door het complete design. Het centrum verbruikt slechts tien procent van de energie die een 'normaal' gebouw van dezelfde grootte nodig heeft. Foto Harare: David Brazier, Wikipedia





Foto Yun, yunphoto.net



De natuur dient hierbij als model, als mentor en als maat van alle dingen. Wat bedoelen we hiermee ?

- **MODEL:** we bestuderen de voorbeelden van ingenieuze oplossingen voor problemen in de natuur (processen, systemen, strategieën). Zo komen we in het eerste deel van dit dossier tot zes algemene principes voor design, zoals de natuur dit aanpakt. We bestuderen deze zes principes en wat ze betekenen, en we illustreren ze telkens met een aantal voorbeelden uit de natuur. Zo hopen we dat deze principes een eerste aanzet kunnen zijn voor al wie zich wil laten inspireren door de natuur om zelf met het concept biomimicry aan de slag te gaan, voor eigen vindingen en ontwerpen.
- **MENTOR:** door de natuur zo te bestuderen, wordt zij niet enkel een bron voor allerlei materialen, maar eerder een voorbeeld waaruit we kunnen leren. We spiegelen onze eigen ontwerpen aan de natuurlijke en zoeken uit hoe we ons eigen werk daardoor kunnen verbeteren. We maken een rondreis langs verschillende nieuwe vindingen en ontwerpen die nog op de tekentafel liggen of die al volop verkrijgbaar zijn en toegepast worden in de industrie. We bestuderen uitgebreid hoe de biologie ook de informatica heeft geïnspireerd.



*We are expression of earth, and of life –
not separate individuals only.*

*We cannot get enough away from the earth
to see the earth and ourselves as separates.*

*We move with its great movements and
our growth is part of its great growth.*

(Khalil Gibran, Mary Haskell's Journal, 5 mei 1922).



<http://www.youtube.com/v/JnBkbaFsZOY&fs=1&source=uds&autoplay=1>

- MAAT: onze oplossingen moeten ook in deze natuur passen en dus voldoen aan een ecologische, duurzame standaard. Over dit laatste kon je al heel wat lezen in MeNS 70 (Groene Chemie, te downloaden op www.biomens.eu). We maken dan ook graag plaats voor andere thema's in dit nummer.

Biomimicry is op deze manier uitgegroeid van een set ideeën en interessante voorbeelden tot een levenshouding, een filosofie: als de natuur iets al miljarden jaren lang heeft uitgetest, dan zal ze wel de meest ideale manieren hebben gevonden om eender welk proces aan te sturen, te vergemakkelijken of te optimaliseren. Deze levenshouding (leren van de natuur – de natuur nabootsen – de natuur op die manier duurzaam beschermen) willen we graag overdragen op de lezers van MeNS ... als introductie, en bij velen wellicht als herkenbare manier van denken en leven.

Mimicry

Voor de klassiek geschoolde bioloog en natuurliefhebber houdt mimicry in dat planten en dieren andere organismen nabootsen. Het is een vorm van camouflage, waarmee bepaalde organismen als een ander organisme willen herkend worden (en dat is meer dan zich wegstoppen). Ze doen dit om gevaarlijker te lijken dan ze in werkelijkheid zijn of om niet op te vallen als smakelijke prooi. Een typisch voorbeeld zijn de spiegelorchissen. Zij trekken insecten aan door op een wijfje van hun soort te gelijken. Andere voorbeelden zijn de zweefvliegen die wespen imiteren, de grote oogvlekken op de vleugels van vlinders en de niet-giftige melkslang die zich met dezelfde felle kleuren tooit als de uiterst gevaarlijke koraalslang.

Maar hoe interessant dit thema ook is, daar gaat dit dossier niet over. In deze tekst behandelen we de manieren waarop de mens de natuur nabootst wanneer hij ontwerpt, schetst, uitvindt en ontwikkelt. En dat doen we niet omdat we een lekkere prooi zouden zijn, of om nog gevaarlijker te lijken dan we al zijn...



Koraalslang (Micrurus tener) John, Wikipedia



Melkslang (Lampropeltis triangulum annulata) CDC, Wikipedia

Design van het leven



Leonardo Da Vinci – Vitruvische mens

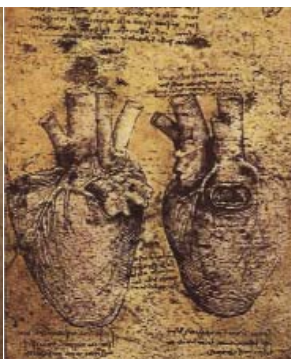
3,85 miljard jaar knutselen

Vanaf het moment dat de eerste organische moleculen op aarde voorkwamen (in de zogenaamde oersoep) tot op de dag van vandaag, is er aan het leven gesleuteld. We hebben het dan niet over een designer in een blauwe overall die een grote waterpomptang hanteert. Dat beeld laten we over aan de eerder religieus geïnspireerde theorie van het intelligent design (zie MeNS 68). Wel was het leven op aarde al die tijd onderhevig aan een steeds terugkerend proces van variëren, proberen, wijzigen en rigoureu selecteren naargelang van de omstandigheden die onze planeet beheersten. Dit proces, dat we kennen als het evolutiemechanisme dat Charles Darwin heeft beschreven, speelt zich al vier miljard jaar lang af, en het duurt ook nu nog onverminderd voort.

Wetenschappers vermoeden dat op die manier alle levensvormen op aarde, vandaag en in het verleden, uiteindelijk verwant zijn aan mekaar, en dat ze

samen tuishoren in een grote stamboom van diversiteit. Die diversiteit wordt duidelijk geregeerd door een aantal algemene basisprincipes. Al die levensvormen delen namelijk een gelijkaardig systeem van informatieoverdracht (DNA en RNA), gebruiken gelijkaardige bronnen voor energie en zijn uit dezelfde soorten organische moleculen opgebouwd (eiwitten, vetten). Tegelijk heeft die diversiteit ertoe geleid dat het leven zich over ongeveer alle mogelijke plaatsen op deze planeet heeft uitgespreid, en dat het tsunami's, vulkaanuitbarstingen, meteorinslagen en ijsstijden overleefd heeft.

Betekent dit dat alle individuele variaties en soorten van het leven tot op de dag van vandaag zijn blijven bestaan? Integendeel: 99,9% van alle levensvormen die ooit op onze planeet hebben bestaan, is uitgestorven (zie MeNS 45 en 77). Deze soorten voldeden op korte of lange termijn niet aan de algemene voorwaarden voor een voortgezet verblijf op de blauwe planeet. En de kwaliteitscontrole van



Leonardo Da Vinci was een van de eersten die de werking van de natuur bestudeerden, en paste zijn inzichten toe in zijn ontwerpen (bv. dit vliegtuig).

de NV Leven Op Aarde is meedogenloos: wie niet voldoet, gaat er onherroepelijk uit.

Anderzijds wil dat zeggen dat vele designprincipes en -voorbeelden uitgebreid getest zijn in de natuur. Hoe vaker een bepaald principe gehanteerd wordt, hoe zekerder we kunnen zijn dat het een degelijk principe is. Onderzoekers van het Biomimicry Institute en het Biomimicry Guild vatten deze principes samen als volgt ...

Principe 1: Overleven doe je door evolueren

Wat hip is vandaag, is volgende week 'out'. Oplossingen van vandaag zijn niet meer die van morgen. Organismen moeten zichzelf continu vernieuwen en aanpassen om te blijven voldoen aan de eisen die hun ecosysteem, hun wereld hen oplegt. Bodembacteriën ontwikkelen steeds nieuwere vormen van antibiotica naarmate de andere organismen mechanismen ontwikkelen (ook door evolutie) om de bestaande types onschadelijk te maken of te verdragen. Bloemen ontwikkelen gespecialiseerde structuren, vormen, geuren en kleuren om bestuivers aan te trekken. De mens vernieuwt zijn eigen uitvindingen: een wagen ziet er vandaag de dag anders uit dan in 1920.

Nieuwe en doelgerichte strategieën worden het best zo snel mogelijk doorgegeven en ook elders toege-

past. Dieren leren bijvoorbeeld bepaalde gedragspatronen van elkaar: jonge vogels leren de melodieën van hun eigen soort van hun ouders en katten leren hun jongen jagen op muizen. Bovendien treden er af en toe veranderingen op (door mutatie) die verrassend voordelig blijken te zijn.

Ook mensen doen toevallige ontdekkingen. Uitvindingen die net niet voldeden aan de oorspronkelijke doelstellingen vinden soms een heel andere toepassing. Het topvoorbeeld is de lijm die gebruikt wordt bij Post-it papiertjes. Deze stof werd ontwikkeld tijdens een zoektocht naar een supersterke lijmsoort. Duidelijk een misleuk dus, als je het originele doel voor ogen houdt. Toch bleek de stof, eenmaal aangebracht op het klassiek geworden gele briefje, een bestseller.

Principe 2: Wees efficiënt

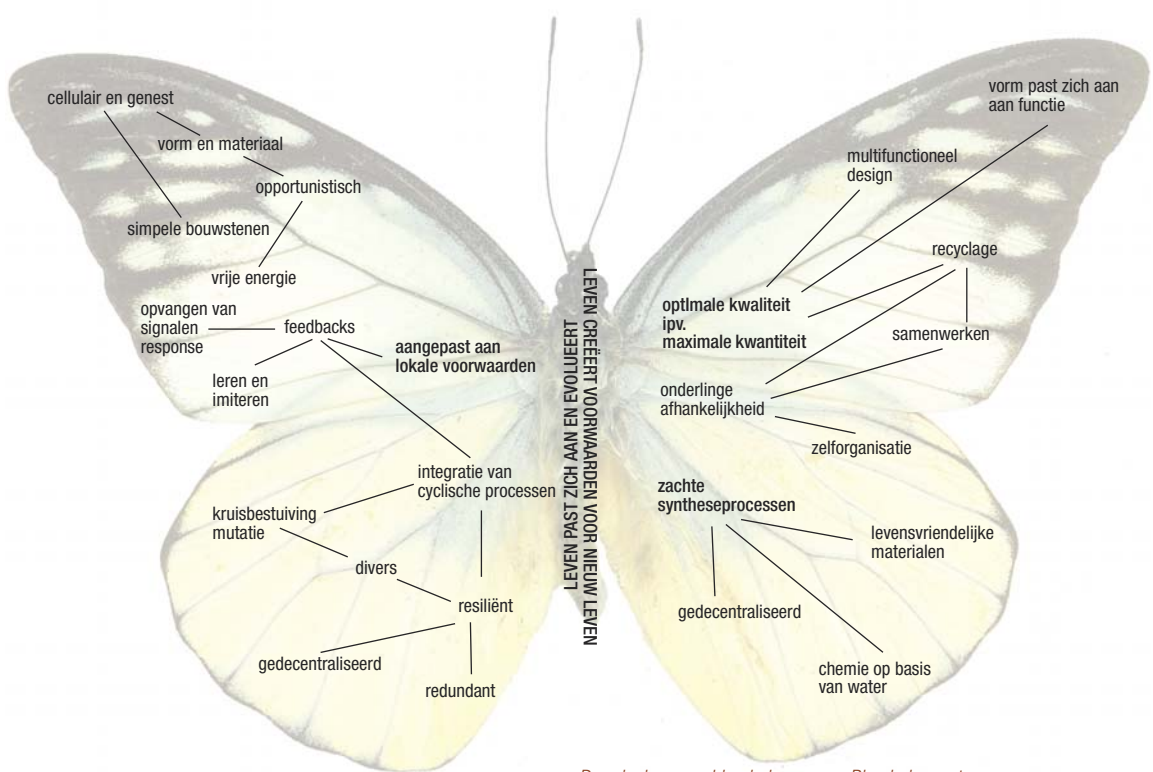


In de natuur is er van niets genoeg om iedereen volop te kunnen bedienen: energie, nutriënten, mineralen enz. zijn niet onuitputtelijk. Wie er het zuinigst mee omspringt, heeft een streepje voor op de rest. Als een holle stengel stevig genoeg is, zoals bij bamboehalmen, dan maakt de plant geen extra cellen meer aan om het midden ook nog op te vullen. Ook de beenderen van vogels zijn hol: ze combineren het voordeel van een stevige structuur met dat van een laag gewicht.



Post-it: nu ook als kunstuiting.

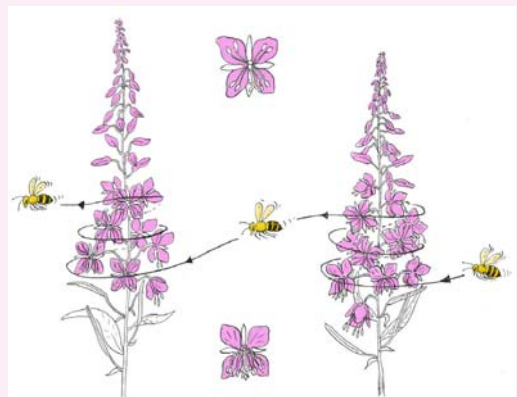




De principes van biomimicry - naar Biomimicry.net

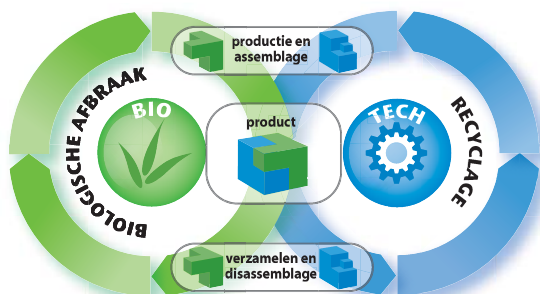
Ideaal zijn onderdelen die meerdere functies tegelijk hebben. Ook dat kennen we uit ons eigen leven: de combi-microgolfoven, de keukenrobot, de tablet-computer en de modernste mobiele telefoons zijn allemaal voorbeelden van toestellen die je in verschillende omstandigheden en voor verschillende doeleinden kunt gebruiken. Ook het passieffhuis (zie MeNS 64), dat door zijn structuur en oriëntatie in de zomer afkoelt maar in de winter opwarmt, is hiervan een voorbeeld.

Efficiënt omgaan met energie, voedsel en materialen wil ook zeggen dat we moeten recyclen. In de natuur bestaat er niet zoiets als afval: wat voor het ene organisme afval is, gebruikt een ander organisme voor zijn eigen groei en ontwikkeling. Zo is het grootste deel van de zuurstof die planten produceren voor hen een bijproduct, maar dieren, schimmels en de meeste bacteriën gebruiken dit gas als basis voor hun energievoorziening. Dode dieren worden afgebroken tot hun moleculaire en minerale bestanddelen. Grote polymere moleculen zoals eiwitten en DNA worden afgebroken tot hun samenstellende delen (monomeren), respectievelijk aminozuren en nucleotiden. Al die afbraakproducten samen dienen als bouwstof



Co-evolutie bij wilgenroosje

Bloembezoek van een honingbij bij Wilgenroosje. De plant bloeit van onder naar boven. De bij bezoekt eerst de onderste bloemen van de aar. Die zijn het langst open en bevinden zich in de vrouwelijke fase. De rijpe stempels ontvangen het stuifmeel van een ander exemplaar. De bij eindigt bij de bovenste bloemen, die nog maar kort in bloei staan en zich in de mannelijke fase bevinden. De meeldraden zetten het stuifmeel af op de bij. Die vliegt er weer mee naar de onderste, vrouwelijke bloemen van een ander exemplaar.



Het concept 'cradle to cradle' van William McDonough en Michael Braungart is wellicht het meest uitgewerkte concept van biomimicry op grote schaal. Afval bestaat niet meer: alles is opnieuw een basisgrondstof voor een ander industrieel proces. Bovendien blijven de biologische materialen netjes gescheiden van de technologische: twee cycli lopen parallel.

voor nieuwe organismen. De een zijn dood is de ander zijn brood. In de mensenwereld is dit overigens een innovatief concept: cradle to cradle (zie MeNS 70).

Levende wezens hebben ten slotte ook efficiënte vormen. In de natuur gaan de vorm van een orgaan of een organisme, en de functie ervan hand in hand. Vissen zijn ideaal gevormd en gebouwd om snel hydrodynamisch te bewegen in hun eigen omgeving (zie verder). Bloemen passen hun vorm, geur en kleur aan naargelang van de bestuivers die ze willen aantrekken (zie figuur).

Principe 3: Pas je aan wanneer je randvoorwaarden veranderen

De natuur is constant in verandering, en wie wil overleven, moet mee veranderen. Dat staat hierboven al uitgelegd. Maar wie zich wil aanpassen, moet dat ook kunnen. De mate waarin een organisme of een soort in moeilijke tijden kan overleven en heropleven noemen we resiliëntie.

Om te overleven maken levende wezens gebruik van hun plasticiteit. Daarmee bedoelen we hun vermogen tot aanpassen. Hiervoor rekenen ze op hun soortge-



Banaan, bloeiwijze en vrucht

noten, die van bepaalde eigenschappen varianten bezitten. Ze gaan bestaande onderdelen anders gebruiken, mutante versies van een bepaald gen vergroten de overlevingskansen, sommige zeldzame genotypes worden belangrijker voor de soort. Hoe groter de aanwezige variatie binnen een soort en hoe meer de verschillende varianten aan elkaar gekoppeld zijn of met elkaar in contact komen, hoe beter. Bij wijze van tegenvoorbeeld: commerciële bananenplanten zijn klonen van elkaar: ze dragen identiek dezelfde genetische informatie. Dat heeft een groot nadeel: wanneer een schimmel of een virus de plantage belaagt, kan de ene bananenplant zich niet beter verdedigen dan de andere. Dat komt door het gebrek aan variatie. Door het gebrek aan verschil tussen de planten zijn ze allemaal even zwak. En dus gaan ze allemaal ten onder.

Naast variatie bestaat er voor verschillende eigenschappen ook redundantie. Dat betekent dat meerdere vormen, exemplaren ... van hetzelfde onderdeel voorkomen. Zo bestaan er voor de belangrijkste eiwitten in ons metabolisme (de eiwitten die we nodig hebben voor onze energiehuishouding bijvoorbeeld) verschillende coderende genen. Als een deel van onze hersenen beschadigd wordt, kunnen andere



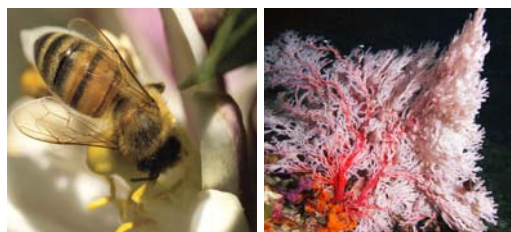


hersengebieden na enige training de verloren functies overnemen. Je zou zelfs kunnen zeggen dat de productie van honderdduizenden nakomelingen door elk willekeurig vissenpaar ook een vorm van redundantie is, maar dan op een ecologische schaal: doordat er zoveel zijn, blijft er een reële kans bestaan dat enkele van de nakomelingen lang genoeg in leven blijven om zelf weer te paaien.

Principe 4: Ontwikkeling gaat hand in hand met groei

Kijk naar jezelf of naar een opgroeiend kind in je omgeving: niet alleen groeien mensen tijdens hun jeugd, tijdens dat proces veranderen ze ook qua vorm en verhoudingen. Bij andere organismen is dit nog duidelijker. Denk maar aan de metamorfose van vele insecten, een kiemend zaadje, of aan het dikkopje dat kikker wordt. Nog spectaculairder zijn de veranderingen die van een bevruchte eicel een mensenvrouw maken.

De natuur werkt vaak met verschillende modules binnen één organisme, die elk een ander gedrag of uiterlijk kunnen vertonen. Voorbeelden daarvan zijn de segmenten van een regenworm (die voor het grootste deel op elkaar gelijken), of de internodiën



Dieren in hun samenleving: de som is meer dan de delen samen.



Modules in de plantenontwikkeling

Wil je met eigen ogen zien hoe de verschillende bloemdelen eigenlijk allemaal varianten zijn van dezelfde module? Een paar mutante plantenvarianten volstaan om dat te zien. Om te beginnen leren ze ons dat er slechts enkele genen nodig zijn om aan een bloemdeel de juiste vorm en identiteit toe te kennen. Voor het gemak duiden we die genen aan met de letters a, b en c.

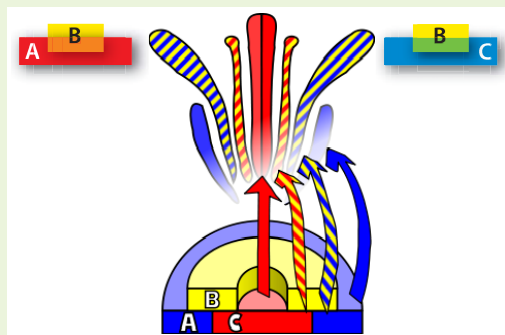
Een bloem bestaat uit verschillende concentrische cirkels. Daarop zijn de verschillende bloemdelen ingeplant. Die cirkels stemmen overeen met de plaatsen waar de genen a, b of c actief zijn, of zoals dat heet, tot expressie komen. Op de buitenste kring, de kelkbladeren, komt enkel gen a tot expressie. Daarbinnen liggen de kroonbladeren, die hun identiteit krijgen van genen a en b. Expressie van genen b en c leidt tot meeldraden. Is enkel gen c actief, in het midden, dan groeit daar een stamper.

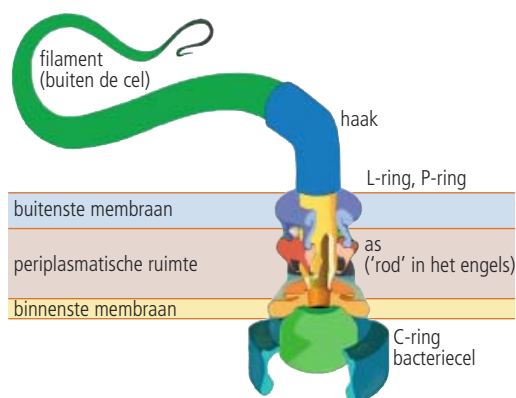
Een plant die mutant is in gen b heeft dus enkel cirkels waar gen a actief is, en cirkels waar gen c actief is. Deze plant heeft extra kelkbladeren op de plaats waar je kroonbladeren verwacht. Leid zelf maar af hoe een plant met een mutant gen a of c eruit ziet ...



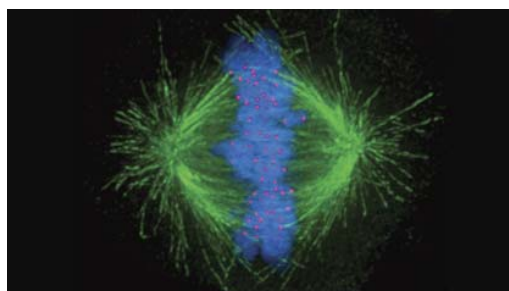
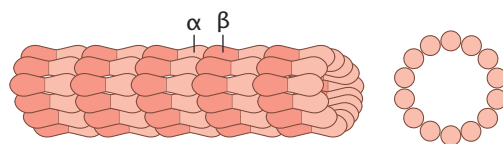
agamous-mutant in gen C

apetala2-mutant in gen A





Structuur van de flagel van een bacterie



Microtubuli: boven: structuren met de 2 soorten eiwitten (α en β); onder: MT in actie bij de celdeling

van een geledede plant, zoals de bamboe (zie MeNS 83). Ook andere planten bestaan uit verschillende modules: de opeenvolgende bladeren op een stengel, samen met het tussenliggende deel van die stengel. Wanneer een stengel uiteindelijk een bloem ontwikkelt, blijven die 'blad-stengel' modules bestaan. De stengel wordt wel extreem verkort en het blad verandert in een kelkblad, een kroonblad, of zelfs een meeldraad of een stamper.

Door te werken met zichzelf herhalende elementen, spaart de natuur energie en tijd uit. Bovendien zijn deze elementen vaak in staat om samen met gelijkaardige elementen een grotere structuur te vormen, die meer is dan de som van de individuele onderdelen. Dit noemt men zelforganisatie, of, als het gaat over een structuur die wordt opgebouwd, zelfassemblage.

Enkele voorbeelden:

- Heel wat moleculen in levende wezens zijn polymeren. De monomeren (enkelvoudige delen) bestaan daarbij uit een bepaald basisdeel en een variabel gedeelte. Op die manier behoudt de cel eenheid in variatie: eenheid doordat het opbouwen van die polymeren vanuit de juiste soort monomeren een eenvoudig proces is, variatie doordat de monomeren zelf in hun variabel gedeelte verschillende vormen kunnen aannemen. Denk maar aan de twintig verschillende aminozuren in natuurlijke eiwitten, of aan de vier nucleotiden waaruit ons DNA is opgebouwd.

- De eiwitten die samen de zweepstaart of flagel van een bacterie opbouwen, passen in elkaar en zorgen zo voor een werkend voortstuwingsapparaat voor de bacteriecel.
- De eiwitten α - en β -tubuline passen in elkaar en bouwen zo de microtubuli in onze cellen. Microtubuli zijn lange buisvormige structuren die dienen als een soort van metronetwerk: via deze microtubuli worden kleine blaasjes (vesikels) vervoerd naar andere plaatsen in de cel. Daarnaast dienen ze ook als kabels bij het uittrekken van de chromosomen tijdens de mitose.
- De lipiden in onze cellen zijn zo opgebouwd dat ze uit zichzelf een biologische membraan vormen, met de juiste eigenschappen.
- Ziekten zoals Creutzfeldt-Jacob of Bovine Spongiforme Encephalie (BSE, beter gekend als de gekkekoeienziekte) worden veroorzaakt door prionen. Deze eiwitten zijn om twee redenen schadelijk: ze zetten gelijkaardige, niet-schadelijke eiwitten in onze zenuwbanen en hersenen om tot de schadelijke variant. Daarnaast vlokken ze, via zelfassemblage, samen tot zogenaamde amyloïde plaques. Die tasten de hersenactiviteit aan.
- Het feit dat cellen, organen, organismen ... hun interne systemen in evenwicht houden – men spreekt van homeostase – is ook een vorm van zelforganisatie. Denk maar aan de constante lichaamstemperatuur van warmbloedige dieren. Of aan de hormonen insuline en glucagon die worden



afgescheiden door door de Eilandjes van Langerhans (pancreas) en die de juiste hoeveelheid suiker in ons bloed onderhouden. Ook het bestaan van meer of minder gestructureerde gemeenschappen bij bepaalde soorten is een vorm van zelforganisatie. Bijen en mieren zijn voorbeelden van soorten met een sterk gestructureerde levensgemeenschap (zie MeNS 79), maar ook vissenscholen of olifantenkuddes horen hierbij.

- Als we de beroemde ecooloog James Lovelock mogen geloven, is de hele aarde een aaneengeschakeld ecosysteem dat erop gericht is een planetair evenwicht te bewaren.

Principe 5: Je hoort bij je omgeving

Levende wezens passen bij de plaats waar ze wonen (hun habitat), en de rol die ze binnen hun ecosysteem spelen (hun niche). Ze zijn zo gevormd door honderdduizenden jaren van evolutie (en langer), en ze kunnen zich aanpassen aan de grillen van hun omgeving. Hiervoor gebruiken ze wat er in diezelfde omgeving voorhanden is. Ze gebruiken ook de eigen mogelijkheden, die in de genetische blauwdruk van het

organisme aanwezig zijn. Voorbeelden uit de menswereld: het gebruik van zonnecellen (lokaal opgewekte energie) in plaats van fossiele brandstoffen die van ver moeten komen, of bouwen met plaatselijke hout- en steensoorten. Je vraagt je af waarom we daar nog niet meer gebruik van maken ...

Dit vermogen tot aanpassen wordt vergemakkelijkt door het feit dat de natuur vaak en op een voorspelbare, cyclische manier verandert: dag en nacht, de seizoenen, de getijden ... Bloemen verschijnen op de juiste ogenblikken, bomen laten hun bladeren vallen in de herfst en dieren gaan in winterslaap als het koud wordt. Levende wezens zijn hier trouwens al op ingesteld: we ervaren zelf in ons dagelijkse leven voortdurend cycli van honger, slaap, seksuele activiteit, hormonale prikkels ... Dit noemen we endogene ritmen.

Bovendien passen verschillende organismen zich tegelijkertijd aan. Zo kunnen ze optimaal samenwerken met de andere organismen in hun omgeving. De natuur zal immers eerder samenwerking stimuleren dan competitie toestaan.



Dieren passen zich aan wanneer de omgeving verandert: kameleons en hun kleur, de winterpels van pooldieren

NOG MEER INSPIRATIE NODIG ?

Janine Benyus: Twaalf ideeën voor duurzaam design uit de natuur, te zien en te beluisteren op www.youtube.com/watch?v=n77BfxnVlyc brainz.org/15-coolest-cases-biomimicry/ www.biomimicrynl.org www.biomimicry.net



Principe 6: Gebruik levensvriendelijke chemie

Chemie is de basis van het leven — dat kon je al lezen in MeNS 27. Willen we ons dus spiegelen aan de levende chemie, dan gebruiken we het best geen stoffen of methoden die datzelfde leven in gevaar brengen. Wat betekent dat in de praktijk ?

Om te beginnen is water nooit ver weg. Water is het oplosmiddel voor heel wat reacties en processen in biologische chemie. De membranen van cellen en weefsels zijn opgebouwd uit lipiden en lossen dus niet op in het water; ze zorgen wel voor structurele



elementen. Maar ook deze membranen bevatten een hydrofiele buitenlaag en zijn er dus nog steeds op gericht om op te treden als interface met waterige systemen.

De chemie van het leven speelt zich af op lichaams-temperatuur. Meer nog: minieme veranderingen in temperatuur kunnen al dodelijk zijn (heel lang overleeft een mens een koorts van meer dan 42 graden niet). Wat een contrast met de hoge temperaturen die de industrie nodig heeft voor de synthese van zelfs de meest eenvoudige moleculen!

Biochemie vermijdt ook het gebruik van gevaarlijke stoffen. Sommige enzymen gebruiken nog net koper- en zinkionen om hun reacties te volbrengen; lood en cadmium, twee uiterst giftige zware metalen die veelvuldig voorkomen in de menselijke (industriële) chemie (zie figuur) komen onder natuurlijke omstandigheden absoluut niet tussen in het celmetabolisme van bacterie, schimmel, dier of plant.

Maakt een of ander organisme dan toch een gifstof aan, dan is die vaak even snel weer verdwenen als ze geproduceerd is; meestal bestaan er bovendien slechts minieme hoeveelheden van (net zoveel als strikt noodzakelijk). Neem nu het slangengif waarmee een prooidier is gedood. Nog voor de slang de prooi helemaal heeft verteerd, is het gif alweer afgebroken.

De centrale boodschap achter dit alles? Janine Benyus, een van de voortrekkers van de biomimicry-beweging, zegt het zo: 'Na 3,8 miljard jaar evolutie heeft de natuur al heel goed uitgezocht wat werkt, wat geschikt is, en wat duurzaam is in het aardse milieu.' Tijd om er meer gebruik van te maken dus.

Een voorbeeld van de gevolgen van niet zo levensvriendelijke chemie is het Roemeense stadje Copsa Miça. De schoorstenen van staalsmelter Sometra braken er al jarenlang wolken giftige zware metalen uit, die zich daarna verspreiden over de stad. De inwoners krijgen ze binnen als ze de groenten uit hun eigen tuin eten. Zelfs bij occasioneel bezoek aan Copsa Miça krijgen gevoelige mensen last van hun longen. En de levensverwachting in de streek ligt slechts rond de vijftig jaar. Foto Chantal Maas.

MENS komt naar je toe!

MILIEU EDUCATIE NATUUR SAMENLEVING

Christiaan Thoen, hydrobioloog, ondervoorzitter van Bio-MENS en coauteur van het tijdschrift MeNS brengt de nieuwste updates van wetenschappelijke, technologische en milieugebonden fenomenen naar je school of vereniging.

Biodiversiteit in de knoei

Het leven op aarde staat onder zware druk. De mens is hier vaak de grote boosdoener. Overal krijgt de biodiversiteit zware klappen door klimaatopwarming, uitheemse soorten, habitatfragmentatie, vervuiling en overexploitatie. Deze lezing schetst een beeld van al deze bedreigingen die het leven op aarde zwaar hypothekeren.

Eet je gezond!

De Westerse consument stelt hoge eisen. Vlees moet mals, sappig, goedkoop, 100% veilig en steeds beschikbaar zijn. Anderzijds neemt de consument serieuze risico's door het eten van te veel verzadigde vetten. Door een evenwichtig voedingspatroon en een gezonde levenswijze kan hij het risico op hart-en vaatziekten beperken. Deze lezing geeft een wetenschappelijk antwoord op de nieuwste inzichten rond cholesterol en het hele atheroscleroseverhaal en bespreekt hierbij de actuele voedingsadviezen.

Exoten in opmars

Onze aarde is een groot dorp geworden. Overal laten we onze globale voetsporen achter. Landbouwgewassen en vee verhuizen al decennia mee met de mens, maar ook allerlei andere vreemde soorten en ziekteverwekkers. 10% van deze exoten evolueert tot invasieve soort en zorgt ervoor dat inheemse soorten moeten plaatsruimen. Gelukkig worden er in ons land duurzame initiatieven opgezet om de meest agressieve soorten een halt toe te roepen.

Bijenzaken aan ons hoofd

Bijen vormen zowel een ecologische als economische meerwaarde. Ze spelen een cruciale rol in de voedselvoorziening van mens, plant en dier. De bijenpopulatie gaat echter aanzienlijk achteruit. Deze lezing geeft aan waarom dit insect zo belangrijk is in onze voedselketen en wat we kunnen ondernemen om de bijenpopulatie te behouden.

Technologie voorbij de grenzen van het kleine: spelen met atomen en genen

'Small is beautiful and is changing our life'.

Spelen met atomen en genen? Nano- en biotechnologie op volle toeren. Nieuwsgierig? Nodig ons uit en we nemen je mee naar een fascinerende technowereld in 2030 met talrijke innovatieve, duurzame en verrassende toepassingen.

Info en inschrijvingen

Bio-MENS vzw

Herrystraat 8b, 2140 Antwerpen

Tel 03 609 52 30

E-mail contact@biomens.eu

www.biomens.eu

acco

VAN BOEKEN GA JE DENKEN

LOES NEVEN, ERIKA VANHAUWAERT EN KRISTA MORREN

BEWUST ETEN

KIEZEN, KOPEN EN KLAARMAKEN

Alles over gezond eten en bewegen samengevat in één figuur? Het kan! De alom bekende actieve voedingsdriehoek is hét Vlaams model om evenwichtig te eten en voldoende te bewegen.

In dit boek kom je te weten wat gezond eten volgens de actieve voedingsdriehoek precies inhoudt. Alvast een goed begin ... Maar om een goede keuze te maken uit het grote gamma aan voedingsmiddelen in de winkel is er meer nodig! Daarom zoomen we ook in op het voedingsetiket. Hierop is een schat aan informatie te vinden, die helaas vaak niet gelezen of begrepen wordt. Termen als E-nummers, zoetstoffen en omega-3 vetzuren klinken voor velen als Chinees in de oren. Wat betekent het allemaal, en hoe onderscheid je de sluwe verkooptrucs van de wettelijk verplichte informatie? Deze gids helpt je om in de jungle van merken en producten een gezonde en bewuste keuze te maken.

Tot slot komt ook het samenstellen van evenwichtige maaltijden aan bod.

Dit boek is een perfecte leidraad voor wie meer wil weten over gezonde voeding in het dagelijks leven.

ISBN 978 90 334 8636 4 // 2012 // 144 blz. // 19,50 EUR



Bestel dit boek nu en ontvang gratis een bloemlezing uit het boek *De oceaan anders bekeken* van Jan Stel.

Mail uw bestelling, naam en adres naar celine.steenhuyzen@acco.be, met vermelding van de referentie "tijdschrift Mens" of kom naar één van onze boekhandels:

Acco Leuven
Maria-Theresiastraat 2-4
3000 Leuven
016/26 11 00

Acco Antwerpen
Prinsstraat 21
2000 Antwerpen
03/226 64 02

Acco Gent
Sint-Pietersnieuwstraat 105
9000 Gent
09/235 73 00

acco

VAN BOEKEN GA JE DENKEN

NU SAMEN TE KOOP VOOR SLECHTS **19,95 EUR**

EOS

START TO KNOW

**EVOLUTIE - KOSMOS -
GENETICA**



EVOLUTIE

Hoe ontstaan nieuwe soorten? Hoe is het leven op aarde geëvolueerd? Welke weg hebben we zelf afgelegd en hoe merken we dat vandaag nog? Evolutie is een van de meest intrigerende fenomenen op onze planeet en het resultaat ervan zien we overal om ons heen. Aan de hand van talrijke voorbeelden wordt in dit boek duidelijk gemaakt hoe evolutie werkt en nog steeds doorgaat. Zo is er aandacht voor de stamboom van het leven, misverstanden rond evolutie en de clash tussen Darwin en God. Bovendien is het verhaal doorspekt met leuke weetjes.

Start to Know - Evolutie is de ideale gids voor iedereen die snel zijn kennis over de fascinerende theorie van Charles Darwin wil bijspijkeren.

ISBN 978 90 334 8102 4 // 2010
88 blz. // 8,95 EUR

KOSMOS

Is het heelal eindig of oneindig? Welke toekomst gaat het tegemoet? Wat gebeurde er vlak na de oerknal en hoe kunnen wetenschappers daar vandaag met behulp van reusachtige deeltjesversnellers meer over te weten komen?

De kosmos heeft al veel geheimen over zijn ontstaan en evolutie prijsgegeven. Tegelijk blijven fenomenen zoals donkere energie, donkere materie en extra dimensies tot de verbeelding spreken, en wachten nog veel boeiende vragen op antwoord.

Start to Know - Kosmos is de ideale gids voor al wie snel zijn kennis over het heelal wil bijspijkeren.

ISBN 978 90 334 8103 1 // 2010
72 blz. // 8,95 EUR

GENETICA

Wat maakt ons uniek? Hoe beïnvloeden onze genen wie we zijn en welke ziektes we kunnen krijgen? Welke mogelijkheden bieden genetisch gewijzigde gewassen en wat hebben voor- en tegenstanders daarover te zeggen?

Ons DNA – en dat van andere levende wezens – bevat een schat aan informatie die op verschillende manieren kan worden benut. Van het opsporen en beter behandelen van ziektes tot het identificeren van misdadigers en veredelen van dieren en planten.

Start to Know - Genetica is de ideale gids voor al wie snel zijn kennis over de wereld van DNA en genen wil bijspijkeren.

ISBN 978 90 334 8104 8 // 2010
80 blz. // 8,95 EUR

Bestel deze boeken nu en ontvang gratis een bloemlezing uit het boek *De oceaan anders bekeken* van Jan Stel.

Mail uw bestelling, naam en adres naar celine.steenhuyzen@acco.be, met vermelding van de referentie "tijdschrift Mens" of kom naar één van onze boekhandels:

Acco Leuven
Maria-Theresiastraat 2-4
3000 Leuven
016/26 11 00

Acco Antwerpen
Prinsstraat 21
2000 Antwerpen
03/226 64 02

Acco Gent
Sint-Pietersnieuwstraat 105
9000 Gent
09/235 73 00

2013

DE JONGE BAEKELAND



Prijzenpot van
2500 euro
geschonken door de
Nationale Loterij

Boerderij van de toekomst



Ben jij klaar om ons uit te dagen met jouw klare kijk op een duurzame toekomst?
Verbluf ons dan met een innovatief idee! We maken je alvast warm met enkele teasers:

- *Zijn alle boerderijen binnenkort zelfvoorzienend?*
- *Welke landbouwtechnieken kunnen we verbeteren en welke schaffen we beter af?*
- *Eindigen koeien binnenkort in musea als curiosum omdat we alleen nog algen, bacteriën of insecten eten?*
- *Of kweken we onze dieren en gewassen in flatgebouwen om aan de productie te voldoen?*
- *Eten we binnenkort de bioplastic verpakking rond ons voedsel gewoon mee op?*
- *Mogen we goochelen met genen? Is biotechnologie de oplossing of luidt ze het einde van de wereld in?*

Werk een krachtige argumentatie uit die steunt op milieu, energie, voeding, biologie, technologie, chemie,... Pak je het liever praktisch aan? Maak een prototype van een energiezuinige tractor, een superefficiënte ploeg of een groene stal, ontwikkel een nieuwe aardbeienvariëteit of een diervriendelijke techniek om kippen te kweken. Laat je creativiteit er op los! Word jij laureaat, dan debatteer je mee met de professionals!

Voor de jubileumeditie van De Jonge Baekeland zoekt Bio-MENS durvers uit de derde graad secundair onderwijs. Iedereen uit het KSO, ASO, TSO en BSO is welkom. Toekomstige kunstenaars, geleerden, ingenieurs, en technische wonderen, laat jullie creatieve geest dus los en verbaas ons! Let wel op dat het wetenschappelijk verantwoord blijft. Je neemt als klasgroep deel aan de wedstrijd. Inschrijven kan t.e.m. 17 februari 2013. Deelname is gratis.





Dwars door de biomimetische spiegel

Tijdens de evolutie heeft de natuur vaak heel zinvolle oplossingen bedacht voor uitdagingen waar de menselijke technologie van vandaag ook voor staat. We kunnen veel leren door goed rond te kijken naar de manier waarop levende wezens zich aanpassen aan de eisen van hun omgeving, en hoe ze allerlei ingenieuze manieren ten toon spreiden om te overleven. De natuur wordt een voorbeeld, een leermeester - we spiegelen ons aan haar verwezenlijkingen en proberen die na te bootsen in onze eigen designs.

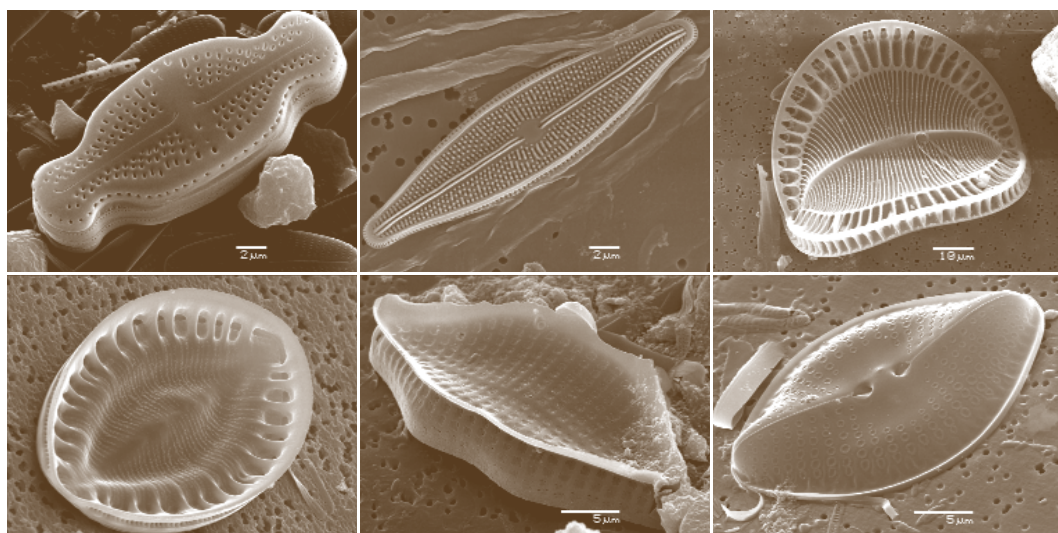
Titaandioxide-kristallen groeien met de hulp van diatomeeën

Een van de materialen die de jongste jaren in de kijker loopt, is titaandioxide (TiO_2). Niet alleen is dit een belangrijke component van allerlei verven, wetenschappers hebben ontdekt dat de stof kan werken als katalysator: het oppervlak kan bijvoorbeeld helpen bij de afbraak van verschillende vormen van luchtvervuiling. Verschillende stoffen in de uitlaatgassen van wagens worden met behulp van titaandioxide afgebroken tot CO_2 . Op die manier draagt de stof bij tot een gezonder leefmilieu. Alleen is dat in de praktijk (zoals gewoonlijk) niet zo eenvoudig.

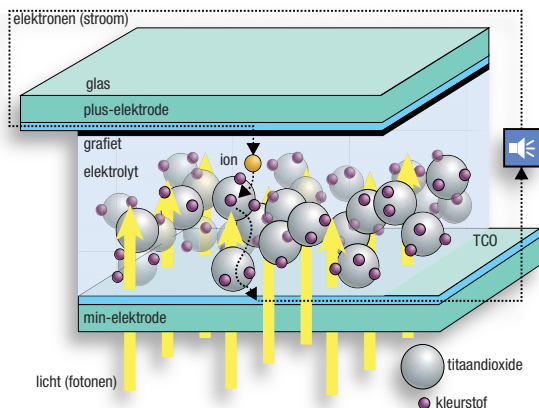


Alice through the looking glass

Er bestaan drie soorten TiO_2 . Ze onderscheiden zich in de manier waarop de atomen rondom elkaar gerangschikt zitten in een kristalrooster: er is rutiel, anatasa en brookiet. Het is vooral in de anatasa-vorm dat het titaandioxide zijn katalytische eigenschappen heeft. Hiervoor moet de stof wel worden geactiveerd door een dosis UV-licht. Een bestraling met UV-licht maakt van het materiaal een sterk oxidans. Zo sterk, dat het watermoleculen kan afbreken tot hydroxylradicalen ($\text{OH}\cdot$). Deze radicalen zijn zelf ook bijzonder actieve deeltjes, die snel en efficiënt andere stoffen



Diatomeeën, met schaaltsjes .. SiO_2 . Binnenkort een hulp om luchtverontreiniging te bestrijden? Foto's Bart Van de Vijver



TiO₂ wordt ook gebruikt in kleurstofzonnecellen (ook wel Graetzel-cellen genoemd). In deze cellen zetten kleurstoffen licht om in een elektrische stroom. Net als in de natuur, trouwens: ook het bladgroen of chlorofyl dient immers om de energie van het zonlicht om te vormen tot energie voor de plantencellen. Alweer een voorbeeld van biomimicry. Dat je daarom niet enkel chlorofyl moet gebruiken, toont een leuk Youtube-filmpje, dat hopelijk enkele knutselaars uit het MeNS-publiek op ideeën brengt...

<http://www.youtube.com/watch?v=WHTbw5jy6qU>

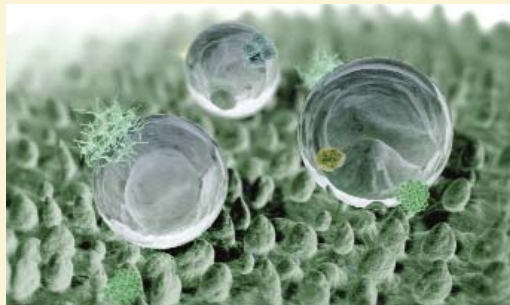
Zou je overigens van mening zijn dat dit enkel wat gepruts in de marge is? Dat dit niet te vergelijken met de economische waarde van de gekende zonnepanelen? Denk dan maar iets anders. De Australische firma Dyesol probeert deze technologie op de markt te brengen, en verdient daar behoorlijk geld mee.

www.dyesol.com



Droog blijven met lotusverf

Hoe meer een verf de onderliggende materialen afdekt en beschermt tegen water, hoe beter. Denk maar aan houten schuttingen, scheepsrumpen en de muren van ondergelopen kelders: allemaal trotseren ze regen, zeewater en opstijgend vocht beter als er een likje verf op zit. In het beste geval blijft het water niet eens aan het oppervlak hangen. Dergelijke oppervlakken bestaan ook in de natuur, zoals bij de bladeren van de lotusbloem. Hun geheim? Een unieke hydrofobe (waterafstotende) microstructuur. De oppervlakte van een blad van de lotusplant is bezet met talrijke microscopisch kleine uitstulpingen. Die zorgen ervoor dat waterdruppels die op dit blad vallen, als aparte druppels blijven liggen en tegelijk ook vuiligheid van het oppervlak opnemen. De waterdruppels rollen gemakkelijk van het blad af en nemen de vervuiling mee.



Druppels op een lotusblad

Op die manier blijft alles onder de oppervlakte perfect droog. Onderzoekers van verschillende bedrijven hebben beschermende deklagen en verven ontwikkeld die dit principe huldigen. Stocorp kwam voor de dag met een sterk waterafstotende verf die meteen ook een oplossing biedt voor schimmels, vuiligheid en zelfs UV-straling. Lotus Leaf Coatings uit de Verenigde Staten ontwikkelde een beschermende laag voor op een mobiele telefoon. Zelfs na 20 minuten onderdompeling in water bleef het toestel werken (kijk zelf op de video). Voor al wie geregeld zijn toestel in het water ziet vallen: er is hoop!

Meer info?

www.stocorp.com

www.lotusleafcoatings.com

www.youtube.com/watch?v=ql9ly2Dq4hE

www.youtube.com/channel/HCjFK-YVtyhBQ



Lotusbloem



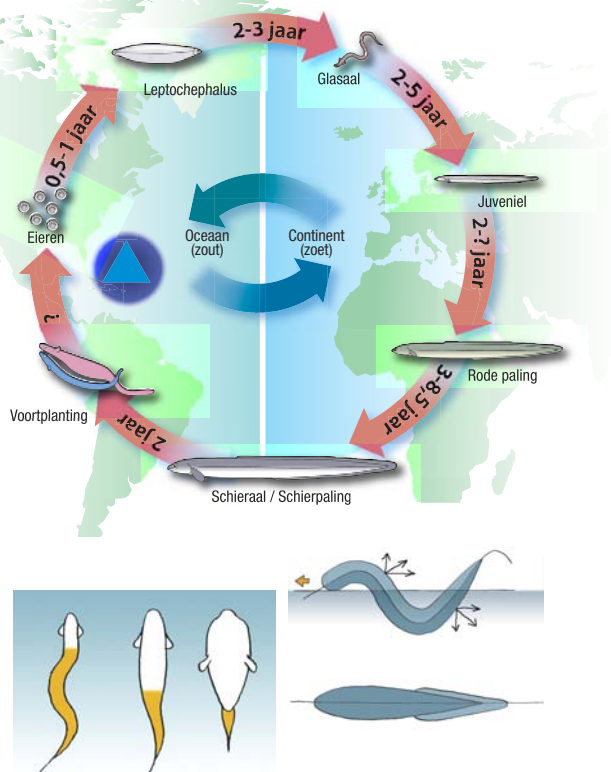
kunnen oxideren. Titaandioxide wordt daarom toegevoegd aan verven, cement, ramen, tegels of andere producten om ze te steriliseren, ontgeuren en om ervoor te zorgen dat er geen micro-organismen op beginnen woekeren.

De grote uitdaging ligt erin het TiO_2 in de juiste kristalvorm te krijgen. Hiervoor gaan wetenschappers te rade bij een groep eencellige wiertjes: de kiezelwieren of diatomeeën. Die hebben een celwand die is opgebouwd uit siliciumdioxide (SiO_2). Wat blijkt nu? Vermits ionen van silicium en titaan allebei vierwaardig positief (Ti^{4+}) zijn, aanziet het wier de titaanionen alsof het siliciumionen zijn. Het neemt het titaan dus even goed op en gebruikt die ionen om er zijn celwand mee op te bouwen. Het wier helpt ons dus om aan de juiste kristallen te komen. Door meer te leren over de siliciumhuishouding van de diatomeeën, willen wetenschappers dit op termijn ook 'in vitro' doen, dus zonder wieren in de buurt.

Diep in de zee

Een van de plaatsen waar wij, mensen, ons absoluut niet thuis voelen is de zee. Natuurlijk, we houden van pootje baden, surfen en lange wandelingen aan het strand bij zonsondergang. Enkelingen maken er zelfs hun beroep van om de zeven wereldzeeën af te varen met tankers, bananenschepen of cruiseschepen. Maar echt IN zee overleven we niet lang. Als we dat willen realiseren, gaan we het best te rade bij de bewoners zelf. En die hebben ons heel wat te vertellen ...

Neem nu de manier waarop vissen zich voortbewegen. De oudste manier is wellicht de anguilliforme: zwemmen als een paling. Hierbij golft het lichaam van het dier van snuit tot staart heen en weer, waarbij de amplitude van de golfslag toeneemt naar achteren toe. De vinnen dienen daarbij als stabilisatievlakken voor het lichaam. De golfbeweging van het lichaam oefent zo een schuine achterwaartse kracht uit op het omgevende water. De zijdelingse componenten van deze krachten heffen elkaar op en de achterwaarts gerichte krachten stuwden de vis vooruit (zie figuur). Dat deze vorm van voortbewegen bijzonder energie-efficiënt is,



Levenscyclus van de Europese paling Anguilla anguilla

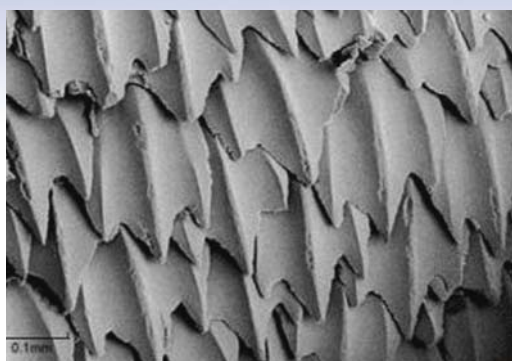
mag blijken uit het feit dat de paling jaarlijks tot 6000 kilometer aflegt om te gaan paaien in de Sargassozee. De larven van de vis keren daarna met de Golfstroom terug naar Europa. Voor deze reis spenderen zij bovendien slechts 120 gram vetweefsel (40% van hun voorraad). Ook andere primitieve vissen zwemmen zo: de prik of lamprei, en verschillende haaiensoorten, zoals de hondshaai.



Lamprei (Petromyzon marinus) (Jeremy Monroe, NAIAD.org)



Foto Oldak Quill, Wikipedia



Haaiehuid

De haaien hebben ons nog meer te leren. De specifieke structuur van de schubben in een haaienhuid (met een groef in de overlangse richting) zorgt ervoor dat het water er efficiënt overheen stroomt. Wanneer water namelijk over een volledig vlak oppervlak stroomt, dan ontstaan er grote verschillen tussen de stroomsnelheid langsheen het oppervlak en de snelheid op een kleine afstand ervan. Zo ontstaan er 'eddies', turbulente patronen die het voorwerp uiteindelijk vertragen. De haaienschubben zorgen ervoor dat die eddies niet ontstaan en daardoor kan de haai sneller vooruitkomen.

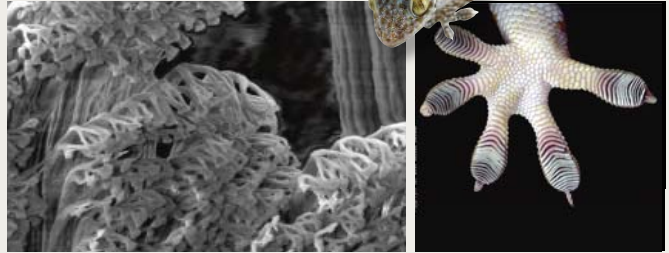
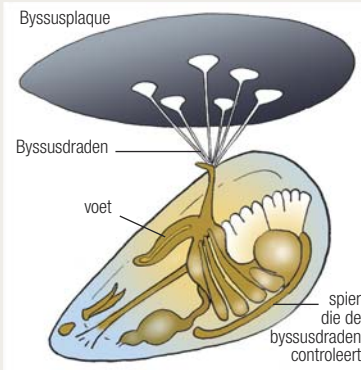


Walvisstaart. Foto Roland Valcke

Ondertussen zijn er verven ontwikkeld die dergelijke structuurtjes in zich dragen, bijvoorbeeld bij de Antwerpse firma Hydrex. Men schat dat de wrijving op scheepsrompen door deze technologie met 5% kan afnemen ... Dat betekent een besparing van 2000 ton fossiele brandstof per jaar en per containerschip! Het gebruik van een dergelijke verf in de luchtvaart zou jaarlijks 4,48 miljoen ton kerosine uitsparen.

Ook de haaienvaart helpt ons vooruit. In tegenstelling tot de 'gewone' vissen (beenvissen) hebben haaien geen zwemblaas (een met lucht gevulde zak die vissen helpt om te blijven drijven). Ze moeten dus zelf zorgen voor voldoende opwaartse kracht (lift) om niet naar de bodem te zinken. Die lift wordt blijkbaar





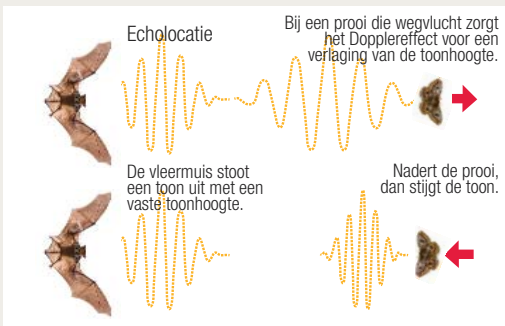
Studie van de eiwitten waarmee de byssusdraden van mosselen zich vasthechten aan rotsoppervlakken leidde tot de ontwikkeling van nieuwe lijmsorten. Ook de structuur van de voetool van de gekko (die ondersteboven aan een glasplaat kan blijven hangen) is een bron van inspiratie voor nieuwe lijmen.



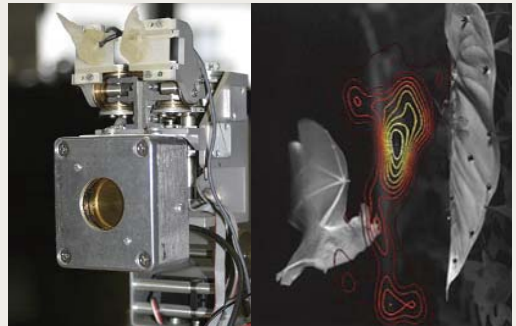
De haakjes van het klittenkruid inspireerden de Zwitser Georges de Mestral om de klittenband of Velcrotape uit te vinden.



Het eiwit resiline komt voor in verschillende insecten. Het is het meest elastische eiwit dat we kennen. Een kunstmatig aangemaakte variant kan bijdragen tot beter schoeisel, betere medische implantaten en zelfs toepassingen in de micro-elektronica.

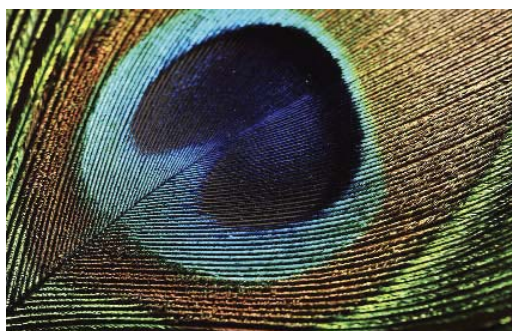


Vleermuizen gebruiken een vorm van sonar om hun weg te vinden door het duister, en om hun prooi te vangen. De dieren zenden korte geluidspulsen uit door hun neus en hun bek, met een sterkte die tot 120 decibel kan oplopen. De frequentie van dit geluid ligt tussen de 25.000 en de 120.000 Hertz, te hoog voor onze menselijke oren. Door zo'n hoge frequentie te gebruiken, kunnen ze kleine objecten gemakkelijk waarnemen. Bovendien kunnen ze de richting van een object inschatten. Indien een prooi (bv. een mot, zoals in de figuur) zich verwijdert van de vleermuis zal het echogeluid laagfrequent zijn dan als de mot zich naar de vleermuis toe beweegt. Dit noemen we het Dopplereffect. Het verschil in frequentie tussen uitgezonden en ontvangen echo geeft de snelheid aan waarmee de mot zich ten opzichte van de vleermuis beweegt.



De robotvleermuis van het team van prof. Peremans (Universiteit Antwerpen) bootst de manier na waarop een vleermuis zijn signalen verstuurt. Hiervoor werd een gedetailleerd model gebouwd dat de anatomie van de vleermuis imiteert. Op die manier hopen de wetenschappers bij te dragen tot de wijze waarop robots hun weg vinden zonder overal tegen te botsen.

opgewekt door de typische staartvin van de haaien en roggen (de kraak beenvissen), die asymmetrisch is opgebouwd, met een groter vinvlak bovenaan dan onderaan. Een alternatief vinden we bij de walvissen. Deze grote zoogdieren moeten hun immense massa (20 tot 25 ton) efficiënt door het water kunnen voortstuwten. Dit doen ze dankzij het reliëf op de rand van hun vinnen. De oneffenheden (tuberkels) die zich daar bevinden, maken het de dieren mogelijk om op hun prooi te jagen. Een gelijkaardig design verbetert de efficiëntie van windturbines met niet minder dan 20%!



Heel wat vogelveren danken hun kleuren aan de manier waarop de structuur van de veer het invallende licht buigt en breekt. Het Japanse bedrijf Teijin Fibers Limited zag hierin een milieuvriendelijk alternatief voor de chemische pigmenten (vaak zelfs op basis van zware metalen), die nu overal gebruikt worden in de textielindustrie.



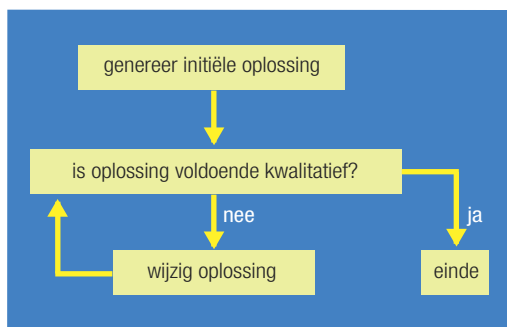
Een beter begrip van het keratine in de snavelvormen van verschillende vinkensoorten helpt om hardere en stevigere materialen te creëren – zoals gebleken is uit het onderzoek van Joris Soons en zijn collega's van de Fysica aan de Universiteit Antwerpen.

Hoe de natuur ons kan leren rekenen

Dat computers een onmiskenbare rol spelen in hedendaags biologisch onderzoek, daar twijfelt niemand nog aan. Maar wist je dat ook biologische processen voor computerwetenschappers een bron van inspiratie kunnen betekenen?

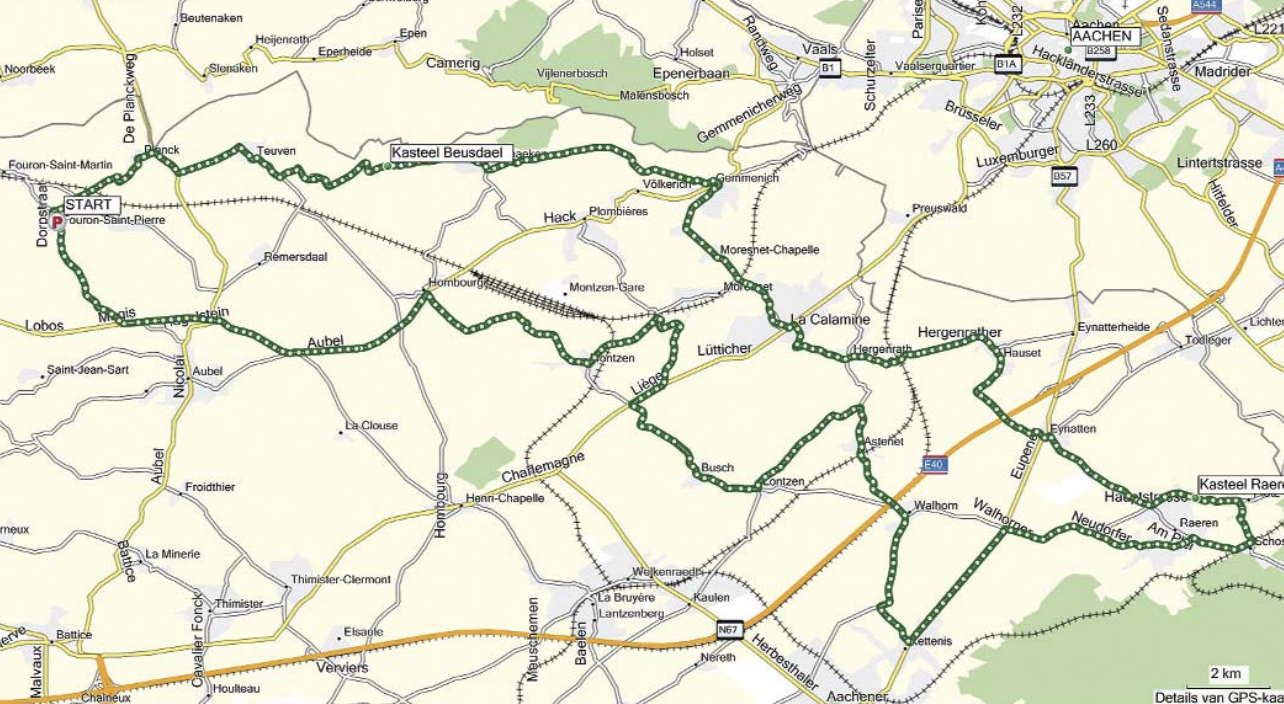
Computers worden voortdurend krachtiger. Toch bestaan er vraagstukken die we zelfs met de krachtigste computers nog niet kunnen oplossen. Een bekend voorbeeld van zo'n vraagstuk is het 'traveling salesman'-probleem, of het vraagstuk van de handelsreiziger. Stel je een handelsreiziger voor (of een toerende rapper, als je wil), die in een land een aantal steden moet bezoeken. Elke stad moet hij precies één keer aandoen, niet meer maar ook niet minder. Daarnaast moet zijn reisroute zo kort mogelijk zijn, rekening houdend met de ligging van de steden en hun onderlinge afstanden. Een eenvoudig probleem, denk je? Dat doet je GPS toch dagelijks? Dat klopt, als het gaat over slechts enkele steden.

Maar zo simpel is het niet: elke stad die je toevoegt, vervleevoudigt het aantal mogelijke reisroutes. In feite stijgt het theoretisch aantal mogelijke reisroutes exponentieel met het aantal steden dat moet worden bezocht. De looptijd van het eenvoudigste rekenalgoritme



Een algoritme bestaat uit een reeks opdrachten die een computerprogramma moet doorlopen. In deze figuur zie je een voorbeeld van een algoritme om met een heuristische aanpak een ideale (optimale) oplossing te vinden voor problemen zoals dat van de handelsreiziger.





GPS fietsroute (GPS biketracks.be)

ritme, dat erin bestaat de afstand van alle mogelijke routes stuk voor stuk te berekenen en onderling te vergelijken, neemt dus exponentieel toe met het aantal steden. Voor amper honderd steden is het aantal theoretisch mogelijke paden al groter dan tien tot de honderd achtenvijftigste macht (10^{158}). Een letterlijk astronomisch getal als je bedenkt dat ons universum naar schatting tien tot de achtenzeventigste (10^{78}) atomen telt en je dus zowat elk atoom van ons universum door een nieuw universum dient te vervangen als je alle mogelijke routes door een enkel atoom wilt voorstellen. Zelfs de grootste supercomputer die we ons kunnen inbeelden, kan onmogelijk al die kandidaat-oplossingen opslaan of testen. En dan is honderd steden niet eens zo absurd veel.

Gelukkig hebben computerwetenschappers intussen slimmere algoritmen bedacht. Sommige van die algoritmen zijn zo slim dat ze thuis horen onder de noemer 'artificiële intelligentie'. Artificiële intelligentie wordt algemeen gedefinieerd als de kunst om intelligente machines te maken. Binnen dat domein is het handelsreizigersprobleem zowat de meest gekende uitdaging. Als zulke algoritmen niet bestonden, zou er van bijvoorbeeld de elektronische route-planner, die we vandaag de dag vanzelfsprekend vinden, geen sprake zijn.

Het handelsreizigersprobleem is een typisch zoekprobleem. Er zijn extreem veel oplossingen mogelijk. We kunnen met andere woorden stellen dat de oplossingsruimte (de verzameling van alle oplossingen) heel groot is. Wat we nodig hebben, is een techniek die in deze oplossingsruimte op een zo efficiënt mogelijke manier naar de beste oplossing zoekt. Je kan zo'n probleem grofweg op twee manieren aanpakken. De eerste manier is 'exhaustief': met brute kracht alle oplossingen uitproberen. In de vorige paragraaf zagen we al waarom die benadering voor onze handelsreiziger geen goed plan is.

Het alternatief is de 'heuristische' aanpak. Daarbij proberen we op een slimme manier onwaarschijnlijke oplossingen vooraf uit te sluiten, zodat we enkel het meest waarschijnlijke segment van de zoekruimte hoeven te exploreren. Heel vaak vertrekken we bij zulke algoritmen van een quasi gok, een (meestal slechte) random oplossing die we incrementeel (dat wil zeggen, stap voor stap) trachten te verbeteren tot ze niet meer beter kan worden. Hoe kunnen we op een slimme manier dit en gelijkaardige complexe problemen oplossen? Een verrassend antwoord op die vraag biedt de biologie.

“The gene is by far the most sophisticated program around.”

Bill Gates, Business Week, 1994

Biologische evolutie lost computer-vraagstukken op

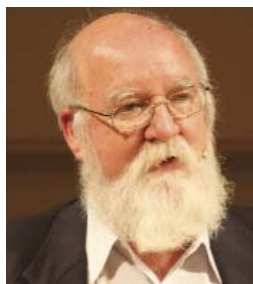
Levende organismen moeten zich voortdurend aanpassen aan een veranderende omgeving. De eigenschappen die hen de kans geven om op hun omgeving te anticiperen zijn gecodeerd in het genoom, in het DNA-materiaal (zie ook MeNS 78, over systeembioïogie). Hoewel dat genoom van generatie op generatie wordt overgedragen, is het onderhevig aan subtiele (en soms minder subtiele) veranderingen. Genetisch materiaal kan mutaties ondergaan, bijvoorbeeld omdat een letter in de DNA-code per ongeluk vervangen wordt door een andere letter. Materiaal van een vader- en moederorganisme wordt op een unieke en onvoorspelbare manier gemengd, wat opnieuw leidt tot een uniek individu. De subtiele variatie tussen organismen die zo ontstaat, vormt samen met natuurlijke selectie de basis van biologische evolutie. Organismen die beter aangepast zijn aan hun omgeving dan andere, hebben namelijk een grotere kans om zich voort te planten. Voordelige eigenschappen zullen zich dan ook sneller verspreiden in de populatie dan eigenschappen die het organisme verzwakken. Op die manier biedt evolutie steeds opnieuw een antwoord op een voortdurend veranderende omgeving.

In zijn boek ‘Darwin’s dangerous idea’ (1991) geeft de schrijver Daniel Dennett aan dat de ideeën van Darwin ook ver buiten de biologie een impact kunnen hebben. Hij beschrijft hoe je evolutie eigenlijk als een ‘algoritmis’ proces kunt bekijken. Een relatief simpel proces dat evenwel tot erg geavanceerde structuren kan leiden. Natuurlijke selectie kun je beschouwen als een hersenloos maar efficiënt algoritme om door de oplossingsruimte te bewegen. Dennett licht met zijn boek het evolutionaire proces uit de klassieke biologische context.

Zo zou je ook kunnen spreken van culturele evolutie. Iemand die een nieuw meubel ontwerpt, kiest een oplossing in een onmetelijk grote ontwerpruimte, maar zal zich wellicht laten inspireren door eerdere ontwerpen en trends. Die zal hij integreren in het ontwerp (cross-over), maar ook vernieuwen (mutatie). Ontwerpen die meer succesvol zijn, zullen waarschijnlijk een sterkere invloed hebben op toekomstige ontwerpen. Evolutie is met andere woorden een universeel en alomtegenwoordig proces dat een krachtig antwoord biedt voor zoekproblemen, tot ver buiten de biologie.

Genetische algoritmen

Een van de mooiste voorbeelden waarbij de principes van evolutie in een heel ander domein kunnen worden toegepast, zijn genetische algoritmen. Dat zijn computertechnieken die de principes van de genetica en evolutie gebruiken om complexe zoekproblemen op te lossen, zoals het probleem van de handelsreiziger.



Daniel Dennett



Het observeren van chimpansees kan ons veel leren over de medicinale mogelijkheden van onbekende plantensoorten. De chimps in het Gombe National Park van Tanzania kauwen vaak op bladeren van Aspilia. Sommige van deze planten bevatten een krachtig antibioticum (thiarubine A). Andere stoffen lijken op stimulerende middelen, net zoals cafeïne voor mensen. En het bittere merg van de bitterbladstruik, Vernonia amygdalina, helpt hen af van parasieten en maagkrampen. Ook zo kunnen we dus leren van de natuur.



	In de genetica...	In de computerwetenschappen
Populatie	Groep individuen van dezelfde soort	De verzameling van de oplossingen
Individu	Organisme	Kandidaat-oplossing voor een bepaald probleem.
Chromosoom	DNA-streng waarop verschillende genen liggen. <i>Bij bacteriën is er slechts één, bij hogere organismen zijn er verschillende chromosomen. Samen vormen ze de blauwdruk voor een heel individu.</i>	Element in een oplossingsruimte voor een bepaald probleem.
Gen	Stukje DNA dat aanleiding geeft tot een welbepaald eiwit; overerfbare eigenschap. <i>Deel van een chromosoom</i>	Een van de kenmerken / eigenschappen van een oplossing.
Allel	Bepaalde vorm van een gen <i>Bv. voor een gen dat "oogkleur" bepaalt, is er een allel voor "bruin" en een voor "blauw".</i>	Specifieke invulling van een van de kenmerken van een kandidaat-oplossing.
Fitness	Mate waarin het individu is aangepast aan de omgeving; ook wel: mate waarin een individu nakomelingen kan voortbrengen die zijn eigen genen verder laten bestaan in de latere generaties. <i>Hoe hoger de fitness, hoe beter de evolutionaire kansen van dit individu en zijn eigenschappen (genen)</i>	Mate waarin de oplossing past voor het specifieke probleem. Hoe hoger de fitness, hoe beter de oplossing.
Selectie	Slecht aangepaste individuen (met lage fitness) verdwijnen: ze sterven sneller dan de andere, en hebben minder kansen om nakomelingen voort te brengen. Hierdoor verdwijnen ook hun genen.	Slechte oplossingen (met een lage fitness) worden uit de oplossingenverzameling verwijderd
Mutatie	Structurele verandering aan het DNA van een bepaald gen	Binnen een kandidaat-oplossing worden de eigenschappen licht gewijzigd.
Cross-over	Tijdens de meiose (productie van de geslachtscellen) kunnen stukken chromosoom afbreken en samengevoegd worden met andere chromosomen.	Stukjes van de gecodeerde informatie worden tussen kandidaat-oplossingen uitgewisseld om een nieuwe generatie te produceren.

Computerwetenschappers gebruiken daarin terminologie uit de genetica waarmee biologen vertrouwd zijn. Een 'individu' of 'chromosoom' zijn beide een kandidaat-oplossing voor het probleem (een bepaalde route, in het handelsreizigersprobleem). Een 'gen' is een eigenschap van die kandidaat-oplossing, en een 'allel' is de invulling van die eigenschap voor een welbepaald individu. Een 'populatie' is de ganse verzameling van kandidaat-oplossingen. De 'fitness' geeft aan hoe goed een kandidaat-oplossing is, volgens vooraf gedefinieerde criteria. En we gebruiken een set 'genetische operatoren', zoals selectie, mutatie en cross-over, om de initiële set kandidaat-oplossingen te laten 'evolueren'.

Vooraleer het genetisch algoritme zelf gestart wordt, bedenkt men hoe een kandidaat-oplossing kan worden voorgesteld. In het geval van het handelsreizigersprobleem zou je bijvoorbeeld kunnen bepalen dat een kandidaat-route (een individu) eruitziet als een lineaire streng van symbolen die elk een stad voorstellen. Vervolgens definieer je hoe je de fitness van elk van die individuen kunt berekenen. In ons voorbeeld kan dat bijvoorbeeld door de afstanden tussen aangrenzende steden bij elkaar op te tellen (in dat geval geldt: hoe langer de totale reisweg, hoe lager de fitness).



Het eigenlijke algoritme is gemodelleerd op de evolutietheorie van Darwin (zie MeNS 68). Het ziet er typisch als volgt uit:

1. Genereer een initiële populatie individuen;
2. Evalueer de fitness van elk individu in de populatie;
3. Selecteer uit de populatie de meest 'fitte' individuen en verwijder de rest;
4. Herhaal de volgende stappen zolang de fitness verbetert, of tot een gewenst fitness-niveau bereikt wordt:
 - 4.1. Reproductie: maak een nieuwe generatie via cross-over tussen individuen;
 - 4.2. Mutaties: veroorzaak veranderingen binnen individuen;
 - 4.3. Evalueer de fitness van elk individu in de populatie en verwijder de rest;
 - 4.4. Selecteer uit de populatie de meest 'fitte' individuen en verwijder de rest;
5. Geef de meest fitte oplossing

Eerst wordt willekeurig een populatie individuen gegenereerd. In het voorbeeld gaat het over een set van honderden of duizenden routes, die elk bestaan uit een streng van symbolen. Als je wil, kun je deze set vooraf filteren op bepaalde eigenschappen (voor de handelsreiziger willen we bijvoorbeeld enkel routes toelaten die elke stad precies eenmaal bezoeken). Vervolgens berekenen we voor elke kandidaat-oplossing de fitness. Uit de populatie selecteren we de individuen die een hogere fitness hebben, terwijl we de minder goede oplossingen afvoeren. Daarna wordt nieuwe variatie in de popu-



latie geïntroduceerd door gebruik te maken van de genetische operatoren.

Cross-over bestaat erin dat we tussen gepaarde individuen onderling stukjes van de gecodeerde informatie uitwisselen om een nieuwe generatie individuen te produceren. Mutatie betekent dat we binnen een individu kleine random variaties introduceren in de gecodeerde informatie. Opnieuw kan het nodig zijn een controlemechanisme te hanteren dat onmogelijke oplossingen (zoals een route voor de handelsreiziger die een stad overslaat) uitsluit. Het proces van fitness berekenen, selectie en introductie van variatie worden vervolgens herhaald. De combinatie van variatie en selectieve druk zorgt ervoor dat het algoritme geleidelijk betere oplossingen genereert. Het proces kan worden voortgezet tot een gewenste fitness is behaald of tot we merken dat de fitness niet meer verbetert.



De vorm van de Japanse hogesnelheidstrein Shinkansen is afgeleid van de aërodynamische snavel van de ijsvogel.



*Een dynamische vorm voor een wagen? Je zou het op het eerste zicht niet zeggen. Toch konden ingenieurs bij Mercedes heel wat leren van de koffervissen (zoals de *Ostracion cubicus*) over energie-efficiënte voortbeweging. Foto J Petersen, Wikipedia*



Sociale insecten zoals mieren kunnen heel efficiënt de kortste weg vinden tussen een voedselbron en het nest. Vervolgens nemen ze dat pad massaal in gebruik, zoals in dit oerwoud in Panama. Het vinden van dit kortste pad is een typisch voorbeeld van zwermintelligentie.

Rekenen met mieren en met DNA

De natuur heeft nog op tal van andere manieren bijgedragen aan het ontwikkelen van nieuwe rekentechnieken. We duiden ze daarom ook wel gezamenlijk aan met de term 'natural computation'.

Een totaal ander voorbeeld is gebaseerd op de insectenwereld, in het bijzonder het gedrag van sociale insecten, zoals mieren. Als je goed kijkt, zie je dat een mierennest eigenlijk best een complex en behoorlijk intelligent systeem is. Zo slagen mieren erin om tussen een nieuw ontdekte voedselbron en hun nest erg snel en efficiënt het kortste pad te vinden, ongeacht de hindernissen die ze op hun weg ontmoeten. Vervolgens gaan ze deze route massaal gebruiken (figuur). In feite lossen ze daarmee het 'kortste pad probleem' op, een complex vraagstuk dat verwant is aan het probleem van de handelsreiziger.

Toch zijn individuele mieren op zich niet intelligent: als individu gedragen ze zich volgens een beperkte set eenvoudige regels. Het fenomeen dat ze er ondanks hun beperkte individuele capaciteiten en zonder aanwezigheid van een centrale coördinatie toch in slagen collectief intelligent gedrag te vertonen, omschrijven we met de term 'Swarm Intelligence' of

zwermintelligentie. Ook dit gedrag is een bron van inspiratie voor een nieuw type rekentechnieken. Het geheim achter de intelligentie van de groep mieren die het kortste pad vinden van voedsel naar nest ligt in de manier waarop ze onderling communiceren. Dat doen ze door gebruik te maken van feromonen. Dat zijn geurstoffen die elke mier deponeert op haar pad. Als mieren een weg zoeken en feromoon tegenkomen van hun nestgenoten, is het waarschijnlijker dat ze dat pad zullen volgen. Op een succesvol pad deponderen ze vervolgens ook zelf feromoon. Op die manier zullen steeds meer zoekende mieren sneller korte paden kiezen. Dit mechanisme werkt zelfversterkend en lost efficiënt het 'kortste padprobleem' op.

We kunnen dit perfect simuleren in een computer, bijvoorbeeld om de kortste afstand tussen een punt A en punt B te berekenen, of om uit te zoeken via welke contacten in een sociaal netwerk als Facebook we twee gebruikers met elkaar kunnen verbinden. Zwermintelligentie kent dan ook tal van toepassingen in computerwetenschappen en robotica.

We kunnen nog een stap verder gaan. We hebben niet altijd een computer nodig om biologisch geïnspireerd te rekenen. In 1994 toonden de Californische professor in computerwetenschappen en moleculaire biologie Leonard Adleman en zijn collega's aan dat je nog een andere variant van het handelsreizigersprobleem (het Hamiltoniaans pad probleem) kunt oplossen door gebruik te maken van DNA-moleculen in een proefbuis. Door gebruik te maken van echt DNA toonden zij bovendien aan dat de tijd om dit probleem op te lossen niet meer exponentieel maar wel lineair toeneemt met het aantal steden. Dat betekent dat een route uitrekenen met meer steden dus opeens geen probleem meer vormt. Je hebt enkel een molecuulair-biologisch labo nodig ...

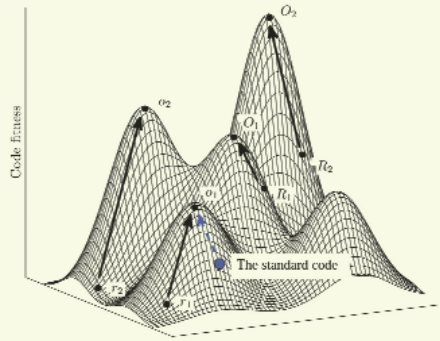
... one general law, leading to the advancement of all organic beings, namely, multiply, vary, let the strongest live and the weakest die."

C. Darwin, The Origin of Species, 1859

Voordelen en nadelen

Genetische algoritmen zijn voorbeelden van de eerder vermelde 'heuristische' benadering, waardoor ze in staat zijn complexe optimalisatieproblemen heel efficiënt op te lossen. Een handige eigenschap van deze technieken is bovendien het feit dat ze goed opgesplitst kunnen worden om door meerdere computers tegelijk uitgerekend te worden. Dat betekent dat ze geschikt zijn om uitgevoerd te worden op moderne supercomputerclusters, waar ze in staat zijn bijzonder complexe optimalisatievraagstukken aan te pakken (en waarvoor ze ook dan soms weken of maanden moeten rekenen). Ze zijn vooral nuttig als het gaat om complexe problemen, bijvoorbeeld waar het aantal variabelen en/of het aantal kandidaat-oplossingen heel groot zijn.

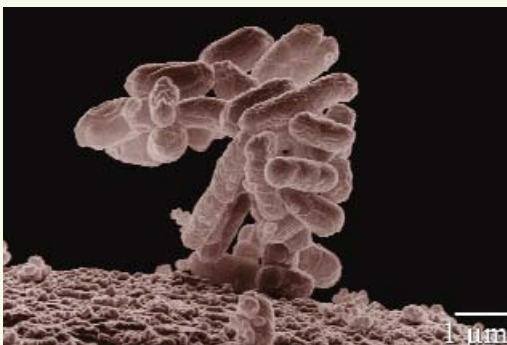
Aan genetische algoritmen zitten, net zoals aan vele andere optimalisatietechnieken, ook enkele niet te negeren nadelen. Het eerste nadeel is het feit dat ze vaak tot goede oplossingen leiden, maar dat je niet zeker kunt zijn of die oplossing ook de allerbeste is. Je kunt het vergelijken met het zoeken van de hoogste top in een bergketen zoals de Alpen. Deze algoritmen zijn erg goed in het vinden van hoge toppen. Je weet echter nooit zeker of er niet ergens een nog hogere top is die ze gemist hebben. In de praktijk blijkt dat probleem vaak niet zo erg. We zijn al blij als we een goede oplossing vinden, zelfs al hebben we geen garantie dat we de best mogelijke oplossing gevonden hebben. Een ander nadeel van deze algoritmen is hun onvoorspelbaarheid. Als je het experiment twee keer uitvoert met telkens een andere



Een belangrijk nadeel van genetische en andere optimalisatietechnieken is dat ze wel goede oplossingen vinden voor het probleem, maar dat we geen garantie hebben dat deze oplossingen ook de beste zijn. Als we de fitness als hoogte weergeven in functie van twee variabelen, herkennen we in het 'fitness landschap' één globaal optimum en meerdere lokale optima, net zoals een bergketen verschillende toppen heeft waarvan er maar één de hoogste kan zijn.

random set kandidaat-oplossingen of met gewijzigde uitvoeringsparameters (bijvoorbeeld de mutatiesnelheid), heb je geen enkele garantie dat je tot dezelfde eindoplossing komt. Dat kan lastig zijn, want het betekent dat uitgevoerde experimenten zonder de juiste maatregelen en correcte statistische analyse niet altijd exact reproduceerbaar zijn.

Er bestaan wel enkele trucjes om deze nadelen deels te verhelpen. Je kunt bijvoorbeeld de hele routine een aantal keren herhalen, met een verschillende random startpopulatie, en vervolgens kijken of de eindresultaten nog van elkaar verschillen. Computerwetenschappers en wiskundigen hebben door de jaren heen tal van varianten ontwikkeld om deze en andere problemen aan te pakken. Vandaag beschikken we over een breed gamma optimalisatietechnieken (waarvan een belangrijke groep op de natuur geïnspireerd is). Op die manier kunnen we voor elk rekenprobleem een oplossing op maat bedenken.



Een andere vorm van zwermintelligentie vinden we bij de darmbacterie Escherichia coli. Deze eenvoudige cellen volgen een reeks eenvoudige regels om zich van chemische stoffen weg te bewegen (bv. gifstoffen), of er juist naartoe (bv. voedingsstoffen). Uit deze regels hebben Chinese onderzoekers algoritmen afgeleid om het verkeer tijdens de spits vlotter te laten verlopen. Foto Eric Erbe, Wikipedia



Genetische en andere door de natuur geïnspireerde algoritmen kunnen efficiënt door supercomputers worden uitgevoerd, zoals deze CalCUA supercomputer aan de Universiteit Antwerpen. Foto Vincent Jauniaux



Genetische en andere natuurlijke algoritmen worden ook ingeschakeld om in computerspelletjes je virtuele tegenstander een intelligent gedrag te laten vertonen. Beelden uit Age of Empires III, Microsoft

Collega's van Adleman hebben intussen varianten van de methode ontwikkeld om andere lastige problemen op te lossen met biomoleculen, zoals DNA, maar ook RNA en eiwitten. Praktische toepassingen heeft het gebruik van biomoleculen voor rekenproblemen op dit moment nog niet, want je kunt nu eenmaal geen molecuulair-biologisch laboratorium in het handschoenkastje van je wagen stoppen om je route te berekenen. Toch durven we nu al fantaseren over een tijd waarin we slimme geneesmiddelen kunnen ontwikkelen die in ons lichaam zelf de nodige beslissingen kunnen nemen, bijvoorbeeld in functie van de evolutie van een ziekte.

Van de genetica naar de computer thuis?

Toepassingsdomeinen voor natuurlijke rekenmethoden zoals genetische algoritmen en hun varianten in computers zijn wel heel divers. Denk maar even aan het analyseren van sociale netwerken voor marketingdoeleinden, het ontwikkelen van slimmere spamfilters, intelligente computerspelletjes, het opstellen van lessenroosters ... In de laboratoria Computerwetenschappen aan de Universiteit Antwerpen gebruiken wetenschappers ze ook om moleculaire biologische vraagstukken zelf te ontrafelen in het vakgebied 'bioinformatica'. Zo laten ze genetische algoritmen op basis van de structuur en de vorm van eiwitten schatten hoe die eiwitten zich aan elkaar zullen binden. Zo kunnen ze nabootsen hoe eiwitten tussenkomen bij onder andere het ontstaan van ziekten, zoals kanker.

Het is erg fascinerend dat technieken die geïnspireerd zijn op de biologie opnieuw hun rol vinden in biologisch onderzoek. Helemaal toevallig is dat niet. Uiteindelijk worden deze technieken al miljoenen jaren gebruikt om biologische systemen te optimaliseren. Het zijn wij, mensen, die ze pas recent herontdekt hebben en ze terug brengen naar de biologie waarvan we ze mochten ontleen. En daarmee is de cirkel rond!

Om af te sluiten...



De wereld en het heelal zijn uitzonderlijk mooie plaatsen. Hoe meer we ervan begrijpen, hoe mooier ze lijken. Het is een ongelooflijk prikkelende ervaring om in deze wereld te zijn geboren, om in dit universum te zijn geboren, en om rond te kijken en je te realiseren dat je, voor je sterft, de kans krijgt om een immense hoeveelheid te leren over die wereld, dat heelal en het leven, en te begrijpen waarom wij hier zijn. We hebben de mogelijkheden om meer, veel meer te begrijpen dan onze voorouders. Dat is zo spannend dat het een schande zou zijn om die kans te missen en je leven te beëindigen zonder te begrijpen wat er allemaal te begrijpen is.

Richard Dawkins



Samen creëren we kansen

De Nationale Loterij geeft
jaarlijks 4 miljoen euro
aan duurzame ontwikkeling.
Dankzij u.

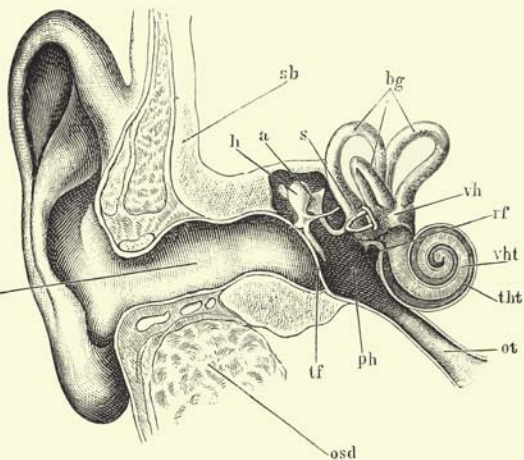


Nationale Loterij

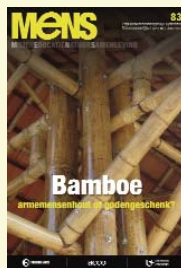
www.nationale-loterij.be

MENS 86

**Dossier op komst:
Gehoor**



- 43 Het klimaat in de knoei
- 44 Voorbij de grenzen van het ZIEN
- 45 Biodiversiteit, de mens als onruststoker
- 46 Biomassa, de groene energie
- 47 Het voedsel van de goden chocolade
- 48 Nanotechnologie
- 49 Zuiver water, een mensenrecht?
- 50 Dierenwelzijn als werkwoord
- 51 De waarheid over varkensvlees
- 52 Het ontstaan van de mens - deel 1
- 53 Het ontstaan van de mens - deel 2
- 54 Biologische oorlogsvoering in en om ons lichaam
- 55 Muizenissen en knaagzangen
- 56 Schoon verpakt, lekker gegeten
- 57 Brein
- 58 Illusies te koop
- 59 Je sigaret of je leven
- 60 Luchtvervuiling
- 61 Griep, een doder op de loer?
- 62 Vaccinatie, reddingslijn of dwaallicht?
- 63 Boordevol energie
- 64 Een graadje warmer. Quo vadis, Aarde?
- 65 Energie in het zonnetje
- 66 ADHD, als chaos overheerst
- 67 Duurzaam... met kunststoffen
- 68 Aspecten van evolutie
- 69 Seksueel overdraagbare aandoeningen
- 70 Groene Chemie
- 71 Invasieve soorten
- 72 Jongeren durven innoveren
- 73 Op weg naar Mars
- 74 Waarheen leidt het spoor?
- 75 Als het bloed niet meer stroomt
- 76 PVC: harmonie van duurzaamheid en design
- 77 Mariene biodiversiteit
- 78 Systeembioogie
- 79 Bijen
- 80 (Over)Bevolking
- 81 Overbevissing
- 82 Eerlijk eten
- 83 Bamboe
- 84 Kanker



DE JONGE BAEKELAND 2013
zie pagina 16