

Kom  
verder



# Biomimicry

Biologie als ontwerp- en innovatietool



Innovatief Materialen Platform Twente



[saxion.nl/impt](http://saxion.nl/impt)

Biology, like technology, is reliant on materials for the structures it makes. These structures also have to be cheap and reliable. Evolutionary fitness (and therefore survival) is, in part, value based – the survival of the cheapest. Success requires the ability to compete for, and survive upon, resources that may be scarce.

*Prof. Dr. Julian Vincent<sup>1</sup>*

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	5
1.1	Waarom staat biomimicry in de belangstelling?	5
1.2	Biomimicry - a game changer	5
1.3	Bio-wat?	6
<b>2</b>	<b>Biomimicry nader bekeken</b>	8
2.1	Biomimicry ontwikkelingsrichtingen	8
2.2	Biomimicry: drie niveaus van leren	13
2.3	Redenen om biomimicry in de praktijk toe te passen	16
<b>3</b>	<b>Biomimicry &amp; de productontwerper</b>	18
3.1	Algemeen	18
3.2	Biomimicry als ontwerptool voor duurzaamheid: Life's Principles	19
3.3	Biomimicry: het ontwerpproces	20
3.4	Ask Nature en de biomimicry taxonomie	27
3.5	Ontwerpprocessen uit de praktijk nader bekeken	29
<b>4</b>	<b>Voorbeelden uit de praktijk</b>	34
4.1	µMist®: verneveling onder lage druk	34
4.2	Flectofin: een scharnierloos zonweringsysteem	34
4.3	Pax scientific: efficiëntie door geometrie uit de natuur	35
4.4	Interfaceflor: de natuur als maatstaf toegepast op tapijttegels	36
4.5	O-foil Wing Propulsion: van zwembeweging naar voortstuwing schepen	36
4.6	Haynest: van vogelnestjes naar verpakkingsmateriaal	37
4.7	Ornilux: Vogelvriendelijk glas in gebouwen	38
4.8	Sharklet technologies: vermindering van weerstand en aangroei parasieten	38
4.9	Whale power: verbeteren van windturbines met behulp van de bultrugwalvissen	39
<b>5</b>	<b>Evaluatie</b>	40
<b>6</b>	<b>Bronnen</b>	42
<b>7</b>	<b>Bronnen afbeeldingen</b>	44
	<b>Bijlagen: vergrotingen afbeeldingen, inlegvellen</b>	

Biomimicry fascineert. En wel op een manier die totaal verschillend en veel sterker is dan andere gebieden van onderzoek en ontwikkeling<sup>2</sup>. Dit komt ondermeer tot uiting in het aantal publicaties en artikelen in wetenschappelijke en semiwetenschappelijke uitgaven, die vrijwel altijd gepaard gaan met prachtige afbeeldingen. Ook neemt het aanbod van documentaires op televisie en radio met biomimicry als onderwerp toe. En last but not least: biomimicry blijkt een sterke aantrekkingskracht op (beginnende) studenten te hebben, daar waar technische opleidingen niet altijd even populair zijn.

Ook in Nederland is er in toenemende mate interesse voor biomimicry oftewel voor innovatie geïnspireerd op de natuur. Op dit moment is er vooral veel interesse vanuit (product)ontwerp gerelateerde bedrijfstakken, onderwijsinstellingen, de architectuur en de bouwwereld. Maar er is ook een groeiende interesse waar te nemen vanuit de management en (bedrijfs-)economische hoek. Dit blijkt onder andere uit de groeiende stroom van artikelen en publicaties al dan niet voorzien van prachtige afbeeldingen van natuurlijke organismen. Deze uitgave geeft een beeld van wat biomimicry nou eigenlijk is en welke rol biomimicry kan vervullen bij productontwikkeling. Met behulp van veel voorbeelden uit de (ontwerp)praktijk laten we zien wat de mogelijkheden en toepassingen van biomimicry voor professionele productontwikkeling zijn.

Het verheugt mij u namens het Innovatief Materialen Platform Twente (IMPT) dit boekje aan te bieden. Het IMPT is een project dat mede mogelijk is gemaakt door de Provincie Overijssel en de Regio Twente. De partners zijn Saxion Kenniscentrum Design en Technologie (penvoerder), Industrial Design Centre, en biomimicryNL en er wordt intensief samengewerkt met het regionale bedrijfsleven. Het Innovatief Materialen Platform Twente (IMPT) verzamelt en distribueert kennis over nieuwe, innovatieve materialen en biedt de mogelijkheid om producten te ontwikkelen met die innovatieve materialen. De insteek is om de eigenschappen van een materiaal enerzijds, te verbinden met een vraag of toepassing uit de markt anderzijds. De ambitie is om 'open minds' bij bedrijven te bereiken door de kennis over de bruikbaarheid van de nieuwe (materiaal)mogelijkheden voor het MKB te vergroten. Dit moet leiden tot ontwerpcases waarin productontwerpers, materiaaldeskundigen en MKB-ers samenwerken aan innovaties

Het boekje 'Biomimicry; biologie als ontwerp- en innovatietool' heeft als doel om ontwerpers te inspireren biomimicry in het ontwerpproces in te zetten als innovatietool.

Dit boekje laat heel goed zien hoe samenwerking kan leiden tot nieuwe inzichten in ontwerpprocessen. Het is geschreven onder verantwoordelijkheid van biomimicryNL onder meer gebruikmakend van de input en ervaringen opgedaan in het kader van het IMPT-project.

*Karin van Beurden, lector Product Design,  
Saxion Kenniscentrum Design en Technologie*

### 1.1 Waarom staat biomimicry in de belangstelling?

Afgelopen decennia is het bedrijfsleven in toenemende mate complexer en chaotischer geworden<sup>3</sup>. Daarnaast komen vanuit de maatschappij steeds meer geluiden die aandringen op zorgvuldiger omgang met onze natuurlijke leefomgeving, bewuster gebruik van onze (grondstof)bronnen en vermindering van onze hoeveelheid afval en waar mogelijk te recyclen of te hergebruiken. Grondstoffen beginnen schaars te worden, een feit dat ook zichtbaar wordt in de sinds 2001 stijgende grondstofprijzen.

We hebben op dit moment meer nodig dan onze planeet ons jaarlijks kan bieden. Uit het Living Planet Report 2012 blijkt dat op dit moment 50% meer grondstoffen per jaar worden verbruikt dan de aarde kan verschaffen. Het natuurlijke kapitaal neemt af en de ecologische footprint neemt toe. De balans tussen wat de natuur geeft en wat de mens neemt raakt meer en meer zoek. Deze situatie is op lange termijn niet houdbaar en vraagt om een (alternatieve) aanpak. Als we namelijk nog lang op deze aarde willen blijven rondlopen, wordt het hoog tijd dat we de balans weer gaan herstellen. Dat betekent slimmer omgaan met de middelen die ons ter beschikking staan, meer repareren, hergebruiken, recyclen en minder afval produceren.

Biomimicry biedt handvatten om zowel de toenemende complexiteit en chaos, als de uitdagingen die het functioneren binnen de grenzen van onze planeet met zich meebrengt (grondstoffen, afval, energie etc.) het hoofd te kunnen bieden.

### 1.2 Biomimicry - a game changer

Wereldwijd is er een groeiend besef dat economische groei en welvaart afhankelijk is van het instandhouden van natuurlijke systemen, grondstoffen en hulpbronnen. Uit het onderzoek 'Global Biomimicry Efforts; an economic game changer', uitgevoerd door het Fermian Business & Economic institute Californië (2010), komt naar voren dat biomimicry goede mogelijkheden biedt om economische en ecologische doelstellingen te verenigen. In dit rapport wordt biomimicry gekwalificeerd als 'major economic game changer'. Over 15 jaar zal in de Verenigde Staten de omzet van met behulp van biomimicry ontwikkelde producten naar schatting \$300 miljard bedragen. Daarnaast is de verwachting dat innovaties gebaseerd op biomimicry een grote invloed gaan hebben op het verminderen van economische kosten op het gebied van vervuiling, afval en de uitputting van natuurlijke grondstoffen.

Geschat wordt dat dit neerkomt op \$50 miljard op het gebied van CO<sub>2</sub>-reductie en de verlichting van druk op schaarse grondstoffen. Uit ditzelfde onderzoek blijkt dat bedrijven die door biomimicry geïnspireerde producten verkopen in de eerste jaren na introductie de omzet jaarlijks verdubbelen, doordat ze duidelijke productvoordelen bieden. Veel van deze producten

bieden consumenten namelijk lager energieverbruik, minder afval, betere performance tegen een gelijke, vaak zelfs lagere prijs dan van de bestaande producten.

Waar wachten we nog op?

### 1.3 Bio-wat?

De term biomimicry is afgeleid van de samentrekking van de Griekse woorden bios 'leven' en mimesis 'imiteren', dus letterlijk 'het leven imiteren'.

De term biomimicry werd voor het eerst gebruikt door Janine Benyus in haar boek 'Biomimicry, innovation inspired by nature' (1997). Daarbij hanteerde zij de volgende definitie:

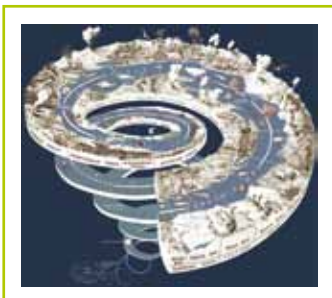
Van het Griekse bios, leven en mimesis, imiteren.

1. De natuur als model. Biomimicry is een nieuwe wetenschap die de voorbeelden uit de natuur bestudeert en imiteert of als inspiratie gebruikt om problemen in het mensdomein (geïndustrialiseerde samenlevingen) op de te lossen, bijvoorbeeld een zonnecel geïnspireerd op een blad.
2. De natuur als maatstaf. Biomimicry past ecologische maatstaven toe om de 'passendheid'/'juistheid' van innovaties te bepalen. Na 3,8 miljard jaar evolutie heeft de natuur geleerd: Wat werkt. Wat geschikt is. Wat blijvend is.
3. De natuur als mentor. Biomimicry is een nieuwe manier van kijken naar en waarderen van de natuur. Het introduceert een tijdperk dat niet gebaseerd is op wat we uit de natuur kunnen halen, maar wat we van de natuur kunnen leren.

Biomimicry draait dus om het nastreven van de genialiteit van de natuur op het gebied van ontwerpen van producten, processen en systemen.

Er is sinds 3,8 miljard jaar leven op aarde aanwezig. Dit heeft zich ontwikkeld van de eerste basale levensvormen tot de vaak zeer geavanceerde levensvormen die we nu in de natuur tegenkomen. Sinds het ontstaan van de eerste levensvormen hebben de organismen en (eco) systemen op aarde uitgevonden wat werkt, wat passend is binnen de context en wat bijdraagt aan overleven.

De natuur is in staat op de meest economische manier haar doelstellingen te behalen in termen van energie en materiaalgebruik. Biologie maakt namelijk gebruik van een beperkt aantal



Zie bijlage voor een grotere weergave van de geologische tijdsipiraal

simpele materialen die op bepaalde manieren gerangschikt worden, waarbij passieve controle en sensorieke methoden worden toegepast. Binnen techniek en engineering wordt veel meer energie verbruikt<sup>4</sup> en de resultaten zijn vaak minder indrukwekkend. Dit is niet verwonderlijk; de evolutie heeft miljoenen jaren ontwikkeling achter de rug, terwijl techniek en engineering (in formele zin) is gebaseerd op natuurkundige principes en wiskundige modellen gecombineerd met artistiek en functioneel ontwerp. Relatief nieuw en modern dus<sup>5</sup>.

Vaak streven de oplossingen ontwikkeld in de natuur onze oplossingen aan alle kanten voorbij, zowel ten aanzien van de gebruikte techniek als ten aanzien van de esthetica. Oplossingen ontwikkeld in de natuur zijn vaak ingenieus, duurzaam en stabiel onder veranderende omstandigheden. Ze hebben mede daardoor een laag risico.

Sinds het uitkomen van het boek van Benyus staat biomimicry volop in de belangstelling. Maar biomimicry is geen nieuwe, maar meer een vergeten wetenschap. Er zijn tal van voorbeelden uit de geschiedenis waar de mens zich tot de natuur wendde voor inspiratie. Een bekend voorbeeld is Leonardo Da Vinci. Hij maakte schetsen van vliegmachines die geïnspireerd waren op de vleugels van een vogel. Eind jaren vijftig van de vorige eeuw onderzochten de Amerikaanse biofysicus Otto Schmidt en doctor Jack Steel al machineontwerpen geïnspireerd op de natuur. Daarbij gebruikten ze voor het eerst de termen biomimetics en bionics.

Naast biomimicry worden ook biomimetics, bionics, bionik en bionica gebruikt. De overeenkomst tussen al deze termen ligt in: leren van de natuur. Waar bij biomimicry ook het duurzaamheidsaspect een nadrukkelijke rol speelt (maatstaf en mentor), speelt dat bij biomimetics en bionica minder en ligt de nadruk meer op technologische ontwikkeling.

In deze uitgave gebruiken we de volgende definitie:

*Biomimicry is het leren van de natuur; innovatie op basis van het onderzoeken van natuurlijke en door de evolutie geoptimaliseerde biologische structuren, functies, processen en systemen, waarbij er aandacht is voor zowel het technologische als het duurzaamheidsaspect.*

Zoals wel vaker het geval is met definities, dekt ook deze definitie de lading niet compleet. Dit wordt mede veroorzaakt door de enorme dynamiek die op dit moment in het vakgebied plaatsvindt, zowel in omvang als in het aantal verschillende vakgebieden dat werkzaam is binnen biomimicry.

Karakteristiek voor biomimicry is in ieder geval een combinatie van de volgende elementen:

- (1) nieuwe (technische) mogelijkheden voor
- (2) innovaties die maatschappelijke problemen oplossen en/of tegemoet komen aan behoeften en
- (3) 'leren van de natuur', oftewel meer preciezer uitgedrukt: leren, in de brede zin van het woord, van biologisch onderzoek (Gleich et al, 2010).

<sup>4</sup> Vincent J.V.F. (2010) p 169

<sup>5</sup> Allen R. (2010) p 8

## 2 Biomimiry nader bekeken

### 2.1 Biomimicry: ontwikkelingsrichtingen

Bij zich snel ontwikkelende nieuwe vakgebieden/kennisgebieden zijn er vaak verschillende invalshoeken en toepassingsmethodieken te onderscheiden, elk met een eigen onderverdeling. In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de drie voornaamste ontwikkelingsgebieden, de drie niveaus van leren van de natuur en de drie voornaamste redenen om biomimicry toe te passen in de praktijk.

#### *Biomimicry focusgebieden binnen wetenschappelijk onderzoek*

Het werkveld van biomimicry wordt verdeeld in drie niveaus van ontwikkeling<sup>6</sup>. Elk opvolgend niveau borduurt voort op de grenzen van het voorgaande niveau.

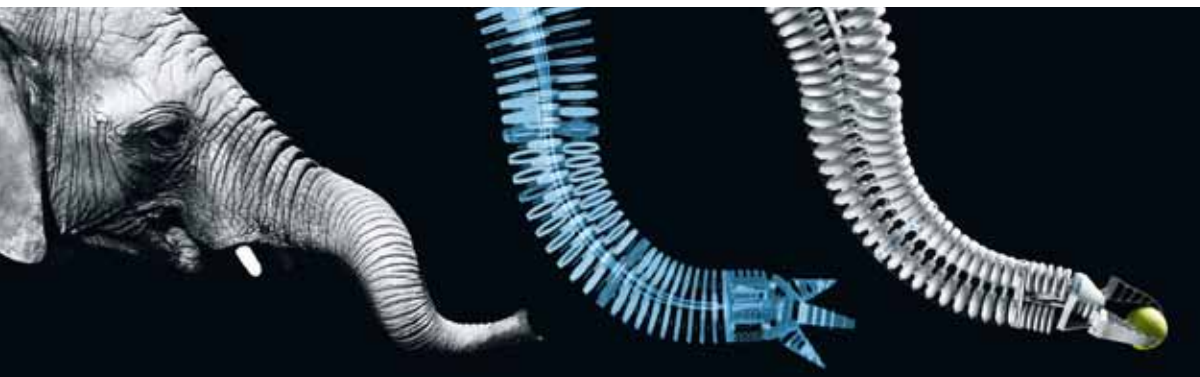
- 1 Functionele morfologie, de relatie tussen biologische vorm of structuur en functie.
- 2 Biocybernetica, sensortechnologie en robotica.
- 3 Nanobiomimetics, moleculaire zelforganisatie en nanotechnologie.

Zie ook de voorbeelden in de kaders op de volgende pagina's.

#### *1. Functionele morfologie: de relatie tussen biologische vorm of structuur en functie*

Deze eerste en oudste vorm van biomimicry focust op biologische (uitwendige bouw en) vormen en/of structuren in relatie tot hun functie. De basis hiervan ligt in het observeren van de natuur. De uitvindingen van Leonardo Da Vinci zijn hiervan een goed voorbeeld. Hij maakte gebruik van onder andere studies van de natuur en de anatomie.

Binnen het vorm/functie niveau worden met name resultaten geboekt als de specifieke functie is gerelateerd aan de uitwendige vorm en niet afhankelijk is van het materiaal en de technologie waarmee het ontwerp wordt gerealiseerd. Opvallend is dat de meeste succesvolle uitvindingen die een toepassing gevonden hebben in de praktijk op het gebied van vorm/functie zijn geboekt in gebieden die zijn afgeleid van of gerelateerd zijn aan aero- en hydrodynamica.



Om echt gebruik te kunnen maken van technologieën die ontstaan zijn door natuurlijke selectie is het noodzakelijk gedetailleerd onderzoek te doen naar structuur en werking van biologische fenomenen. Deze vinden vooral plaats op micro- en nanoniveau. Pas recentelijk is men in staat deze met behulp van de nieuwste technieken te ontrafelen.

Een natuurlijke ontwerp (van het organisme) is vaak multifunctioneel en functies zijn niet altijd duidelijk herkenbaar. Pas als de relatie tussen vorm en functie duidelijk is kun je die gebruiken en abstraheren.

#### **Voorbeeld: De Bionic-conceptcar: een ontwerp waarin functionele morfologie centraal staat**

Een bekend voorbeeld van functionele morfologie is de Bionic-conceptcar van Mercedes-Benz. Voor de volgende generatie kleine, zuinige auto's hebben de ontwerpers bij Mercedes-Benz voor inspiratie naar de oceaan gekeken. Deze keer hebben ze met opzet de slanke, snel zwemmende vissen als haaien genegeerd, en gekeken naar vissen met wat meer inhoudelijk volume, net als een auto. De koffervis (Ostracion-klasse) heeft iedereen verrast toen bleek hoe gestroomlijnd ze eigenlijk is. De ontwerpers hebben een auto ontworpen gebaseerd op de vorm, huid en botstructuur van deze vis.

Bij het ontwerp van deze auto is gebruik gemaakt van CAO (computer-aided optimization) en SKO software (soft kill option) ontwikkeld door Claus Mattheck (Karlsruhe Research Centre). Deze software is gebaseerd op uitgebreide studies van Claus Mattheck naar biomechanica van bomen (Tree Biomechanics). Het gebruik van deze software tijdens het ontwerpproces resulteert in ontwerpen die lichter maar wel sterk genoeg zijn. (Een volgens deze methode ontworpen motorophanging voor Opel bleek bijvoorbeeld 25% lichter en 60% stabiel te zijn dan conventioneel ontworpen ophangingen).

Met behulp van CAO/SKO is het gewicht van de bionic car met 30% teruggebracht, zonder de stabiliteit, veiligheid en handelbaarheid van de auto is aangetast. De Bionic conceptcar verbruikt gemiddeld 2,8 liter benzine per 100 km en het is niet eens een hybride. De ontwerpprincipes waarmee is gewerkt, zullen gebruikt worden als basis voor toekomstige generaties kleine auto's.





## 2. Biocybernetica, sensortechnologie en robotica

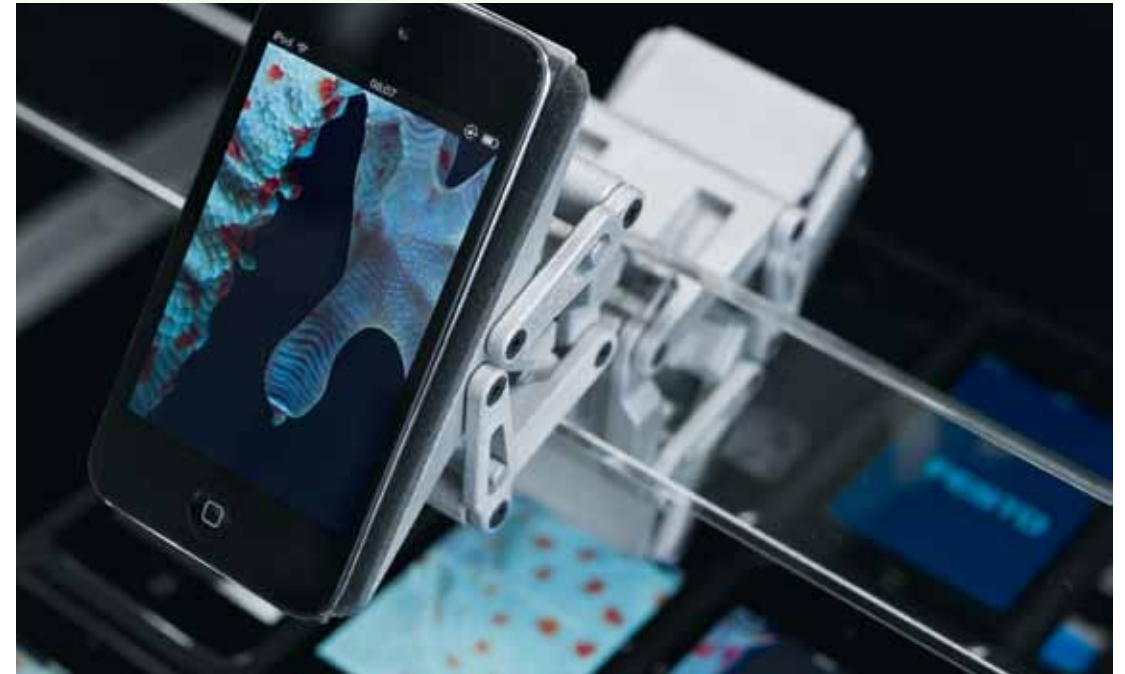
Waar het eerste gebied van ontwikkeling binnen biomimicry zich bezig houdt met vorm en functie kenmerkt het tweede gebied van ontwikkeling zich door de focus op biologische vormen van signaal- en informatieverwerking. Dit heeft geleid tot succesvolle technische implementaties op het gebied van bio-cybernetica, sensoriek en robotica.

Dit is het gebied dat 'bionics' genoemd wordt. Waar bij het eerste focusgebied (functionele morfologie) de verdere ontwikkeling van het vakgebied is gebaseerd op systematische biologie (zoölogie en botanie), is het tweede ontwikkelingsgebied, gebaseerd op een totaal verschillende, maar nog steeds typisch op biomimicry gebaseerde logica. De fundamentele aanpak van zowel biocybernetica, sensorfysiologie en neuropsychologie, als van de ecosysteemtheorie is namelijk ontwikkeld op basis van technische vakgebieden zoals elektronica. Zonder de kennis uit deze niet aan biologie gerelateerde vakgebieden was verdere ontwikkeling wellicht onmogelijk geweest. Het menselijke brein en lichaam vormen nog steeds het ongeëvenaarde voorbeeld van biocybernetica, sensortechnologie en robotica.

### Voorbeeld: De NanoForceGripper: een ontwerp waarbij biocybernetica, sensortechnologie en robotica centraal staat

Festo, gevestigd in Delft, is een wereldwijde marktleider en leverancier van pneumatische en elektrische automatiseringstechnieken. Festo is oprichter van het Bionic Learning Network dat een integraal onderdeel vormt binnen de innovatieprocessen van Festo. Binnen dit netwerk werkt Festo samen met vooraanstaande universiteiten, instituten en bedrijven. Festo maakt al jaren gebruik van ideeën uit de natuur als basis voor nieuwe technologieën en industriële toepassingen.

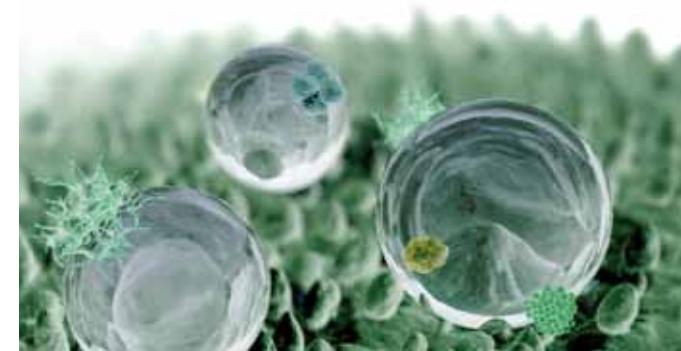
Een recente ontwikkeling betreft de bionische grijper: de NanoForceGripper. Bij de NanoForceGripper hebben engineers zich laten inspireren door de wijze waarop een gekko lijkt vast te 'kleven' aan zijn ondergrond. Onderzoek wijst uit dat dit mogelijk is dankzij kleine, intermoleculaire aantrekkingskrachten die we kennen als Van der Waals krachten. Dergelijke krachten zijn ook op te wekken door de Gecko® Nanoplast® tape die aan de onderzijde maar liefst 29.000<sup>2</sup> grijpelementjes per cm<sup>2</sup> bevat. Wanneer de grijper - voorzien van deze tape - eenmaal een onderdeel heeft opgepakt, is deze vervolgens in staat het permanent vast te houden zonder hiervoor energie te gebruiken. Er is pas weer energie nodig wanneer de grijper het component moet loslaten en neerzetten. De tape wordt in deze fase van de componenten afgepeld door een structuur met Fin Ray Effect® (gebaseerd op de werking van een vissenstaart). Door een duw-duw mechanisme dat de structuur vervormt, wordt het effectieve vasthoudvlak steeds kleiner totdat het object voorzichtig is losgelaten. Deze specifieke kenmerken maken de NanoForceGripper ondermeer geschikt voor de handeling van gevoelige en kwetsbare producten met gladde oppervlakken, zoals beeldschermen of mobiele telefoons tijdens het productieproces. Daarbij gebruikt de NanoForceGripper weinig energie.



## 3. Nano biomimetics, moleculaire zelforganisatie en nanotechnologie

Het derde ontwikkelingsgebied is het meest recente en speelt zich af op moleculair en nanoniveau. Dit gebied vindt haar basis in de voortgang die geboekt is op het gebied van nanotechnologie. Het richt zich naast processen waarbij moleculen zichzelf organiseren ook op de ontwikkeling van individuele moleculen tot cellen, weefsel en uiteindelijk organismen. Hierbij wordt ook aandacht geschonken aan (zelf)helend vermogen en herstructurering (reconfiguratie) onder invloed van belasting.

Dit derde gebied van ontwikkeling is momenteel extreem in beweging. Op afzienbare termijn zijn er baanbrekende resultaten te verwachten, waarbij de beperkingen die binnen het eerste gebied van ontwikkeling spelen (functionele morfologie) geslecht kunnen worden. Dit betreft vooral de op dit moment onmogelijke productie van hiërarchische structuren op moleculair- en nanoniveau. De productie van oppervlaktetexturen, zoals die gebaseerd op het lotusblad of haaienhuid, worden dan mogelijk. Dit door het toepassen van de principes van



Detailopname Lotuseffect

moleculaire zelforganisatie in bijvoorbeeld 'template controlled crystallisation' en andere 'bottom up' nanotechnologieën.

Omdat het meeste onderzoek zich nog in de beginfase bevindt zijn er in dit ontwikkelingsgebied nog niet of nauwelijks grote innovatieve successen bereikt.

### Voorbeeld: nacre paper, recent onderzoek op het gebied van nanobiometics, moleculaire zelforganisatie en nanotechnologie

Biologische materialen fascineren. Ze zijn licht van gewicht en in staat om extreme krachten te trotseren. Daarbij worden ze geproduceerd, bij kamertemperatuur, onder normale temperaturen, met behulp van chemie op waterbasis en met grondstoffen die lokaal aanwezig zijn, duurzaam dus.

Op dit moment wordt er veel onderzoek gedaan naar biologische materialen, de eigenschappen hiervan en manieren om deze materialen op industriële schaal te produceren. Dit laatste punt vormt vaak de grootste uitdaging. Veel van de processen in de natuur vinden namelijk plaats op nanoschaal.

Een Fins/Zweeds onderzoeksteam onder leiding van Andreas Walther en Olli Ikkala heeft een parelmoer equivalent, nacre paper genaamd, ontwikkeld. Parelmoer is een verbazingwekkend sterk materiaal dat te vinden is aan de binnenzijde van de schelpen van weekdieren. De sterkte van het materiaal zit in de structuur. Parelmoer is opgebouwd uit lagen 'bakstenen' van calciumcarbonaatplaatjes, bijeengehouden door 'proteïncement'.

Net als parelmoer kent dit materiaal een gelaagde structuur, waarbij de eigenschappen niet zozeer bepaald worden door de grondstoffen waaruit het is opgebouwd, maar door de structuur waarin deze geplaatst zijn. De mechanische eigenschappen van nacre paper streven sommige van de 'high performance' polymeren voorbij.

Net als bij echt parelmoer heeft nacre paper een structuur opgebouwd uit harde en zachte materialen. Kleideeltjes vormen de bakstenen die gecoat worden met een zachte polymeer. De kleideeltjes zorgen voor de ondersteuning en sterkte van het materiaal. De polymeer verzorgt de (supra moleculaire) binding en is in staat energie te verspreiden. Het onderzoeksteam verbonden aan de Universiteit van Aalto (Helsinki) en het Koninklijk Instituut voor Technologie in Stockholm heeft een simpele en snelle productiemethodiek ontwikkeld die lijkt op het productieproces van papier. Met dit milieuvriendelijke en economisch haalbare proces is het mogelijk om op industriële schaal en elk formaat ultradunne folies, laminaten en coatings te produceren.

Naast vormvast en lichtgewicht is nacre paper ook vuur- en hittebestendig. Omdat het mogelijk is om de supramoleculaire verbindingen die de 'bakstenen' bij elkaar houden te manipuleren (controleren), kunnen de mechanische eigenschappen van dit materiaal waar nodig aangepast worden.

Nacre paper is recent ontwikkeld (2010) en zou toegepast kunnen worden in de bouw/constructie industrie, transport (lucht- en ruimtevaart, marine en automotive) en defensie.



### 2.2 Biomimicry: drie niveaus van leren

Er zijn vele pogingen gedaan om het biomimicry of biomimetic werkveld te categoriseren. Hierbij werd in het ene geval gekozen voor het toepassingsgebied (bijvoorbeeld werktuigbouwkunde of klimaatbeheersing), en in het andere geval voor de technische functie (bijvoorbeeld locomotieve of sensorbiomimetics). Het probleem bij pogingen om tot categorieën of classificaties te komen is dat biomimicry in principe van toepassing is op alle wetenschappelijke gebieden, van werktuigbouwkunde en industrieel productontwerp tot economie.

Naast classificaties naar toepassingsgebied of functies zijn er drie niveaus van leren<sup>7</sup> te onderscheiden binnen biomimicry:

1. Het leren van de uitkomsten van het evolutieproces (klittenband, vliegtuig vleugels etc.).
2. Het leren van het evolutieproces (optimalisatietechnieken en strategieën).
3. Het leren van de (succes)principes van de evolutie (circulaire economie, aanpassend vermogen).

#### 1. Leren van de uitkomsten van het evolutieproces

Op dit niveau wordt vooral geleerd van en inspiratie opgedaan door de structuren en de mechanismen van levende organismen, zoals deze worden beschreven in de biologie, de natuur als model.

Dit eerste niveau van leren wordt in de praktijk het meest toegepast. De doorontwikkeling en het krachtiger worden van onder andere slow-motion camera's en elektronenmicroscopen hebben verdere verdieping van dit niveau mogelijk gemaakt. Zonder het gebruik van deze instrumenten zou de analyse van vorm-functie relaties nagenoeg onmogelijk geweest zijn. De Van der Waals krachten in een Geckofoon, of de structuur van de lotusbladen die leiden tot de zelfreinigende eigenschappen zouden dan nog steeds een mysterie zijn geweest.

De resultaten die tot dusver op dit niveau van leren geboekt zijn rechtvaardigen in zekere mate de claim 'validatie van technologie door het evolutieproces'. Wat in ieder geval naar voren komt is de meer holistische ontwerpbenadering. Hierbij wordt meer rekening gehouden met de volledige complexiteit van de context waarin het ontwerp moet functioneren. De nadruk ligt meer op het 'inpassen' en 'aanpassen' aan de natuurlijke omstandigheden dan op pogingen deze te controleren.





Detail stam 1000 jaar oude taxus



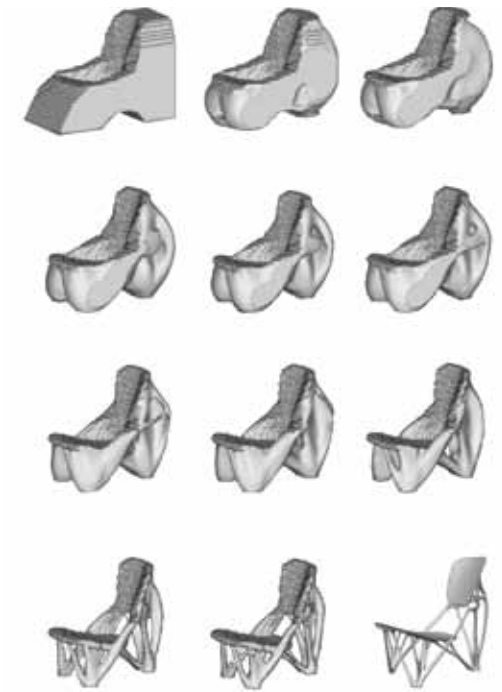
Detail houtnerf



Detailstructuur palmboom

## 2. Leren van het evolutieproces

Op dit niveau van leren staan niet de uitkomsten van de evolutie, maar het proces centraal. Kennisontwikkeling en -overdracht vinden onder andere plaats op het gebied van evolutionaire optimalisatie en genetische algoritmes. Dit heeft geleid tot bekende biomimicryontwerpen. Zwermintelligentie speelde een rol in de ontwikkeling van het Volvo anti-collision system. Algoritmen, afgeleid van het gedrag van mieren, wordt gebruikt in het zoeken naar oplossingen voor de fileproblematiek. De zogenaamde Soft Kill Option (SKO) en computer-aided optimisation (CAO) programma's ontwikkeld door Klaus Mattheck zijn gebaseerd op de mechanica van bomen. Deze worden onder andere toegepast bij de ontwikkeling van de bone chair van Joris Laarman en het ontwerp van de Bionic car van MercedesBenz).



Totstandkoming Bonechair van Joris Laarman





### 3. Leren van de (succes)principes van de evolutie

Het derde niveau van leren is gebaseerd op de geabstraheerde (en gegeneraliseerde) principes waarop de evolutie gebaseerd is. Deze vormen de basis voor de huidige structuur en de wijze van functioneren van ons ecosysteem. Ook vormen ze de ontwerprichtlijnen van natuurlijke organismen en het ecosysteem. Deze principes vormen het fundament voor de validiteit en de reikwijdte van de biomimicrybelofte, namelijk het komen tot technische oplossingen (ontwerpen) die vanuit ecologisch perspectief beter passend zijn en een lager risico met zich meebrengen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van 3,8 miljard jaar onderzoek en ontwikkeling en het resultaat van miljoenen jaren van optimalisatie dat tijdens de evolutie heeft plaatsgevonden. De zogenaamde biomimicrybelofte is gebaseerd op risicogerelateerde onderwerpen, ecologie en duurzaamheid.

Daarnaast worden deze principes toegepast als normatieve ontwerprichtlijnen, waarbij het doel is te komen tot betere en vanuit ecologisch perspectief geschikte technische oplossingen (ontwerpen). Biomimicry als duurzaamheidsraamwerk gaat nader in op deze principes, de zogenaamde Life's Principles.

### 2.3 Redenen om biomimicry in de praktijk toe te passen

Biomimicry 3.8 is een organisatie opgericht door Janine Benyus, (schrijfster van het boek *Biomimicry; Innovation inspired by nature*) en Dayna Baumeister. Zowel Het Biomimicry Instituut (gericht op onderwijs en kennisontwikkeling) als het Biomimicry Guild (gericht op consultancy en kennisontwikkeling) vallen onder deze organisatie, die sinds 1999 actief is. Het heeft inmiddels ruime ervaring op het gebied van het toepassen in de dagelijkse (ontwerp)praktijk. Volgens Biomimicry 3.8 omvat de biomimicry (ontwerp)praktijk drie invalshoeken, die onderling sterk verbonden zijn:

1. ethos
2. (re)connect
3. emulate<sup>8</sup>.

Elk van deze invalshoeken blijkt in de ontwerppraktijk van Biomimicry 3.8 voor individuen en bedrijven reden te zijn om biomimicry in de praktijk toe te passen.

#### Ethos

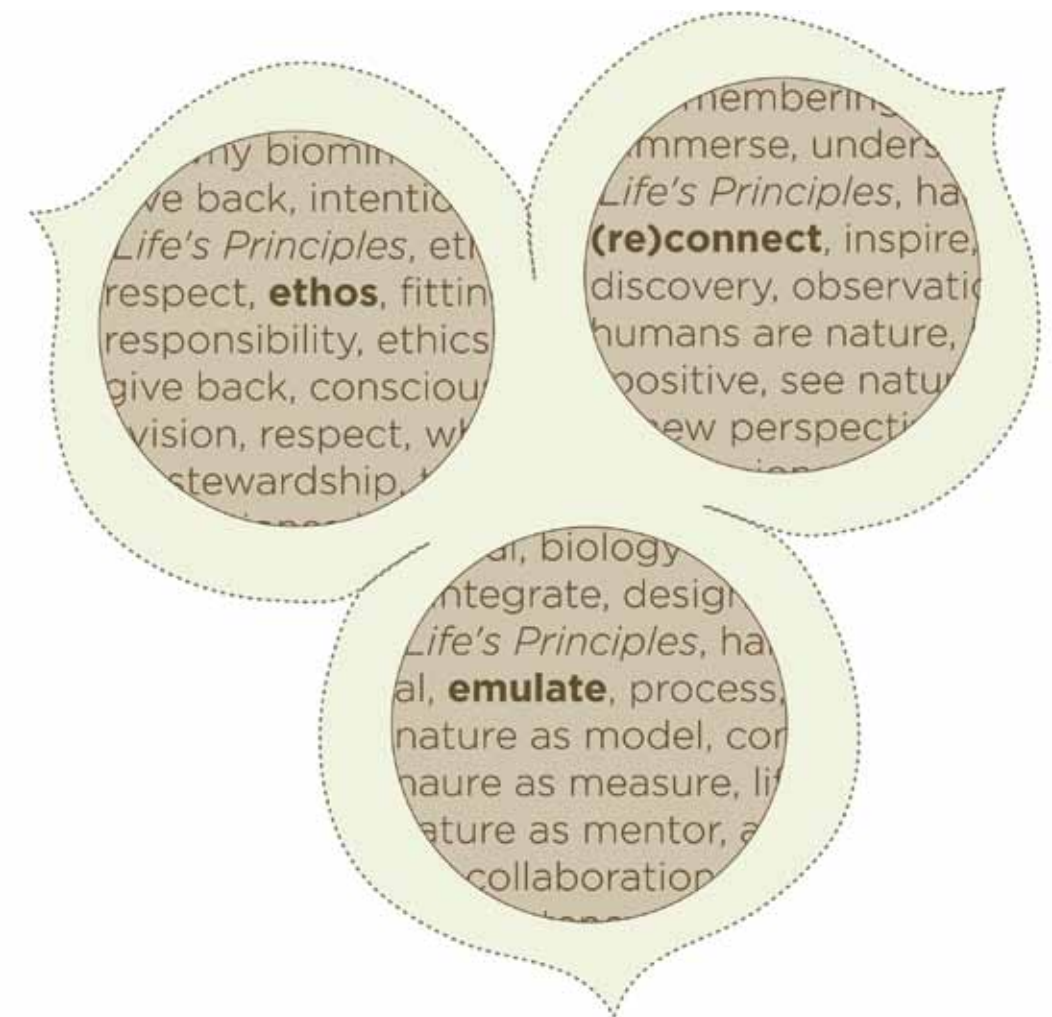
Ethos refereert aan de essentie van onze ethiek, intenties en onderliggende filosofie bij de keuze van biomimicry als ontwerpmethodiek. Het beantwoordt aan de behoefte om (weer) onderdeel te zijn van het systeem 'aarde'. Daarnaast verwoordt het respect en verantwoordelijkheid voor onze medebewoners op aarde (planten en dieren). Het erkent dat de mens één van de vele organismen op aarde is, die elk eigen recht op overleving hebben, en dat de overleving van de mens als soort niet los gezien kan worden van - en afhankelijk is van - de overleving van de overige organismen.

#### (Re)connect

(Re)connect draait om het feit dat de mens en natuur in feite diep verbonden zijn. Er is geen wij en zij. Wij zijn natuur. Dit onderdeel omvat het (her)ontdekken van biologie, het (her)kennen van patronen en onderliggende ontwerpprincipes en uiteindelijk het ontdekken van de genialiteit van de natuur.

#### Emulate (nastreven)

Emulate is het actieve deel van biomimicry, de ontwerpen die hier uit voortvloeien zijn geïnspireerd door de natuur en hebben een minimale negatieve impact op de aarde. De natuur wordt gebruikt als model, maatstaf en mentor, met als doel het ontwikkelen van nieuwe ideeën, technologische invalshoeken en technologieën.



## 3 Biomimicry en de productontwerper

### 3.1 Algemeen

De biomimicry ontwerpmethode zoals deze door Biomimicry 3.8 is ontwikkeld, is op dit moment de meest gangbare en uitgewerkte binnen de in de praktijk toegepaste methoden. Daarom fungeert deze als leidraad voor dit hoofdstuk.

Er zijn twee ontwerpaanpakken te onderscheiden binnen biomimicry:

1. van ontwerp naar biologie en
2. van biologie naar ontwerp.

Bij de eerste aanpak, van ontwerp naar biologie, oftewel het integreren van biologie in het ontwerpproces, staat de ontwerpuitdaging centraal en wordt biologische kennis of inspiratie uit de biologie gebruikt om tot een oplossing te komen. Bij de tweede aanpak vormt (nieuw fundamenteel) biologisch onderzoek het uitgangspunt voor de ontwikkeling van nieuwe technologieplatformen of technologische oplossingen (producten).

#### *Verskil traditioneel ontwerpproces en biomimicry ontwerpmethode*

Het grootste verschil met het traditionele ontwerpproces ligt in het feit dat biomimicry gebruik maakt van biologie en ecologie in het ontwerpproces. Dit vergroot de 'inpasbaarheid' van het eindresultaat in de gewenste context en leidt daarnaast ook tot ontwerpen die beter aan de eisen voor duurzaamheid voldoen. De biomimicry ontwerpmethodiek neemt de complexiteit van de interacties van het ontwerp met haar omgeving mee in het proces.

Door middel van het integreren van biologie en ecologie in het ontwerpproces kan gebruik gemaakt worden van legio 'door de evolutie geteste voorbeelden' uit de natuur die tot nu toe nagenoeg onbenut zijn gebleven.

#### *Biomimicry, Cradle to Cradle (C2C) en Industrial Ecology; één pot nat?*<sup>9</sup>

Zowel biomimicry, C2C en Industrial Ecology zijn gebaseerd op voorbeelden uit of geïnspireerd door de natuur. Je zou zelfs kunnen zeggen dat C2C en Industrial Ecology voortkomen uit typisch 'biomimicrydenken'.

Er is echter wel een aantal verschillen. Zo wordt biomimicry toegepast op zowel het directe product- en technologieniveau, als ook op het grotere industriële systeem daaromheen. Het biedt daarnaast richtlijnen voor duurzaamheid die op alle niveaus binnen ondernemingen en industrieën toegepast kunnen worden. Cradle to Cradle wordt in de praktijk voornamelijk op individueel productniveau (inclusief de productieprocessen) toegepast, waarbij de focus ligt op materialen en materiaalgebruik. Industrial Ecology is meer gericht op grote industriële systemen, waarbij meerdere partijen (fabrieken/producenten) met elkaar samenwerken.

Biomimicry geeft niet alleen een abstracte visie van de ideale werkwijze van een duurzaam systeem: het is ook in staat met concrete voorbeelden te komen hoe een dergelijk systeem eruit zou kunnen zien. Waar Cradle to Cradle en Industrial Ecology vooral de juiste doelen stellen biedt biomimicry voorbeelden en strategieën hoe deze doelen te realiseren.

### 3.2 Biomimicry als ontwerptool voor duurzaamheid: Life's Principles

De natuur, oftewel het leven op aarde, bestaat uit een continu veranderend, ongelooflijk complex netwerk van onderling verbonden en van elkaar afhankelijke organismes. Wetenschappers en onderzoekers zijn al eeuwen bezig om te ontdekken hoe de natuur werkt en welke geheimen de basis vormen voor 'overleving'. Kortom, met het ontrafelen van de mysteries van het leven.

Biomimicry 3.8 heeft de afgelopen jaren in samenwerking met een groot aantal (wetenschappelijke) partners onderzoek gedaan naar patronen die de fundamentele vormen van de strategieën die door organismen worden toegepast om uiteindelijk te kunnen overleven op aarde. Dit heeft geresulteerd in zes basisstrategieën, die gezamenlijk de Life's Principles vormen.

De Life's Principles geven aan hoe in de natuur duurzaamheid wordt vormgegeven en geven inzicht in hoe het leven op aarde de afgelopen 3.8 miljard jaar in staat is geweest om zich verder te ontwikkelen en haar continuïteit te waarborgen.

Dit maakt de Life's Principles tot een belangrijk instrument bij het ontwerpen, waarbij duurzaamheid een belangrijke rol speelt. Het geeft niet alleen een raamwerk voor duurzaamheid, waaraan het uiteindelijke ontwerp moet voldoen, maar ook een maatstaf voor en richting aan de vraag hoe dit bereikt zou kunnen worden.

Life's Principles kunnen in verschillende stadia van het ontwerpproces toegepast worden. Bijvoorbeeld als visie-instrument en als hulp bij prioritering van de eisen in de beginfase van een project, als inspiratie en houvast bij de keuze tussen verschillende ontwerp mogelijkheden tijdens de ontwerpfase. En uiteindelijk aan het eind van het ontwerpproces als basis voor evaluatie van de uitkomsten: is het ontwerp duurzaam?

#### *Life's Principles nader bekeken*

De life's Principles vertegenwoordigen als het ware de succesfactoren van de evolutie. Ze dagen de ontwerper uit na te denken en vanuit meerdere invalshoeken de ontwerp vraag te benaderen en tot oplossingen te komen. En dat is precies wat veel bedrijven en personen aantrekt in biomimicry.

Maar hoe zitten de Life's Principles nou precies in elkaar? De basis van de Life's Principles worden gevormd door de randvoorwaarden waarbinnen al het leven op aarde plaatsvindt: er is zon, water en zwaartekracht, dynamische onbalans, er zijn grenzen en beperkingen en cyclische processen. Binnen deze randvoorwaarden heeft het leven op aarde overlevingsstrategieën ontwikkeld.

Deze strategieën zijn gebaseerd op een distillatieproces van alle overlevingsstrategieën op aarde en omvatten de volgende uitgangspunten:

- Maak gebruik van levensvriendelijke chemie
- Wees lokaal afgestemd en responsief
- Integreer ontwikkeling met groei
- Pas aan op veranderende omstandigheden
- Wees efficiënt met hulpbronnen (materialen en energie)
- En blijf ontwikkelen om te overleven.



Zie bijlage voor een grotere weergave van de Life's Principles

Daarnaast is al het leven op aarde onderling verbonden en onderling afhankelijk van elkaar en worden alle Life's Principles geïntegreerd en geoptimaliseerd (dus niet gemaximaliseerd) om condities te creëren die bevorderlijk zijn voor het leven en dus langetermijncontinuïteit mogelijk maken (zie bijlage Life's Principles). Je zou kunnen zeggen dat de Life's Principles de ontwerprichtlijnen vanuit het ecosysteem vormen. Dit maakt biomimicry niet alleen bij uitstek geschikt als ontwerptool voor duurzaamheid. De Life's Principles kunnen namelijk ook als inspiratiebron gebruikt worden voor innovatie, waarbij de inspiratie zowel komt uit de Life's Principles zelf, als uit de individuele specifieke strategieën van organismen waaruit de Life's Principles zijn afgeleid.

### 3.3 Biomimicry: het ontwerpproces

Het integreren van biologie (en ecologie) in het ontwerpproces onderscheidt biomimicry van andere ontwerpmethodieken. Door middel van het integreren van biologie en ecologie wordt een enorme bron van innovatie ontsloten. Immers, de afgelopen 3.8 miljard jaar heeft de natuur uitgevonden wat (welke technologie/techniek) werkt en hoe zich aan te passen aan de lokale omstandigheden (context). Dit heeft als gevolg dat bij ontwerpen die tot stand gekomen zijn aan de hand van een biomimicryproces duurzaamheid een integraal onderdeel van het proces is.

Binnen het biomimicry ontwerpproces zijn twee invalshoeken te onderscheiden:

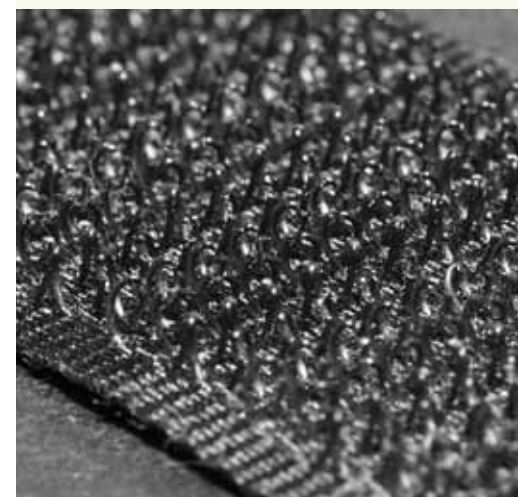
- van biologie naar design (ontwerp) en
- van design naar biologie, oftewel integreren van biologie in design.

*Biomimicry: het ontwerpproces: van biologie naar design*

Het startpunt bij dit ontwerpproces ligt vaak in de uitkomsten van fundamenteel biologisch onderzoek. Na de enorme vooruitgang die is geboekt op het gebied van onder andere elektronenmicroscopen, is het mogelijk om op micro- en inmiddels ook op nanoschaal te ontdekken hoe de technologie van de natuur in elkaar zit. Deze ontdekkingen leiden vervolgens tot toepassingen in de praktijk.

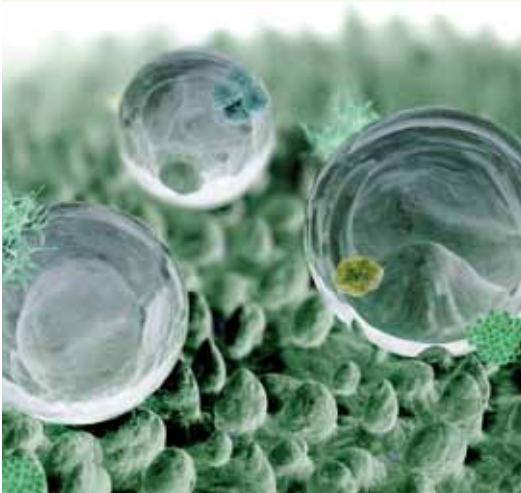


Er is een groot aantal bekende en minder bekende voorbeelden van deze biomimicry ontwerpinvalshoek. Eén van de oudste en bekendste is ongetwijfeld klittenband, dat onder de naam Velcro® op de markt is gebracht. Een Zwitsers ingenieur, George de Mestral, onderzocht na een wandeltocht de klitten/zaden die aan zijn broek en de vacht van zijn hond waren blijven hangen. Bij nader microscopisch onderzoek bleek dat de zaden van *Arctium* (of klittenkruid) voorzien zijn van kleine haakjes die uitermate goed hechten aan textiel en vacht, vooral bij veloursachtige materialen waarbij de haakjes van de zaden zich vasthouden aan de kleine lusjes van de stof. De naam Velcro® is dan ook afgeleid van de Franse woorden 'velours' en 'crochet', dat haak betekent. De belangstelling vanuit de textiel- en mode-industrie viel aanvankelijk tegen. Gelukkig werd het materiaal opgepakt door onder andere de lucht- en ruimtevaartindustrie, waar de zeer eenvoudige werking bijzonder werd gewaardeerd.





Een ander, recenter, voorbeeld van de biologie naar design methode betreft de water- en vuilafstotende eigenschappen van de lotusbladen, het zogenaamde 'lotuseffect'. Al eeuwenlang wordt de lotusbloem door Boeddhisten en Hindoes als symbool van reinheid beschouwd. Wat tot het zelfreinigende vermogen van deze plant leidde is echter pas in de tweede helft van de vorige eeuw ontdekt. Uit onderzoek bleek namelijk dat de nanostructuur van het blad hydrofobe eigenschappen heeft. Dit zorgt ervoor dat vloeistoffen druppels vormen en wegglijden, waarbij vuil wordt meegenomen. Een systeem dat zichzelf schoonhoudt is vooral voor buitentoepassingen interessant. Inmiddels wordt dit principe in een aantal producten toegepast, onder andere in dakpannen en gevelverf.



### *Biomimicry het ontwerpproces: integreren biologie in design*

In de biomimicry ontwerppraktijk van onder andere het Biomimicry Guild is gebleken dat er niet één vaststaande en lineaire biomimicry werkmethode te onderscheiden is. De biomimicry werkmethode blijkt afhankelijk te zijn van de situatie, context, probleemstelling en industrie. Niet alleen voor de volgorde van de te doorlopen stappen, maar ook voor de terminologie die gebruikt wordt. Aan de hand van ervaringen uit de praktijk heeft het Biomimicry Guild de biomimicry ontwerpspiraal ontwikkeld. Deze spiraal vormt niet zozeer een nieuw ontwerpgeroed-schap, maar is meer een grafische weergave van de biomimicry manier van denken voor het productontwikkelingsproces. De spiraalvorm geeft zowel de groei als de dynamiek weer.

De spiraal omvat zes stappen (die in de praktijk niet per se in chronologische volgorde doorlopen worden, het is vaak een iteratief proces):

#### 1. *Identificeren (analysefase)*

- a. Bepaal de functies van het ontwerpprobleem, wat moet het ontwerp doen?
- b. Waarom wil je dat het productontwerp dit moet doen?
- c. Of: waarom is deze functie noodzakelijk?

Resultaat stap 1: een diepgaande functieomschrijving van het ontwerpprobleem.

#### 2. *Interpreteren (analysefase)*

- a. Randvoorwaarden opstellen voor het product (PVE), houdt rekening met:
  - de context waarin product gebruikt gaat worden
  - de gebruiker van het product.
- b. Aan welke Life's Principles moet het ontwerp voldoen?
- c. Vertaal de functies naar een biologische equivalent (biologiseer de functie), eventueel met behulp van de biomimicry taxonomie (meer hierover in hoofdstuk 3.4 )

Resultaat stap 2: PVE inclusief doelstelling Life's Principles en functie(s) in biologische terminologie.

#### 3. *Ontdek (analysefase)*

- a. Zoek natuurlijke modellen (organismen) die de functie(s) kunnen vervullen, zoek daarbij heel breed
  - ga naar buiten
  - bestudeer de website [www.asknature.org](http://www.asknature.org)
  - lees biologieboeken
  - bezoek musea
  - bezoek dierentuinen
  - praat met biologen
  - etc.

Resultaat stap 3: aantal voorbeelden uit de natuur per functie.



4. Afleiden (analysefase)
  - a. Orden de natuurlijke modellen
  - b. Selecteer de meest relevant strategieën/oplossingen voor het ontwerpprobleem, zijn er patronen herkenbaar.

Resultaat stap 4: selectie relevante strategieën.



5. Nabootsen (ideegeneratiefase)

- a. Brainstorm en schets
- b. Kijk naar
  - vorm nabootsen
  - proces nabootsen
  - ecosysteem nabootsen.

Resultaat stap 5: ideeschetsen.



6. Evalueren (conceptfase)

- a. Evalueer concepten aan de hand van het PVE
- b. Evalueer aan de hand van Life's Principles, zijn er verbeteringen mogelijk?

Resultaat stap 6: concept.

*Praktijkvoorbeeld: dispensing and dosing, hoe doet de natuur dat?*

People Creating Value (PCV) is een ontwerp bureau dat zich onder meer bezighoudt met het ontwerpen van producten die te maken hebben met 'dispensing and dosing'. Op dit gebied is er weinig vernieuwing. Daarnaast is contaminatie een probleem. Saxion-student Harold onderzocht in opdracht van PCV of biomimicry kan helpen om tot nieuwe concepten en oplossingen te komen. Hij zocht naar vernieuwende ontwerp oplossingen voor een dispenser die nauwkeurig bepaalde volumes kan transporteren, zonder vervuild te raken. Onderstaand een toelichting op een deel van de stappen die Harold tijdens het proces heeft doorlopen (dit is dus geen volledige weergave):

#### 1. Identificeren (analysefase)

- a) Door de begrippen doseren/dispenseren nader te analyseren wordt duidelijk wat het ontwerp moet doen:
  1. Afgeven bepaalde hoeveelheid stof, denk aan vaste stoffen, vloeistoffen, tabletten, etc.
  2. In de gewenste verhouding samenvoegen van materialen.
  3. In hoeveelheden verdelen en toedienen.
- b) en c): Het waarom van het productontwerp of de noodzaak van de functie leverde geen nieuwe inzichten op.

Resultaat: Doseren/dispenseren: 'Bepaalde hoeveelheid stof van A naar B verplaatsen'.  
Contaminatie: 'Het voorkomen/bestrijden/afbreken van iets ongewenst'

#### 2. Interpreteren (analysefase)

Randvoorwaarden opstellen (PVE):

1. Volume moet nauwkeurig instelbaar zijn.
2. Er moeten verschillende materialen gedistribueerd kunnen worden.
3. Er mag geen vervuiling (contaminatie) optreden: voorkomen/afbreken van iets ongewensts.
4. Etc.

Het resultaat uit stap 1, de functie(s), is vervolgens vertaald naar de biologische equivalent ('biologiseer' de functie). Aan de hand van de biomimicry taxonomie zijn de volgende equivalenten gevonden: verkrijgen, opslaan of distribueren van grondstoffen.

#### 3. Ontdek (analysefase)

In deze fase is aan de hand van de functies gericht gezocht naar oplossingen met behulp van de biomimicry taxonomie, maar ook met behulp van brainstorms en literatuur/internet.

- a) Zoek natuurlijke modellen (organismen) die de functie(s) kunnen vervullen

Functie: Verkrijgen, opslaan of distribueren van grondstoffen.

1. Voorbeelden van oplossingen/strategieën uit de biomimicry taxonomie: Zoekopdracht: Group: get, store, or distribute resources > Sub-Group: Distribute > Function: Fluids  
Enkele oplossingen:

- Vascular systems transport fluids and solutes: plants
- Valves handle high pressures: humans
- Capturing prey above the water's surface: archer fish

2. Voorbeelden van analogieën uit een brainstorm:

Enkele oplossingen:

- Darmperistaltiek
- Vogels (jongen voeden)
- Olifantenslurf.

Op deze wijze zijn vele tientallen oplossingen gevonden.

#### 4. Afleiden (analysefase)

De vele mogelijke oplossingen zijn samengevat en geordend in een overzicht. Selecteren bleek nog niet zo eenvoudig. Reden daarvoor was gelegen in de breedte van de opdracht: Er bleken in de natuur vele potentieel vernieuwende oplossingen beschikbaar, maar voor echte vernieuwing zou de functie nauwkeuriger omschreven moeten worden om een goede keuze te kunnen maken. Uit de vele mogelijke strategieën zijn de vier meest aansprekende geselecteerd.

#### 5. Nabootsen (ideegeneratiefase)

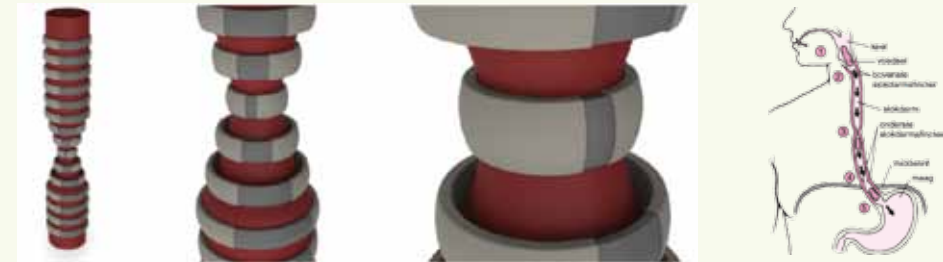
Al schetsend en brainstormend is geprobeerd de geselecteerde biologische principes te vertalen dit heeft geleid tot de volgende ideeschetsen.



#### Voorbeeld 1:

De 'werking' van de schuttersvis kan worden vertaald naar een product dat een gecontroleerde dosis vloeistof onder druk kan afgeven, bijvoorbeeld het geven van injecties. Doordat de schuttersvis gebruik maakt van druk om de waterstraal te creëren, kan dit tevens een voordeel

zijn voor het deelprobleem contaminatie. Door de druk is er namelijk geen mogelijkheid voor het ontstaan van vervuiling.



#### Voorbeeld 2:

De functie van de slokdarm is het gecontroleerd transporteren van voedsel vanaf de mond naar de maag. Aangezien deze functie overeenkomt met de functie die is gedefinieerd voor doseren (een bepaalde hoeveelheid stof van A naar B verplaatsen) en de slokdarm daarnaast een interessant orgaan is, is een concept uitgewerkt dat werkt volgens het principe van de slokdarm.

### 3.4 Ask Nature en de biomimicry taxonomie

Ask Nature ([www.asknature.org](http://www.asknature.org)) is de gratis toegankelijke online bron van inspiratie voor designers. Dit is de plek waar design en biologie elkaar ontmoeten. Ask Nature is ontwikkeld door het Biomimicry Instituut en het Biomimicry Guild als een open database. Doel is het ontsluiten van biologische kennis voor designers, om zo innovaties geïnspireerd op biologische kennis te bevorderen.

De biologische kennis in de database is georganiseerd naar functie, waarbij gebruik gemaakt is van de biomimicry taxonomie. Biologen en designers gebruiken ieder een eigen taal. De biomimicry taxonomie is ontwikkeld om de taalbarrière tussen beide vakgebieden te slechten. De taxonomie is gebaseerd op het functioneren van organismen en maakt gebruik van 'taal' die aansluit op die van designers, ingenieurs en architecten.

De functies zoals ze gedefinieerd zijn in de taxonomie zijn afgeleid van de vraag waarom een organisme een bepaalde strategie toepast (biologische functie), in plaats van waarvoor de strategie in de menselijke wereld gebruikt zou kunnen worden (technische toepassing). Dit is zowel een sterkte als een zwakte van de taxonomie. Het doel is uiteindelijk te komen tot een taxonomie die beter aansluit bij de verschillende gebruikers.

De kracht van het focussen op biologische functie in plaats van op technologische toepassingen





bij de totstandkoming van de taxonomie is vooral dat het de ontwerper dwingt op een nieuwe manier na te denken over wat het product, proces of systeem uiteindelijk moet doen. Willen we gebruik maken van giftige stoffen om de aangroei van bacteriën op oppervlaktes te voorkomen (zou de natuur dat doen?), of willen we dat de oppervlakte in staat is om zichzelf te beschermen tegen bacteriën (zoals algen doen)? Het stellen van dergelijke, meer diepgaande vragen over de functie van het ontwerp vanuit biologisch perspectief helpt het aantal oplossingsrichtingen te vergroten.

#### *De werking van de biomimicry taxonomie*

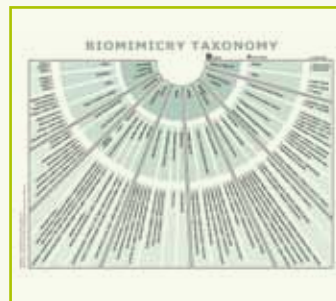
Voor de mot is het een uitdaging dat hij zich moet beschermen tegen andere dieren die hem willen opeten.

De functie, wat hij doet, wordt in de biomimicry taxonomie als werkwoord weergegeven in een hiërarchie van functies: maintain physical integrity (behouden fysieke staat) -> protect from biotic factors (beschermen tegen levende/organische factoren) -> protect from animals (bescherm tegen dieren)

Hoe de mot dit doet, de strategie, is dat hij gebruik maakt van niet reflecterende ogen om ontdekking in maanlicht te voorkomen. Dit door middel van het op nanoschaal 'toepassen' van uitsteeksels op zijn oogbal.

Zoals wellicht wel verwacht, zijn de strategieën die in de natuur gebruikt worden vaak op meerdere functies van toepassing. In het voorbeeld van de mot is de primaire functie 'protect from animals'. De in Ask Nature weergegeven strategie is ook van toepassing op de functie 'modify physical state, light/color'. De 'motten-ogenstrategie' zal dan ook bij een zoekopdracht bij beide functies naar boven komen.

Om het werken met de biomimicry taxonomie te vergemakkelijken is ervoor gekozen de functies in een hiërarchie weer te geven, acht groepen, onderverdeeld in nog eens 30 sub-groepen, die samen 160 functies bevatten. In ons voorbeeld is 'maintain physical integrity' de groep, 'protect from biotic factors' de subgroep en '(protect from) animals' de functie.



*Zie bijlage voor een grotere weergave van de taxonomie*

### **3.5 Ontwerpprocessen uit de praktijk nader bekeken**

Biomimicry, oftewel het integreren van biologie in het ontwerpproces, kan op verschillende manieren en in verschillende stadia van het ontwerpproces worden toegepast. Idealiter wordt biomimicry als leidende ontwerptool ingezet, waarbij in elke fase biologie aan het ontwerpproces wordt toegevoegd. Het uiteindelijke resultaat is dan een ontwerp dat de genialiteit van de natuur zo goed mogelijk nastreeft en dus passend is binnen de context en de standaarden die onze planeet stelt, een volledig duurzaam ontwerp dus.

Vaak is dit echter (nog) niet haalbaar en zijn de mogelijkheden van het toepassen van biomimicry in de praktijk beperkt. In het ene geval bijvoorbeeld tot de creating fase, waarbij het ontwerp vooral gevoed wordt door de strategieën die in de natuur gevonden zijn (vorm/functie). In een andere geval wordt wellicht een meer traditioneel ontwerpproces gevolgd. Dan beperkt de inzet van biomimicry zich tot het bepalen in hoeverre het eindresultaat duurzaam is, met behulp van de Life's Principles als evaluatie-instrument en duurzaamheidsraamwerk.

#### *InterfaceFlor: biomimicry en de ontwikkeling van een tapijttegels*

InterfaceFlor, 's werelds grootste tapijttegelfabrikant voor projectgebruik, onder andere gevestigd in Scherpenzeel, heeft in 1994 de grootste uitdaging van het bedrijf tot dan toe opgepakt: 'mission zero'. Mission Zero is een allesomvattende bedrijfsvisie met als doel 100% duurzaamheid in 2020 voor alle bedrijfsonderdelen en -processen van InterfaceFlor als geheel. Biomimicry is één van de ontwerpmethodieken die InterfaceFlor ter hand heeft genomen om dit doel te bereiken. Inmiddels zijn veel van de processen en ontwerpen van dit bedrijf geïnspireerd door de biologie en wordt bij het ontwerpen gebruik gemaakt van biologie en biologische kennis. Dit varieert van het kleuren van de garens, het reduceren van het gewicht van de 'backing' van de tapijttegels, de energievoorziening van de fabrieken tot en met de afvalstromen. De Life's Principles staan aan de basis van een groot aantal innovaties binnen InterfaceFlor en worden tot op heden nog steeds toegepast. Hierbij wordt elke keer de vraag gesteld 'Hoe zou de natuur dit oplossen?'.

De kracht en flexibiliteit van biomimicry als ontwerptool en duurzaamheidsraamwerk is zeer bepalend in de uitvoering van Mission Zero en het transitieproces van InterfaceFlor naar een 100% duurzaam bedrijf. Deze paragraaf geeft een indruk van het (ontwerp)proces, zoals dat bij InterfaceFlor heeft plaatsgevonden en nog steeds plaatsvindt. InterfaceFlor gebruikt hiervoor het Integrating biology into design model, zoals dat door het Biomimicry Guild is ontwikkeld<sup>10</sup>.



*Zie bijlage voor een grotere weergave*



#### *Van biologie naar creatie*

De eerste grote evolutionaire stap in de ontwikkeling van de tapijttegels ontstond tijdens een biomimicry workshop met het InterfaceFlor ontwerpteam. De ontwerpers werden meegenomen naar een bos op zoek naar nieuwe ideeën. Tijdens de wandeling, waarbij de ontwerpers vooral naar de grond ('vloerbedekking') keken, daar ligt tenslotte hun interesse, vielen de ontwerpers vooral de patronen op van de losse bladeren op de grond. Het ontwerpteam had op dat moment nog niet het formele scopingproces doorlopen en geen functies gedefinieerd, maar het was op dat moment vooral gefocust op de vraag hoe de natuur een vloer

zou ontwerpen. De ontwerpers realiseerden zich al snel dat ondanks het patroon en de 'georganiseerde chaos' van de afgevallen bladeren, de totale bodembedekking van het bos (bosvloer) in designtermen wel als een geheel overkwam. Dit ontwerpprincipe leidde tot het idee dat geen enkele tapijttegels exact hetzelfde hoeft te zijn en dat iedere tegel, ongeacht verfbad of richting van het weefsel, naast een andere past. Dit mondde uiteindelijk uit in de wereldberoemde en populaire Entropy-tapijtcollectie van InterfaceFlor.

#### *Van creatie naar evaluatie*

Voor traditionele tapijttegels is exacte gelijkenis van groot belang. Het verfbad en de richting van het weefsel moeten overeenkomen om uiteindelijk tot goed resultaat te leiden (egale vloerbedekking ondanks het gebruik van tegels). Dit vergde veel van de organisatie en bracht aanzienlijke kosten met zich mee, bijvoorbeeld door de noodzaak van het op voorraad houden van verschillende verfbadbatches en door snijverlies. De Entropy-tapijtcollectie doorbrak dit paradigma. Het was nu mogelijk tegels te leggen ongeacht verfbad en ongeacht weefselrichting. Dit leidde tot een drastische verlaging van de opslagkosten en verminderde het snijverlies bij installatie van 4% naar 1,5%. Een aanmerkelijk besparing.

Tijdens de evaluatie van dit succesvolle product kwam naar voren dat hoewel het product is gebaseerd op natuurlijke patronen, dit niet geldt voor de productie van de tegels. Ook waren veel van de onderdelen en specifieke kenmer-



ken van het product (backing, verlijming aan ondervloer, verven, materialen en materiaalgebruik) niet in lijn met de Life's Principles.

#### *Van evaluatie naar scoping (afbakening)*

De hierboven genoemde constatering leidde vervolgens binnen InterfaceFlor tot onderzoek naar een identificatie van onderliggende functies gerelateerd aan tapijttegels. Hierbij valt te denken aan het verlijmen/plakken, demping, kleuren, vlekbestendigheid, urinebestendigheid, verkrijging grondstoffen en de energievoorziening van het productieproces. Tijdens deze fase werden nieuwe richtlijnen toegevoegd aan de bestaande procedures, die het komen tot niet duurzame oplossingen moeten voorkomen.

#### *Van scoping naar creëren naar biologie*

Gevoed door het succes van de door InterfaceFlor ontwikkelde Entropy-tapijtcollectie daagde het ontwerpteam zichzelf meer en meer uit om te komen tot innovatie rondom specifieke problemen. Biomimicry veranderde de InterfaceFlor-ontwerphilosofie. De ontwerputdagingen werden meer en meer geformuleerd in termen van 'Hoe zou de natuur dit oplossen? Biologen werden bij het ontwerpproces betrokken.

Eén van de grote uitdagingen waarvoor het team stond was het gebruik van lijmen die vluchtige organische stoffen (VOC's) bevatten. De conventionele tapijttegels werden aan de ondervloer verlijmd en het gebruik van deze lijmen veroorzaakte een gezondheidsrisico voor zowel de tapijtleggers, als de uiteindelijke gebruikers van de ruimtes waar het tapijt was geïnstalleerd. Ook maakte het gebruik van deze lijm recycling van het tapijt nagenoeg onmogelijk.

#### *Van biologie naar evaluatie naar biologie naar evaluatie*

Het ontwerpteam kwam al snel tot de ontdekking dat de gekko een oplossing zou kunnen bieden voor het verlijmvraagstuk. Gekko's gebruiken zogenaamde Van der Waals-krachten (intramoleculaire krachten) in plaats van chemie bij de hechting aan oppervlaktes. Verschillende laboratoriumexperimenten werden opgezet en geëvalueerd, waarbij werd getracht de technologie van de gekko na te bootsen. Uiteindelijk werd echter besloten dat de technologie nog te nieuw was en commercieel niet haalbaar. De zoektocht naar alternatieve, door de natuur geïnspireerde, lijmen duurde voort, maar tijdens de evaluatie viel het ene na het andere alternatief af.

#### *Van evaluatie naar biologie naar scoping*

Met hulp van de biologen kwam het ontwerpteam tot de ontdekking dat lijm in de natuur niet of nauwelijks gebruikt wordt, vooral wanneer er andere opties zijn die minder materiaal en energie kosten. Ook wordt in de natuur geen permanentie 'verlijming' toegepast als het om een tijdelijke oplossing gaat.

Op het moment dat de ontwerpers zichzelf de vraag stelden wat zij nu werkelijk wilden doen, realiseerden zij zich dat de functie waarnaar zij op zoek waren het op de plaats houden van het tapijt is. Dit eureka-moment leidde tot het besef dat zwaartekracht het meest universele mechanisme is om dingen op hun plaats te houden.





#### *Van scoping naar creatie naar evaluatie*

In de creatiefase realiseerde het ontwerpsteam zich dat als de tegels aan elkaar bevestigd konden worden, het gezamenlijke gewicht van de tapijttegels in het tapijt dusdanig zou zijn, dat het geheel door de zwaartekracht in plaats van door lijm op de plaats gehouden zou worden. Het team realiseerde zich terdege dat de oplossing uiteindelijk duurzaam zou moeten zijn. Na verschillende ontwerprondes werd de TacTile™ uitgevonden.

De TacTile™ is een klein en dun Post-it™-formaat sticker, waarop aan één zijde een dun laagje lijm met laag VOC-gehalte is aangebracht. De TacTile™-stickers houden de naast elkaar liggende tegels aan de hoeken bijeen, zodat een tapijt van muur tot muur ontstaat. Deze uitvinding maakte het gebruik van verlijmen van de tegels aan de ondervloer overbodig en bracht het product Entropy-tapijttegel naar weer een hoger niveau. Hierbij werden snellere installatietijden gerealiseerd, evenals meer flexibiliteit in de toepassing van de tegels, verbetering van de luchtkwaliteit in ruimtes waar de tegels worden toegepast en verbetering van de recyclingsmogelijkheden.

Bovenstaande casus laat zien dat op biomimicry gebaseerde ontwerpprocessen een eigen dynamiek hebben. Niet altijd wordt de vaste volgorde aangehouden. En hoewel het niet altijd mogelijk blijkt te zijn met behulp van de huidige stand van de techniek biologie 100% te integreren in het ontwerp, levert de biomimicryaanpak wel een product op, dat waarschijnlijk via de conventionele aanpak niet gerealiseerd had kunnen worden.

#### *Logoplaste: de ontwikkeling van een lichtgewicht waterfles*

Vitalis is één van de belangrijkste merken op het gebied van gebotteld water. In 2009 werd Logoplaste Innovation Lab door Unicer, de eigenaar van Vitalis, benaderd en uitgedaagd om een nieuwe range petflessen te ontwikkelen. Naast een exclusief design moesten de petflessen ook een sterke emotionele band met de consument bewerkstelligen, de lichtste fles in de markt zijn, in de huidige industriële vullijnen passen en een aanzienlijk lagere milieu-impact hebben.

De traditionele ontwerplossing voor vermindering van gewicht van de petflessen zou bestaan uit het toevoegen van horizontale structuren/verstevigingsribben zijn. Hoe meer je toevoegt, hoe sterker en lichter de fles. Het nadeel van deze aanpak is dat dit leidt tot flessen met een industrieel uiterlijk, dat vanuit merkperspectief weinig tot geen onderscheidend vermogen heeft.

Het Logoplaste ontwerpsteam besloot tot een biomimicryaanpak en ging op zoek naar meer effectieve en duurzame oplossingen in de natuur. De Ask Nature-databank bleek een belangrijke bron van informatie te zijn, die het onderzoeks-/scopingproces aanzienlijk versnelde. Verschillende

potentiële oplossingsrichtingen passeerden de revue en werden onderzocht. Eén sprong er met kop en schouders bovenuit: de spiraalvormige groei van de vezels van de witte den (white pine tree).

Dit natuurlijke model voor spiraalvormige groei vormde de basis van de fles; spiraalvormige structuren met, afhankelijk van de grootte van de horizontale en verticale benodigde sterkte, variërende hellingshoeken afgestemd op de vorm van de fles.

Uit uitgevoerde FEA-(Finite Element Analyse) simulaties bleek dat de nieuwe toegepaste structuren, gericht op gewichtsreductie, veel effectiever zijn dan de traditionele horizontale structuren.

Met behulp van de biomimicry ontwerpaanpak bleek Logoplaste niet alleen in staat te zijn een exclusieve petfles te ontwikkelen passend bij de waarden van het Vitalis-merk, maar ook de lichtste petfles in de markt.

Het nieuwe assortiment 100% recyclebare petflessen (33cl, 50cl en 1,5l) kwam in het voorjaar van 2010 op de markt en speelt een belangrijke rol in de merkidentiteit en de duurzaamheidsstrategie van Vitalis. Met de introductie van deze flessen wordt een besparing gerealiseerd van 250 ton grondstoffen per jaar.

Voor Logoplaste Innovation Lab heeft dit proces geleid tot een herstructurering van het bedrijf. Alle projecten en processen van Logoplaste Innovation Lab worden tegenwoordig volgens de biomimicrymethodiek uitgevoerd.





## 4 Voorbeelden uit de praktijk

### 4.1 $\mu$ Mist®: verneveling onder lage druk

Een recente innovatie in het biomimicryveld is de ontwikkeling van  $\mu$ Mist® vernevelingstechnologie, een platformtechnologie geïnspireerd op de bombardeerkever (*Brachinus crepitans*). De bombardeerkever dankt zijn naam aan zijn zeer goed ontwikkelde verdedigingssysteem. De kever heeft namelijk een ware explosiekamer in zijn achterlijf waarin stoffen liggen opgeslagen. Als de kever geïrriteerd raakt voegt hij een stof toe aan deze kamer, waarna een naar jodium ruikend en corrosief mengsel ontstaat dat door gasvorming naar buiten wordt gespoten. Met de 'spuitkop' aan zijn achterlijf kan hij richten, wat mogelijke aanvallers doet afschrikken. Een onderzoeksgroep, gelieerd aan de universiteit van Leeds, heeft onderzoek gedaan naar de werking van de explosiekamer en het vernevelingsmechanisme van de bombardeerkever.

Uit dit onderzoek bleek dat de kever het vermogen heeft een hoogfrequent pulserende verneveling te genereren bij zeer lage druk van de injectievloeistof. Gebruikmakend van CFD- (computational fluid dynamics) modellen en testopstellingen die elementen van de vernevelingscapaciteiten van de kever nabootsten (vooral het kleppensysteem van de kever) ontwikkelde het onderzoeksteam het technologisch geavanceerde, innovatieve en duurzame  $\mu$ Mist®-vernevelingssysteem.

Dit systeem kan worden toegepast bij brandstofinjectie binnen de automotive, lucht- en ruimtevaartindustrie. Daarnaast zijn er legio mogelijke toepassingen denkbaar op het gebied van medicijndoseersystemen, huishouden, brandbestrijding, cosmetica etc.



### 4.2 Flectofin: een scharnierloos zonweringsysteem

Een systeem dat maximaal gebruik van zon- en daglicht mogelijk maakt, onderhoudsarm is, een lange levensduur kent, waarin geen kwetsbare onderdelen zijn toegepast die kunnen slijten en op een volkomen natuurlijke manier op het ideale moment schaduw en koelte creëert. Het klinkt bijna te mooi om waar te zijn. Toch hebben onderzoekers van de biologische faculteit van de Universiteit van Freiburg en het Instituut für Trafkonstruktionen und Konstruktiven Entwerfen (ITKE) uit Stuttgart een dergelijk systeem ontwikkeld. De inspiratie voor de ontwikkeling van dit systeem hebben ze opgedaan bij de paradijsvogelbloem (*Strelitia Reginae*). Deze bloem kent een ingenieus systeem voor bestuiving. De bloem wordt bestoven door vogels. Op het moment dat de vogel op de 'zitstok' (gevormd door bloemblaadjes) van de bloem gaat

zitten, opent de bloem zich en komen de pollen vrij. Het openklappen van de bloem wordt veroorzaakt door het gewicht van de vogel en verloopt traploos.

Flectofin heeft dit principe toegepast op het zonweringsysteem, met dit verschil dat in plaats van gewicht temperatuurveranderingen het openklappen van de lamellen van de zonwering veroorzaken.

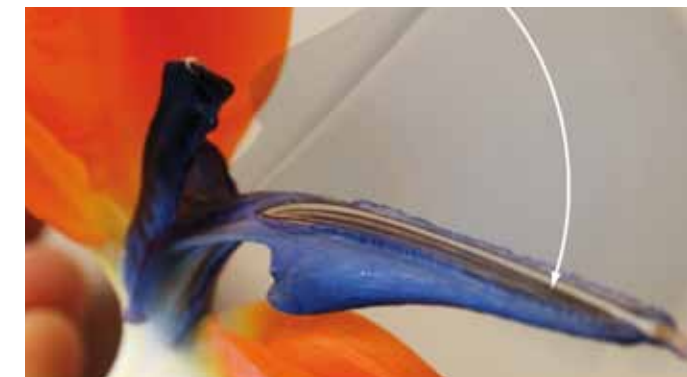
In de lamellen waaruit de zonwering is opgebouwd zit een soort staaf van met glasvezel versterkte elastische kunststof. Als het warmer of zonniger wordt zet dit materiaal uit en 'klappen' de lamellen dicht. Het voordeel van dit systeem is dat het buiten de lamellen geen draaiende of scharnierende onderdelen bevat. Het kan zowel binnen als buiten en op gebogen gevels worden toegepast.

Flectofin is naast een duurzame innovatie die eenvoudig is toe te passen in de bouw, doeltreffend en praktisch. In Duitsland is de zonwering inmiddels in diverse projecten succesvol toegepast.



### 4.3 Pax scientific: efficiëntie door geometrie uit de natuur

Een ander voorbeeld van een biomimicry-innovatie is de ontwikkeling van een impellerrotorblad door Pax Technologies. De op het eerste gezicht simpele vormgeving van deze impeller is het resultaat van nauwkeurige bestudering van de vorm van draaiingen, kolken en spiralen in de natuur. Jay Harmon, de oprichter van Pax Technologies, en zijn wetenschappers hebben de complexe multi-assige vorm van de impeller ontworpen aan de hand van de meest efficiënte geometrische vormen. Die hebben ze gevonden in biologische organismen (in zowel planten als dieren). Deze innovatie heeft geresulteerd in een enorme toename van de hoeveelheid water (vloeistoffen) of lucht (gassen) die in beweging gezet kan worden (afhankelijk van de toepassing), toename van de efficiency en afname van het energiegebruik, geluid, weerstand



en kosten. Door niet alleen aandacht te besteden aan het ontwerp, maar door ook het productieproces te betrekken in het ontwerpproces, werd het materiaalgebruik gereduceerd, net als de hoeveelheid afval tijdens het productieproces.

De producten van Pax Technologies zijn zeer efficiënt en kunnen worden toegepast op een groot aantal verschillende soorten vloeistoffen. Daarnaast worden ze toegepast in auto's, laptops en in het afvalwatermanagement.



#### **4.4 InterfaceFlor: de natuur als maatstaf toegepast op tapijttegels**

Zoals in het vorige hoofdstuk is weergegeven, zijn de ontwerpers van InterfaceFlor, een Nederlands beursgenoteerd bedrijf, letterlijk de natuur in gegaan voor hun ontwerp. Naast een productrange met tapijttegels die verfbadonafhankelijk zijn en in elke weefselrichting gelegd kunnen worden, heeft InterfaceFlor ook een alternatief ontwikkeld voor het verlijmen van de tapijttegels, de zogenaamde Tac-Tiles®. Beide ontwikkelingen zijn ingegeven door het streven van InterfaceFlor 'zero milieu-impact' te hebben in 2020 (Mission Zero).

#### **4.5 O-foil Wing Propulsion: van zwembeweging naar voortstuwing schepen**

Een recente 100% Nederlandse biomimicry-innovatie is O-foil Wing Propulsion. O-foil staat voor oscillating foil, oftewel 'op- en neergaande vleugel'. Deze gepatenteerde technologie, ontwikkeld door O-foil b.v., is gebaseerd op de natuurlijke zwembeweging van dieren en wordt toegepast bij de voortstuwing van binnenvaartschepen.



De op- en neergaande vleugel genereert voortstuwing, doordat er liftkracht in het water ontstaat. Dit gebeurt ook bij een gewone schepsschroef, maar de O-foil- vleugel wordt over de gehele breedte van het schip geplaatst. Het stuwingsoppervlak wordt hierdoor een stuk groter en resulteert in een rendementsverhoging van 50% en een brandstofbesparing van 33% (tot wel 52% met een wisselend vaarprofiel). Dit beperkt ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot. De stillere aandrijving zorgt bovendien voor minder geluidsoverlast aan boord van binnenvaartschepen.

Op dit moment bevindt O-foil zich in de industrialisatiefase. Het eerste binnenvaartschip (prototype) met een O-foil- voortstuwings- en manoeuvreersysteem wordt in 2013 opgeleverd. Naar verwachting zal O-foil in 2013 klaar zijn voor de markt voor binnenvaartschepen.

#### **4.6 Haynest: van vogelnestjes naar verpakkingsmateriaal**

Natuurlijk waren mensen niet de eerste organismen op aarde die dingen gebouwd hebben. Ook zijn we niet de eersten die graag onze kwetsbare bezittingen willen beschermen. Maar we zijn wél de eersten in miljoenen jaren die verpakkingsmaterialen gebruiken die niet biologisch afbreekbaar zijn. We hebben bovendien enorme hoeveelheden energie nodig om ze te kunnen maken en tijdens de productie worden giftige stoffen uitgestoten in de lucht, in het water en in de bodem. Vogels zouden waarschijnlijk al uitgestorven zijn als ze op dezelfde manier hun nesten hadden gebouwd.

Haynest, een verpakkingsbedrijf uit Eindhoven, heeft verpakkingsmateriaal ontwikkeld, dat net als bij vogelnesten, gebaseerd is op gevlochten gras. Gras heeft veel tussenruimtes die vol lucht zitten, waardoor de structuur bescherming biedt en schokken kan absorberen, zodat de spullen die in de verpakking zitten, heel blijven. Verpakkingsmaterialen die op nesten lijken, zijn gemaakt van afvalmateriaal van planten (bermmaaisel) en worden bij elkaar gehouden door biologisch afbreekbaar materiaal (zoals zetmeel). Dit verpakkingsmateriaal zal niet alleen op afzienbare termijn vergaan zijn, het maakt bovendien gebruik van grondstoffen die lokaal beschikbaar (onder andere bermmaaisel) en volledig biologisch afbreekbaar zijn.

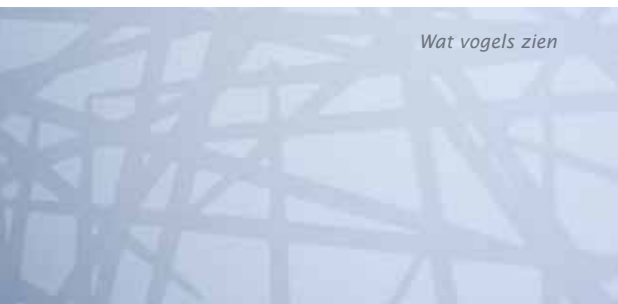




#### 4.7 Ornilux: Vogelvriendelijk glas in gebouwen

Jaarlijks verliezen alleen al in Europa honderden duizenden vogels hun leven als gevolg van botsingen met ramen in gebouwen. Het glas wordt door vogels namelijk niet als barrière herkend. Vogels blijken echter wel in staat om licht uit het ultraviolette spectrum te zien. Dit geldt ook voor het UV-reflecterende weefsel dat spinnen in hun spinnenweb verwerken om te voorkomen dat vogels erdoor vliegen en het vernielen.

Dit inspireerde de Duitse Firma Arnold Glaswerke tot de ontwikkeling van vogelvriendelijk glas. Omdat het menselijk oog niet in staat is ultraviolet licht waar te nemen, ontwikkelde het bedrijf UV-reflecterend transparant glas, gebaseerd op het principe van een spinnenweb. Een unieke innovatie: uit onderzoek van het Max Planck Instituut voor Ornithologie in Radolfzell Duitsland, bleek een significante vermindering van het aantal botsingen. Hiermee worden niet alleen vele vogellevens gespaard, waarmee mogelijk een afname van de biodiversiteit wordt voorkomen, maar wordt ook vervuiling of (kostbare) beschadigingen van het glas voorkomen.

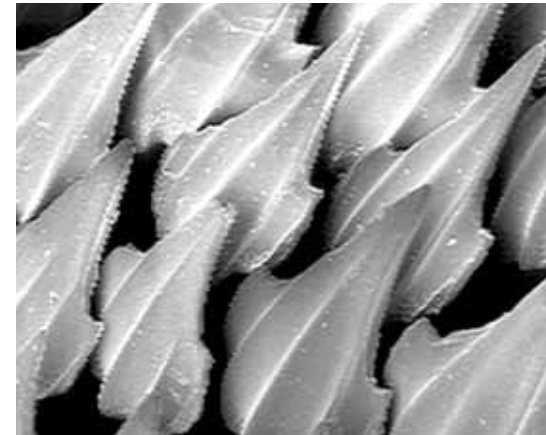


#### 4.8 Sharklet Technology: vermindering van weerstand en aangroei van parasieten

De microscopische groeven die over de lengte van de huid van haaien lopen zorgen voor een vermindering van weerstand en voorkomen tegelijkertijd de aangroei van parasieten (bijvoorbeeld eendenmossellarven). De op dit principe gebaseerde technologie, de zogenaamde Sharklet Technology, wordt tegenwoordig toegepast op scheepsrompen. Deze technologie bootst de textuur en kleinschalige bewegingen van haaienhuid na.

Scheepsrompen waarop deze technologie is toegepast blijken 67% minder aangroei te hebben dan scheepsrompen die niet behandeld zijn. Daarnaast blijkt dat bij een snelheid van 4-5 knopen aangroei helemaal niet meer plaatsvindt. Dankzij de schone oppervlaktes zijn schepen die met deze door haaien geïnspireerde deklagen zijn behandeld, veel energie-efficiënter. Er zijn geen giftige chemicaliën nodig die voorheen werden gebruikt bij de behandeling van scheepsrompen. Bovendien komt ongewenste verplaatsing van organismen minder vaak voor.

Sharklet Technologies kent ook medische toepassingen (zoals bijvoorbeeld in een urinekatheter) waarbij aangroei van bacteriën voorkomen wordt. Ook hier is de technologie gebaseerd op het toepassen van een (niet giftige) structuur, in plaats van het gebruik van giftige chemicaliën. En omdat het oppervlak geen bacteriën doodt, maar ze juist afstoot, wordt het risico van resistente bacteriën verminderd.



#### 4.9 Whale power: verbeteren van windturbines met behulp van de bultrugwalvissen

Bultrugwalvissen zijn net schoolbussen die onder water pirouettes draaien. Toch kunnen ze – al zijn ze 12 tot 15 meter lang en wegen ze 36.000 kilo – in kleine cirkels zwemmen. Hierdoor kunnen ze netten van belletjes creëren om krill (prooi die op garnalen lijkt) te lokken. De verrassende behendigheid van de walvis komt vooral door zijn vinnen, waarop grote, onregelmatige bobbels zitten, ‘tubercles’ genoemd. De tubercles helpen de walvissen om hun ‘grip’ op het water te houden, terwijl ze scherpe bochten maken, zelfs bij lage snelheden.

Testen in windtunnels met modellen van de vinnen van bultrugwalvissen hebben de speciale eigenschappen van de tubercles gedemonstreerd: 8% meer stuwkracht, 32% minder weerstand en een 40% grotere aanvalshoek ten opzichte van gladde vinnen. WhalePower is een bedrijf dat de lessen die het van bultrugwalvissen heeft geleerd, toepast op het ontwerp van windturbines om ze efficiënter te maken; de zogenaamde Tubercle Technology™.

De firma Enviranorth® ontwerpt en ontwikkelt plafondventilatoren. Ook bij de ontwikkeling van grote plafondfans is gebruik gemaakt van Tubercle Technology®, met als voordelen veel minder lawaai en een groter rendement ten aanzien van luchtverplaatsing en –menging.





Hoe ver zijn we met biomimicry? Waarom nog niet verder? Wat zijn de verwachtingen en wat hebben we nodig om deze te realiseren? Zomaar een paar vragen die zich opdringen na het lezen van de ontwikkelingen in dit relatief nieuwe vakgebied.

We staan waarschijnlijk nog maar aan het begin van biomimicry als ontwerp- en/of innovatie tool<sup>11</sup>. En er zijn goede redenen om aan te nemen dat biomimicry in de nabije toekomst in onderzoek en ontwikkeling een toenemende rol gaat spelen. Aan de vraagkant worden de toenemende complexiteit van de moderne maatschappij, de ontwikkelingen op het gebied van duurzaamheid en aandacht voor alternatieve economische modellen als Circulaire Economie als 'drivers' benoemd. Aan de aanbodkant wordt de vooruitgang vooral ingezet door de beschikbaarheid van nieuwe instrumenten, waarmee het steeds beter mogelijk wordt de technologie van de biologie te begrijpen. En om deze vervolgens toe te kunnen passen in nieuwe technologieën.

De Verenigde Staten, Japan, China, Duitsland, Engeland en Frankrijk lopen voorop met de publicatie van artikelen en patentaanvragen op het gebied van biomimicry/biomimetics<sup>12</sup>. In Nederland wordt aan biomimicry gerelateerd onderzoek uitgevoerd door een handvol onderzoekers, onder andere van de Rijksuniversiteit Groningen, de Universiteit Twente en de Technische Universiteit Delft, en zijn de eerste producten uit de 'biomimicrykoker' op de markt gebracht.

Het biomimicryveld kenmerkt zich (wereldwijd) door:

- Een smalle gemeenschap van individuen die zich hiermee bezig houdt, zowel op het gebied van onderzoek en ontwikkeling, als in onderwijs en educatie.
- Op het gebied van onderwijs en educatie komen de eerste initiatieven net van de grond. Biomimicry wordt vaak ad hoc toegevoegd aan bestaande onderwijsprogramma's. Duitsland is op dit gebied iets verder. Multidisciplinair onderwijs zal veel verschil gaan maken.
- Beperkte toegang tot financiële bronnen. Mede hierdoor kunnen bedrijven maar in beperkte mate onderzoekstrajecten uitvoeren om tot nieuwe innovaties te komen.
- Veel wetenschappelijke disciplines zijn traditioneel georganiseerd. Biomimicry kenmerkt zich door een multidisciplinaire aanpak, waarbij verschillende wetenschappelijke terreinen aan elkaar gelinkt worden. Helaas zijn ook de (publieke) onderzoeksfondsen vaak aan de traditionele wetenschappelijke disciplines gerelateerd.

Om biomimicry een stap verder te brengen, zowel wereldwijd als in Nederland, zal aan de bovenstaande punten tegemoet gekomen moeten worden. De eerste stappen in deze richting zijn inmiddels gezet.

In december 2010 heeft het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie een Green Deal afgesloten met biomimicryNL, één van de samenwerkingspartners in het Innovatief Materialen Platform Twente (IMPT). Het doel van deze Green Deal is onder andere te komen tot een Nederlandse biomimicry kennisinfrastructuur om de innovatiecapaciteit van het Nederlandse bedrijfsleven te bevorderen. Bij de uitvoering van de Green Deal werkt biomimicryNL samen met een aantal partners uit het bedrijfsleven, onderwijs en wetenschap. De overheid heeft aangegeven binnen de verschillende Green Deals aandacht te gaan schenken aan de factoren die op dit moment de grootste belemmeringen vormen, zoals elementen van de huidige wet- en regelgeving, waarbij bijvoorbeeld onderzoeksgelden en subsidies worden toegewezen op basis van traditionele discipline-omschrijvingen.

Wellicht vormt biomimicry één van de pijlers van een nieuwe, duurzame, technologische revolutie. De toekomst zal het leren....

<sup>11</sup> v. Gleich et al. (2010) p182-184

<sup>12</sup> v. Gleich et al. (2010) p116

Allen Robert, 2010, *Bulletproof feathers How Science Uses Nature's Secrets to Design Cutting-Edge Technology*, Londen: University of Chicago Press Ltd

Benyus Janine M., 1997, *Biomimicry innovation inspired by Nature*, New York: HarperCollins

Biomimicry Institute & Biomimicry Guild, 2011, *Biomimicry Resource Handbook, a seedbank of knowledge and best practices*, Missoula (VS)

Ferrian Business & Economic Institute, november 2010, *The Global Biomimicry Efforts: An Economic Game Changer*, San Diego Zoo Global

v. Gleich A., Pade C., Petschow U., Pissarskoi E., 2009, *Potentials and trends in Biomimetics*, Berlijn: Springer

Lienhard J, Schleicher S, Poppinga S, Masselter T, Milwich M, Speck T, Knippers J., dec 2011, *Flectofin: a hingeless flapping mechanism inspired by nature*, Institute of Building Structures and Structural Design-ITKE, University of Stuttgart, Germany.

Mul Ernst-Jan, *wat is biomimicry?*, <http://www.clubgreen.nl/vraag/Biomimicry.html>

Hospers, H.A., *Biomimicry, PCV, Dosing & Dispensing*, (07-09-2011), Enschede, Saxion, lectoraat Industrial Design.

Skinner Stephen, 2010, *Geheime Geometrie ontcijfer de code*, Amsterdam: Librero,

Videler John J., 2010 *Bionica*, Amsterdam: Atlas

Vincent Julian F.V., 2010, New Materials and natural design. In Allen R., *Bulletproof feathers, How Science Uses Nature's Secrets to Design Cutting-Edge Technology*, p.134, Londen: The University of Chicago Press Ltd

Walther Andreas, Bjuhager Ingela, Malho Jani-Markus, Ruokolainen Janne, Berglund Lars, Ikkala Olli, 2010, *Supramolecular Control of Stiffness and Strength in Lightweight High-Performance Nacre-Mimetic Paper with Fire-Shielding Properties*, *Angewandte Chemie International Edition* 2010, 49, No. 36, 6448-6453

WWF, Living Planet Report 2012, [http://wwf.panda.org/about\\_our\\_earth/all\\_publications/living\\_planet\\_report/2012\\_lpr/](http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/2012_lpr/)

### Internet

[www.asknature.org](http://www.asknature.org)

[www.biomimicry.net](http://www.biomimicry.net)

[www.haynest.nl](http://www.haynest.nl)

[www.ofoil.nl](http://www.ofoil.nl)

[www.ornilux.com/history-research.html](http://www.ornilux.com/history-research.html)

[www.paxscientific.com/tech.html](http://www.paxscientific.com/tech.html)

[www.swedishbiomimetics.com/umist.htm](http://www.swedishbiomimetics.com/umist.htm)

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Grote\\_bombardeerkever](http://nl.wikipedia.org/wiki/Grote_bombardeerkever)

## 7 Bronnen afbeeldingen

De in deze uitgave gebruikte afbeeldingen en fotomateriaal zijn auteursrechtelijk beschermd. De afbeeldingen en het fotomateriaal zijn ter beschikking gesteld door en/of geplaatst met toestemming van de volgende organisaties/ personen:

Cover: NanoForceGripper festo, ©Festo Nederland  
Pagina 6: De geologische tijdsdraad, 3,8 miljard jaar ontwikkeling in beeld, U.S. Geological Survey (+ bijlage)  
Pagina 8: Bionic handeling assistant, ©Festo Nederland  
Pagina 9: Koffervis, ©OCVA  
Pagina 9: Mercedes-Benz bionic car, ©Ryan Somma  
Pagina 11: NanoForceGripper Festo, ©Festo Nederland  
Pagina 11: Detailopname lotuseffect, ©William Thielicke  
Pagina 13: Binnenkant van een schelp (nacre), ©James Knowles  
Pagina 14: Detailopname stam eeuwenoude taxus, ©Annette Schumer  
Pagina 14: Detailopname houtnerf, ©Annette Schumer  
Pagina 14: Detailopname palmboom, ©Annette Schumer  
Pagina 15: Totstandkoming Bonechair Joris Laarman, ©Joris Laarman  
Pagina 15: Volvo anti-collision, ©Volvo  
Pagina 15: Zwerm sprinkhanen, ©Volvo  
Pagina 17: Seeds of biomimicry, ©Biomimicry Guild  
Pagina 20: Lifes Principles, ©Biomimicry Guild (+ bijlage)  
Pagina 20: Ontwerpspiraal biologie naar ontwerp, ©Biomimicry Guild/ biomimicryNL  
Pagina 21: Arctium Lappa Burdock Fruit, Paul Henjum  
Pagina 21: Detailopname klittenband, Alexander Klink  
Pagina 21: Ruimtevaartpak met klittenband, Nasa  
Pagina 22: Detailopname lotus effect, ©William Thielicke  
Pagina 22: Lotusan-effect, ©Sto Lotusan  
Pagina 23: Ontwerpspiraal uitdaging naar biologie, ©Biomimicry Guild/ biomimicryNL  
Pagina 24: Impressie biomimicry workshop 1, ©Annette Schumer  
Pagina 24: Impressie biomimicry workshop 2, ©Annette Schumer  
Pagina 26: Schuttersvis, ©Scott Linstead  
Pagina 27: Werking slokdarm, Merck Manual  
Pagina 26: Voorbeeld 1, ©Saxion Kenniscentrum Design en Technologie  
Pagina 27: Voorbeeld 2, ©Saxion Kenniscentrum Design en Technologie  
Pagina 27: Schermafbeelding Ask Nature, ©Biomimicry 3.8  
Pagina 28: Motvlinder, Andy Philips  
Pagina 28: Biomimicry Taxonomie, ©Biomimicry Guild (+ bijlage)

Pagina 29: Scoping creating evaluating (IBD spiral), ©Biomimicry Guild  
Pagina 30: Entropy, ©InterfaceFlor  
Pagina 30: Vermont, ©InterfaceFlor  
Pagina 32: Tactiles, ©InterfaceFlor  
Pagina 33: White pine tree met spiraalvormige bast, ©Walter Siegmund  
Pagina 33: Schetsontwerp Vitalis fles, ©Logoplaste  
Pagina 33: FEA-analyse, ©Logoplaste  
Pagina 33: Vitalis waterfles, ©Logoplaste  
Pagina 34: Bombardeerbeetle, Peter Halasz  
Pagina 35: Bird Of Paradise bloem, ©Flectofin  
Pagina 35: Flectofin-toepassing als zonnewering, ©Flectofin  
Pagina 35: Pax impeller, PaxWater  
Pagina 36: Entropy, ©InterfaceFlor  
Pagina 36: Schets achterzijde schip, ©Ofoil  
Pagina 36: Walvisvin, <http://mrg.bz/B3PdxN>  
Pagina 37: Vogelnest, <http://www.sxc.hu/photo/762874>  
Pagina 37: Haynest-product, ©Haynest  
Pagina 38: Wat vogels zien, ©Ornilux  
Pagina 38: Wat mensen zien, ©Ornilux  
Pagina 39: Haai, Sharklet  
Pagina 39: Detail haaienhuid, Sharklet  
Pagina 39: Walvisvin, mrmooorey







### Enschede

M.H. Tromplaan 28  
Postbus 70000  
7500 KB Enschede  
Tel. (053) 487 11 11



### Deventer

Handelskade 75  
Postbus 501  
7400 AM Deventer  
Tel. (0570) 603 663



### Apeldoorn

Kerklaan 21  
Postbus 10120  
7301 GC Apeldoorn  
Tel. (055) 527 57 57

ISBN/EAN: ISBN/EAN: 978-94-6213-000-5

Titel: Biomimicry; biologie als ontwerp- en innovatietool

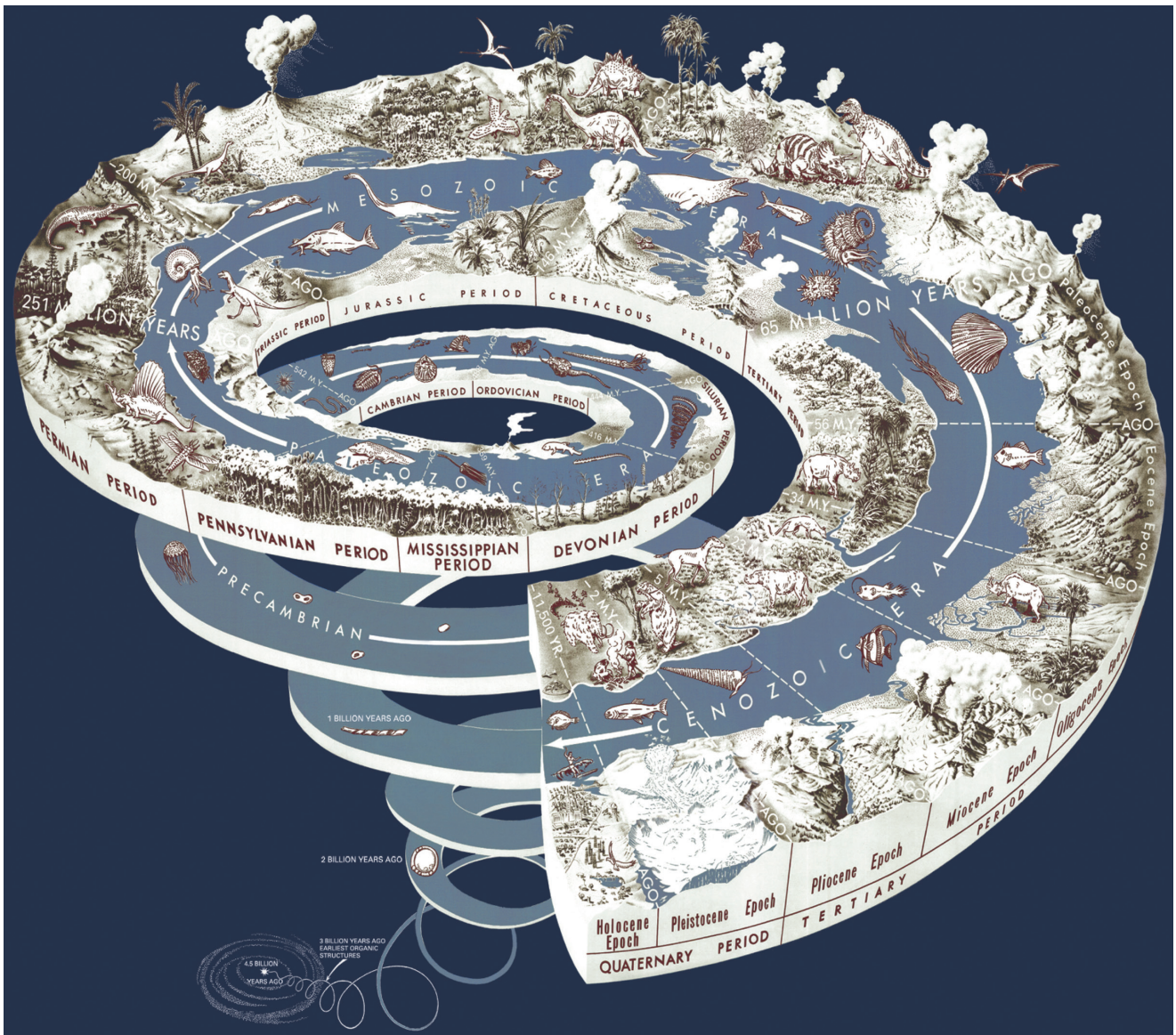
Auteur: drs. Annette E. Schumer-Huurman

Uitgever: Saxion Kenniscentrum Design en Technologie /  
Innovatief Materialen Platform Twente (IMPT)

Datum: december 2012

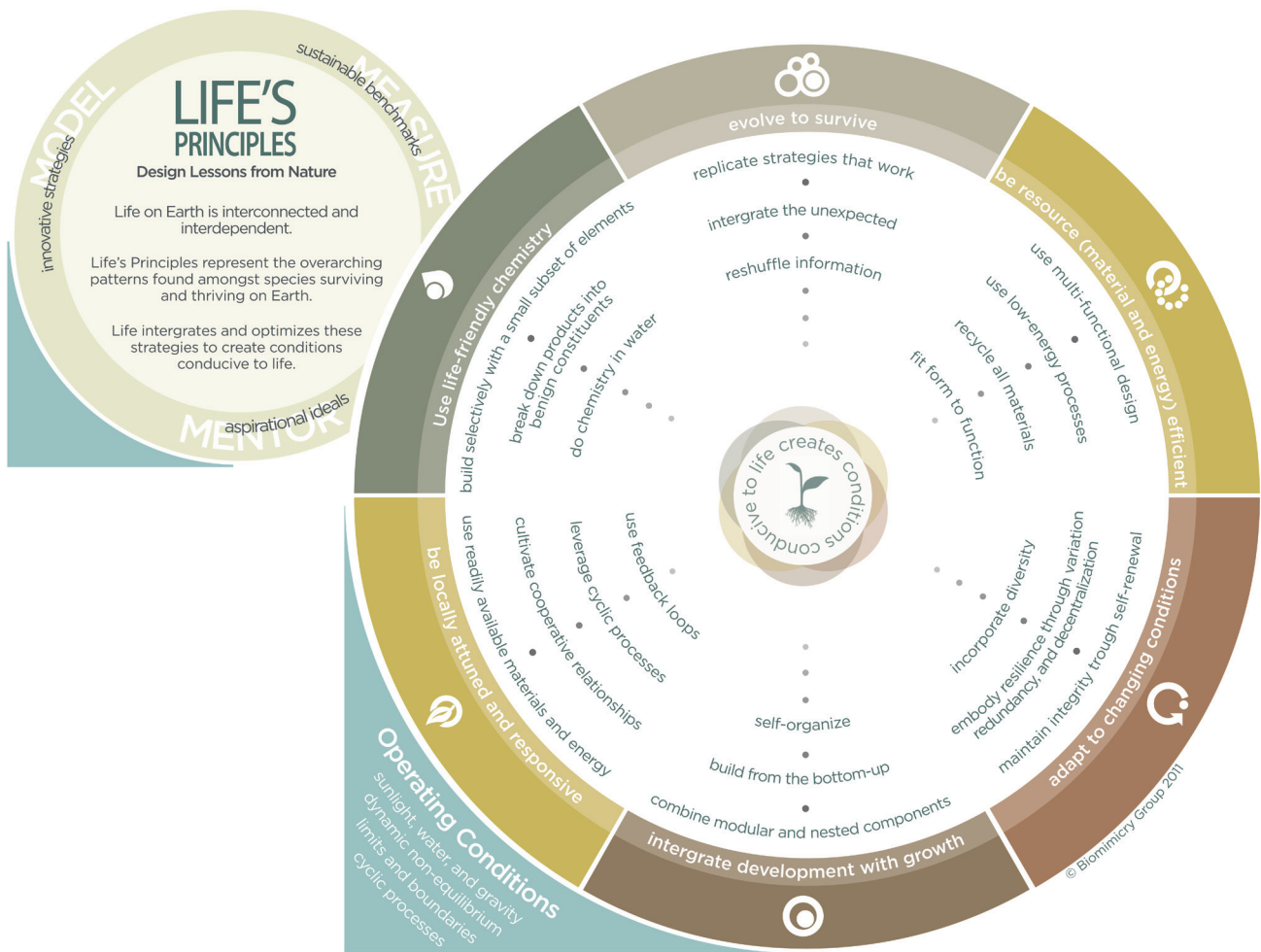


[saxion.nl/impt](http://saxion.nl/impt)



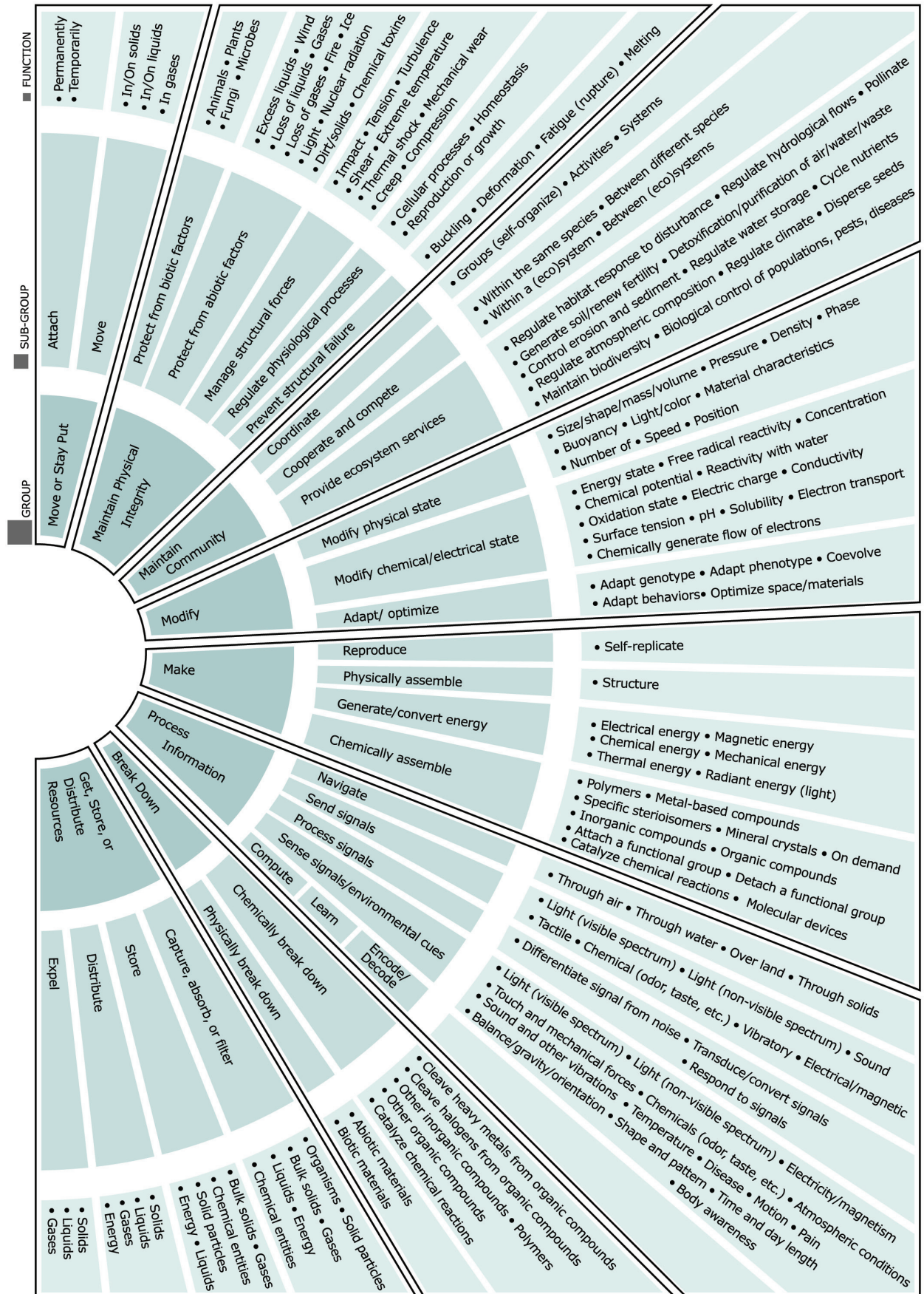
Afbeelding pagina 6, geologische tijdsdraai

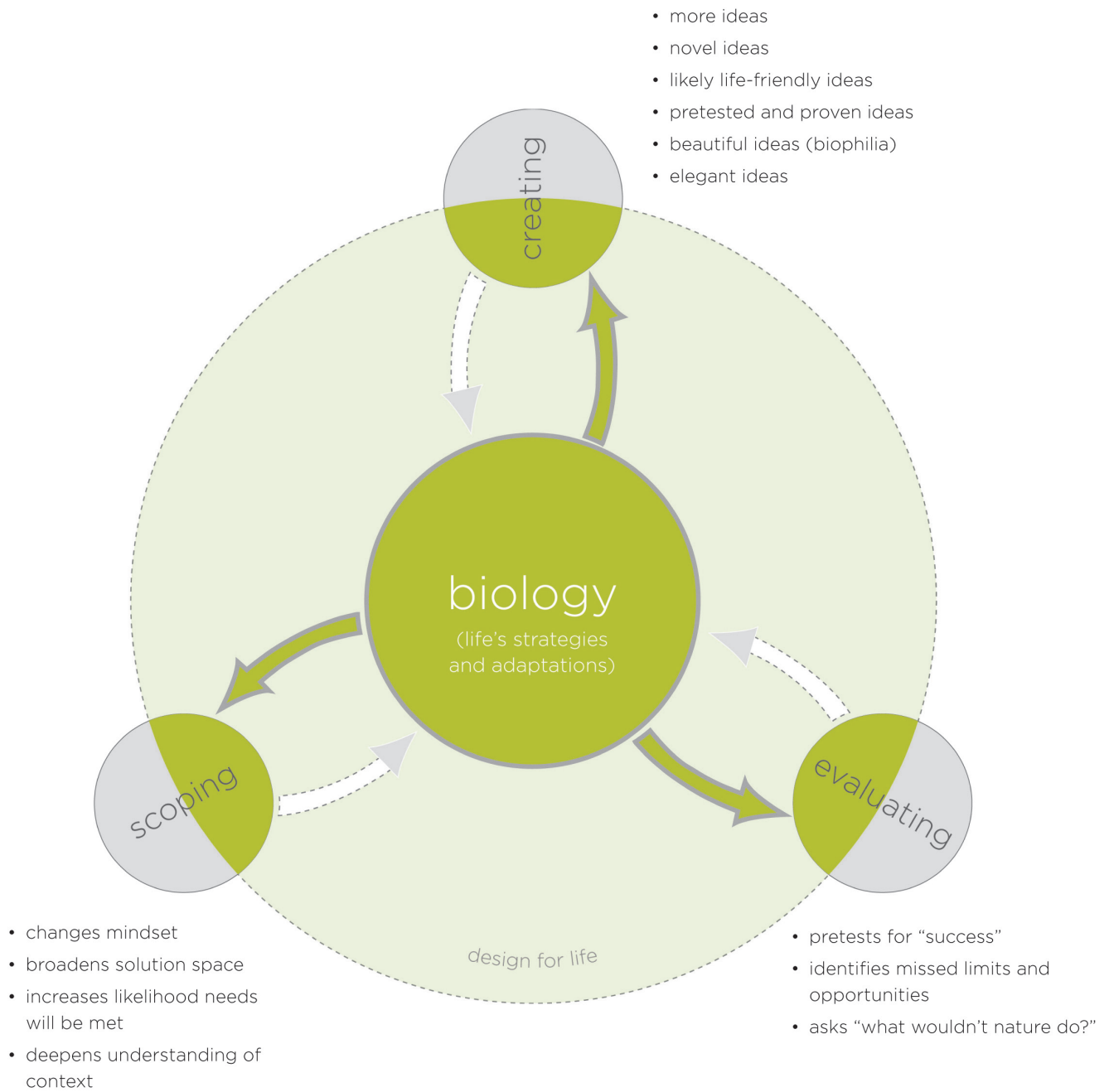




Afbeelding pagina 20, Life's Principles

# BIOMIMICRY TAXONOMY





**Afbeelding pagina 29, Scoping, creating, evaluating (IBC spiral)**