

# **Biomimetiek: de natuur als voorbeeld voor technologie**

## **2. Gegevens lesmateriaal**

Vak: Technologie

Sector: havo/vwo

In een korte reeks van opdrachten worden vakdomeinen, denkwijzen en werkwijzen met elkaar verbonden aan de hand van onderwerpen uit de biomimetiek.

Er is geen specifieke voorkennis vereist.

Deze opdracht komt niet uit een methode. Er bestaat wel enig lesmateriaal over biomimetiek.

## **3. Integrale doelen**

Leerlingen leren hoe inzicht in het gebruik van de natuur als inspiratiebron voor ontwerpers verkregen kan worden door het stellen van vragen naar patronen, naar modelgebruik, naar oorzaak-gevolg relaties, enzovoorts. en deze inzichten samen met vakinhouden te gebruiken om aanpassingen of nieuwe toepassingen te bedenken.

## **4. Werkwijzen, vakinhouden, denkwijzen**

Vakdomein: Klittenband: functie van verbinden (losneembaar) (8); Robotzwermen: feedback (10); informatiebegrippen (13); van ambachtelijke naar massaproductie (17); eigenschappen licht en geluid (9); Stroomlijning: rendement (5); belangrijke technologische ontwikkelingen transport (14); invloed techniek op maatschappij (19); Hoogbouw: materiaaleigenschappen (2); veiligheidsnormen (16); invloed maatschappij op techniek (20)

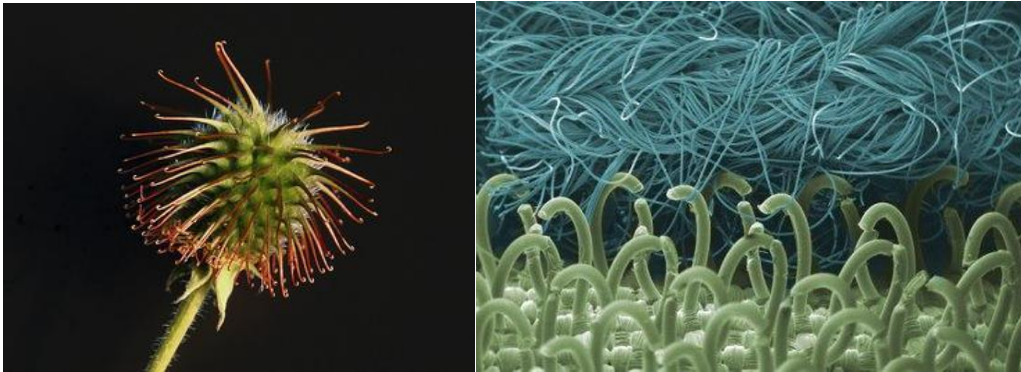
Werkwijzen: Klittenband: ontwerpen, redeneervaardigheden; Koepels: beoordelen; Robotzwermen: redeneervaardigheden (middel-doel); beoordelen; Stroomlijning: modelgebruik en –ontwikkeling; wiskundige vaardigheden ; Hoogbouw: informatievaardigheden (schema lezen)

Denkwijzen: Klittenband: structuur en functie; Koepels: patronen; Robotzwermen: systemen en systeemmodellen; Stroomlijning: schaal, verhouding en hoeveelheid, structuur en functie, duurzaamheid; Hoogbouw: oorzaak en gevolg, stabiliteit en verandering, behoud, transport en kringlopen, risico's en veiligheid.

## 5. Leerlingopdracht

Ingenieurs gebruiken bij het bedenken van nieuwe producten steeds vaker de natuur als inspiratiebron. We noemen dat: bio-mimetiek (letterlijk: het nadoen van de levende natuur). In de natuur vinden we veel voorbeelden van ontwerpen, die een zeer goede oplossing bieden voor een praktische behoefte, zoals voortbewegen, communiceren en samenwerken, bescherming bieden, en verbindingen maken. In dit lesmateriaal vinden we voorbeelden uit een aantal belangrijke toepassingsgebieden in de technologie: transport, communicatie, bouwwerken en productie. Je gaat die voorbeelden onderzoeken door er allerlei vragen bij te stellen (bijvoorbeeld: zie ik een patroon, is er een oorzaak-gevolg relatie). Ook ga je zelf verbeteringen van ontwerpen bedenken of iets heel nieuws ontwerpen. De eerste drie opdrachten zijn voor iedereen; de daarop volgende opdrachten zijn verrijkingsstof, voor wie er aan toe komt.

## 1. Klittenband



Figuur 1a. Oppervlak van de klittenplant

Figuur 1b. Oppervlak van klittenband

Met klittenband kun je twee oppervlakken aan elkaar verbinden, maar ook weer gemakkelijk de verbinding losmaken. Er zijn allerlei situaties waarin dat handig is. Steeds als je maar voor een poosje iets aan elkaar wilt hebben, en daarna weer uit elkaar, is klittenband een mogelijke verbinding. Klittenband behoort tot de zogenaamde *losneembare verbindingen*. Ook in de natuur komt het voor dat een verbinding er maar tijdelijk moet zijn. Dat is bijvoorbeeld het geval bij de klittenplant. Die verspreidt zijn zaad door het in te pakken in een bol met haakjes. Door die haakjes hecht de klit zich aan bijvoorbeeld een dier dat er met zijn huid langs schuurt. Maar na een poosje moet de klit weer losraken, anders komt het zaad niet in de grond. Ook hier is dus een tijdelijke verbinding nodig. Klittenband is een voorbeeld van biomimetiek, omdat het is 'afgekeken' van de (plant).

1. Beantwoord nu enkele vragen over de relatie tussen structuur en functie bij de klittenplant en bij klittenband.
  - Bekijk figuur 1a. Je ziet daar het oppervlak van de klit. Hoe ziet de structuur van dat oppervlak er uit?
  - Uit welke onderdelen bestaat die structuur?
  - Hoe hangen die onderdelen met elkaar samen?
  - Beredeneer waarom juist deze vorm het mogelijk maakt om een losneembare verbinding te maken.
  - In figuur 1b zie je het oppervlak van klittenband. Het klittenband is gemaakt van ander materiaal dan de klit. Zoek op van welk materiaal. Laat zien dat door die materiaalkeuze het ontwerp ten opzichte van de klit nog kon worden verbeterd om de functie nog beter te kunnen vervullen.
2. Waar wordt deze verbinding vorm zoal gebruikt? Geef tenminste drie voorbeelden. Leg uit waarom in die situatie deze verbinding zo geschikt is.
3. Bedenk zelf nog een andere mogelijke toepassing van klittenband. Laat weer zien waarom die verbinding juist voor die toepassing zo geschikt is.
4. Zou je aan de structuur van het oppervlak van het klittenband ten opzichte van de plant nog meer kunnen veranderen zodat met die structuur de verbinding functie nog beter vervuld kan worden? Zou je er bijvoorbeeld iets aan kunnen doen dat klittenband na langdurig gebruik niet goed meer 'pakt'? Beredeneer waarom jouw ontwerp beter is dan het huidige klittenband.
5. Neem twee stukken klittenband en plak ze op elkaar. Meet met een veerunster welke kracht er voor nodig is om de verbinding weer los te krijgen. Wat betekent dat voor de maximale belasting die er op de verbinding mag staan? Vergelijk die kracht eens met andere situaties (welk gewicht kun je er bijvoorbeeld mee optillen?). Zal er bij toepassing op een kledingstuk snel zo'n grote kracht optreden? Wanneer bijvoorbeeld?

## 2. Koepels



Figuur 2. Een koepelgebouw in Roskilde, Denemarken

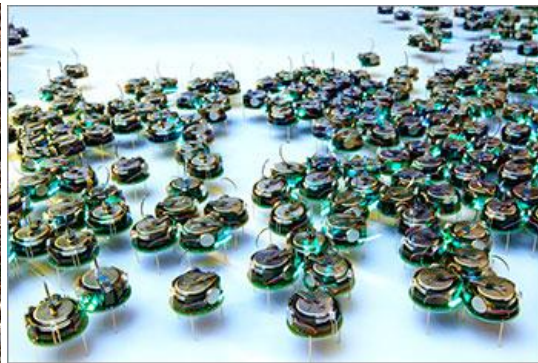
In figuur 2 zie je een koepel die in de plaats Roskilde, in Denemarken, staat. De vorm is opmerkelijk vanwege het patroon dat er in zit. Er zijn verschillende voorbeelden van echte koepels die zo'n zelfde patroon bevatten. Waarom kiezen architecten voor zo'n patroon?

6. Beantwoord de volgende vragen over het patroon in de koepel van figuur 2a.
  - Welke regelmaat zie je in de koepel?
  - Lijkt die regelmaat op patronen die je in de natuur tegenkomt?
  - Wat is het basiselement in het patroon?
  - Tot welke groep wiskundige figuren behoort het basiselement in het patroon?
  - Waar zie je afwijkingen in het patroon?
  - Hoe zijn de afwijkingen te verklaren? Waarom is het niet handig om het patroon daar te laten doorlopen?
  - Hoe zou de figuur er uit zien als die helemaal volgens het patroon was afgemaakt? Welke bekende toepassing is er daarvan?
7. Niet voor niets hebben architecten dit patroon van de natuur overgenomen. Zoek op waar de koepel voor bedoeld was. Wat is het voordeel van dit patroon voor de toepassing in de koepelstructuur? Beredeneer dat die structuur goed past bij de functie van de koepel. Zoek naar voorbeelden in de natuur, waar diezelfde structuur voorkomt. Welke functie wordt er daar mee gerealiseerd?
8. Zoek voorbeelden van andere koepels die door bekende architecten ontworpen zijn. Worden ook andere patronen gebruikt dan dat in figuur 2? Wat zijn voor- en nadelen van die andere patronen ten opzichte van dat in figuur 2?

### 3. Robotzwermen



Figuur 3a. Een mierenzwerm



Figuur 3b. Een zwerm robotjes

In figuur 3a zie je een zwerm mieren. Zo'n zwerm is iets heel wonderlijks. Met z'n allen voeren de mieren allerlei taken uit, maar er is geen enkele mier de baas. Zonder dat ze 'van bovenaf' orders krijgen, weten de mieren op de een of andere manier precies wat ze wanneer moeten doen om met z'n allen hun taak uit te voeren. Dit heeft de belangstelling van ingenieurs getrokken. Kunnen wij dat nabootsen door een groot aantal kleine robotjes te maken die samen een taak uitvoeren (bijvoorbeeld het maken van een product) op dezelfde verbluffend efficiënte manier als waarmee de mieren dan doen? Als meerdere onderdelen samen een functie vervullen, spreek je van een systeem. Hoe gek het misschien ook mag klinken, maar in die zin is de mierenzwerm dus een systeem.

9. Beantwoord nu de volgende vragen over de mierenzwerm als een systeem en de manier waarop je dat met robotjes kunt nabootsen.
  - Uit welke onderdelen bestaat het mierenstelsel (met andere woorden: wie vormen de mierenzwerm)?
  - Hoe hangen die onderdelen samen? Met andere woorden: wat verbindt de mieren met elkaar (anders gezegd: hoe communiceren de mieren met elkaar)? Zoek het eventueel op, als je het zelf niet weet.
  - De mieren wisselen dus voortdurend informatie met elkaar uit. In welke vorm (signaal) gebeurt dat? En via welk medium wordt die informatie doorgegeven? Ook dit kun je opzoeken. Leg op grond van eigenschappen van de signaalform uit wat voordelen van die manier van informatieoverdracht zijn in deze situatie.
  - Neem nu een afzonderlijke mier. Die is met iets bezig maar heeft ondertussen contact met de omringende mieren en met de verdere omgeving. Steeds past de mier zijn gedrag aan afhankelijk van wat hij de andere mieren ziet doen en wat er daar buiten gebeurt. Het steeds aanpassen van een proces (hier: wat de mier doet) op basis van input van buiten af (wat andere mieren doen of wat er buiten de mieren om gebeurt), die door het systeem zelf wordt veroorzaakt (de activiteiten van de mieren heeft gevolgen voor de omgeving), noemen we terugkoppeling of feedback. Wat zou er met het mierenstelsel gebeuren als er geen terugkoppeling was?
10. In figuur 3b zie je een zwerm robots. Bedenk toepassingen waar je een zwerm robots beter kunt gebruiken dan één grote robot. Beredeneer waarom een zwerm in dat geval beter werkt.
11. Ingenieurs hopen dat ze zulke robotzwermen ook zo zullen kunnen maken dat ze in geautomatiseerde productie ingezet kunnen worden. Bij geautomatiseerde productie hoeven mensen niet meer de energie te leveren zoals bij handmatige productie en ook niet meer voortdurend de informatie zoals bij machinale productie (bijvoorbeeld als je een plank met een cirkelzaag doorzaagt, waarbij je zelf steeds moet sturen). Je hoeft slechts eenmaal aan het

begin de robots te programmeren en dan gaat alles verder vanzelf. Geautomatiseerde productie vinden we onder meer in de autoindustrie. Zoek op hoe auto's eerst met de hand gemaakt werden en later machinaal. Wat zijn voor- en nadelen van geautomatiseerde productie ten opzichte van die eerdere vormen van productie in het geval van auto's? Bedenk nu hoe je een zwerm robots zou kunnen inzetten bij de productie van auto's. Wat voor voordelen zou dat opleveren ten opzichte van de robots die nu gebruikt worden? Kijk ook eens op Internet om antwoorden op die vraag te vinden. Wat kan zo'n zwerm dat die huidige robots niet kunnen?

12. Hoe zouden de robots in een zwerm met elkaar communiceren? Welke signaalvorm en welk medium wordt daarbij gebruikt? Waarom is dat zo gekozen en niet de manier waarop de mieren met elkaar communiceren. Beredeneer dat aan de hand van de eigenschappen van licht en/of geluid.

## Verrijkingsmateriaal

### 4. Stroomlijning



Figuur 4. De kogelvis als inspiratiebron voor de bionische auto van Mercedes-Benz

Vissen moeten bij het voortbewegen meer weerstand overwinnen dan vogels, wan water is veel dichter dan lucht. Daarom is een goede stroomlijning bij vissen erg belangrijk. Door die stroomlijning kost het minder energie om door het water voort te bewegen. Energie besparen vinden we tegenwoordig ook heel belangrijk in de technologie. Bij het ontwerpen van auto's wordt ook gestreefd naar een goede stroomlijning om zodoende straks met minder brandstof dezelfde afstand te kunnen afleggen. Met dezelfde energie meer kunnen doen betekent: een beter rendement. De ontwerpers van de bionische auto van Mercedes-Benz hebben de kogelvis als inspiratiebron gebruikt. In figuur 4 zie je het proces dat ze doorlopen hebben. Linksboven zie je de kogelvis. Daarnaast zie je het model dat de ontwerpers van de kogelvis gemaakt hebben. Rechtsboven zie je een eerste ontwerp voor de auto op basis van het model van de kogelvis. Dat ontwerp is omgezet in een model dat in de windtunnel getest kan worden op luchtweerstand (het plaatsje linksonder). Op basis van de uitkomsten is een prototype van de auto gemaakt (het plaatje midden onder) en nadat die getest was op allerlei andere aspecten (bijvoorbeeld rijgedrag) is de definitieve auto in productie genomen (het plaatje rechtsonder).

13. Beantwoord nu de volgende vragen over het model dat de ontwerpers van de kogelvis gemaakt hebben.
  - Wat zijn de overeenkomsten en verschillen tussen het model van de vis en de vis zelf? Met andere woorden: welke aspecten van de vis hebben de ontwerpers opgenomen in het model en welke niet. Leg uit waarom die keuzen gemaakt zijn met het oog op de functie van het model, namelijk het dienen als voorbeeld voor het ontwerp van de auto.
  - Hoe zou het model er anders uitgezien hebben als het model voor een andere functie gemaakt was (bijvoorbeeld om te onderzoeken hoe de vis voortbeweegt)?
14. Beantwoord nu de volgende vragen over schaal, verhouding en hoeveelheid bij het model dat de ontwerpers van de auto maakten om te testen in de windtunnel. Twee verhoudingen zijn verschillend bij het model en bij de echte auto: die tussen volume en oppervlak van de auto en het model, en die tussen de grootte van de luchtdeeltjes en de grootte van de auto en het model.

- Stel dat alle afmetingen van de auto tien keer zo groot zijn als van het model. Hoeveel keer zo groot is dan het oppervlak? Hoeveel keer zo groot is dan het volume? Hoe verandert dus de verhouding tussen die twee? Heeft dat invloed op de uitkomsten van de test in de windtunnel?
- Hoe verandert bij diezelfde schaal van het model de verhouding tussen de afmetingen van het model, respectievelijk de auto, en de afmetingen van de luchtdeeltjes die langs de auto scheren bij het voortbewegen? Heeft dat invloed op de uitkomsten van de test in de windtunnel? Leg uit dat de test niet helemaal 'eerlijk' is.

15. Beantwoord nu de volgende vragen over duurzaamheid.

- Laat zien dat auto's in de loop van de tijd meer duurzaam gemaakt zijn door eerst te kijken naar de stroomlijning, vervolgens naar de brandstof en verbranding en daarna naar de soort van motor. Wat waren belangrijke stappen in dat proces van 'verduurzaming' van auto's? Welke actoren (mensen, organisaties, bedrijven) waren daarbij de hoofdrolspelers? Wat was hun rol?
- Zoek op of er internationale afspraken zijn die voor auto-ontwerpers van belang zijn? Zijn er ook internationale afspraken met betrekking tot het duurzamer maken van auto's?
- Waarom wordt een auto dubbel duurzamer als je met minder brandstof dezelfde afstand kunt afleggen? Bedenk dat je de brandstof zelf ook in de auto moet meenemen. Waarom is het daarom belangrijk dat accu's van elektrische auto's lichter worden?



## 5. Hoogbouw



Figuur 5a. Een mangroveboom

Figuur 5b. Gebouw Skygrove



Figuur 6a. Bamboe

Figuur 6b. Het gebouw van de Bank of China in Hong Kong

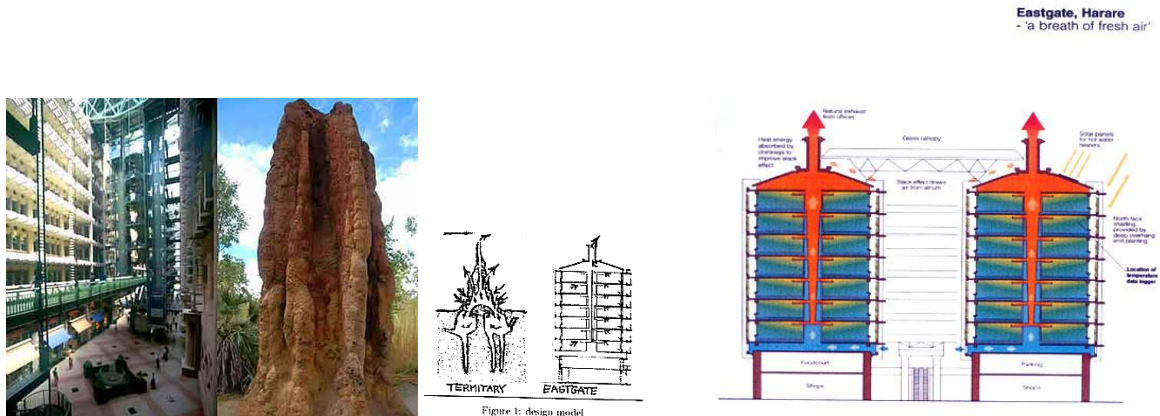
We zagen al eerder, bij de koepelconstructie, dat ook architecten de natuur nabootsen. In figuur 5b zie je het gebouw Skygrove van het HWKN architectenbureau. Het ontwerp – dat overigens tot op heden niet is uitgevoerd - is gebaseerd op de mangroveboom, die breed vertakte wortels heeft (die zie je in figuur 5a). Daardoor kan die boom niet gemakkelijk door de wind omgeblazen worden. In figuur 6b zie je het gebouw van de Bank of China in Hong Kong. Het ontwerp van dat gebouw is geïnspireerd door de bamboeplant met zijn lichte en sterke stengels (figuur 6a). Door de open structuur van bamboe is het sterk zodat het hoog kan groeien, en tegelijk flexibel zodat het met de wind mee kan bewegen en niet knakt. Dat is ook bij skyscrapers belangrijk: ze moeten een beetje met de wind mee bewegen omdat er anders scheuren en barsten in komen. Bovendien moet het gebouw zo licht mogelijk zijn om niet te zwaar op de bodem te drukken; anders zou het wegzakken.

16. Beantwoord nu de volgende vragen over stabiliteit en verandering

- Van welk soort evenwicht is sprake bij de Skygrove (waar ligt het zwaartepunt ten opzichte van het kantelpunt)?
- Welke manier om stabiliteit te vergroten is hier gebruikt (afgekeken van de mangroveboom)?
- Geef voorbeelden van andere producten, waarbij die manier ook is toegepast. Waarom was stabiliteit in die situatie belangrijk?
- Bij de Bank of China blijft het zwaartepunt redelijk recht boven het kantelpunt omdat niet het hele gebouw scheef wordt getrokken door de wind. Het buigt mee. Het gaat daardoor wel zachtjes heen en weer zwaaien. Het maakt een soort slingerbeweging om de stabiele stand (helemaal rechtop) heen.

Zoek voor een willekeurige skyscraper waarvan die gegevens bekend zijn op in welk tempo dat gaat. Zoek ook op waarom dat tempo belangrijk is voor de mensen die bovenin dat gebouw werken.

- Wat bepaalt dat tempo en hoe kun je dus in het ontwerp dat tempo bepalen? Waarom is de bamboestengel ook hier een inspirerend voorbeeld geweest voor de architect?
17. De combinatie van licht en sterk is niet alleen bij gebouwen belangrijk. Bedenk voorbeelden uit de technologie, waarbij die combinatie ook door de ontwerpers wordt nagestreefd. Kies één zo'n voorbeeld en bedenk hoe ook daar de bamboestengel als voorbeeld zou dienen (of misschien kun je laten zien hoe de ontwerpers dat al gedaan hebben).
18. We weten dat skyscrapers ongelukken kunnen veroorzaken. Soms vallen er stukken van de wand naar beneden. Ook is er het gevaar dat brand uitbreekt en dat mensen bovenin het gebouw niet tijdig weg kunnen komen. Beantwoord nu de volgende vragen over risico's en veiligheid
- Wat is er in het ontwerp van een skyscraper aan gedaan om ervoor te zorgen dat het risico van mensen die bij brand niet kunnen ontsnappen zo klein mogelijk is?
  - Natuurlijk kun je niet alles voorkomen omdat elke veiligheidsmaatregel het gebouw duurder maakt. Wie bepaalt welke risico's aanvaardbaar zijn, gegeven de kosten?
  - Wat wordt er aan gedaan om de gebruikers van het gebouw te wijzen op risico's en op hun mogelijkheden om bij te dragen aan het verminderen van de gevolgen van een eventuele brand?



Figuur 7a. Het Eastgate Centre en een termietenheuvel      Figuur 7b. Schema van het Eastgate Centre

In een gebouw gaat heel wat lucht en warmte om. Hoe hoger het gebouw, hoe meer energie nodig is om de circulatie van warmte en verse lucht in stand te houden. De natuur heeft dat soms heel efficiënt opgelost. In een termietenheuvel bijvoorbeeld. Het Eastgate Centre (figuur 7a links) in de stad Harare in Zimbabwe is ontworpen door goed te kijken naar hoe de luchtcirculatie in een termietenheuvel (figuur 7a rechts) geregeld is. In figuur 7b zie je in een schema hoe de luchtcirculatie in het gebouw werkt. In het plaatje in het midden zie je de vergelijking tussen de termietenheuvel en het Eastgate Centre getekend.

19. Beantwoord de volgende vragen over transport en kringlopen van energie en materie, en over oorzaak en gevolg.
- Leg uit dat de lucht die door het gebouw circuleert twee functies heeft, één die betrekking heeft op materie, en één die betrekking heeft op energie.
  - Leg uit dat het voor het warm houden van een gebouw voordeliger is om zo veel mogelijk van de lucht in het gebouw te houden, maar dat er tegelijk nodig is om genoeg verse lucht binnen te laten en 'oude' lucht af te voeren.
  - Leg aan de hand van figuur 7b uit hoe dat geregeld is bij de termietenheuvel. Kijk eventueel op Internet voor extra informatie. Wat betekenen de kleuren in de figuur? Wat veroorzaakt de luchtcirculatie? Wat maakt dat ontwerp zo aantrekkelijk om na te bootsen in gebouwen?

- Veranderingen in het ontwerp hebben gevolgen voor de werking. Dat geldt ook voor gebouwen. Stel dat je het gebouw ook van hetzelfde materiaal zou maken als de termietenheuvel. Welke gevolgen zou dat hebben voor het functioneren van het gebouw? Waarom zou het niet verstandig zijn om ook in dat opzicht de natuur na te bootsen?

## **6. Lesopzet/docenthandleiding**

Er is voor deze opdrachten geen specifieke voorkennis nodig.

Bij de lesvoorbereiding is het goed om achtergrondinformatie bij de voorbeelden te bekijken. Bronnen hiervoor zijn:

Robert Allen – Kogelvrije veren (boek)

Dat willen wij ook (VPRO documentaires op Youtube)

Janine M. Benyues – Biomimicry. Innovation inspired by Nature (boek)

Doel van de opdrachten is om leerlingen te leren hoe inzicht in het gebruik van de natuur als inspiratiebron voor ontwerpers verkregen kan worden door het stellen van vragen naar patronen, naar modelgebruik, naar oorzaak-gevolg relaties, enzovoorts. Om deze vragen te kunnen beantwoorden zijn vakbegrippen nodig, die in de kennisbasis staan. In een aantal deelopdrachten worden leerlingen uitgedaagd om deze manier van analyseren te gebruiken om tot verbeterde of nieuwe ontwerpen te komen en daarbij worden verschillende vaardigheden uit de kennisbasis aangesproken.

De rol van de docent is vooral coachend bij het zoeken naar informatie. Daarom is een goede voorbereiding belangrijk. Veel vragen kunnen alleen beantwoord worden door informatie te zoeken op Internet en leerlingen zullen hierbij waarschijnlijk enige begeleiding nodig hebben.

De leerlingactiviteiten zijn vooral analyserend, maar soms ook onderzoekend en ontwerpend. Bij de opdracht over klittenband is materiaal nodig (klittenband en veerunsters).

De toetsing kan plaatsvinden door de laatste deelopdracht achter de hand te houden of een ander voorbeeld van biomimetiek (zie de bronnenlijst) te gebruiken.

NB: de gebruikte illustraties zijn van Internet gehaald en beschermd. Vermenigvuldiging is dus alleen toegestaan voor intern gebruik.

## **7. Aanvullende suggesties**

Per onderdeel is in het materiaal al vrij uitputtend aangegeven welke vakinhouden en denk- en werkwijzen er in gebruikt worden.