Natuurlijke lichtshow

Bioluminescentie

Jouw Energie van Morgen

www.jouwenergievanmorgen.nl

rijksuniversiteit groningen

GasTerra

Colofon
Tekst en tekstredactie:
Kim Veenman, Luuk van der Veen
Illustraties pagina's 5, 7, 10 en 11:
Henk Huizenga
Foto's:
Studio Roosegaarde (pagina's 8 en 9),
Arjan Pruim (pagina 12, 13)
Theo Jurriens (achterpagina),
iStockphoto (andere beelden).
Vormgeving:
Henk Huizenga

Hoe vuurvliegjes en diepzeevissen oplichten door bioluminescentie

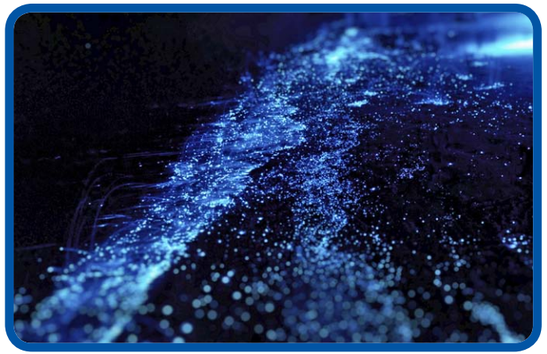
De natuur zit vol met organismen die flonkeren, gloeien, flitsen, glitteren en knipperen in het donker. Van sprookjesachtige vuurvliegjes tot lichtgevende paddenstoelen, glimmende wormen en schitterende algen. Bioluminescentie (biologisch licht) is overal. Maar hoe werkt dit precies? Wat is de functie en hoe gebruikt de mens deze biologische lichtshows?

Je hebt ze vast wel eens gezien; flonkerende vuurvliegjes of een lichtgevende gloeiworm. Misschien heb je zelfs ooit 's nachts door de zee gelopen en zag je hoe het water oplichtte. Dit zijn allemaal vormen van biologisch licht. Met een iets moeilijker woord noemen we dit 'bioluminescentie'. Dat verschijnsel komt in de natuur niet heel veel voor. Eigenlijk maar bij enkele organismen. Maar áls ze eenmaal stralen, is het een betoverend gezicht. Het zijn vooral schimmels, algen, bacteriën, koralen, planten, paddenstoelen en vissen die een natuurlijke lichtshow geven.

In de spotlights

Flonkerende zeevonk

Wie 's avonds een stukje gaat zwemmen in zee op een heldere zomernacht, kan zo ineens in toverachtig, sprankelend water belanden. Hoe dit kan? Het zijn algen die als kleine lantaarntjes oplichten in het water. De grootste lichtschieter onder de algen is de zeevonk: een algje zo groot als een speldenknop, met een tentakeltje en een zweephaar. Overdag kleuren ze de zee zwak rood, maar in het donker geven ze een fantastische voorstelling. Vooral als je het water beweegt, geven ze lichtvonken, want dan komt er extra zuurstof vrij. Die zuurstof zorgt ervoor dat in de zeevonk een chemische reactie plaatsvindt waarbij licht ontstaat.
Ook voetafdrukken in het natte zand lichten op deze manier fel op.

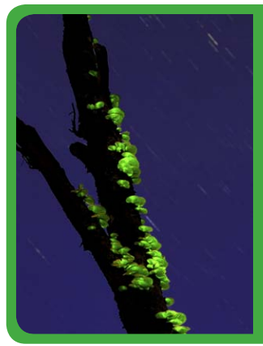


De zaklantaarnvis

Er bestaat een vreemde diepzeevis die onder z'n ogen een soort lampjes heeft. Deze lampjes zijn kleine blaasjes, gevuld met licht-gevende bacteriën. Moet het licht uit, dan doet zo'n zaklantaarnvis simpelweg een soort ooglid dicht. Hij heeft ook een neefje, de lantaarnvis. Die is nog vreemder: uit zijn kop groeit een lange hengel, met aan het eind een bungelend lampje. Hiermee lokt hij visjes, die hij – als ze eenmaal dichtbij zwemmen - in één hap opslokt.
Beide vissen leven op kilometers diepte, waar het vrijwel altijd donker is. Wie hier leeft, moet z'n eigen licht maken. Er zwemmen dan ook tal van andere bizarre gedrochten rond, waarvan naar schatting 90% een bioluminescent lantaarntje heeft. Veel van die lampjes werken met bacteriën. Soms komen deze bacteriën los, bijvoorbeeld als een vis sterft of rot. Vissers die in het donker vissen, maken hier soms gebruik van. Want licht de gevangen vis op? Dan is dat een teken dat er bacteriën zijn losgekomen en is de buit dus niet helemaal vers.

Vurig vliegje en glimmende worm

Niet ieder organisme heeft bacteriën nodig om licht te maken. Insecten kunnen het helemaal zelf.
Zij hebben daarvoor heuse organen die licht kunnen geven. Het vuurvliegje is de meest bekende; met een lichtgevend orgaantje in z'n achterlijf kan het seinen. Vrouwlief heeft nauwelijks vleugels en wordt daarom glimworm genoemd. Ook zij heeft een lichtorgaan en lokt hiermee manlief naar zich toe om te paren. Ook het kroost (de eitjes en larven) licht soms op in het donker.

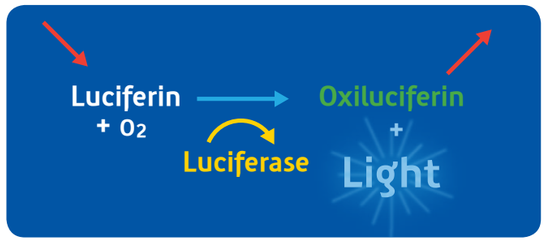


Spookachtige zwammen
Zelfs in onze eigen bossen zijn er kleine, biologische lichtshows. De Echte Honingzwam (Armillaria mellea) en de Lantaarnzwam (Omphalotus illudens) zijn paddenstoelen die oplichten in het donker. Het licht dat ze uitstralen is echter wel erg zwak. Het moet dus wel aardedonker zijn, wil je het kunnen zien.

Hoe het werkt

Hoe krijgen die organismen dat lichtgeven voor elkaar?

Dat is een vraag waarover biochemici zich al tijden buigen. Er blijkt nogal een verscheidenheid aan biochemische reacties te zijn, maar altijd speelt zuurstof een sleutelrol. Onder invloed van enzymen reageert zuurstof door middel van een oxidatie-reactie, waarbij vervolgens licht ontstaat. De meest voorkomende stof die reageert met zuurstof heet luciferine. Onder invloed van het enzym luciferase oxideert luciferine, waarbij energie vrijkomt in de vorm van licht. Enzymen zijn eiwitverbindingen die werken als een biokatalysator, een reactieversneller. Luciferine is een stabiele stof. De reactie vindt dan ook vrijwel nooit spontaan plaats, maar alleen onder invloed van het enzym luciferase. Het bijzondere bij deze reactie is dat luciferine alleen oxideert in het donker. Bij daglicht gebeurt het omgekeerde: er wordt dan juist lichtenergie opgenomen.



Op http://biolum.eemb.ucsb.edu/chem/ zie je in een animatie van deze afbeelding nog beter hoe het werkt.

Waarom die lichtshow?

Ook willen wetenschappers weten waarom organismen oplichten in het donker. Voor de diepzeevissen is het vooral om te jagen en communiceren. Voor de vuurvliegjes is het functioneel bij het paren en ze gebruiken het tegelijk als een signaal: 'ik ben giftig, eet mij niet!'. Weer anderen, zoals inktvissen, gebruiken biochemisch licht om dieren af te schrikken. Door een wolk van lichtgevende stoffen in het water te spuiten, wordt de predator afgeschrikt en kan de intkvis zich snel uit de voeten (of eigenlijk tentakels) maken. De tactiek van de inktvis is weer een andere. De inktvis gebruikt licht als lokaas. Maar waarom bacteriën en de zeevonk oplichten, blijft de vraag. Een theorie voor de bacteriën is dat veel bacteriën niet tegen zuurstof kunnen. Door licht te geven, reageren ze dit –voor hen- dodelijke gas weg. Toch is voor veel onderzoekers nog niet helemaal duidelijk wat de exacte functies van lichtgeven in het dierenrijk zijn.

Slimme kleuren

Bioluminescentie komt in allerlei lichtkleuren voor. In de diepzee produceren de meeste dieren blauw of groen licht, want de straling van deze kleuren dringt het verst door in water. En daarbij kunnen de meeste organismen in zee, zoals diepzeevissen, alleen maar blauw licht zien. Ze beschikken namelijk niet over de pigmenten om de kortere of langere golflengtes waar te nemen, zoals UV- en rood licht. De black dragon maakt hier handig gebruik van, want deze diepzeevis kan als enige wél rood licht zien en uitzenden. Hiermee is de black dragon in het voordeel; met zijn rode licht gaat hij in de duisternis op zoek naar smakelijke hapjes, zonder zelf gezien te worden.

Lightstick-tip: afgekeken van vuurvliegjes

Ze zijn te koop bij feestwinkels, campingzaken en zelfs op kermissen: lightsticks. Pas als je zo'n lightstick knakt, gaat hij lichtgeven. Lightsticks heten ook wel 'breekbuisjes'. Het zijn glazen buisjes met vloeistof. Als je ze breekt, vindt een chemische reactie plaats en ontstaat energie. Deze energie wordt doorgegeven aan een fluorescerende stof die ook in het buisje zit en dan oplicht. Urenlang geeft zo'n stickje licht, tot hij langzaam uitdooft. De chemische reactie is afgelopen en je kunt het stickje weggooien. Of toch niet? Wat niet op de verpakking staat is dat je de lightstick nog prima voor speciale effecten kun gebruiken, zoals bij blacklight in de discotheek. Dan ineens straalt het buisje weer net als eerst. Hoe dit kan? In de lightstick zit een fluorescerende stof, die oplicht onder UV-straling. Al is de chemische reactie afgelopen, deze fluorescente stof zit nog steeds in het buisje. Valt hier UV-licht op uit het blacklight, dan licht deze direct weer op. Het grappige is dat we van de vuurvliegjes hebben geleerd hoe je die fluorescerende stof zónder UV-licht, maar met een chemische reactie doet lichtgeven.

Luminescentie en de mens

Mensen hebben wat luminescentie betreft veel van de natuur afgekeken. We geven een paar voorbeelden.

CSI – bloedsporen aan 't licht

In een slaapkamer van een woning wordt het stoffelijk overschot van een man aangetroffen. Zowel in die kamer als in de gang treft de politie bloedsporen aan. Wat is er gebeurd? Hiervoor schakelt de politie een forensisch onderzoeker in. Die voert sporenonderzoek uit in het huis. Eén van de dingen die deze onderzoeker doet, is kijken of het om echte bloedsporen gaat. Hiervoor gebruikt hij/zij bioluminescentie in de vorm van de stof luminol. Die stof licht namelijk op als het in contact komt met bloed. Het ijzer (Fe^{3+}) in het bloed werkt als katalysator, waardoor al binnen enkele minuten gezien kan worden of het om echt bloed gaat op de plaats delict.

Glowlights voor het leger

Grote lightsticks (net als de breeklichten in de discotheek, maar dan een stuk dikker) worden door het leger gebruikt in geval van nood of om signalen af te geven: bij het breken van de stick ontstaat een lichtsignaal. Ook duikers gebruiken lightsticks om elkaar in donker water te kunnen zien. Het grote voordeel van deze sticks is dat ze ter plekke aan te zetten zijn, geen batterij nodig hebben en urenlang licht blijven geven.

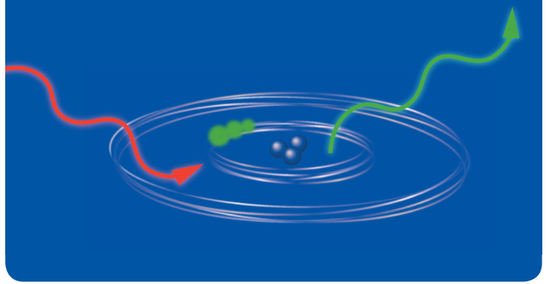
Op http://biolum.eemb.ucsb.edu/chem/ *zie je in een animatie van deze afbeelding nog beter hoe het werkt.*

Andere luminescenties

Bioluminescentie is niet hetzelfde als fluorescentie of fosforescentie. Bioluminescentie is een vorm van chemoluminescentie, waarbij energie wordt verkregen door een chemische reactie. Bij fluorescentie en fosforescentie is daar een lichtbron voor nodig.

Bij fluorescentie wordt energie van een externe lichtbron geabsorbeerd en vrijwel direct weer uitgezonden in een andere, vaak lagere golflengte. Dit werkt via een electron die wordt aangeslagen, waarbij energie in de vorm van licht ontstaat.

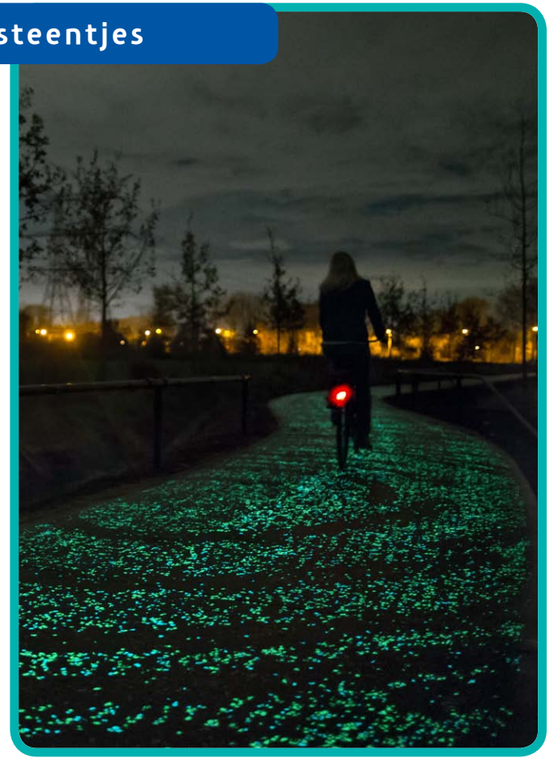
Fosforescentie werkt hetzelfde als fluorescentie, alleen is het uitgezonden licht stabieler. Hierdoor kan er veel meer tijd tussen het absorberen van de lichtbron en het weer uitzenden van het licht zitten. Dit maakt het mogelijk dat het licht uitgezonden kan worden als de oorspronkelijke lichtbron weg is. Fosforescentie is onder andere de basis van glow-in-the-dark-stickers.



Fietspaden met glow-in-the-dark-steentjes

Stel, je fietst in het donker over lichtgevende glow-in-the-dark-stenen. Hoe gaaf is dat?! De Nederlandse ontwerper Daan Roosegaarde bedacht zo'n fietspad. Het ligt bij het Brabantse Nuenen en is 600 meter lang. Het pad heet 'het Van Gogh-fietspad', omdat het de Collse en Opwettense Watermolen verbindt, die beide geschilderd zijn door Vincent van Gogh. Ook bij Meppel ligt een glow-in-the-dark-fietspad dat oplicht in het donker. Dit fietspad, tussen Diever en Dieverbrug, is voorzien van oplichtende schijfjes die als wegmarkering op het fietspad zijn geplaatst. Overdag laden de schijfjes op, 's nachts geven ze licht. De provincie Drenthe test of het fietspad hiermee veiliger wordt. Zo'n glow-in-the-dark-fietspad is een voorbeeld van fosforescentie, een bijzonder geval van luminescentie.

Een filmpje over het Van Gogh pad zie je op:
https://www.studioroosegaarde.net/project/van-gogh-path/



Lichtgevende bomen

Daan Roosegaarde gaat nog een stap verder en wil naast lichtgevende wegmarkeringen ook bomen ontwikkelen die oplichten in het donker. Hiermee wil hij een natuurlijke vervanging maken voor onze straatlantaarns. Hij baseert zijn idee op kleine plantjes die ook licht kunnen geven door bioluminescentie. Industriële ontwerpers zijn ook bezig om lichtgevende kerstbomen te maken. Of de lichtgevende bomen er in de toekomst echt komen? De tijd zal het leren.

In het lab

Wetenschappers gebruiken bioluminescentie voor onderzoek met verschillende doeleinden. Bijvoorbeeld om te testen of een nieuw gen met een bepaalde eigenschap succesvol in een cel is ingebouwd. De wetenschappers maken dan een lichtgevend gen (bijvoorbeeld uit een lichtgevende kwal) vast aan het in te bouwen gen.
Samen gaan deze twee de celkern in. Vervolgens laten de wetenschappers de cel delen of zelfs uitgroeien tot een organisme. Deze leggen ze onder UV-licht. Geeft het licht? Dan is het lichtgevende gen succesvol ingebouwd en is de kans groot dat ook het andere, gewenste gen nu in de cel zit.

Luciferase als marker

Een andere techniek is om via luciferase te kijken of en waar een tumorcel of ziekteverwekker in een lichaam voorkomt. Dit testen wetenschappers op muizen. Het gen voor luciferase wordt dan ingebouwd in het genoom van bijvoorbeeld een tumorcel.
De luciferase zorgt ervoor dat in deze tumorcel specifieke eiwitten worden gemaakt, die onder UV-licht oplichten, net als in een vuurvliegje. Met speciale apparatuur kan het zelfs van buiten de muis zichtbaar worden gemaakt waar zich de tumorcellen bevinden in het diertje. Door deze techniek kunnen we nu in het levende dier tumorgroei en uitzaaiingen volgen of de verspreiding van ziekteverwekkers. Ook voor dierproeven is dit goed nieuws, want vroeger moesten meerdere dieren worden opgeofferd om op verschillende tijdstippen te kijken waar de tumor was uitgebreid. Nu kan dat in één enkel dier.

De proeven in de truck

1. Je eigen lightstick:

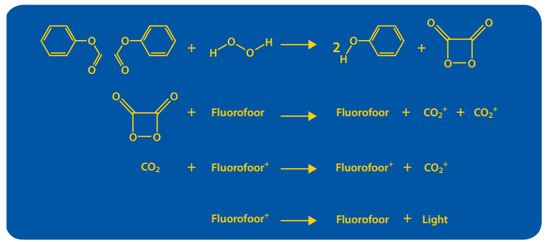
Tijdens de proef in de truck heb je zelf een vorm van chemo-luminescentie toegepast. Door twee oplossingen bij elkaar te doen, ontstond er namelijk energie in de vorm van licht.
Wat gebeurde er ook alweer, welke stofjes reageren en hoe zit dat precies? We zetten het voor je op een rij:

De reactie

Net als bij een lightstick in de discotheek komen er twee stoffen bij elkaar die reageren: stof A en stof B. Bij een lightstick doe je dat door een glazen buisje te breken, waardoor die twee reageren; in de truck voegde je simpelweg stof A bij stof B:

- A = een oplossing van fluorofoor en een oxaalester (een molecuul met twee dubbel gebonden zuurstofatomen)
- B = Waterstofperoxide

Vervolgens vindt de volgende reactie plaats:

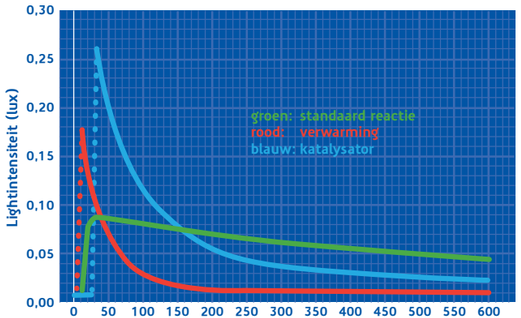


De belangrijkste stappen hierin zijn:

- De oxaalester valt uiteen in twee CO2-moleculen, waarvan één in een aangeslagen toestand.
- Dit aangeslagen CO2-molecuul brengt zijn energie over op de fluorofoor door daar een elektron in aangeslagen toestand te brengen.
- De aangeslagen fluorofoor raakt zijn energie kwijt in de vorm van licht, door een foton uit te zenden.

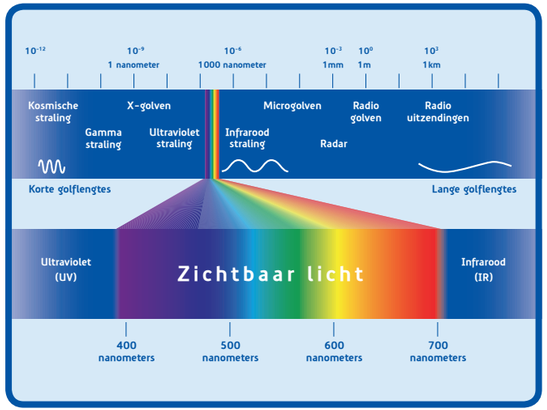
Wat doen warmte en een katalysator?

Als het goed is, zag je dat warmte de reactie versnelde. De stofjes reageerden sneller met elkaar. Dit heeft te maken met de moleculen in de oplossing. Moleculen bewegen namelijk altijd en bij hoge temperaturen bewegen ze harder en sneller. Hierdoor botsen ze meer met moleculen om zich heen en zullen ze dus ook sneller reageren.



Bij de katalysator zag je dat de stoffen meer reageerden en dat de reactie langer duurde. Dat komt omdat een katalysator ervoor zorgt dat de reactie efficiënter verloopt.

2. Demoproef: allemaal kleuren

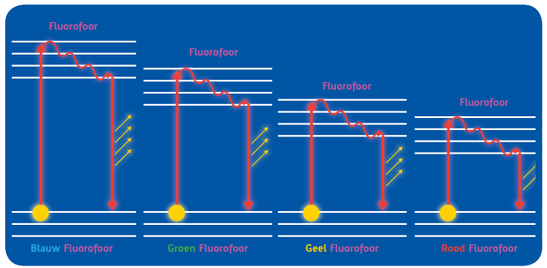


Bij de demoproef zag je verschillende kleuren licht: blauw, groen, geel en rood. Deze hebben allemaal een verschillende golflengte, zoals je in bovenstaande afbeelding ziet: Als de kleuren bij elkaar werden gedaan, mengden de kleuren zich niet tot een mengkleur.
Waarom dat is? Dat komt simpelweg doordat de 'makkelijkste' fluorofoor wordt gekozen.

Alle kleuren bij elkaar: hoe het werkt

Het uiteenvallen van de oxaalester in twee CO2-moleculen zorgt ervoor dat een CO2-molecuul in de aangeslagen toestand komt. Deze brengt zijn energie over op een fluorofoor door daar een elektron in aangeslagen toestand te brengen. De fluorofoor raakt vervolgens zijn energie kwijt in de vorm van licht door een foton uit te zenden. En nu komt het: er zijn verschillende fluoroforen en die bepalen de kleur licht. Bij blauw licht is het verschil in de grond-toestand en aangeslagen toestand van fluorofoor het grootst; bij rood het kleinst. Telkens als de assistent een nieuwe kleur licht wilde, voegde hij/zij een andere fluorofoor toe. Maar welke kleur wordt dan uitgezonden? Dat is de kleur waarvan het de minste energie kost om de fluorofoor aan te slaan. En dat is de fluorofoor waarvan het verschil met de grondtoestand en aangeslagen toestand het kleinst is.

Bij blauw licht is het verschil tussen de grondtoestand en de aangeslagen toestand van het fluorofoor het grootst, bij rood licht het kleinst.



Het Experiment
Breng twee halve pipetten van oplossing A over in een buisje.
Zet het buisje in de opstelling.
Neem één halve pipet van oplossing B.
Start de meting.
Steek de pipet helemaal in de opstelling en voeg oplossing B toe.
Zet nooit een pipet die contact heeft gehad met oplossing A in oplossing B of andersom!

Begrippenlijst

Bioluminescentie: het uitstralen van licht door levende organismen.
Biokatalysator: een biologische reactieversneller.
Chemoluminescentie: het verschijnsel dat bij een chemische reactie energie vrijkomt in de vorm van licht (luminescentie).
Enzym: eiwitverbinding dat een reactie versnelt, zonder daarbij zelf van structuur te veranderen.
Fluorofoor: is een fluorescente chemische verbinding die licht weer opnieuw kan uitstralen.
Katalysator: een stof die de snelheid van een bepaalde chemische reactie beïnvloedt zonder zelf te worden verbruikt. Meestal versnelt de katalysator de reactie.
Oxidatie: een chemisch proces waarbij een stof (de reductor) elektronen afgeeft aan een andere stof (de oxidator). Vaak is dat zuurstof. Een voorbeeld van oxidatie is het roesten van ijzer.
Lightstick: breekbuisje dat door chemoluminescentie licht geeft via een fluorescerende stof.
Luciferase: enzym dat de oxidatie van luciferine versnelt.
Luciferine: eiwit dat betrokken is bij veel bioluminescentie-reacties in de natuur.
Luminol: eiwit dat bij oxidatie licht geeft. Licht op als het in contact komt met bloed.
Pigmentcel: cel in het netvlies, die kleurstof bevat en het licht dat in het oog binnenvalt absorbeert.
UV-licht: afkorting voor ultraviolet licht. Dit is elektromagnetische straling die wij niet kunnen zien.

Meer lezen? Check deze links:
Een boek 'The nature of animal light' door één van de pioniers op het gebied van bioluminescentie-onderzoek kun je hier downloaden:
http://www.gutenberg.org/ebooks/34450

Interessante en heldere website over bioluminescentie (Engelstalig):
http://biolum.eemb.ucsb.edu/

Artikel van Kennislink over de lichtgevende zeevonk:
http://www.kennislink.nl/publicaties/sterren-in-de-zee

Hoe maak je chips
en hoe zorg je ervoor dat ze niet taai worden?

Hoe zijn de sterren ontstaan?

Hoe werkt paracetamol?

Hoe maak je een zonnecel die buigzaam is?

Hoe komt het dat sommige stoffen elektriciteit geleiden
en andere niet?

Hoe gedraagt een insect zich?

Waarom is de Waddenzee zo belangrijk voor het ecosysteem?

Hoe maak je plastic?

Hoe snel stroomt ons bloed
door verschillende bloedvaten?

Wil je antwoorden op deze vragen?
Volg een bètastudie aan de Rijksuniversiteit Groningen!

Natuurwetenschappen & Technologie
Natuurkunde
Technische natuurkunde
Sterrenkunde
Scheikunde
Scheikundige technologie
Wiskunde
Technische wiskunde
Technische bedrijfskunde

Levenswetenschappen
Biologie
Farmacie
Life Science en Technology
Informatica en Cognitie
Informatica
Kunstmatige Intelligentie

Kijk op www.rug.nl/beta-studie

rijksuniversiteit
groningen

Jouw Energie van Morgen