

Ogen in de evolutie

door Kees de Jong, Artis Geologisch Museum

foto's: Artis, Ronald van Weeren, Tekeningen: Annemieke Bunjes

Je kunt je afvragen hoe het mogelijk is dat zo iets moois en ingewikkeld als het oog is ontstaan. Een oog moet helemaal af zijn om goed te functioneren. Tegenstanders van evolutie halen het oog aan als voorbeeld. Een dergelijk ingewikkeld orgaan kan niet in kleine stapjes zijn ontstaan, want een halfgeëvolueerd oog werkt niet. Daarom moet het in één keer zijn ontstaan, geschapen, vinden zij. Toch is er wel degelijk sprake van een evolutie van het zien.

Er zijn in de loop van de evolutie verschillende typen ogen ontstaan. Ogen die uitstekend voldoen en voldeden, ook als er – zoals bij sommige primitieve dieren – nauwelijks sprake is van een oog, maar eerder van een hoop cellen die licht kunnen waarnemen.

Wat zijn de verschillen en overeenkomsten tussen de diverse typen ogen die tijdens de ontwikkeling van het leven zijn ontstaan?

Camera- of lensoog

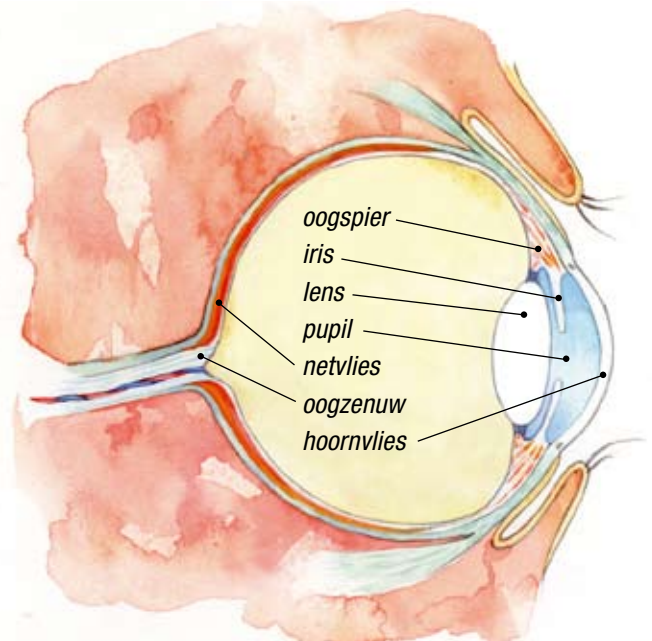
Een lensoog zoals een mensenoog is een verfijnd optisch orgaan dat is opgebouwd uit verschillende onderdelen die samenwerken en de visuele informatie vormen die vervolgens als zenuwsignalen naar de hersenen worden gestuurd. Daar vindt vervolgens de echte beeldvorming plaats. Het menselijk oog is wellicht het summum op het gebied van ogen. Met het gedetailleerde kleurenzicht dat wij en een aantal apen hebben, onderscheiden we ons van alle andere dieren. Ook veel dieren kunnen kleuren zien, maar niet zo goed als wij. Daarnaast zijn er dieren die alleen maar zwart en wit kunnen zien. (Afb. 1, 2)

Alle dieren met een schedel en een ruggengraat hebben het zogenaamde cameraoog. Vóór in het oog, achter een verstelbare opening (de pupil) waar het licht doorkomt, bevindt zich een lens die uit organisch materiaal bestaat. Het is materiaal dat vervormbaar is. Door te accommoderen, dat wil zeggen dat het oog de bolling van de lens aanpast aan de afstand waarop scherp moet worden gezien, ontstaat op het netvlies achter in het oog een scherp beeld. Via de oogzenuw gaat dit beeld naar de hersenen (Afb. 5).

De pijlkrans en de octopus, beide ongewervelde dieren, hebben ogen die vrijwel net zo ingewikkeld zijn als het oog van de gewervelde dieren. Hun oog heeft ook een lens die in een gelei-



Afb. 1. Mensenoog. Het doorzichtige hoornvlies bedekt het hele oog; achter het zwarte gat (de pupil) zit de lens. Licht wordt via de lens op het netvlies geprojecteerd.



Afb. 2. Het menselijk oog bestaat uit een oogbol met een retina (lichtgevoelige laag) verbonden met de oogzenuw, een glasachtig lichaam dat de oogbol opvult, een lens die met behulp van spieren vlakker of boller kan worden (om het beeld scherp te stellen) en een pupil waar het licht doorheen komt en die afhankelijk van de hoeveelheid licht groter of kleiner is. Tot slot het hoornvlies dat het oog en de lens beschermt.

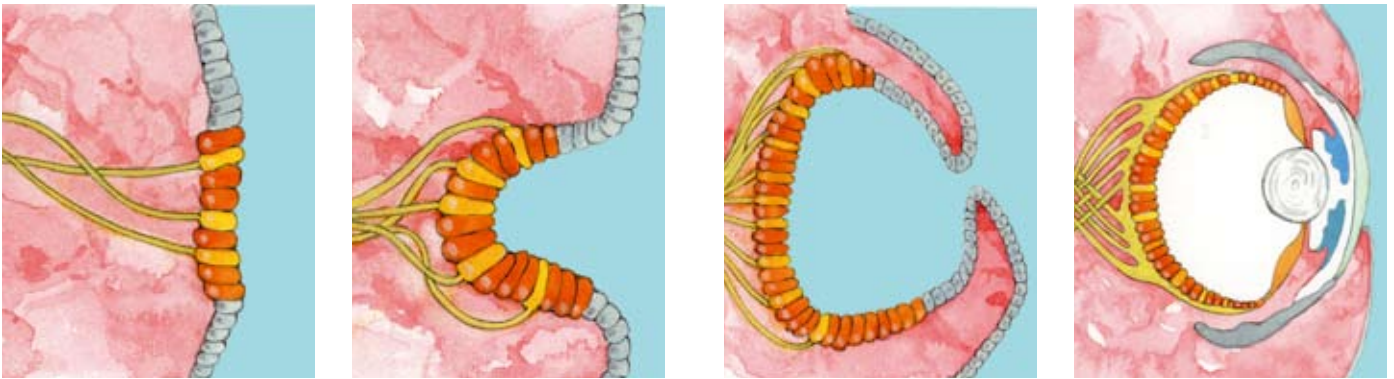
ligt ingebed met daarachter het netvlies. De octopus echter heeft een andere manier uitgevonden om scherp te zien. In plaats van de lens te vervormen, verplaatst hij hem naar voren dan wel naar achteren om een scherp beeld van mogelijke prooidieren of aanvallers te krijgen (Afb. 3, type 4 en afb. 4).

Camera obscura

Een verre verwant van de inktvissen is de nautilus die in de tropische wateren rond Indonesië en Australië leeft. Deze nautilus heeft een eenvoudiger oog dan de octopus. Dat oog is een soort zwarte doos, een echte 'camera obscura', dus zonder lens. Een gaatje in een oppervlak met daarachter een holle ruimte die met vocht is gevuld en waarvan de wand is bekleed met een laag lichtgevoelige cellen (afb. 3, type 3). De voorouders van de nautilus in het Devoon (410–360 miljoen jaar geleden) lijken erg op hun verre nazaat en het vermoeden bestaat dat ook zij al in het bezit waren van het camera obscura-oog. Ze konden met dit oog wel vormen zien, maar niet heel scherp.

Eenvoudig

De meest eenvoudige versies van ogen zijn clusters van gekleurde, lichtgevoelige cellen in de huid zoals bij sommige weekdieren, bijvoorbeeld *Patella*, de schaalhoorn, het geval is (afb. 3, type 1). Eén stap verder ligt het oog van platwormen. Die hebben op hun kop indeukingen die aan de binnenkant met lichtgevoelige cellen zijn bekleed. Bij deze 'theekopjes-ogen' is dus geen sprake van lenzen of ander gereedschap om scherp te stellen. Kennelijk hebben ze dat niet nodig; ze zijn al vele honderden miljoenen jaren op aarde. Als ze maar licht van donker kunnen



Afb. 3. Binnen de groep Weekdieren of Mollusken (tweekleppige schelpdieren, inktvissen en slakken) zijn in de loop van de evolutie verschillende typen ogen ontstaan, van relatief simpele tot bijzonder ingewikkelde. Type 1 bestaat slechts uit een lichtgevoelige laag (slak Patella). Bij type 2 heeft de lichtgevoelige laag zich als kom (theekopje) gevormd (zeeslak Pleurotomaria). Type 3 is een vrijwel afgesloten ruimte met een klein gaatje, een echt camera obscura-oog (inktvis Nautilus). Type 4 is een echt oog: een volledig afgesloten ruimte met een lens die van voor naar achteren kan bewegen zodat het beeld scherp op het netvlies wordt geprojecteerd (inktvissepia, octopus). Dit oog lijkt sterk op het oog van gewervelde dieren.

onderscheiden en de richting waar het licht vandaan komt, want ze bewegen van het licht af. In het donker weten ze zich beter beschermd. (Afb. 3, type 2)

Samengestelde ogen

Net als bij het lensoog is de bezitter van het zogenaamde 'samengestelde' oog in staat een scherp beeld van de omgeving te vormen. Een samengesteld oog bestaat uit meerdere afzonderlijke oogjes, dicht tegen elkaar aanliggend en met in elk oogje – we spreken van facet oog – een lens. Dergelijke samengestelde ogen treffen we aan bij de insecten en bij schaaldieren: krabben, kreeften en garnalen; en ook bij sommige gelede wormen. (Afb. 6) Zo'n facet oog bestaat dus uit een lens met daarachter een lichtgevoelige cel. Het registreert echter maar een klein deel van het visuele veld. Alle facetten bij elkaar – soms duizenden in één oog – vormen samen een mozaïekbeeld. Elk dier met dergelijke ogen is goed in het registreren van beweging. Eén beweging met

de vliegenmepper en weg is de vlieg! Aan de andere kant, ook roofinsecten zoals libellen hebben profijt van dergelijke ogen. (Afb. 7A en B)

Vermoedelijk is het samengestelde oog het oudste beeldbepalende oog op aarde. Want we zien ze al bij trilobieten die vanaf 543 miljoen jaar geleden op aarde voorkwamen. Trilobieten zitten in dezelfde familie als kreeften, krabben en insecten, maar ze zijn al lang uitgestorven. Men onderscheidt aan het dier een kop, een romp en een staart (drie lobben dus, vandaar trilobiet). Op de kop aan de rugzijde bevinden zich de twee samengestelde ogen. De lenzen, de facetten, zitten als een waaier in elk oog, waardoor ze toch met hun twee ogen rondom beeld hebben. Heel goed vergelijkbaar met het insectenoog dus. Er is echter één opmerkelijk verschil. De lens van het trilobietenoog bestond niet uit zacht weefsel zoals bij de insecten, maar uit calciëet dat in zuivere vorm kleurloos en dus doorzichtig is. Trilobieten konden niet zoals wij scherp stellen door de vorm van de lens te veranderen. Mogelijk bepaalde het leefmilieu van elke afzonderlijke trilobietensoort de



Afb. 4. Zeekatten (sepia). Deze inktvissoort heeft ogen met een lens.



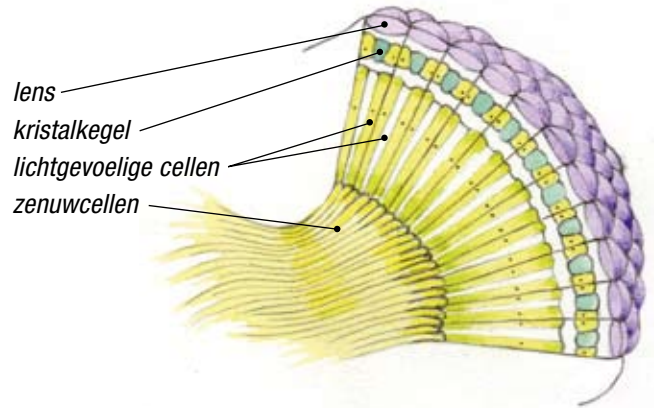
Afb. 5. Het oog van een gewerveld dier, in dit geval de groene leguaan.

afstand waarop scherp kon worden gezien. (Afb. 8, 9, 10) Verschillende groepen van trilobieten hadden verschillende ogen. Niet alleen het type oog en lens verschilt, maar ook het aantal lenzen. Zo waren er trilobieten met wel 15.000 lenzen per oog, maar ook zijn er soorten geweest die helemaal geen ogen hadden en dus blind waren. Andere bezaten ogen op steeltjes. Vermoedelijk leefden die in de bodem verstopt onder het zand met slechts hun ogen erbovenuit. En die zonder ogen leefden óf op diepte waar geen licht kon doordringen, óf in grotten.

Slimme lenzen

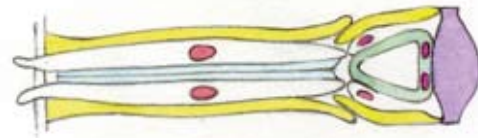
Het bijzondere aan de ogen van trilobieten is dat het geen eenvoudige dubbelbolle lenzen zijn. Ze zijn zo gevormd dat optische afwijkingen worden gecorrigeerd en er over het hele beeldveld

een goede scherpste optreedt. Zo'n 400 miljoen jaar later zou onze beroemde landgenoot Christiaan Huygens in 1690 een dubbelbolle lens ontwerpen waarbij ook de randen van het beeldveld een scherp beeld opleveren. Hij had in de gaten dat bij een gewone dubbelbolle lens zonder correcties verschillende brandpuntafstanden ontstaan en dus onscherpte. Zijn aangepaste, asferische lens vertoont grote overeenkomst met de lens van een



Afb. 7A. De facetlens en de kristalkegel eronder zorgen samen voor de afbuiging en concentratie van het licht naar de pigmentstaaf (het rhabdoom). Die wordt bij elk facet omringd door lichtgevoelige cellen die de visuele informatie via de oogzenuw(en) naar de hersenen sturen.

Afb. 7B. Doorsnede van een facet oog. Het samengestelde oog van insecten bestaat uit honderden tot duizenden lensjes.



Afb. 6. Het samengestelde oog met tienduizenden facetten van een libelle is prima geschikt om snelle bewegingen te registreren. Het oog van EEN libel is aan de bovenzijde, waar het roodbruin gepigmenteerd is, gevoelig voor lichtkleuren met een hoge frequentie. Vanaf blauw tot in het ultraviolet kan de libel de hemel waarnemen. Het onderste deel van het oog heeft een veel bredere kleurgevoeligheid en kan groen, geel en zelfs rood zien. Zo kan de libel gelijktijdig gevaren boven zich en potentiële prooien onder zich optimaal waarnemen.





Afb. 8. Detailopname van de oog van de trilobiet *Phacops*. De putjes vormen de afzonderlijke facetten. Bij dit type oog wordt ieder facet omringd door een dikke wand, wat hier duidelijk te zien is.

bepaald type trilobiet (*Dalmanitina*). Wanneer we het langdurige succes van de zogenaamde primitieve dieren zoals platwormen en bepaalde weekdieren met eenvoudige theekopjesogen en het camera obscura-oog in acht nemen, dan wordt duidelijk dat deze ogen prima werkten voor wat deze dieren moesten doen om te overleven en zich voort te planten. Ogen hoeven dus echt niet zo ingewikkeld te zijn om goed te kunnen functioneren. Ogen hebben zich – net als andere zintuigen – tijdens de evolutie in stapjes van eenvoudige naar ingewikkelder vormen kunnen ontwikkelen. Probleem is wel dat ogen van zacht materiaal zijn gemaakt en

duis vrijwel niet fossiliseren (zoals we zagen zijn trilobietenogen daarop een uitzondering). Maar tegenwoordig kunnen onderzoekers ook indirecte bewijzen vinden via onderzoek van DNA – het genetisch materiaal – om verwantschappen tussen heel verschillende dieren te vinden als het om de ontwikkeling van zintuigen gaat.

Dit artikel verscheen eerder als 'Ogen in de evolutie' in het tijdschrift 'Artis', 2008, nr. 5.



Afb. 9. Oog van de trilobiet *Dalmanites cristata*. De rijen kleine bolletjes zijn de versteende lenzen van dit samengestelde oog. Eén hoornvlies bedekte alle lenzen.



Afb. 10. *Phacops*, met rechts de kop. De facetten van het rechteroog zijn duidelijk zichtbaar.