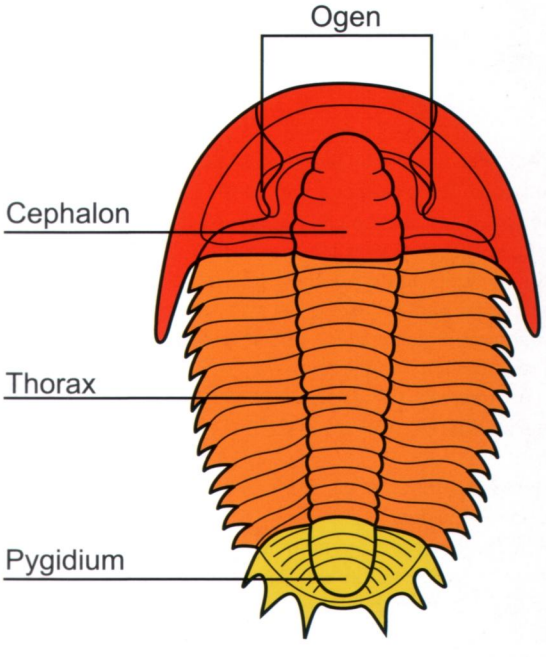
RIEKS VAN DER STRAATEN
Westendorperheideweg 12, 8166 HX Emst,
rx@hetnet.nl

TRILOBIETEN HEBBEN OGEN VAN KRISTAL

Trilobieten zijn uitgestorven geleedpotigen die al meer dan 500 miljoen jaar geleden goed ontwikkelde ogen hadden. In feite zijn het de eerste dieren met echte ogen. Trilobietenogen zijn bovendien uniek omdat het ogen zijn met lenzen van calciet.

Trilobieten bezitten een uitwendig pantser dat gemaakt is van calciet, calciumfosfaat en chitine. Dit pantser bestaat uit drie delen: een kopschild (cephalon), een gesegmenteerd borststuk (thorax) en een staartdeel (pygidium) (Afb. 1). De meeste trilobieten hebben op de wangen van hun kopschild maanvormige, samengestelde facetogen (net als die van een vlieg), die bij sommige soorten verrassend geavanceerd zijn (Afb. 2). Het aantal lenzen in een trilobietenoog varieert sterk. Sommige trilobietsoorten hebben geen ogen of ogen met slechts een enkele lens, terwijl andere soorten samengestelde ogen bezitten met wel duizenden lenzen.

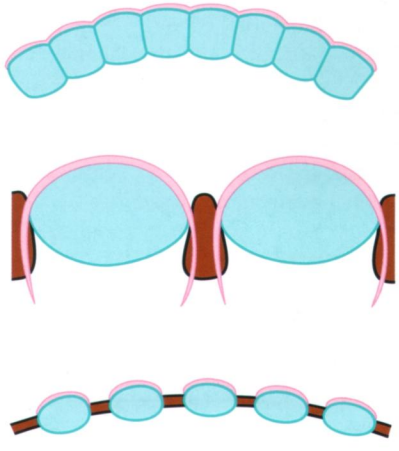


Afbeelding 1.
De driedeling van een trilobiet in een kopschild (cephalon) met ogen, mond en voelorganen, een gesegmenteerd borststuk (thorax) en een staartstuk (pygidium). De figuur is getekend door Sam Gon en is afkomstig uit Wikipedia (2006).



Afbeelding 2.
De Silurische trilobiet *Dalmanites limulurus* van de suborde Phacopina. Op de foto zijn de maanvormige ogen op het kopschild duidelijk te onderscheiden. De foto is 23 april 2005 genomen door 'DanielCD' en is afkomstig uit Wikipedia (http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:SilurianTrilobite.jpg).

De maanvormige ogen maakten het mogelijk om vooruit, zijwaarts en deels ook achteruit te kijken, maar niet omhoog of omlaag. Dit gezichtsveld hoort bij de soorten die zich uitsluitend over de zeebodem voortbewogen en daardoor in een tweedimensionale wereld leefden. Daarnaast waren er ook vrijzwemmende soorten met uitpuilende bolvormige ogen die in staat waren alle kanten op te kijken, ook omhoog en omlaag.



Afbeelding 3.
De drie verschillende typen trilobietenogen: *holochroale* ogen (A), *schizochroale* ogen (B) en *abathochroale* ogen (C). De diagrammen zijn afkomstig van Sam Gon (2006) en geven met blauw de calcietlenzen aan, met roze het doorzichtig vlies van de cornea (hoornvlies) en met bruin het ondoorzichtige weefsel van de sclera. De foto A is uit Clarkson (1975), foto B uit Levi-Setti (1993) en foto C uit Zhang & Clarkson (1990).

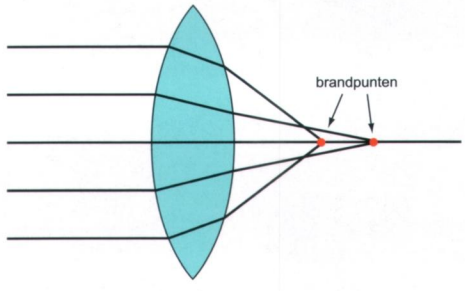
De ogen van trilobieten zijn niet alleen bijzonder omdat het de eerste echte ogen op aarde zijn, maar ook omdat het ogen zijn met calcietkristallen als lens. De calcietlenzen zijn vergroeid met het kopschild van het uitwendig pantser van de trilobiet (dat ook voor een groot deel uit calciet bestaat, maar dat niet kristallijn is). De lenzen bestaan uit glasheldere calciet waardoor de trilobiet goed om zich heen kon kijken. De lenzen waren bovendien zo geconstrueerd dat het dier geen last had van de sterke dubbelbreking van calciet.

Men onderscheidt drie typen trilobietenogen (Afb. 3):
• *Holochroale ogen*
Holochroale ogen zijn samengestelde trilobietenogen met een groot aantal kleine lenzen (soms meer dan 15.000). Ze komen in alle trilobietorden voor en verreweg de meeste trilobieten hebben dit type ogen. De lenzen vertonen een hexagonaal patroon, dat wil zeggen dat de zeshoekige ooglenzen in een honingraatstructuur zijn gerangschikt. De lenzen zitten dicht op elkaar gepakt en raken elkaar. Het hele samengestelde oog heeft een enkel doorlopend doorzichtig membraan (het hoornvlies of cornea) dat alle lensjes bedekt.

• *Schizochroale ogen*
Schizochroale ogen zijn samengestelde trilobietenogen met minder lenzen dan de holochroale ogen (tot ongeveer 700). De lenzen zijn doorgaans groter en eke afzonderlijke lens wordt helemaal door een cornea (hoornvlies) omsloten. Dit doorzichtige membraan en het ondoorzichtige weefsel van de sclera vormen een scheiding tussen de verschillende lenzen. De schizochroale ogen zijn beperkt tot de trilobietorde Phacopida.

• *Abathochroale ogen*
Abathochroale ogen worden gekenmerkt door weinig (tot 70), kleine lenzen. Dit type ogen wordt alleen aangetroffen in de Cambrische trilobietenorde Eodiscina. De lenzen raken elkaar niet, worden onderling gescheiden door *sclera* weefsel en hebben elk een eigen cornea. Elke lens van de samengestelde *holochroale* ogen is een langwerpig prisma dat uit een enkel glashelder calcietkristal bestaat. Om geen last te hebben van de dubbelbreking, dus om te voorkomen dat de trilobiet dubbel ziet, zijn de calcietlenzen zo georiënteerd dat de calcietkristallen met de c-as loodrecht op het oogoppervlak staan. Bij deze oriëntatie is er geen dubbelbreking van het licht. Dat betekent dat het licht evenwijdig aan het langwerpige prismatische kristal ongehinderd kan binnenvallen. Door de werking van de dubbelbreking blijft bovendien het licht gevangen binnen het kristal en kan er geen licht in aangrenzende calcietlenzen binnendringen. Dat zou namelijk makkelijk kunnen gebeuren omdat de calcietlenzen in de *holochroale* ogen elkaar raken en onderling niet gescheiden worden door ondoorzichtig materiaal.

De *schizochroale* ogen worden beschouwd als een innovatie van de trilobietorde Phacopida, suborde Phacopina. Het zijn grote maanvormige ogen met relatief grote lenzen. In tegenstelling tot de microscopisch kleine lenzen van de *holochroale* ogen, kan je de lenzen van de Phaco-



Afbeelding 4.
Sferische aberratie is de afwijking van een bolle lens die veroorzaakt wordt doordat het licht dat aan de rand van de lens binnenvalt een kortere brandpuntsafstand heeft dan het licht dat door het centrale deel van de lens gaat. Aan de rand van de bolle lens wordt het licht namelijk extra sterk afgebogen. De brandpuntafstand is de afstand tussen de lens en het punt waar (alle) parallel invallende lichtstralen samenkomen. De illustratie is getekend door 'DrBob' en is afkomstig van Wikipedia (2006c).

pina duidelijk met het blote oog onderscheiden. Het zijn kleine, volmaakt gevormde kristallen bolletjes die griezelig veel weg hebben van een glazen oog. De bijna ronde bolletjes zijn iets druppelvormig en zijn duidelijk in rijen gerangschikt. Tussen de bolletjes zitten kleine muurtjes (van sclera weefsel) die voorkomen dat het licht van de ene lens in de andere valt. De oogstructuur is duidelijk veel geavanceerder dan die van het *holochroale* oog. Het *schizochroale* oog is de parel onder de trilobietenogen. Waarom dat zo is, wordt hieronder uitgelegd.

Trilobieten zijn niet in staat om hun ogen scherp te stellen (te accommoderen) door de vorm van de lens te veranderen, omdat hun ooglenzen van star kristal zijn gemaakt. Toch zijn de Phacopina in staat scherp te zien. In 1972 maakte Kenneth M. Towe door de ooglenzen van een Phacopina haarscherpe foto's en toonde hiermee de uitzonderlijke kwaliteit van deze lenzen aan. Normaal krijg je als je door een glazen bol kijkt een sterk vervormd en niet helemaal scherp beeld van je omgeving te zien. Dat was echter op de foto's van Towe niet het geval. Ze waren scherp en niet vervormd. Het probleem met glazen bollen, en met bolle lenzen in het algemeen, is dat de lichtstralen door de lens (bol) verschillende afstanden afleggen tot ze in het brandpunt bij elkaar komen en daardoor, naar gelang het afgelegde traject, meer of minder worden afgebogen (sferische aberratie)(Afb. 4). En dat resulteert in een wazig beeld. Maar blijkbaar zijn de lenzen van de Phacopina zo 'ontworpen' dat deze afwijking van een normale bolle lens niet optreedt. Ze geven namelijk een onvervormd en scherp beeld. Euan Clarkson and Riccardo Levi-Setti ontdekten dat er iets vreemds aan de hand was met die lenzen. De calciet in het onderste deel van een lens bevatte net genoeg magnesium om het effect van de sferische aberratie (afwijking bolle lens) te corrigeren. Elke bocht naar links wordt gecompenseerd door een bocht naar rechts en andersom. Deze komvormige corrigerende laag onderin de lens komt overeen met wat we tegenwoordig kennen als een lenzendoublet (twee lenslagen van verschillende sterkte die samen een scherp en onvervormd beeld opleveren). De interne structuur van de lenzen van de Phacopina vertonen opmerkelijk veel gelijkenis met de lenzen die in de 17e eeuw ontworpen zijn door Huygens en Descartes om de sferische aberratie van bolle lenzen te compenseren.

LITERATUUR

Clarkson, E. N. K. & Levi-Setti R., 1975. Trilobite eyes and the optics of Descartes and Huygens. Nature 254 (1975) pp. 663-667.

Fortey R., 2000. Crystal Eyes - vision of trilobites. URL: http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m1134/is_8_109/ai_65913175/pg_1

Gon S., 2006. The Trilobite Eye. URL: http://www.trilobites.info/eyes.htm

Wikipedia, the free encyclopedia, 2006. Trilobites. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Trilobite

Maurer J., 2004. Album Trilobite Eyes. BedrockBugs.com PhotoGallery.

Wikipedia, encyclopedie libre, 2006b. Trilobita. URL: http://fr.wikipedia.org/wiki/Trilobites

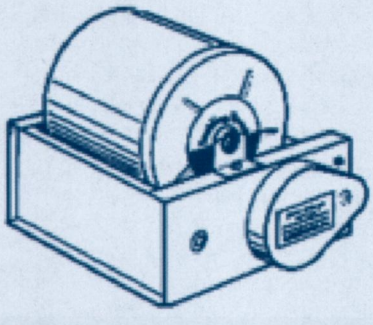
Wikipedia, de vrije encyclopedie, 2006c. Sferische aberratie. URL: http://nl.wikipedia.org/wiki/Sferische_aberratie.

MTN-Giethoorn

Importeur LORTONE® Steenbewerkingsmachines

Kanaaldijk 18
8355 VJ Giethoorn
Tel: 0521-361544
Fax: 0521-362105

Ruim 32 jaar LORTONE® (èn de service) in Nederland
Standhouder op de meeste Nederlandse mineraalbeurzen



Grote collectie zilveren sieraden
met en zonder edelstenen (veel eigen ontwerpen)

Estwing geologen gereedschap
Kunststof standaards en opbergdoosjes
Edelsteenhangers
Ruwe mineralen: slijpbaar voor trommel en cabochons
Fournituren o.a. zilveren
Cabochons en trommelstenen
Microscopen en Loepen en meer...

Bezoek onze showroom (na tel. afspraak vragen naar Elly ten Napel of Thoni Meijer)
of neem een kijkje op onze internet-site: http://www.mtn.nl • E-mail: info@mtn.nl