

Eurypteriden,

de 'zeeschorpioenen' uit het Paleozoïcum

door Drs. P.J. Hille,
Balsemkruid 83, 3068 DB Rotterdam,
megalodon@planet.nl

Inleiding

Eurypteriden, ook wel bekend als de 'zeeschorpioenen' uit het Paleozoïcum, verschenen in het Ordovicium en misschien zelfs al in het Cambrium en stierven "pas" uit in het Perm. Eurypteriden hebben ruim 200 miljoen jaar geleefd en ze ontwikkelden zich tot de grootste arthropoden (geleedpotigen) die ooit geleefd hebben. Hun grootste bloeitijd viel in het Boven-Siluur en het Onder-Devoon. Tevens worden zeer oude pootafdrukken op het land aan deze aquatische dieren toegeschreven.

In dit artikel wordt deze fascinerende diergroep kort toegelicht. De nadruk ligt op algemene kenmerken en verondersteld gedrag.

Wat zijn Eurypteriden?

Eurypteriden behoren tot het phylum Arthropoda (geleedpotigen) en worden daarbinnen gerekend tot het subphylum Chelicerata (voorzien van *cheliceren*, scharen), klasse Merostomata (Dana 1852), subklasse Eurypterida (Burmeister 1843), superfamilie Eurypteracea (Burmeister 1845) en superfamilie Stylonuracea (Diener 1924). Deze hoofdindeling is die uit de Treatise on Invertebrate Paleontology, Part O (Arthropoda, 1).

In het kader is de indeling van de Eurypterida in families gegeven. De letters A tot en met I hebben betrekking op de reconstructies, die in afb. 1 zijn opgenomen.

In het algemeen hadden de eurypteriden een langgerekte, wat afgeplatte vorm.

De systematiek van Eurypterida

Eurypterida

STYLONURACEA

Stylonuridae	voorbeeld:	A. <i>Stylonurus</i> ; B. <i>Drepanopterus</i>
Dolichoteridae		
Rhenopteridae		C. <i>Rhenopterus</i>
Mycteropidae		

EURYPTERACEA

Eurypteridae	D. <i>Eurypterus</i>
Adelophthalmidae	
Hughmilleriidae	E. <i>Hughmilleria</i>
Slimonioidae	
Pterygotidae	F. <i>Pterygotus</i>
Carcinosomatidae	G. <i>Carcinosoma</i>
Mixopteridae	H. <i>Mixopterus</i>
Megalograptidae	I. <i>Megalograptus</i>

De indeling is met onzekerheden omgeven, aangezien van bepaalde eurypteriden alleen maar schaarse overblijfselen zijn gevonden. De hier gegeven indeling is naar M.A. Kazlew, in: All about "Sea scorpions".

Volwassen exemplaren varieerden in lengte van ongeveer 10 cm tot ruim over de 2 meter. De meeste exemplaren waren tussen de 10 en 20 cm lang. Er was een flinke variatie aan verschijningsvormen: er zijn ongeveer 200 verschillende soorten bekend. Dit is evenwel lang niet zoveel als het aantal van die andere bekende groep arthropoden, de trilobieten, die in dezelfde tijd leefden. Ze waren relatief zeldzaam, maar kwamen op sommige plaatsen veelvuldig voor, vaak gaat het dan om exemplaren van dezelfde soort. De familie Eurypteridae, binnen de subklasse Eurypterida, is het bekendst.

De soorten van het geslacht *Eurypterus* kwamen in Noord-Amerika, Europa en Azië voor vanaf het Ordovicium tot het Carboon. Deze zijn het meest algemeen en worden soms op fossielen- en mineralenbeurzen aangeboden.

De piek van de ontwikkeling van de eurypteriden lag in het Ordovicium.

De resten van deze dieren, die wegens hun gelijkenis met schorpioenen ook wel 'zeeschorpioenen' worden genoemd, zijn al van vroeger eeuwen bekend. Veel vondsten zijn in het begin van de 19^e eeuw gedaan in Groot-Brittannië en in de Amerikaanse staat New York tijdens grote werkzaamheden, zoals het aanleggen van een kanaalstelsel (in New York het Erie-kanaal).

De voornaamste vindplaatsen van eurypteriden bevinden zich in de staat New York, Canada, Ohio, Schotland, de Oekraïne en de Baltische staten. Ook van Australië, Azië, Afrika, Tsjechië, Frankrijk, Duitsland en Noorwegen zijn vondsten bekend. De vondsten van eurypteriden zijn talrijker op het Noordelijk Halfrond dan het Zuidelijk Halfrond.

Eurypterus remipes is de eerste eurypteride die beschreven werd. Het betrof een vondst uit New York. De in de staat New York veel gevonden *Eurypterus remipes* is zelfs in 1984 tot *state fossil* van New York benoemd (bijna iedere Amerikaanse staat heeft een zogenaamd *state fossil*, een fossiel dat in die staat veel gevonden wordt).

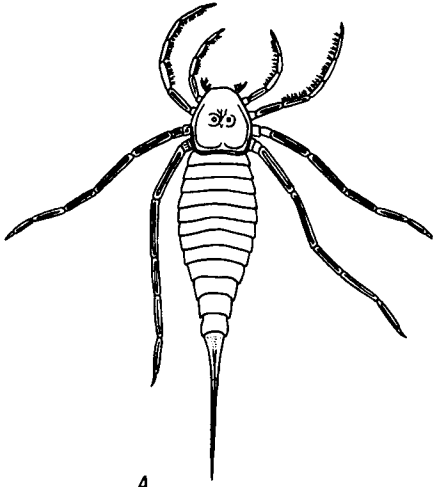
Toen in 1818 de eerste (incomplete) eurypteride door S.L. Mitchell in Westmoreland, Oneida County, New York, werd gevonden werd deze aangezien voor de resten van een katvis en kreeg de geslachtsnaam '*Silurus*'.

Later (1825) zag James DeKay in dat het om de resten van een arthropode ging en noemde hij de vondst *Eurypterus remipes* DeKay. *Eurypteride* betekent: 'brede vleugels'. De peddelvormige aanhangsels van de *Eurypterus remipes* zijn dus de aanleiding voor de naamgeving geweest.

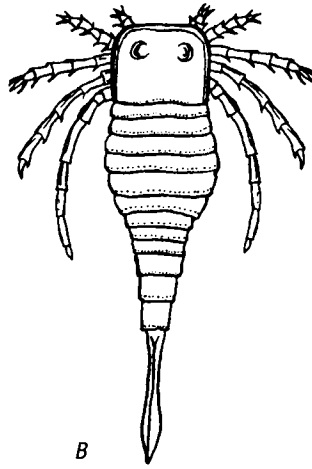
Algemene morfologie

Dankzij onderzoek van Holm (1898) en Wills (1965) is de morfologie van eurypteriden goed bekend.

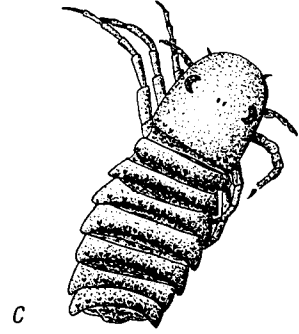
Studie-object van Holm waren fragmenten van de Silurische eurypteride *Eurypterus fischeri* (tegenwoordig *Baltoeurypterus tetragonophthalmus* genaamd). Afb. 1 - D. Hij slaagde erin de fossiele resten van de matrix te scheiden, waarna hij ze als dunne, transparante plaatjes onderzocht. De morfologie bleek overeen te komen met andere groepen arthropoden; deze groeien binnen hun uitwendig skelet door en moeten daarom van tijd tot tijd vervellen (*ecdyse*).



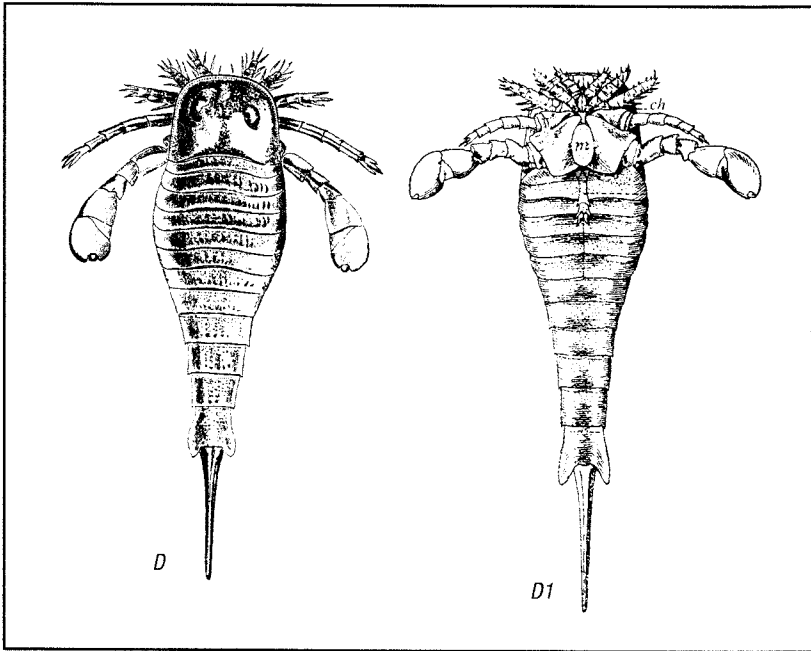
A



B

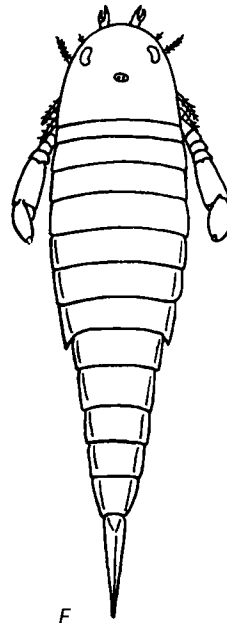


C

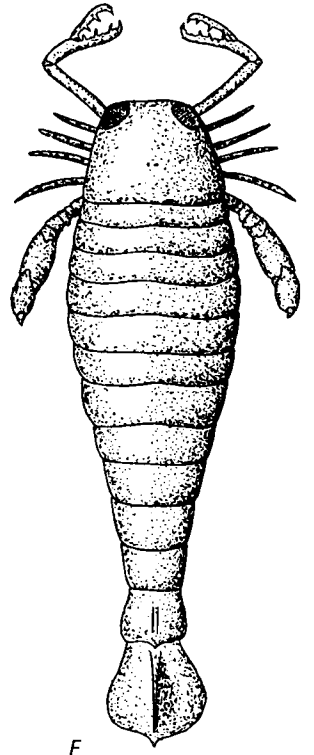


D

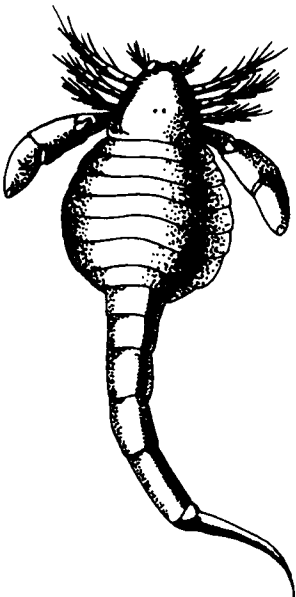
D1



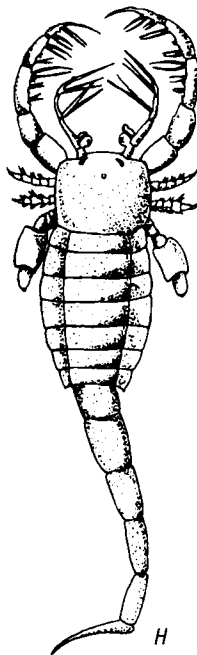
E



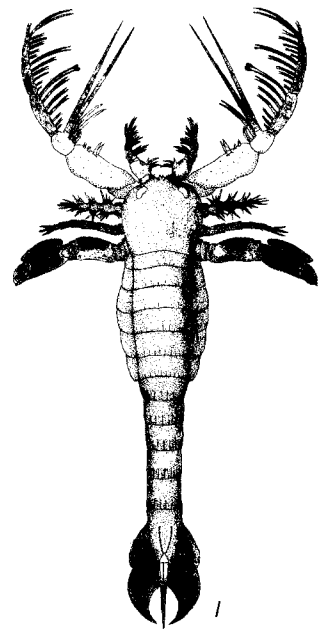
F



G



H



I

Afb. 1. (pagina 82) Reconstructies van enkele bekende Eurypteriden.

A *Stylonurus excelsior*, Midden-Devoon, New York, V.S., 160 cm. Het genus is ook in het Old Red van Europa gevonden.

B *Drepanopterus longicaudatus*, Siluur, Indiana, V.S., 35 cm.

C *Rhenopterus diensti*, Onder-Devoon (Emsien), fragment 5 cm (bron: J.F. Geys, naar Størmer).

D *Eurypterus fischeri*, ook: *Baltoeurypterus tetragonophthalmus*, dorsaal, Boven-Siluur, Estland (Saarema, Golf van Riga), 12 cm (naar F. Schmidt).

D' idem, ventraal, Boven-Siluur, Estland, 6 cm (naar Holm). m = metastoma; ch = cheliceren (scharen).

E *Hughmilleria norvegica*, Boven-Siluur, Ringerike-zandsteen, Zuid-Noorwegen, 10 cm.

F *Pterygotus rhenaniae*, Onder-Devoon, Duitsland, 2 meter.

G *Carcinosoma scorpionis*, Siluur, Schotland, ook in de V.S., 40 cm.

H *Mixopterus kiaeri*, Boven-Siluur, Noorwegen, x 0,1 (ca. 80 cm).

I *Megalograptus ohioensis*, Boven-Ordovicium, Ohio, V.S., 12 cm. Een los gevonden groot 3^{de} aanhangsel werd voor een enorme graptoliet aangezien, vandaar de naam "grote graptoliet van Ohio". Het grootst bekende exemplaar is 1,37 meter lang.

Lichaam

Het lichaam van de cheliceraten en binnen deze groep de eurypteriden (zie afb. 2) bestaat uit een trapeziumvormig kopgedeelte, eigenlijk een kopborststuk, *prosoma* genoemd, een rompgedeelte, dat *opisthosoma* heet en een staart: *telson*. Het *prosoma* bestaat uit 6 aaneengesegroeide segmenten, hieraan bevinden zich 6 paar aanhangsels/poten. Het zevende segment is het *metastoma* geworden.

Achter het *prosoma* (*cefalothorax*) bevindt zich het *opisthosoma*, het uit 12 beweeglijke segmenten bestaande achterlijf, onderverdeeld in een *pre-abdomen* (de voorste 7 segmenten van het verbrede achterlijf), direct achter het *prosoma* gesitueerd, en het *post-abdomen* (de 5 daarop volgende segmenten van het steeds smaller wordende achterlijf). De harde bedekkingen van de segmenten aan de dorsale zijde (bovenzijde) worden *tergieten* genoemd, die aan de ventrale zijde (onderzijde) *sternieten*.

Een andere indeling van het *opisthosoma* is een indeling in twee sets van 6 segmenten. De eerste 6 segmenten vormen dan het *mesosoma*, de laatste 6 segmenten het *metasoma*.

Het dorsale membraan tussen *prosoma* en *opisthosoma* vouwt bij eurypteriden in zichzelf terug. Dit werd reeds in 1898 door Holm ontdekt. Dit verschilt van de manier waarop de andere segmenten met elkaar verbonden zijn. Raw ging er daarom van uit dat eurypteriden 13 in plaats van 12 segmenten hadden. Hij beschouwde het dorsale membraan als een sterk gereduceerd eerste segment van het *opisthosoma*.

Het laatste segment van het *opisthosoma* wordt *pretelson* genoemd. Het allerlaatste segment van de eurypteride is het

telson, de staart. Afb. 2. Deze is óf spits óf afgeplat en breed van vorm. Ook een opsplitsing van het *telson* in twee afgeplatte delen kwam voor (*Erettopterus bilobus*). Enkele groepen hadden een scherpe, gebogen stekel, die qua vorm aan de gifstekel van schorpioenen doet denken (*Carcinosoma*, afb. 1-G) en *Mixopterus* (afb. 1-H).

Eurypteriden hadden twee verschillende typen ogen: kleine, enkelvoudige ogen (*ocelli* = 'puntogen') en relatief grote, samengestelde ogen, vaak niervormig. De *ocelli* bevonden zich ongeveer in het midden boven op de kop, de samengestelde ogen wat meer naar voren aan de bovenkant van de matig gewelfde kop of aan de buitenranden van de voorkant van de kop. Vermoedelijk bezaten de eurypteriden ook reukvermogen.

Ledematen

Aan de ventrale zijde van het kopgedeelte van de eurypteriden waren aan beide zijden ledematen bevestigd. De aanhangsels aan de kop waren vaak verschillend gevormd en hadden dan ook niet allemaal dezelfde functie. De voorste twee lichaamsaanhangsels zijn de *cheliceren* (klauw- of tangvormige grijpers). Deze lagen vlak vóór de mondopening (*preoraal*) en waren bij verscheidene groepen heel klein (bijv. *Eurypterus*, afb. 1-D), maar in sommige gevallen sterk ontwikkeld (*Pterygotus*, afb. 1-F). Bij *Hughmilleria* (afb. 1-E) staken ze net voor het *prosoma* uit. Achter de mondopening (*postoraal*) bevonden zich de *maxilipalpen* of *pedipalpen*, dit was het tweede paar aanhangsels. Deze *pedipalpen* hadden een tastfunctie, vergelijkbaar met voelsprieten (eurypteriden hadden geen antennes).

Daarachter volgden vier paar looppoten. Deze dienden vooral om te lopen en om het evenwicht te bewaren, soms ook voor het grijpen van voedsel, dat hing van de structuur af. Bij *Mixopterus* (afb. 1-H) en *Megalograptus* (afb. 1-I) was juist het derde paar aanhangsels van vervaarlijke afmetingen.

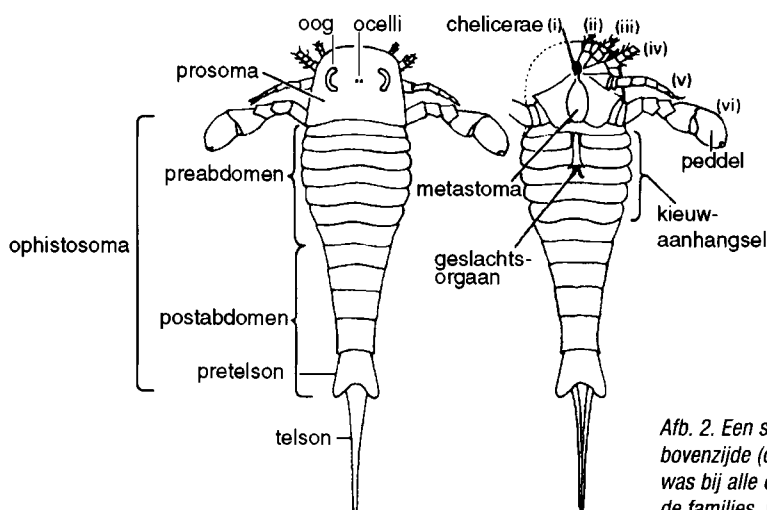
In het algemeen echter werden deze looppoten vanaf het voorste paar gerekend steeds groter. Het achterste paar looppoten was bij verscheidene groepen peddelachtig gevormd en werd ook als zodanig voor de voortbeweging gebruikt. Het waren tenslotte dieren die allemaal gevonden zijn in aquatische afzettingen, waar ze ook geleefd moeten hebben, al is ook geopperd dat de poten dienden om in de bodem naar prooi te graven.

De poten van de eurypteriden waren verbonden aan het lichaam aan de zijkanten rond de mond door tandplaten, de zogenaamde *gnathobases*. De tandplaten begrepsden een gleufachtige bek en waren gekarteld. Ze fungeerden ook om het voedsel kleiner te maken zodat het in de bek van het dier kon. De bovenste segmenten van de achterste poten worden de *coxae* genoemd. Deze worden vaak als losse onderdelen gevonden.

Een klein U-vormig plaatje (*endostoma*) begrensdde de bek, gewoonlijk werd dit bedekt door een veel groter, ovaal plaatje dat aan de voorzijde ingesneden was, het *metastoma*.

De soorten van het meest voorkomende geslacht, *Eurypterus* (afb. 1-D), hadden bij de eerste drie paren gelede zwempoten stekels op ieder segment. Bij het vierde paar was alleen het lid aan het uiteinde van de zwempoten van stekels voorzien. Het laatste paar poten, de 'peddels', was niet voorzien van stekels.

Eurypteriden hadden aan de onderzijde van hun lichaam, de ventrale zijde, vijf paar kieuwen die zich bevonden in afgedekte pre-abdominale 'kamers'. Het waren gespecialiseerde vasculaire kanalen van de ventrale lichaamswand, die *Kiemenplatten* worden genoemd. Hiermee zouden ze water hebben kunnen



Afb. 2. Een schematische weergave van de bouw van een eurypteride, zowel de bovenzijde (dorsaal aanzicht) als de onderzijde (ventraal aanzicht). Het bouwplan was bij alle eurypteriden hetzelfde. Uiteraard was er variatie tussen de verschillende families, waardoor de verschijningsvorm aanzienlijk kon verschillen.

vasthouden, waardoor ze af en toe het land op konden gaan. De kieuwen konden zo op het land als het ware als longen functioneren.

Eurypteriden hadden ook zogenaamde 'boeklongen' binnen het 'kamersysteem'. Dit waren vier paar verticale, dunne geribbelde 'filters'. Deze worden ook bij de huidige landschorpionen aangetroffen. De kieuwen werden afgedekt door het *operculum*, een gepaarde kieuwklep. Het *operculum* was het tweede segment van het achterlijf (achter de kop). Hierop bevond zich het geslachtsorgaan, een verlengd uiteinde waarvan twee varianten bestonden (in iedere eurypteridenpopulatie aangetroffen), een indicatie van seksueel dimorfisme. De ene vorm had 'haakjes' aan het geslachtsorgaan. Hiervan wordt aangenomen dat het het mannelijke geslachtsorgaan is. De andere vorm paste over dit geslachtsorgaan heen en wordt als het vrouwelijke geslachtsorgaan beschouwd. Dit is echter speculatief.

Er was dus sprake van geslachtelijke voortplanting. Onbekend is of eurypteriden eitjes legden of dat ze levendbarend waren. Beide mogelijkheden komen bij cheliceraten voor.

Het spijsverteringssysteem van de eurypteriden begon aan de onderkant van de kop bij de mondopening en liep uit in een verteringsbuis die door het hele lichaam liep. Deze buis kan gebogen en kronkelig geweest zijn. Het verteringssysteem eindigde in een opening tussen *pretelson* en *telson*.

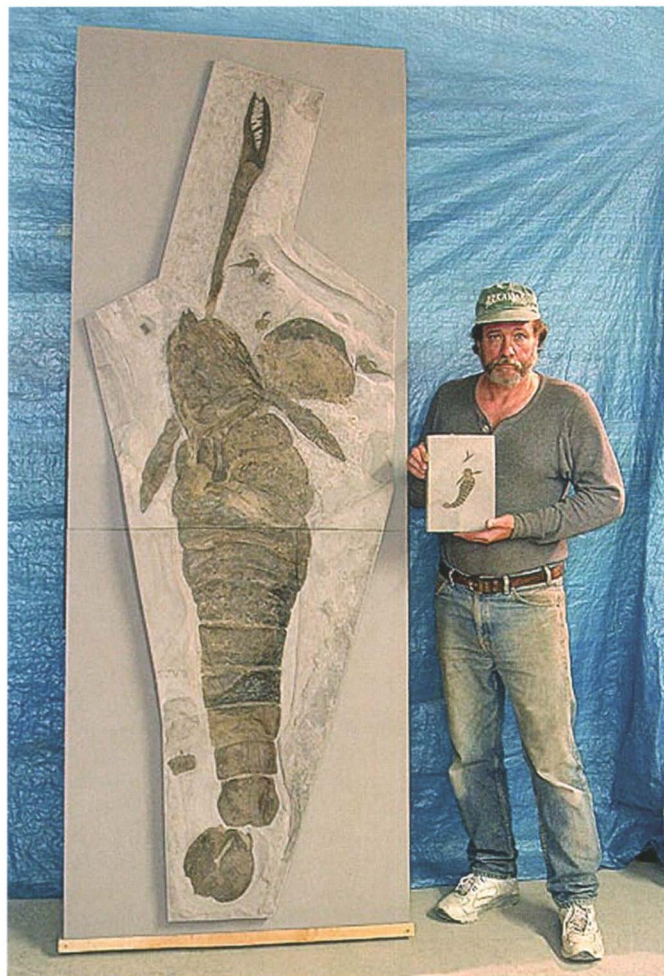
Ze hadden een open bloedvatsysteem; de hartbuis lag aan de rugzijde.

Pantser

Eurypteriden bezaten een dun uitwendig pantser (exoskelet) van chitine, dat varieerde in dikte; het pantser bevatte weinig kalkzouten en had daardoor een zekere mate van elasticiteit.



Afb. 3. De achterste drie tergieten plus het telson van *Eurypterus* sp., lengte 48 mm, Lesmehagow Ecosse, GB, 420 miljoen jaar oud (Siluur). Collectie en foto: Paul Hille.



Afb. 4. *Pterygotus buffaloensis*, Siluur, Fiddlers Green Formatie, Herkimer County, New York, USA. Collectienr. M-016. De plaat is 2,44 meter hoog, de *Pterygotus* meet 2,31 m.

De vinder van de *Pterygotus* en tevens eigenaar van de groeve waar de *Pterygotus* is gevonden, Allan Lang, staat ernaast en heeft een kleiner exemplaar in zijn handen. Het exemplaar is aan een niet nader genoemd museum verkocht. Bron: Langheinrich Museum of Paleontology (<http://www.langsfossils.com/museum-gallery.htm>)

Ze moesten tijdens hun leven meerdere malen vervellen, zoals alle arthropoden. Vlak voor het vervellen trad er een versnelde groei op, waarna het dier zich onttreed van het exoskelet en een nieuw exoskelet vormde, dat vervolgens moest uitharden. Zo verloopt het vervellingsproces althans bij de tegenwoordige geleedpotigen en aangenomen wordt dat het bij eurypteriden op dezelfde manier ging. Het exoskelet bestond, ondanks dat het erg dun was, uit meerdere lagen. Het lichaam was door verschillende spieren met het exoskelet verbonden. Het pantser was bij de meeste eurypteriden tamelijk glad, al kwamen er ook patronen op voor zoals bobbel en randen. *Pterygotus* had een pantser met een bobbelpatroon dat aan vischubben doet denken.

Aangenomen wordt dat het pantser van eurypteriden minder hard was dan dat van de trilobieten, die veel vaker als fossiel gevonden worden. Er zijn geen opgerolde exemplaren van eurypteriden gevonden, wel zijn er aanwijzingen dat de staart beweeglijk was en net als bij de huidige schorpionen op en neer bewogen kon worden.

Tijdens hun levensloop veranderde het uiterlijk vaak opzienbarend. De ontogenie (ontwikkeling van eicel tot volwassen exemplaar) van de eurypteriden is redelijk goed bekend, omdat van bepaalde soorten verschillende groeistadia van juveniel tot volwassen exemplaar zijn gevonden. De kleinste gevonden exemplaren meten minder dan 1 cm.

De jonge exemplaren hadden minder tergieten dan volwassen exemplaren. Aan de vorm van het juveniele dier was in sommige gevallen al goed te zien hoe het volwassen dier eruit zou gaan zien.

Veel vondsten betreffen vervellingsresten. Vaak worden alleen maar onderdelen gevonden, zoals tergieten of koppen. Sommige eurypteridensoorten zijn veelvuldig compleet gevonden, terwijl van andere soorten slechts fragmenten bekend zijn. Dit maakt de indeling van eurypteriden lastig. Afb. 3.

Eurypteriden zijn altijd donkergrijs/grijsblauw, zwart of bruin gefossiliseerd. Dit zegt niets over de oorspronkelijke kleuren, het is een gevolg van mineralisatie. Voor de originele kleuren/kleurpatronen zijn dan ook geen aanwijzingen.

Ze zijn meestal gefossiliseerd in fijnkorrelige dolomieten die vaak conchoïde (schelpvormige) breuken vertonen. De zwartgekleurde resten van eurypteriden die in New York gevonden worden zijn verkoelde resten van het oorspronkelijke dier. Ook de matrix is donker gekleurd door het fijnverdeelde, afgebroken organische materiaal van dode organismen.

Uitzonderlijk goede fossilisatie heeft plaatsgevonden in Ohio. In de Boven-Elkhorn Formatie (Richmond subserie, serie van Cincinnati, Boven-Ordovicium bij Manchester, Adams County) zijn driedimensionaal bewaard gebleven resten van eurypteriden gevonden. Het originele chitine-skelet is hierbij geconserveerd en bleek nog enigszins flexibel te zijn. Uiteraard zijn de resten wel enigszins verdukt door al het sediment waardoor ze bedekt zijn geweest.

Het geslacht *Pterygotus* (superfamilie Eurypteracea, familie Pterygotidae) wordt aangetroffen in sedimenten van het Boven-Ordovicium tot het Devoon. De vindplaatsen liggen in Europa, Azië, Amerika en Australië. De grootste eurypteride, *Pterygotus buffaloensis*, kon ruim 2 meter lang worden. Afgebeeld (afb. 4) is het grootst bekende exemplaar dat in de VS gevonden is, het op één na grootste exemplaar ter wereld. Het eerste exemplaar dat van deze soort gevonden werd, in New Brunswick, was een exemplaar van 65 cm lang.

In Duitsland is een vergelijkbare soort gevonden: *Pterygotus rhenanus*, afb. 1-F.

Levenswijze en ecologie

Eurypteriden zijn alleen gevonden in afzettingen die in een aquatisch milieu zijn ontstaan.

In eerste instantie betrof het alleen een zoutwatermilieu, later hebben de eurypteriden ook in brak water geleefd.

De op één na oudste pootafdrukken op het land worden toegeschreven aan eurypteriden. Het betreft een vondst in de Tumblagooda zandsteen bij Kalbarri, in het westen van Australië, 420 miljoen jaar geleden gevormd. Hier zijn eurypteriden uit een waterpoel het land op gelopen, waar ze in het zand hun pootafdrukken achterlieten.

(De oudste pootafdrukken op het land zijn in 2002 gevonden door S. Braddy en zijn onderzoeksteam in het zuidoosten van Canada en zijn ongeveer 530 miljoen jaar oud. Ze zijn waarschijnlijk gemaakt door een ongeveer 50 cm lange verwant van de duizendpoten, een *euthycarcinoïde*).

Eurypteriden zullen zich kruipend of zwemmend (met de rugzijde naar boven gericht) hebben voortbewogen.

Hun ogen zaten op de bovenkant van de kop, waardoor hun gezichtsveld ook naar boven gericht was. De voorste twee ogen zaten bij een aantal soorten aan de bovenranden van de kop, hierdoor konden ze ook opzij en naar voren kijken zonder zich hiervoor te hoeven bewegen.

Algemeen wordt aangenomen dat de eurypteriden predatoren waren, al wordt ook niet uitgesloten dat er aaseters bij waren. Een combinatie van roofdier en aaseter ligt zeer voor de hand. Veel vormen waren voorzien van cheliceren om prooien mee te grijpen. Vooral de grootst bekende eurypteride, *Pterygotus* (afb. 1-F) had lange cheliceren met grote getande scharen vooraan de kop zitten. Hiermee moet hij prooien als (pantser)vissen en misschien wel andere eurypteriden hebben kunnen grijpen. Twijfelachtig is nog of *Pterygotus* het voedsel met die grote cheliceren rechtstreeks naar zijn bek heeft kunnen brengen. Onderzoekers

zijn het er niet over eens of de cheliceren een gewricht hadden en of ze daarmee het voedsel rechtstreeks naar de bek konden brengen. Verder waren de getande scharen waarschijnlijk meer geschikt om voedsel mee te grijpen en te snijden dan om het te kraken.

Pterygotus had zijn grote samengestelde ogen vooraan bovenop de kop zitten en had daarmee de mogelijkheid naar voren, opzij en naar boven te kijken. Zo kon het dier dus goed prooien opsporen. Hij had over de rugzijde van het abdomen een verhoging met daarop stekels. Het brede roeispaanachtige telson had ook stekels, maar de slanke looppoten hadden die niet.

Onduidelijk is tot op welke diepte de eurypteriden zich in het water bevonden. Dit zal uiteraard soortafhankelijk geweest zijn. Waarschijnlijk hebben ze zich niet diep in het water begeven (maximaal ongeveer een meter of vijftig).

Met hun samengestelde ogen konden ze waarschijnlijk goed vormen onderscheiden en beweging waarnemen. Hun ocelli ('puntogen') waren naast hun samengestelde ogen nog extra zintuigen om hun omgeving te verkennen en daarmee hun prooi te kunnen opsporen. Kleuren hebben ze waarschijnlijk niet of slechts in kleine mate kunnen onderscheiden.

In 1912 werd door de onderzoekers Clarke en Ruedemann verondersteld dat eurypteriden oorspronkelijk zeedieren waren, die later in hun ontwikkeling ondiepe lagunes met brak water bij een riviermond als habitat uitzochten. Vervolgens zouden ze zich aangepast hebben aan het leven in zoetwater en moerassen. Deze veronderstellingen zijn gebaseerd op vondsten van fossiele flora en fauna waartussen (resten van) eurypteriden gevonden zijn. De oudere fossielen van eurypteriden komen voor temidden van overblijfselen van mariene dieren, zoals graptolieten, trilobieten, (pantser)vissen, pelecypoden, brachiopoden, etc. Jongere resten tonen associaties aan met zoetwaterfauna en -flora. De jongste eurypteriden zijn gevonden in Europa, in steenkoollagen die in moerassen gevormd zijn.

Voor het leefmilieu van de eurypteriden zijn verschillende suggesties:

In het Ordovicium leefden de eurypteriden in het zoute water van de zeeën, in het daaropvolgende Siluur werd de tolerantie voor verschillende zoutgehaltes in het water groter en daarna maakten ze de overstap naar brak water, gevolgd door zoet water (in het Carboon en Perm).

Een ander model gaat ervan uit dat eurypteriden zowel in zout water, brak water als zoet water konden leven en zich hiertussen dus ook konden verplaatsen. Weer een ander model gaat ervan uit dat bij zowel zout water, brak water als zoet water specifieke



Afb. 5. Een plaat met vier eurypteriden (*Eurypterus remipes*, Siluur, Fiddlers Green formatie, Herkimer County, New York, USA). Het grootste exemplaar meet 14 cm en ligt ondersteboven (ventraal). De andere exemplaren liggen met de rugzijde naar boven (dorsaal).
Collectie en foto: Roland Juvyns.



Afb. 6. Een uitvergroting van afb. 5, de plaat met de vier eurypteriden, die de grootste *Eurypterus remipes* in ventraal aanzicht toont. Hier zijn de aanhangsels goed te zien. Collectie en foto: Roland Juvyns.

eurypteridensoorten voorkwamen, die alleen in dat milieu leefden.

Vaak worden eurypteridenresten in concentraties bij elkaar aangetroffen (bijvoorbeeld in de Boven-Silurische Fiddlers Green Formatie, in de Bertie Waterlime-horizon in Columbia, Herkimer Co., New York). Het betreft dan voornamelijk vervellingsresten. Afb. 5 en 6.

Het lijkt erop dat de eurypteriden een bepaalde plaats, bijvoorbeeld bij de kust, hebben opgezocht om te paren en vervolgens te vervellen. Dit staat bekend als de massa-paring-vervellingshypothese van dr. Simon Braddy.



Afb. 7. Een geleerde en zijn fossiel, in dit geval een enorme eurypteride, zijn het onderwerp van deze spotprent in het Engelse tijdschrift *Punch* (1885). Bron: Gayrard-Valy, Y. (1991). *Fossielen*.

Dit gedrag komt ook voor bij de huidige degenkrab (*Limulus*, behorend tot de andere subklasse van de Merostomata: de Xiphosura), een verre verwant van de eurypteriden.

Toen in de 19^e eeuw veel eurypteriden-vondsten gedaan werden, raakten deze ook bij een groter publiek bekend. Men vond de vondsten maar vreemd en de veronderstellingen

van de geleerden die beweerden dat het zeer oude dieren betrof strookten niet met het gedachtegoed dat in de kerk gepredikt werd. Er werd dan ook nogal eens de spot met die fossielen gedreven (afb. 7).

Voortbeweging van eurypteriden met peddelvormige aanhangsels

Sommige paleontologen zijn van mening dat de peddels dienden om prooi/voedsel op te graven uit de waterbodem, maar het meest waarschijnlijk is dat ze gebruikt werden om mee te zwemmen.

Onderzoek naar de voortbeweging van eurypteriden met peddelvormige aanhangsels is in de jaren '90 van de vorige eeuw gedaan door de Engelse onderzoeker G. Knight. Gebaseerd op computermodellen van eurypteriden (*Baltoeurypterus tetragonophthalmus*, ongeveer 22 cm) en proeven met nagemaakte modellen van eurypteriden in watertanks en veronderstellingen met betrekking tot stevigheid en flexibiliteit van het exoskelet en spierkracht van het dier, moet het redelijk goed hebben kunnen zwemmen. Het was een soort onderwatervliegen, waarbij het 6^{de} paar prosomale aanhangsels, de peddels, voor genoeg kracht moest zorgen dat het dier ook echt kon zwemmen en niet met het telson over de bodem sleepte. De peddels moesten krachtig genoeg zijn om het gewicht van het dier in het water te dragen. Als we ervan uitgaan dat het zwemmen met minimale energie gebeurde, moet de peddelbeweging als volgt zijn gegaan. Bij de voorwaartse peddelbeweging moet de eurypteride de peddel naar beneden bewogen hebben (ongeveer 45° ten opzichte van een horizontale positie), bij de achterwaartse beweging moet de peddel naar boven bewogen hebben (ook ongeveer 45°). Dit is een zwemtechniek die ook door de huidige zeeleeuwen wordt toegepast!

De afgeplatte vorm van het lichaam van de eurypteride zorgde voor weinig weerstand in het water, het lichaam was goed gestroomlijnd.

De peddels dienden ook om te sturen. Het telson van de dieren diende als een soort roer. De staart moet ook op en neer bewogen kunnen hebben. Zijwaartse beweging van de staart was vrijwel niet mogelijk.

Als een eurypteride met een lage snelheid zwom moet het water gemakkelijk over en langs zijn lichaam gestroomd hebben. Was de snelheid echter hoger dan zouden er volgens de gedane proeven met de modellen maalstromen achter de eurypteride zijn ontstaan en zou het dier niet op een stabiele manier hebben kunnen zwemmen. Het is daarom onwaarschijnlijk dat de eurypteriden snel gezwommen hebben. Wel is het goed mogelijk dat ze plotseling tevoorschijn konden schieten om een prooi te bemachtigen en over een korte afstand snel konden zwemmen. Via vergelijking met bepaalde huidige krabbensoorten die vergelijkbare scharen hebben als de peddels van de eurypteriden komt Knight op een maximale zwemsnelheid van 3 tot 4 meter per seconde.

Waarschijnlijk is ook het acceleratievermogen te vergelijken met dat van de huidige krabben. Dit maakt *Baltoeurypterus tetragonophthalmus* niet in de eerste plaats tot een jager, maar eerder tot een eurypteride die goed in staat was zich naar nieuwe plekken te begeven en daar kleine prooidieren zoals kleine arthropoden en wormen op te sporen.

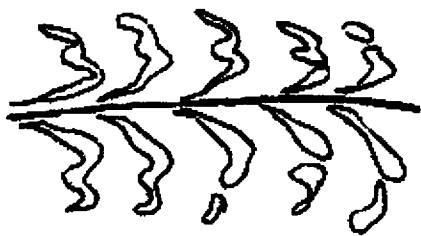
Knight heeft vier groeistadia van eurypteriden voor zijn computermodel bestudeerd en concludeerde dat jonge eurypteriden naar verhouding (dus niet absoluut) sneller konden zwemmen dan volwassen exemplaren.

Eurypteriden kleiner dan 1 cm hadden door andere verhoudingen van de grootte van de peddels in relatie tot de lichaamslengte waarschijnlijk ook een andere zwemtechniek. Ze gebruikten de peddels waarschijnlijk als een soort roeispanten, waarbij bij de achterwaartse beweging van de peddels deze naar beneden bewogen werden om te voorkomen dat het dier zou zinken. Kleine haartjes aan de zijkanten van de peddels vormen mede aanwijzingen voor deze techniek. Deze zorgden voor oppervlaktevergroting van de peddels.

Er zijn nog meer ideeën over het zwemmen met de peddels, maar die zijn niet experimenteel getest. Het is mogelijk dat jonge individuen ondersteboven hebben gezwommen, zoals dat nu bij jonge degenkrabben het geval is.

Ichnofossielen

In 1948 werden in de Shenango Sandstone Formation (Mississippiaan = Onder-Carboon), in Pennsylvania, pootafdrukken (een sporenfossil = ichnofossil) gevonden over een lengte van 79 cm, die toegeschreven worden aan eurypteriden. Onbekend is echter welke soort deze pootafdrukken heeft achtergelaten. S.M. Manton heeft tussen 1952 en 1977 veel onderzoek gedaan naar de pootafdrukken die aan eurypteriden toegeschreven worden. Vergelijking met sporen die huidige (verre) verwanten, zoals schorpioenen en degenkrabben, achterlaten geeft inzicht in de manier van voortbeweging van de eurypteriden.



Afb. 8. *Palmichnium*, een ichnofossil dat toegeschreven wordt aan eurypteriden. Dit ichnofossil kan plaatselijk veel voorkomen. Het is een kruispoot dat symmetrisch is ten opzichte van de centrale as, waarlangs de pootafdrukken zichtbaar zijn. De afmeting varieert met de grootte van het dier. Bron: <http://palaeo.gly.bris.ac.uk/Palaeofiles/Traces/trackways/chelicerate/chel.html>

Er zijn ook ichnofossielen gevonden van een zespotige en een achtpotige voortbeweging in fase, die aan eurypteriden worden toegerekend. De meeste eurypteriden hadden echter dusdanig tere poten dat ze daarmee vrijwel zeker niet op het land hebben kunnen lopen.

Ichnofossielen die aan eurypteriden worden toegerekend worden *Palmichnium* (afb. 8) genoemd.

Ontwikkeling

Reeds in het Ordovicium waren er eurypteriden. De Soom-Shale Lagerstätte (de zogenaamde Kerbos-locatie) van Zuid-Afrika heeft Boven-Ordovicische (onderetage: Ashgillien) eurypteriden opgeleverd: *Onychopterella augusti*. De ouderdom van deze dieren is ongeveer 435 miljoen jaar. *Onychopterella augusti* heeft al alle kenmerken van de eurypteriden. Het wachten is op vondsten van nog oudere vertegenwoordigers. De Midden-Cambrijsche *Sanctacaris* uit de beroemde Burgess Shale (Canada) is de oudste arthropode die kenmerken vertoont op grond waarvan hij tot de cheliceraten gerekend kan worden. Dit dier heeft hetzelfde aantal kopaanhangsels en dezelfde verdeling van het lichaam die bij de eurypteriden wordt teruggevonden. *Sanctacaris* had een rovende levenswijze en is ongeveer 530 miljoen jaar oud.

Een andere mogelijk oudst bekende vertegenwoordiger die in de literatuur genoemd wordt is *Kodymirus*, alhoewel dit ook een zogenaamde Aglaspide zou kunnen zijn. (De aglaspiden worden bij de Trilobitoidea ingedeeld en zijn dus geen voorouder van de eurypteriden). Dit dier stamt ook uit het Midden-Cambrium. De Soom-Shale fauna bestaat uit veel nektonische dieren (vrij zwemmend) en nektobenthische dieren (beperkt zwemmend, vooral levend op de bodem van de zee). Opvallend is dat er meer roofdieren dan prooidieren gevonden werden. Dit zou verklaard kunnen worden uit het feit dat de roofdieren in het algemeen gepantserd waren en de prooidieren niet, maar in dit geval

gaat het om een Lagerstätte waar ook weke delen van de dieren bewaard gebleven zijn. Er zijn bijvoorbeeld ook vondsten gedaan van trilobieten die geen hard pantser bezaten (*Soomaspis splendida*).

De superfamilie *Eurypteracea* is de superfamilie waarvan de achterste poten zich tot peddels ontwikkelden, door een vergroting van de segmenten aan het uiteinde van de poten. Dit zijn de 'klassieke' eurypteriden. Zij worden beschouwd als degene waaruit de overige eurypteriden zich ontwikkelden.

Uitsterven

Na een succesvol bestaan vanaf het Ordovicium verdwenen de eurypteriden in het Perm van het aardse toneel.

Het Perm eindigde met de grootste massa-extinctie van het aardse leven, 54% van alle mariene families stierf uit (op het land stierf 75% van de amfibieënfamilies uit en meer dan 80% van de reptielenfamilies). De eurypteriden waren al op hun retour en overleefden deze massa-extinctie dan ook niet. De eurypteriden van de familie *Adelophthalmidae* (vanaf het Boven-Carboon) behoorden tot de laatste eurypteriden die stand hielden. Ze hadden waarschijnlijk een amfibische levenswijze en konden zowel in zout water, zoet water als brak water leven. Ze waagden zich ook op het land.

De glorie tijd van de eurypteriden was het Boven-Siluur en het Onder-Devoon, toen ze tot de grootste predatoren in de zeeën behoorden. Hun teruggang verliep parallel met de opkomst van de steeds succesvollere vissen, die vooral vanaf het Devoon de zeeën gingen beheersen. De soortenrijkdom van de vissen steeg snel en deze pasten zich aan allerlei verschillende leefomgevingen aan. Hier waren ook grote predatoren bij, zoals *Dunkleosteus*, een Arthrodire (Devonische pantservis) van 6 tot 8 meter lengte.

Relatie met huidige degenkrabben, schorpioenen en spinnen

De Cheliceraten worden traditioneel (volgens de Treatise on Invertebrate Paleontology) in twee klassen ingedeeld: de Merostomata en de Arachnida.

De Eurypterida en de Xiphosura (degenkrabben en hun prehistorische verwanten) worden tot de Merostomata gerekend. De echte schorpioenen worden tesamen met de spinnen, mijten, etc. bij de Arachnida ondergebracht. Deze dieren leven en leefden voornamelijk op het land.

Net als bij de trilobieten is de degenkrab dus een van de meest nabije verwanten van de eurypteriden. Verder zijn ook de land-schorpioenen nauw aan de eurypteriden verwant. In New York (in de Silurische Fiddlers Green Formatie, Herkimer County) zijn tussen de versteende resten van eurypteriden ook fossielen van echte (Silurische) schorpioenen (*Proscorpius osborni*) gevonden, die er vrijwel hetzelfde uitzien als de huidige schorpioenen. Ze hadden al een duidelijke gifstekel aan het uiteinde van het achterlijf. Het betreft wel een soort die ook in het water geleefd heeft. Het dier was iets kleiner dan 5 cm. Deze soort had zich dus naast de eurypteriden ontwikkeld en een eigen plaats verworven in het toenmalige ecologische systeem. Zowel in de staat New York als in Indiana zijn Silurische schorpioenen gevonden, altijd in associatie met eurypteriden en andere aquatische levensvormen.

Ook buiten Noord-Amerika zijn enkele soorten schorpioenen uit het Siluur bekend, o.a. uit Zweden.

Op de lange termijn bleken deze kleine dieren succesvoller te zijn dan de eurypteriden, maar dan wel op het land.

De relatie tussen de eurypteriden, degenkrabben, schorpioenen en spinnen is nog volop aan discussie onderhevig. Verder onderzoek en nieuwe vondsten zullen een bijdrage moeten leveren aan een beter beeld omtrent deze relaties.

Dankwoord

Ik wil Roland Juvyns bedanken voor het beschikbaar stellen van de twee foto's met eurypteriden.

Geraadpleegde literatuur/websites:

Alferink, M., Contouren van een ver verleden; Fossielen uit het Siluur van Lesmahagow en de Hagshaw Hills, Zuid-Schotland, Museon. ISBN 90-70592-20-7.

de Buissonjé, P.H., (1993). Arthropoda; in: *Gea* (themanummer Paleontologie van de Ongewervelden), maart 1993, vol. 26, nr. 1, p. 28-31.

Gaster, K.E. en Kjellesvig-Waering, E.N., (1-4-1964). *Palaeontographica Americana*, Volume IV, No. 32, Upper Ordovician Eurypterids of Ohio.

Clarkson, E.N.K., (1979), *Invertebrate Palaeontology and Evolution*. Allan & Unwin, Londen.

Dunlop, J.A., Webster, M., (1999). Fossil evidence, terrestrialization and arachnid phylogeny; *The Journal of Arachnology* 27: pp. 86-93.

Fenton, C.L. en Fenton, M.A., (1958). *The fossil book; a record of prehistoric life, revised and expanded by Rich, P.V., Hewitt Rich, T.H., Fenton, M.A.* (1989), Doubleday.

Gayrard-Valy, Y., (1991). Fossielen, Unieboek b.v., Postbus 97, 3990DB Houten, Wettelijk depot: D 1991/0034/260.

Geys, J.F., *De Geschiedenis van het Leven, de delen Ordovicium* (1987), *Siluur* (1989) en *Devoon* (1991); Belgische Vereniging voor Paleontologie, Antwerpen.

Ivanov, M., Hrdlickova, S. en Gregorová, R., *Geïllustreerde fossielenencyclopedie*, Rebo Productions, (Lisse), ISBN 90 366 1342 6

Kazlew, M.A. (2000). Eurypterida - All about 'Sea-scorpions'.

Moore, R.C. (ed.) (1955). *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part P, Arthropods 2*. Geological Society of America and University of Kansas Press.

Richter, A.E. (1999). *Handbuch des Fossilien Sammlers: ein Wegweiser für die Sammlerpraxis*. Bechtermünz Verlag, Augsburg.

Turek, V., Marek, J. en Benes, J., (1990). *De grote encyclopedie der fossielen*, Rebo Productions, Lisse.

<http://palaeo.gly.bris.ac.uk/Communication/Eurypterids/home.html>

<http://www.langsossils.com/museum-gallery.htm>

<http://members.tripod.com/~gknight/>

<http://www.palaeos.com/Invertebrates/Arthropods/Eurypterida>

<http://www.eurypterid.net/index.html>

<http://eurypterids.net/>

<http://palaeo.gly.bris.ac.uk/Palaeofiles/Lagerstatten/soom/contents.html>

<http://palaeo.gly.bris.ac.uk/Palaeofiles/Traces/trackways/chelicerate/chel.html>

The Kheper Site: <http://www.kheper.auz.com/gaia/biosphere/arthropods/eurypterida/index.html>

en Mikko Haaramo, <http://www.fnmh.helsinki.fi/users/haaramo>

Meer kalium in aardkern is mogelijk, en zou veel verklaren

Kalium is een element dat op aarde relatief veel voorkomt (slechts 15 elementen komen in grotere hoeveelheden voor), maar is vooral geconcentreerd in de aardkorst. Ook in de aardmantel komen nog aanzienlijke hoeveelheden voor. Volgens de gangbare theorieën zou het echter in slechts zeer geringe hoeveelheden voorkomen in de aardkern; enerzijds omdat het bij de geleidelijke scheiding van lichtere en zwaardere elementen vooral naar de buitenzijde van de aarde zou zijn 'gedreven', anderzijds omdat kalium onder de omstandigheden binnenin de aarde vrijwel geen verbindingen met andere elementen zou kunnen aangaan. Dat laatste blijkt onjuist: experimenten van twee Engelse onderzoekers (van de Universiteit van Bristol) wijzen uit dat kalium (en natrium) bij een druk van 2,5-24 GPa en een temperatuur van 1500-1900 °C zich wel degelijk binnen een vloeibare, ijzerrijke smelt kunnen blijven ophouden, mits er ook vrije zwavel aanwezig is. Deze bevinding zou, indien ook werkelijk significante hoeveelheden kalium in de kern aanwezig zijn, belangrijke consequenties hebben voor ons inzicht in de vroege aardgeschiedenis. Zo heeft kalium een radioactieve isotoop (K-40), die vervalt met een halveringstijd van 1,25 miljard jaar. Bij het radioactieve verval van K-40 komt warmte vrij; momenteel gaat dat om zo'n 10% van de geothermische warmte. Omdat er inmiddels veel K-40 is vervallen, moet dat vroeger meer geweest zijn: toen de aarde pas was gevormd, ca. 4,6 miljard jaar geleden, moet het verval van K-40 meer warmte hebben opgeleverd dan de warmte die nu door verval van alle radioactieve isotopen samen wordt vrijgemaakt. Die grote warmteproductie zal zeker invloed hebben gehad op de convectiepatronen, en daarmee zou een vroeg aardmagnetisch veld hebben kunnen ontstaan. En inderdaad zijn er gesteenten van 3,5 miljard jaar oud die daarvoor aanwijzingen bevatten. Omdat het dynamo-effect, dat verantwoordelijk is voor het magneetveld, moeilijk te realiseren is zonder vaste binnenkern binnen een vloeibare buitenkern, zou de differentiatie tussen binnen- en buitenkern dus al minimaal 3,5 miljard jaar geleden moeten hebben plaatsgevonden. Huidige modellen kunnen echter nauwelijks overweg met een binnenkern die ouder is dan een miljard jaar, gezien de snelheid waarmee die kern aangroeit. Als de binnenkern sinds 4,6 miljard jaar geleden met een constante snelheid zou zijn gegroeid tot zijn huidige omvang, dan zou de warmtestroom uit de vrijkomende kristallisatiewarmte ongeveer een half miljard kilowatt hebben bedragen. De totale warmteflux vanuit de binnenkern is waarschijnlijk echter zo'n 7 miljard kW geweest, of - rekening houdend met mantelpluimen - zelfs 10 miljard kW. Dit verschil zou alleen verklaarbaar zijn bij een afkoelingsnelheid van 120-200 °C per miljard jaar, maar dat getal is onwaarschijnlijk hoog. De kern moet dus jonger zijn dan 4,6 miljard jaar, of er moet een aanvullende warmtebron zijn geweest. Volgens de uitgevoerde experimenten kan de aardkern oorspronkelijk zo'n 250 ppm (deeltjes per miljoen) kalium hebben bevat. Die hoeveelheid zou 4 miljard TW aan warmtestroom hebben opgeleverd. Te weinig om een leeftijd van 4,6 miljard jaar voor de aardkern volledig te verklaren, maar een leeftijd van 2,5 miljard jaar zou wel mogelijk zijn. Er zijn inmiddels reacties van andere onderzoekers die menen dat de kern meer dan 250 ppm kalium kan hebben bevat. Samen met de warmte die door andere radioactieve isotopen werd opgewekt (bijv. uranium en thorium) zou een binnenkern (en een aardmagnetisch veld) van 4,5-3,5 miljard jaar oud niet bij voorbaat onmogelijk zijn.

Brodholt, J. & Nimmo, F., 2002. Core values. *Nature* 418, p. 489-491.
Gessmann, C.K. & Wood, B.J., 2002. Potassium in the Earth's core? *Earth and Planetary Science Letters* 200, p. 63-78.