

inhoud

Fossielen met röntgen-ogen gezien . . .	65	Lezers schreven ons:	
Het systematisch verzamelen van mineralen	70	Dure stenen op de GEA-beurs	81
Geodesie	72	4e GEA-beurs:	
Droogslippen = Doodslippen	75	Veelzijdig als een kristal	82
Boekbesprekingen	77	GEA-kursussen en mededelingen	84
Het geheim van fluorescentie	78	Uit de kringen	85
		Vereniging Amathysta, GEA-pioniers	86

Fossielen met röntgen-ogen gezien *)

door Prof. W. Stürmer

DE RÖNTGENOPNAME ALS HULPMIDDEL VAN DE PALEONTOLOGIE

De paleontologie is een oude tak van de natuurwetenschappen, die zich voornamelijk bezig houdt met de bestudering van de reeds lang uitgestorven dieren- en plantenwereld.

Ruimtelijk gezien strekt zich het arbeidsveld over het gehele aardoppervlak uit. De laatste tijd is de paleontologie - voornamelijk door het zoeken naar olie en aardgas - ook in de diepere regionen van de wereldzeeën doorgedrongen.

Momenteel zijn er levenssporen bekend die meer dan 2 miljard jaar oud zijn. De oudste fossielen, die nog met behulp van radioactieve onderzoeksmethoden gedateerd kunnen worden, zijn overwegend mikro-fossielen (algen en bacteriën) welke de laatste jaren in Zuid-Afrika en Noord-Amerika gevonden zijn.

De taak van de paleontoloog is het, om zoveel als mogelijk is vroegere resten van dieren en planten op te sporen, deze door middel van verschillende prepareringsmethoden aan het licht te brengen en daarna - ieder naar zijn soort - onder te brengen in de bestaande systematiek.

*)

Oorspronkelijke titel: Versteinerungen mit Röntgen-Augen gesehen" Met toestemming van de auteur overgenomen uit Heft 22 van "Das neue Erlangen", in het Nederlands bewerkt door M. M. J. Haver, Leidschendam.

Voor de geologen zijn de fossielen uiterst belangrijk voor de bepaling van de ouderdom van de aardlagen. Vooral de zogenaamde gidsfossielen, die geologisch gezien, slechts enige miljoenen jaren lang over de gehele wereld leefden en daarna zeer plotseling verdwenen, zijn hierbij van het grootste belang.

Bij het onderzoek van de fossielen door de paleontoloog ondervindt deze veel steun van aanverwante wetenschappen als bijvoorbeeld: dierkunde, plantkunde, biologie, chemie en fysica.

De fysica heeft de laatste tijd, onder gebruikmaking van de onzichtbare stralen van verschillende golflengten, wezenlijk bijgedragen tot het opsporen en onderzoeken van fossielen.

Over de resultaten, die met röntgenstralen bereikt werden, gaat navolgende verhandeling. Bij de toepassing van röntgenstralen is het noodzakelijk, dat de fossielen uit materialen bestaan, die voor de doordringende stralen een andere doorlaatbaarheid bezitten dan het materiaal van het omringende gesteente. Jammer genoeg zijn vindplaatsen, waar deze en nog andere voorwaarden aanwezig zijn, tamelijk zeldzaam.

Een gebied, waarvan het gesteente bijzonder geschikt is, is het Rheinische Schiefergebirge. Daar komt momenteel een door het VW-concern gefinancierd projekt op gang, waarbij met de modernste technische hulpmiddelen de leiste-

platen uit de wand van de groeve worden losgebroken, gespleten, en ter plaatse met een mobiel röntgenapparaat doorgelicht. De gesteenten met fossielen worden daarbij geborgen.

De destijds door mij verrichte onderzoeken hebben overwegend betrekking op dergelijk materiaal. Dat tot dusverre de röntgenstralen-techniek slechts af en toe is toegepast om fossielen te onderzoeken, werd veroorzaakt door het feit, dat de paleontologen geen eigen röntgenapparaat bezaten en daardoor gedwongen waren zich tot een radioloog te wenden om daar de opnamen te laten verzorgen onder omstandigheden, die uitsluitend gericht waren op onderzoeksmethoden van het menselijk lichaam. Indien de aldus gemaakte opnamen niet optimaal bleken te zijn konden de radioloog daar geen verwijt van maken, aangezien het een voor hem ongewoon object van onderzoek betrof.

Hierdoor is het verklaarbaar, dat niettegenstaande de eerdere onderzoeken deze methode geen algemene ingang heeft gevonden. De eerste opnamen van fossielen met behulp van röntgenstralen werden reeds 9 maanden na de ontdekking van deze stralen gemaakt en wel door Brühl en Lemoine in Parijs (8 november 1895).

Pas in het midden van de dertiger jaren is er een natuurkundige - Prof. Dr. W. Lehmann - die met de opnametechniek met behulp van een röntgenapparaat vertrouwd is en bovendien kon-takt heeft met paleontologen. Hij is in staat haarscherpe opnamen te maken van paleontologische objecten.

In de loop der jaren groeide uit zijn eerst als nevenwerk begonnen werkzaamheden een hartstocht, die hem er toe bracht te verhuizen naar Bonn om dichterbij de rijke vindplaatsen van de Hunsrück te zijn. Bij zijn dood in 1959 liet hij vele duizenden opnamen achter. Een monografie over de Asterozoa en vele uitgaven in wetenschappelijke tijdschriften geven slechts een deel van de kennis van Lehmann weer.

In de laatste tijd worden de onderzoeken met behulp van röntgenstralen steeds veelvuldiger. Onderstaande tabel kan daarvan maar een vage indruk geven. De aantallen omvatten slechts de mij bekende werken en hebben niet de pretentie volledig te zijn, ze zijn waarschijnlijk zelfs aan de lag kant.

1896 - 1899 = 8
1900 - 1960 = 101
1960 - 1969 = 70

Door het verfijnen van de opnametechniek, door de verbetering van de röntgenlamp, door nieuw opnamemateriaal (speciaal ontwikkeld door de foto-industrie ten behoeve van de mikro-elektronica), zijn de grenzen van het oplossend vermogen verder opgevoerd waardoor zelfs details onder de 0,01 mm nog zichtbaar worden.

Door gebruik te maken van "zachtere" röntgenstralen (stralen, die met spanningen lager dan 40 kV opgewekt worden) gelukt het ook de zeer fijne verschillen van absorptie in het materiaal zichtbaar te maken.

Dat zo vele van de onderzochte fossielen juist uit het Rheinische Schiefergebirge kwamen, was het gevolg van de veelvuldige winning van leien daar ter plaatse. Dit materiaal diende al honderden jaren

lang als dakbedekking en als schrijfmateriaal voor schoolkinderen.

Alleen al in de Hunsrück waren meer dan 100 leisteengroeven in bedrijf. Door het gebruik van weerbestendige dakpannen en de invoering van papier en balpenen in de scholen liep het verbruik aan leien zo sterk terug, dat in de loop van de laatste tien jaren de meeste groeven stil gelegd werden, waardoor de aanvoer van fossielen uit dit gebied tot stilstand is gekomen.

Het is een bijzonder gelukkige omstandigheid, dat de resten van de fossielen in deze Devonische leien grotendeels zijn gepyritiseerd. Pyriet is een materiaal, dat bijzonder hard is en daarom met mechanische preparatiemethoden gemakkelijk uit de zachtere lei vrij gemaakt kan worden. Voor het prepareren gebruikt de preparateur fijne schrapers, messingborstels, tandartsge-reedschap, en tegenwoordig ook fijne zandstralers, waarmee onder de stereomicroscop de fossielen aan het licht worden gebracht.

Op welke manier zich in het dode dier de omzetting in pyriet voltrok is nog niet geheel opgelost (pyriet is een verbinding van zwavel en ijzer, FeS₂).

Aanleiding tot de vorming daarvan gaf in ieder geval de in het dier aanwezige zwavel, die zich ofwel bevond in chitineachtige of conchiolineachtige hardere delen of in het eiwit van de wekere delen.

Wanneer het dode dier door modder en slijk werd overdekt en tot ontbinding overging werden vermoedelijk de zwavelachtige afbraakprodukten door het omringende (gesteente)materiaal opgenomen en ter plaatse vastgelegd.

In de loop van de volgende duizenden jaren drongen ijzerhoudende oplossingen het gesteente binnen en zorgden voor de omzetting van de aanwezige zwavel in pyriet, die men heden ten dage op röntgenopnamen als schaduw kan zien. Tijdens het werken met leisteemplaten uit het Schiefer-gebirge kwam mij een toeval te hulp.

Op de röntgenopnamen van een halfgeprepareerde Goniatites, een cephalopode uit het Devoon, viel voor de woonkamer een brede fijne schaduw waar te nemen, die juist daar lag waar men de wekere delen verwachten mocht. Bij het bekijken van een zeer sterk vergrote detail-opname bleek duidelijk, dat dit schaduwbeeld uit zeer fijne korreltjes was opgebouwd, die onderling geen enkele samenhang vertoonden.

Daaruit konkludeerde ik, dat ook bij de meest verfijnde preparatiemethoden deze fijne pyrietbouwsels vernietigd zouden worden. Zo ving het zoeken naar niet-geprepareerde platen aan, die niet alleen in overvloed te vinden waren in het Senckenberg-museum van Frankfurt/Main, maar ook in de verzamelingen van vele universiteiten en particulieren.

De juistheid van de eerder ontwikkelde gedachte werd al snel bevestigd.

De eerste Devonische cephalopoden - met goed geconserveerde vangarmen - kwamen aan het licht.

Zowel bij de Orthoceras-achtigen, de voorvaders van de latere belemnieten (Jura), alsook bij de opgerolde Goniatieten, de voorlopers van

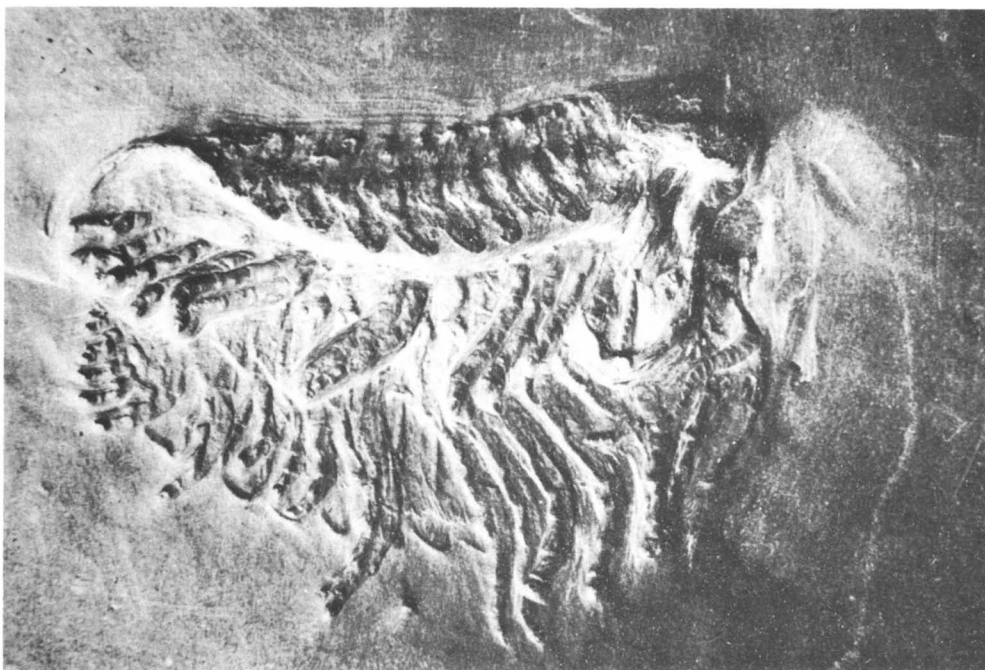
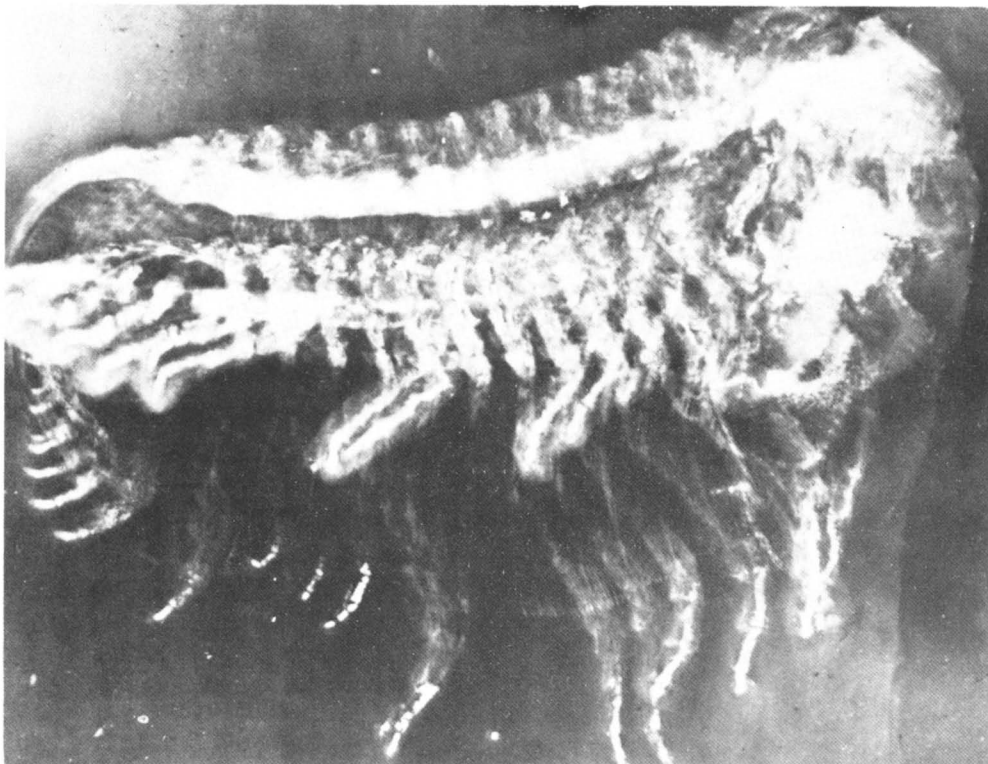


Foto boven:

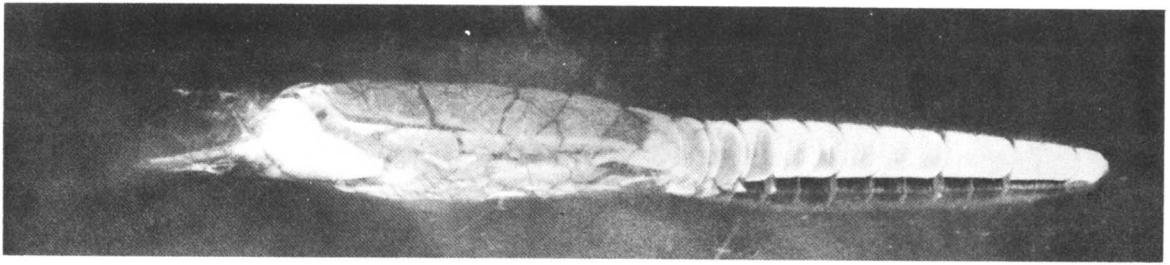
Phacops sp. (röntgenopname)

Sterk verdrukte trilobiet, ware grootte $\pm$ 5 cm. Op de opname is duidelijk het darmkanaal te zien. Het facet-oog komt op deze foto niet goed uit.

Foto onder:

Hetzelfde *Phacops*-exemplaar, nu met zichtbaar licht gefotografeerd.

Deze *Phacops* sp. maakt deel uit van de "Sammlung Beierische Staatsmuseum".



Lobobactrites sp. (3x)

Een cephalopode met vangaimen uit het Devoon

onze ammonieten, bleek bij ca 1/3 van de onderzochte platen, dat er dergelijke resten van weke delen aanwezig waren.

Zelfs embryonale vormen van enige mm lengte waren nog bewaard gebleven. Op mikro-opname konden bij de jongste stadia van Ophiuren (slangsterren) die volwassen een doorsnede van ca 30 cm bereiken konden, nog de fijnste vertakkingen van water- en zenuwkanaaltjes in de armen worden aangetoond.

Een van de meest opwindende opnamen ten slotte was die van een trilobiet, die reeds 40 jaar lang in de Beierse Staatsverzameling bewaard werd.

De trilobiet werd in 1930 door Broili uitgeprepareerd en beschreven. De toen ter tijd van dit stuk gemaakte tekeningen vindt men momenteel in alle standaardwerken die op dit onderwerp betrekking hebben.

Het was dan ook een grote verrassing, dat op de röntgenopname veel meer te zien was: Het darmkanaal was nog volledig bewaard gebleven, de fijne haarborsteltjes aan de pootjes - die blijkbaar voor het omwoelen van het slijk bij het voedsel zoeken dienden - en het tot dan toe niet zichtbare facetoog kwamen te voorschijn. Dit oog toonde niet alleen de enkele facetten, zoals die van de ogen van de hedendaagse insecten bekend zijn, doch bovendien ook nog vezelbundels die naar de ruimte van de slokdarm lopen. Het bewaard blijven van zulke fijne details is natuurlijk uiterst zeldzaam.

Het oorspronkelijke vermoeden dat het hier om zenuwbundeltjes gaat, die de lichtimpulsen na te zijn omgezet in elektrische energie naar het zenuwknooppunt (hersenen) leidden, kon tot nu toe niet worden bevestigd. Waarschijnlijker is het echter dat het hier om de geleiding van het licht gaat zoals die bij de moderne vezel-optieken tot stand komt.

De verwerking van de ontvangen prikkels geschiedde wellicht pas in de buurt van het zenuwknooppunt. Om deze vraag te kunnen verklaren dienen nog enige van zulke gelukkige vondsten te worden gedaan. Welke details er in het binnenste van de leien verborgen kunnen zijn kon aan de hand van een Silurische (ca 400 miljoen jaar oude) lei aangetoond worden.

Dit stuk was afkomstig van de Uthica-slates van Rome/New York en werd mij door het Natuurhistorisch Museum van New York voor onderzoek toegezonden.

Niet alleen trilobieten die slechts zo groot zijn als pissebedden komen met hun pootjes en antennae op de mikro-opnamen te voorschijn, doch ook voor de allereerste keer graptolieten (*Diplograptus*).

De graptolieten zijn nog volledig in het gesteente ingesloten. Hun aanwezigheid in deze leisteen bevestigt het idee, dat een chitine-achtige substantie door zijn hoge zwavelgehalte zeer geschikt is om in pyriet te worden omgezet.

Ten slotte moeten nog enige moderne methoden genoemd worden, die het mogelijk maken met elektronische middelen een voor handen zijnd röntgenbeeld zodanig zichtbaar te maken, dat daarbij grote contrastverschillen worden geëlimineerd.

Hiervoor is enige tijd geleden door de firma Siemens A. G. (afd. medische ontwikkeling) een apparaat ontwikkeld (*Transicon*) speciaal voor medische röntgenopnamen en het doorlichten. De daarvoor in aanmerking komende objecten worden met een televisiekamera opgenomen en het onstane beeldsignaal wordt met behulp van ingewikkelde elektronische vindingen, al naar gelang het contrast in het beeld, versterkt of verzwakt.

Door aan het bestaande beeld een meer of minder groot deel van het nieuwe beeld toe te voegen kan men een verrassende verbetering krijgen van het op het televisiescherm geproduceerde beeld (het z.g. harmoniseren).

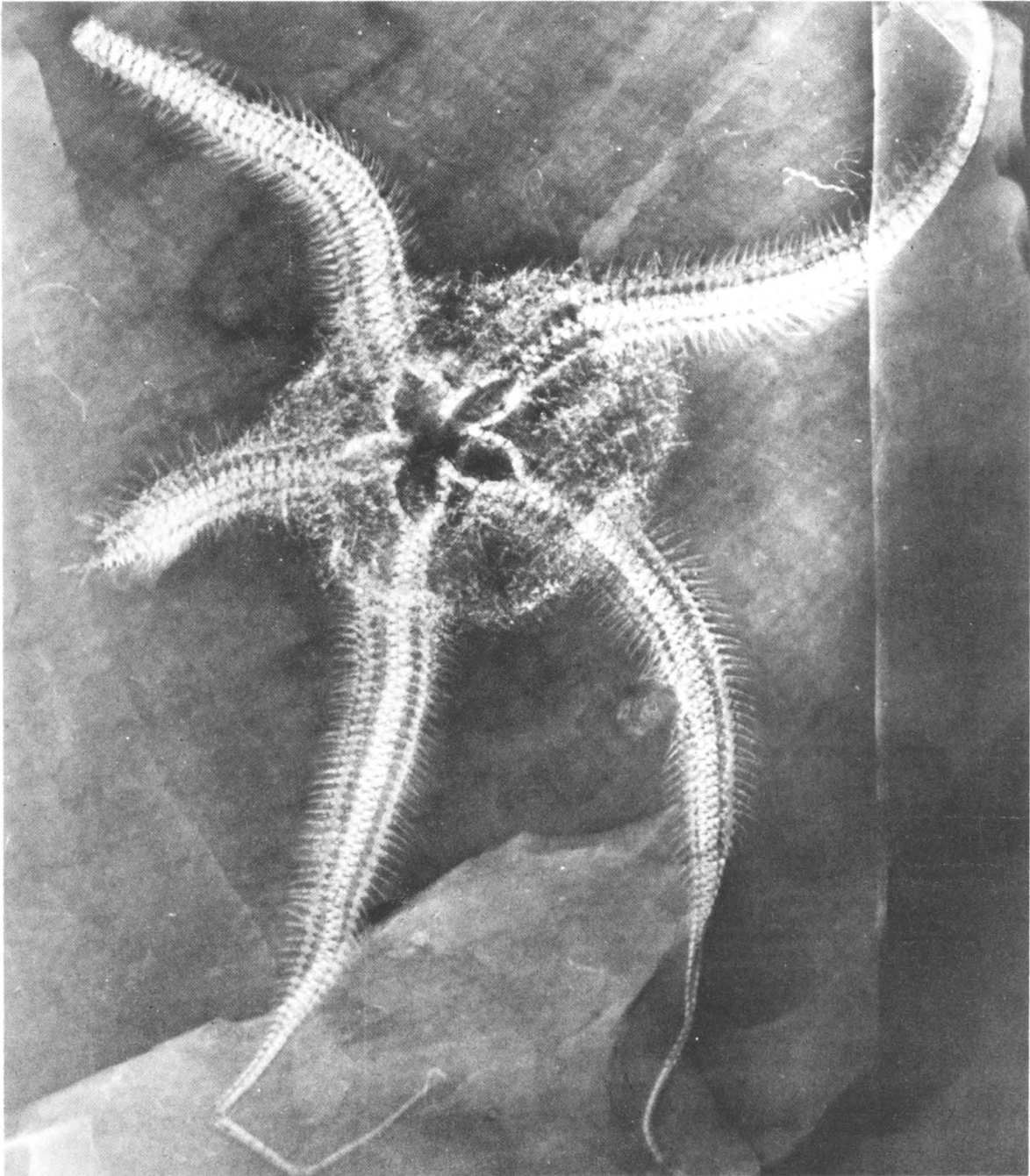
Deze techniek is ook toegepast bij een fossiele *Ramphorhynchus* uit de Solnhofen-plattenkalk. De afdruk van een gewone röntgenopname werd daarbij vergeleken met de weergave van het beeld na "harmonisering". Het aldus verkregen resultaat vertoonde een zeer duidelijke verbetering. Zonder veel moeite zijn de fijne ribben van de borstkas te zien, die op de originele opname nauwelijks waarneembaar zijn.

Met deze uiteenzetting heb ik getracht met enige voorbeelden aan te tonen, hoe de röntgenopname-techniek voor de paleontologie tot een grandioos hulpmiddel geworden is.

Behalve de bovengenoemde zijn er nog andere natuurkundige hulpmiddelen en mogelijkheden die hier niet behandeld zullen worden zoals bijvoorbeeld: het raster-elektronen microscoop met zijn grote diepte-scherpte, alsook de infrarood televisiekamera, waarmee ondoorzichtige fossielen plotseling transparant worden.

Mastigophiura grandis

Een grote prachtig bewaarde slangster uit het Devoon van de Hunsrück. De slangster is geheel in de lei verborgen. Door mechanische prepareringsmethodes, zoals tot nu toe gebruikelijk, zullen vele details verloren gaan, die nu nog op de röntgenopname te zien zijn, zoals de voetjes aan de lange armen en de details van het centrale lichaam.



De resultaten die met dergelijke natuurkundige hulpmiddelen bereikt worden tonen zeer beslist aan, hoe nuttig de onderlinge relatie tussen de verschillende wetenschappen momenteel is. Hiermee wordt ook duidelijk, dat niet alleen de samenwerking tussen verschillende wetenschapsgebieden noodzakelijk is om de voortgang in de wetenschap te bewaren, doch ook, dat de

afzonderlijke wetenschapsmens zich in toenemende mate de grondslagen van zijn aanverwante wetenschappen eigen moet maken om de snelle ontwikkelingen te kunnen bijhouden.

Erlangen,
Burgbergstrasse 20
W-Duitsland