

# De systematiek van mineralen:

## VII FOSFATEN, ARSENATEN, VANADATEN

door W.R. Moorer

Voor de verzamelaar vormt de klasse der fosfaten, arsenaten en vanadaten een bijzonder gevarieerde, interessante en ook kleurrijke groep van zo'n 400 mineralen. Zowel de liefhebber van kleurige, goed gekristalliseerde vitrinestukken als de micromounter vinden in deze mineralengroep volop materiaal. Systematici en fosfaatspecialisten hebben al helemaal hun hart verpand aan deze soortenrijke klasse VII.

De fosfaten, maar vooral de arsenaten en vanadaten, komen eigenlijk maar in zeer kleine hoeveelheden in de aardkorst voor. Als ze er zijn, bijvoorbeeld lokaal geconcentreerd in pegmatieten of in de oxidatie-zones van rijke ertsaders, dan zijn ze ter plekke het neusje van de zalm. Mineralen zoals Apatiet, Wavelliet, Pyromorfiet, Turkois, Cornetiet, Autuniet, Adamien, Duftiet, Agardiet en Vanadinit vinden we dan ook in vele verzamelingen.

### Eigenaardigheden

Alle fosfaten bevatten de fosfaatgroep ( $\text{PO}_4$ ); de arsenaten bevatten de overeenkomstige arsenaat- ( $\text{AsO}_4$ -) groep en de vanadaten de ( $\text{VO}_4$ -) groep. De overgrote meerderheid van deze hooggeoxideerde mineralen zijn afkomstig van verweringsprocessen aan of dicht bij het aardoppervlak. Uitzonderingen zijn Fluorapatiet, Monaziet en een klein aantal andere fosfaten die geen kristalwater of hydroxyl bevatten.

Net als bij de klasse der sulfaten (mineralen met  $\text{SO}_4$ -groepen; zie Gea, dec. 1990) worden stabiele kristalroosters vooral verkregen met grote metaalionen of met kleine metaalionen bij gelijktijdige inbouw van hydroxyl, kristalwater, fluoride of chloride. Maar in tegenstelling tot de sulfaten zijn de fosfaten enz. over het algemeen stabiel en nauwelijks oplosbaar in water.

### Indeling

Hoewel de 400 fosfaten enz., net als de carbonaten en sulfaten, kunnen worden ingedeeld naar eenvoudige en complexe, kristalwatervrije dan wel kristalwaterhoudende mineralen, is het ook handig ze te rangschikken naar metaalion. Houdt men daarbij de fosfaten gescheiden van de arsenaten en vanadaten, dan wordt vooral met het oog op de mineraalparagenese, een prettiger verdeling van deze zo soortenrijke klasse verkregen.

## A. Fosfaten

De grootste en belangrijkste subgroep wordt gevormd door de fosfaten. Er zijn er meer dan 220. We beginnen met de fosfaten der zeldzame aardmetalen.

### A1. Zeldzame aarden: Monaziet

De metalen van de zeldzame aarden (lanthaan, cerium, neodymium, gadolinium, europium en nog tien andere) zijn niet zeldzaam maar vormen wel een raar groepje. Ze komen meestal samen voor en konden vroeger maar met de grootste moeite van elkaar worden geïsoleerd. Tegenwoordig zijn er vele toepassin-

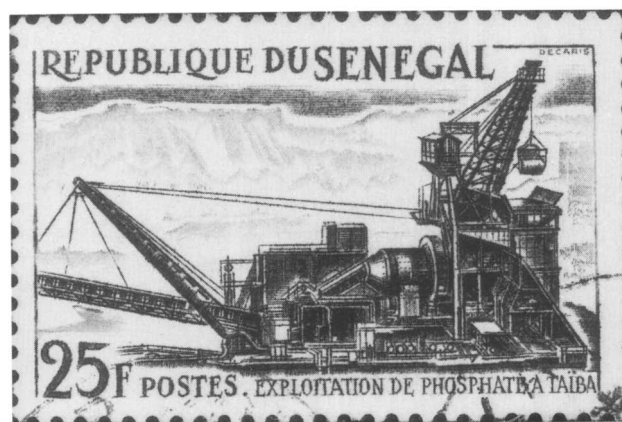
gen: in vuursteentjes, polijstpoeder, TV-schermen, magneten, staal, lasers, keramiek, röntgenbuizen en computergeheugens worden ze verwerkt. Het bekendste mineraal waarin ze voorkomen prijkt op de voorplaat: Monaziet.

In zure pegmatieten en granieten komt monaziet voor als wat grove, grote, platige kristallen (zie afb. 1), respectievelijk als kleine korreltjes. De mooiste, maar kleine, honinggele kristallen worden zeer lokaal gevonden in alpine rekspleten (in gneis en syeniet) of in andere bijzondere milieus zoals in de talk-dolomietafzettingen van Luzenac (Ariège, Fr.).

Monaziet is een vrij hard mineraal, dat zeer goed tegen verwerking bestand is. Men vindt het dan ook verrijkt in placers, in de zandstranden van India, Australië, Brazilië, waar het lokaal een belangrijk en economisch winbaar erts vertegenwoordigt. Het zware concentraat van zo'n monazietstrand wordt bij duizenden tonnen verwerkt.

De eenvoudigste manier om Monaziet in formule te schrijven is  $\text{CePO}_4$ . Omdat monaziet niet alleen cerium, maar meestal ook verschillende zeldzame aardmetalen bevat, schrijft men nauwkeuriger:  $(\text{Ce,La,Nd,...})\text{PO}_4$ . Maar het mineraal bevat meestal nog zirconium, thorium, yttrium en calcium, dus:  $(\text{Ce,Ca,Th,Y,Zr,Nd,La,...})\text{PO}_4$  zou beter zijn. Tenslotte is meestal een deel van de fosfaatposities in het kristal ingenomen door silicaat, zodat uiteindelijk  $(\text{Ce,Ca,Th,Y,Zr,Nd,La,...})(\text{PO}_4,\text{SiO}_4)$  resulteert. Een simpel mineraal met een ingewikkelde chemie! Vanwege het thoriumgehalte zijn de meeste monaziëten (een heel klein beetje) radioactief. Tegenwoordig wordt onderscheid gemaakt tussen Monaziet-(Ce), Monaziet-(La) en Monaziet-(Nd), al naar gelang het belangrijkste metaal in het mineraal. Helaas is het onderscheid niet zonder geavanceerde technieken te maken, zodat we, bij gebrek aan gegevens, gewoon maar over Monaziet blijven spreken. Voorzover geanalyseerd blijken de meeste monaziëten Monaziet-(Ce) te zijn. De voorplaat-monaziet is een Monaziet-(La).

Er is nog een tiental andere fosfaten van de zeldzame aardmetalen. Goed bekend is Xenotiem:  $(\text{Y,Zr,Ca,Th,U,Zr})\text{PO}_4$ , een yttriumfosfaat met Zr enz. dus. Het komt voor in ongeveer dezelfde milieus als Monaziet, maar heeft tetragonale dipiramidale kris-



Afb. 1. Postzegel met afbeelding van de fosfaatwinning uit sedimentaire afzettingen van Senegal, Afrika.



Afb. 2. Postzegel van groot, ruw kristal van Monaziet; Uganda.

tallen die lijken op die van Zirkoon. Zie afb. 2. Weinscheniet bevat kristalwater en ziet eruit als zijde witte, harige bosjes.

## A2. Beryllium

Eveneens uit pegmatieten en metamorfe gesteenten komen een elftal zeldzame berylliumfosfaten. De systematiekverzamelaar kent Herderiet,  $\text{BeCa}(\text{PO}_4)\text{F}$ , Roscheriet, Berylloniet en de onuitspreekbare mineralen Babefphiet en Väyryne-niet misschien wel.

## A3. Apatiet

Hier hebben we het misschien wel bekendste, maar in ieder geval het meest voorkomende fosfaatmineraal. In feite gaat het om de

apatietgroep die bestaat uit een zestal soorten: Fluorapatiet, Chloorapatiet, Hydroxylapatiet, Carbonaat-fluorapatiet, Carbonaat-hydroxylapatiet en Strontium-apatiet. Apatiet heeft zijn naam te danken aan determinatiemoeilijkheden. Letterlijk heet het "bedrieglijke steen", vanwege het feit dat mooie kristallen ervan op het eerste gezicht verward kunnen worden met Diopsied, Toermalijn of Beryl. Apatiet kan blauw, groen, paars, bruin, wit, kleurloos of geel zijn. De zeskantige kristallen zijn zuilvormig of afgeplat of naaldvormig. Zeer kleine tot zeer grote kristallen (een halve meter!) komen voor. In pegmatieten, skarnen, metamorfe gesteenten en soms hydrothermaal in (erts)aders komt apatiet wijd verbreid voor (bijna altijd Fluorapatiet) in meestal goede kristallen. In sedimenten vindt men zogenaamde fosforieten: knollen, massa's, oölieten en korsten zonder zichtbare kristallen. Hier geen Fluorapatiet maar meestal Carbonaat-hydroxylapatiet. Deze fosfaatrijke afzettingen worden verwerkt tot "superfosfaat" en andere kunstmestbestanddelen. Zie afb. 3. Vaak is het fosfaat afkomstig van de al of niet fossiele botten en uitwerpselen van dieren. Tenslotte zijn er ook (fijnkorrelige) magmatische afzettingen (van Fluorapatiet), zoals de enorme voorkomens bij de stad Apatita in Kola, USSR. Vele apatietvariëteiten hebben in het verleden een aparte naam gekregen ("dahlliet", "francolith", "staffeliet", "kollophaan" e.a.). Alleen al van de mineralen der apatietgroep kan men een uitgebreide en interessante verzameling aanleggen. Overigens bestaan de botten en tanden van zoogdieren uit Hydroxylapatiet en haaietanden uit Fluorapatiet. Aangezien Fluorapatiet veel beter bestand is tegen zure oplossing dan Hydroxylapatiet, probeert de tandarts fluoride aan te brengen in het tandglazuur of in het speeksel. Al bij zeer geringe hoeveelheden fluoride is dit een effectieve methode tegen tandbederf, dat is het langzaam "oplossen" van het tandglazuur (= Hydroxylapatiet) onder invloed van door bacteriën uit suikers geproduceerd zuur. Net als bij Monaziet is er bij de apatieten een ingewikkelde chemie. Fluorapatiet kan het simpelst worden geschreven als  $\text{Ca}_5(\text{F}/(\text{PO}_4)_3)$  en Hydroxylapatiet als  $\text{Ca}_5(\text{OH}/(\text{PO}_4)_3)$ . Voor apatieten in het algemeen zou men  $(\text{Ca}, \dots)_5(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl}, \text{O})/(\text{PO}_4, \text{CO}_3, \text{SiO}_4, \text{SO}_4)_3$  kunnen schrijven.

Een tiental simpele, maar nauwelijks verzamelwaardige calcium- en magnesiumfosfaten, waarvan sommige worden aangetroffen in guano en andere dierlijke afzettingen (Whitlockiet, Brushiet, Newberyiet) rekenen we eveneens tot A3.

## A4. Alkalifosfaten

De alkalimetalen lithium, natrium, kalium, alsmede het ammonium-ion vormen, al of niet met andere metalen, minstens 40 fosfaatmineralen. Economisch van belang voor de lithiumwinning (batterijen, pacemakers, ruimtevaart, glas, geneesmiddelen) zijn

Amblygoniet:  $(\text{Li}, \text{Na})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{F}, \text{OH})$ , en Montebrasiet:  $(\text{Li}, \text{Na})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{OH}, \text{F})$ . In fosfaatpegmatieten vinden we verder Lithiophylliet, Triphylien, Sickleriet, Hagendorfiet, Cyriloviet, Wardiet. Brazilianiet:  $\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$ , komt als fraaie, grote kristallen voor.

## A5. Aluminiumfosfaten

Aluminiumrijke fosfaten vormen een bijzonder aantrekkelijke groep mineralen: Varisciet, Wavelliet, Crandalliet, Lazuliet:  $\text{MgAl}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$ , niet te verwarren met Lazuriet = Lapis lazuli, dat een aluminiumsilicaat is, verder Goyaziet, Scorzaliet, Childreniet, Ernstiet, Eosphoriet en (weer) Brazilianiet zijn de bekendste.

## A6. IJzer en mangaan

Een vooral voor de micromounter interessante groep van meer dan 50 fosfaten die zeer vaak in fraaie kristalletjes voorkomen. Anapaïet, Berauniet, Cacoxeen, Dufreniet, Laueïet, Ludlamiet, Phosphosideriet, Purpuriet, Rockbridgeïet, Stewartiet, Strengiet, Strunziet, Vivianiet en Xanthoxeniet kunnen een lust voor het oog zijn.

## A7. Zink en lood

Zink lijkt liever arsenaten dan fosfaten te vormen. Toch zijn er 8 zinkfosfaten, met Tarbuttiet, Hopeïet en Parahopeïet als bekendste.

Het aantal loodfosfaten is nog kleiner, maar hieronder vinden we de kroonprins en trots van de fosfaten: Pyromorfiet:  $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2\text{Cl}$ , bijna altijd goed gekristalliseerd, veelvuldig voorkomend en ook nog in mooie kleuren: geel, oranje, groen of bruin.

## A8. Koper

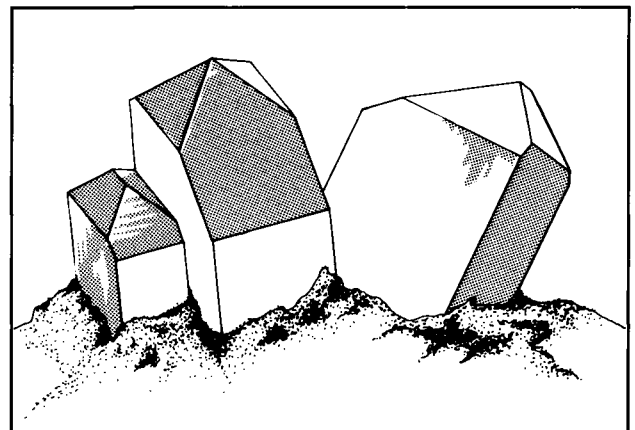
Zoals gebruikelijk bij secundaire kopermineralen ook hier zeer fraaie groene of blauwe mineralen. Pseudomalachiet en Turkoos weliswaar zelden of nooit in kristallen (kort geleden zijn in België prachtige Turkooskristalletjes gevonden!), maar allebei heel mooi. Cornetiet, Libetheniet en Chalcosideriet komen voor in schitterende kristallen en kristalgroepen.

## A9. Uranium

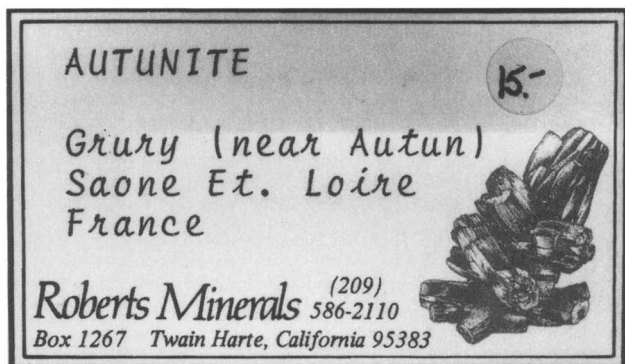
Meer dan 20 uranylfosfaten, bijna steeds in goede kristallen en bovendien fel gekleurd, zijn er bekend. Autuniet, Torberniet, Uranocirciet, Heinrichiet, Parsonsiet en Phosphuranyliet vindt men in vele verzamelingen. Afb. 4.

## A10. Vreemde eenden

Enkele zeldzame fosfaten die ook silicaat als belangrijk anion bezitten worden (meestal) tot de silicaten van klasse VIII gerekend. Dit geldt niet voor een paar vreemde boro-fosfaten. Zowel sulfaat als fosfaat bezitten Ardealiet, Woodhouseïet, Svanbergiet,



Afb. 3. Geelgroene Xenotiem-kristallen; Zwitserland. Vergroot.



Afb. 4. Een etiket van Autuniet (een uranylfosfaat) van de vindplaats Autun (Frankrijk). Van een Amerikaanse handelaar! Afm. 7 x 4 cm.

Hinsdaliet, Destineziet, Tsumebiet en Coconinoiet. Ze worden niet tot de sulfaten maar tot de fosfaten gerekend.

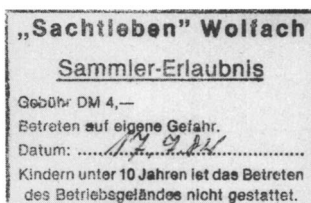
## B. Arsenaten

De ongeveer 130 arsenaten vormen een bijna even gevarieerde en interessante groep als de fosfaten. Op enkele uitzonderingen na ontstaan ze bij de verwerking en omzetting van arseenrijke ertsen (de arseniden en arseen-sulfozouten van klasse II). De naam arsenaat suggereert giftigheid, maar bijna alle arsenaten zijn dermate onoplosbaar, dat gewoon hanteren van deze mineralen geen gezondheidsgevaar oplevert. Opeten is natuurlijk niet de bedoeling, evenmin als grote hoeveelheden van het stof van arsenaten inademen. De tijden dat natuurlijke arsenaten werden toegepast als wondverband en gorgeldrank (tegen bacteriën) liggen ver achter ons, maar mineraalnamen als Pharmacoliet en Pharmacosideriet herinneren daar nog aan.

### B1. Zeldzame aarden

Arsenaten van de zeldzame aarden zijn er maar mondjesmaat. Chernoviet  $(Y,Zr)AsO_4$  en de Retziaanmineralen zien we zelden of nooit, maar Agardiet-(La):  $(La,Zr,Ca)Cu_5(AsO_4)_3(OH)_6 \cdot 3H_2O$  en Agardiet-(Y) zijn, bijvoorbeeld voor de Clara-verzamelaar, geen onbekenden. Afb. 5.

Omdat de agardieten veel meer koper bevatten dan zeldzame aardmetalen, kunnen we ze eigenlijk net zo goed tot de koperarsenaten (groep B8) rekenen.



Afb. 5. "Sachtleben", Wolfach. Toegangsbewijs voor verzamelaars op de storthopen en het fabrieksterrein van de bekende Clara-mijn, Wolfach, Zwarte Woud, BRD. Afm. 6 x 3,8 cm.

### B4. Alkali-arsenaten

Een zeer beperkt groepje rariteiten, die meestal nog ijzer of aluminium bevatten en dan beter bij deze metalen kunnen worden ingedeeld.

### B2. Beryllium

Maar één, zeldzaam, arsenaat met de toepasselijke naam Bearsiet.

### B3. Calcium en magnesium

Zo'n 18 arsenaten uit skarnen (Tilasiet en Svabiet), of afkomstig van verwerende ertsaders; hier vinden we de giftige "geneesmiddelen" Pharmacoliet:  $CaHAsO_4 \cdot 2H_2O$ , Picropharmacoliet:  $Ca_4MgH_2(AsO_4)_4 \cdot 11H_2O$ , en verder Rössleriet, Brassiet. Deze mineralen zijn meestal wit of kleurloos.

### B5. Aluminium

Interessante mineralen voor de micromounter: Durangiet, Liskeardiet en Mansfieldiet behoren tot dit groepje.

### B6. IJzer, mangaan, kobalt en nikkel

Wel 45 arsenaten zijn er in deze groep, waaronder een aantal tophits zoals de vier Pharmacosiderieten, Scorodiet, Dussertiet, Arseniosideriet, Sympleziet met ijzer, een 15-tal mangaanarsenaten en natuurlijk de befaamde Annabergiet en Erythrien en Roseliet, met nikkel respectievelijk kobalt.

### B7. Zink, lood en bismut

Een rijke en spectaculaire groep met zo'n 30 mineralen. Van zink kennen we vooral Adamiet, Legrandiet en Austiniet. Van lood Duftiet, Bayldoniet, Ludlockiet, Carminiet, Tsumcoriet en de kroonprins van deze groep: Mimetiet. Zie afb. 6. Dit fraai gele, soms groene of oranje, altijd fraai gekristalliseerde mineraal wordt ook wel Mimetesiet genoemd. De meeste Mimetieten:

$Pb_5(AsO_4)_3Cl$ , bevatten ook fosfaat en worden dan geschreven als:  $Pb_5(AsO_4,PO_4)_3Cl$ . De oranje of gele, tonvormige kristallen

van deze variëteit worden "campylit" genoemd en vormen in feite de overgang naar Pyromorfiet:

$Pb_5(PO_4)_3Cl$ , ofwel  $Pb_5(PO_4,AsO_4)_3Cl$ .

Van bismut kennen we een vijftal arsenaten, waaronder Mixiet en het uranylarsenaat Walpurgien.



Afb. 6. Zeer mooie groep Mimetesiet-kristallen (de formule staat erbij) van Tsumeb. Postzegel van RSA (Zuid-Afrika).

### B8. Koper

Ruim 20 secundaire koperarsenaten, mooi gekleurd en meestal fraai gekristalliseerd, waaronder Arthuriet, Chalcophylliet, Klinoklaas, Conichaliet, Cormwalliet, Euchroiet (zie afb. 7), Lavendulaan, Liroconiet, Oliveniet en Tyroliet, geven kleur aan deze groep.

### B9. Uranium

Afgezien van Zeuneriet zijn de overige 15 uranylarsenaten zeldzaam.

### B10. Vreemde eenden

Er zijn een paar arsenieten (mineralen met de groep  $AsO_3$  in plaats van  $AsO_4$  in de formule). De meest uitzonderlijke is wel Asbecasiet, een acronym voor een arseen, beryllium, calcium, silicaat, en ook nog tin bevattend mineraal, van een vindplaats hoog achter het Binntal, Zwitserland. Bijna even uitzonderlijk is Cafarsiet, in goede kristallen van dezelfde vindplaats.

## C. Vanadaten

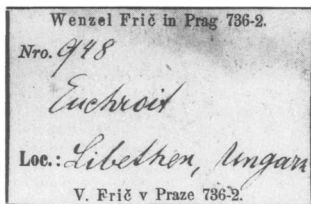
De groep van 40 vanadaten is zo klein, dat een indeling minder zinvol wordt. Voornamelijk de grote kationen van de zware metalen vormen vanadaten. Maar omdat vergelijking met de fosfaten en arsenaten in dit artikel van belang is, volgen we onze daarvoor gekozen principes. Afb. 8.

### C1 en C2. Zeldzame aarden en beryllium

Afgezien van Wakefieldiet:  $(Y,Zr)VO_4$ , geen vertegenwoordigers.

### C3 en C4. Alkali- en aardalkalimetalen

Een tiental mineralen, met als "bekendste": Delrioiet, Hewettiet, Pascoiet, Pintadoiet en Rossiet. Meestal slechts in de vorm van gekleurde overkorstingen bekend.



Afb. 7. Een interessant, zeer oud etiket van Euchroiet, een koperarsenaat van de beroemde vindplaats Libethen (Libetheniet is een koperfosfaat!), nu in Tsjechoslowakije, destijds in Hongarije. Afm. 6 x 4,2 cm.

groenige broertje Mottramiet doet dit minder vaak. Brackebushiet is zeldzaam. Van bismut kennen we eigenlijk alleen Pucheriet:  $\text{BiVO}_4$ , en, met dezelfde simpele formule: Dreyeriet en Clinobisvaniet.

### C8. Koper

In tegenstelling tot de fosfaten en arsenaten zijn er maar weinig kopervanadaten (afgezien van de al onder C7 gerangschikte

### C5 en C6. Aluminium, ijzer enz.

Hoogstens 5, zeldzame, mineralen, die zelfs voor de systematicus moeilijk te pakken zijn te krijgen.

### C7. Lood, zink, bismut

Pas bij deze zware metalen wordt het verzamelen van vanadaten opwindend.

Kroonprins van dit groepje van 12 is Vanadiniet, met zijn arsenaathoudende variëteit "endlichiet". Altijd mooi en goed gekristalliseerd.

Maar ook Descloiziet vormt zeer fraaie kristallen. Zijn

lood-kopermineralen). Volborthiet en Vesignieiet zijn de micro-mounter bekend.

### C9. Uranium

Een verrassend rijke groep van 12 uranylvanadaten, waaronder de kanariegele Carnotiet en Tyuyamuniet veelvuldig voorkomen en plaatselijk als uranium- en vanadiumerts gewonnen worden. Vanuranyliet is een wel heel duidelijk acroniem voor een (zeldzaam) mineraal uit deze groep.



Afb. 8. Vanadium-raffinage. Postzegel van RSA (Zuid-Afrika).

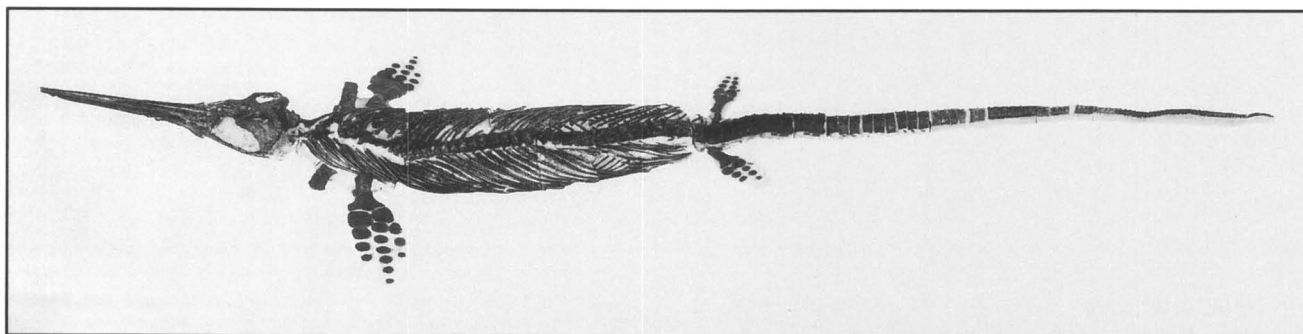
## Een Ichthyosaurus in het Museon

door Bob Crezee

In de loop van december 1989 is de vaste opstelling van de afdeling Geologie van het Museon in Den Haag verrijkt met een uniek voorwerp: het fossiel van de Ichthyosaurus *Leptopterygius* sp. De Ichthyosaurussen, ook wel vishagedissen genoemd, zwommen zo'n 200 miljoen jaar geleden in groten getale in de wereldzeeën rond. Van deze uitgestorven reptielen zijn verscheidene versteende geraamtes teruggevonden, meestal met een lengte van ongeveer 1 meter en liggend op hun zij. De Ichthyosaurus die door het Museon is aangekocht ligt op zijn buik en het skelet is in ongestoord verband uit gesteenteknollen geprepareerd. Opvallend is echter vooral de lengte: 560 cm, van het puntje van de anderhalve meter lange schedel tot de laatste staartwervel. Het fossiel is daarmee niet alleen een zeer spectaculaire, maar ook een voor Nederland unieke aanwinst.

Het fossiel is afkomstig uit Zuid-Engeland. Nabij Lyme Regis, in het graafschap Dorset, is het uit ongeveer 200 miljoen jaar oude kalklagen naar boven gehaald. De versteende botten bevonden zich in concreties van een harder soort gesteente, dat met veel vakmanschap, precisie en geduld voor een groot deel is verwijderd. Ten tijde van de berging had de vondst een gewicht van ongeveer 750 kg, het uitgerepareerde fossiel weegt ongeveer 250 kg.

De kust van Lyme Regis is bekend om zijn vele saurusvondsten. Reeds in 1819 vond Mary Anning, de 21-jarige dochter van de eigenaar van het plaatselijke souvenirwinkeltje, de eerste Ichthyosaurus. Enkele jaren later kwam de amateur-geologe weer in het nieuws. Uit de harde kalklagen had ze ook nog een complete



Het 5,60 m lange fossiel van de Ichthyosaurus *Leptopterygius* sp. in het Museon in Den Haag. Foto: A.N.P.