gea

driemaandelijks tijdschrift van de Stichting Geologische Aktiviteiten voor belangstellenden in de geologie, mineralogie en paleontologie

Juni 2003, vol. 36, nr. 2, pag. 33 - 65

ISSN 0167-4692

Meteorieten en chondrules:

oudste deeltjes van ons zonnestelsel in beeld

door Wifred R. Moorer

Per jaar valt er op aarde gemiddeld een meteoriet per 10.000 km^2. Dat zou vier meteorieten per jaar in Nederland betekenen. Maar de laatste Nederlandse meteoriet viel op 7 april 1990 in Twente en er zijn in de afgelopen 200 jaar slechts vijf Nederlandse meteorieten gevonden. Hoe zit dat? Wordt ons land soms "overgeslagen" of merken we die meteorieten niet op? *)
Verreweg de meeste meteorieten vallen in zee of zó ver van de bewoonde wereld dat ze niet worden opgemerkt. Later is het slechts bij toeval dat een steen wordt gevonden en herkend als meteoriet. Dat vinden en herkennen moet vrij snel gebeuren, omdat anders de steen ten prooi valt aan zodanige verwering dat hij helemaal onherkenbaar wordt, uit elkaar valt en "verdwijnt" in de bodem.

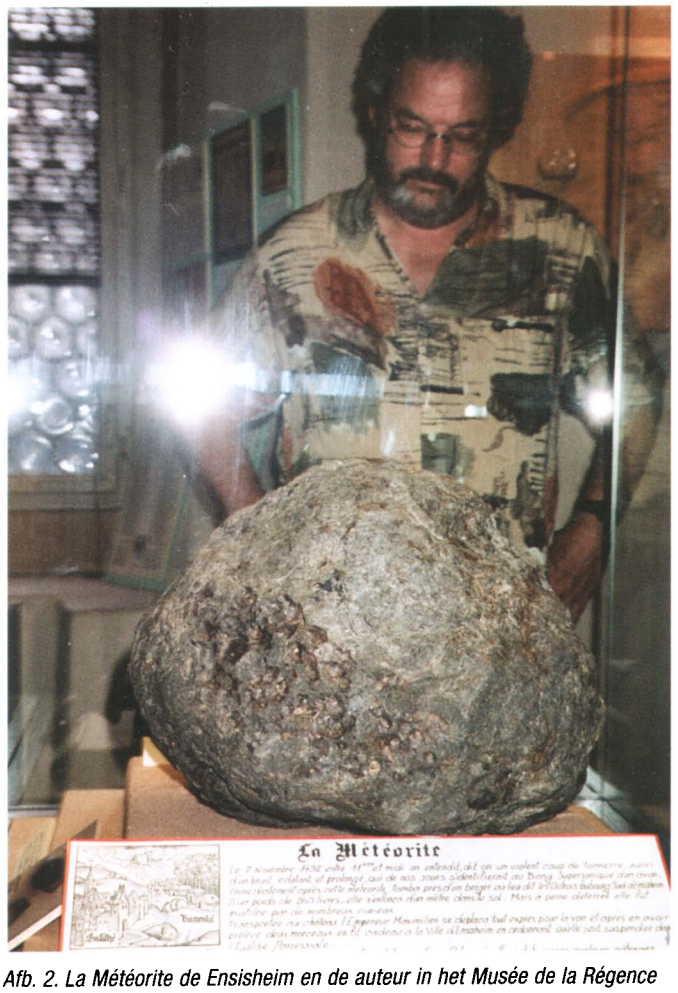
Lawaai en spektakel bij Ensisheim

Soms, als ze hun komst naar de bewoonde wereld aankondigen met donderend heftig lawaai, lichtspoor of spectaculair effect, bestaat er een goede kans dat de bijbehorende meteoriet wordt gevonden. De beroemde steen van Ensisheim viel 7 november 1492 om 11.30 uit onbewolkte hemel met een doffe zware plof op een akker, nog geen 200 meter van een verbaasde en hevig geschrokken landbouwer. Lichtflitsen en donderslagen "als van kanonnen" gingen vooraf aan de val van de meteoriet. Van de steen, die oorspronkelijk 127 kilo moet hebben gewogen, is na eeuwen van nieuwsgierige "monstername" nu nog 60 kg over.

Afb. 1. Een gepolijst handstukje van de meteoriet van Ensisheim; val 16-11-1492; 9 x 10 x 4 mm, 1 gram; 5 x vergroot.

Afb. 1. Deze historische steen valt te bewonderen in het museum van Ensisheim, Elzas, Frankrijk. Afb. 2.

Terwijl de steen van Ensisheim zogezegd uit de lucht kwam vallen werden personen die beweerden dat zo een steen van buitenaardse herkomst moest zijn voor gek verklaard. Toch bleek



Afb. 2. La Météorite de Ensisheim en de auteur in het Musée de la Régence in Ensisheim, Frankrijk. Foto: M. Horbach.

*) De Dordrecht dateerde uit 1808, maar is verloren gegaan; verder de Ellemeet, de Utrecht, de Uden en de Glanerbrug. Van nog twee andere veronderstelde maar niet definitief bevestigde meteorieten: Loerbeek en Dordrecht (iron, 1650) is niets meer over.

dat deze en vele van dergelijke stenen met overeenkomstige fantastische valgeschiedenissen eigenaardige trekjes vertoonden; eigenschappen die van geen aards gesteente bekend waren. Af en toe verscheen er een geleerde die dat benadrukte, maar die werd nauwelijks serieus genomen. Pas in 1803, na wetenschappelijk onderzoek door de beroemde Franse mineraloog Biot naar een zwerm van duizenden zwarte meteoorstenen, waarvan de lawaaiige val door honderden ooggetuigen was waargenomen, werd erkend dat, inderdaad, stenen niet alleen met veel spektakel uit de lucht kunnen vallen, maar dat die stenen van buitenaardse herkomst zijn. De zwarte dunne smeltkorst van de meeste steenmeteorieten en het lichte interieur met eigenaardige bobbeltjes (*chondrules*), gecombineerd met onaards nikkelijzer, golden en gelden als onomstotelijk bewijs voor buitenaardse herkomst.
Zie voor een eerdere publicatie over meteorieten in Gea het artikel "Meteorieten: stenen met raadsels" van Dr. J. van Diggelen (Gea, 1998, vol. 31, nr. 2).

Afb. 3. De brokjes van de Glanerbrug-meteoriet, die in en rondom het getroffen huis gevonden zijn. Zij zijn nu aanwezig in het NNM Naturalis te Leiden. Het grootste brokje, rechts boven, is ongeveer 4 cm lang. Foto: Naturalis.

7 april 1990 te Glanerbrug

Om twee minuten over halfzeven 's avonds versplinterde een meteoriet diverse dakpannen van een huis te Glanerbrug, spatte zelf in een groot aantal stukken en stukjes uiteen en eindigde op de vloer van de hobbykamer van de bewoner. Seconden daarvoor hadden honderden mensen in Duitsland en Nederland een zeer snel bewegende vuurbal aan de hemel gezien. Uit snelheid en positie van de vuurbal kon later worden berekend dat de meteoriet afkomstig was van een gebied tussen de planeten Mars en Jupiter, de asteroïdengordel. Amateur- sterrenkundigen en leden van de Dutch Meteor Society deden alle mogelijke moeite om ooggetuigenverslagen te verzamelen. De honderden fragmenten van de deels vergruizelde meteorietsteen, vermengd met dakpangruis, werden geborgen en naar het Rijksmuseum van Geologie en Mineralogie (nu Naturalis) te Leiden gebracht. Afb. 3.
Al snel werd duidelijk dat een echte, de vijfde, Nederlandse meteoriet was gearriveerd. Het was een steenmeteoriet en wel een zogenaamde **chondriet**. Zo'n chondriet is opgebouwd uit talloze kleine (0,1-2 mm) bolletjes (*chondrules*) met mineraalkristallen.

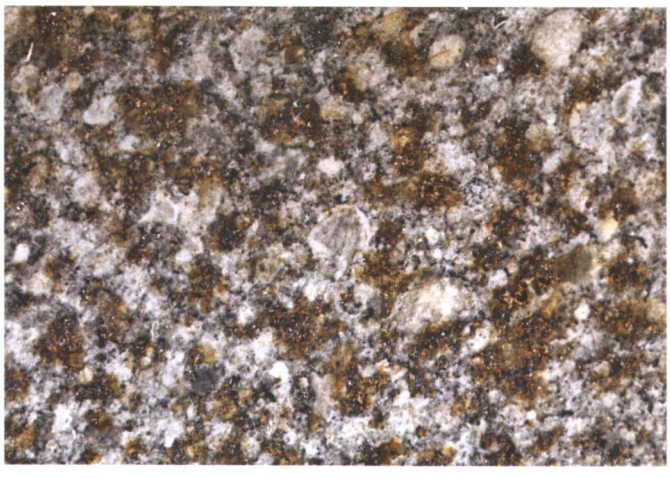
Mbale, Oeganda

Jan Betlem was al enige tijd werkzaan in Mbale, een dichtbevolkt stadje in Oeganda. Op zaterdag 15 augustus 1992 stuurt hij een fax naar zijn broer in Leiden (hier volgen citaten en samenvattingen uit een verslag in het blad *Radiant, 1992; vol. 14 nr. 4*:

"spoed-spoed-spoed-spoed-spoed-"
"Op vrijdag 14 augustus omstreeks 15.40 uur lokale tijd is in Mbale een grote meteoriet neergekomen. Ooggetuigen meldden een zware explosie die rommelend aanhield. Een felle lichtbal was zichtbaar aan de hemel en liet een grijswitte rooksliert na. Bij een latere explosie viel de lichtbal uiteen in vele kleinere ... Volgens ooggetuigen heeft de politie in de lucht geschoten bij een van de inslagplaatsen in Mbale om een menigte nieuwsgierigen op afstand te houden ... Een politieman bracht een brokstuk van ongeveer 1 kg naar het politiebureau .... Manschappen van een naburig legerkamp hebben een brokstuk van ettelijke kilo's geborgen en naar hun kamp gebracht voor "nader onderzoek". Op vele plaatsen in Mbale zijn stukken van de meteoriet ingeslagen. Er zijn geen slachtoffers. In een fabriekshal is een gat in het dak geslagen. Tientallen brokstukken zijn door omstanders weggedragen. Aangezien alles in het weekend hier stilligt, kan er morgen niets gedaan worden. Geef per omgaande instructies."

Dat was niet aan dovemansoren gericht! Broer Hans Betlem, actief lid van de Dutch Meteor Society (die ook de val van de Glanerbrug-meteoriet onderzocht) komt onmiddellijk in actie. Hij overlegt met medeleden, met de Leidse Universiteit, en beseft dat dit soort meteorieten, met vele brokstukken die neerkomen in een beperkt gebied, belangrijk is voor onderzoekers en voor de wetenschap. Hij faxt terug met de boodschap dat het verzamelen van gegevens over de hemelse verschijnselen en de precieze vindplaatsen en gewichten van de diverse brokstukken van het grootste belang is. Een expeditie vanuit Nederland, die moet gaan samenwerken met de plaatselijke autoriteiten en de Universiteit van Kampala, wordt voorbereid. Intussen faxt Jan terug dat hij bij het leger is geweest: "Er zijn daar nog twee van de drie stenen, respectievelijk 6,3 en 3,0 kg. De derde steen is op zijn Afrikaans in mootjes gehakt en verdeeld onder het volk. Als de meteoriet een naam moet krijgen stel ik "Peter" voor. Er is hier inmiddels een nagenoeg gave, zwarte, bolronde klomp van 27,4 kg opgediept op anderhalve meter uit een zwampig gebied".
11 dagen na de val arriveert Hans Betlem in Mbale. Hij heeft een weegschaal meegenomen, enkele handige onderzoeksspullen en ook, op dringend verzoek, potten pindakaas en zakken drop. De meteoriet gaat niet Peter heten, maar zoals gebruikelijk en internationaal afgesproken, naar de plaats van het dichtstbijzijnde postkantoor, "Mbale" dus. Er moeten belangrijke bezoeken worden gebracht aan diverse autoriteiten. Blanke onderzoekers die zich voor hemelstenen interesseren kunnen niet zomaar hun gang gaan. Een complicatie is, dat een aantal grote fragmenten op het plaatselijke gevangenisterrein is neergekomen. Dat vereist extra afspraken en regelingen. Inmiddels is duidelijk geworden dat sommige militairen dachten dat er goud in de stenen zit. Diverse meteorieten zijn derhalve in stukken geslagen. Ook ging een gerucht dat de stenen tegen AIDS zouden werken, met als

gevolg dat meteorieten tot poeder werden gestampt en zijn ingeslikt door een niet gering aantal personen. In de stad werden onder begeleiding van de politie diverse inslagen in het wegdek, door daken van gebouwen en van het treinstation bezichtigd. De meeste stenen waren inmiddels zoek, zogezegd naar Kampala verzonden of meegenomen door de bevolking. Men gaat na het veldwerk in Mbale naar het dorp Malukku waar meer meteorieten lijken te zijn neergekomen. De hele bevolking liep uit bij het zien van de blanke mannen. "Een aantal grote stukken bleek door het leger afgevoerd en in stukken geslagen te zijn, maar stukken van 27 kg, 15 kg en 6 kg konden worden achterhaald. Geen putjes maar echte kraters in de grond tot wel 80 cm diep." Later bleek dat de dorpelingen allerlei achtergehouden brokstukken maar al te graag wilden verkopen. Verder in de omgeving "heb je weer een half dorp achter je aan. Het lijkt erop dat we kinderen verzamelen in plaats van meteorieten". "Een jongetje blijkt een meteoriet op zijn hoofd te hebben gekregen. Gelukkig bevond hij zich onder het dichte gebladerte van een bananenboom". Er worden veel foto's gemaakt, ook van het getroffen jongetje met zijn steen (van 3,6 gram) natuurlijk. Mooie stukken worden overgedragen aan de Makarere Universiteit in Kampala. Het strooiveld van de meteoriet (de plaatsen waar de in de atmosfeer explosief afgeremde en in stukken uiteengespatte meteoriet op de grond is terechtgekomen) is met 49 brokstukken inmiddels goed in kaart gebracht. Het vertoont een ellipsvormig gebied van ongeveer 7 x 3 km^2. Allerlei formaliteiten en plichtplegingen moeten weer worden geregeld voordat men, met dertig stukken van de meteoriet, naar Nederland kan terugkeren. Uiteindelijk werden, inclusief de vondsten van de maanden na de val, 863 stenen met een totaalgewicht van 150 kg geborgen.
Na onderzoek blijkt de Mbale een **chondriet** van het type L5/6. Afb. 4.



Afb. 4. Fragment van een gepolijst handstuk van de Mbale, Oeganda, 5 x vergroot. Het handstuk meet ca. 60 x 80 x 2,5 mm.

Autopech in Peekskill !

1992 blijkt een goed meteorietenjaar. Nog geen twee maanden na de spectaculaire val van de Mbale-chondriet wordt het Amerikaanse stadje Peekskill in de staat New York op wel heel bijzondere manier opmerkzaam gemaakt op het bestaan van meteorieten. Duizenden mensen, inclusief een bomvol baseballstadion, zagen 9 oktober 1992 om 7.50 uur 's avonds een razendsnel vliegende vuurbal aan de hemel. Wel 13 videofilms worden van deze gebeurtenis gemaakt. Op een aantal daarvan is te zien hoe die vuurbal in tientallen fragmenten uit elkaar spat. Seconden daarna schrikt Michelle Knapp, die op een telefoontje van haar vriend zit te wachten, op van een harde klap op straat. In plaats van haar vriend heeft een meteoriet zijn opwachting gemaakt. Als ze naar buiten loopt ziet ze een flink gat in het kofferdeksel van haar auto. Onder de auto ligt een zwarte steen van ruim 12 kg. De steen blijkt een **chondriet** van het type H6. De steen en de beschadigde oude Chevrolet worden voor bijna 70.000 dollar verkocht. De auto was nog geen 1000 dollar waard maar is in de jaren daarna als curiositeit tentoongesteld tot in Europa en Japan toe. Ondanks intensief zoeken zijn niet meer fragmenten van de (zichtbaar in de lucht uiteengespatte) meteoriet gevonden. Heden ten dage kan men nog stukjes van de Peekskill-chondriet kopen voor E 200 per gram. Dat is 20 maal de goudprijs ! Nou ja, iets voor de kapitaalkrachtige meteorietenverzamelaar, of fanaticus. Een gewone chondriet, zonder spectaculaire valgeschiedenis, waarvan er jaarlijks vele worden gevonden, is voor de "normale" prijs van 1 tot 8 E per gram te koop.

Per jaar

Sinds Mbale en Peekskill zijn er wereldwijd zo'n 4 tot 5 waargenomen vallen per jaar geweest waarvan de meteorieten ook zijn gevonden. Vaak, maar lang niet altijd komt dat in het nieuws. Wel vaak in het lokale nieuws. Maar vele *honderden* meteorieten zijn *in die periode* gevonden met behulp van o.a. metaaldetectoren. Dat waren dus stenen die tijdens de afgelopen tijden (meestal onopgemerkt) gevallen zijn. In gebieden waar weinig vloeibaar water is en maar heel langzaam verwering optreedt (woestijnen, permanente ijsvlaktes) blijven meteorieten lang intact en herkenbaar aan hun smeltkorst, metaalgehalte, magnetisme, etcetera. Er worden daar dus meteorieten gevonden die er soms wel al tienduizenden jaren of langer liggen.

Zijn chondrieten de lelijke eendjes onder de meteorieten?

In zekere zin wel. 90% van alle meteorieten die op aarde vallen behoort tot de zogenaamde chondrieten. Met het blote oog en vergeleken met de talloze fraaie aardse gesteenten en mineralen is er, eerlijk gezegd, niet veel aan. Ook vergeleken met de indrukwekkende ijzer- en steen-ijzermeteorieten (7% van de vallen) die de meeste mineraalverzamelaars wel kennen, lijken de chondrieten nogal saai.
Maar kijk je naar een geslepen oppervlak dan gaat er een wereld open. Letterlijk een andere, onbekende wereld. Chondrieten bestaan voor 30 tot 80% uit bolletjes van 0,1 tot soms wel 3 of meer mm doorsnee. Die bolletjes (chondren, chondrules, of chondrulen genaamd, van het Grieks voor korrel) zijn ooit heet en min of meer vloeibaar geweest en nadien gekristalliseerd in vaak fraaie patronen. Die kristalpatronen kun je omschrijven als fijn of grof radiaalstralig, porfirisch, balkig, isometrisch, gestreept, glazig, enzovoorts. Olivijn, enstatiet, bronziet, hypersthen en plagioklaas zijn de mineralen in die bolletjes. De bolletjes zijn ingebed in een fijnkorrelige matrix van dezelfde mineralen met nog veldspaatglas en, heel belangrijk, nikkelijzer en troiliet (zwavelijzer, FeS). Hoe minder ijzer de olivijn bevat, des te groter is het aandeel vrije nikkelijzer. Dat is tevens de basis voor de classificatie van de gewone chondrieten in E, H, L en LL chondrieten. E staat voor enstatiet-chondrieten met veel nikkelijzer en zeer ijzer-arme olivijn, H voor *high iron* chondrieten met veel nikkelijzer en olivijn met weinig ijzer; L voor *low iron* chondrieten en LL voor zeer laag ijzergehalte.
Geen enkel aards gesteente is opgebouwd uit dit soort bolletjes. En geen enkel aards gesteente bevat troiliet en nikkelijzer.
Aan geslepen chondrieten, maar nog veel beter aan slijpplaatjes ervan kun je de structuur en bouw van de meteoriet zien.
Veel chondrieten zijn na de eerste kristallisatie nog onderworpen geweest aan een temperatuurstijging en/of een schokgolf.
Dat leidde tot gedeeltelijke rekristallisatie en ombouw van de chondrules. Deze metamorfose leidt uiteindelijk tot chondrules die zich nog maar vaag onderscheiden van de matrix. De graad van metamorfose wordt aangegeven door het metamorfosegetal. Gewone chondrieten met duidelijke, niet aangetaste of omgekristalliseerde chondrules worden voorzien van het getal 3, iets aangetast 4, verder omgekristalliseerd 5 en ernstig omgezet type 6. Dat is goed te zien aan slijpplaatjes. Er zijn dus, bijvoor-

beeld, E5, H4, LL6, L3, ... chondrieten die dan de combinatie van het specifieke ijzergehalte (vrij en in olivijn) en de graad van metamorfose aangeven.
Enkele voorbeelden uit tekst en afbeeldingen: de Ensisheim is een LL6, net als de Glanerbrug. De Mbale is een L5-6, Peekskill en Djati-Pengilon zijn H6, Mocs een L6, Dalgety Downs een L4 en Ngawi een LL3.

Ouder dan de aarde

Stokoud is zwak uitgedrukt als je het over meteorieten hebt. De leeftijd van ons zonnestelsel is sinds kort verbazend precies bekend: 4566 miljoen jaar (± 2 miljoen). Onze planeet aarde ontwikkelde zich in de 100 miljoen jaar daarna uit de *accretie* of samenballing van kleine brokstukken materie. Aan het eind van die tijd ontstaan dan de grote aardse eenheden: kern, mantel en korst. Dit proces van grove differentiatie is dan voltooid.
Maar nog steeds is de aarde een geologisch actieve planeet, waardoor vele gesteenten diverse cycli van ombouw en metamorfose hebben ondergaan. De oudste onveranderde aardse gesteenten zijn 3,9 miljard geleden gevormd, de oudste maangesteenten zijn al 4,2 miljard jaar niet meer veranderd. De meeste meteorieten en bijna alle chondrieten zijn ouder dan 4,5 miljard jaar. De chondrules zelf werden, om precies te zijn, 4562 miljoen jaar geleden gevormd en de eventuele metamorfose (die plaats heeft gevonden in kleine planeetjes, de asteroïden) werd uiterlijk 4500 miljoen jaar geleden voltooid. Sindsdien is er niet of nauwelijks wat veranderd. Dat betekent dat die chondrieten ouder zijn dan de alleroudste gesteenten op aarde.

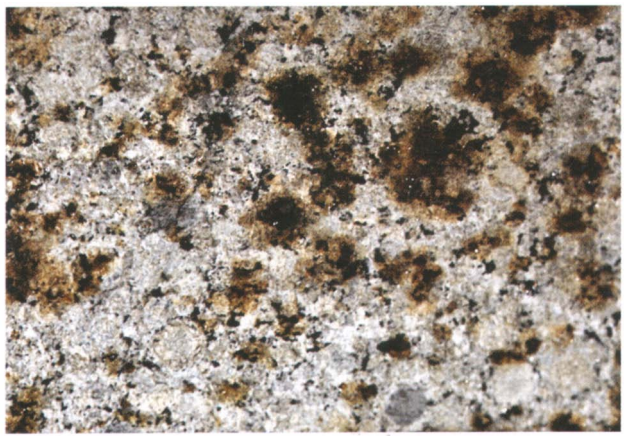
Hoe werden de chondrieten gevormd?

Tussen de sterren van de melkweg bevinden zich stof- en gaswolken die steeds weer aangevuld worden met door de sterren uitgestoten materie. Totdat zo'n wolk zich samentrekt tot een compact geheel. Uit een van die samentrekkende wolken vormden zich onze zon en ontelbare kleine deeltjes die zich in een platte schijf rond de zon wentelden. De vanwege het ontbreken van de zwaartekracht bolvormige, deels vloeibare, deeltjes condenseerden bij afkoeling tot bolvormige gekristalliseerde chondrules. Daaruit vormden zich door samenklontering de planeten en de miljoenen miniplaneetjes (de asteroïdengordel) tussen Mars en Jupiter. De grootsten van die miniplaneetjes differentieerden zich en vormden een ijzeren kern, een mantel en een korst, ongeveer zoals bij de aarde in het groot gebeurd is. Daarbij verdwenen de chondrules. Later zouden fragmenten van die miniplaneetjes als "gedifferentieerde meteorieten" (ijzermeteorieten, pallasieten, achondrieten) op aarde vallen. Maar vele miljoenen miniplaneetjes waren zo klein (kleiner dan 20 km doorsnee bijvoorbeeld) dat er vanwege het ontbreken van genoeg interne warmte-ontwikkeling geen sprake was van differentiatie. Die asteroïden bleven koud en onveranderd. Hoe kleiner de asteroïde hoe kleiner de kans op differentiatie en metamorfose. De kleine asteroïden waren al binnen enkele miljoenen jaren afgevormd en bleven grotendeels koud en intact. De chondrules zouden niet of nauwelijks meer veranderen, ze bleven ongedifferentieerd. Door onderlinge aantrekkingskracht, grilligheid en instabiliteit van de banen rond de zon, en vooral door de verstoring van de banen door de enorme invloed van de zware planeet Jupiter, treden er vanaf het eerste begin van het zonnestelsel tot op de dag van vandaag crashes op: botsingen van zowel gedifferentieerde als primitieve planetoïden, die met verwoestende kosmische snelheid elkaar verpletteren. Vanwege de nieuwe, grillige, banen en snelheden van de brokstukken raken de fragmenten uit koers en vele belanden, meestal na vele miljoenen jaren, op de zon en soms op een grote planeet. Is onze aarde die planeet, dan is een meteoriet gearriveerd. Was die meteoriet onderdeel van een ongedifferentieerde planetoide dan hebben we een chondriet gevangen. Een getuige van het allereerste begin van het zonnestelsel.

De afgebeelde chondrieten

Mócs

Na verschijnen van een lichtspoor en explosies viel een groot aantal stenen, geschat op meer dan 3000. De zwaarste ervan woog 56 kg, het totaal gewicht was zeker 300 kg. De stenenregen vond plaats in de namiddag van 3 februari 1882 bij het stadje Cluj, Transsylvania, Roemenië. De stenen, die allemaal een mooie zwarte smeltkorst hadden, werden verspreid naar de grote natuurhistorische- en universiteitsmusea die zich toen al voor meteorieten interesseerden: Wenen, Boedapest, Parijs,



Afb. 5. Gepolijst handstukje van de Mócs, Roemenië, 18 x 14 x 5 mm, 4,4 gram, 5 x vergroot.

Praag, Londen, Kopenhagen, Bonn, Edinburg, Washington, New York, Chicago, Harvard, Yale, en ook Leiden. De Mócs, een L6 chondriet, heeft een lichtgrijs interieur en bevat weinig maar grote insluitsels van nikkelijzer en troiliet die al van afstand opvallen. Afb. 5 geeft een stukje van een gepolijst handstukje weer. Zie ook de voorplaat en de achterplaat van het omslag en de foto's van het slijpplaatje A, B en C.

Ngawi

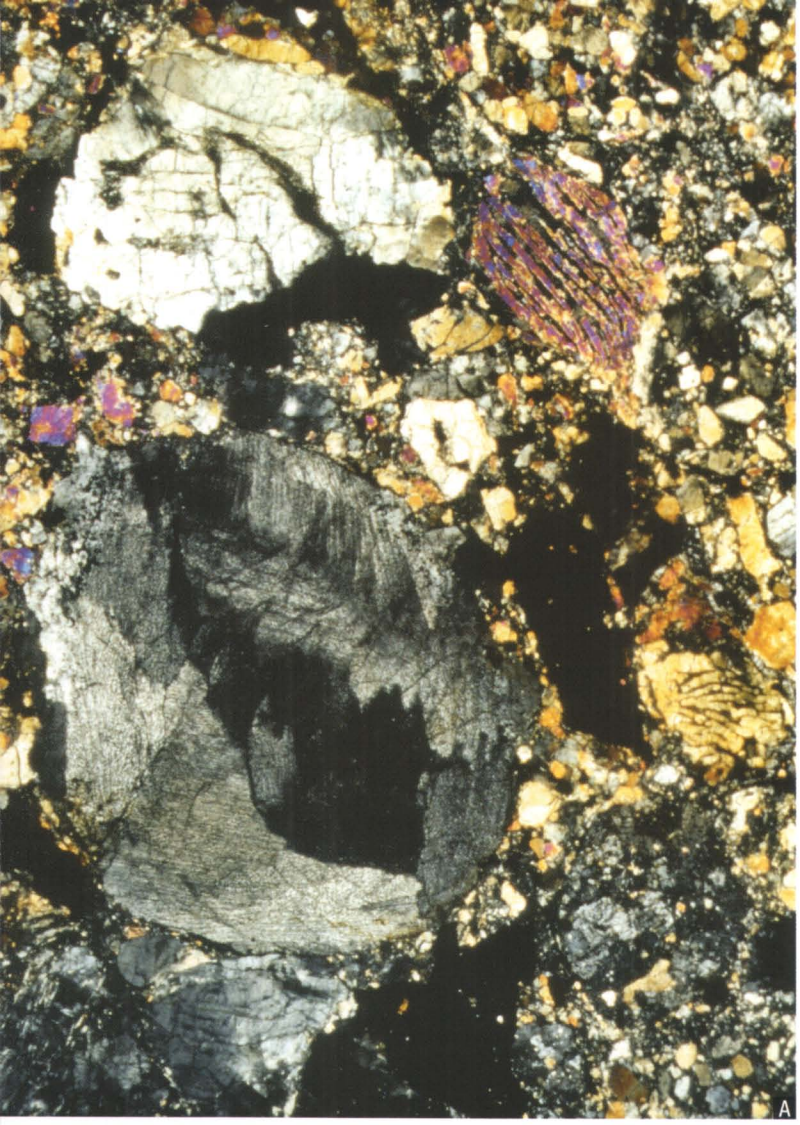
De Ngawi chondriet viel 3 oktober 1883 te 17.15 uur op Java. De val ging gepaard met donderslagen en een vuurbal. Van de minstens drie stenen die in het Ngawi district vielen zijn er twee bewaard gebleven. Een van 1191 gram en een van 202 gram. De meteoriet is van het type LL 3. Het Museon bezit er 732 gram van. Zie de foto D van het slijpplaatje.

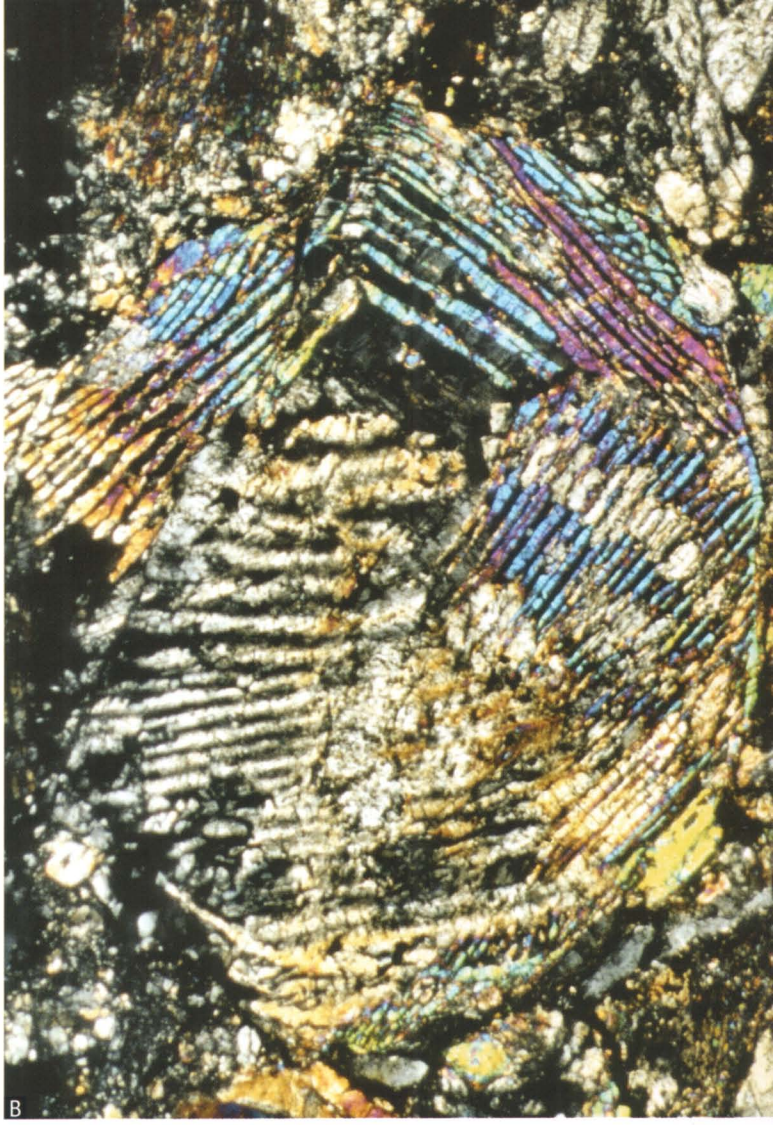
Djati-Pengilon

Nog geen jaar later viel op 19 maart (en ook op Java!) de Djati-Pengilon. Ook hier werden explosies gehoord en werd door heel veel mensen een felle vuurbal gezien. Een 166 kilo zware steen viel in de rivier de Alastoeva, vlak bij Djati-Pengilon, waaruit hij vrijwel meteen maar met veel moeite werd opgevist. Sindsdien verblijft 156 kg ervan in het Geologisch museum van Bandoeng. Deze chondriet is van het type H6. Mooie chondrules en wel 1000 "speldenprikjes" van nikkelijzer-insluitsels per cm^2 zijn met een eenvoudige loep al te zien. Afb. 6.

Dalgety Downs

Aan de vondst van de Dalgety Downs (L4 chondriet) is een typisch verhaal verbonden. In 1941 vond ene Peter Healy op het terrein van een boerderij in Western Australia een eigenaardige, in twee stukken gebroken steen. Hij zond een van de stukken naar een laboratorium voor onderzoek. Het bleek een chondriet te zijn. Meer dan 20 jaar later reisden Brian Mason en Ed Henderson, doorgewinterde Amerikaanse geologen en meteorietenkenners naar Australië om vindplaatsen van meteorieten te onderzoeken. Na enige tijd ontmoetten ze, midden in de outback, de inmiddels 75-jarige vinder die de hele dag op zijn paard had rondgereden. De oude man wilde vanwege zijn vermoeidheid niet worden lastiggevallen door twee yankees, maar


A

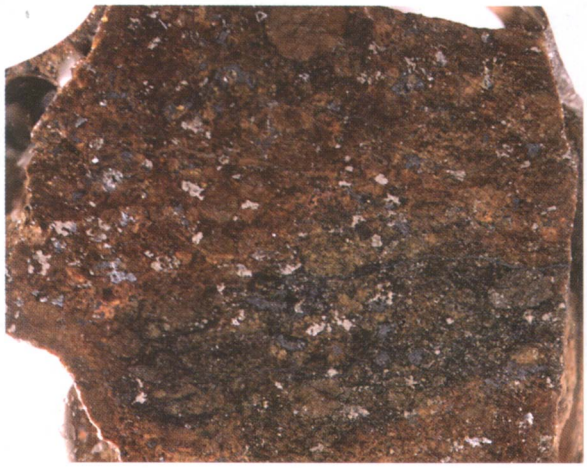

B

C

D

Afb. 6. Gepolijst handstukje van de Djati-Pengilon, 21 x 21 x 4 mm, 7,2 gram, 5 x vergroot.

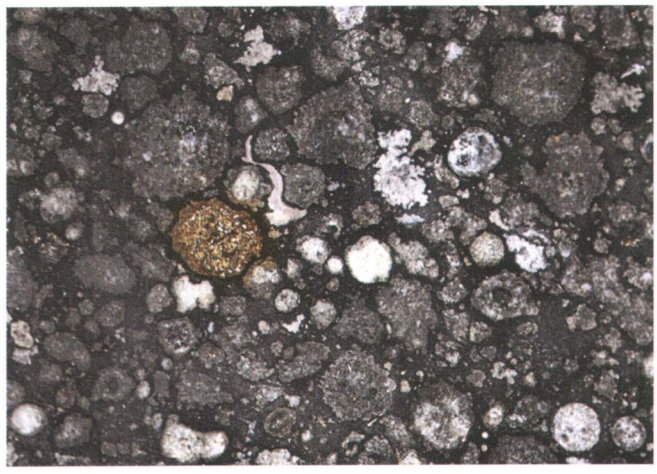
ontdooide na enige tijd bij het kampvuur te hebben uitgerust. Zijn geheugen bleek perfect in orde. Met een vinger tekende hij in het zand een primitieve landkaart met de route naar de vindplaats van zijn meteoriet: dáár kamperen, dan díe en die weg naar een kreek; erover en dan langs een veehek naar het noorden en na een paar honderd meter een boom rechts van het hek. Daar vond ik hem.
Mason en Henderson bedankten de man en gingen op pad. Op de tweede dag vonden ze de kreek, het hek, de boom. Binnen korte tijd hadden ze drie brokstukken van een meteoriet gevonden, samen 214 kg. Die hele massa, samen met honderden kilo's van andere meteorieten, werden naar de USA verscheept. Heden ten dage zou de uitvoer van meteorieten zeker niet meer worden toegestaan. Een jaar later werd op de vindplaats nog een aantal stenen, in totaal 41 kg, gevonden. Het roestige aanzien van de Dalgety Downs chondriet wijst erop dat de steen al langere tijd op aarde had gelegen. Maar in het inwendige zijn de nikkelijzer-insluitsels nog blinkend fris en de chondrieten mooi te zien. Zie afb. 7 en slijpplaatjesfoto's E en F.



Afb. 7. Gepolijst handstukje van de Dalgety Downs, Gascoyne, West-Australië, 16 x 16 x 5 mm, 5 x vergroot.

Allende

Boven het Mexicaanse stadje Pueblo de Allende, om vijf over een in de nacht van 8 februari 1969, verscheen een heldere vuurbol die het landschap over vele kilometers verlichtte. De vuurbal spatte uiteen in vele kleinere. Stenen vielen over een groot gebied van wel 500 km^2. Meer dan 2000 kg werd de eerste maanden na de val gevonden. Tot op heden worden in het strooiveld nog (af en toe) meteorieten gevonden. Dit was niet alleen een enorm gewicht aan chondrieten over een erg groot strooiveld. De Allende is bovendien een heel speciale en zeldzame chondriet, niet een gewone chondriet maar een koolstofchondriet. Koolstofchondrieten hebben een bijzondere samenstelling, met allerlei organische verbindingen, aminozuren, enzovoorts. Ook bevat de Allende, behalve prachtige grote chondrules, vrij grote, maar onregelmatig gevormde witte insluitsels. Deze worden tot de alleroudste materie gerekend, ouder nog dan de oudste chondrules. De Allende is een van de meest primitieve, minst veranderde en bovendien best bestudeerde meteorieten. Al honderden wetenschappelijke artikelen zijn aan de Allende gewijd. Afb. 8 en 9 en slijpplaatjesfoto's G en H.

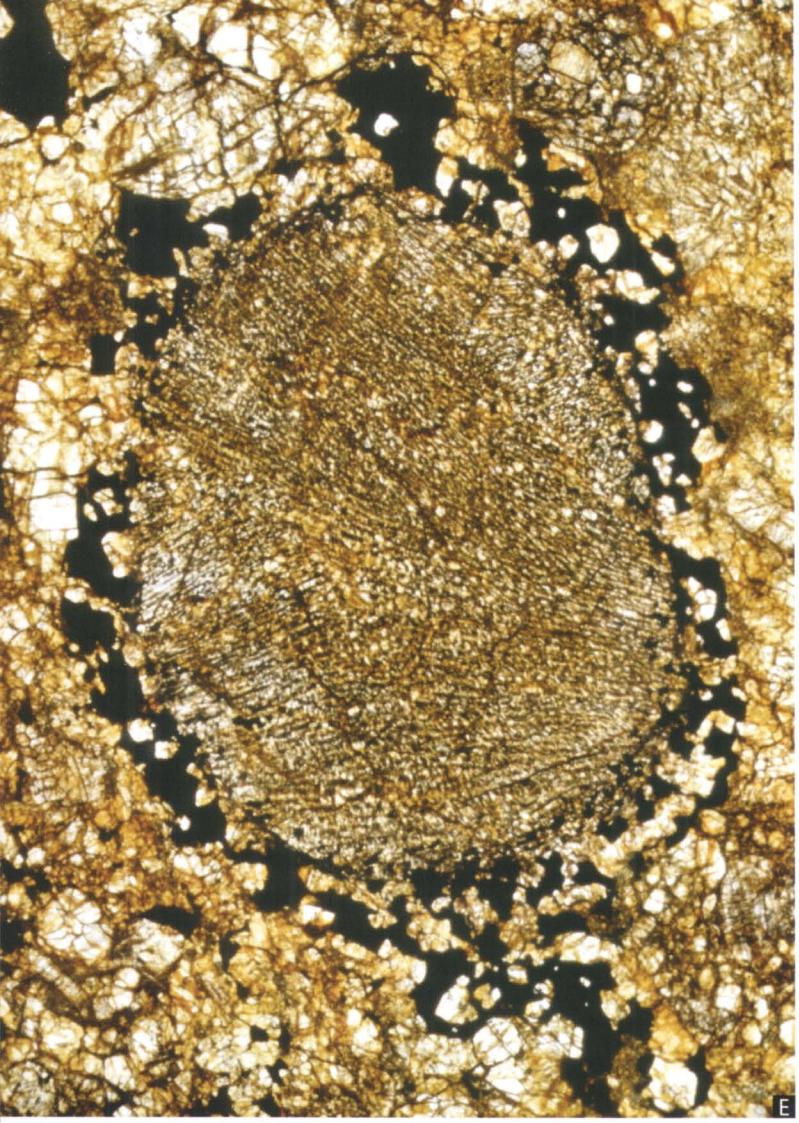


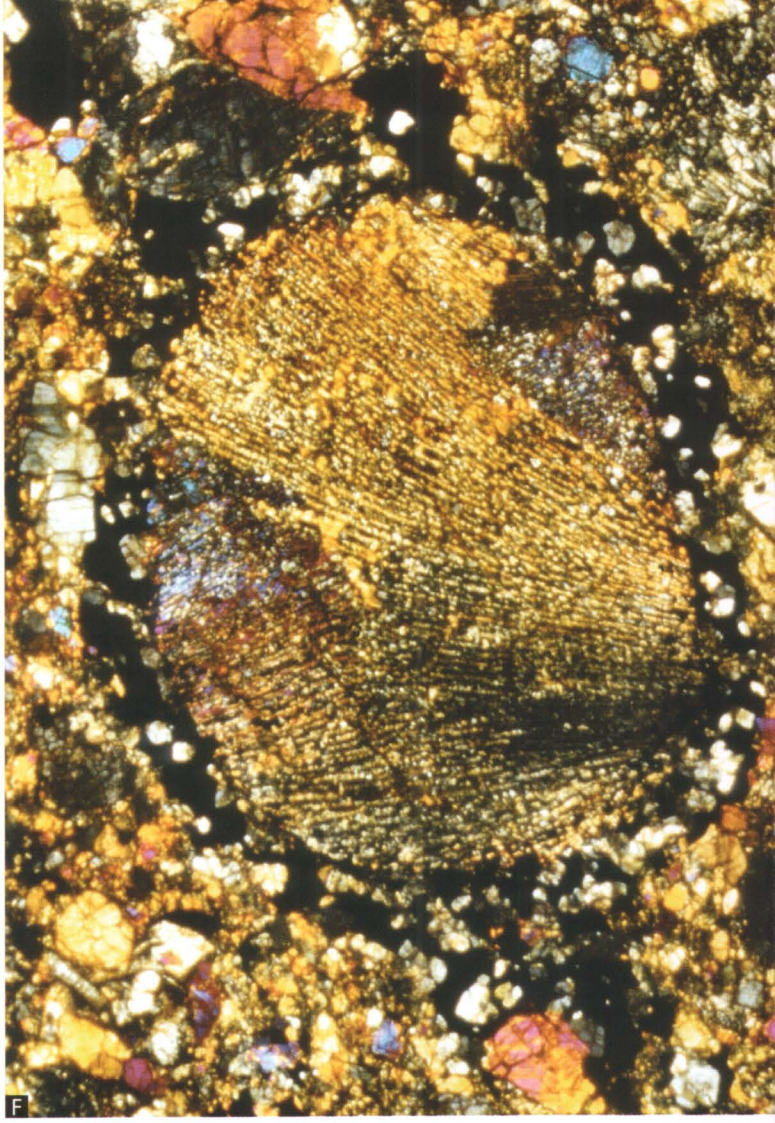
Afb. 8. Gepolijst vlak van een fragment van de Allende, 30 gram, 45 x 33 x ca. 13 mm, 5 x vergroot,

Afb. 9. Zelfde handstuk als afb. 8, nu van de zijde met korst, 5 x vergroot.

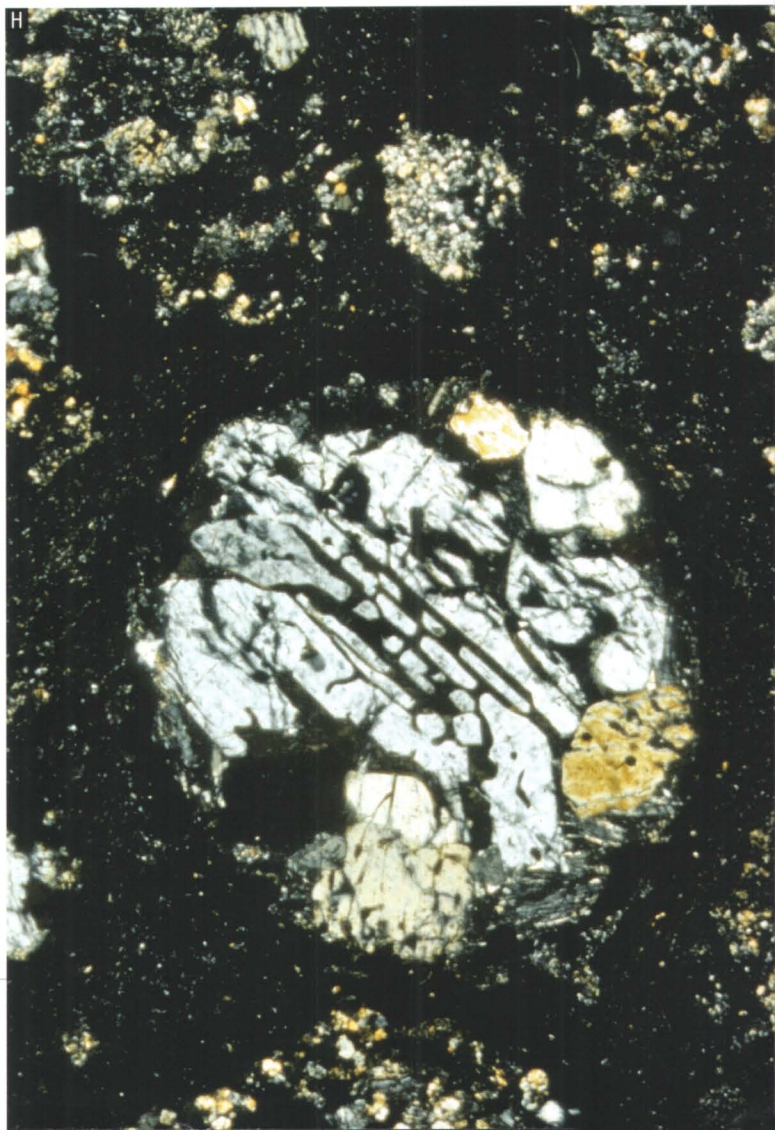
Literatuur

R.W. Bühler. Meteorite, Urmaterie aus dem interplanetaren Raum; 1992, Weltbild Verlag.
J. en H. Betlem. Verslag over de Mbale chondriet. Radiant, 1992, vol. 14 nr. 4.
O.R. Norton. Rocks from space; 1994, Mountain Press, Montana.
O.R. Norton. Exploring meteorite thin sections. Meteorite!, 3(1997) no. 1, 16-21.
O.R. Norton. Exploring meteorite thin sections. Part 2. Meteorite!, 3(1997) no. 3, 19-22.
J. van Diggelen. Meteorieten: stenen met raadsels; Gea, 1998, vol. 31 nr. 2.
M. Grady. Catalogue of meteorites; 2000, Cambridge University Press.
H.Y. McSween Jr. Meteorites and their parent planets; 2000, Cambridge University Press.
B. Zanda en M. Rotaru (eds). Meteorites. Their impact on science and history; 2001, Cambridge University Press.


E


F

G


H

Dankbetuiging

Dr. Charles E.S. Arps (Naturalis, Leiden) selecteerde de slijpplaatjes uit de omvangrijke museumcollectie en stelde ze beschikbaar voor dit artikel. Hij was de initiator van dit meteorietenproject. Als aanvulling dienen zijn foto's van Gosse Bluff, een opveringskrater ontstaan na de inslag van een geweldige meteoriet in Australië, elders in dit Gea-nummer.
Dr. Kees Maijer hielp bij de determinatie en interpretatie van het fotomateriaal; ook loste hij vele vraagpunten op.
Piet Stemvers maakte de foto's van de handstukken (afb. 1, 4 - 9) en de slijpplaatjes (foto's A – H). Ook vervaardigde hij de scans en maximaliseerde hij deze voor het drukproces.
Het NNM Naturalis gaf toestemming voor het opnemen van afb. 3. De auteur, Wilfred Moorer, als mineralenkenner en verzamelaar bij ons bekend door zijn talloze artikelen in Gea, bezit ook een veelzijdige meteorietencollectie. De afgebeelde handstukken zijn uit zijn verzameling afkomstig.

Meteorieten en chondrieten in kleur

In het New-Zealandse tijdschrift voor liefhebbers van meteorieten: "Meteorites!" stond in 1997 een serie van twee artikelen van O.R. Norton: *Exploring Meteorite Thin Sections*. Deze artikelen, voorzien van kleurenfoto's, gaven een verrassende mogelijkheid om in de details van chondrieten binnen te dringen. Zo goed zelfs, dat de redactie een poging kon wagen om reeds gefotografeerde slijpplaatjes van chondrieten van het RGM (nu Naturalis) met deze gegevens te vergelijken.

Zoals Gea-lezers bekend zal zijn is een belangrijk hulpmiddel om aardse gesteenten te onderzoeken de studie van slijpplaatjes. Uiterst dunne doorsneden, 0,03 mm dik, op glas gekit met een inbedmiddel, verschaffen in gepolariseerd licht onder de microscoop een blik in de mineralenassociatie waaruit het gesteente bestaat. Voorzien van de nodige kennis en ervaring komt de onderzoeker dingen te weten als mineraalinhoud, onderlinge relaties tussen de mineralen en kristallen, gegevens over het ontstaan en de geschiedenis van het gesteente.
Deze optische petrografie kan ook op de meteorieten worden toegepast, met name op chondrieten. Deze bestaan immers, net als de meeste aardse gesteenten, uit silicaatmineralen, die bij doorvallend licht doorzichtig zijn.
Bij de chondrieten zijn de meest prominente mineralen olivijn en leden van de pyroxeengroep. De pyroxeengroep wordt onderverdeeld in orthopyroxenen en clinopyroxenen. Clinopyroxeen komt in chondrieten wel voor in de vorm van diopsied, maar meer algemeen zijn de orthopyroxeen-mineralen: enstatiet (magnesiumrijk), hyperstheen (ijzerrijk) en bronziet (tussenvorm, met zowel magnesium als ijzer).
De chondrieten worden onderverdeeld in:

1. Koolstofchondrieten (*carbonaceous chondrites*, C + de letter van het type, bv. CV). Het koolstofgehalte is slechts 1 – 2 %, maar dit is genoeg om aan de grondmassa een donkere tint te geven. Voorbeeld: de Allende. Koolstofchondrieten zijn ver in de minderheid: ongeveer 10 % van de chondrieten.
2. Gewone chondrieten (*ordinary chondrites*, OC) maken 90 % van de chondrieten uit; de grondmassa is vrij licht van kleur. De gewone chondules kunnen, op grond van hun olivijn en pyroxeen, worden ingedeeld in 3 optisch te onderscheiden groepen, met 7 types.

Tabel I. Indeling van de chondrules in chondrieten

	Type	Textuur	%
	C	cryptokristallijn	5
Groep 1	RP	radiale pyroxeen	7
	BO	"barred" olivijn *)	4
	PO	porfirische olivijn	23
Groep 2	PP	porfirische pyroxeen	10
	POP	porfirische olivijn - pyroxeen	48
Groep 3	GOP	granulaire olivijn - pyroxeen	3

Uit de tabel blijkt, dat bij het bekijken van de foto's van de chondrieten-slijpplaatjes vooral de olivijn en de (ortho)pyroxeen belangrijk zijn. Overigens valt op dat in één chondriet allerlei types van chondrules naast elkaar kunnen voorkomen.

De hier afgebeelde foto's E en G geven twee maal hetzelfde beeld **met doorvallend licht**. Bij de foto's E en G was één van de twee polarisatiefilters van de polarisatiemicroscoop ingeschakeld. In deze stand is het tweede filter weggeklapt. Bij de overige slijpplaatjesfoto's waren beide polarisatiefilters ingeschakeld. Deze filters staan loodrecht op elkaar gemonteerd en in deze stand met gekruiste nicols (XN) laat het systeem geen licht door. Tenzij het licht onderweg gebroken wordt en dat is het geval wanneer bepaalde mineralen in het beeldveld liggen. Dan kunnen opmerkelijke kleuren, de zg. interferentiekleuren, verschijnen die kunnen helpen bij de determinatie van deze mineralen.
De opnamen met één filter laten doorgaans goed de randen van de chondrules zien. Deze randen zijn een belangrijk onderdeel. Ook zijn duidelijk zwarte korrels te zien, dit zijn de niet-doorschijnende ertsmineralen (nikkelijzer, troiliet). De doorschijnende mineralen zijn ongekleurd, u ziet de mineraalbegrenzing (het reliëf) en veel lijnen van bijvoorbeeld barsten en splijting. Bij de opnamen met XN is het beeld totaal anders: de meeste doorschijnende mineralen lichten op. De heldere, felgekleurde kristallen zijn normaliter olivijn; de wittige, grijze zijn over het algemeen orthopyroxeen (bronziet – hyperstheen).

Het zal opvallen, dat er chondrules zijn die uit één enkel kristal bestaan: zowel de interne balken (of lamellen) als de rand hebben dezelfde interferentiekleur, wat wijst op eendere oriëntatie (zie de voorplaat!). Deze chondrules heten *monosomatisch*. **Polysomatische** chondrules bestaan uit meer dan één kristal. De kristallen zijn onder verschillende hoeken gerangschikt en hebben verschillende interferentiekleuren. Soms nemen polysomatische BO-chondrieten een opmerkelijke symmetrie aan, bijvoorbeeld vier individuele sets van parallelle olivijnbalken onder hoeken van ongeveer 45° (zie Mócs, foto B).

De afbeeldingen geven maar een fractie weer van de onmetelijke variatie die in de wereld van chondrieten en chondrules bestaat. Het onderwerp is zo fascinerend dat het wel nooit zal zijn uitgeput.

J.S.-v.B.

) **Barred olivijn is moeilijk te omschrijven. In de Engelstalige tekst wordt voor deze evenwijdige structuren met dezelfde interferentiekleuren ook wel eens "lamellar" gebruikt. Balk-achtig? Skeletachtig staafvormig?*

Bij de foto's van slijpplaatjes

MOCS, Roemenië, val 1882 L6 Olivijn-hyperstheenchondriet
Slijpplaatje RGM 65892

Voorplaat van het omslag: afm. 3,7 mm. Opname met XN. Monosomatische BO-chondrule *(barred olivine)* van olivijn. De evenwijdige, balkvormige structuren hebben dezelfde gele interferentiekleuren, dus dezelfde oriëntatie als de rand; dit wijst erop dat ze tot één kristal behoren. De ruimte tussen de *bars* bestaat uit een niet-doorschijnende, glasachtige tussenmassa. Eronder: een chondrule met één enkel kristal met lage, grijze interferentiekleuren en golvende uitdoving (orthopyroxeen?).

Achterplaat: afm. 2,0 mm. Opname met XN. Opvallende rood-en-blauwe chondrule van het type balkvormige *(barred)* olivijn, met evenwijdige structuren, gescheiden door een niet-doorschijnende, glasachtige tussenmassa. Er zijn twee randen te zien, die beide uit kleine deeltjes bestaan. De deeltjes van de binnenste rand hebben grotendeels de oriëntatie van de *bars*. Die van de buitenste rand liggen willekeurig, deze rand is incompeet.
De andere felgekleurde kristallen, waarschijnlijk alle olivijn, zijn solitaire kristallen in de chondrietmatrix. De verschillen tussen de randen van de BO-chondrules op de voor- en achterplaat duiden erop dat de chondrules een verschillende geschiedenis hebben doorlopen.

Foto A: afm. 3,8 mm.
Foto A: Opname met twee polarisatiefilters (= nicols) ingeschakeld in gekruiste stand: XN. Chondrule van crypto- of microkristallijne orthopyroxeen. De kristalmassa heeft een zekere oriëntatie, waardoor een golvende uitdoving veroorzaakt wordt (onder); ook erts is te zien. Chondrule van Type C (Tabel I).

Foto B: afm. 2,7 mm.
Foto B: Opname met XN. Polysomatische chondrule van het type BO (balkvormige *(barred)* olivijn). Er zijn vier individuele sets van parallelle olivijnstructuren onder hoeken van ongeveer 45°.

Foto C: afm. 2,6 mm.
Foto C: Opname met XN. "Wagenwiel"-achtige chondrule. Sets van olivijnnaalden, als spaken van een wiel georiënteerd in een grijze, cryptokristallijne grondmassa; ook de rand bestaat uit deze olivijnkristallen.

NGAWI, Java, val 1883 LL3 Olivijn-pigeonietchondriet
RGM 105570

Pigeoniet is een clinopyroxeen met, naast magnesium en ijzer, een klein beetje calcium.

Foto D: afm. 2,8 mm.
Foto D: Opname met XN. Geel/rode chondrule van het balkige type, met aan de onderkant PO (porfirische olivijn) en een donkere rand. De grijze chondrule heeft een zeshoekige kristalbegrenzing.

DALGETY DOWNS, W-Australië, vondst 1941 L4
Olivijn-hyperstheenchondriet RGM 107362

Foto's E en F: afm. 3,2 mm.
Foto E: met 1N. Aardse verwering heeft de bruinige kleur tot gevolg gehad. Erts: nikkelijzer en troiliet, is duidelijk te zien als zwarte, ondoorschijnende deeltjes.
Foto F: met XN. Bolvormige radiale orthopyroxeen-chondrule van het type RP met straalvormige kristallen die vanuit een excentrisch punt uitwaaieren. De chondrulerand bestaat voor een groot deel uit ertskristallen (zwart), met lichtgekleurde orthopyroxeen. Chondrules met veel vrij nikkelijzer in de rand worden gewapende chrondrules genoemd.

ALLENDE, Chihuahua, Mexico, val 1969 CV3
Koolstofchondriet (Carbonaceous chondrite, Vigarano type)
RGM 162885

Foto's G en H: afm. 3,5 mm.
Foto G: met 1N. Opvallend is de donkere kleur van de matrix bij één ingeschakeld polarisatiefilter bij deze koolstofmeteoriet, vergeleken met foto E.
Foto H: met XN. Chondrule met uniforme uitdoving: lichtgrijze orthopyroxeen (?), met enkele gele partikels. Het zwarte 'oog' in deze chondrule is kleurloos bij 1N (foto G). Ook in de grondmassa van de chondrule zijn bij 1N witte partijen te zien, die bij XN uitgedoofd zijn. Dit wijst op een glasachtige substantie, mogelijk van verglaasde plagioklaas. Deze wordt maskelyniet genoemd.

Tekst bij de slijpplaatjesfoto's: Joke Stemvers