2006

# geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 3

## Solsystemet

Fra altings oprindelse til Livets opståen

# Fra altings oprindelse til livets opståen

***Hvor kommer vi fra, hvordan er Jorden og resten af Solsystemet blevet til? Hvornår skabtes alting, og hvordan er det gået til, at vi i dag befinder os på en planet, kredsende omkring en stjerne vi har valgt at kalde Solen? I dag kan vi langt hen af vejen svare på disse helt fundamentale spørgsmål. I dette hæfte vil vi give et naturvidenskabeligt bud på skabelsesberetningen. Det er en beretning, der hele tiden ændrer sig i takt med, at nye opdagelser og teorier sætter os i stand til at grave dybere ind i vores forhistorie. Større teleskoper sætter os både i stand til at se længere ud i universet og finde nye objekter i Solsystemets fjerneste afkroge. Stadig forbedrede analysemetoder sætter os samtidigt i stand til at aflæse den information, der findes i meteoritter, som daterer sig helt tilbage til Solsystemets oprindelse. Gang på gang lykkes det af løfte endnu en flig af det slør, der dækker over vores oprindelse.***

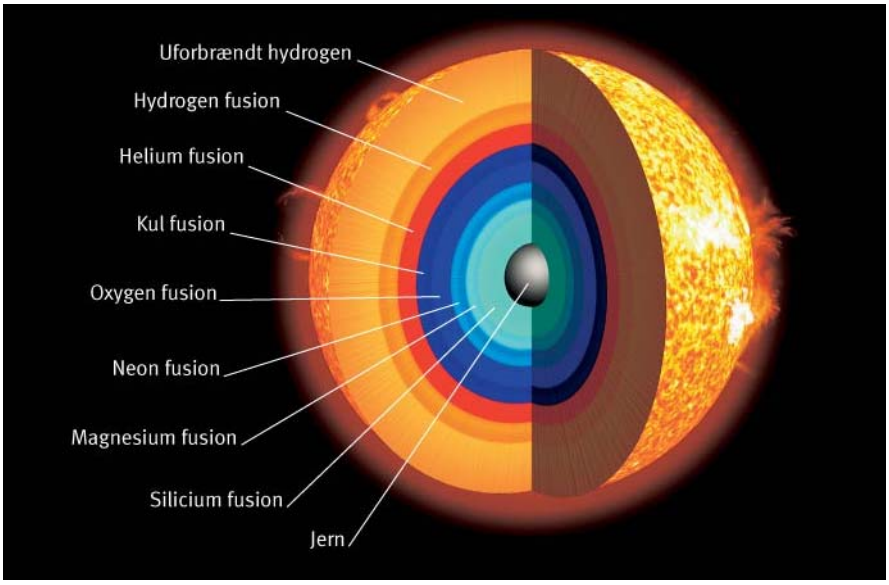
***GeoViden beskæftiger sig ellers normalt ikke med astronomiske emner, som Universets oprindelse, supernova eksplosioner og stjerners udvikling. Men disse emner er i virkeligheden nært beslægtede med geovidenskaberne. Alle grundstoffer på Jorden og i resten af Solsystemet er et resultat af Universets udvikling. Datering af bjergarter, der er en af grundpillerne i geovidenskaberne, baserer sig på henfaldet af radioaktive stoffer. De fleste af disse stoffer blev skabt i stjerner og supernoveeksplosioner i tiden inden Solsystemet blev dannet.***

## For 14 milliarder år siden fandtes der endnu ingenting!

Det er ikke bare Jorden og solsystemet, skovene og søerne, stjernerne og skyerne, der endnu ikke var til. Der var ikke noget stof, ikke noget rum og ingen tid. Det er meget svært at forestille sig, og videnskaben har kun nogle meget vage ideer om, hvordan alting kan være blevet skabt ud af ingenting.

Hvad vi ved er, at for ca. 13,6 milliarder år siden var alt det, der i dag findes i universet, samlet i et uhyre lille område. Måske så lille et område som et knappenålshoved. Der var intet udenom. Af dette ufatteligt kompakte og varme område blev hele universet til.

Man kan forestille sig det meget tidlige univers som en suppe af energi. Der var ingen molekyler og ingen atomer. Ingen grundstoffer. Men uhyre varmt. Hastigt udvidede og afkøledes universet. I dag er universet ufattelig stort, men til gengæld er rummet blevet umådelig koldt. Der er stort set –270°C i alle retninger, men bitte små variationer i temperaturen afslører nogle af de vigtigste detaljer om, hvordan universet må have set ud lige efter det var skabt.




*Udsnittet viser den indre opbygning af en mellemstor stjerne.*

*Illustration: Carsten E. Thuesen, GEUS.*

## Grundstofferne opstår

Et minut efter universet blev til, havde det udvidet og afkølet sig så meget, at atom-kerne-partikler begyndte at klumpe ud af 'suppen'. Det var protoner, neutroner og elektroner. Alle grundstofferne er opbygget af protoner, neutroner og elektroner – og intet andet. Så efter et minut var ingredienserne til alle grundstofferne blevet til, men der skulle endnu gå milliarder af år, inden de blev til de mange grundstoffer vi kender omkring os – byggestenene i hele den fysiske verden der omgiver os.

Et grundstof er det samme som et atom. Det simpleste atom er hydrogen (brint), der består af en proton og en elektron. Brinten kom til universet allerede 1 minut efter dets dannelse. Det er intet under, at mere end 90% af alle atomer i universet er brint atomer.

Det næste grundstof i rækken er helium, der består af to protoner, to neutroner og to elektroner. Grundstofferne adskiller sig fra hinanden ved antallet af protoner. Protonerne og neutronerne i et atom danner tilsammen atomkernen. Uden om atomkernen kredser elektronerne, lidt som planeterne omkring Solen. Alle grundstofferne har det samme antal elektroner i sig som de har protoner.

For at opbygge tungere grundstoffer end brint, må protoner og neutroner koble sig sammen til større klumper – tungere atomkerner. Observationer og eksperimenter har vist, at universets ursuppe kun dannede brint og helium, og de tre sjældne grundstoffer lithium, beryllium og bor. Det skyldes bl.a., at neutronen er ustabil. Når den bevæger sig frit i rummet – altså ikke sidder inde i et atom – omdanner en typisk neutron sig til en proton i løbet af ca. 10 minutter. Der var altså kun af størrelsesordenen 10 minutter til rådighed i universets begyndelse til at danne grundstoffer. Derefter var der ikke flere neutroner til rådighed til nye grundstoffer.

*Billede af en lille del af universet med typisk fordeling af mindst 1500 galakser i forskellige udviklingstrin. Billedet er taget af NASA's Hubble Space teleskop.*

*Copyright: NASA/ESA.*

**Henning Haack**

Lektor, Geologisk Museum
(hh@snm.ku.dk)

**Uffe Gråe Jørgensen**

Lektor, Niels Bohr Instituttet
(uffegj@nbi.dk)

**Anja Andersen**

Lektor, Niels Bohr Instituttet
(anja@astro.ku.dk)

**Martin Bizzarro**

Adjunkt, Geologisk Institut
(bizzarro@geol.ku.dk)

**Vagn F. Buchwald**

Emeritus, Geologisk Museum

*Eta Carinae: Endnu en supernova under dannelse. Her ses stjernen Eta Carinae, som er meget ustabil, og snart vil blive til en ny supernova.*
*Copyright: J. Hester/University of Arizona/NASA.*

vet så varme inden i, at helium kan omdannes videre til kulstof og kvælstof, og for nogles vedkommende videre til ilt, neon, aluminium, osv., op til og med jern. Når stoffet er blevet til jern, kan man ikke vinde mere energi ved yderligere fusioner. Hvis stjernen er stor nok, vil stadig større områder i dens indre blive til jern. Til sidst vil der være skabt en så mægtig 'bobbel af jerndamp' i stjernens indre, at jern-atomkernerne ikke længere kan modstå vægten af sig selv. På det tidspunkt sker der noget højst bemærkelsesværdigt. Jern-atomkernerne bryder sammen under deres egen vægt, og bliver igen til neutroner. Neutronerne styrter sammen mod stjernens centrum, og danner til sidst en lille neutronklump – en neutronstjerne – på kun 10 kilometers størrelse. Hver kubikcentimeter af dens stof vejer en milliard tons. Dannelsen af neutronstjernen udløser så meget energi, at hele resten af stjernen blæses ud i rummet. Det er det man ser som en supernovaeksplosion.

## Stjerner som grundstoffabrikker

Ur-universet nåede kun at danne de fem letteste grundstoffer. Resten af grundstofferne er dannet gennem milliarder af år, dybt inde i stjerner. I slutningen af stjernernes liv blæses de nydannede grundstoffer ud i rummet, således at rummet mellem stjernerne langsomt er blevet – og stadig bliver – mere og mere rigt på tungere grundstoffer som kulstof, ilt, jern, guld, bly, uran, osv.

Stjernerne er gigantiske fusionskraftværker, der skaber energi til deres lys ved at 'forbrænde' (altså fusionere) lette grundstoffer til stadig tungere grundstoffer. Det er den samme energikilde, som driver en brintbombe, eller et fusionskraftværk (når vi engang får bygget et sådan). I størstedelen af stjernernes liv får de deres energi ved at omdanne brint til helium. Herved får vi altså stadig mere helium i universet, og stadig mindre brint – men endnu ingen kul og jern m.v.

Mod slutningen af stjernernes liv er de ble-

*Helix: Den planetariske tåge Helix. Den døende stjerne i midten har blæst sine overfladelag af og dermed beriget Mælkevejen med de grundstoffer den har dannet i sin levetid.*
*Copyright: NASA/NOAO/ESA the Hubble Helix Nebula team, M. Meixner (STSci) og T.A. Rector (NRAO).*

*Asteroiden Ida med dens måne Dactyl. Det var en stor overraskelse at opdage Idas måne, da man ikke troede, at asteroidernes tyngdefelt var kraftigt nok til at holde en måne i kredsløb. Ida er ca. 60 km lang.*
*Copyright: NASA/JPL.*

## Eksploderende stjerner

I supernovaeksplosionen blæses det stof ud, som stjernen har skabt gennem millioner af år. Astronomerne mener, at stort set alt det ilt, fluor, neon, natrium, magnesium, aluminium, silicium, fosfor, svovl, chlor, argon, kalium, calcium, scandium, titan, vanadium, chrom, mangan, jern, cobalt og nikkel, der findes i naturen, er 'affaldsprodukter' fra de atomkerneprocesser, der har fået de store stjerner til at lyse gennem deres liv.

Under selve supernovaeksplosionen vil store mængder nydannede neutroner blæse gennem stjernens gasser. Herved vil specielt det jern, der findes i stjernen blive ændret til meget tunge grundstoffer. Der vindes ikke energi ved disse processer. De forbruger noget af den energi, eksplosionen indeholder. Fx dannes naturens tungeste grundstof, uran, ved at jern optager de energirige neutroner fra eksplosionen. Når den radioaktive uran på Jorden henfalder over milliarder af år og opvarmer Jordens skorpe, kan man med rette sige, at det er rester fra supernovaeksplosionens enorme energireserver, der holder jordskorpen varm. Også grundstoffer som guld, platin, osmium, selen, europium, og xenon dannes på denne måde. De er alle kommet til os fra en eksploderende stjerne.

Det er kun de allerstørste stjerner, der bliver til supernovaer. Stjerner der fødes med mindre end otte gange Solens masse, formår kun at forbrænde deres grundstoffer frem til kulstof og kvælstof. Herefter stopper kerneforbrændingerne. Der bliver aldrig varmt nok i deres indre til at kulstoffet kan forbrændes videre til ilt, neon, magnesium, osv. til jern. Til gengæld kommer det meste – måske alt – kulstof og kvælstof i naturen fra forbrændingerne i de 'små' stjerner – altså dem, der ligesom vores egen Sol aldrig vil blive til supernovaer.

Gennem en besynderlig række af 'mini-eksplosioner' i slutningen af de relativt små stjerners liv, skabes der også strømme af nydannede neutroner. Neutronerne her er forskellige i deres energi fra neutronerne i supernovaeksplosionen. Derfor danner de andre tunge grundstoffer end supernovaeksplosionerne. Omkring 2/3 af alle grundstoffer tungere end jern dannes her – bl.a. barium, bly og strontium.

*Eagle Nebula: Ørnetågen hvor der i øjeblikket dannes nye stjerner.*
*Copyright: NASA/ESA.*

De små stjerner eksploderer aldrig, men de puster sig voldsomt op i slutningen af deres liv. Solen vil om ca. 7 milliarder år blive lige så stor som Jordens nuværende bane om Solen. På det tidspunkt er Solen blevet det man kalder en rød kæmpestjerne. En million milliarder tons stof vil blæses ud af Solen hvert sekund i denne fase af dens liv. Disse stoffer vil være beriget på kulstof, kvælstof, bly og mange andre stoffer der er dannet i Solens indre gennem dens liv. Måske vil varmen fra disse enorme gasmasser fordampe Jorden på det tidspunkt, og vores jordiske rester vil blæse med solstoffet ud i det interstellare rum, hvor det engang vil blive til nye stjerner og planeter, i naturens evige opbygning af stadig mere komplekse former for materie.

## En stjerne fødes

Noget af den gas stjernerne slynger ud når de ender deres liv, samles i enorme skyer, hvorfra der kan dannes nye generationer af stjerner. Når en del af gasskyen når en kritisk størrelse, masse eller massetæthed, begynder den at falde sammen under sit eget tyngdefelt. Som gasskyen skrumper ind vil den, ligesom en roterende skøjteløber, der trækker armene ind til kroppen, rotere hurtigere og hurtigere. Denne rotationsbevægelse får skyen til at flade ud og begynde at tage form som en skive – også kaldet en protoplanetarisk skive. Sådanne protoplanetariske skiver kan på nuværende tidspunkt observeres i Ørnetågen, og de kan muligvis give os et indblik i, hvordan vores eget solsystem kan have set ud for ca. 4,56 milliarder år siden. Langt det meste materiale i Solsystemet endte i Solen, mens planeterne dannedes udfra det tilbageværende materiale i den protoplanetariske skive. Ved at klumpe sig sammen når de stødte sammen, blev dét der startede som støvpartikler, til større og større objekter som asteroider og planeter.

## Kondritter og det første faste stof i solsystemet

I området mellem Mars og Jupiter dannedes der ikke en planet. Årsagen er formentlig. at Jupiter

*Nærbillede af Allendemeteoritten. Man kan tydeligt se de runde kondruler og de irregulære CAler i den finkornede matrix.*

*Fotos: Ole Bang Berthelsen, Geologisk Institut.*

*Allendemeteoritten er en kulkondrit, som faldt ned i 1969 nær byen Allende i Mexico.*

med sit enorme tyngdefelt sørgede for at slynge langt det meste materiale væk, inden der kunne opbygges en planet. Selvom det er lidt ærgerligt, at vi er gået glip af en planet på nattehimlen, så kan vi glæde over, at vi til gengæld har fået bevaret noget af det allerførste faste stof, der dannedes i solsystemet. Dele af den oprindelige støvskive klumpede sig sammen til asteroider, der næsten ikke har udviklet sig. Meteoritter fra sådanne asteroider indeholder derfor primitivt støv og partikler, der daterer sig helt tilbage til Solsystemets oprindelse. Denne type meteoritter kaldes kondritter, fordi de indeholder masser af let genkendelige kugler, som kaldes kondruler. Der findes mange forskellige typer kondritter med vidt forskellige egenskaber. Der er stor forskel på størrelsen af de kondruler og andre partikler, de indeholder, og også deres kemiske sammensætning varierer meget. Da de alle er prøver fra det tidlige solsystem, viser det, at der var store variationer i det støv, der kredsede omkring Solen, og som senere blandt andet blev brugt til at opbygge planeterne. Specielt de såkaldte kulkondritter er interessante, da det materiale de indeholder er særdeles velbevaret.

Selvom langt den overvejende del af stoffet i kondritterne er dannet i det tidlige solsystem, er det dog også lykkedes at finde interstellart materiale, som er dannet udenfor Solsystemet.

## Interstellare diamanter

I 1987 fik vi fralokket kulkondritterne en velbevaret hemmelighed: De indeholder små mængder støv, der ikke er dannet i solsystemet, men fandtes i det interstellare støv allerede før solsystemets dannelse. Det har vist sig at stamme fra for længst uddøde stjerner, og det har givet astronomer en helt enestående chance for at studere stjernestøv direkte i laboratoriet.

Inden for de senere år har det vist sig, at dele af det oprindelige interstellare støv har overlevet uforandret under solsystemets dannelse. Dette oprindelige interstellare støv er fundet i små mængder i de meteoritter, der kun har været udsat for meget ringe påvirkning under solsystemets dannelse – kulkondritterne.

Når materialet fra en kulkondrit opvarmes til mellem 400 og 1000° C, frigiver det gas. Ved de fleste temperaturer er sammensætningen af isotoper den samme som den normale sammensætning i solsystemet.

Når man varmer prøven op, ser man imidlertid, at der ved bestemte temperaturer pludselig afgives gas med en sammensætning, der er markant forskellig fra solsystemets sammensætning. Man konkluderer derfor, at støvet må indeholde mineraler, der frigiver eventuelle inklusioner af gas ved den pågældende temperatur, og at mineralerne pga. sammensætningen af den frigivne gas ikke kan være dannet i solsystemet. Da disse mineraler er blandet op i en meteorit, der aldrig har været omstruktureret siden solsystemets dannelse, må de være dannet før solsystemet, og være blandet op med solsystem-skyen under dannelsesfasen eller (mere sandsynligt) i den interstellare sky der senere kollapsede og blev til solsystem-skyen. Disse mineraler, der er dannet uden for solsystemet før solsystemet eksisterede, repræsenterer således uforandret stjernestøv.

Efter omtrent 20 års søgen lykkedes det i 1987 endelig for en forskergruppe i Chicago at isolere den støvtype, som indeholdt de karakteristiske gasser. Det viste sig at være uhyre små diamanter med en størrelse på ca. 2 nanometer, dvs. hver diamant består af rundt regnet 1200 kulstofatomer, så der er i virkeligheden nærmere tale om diamantrøg end om diamantstøv!

Diamanter er opbygget af kulstof, men de kan indeholde urenheder i form af bl.a. kvælstof, neon og xenon. Kvælstofatomer kan erstat-

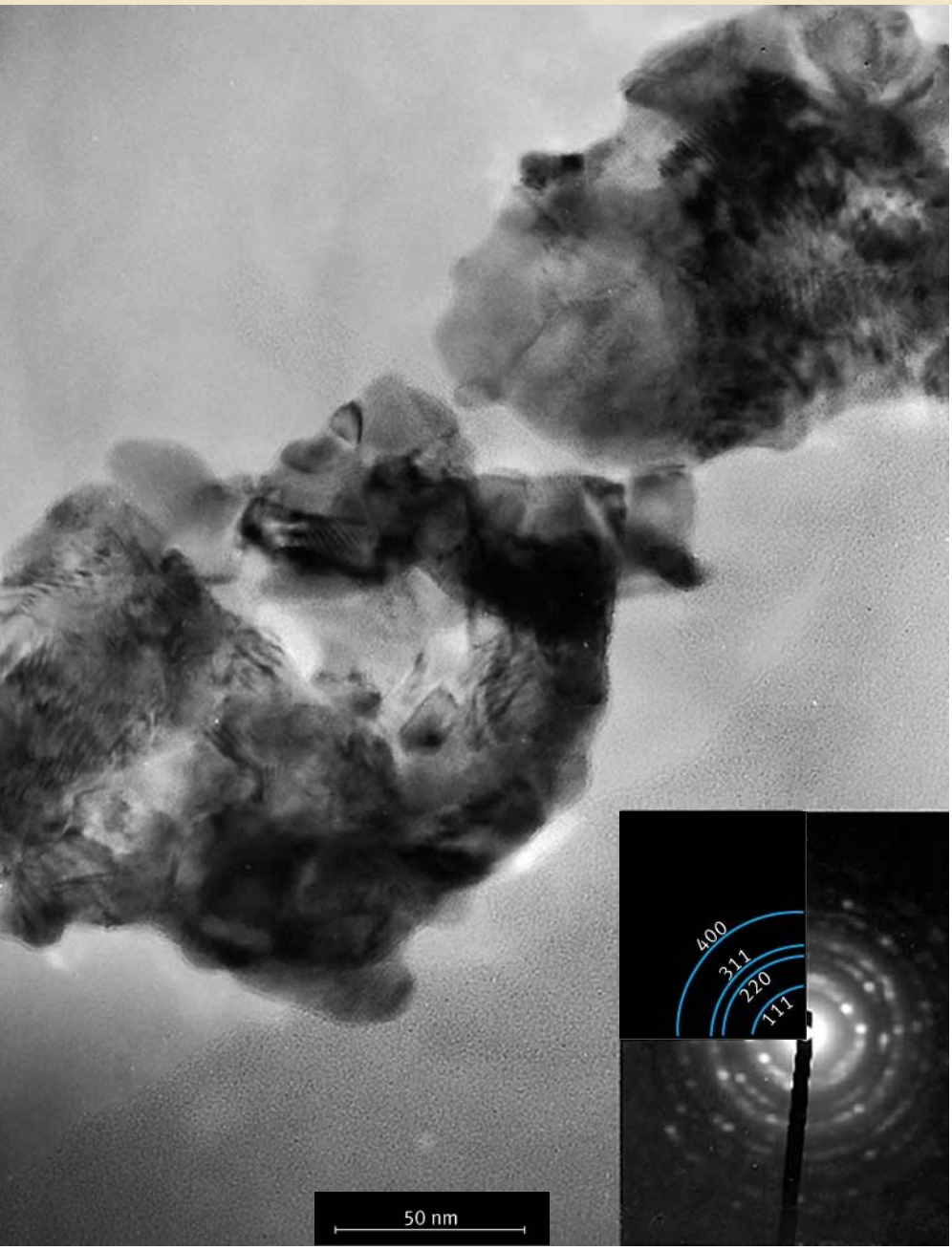



Foto: Anja Andersen, Niels Bohr Instituttet.

*Elektron mikroskop billede af nano-diamanter fra Allende meteoritten. Hver klump indeholder ca. 1000 diamanter, og hver klump måler omkring 0,0001 mm i diameter.*

te kulstofatomer i diamantens krystalstruktur, mens neon og xenon kan sidde som enkeltatomer fanget i diamantkrystallen. Isotopsammensætningen af urenhederne kan bruges til at finde ud af, hvor og hvordan diamanterne er dannet. Observationerne tyder på, at nogle er dannet i røde kæmpestjerner, mens andre dannes i forbindelse med supernovaeksplosioner.

Ud fra målinger af diamanterne er det ikke entydigt, hvorvidt de primært dannes i røde kulstofrige kæmpestjerner, som er slutstadiet i et livsforløb for en let stjerne, eller i resterne fra en supernovaeksplosion, som er slutstadiet for en tung stjerne. Forholdet mellem de to kulstofisotoper $^{12}C$ og $^{13}C$ i diamanterne tyder på, at de er dannet i røde kulstofrige kæmpestjerner, mens den xenon og neon, der er fundet i diamanterne, er et direkte fingeraftryk fra en supernova (oven i købet mindst to forskellige supernovaepisoder). Så når vi skal prøve at forstå dannelsen af nanodiamanter i universet, må vi have for øje, at der nok er mere end blot en type stjerner, der er i stand til at danne diamantstøv. Dette er ikke overraskende, idet 3% af det kulstof, der var til rådighed dengang solsystemet blev dannet, har været i form af nano-diamanter.

Hvor store mængder diamanter som disse to scenarier hver især kan producere, vil have stor betydning for vores fremtidige forståelse af, hvilken type af stjerner der er den primære bidragyder til de kulstofatomer, som vi hver især indeholder.

## Det ældste materiale fra Solsystemet

Kondruler er mm-store runde objekter, der blev helt eller delvist opsmeltet i det unge solsystem, og genkrystalliseredes indenfor minutter eller timer. Kondruler består primært af mineralerne olivin og pyroxen, der også er almindelige på Jorden. Sammen med finkornet støv og andre partikler klumpede de sig sammen, og blev til det vi kalder asteroider. Mange af dem er sikkert også endt i planeterne, men det kan vi af gode grunde ikke sige noget sikkert om – bevismaterialet er for længst omsmeltet. Nogle af de kondruler, der endte i en asteroide, er blevet bevaret stort set uforandrede indtil den dag, de blev slået løs, og startede den færd gennem solsystemet, der endte med deres fald på Jorden som en meteorit.

En anden vigtig bestanddel i kondritterne er de inklusioner der kaldes calcium- aluminiumrige inklusioner eller CAIer. De er dannet ved høje temperaturer på et meget tidligt tidspunkt i Solsystemets udvikling. Vi kender ikke til materiale fra Solsystemet, der er dannet tidligere end CAIerne. De består næsten udelukkende af silikater og oxider, der er rige på calcium, aluminium og titan. Ikke alle CAIer er dannet ved opsmeltning, og ligesom kondrulerne ser det ud, som om nogle CAIer har været udsat for opvarmning adskillige gange. De fleste CAIer har isotop- og elementforhold der viser, at de eller deres forgængere dannedes ved fordampning og/eller kondensation.

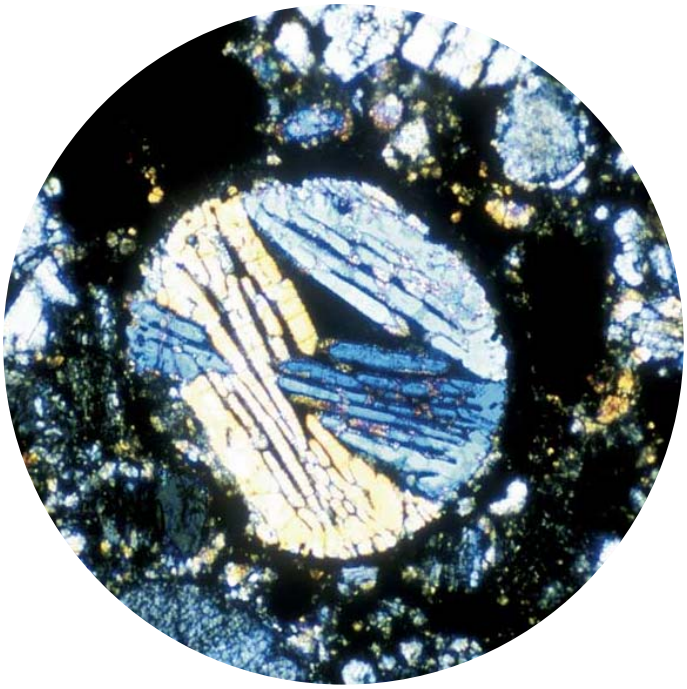
Solsystemets alder bliver på nuværende tidspunkt bestemt efter de nyeste aldre på CAIer, som er på 4,5672 milliarder år. Denne alder er fundet i CAIer fra kulkondritten Efremovka.

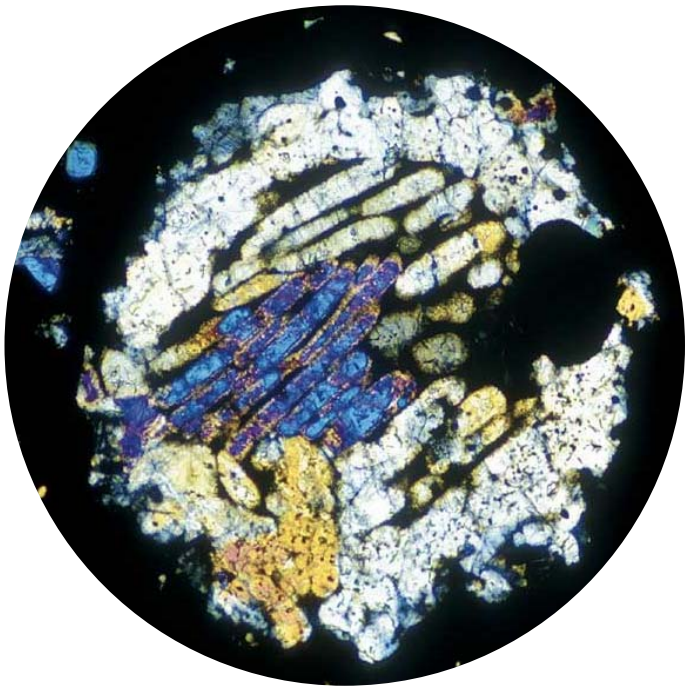
Selvom disse objekter studeres intenst af forskningsgrupper over hele verdenen, har vi stadig kun vage ideer om, hvor og hvordan de er dannet. En forståelse af de fysiske forhold de er dannet ved vil være et kvantespring fremad i vores forståelse af de allertidligste faser i vores solsystems udvikling.

Et vigtigt spor der kan fortælle om CAIernes

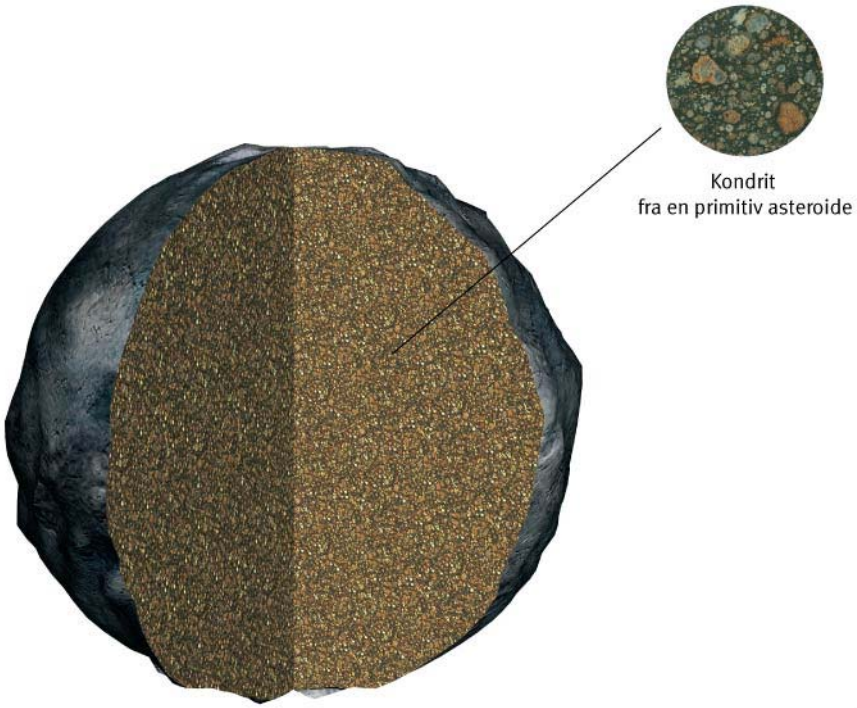
dannelse, er den uddøde aluminium-isotop $^{26}Al$. $^{26}Al$ henfalder til $^{26}Mg$, med en halveringstid på 730.000 år, så der er ikke noget af det oprindelige $^{26}Al$ til stede i dag. Størstedelen af CAIerne har et meget højt indhold af datterisotopen $^{26}Mg$, i forhold til andre Mg-isotoper, og det kan bedst forklares ved at calcium-aluminium-inklusionerne engang har indeholdt $^{26}Al$. Hvis en asteroide blev dannet mens der stadig var $^{26}Al$ tilstede, så vil henfaldet frigøre tilstrækkelig varme i dens indre til at opsmelte asteroiden. Tilstedeværelsen af radioaktivt $^{26}Al$ i det tidlige solsystem kan derfor forklare noget, der indtil for få år siden var et mysterium – hvorfor vi har så mange meteoritter fra små, opsmeltede asteroider. Samtidigt giver $^{26}Al$ os et redskab til at opklare tidsforskellene på begivenheder, der fandt sted i det meget tidlige solsystem. Nye og meget præcise målinger af Mg-isotoperne, som er foretaget ved Geocenter København viser, at de fleste CAIer i vores solsystem kan være dannet inden for et tidsrum på helt ned til 20.000 år. Denne tidsskala er ikke i overensstemmelse med den almindelige opfattelse af solens tidlige udvikling, men kan udmærket stemme overens med, at CAIer blev dannet ved indfald på disken rundt om proto-stjernen, som en del af dens udvikling.

Til forskel fra CAIerne, har kondrulerne meget varierende overskud af $^{26}Mg$. Det tyder på, at de dannedes over et længere tidsrum – tilsyneladende er de ældste lige så gamle som CAIerne, mens de yngste først blev dannet omkring 3 millioner år senere. Endvidere har variationer imellem kondrulerne i de forskellige kondritgrupper, samt sporene efter gentagne cyklusser af processer, ledt de fleste til at tro, at de er dannet ved fænomener, der fandt sted i hele asteroidebæltet. At kondruler er den primære bestanddel i kondritterne, fortæller os, at de er dannet ved en af de vigtigste processer i nebulaen i det tidlige solsystem. Det er derfor meget frustrerende, at vi endnu ikke forstår, hvordan de blev dannet.

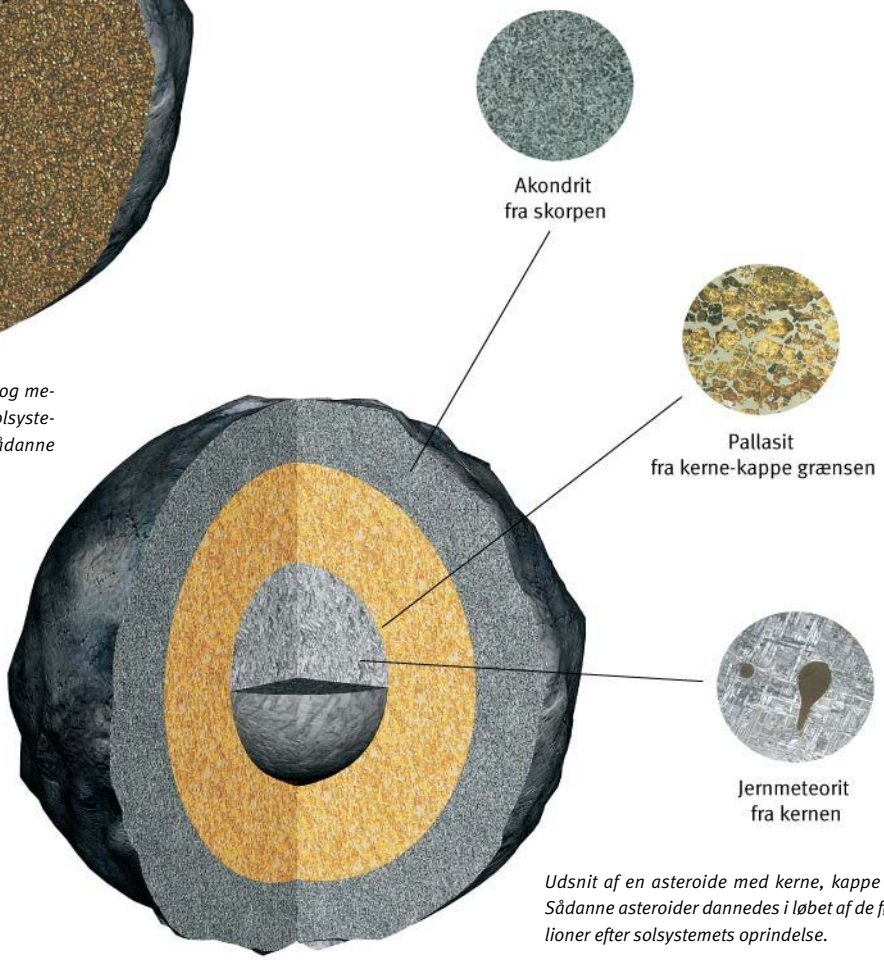




*Mikroskopbilleder af tyndslib af meteoritter. De runde legemer er kondruler der måler knap en mm i diameter.*
*Fotos: Henning Haack, Geologisk Museum.*




*Udsnit af en primitiv asteroide, hvor kondruler og metalkorn er bevaret næsten uforandret siden solsystemets dannelse. Kondritter er fragmenter af sådanne asteroider.*




*Udsnit af en asteroide med kerne, kappe og skorpe. Sådanne asteroider dannedes i løbet af de første årmillioner efter solsystemets oprindelse.*

*Illustration: Carsten E. Thuesen, GEUS.*
*Omtegnet efter Christine Marvil, Geologisk Museum.*

## Planetlignende asteroider

Kondritterne viser, at mange asteroider aldrig blev opvarmet, og derfor aldrig fik nogen egentlig geologisk udvikling. De forblev relativt kolde, og var derfor det perfekte sted at opbevare primitivt materiale fra solsystemets oprindelse. Mange andre typer meteoritter kommer imidlertid fra asteroider, der har været helt eller delvist opsmeltede. Vi regner med, at de opsmeltede asteroider dannedes højst 1 million år efter solsystemets dannelse – mens der stadig var tilstrækkeligt med $^{26}$Al til at bringe asteroiden op på smeltepunktet.

Ligesom i Jorden førte opsmeltningen af asteroiderne til, at de blev opdelt i en metalkerne, en kappe og en skorpe. Hvis en sådan asteroide senere bliver involveret i et katastrofalt kosmisk trafikuheld, så vil stumper af asteroidens indre spredes i Solsystemet. Vi har fundet stumper af omkring 100 forskellige opsmeltede asteroider i form af meteoritter. Fra metalkernen har vi jernmeteoritter fra 80–90 forskellige asteroider. Fra grænsen mellem kerne og kappe har vi såkaldte pallasitter fra mindst 3 forskellige asteroider. Besynderligt nok har vi meget få meteoritter fra kappen af asteroider. Vi ville forvente, at der skulle være et betydeligt volumen rigt på mineralet olivin – men sådanne meteoritter er aldrig blevet fundet. Vi har dog nogle meteoritter fra den øvre del af kappen af enkelte asteroider. Fra den vulkanske skorpe af de opsmeltede asteroider har vi basaltiske meteoritter.

Ved at bestemme spektrene af det sollys der reflekteres fra en asteroides overflade er det desuden muligt at finde ud af hvilke mineraler, der findes på dens overflade. På den måde kan vi se, at asteroiderne ligesom meteoritter er opdelt i mange forskellige typer. Der findes primitive kondritlignenede asteroider, en enkelt asteroide med en intakt vulkansk overflade og mange asteroider der tilsyneladende er fragmenter af kerner, kapper og skorper fra tidligere tiders opsmeltede asteroider.

De primitive, uopsmeltede asteroider findes hovedsageligt i de ydre dele af asteroidebæltet, mens de opsmeltede primært findes i de indre dele.

*Tværsnitten af angritten SAH99555. De runde huller er gasblærer – et meget sjældent fænomen i meteoritter. Skiven måler 11 cm på den lange led.*
*Foto: Luc Labenne.*

*Skiven af Agpalilik jernmeteoritten er efter polering og ætsning udstillet på Geologisk Museum. Skiven måler ca. 1,3 m².*
*Foto: Jakob Lautrup, GEUS.*

## Sahara 99555 – En enestående basaltisk meteorit

Det er ikke kun på Jorden, der findes vulkaner. Selv på asteroiderne har der engang været omfattende vulkansk aktivitet. Stumper af disse vulkaner drysser fra tid til anden ned på Jorden i form af basaltiske meteoritter. I 1999 opdagede et hold franske meteoritjægere i Sahara en ny basaltisk meteorit – nu kendt som en sjælden gruppe af meteoritter, der kaldes angritter – opkaldt efter meteoritten Angra dofaldt i Brasilien i 1869. Angritter har en meget ens sammensætning af iltisotoper, og kommer fra en asteroide, hvor stort set alle flygtige elementer var afgasset. SAH99555 er en finkornet bjergart, der primært består af aluminium- og titaniumrig pyroxen, calciumrig olivin og anorthit.

Da SAH99555 meteoritten er frisk og uforvitret, forsøgte et hold forskere fra Geocenter København at datere meteoritten med to forskellige metoder. Den første er baseret på henfald af $^{238}U$ og $^{235}U$ til henholdsvis $^{206}Pb$ og $^{207}Pb$. Dette system giver en såkaldt absolut bly-bly-alder for både mineraler, bjergarter og meteoritter. Resultatet af analyserne gav overraskende en alder på 4,566 milliarder år – åbenbart kun en million år yngre end CAIerne! Dermed er SAH99555 den ældst kendte vulkanske bjergart i Solsystemet. På det tidspunkt burde der stadig have været $^{26}Al$ tilstede i meteoritten, og forskerne fortsatte derfor med at søge efter spor af $^{26}Al$, i form af et overskud af $^{26}Mg$, ligesom for CAIer og kondruler.

Et tidligere indhold af $^{26}Al$ i SAH99555 ville være af stor interesse, da det ville gøre os i stand til at datere denne basalt i forhold til dannelsen af CAIer. Desuden ville vi kunne vise, at $^{26}Al$ i det tidlige solsystem var en kraftig varmekilde, der ville være stærk nok til at opsmelte hele småplaneter på kun titals kilometers størrelse, hvis de var dannet tidligt nok.

Resultaterne viste at alle angritterne indeholder små mængder af overskydende $^{26}Mg$, i forhold til andet materiale fra objekter i det indre solsystem, inklusive Jorden, Månen, Mars og kondritterne. Det overskydende $^{26}Mg$ kan benyttes til at beregne aldre for den vulkanske aktivitet på angritternes moderlegeme, og det viser sig at den vulkanske aktivitet er ca. 3 mio. år yngre end dannelsen af CAIerne, som er solsystemets ældste objekter. Ved at kombinere denne aldersforskel med den absolutte bly-bly-alder for SAH99555, er det muligt at beregne en ny alder for calcium-aluminium-inklusionern på ca. 4,5695 milliarder år. Denne CAI-alder er ca. 2 mio. år ældre end de tidligere bud, og viser at solsystemet nok er ældre end tidligere antaget.

## Jernmeteoritter

Jernmeteoritter ligner ikke noget andet, vi kan finde på Jordens overflade. Hvis man er så heldig at finde en jernmeteorit, vil man straks kunne mærke at den er omtrent dobbelt så tung som en almindelig sten af samme størrelse. Jernmeteoritter er små stumper af asteroiders planetkerner. Dybt nede i Jorden findes der tilsvarende materiale, men vi vil aldrig nogen sin de kunne få hentet en prøve op. Jernmeteoritter er derfor vores eneste mulighed for at se, hvordan planetkerner ser ud.

Jernmeteoritter er ikke bare dobbelt så tunge som almindelige sten – de er også ofte smukt formede efter den voldsomme tur ned gennem Jordens atmosfære. Hvis man skærer dem over, vil man kunne se, at de indeni ofte består af en enkelt forgrenet krystal. Selv den store Agpalilikskive på Geologisk Museum er et fragment af en stor forgrenet enkeltkrystal. Asteroidernes kerner størknede ganske langsomt, og der har derfor formentlig været tid til at krystallerne kunne vokse sig km-store.

## Hvordan er jernmeteoritterne dannet?

Hvis man tager en asteroide, bestående af samme materiale som kondritterne, og varmer den op til metals smeltepunkt, så vil metallet smelte og løbe ind i centrum af asteroiden og danne kernen. Den samme proces fandt sted på de indre planeter, som fx Jorden. Metallet tager alle de grundstoffer med sig, som er opløselige i smeltet metal. Det er for eksempel guld og platin, hvilket er årsagen til, at disse to grundstoffer er så sjældne på Jordens overflade. Det er altså ikke nødvendigvis de tungeste grundstoffer, der samles i kernen. Tunge grundstoffer som uran, bly og kviksølv er ikke opløselige i metal og bliver derfor i kappen og skorpen på opsmeltede asteroider og planeter.

## Hvilke asteroider kommer jernmeteoritterne fra?

Hvis man analyserer jernmeteoritternes kemiske sammensætning, så kan man se at mange af dem ligner hinanden. Det gør de faktisk også rent bogstaveligt, da de jernmeteoritter, der har nogenlunde samme kemiske sammensætning sædvanligvis også viser sig at have samme type krystalstruktur, og indeholde de samme mineraler. Det tyder på, at de jernmeteoritter der er kemisk og strukturelt sammenlignelige, også kommer fra den samme asteroidekerne. På den måde inddeler man jernmeteoritterne i grupper med hver deres betegnelse og formentlig fælles oprindelse i den samme asteroidekerne. Den største gruppe af jernmeteoritter kaldes IIIAB og indeholder knap 300 kendte meteoritter, deriblandt Cape York meteoritterne.

Der er dog langtfra alle jernmeteoritter, der falder i disse grupper. Dem der ikke passer ind i grupperne kalder vi unikke, eller ugrupperede. De unikke jernmeteoritter kommer formentlig fra asteroider hvorfra vi endnu ikke har fundet andre meteoritter. Ved at tælle antallet af jernmeteoritgrupper og unikke jernmeteoritter viser det sig, at vi har knap 1000 kendte jernmeteoritter, som kommer fra knap 100 asteroider.

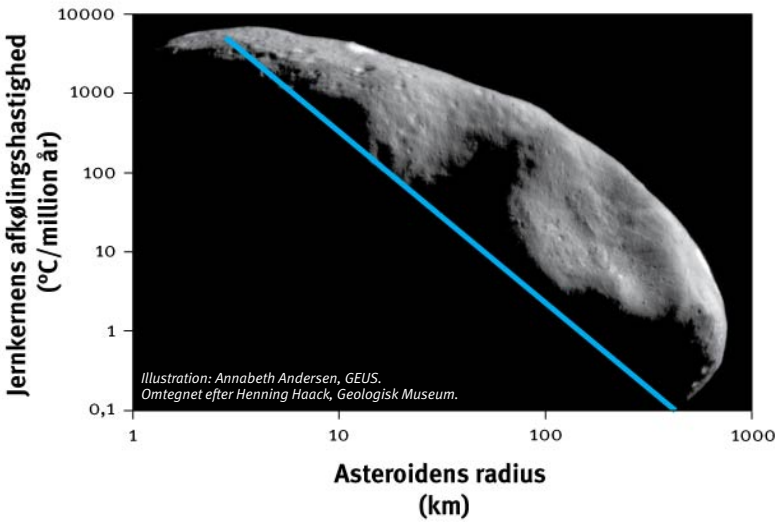
## Hvor er resten af asteroiden blevet af?

Hvis vi har jernmeteoritter fra op mod 100 forskellige asteroidekerner så skulle man tro, at vi også ville have en masse stenmeteoritter fra disse asteroiders kapper og skorper. Overraskende nok så er der ikke en eneste af stenmeteoritgrupperne, der ser ud til at komme fra samme asteroide som jernmeteoritgrupperne. Nogen af pallasitterne, som omtales i et af de næste afsnit, kommer formentlig fra grænsen mellem kernen og kappen i IIIAB asteroiden – men vi har ingen rene stenmeteoritter fra kappen eller skorpen af IIIAB asteroiden. Vi ved ikke, hvor stenmaterialet er blevet af, men der er dog nogle bud på en forklaring. Vi kan se, at IIIAB jernmeteoritterne har været udsat for kosmisk stråling i ca. 650 millioner år. Derfor må det med andre ord være 650 millioner år siden asteroiden blev knust – formentlig i et stort sammenstød med en anden asteroide. Vi har aldrig fundet stenmeteoritter, der har været udsat for kosmisk stråling i så lang tid, så noget kunne tyde på at de ikke kan overleve så længe i rummet. Dels nedbrydes stenmeteoritter hurtigere, når de bombarderes med mikrometeoritter, og dels er der noget der tyder på, at de hurtigere bevæger sig ind i Solen eller ud af solsystemet, end jernmeteoritterne.

## Hvor store var asteroiderne?

Ved at analysere krystalstrukturen i jernmeteoritterne kan vi regne os frem til, hvor hurtigt asteroidekernen afkøledes efter den var størknet for knap 4,5 milliarder år siden. Det man gør i praksis er at regne krystallernes udvikling igennem i en computer. Det viser sig, at hvis kernen køler hurtigt ender krystallerne med at have en anden struktur, end hvis den køler langsomt. Man prøver så med forskellige afkølingsrater, indtil beregningen giver noget, der ligner det vi kan måle i meteoritterne. For gruppe IIIAB har vi for eksempel målt, at kernen køledes med ca. 50 grader pr. million år. Det kan med andre ord ikke lade sig gøre at lave en kopi af en jernmeteorit i laboratoriet, med mindre man har overordentlig god tid!

Da store legemer køler langsommere end små legemer så kan kernens kølehastighed fortælle os, hvor stor asteroiden var. For IIIAB asteroidens vedkommende, må asteroiden have haft en radius på ca. 50 km. Selv om de opsmeltede asteroider havde en indre struktur i stil med Jordens, så var de med andre ord langt mindre.




*Diagrammet viser, at store asteroider har en lav afkølingshastighed, mens små asteroider afkøles hurtigt.*

Foto: Anne H. Hansen, Geologisk Museum.

*Finderen af Agpalilik meteoritten, Vagn Buchwald, står ved siden af meteoritten i Geologisk Museums gård. Marts 2006.*

*Vagn Buchwald sidder på meteoritten i august 1963, kort efter den var fundet. De lokale grønlændere kendte ikke Agpalilik, og var skeptiske, da de først hørte om fundet.*

Foto: Vagn. F. Buchwald, Geologisk Museum.

## Fundet af Agpalilik

I museets gård står et brudstykke af Cape York meteorit-bygen. Stykket, som før skæring vejede 20,1 tons, hedder Agpalilik efter sit findested i nærheden af Thule i Nordvestgrønland. Agpalilik er fundet af Vagn Buchwald, der er professor emeritus ved Geologisk Museum. Vagn Buchwald er metallurg og tidligere lektor ved DTU.

Cape York meteoritterne har en lang forhistorie. I mange generationer er jernet blevet brugt af de lokale fangere til redskaber, og der gik rygter om meteoritterne blandt forskere og hvalfangere, der besøgte Baffin Bugten i 1800-tallet. Men det var først i 1894, at det lykkedes polarforskeren Robert E. Peary at få solide oplysninger frem. Hans polar-eskimoiske hjælpere kendte til tre meteoritter, som lå 50 km øst for Cape York. Peary hentede dem i 1897 og sejlede dem til USA. De fik navnene Ahnighito (31 t), Woman (3 t) og Dog (407 kg), og de er i dag udstillet på American Museum of Natural History i New York.

Da Knud Rasmussen og Peter Freuchen i 1913 berejste de samme områder, fortalte en ung fanger, Qitlugtoq, at han kendte til endnu en meteorit. Den fik navnet Savik (3,4 t). Den kom på Finansloven, blev efter 1. Verdenskrig bjerget af ingeniør Holger Blichert-Hansen, for omsider i 1925 at blive bragt til København. Savik står i museets gård.

I 1955 fandt amerikanske glaciologer en mindre meteorit på en nunatak øst for Thule basen. Den kom til København i 1956 og fik navnet Thule (49 kg). Vagn Buchwald undersøgte meteoritterne og konkluderede, at de måtte være faldet som en samlet byge af meteoritter. Det antages, at en 100–200 tons kæmpemeteorit var kommet fra nordvest, var sprængt i luften og var gået i hundredvis af stykker, små og store. De mindste var blevet bremset mest af luften og faldt mod nordvest (Thule), mens de største fløj langt og landede mod sydøst. Der er ca. 100 km mellem yderpunkterne.

Med støtte fra Grønlandsministeriet fik Vagn

Illustration: Grafisk, GEUS.

*Kort over Grønland med findestedet for Agpalilik angivet med en pil.*

Buchwald i somrene 1961 og 1963 stillingen som videnskabelig forbindelsesofficer på Thule Air Base. I sin fritid afsøgte han systematisk de isfri områder. I sommeren 1963 afsøgtes en ret utilgængelig halvø, Agpalilik, der end ikke fandtes på kortet. Her fandt Vagn Buchwald den 31. juli Agpalilik. Den lå næsten dækket af store gnejsblokke. Formentlig fandt faldet sted for mere end 2000 år siden, da området var dækket af svær is. Meteoritten må have lavet et krater i isen, og da isen senere smeltede, blev jernblokken blot aflejret blandt de andre stenblokke. Meteoritten var ukendt af de lokale grønlændere, og da han fortalte om fundet, var de yderst skeptiske.

Fotos: Vagn. F. Buchwald, Geologisk Museum.

*Meteoritten Agpalilik i stenhuggeriet i Gråsten umiddelbart efter den er blevet skåret igennem.*

I 1965 blev Agpalilik udgravet og halet ned mod kysten på en stålslæde, der gled hen over et skinnelegeme af tømmerstokke. Alt skete med håndkraft, da brug af maskiner var udelukket i det vanskelige terræn. Fra kysten skulle meteoritten ombord på et amerikansk landgangsfartøj. Efter landgangsfartøjet blev ødelagt af en storm i 1966, lykkedes det i august 1967 at bringe den 3700 tons store coaster M/S *Edith Nielsen* ind i den isfyldte bugt, hvor meteoritten lå. I en hektisk kampagne, hvor man arbejdede døgnet rundt i 60 timer, lykkedes det at få meteoritslæden trukket ombord i det af amerikanerne lånte landgangsfartøj og derfra ombord på *Edith Nielsen*. I september kunne Agpalilik under betydelig opmærksomhed losses i København, hvor en vejning på en af havnens justerede vægte viste 20.140 kg meteorit og 1000 kg slæde og wirer.

I 1970 blev Agpalilik transporteret til Gråsten, hvor man på et stenhuggeri skar en fjerdedel af meteoritten af. Der frigjordes en skive på 560 kg til udstillingen. Hvert af de to snit varede 200 timer med en snorsav.

Polering og ætsning med fortyndet salpetersyre har frembragt den karakteristiske Widmanstätten-struktur, 'Himlens eget varemærke'. Strukturen er umulig at eftergøre, da det kan beregnes, at den må være dannet under langsom afkøling fra høj temperatur, med ca. 1° per 10.000 år. Agpalilik var ved 1000°C en enkelt kæmpe-krystal på 2 m, den største eenkrystal af metal, der kendes. På snitfladerne ses parallelle inklusioner af det umagnetiske jernsulfid troilit, FeS, der markerer op-ned retningen på den lille asteroide, hvoraf Agpalilik og de andfre meteoritter ved Cape York oprindelig var en del. Cape York meteoritbygen er med sin udstrækning på over 100 km og sine indtil nu kendte tolv større stykker, i alt 58 tons, verdens største.

*Meteoritten Agpalilik udgraves 20 august 1965.*

*Meteoritten Agpalilik transporteres ned til kysten på sin præfabrikerede stålslæde 23 august 1965.*

*Meteoritten Agpalilik på sin stålslæde klar til at blive afskibet til København 27 august 1965.*

*Kutteren Sagfioq. Ekspeditionen måtte sprænge sig vej ud genem isen med dynamit 28 august 1965.*

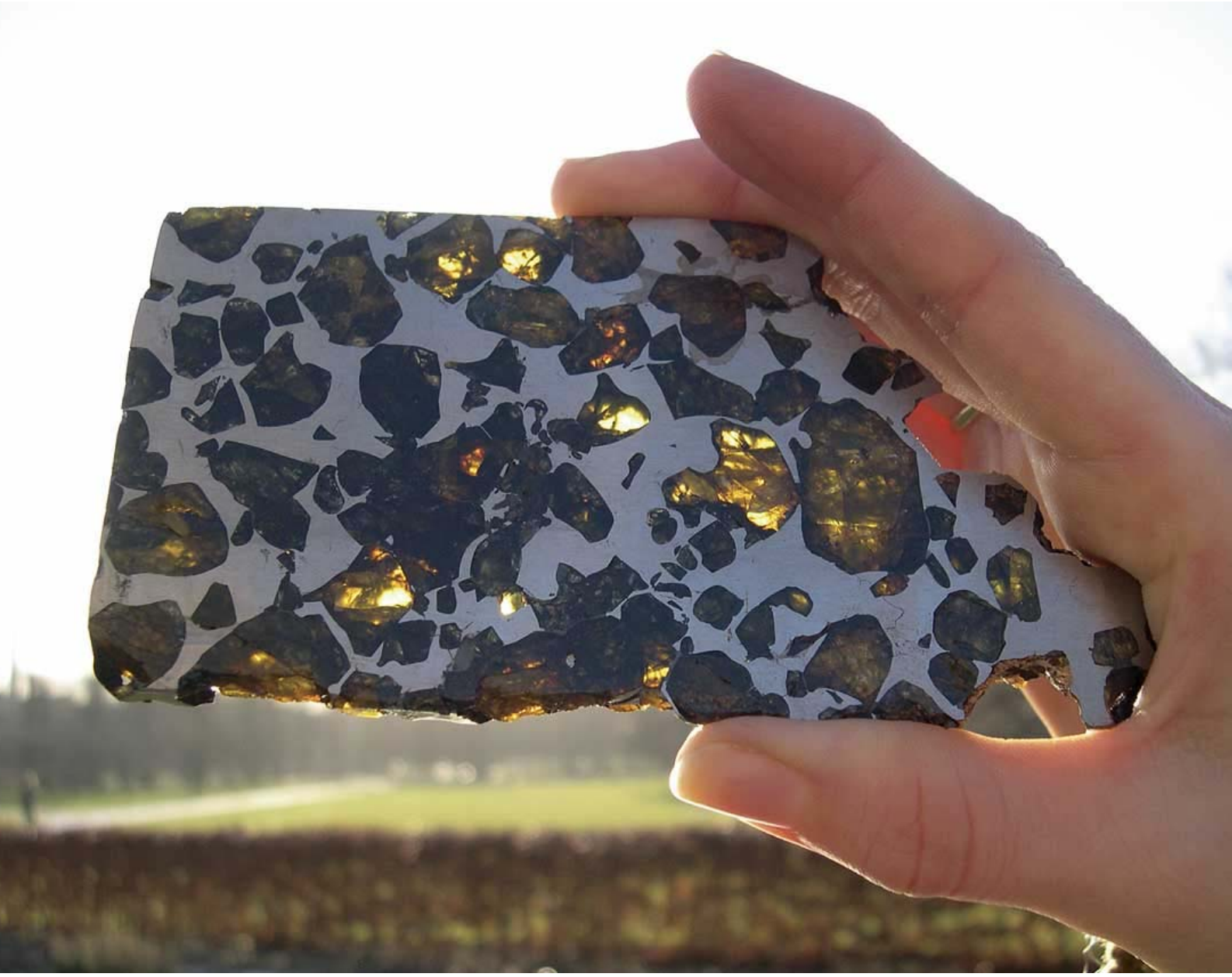


Foto: Henning Haack, Geologisk Museum.

*Poleret skive af pallasitten Esquel, der blev fundet ei Argentina i 1951. Meteoritten består af ravgule krystaller af olivin, blandet med metal fra asteroidens kerne.*

## Pallasitter

Pallasitter er nogle af de lettest genkendelige og smukkeste meteoritter. De består af nogenlunde lige del metal og silikat – det sidste i form af mineralet olivin. Hvis man holder en tynd skive pallasit op mod lyset, vil man kunne se lyset skinne gennem de cm-store olivinkrystaller.

Blandingen af metal og olivin giver os en god ide om, hvor disse pallasitter kommer fra. Olivin er et almindeligt silikatmineral, som formentlig dominerede den nedre kappe i asteroider, ligesom metal dominerede kernen. Det er derfor svært at forestille sig andet, end at pallasitterne kommer fra grænselaget mellem kerne og kappe i en differentieret asteroide.

Det er ikke alle pallasitter, der kommer fra den samme asteroide. De store olivinkrystaller i pallasitterne indeholder ilt og ved at måle forholdet mellem de tre stabile iltisotoper $^{16}O$, $^{17}O$ og $^{18}O$ kan vi undersøge, om to meteoritter kan komme fra samme asteroide. Hvis en asteroide smeltes op, vil dens indre blive blandet grundigt, og ilt-isotopsammensætning vil ikke længere variere tilfældigt indenfor den samme asteroide, som det er tilfældet i nogle kondritter. Analyser af iltisotopforholdene viser, at pallasitterne kommer fra mindst tre forskellige asteroider.

## Pallasitten Krasnojarsk

Pallasitter har også haft deres rolle i historien. Den første person der påviste, at meteoritter kommer udefra, var Ernst Friedrich Chladni, der i 1794 udgav en artikel med titlen: "Über den Ursprung der von Pallas Gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen, und Über Einige Damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen." (Om oprindelsen af de af Pallas fundne og andre tilsvarende jernmasser og om nogle dermed forbundne naturfænomener).

Det den omtalte Pallas havde fundet, var netop en meteorit af den type, der senere blev opkaldt efter ham – pallasitten Krasnojarsk. Et af de stykker han havde studeret, endte i København som den først registrerede meteorit i museets samling. Den kan beses i udstillingen.

Før Chladnis banebrydende værk troede man, at meteoritter var sten der enten var slynget ud af vulkaner eller hvirvlet op i tordenvejr. At nogle folk ude på landet påstod, at byger af sten kunne falde fra en klar himmel kunne de lærde naturligvis ikke tro på. Først da Chladni rejste Europa tynd og studerede beretninger om meteoritnedfald, og også studerede selve stenene, blev det klart at meteoritter var sten fra det ydre rum. En ny videnskab var dermed født.

*Foto: Geert Møller Brovad. Zoologisk Museum.*

*Pallasitten Krasnojarsk på ca. 700 kg blev fundet i Rusland i 1749 og blev studeret af den tyske forsker Peter Pallas i 1772, mens han var ansat ved Videnskabernes Akademi i Skt. Petersborg. Et stykke af Krasnojarsk blev erhvervet af "Universitetets Nye Natural Theater" omkring år 1800, hvorfra det er indgået i Geologisk Museums samlinger.*

*Område i Antarktis hvor sten og meteoritter er blevet koncentreret. Hvert flag markerer en meteorit.*
*Foto: Henning Haack, Geologisk Museum.*





*Billederne viser friskfundne meteoritter på isen i Antarktis.*
*Fotos: ANSMET (Antarctic Search for Meteorites).*

*Fotos: ANSMET (Antarctic Search for Meteorites).*

## Meteoritjagt

Der ligger mange meteoritter i den danske natur, som bare venter på at blive fundet. De fire meteoritter der er fundet i den sydlige del af Danmark, er enten fundet fordi nogen har set dem falde (Mern og Aarhus) eller fordi de er dukket op, når man har gravet i jorden (Jerslev og Feldsted). Så selvom vi regner med, at der falder ca. tre meteoritter om året i Danmark, så er der ikke mange chancer for at finde nogen af dem. Vi håber dog stadig, at du vil se godt efter når du færdes i naturen – hvis vi alle gjorde det, ville vi kunne finde mange meteoritter.

## Hvor kan man finde meteoritter?

Meteoritter falder næsten jævnt fordelt over hele kloden – men det er ikke alle steder, det er lige let at finde dem. De meteoritter der falder i oceanerne, ser vi næppe igen, og de der falder i områder med tæt vegetation, har heller ikke mange chancer for at blive fundet. Det hænder, at der falder meteoritter i tæt befolkede områder, og der kan man nok regne med, at stort set alt materiale vil blive fundet. Et eksempel på det sidste er Park Forest meteoritbygen, der ramte en forstad til Chicago den 27. marts 2003. I dagene efter nedfaldet blev der fundet meteoritter på parkeringspladser, gader og stræder. Der var også adskillige fragmenter, der var gået gennem tage og vinduer. Heldigvis blev ingen dyr eller mennesker ramt.

Det allerbedste sted at finde meteoritter er imidlertid så langt fra civilisationen, som man kan komme – nemlig Antarktis. Her er der ingen vegetation til at skjule meteoritterne, og naturen hjælper os ligefrem med at samle meteoritterne sammen.

*Findesteder for meteoritter i Antarktis.*
*Illustration: Annabeth Andersen, GEUS.*

## Meteoritjagt på Antarktis

Antarktis har vist sig at være det bedste sted på kloden at finde meteoritter. I 1974 fandt en gruppe japanske glaciologer ved en tilfældighed en håndfuld meteoritter på isen i Antarktis. Stor var overraskelsen, da man fik analyseret dem og fandt ud af, at de kom fra fem forskellige meteoritfald. Det var altså ikke en enkelt byge af meteoritfragmenter, man var stødt på. Der var ingen anden forklaring, end at isen på en eller anden måde havde samlet meteoritterne sammen.

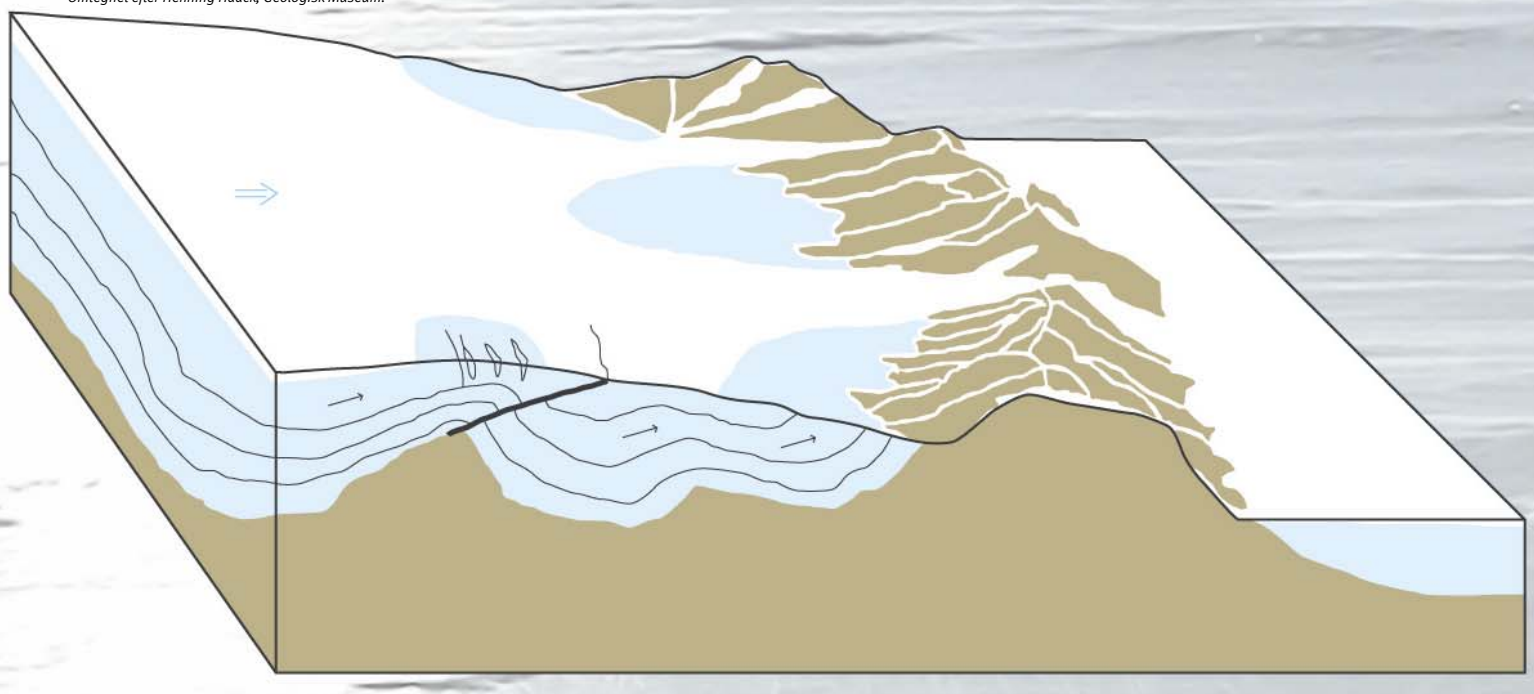
Siden den første opdagelse er der fundet omkring 30.000 meteoritter i Antarktis. Hver sæson sendes der en amerikansk ekspedition afsted med frivillige meteoritforskere for at finde meteoritter i Antarktis. De bringer typisk mellem 500 og 1000 meteoritter tilbage, efter 5 til 6 ugers feltarbejde på isen.

Der er flere grunde til, at der kan findes mange meteoritter på isen i Antarktis. Først og fremmest er Antarktis et meget stort kontinent. Der falder derfor mange meteoritter på Antarktis. Når meteoritterne er faldet, bliver de dækket med sne og glider langsomt ud mod kysterne. På sin vej mod kysten skal meget af isen igennem De Transantarktiske Bjerge. Det meste af isen glider ind gennem bjergkæden i nogle af Jordens største gletschere, men noget af isen strander på forsiden af bjergene. En kold og knasende tør, såkaldt katabatisk vind fra det centrale Antarktis, sørger så for at feje den strandede is ren for sne, så isen blotlægges.

Isen har en flot blå farve, og man kalder derfor isfelterne for blåisområder. Fordi luften er så tør, og vinden blæser uophørligt, fordamper isen også. Selvom det aldrig er tøvejr, så forsvinder der ca. 20 cm is om året. Da meteoritterne ikke fordamper, ligger de tilbage på overfladen af isen, efterhånden som den fordamper.

En anden stor fordel ved at søge efter meteoritter på Antarktis er, at det er meget let at få øje på en sort meteorit på en blank isoverflade. Små meteoritter kan let ses på 50–100 m afstand, og det er derfor muligt at afsøge meget store områder fra en snescooter. Endelig er Antarktis også et godt sted at opbevare meteoritter – dem der findes i dag, har typisk ligget i isen i 100.000 år – og ligner stadig friskfaldne meteoritter.

*Illustration: Annabeth Andersen, GEUS.*
*Omtegnet efter Henning Haack, Geologisk Museum.*



*Tværsnit af De Transantarktiske Bjerge. Isen kommer flydende fra venstre og blokeres af bjergene. Den is der strander på forsiden af bjergene fejes ren for sne af vinden og vil så langsomt fordampe, så den indhold af meteoritter blotlægges.*

*Findesteder for meteoritter i Grønland. Meteorijagt i blåisfeltet i Nordøstgrønland resulterede desværre ikke i fund.*

*Meteoriteftersøgning i Grønland.*

*Telte og slæder i Antarktis.*
*Fotos: Henning Haack, Geologisk Museum.*

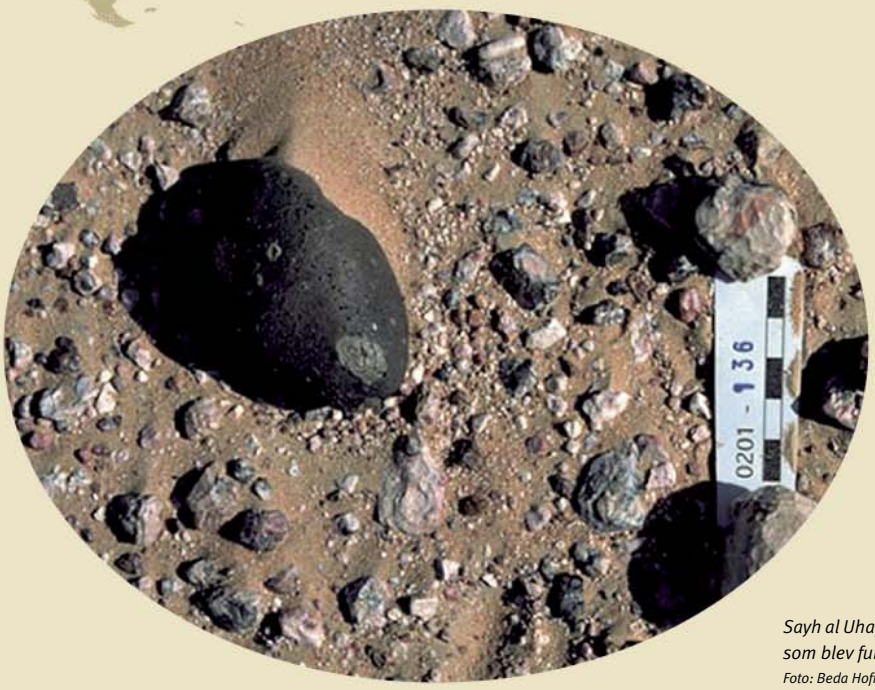
*Findesteder for meteoritter i Thule-området-Cape York meteorit-bygen.*
*Illustrationer: Annabeth Andersen, GEUS. Omtegnet efter Henning Haack, Geologisk Museum.*

## Meteoritter på Grønlands Indlandsis?

Når der findes så mange meteoritter i Antarktis, kunne man så forestille sig, at der også er meteoritkoncentrationer på klodens andet isskjold – Indlandsisen? Ligesom i Antarktis har vi i samarbejde med amerikanske forskere og forskere fra DTU ved hjælp af satellitbilleder og flyfotos fundet områder med blåis i 2000 til 2500 meters højde i det nordøstligste Grønland. Områderne har betydelig lighed med de områder i Antarktis, hvor der er fundet meteoritter. En canadisk pilot fandt i slutningen af 80'erne en meteorit på Indlandsisen i Nordgrønland. Han smuglede meteoritten ud af Grønland, men siden er den blevet indleveret til Universitetet i Bern i Schweiz.

I august 2003 afsøgte vi sammen med amerikanske forskere igennem tre uger mange af de mest lovende blåisfelter, men fandt desværre ikke en eneste meteorit. Forklaringen er tilsyneladende, at selvom det også er meget koldt og blæsende på Indlandsisen i Nordøstgrønland, så er der sommerdage, hvor temperaturen sniger sig op over frysepunktet. Under de forhold synker meteoritterne ned i isen, hvor de bliver skjult. Samtidig nedbrydes meteoritterne også hurtigere, når vejret veksler mellem tø og frost.

*Eksempler på findesteder for meteoritter i ørkenområder.*
*Illustration: Grafisk, GEUS.*




*Sayh al Uhaynir 169 er en månemeteorit, som blev fundet i Oman i 2002.*
*Foto: Beda Hofmann.*

## Meteoritjagt i ørkenområder

Det er ikke kun i de kolde hvide ørkener, såsom på blåisen i Antarktis, man kan finde meteoritter. Varme ørkener har også vist sig at være gode steder at søge efter meteoritter. Ligesom i Antarktis er der ingen vegetation til at skjule meteoritterne, og samtidig kan de overleve længe i det tørre klima. Det evigt bevægelige sand i ørkenområderne kan også spille en rolle. Tilsyneladende kan der ske det, at meteoritterne dækkes med fygesand efter de er faldet. De kan så ligge i årtusinder, godt beskyttet under et lag sand. Hvis sandet begynder at fyge væk, vil meteoritter og andre større sten ligge tilbage. Det er netop sådanne områder, der afsøges af meteoritjægere med et godt øje for sten, der skiller sig ud fra omgivelserne. Mange meteoritter findes i områder med lyse bjergarter, hvor de mørkfarvede meteoritter skiller sig ud.

I 1986 til 1987 opdagede et tysk hold oliegeologer omkring 65 meteoritter i Libyen, og i 1989 blev der fundet omkring 100 meteoritter i Algeriet. I dag findes der årligt flere tusinde meteoritter i Sahara, ikke mindst i Marokko og Oman, men også andre ørkenområder bidrager. I Australien begyndte systematiske eftersøgninger i 1971, og siden er der fundet hundredvis af meteoritter. I Atacama Ørkenen i Chile er der siden 1983 fundet snesevis af meteoritter, og ved hjælp af en kraftig metaldetektor er der fundet meteoritter helt ned til 1,7 m under terrænoverfladen. Ørkenområder i USA har været genstand for meteoritjagt i de sidste årtier.

Mange meteoritter bliver fundet af private folk og solgt til museer og planetarier. Men i de senere år er der også etableret en række private meteoritsamlinger.

**Afsender:**
Schultz Portoservice
Postboks 9490
9490 Pandrup

Ændring vedr. Abonnement
ring venligst

Returneres ved varig adresseændring
**Magasinpost**

POST B
PP DANMARK

ID-nr.

GEOCENTER KØBENHAVN

**GEOCENTER KØBENHAVN**

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) samt Geologisk Institut, Geografisk Institut og Geologisk Museum – alle tre en del af Københavns Universitet. Geocenter København er et center for geovidenskabelig forskning, undervisning og rådgivning på højt internationalt niveau.

**UDGIVER**

Geocenter København

# VIL DU VIDE MERE ?

*Hvis du vil vide mere om emnet kan du besøge Geologisk Museums nye permanente udstilling:*

*Solsystemet – Fra altings oprindelse til livets opståen.*

*Her vil du kunne se masser af meteoritter, bl.a. fra Månen og Mars. Læs mere på www.geologiskmuseum.dk*

**REDAKTION**

Geoviden - Geologi og Geografi er redigeret af geolog Ole Bennike (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med redaktionsgrupper på institutionerne.
Geoviden - Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Finn Preben Johansen, tlf.: 38 14 29 31, e-mail: fpj@geus.dk og på www.geocenter.dk hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet, eller hos Geografforlaget, tlf.: 63 44 16 83, e-mail: go@geografforlaget.dk

**ISSN 1604-6935** (papir)
**ISSN 1604-8172** (elektronisk)

Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.
Tryk: Schultz Grafisk A/S.
Forsidebillede: Dele af den planetariske tåge Helix.
Copyright: NASA/ESA.
Reprografisk arbejde: Benny Schark, GEUS.
Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.
Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

**DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE (GEUS)**
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 38 14 20 00
E-mail: geus@geus.dk

GEUS

**GEOLOGISK INSTITUT**
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 24 00
E-mail: info@geol.ku.dk

**GEOGRAFISK INSTITUT**
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: info@geogr.ku.dk

**GEOLOGISK MUSEUM**
Øster Voldgade 5-7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: rcp@snm.ku.dk