

Liv fra Mars?

Anja C. Andersen og Morten Bo Madsen, Københavns universitet

En meteorit, der stammer fra Mars har leveret indicier – men ikke endeligt bevis – for fossilt liv fra Mars.

Indicierne: Spor af liv?

Det er en vidtfavnende gruppe af forskere fra fem forskellige institutter, ledet af geolog David McKay fra NASA's Johnson Space Center i Houston, Texas, der har gjort følgende fund i en meteorit (ALH-84001), der stammer fra overfladen af Mars:

1. Karbonater og kulbrinter (PAH'er)
2. Yderligere to forskellige mineraler (Magnetit og Pyrrhotit), og
3. Bakteriellignende strukturer.

Forfatterne er nået frem til, at den simpleste forklaring, der samtidig forklarer alle de tilstedeværende fund, er tidlig ("forhistorisk") biologisk aktivitet på den røde planet.

I denne artikel gennemgår vi de tre fund og nogle få af de reaktioner der har været på opdagelserne.

Det er værd at pointere, at gruppen ikke påstår, at de har fundet liv på Mars. De siger heller ikke at de har fundet det endelige bevis for, at der engang har været liv på Mars. De siger blot, at der er meget, der tyder på, at der *engang* har været liv på Mars. Selv denne meget forsigtige konklusion er blevet mødt med dyb skepsis af mange forskere, mens andre tilsyneladende ikke er det mindste overraskede; de har hele tiden "vidst" at der *måtte* være/have været liv andre steder end på Jorden. Selvom alle er enige om, at NASA-gruppen har gjort et godt og grundigt stykke videnskabeligt arbejde, så er der altså en del uenighed om gruppens endelige konklusion. Nogle finder det usandsynligt at det, der er fundet er rester af biologisk aktivitet og derfor bør yderligere undersøgelser foretages. Alle erkender imidlertid, at *hvis* denne kontroversielle fortolkning af fundene er korrekt, er disse fund yderst betydningsfulde.

Hvis det viser sig, at liv engang opstod på Mars uafhængigt af livet på Jorden, tyder det på, at liv opstår og slår rod, hvor der blot er den mindste mulighed for det. Så vidt man ved har klimaet på Mars engang været sammenlignelig med klimaet på Jorden. Meget tyder på, at da livet opstod på Jorden (senest) for ca. treenhalf milliarder år siden, var de kemiske og fysiske betingelser næsten de samme på Mars som på Jorden. Det er Mars' lille masse (kun en tiendedel af Jordens), der er skyld i, at Mars ikke har kunnet holde på varmen og ikke har kunnet fastholde en tæt atmosfære.

Det er henfald af radioaktive grundstoffer inde i Jorden, der er årsagen til at Jorden har en flydende kerne og

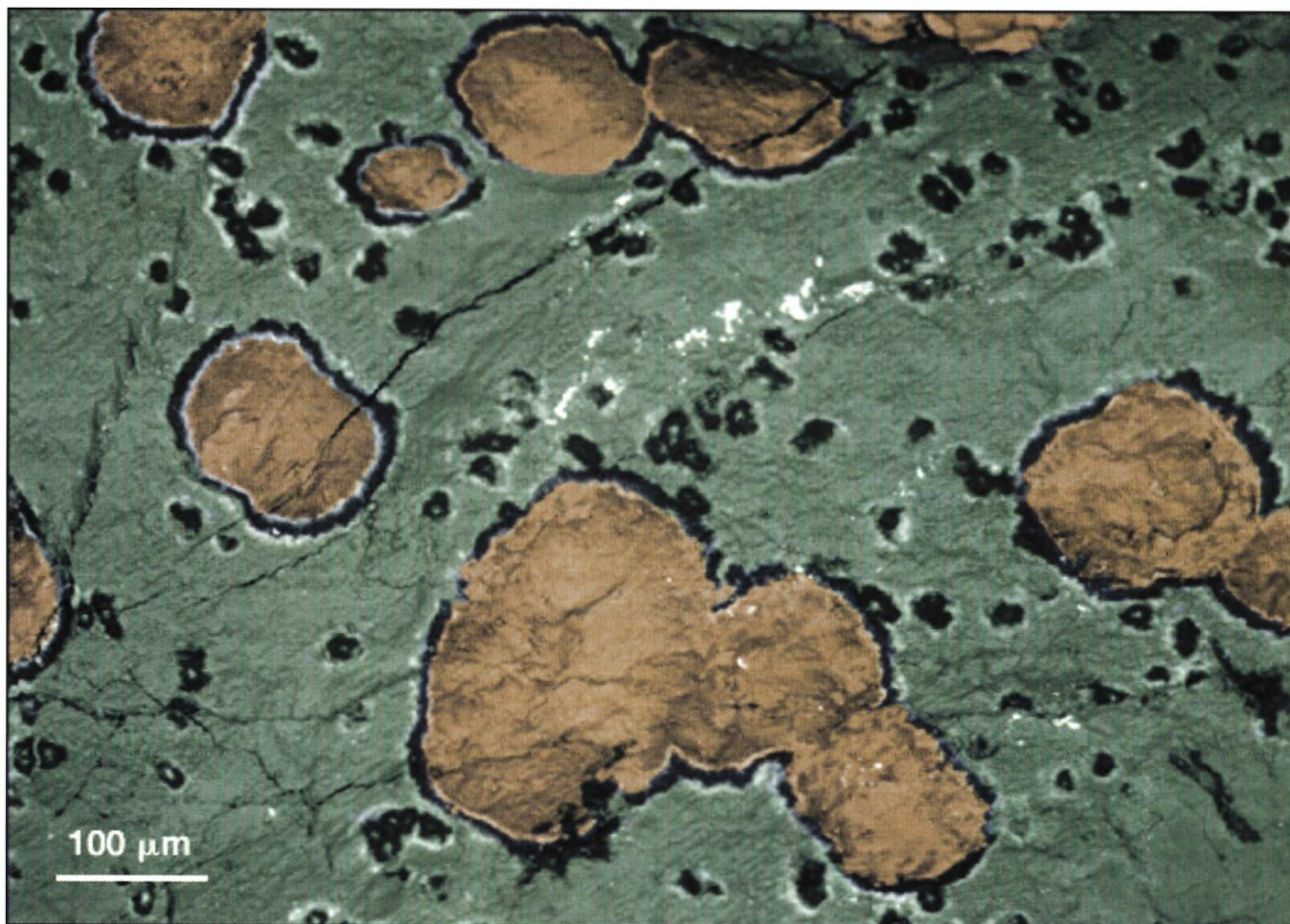
at vi på Jorden har aktive vulkaner. Grundet Mars' mindre masse har mængden af radioaktive grundstoffer ikke været stor nok til at holde kernen flydende i en længere periode og meget tyder på, at Mars ikke har været stor nok til at kunne opretholde vulkansk aktivitet helt til nu.

For 16 millioner år siden blev Mars ramt af en meteorit, der var så stor, at stykker af overfladeklipper blev slynget ud i rummet. Efter således at have tumlet rundt i rummet i ca. 16 millioner år, er et af stykkerne landet på Antarktis for 13.000 år siden. I 1984 blev dette stykke af Mars (på 1,93 kg) fundet af en ekspedition, der netop var ved Allan Hills på Antarktis for at samle meteoritter (se Anders Meiboms artikel om meteorit-ekspeditionerne til Antarktis i dette nummer af Kvant). ALH-84001 er mineralogisk så forskellig fra de andre Mars-meteoritter, at den ikke kan klassificeres i een af de eksisterende grupper (SNC = shergottitter, nakhlitter og Chassigny). Desuden er den væsentlig ældre end resten af Mars-meteoritterne. Derfor blev ALH-84001 i første omgang fejlklassificeret som en stenmeteorit fra asteroidebæltet mellem Mars og Jupiter. Først i 1994 opdagede man, at det måtte være en Mars-meteorit. Se i øvrigt box 1 med en kronologi for ALH-84001.

Siden begyndelsen af 1994 har man lidt efter lidt fået efterforsket ALH-84001's livshistorie. Aldersbestemmelser ved måling af radioaktive isotoper (Rb/Sr) har afsløret, at ALH-84001 størknede fra et magma for 4,5 milliarder år siden. Dette er meteorittens såkaldte krystallisationsalder. På dette tidspunkt størknede de mineraler, der indeholder grundstofferne rubidium og strontium. Denne størkning fandt sted ved en temperatur højere end 1000 °C, sandsynligvis i de ydre dele af Mars' skorpe, mens en stor del af planeten stadigvæk var (tykt-)flydende.

Størkningen af ALH-84001 fandt altså sted kun ca. 100 millioner år efter at planeterne blev dannet. Senere i sin historie har ALH-84001 været udsat for mindst to chok, måske som følge af meteorit-nedslag; det første for ca. 4,0 milliarder år siden. Dette chok fik klippen til at slå revner. Det er i disse revner man nu har fundet de karbonater, der viser at flydende vand har strømmet gennem stenen for ca. 3,6 milliarder år siden. Meget senere forårsagede et andet meteorit-nedslag, at ALH-84001 blev slynget ud i rummet og fri af Mars.

Hvorfor tror man, at ALH-84001 kommer fra Mars? Svaret på dette spørgsmål er en længere historie, der er fortalt af Lise Vistisen andetsteds i dette nummer af KVANT. Ultrakort drejer det sig om en række karakteristika, hvorved disse meteoritter adskiller sig fra alle andre meteoritter, nemlig deres krystallisationsalder, iltisotopforhold, grundstofsammensætning og endelig fundet af inklusioner af gas i enkelte af disse meteoritter.



Figur 1. Et backscatter electron (BSE) billede i falske farver af det indre af en revne i ALH-84001, som viser fordelingen af karbonatstrukturene. Orthopyroxen er grøn og karbonataflejringerne er orange. Omkring magnesiumkarbonataflejringerne ses en sort kant bestående af magnesit samt en hvid jernrig aflejring. Den lille målestok på billedet er 0.1 mm.

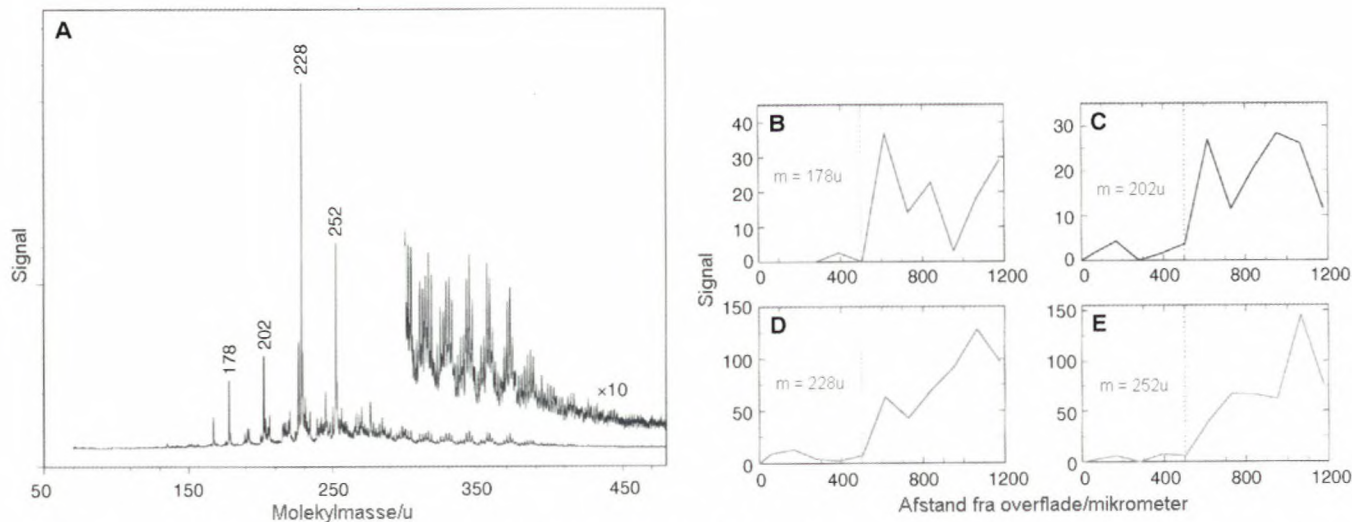
Karbonater og kulbrinter

I ALH-84001 har man fundet cirkulære aflejringer af karbonater med en diameter på 50 - 250 mikrometer, Figur 1. Disse karbonataflejringer kan minde om det, der dannes i et ferskvandsbassin som følge af mikrobiel aktivitet. I de karbonataflejringer, der er fundet i meteoritten har man observeret, at aflejringerne har manganholdige kerner og koncentriske ringe af dolomit (MgCO_3), ankerit ($(\text{Fe}, \text{Mg})\text{CO}_3$), jernkarbonat (siderit, FeCO_3) og områder med relativ høj koncentration af jernsulfider. Disse strukturer tyder på, at de kemiske omgivelser varierede dengang karbonataflejringerne blev dannet, måske som følge af bakteriel aktivitet.

Harry McSween, som er en verdensautoritet på Mars-meteoritter, har for nylig bidraget til en artikel, hvori man bl.a. på basis af karbonaternes morfologi og sammensætning konkluderer at disse, såfremt de skyldes simple kemiske processer, er dannet ved temperaturer, der er betydeligt højere end de temperaturer, hvorunder biologisk aktivitet kan forekomme. Harry McSween har efter offentliggørelse af de her omtalte fund udtalt, at såfremt biologi har været involveret falder grundlaget for konklusionen om højtemperaturdannelse af karbonaterne til jorden. "Med biologi er alt tænkeligt" siger McSween.

Det var meget detaljerede undersøgelser af ALH-84001 på Stanford University, der sidste år førte til, at man kunne afsløre, at ALH-84001 har et relativt højt indhold af de kulbrinter, der kaldes polycykliske aromatiske kulbrinter (PAH'er), på karbonaterne i de brudflader, der fandtes inde i meteoritten.

PAH'er er en fælles betegnelse for en gruppe af umættede kulbrinter, hvor kulstofatomerne danner en plan ringstruktur med seks kulstofatomer i hver ring. En enkelt ring omgivet af 6 brintatomer kaldes benzen. Flere ringe kan sætte sig sammen og danne større, mere komplekse molekyler. Det NASA-gruppen har fundet i ALH-84001 er sådanne mere komplekse PAH'er, som gruppen mener kan være spor af liv. Her er det værd at nævne, at man også finder PAH'er i det interplanetare støv, i det interstellare støv, på overfladen af grill-bøffer og i udstødningen fra diesel-motorer. Det nye er, at de PAH'er der er fundet i ALH-84001 har en sådan sammensætning, at der er mulighed for at de er dannet som en naturlig følge af biologisk aktivitet, til forskel fra de PAH'er man f.eks. finder i diesel-udstødning. Et oplagt spørgsmål her er: Hvordan kan forskerne vide, at meteoritten ikke blot er forurennet af jordisk liv, så de fundne resultater f.eks. blot viser, at der var liv på sydpolen for 13.000 år siden? Her



Figur 2. Det gennemsnitlige massespektrum af PAH'er fra det indre af en karbonatrig revne fra ALH-84001. Dette spektrum repræsenterer gennemsnittet af 1280 individuelle spektre fra et område med en størrelse på 750 gange 750 mikrometer afbilledet med en rumlig opløsning på 50 gange 50 mikrometer. Figur B-E viser PAH-signalene for de fire primære PAH'er fra A som funktion af afstanden fra ALH-84001's overflade. Hver graf repræsenterer en afbildning af et snit vinkelret på overfladen, som begynder ved overfladen og fortsætter 1200 mikrometer indad.

har NASA-gruppen været uhyre omhyggelige med deres analyser og de har tjekket alle de tænkelige fejlkilder, de har haft fantasi til at forestille sig. Bl.a. har gruppen sammenlignet koncentrationerne af PAH'er på overfladen af ALH-84001 og inde i meteoritten, se figur 2. Hvis meteoritten var blevet forurenet på Jorden ville man forvente en højere koncentration af PAH'er på overfladen end i meteorittens indre, men faktisk finder de at koncentrationen af PAH'er vokser med dybden under overfladen. Hvis PAH'erne oprindelig hører til i meteoritten ville man netop ikke forvente at finde PAH'er på overfladen. PAH'erne i overfladen ville blive ødelagt eller simpelthen brænde væk under meteorittens fald gennem Jordens atmosfære. Yderligere har forskergruppen sammenlignet ALH-84001 med andre meteoritter, der blev samlet op af samme ekspedition samme sted på Antarktis, og fundet at disse andre meteoritter ikke indeholdt PAH'er, som man ville have forventet, hvis der var tale om jordisk PAH. Gruppen har også foretaget undersøgelser af mulig forurening fra laboratoriet. I det hele taget er der almindelig enighed om, at gruppen har udført nogle meget omhyggelige undersøgelser. Der er altså ingen tvivl om, at man har fundet PAH'er inde i meteoritten. Endvidere tyder alt på at disse PAH'er, ligesom stenen selv, kommer fra Mars. Det man eventuelt kan diskutere er, om tilstedeværelsen af disse PAH'er kan tages som vidnesbyrd for at primitivt liv eksisterede på Mars for 3,6 milliarder år siden.

Yderligere to forskellige mineraler

I karbonataflejringerne er fundet yderligere to mineraler, der kan skyldes biologisk aktivitet. Det drejer sig om magnetit (Fe_3O_4) og pyrrhotit (Fe_{1-X}S ; hvor X er variabel mellem 0 og 1 - oftest mellem 0,11 og 0,13). Undersøgelser af både jordiske bakterier og jordiske sedi-

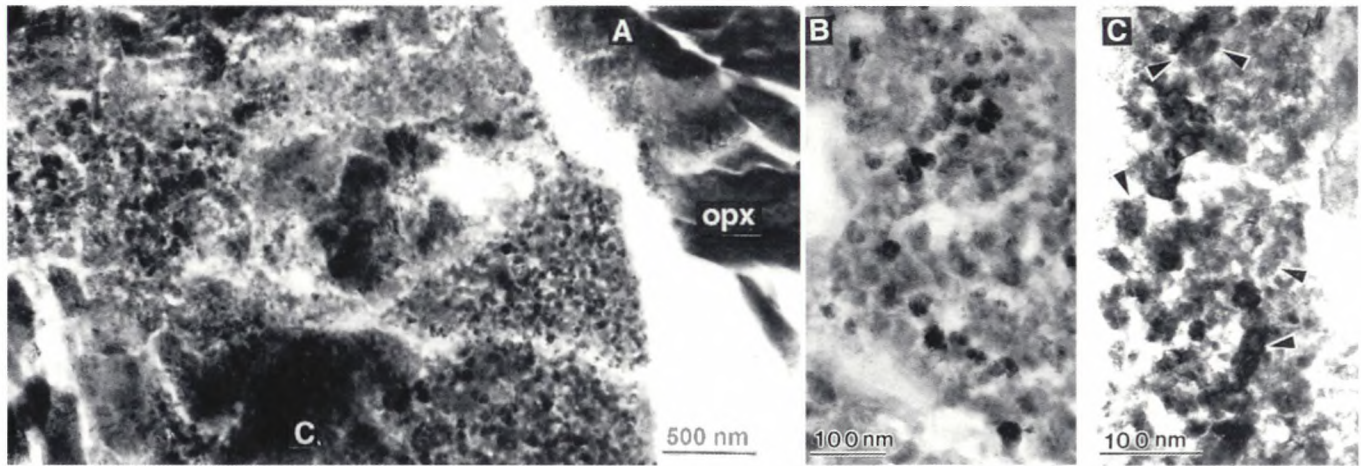
menter og sten har vist, at lige netop disse to mineraler ofte dannes af bakterier som et naturligt biprodukt af stofskiftet.

I ALH-84001 findes disse to mineraler som små partikler ($\sim 10\text{--}40\text{ nm}$) - en størrelse, der er typisk for biogene partikler af disse mineraler. Yderligere findes disse to mineraler meget tæt sammen (få partikel-diameter fra hinanden) i lokaliserede bånd i karbonaterne - et andet træk, der er typisk for jordiske fund af disse mineraler, når de er af biologisk oprindelse, se figur 3. Yderligere har krystallerne af disse to mineraler en facon, der afviger fra hvad man sædvanligvis finder når disse dannes abiotisk. For eksempel danner magnetit ofte små oktaederformede krystaller, hvorimod de krystaller man finder i eller omkring bakterier er afrundede terningformer eller dråbeformede.

Det er meget vanskeligt at finde en simpel ikke-biologisk forklaring på dannelsen af magnetit og pyrrhotit sådan som de findes i karbonaterne i ALH-84001. For eksempel findes mineralerne i områder af karbonaterne, hvor disse ser ud til at være delvist opløste, mens hverken magnetit eller pyrrhotit viser tegn på "ætseskader".

Det betyder, at der kræves en relativt kompliceret "uorganisk" forklaring, mens sådanne strukturer slet ikke er ualmindelige produkter af biologisk aktivitet.

Et stort antal forskellige mikroorganismer udnytter højt oxideret jern som elektronacceptor under stofskiftreaktioner, hvorunder der produceres delvis reducerede jernforbindelser. Også den modsatte proces (oxidation af jern) kan forekomme som en del af det mikrobielle stofskifte. Et eksempel er dannelsen af ferrihydrit (okker), der kan stamme fra mikroorganismer, men også kan finde sted ved fuldstændig uorganiske processer. Under alle omstændigheder dannes de jernholdige mineraler alene som et biprodukt i forbindelse organismens ener-



Figur 3. Transmissionselektronmikroskop (TEM) billede af det indre af en revne fra ALH-84001. Billede A viser i lille forstørrelse den jernholdige kant som indeholder finkornet magnetit og jernsulfider. Billede B er et højopløst billede af et magnetitrigt område fra A som viser fordelingen af individuelle magnetitkrystaller (sorte pletter) inde i en karbonataflejring. Billede C er et højopløst billede af et pyrrhotitrigt område som viser fordelingen af individuelle pyrrhotitpartikler (de to sorte pile ved midten) sammen med magnetit (de andre pile) inde i en karbonataflejring.

giomsætning.

På Jorden er der stor variation i den måde de producerede biomineraler aflejres på. Nogle mikroorganismer aflejrer mineralerne udenfor cellemembranen - og nogle organismer er i stand til at producere både magnetit og pyrrhotit afhængig af hvilke stoffer, der er tilgængelige i omgivelserne, mens andre er mere specifikke. En gruppe af organismer producerer korn af mineralerne magnetit og pyrrhotit og oplagrer disse i kæder, netværk eller tredimensionale matricer indenfor deres egen cellemembran.

Endelig findes en række organismer, der har fundet praktisk anvendelse for disse mineraler. Et eksempel herpå er såkaldte magnetotaktiske bakterier, som indeholder magnetit-krystaller (magnetosomer), der er organiseret sådan at de danner en lang kæde inde i bakterien med det resultat, at de tilsammen danner en stabil magnet. Denne magnet virker som et kompas og sørger for, at bakterien fortrinsvis vil bevæge sig langs de magnetiske feltlinier. På denne måde kan disse bakterier forblive hvor de har optimale betingelser i de relativt iltfattige zoner af de søer, hvori de findes. Sådanne magnetotaktiske bakterier og deres magnetosomer kan bidrage betydeligt til de magnetiske egenskaber af visse jordarter. Om lignende anvendelser af de producerede magnetiske mineraler også kan have udviklet sig på Mars er tvivlsomt, men slet ikke utænkeligt. Det vides ikke med sikkerhed om Mars på et tidligere tidspunkt i sin historie (mens planetens kerne endnu var flydende) har haft et eget magnetfelt ligesom Jorden har det.

Man kan altså, ligesom NASA-gruppen, spørge sig selv, om karbonat-aflejringerne fra Mars har sit indhold af magnetit som følge af biologisk aktivitet og om det, vi ser, dermed er biomineralogiske aflejringer.

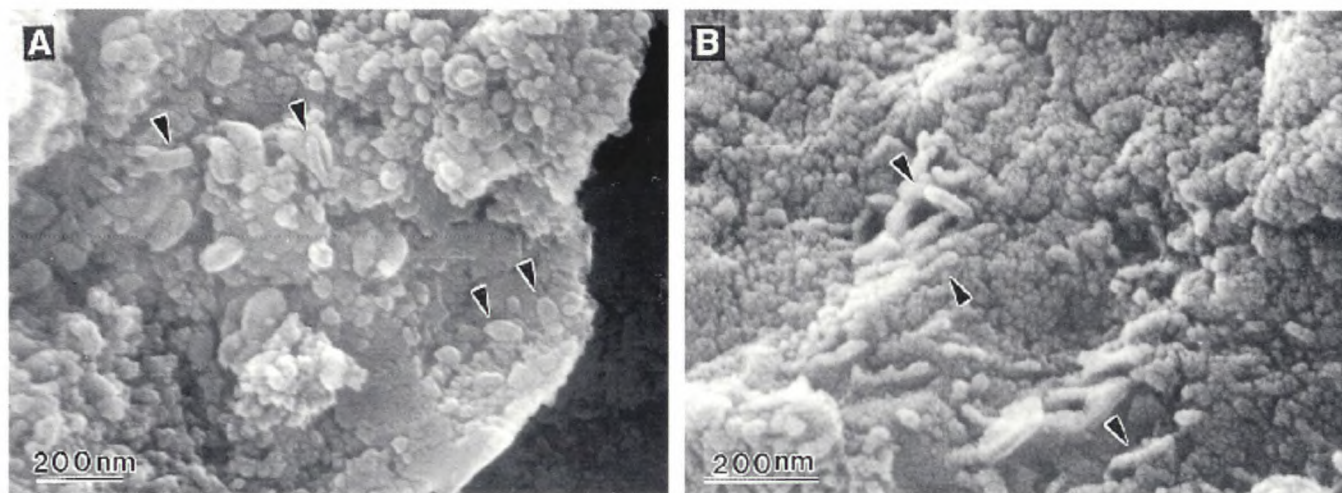
Bakterielignende strukturer.

Det fagligt set måske svageste, men mest spektakulære

indicium for biologisk aktivitet er fundet af bakterielignende strukturer. Netop disse strukturers form (se figur 4) bliver af NASA-gruppen tolket som mikrofosser; fossiler af såkaldte nano-bakterier, og netop på dette punkt er det, at kritikken af NASA-gruppens fortolkninger er stærkest. Mange specialister hævder, at lige netop formen ikke er et godt kriterium for at bestemme, om noget er blevet dannet som følge af rent kemiske forandringer i miljøet, eller som resultatet af biologi.

Forfatterne er da også meget forsigtige med deres konklusioner på netop dette punkt. De understreger selv at sådanne strukturer måske kunne være dannet ved udtørring af lerminerale - eller måske være dannet under præparationen af prøven til SEM-undersøgelserne, men dels er der ikke fundet lerminerale i netop denne meteorit - og dels har forfatterne foretaget en række kontroleksperimenter, hvor de har forsøgt at danne lignende strukturer ved præparation af lignende mineraler i andre meteoritter. Det er ikke lykket i andre meteoritter at se noget lignende.

En anden indvending er at de fundne strukturer kun er en hundrededel til en tusindedel af den størrelse, de almindeligt kendte jordiske *fossile* bakterier har. Denne lille størrelse har naturligvis givet anledning til spekulationer om, hvorvidt der så overhovedet kan være tale om biologi. Det viser sig imidlertid at der faktisk findes enkelte rapporter om meget små jordiske bakterier 3-10 gange større end strukturerne i ALH-84001, men dette kan hænge sammen med at man først for nylig er begyndt at se efter biologiske organismer på denne skala. Den nødvendige teknik til at finde så små strukturer har ikke traditionelt været anvendt i jagten på mikroorganismer. For eksempel har man fundet en art, *Coxiella*, hvor individer kan være så små som 200 x 400 nm, ligesom man i Columbia River basalt har fundet mikroorganismer, hvis metabolisme minder om den man forestiller sig for de påståede nanobak-



Figur 4. Et højopløst skanningelektronmikroskop (SEM) billede som viser runde og aflange strukturer i forbindelse med karbonat-aflejringerne som findes i ALH-84001. Billede **A** viser overfladen af et jernrigt område, de kugleformede strukturer er omkring 100 nm i diameter (pilene). De mindre runde strukturer kan være det magnetit og pyrrhotit som ses i TEM billedet i figur 3. Billede **B** viser det centrale område af en karbonataflejrning (langt fra kanten) hvor man også kan se nanometer store runde og aflange aflejringer.

terier i ALH-84001. Med hensyn til fund af fossiler er det vigtigt at gøre sig klart at sådanne fund alt taget i betragtning er yderst sjældne. Der kræves helt specielle omstændigheder for at en gang levende organismer senere vil kunne findes - og genkendes - som fossiler. Det at fund af fossile nanobakterier er ekstremt sjældne kan skyldes at sådanne bakterier vanskeligt bevares som fossiler, og at de er vanskelige at opdage. Disse nanobakterier er så små, at de ikke opløses som enkeltindivider i lysmikroskop, men kræver anvendelse af elektronmikroskoper, der ikke i almindelighed har været brugt i søgning efter fossiler. Endelig er det ikke svært at forestille sig at mikroorganismerne vil skrumpet lidt under udtørring og de processer, der er led i fossil-dannelsen.

Som vi har set ovenfor vil hver enkelt af NASA-gruppens opdagelser enkeltvis (måske) kunne forklares som følge af inorganiske processer. Men, hvis man skal finde en fælles forklaring for alle de observerede fakta, så er en biologisk oprindelse faktisk den simpleste forklaring. Det, at NASA-gruppens forklaring er simpel, gør den ikke nødvendigvis sand, men det gør den så afgjort værd at undersøge nærmere.

NASA-gruppen er selvfølgelig i konkurrence med en lang række andre (meteorit-)grupper i gang med at finde yderligere indicier for at deres opdagelser kan forklares som følge af biologisk aktivitet. Et afgørende bevis kunne f.eks. være identifikationen af en cellevæg eller en koloni af celler med eksempler på celler, der er i gang med at dele sig.

Den 1. november offentliggjorde nyhedsbureauet AP udtalelser fra medlemmer af meteoritgruppen ved Open University i London, der underbygger de observationer, der er gjort i ALH-84001. Gruppen har gentaget tidligere undersøgelser med bedre prøver af både ALH84001 og en betydeligt yngre marsmeteorit, EETA79001. Deres studier af isotopforhold for kulstof, der er indesluttet

i glasmaterialer i EETA 79001 bekræfter en biologisk oprindelse af det organiske materiale, hvori dette kulstof sidder.

Det at der nu er fundet mulig indicier for fossilt liv på Mars for mindre end 1,3 milliarder år siden, gør at mange nu spekulerer over om der mon stadigvæk vil være mikrobielt liv at finde på den røde planet idag.

Box 1. Kronologi for ALH-84001.

1. $4,6 \times 10^9$ år siden: Dannelsen af Solen og det første kondenserende stof til planeterne begyndte.
2. $4,5 \times 10^9$ år siden: De mineraler, der senere har været anvendt til dateringen af ALH-84001 størknede.
3. $4,0 \times 10^9$ år siden: Den grundklippe, hvoraf ALH-84001 var en del blev udsat for et kraftigt chok, sandsynligvis som følge af et meteorit-nedslag.
4. $3,6 \times 10^9$ år siden: Den grundklippe, hvoraf ALH-84001 var en del, blev gennemstrømmet af vand med opløste salte og karbonater der aflejrerede sig i revnerne i grundklippen.
5. 16×10^6 år siden: ALH-84001 blev slået fri af Mars' overflade og forlod Mars.
6. 13×10^3 år siden: ALH-84001 landede på Antarktis.
7. 12×10^0 år siden: ALH-84001 blev fundet ved Allan Hills, Antarktis og efter foreløbige undersøgelser på Johnson Space Center klassificeret som en diogenit (en "asteroide-meteorit").

8. 3×10^0 år siden: ALH-84001 blev reklassificeret som en Mars-meteorit.
9. $\text{Ca } 3 \times 10^{-1}$ år siden: Resultaterne af $2\frac{1}{2}$ års arbejde publiceres i Science.

Referencer:

- 1) McKay D. S., Gibson E. K. Jr., Thomas-Keppta K. L., Vali H., Romanek C. S., Clemett S. J., Chillier X. D. F., Maechling C. R., Zare R. N., 1996, *Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001*, Science **273**, 924-930.
- 2) V. F. Buchwald, *Meteoritter – nøglen til Jordens fortid*, Gyldendal 1992.
- 3) Science har internetadressen:
<http://www.science.com>.
- 4) NASA's Lunar and Planetary Institute har en god og frem for alt redigeret hjemmeside på adressen:
<http://cass.jsc.nasa.gov/lpi.html>
- 5) NASA's side om ALH84001 findes på adressen:
http://cass.jsc.nasa.gov/pub/lpi/meteorites/mars_meteorite.html



Anja C. Andersen er ph.d. studerende ved Niels Bohr Institutet og interesserer sig for solsystemets dannelse og Mælkevejens kemiske udvikling.



Morten Bo Madsen er lektor ved Niels Bohr Institutets Ørsted laboratorium. Han interesserer sig for jernminerale og solsystemets dannelse og deltager i udforskningen af Mars's overflade.



VAT Vakuumentile AG

Førende på verdensplan indenfor vakuumventiler



Ventiler, reguleringssystemer og bælge til høj- og ultrahøjvakuum

Størrelser fra DN 16 til DN 400
Certificeret ISO 9001

Repræsenteret af:
Balzers-Pfeiffer Scandinavia, tlf 39 68 32 61
Baunegårdsvej 7L, 2820 Gentofte