

Sample Return – at hente en sten på Mars

Af Kjartan Kinch, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Lige siden de første rumsonder landede på Mars i 1970'erne har planetforskere drømt om en såkaldt *Sample Return*-mission. Det vil sige en mission, som skal hente prøver af planetens sten, jord og atmosfære og flyve dem tilbage til Jorden. Med NASAs næste store rover-mission til Mars, som bliver sendt afsted i 2020, vil man tage det første konkrete skridt mod opfyldelsen af denne drøm.

Den fremadskridende udforskning af Solsystemet

Siden de allerførste interplanetariske rumsonder har studiet af Solsystemet fulgt et næsten fast mønster for hver ny planet. Der er ikke tale om en bevidst strategi men i højere grad om et logisk mønster dikteret af de tekniske udfordringer og videnskabelige landvindinger. Denne skabelon for udforskningen af en ny planet kan stilles op sådan her:

flyby → *orbiter* → *lander* → *rover* → *sample return*

For hvert skridt op ad "stigen" er den tekniske udfordring større men den videnskabelige gevinst også tilsvarende større.

Et *flyby* eller en forbiflyvning er en rumsonde som sendes tæt forbi en planet og mens den passerer samler al den information den kan. Trods den begrænsede tid til rådighed har den første forbiflyvning af en ny planet typisk dramatisk ændret opfattelsen af planeten i forhold til hvad man har kunnet lære fra teleskoper på Jorden. Voyager-sonderne var vel den allermest imponerende serie af forbiflyvninger, hvor Voyager 2 passerede både Jupiter, Saturn, Uranus og Neptun på sin vej ud af Solsystemet. Med sonden New Horizons som passerede Pluto i sommeren 2015, kan man sige, at den første rekognoscering af Solsystemet med forbiflyvninger er komplet. Vi har forbifløjet alle planeter (og dermed deres måner) samt naturligvis Pluto og lidt mere end et par håndfulde asteroider og kometer inklusiv ikke mindre end fem forbiflyvninger af Halley's komet ved dens sidste passage i 1986. Der er dog stadig utallige mindre legemer, som ikke har været besøgt og der er da også en række nye flyby-missioner på tegnebrættet.

En *orbiter* eller en satellit eller et kredsløbsmodul er en sonde, der går i kredsløb om planeten og over en lang periode studerer planeten (og dens måner). Merkur, Venus, Mars, Jupiter og Saturn har alle, eller har haft, satellitter i kredsløb, derudover asteroiderne Ceres, Vesta, Eros og Itokawa og med den nys overståede Rosetta-mission også en komet (67P C/G). For de mest velstuderede legemer, Mars og vores egen måne er der tale om en hel serie af kredsløbsmissioner med mange forskellige specialiserede instrumenter og både Mars og Månen er nu kortlagt i meget høj detalje.

En *lander* siger sig selv. Det er en sonde som foretager en blød landing på planeten. En lander leverer naturligvis billeder i langt højere opløsning end en satellit, men tillader derudover også at en lang række metoder tages i anvendelse, som ikke kan anvendes på afstand. Man kan bestemme grundstofsammensætning af overfladen og eventuel atmosfære, man kan måle lokale meteorologiske data som tryk og temperatur

og karakterisere planetens indre struktur gennem for eksempel seismometermålinger. Landinger har været foretaget med forskellig grad af succes på Månen, Mars, Venus, to asteroider (Eros og Itokawa), en komet (Rosetta-sondens kun delvist vellykkede Philae-lander) og endelig som den måske mest imponerende bedrift Huygens-sonden på Saturns måne Titan. Også her kan både Månen og Mars præsentere en lang liste af vellykkede landinger.

En *rover* er en mobil lander. Indtil nu er disse kun anvendt på Månen og på Mars. Rovere mangedobler det videnskabelige udbytte af en landing ved at give mulighed for at foretage detaljerede observationer ikke bare af ét enkelt landingssted men af en lang række stop langs missionens rute. Med en rover kan man for alvor begynde at karakterisere et landskab og udføre egentlig feltgeologi.

Sample Return, eller returnering af prøver, består i at hente prøver af planetens overflade og atmosfære og sende dem hjem igen til Jorden. Endnu har vi ikke haft en sample return mission på en af Solsystemets planeter. Sonderne Stardust og Hayabusa har bragt meget begrænsede mængder af materiale hjem fra henholdsvis halen af en komet og den lille asteroide Itokawa. Den primære erfaring med sample return er dog fra Månen, hvor Apollo-programmet hjembragte ialt 382 kg materiale og dertil skal lægges 326 g hjembragt af de ubemandede sovjetiske Luna-sonder.

På Mars er der i øjeblikket seks aktive satellitter i kredsløb og to aktive rovere på overfladen. Denne sværm af rumsonder og deres forgængere i de sidste to årtier, hvor Mars har været kontinuerligt "beboet" af aktive rummissioner, har medført en løbende eksplosion i viden om Mars og forståelse af planetens klima, geologi og historie. Vi kender nu Mars som en kompleks verden med en stor diversitet i terræn og landskaber og en lang, dynamisk geologisk og klimatologisk historie, der kan følges næsten helt tilbage til Solsystemets dannelse. Vi ved, at der er store mængder is gemt i undergrunden og på polerne, og vi ved, at der i fortiden har været en tættere atmosfære og et fundamentalt anderledes klima, hvor vand faldt som regn eller sne, løb over planetens overflade i utallige floder og samledes i kratersøer og måske endda et ocean på den nordlige halvkugle.

Mars var i sin tidlige historie ikke ulig Jorden og spørgsmålet melder sig med større kraft end nogensinde, om Mars kan tænkes nogensinde at have huset liv i form af primitive mikroorganismer. Med henblik på at besvare dette spørgsmål og en lang række andre uløste gåder er sample return det naturlige næste skridt i udforskningen af Mars.



Figur 1. Mars fotograferet af den indiske Mangalyaan-orbiter. En begyndende støvstorm ses på den nordlige halvkugle øverst til venstre i billedet. (Indian Space Research Organisation).

Hvorfor sample return?

Der er ingen tvivl om, at den tekniske udfordring ved at samle materiale fra Marsoverfladen og sende det til Jorden er betydelig. Også betydeligt større end for den samme manøvre på Månen. Mars er både meget, meget længere væk og har et meget større tyngdefelt end Månen. Begge dele komplicerer udfordringen. Så hvorfor overhovedet kaste sig ud i det? Hvad er den forventede gevinst ved at hente prøver på Mars for at studere dem på Jorden?

Selv om en Marsrover er en sofistikeret robot med sofistikerede instrumenter om bord, er der slet ingen tvivl om, at de instrumenter der er til rådighed i laboratorier på Jorden kan mere. Man vil kunne studere prøver i langt højere rumlig opløsning ved metoder som f.eks. elektronmikroskopi og således opnå en langt mere detaljeret forståelse af en stens indre. Man vil kunne gå skridtet videre fra at bestemme grundstofsammensætning til at opløse disse grundstoffer i isotoper, hvilket man nu kun i meget begrænset grad er i stand til på Mars. Det vil tillade absolut radiometrisk datering. En uhyre vigtig pointe på Mars, hvor overfladens alder ellers kun kan bestemmes ved at tælle meteorkraterer, en vigtig metode, som dog er behæftet med betydelig usikkerhed. Isotopforhold kan også benyttes til andre studier, f.eks. kan forholdet mellem kulstof 12 og 13 i et gammelt sediment afsløre, hvad dette forhold var i atmosfæren dengang sedimentet blev dannet og således bære information om atmosfærens udvikling over tid.

Nok så meget som specifikke metoder, der kan anvendes, ligger gevinsten i den *tid* man vil have til rådighed når en prøve først er hentet hjem til Jorden. Man vil kunne undersøge den grundigt med et helt batteri af metoder, man vil kunne sende den rundt til forskellige laboratorier for uafhængig bekræftelse af resultater, man vil kunne følge op med analysemetoder som man ikke umiddelbart havde troet, der ville være

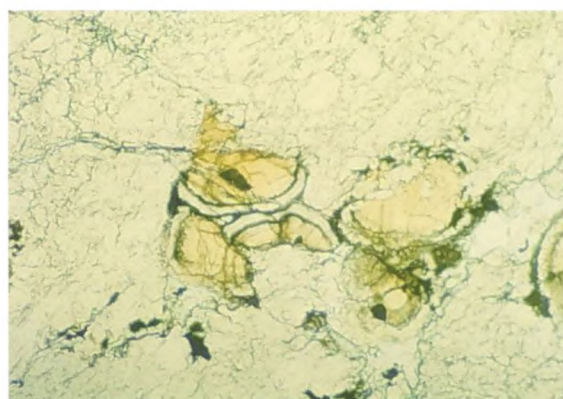
brug for, eller sågar år senere med analysemetoder som endnu ikke var opfundet da missionen blev sendt afsted.

Hvad angår et af de helt centrale spørgsmål, nemlig spørgsmålet om fortidigt liv på Mars, er det faktisk svært at forestille sig, at man kan finde beviser som vil kunne accepteres bredt *uden* at hente prøver hjem til Jorden og studere dem uafhængigt i en række laboratorier, hvor alternative hypoteser kan opstilles og afvises over tid.

Så vidt fordelene i forhold til studier foretaget af en rover på overfladen af Mars. Men hvad med meteoritter? Vi kender nu til over 100 meteoritter som vi med stor sikkerhed *ved* stammer fra Mars. Det er altså sten, som er blevet kastet af Marsoverfladen ved et stort meteornedslag og som siden har ramt Jorden og er fundet som meteoritter. Betydelige dele af vores viden om Mars stammer fra sådanne meteoritter.

Her er de centrale gevinster ved sample return *udvælgelse* og *kontekst*. En prøve som er specifikt udvalgt af en mission til et ekstra-spændende specifikt udvalgt sted på Marsoverfladen, og som kan sættes i kontekst af en bred geologisk forståelse af det sted den stammer fra, er uhyre meget mere værdifuld end en prøve som vi ved stammer fra Mars, men hvor vi ikke aner *hvor* på Mars den kommer fra. For eksempel er en dateret prøve jo oplagt meget mere værd, hvis man ved, hvor den kommer fra og man dermed kan datere et område på Mars. Også når det gælder forskellige potentielle spor af fossilt liv, er kontekst kritisk vigtig. Der vil i nærmest alle tilfælde findes alternative ikke-biologiske hypoteser for dannelsen af en given struktur i en sten, og kun hvis man ved hvor og i hvilken geologisk sammenhæng stenen er fundet, kan man skelne mellem disse forskellige hypoteser.

Endelig, og uafhængig af det videnskabelige rationale, så vil en sample return mission, også teknisk, fungere som en slags forøvelse til en bemandet marsmission. En bemandet mission vil jo oplagt kræve (fraset diverse fantasifulde scenarier) den tekniske formåen til at returnere en rumsonde fra Mars til Jorden.



Figur 2. Billede i høj opløsning af et tyndslibet udsnit af meteoritten ALH84001. Billedet er omkring 0,5 mm bredt. De halvcirkelformede strukturer i midten er aflejringer af mineralerne siderit (jern-karbonat) og magnesit (magnesiumkarbonat) aflejret efter stenens dannelse på et tidspunkt, hvor varmt vand trængte ind i stenen. Der er en stående, endnu uafklaret, videnskabelig kontrovers om mulige spor af mikroorganismer fundet i disse aflejringer. (A. Treiman, Lunar and Planetary Institute).

Mars 2020-missionen

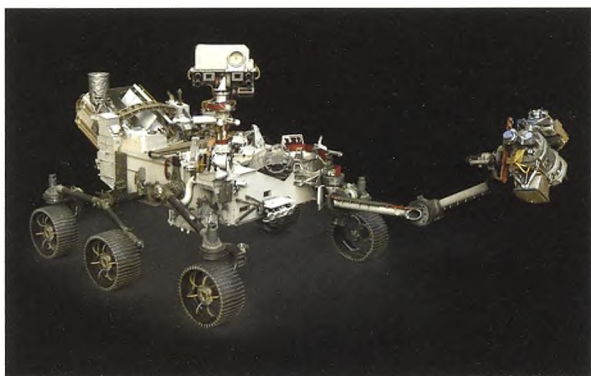
Fordi en sample return mission er så stor en teknisk (og økonomisk) udfordring opererer NASA med at dele udfordringen op i ikke mindre end tre separate missioner. En *caching rover*, en *fetch rover* og *miniraket* samt en *returnerende orbiter*.

En "cache" betyder et lille lager eller depot (man kender måske begrebet geo-caching). Caching-roveren skal kortlægge og udforske landingsstedet, identificere de mest interessante prøver og samle dem i et lille depot. Den næste mission er så en lander, som bærer dels en lille, simpel rover, dels en lille raket. Den simple fetch-rover har som primær opgave at hente lageret af prøver og bringe det tilbage til landeren, hvor prøverne placeres i en lille raket. Den lille raket, som har en total nyttelast på få kilogram, løfter så prøverne ud i kredsløb om Mars, hvor man har rendezvous med den returnerende orbiter. Endelig forlader den returnerende orbiter Mars og vender tilbage til Jorden.

Af de tre missioner er det kun den første, caching roveren, som nu er vedtaget og finansieret. Denne rover er Mars 2020-missionen, som skal opsendes i 2020 og som vil nå Mars i 2021.

Den primære fidus ved således at dele opgaverne ud på flere missioner er, at den første lander kan fokuseres på den videnskabelige udfordring i at udvælge de rette prøver og så minutiøst som muligt karakterisere prøvernes geologiske kontekst. Den senere lander kan så spare meget af den videnskabelige instrumentering og fokusere på den tekniske udfordring i at løfte prøverne ud af Mars' tyngdefelt.

Mars 2020 roveren bliver en stor, sofistikeret rover, bygget på det samme grundlæggende design som roveren *Curiosity*, der landede i 2012, men med et andet sæt instrumenter og selvfølgelig en anden opgave. Roveren har en hel række instrumenter fokuseret på geologisk rekognoscering, og derudover har den et system til at samle 30-40 prøver, hver med en vægt på omkring 30 gram. Selve indsamlingen af prøverne er i sig selv en betydelig teknisk udfordring, ikke mindst fordi perspektivet om mulige spor af fortidigt liv på Mars stiller store krav til sterilisation af bor og prøvehåndteringssystem og forsegling af prøverne efter indsamling.



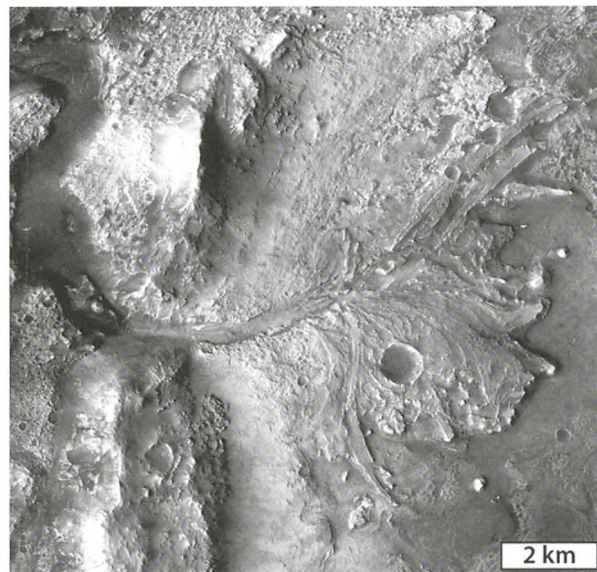
Figur 3. Tegning af Mars 2020-roveren, der er på størrelse med en lille personbil. Danske forskere fra Københavns Universitet og fra DTU bidrager til fire af de i alt syv videnskabelige instrumenter på roveren. (NASA/JPL-CALTECH).

Landingssteder

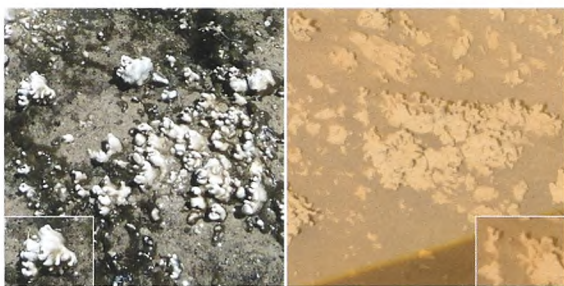
Det er naturligvis centralt for missionens succes, at man udvælger det rette sæt prøver at bringe med tilbage til Jorden. Og udvælgelsen af det rette sæt prøver begynder med udvælgelsen af det rette landingssted på Mars. Missionen vil som sagt kunne hente 30-40 prøver med hjem til Jorden. Denne samling af prøver kan meget vel blive den eneste samling af returnerede prøver fra Mars i mange år, og det er naturligvis uhyre vigtigt at sammensætte et sæt prøver, som kan fortælle os så meget som muligt om Mars pakket i en lille samling på et par kilogram sten og jord.

En helt central generel egenskab ved et muligt landingssted er derfor, at der er en stor geologisk *diversitet* på stedet. Vi leder efter steder som både indeholder *sedimentære* klipper, der bærer information om vandets historie på Mars og om fortidens klima, men som også helst indeholder primær, *magmatisk* klippe (størknet lava) som kan fortælle om planetens indre og som kan bruges til datering. Vi leder efter steder, som indeholder sten fra flere forskellige epoker i planetens historie i umiddelbar nærhed af hinanden. For eksempel steder, hvor store meteornedslag har kastet blokke af ældre geologiske lag hen i nærheden af de yngre lag på overfladen.

De allervigtigste prøver vil dog være sedimentære prøver fordi det er her, man potentielt kan finde spor af fortidigt liv. Præcis hvilket terræn der giver den største chance for gevinst i dette lotteri afhænger dog meget af de antagelser, der gøres om Mars' fortid, og der er stor uenighed om hvilke miljøer, der er bedst egnede. Fortidige varme kilder? Gammel søbund? Deltaaflejringer? Skal man gå efter de steder, hvor overfladen er formet af fortidigt vand, eller er det bedre at sigte på de steder hvor man i spektre fra kredsløb ser mineraler (f.eks. salte og lermineraler), der vidner om tilstedeværelsen af vand?



Figur 4. Delta-aflejring, hvor en udtørret flod munder ud i Jezero-krateret på Mars. Jezero-krateret indeholdt en sø for over 3,5 milliarder år siden. Dele af den gamle søbund er siden blevet dækket af lava, som visse steder løber umiddelbart op til gamle deltaaflejringer. Dette område er en af de ledende kandidater som landingssted for Mars 2020-missionen. (NASA/MSSS).



Figur 5. Venstre: Silikataflejringer fra et system af varme kilder i 4300 meters højde i Atacama ørkenen i Chile. Højre: Lignende struktur fotograferet af roveren Spirit i Gusev-krateret på Mars. Begge billedfelter er omkring 15 cm brede. Sådanne aflejringer er gode til at indkapsle og bevare fossilt liv, og strukturerne fra Chile er fulde af mikrofossiler. På grund af denne analogi overvejes Gusev-krateret seriøst som landingssted for 2020 missionen, selvom der allerede har været en marsmission på stedet.

Hvad angår magmatisk klippe er det en vigtig pointe, at bare én daterbar sten, hvis den stammer fra en overflade, der kan aldersbestemmes vha. kratertælling, vil reducere usikkerheden betydeligt på *alle* aldersbestemmelser af landskaber på Mars, som er foretaget ved kratertællinger. Ideen i kratertællings-metoden er ligetil: Meteoror falder fra himlen og kraterne akkumulerer over tid, så de ældste landskaber vil have den største tæthed af meteorkrater. Når man skal oversætte denne *relative* aldersbestemmelse til en *absolut* alder, er man dog afhængig af en ekstrapolation fra Månen, hvor man jo har absolut radiometrisk daterede prøver. Dermed introduceres en betydelig usikkerhed. Én enkelt prøve af størket lava fra en større lavastrøm, der kan dateres via kratertællinger, vil dermed kunne fungere som ankerpunkt for hele tidsskalaen for Mars' geologiske historie.

Ud over de videnskabelige gevinster, som et muligt landingssted tilbyder, er der naturligvis også en række mere teknisk-ingeniørmæssige faktorer, som skal tages med i betragtning. Hvor koldt er der? Hvor navigérbart er terrænet? Hvor sikkert er det at lande på? Er der mange store sten? Sandklitter? En stor del af presset for at lægge sig fast på ét bestemt landingssted kommer hurtigt fra den tekniske side, hvor de ingeniører, der skal bygge roveren og dens landingsystem naturligvis gerne vil kunne forudsige så præcist som muligt, hvilket miljø, den skal kunne fungere i.

Afrunding

Selvom der er nogle år endnu til landingen på Mars i 2021, er forberedelserne til missionen i fuld gang. Forskere har siden 2014 reduceret en oprindelig liste på 30-40 foreslåede steder til otte forslag, som stadig var i spil ved årsskiftet. I begyndelsen af februar 2017 mødtes omkring 200 forskere til en tre-dages workshop som mandede ud i en reduceret liste på nu kun tre tilbageværende kandidater. Instrumentholdene er langt med design af instrumenter, og i de fleste tilfælde er alle større designmæssige beslutninger fastlagt nu. I løbet af det kommende år vil selve konstruktionen af både roverens krop og de forskellige instrumenter begynde for alvor.

Selvom missionen ledes og finansieres af NASA i USA, er der betydelige internationale bidrag fra lande som Frankrig, Spanien og Norge. Også danske forskere fra både DTU-Space og Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet deltager med ansvar for at levere dele til flere af instrumenterne på roveren.

Der arbejdes altså på fuld kraft mange steder i verden på at gøre drømmen om *Mars Sample Return* til virkelighed, og i hvert fald det første skridt i 2020-2021 har alle muligheder for at lykkes. Hvorvidt der så vil være politisk vilje til at finansiere de opfølgende missioner, der rent faktisk skal hente prøverne hjem til Jorden, ja det vil tiden vise.

Forskerne på missionen håber og tror naturligvis på, at hvis man samler et sæt prøver, som er interessante nok og som bærer på fundamental ny viden om Mars og om Solsystemets og måske livets udvikling, så vil ønsket om at hente prøverne hjem til Jorden være stærkt nok til, at det bliver virkelighed i løbet af det kommende årti.



Kjartan Kinch er fysiker og planetforsker ved Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet. Han arbejder med kalibrering, test og styring af kameraer på flere af NASA's marslandere og er med på holdet bag det primære videnskabelige kamera på Mars-2020-missionen. Han interesserer sig for klimaet gennem Mars' geologiske historie og for støvet i Mars' atmosfære.

PFEIFFER VACUUM

Vacuum pumper



To-trins olielamelpumper
Promotionpris fra DKK 8.000

Tlf. 3166 8708
Lars.Scholte@pfeiffer-vacuum.dk
www.pfeiffer-vacuum.com