

Is på Mars

Janus Larsen, *Geofysisk Afdeling, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik.*

Når videnskaben søger svar på det fundamentale spørgsmål om liv her på jorden er unikt, er der en åbenlys vej at gå: Søgen efter liv uden for jorden. Denne søgen efter ekstraterrestrielt liv blev der kigget skævt til indtil et forskerhold fra NASA i 1996 muligvis fandt spor af biologisk aktivitet i en meteorit fra Mars. De bedste betingelser for liv i vores solsystem finder vi (bortset fra på jorden) på Mars, eller rettere på Mars for nogle milliarder år siden. Tydelige spor af udtørrede flodlejer viser os at klimaet på Mars har tilladt flydende vand på overfladen. Dette er en af de vigtigste betingelser for liv som vi kender det på jorden.

Det viser også at klimaet på Mars har ændret sig drastisk gennem planetens historie, og forståelse af de mekanismer som driver klimaet på Mars, er ikke bare værdifulde for vores indsigt i Mars' historie og mulighederne for at finde liv, men vil også bidrage til forståelse af de klimamekanismer som virker her på Jorden.

På Jorden findes en velbevaret klimahistorie i iskapperne på Grønland og Antarktis og vi kan "læse" denne historie ved at analysere isen fra iskerner boret gennem iskapperne. Klimaet har sat sit tydelige fingeraftryk i isen, og vi forventer at dette også er tilfældet for isen på Mars. Ydermere er akkumulationen¹ langt mindre på Mars end på Jorden og jo tyndere årlagene er, desto flere år er der repræsenteret i en f.eks. 3 km tyk iskappe. På Mars er akkumulationen så lille, at måske mange millioner års klima er "arkiveret" i isen.

Vores håb er derfor, at der i fremtiden bliver mulighed for at undersøge isen på Mars ved, at bore en iskerne og analysere dens indhold. En særdeles vanskelig opgave, men en unik mulighed for at lære om Mars' klimahistorie og om de mekanismer der driver klimaet på Mars og på Jorden.

Lidt om planeten Mars

Mars er cirka halv så stor som Jorden og ligger halvdelen gang så langt væk fra Solen. Det at planeten er mindre betyder, at overfladearealet set i forhold til volumen er væsentligt større, og planeten er derfor afkølet hurtigere end f.eks. Jorden. Dette er en af forklaringerne på at Mars er så meget koldere end jorden. En anden er, at fordi Mars er mindre, er tyngdekraften mindre og atmosfæren har derfor nemmere ved at undslippe til

rummet, hvorved drivhuseffekten formindskes. Netop drivhuseffekten spiller en afgørende rolle i klimasammenhænge, på Mars såvel som på Jorden. Endelig modtager Mars mindre indstråling per overfladeareal fordi den er fjernere fra solen end Jorden.

Atmosfæren på Mars består af 95% kuldioxid (CO_2). Trykket er kun 6 mbar, hvor trykket på Jorden er 1013 mbar. Umiddelbart synes det som så lidt, at det ikke er værd at regne med, men set fra et meteorologisk synspunkt er 6 mbar nok til at have vejrfænomener som ligner dem vi ser på Jorden: Strømninger og bølgedannelse, nedbør, skydannelse mm. Et specielt vejrfænomen på Mars er de utrolig store støvstorme, som er så store at de kan observeres fra Jorden, og flere gange har dækket hele Mars' overflade.

Mars' rotationsakse hælder 25 grader i forhold til Mars-Sol planet, cirka lige så meget som Jorden. Dette gør at der også er årstider på Mars. På vinterpolen modtages ingen indstråling, som nord for polarcirklen på Jorden. Temperaturen falder drastisk, fordi atmosfæren er for tynd til at transportere væsentlige mængder varme og fordi der ingen oceaner er, som kan transportere varme mod polerne. Faktisk falder temperaturen så meget, så den når under frostpunktet² for CO_2 hvilket betyder at atmosfæren begynder at kondensere ud på overfladen af planeten.

Rotationsaksen vipper frem og tilbage sådan, at vinklen mellem rotationsaksen og planet-Sol planet ikke altid er den samme. Dette har stor betydning for den geografiske fordeling af solindstrålingen. Amplituden af udsvinget er for Jorden kun 1 grad, men er alligevel sat i forbindelse med istiderne, som har vist sig periodisk gennem de sidste par millioner år. Dette er kendt som Milankovitch teori. På Mars vipper rotationsaksen med en periode på ca. 100.000 år, men langt mere voldsomt end Jordens. Amplituden af svingningen er 10 grader, og man tror endda, at udsvingene har været endnu større for et par milliarder år siden. Dette har uden tvivl en stor indflydelse på Mars' klima. Når vinklen er stor, modtager polerne meget indstråling og iskapperne vil helt eller delvist forsvinde. Dermed øges atmosfære trykket, som igen øger drivhuseffekten og følgelig stiger temperaturen. En såkaldt positiv feedback mekanisme. Tilsvarende vil en feedback mekanisme opstå når vinklen er lille: Polerne modtager meget lidt indstråling, CO_2 frosten vil overleve året

¹ Isen på Jorden er dannet ved at sne er faldet på overfladen og derefter er blevet trykket sammen, efterhånden som mere sne falder oven på for til sidst, at blive til is. I dette tilfælde er akkumulationen det samme som nedbøren. På Mars er mekanismerne noget anderledes, og faktisk ved man ikke hvilke processer, der er mest betydningsfulde. Vanddamp kan fortættes direkte på overfladen eller falde som partikler af CO_2 , støv og vand, og når CO_2 'en forsvinder, bliver vandet og støvet tilbage.

² Frostpunktet for CO_2 er den temperatur, hvor CO_2 på gasform begynder at fortættes som fast stof. Frostpunktet afhænger af trykket og ved atmosfæretrykket på Mars (6 mbar) er frostpunktet for CO_2 148 K (-115°C).

rundt, atmosfæren vil blive tyndere fordi den nu ligger som CO₂-frost ved polerne, drivhuseffekten forsvinder helt og temperaturen falder.

Store dele af terrænet på den nordlige halvkugle på Mars ligger 5 km lavere end på den sydlige halvkugle. Billedet på Kvants forside viser højden af overfladen på Mars, og højdeforskellen ses tydeligt. I nord er terrænet meget fladt og med meget få kratere, i syd er der kolossale bjerge (bl.a. solsystemets største, den 24 km høje, udslukte vulkan Olympus Mons) og mange kratere fra meteornedslag. Et stort antal kratere vidner om en gammel overflade, så på Mars er overfladen på den nordlige halvkugle blevet modificeret senere end på den sydlige halvkugle. En af de mest plausible teorier er, at der har ligget et ocean på den nordlige halvkugle. Den meget jævne overflade kunne være dannet af sedimentering i oceanet. Man har desuden observeret terrasser som kunne være gamle kystlinier, og udtørrede kanaler hvis udløb ender i samme højde, hvilket kan forklares ved, at de løb ud i et ocean. Men hvis dette er tilfældet, rejser der sig nye spørgsmål; hvorfor forsvandt oceanet?, hvor er vandet blevet af?

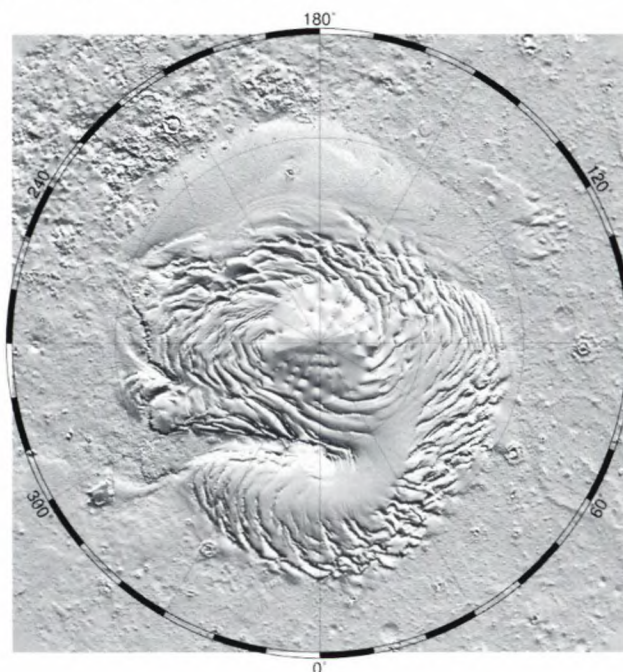
Det at der er spor af flydende vand på overfladen af Mars gør, som før nævnt, planeten meget interessant. Dels fordi vi mener, at flydende vand er nødvendig for, at liv kan opstå og dels fordi det viser, at der er foregået nogle drastiske klimaændringer som vi måske kan lære af. I de sidste årtier har der derfor været sendt mange sonder til Mars. En af de mest succesrige var Mariner 4, som i 1965 bragte de første billeder af Mars til Jorden. Billederne var taget fra 12.000 km højde og viste en gold og død planet. Sidst i 70'erne var Viking missionerne utroligt succesfulde med to satellitter og to landere, og data fra disse missioner viste et helt andet billede af Mars: En planet med vejr, klima og tydelige tegn af flydende vand tidligere i planetens historie.

I september 1997 ankom Mars Global Surveyor (MGS) til Mars. Blandt instrumenterne på satellitten er Mars Orbiter Camera (MOC), som er et kamera der er istand til at tage globale³ samt regionale, højopløste billeder med en opløsning helt ned til 1.4 m per pixel. Ombord på MGS er også Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA), som med stor nøjagtighed har kortlagt højden af Mars' overflade, samt Thermal Emission Spectrometer (TES) som måler den spektrale sammensætning af det tilbagekastede lys fra Mars, hvilket giver information om overfladematerialet. Alle instrumenterne har fungeret perfekt og har sendt utrolige mængder af ny information om Mars tilbage til Jorden.

Iskapperne på Mars

Man har i mere end 300 år vidst, at der var polkapper på Mars. Allerede i 1600-tallet lavede den Italienske astronom, Cassini detaljerede tegninger af Mars hvor

man tydeligt kunne se ikke bare de lyse polkapper, men også deres variation med årstiderne. Det Cassini observerede var det førnævnte kuldioxid snedække (tøris), som dannes på vinter polerne når atmosfærens temperatur når ned under frostpunktet for kuldioxid. Små støvkorn bevæger sig rundt i atmosfæren på Mars og den vanddamp som måtte findes fortættes sig på disse støvkorn, som vi kender det fra nedbørsprocesser i den Jordiske atmosfære. Når atmosfæren er afkølet til frostpunktet begynder kuldioxiden, som atmosfæren hovedsageligt består af, at fortættes, enten direkte på overfladen eller på de små støv-vandpartikler i atmosfæren. Når tilstrækkeligt meget kuldioxid har sat sig på partiklerne falder de ned på overfladen og danner sæson polkapperne som kan observeres fra Jorden. Disse sæson polkapper kan blive meget store. På den sydlige halvkugle kan sæson polkappen dække området fra sydpolen og helt op til 40° syd.



Figur 1. Nordpols iskappen på Mars. Billedet er et gråtone plot af topografien nord for 70° N, som er pålagt skygger med belysning fra toppen af figuren. I midten af plottet findes kun meget lidt data, dette skyldes at inklinationen af den bane som Mars Global Surveyor har, er for lav til at Mars Orbiter Laser Altimeter har kunne måle topografien kontinuert over polområdet. Iskappen dækker området nord for 80° N. Denne figur viser meget tydeligt det spiralformede mønster som præger iskappen. Mønstret er opbygget af terrasser, som ud ved isranden er brede og høje, men efter hånden som de nærmer sig polen bliver mindre og lavere for helt at forsvinde på midten. De centrale områder af iskappen er glatte som de Jordiske iskapper.

Når sæson polkapperne af CO₂-frost om sommeren sublimerer⁴, kommer de permanente iskapper på polerne til syne. De ligner på mange måder dem vi kender fra Jorden (Grønland og Antarktis). Med en diameter på

³MOC fotograferer hele overfladen af Mars på 24 timer. Dette forgår konstant, så det er muligt at følge med i dynamiske fænomener som skysystemer og støvstorme.

⁴Sublimere: Når et stof overgår fra fast form direkte til gasform uden først at være flydende.

1000 km og højde over det omliggende terræn på 3 km har iskapperne på Mars samme proportioner som iskapperne på Jorden. Tykkelsen af iskapperne er ukendt, men hvis man antager at undergrunden bliver presset ned af den overliggende is som på Jorden, vil tykkelsen af iskapperne på Mars være cirka 4 km⁵

Meget tyder på, at polkapperne hovedsageligt består af H₂O is. Gravitationsmålinger viser, at massefylden af iskapperne er omkring 1000 kg/m³, som for vandis. Om sommeren når overfladetemperaturen op over frostpunktet for CO₂ og alt CO₂ en vil derfor fordampe, hvorefter vandisen begynder at sublimere ud i atmosfæren. Dette er observeret i form af høje koncentrationer af vanddamp i atmosfæren over den nordlige polkappe. Desuden minder overfladeprofilen af iskapperne meget om dem vi ser på jorden (se figur 2).

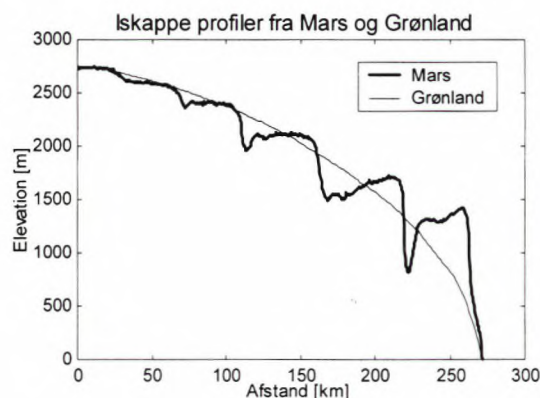
Overfladeprofilen er bestemt af materialets flydeegenskaber, og havde iskappen været af tør is, ville den flyde ud og blive meget tynd og flad, da tør is er et svagt materiale. Isen kunne også være et bestemt krystal hvor H₂O molekyler indkapsler et CO₂-molekyle, såkaldte clathrate-hydrates, men dette materiale er meget stærkere end H₂O is og ville derfor have en stejlere overfladeprofil. Der er altså stadig betydelige mængder vand på Mars, selvom det ikke er nok til at udgøre et ocean.

Temperaturen inde i iskapperne er interessant, ikke bare fordi den er afgørende for hvordan (og om) iskappen flyder, men også fordi eventuel smeltning ved bunden af iskappen har stor betydning for den globale vandcirkulation. Biologer har desuden forslået, at hvis der en gang har været liv på Mars, kunne dette måske være bevaret i søer under isen, som det er tilfældet i Antarktis. Temperaturen i det indre af en iskappe er bestemt af fire ting: Overfladetemperaturen, den varme fra planetens indre som bliver tilført ved bunden, varmeledningsevnen af isen samt tykkelsen af iskappen. I første omgang fristes man til at antage, at der umuligt kan være bundsmeltning når overfladetemperaturen er så lav som på Mars, men det viser sig at varmeledningsevnen af isen er af større betydning. Hvis der er et meget højt støvindhold, som man må formode med de mange store støvstorme, vil varmeledningsevnen falde, hvilket betyder at kulden fra overfladen ikke trænger så langt ned i isen, og dermed bliver bundlagene i isen varmere. Andre urenheder vil også sænke ledningsevnen, f.eks. kan man forestille sig, at for 50.000 år siden hvor Mars' rotationsakse kun hældte lidt i forhold til Mars-Sol planet, har overfladen været meget kold året rundt så CO₂-sneen ikke forsvandt om sommeren. Dette vil danne lag med meget højt CO₂-indhold inde i isen, og da CO₂ har en meget lav ledningsevne vil det betyde meget for bundtemperaturen af isen.

Som nævnt ligner overfladeprofiler fra iskapperne på Mars dem fra jordiske iskapper meget, men der er en væsentlig forskel som umiddelbart springer i øjnene:

Iskapperne på Mars synes at være overlagt med et spiralformet mønster (se figur 1).

Et fænomen som ikke kan forbindes med noget kendt fænomen på Jorden. Spiralmønstret er dannet af terrasser som ude ved isranden er brede og høje men, som ind mod midten bliver smallere og lavere. Inde på midten af den nordlige iskappe er et stort område, som er helt glat, svarende til det vi kender fra de Jordiske iskapper. I virkeligheden består terrasserne af flader som hælder højest et par grader enten mod ækvator eller mod polen, forbundet af flader som hælder 8–15 grader mod ækvator. På figur 2 ses en profil gennem den nordlige iskappe. Den vertikale skala er stærkt overdrevet, så selvom det ser ud som skarpt adskilte terrasser, hælder selv de stejleste flader ikke mere end 15 grader.



Figur 2. Profiler af iskapperne på nordpolen af Mars og på Grønland. Profilen fra Grønland er langs en flydelinie fra isdeleren ned til Jakobshavn [Kilde: S. Ekholm (KMS) samt personlig kommunikation, H. Ribergaard og N. Reeh (DCRS)]. Denne profil er skaleret til højden og længden af profilen fra iskappen på Mars. Den generelle form af iskapperne minder meget om hinanden, men her ses det tydeligt hvordan iskappen på Mars er inddelt i terrasser, i forhold til den helt glatte profil fra Grønland. Den vertikale skala er stærkt overdrevet, så selvom inddelingen i terrasser ser meget skarp ud, hælder de stejleste overflader faktisk ikke mere end 15°. Det ses også hvordan terrasserne er brede og høje tæt på isranden (til højre), men bliver mindre indmod polen (til venstre).

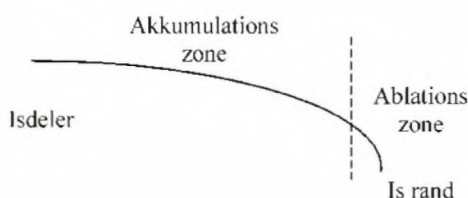
De stejle ækvatorvendte sider er mørke og de mindre stejle, eller ligefrem polvendte flader er lyse. Dette leder til den teori, at disse terrasser opstår ved, at isen fordamper på de stejle sider fordi de modtager mere solindstråling og fordi de er mørke. På de lyse flader akkumulerer materiale fordi de er kolde. Det, at der akkumuleres materiale på lyse flader og fordampes materiale fra mørke flader, er positive feedback mekanismer: Nyfalden sne (eller fortættet frost) er lyst, og da lyse overflader reflekterer meget stråling bliver de kolde, og kolde overflader holder på sneen (eller frosten). Hvor materiale fordampes, blotlægges de underliggende lag. Disse lag er mørke, både fordi

⁵Iskappen på Grønland er 3 km tyk og iskappen på Antarktis er 4 km tyk.

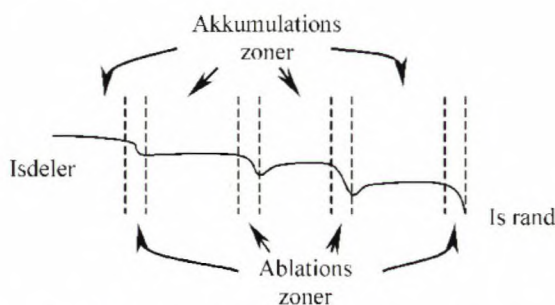
is er mørkere end sne/frost og fordi støvindholdet er højt. Overfladen bliver derfor mørkere, absorberer mere stråling, bliver varmere og dermed fordampes endnu mere materiale. Figur 4 illustrerer forskellen i massebalancen af iskapper på Jorden og på Mars.

Terrasserne, som nogle steder mere er trug end terrasser, finder vi ikke bare på de permanente polkapper, men de breder sig ud i det omliggende terræn. På de stejle sider kan man se, at terrænet både på polkapperne og det omliggende terræn er tydeligt stratificeret. Dette terræn som ligger rundt om iskapperne er derfor blevet døbt "Polar Layered Deposits". Lagene er tynde, helt ned til opløsningen af MOC billederne (1.4 m) og de kan følges flere hundrede kilometer. Dette viser, at det ikke er et lokalt fænomen som har skabt denne lagdeling, og man mener derfor at klimaforandringer har skabt lagene. F.eks. kunne man forstille sig at når rotationsaksen har stor vinkel i forhold til Mars-sol planet har der været tyk atmosfære og derfor større støvtransport. Det deponerede materiale er derfor mørkt pga. det høje støvindhold. Under koldere klima er atmosfæren ikke tyk nok til at kunne løfte støv og materialet bliver derfor lysere. Dette tyder på at klimaet har sat sine spor i iskapperne og at vi derfor kunne lære om klimamekanismerne ved at studere dette materiale.

Iskapper på Jorden



Iskapperne på Mars



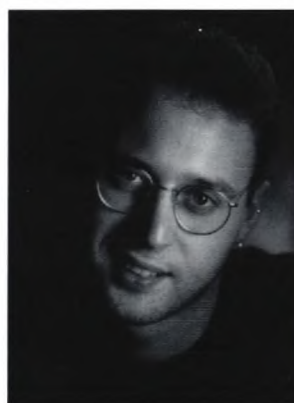
Figur 3. Illustration af akkumulations (zoner hvor materiale pålejres) og ablationszoner (zoner hvor materiale forsvinder) af iskapper på Jorden og på Mars. På Jordiske iskapper akkumuleres materiale på den øverste del og materiale ableres fra den nederste del af iskappen. Typisk foregår ablationen ved afsmeltning eller afbrækning af isbjerge. Isen flyder fra akkumulationszonen til ablationszonen for at balancere massetabet. På Mars er teorien, at akkumulationszonen er afbrudt af mange mindre ablationzoner (nemlig de stejle mørke sider af terrasserne). Dette giver et noget mere komplekst flydemønstre, især fordi man formoder, at ablationszonerne med tiden bevæger sig hen over iskappen.

Fremtidens udforskning af Mars

Vi vil gerne lære mere om klimaet på Mars, og nogle af de spørgsmål vi står med lige nu er: Hvor stort er vandindholdet af overfladematerialet, specielt i det lagdelte terræn og i de permanente is kapper? Hvor stor er CO₂ og støvindholdet? Hvor meget vand er der i atmosfæren? Hvordan ændrer tryk og temperaturen i atmosfære i løbet af året? Netop disse spørgsmål skulle Climate Orbiter og Polar Lander missionerne i 1999 give svar på, men desværre mislykkedes begge disse missioner og vi må se på de næste missioner for at se hvad vi kan lære om Mars og dens klima. I år 2001 afsendes en satellit, en lander samt en rover til Mars. Hovedformålene med disse missioner er, at lære mere om hvilke materialer der findes på overfladen af Mars, samt hvor store mængder af hydrogen og dermed vand der findes i det øverste lag af overfladen. Desuden medbringes instrumenter til at bestemme hvor stor stråling overfladen modtager, et eksperiment som er direkte rettet mod, at lære mere om mulighederne for en bemannet Mars mission.

Referencer:

- [1] "Mars" (1992) The University of Arizona Press.
- [2] J. Larsen og D. Dahl-Jensen (2000) "Interior Temperatures of the Northern Polar Cap on Mars", Icarus, under trykning.
- [3] M. T. Zuber m.fl. (1998) "Observations of the North Polar Region of Mars from the Mars Orbiter Laser Altimeter", Science, bind **282**, side 2053–2060.
- [4] Mars Global Surveyor: mars.jpl.nasa.gov/mgs.
- [5] Mars Orbiter Laser Altimeter: <http://www.gsfc.nasa.gov/tharsis/mola.html>.
- [6] NASA, Mars exploration: mars.jpl.nasa.gov.



Janus Larsen er specialestuderende i geofysik ved NBIfAFG, hvor han arbejder med areo-glaciologi.