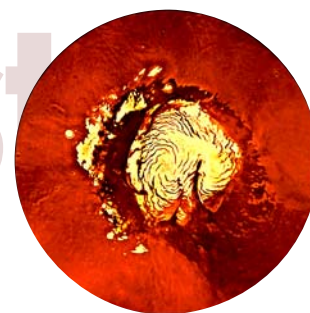


Is i vort Solsystem



I vort Solsystem findes der ud over H_2O -is andre stoffer, som i fast form kaldes for is inden for den planetære forskning. De forskellige former for is gennemgås, hvorefter isen på Mars og på Jupiters måne Europa beskrives mere udførligt

Af lektor Dorte Dahl-Jensen, Niels Bohrs Institut for Astronomi, Fysik og Geofysik, ddj@gfy.ku.dk

Ud over en stor mængde H_2O -is findes der i vort Solsystem stoffer, hvis faste former i den planetære forskning kaldes for is. Disse flygtige stoffer findes også på Jorden, men for det meste i gasfasen. Ude i Solsystemet fryser de flygtige gasser til is pga. de lave temperaturer. CO_2 , N_2 og CH_4 er eksempler på sådanne stoffer. De flygtige ismaterialer består typisk af lette grundstoffer som hydrogen, carbon, nitrogen og oxygen.

Et solsystem dannes ved langsom afkøling af en støv- og gassky (nebula), hvor de flygtige materialer er blandt de sidste, der kondenserer. De forsvinder oftest fra planeterne i løbet af deres tidlige udvikling. Hvilke af de flygtige materialer, der nu findes på planeterne, afhænger af planetens tyngdefelt, om der er et magnetfelt, der kan afbøje solvinden og i Jordens tilfælde også på tilstedeværelsen af organismer, der kan optage materialerne. På de »indre« varme planeter vil de flygtige gasser bevæge sig rundt, indtil de havner et sted, hvor tryk- og temperaturforholdene gør, at de fryser. På Merkur, der ikke har nogen nævneværdig atmosfære, findes der kun flygtige materialer ved polerne. På Venus, Jorden og Mars findes de flygtige materialer i ligevægt mellem gas og faste faser. På Jupiters måner og ved de ydre planeter har de flygtige materialer sikkert kondenseret direkte ud fra den solare nebula og samlet sig i legemer som måner og kometer.

I tabel 1 (side 13) er de flygtige stoffer, som vi ved findes på overfladerne af legemerne i vort Solsystem, nævnt. Frysepunktet er angivet for 1 atmosfæres tryk, trykket ved Jordens overflade. Mange legemer i Solsystemet har en tynd eller ingen atmosfære, hvorfor trykket er lavt.

Universel is, H_2O

Med undtagelse af Venus og asteroiderne er der fundet H_2O -is på stort set alle legemer i vort Solsystem. Der findes H_2O -is på de fleste af månerne, især omkring de ydre planeter, og det er den mest almindelige form for is i kometerne. Det er stadig et åbent spørgsmål, hvorvidt der findes H_2O -is på vor egen Måne og på Merkur i de områder, der permanent ligger i skygge. Absorptionspektroskopi viser, at der endda findes H_2O -is i de interstellare skyer.

Jorden er det eneste sted i Solsystemet, hvor H_2O kan befinde sig i alle tre faser: fast, flydende og gas. At den faste vandfase har en mindre massefylde end den flydende fase er altafgørende for eksistensen og bevarelsen af liv på Jorden.

På Mars er der en tynd atmosfære, som primært består af CO_2 . Trykket er mindre end 8 mbar og ved de kolde temperaturer, der findes på overfladen, vil H_2O enten være på fast form eller gasform. Is sublimerer direkte fra is til gas og kondenseres

Dorte Dahl-Jensen



**Modtager af
Villum Kann Rasmussens
Årslegat på 1 500 000 kr.**

Af Ole Bostrup

Dorte Dahl-Jensen er født i 1958. Efter studentereksamen studerede hun fysik og matematik ved Københavns Universitet, og

hun blev i 1984 cand. scient. i disse fag; hendes speciale var glaciologi. Ved fortsatte studier af isstrømme på Grønland opnåede hun ph.d.-graden i 1988.

Dorte Dahl-Jensens studier har ført hende viden om. Hun har forsket i Reykjavik, Melbourne, Washington og Tasmanien. Flere gange har hun været i Sdr. Strømfjord på Grønland.

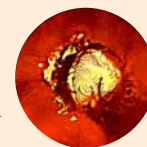
Dorte Dahl-Jensen har skrevet en lang række videnskabelige afhandlinger - oftest sammen med kolleger. Den første er

fra 1984; fra de senere år bemærkes »A search in north Greenland for a new ice core drill site« (Journal of Glaciology: 1997), »Flow properties of the ice from the Greenland Ice Core Project ice core: The reason for folds« (Journal of Geophysical Research: 1997), »Past temperatures directly from the Greenland Ice Sheet« (Science: 1998) og »Monte Carlo inverse modelling of the Law Dome (Antarctica) temperature profile« (Annals of Glaciology: 1999). Et arbejde om »Interior temperatures of the northern polar cap on Mars« (Icarus: 2000).

I alle årene har Niels Bohr Institutet været hendes base. En anden base har været hendes hjem: Hun er gift og har fire børn: Rune, Svend, Gorm og Nanna.

Dorte Dahl-Jensen modtog den 23. januar 2001 Villum Kann Rasmussens Årslegat til teknisk forskning 2001. Det er første gang, en forsker på Københavns Universitet modtager dette legat. Legatet er på 1 500 000 kr.

Til lykke!



Datafangsten er gået i gang !

OG DELFI HAR ALLE FANGSTREDSKABERNE!

Se priserne på
www.delfi.dk

Formula 8500

Bærbart DOS håndterminal

Stregkodeterminale - med stort grafisk berøringfølsomt display og fuldt tastatur
!! Trådløs håndterminal. F8500 er den første på markedet, der anvender den kraftige 486 true 32 bit processor.

- IP-65 godkendt (vand- & støvtæt, 1,2 m frit fald på beton) • Op til 12 MB RAM • Interface: RS232/485/PCMCIA, GSM, modem, Ethernet • Trådløs Radiokommunikation / 2.4 GHz
- Godkendt af Telestyrelsen • Baggrundsbelyst grafisk display, 160x240 pixels, 16 grå toner • Integreret laserscanner • Læser alle stregkoder også 2D som f. eks. PDF 417 • Vejer kun 370 gram !!

IDWARE

Formula 725 stregkodeterminale

Stregkodeterminale med pistolgreb og stort grafisk display!! Har udvidet temperatur fleksibilitet fra -20 grader og op til +50 grader. Formula 725 har fået et stort display, ny og forbedret laserenhed samt et nyt og forbedret pistolgreb. • IP-65 godkendt (vand- & støvtæt, 1 m frit fald på beton) • 128kb / 512 kb / 1 Mb / 2 Mb RAM (ren hukommelse) • Vejer kun 240 gram !! • Interface RS232/485/Infrarød • Trådløs Radiokommunikation 433 MHz (Option) • Godkendt af Telestyrelsen • Baggrundsbelyst high-contrast grafisk display, 16 x 4 linier • Light source VLD laserenhed, læser alle stregkoder.

OPERATIV SYSTEMER:

- Windows 3.X / 95 • DOS
 - UNIX SCO (kun formula)
- Terminalerne lader sig nemt integrere i alle applikationer, f.eks. Concorde eller Navigator.

IDWARE

Formula 734 Laser mikro terminal

Denne terminal er markedets absolutte letvægter, men tåler uden tvivl sammenligning med de bedste laserscannere på markedet. Ultra-kompakt ergonomisk design. • Kun 180 gram • Vand- og støvtæt • Op til 70 cm læseafstand • Alfa/numerisk keyboard • Baggrundsbelyst display • IP-65 godkendt (robust) • Op til 1 MB DATARAM • Kan programmeres i C • Over 8 timers batteritid.

Fås med følgende interfaces:
RS-232, RS-485, RF (Radio frekvens, godkendt af Telestyrelsen), eller IR (Infrarød overførsel).

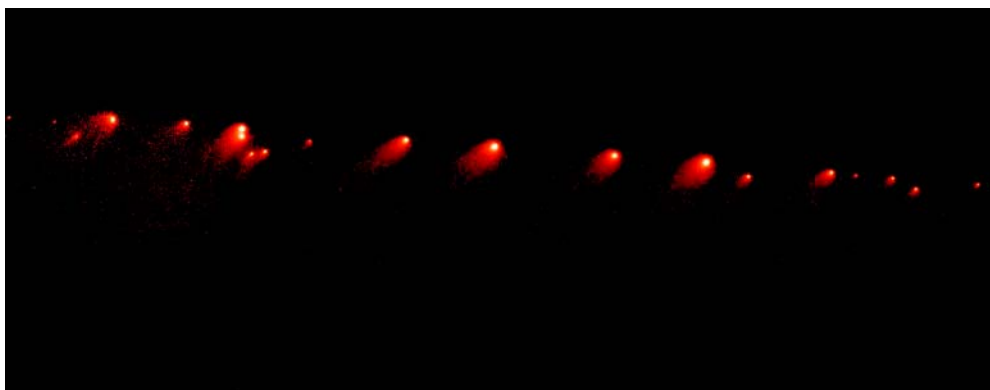
IDWARE

Formula 530/630 Pen Terminaler

Disse terminaler er udstyret med en pen-læser. Anvendes hvis stregkoderne f.eks er på bestillingsark, eller til time sag styring og især til rundering som tidskontrol 630 med 128 KB RAM programmeres som øvrige terminaler IP65 Godkendt, passer til brystlomme RS232 kommunikation.



Delfi Technologies A/S



Figur 1. NASA's Hubble Space Telescope har taget dette billede af Shoemaker-Levy 9 den 17. maj 1994. Kometen bestod af 21 is-legemer, der strakte sig over 710.000 km. Kometen var 660 mio. km fra Jorden, da billedet blev taget, og midt i juli 1994 kolliderede kometen med Jupiter.

Billedet findes på: http://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/hst_pr94_26d.html

ud igen fra gas til is, som falder som sne på Mars' overflade. På Jupiters måne, Europa findes H_2O som is, der dækker hele månens overflade, og man mener, at der findes et hav under isen. Europa har stort set ingen atmosfære, så H_2O findes ikke som gas her.

Tøris, CO_2

Tøris har fået sit navn, fordi det ligner is, og fordi det sublimerer fra sin faste form direkte til gasfasen. CO_2 's triplepunkt ligger ved 5.2 atmosfære og $-57^\circ C$. CO_2 -trykket ved Jordens overflade ligger langt under denne triplepunkts-værdi. Vi ved, at CO_2 -is findes på Mars, på Neptuns måne Triton, i kometerne og måske på Jupiters måne Callisto.

Mars' atmosfære består af 95% CO_2 -gas. Om vinteren bliver temperaturen så lav (150K), at CO_2 ved tryk på 4-8 mbar kondenseres direkte ud som sne. Den H_2O -gas, der også findes i atmosfæren, sner ud og er således del af den sne, der lægger sig på Mars' overflade om vinteren.

Io, SO_2 -spruttende vulkaner

Rumsonden Galileo, der siden december 1996 har bevæget sig rundt blandt Jupiters måner, har observeret store vulkanudbrud på den inderste af Jupiters store måner, Io (figur 2). SO_2 -gas sprutter ud fra store vulkanudbrud, og skyerne herfra når op i en højde af 140 km. Gassen afkøles hurtigt og kondenseres ud i

en fin luftig is, der lægger sig på månens overflade. Faktisk viser det sig, at man også finder SO_2 -is på to af Jupiters andre store måner, Europa og Callisto. Man mener, at sulfat-ioner transporteres fra Io til de andre måner langs magnetfeltlinier fra Jupiters kraftige magnetfelt. På overfladen af Europa og Callisto findes SO_2 -is og H_2O -is.

Kold is, N_2 , CH_4 , CO og NH_3

Det bliver koldere, jo længere man bevæger sig ud i Solsystemet, idet man kommer længere væk fra Solen. På Neptun er solintensiteten blot en tusindedel af, hvad den er ved Jorden. På Neptuns måne, Triton er overfladetemperaturen omkring 40K, og selv N_2 og CH_4 findes her som is. Nye undersøgelser viser, at CO og CO_2 også findes som is/sne på Triton. En stor del af Tritons atmosfære består af N_2 , som pga. månens lave atmosfæretryk ved selv små temperaturudsving kan veksle mellem en tilstand som is på overfladen og gas i atmosfæren. På Pluto observeres de samme flygtige stoffer som på Triton, mens Plutos store måne, Charon såvidt vides kun har spor af H_2O -is. Kometer, der er budbringere fra den ydre del af Solsystemet, indeholder mange af disse isformer. NH_3 -is er indtil videre kun fundet på kometer.

Iskold is, O_2 og O_3

Selv om disse former for is hører til blandt dem, der har de



Figur 2. Dette billede af Io blev taget den 6. november 1997 af NASA's rumsonde Galileo. Man kan se to store SO_2 -spruttende vulkanudbrud på Io. Det ene vulkanudbrud, Pillan Patera, er på randen af Io, og skyerne når op i 140 km højde. Det andet udbrud, Prometheus, findes tæt ved grænsen mellem dag og nat. Man kan se en rød sky til højre for krateret. Billedet findes på: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/cgi-bin/uncgi/PIA01081> (Billede nr. PIA01081)

laveste frysepunkter, findes de på Jupiters måne Ganymedes. Ganymedes' temperatur er på trods af det lave atmosfæretryk højere end O_2 og O_3 's frysepunkter. O_2 har to meget typiske absorptionsbånd, som tydeligt ses i det lys, der reflekteres fra Ganymedes overflade. En teori er, at Ganymedes bombarderes med høj-energi partikler via Jupiters magnetfeltlinier. H_2O -iskrystallerne på overfladen spaltes til H_2 og O , der danner O_2 og O_3 vha. solenergien. O_2 og O_3 indesluttet i H_2O -krystalstrukturen og overlever således.

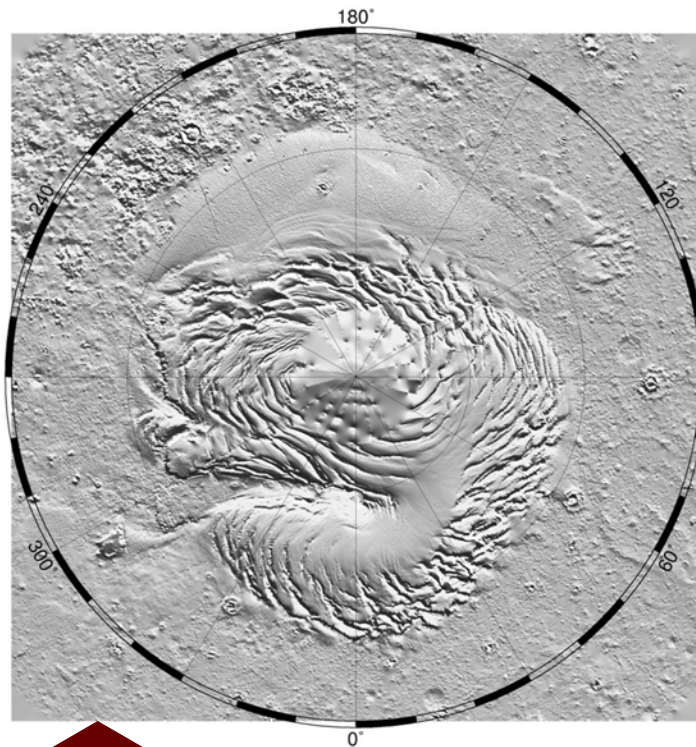
Iskapperne på Mars

Siden den italienske astronom, Cassini, i 1600-tallet lavede detaljerede tegninger af iskapperne på Mars, hvor man kunne se årstidsvariationerne, har man vidst, at der fandtes iskapper ved Mars poler. Cassini observerede sæsonsnedækket, der primært består af CO_2 -is. Når foråret kommer, begynder CO_2 -sneen at sublimere. Sidst på sommeren er CO_2 -sneen sublimeret, og temperaturen hæver sig over frysepunktet (150K ved et tryk på ca. 6 mbar). Tilbage står den hvide permanente iskappe, der består af H_2O -is. Da temperaturen sidst på sommeren hæver sig over CO_2 's frysepunkt, kan der kun være H_2O -is tilbage. Man mener, at den årlige H_2O nedbør på iskappen udgør en brøkdel af en mm.

I september 1997 ankom NASA's rumsonde Mars Global Surveyor (MGS) til Mars, og den har siden været i kredsløb omkring Mars. Blandt instrumenterne om bord er Mars Orbiter Camera (MOC), et kamera, der kan tage billeder af overfladen med en opløsning ned til 1.4 m pr. pixel. Om bord på MGS er også Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA), som med stor nøjagtighed har kortlagt højden af Mars' overflade. Instrumenterne om bord på MGS har sendt utrolige mængder af ny information om Mars tilbage til Jorden. Figur 3 viser et gråtoneplot af iskappen på Mars' nordpol baseret på MOLA-målingerne. Plottet er pålagt skygger med belysning fra toppen af figuren. MGS' bane omkring Mars ligger ikke over selve polområdet. For at få målinger over polområdet er instrumenterne på nogle få af overflyvningerne blevet drejet. Iskappen på nordpolen har en diameter på 1000 km og en tykkelse på 3-4 km. Dvs. at iskappen har samme udbredelse og tykkelse som indlandsisen på Grønland. Figur 4 (side 14) viser en af højdeprofilerne hen over iskappen målt af MOLA. Sammenligner man højdeprofilen med en profil fra indlandsisen, viser det sig, at isen har samme form. Der er al mulig grund til at tro, at iskapperne på Mars flyder på samme måde som isen på Jorden. Der er dog en væsentlig forskel: Iskappen på Mars er delt i terrasser adskilt af skrænter med hældninger på op til 15°. Det er skrænterne, der står frem som mørke bånd på gråtoneplottet af iskappen på den nordlige polkalot. De mørke bånd danner et spiralformet mønster på overfladen af iskappen (figur 3). MOC-billederne har vist, at man kan se lag i de stejle skrænter. Derfor er der grund til at tro, at isen er lagdelt og indeholder is fra tidligere klimaperioder. Man mener, at de stejle sydvendte skrænter modtager mere solstråling end terrasserne, fordi de har en hældning og er mørkere. En del af den is, der sublimeres fra skrænterne, menes at kondensere igen på de hvide og koldere terrasser, mens resten forsvinder op i atmosfæren. Da gamle og nye lag er blandet sammen, er det kompliceret at fortolke skrænternes lagdeling. Da der er grund til at tro, at der har været store klimaforandringer på Mars, vil et studium af lagene kunne medvirke til at forstå planetens klimahistorie.

Isen på Europa

NASA's rumsonde Galileo nåede efter 6 års rejse Jupiter-systemet i december 96. Siden da har den bl.a. optaget billeder af overfladen på Europa med en opløsning på ned til 13 m pr. pixel. Europa er en af Jupiters fire store måner, og den har en diame-



Figur 3. Nordpolsiskappen på Mars. Billedet er et gråtoneplot af topografien nord for 70°N, som er pålagt skygger med belysning fra toppen af figuren. Billedet er dannet på grundlag af højdemålingerne, målt med Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) om bord på NASA's rumsonde Mars Global Surveyor (MGS), der siden september 1997 har været i kredsløb omkring Mars. MGS sender stadig nye data tilbage til Jorden. Billedet findes på: <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/tharsis/shademap.html>

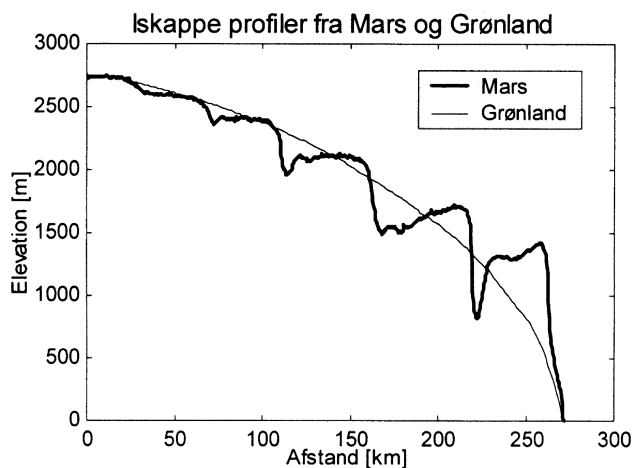
ter på 3140 km. Den er kuglerund og højdevariationerne på overfladen er så små, at man længe har ment, at Europas overflade består af is.

Tyngdemålinger viser, at månen sikkert består af en kerne af silikater, og at der er et overfladelag på ca. 100 km med en massefylde på 1000 kg/m³. Refleksionsspektre fra Europas overflade fastslår, at overfladen består af H_2O -is, der dog kan have et betragteligt indhold af urenheder, som f.eks. opløste salte.

Billederne fra rumsonden Galileo viser, at overfladen kan inddeles i forskellige zoner med karakteristiske træk. Her beskrives et par af disse zoner.

Materiale	Frysepunkt ved 1 atm.	Hvor findes det?
H_2O	273 K	Jorden, Mars, De ydre planeters måner, kometer, evt. Merkur og Månen
CO_2	215 K	Mars, Triton, kometer, evt. Callisto
SO_2	200 K	Io, Europa, Callisto
NH_3	195 K	Kometer og evt. på de ydre planeters Måner
CH_4	91 K	Triton, Pluto, kometer, objekter i Kuiper-bæltet
O_3	80 K	Ganymedes, Rhea, Dione
CO	68 K	Triton, Pluto, kometer
N_2	63 K	Triton, Pluto, kometer
O_2	55 K	Ganymedes

Tabel 1. Tabel over de former for is som befinder sig i vort Solsystem. Frysepunktet er angivet ved 1 atmosfæres tryk.



Figur 4. Profiler af iskapperne på nordpolen af Mars og Grønland. Profilen fra Grønland er langs en flydeline fra isdelegeren ned til Jakobshavn (Kilde: S. Ekholm, KMS). Profilen fra Grønland er skaleret til højden og længden af profilen fra Mars. Den generelle form af iskappen minder meget om hinanden, men her ses det tydeligt, hvordan iskappen fra Mars er inddelt i terrasser. Figuren er med tilladelse gengivet fra [8].

Figur 5 viser et udsnit af et kaotisk område på Europa. Solen skinner på overfladen fra den højre side. Figuren dækker et område på 70 gange 30 km og opløsningen er 54 m pr. pixel. Man kan se blokke af is, der flyder. Det kan betragtes som et puslespil, og brikkerne kan faktisk lægges tilbage, så de passer sammen. Hvis det er isbjerge, der flyder på vand, kan man ud fra højden af siderne af blokkene skønne istykkelsen til 1-2 km. Man kan se, at selve blokkene har systemer af bånd på sig. Nogle bånd har flere riller, og da båndene gennemskærer hinanden, må de gennemskårne være ældre, end dem der skærer.

Det fører os til figur 6, hvor den mest udbredte form for overflade på Europa er vist. Store områder er dækket af bånd med rygge. Det viste område er 135 gange 60 km og har en opløsning på 50 m pr. pixel i de højtopløste områder af figuren. Da Europa bevæger sig omkring Jupiter i en svag elliptisk bane, vil det betragtelige tidevandsfelt fra Jupiter trække overfladen frem og tilbage med en amplitude på 50 m over omløbsperioden på 3.5 døgn. Man mener, at båndene dannes, fordi isen trækkes fra hinanden. Har man et lag is på et par km's tykkelse, der flyder på vand, vil isen i løbet af en periode på 3,5 døgn først trækkes fra hinanden for senere at blive skubbet sammen igen. Når isen trækkes fra hinanden, vil der åbne sig lidt hav i sprækkerne. Med en overfladetemperatur på 50K vil der lynhurtigt dannes et tyndt lag is, der knuses, når

isflagerne skubbes sammen igen. Den knuste is vil lægge sig langs kanterne af isflagerne, i analogi til det vi ser ske med havisen omkring Grønland. Således kan båndene på overfladen dannes, og de tykke bånd er bånd, der sikkert i millioner af år er blevet åbnet og lukket med en periode på 3.5 dage.

I rumprogrammerne er der meget fokus på de planeter og måner, der har is og især H_2O -is, da det er her, man har mulighed for at finde spor af liv. Hvis der er et hav under isen på Europa, er det muligt, at der er liv her.

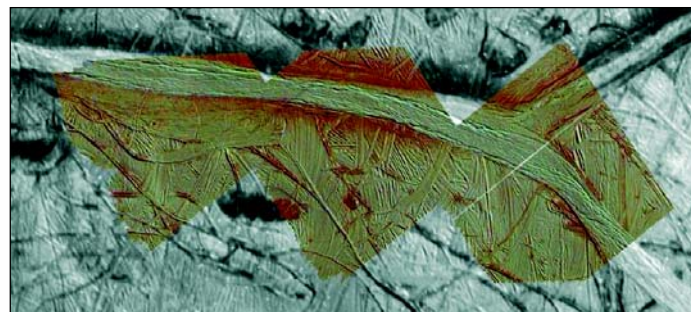
Det planlægges at sende en rumsonde til Europa, der skal indeholde en cryobot: et instrument, der skal kunne smelte sig ned gennem isen og sende en lille ubåd ud i vandet for at undersøge, om der er liv. Det bliver utroligt spændende, selv om det vil vare 10-15 år, før man får resultater fra en sådan mission.

Referencer:

1. W.M. Calvin (1999) »Ices throughout the Solar System« The Planetary Report Vol XIX, nr. 2, side 8-13
2. »The New Solar System« (1999) Cambridge University Press
3. »Mars« (1992) The University of Arizona Press.
4. 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: www.mars.jpl.nasa.gov/mgs
6. Mars Orbiter Laser Altimeter: lptwww.gsfc.nasa.gov/tharsis/mola.html
7. NASA, Mars exploration: www.mars.jpl.nasa.gov
8. J. Larsen (2000) »Is på Mars«, Kvant, Marts 2000, side 13-16
9. NASA, Galileo: www.jpl.nasa.gov/galileo



Figur 5. Et billede af overfladen på Europa optaget fra NASA's rumsonde Galileo. Billedet dækker et areal på 70 gange 30 km og har en opløsning på 54 m pr. pixel. Solen oplyser overfladen fra højre side. Billedet viser en kaotisk zone på isoverfladen af Europa. Store blokke af is flyder rundt på et formodet hav. Ud fra skyggerne kan man skønne, hvor højt blokkene står over det omkringliggende materiale, og man har på grundlag af disse observationer skønnet istykkelsen til at være 1-2 km. Billedet findes på: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/cgi-bin/uncgi/PIADBSearch.pl> (billede nr. PIA01127)



Figur 6. Dette billede af Europas isoverflade er optaget af NASA's rumsonde Galileo. Billedet dækker et areal på 135 gange 60 km og har en opløsning på 50 m pr. pixel. Det kraftige bånd kaldes Agenor Linea og er et af de kraftigste og mest lyse bånd, der er observeret på Europa. Man kan se, hvorledes båndene har gennemskåret hinanden. Billedet findes på: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/cgi-bin/uncgi/PIADBSearch.pl> (billede nr. PIA01647)