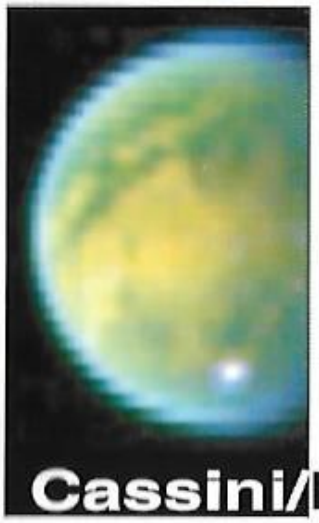
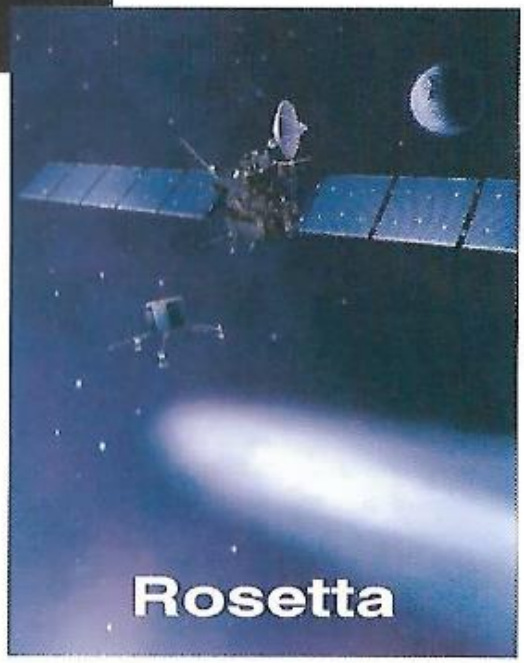
Dansk Selskab for
Rumfartsforskning

nr. 61
oktober 2004
16. årgang

Dansk Rumfart

Temanummer:
ESAs missioner i solsystemet





ISN0905-2410

Indhold

ESAs udforskning af Solsystemet	2
SMART-1 Europa til Månen	4
ESAs Rosetta-missionen	8
Dansk deltagelse i ESAs Sol- og Sol-Jord missioner	13
Cassini/Huygens - Rejsen til Saturn	20
Efterårets møder	26

Temanummeret er udgivet med økonomisk støtte af Det Offentlige Forskningsråd for Rummet.

ESAs udforskning af Solsystemet

af Finn Willadsen, finn@rumfart.dk

ESAs udforskning af Solsystemet har en markant international position. Efter en sen og beskeden start, har udforskningen gennem de sidste årtier udviklet sig, og det er lykkedes ESA at udfylde tomrummet, der opstod i kølvandet på Sovjetunionens sammenbrud. ESA deltager i satellitterne Ulysses og SOHO, som gennem en årrække har studeret Solen. ESA har sendt eller planlægger i den nærmeste fremtid rumsonder til Månen samt til planeterne Merkur, Venus og Mars. Endelig har ESA netop opsendt rumsonden Rosetta, som efter en 10 års rejse skal landе på komet Churyumov Gerasimenko P67.

Den 2. juli 1985 blev den sidste ARIANE 1 raket opsendt for at sende rumsonden GIOTTO afsted til dens møde med komet Halley. GIOTTO passerede komet Halley den 13. marts 1986 indenfor 550 kilometer. Ved mødet fik GIOTTO smadret sit kamera af et støvkorn; men ellers viste sonden sig i god nok stand, da den den 10. juli 1992 passerede indenfor 200 kilometer af komet Griggs Gjellerup. Det sidste blev kaldt Giotto Extended Mission eller GEM.

GIOTTO var starten på ESAs udforskning af Solsystemet idet det var ESAs første dybrumsonde. GIOTTO blev opsendt over 27 år efter Sovjets første rumsonde til Månen, Lunik 1, og næsten 24 år efter NASAs første

Redaktionelt

Udgiver: Dansk Selskab for Rumfartsforskning
Dansk Rumfart nummer 61, oktober 2004
Deadline til Dansk Rumfart nr. 62: 15. november 2004.

Ansvarshavende redaktør

Thim Nørgaard Andersen
Parmagade 44, 3.tv.
2300 København S
Tlf. 32 84 56 37
e-mail: *thim@rumfart.dk*

Kontakt redaktionen

e-mail: *redaktion@rumfart.dk*

Redaktion

Finn Willadsen (temanummer redaktør) & Thim Nørgaard Andersen (ansvarshavende redaktør)

Forsiden

Titan set fra Cassini, SOHO og Solen, SMART 1 samt Rosetta.

Bagsiden

Billeder fra besøget af NASA astronaut Michael Lopez-Alegria på DTU i anledning af åbningen af rumfartsuddannelsen.

Tryk

Prinfo Kolding, Kolding

ISSN 0905-2410

Indhold

ESAs udforskning af Solsystemet	2
SMART-1 Europa til Månen	4
ESAs Rosetta-missionen	8
Dansk deltagelse i ESAs Sol- og Sol-Jord missioner	13
Cassini/Huygens - Rejsen til Saturn	20
Efterårets møder	26

Temanummeret er udgivet med økonomisk støtte af Det Offentlige Forskningsråd for Rummet.

ESAs udforskning af Solsystemet

af Finn Willadsen, finn@rumfart.dk

ESAs udforskning af Solsystemet har en markant international position. Efter en sen og beskeden start, har udforskningen gennem de sidste årtier udviklet sig, og det er lykkedes ESA at udfylde tomrummet, der opstod i kølvandet på Sovjetunionens sammenbrud. ESA deltager i satellitterne Ulysses og SOHO, som gennem en årrække har studeret Solen. ESA har sendt eller planlægger i den nærmeste fremtid rumsonder til Månen samt til planeterne Merkur, Venus og Mars. Endelig har ESA netop opsendt rumsonden Rosetta, som efter en 10 års rejse skal landе på komet Churyumov Gerasimenko P67.

Den 2. juli 1985 blev den sidste ARIANE 1 raket opsendt for at sende rumsonden GIOTTO afsted til dens møde med komet Halley. GIOTTO passerede komet Halley den 13. marts 1986 indenfor 550 kilometer. Ved mødet fik GIOTTO smadret sit kamera af et støvkorn; men ellers viste sonden sig i god nok stand, da den den 10. juli 1992 passerede indenfor 200 kilometer af komet Griggs Gjellerup. Det sidste blev kaldt Giotto Extended Mission eller GEM.

GIOTTO var starten på ESAs udforskning af Solsystemet idet det var ESAs første dybrumsonde. GIOTTO blev opsendt over 27 år efter Sovjets første rumsonde til Månen, Lunik 1, og næsten 24 år efter NASAs første

Redaktionelt

Udgiver: Dansk Selskab for Rumfartsforskning
Dansk Rumfart nummer 61, oktober 2004
Deadline til Dansk Rumfart nr. 62: 15. november 2004.

Ansvarshavende redaktør

Thim Nørgaard Andersen
Parmagade 44, 3.tv.
2300 København S
Tlf. 32 84 56 37
e-mail: *thim@rumfart.dk*

Kontakt redaktionen

e-mail: *redaktion@rumfart.dk*

Redaktion

Finn Willadsen (temanummer redaktør) & Thim Nørgaard Andersen (ansvarshavende redaktør)

Forsiden

Titan set fra Cassini, SOHO og Solen, SMART 1 samt Rosetta.

Bagsiden

Billeder fra besøget af NASA astronaut Michael Lopez-Alegria på DTU i anledning af åbningen af rumfartsuddannelsen.

Tryk

Prinfo Kolding, Kolding

ISSN 0905-2410

afgørende videnskabelige opdagelser er kommet uventet. Et eksempel er Max Plancks opdagelse i år 1900 af, at elektromagnetisk stråling kun udsendes og absorberes i kvanter. En revolutionerende og uventet opdagelse uden hvilken vore dages computere ville have været en umulighed. Det ligger dog i sagens natur, at man ikke kan forudse sådanne opdagelser.

Udforskningen af Solsystemet tilvejebringer væsentlig viden, der danner grundlag for beslutninger med stor indflydelse på danskernes hverdag nu og i fremtiden. Set i det perspektiv er det små beløb der bruges på udforskningen af Solsystemet. Det kan dog være lidt dystert altid at tænke på truende klimaforandringer og andre trusler; så kan man i stedet følge udforskningen af fremmede kloder som en spændende rejse til fremmedartede verdner.

SMART-1 Europa til Månen

af John Leif Jørgensen, Ørsted •DTU, Danmarks Tekniske Universitet

ESAs første rumfartøj i *Small Missions for Advanced Research and Technology*, SMART-1, har som videnskabeligt formål at kortlægge Månens overflade og karakteristika for derigennem at kaste nyt lys over Månens tilblivelse: Er den en datter af Jorden? Hvordan har den udviklet sig? Hvorfor er for- og bagside så forskellige? Hvilke erosionsmekanismer, samt hvilken balance mellem vulkanisme og asteroide nedslag eksisterer? Alle store og uløste spørgsmål. Men nu har SMART-1 faktisk også et andet hovedformål. ESA har nemlig brug for at udvikle kendskab og ekspertise i europæisk industri til en række nye metoder og teknikker. Hertil kommer, at fremtidens rumfart står overfor en række uløste teknologiske problemer, der, hvis de bliver løst effektivt, vil kunne gøre fremtidens rumfart både billigere og langt mere ydedygtig.

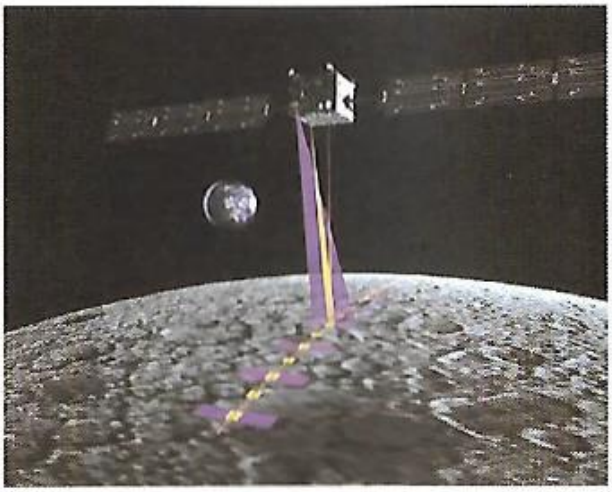


Fig 1. SMART-1 skal bl.a. opmåle Månens mange kratere. Opmålingerne foretages både med høj rumlig og høj farve opløsning, så også mineralogien kan studeres. Kilde: ESA

Det er disse teknikker, som er det andet hovedformål for SMART-1. Rent konkret har Europa brug for at udvikle en række nøgleteknologier som direkte forudsætning for planlagte missioner til andre planeter, f.eks. den kommende Merkur mission BepiColombo. Derfor kaldes SMART-1 også

for en stifinder mission, "pathfinder", for BepiColombo.

En af de teknikker, som SMART-1 afprøver, er en såkaldt ion-motor, der er den type motor der udnytter sit brændstof mest effektivt. Ion-motoren virker ved direkte at accelerere ladede partikler op i et elektrisk felt, hvorved partiklerne opnår ekstremt høje hastigheder. Disse hurtige partikler sendes derefter ud gennem motorens raketdyse. Så forskellen mellem en almindelig "kemisk" raket motor og ion-motoren er altså ikke ret stor. Blot får den kemiske raket sin energi fra reaktionen mellem brændstof og iltningsmidlet, f.eks. petroleum og ilt, mens ion motoren får sin fornybare energi til at danne det elektriske felt fra solen gennem sine solpaneler.

Mens kemiske reaktioner "kun" kan nå op på relativt begrænsede temperaturer og dermed partikelhastigheder (hvis raketten ikke skal

Fig 2. Den accepterede model for Månens dannelse, dattermodellen, hvor stoffet der senere bliver til Månen, slynges ud fra Jorden i en kollision med en kæmpe asteroide. Kilde: ESA

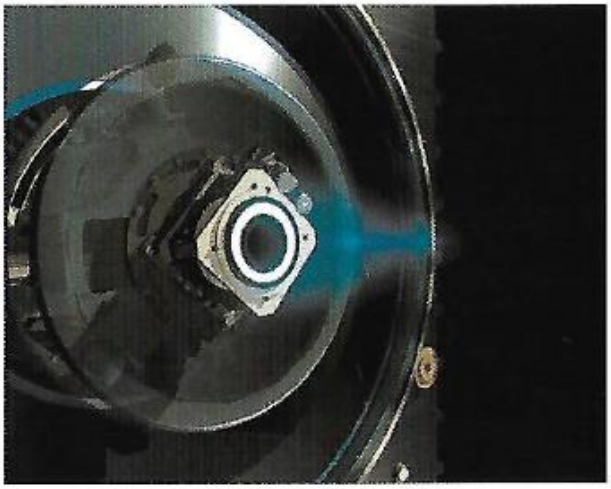


Fig 3. SMART-1s ion-motor. Den blå farve af strålen, skyldes at man blander lidt argon i brændstoffet. Ellers er rakettens jet usynlig. Kilde: ESA

smelte eller eksplodere), så er kun lyshastigheden den teoretiske grænse for en ion-motor. Ion-motoren bliver derigennem, og med elektrisk energi fra solen, meget mere effektiv end traditionelle kemiske raketmotorer.

Princippet for ion-motorer har været kendt i mange år, og både USA og USSR afprøvede dem i rumkapløbet. Men selvom princippet er simpelt, så er der en lang række praktiske vanskeligheder med at udnytte den. Både højspændings-omsætteren, dyse-erosion, jetstråle stabilitet og brændstof ionisering volder problemer. SMART-1 motoren, der er en videreudvikling et russisk design, er derfor holdt på "kun" 20-30 gange højere effektivitet, end hvad kemiske motorer kan klare. Men den høje effektivitet har også sin pris. Der skal bruges meget elektrisk kraft til ion-motoren, og den skal komme fra fartøjets solpaneler, der derfor skal være ret store. Så selvom SMART-1 solpanelerne er 14 m lange og over 1 meter brede, får motoren kun en trykkraft på 7G! Præcis den kraft som

påvirker din hånd hvis du puster på den! Så det tager sin tid at nå til Månen.

Derfor benytter SMART-1 også et endnu mere avanceret princip til at nå til Månen. Nemlig de såkaldte trelegeme kræfter. Dette rumrejse princip er yderst kompliceret at regne på, og først for nyligt er man blevet i stand til at udnytte det effektivt til rumnavigation.

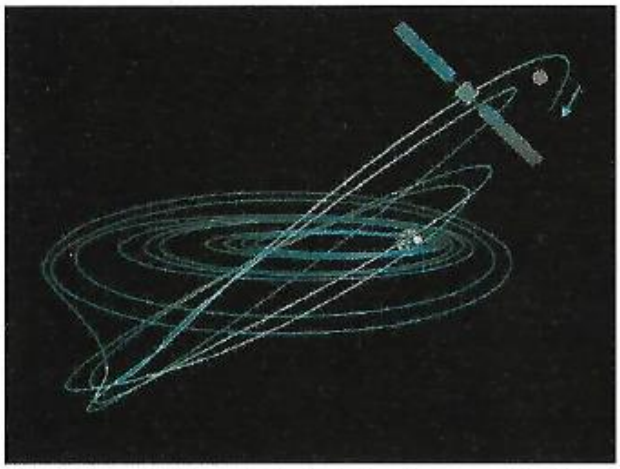


Fig 4. Turen til Månen går først ud via en langsom spiral. Først ved de såkaldte resonanser, vil Månens tyngdefelt ændre banen nævneværdigt. Resonanserne vil først øge apogæum og senere ændre baneplanet. Kilde: ESA

Kort fortalt benytter SMART-1 sig af, at både rumfartøjet og Månen bevæger sig rundt om Jorden. Selvfølgeligt er deres omløbstider og positioner vidt forskellige, og dertil kommer, at SMART-1s omløb konstant ændrer sig på grund af motoren (faktisk måtte det amerikanske forsvar have hjælp fra ESA i starten fordi deres NORAD satellit sporings system ikke kunne følge SMART-1 korrekt).

Når SMART-1 kommer tæt på Månen, kan den selvfølgeligt mærke dens tiltrækningskraft, dvs. den "falder lidt op mod Månen". Da SMART-1s omløbstid er kortere end Månens, vil den accelerere lidt længere tid mens den indhenter Månen, end den opbremses efter passagen. Altså vinder den lidt fart hver gang den indhenter Månen. I lav bane omkring Jorden er denne effekt ikke stor; men når man kommer længere væk, bliver den helt dominerende. Disse møder, hvor Månen totalt ændrer SMART-1 banen kaldes resonanser (fig. 4).

De to fremdriftsprincipper, solelektricitet og måneresonans, mindsker dramatisk den nødvendige mængde brændstof for at nå Månen, fra 10 tons med Apollo teknologi til bare 65 kg for SMART-1; men så tager det også mere end 1 år sammenlignet med Apollos 2 dage.

En anden teknik, som SMART-1 skal teste, og hvor Europa allerede er i front; men hvor kravene fra fremtidens missioner presser virkeligt hårdt på, er den direkte kommunikation via laser. Denne teknologi er velkendt her på Jorden, hvor vi alle dagligt kommunikerer via lys i optiske fibre, når vi taler i telefon. Men fibre ud, og ej heller har relæstationer med jævne mellemrum, der kan forstærke signalet, tårner de tekniske problemer sig op.

Én måde at undgå at for meget signal tabes,

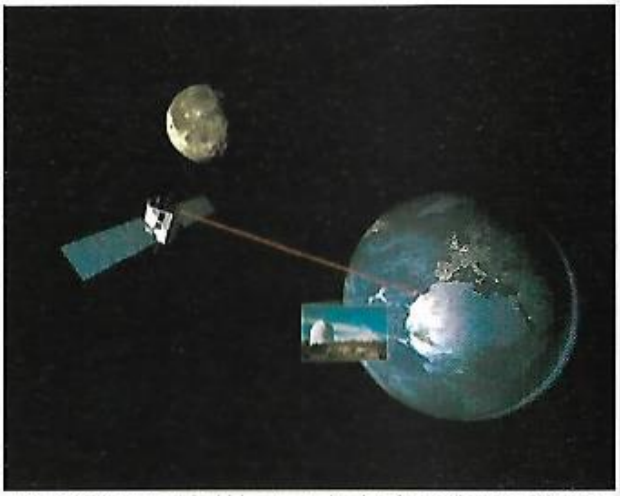


Fig 5. SMART-1 skal bla. teste direkte laser-kommunikation mellem rumfartøjet og en station på Jorden (det astronomiske teleskop på Tenerife). Kilde: ESA

er at sørge for at lyset ikke spredes så hurtigt, altså at bruge laser lys. Men hvis lyset ikke spredes, vil strålen være meget tynd, hvilket gør det svært at ramme målet. Hvis man f.eks. skal kommunikere mellem Mars og Jorden vha. laser lys, er strålen fra Mars, kun på størrelse med Bornholm. Og det er altså ikke let at ramme med sådan en plet fra en afstand af 300 mio. kilometer!

SMART-1 skal teste denne kommunikationsform af ved at "tale" med det astronomiske teleskop på Pico Del Teide på Tenerife ude fra Månen. Fremtidsperspektiverne for teknikken er kolossale. Når den er fuldt udviklet, vil man kunne sende mange video-kanaler over "linien" på samme tid, og ikke som nu, hvor man må vente 5-10 minutter på blot eet enkelt billede fra Mars sonderne. Faktisk er teknologien en

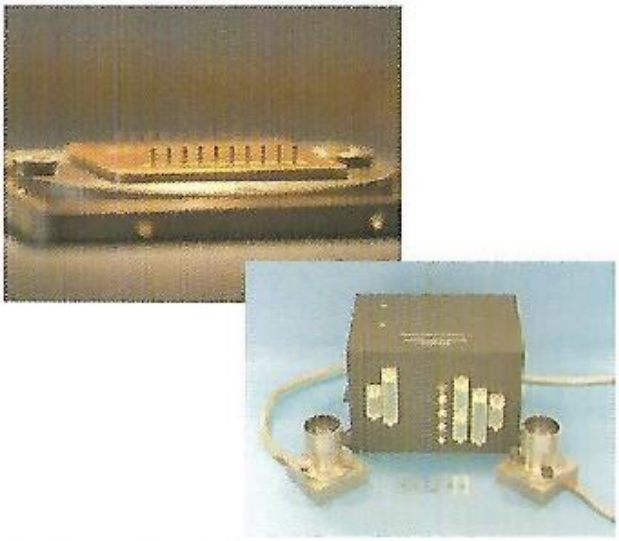


Fig 6. Øverst: For at beskytte den følsomme elektronik, blev flere komponenter pakket ind i et af de bedste afskærmningsmaterialer der findes, 24 karat guld. Kilde: JLJ, DTU

Nederst: Det stjerne navigationsinstrument, som DTU har konstrueret, er ekstremt robust, og skal bl.a. kunne fungere både under soludbrud, i den kraftige stråling i Jordens Van Allen bælter, og samtidig kunne håndtere tidvise blændinger af kameraerne. Kilde: JLJ, DTU

forudsætning for at man kan lave en bemande flyvning til Mars, fordi det er den eneste måde, hvormed man kan kommunikere mellem Jorden og Mars, når Mars er på den anden side af solen, og dermed ses tæt på denne. Derfor arbejder også NASA på højtryk med at udvikle udstyr og metoder, f.eks. planlægges det at bruge det berømte 5m teleskop på Mount Palomar til netop dette. Herudover testes der også en del andre nye metoder og teknikker på SMART-1. De fleste af disse fokuserer på at øge rumfartøjers autonomi, altså deres evne til at klare de (ukendte) problemer, der mødes og må klares undervejs.

Eksempelvis kræver ion-motoren at SMART-1s solpaneler konstant peger mod solen, samtidigt med at motoren naturligvis skal pege bagud. Dette, sammen med den komplekse bane som fartøjet gennemløber, kræver en utrolig præcis og robust styring af fartøjet. Til dette formål har forskere ved Danmarks Tekniske Universitet i Lyngby, konstrueret et fuldstændigt autonomt og ekstremet robust stjerne navigations instrument, der konstant måler rumfartøjets orientering og dermed sørger for at motor og solpaneler er korrekt rettede. Men instrumentet måler også, hvor rumfartøjet befinder sig. Begge funktioner har udstyret vist sig at klare under selv de mest ekstreme strålingsforhold, som SMART-1 kom ud for i oktober-november 2003 i forbindelse med de værste solstorme, der nogensinde er målt. En anden funktion af de danske stjerne-navigations instrumenter, er at de bruges til at rette laserkommunikations-udstyret præcist mod modtageren på Jorden. Dette opnås ved hjælp af en metode, som de danske

forskere udviklede i forbindelse med Ørsted satellittens måleudstyr.

SMART-1 forventes at ankomme til Månen 1 juledag i år, hvorefter de videnskabelige målinger kan begynde. Men selve ankomsten vil også markere indgangen til en ny æra for rumfart, for når SMART-1s fremdriftssystem således har bevist sin ydeevne, vil vejen for en helt ny type rumfart være banet. For det princip som SMART-1 skal bevise, er ikke kun begrænset til en tur til Månen.

Videnskabsfolk har nemlig beregnet at der findes et helt netværk af "korridorer" der gør det muligt at komme økonomisk og billigt mellem planeterne. Dette netværk kræver således kun lidt brændstof, men prisen er at man kommer langsommere frem. F.eks. kan man komme til Mars for kun 4% af det brændstof man bruger nu, men det tager så i stedet 4 år i stedet for de sædvanlige 7 måneder Det SMART-1 tester er derfor fremtidens rumfragt teknologi. Og der er ingen tvivl om, at dette bliver af betydning, uanset hvad vi vælger indenfor rumfarten. NASAs planer om bemandede flyvninger til Månen og senere Mars, baserer sig på, at "lastbiler" med al det tunge udstyr kan sendes i forvejen, så det er klar til brug når mandskabet kommer frem. Det er denne teknologi, der har mindsket prisen med 80% for en bemandet flyvning til Mars på bare 10 år.

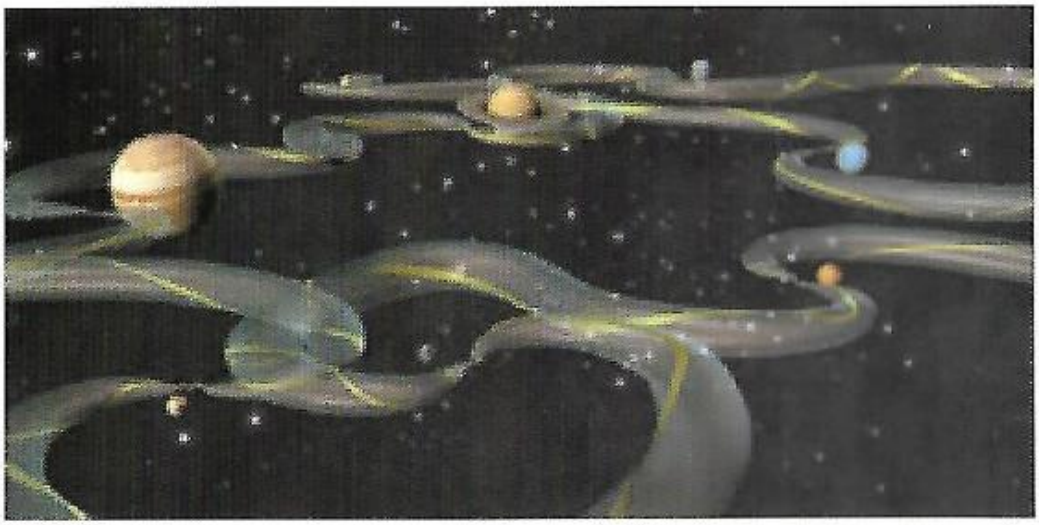


Fig 7. Forskere har bevist, at der eksisterer et helt netværk af transport-korridorer i vores solsystem, der muliggør billig og effektiv transport i rummet. Grundlaget for denne gren af videnskaben blev lagt af den danske astronom Bengt Strømgren, mens han var leder af en forskergruppe på Princeton i USA. Kilde: Koon, Caltech.

ESAs Rosetta-mission

af Jens Guldberg, Terma Industries

Rosetta-mission har været og er en enestående udfordring for ESA. Terma har medvirket på en række missionskritiske områder med udvikling af testsystemer og den centrale strømforsyning. I denne artikel vil Rosattamissionen og baggrunden for de tekniske udfordring samt løsninger på elementer som Terma har leveret blive beskrevet.

Rosetta-missionen

Hovedmålet med missionen er et rendez-vous med kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko startende med opsendelse af Rosetta fra ESAs rumhavn, Kourou i Fransk Guyana den 2. marts 2004. Kometen skal følges og studeres over en periode på to år. Et landingsmodul (også benævnt sonde eller probe) skal landsættes på kometen for at bestemme dens sammensætning, og den skal bidrage med afgørende oplysninger om, hvilke materialer og hvilke former for kemiske stoffer, der kommer ind til vores solsystem fra det ydre rum.

Rosetta er den første mission, som skal uden for asteroidebæltet og som skal klare strømforsyningen alene ved hjælp af solceller. En nyudvikling af solpanelerne tillader disse at fungere i en afstand af mere end 800 millioner km fra solen. Her er energien fra solen kun 4% af, hvad den er på jorden og panelernes arbejdstemperatur vil være omkring +130°C.

Rosetta bliver også den første mission nogensinde, som skal lande på en komet. Efter nedsætningen af landingsmodulet vil selve satellitten følge kometen i dens videre bane mod solen.

Kometen er valgt, fordi den ses som en af de primitive byggestene i vores solsystem. En

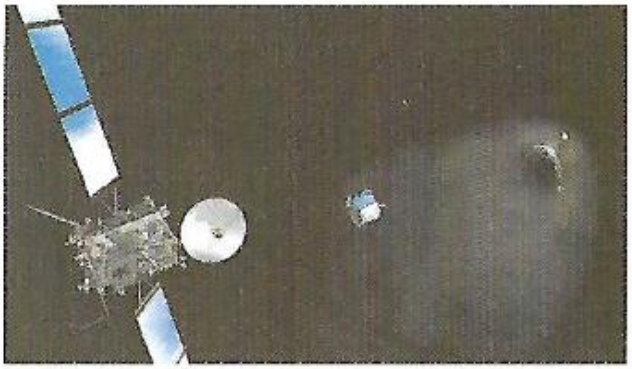


Fig 1. Rosetta møder Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko. Ilustrationl: ESA.

forståelse af dens struktur og sammensætning kan bidrage til at forstå livets opståen i vores del af solsystemet.

Missionen er således et af de mest krævende satellitprojekter til dato. Mange af de komplekse manøvrer for at navigere og til sidst lande proben på kometen skal foregå helt automatisk på grund af den store afstand til jorden. Det komplicerer opgaven endnu mere af følgende grunde:

Det store antal avancerede instrumenter, som konstant skal observere kometen undervejs, er placeret på den side af satellitten, som vender væk fra solen.

Satellitten vil blive udsat for meget store temperatur-variationer.

Den komplicerede landing skal foregå i generende støv- og gaståger, som kometen hele tiden udsender.

Fig 2. Rosetta-lander udmåler Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko. Illustration: ESA.

Selve proben skal automatisk frigøres fra satellitten, mens der navigeres med millimeters nøjagtighed i den planlagte bane.

Selve landingen skal foregå ved hjælp af selvjusterende landingsudstyr, harpuner og et bor, som skal sikre, at sonden forbliver fastholdt til overfladen. Tyngdekraften på komet 67P/Churyumov-Gerasimenko er så lille at sonden, der på jorden vejer 100 kg, kun vejer, hvad der svarer til et almindeligt brev. For at komplicere landingen yderligere skal alle manøvrer foregå helt automatisk.

Når proben er på plads, vil man kunne bestemme forekomsten af mineraler på og lige under overfladen, isotopfordelingen mellem de forskellige grundstoffer, forekomsten af is, strukturen af overfladen i form af styrke, porøsitet, kornstørrelser osv.

Termas bidrag til Rosetta

Under udviklingen af satellitten og dens landingsmodul har Terma bidraget med:

- Udvikling af strømforsyningen til satellitten.
- Validering af software ombord på Rosetta.
- Testsystemet til satellitten.

Rosettas strømforsyning

Beslutningen om at basere strømforsyningen til Rosetta på solenergi har, sammen med krav til ekstremt lav vægt, stillet store krav til design og produktion af den strømforsyning, der skal sikre en automatisk tilpasning dels til solenergien, dels temperaturen omkring solpanelerne.

Terma påtog sig og løste denne opgave, som af EADS Astrium – hovedleverandøren af satellitten – blev betragtet som den største enkelte risiko ved satellitten.

Rosetta er forsynet med store solpaneler på i alt 68 kvadratmeter. I den indre del af solsystemet producerer panelerne ca. 8.700 watt, og i de yderste dele af satellittens bane skal de kunne levere mindst 400 watt. Satellitten er desuden udrustet med tre lithium-ion batterier med en samlet kapacitet på i alt 48 ampere-timer.

Ud fra disse energikilder leverer Termas strømforsyning en reguleret spænding på 28 volt, hvor det størst mulige bidrag til enhver tid kommer fra solpanelerne. For at sikre denne forsyning har Terma udviklet det såkaldte Maximum Power Point Tracking (MPPT) system, som fungerer fuldstændig automatisk.

Når solpanelerne under passage i den indre del af solsystemet har en temperatur på 50°C, leverer de en samlet strøm på 600 ampere - langt mere end der er brug for. Men fjernt ude i solsystemet er temperaturen f.eks. +130°C, og den strøm, panelerne kan levere, er reduceret til ca. 6 ampere. MPPT-funktionen sikrer her, at systemet automatisk skifter arbejdspunkt således, at der altid, når det er

nødvendigt, bruges så megen solenergi som muligt.

Strømforsyningen er satellittens livsnerve og den skal følgelig være så pålidelig som overhovedet muligt. Alle elektronikkredsløb er opbygget som to-ud-af-tre redundante elementer, således at systemet fortsat fungerer også hvis der indtræffer en fejl et eller andet sted i elektronikken.

Hertil kommer, at satellitten til stadighed helt automatisk uden indgriben fra jorden veksler mellem:

at arbejde med strøm fra batterierne alene,

at oplade batterierne samtidig med at resten af satellitten forsynes med strøm,

at forsyne systemer og instrumenter med den nødvendige strøm, mens batterierne igen er fuldt opladede.

Det var et ufravigeligt krav, at strømforsyningen ikke måtte veje mere end 8,3 kg. For at honorere dette krav udviklede Terma nogle specielle teknologier til formålet, hvilket har ført til, at Termas løsning giver den højeste effektivitet indtil nu blandt ESAs leverandører.

Terma har med stor tilfredshed konstateret, at systemet har bestået sin første prøve ved at levere strøm til Mars Express-satellitten, som siden jul 2003 har været i kredsløb omkring Mars.

Sikring af software ombord på satellitten

Med de komplekse og automatiske operationer, Rosetta skal gennemføre, er det helt essentielt, at software-funktionerne ombord forløber sikkert og pålideligt. For alle ESAs

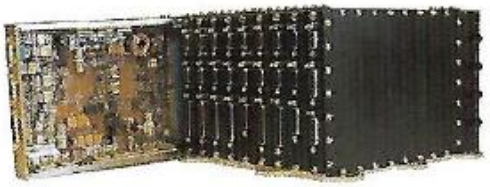


Fig 3. Termas modulære strømforsyning til Rosetta. Foto: Terma.

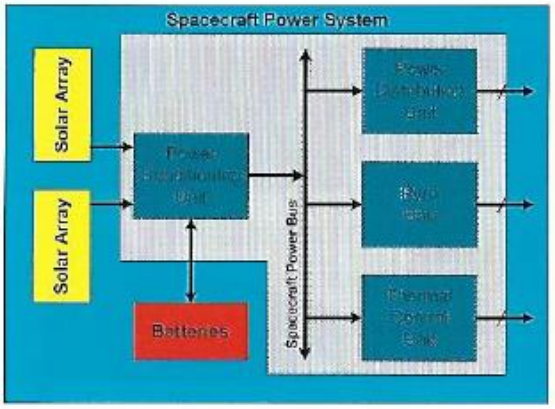


Fig 4. Oversigt over strømforsyningen på en satellit. Illustration: Terma.

videnskabelige og jordobservationssatellitter sikres dette i form af en uafhængig test af softwaren ombord (Independent Software Verification).

Terma har udviklet den metodik og de værktøjer, som nu som standard anvendes inden for ESAs programmer. Dette kaldes også en Software Validation Facility.

I denne *facility* bliver de kritiske dele af softwaren i satellitten testet på den samme computer som findes ombord. Omgivelserne er simuleret således, at man kan følge programafviklingen som den vil fungere i sand tid (real time). Fordelen ved denne fremgangsmåde er, at man har et meget kompakt system, og at man undgår at skulle opbygge dyre og komplicerede testsystemer med ekstra kopier af alle elektronik-systemerne.

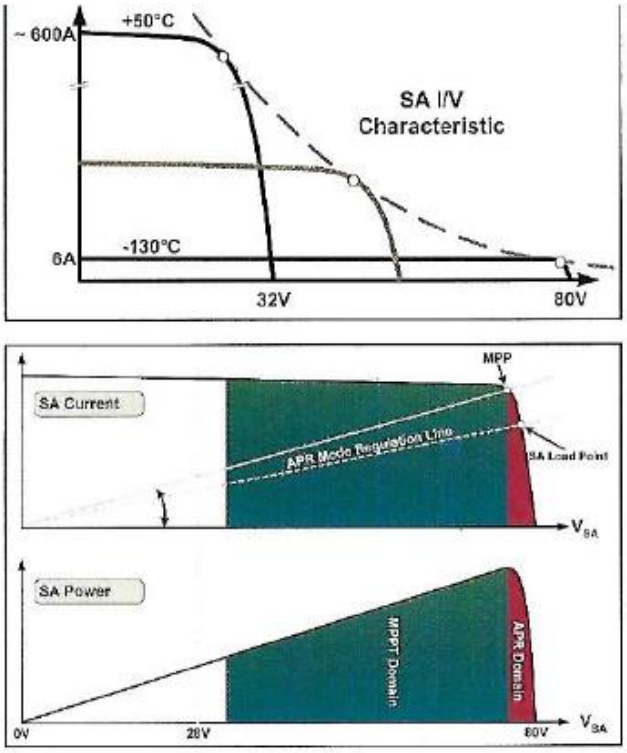


Fig 5. MPPT-funktionen optimerer automatisk. Illustratiopn: Terma.

Når satellitten er i sin bane, kan systemet anvendes igen, når man f.eks. vil opdatere softwaren i satellitten og skal afprøve ændringerne, inden de sendes op til satellitten.

Med det lange forløb i tid inden satellitten når selve kometen, kan en del software implementeres undervejs, men af hensyn til systemer og funktioner, som skal virke under og umiddelbart efter opsendelsen, er det vigtigt, at den grundlæggende software fungerer korrekt. Derfor har Terma også arbejdet tæt sammen med EADS Astrium for at sikre, at alle de nødvendige funktioner i starten af missionen fungerer som de skal.

Foruden Rosetta har Terma leveret valideringsfaciliteterne til fem andre ESA-satellitter og gennemført den uafhængige verifikation på to andre missioner.

Test-systemer til satellitten

En systematisk og grundig test af alle satellittens funktioner er nødvendig, inden den sendes i kredsløb. De komplicerede satellitter, ESA anvender, har så mange indbyggede funktioner, at særlige computer-styrede testsystemer er nødvendige.

Igennem mere end 25 år har Terma udviklet sådanne systemer. I starten blev disse systemer udviklet for ESA og derefter stillet til rådighed for leverandørerne af den pågældende satellit.

Senere er systemerne opbygget omkring særlige softwarekerner, der er udviklet af de større leverandører af satellitter, men som så skal tilrettes til den enkelte videnskabelige ESA-satellit. Hertil kræves en stor forståelse for, hvordan satellitten fungerer helt ned til de fineste detaljer.

Til Rosetta var den mest økonomiske løsning på det tidspunkt, hvor systemet skulle levereres, en softwarekerne under udvikling af EADS Astrium under betegnelsen "Open Centre". På baggrund af mange års samarbejde med EADS Astrium i Toulouse havde Terma den nødvendige ekspertise til at tilbyde en løsning baseret på dette system.

Fig 6. Software Validation Facility til uafhængig verifikation af kritisk software. Foto: Terma.

Fig 7. Elektrisk test af Rosetta. Foto: ESA.

Bortset fra de store satellitbyggere i Europa er Terma det uafhængige firma, som har størst erfaring med denne form for funktionstest af satellitter.

Senest har Terma til den kommende ESA-mission Herschel/Planck fået lejlighed til at realisere et meget gammelt ønske hos ESA om at anvende den samme softwarekerne til at teste satelitten, inden den sendes op, som skal anvendes i kontrolcenteret, hvorfra satellitten bliver styret i dens bane efter opsendelsen. Herved sikrer man, at alle de data om satellitten, som findes efter den gennemgribende funktionstest, genbruges fuldt og helt i operationscenteret under driften. For ESA betyder dette en væsentlig reduktion i udviklingsomkostningerne for den enkelte mission.

E-mail-annoncering

Er du tilmeldt Selskabets mailliste, får du tilsendt en påmindelse før møder og foredrag. Vi sender dig også en besked, hvis et møde bliver aflyst eller flyttet.

Tilmelding til maillisten kan ske på Selskabets hjemmeside rumfart.dk, enten i panelet til venstre eller ved at ved at vælge "*Medlemsservice*" under "*Om Selskabet*" og herefter vælge "*Mailliste*".

Dansk deltagelse i ESAs Sol- og Sol-Jord missioner

af Jørgen Christensen-Dalsgaard, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

I det sidste ti-år har ESAs aktiviteter inden for udforskningen af Solen og Solens vekselvirkning med Jorden været koncentreret om to missioner: SOHO og CLUSTER. Projekterne indgik som den første såkaldte hjørnesten i ESAs langsigtede program Horizon 2000, der blev vedtaget i 1984. De var en del af Solar-Terrestrial Science Programme (STSP), et samarbejde der også involverede NASA og det japanske rumprogram. SOHO har en lang række instrumenter til udforskning af Solens atmosfære og indre, mens CLUSTERmissionen, der består af 4 satellitter, undersøger Jordens magnetosfære og de fysiske processer, der foregår i den. Dansk Rumforskningsinstitut bidrog med udvikling af elektronik til instrumenter på CLUSTER, ligesom instituttet, gennem ansættelse af en postdoc, har været involveret i undersøgelsen af plasmafysiske fænomener i magnetosfæren Den danske deltagelse i SOHO-projektet har koncentreret sig i min gruppe om helioseismiske undersøgelser af Solens indre, i høj grad støttet gennem deltagelsen i Teoretisk Astrofysik Center finansieret af Danmarks Grundforskningsfond. I det følgende vil jeg derfor koncentrere mig om SOHO.

Som i alle rumprogrammer har vejen til SOHOs nuværende succes været lang, og indimellem trang. Forberedelserne til projektet startede for mere end 20 år siden. Forud for den endelige godkendelse i 1984 gik en lang række studier. Fra dansk side deltog jeg i det såkaldte Fase-A studium af SOHO, der definerede en mulig mission til opfyldelse af de videnskabelige mål. Herefter fulgte den endelige udvælgelse af instrumenter. Jeg deltager som Co-Investigator på to helioseismiske instrumenter:

- GOLF (Global Oscillations at Low Frequency), der sigter mod at observere solsvingninger af meget stor skala, med lave frekvenser og meget små amplituder. GOLF ledes af Alan Gabriel, Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay.
- MDI (Michelson Doppler Imager), der observerer svingninger på alle skalaer, men muligvis med lidt lavere præcision end GOLF. Projektet ledes af Phil Scherrer, Stanford.

Fig 1. SOHO, i kunstnerisk gengivelse. Illustration: ESA.

Bygning af satellitten og instrumenterne, og forberedelserne til data-analysen, tog næsten ti år, men i efteråret 1995 var SOHO klar til opsendelse. Et første opsendelsesforsøg blev afbrudt, da det viste sig at en lille del af raketmotoren ikke opfyldte de krævede specifikationer. Den blev udskiftet, og 2. december 1995 blev SOHO opsendt. Efter nogle måneders flyvning gik satellitten i marts 1996 ind i sin endelige bane, omkring det såkaldte første Lagrange-punkt mellem Solen og Jorden, ca. 1,5 millioner km fra Jorden. Her ophæver Solens og Jordens

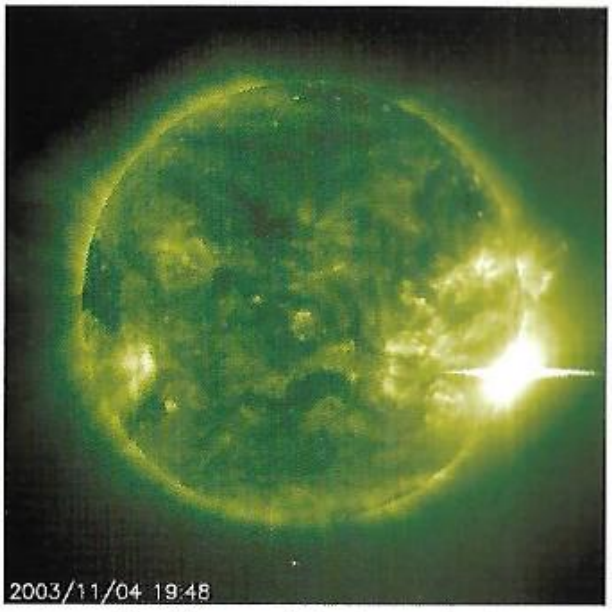


Fig 2. Et af de voldsomste soludbrud nogen siden observeret fandt sted 4. november 2003. Billedet er taget med EIT instrumentet på SOHO, i ultraviolet lys.

tyngdekraft populært sagt hinanden; SOHO er i en relativt stabil bane med kun begrænset behov for korrektion, hvorfra Solen kan observeres uden afbrydelser.

I den mellemliggende periode har SOHO, med få men væsentlige undtagelser, fungeret problemfrit. Det alvorligste problem indtraf i sommeren 1998. Den 25. juni førte fejl i en rutineoperation til et fuldstændigt tab af kontrollen med satellitten; som følge heraf kom solcellerne i skygge, og uden strøm til kommunikationssystemet mistede man helt kontakten med satellitten. Efter seks nervepirrende uger var satellittens orientering relativt til Solen ændret så meget at solcellerne igen producerede strøm, og kontakten med, og kontrollen over, SOHO blev gradvist genetableret frem til 25. september, hvor normale observationer kunne genoptages. Mirakuløst nok var ingen af instrumenterne blevet beskadiget af de meget voldsomme temperaturudsving i den periode, hvor satellitten var ude af kontrol.

Inden for det seneste år er der opstået problemer med styringen af satellittens High-Gain antenne, og det giver reduktioner i data transmissionen hver tredje måned. Ikke desto mindre har projektet været en meget stor teknisk og videnskabelig succes; det er planen at fortsætte SOHOs observationer indtil 2007, hvor NASA forventer at opsende Solar Dynamics Observatory (SDO), der kan overtage og udvide dele af SOHOs aktivitet.

En rumvejrssatellit

De mest spektakulære observationer fra SOHO er foretaget af instrumenter der observerer Solens atmosfære. Observationer i kortbølget ultraviolet lys afspejler forholdene i meget varme dele af atmosfæren, specielt koronaen, hvis dynamiske fænomener hænger nøje sammen med de kraftige magnetfelter i solpletter. Ekstreme eksempler er meget voldsomme udbrud der skyldes eksplosioner i magnetfeltet, og som

Fig 3. Komet Bradfield, observeret 17. april i år med LASCO instrumentet på SOHO. Solens lysende overflade, markeret med den hvide cirkel, er afskærmet så man kan se strukturer i Solens korona.

udslynger skyer af plasma og magnetfelt gennem solsystemet. Hvis en sådan sky rammer Jorden kan den forårsage nordlys på vore breddegrader, forstyrre radiokommunikation og elforsyning og være til fare for satellitter og astronauter. Observationerne fra SOHO giver typisk et varsel en dag eller to før udbruddet rammer Jorden, og SOHO kan altså siges at fungere som en rumvejrssatellit.

Et andet instrument observerer Solens ydre korona i synligt lys. Det har givet fascinerende information om koronaens struktur og dynamik, herunder udbredelsen af udbrud fra Solen. Desuden er over 750 kometer blevet observeret med dette instrument når de passerer tæt forbi Solen; i nogle tilfælde tyder observationerne på at kometerne har ramt Solen eller er fordampet under deres passage af Solen.

Andre instrumenter har foretaget detaljerede observationer af dynamikken i solatmosfæren gennem målinger af hastighed og temperatur, og atter andre instrumenter måler direkte solvindens dynamik og sammensætning i satellittens position. Alt i alt har SOHO givet enestående detaljeret information om forholdene i Solens atmosfære og solvinden.

Under Solens overflade

De danske SOHO-aktiviteter går mere i dybden. Ud fra målinger af svingninger på Solens overflade har vi studeret forholdene i Solens indre med hidtil uset nøjagtighed. Ved at sammenligne med beregninger af solmodeller kan vi få information om de fysiske egenskaber af stoffet i Solen. Endvidere har det været muligt at bestemme hvordan Solens rotation varierer med positionen i Solens indre; det danner baggrund for de igangværende forsøg på at forstå årsagerne til Solens magnetiske aktivitet, inklusive 11-års variationen i antallet af solpletter.

Disse undersøgelser er baseret på Solens uafladelige skælven, der kan observeres som variationer i hastigheden og lysintensiteten af soloverfladen. Den skyldes et meget stort antal stående lydbølger, der holdes i gang af de voldsomme gasbevægelser når Solens overflade, hvor opstigende varm gas transporterer energien fra Solens indre til overfladen. Sådanne gasbevægelser udsender støj, der kan danne resonans med Solens egensvingninger. Det samme fænomen sker

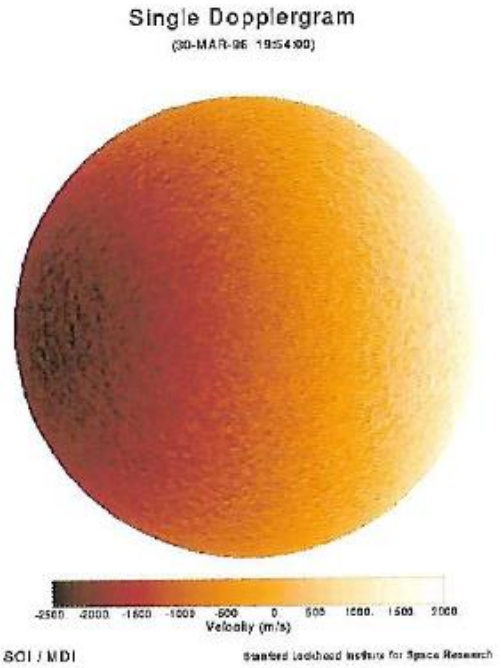


Fig 4. 'Hastighedsbillede' af soloverfladen taget med MDI-instrumentet på SOHO. Farveskalaen markerer hastigheden i retning mod instrumentet. De mørke områder bevæger sig mod os med op til 2 km/sek, mens de lyse områder bevæger sig væk fra os. Effekten af Solens rotation ses tydeligt som en variation fra venstre mod højre. De øvrige variationer skyldes overvejende den kombinerede effekt af de mange millioner individuelle svingninger af Solen.

når man laver en tone ved at blæse forbi mundingen på en flaske; i dette tilfælde sættes luften i hele asken i svingninger selv om den oprindelige støj dannes ved askens munding, og tonehøjden afhænger af hvor meget øl der er tilbage i asken. På samme måde involver Solens svingninger typisk et stort område af Solens indre, og svingningsperioden er bestemt af forholdene i dette område; en vigtig parameter er variationen af lydhastigheden, men også Solens rotation og andre gasbevægelser i Solens indre kan give en målelig påvirkning af svingningerne. Ved at kombinere informationen fra et meget stort antal svingninger kan man få detaljeret information om disse egenskaber; analysen anvender teknikker, der minder meget om geofysikeres analyse af jordskælvsdata.

Solsvingningerne har typiske perioder nær fem minutter. Udsvingene i de enkelte svingninger er meget små, kun nogle få meter, svarende til hastigheder på op til ca. 20 cm/sek. De tilsvarende variationer i lysintensiteten er nogle få milliontedele. Ikke desto mindre har det været muligt at foretage meget nøjagtige målinger af svingningernes egenskaber. De mest detaljerede observationer er foretaget af MDI instrumentet på SOHO, der optager et 'hastighedsbillede' af hele soloverfladen hvert minut, ved hjælp af Dopplereffekten. Ved hjælp af en kompliceret analyse af lange tidsserier af disse billeder kan man adskille bevægelsen af soloverfladen i komponenter svarende til de enkelte svingninger, og dermed bestemme svingningernes perioder.

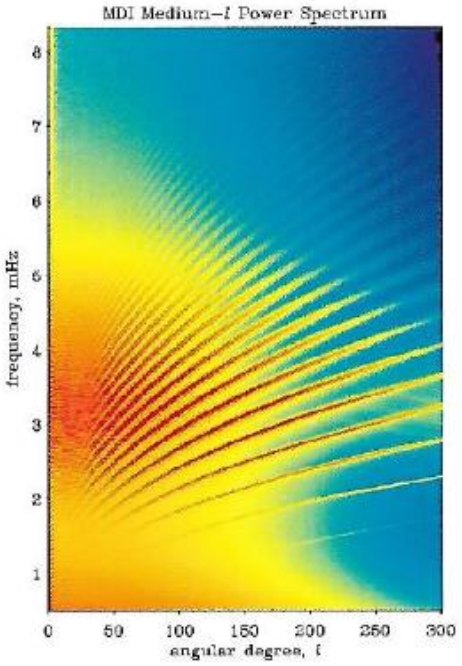


Fig 5. Svingningsspektrum baseret på observationer fra MDI-instrumentet på SOHO. Den vandrette akse angiver svingningernes bølgetal l og den lodrette akse deres frekvens. Farveskalaen angiver svingningsintensiteten, kraftigst i de røde områder. For hvert bølgetal observeres et antal svingninger, med voksende antal nulpunkter (knuder) i den radiale retning. Den laveste, svagt synlige, svingning svarer til overfladebølger, som man også ser på vandoverflader. De øvrige svingninger skyldes lydbølger i Solens indre.

Svingningerne karakteriseres ofte ved et bølgetal l og frekvensen ν. Bølgetallet er tilnær-melsesvis givet ved $l \cong 2\pi R/\lambda$, hvor R er Solens overfladeradius, og λ er bølgelængden af svingningen på Solens overflade. Svingninger med $l = 0$ svarer til kugle-symmetriske udsving, hvor hele Solens overflade svinger ud og ind i samme takt. De observerede svingninger går fra $l = 0$ til flere tusinde. Frekvensen ν er givet som $\nu = 1/\Pi$, hvor Π er perioden; ν opgives typisk i mHz, hvor en periode på fem minutter svarer til en frekvens på ca. 3,3 mHz. Svingnings-intensiteten kan så illustreres med en farve-skala i et $l - \nu$ diagram. Ud fra sådanne

diagrammer kan frekvenserne af de enkelte svingninger bestemmes.

Indsatsen ved Institut for Fysik og Astronomi har koncentreret sig om analysen af de målte svingningsfrekvenser, for at bestemme den indre struktur og rotation af Solen, samt undersøge de fysiske egenskaber af stoffet i Solen. I samarbejde med Geofysisk Afdeling har vi desuden udviklet og anvendt teknikker til såkaldt lokal helioseismologi, for at undersøge lokale variationer i strukturen under soloverfladen, f.eks. i forbindelse med solpletter.

Solen som fysiklaboratorium

Undersøgelser af Solens struktur er generelt baseret på en sammenligning mellem observationerne og modeller af Solens indre. Modellerne beregnes ved en numerisk løsning af ligningerne for stjerners struktur og udvikling; på den måde kan man følge ændringerne fra Solens dannelse frem til den nuværende alder, der er kendt ud fra analyse af meteoritter. Modellerne afhænger af antagelser om de fysiske egenskaber, så som termodynamik, kernereaktioner og vekselvirkning med stråling, af stoffet i Solen. Ved at sammenligne modellernes forudsigelser med observationerne får vi derfor afprøvet disse antagelser; ud over at give et bedre grundlag for beregning af modeller af andre stjerner giver analysen derfor grundlæggende indsigt i stoffets egenskaber ved de ekstreme forhold, der hersker i Solen. Vi kan bruge Solen som et laboratorium for plasmafysik. Da de observerede svingninger skyldes lydbølger er det mest naturligt at sammenligne lydhastigheden i modellerne med lydhastigheden i Solen; de observerede frekvenser er tilstrækkelig nøjagtige til at vi kan bestemme forskellen i lydhastighed mellem modellen og Solen i det meste af Solens indre. Vores analyser har faktisk vist en forbløffende god overensstemmelse mellem modeller og observationer. Der er dog stadig uoverensstemmelser som kan skyldes fejl i den anvendte fysik, specielt i forbindelse med absorption af stråling, eller måske blandingsprocesser i Solen der ikke er taget med i modelberegningerne. Disse effekter forskes der stadig ihærdigt i.

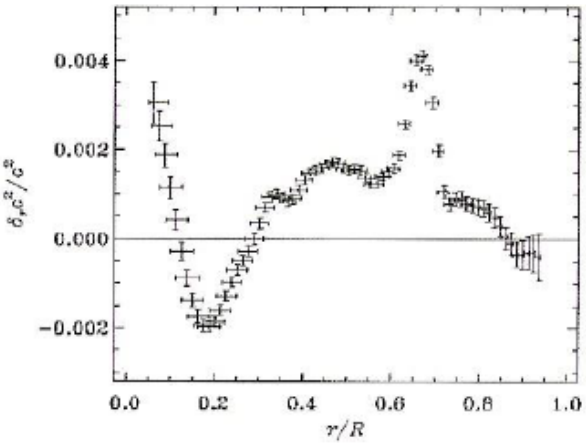


Fig 6. Den relative forskel mellem lydhastighedens kvadrat i Solen og i en solmodel (solen - modellen). Den vandrette akse angiver afstanden til Solens centrum, i enheder af Solens overfladeradius. De lodrette streger markerer usikkerheden i bestemmelsen, mens de vandrette streger indikerer opløsningen.

Solens indre rotation

Bestemmelsen af Solens indre rotation kræver analyse af et meget stort antal svingningsfrekvenser, og er derfor umiddelbart et alvorligt numerisk problem. Det lykkedes dog for Rasmus Munk Larsen i vores gruppe, i samarbejde med Datalogisk Afdeling, Matematisk Institut, at udvikle meget effektive numeriske teknikker, der har muliggjort fuld udnyttelse af observationerne. Hermed har vi kunnet bestemme hvordan rotationen varierer i det

meste af Solens indre. Det er specielt vigtigt fordi den teoretiske forståelse af de processer, der bestemmer stjerners indre rotation, er meget mangelfuld. Observationer af Solens overflade viser at ækvator roterer hurtigere end polerne: rotationsperioden er ca. 25 døgn ved ækvator og mere end 30 døgn ved polerne. Vores resultater, ud fra analyse af svingningsmålingerne fra SOHO, viser at denne variation med breddegraden på Solen holder sig i de ydre ca. 28 % af Solens radius; i dette område, konvektionszonen, sker energitransporten ved gasbevægelser, hvor varm gas stiger til vejrs og kold gas synker ned. Ved bunden af konvektionszonen er der en brat overgang til stort set konstant rotation i det indre af Solen. I grænselaget varierer rotationshastigheden altså meget hurtigt med afstanden til Solens centrum. Dette område antages normalt at spille en afgørende rolle for dannelsen af Solens magnetfelt og de variationer i magnetfeltet, der afspejles i den 11-årige solpletcyklus. På grund af variationerne i rotationshastigheden bliver Solens magnetfelt 'viklet op' når bunden af konvektionszonen, indtil det bliver så kraftigt at det stiger til vejrs. Når et bundt magnetfelt når op i atmosfæren danner det en magnetisk bue, der på Solens overflade er markeret af et par solpletter. Vi er dog endnu langt fra at forstå detaljerne i disse processer.

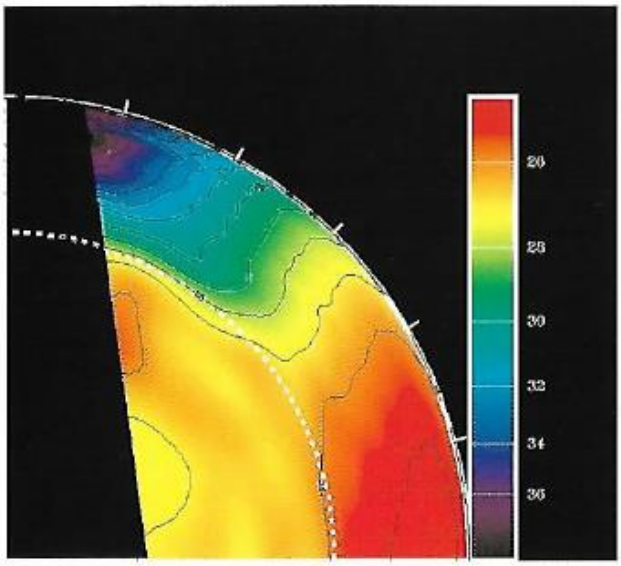


Fig 7. Rotationen i et tværsnit af Solen, bestemt ud fra analyse af svingningsfrekvenser målt med MDI på SOHO. Ækvator er vandret, og rotationsaksen er lodret; i det sorte område til venstre er der ikke tilstrækkelige data til at bestemme rotationen. Farveskalaen angiver den lokale rotationsperiode i døgn, og perioderne er også angivet med konturer ved 25, 26, 27, ... døgn.

Med otte års observationer fra SOHO er vi i stand til at studere variationerne i Solens indre gennem en stor del af den 11-årige solcyklus. Ændringerne i Solens struktur er tilsyneladende begrænset til de alleryderste lag, der er væsentligt påvirket af Solens magnetfelt. Derimod er der interessante variationer i Solens rotation. Vi har fundet bælter af områder med lidt hurtigere og langsommere rotation i en stor del af konvektionszonens dybde, der gradvist bevæger sig mod ækvator. Endnu mere overraskende var opdagelsen af en mulig svingning med en periode på ca. 16 måneder i rotationen når bunden af konvektionszonen. Yderligere observationer, ideelt set over en eller flere solpletcykler, er dog nødvendige for at afgøre om denne effekt er reel, og for at undersøge dens sammenhæng med de magnetiske variationer. Disse studier vil utvivlsomt have stor betydning for vores muligheder for at forstå, og måske ad åre forudse, variationerne i Solens magnetiske aktivitet.

Nærbilleder af solpletters fødsel

Som nævnt ovenfor dannes solpletter når bundter af magnetfelt stiger til vejrs fra Solens indre og bryder igennem soloverfladen. I princippet kunne det derfor være muligt at observere magnetfeltet under Solens overflade, inden dannelsen af solpletterne, og dermed måske forudsige risikoen for soludbrud. Vi har dog stadig meget begrænset forståelse af detaljerne i de involverede processer, ligesom vores viden om solpletternes struktur og dynamik under Solens overflade er usikker.

Lokal helioseismologi begynder nu at give information om disse processer. Jesper Munk Jensen har i vores gruppe videreudviklet teknikker oprindelig udviklet inden for geofysikken til analyse af data fra MDI. Resultaterne viser meget klart ændringer i udbredelsen af bølger under Solens overflade i forbindelse med solpletter; disse ændringer er dels en direkte effekt af magnetfelterne, dels en følge af ændringer i temperaturen i forbindelse med solpletterne. Ved at analysere en serie data kan man følge hvordan strukturen udvikler sig i forbindelse med dannelsen af en solplet. Desværre ser det ud til at solpletterne dannes så hurtigt, i løbet af få timer, at man ikke kan nå at 'fange' magnetfeltet under soloverfladen inden solpletten dukker frem.

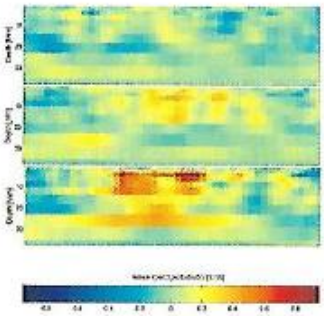


Fig 8. Effekten af en solplet på bølgehastigheden, i snit af strukturen under soloverfladen; dybden er angivet i enheder af Mm (dvs. 1000 km), og farveskalaen angiver ændringen i bølgehastigheden. De tre paneler viser observationer svarende til tre på hinanden følgende 8-timers perioder. I det øverste (tidligste) panel er der endnu ikke nogen effekt på bølgehastigheden. I det midterste panel er bølgehastigheden påvirket af det opstigende magnetfelt, der fører til dannelsen af en solplet på soloverfladen. I det nederste panel er solpletten og den magnetiske struktur fuldt etableret. Analysen er foretaget af Jesper Munk Jensen.

Andre analyser af data fra MDI, foretaget af grupper i USA, har vist at man ud fra målingerne kan 'se' store solpletområder på Solens bagside. På grund af Solens rotation vil sådanne områder to uger senere være på den side af Solen, der vender mod Jorden, således at eventuelle udbrud som området forårsager kunne have ubehagelige effekter. Hermed kan man altså forudsige en risiko for soludbrud og tage de nødvendige forholds-regler, f.eks. i forbindelse med astronauters aktiviteter.

Lokal helioseismologi er et centralt område for SDO, SOHOs afløser. Selv om aktiviteterne i Århus-gruppen i stigende grad retter sig mod asteroseismiske undersøgelser af andre stjerner har vi også en lille aktie i SDO. Således regner vi med også i de kommende år at kunne yde et bidrag til forståelsen af Solen og dens effekt på Jorden.

Cassini/Huygens - Rejsen til Saturn

af Finn Willadsen, finn@rumfart.dk

Saturn er en af de 5 klassiske planeter, der har været kendt siden antikken. Således findes der nogle hieroglyffer "Horus himlens tyr", der betyder planeten Saturn på oldægyptisk. Indtil William Herschels opdagelse af planeten Uranus i 1781 var Saturn endvidere den yderste af de kendte planeter. Saturn er samtidig den næststørste planet med en diameter på 120.000 kilometer ved ækvator. Men den er nok mest kendt som planeten med ringene. Saturns ringe blev observeret allerede af Galileo i 1600-tallet; men der gik en del år før det blev klart, at det drejede sig om ringe. Indtil det i 1977 blev opdaget, at også Uranus har ringe, blev Saturns ringe anset for noget yderst eksotisk. I 1979 blev det opdaget, at den største planet i solsystemet, Jupiter, også har et ringsystem. Saturns ringe gør sig dog endnu bemærket ved at være usædvanligt omfangsringe.

Allerede i 1600-tallet blev der opdaget 5 måner omkring Saturn, hvoraf den vigtigste var Titan, der endvidere har vist sig at være den eneste måne i systemet med en tæt atmosfære. Samtidig er Titan den næststørste måne i solsystemet kun overgået af Jupitermånen Ganymedes. Titan tilhører dermed gruppen af de 7 kæmpemåner i Solsystemet.

Historisk baggrund

Saturn har haft besøg af 3 rumsonder: Pioneer 11 passerede som den første rumsonde Saturn den 1. september 1979. Voyager 1 passerede Saturn den 12. november 1980 og Voyager 2 passerede Saturn den 25. august 1981.

Fig 1. Saturn taget fra Cassini/Huygens den 16. maj 2004 med Cassini/Huygens nærfeltskamera. Cassini er 24.3 millioner km fra Satrun og på dette tidspunkt resterer 36 dage inden ankomsten til Saturn. Cassini har to kameraer: et vidvinkel- og et nærfeltskamera. Billedet er taget med nærfeltskameraet under anvendelse af tre filtre (rød, grøn og blå), og er taget under en indfaldsvinklen på 13° under ækvator. Enceladus, en af Saturns 31 kendte måner, ses i nærheden af den sydlige pol i bunden af billedet. Foto: ESA/NASA.

Kameraerne var væsentlig bedre på Voyager-sonderne, hvorfor det meste af vores viden om Saturn stammer fra disse to rumsonders korte passage af Saturn-systemet. Voyager 2 fløj videre imod Uranus, medens Voyager 1 fløj tæt forbi Titan for at tage nærbilleder at månen; men Titan viste sig at være dækket af et tykt skydække.

I begyndelsen af 1970-ernes foretog NASA en række bemandede missioner til Månen og senere til rumstationen Skylab. På det tidspunkt blev der imidlertid skåret kraftigt i bevillingerne og ikke mindst i de bemandede rummissioner. Medens mange af de store

planer om ikke mindst bemandede rejser til Mars blev sløjfet, fik mange af planerne om ubemandede lov at fortsætte. Et eksempel på en sådan mission var den just afsluttede Jupitermission Galileo. Et andet eksempel er Cassini-missionen, der også kan føres helt tilbage til 1970-erne. Oprindeligt var det planen at opsende Cassini i januar 1987, men der indløb mange forsinkelser undervejs ikke mindst i forbindelse med rumfærgen Challengers forlis i 1986.

Cassini har hele vejen været et samarbejde mellem NASA og ESA, hvor ESA lavede en lille sonde kaldet Huygens, der skulle lande på månen Titan. NASA skulle så stå for resten af missionen. Så endelig den 15. oktober 1997 blev Cassini/Huygens sendt afsted med en TITAN-IVB raket, hvor Centaur var øverste trin. Det var med mere end 10 års forsinkelse.

Fig 2. Opsendelsen af Cassini/Huygens skete den 15. oktober 1997 kl. 09.43 (dansk normal tid) med en Titan IV-raket fra Cape Canaveral, Florida. Foto: NASA

Cassinni/Huygens skulle gennem en række gravity-assist-manøvrer for at få fart nok på til at nå Saturn. Den første skete den 26. april 1998, hvor sonden passerede planeten Venus. Den 24. juni 1999 passerede sonden Venus endnu en gang. Den 18. august passerede sonden Jorden og den 30. december 2000 passerede Cassini/Hyugens planeten Jupiter.

Ankomst til Saturn

Den 1. juli 2004 ankom Cassini/Huygens til Saturn og gik i bane om den. Den 26. oktober 2004 og 13. december 2004 passerer sonden måner. Titan. Igen 25. december 2004 vil Cassini passere Titan og sonden Huygens vil blive frigjort for at lande på Titan. Oprindeligt var det planen at Huygens skulle være frigjort ved en tidligere passage, men undervejs fra Jupiter til Saturn blev det opdaget, at kommunikationssystemet mellem Cassini og Huygens ikke tog tilstrækkeligt hensyn til doppler-effekten. Det vil sige, at den relative hastighed mellem Cassini og Huygens ville ændre sig hurtigere end systemet kunne klare. Derfor blev planerne for Cassini/Huygens ankomst lagt om, således at Cassini passerer Titan i langt større afstand ved passagen den 25. december 2004 end oprindeligt planlagt.

Cassini-sonden uden Huygens vil igen passere Titan i februar 2005 og herfra vil den starte på de oprindelige planer for Cassinis studier af Saturn-systemet omfattende mere end 70 omkredsninger om Saturn og 43 passager af Titan foruden passager af en del af de øvrige Saturn-måner, heraf 7 passager indenfor 1000 kilometer af nogle af disse måner. Hvis rumsonden forsat fungerer efter

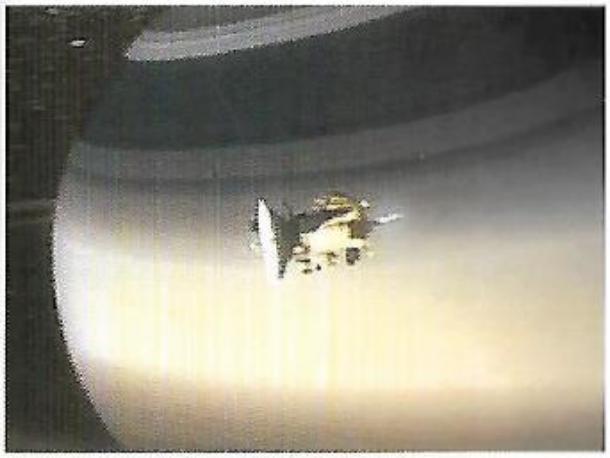


Fig 3. Cassini/Huygens affyrer sin raket under indtræden i kredsløb om Saturn. Illustration: NASA.

at disse planer er gennemført engang i 2008 er der vel mulighed for at forlænge missionen som det skete med Galileo ved Jupiter.

Cassini/Huygens sonden

Cassini er den tungeste interplanetariske rumsonde, der nogensinde er opsendt af NASA. Kun de sovjetiske/russiske mars sonder Mars96, Phobos 1 og Phobos 2 var tungere og så var det kun Phobos 2, der nåede sit mål Mars. Cassini bliver nok også den sidste af de relativt kostbare rumsonder, der blev planlagt i 1970-erne med et budget omkring 10 gange så stort som rumsonderne planlagt i 1990-erne eller senere. Cassini er så til gengæld udrustet med 27 forskellige instrumenter omfattende kameraer i det infrarøde, det synlige og det ultraviolette område. Derudover er der udstyr til at måle magnetfelt, støv og koncentrationen af ioner. Et særlig interessant instrument er en aperaturradar, som skal bruges til at kortlægge Titans overflade gennem skydækket. Et sådant instrument er tidligere blevet anvendt med stor succes på flere missioner til planeten Venus.

Landingsdelen Huygens er ESAs bidrag. Også danske firmaer har været involveret i udviklingen af denne landingssonde, som iøvrigt bliver ESAs første landing på et fremmed himmellegeme. Cassini-sonden får sin energi fra en RTG, som er en radioaktiv kilde basseret på Plutonium238 - ikke at forveksle med Plutonium239, som man kan lave bomber af. Cassini-sonden kan derfor forventes at fungere i mange år. Huygens-sonden er udrustet med batterier og vil derfor kun virke i få timer; men det er håbet, at den vil overleve anslaget mod overfladen og fungere nogle minutter på overfladen af Titan.

Huygens er udrustet med 6 forskellige instrumenter, primært til at måle sammensætningen af atmosfæren og meteorologisk forhold såsom vind, støvindhold med mere. Et andet vigtigt instrument skal tage billeder på vejen ned og med lidt held også give billeder fra selve overfladen på Titan. Sonden har også udstyr til at undersøge sammensætningen af overfladen, herunder at måle dybden på søen, hvis sonden skulle

Fig 4. Kunstners opfattelse af Huygens indtrængen i Titans atmosfære. Illustration: ESA/NASA.

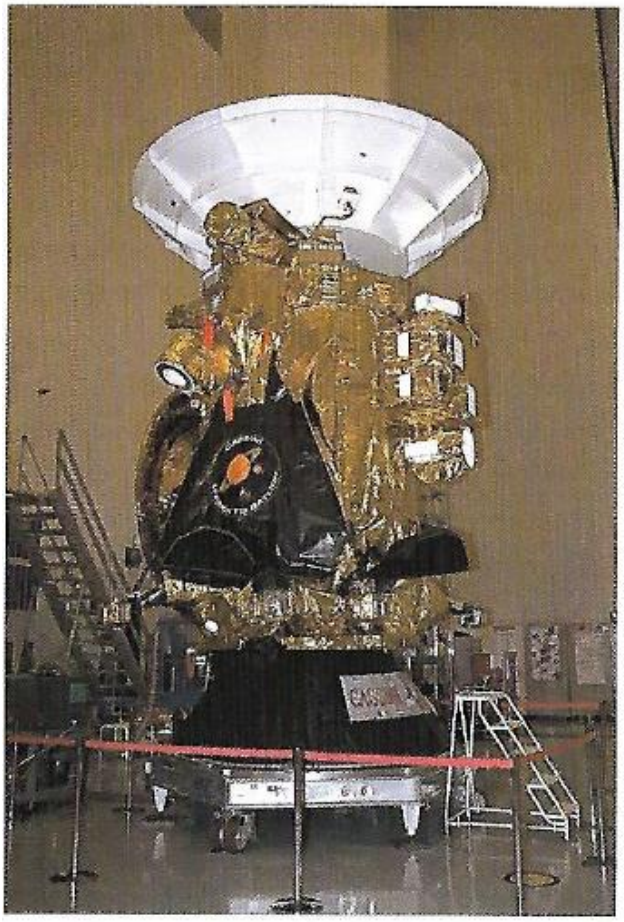


Fig 5. Cassini-sonden udstillet inden afgangen til øre for pressen. Sonden var opstillet på Kennedy Space Center i august 1997. Hovedantennen er parabolen med en diameter på 4 meter, som ses øverst i billedet. Foto: NASA/KSC.

lande i en metansø.

En rummission med Saturn som mål må naturligvis også foretage omfattende studier af Saturns mere end 1000 ringe. Cassini vil da også få mulighed for at tage mange detaljerede billeder af ringene i forskellige bølgelængder og fra forskellige vinkler. Fra Jorden kan man kun tage billeder af ringene så at sige med Solen i ryggen; men Cassini vil også have muligheden for at tage billeder udefra i forhold til Solen. Dette betyder faktisk en forskel, idet man derved kan sammenligne hvor meget lys der kastes direkte tilbage imod sin oprindelige retning med hvor meget der blot spredes. Dette er blot et forhold ved ringene som Cassini kan gøre os meget klogere på. Langvarige studier af de dynamiske forhold omkring ringene vil også være af interesse.

Perspektiver ved missionen

Cassini/Huygens vil sandsynligvis betyde nærmest en eksplosion i vores viden om Saturn og dens måner. Perspektiverne kan være svære at overskue på nuværende tidspunkt, fordi der sandsynligvis vil dukke en række overraskende opdagelser op; men på nogle områder synes studiet at Saturn og ikke mindst saturnmånen Titan allerede nu at have vidtrækkende perspektiver. Overfladen på Titan formodes på en række måder at minde om forholdene på Jordens dengang livet opstod på Jorden. Et vigtigt perspektiv er derfor, at missionen vil kaste lys over livets opståen i solsystemet.

Et andet forhold kunne være studiet af klimaet på Titan. Ved studiet af Jordens klima mangler man en anden Jord til at teste principperne for modelbygningen. Oplagte andre eksempler kunne være Mars og Venus; men de lider begge under den fejl, at der ikke findes væske i større mængde på deres overflader. På Jorden er 3/4 af overfladen dækket af væske i form af vand. Radarmålinger fra Jorden antyder, at Titan ikke har et globalt ocean; men der er betydelig sandsynlighed for at finde større forekomster af væske i form af metansøer på overfladen.

Et tredje perspektiv er teknologiudvikling, idet Huygens-sonden medfører flere danskproducerede dele. Et eksempel er et avanceret vækkeur, der skal starte sondens aktiviteter ved ankomsten til Saturn. Fremstillingen af dette vækkeur har været med til at hæve det teknologiske niveau for dansk industri og nu flere årtier senere tjener uret som reklame for dansk industri.

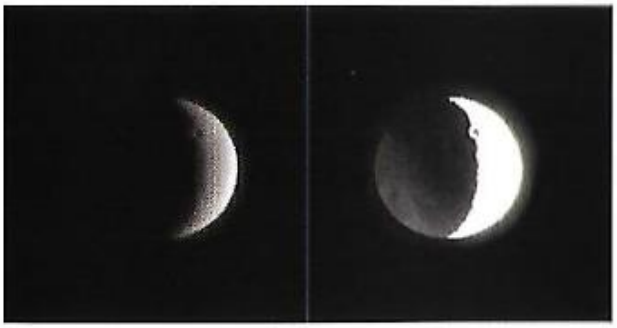


Fig 6. Dione, en af Saturns måner, har en iset og kraterfyldt overflade. Mere end det kan dog uddrages af disse to billeder, som er to forskellige processerede versioner af samme billede.

I billedet til venstre, der er en let forstærket udgave af det oprindelige, viser Dione i tiltagende med store synlige kratere. I modsætning til billedet til højre, som viser hvordan Dione reflektere lyset fra Saturn.

Billedet er taget med Cassini/Huygens nærfeltskamera den 2. juli 2004 i en afstand af 1,4 millioner km fra Dione. Billedets opløsning er 8 kilometer pr. pixel. Diones diameter er 1118 kilometer, og er forstørret med en faktor to for at fremhæve visibiliteten. Foto: ESA/NASA.

Nyheder om rumfart

Hvor tit holder du øje med de mange nyheder om rumfart skrevet på dansk, f.eks. på Rummet.dk, Planetariets hjemmeside eller Ingeniøren|Net? Hvor tit holder du øje med nyheder fra den europæiske rumfartsorganisation ESA?

Dansk Selskab for Rumfartsforskning har nu gjort det nemmere for dig at følge nyhederne. Vi har oprettet en side med links til udvalgte nyheder om rumfart, som opdateres dagligt.

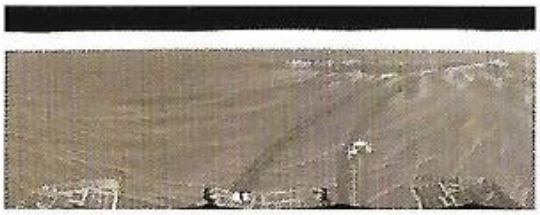
Prøv siden på

rumfart.dk/nyheder

og se om den ikke kunne blive din portal til rumfartsnyheder

Mødekalender for efteråret 2004

I mødekalenderen nedenfor annonceres Selskabets møder med titel, mødetidspunkt og mødested. Beskrivelser af møderne kan findes på Selskabet hjemmeside, *rumfart.dk*, under *Medlemsservice/Mødekalender* eller direkte fra forsiden.



Senest resultater fra Mars Exploration Rovers
Tirsdag den 7. december, klokken 19.30
Rockefeller Komplekset, Store auditorium

Cassini/Huygens - Milepæl i udforskningen af Saturn
Onsdag den 8. december, kl. 19.00
Tycho Brahe Planetariet

Dansk Selskab for Rumfartsforskning

foreningen for alle med interesse i rumfarten og dens anvendelser.

Selskabet har som hovedformål at udbrede kendskabet til danske rumfartsaktiviteter. Dette søges først og fremmest opnået ved:

- Afholdelse af *offentlige møder*, hvor danske rumfartsprofessionelle fortæller om deres arbejde med rumfartsteknologi eller de mangeartede anvendelser af rumfarten.
- Udgivelse af bladet *Dansk Rumfart*. Bladet udkommer mindst en gang pr. kvartal, og indeholder – udover beskrivelser af Selskabets arrangementer – en række artikler om fortrinsvis danske rumfartsprojekter.
- Drift af hjemmeside *rumfart.dk* på Internettet. Hjemmesiden indeholder information om Selskabet og dets aktiviteter, nyheder om rumfartsprojekter med dansk deltagelse, masser af faktasider med baggrundsinformation om rumfart samt en lang række links til andre rumfartsrelevante hjemmesider.

Herudover afholder Selskabet firmabesøg og udarbejder plancheudstillinger, der turnerer rundt til skoler og biblioteker i hele landet.

Som medlem får man tilsendt bladet *Dansk Rumfart*, med fokus på danske rumfartsaktiviteter. Desuden får man det norske blad *Romfart*, der udkommer fire gange årligt. Dette blad er mere orienteret mod den internationale rumfart, f.eks. med udførlige beskrivelser af de amerikanske rumfærgemissioner.

Årskontingenter er: Ordinært medlem: 300 kr., studerende: 175 kr., unge under 18 år: 60 kr. Bestil girokort via menupunktet "Bliv medlem" på *rumfart.dk*.

Kontaktpersoner

Formand: Michael Lumholt, tlf. 38 10 09 79, e-mail: *michael@rumfart.dk*
Næstformand: Steen Eiler Jørgensen, tlf. 44 48 30 07, e-mail: *sej@rumfart.dk*
Sekretær: Bjarne M. Johansen, tlf. 35 84 08 55, e-mail: *bjarne@rumfart.dk*

Den 2. september åbnede den nye rumfartsspecialisering på Danmarks Tekniske Universitet med et besøg af den amerikanske astronaut Michael Lopez-Alegria. Besøget var arrangeret i samarbejde mellem Ørsted•DTU, Dansk Selskab for Rumfartsforskning og Den Amerikanske Ambassade i Danmark.

Indledningsvis præsenterede forskningsdekan Christian Stubkjær og lektor John Leif Jørgensen DTU's rumfartsaktiviteter og ideen bag den nye rumfartsspecialisering. Michael Lopez-Alegria fortalte herefter om de krav, som stilles til en astronaut samt om sine oplevelser på Den Internationale Rumstation, ISS. Afslutningsvis overrakte astronauten et dannebrog, der har været i rummet, til Ørsted•DTU.