

# Dansk Rumfart

Nr. 73  
Maj 2016



**Blå lyn og røde feer**

**IAFs forårsmøde**

**Exoplaneter**

**NewSpace**

**TICRA**

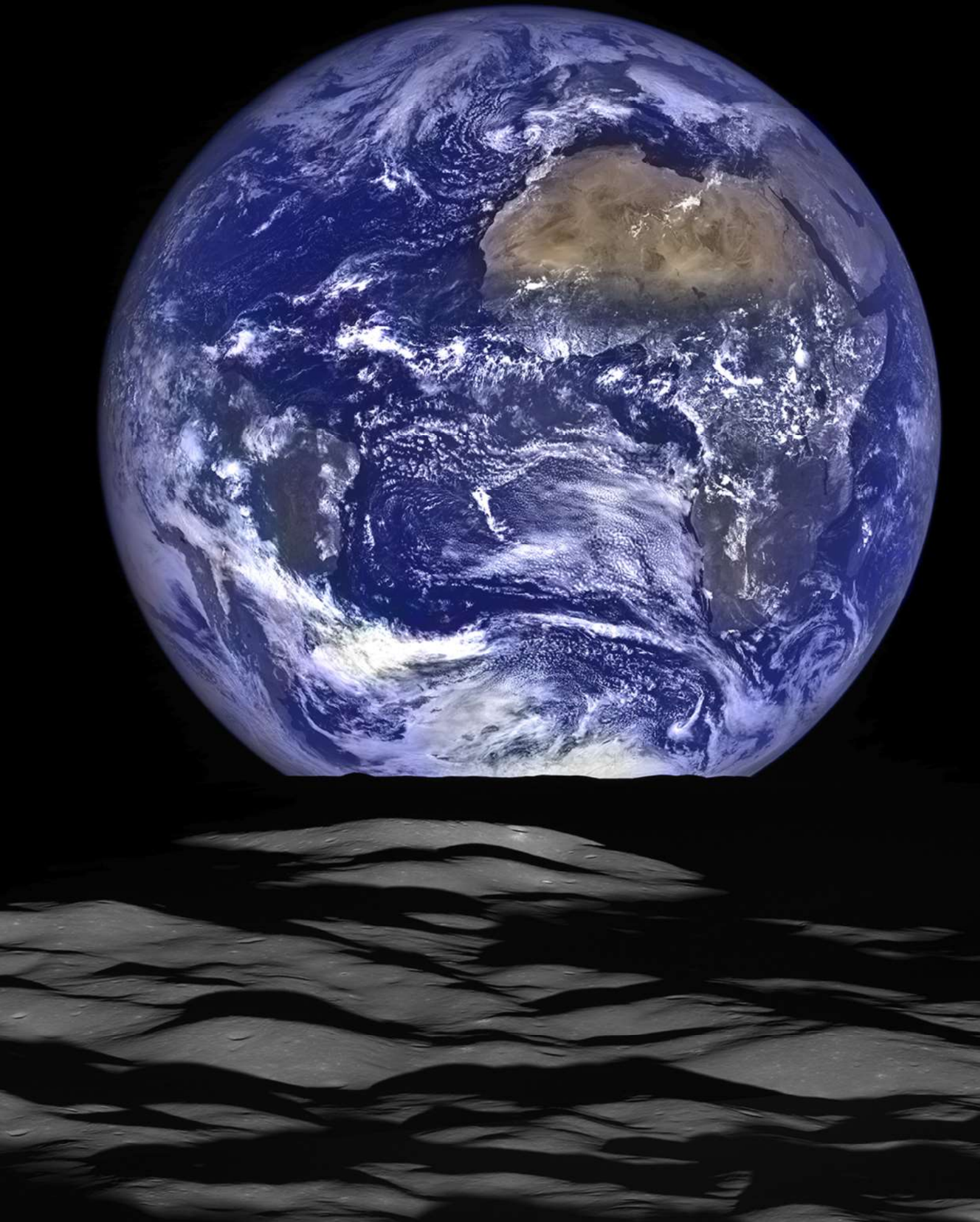
**Space Launch System**

**Cubesats fra GomSpace**

**Danske celler i rummet**

"Jorden står op over Månen"

Billede: NASA/Goddard/Arizona State University





# Dansk Selskab for Rumfartsforskning

## Redaktionelt

Udgiver: Dansk Selskab for Rumfartsforskning  
Dansk Rumfart nr. 73, maj 2016  
ISSN 0905-2410

## Redaktionen:

Finn Willadsen  
Martin Robert Knudsen  
Lykke Pedersen (ansvarshavende redaktør)

## Kontakt redaktionen

danskrumfart@gmail.com

**Tryk:** Eurographic

**Oplag:** 800

**Layout:** Lykke Pedersen

## Forsidebillede:

Blåt lyn filmet af Andreas Mogensen fra ISS.  
Billede: DTU Space, ESA, NASA

## Bagsidebillede:

Rosetta mission selfie 16 km fra kometen  
67P/Churyumov-Gerasimenko  
Billede: ESA/Rosetta/Philae/CIVA

## Indhold til Dansk Rumfart:

Har du en historie eller en ide til en artikel, som du gerne vil formidle videre til andre, kan du sende en mail til redaktionen. Redaktionen påtager sig dog intet ansvar for materiale, der indsendes uopfordret.

Artikler og indlæg i bladet er udtryk for forfatterens personlige meninger og kan ikke nødvendigvis opfattes som redaktionens holdning og opfattelse.

Bruges artikler fra bladet som kildemateriale skal der refereres til Dansk Rumfart med henvisning til bladets nummer, årstal, udgivet af Dansk Selskab for Rumfartsforskning samt artiklens navn og forfatter.

Dansk Selskab for Rumfartsforskning blev grundlagt i 1949 og har været medlem af IAF (International Astronautical Society) siden 1951. Selskabets hovedformål er at udbrede kendskabet til rumfart i almindelighed og danske rumfartsaktiviteter i særdeleshed.

Det gør vi ved at udgive bladet Dansk Rumfart med artikler om rumfart og - især danske - rumfartsprojekter, og ved at drive hjemmesiden rumfart.dk, hvor du kan læse om selskabets aktuelle arrangementer og kan finde masser af faktasider med baggrundsinformaiton om rumfart.

Alt arbejde i selskabet foregår på frivillig basis, og alle er velkomne til at hjælpe til, hvis de har noget at bidrage med.

Kontakt [info@rumfart.dk](mailto:info@rumfart.dk), hvis du vil deltage i arbejdet.

## Bliv medlem:

Som medlem af selskabet får man tilsendt bladet Dansk Rumfart og man kan deltage i de arrangementer, som organiseres af selskabet. Desuden får man det norske blad Romfart, der udkommer fire gange årligt. Som medlem af Dansk Selskab for Rumfartsforskning kan du deltage i IAFs store kongres IAC til reduceret pris. Du kan også søge om optagelse i en af IAFs komitéer og du kan få adgang til IAFs arkiv med omkring 30.000 artikler.

## Årskontingenter:

Ordinært medlem: 300 kr, studerende: 175 kr, unge under 18 år: 60 kr.  
Bestil girokort via menupunktet "Bliv medlem" på selskabets hjemmeside [www.rumfart.dk](http://www.rumfart.dk)

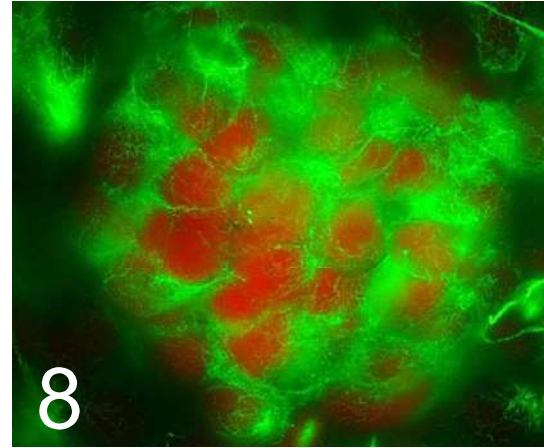
QR kode til Dansk Selskab for Rumfartsforskning



Dansk Rumfart nr. 73 er udgivet med støtte fra Lundbeckfonden.

TAK TIL LUNDBECKFONDEN

LUNDBECKFONDEN



8  
Celler i rummet - medicinsk

## KORT NYT

### 6 RUMFARTSNYHEDER

- New Horizon, SpaceX,  
ExoMars, den niende planet

#### Opfølgning på IRISS missionen

- forskning og resultater

Læs på s. 8 og s. 14 om den bagvedliggende forskning for to af eksperimenterne, som Andreas Mogensen udførte under IRISS missionen.

(Nævnt i Dansk Rumfart nr. 72 som:)

- Endothelceller
- På sporet af lyn

Exoplaneter

## FORSKNING

8 Danske celler i rummet (medicinsk)

*Benjamin Svejgaard*

14 Tordenguden Andreas Mogensen

ASIM og THOR på den Internationale Rumstation

*Torsten Neubert*

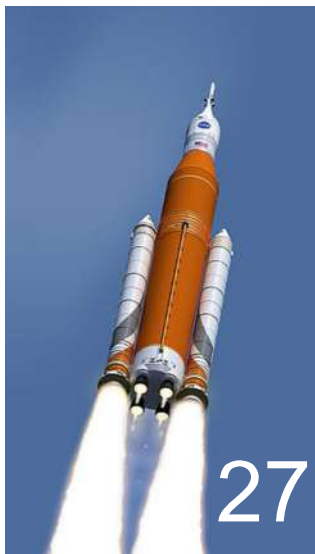
21 Exoplaneter

*Hans Kjeldsen*

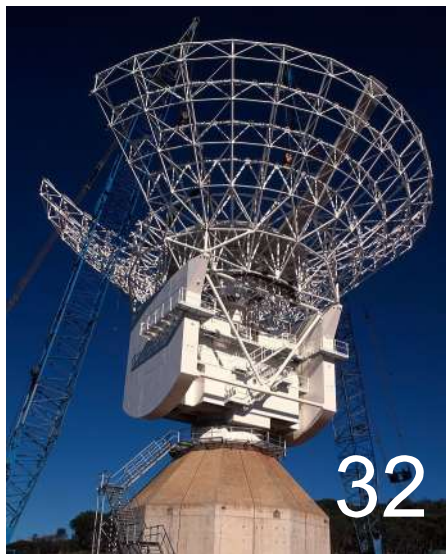


Blå lyn og røde feer

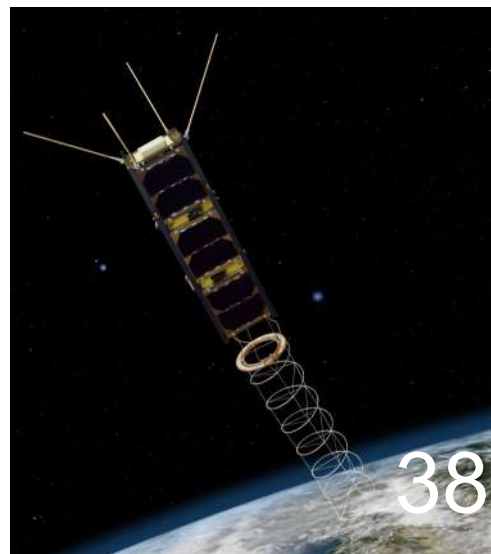




Space Launch System



TICRA



GOMSPACE

## VIRKSOMHEDER OG INNOVATION

### 27 Space Launch System

*Finn Willadsen*

SLS - nøglen til bemandede rumrejser

### 32 TICRA - dansk fingeraftryk på satellitter og sonder

*Michael Lumbolt*

### 36 Eksponentiel udvikling og NewSpace

*Martin Robert Knudsen*

### 38 CubeSats fra GomSpace

*Martin Robert Knudsen*

## UDDANNELSE, KURSER OG KONFERENCER

### 40 IAFs årlige forårsmøde i Paris

*Lykke Pedersen*

### 42 Forskelligt

Andreas Mogensen udnævnt til  
æresmedlem

Tyskland søger sin første kvindelige  
astronaut

IAFs forårsmøde i Paris



# Korte nyheder

## NEW HORIZON:

New Horizon blev opsendt 19. januar 2006 med planeten Pluto som mål. Senere i 2006 blev Pluto nedgraderet til dværgplanet. New Horison passerede Pluto 14. juli 2015. New Horizon tog en række billeder af Pluto og dens Måner herunder ikke mindst den store Måne Charon. Det er ingen overdrivelse at sige at resultaterne overraskede: Pluto viste sig som en geologisk aktiv klode med få kratere. New Horizon blev sendt videre imod et Kuiperbælteobjekt kaldet 2014MU69.



Billede: NASA

## SpaceX

er et privat firma, der i én optik er en virksomhed, som foretager satellitopsendelser og opsendelser af forsyninger til den internationale rumstation ISS. I deres egen optik er de en virksomhed, der udvikler den nødvendige teknologi til at kunne kolonisere Mars.

For at komme til Mars er det bl.a. nødvendigt at udvikle et genbrugeligt førstetrin til deres opsendelser.

Det er nu lykkedes for SpaceX tre gange at lande deres førstetrin - ovenikøbet stående. Det kan efter service genbruges.

På den forrige mission CRS-8 i april 2016 sendte de forsyninger til ISS med deres egenudviklede Dragon forsyningsfartøj, og testede samtidig om de kunne lande førstetrinnet på en flydende platform. Det lykkedes - og er siden da lykkedes igen med en natteopsendelse. Se billedet på modsatte side og den fantastiske video på <http://livestream.com/spacex/events/4862005>

## DEN NIEDE PLANET

Fra sin opdagelse i 1930 til 2006 var Pluto den niende planet. Nu er den dværgplanet; men der er indikationer på at der skulle være en niende planet langt ude i Solsystemet. Den skulle veje 10 gange så meget som Jorden og bruge mellem 10.000 og 20.000 år på en tur rundt om Solen. Foreløbig er indikationerne dog kun tyngdepåvirkningen af en række objekter i Kuiperbæltet.



Billede: CALTECH/AFP/GETTY IMAGE.

## EXOMARS

EXOMARS er ESAs nye Mars mission. Den havde en vellykket opsendelse 14. marts 2016 og vil ankomme til Mars i oktober 2016.

Exomars består af to dele: en del kaldet Trace Gas Orbiter, der skal gå i bane om Mars og et landingsmodul kaldet Schiaparelli. Hvis det lykkes at lande på Mars vil det være første gang, der sker en vellykket landing på Mars af andre end NASA. Schiaparelli er opkaldt efter den italienske astronom, der i 1877 "opdagede" Marskanalerne, som senere viste sig at være en optisk illusion. Schiaparelli skal demonstrere ESAs evne til at lande på Mars. Det medfører desuden en pakke med måleudstyr kaldet DREAMS, der skal måle meteorologiske forhold på marsoverfladen.



Billede: ESA



Billedede: SpaceX

# Celler i rummet – medicinsk

TEKST: BENJAMIN SVEJGAARD

Siden rumprogrammerne for alvor tog fart op gennem 60'erne og 70'erne har lægevidenskaben spillet en central, men ofte overset rolle i rumfartsforskningen. Både de amerikanske og russiske rumprogrammer havde mange læger ansat til at overvåge astronauternes helbredsmæssige forhold, både som et led i rekruttering og træning, men også som genstand for forskning i kroppens reaktion på flyvning i rummet. Dengang var det yderst relevant at forberede astronauterne på turen i kredsløb og til Månen. I dag står menneskeheden overfor den næste store rejse – turen til vores jernrøde broder; Mars.

Man har alle dage været interesseret i hvad der sker med menneskekroppen, når den kommer ud i rummet. De mest velkendte ændringer, som astronauter oplever er tab af knogle- og muskelmasse. Kroppen nedbryder og opbygger sig selv konstant, men når knogler og muskler ikke oplever den belastning, som de er beregnet til under normal tyngdekraft, nedbrydes de meget hurtigere end de opbygges. Dette er baggrunden for, at astronauter styrketræner og løber på løbebånd flere timer om dagen – simpelt hen for at simulere den belastning, som vi andre på Jorden får ved bare at stå op om morgenen og gå på arbejde.

Kroppens væskefordeling ændrer sig også. På grund af tyngdekraften på jorden søger vores blod altid nedad i kroppen. Trykket i benene er højere end trykket i hovedet. For at opretholde blodtilførsel til hjernen har kroppen en række kompensatoriske mekanismer, der tvinger blodet opad til hovedet. Når astronauter kommer i rummet er der ikke noget der hedder op eller ned, men kroppens kompensationsmekanismer virker endnu - dette medfører at en langt større del af blodet søger væk fra benene og mod hovedet, og astronauterne får de velkendte kyllingebeben og "puffy face" – som vi også så Andreas Mogensen have det kort efter ankomsten til ISS.

Når der ikke længere er noget sikkert op eller ned kommer hjernen og ligevægtsorganet også på overarbejde. Astronauter får typisk koncentrationsbesvær eller direkte kvalme – en slags køresyge i tre dimensioner, som meget passende er betegnet "rumsyge".

Andre ændringer i kroppen indbefatter nedsat immunforsvar og tab af røde blodlegemer. De fysiologiske forklaringer på disse mekanismer er ikke fuldstændigt afklaret, og det er blandt andet disse fænomener, som medicinsk rumforskning beskæftiger sig med i dag.

Som led i undersøgelsen af rumrejsers effekt på menneskekroppen har man historisk set både undersøgt hele mennesker før, under og efter rumflyvninger. Men lige så interessant er det at undersøge hvilke ændringer der sker i den enkelte celle. Fra tidligere forskning vides det, at kræftceller der udsættes for vægtløshed undergår større niveau af apoptose – programmeret celledød. Det betyder kort og godt at kræftceller der kommer i rummet dør hurtigere end andre celler. Man kender ikke den præcise årsag til dette fænomen, og derfor undersøges cellulære responser på vægtløshed på alle mulige leder og kanter. Formentlig er der tale om en ændring i cellernes udtryk af gener, deres

produktion af proteiner og hormoner – eller endog en ændring i cellernes form som svar på et vægtløshedsstimulus. Og det er netop det, Professor Daniela Grimms forskningsgruppe på Aarhus Universitet arbejder med. Daniela Grimm er læge og professor i Rummedicin, og bestyrer foruden sin forskningsgruppe i Aarhus også et laboratorium på Universität Magdeburg i Tyskland. Forskningen i Aarhus er sponsoreret af universiteterne i Aarhus og Magdeburg, ESA (European Space Agency), DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), PRODEX (PROgramme de Développement d'Expériences scientifiques), samt de tyske og danske videnskabsministerier – grundet de langsigtede projekter og kolossale budgetter forudsætter rummedicinsk forskning et stort internationalt samarbejde.

## Celler i Laboratoriet

Tyngdekraften er det mest stabile stimulus, som har været til stede op gennem evolutionen. Over de sidste milliarder år siden livets opståen har excellede organismer, og senere større dyr spredt sig til hver en krog af planeten. Lysforhold, temperatur, pH-værdi, saltindhold og mange andre faktorer kan ændre sig drastisk – men tyngdekraften på jorden har altid været konstant inden for få tusindedele af en newton. Netop





**Vævsflasker i en inkubator: Vævsflaskerne indeholder cellerne og de næringsstoffer de skal bruge for at overleve.**

derfor er det særligt spændende at se på de ændringer, som celler fremviser når de udsættes for vægtløshed – både ægte og simuleret.

Hvorfor ændrer cellerne form? Hvorfor dør nogle celler, mens andre trives? Hvorfor ændrer de deres udtryk af gener og produktion af proteiner?

I et vævskulturlaboratorium på Institut for Biomedicin, Aarhus Universitets dyrkes der forskellige typer celler i små vævsdyrkningsflasker fremstillet i plastik. Der dyrkes både kræftceller fra mennesker, celler fra blodkar og endog marvceller, som er manipuleret til at opføre sig som nervevæv. Nogle af de kræftceller som bruges i laboratoriet nedstammer fra prøver, der er isoleret fra kræftpatienter for 15-20 år siden, og der eksperimenteres med celler fra skjoldbruskkirtlen og fra brystvævene for at lære mere om hvordan kræftcellerne reagerer på vægtløsheden.

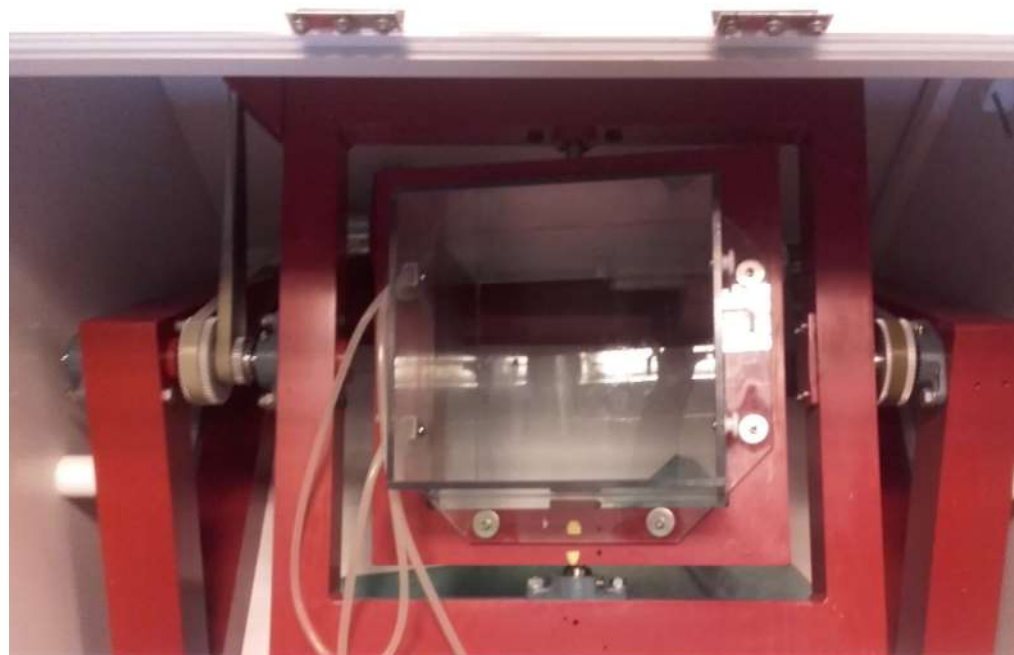
Vævsdyrkningsflaskerne som anvendes til forsøgene er firkantede og på størrelse med en stor tændstikæske. Under forsøgene fyldes de op med et rødt medium, som

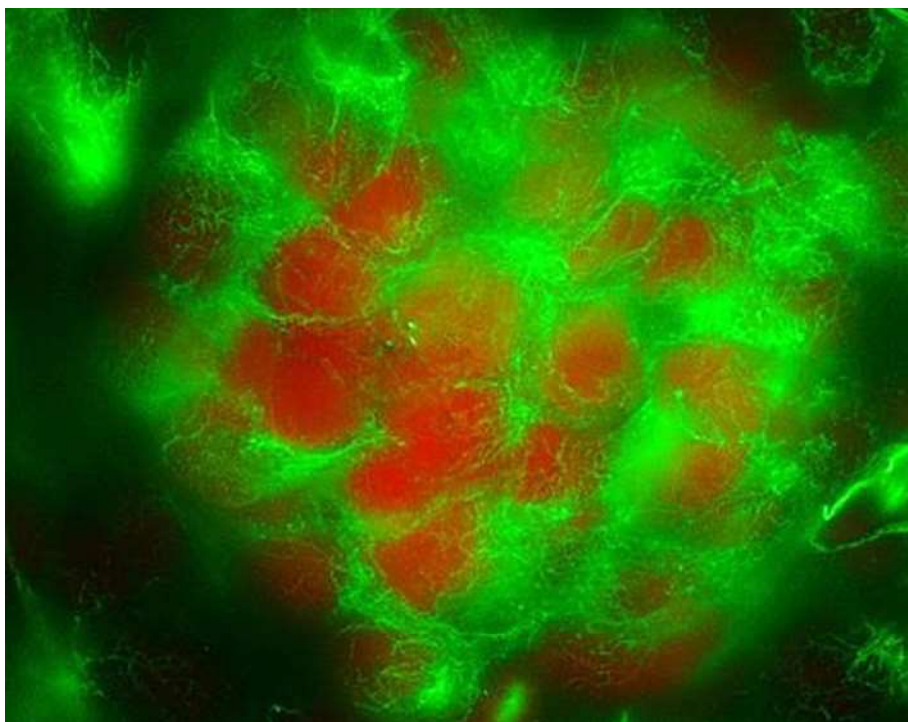
indeholder næringsstoffer og antibiotika; komponenter som er vigtige for at cellerne kan dele sig. Cellerne lever som regel på bunden af flasken i et enkelt lag så længe de udsættes for almindelig tyngdekraft, men når de udsættes for ægte eller simuleret vægtløshed løsriver de sig, og danner små klumper af celler, som kaldes spheroider.

Der er flere måder at lave simuleret vægtløshed på på Jorden. Den simpleste måde at gøre det på, er at bruge en såkaldt “random positioning machine”, en RPM. Det er en maskine, som vævsflaskerne monteres på og herefter roteres med ca. 60° i sekundet i to rotationsakser. RPM'en skifter retning med tilfældige intervaller, og for cellerne vil tyngdekraftvektoren over timer og dage i gennemsnit blive annulleret. For cellerne virker det simpelthen som om alle retninger har lige stor sandsynlighed for at være nedad. Og dermed virker det som om cellerne bevæger sig i vægtløst rum.

I “klinostaten” anvendes samme princip – men i to dimensioner. Celleflaskerne monteres på en konstant roterende arm, og efter samme princip simuleres vægtløshed ved at annullere tyngdekraften over de timer og dage et forsøg står på. Disse vægtløshedssimulationer har været kendt i årtier, og man har på internationalt plan undersøgt mange forskellige celletyper i denne type simulerede vægtløshed. Resultater fra

**En stor RPM med to uafhængige akser, som kan sættes til tilfældige bevægelser eller konstante omdrejninger, hvorfor den også kan bruges som klinostat.**





**Mikroskopibillede af en celspheroide dyrket i simuleret vægtløshed på en RPM.**

forsøg med ægte vægtløshed viser, at simulationen er en god model, og derfor kan rummedicinsk forskning udføres på jorden til en brøkdel af det, det ville koste at sende forsøg ud i rummet.

### Celler på Jorden

Selvom tidligere resultater viser, at man sagtens kan bruge simuleret vægtløshed i undersøgelsen af cellers reaktion på rumfart, er der intet der slår ægte vægtløshed. Som regel bruger man ordet “vægtløshed” om en tilstand, hvor et legeme ikke udsættes for ydre accelerationer. I realiteten vil vægtløshed være en

tilstand, hvor accelerationen er forsvindende lille (under  $1/1000$  g) – en tilstand som mere korrekt benævnes mikrotungdekraft. Vi vil i artiklen benytte ordet “vægtløshed”, da langt flere læsere vil være bekendt med dette.

Som de fleste rumfartsinteresserede vil være klar over, er objekter i frit fald i princippet vægtløse. Dette princip udnytter man i de såkaldte “drop towers”, eller faldtårne, som er opført forskellige steder i verden. I Bremen står det såkaldte ZARM-tårn (Zentrum für Angewandte Raumfahrttechnologie und

Mikrogravitation), som er et 146 meter højt bygningsværk, opført med det ene formål at kaste videnskabelige eksperimenter ud fra godt 45 etagers højde. ZARM-tårnet består af et ydre bygningsværk, som indeholder et 110 meter højt cylinder, som kan tømmes for luft, til et nærvakuum på omkring 1 mBar. Inde i cylinderen forefindes selve eksperimentkammeret, et rør på størrelse med en olietønde, hvor eksperimenterne sættes ind. Når forsøget skal udføres, placeres eksperimentkammeret i toppen af tårnet og frigøres.

Eksperimentkammeret opnår en hastighed på op til 170 km/t og lander i en stor bunke polystyrenkorn. Mens kammeret er i frit fald, kan tyngdekraftpåvirkninger på ned til 10-6 g påvises, og der opnås op til 4,5 sekunders vægtløshed, hvori eksperimenterne kan udføres. Ingeniørerne på ZARM har tilmed udviklet et specielt katapult-system, som katapulterer kammeret op i luften inden det falder ned igen – herved opnås i alt 9 sekunders vægtløshed under særdeles velkontrollerede forhold.

Ønsker man længere perioder med vægtløshed kan man tage sit eksperiment med på en såkaldt parabolflyvning. I en parabolflyvning udnytter man det samme princip som man gør i faldtårnet – i et system, som er i frit fald, vil de indre komponenter være de facto vægtløse. I Bordeaux i Sydfrankrig står en Airbus 310-flyvemaskine med påskriften “ZERO-G”. Denne

**I et industriområde i udkanten af Bremen i Nordtyskland ligger flere virksomheder med rumfartsaktiviteter, herunder ZARM med det ikoniske faldtårn.**  
Grafik: Google Maps.





**Novespace's Airbus 300, ZERO-G, en tidlig morgen. Flyet er ved at blive læsset med de mange eksperimenter, som skal udføres i vægtløs tilstand.**

maskine tilhører firmaet Novespace, som tilbyder forskningsgrupper (og turister for den sags skyld) parabolflyvninger med korte intervaller af 22 sekunders vægtløshed.

I en parabolflyvning, der typisk starter i 6000 meters højde, krænger piloten flyveren stejlt opad. Så længe flyet stadig krænges opad, oplever passagerer og eksperimenter om bord på flyveren en tyngdekraftpåvirkning på 1,8 g. Når flyet har nået en opadgående vinkel på 47°, tager piloten gassen af motoren og annoncerer "Injection". Flyveren overgår nu til frit fald, og alle eksperimenter, forskere og ansatte bliver vægtløse. I de 22 sekunder fra motorkraften er reduceret, når flyet op i 8000 meters højde med sin vægtløse last, og i dette tidsrum udfører forskere fra Tyskland, Frankrig, Danmark, Holland og andre Europæiske lande biomedicinske, materialefysiske eller sågar psykologiske forsøg. Efter vægtløshedsperioden i den 2 kilometer høje parabel har flyet vendt sig nedad i en vinkel på 45°, og her

annoncerer piloten "Pull-out". Piloten giver nu gas hvorved flyet retter op, tyngdeacceleration stiger til 1,8 g igen i 20 sekunder inden flyet flyver ligeud i ca. tre minutter ved normal tyngdekraft. Herefter starter en ny parabel og forskerne om bord får mulighed for fortsatte eksperimenterne ved vægtløshed. I løbet af en parabelflyvning udføres der typisk 31 parabler.

Menneskekroppen er slet ikke evolutionært forberedt til at undergå så store udsving i tyngdeacceleration.

Derfor tilbydes alle forskere en indsprøjtning inden afgang der skal forhindre luftsyge. På trods af dette er det meget almindeligt at forskere ellers forsøgspersoner får et luftsyge, og det er påkrævet at passagerer har en papirpose i deres brystlomme. Vægtløshed og løbsk opkast er ingen god kombination.

Daniela Grimms gruppe har været involveret i syv parabolflyvningskampagner i perioden 2008 og 2014. I en sådan kampagne rykker hele gruppen til

**Ph.D.-studerende Elisabeth Warnke i vægtløs tilstand om bord på ZERO-G.**



laboratorierne i Bordeaux i 14 dage, hvor forskningen pågår. Nogle af de vigtige opdagelser gruppen har gjort i forbindelse med parabolflyvningerne hænger sammen med kræftcellernes proteinudtryk. Gruppens forskning viser, at der selv efter ganske få sekunder vægtløshed sker en signifikant ændring i syntesen af over 2000 forskellige genprodukter. Man har ved hjælp af data opnået i forbindelse med parabolflyvningerne ydermere kunnet påvise at bestemte cytoskelet-proteiner – proteiner som holder cellens form konstant – mobiliseres og ændrer deres funktion på ganske få sekunder. Et vigtigt fund i forståelsen af cellernes reaktion på vægtløshed.



**TEXUS-raketens payload efter opsamling i den svenske ødemark.**

Parabolflyvningerne har givet gode resultater inden for forskning i effekterne af kortvarig vægtløshed. For længerevarende vægtløshed er man imidlertid nødt til at tage andre midler i brug. På raketbasen Esrange lokaliseret nær Kiruna i Nordsverige har DLR affyret små måleraketter (sounding rockets) over de sidste årtier. TEXUS-raketterne (Technologische Experimente unter Schwerelosigkeit) er ubemandede, og indeholder fuldautomatiserede eksperimenter. Raketterne kan opnå en maksimalhøjde på over 200 km, og giver forskerne mulighed for at foretage eksperimenter i ægte vægtløshed af op til seks minutters varighed. Raketten går aldrig i egentligt kredsløb om Jorden, men er, ligesom parabolflyveren i fri fald. I omkring 100 kilometers højde udløser raketten en faldskærm, så den kan lande blødt i den nordsvenske ødemark. Raketten er udstyret med en GPS-sender, som kan fortælle basen hvor i området den er landet, og TEXUS-raketten kan nu afhentes med helikopter. På Esrange er der sne året rundt, og man maler derfor

raketterne røde, så de er nemmere at finde i vinterlandskabet.

### Celler i Rummet

Den ypperste form af rummedicinsk forskning udføres selvfølgelig i rummet. Lægevidenskaben har altid spillet en stor del af rumprogrammerne – både de amerikanske og russiske rumagenturer under rumkapløbet havde en stor stab af læger ansat til at undersøge rumrejsernes effekt på menneskekroppen. I rumalderens begyndelse fokuserede den rummedicinske forskning næsten udelukkende på studiet af den hele krop, men efterhånden som teknologien er forbedret og vi har udvidet vores viden om celledyrkning i lukkede laboratorier, er interessen for – og forskningsaktiviteten i - den enkelte celledens reaktion på vægtløshed tilsvarende vokset.

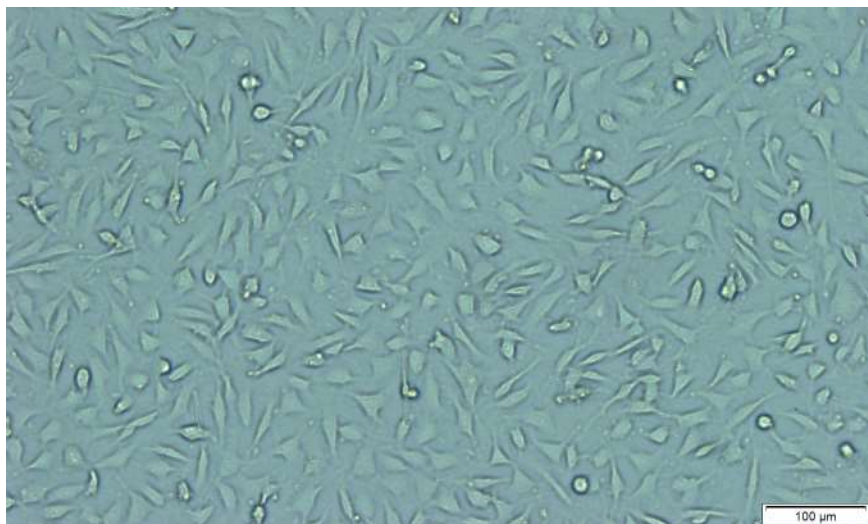
I 2011 tog Daniela Grimms forskningsgruppe til Kina for at deltage i det tysk/kinesiske samarbejde omkring den kinesiske Shenzhou-8-rumskib. Gruppen

havde medbragt SIMBOX-eksperiment som skulle afdække ændringer i celledens reaktion og proteinsyntesen hos kræftceller fra skjoldbruskkirtlen. Som så mange andre rumflyvningsforsøg, var dette forsøg fuldstændigt automatiseret, og efter opsendelsen af rumskibet var forsøget i kredsløb i 10 dage. Samtidig med forsøget i rummet udførte man et identisk forsøg på Jorden som kontrol. Forsøget efterviste dannelsen af store sferoider som reaktion på vægtløsheden – og fungerede som et vigtigt pilotprojekt for senere rumflyvningsforsøg på den internationale rumstation, ISS.

I april 2014 blev et forsøg, som bærer det lidt kryptiske navn CELLBOX, opsendt fra Cape Canaveral i Florida. Målet med CELLBOX-projektet var at undersøge kræftceller fra skjoldbruskkirtlens reaktion på vægtløshed nærmere. Specielt fokuserede man på at identificere hvilket proteiner cellerne producerede (såkaldt proteom analyse) samt undersøge cellernes

evne til at vokse i tre dimensioner (sferoider). Forsøget var 100% fuldautomatisk og bestod af en lille beholder, hvori menneskelige kræftceller blev dyrket i ægte vægtløshed. Dette har to fordele – for det første kræves der ingen særlig træning af de astronauter, som ellers skulle betjene forsøgene, og for det andet risikerer forsøget ikke at blive kontamineret eller smittet med virus eller bakterier fra astronauter eller andre forsøg. Efter 12 dage i rummet blev cellerne fikseret med kemikalier, så deres tilstand kunne vurderes når de kom ned på Jorden igen. Man fandt ændringer i syntesen af en række proteiner og hormoner. Disse fund baner vejen for at kunne identificere nye mål for kræftbehandling samt forståelse af biologiske processer forbundet med cellevækst i tre dimensioner.

Det næste projekt i støbeskeen for Daniela Grimms forskningsgruppe er det såkaldte SPHEROIDS-forsøg. SPHEROIDS-forsøget, som har været under opsejling i over 10 år, undersøger adfærden af de endothelceller i vægtløshed. Endothelceller er de celler, som danner blodkarrenes inderste væg, og interessen for disse celler stammer fra de store forandringer, astronauters blodkredsløb og immunfunktioner undergår, når de befinder sig i vægtløs tilstand. På Jorden vil endothelcellerne vokse sig fast til bunden af det kammer de dyrkes i, men som vi har set, danner de i vægtløshed små sferoider på ganske kort tid. Nogle af endothelcellerne vil endda organisere sig i rørformationer, som minder om blodkar. Gennem SPHEROIDS-projektet håber man at kunne afdække de mekanismer, som ændrer på blodkredsløbet hos astronauter – og forhåbentlig vil resultaterne også kunne bruges til at



**Billede af en SPHEROIDS celle kultur under mikroskop taget på Kennedy Space Center i Florida, USA, få dage før opsendelse til ISS, hvor cellernes evne til at vokse i 3D vil blive studeret. Kilde ESA.**

udvide vores viden om blodtryksbehandling her på Jorden. SPHEROIDS-forsøget blev opsendt til ISS med SpaceX's Dragon leverance til ISS 8. april 2016 og forsøgene vil vare ca. et halvt år.

### Rummedicin i fremtiden

På trods af mange års forskning i kræftcellers reaktion på vægtløshed er man endnu et stykke fra at afdække de præcise mekanismer bag kræftcellernes reaktion på vægtløshed. Formentlig er der tale om et ændret biokemisk reaktionsmønster – en opregulering eller nedregulering af et eller flere proteiner eller hormoner, som forskubber hele den biokemiske balance i cellen. Forhåbentlig kan Professor Daniela Grimms forskning være medvirkende til udvikling af nye former for kræftbehandling, som kan

bedre tilværelsen for de mange mennesker der kæmper mod kræft på daglig basis.

Den medicinske forskning har været en integreret del af rumprogrammerne siden mennesket for første gang undslap Jordens tyngdefelt og satte en metaforisk fod i verdensrummet. Her på Jorden kan den rummedicinske forskning være med til at gavne medicinske patienter ved at bidrage til større viden om kroppens patofysiologiske processer. Ligeledes bidrager rummedicinsk forskning til større viden om astronauternes helbredsproblemer i det nære rum, og endelig er den rummedicinske forskning en vigtig spiller i forberedelsen til den næste store rejse – Menneskets erobring af Mars og resten af Solsystemet.

### Vil du vide mere?

Professor Daniela Grimms hjemmeside:  
<http://www.grimm-space-research.com/>

ESAs blog om SPHEROIDS-forsøget:  
<http://blogs.esa.int/tim-peake/2015/11/10/spheroids-growing-blood-vessels-in-space/>

# Tordenguden Andreas Mogensen

## ASIM og THOR på den Internationale Rumstation

TEKST: TORSTEN NEUBERT

Alle, der følger med i rumfart, ved at Andreas Mogensen er den første dansker i rummet, men det er måske ikke alle, der er klar over, at han udførte et eksperiment, som hedder THOR, hvor han optog en spektakulær film af et kraftigt tordenvejr ud for Indiens kyst. Her vil jeg fortælle om THOR og hvordan det hænger sammen med et stort (fortrinsvist) dansk eksperiment, ASIM, som skal op på Den Internationale Rumstation (ISS) i 2017. Begge eksperimenter undersøger hvad der sker over tordenskyerne.

### Videnskabelig baggrund

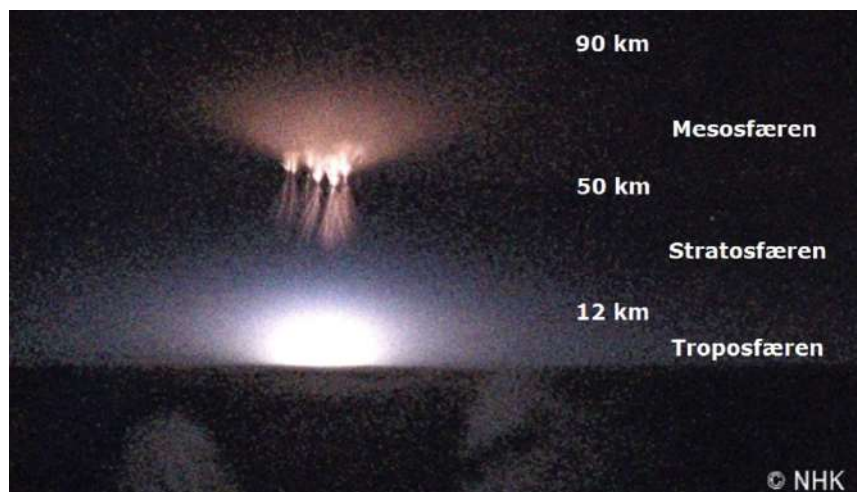
Lyn har været kendt alle dage, men det første skridt mod en forståelse af, hvad der forårsager dem, blev først taget i 1700 tallet af Benjamin Franklin i USA og Jaques de Romas i Frankrig. Man skulle tro at næsten 300 års studier ville være nok til at forstå lyn, men det er det langt fra. Lad mig give et eksempel: i 1989 optog en student over prærien i USA de første glimt af kæmpelyn højt oppe i atmosfæren i 50-80 kilometers højde. Vi kalder dem ”røde feer” (red sprites). Siden da har vi opdaget ”blå lyn” (blue jets) fra toppen af skyerne og ind i stratosfæren, og enorme lyn vi kalder ”giganter” (gigantic jets), der når helt op i 90 kilometers højde til ionosfæren, som vi ofte betragter som kanten af rummet. Samlet kalder vi de nye lyn ”Transient Luminous

Emissions” (TLEs). Navnet stammer fra de tidlige 1990’ere, hvor man ikke vidste hvad de var. Billederne viser de forskellige former af nyopdagede lyn.

Da TLE’er for det meste kan ses med det blotte øje, kan man spørge sig selv om, hvorfor de ikke er blevet opdaget tidligere? En del af svaret er, at de er over tordenskyerne, hvor det kan være vanskeligt at se dem, hvis man er for tæt på. Hvis man derimod er i nogen afstand, kan man se dem over skyerne – men - ved man ikke bedre, ser man på tordenvejret og ikke over det. Ikke desto mindre er der øjenvidneberetninger, der tilsyneladende beskriver røde feer, blå lyn og giganter. Ja, og måske har Etruskerne i det antikke Italien kendt til røde feer. De gik meget op i varsler den gang og jeg har set en

beskrivelse af, at der var varsler fra ”røde lyn”.

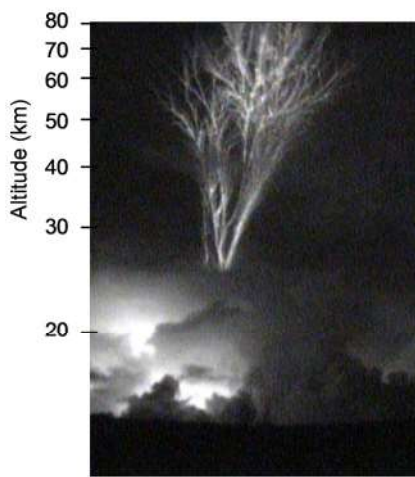
Vi tog selv de første billeder af røde feer over Europa i 2000 fra et stort fransk astronomisk observatorium, Observatoire Midi Pyrénées, som ligger på Pic du Midi, lige over Col de Tourmalet, som nogen vil genkende fra Tour de France. Vores optagelser viste, at selv beskedne storme, som vi har i Europa, skaber disse smukke lyn og at de derfor er ret almindelige. Og der var endnu en overraskelse! I 1994 opdagede instrumenter på Compton Gamma-ray Observatory (CGRO) glimt af Røntgenstråling når satellitten var over tordenvejr. Satellitten var sendt op for at måle på kosmiske kilder til ”gamma-ray flashes” og fandt overraskende at tordenvejr også udsender stråling. Vi



Rød fe set fra fly. Billede: Nippon Housou Kyoukai



Blåt lyn set fra fly  
Billede: Patrice Huet



**Gigant over Île de la Réunion**  
 Billede: Patrice Huet, Serge Soula,  
 Université Paul Sabatier

ved nu at det er bremsestråling fra elektroner der er blevet accelereret op til 40 MeV og måske endnu højere, men vi forstår ikke hvordan. De kaldes nu "Terrestrial Gamma-ray Flashes" (TGF) og er illustreret på billedet ovenfor til højre.

De nye opdagelser, TLE'er og TFG'er, fik os til at tænke over, om vi virkelig ved, hvad der foregår i toppen af tordenskyer og i atmosfæren over, hvad de betyder for statosfæren og mesosfæren, og om der er andre måder tordenvejr kobler til den øvre atmosfære.

### ASIM bliver født

Nogle år senere kom chancen for at få

ASIM når den bliver monteret på den Internationale Rumstation. MXGS er Modular X-and Gamma-ray Sensor. MMIA er Modular Multispectral Imaging Array. ASIM måler ca. 1 m<sup>3</sup> og vejer ca 350 kg, inklusiv adaptor plade hvorpå instrumenterne er monterede. Den sættes udenpå ESA's Columbus modul i 2017 (forventet), hvorfra den vil måle tordenvejr de næste to år.

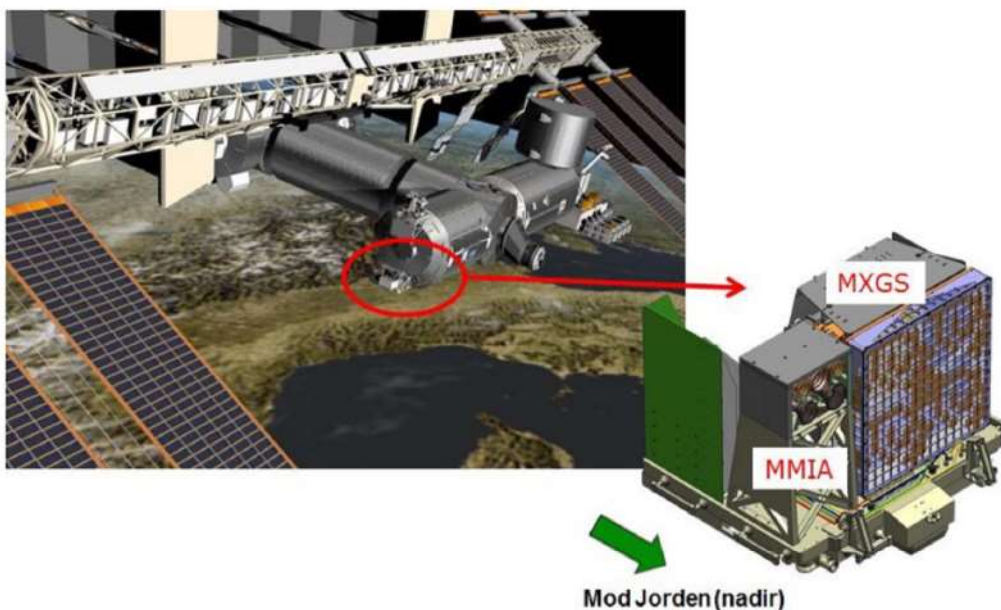
Kilde: ASIM brochure



**Terrestrial Gamma-ray Flash (TGF)** . Nederst ses en tordensky, hvor lynkilden er. Pink er Røntgenfotoner og gult er energetiske elektroner, som over en vis højde følger jordens magnetfelt. Credit: Joseph Dwyer, Florida Inst. of Techn.

instrumenter op på rumstationen. Det er blevet til "The Atmosphere-Space Interactions Monitor" ASIM, som skal sidde på en platform udenpå det europæiske laboratorie modul, Columbus, hvorfra det skal se ned på jorden og observere tordenstorme, når rumstationen flyver over dem. ASIM har et antal optiske kameraer og fotometre i forskellig bølgelængder, som giver os information om de klassiske lyn i skyerne og energien i TLE'er. ASIM har også en stor Røntgen detektor (20 eV – 20 MeV), som måler TGF'er. Vi har med ASIM ønsket, for første gang, at måle på lyn, TLE'er og TGF'er samtidigt med

instrumenter, der er special-designet til formålet. ASIM måler også mange andre ting, for eksempel polarlys og Røntgenstråling fra energetiske partikler fra rummet, som rammer ned i atmosfæren. Deraf navnet på missionen. ASIM er den største danske satsning i rummet siden Ørsted satellitten. Vi har selvfølgelig mange partnere i andre lande (Norge, Spanien, Italien, Polen), men ideen til missionen kommer fra DTU Space, størstedelen af finansieringen er dansk og det danske firma, Terma, er hovedentreprenør.



## Fakta boks: ASIM instrumenter

### **MXGS:**

#### **Lavenergi detektor (LED)**

- Foton energi: 20-300 keV
- 128 x 128 pixels
- Retningsbestemmelse af kilden (<1 grad)

#### **Højenergi detektor (HED)**

- Foton energi: 0.2-20 MeV

### **MMIA:**

#### **Kameraer (2): Optiske bånd: 337nm/5nm og 777nm/5nm**

- 1 Mpixel
- 400 m rumlig opløsning
- 12 billeder per sekund
- lysfølsom CCD

#### **Fotometre (3): 180-280nm, 337nm/5nm; 777nm/5nm**

- Tæller individuelle fotoner
- 10 mikrosekunders tidsopløsning

### **Begge Instrumenter:**

- MXGS kører hele tiden bortset fra i den Sydatlantiske Anomali (SAA)
- MMIA kører hele tiden om natten bortset fra i SAA
- Data placeres i cirkulære buffere
- Autonome algoritmer opfanger data fra glimt og gemmer dem
- De to instrumenter kryds-trigger hinanden
- Instrumenterne kan også køres med længere eksponering og uden triggers.

Så kan man spørge: hvorfor nu rumstationen – er det ikke bedre med en satellit – eller behøver man overhovedet at tage ud i rummet? Svaret er, at vi gerne vil ud i rummet, fordi vi derfra kan måle på tordenvejr i alle regioner på kloden. Det er for eksempel en udfordring at stille instrumenter op i Central Afrika og andre regioner med kraftige tordenvejr. Der er også den fordel, at TGF-strålingen skal gennem mindre luft fra sky-højde og til rumstation end fra sky til jord, fordi vi forventer at kilden er over 5 km højde (i en søjle er der ca. lige mange luftmolekyler over som under 5 km). Desuden skabes TLE'erne i stratosfæren (12-50 km) og mesosfæren (50-90 km), hvilket gør det oplagt at måle fra rummet, hvor der ikke er problemer med at skyerne

dækker for TLE'erne. Dernæst er rumstationen i en virkelig god bane, som dækker kloden fra 51.6 grader syd til 51.6 grader nord, og dermed de meste aktive regioner (Danmark er desværre ikke med). Samtidigt har rumstationen den laveste bane af alle rumplatforme, typisk 360-420 km over jorden, og dermed er instrumenterne så tæt på tordenvejr som muligt. (Rumstationen er i så lav bane at den taber højde på grund af luftmodstanden. Når et fartøj dokker benytter det sine motorer og brændstof til at hæve banen).



ASIM skal opsendes med SpaceX Falcon og bliver placeret på ISS med Canadarm-2, som vist på denne video der findes på youtube ved at følge scanne eller klikke på QRkoden.

### **THOR eksperimentet**

Da vi hørte at Andreas Mogensen var valgt til ESA's astronautkorps steg adrenalinen, for vi så straks at det ville være en meget stærk kombination at koble ham til ASIM: den første dansker i rummet og den største danske enkeltsatsning i rummet. Men realistisk set måtte vi vælge noget relativt enkelt uden de større omkostninger. Endvidere er der altid problemet med tidsplaner og rummissioner, når to adskilte aktiviteter skal koordineres. Der er ofte forsinkelser eller omrokninger, hvilket gør planlægningen meget



vanskelig. Endelig fik Andreas en meget kort mission på under 10 dage, og det er for kort til at forvente væsentlige videnskabelige landvindinger. Vi besluttede derfor at foreslå et eksperiment, som ikke er knyttet til en bestemt astronaut, men skal udføres af mange astronauter, hvor Andreas er den første, som dermed skal teste konceptet. Dernæst valgte vi at astronauterne skal tage billeder af tordenvejr for at supplere ASIM's observationer. For ASIM instrumenterne er fast monterede uden bevægelige dele og har kun ét perspektiv: at observere direkte mod nadir, hvorimod vi også gerne vil se TLE'er fra siden. Dét kan astronauterne, hvis de fotograferer ud gennem vinduerne på ISS.

Vi havde som arbejdstitel "What Happens Above Thunderstorms?" (WHAT?). Navnet har nogle problemer, som læserne måske kan regne ud, og var foreslået lidt som en morsomhed. Det blev senere ændret til THOR, hvor bogstaverne ikke står for noget, men navnet dog er meget passende, fordi det er dansk (nordisk) og netop referer til aktiviteter over skyerne. I THOR skal astronauter fra ISS fotograferer tordenskyer, der trænger in i stratosfæren (cloud

turrets), trykbølger skabt af tordenvejr, som udbreder sig helt op til mesosfæren (gravity waves) og endeligt TLE'er, som er dem Andreas fokuserede på.

Det lyder meget enkelt: bed Andreas om at tage nogle billeder over tordenstorme. Men sådan er det ikke, det har taget over ét år at forberede eksperimentet, for alt skal specificeres. Tænk på, at astronauterne er ekstremt sårbare i deres lille kapsel ude i rummet. Samtidigt er ISS en kostbar forskningsinfrastruktur, hvor hver minut tæller og derfor skal udnyttes optimalt. Samtidigt har THOR den udfordring, at eksperimentet skal udføres på et bestemt tidspunkt, når ISS flyver over et tordenvejr, men tordenvejr kommer og går, så det er et ekstra problem for dem, som lægger tidsplaner for astronauterne. Det var derfor nødvendigt for os på forhånd at specificere hvilket kamera vi ville benytte, hvor vi kun kunne vælge mellem dem, der allerede var på ISS (Nikon D4). Vi skulle også angive indstillingen af kameraet, eksponeringstid og billedrate, og vælge en passende linse (lysfølsom til TLE'er). Dernæst skulle vi forudsige, hvor tordenvejr forekommer og

hvornår ISS passerer hen over dem op til tre dage i forvejen. Disse "targets" blev én gang i døgnet sendt til B.USOC (Belgian User Science Operations Center), som er vores indgang til den store ESA/NASA organisation bag ISS. B.USOC sender "targets" videre til "schedulers" i Köln, som laver Andreas' tidsplan, og derefter sendes tidsplanen ad uransagelige veje op til ISS. Det er en udfordring at forudsige tordenvejr tre dage i forvejen over hele kloden (næsten). Men med god hjælp fra kolleger på Danmarks Meteorologiske Institut og Interdisciplinary Center Herzliya, Israel, har vi dog fået et brugbart værktøj strikket sammen.

Men det stopper ikke her. For hvert target skal vi specificere start og stop tidspunkt for observationen, hvilket vindue, der skal benyttes, og i hvilken retning kameraet skal rettes. Vi ville allerhelst benytte det der hedder Cupola, som er en stor glasklokke under ISS med et fantastisk vue over jorden. Af uforståelige grunde fik vi ikke lov til det. I stedet fik vi tildelt to vinduer i det russiske PIRS modul, som er meget mindre, og dermed vanskeligere at tage billeder ud i gennem. På billederne er vist Cupola

#### Astronaut hænger ud i Cupolaen.

Billede: NASA



#### PIRS modulet på ISS.

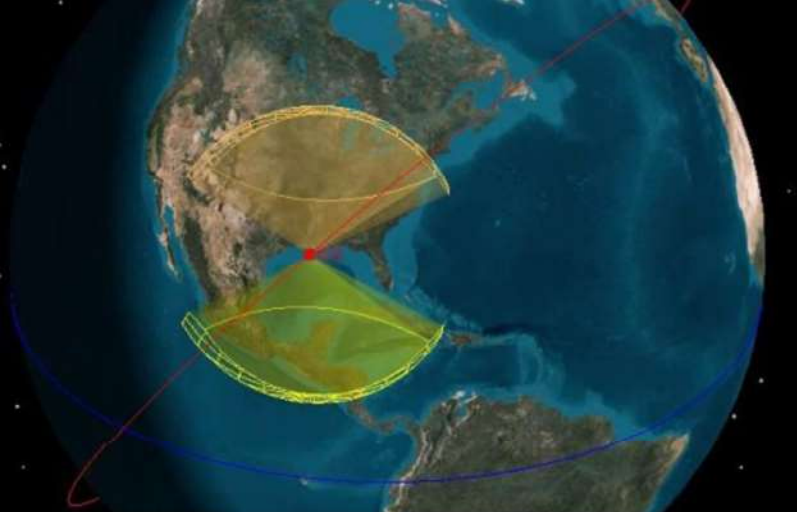
Billede: NASA



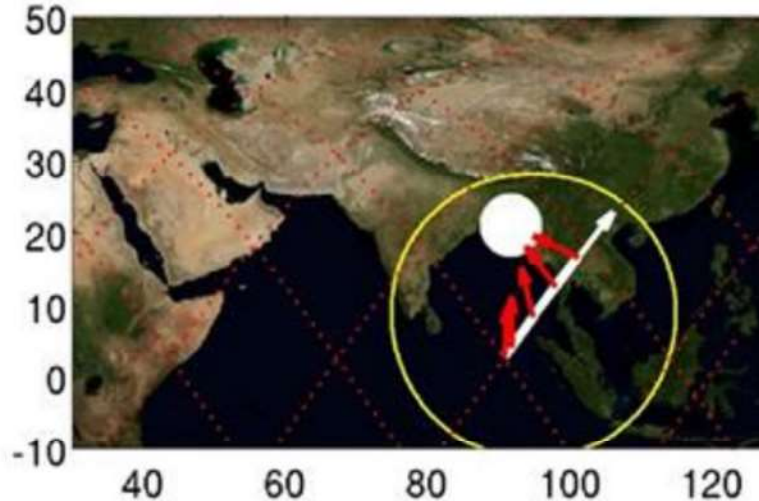
#### Astronaut tager billeder ud af PIRS vinduet. Billede: NASA

Billede: NASA





Dækning fra de to vinduer i PIRS modulet når ISS passerer ind over den Meksikanske Golf.



Det samlede produkt (information om Target), som blev sendt til Belgien User Science Operations Center én gang om dagen.

og PIRS. For at finde ud af hvornår ISS passerer over targets, hvilke vinduer, der skulle benyttes, og hvilken retning kameraet skal rettes benyttede vi et værktøj, som illustreres af filmen.

### Resultater fra THOR missionen

Vi havde ikke andre forventninger til Andreas' THOR eksperiment end at han ville teste alle procedure og arbejdsgange, så vi var klar til fremtidige eksperimenter med

astronauter under ASIM missionen 2017-2019. For når alt kommer til alt, havde Andreas mange andre eksperimenter at udføre og ikke mange dage til at gøre dem i. Overraskelsen var derfor stor, da vi så den film han havde taget af et spektakulært tordennejr over Indiens østkyst. På billederne nedenfor ser man tordenskyen først set fremad og siden bagud relativt til ISS hastighed. Skyerne er oplyste af lyn og billedsekvensen giver et helt

enestående tredimensionalt billede af dem. Der er to aktive skyer, det ene med få og meget kraftige lyn, og begge skyer havde interessant aktivitet over skyerne.

Over den første sky fangede Andreas en rød fe (red sprite) bestående af mange enkelt-filamenter som er ca. 100 m i diameter, 15 km lange og oppe i 70 km højde. De er skabt af det kraftige lyn, som oplyser skyen.

Tidssekvens af tordenskyer filmet af Andreas Mogensen fra ISS, mens den flyver over: fra øverst venstre til nederst højre. Billede: DTU Space, ESA, NASA





Fra den anden sky med de mange lyn så vi et blåt lyn (blue jet), som rækker ca. 15 km ind i stratosfæren. Vi ser den på syv billeder, hvor den tilsyneladende står og pulserer tre gange. Vi har aldrig set noget lignende før. På billederne er vist den røde fe og det blå lyn. Vi har lagt en forkortet udgave af videosekvensen ud på YouTube. Man kan selv prøve at fange disse TLE'er, men man skal være hurtig.



Andreas' optagelser er så gode og interessante, at vi er i færd med at



### **Rød fe filmet af Andreas Mogensen fra ISS. Billede: DTU Space, ESA, NASA**

skrive en videnskabelig artikel sammen om dem. Resultatet af missionen overgår derfor langt vores forventning, for vi har både fået testet procedurer og fået ny videnskab.

Man kan sige vi har været heldige – og det skal forstås i mere end én forstand. For det første var vi heldige med, at der var et sådant tordenvejr, netop som Andreas var klar til at

filme. For det andet var vi heldige med at have Andreas som astronaut, for han brugte slet ikke PIRS vinduerne. Han tog på eget initiativ i sin fritid kameraet og svævede ned i Cupolaen - til området vi bestemt ikke havde tilladelse til at benytte til THOR, men som astronauterne kan benytte til at slappe af i. Det viser at held er en del af videnskabens fremskridt, og at det er

værdifuldt at have både passive instrumenter og isenkram til udforskning samtidigt med mennesker, der kan improvisere. Det kræver dog man er parat til at gribe chancen, og her kommer planlægning ind. Vi havde udviklet meget specifikke procedurer til Andreas, han havde trænet dem forinden, og vi havde briefet ham om, hvad der var vigtigt at fotografere og hvorfor vi var interesseret i det. Det betød at han vidste, hvad det drejede sig om og derfor kunne tage gode beslutninger. Samtidigt blev han selv så interesseret i det, at han overvandt træthed for at tage chancen til at bringe gode optagelser hjem.

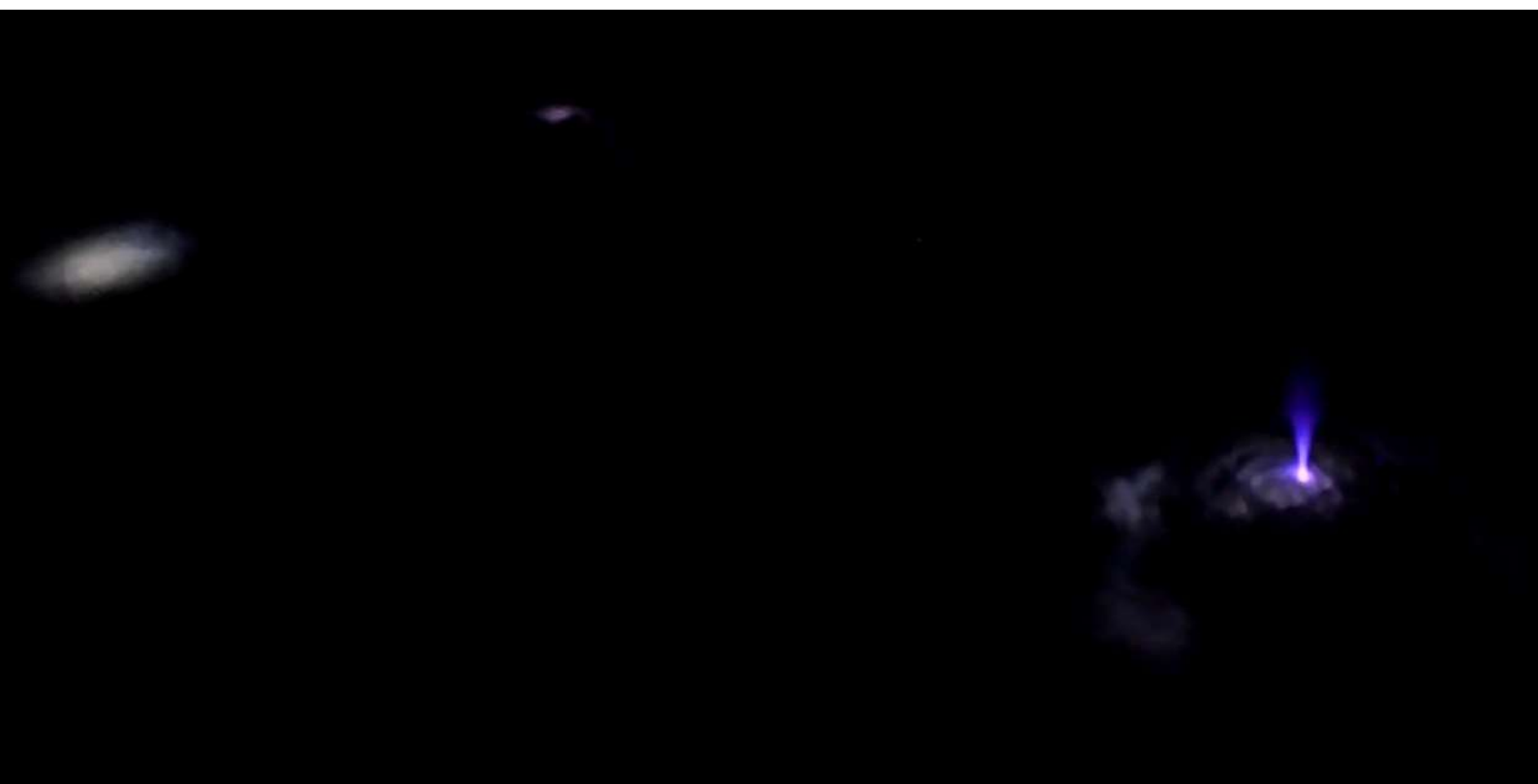
### Perspektiver

Andreas har vist at THOR konceptet holder, så vi forventer os meget af de samtidige observationer fra ASIM og THOR. Med disse målinger vil vi få en større forståelse af, hvordan tordenstorme påvirker den øvre atmosfære, og forhåbentlig kan vi være med til på denne måde at forbedre fremtidens

klimaforudsigelser. Selvom det måske er begrænset hvad ASIM/THOR i sig selv kan tilføre, er missionerne dog med til at øge bevidstheden i det internationale samfund om tordenstormes indflydelse på atmosfærens dynamik. Dette aspekt forstærkes af den øgede forståelse af vigtigheden af også at have gode globale målinger af lynaktivitet, for lyn er en signatur på den vertikale opblanding af atmosfæren, som foregår i tordenstorme, hvor varm fugtig luft stiger højt op i atmosfæren. I 2018 vil franskmændene sende TARANIS satellitten op, som også skal se på tordenvejr. TARANIS er navnet på den Keltiske tordengud. Endvidere vil den næste generation geostationære meteorologi satellitter have en optisk lyndetektor, som ligner et af de optiske kameraer på ASIM. Den er imidlertid mere avanceret og kan måle lyn fra geostationær afstand (360.000 km). I Europa hedder den nye satellit Meteosat Third Generation (MTG) og instrumentet "Lightning Imager"

(LI). Satellitten skal op i slutningen af 2018 og vil både have lynmålinger og helt enestående skymålinger, som overgår alt hvad vi er vant til. Amerikanerne sender en tilsvarende satellit op i foråret 2016. Både meteorologer og forskere vil have gavn af disse satellitter og med ASIM/THOR har vi en mulighed for at være på forkant med de kommende teknologier og målinger, og at deltage i udviklingen og fortolkningen af de nye data og dataprodukter.

**Blåt lyn filmet af Andreas Mogensen fra ISS. Billede: DTU Space, ESA, NASA**



# Exoplaneter - et nyt verdensbillede

*Mælkevejen er fyldt med mange forskellige slags planeter*

TEKST: HANS KJELDEN,  
STELLAR ASTROPHYSICS CENTRE,  
INSTITUT FOR FYSIK OG  
ASTRONOMI, AARHUS UNIVERSITET



Illustration: NASA

## Teleskoper

Den 6. marts 2009 stod Kepler-satellitten klar til opsendelse på Cape Canaveral Air Force Station på Floridas østkyst i toppen af en Delta II-raket. Jeg var selv så heldig at være til stede i Florida ved opsendelsen af Kepler. Det var en varm, smuk og klar forårsaften og nedtællingen til affyringen på affyringsplatform 17-B forløb uden problemer. Delta II-raketten tændte kl. 22:49:57 lokal tid, og med et intenst lys fra raketens motorer løftede Kepler sig som en fantastisk klar stjerne mod himlen, og bevægede sig hurtigt ud over Atlanterhavet mod øst og forsvandt i horisonten. Efter at have forladt Jordens tyngdefelt, lagde Kepler sig til rette i bane om Solen – klar til at begynde eftersøgningen af exoplaneter (planeter omkring andre stjerner end Solen). Efter et par måneders tjek af instrumenterne ombord på Kepler begyndte observationerne, som i de næste fire år leverede målinger af 170.000 stjerner med henblik på at finde og bestemme egenskaber for exoplaneter. Kepler, som er opkaldt efter den tyske

Planeten Kepler-186f kredser om den røde dværg stjerne Kepler-186, ca. 493 lysår fra Solen i Stjernebilledet Svanen. Den er den første opdagede planet med en radius, der er sammenlignelig med Jordens og som er i den beboelige zone af en anden stjerne.

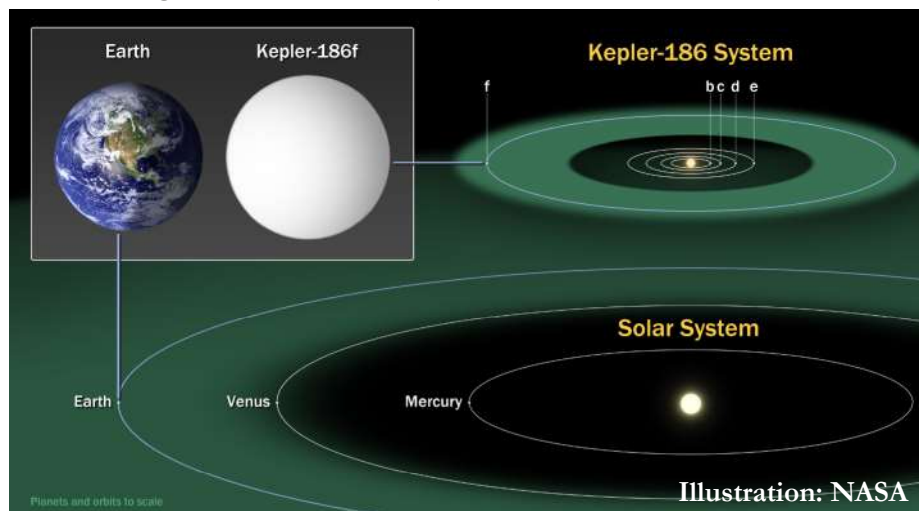


Illustration: NASA

astronom Johannes Kepler, har været en fantastisk succes, som har ført til opdagelsen af tusindvis af nye verdener, og successen fortsætter. Kepler har, efter i fire år at have nærstuderet exoplaneter i retningen af stjernebilledet Svanen, i de sidste par år observeret stjerner overalt på himlen, og fra 2017 vil NASA's TESS-satellit begynde eftersøgningen efter planeter omkring de stjerner, som ligger nærmest Jorden. I 2024 forventer ESA at opsende PLATO,

som er et specialdesignet rumteleskop, som skal lede efter exoplaneter, hvor forholdene på overfladen minder om det, vi har her på vores egen planet Jorden. Men det er ikke kun rumteleskoper, som bidrager til undersøgelsen af de mange nye verdener. Det Europæiske Sydobservatorium (ESO) – med dansk deltagelse – er netop nu begyndt opførelsen af det, som om ti år bliver verdens største teleskop, E-ELT (European Extremely Large



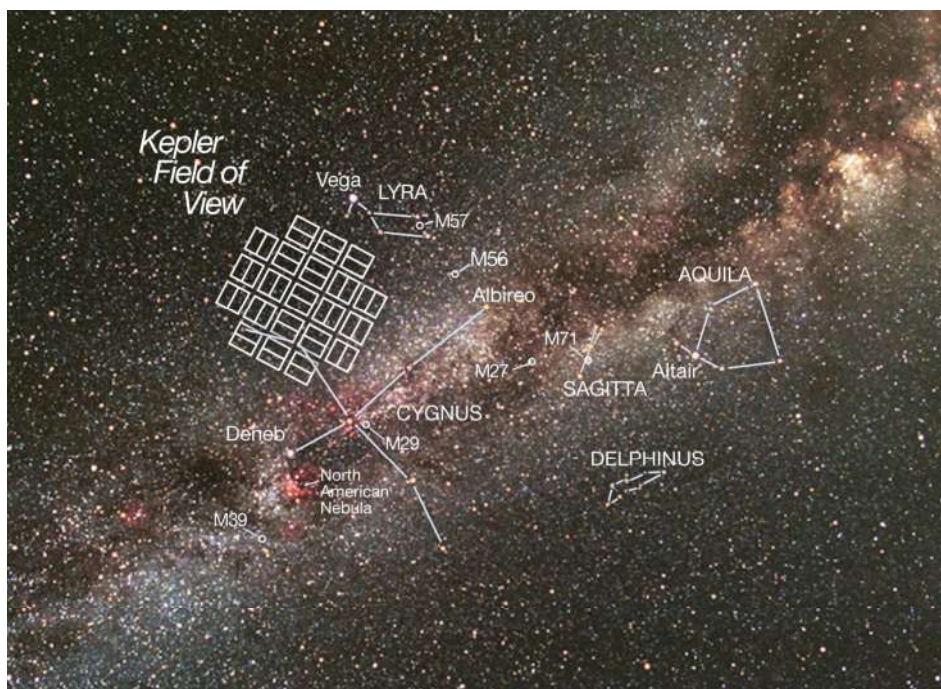
Foto: Mads Fredslund Andersen

Telescope). Kæmpeteleskopets store spejl med en diameter på 39 m vil gøre det muligt at afsløre detaljer på overfladen af exoplaneter. Aarhus og Københavns Universiteter er i samme tidsrum ved at bygge et netværk af teleskoper, som bl.a. skal anvendes til at undersøge de nye planeter, som TESS-satellitten finder. Det første af SONG-netværkets teleskoper står allerede klar på toppen af Izañabjerget på Tenerife, og har nu i et par år leveret nøjagtige målinger af stjerner og exoplaneter.

### De første detektioner

Studiet af exoplaneter forundrer og fascinerer ikke blot videnskabsfolk, men alle, der filosoferer over, om der mon findes andre verdener end vores egen – måske verdener som rummer liv. Det hele begyndte reelt først i 1995. Astronomerne havde på dette tidspunkt udviklet metoder, som kunne afsløre en planet i kredsløb omkring en stjerne. De to vigtigste metoder er radialhastigheds-metoden og passagemetoden.

SONG netværkets observatorie på Tenerife og SONG logo øverst tv. Netværkets andet observatorie er opført og på vej i drift i Delingha, Kina. Med et tredje observatorie i USA muliggøres uafbrudte observationer, hvor der hele tiden står nyt observatorie klar til at tage over når solen står op. Med flere sites, placeret som vist i logoet, vil man desuden kunne blive mere robust overfor dårligt vejr og vil kunne følge targets på både den nordlige og den sydlige halvkugle. De jordbaserede netværk af observatorier er en mulighed for at kunne observere et target 24 timer i døgnet i flere uger eller endog måneder.



Kepler satellittens oprindelige observationsområde var uændret gennem fire år. Hele 42 CCD kameraer observerede 170.000 targets indenfor rektanglerne.

**Radialhastighedsmetoden** bygger på at måle tyngdekraften fra en exoplanet, når den trækker i stjernen og ændrer dens hastighed.

**Passagemetoden** bygger på at måle lysstyrken af stjernen og lede efter den lyssvækkelse, som sker hver gang en planet kredser ind foran stjernen – det er den metode Kepler benytter til at finde exoplaneter.

I mange år var problemet, at målemetoderne ikke var nøjagtige nok til at opdage exoplaneterne, men for godt 20 år siden havde målenøjagtigheden nået et niveau, hvor flere forskergrupper begyndte at arbejde målrettet mod at lede efter exoplaneter. Den første planet blev opdaget i 1995 ved brug af radialhastighedsmetoden. Jeg husker tydeligt den eftermiddag, hvor en kollega viste mig målingen på stjernen 51 Pegasi, som netop var blevet offentliggjort af astronomerne Michel Mayor og Didier Queloz fra Observatoriet i Geneve.

### Overraskende planet parametre

Det forunderlige ved den nye planet var, at den havde en omløbstid om sin stjerne på kun 4,2 døgn, hvilket kun er en brøkdel af Jordens omløb om Solen, som jo tager et år. Det betød at planeten måtte befinde sig i en afstand fra sin moderstjerne på ca. 1/20 af afstanden mellem Jorden og Solen. Det var meget overraskende at en planet kunne kredse så tæt på sin moderstjerne, og vi var mange, som var meget skeptiske over for om det mon virkelig var en planet, som man havde opdaget. Planetens masse blev målt til tæt på Jupiters masse, så den nyopdagede planet måtte være af en helt ny type – en såkaldt ”Hot Jupiter” – altså en planet som Jupiter, men som på grund af den korte afstand til stjernen måtte være meget varm. Opdagelsen var helt i modstrid med de teorier, vi havde for dannelse

Illustration: NASA

### Klippeplaneten Kepler-20e er skræmmende tæt på sin stjerne og overfladen er derfor et stort lavahav.

af planeter. Men det blev dog hurtigt klart, at den var god nok, bl.a. fordi de konkurrerende grupper i USA snart efter kunne offentliggøre, at de også i deres målinger kunne ”se” planeten. Snart blev man klar over, at der også fandtes ”Hot Jupiters” omkring andre stjerner. Siden opdagelsen af de første exoplaneter har mange astronomer over hele Jorden deltaget i eftersøgningen efter nye exoplaneter. Den afgørende revolution i undersøgelsen af exoplaneter skyldes opsendelsen af specialiserede rumteleskoper. Det vigtigste af disse teleskoper er Kepler. Med Keplers meget nøjagtige måleudstyr har vi fundet et stort antal meget forskellige exoplaneter med spændende og overraskende egenskaber.

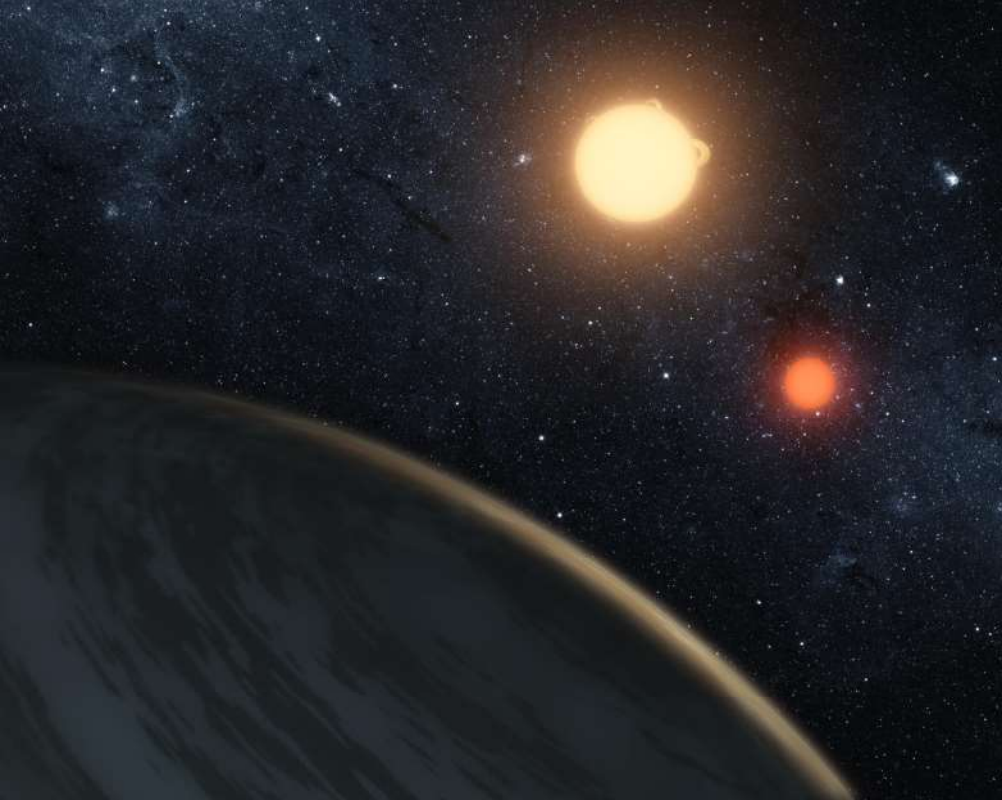
### Typer af planeter

Kepler-teleskopet har vist, at planeter, som er lidt større end Jorden, de såkaldte ”Super Earths”, er meget almindelige. Denne type planeter havde vi slet ikke regnet med at finde i stort antal. I vores eget Solsystem findes to typer af planeter: klippeplaneterne og gaskæmperne. Klippeplaneterne er relativt små, og Jorden er den største af klippeplaneterne. Venus er næsten lige så stor som Jorden, mens Mars og Merkur begge er små klippeplaneter. Gaskæmperne er i

vores Solsystem de fire største planeter; Jupiter, Saturn, Uranus og Neptun, hvor den største er Jupiter, som er ca. 11 gange større end Jorden, og den mindste er Neptun, som er ca. fire gange så stor som Jorden. Som navnet antyder, indeholder disse planeter store mængder af gas – hvilket også er forklaringen på deres størrelse – gasplaneter fylder simpelthen mere end klippeplaneter. Kepler har fundet tusindvis af ”Super Earths”, og de første undersøgelser viser, at mange af disse nye planeter indeholder meget store mængder af vand. Derfor kaldes de også ”Water Worlds”. Planeterne har typisk en tyk atmosfære af skyer, som indeholder vanddamp, og under skyerne findes et meget dybt hav.

### Enkelte planetsystemer

Med Kepler har vi fundet mange andre fantastiske planeter. I planetsystemet **Kepler-10** findes en forholdsvis lille gloende hed klippeplanet (Kepler-10b), som er lidt større end Jorden. Planeten kredser om sin moderstjerne på kun 20 timer – det vil altså sige, at et ”år” på Kepler-10b kun tager 20 timer. Planeten befinder sig meget tæt på sin stjerne, og klippeoverfladen består af et glødende lavahav. Målinger af exoplaneten tyder på, at lavahavet omslutter hele planeten – både dag-



**Kepler-16b kredser om to stjerners fælles tyngdepunkt, hvilket var det første bekræftede fund af et planetsystem, der sender tankerne i retning af planeten Tatooine i Star Wars universet, hvor Luke Skywalker med udlængsel betragter den dobbelte solnedgang. Illustration: NASA**

og nattesiden. Vi kan derfor bedst beskrive denne planet som en glødende kugle. Keplers målinger viser, at disse lavaplaneter findes omkring mange af Mælkevejens stjerner – f.eks. i planetsystemet **Kepler-20** – og også, at exoplaneter som ligger meget tæt på deres moderstjerne i visse tilfælde destrueres og ”fordamper”. Der findes f.eks. meget få ”Super Earths” tæt på deres moderstjerner, og astronomerne har opdaget exoplaneter, som lige nu er i færd med at opløses. En af disse exoplaneter er **KOI-3794.01**, som kredser om sin stjerne med en periode på under 16 timer. Planeten kredser i en bane så tæt på sin stjerne, at den enorme stråling fra stjernen får planeten til at fordampe, hvilket observeres som en sky af materiale som ligger som en stor kometlignende hale omkring exoplaneten. Men også exoplaneter som kredser længere væk fra deres moderstjerne kan vise tegn på at atmosfæren fordamper. Exoplaneten **HD 209458b** har en udstrakt atmosfære, og Hubble-teleskopet er

blevet anvendt til at konstatere, at der er oxygen og kulstof i den sky af materiale som fordamper fra HD 209458b.

I listen over overraskende opdagelser fra Kepler-teleskopet finder vi også **Kepler-16** systemet. Her kredser planeten Kepler-16b ikke bare om én stjerne. I centrum af Kepler-16 findes en dobbeltstjerne, hvor to stjerner kredser omkring hinanden på omkring 41 døgn. Planeten som er på størrelse med Saturn bruger 229 døgn til at omkredse dobbeltstjernen.

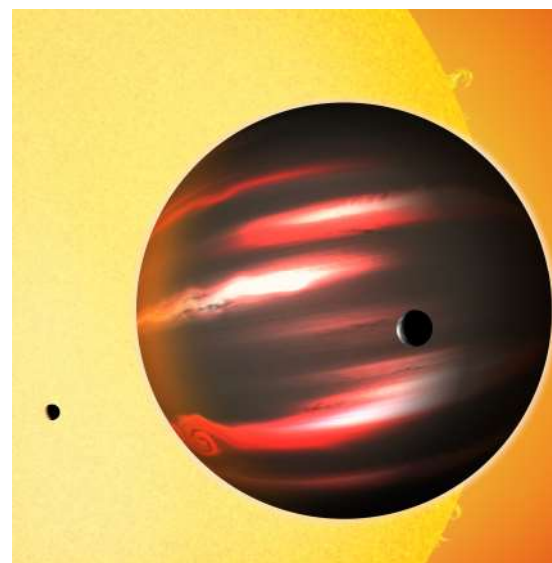
Ved at analysere det lys, vi modtager fra en given stjerne og de exoplaneter som kredser omkring den, kan vi i visse tilfælde måle, hvor meget lys exoplanetens atmosfære reflekterer. Generelt har mange af de exoplaneter, som vi har undersøgt, et skydække, som er noget mørkere end skyerne i Jupiters og Saturns atmosfære. Det mærkeligste objekt, som vi har fundet og undersøgt med Kepler, er exoplaneten **TrES-2b**. Planeten reflekterer mindre end 1 %

af det lys, som den modtager fra den stjerne, den kredser om. Der findes ikke umiddelbart en forklaring på, hvordan en gasplanets atmosfære kan være så mørk. Til sammenligning reflekterer almindeligt asfalt på vejen 4-6 % af det lys som rammer det. Exoplaneten TrES-2b har således en gasholdig atmosfære, som er meget sortere end asfalt!

Et andet interessant planetsystem er **Kepler-444**, der indeholder mindst fem klippeplaneter, som alle kredser omkring deres moderstjerne på under 10 døgn. Planetsystemet har en alder på over 11 milliarder år, og beregninger viser, at alle fem planeter er låst i forhold til deres rotation, så disse planeter altid vender den samme side mod stjernen, og bagsiden derfor ligger i evigt mørke og kulde. Vi forventer, at disse planeter har en meget varm dagside, hvor temperaturen når over 500 grader Celcius, og tilsvarende en meget kold natteside, som formentligt er isdækket.

### Teleskoper under udvikling

For at kunne bestemme detaljerne i exoplaneternes egenskaber, er det vigtigt at have mulighed for at foretage yderligere målinger på de



**NASA illustration af TrES-2b med en ekstremt mørk atmosfære.**



stjerner, som exoplaneterne kredser om, og på selve exoplaneternes atmosfærer og overflader. Her vil ESA's og NASA's store rumteleskop JWST som opsendes i 2018 være afgørende. Dette teleskop vil måle den infrarøde stråling fra exoplaneterne, og det vil give præcise data for exoplaneternes atmosfærer. Problemet er dog, at JWST og E-ELT er meget kostbare faciliteter, som kun vil blive anvendt til undersøgelse af exoplaneter i en brøkdel af tiden.

Derfor er det relevant at sikre adgang til specielle teleskoper, som primært skal bruges til studiet af exoplaneter.

Her er SONG-netværket et godt eksempel, og selvom selve teleskoperne i SONG er meget mindre end E-ELT og JWST vil det delvist opvejes af, at mængden af observationstid er meget stor.

I forlængelse af dette er Aarhus Universitet ved at undersøge muligheden for at bygge en lille specielt designet mini-satellit, som udelukkende skal måle på de stjerner, som identificeres som specielt interessante i data fra Kepler og TESS. Udviklingen af satellitten sker i samarbejde med rumvirksomheden GomSpace i Aalborg. Tanken er, at Aarhus-satellitten skal sendes i kredsløb omkring Jorden inden udgangen af 2018.

### Exoplaneter - og Liv?

Et af de helt centrale spørgsmål, som vi arbejder med inden for exoplanetforskningen er, om der findes liv på nogle af exoplaneterne. Med Kepler har vi allerede fundet en række meget Jordlignende exoplaneter, som i størrelse og temperatur minder meget om vores egen planet (f.eks. exoplaneterne **Kepler-186f** og **Kepler-62f**). Ud fra

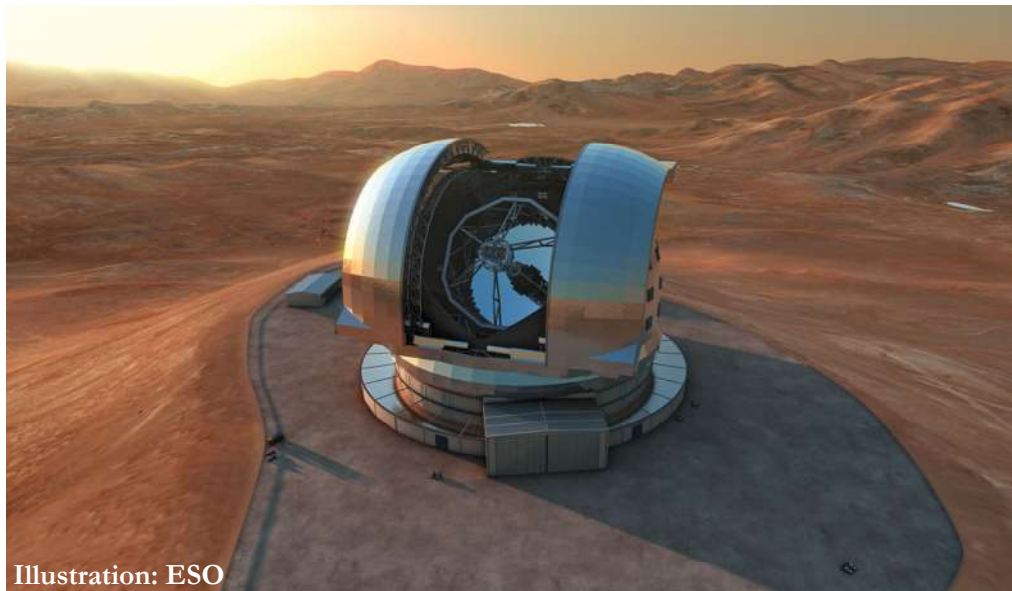


Illustration: ESO

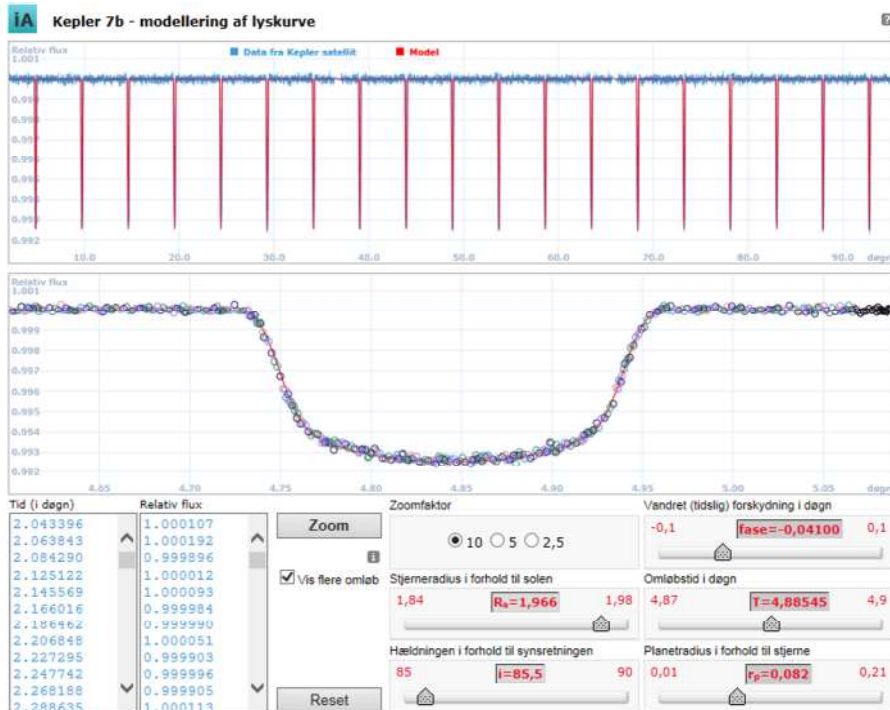
**E-ELT er idag under opførelse på Cerro Armazones i den nordlige del af Chile, 22km fra Cerro Paranal hvor ESOs VLT (Very Large Telescope) ligger. Hovedspejlet udgøres af 798 segmenter hver 1.4 m i diameter, der kan deformeres op til 1000 gange i sekundet og derved korrigerer billederne for lufturo. Med denne adaptive optik og en gigantisk diameter på ialt 39,3 m vil dette "verdens største øje mod nattehimlen" muliggøre direkte observationer af exoplaneter og bestemmelse af atmosfæresammensætning.**

antallet af fundne exoplaneter sammenholdt med, hvor vanskeligt det er at finde dem, kan man beregne, at der må eksistere et enormt antal exoplaneter, som har størrelse og temperatur nogenlunde som på Jorden. Beregningerne viser, at omkring 20 % af alle de stjerner, som minder om Solen ser ud til at have en planet, der minder om Jorden. Det betyder, at der er milliarder af planeter i Mælkevejen, hvor der i princippet kan udvikle sig liv. Spørgsmålet er, om vi kan finde tegn på liv på disse fjerne verdener. Forskningen i eksistensen af liv i rummet – det vi kalder astrobiologi – handler bl.a. om at forstå betingelserne for og oprindelsen og udviklingen af liv uden for Jorden. Med E-ELT og NASA's og ESA's infrarøde JWST vil vi kunne lede direkte efter tegn på biologisk aktivitet – hvis det altså findes – via den påvirkning, som biologisk aktivitet udøver på en exoplanets atmosfære og på dens overflade.

### Forskning og formidling

Hvad skal vi så egentligt bruge den nye viden til? På mange måder er forskningen i exoplaneter nutidens svar på opdagelsesrejser. Vi vil gerne udforske og forstå Universet og finde ud af, om Jorden og Solsystemet er sjældent eller almindeligt, og vi vil gerne opdage og kortlægge de nye verdener, som ligger uden for Solsystemet. Men studiet af exoplaneter fortæller os også meget om Jorden og dens udvikling. Hvilke betingelser har været udslagsgivende for, at livet opstod på Jorden? Er livet noget helt almindeligt eller er det sjældent – er vi f.eks. de eneste intelligente væsner i Universet? Men der er ingen tvivl om, at vores viden om universet også i fremtiden vil overraske, forundre og fascinere os.

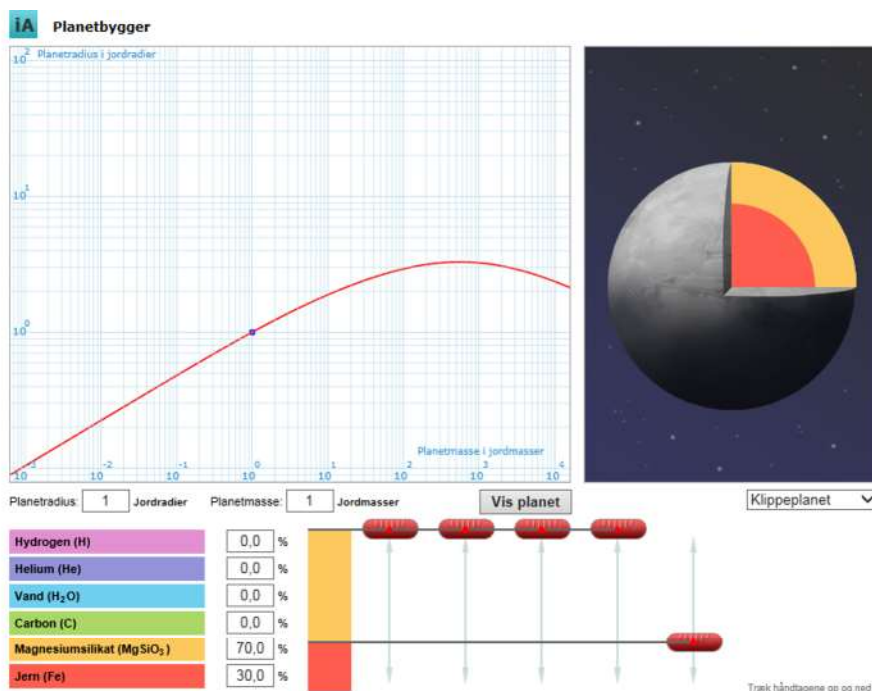
Netop forundringen og fascinationen gør, at forskningen i exoplaneter også er velegnet til undervisning i såvel folkeskolen som gymnasieskolen. Målingerne fra Kepler kan i princippet fortolkes direkte, og det



Kepler-7b passerer ind foran stjernen hver 4,85 døgn og blokerer ca. 7 promille af lyset hver gang. I det nyligt udviklede undervisningsmateriale kan studerende selv bestemme de fysiske parametre for exoplaneter ved at behandle rigtige data fra Kepler missionen. Grafik: fra <http://exo.systeme.dk>.



"EXOPLANETER" er en iBog® udgivet af Systeme A/S. Den blander almindelig tekst og grafik med video, interaktive opgaver og interaktive værktøjer, og kan løbende udvides og opdateres af forfatterne.



Et af værktøjerne man som læser af iBogen Exoplaneter kan eksperimentere med er en "Planetbygger". Her kan man studere effekten på planetens udseende og dens fysiske parametre ved at justere på fordelingen af de væsentlige grundelementer, masse og radius. Grafik: fra <http://exo.systeme.dk>.

gør, at man i undervisningen kan inddrage originale data på et niveau, hvor elever selvstændigt kan analysere data og bestemme planeternes omløbstider og størrelser.

I samarbejde med forlaget Systeme har jeg sammen med kollegaer ved Aarhus Universitet udviklet et undervisningsmateriale, som netop bygger på at bringe Kepler-målinger direkte ind i undervisningen. Materialet, som findes via <http://exo.systeme.dk>, indeholder redskaber til analyse af data og til modellering af data med henblik på bl.a. at bestemme en exoplanets kemiske sammensætning for bl.a. at afgøre, om en exoplanet er rig på gas, klippe eller vand.

Måske vil en af de gymnasieelever, som i dag arbejder med data fra Kepler via [exo.systeme.dk](http://exo.systeme.dk), om få år være den første, der finder liv på overfladen af en af de fjerne exoplaneter, vi har fundet!

# SLS - nøglen til bemandede rumrejser

TEKST: FINN WILLADSEN

NASA er i færd med at udvikle en ny kraftig raket, der vil muliggøre bemandede rejser længere væk end lav bane om Jorden. Herunder åbnes der for bemandede rejser til Månen, rumstationer nær Månen og bemandede rejser til jordnære asteroider. Derudover åbner den muligheder for meget ambitiøse (ubemandede) rumsonder til andre planeter i Solsystemet.

## Forhistorien

NASA er i færd med at udvikle en ny kraftig raket med forkortelsen SLS - Space Launch System, der skal kunne sende 70 tons i lav bane om Jorden med planer om senere opgraderinger til 120 tons. SLS er ikke første gang man forsøger at udvikle en raket, der kan sende væsentligt mere end 20 tons i lav bane om Jorden. Rusland og Kina har idag også planer om sådanne raketter; men det er foreløbig kun planer.

Mest kendt er udviklingen af Saturn5-raketten, der blev brugt i forbindelse med Apollo-programmet. Saturn5 blev opsendt 13 gange - alle vellykkede og den var helt essentiel for bemandede månerejser. Herefter blev raketten med tilhørende produktionsfaciliteter skrottet. Dog er platformen til transport af raketten fra samlehallen til opsendelsesrampen bevaret og blev brugt af rumfærgerne.

Den sovjetiske N-1-raket skulle også sende mennesker til Månen; men den blev aldrig operationel. Efter dén udviklede Sovjetunionen Energiaraketten, som er den kraftigste raket, der nogensinde er udviklet. Teknisk set var den en succes med to vellykkede opsendelser. Desværre var der ikke råd til meget af hjælpeudstyret og selve opsendelserne og derfor blev raketten skrottet - iøvrigt sammen med de sovjetiske Buran rumfærger, som den kunne opsende.

## Constellation planen

Efter rumfærgeren Columbias forlis den 1. februar 2003 fremlagde daværende præsident Bush den 14. januar 2004 en ny plan, den såkaldte Constellation plan for bemandedt udforskning af blandt andet Månen. Dette omfattede flere projekter herunder udviklingen af Ares5-raketten, der skulle kunne opsende 120 tons i lav bane om Jorden.

Constellationplanen var konstrueret således, at de store udgifter ville komme under den næste præsident - det blev præsident Obama. Han skrotdede det meste af projektet - det var nærmest kun rumkapslen Orion, der overlevede. Orion-kapslen var nok også den mest teknisk set sunde del af projektet.

Et eksempel på noget uigennemtænkt ved constellationplanen var månelandingsfartøjerne. Disse skulle drives af flydende brint og flydende ilt. Det var naturligvis en stor fordel med hensyn til at spare vægt ved opsendelserne; men et opsendelsessystem fra Månens overflade SKAL virke - ellers vil det sandsynligvis betyde døden for astronauterne. Men en beholder med flydende brint skal holdes nedkølet til noget i nærheden af -250 grader - gennem flere døgn og måske i bagende sol på Månens overflade. Ved opsendelser opfyldes den flydende brint og flydende ilt umiddelbart før opsendelsen og den forbruges normalt indenfor få timer efter påfyldningen. Grunden er, at brændstoffet langsomt fordamper.

Apollo-landingsfartøjet var drevet af N2O4 og UDMH, der begge er flydende ved et meget bredt temperaturområde herunder stuetemperatur.

Orion-kapslen er tæt på at være klar. Det betyder at der stort set kun mangler en opsendelsesraket for at

**Saturn5-raketten og den sovjetiske N-1-raket var konkurrenter i forbindelse med månekapløbet. Saturn5 kunne opsende omkring 130 tons til lav bane om Jorden og blev grundlaget for de bemandede Apollo-missioner til månen. N-1 havde nogenlunde samme størrelse; men den blev aldrig operationel. Billede: NASA**





kunne foretage en tur rundt om Månen. En sådan tur rundt om Månen er allerede planlagt i samarbejde med ESA - det bliver på jomfrurejsen for SLS i efteråret 2018.

### Opsendelsessystemet SLS

For at sende noget ud i rummet kræves med vor tids teknologi et raketsystem. Der er et par vigtige mål for en rakets ydeevne man skal kende for at forstå betydningen af SLS.

Det første er **ideal sluthastighed**. Dette begreb er knyttet til et tankeeksperiment: raketten anbringes med fyldte brændstoftanke i hvile i tyngdefrit vakuum. Så tænder man motorerne og raketten accelererer. Når brændstoftankene er tomme har raketten opnået sin ideelle sluthastighed.

For at opsende en satellit, rumsonde eller et rumfartøj i lav bane om Jorden kræves en ideal sluthastighed på 7,9 kilometer i sekundet. I praksis lidt mere for at overvinde luftmodstand og andre tab.

**SLS eller Space Launch System er det seneste forsøg på at udvikle en stor raket, der kan opsende mere end 100 tons til lav bane om Jorden. Nogle kalder det Senate Launch System fordi det i høj grad er det amerikanske senat, der har presset det igennem. Mange af elementerne er genbrug af dele fra rumfærgerne - så kan firmaerne bag disse leverancer overleve og det giver stemmer. Billede: NASA**

For de mere nørdede kan den ideelle sluthastighed udregnes som produktet af raketmotorens udstødningshastighed og logaritmen til forholdet mellem massen af den fuldt optankede raket og massen af raketten med tomme brændstoftanke. Udover en ideel sluthastighed skal en rakets **trykkraft** være større end dens startvægt for at kunne opsende noget. Ellers vil raketten ikke løfte sig fra startrampen.

Nu skulle man tro, at der var konstrueret en masse raketter med ideel sluthastighed på mere end 7,9 kilometer i sekundet, som samtidig har større trykkraft end sin startvægt. Der er faktisk kun een (Atlas I) og den gik ud af brug for flere årtier siden.

I stedet for en enkelt raket med ideel sluthastighed på 7,9 kilometer i sekundet, så benytter man **flertrinsraketter**. Det vil sige en raket, der som nyttelast har en anden mindre raket. Når den første raket (trin 1) har tomme tanke, så kastes den bort og den næste raket (trin 2) starter sine motorer. Det samlede system har en ideel sluthastighed, der er summen af den ideelle sluthastighed for de 2 rakettrin.

USAs første satellit Explorer I vejede 14 kg og den blev opsendt af en (flertrins)raket med en startvægt på

29 tons. USAs første astronaut i lav bane om Jorden var John Glenn, der blev opsendt i en kapsel med en vægt på omkring 1,4 tons. Startvægten for opsendelsesraketten (Atlas) var 118 tons. Den første rumstation Saljut 1 vejede omkring 10-20 tons og blev opsendt af en protonraket med en startvægt på cirka 700 tons. Apollo 11 vejede omkring 130 tons, da den gik i lav bane om Jorden. Startvægten (Saturn5) var her 3000 tons.

Disse tal skulle gerne illustrere, at når man går fra omkring 20 tons i lav bane til over 100 tons, så betyder det et kvantespring i mulige rummissioner.

### Øget startvægt gør alt dyrere

Desværre vokser udgifterne også kraftigt ved at øge startvægten. Nedtællingen før opsendelsen er ikke meget forskellig ved opsendelsen af en raket med startvægt på 300 tons og en raket med startvægt på 3000 tons. Men andre dele af processen bliver desværre meget mere besværlig og dyrere med stigende startvægt. Soyuz-raketten kan køres ud til startrampen på almindelige togs Skinner. SLS skal køres på en specialudviklet platform fra samlehal til opsendelsesrampen. Transporten af andre dele af systemet er også besværlig f.eks. kan trin 1 og trin 2 ikke køres via almindelige veje eller jernbaner, da de ikke kan passere under jernbanebroer og motorvejsbroer i samlet tilstand.

### Forskellige konfigurationer

SLS består basalt af tre dele: en totrins-raket drevet af flydende ilt og flydende brint, to boostere drevet af fast brændstof og et øvre trin indeholdende nyttelasten. SLS tænkes udviklet i flere versioner: een, der kan sende 70 tons i lav bane om Jorden og een, der kan sende 130



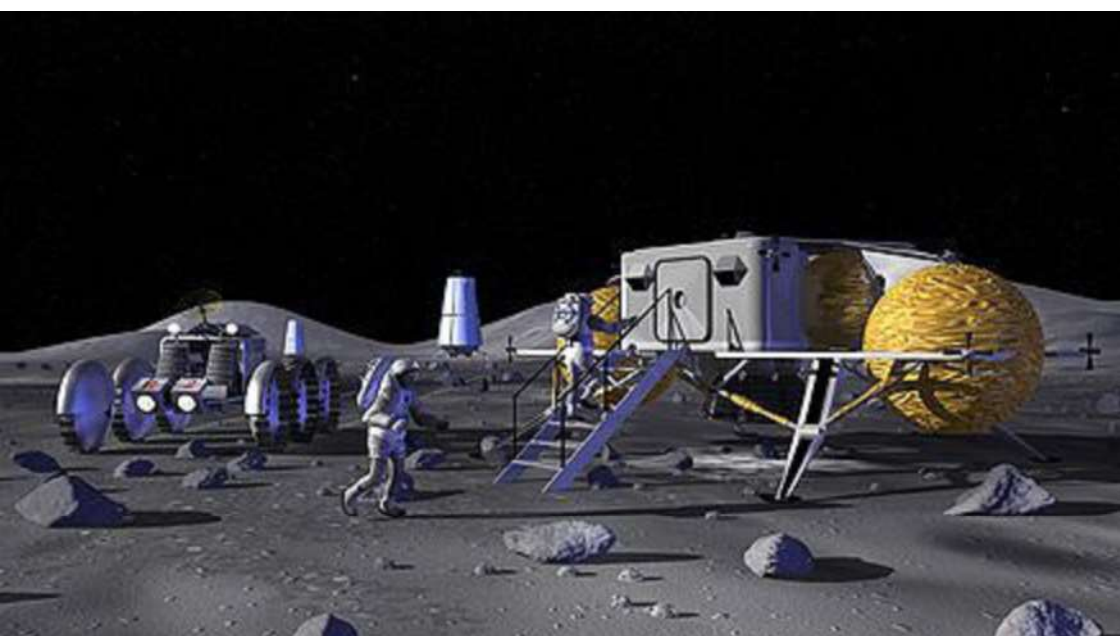
SLS tænkes udført i flere versioner. første version Block 1, skal kunne opsende i 70 tons lav bane om Jorden. Anden version kaldet Block 1B skal kunne opsende 105 tons til lav bane om Jorden. I Block 1B er trin to lavet i en forbedret version. En tredje version er Block 2, der skal kunne sende 130 tons i lav bane om jorden. Her er faststofboosterne lavet større.

Billede: NASA

tons i lav bane om Jorden. Første trin i tottrinsraketten vil være det samme i alle versioner og det drejer sig om et rakettrin drevet af flydende ilt og flydende brint. Med brændstof vil det veje 1000 tons og uden brændstof 190 tons. Udstødningshastigheden vil være 4,4 km/sek(vakuum - den vil være mindre ved jordoverfladen). Nogle af raketmotorerne fra rumfærgerne vil blive brugt til de første opsendelser. Trinnet har en diameter på 8,4 meter og er 60 meter højt. Andet trin i tottrinsraketten vil være

forskelligt i versionen til 70 tons og versionen til 130 tons. Første version vil det være en raket med startvægt på 31 tons og tom vægt på 3,5 tons. Trin ets første version vil have en diameter på 5 meter og en højde på 13,7 meter. Udstødningshastigheden vil være 4,5 km/sek. I den første udgave vil boosterne være de samme som fra rumfærgenprogrammet. Senere tænkes disse faststofboostere videreudviklet til større raketter. Endelig vil der være yderligere trin og nyttelast. Disse tænkes naturligvis

videreudviklet i takt med opgraderingen af SLS. Hverken tottrinsraketten eller boosterne vil blive forsøgt genanvendt. Boosterne vil dog være en videreudvikling af rumfærgens faststofboostere. Faststofboostere er teknisk set ikke velegnede til bemandede opsendelser; men det har uden tvivl haft betydning for tilslutningen i det amerikanske Senat, at den fortsatte brug af faststofboostere giver arbejdspladser i firmaer, der ellers måtte lukke. De sidste rumfærgemotorer bruges ved de første opsendelser i første trin.



En mulighed som SLS kan gøre til virkelighed er en base på en af Månens poler. Det vil dog kræve en udvidelse af opsendelseskapaciteten enten med flere opsendelsesramper eller muligheden for hyppigere opsendelser fra den rampe, der er under opførelse.

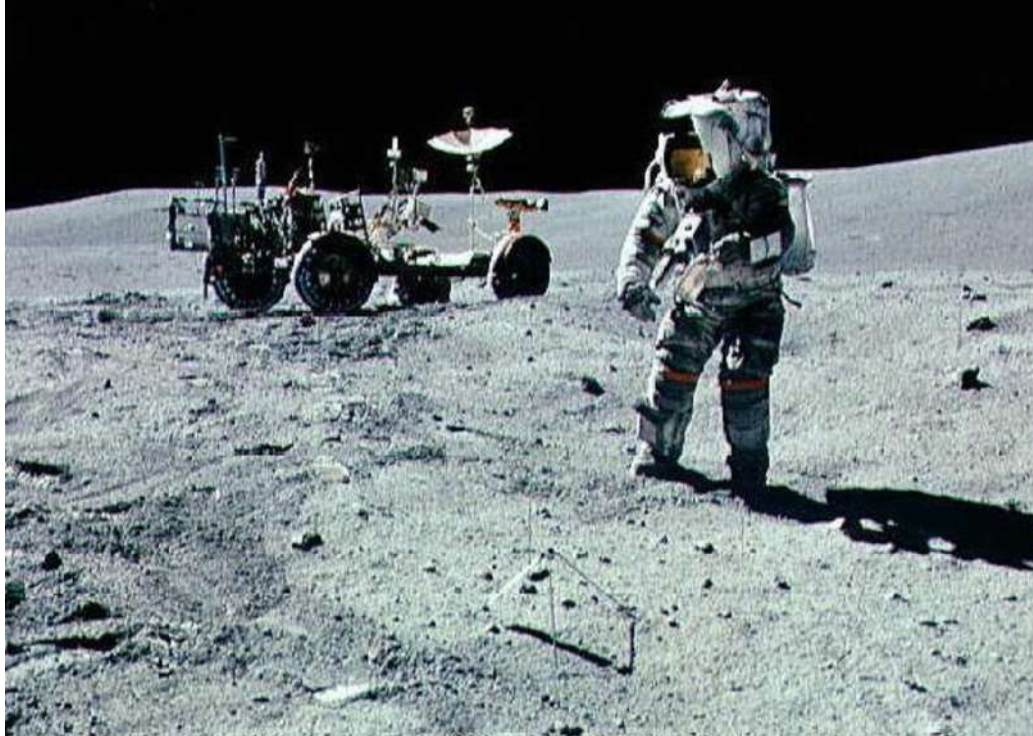
Billede: NASA

## Planer vedrørende Månen

SLS indgår allerede i en række planlagte missioner rundt om Månen. Her skal SLS opsende en orion-kapsel sammen med en videreudvikling af ESAs ATV-modul kaldet Service Module. Planen er så at opsende en orion-kapsel og Service Modulet med SLS. Dette system skal så flyve rundt om Månen. Første mission bliver ubemandet og er planlagt til 2018. Senere skal astronauter tage samme tur rundt om Månen - oprindeligt planlagt til 2021, men nu udsat til 2023. NASA er dog i gang med at udvikle et tilsvarende Service Modul.

En senere plan omfatter separat opsendelse af Orion med Service Module i een opsendelse og et månelandingsfartøj i en anden opsendelse. De to systemer skulle så kobles sammen i bane om Månen. Herefter skulle astronauter lande på Månen, starte igen og koble sig til Orion. Orion kunne derefter flyve tilbage med landing på Jorden. Men allerede i denne vision bliver den lave opsendelseskapacitet for SLS et problem. Den forudsætter to opsendelser med SLS med få dages

**En af de spændende muligheder, som SLS kan gøre til virkelighed er en rumstation i lav bane om Månen med tilkoblede landingsfartøjer, der vil muliggøre bemandede landinger på nye områder på Månen, ikke mindst på Månens bagside. Billede: © Stephen C Hartman / Lockheed Martin "NextSTEP on the Journey to Mars: Deep Space Habitats" <http://www.lockheedmartin.com/us/news/features/2016/nextstep-space-mars.html>**



**SLS vil muliggøre genoptagelse af bemandede rejser til Månen. Der er faktisk mange interessante områder på Månens overflade, som aldrig fik besøg af Apollo-astronauter. Det gælder ikke mindst Månens poler og Månens bagside. Billede: NASA**

mellemrum.

SLS indgår også i planerne for en rumstation i L2 i Jord-Måne-systemet. L2 er Lagrangepunktet hinsides Månen, hvor Månen og Jordens tyngdefelt i fællesskab kan holde en rumstation i bane om Jorden med samme omløbstid som Månen. Rumstationen vil således stå stille over Månens bagside. En sådan rumstation vil dog nok kræve mere

end to opsendelser af SLS om året.

En anden mindre ambitiøs plan drejer sig om at hente en mini-asteriode ind i en lav bane om Månen. Selve asteroiden skulle hentes ved hjælp af en ubemandet rumsonde. Efter at asteroiden er blevet anbragt nær Månen, så skulle astronauter kunne hente prøver og studere den nærmere.

Asteroider findes i udgaver op til en



diameter til flere hundrede kilometer; men for at man skal kunne hente asteroiden skal det dreje sig om en med en diameter på få meter.

ESA har planer om at udvikle et ubemandet landingsfartøj til landing på en af Månens poler. Dette skulle så være et første lille skridt i retning af en bemanded base på en af Månens poler. NASA arbejder også med planer for et landingsfartøj til landing på Månen.

Når det drejer sig om udforskningen af Månen, så får både ESA og NASA skarp konkurrence af kineserne.

Kina har allerede landsat en månebil Yutu ombord på rumsonden Chang-3. Derudover har de sendt en rumsonde rundt om Månen med efterfølgende landing på Jorden. Planerne går videre både med hensyn til at hente prøver ned af måneoverfladen og endda en landing på Månens bagside kaldet CLEP, der skal landsætte en månebil på Månens bagside.

### Rejsen til Mars

Der er officielt planer om at bruge SLS til bemandede rejser til Mars; men her virker planerne nok noget vidtløftige. En bemanded rejse til Mars ved hjælp af SLS vil kræve en hel række opsendelser; men opsendelsesfaciliteterne planlægges kun til en kapacitet på få opsendelser om året.

Nogle har lagt (optimistiske) planer hvorefter fire opsendelser med (den tunge) SLS skal muliggøre en bemanded rejse til Mars. Men med den indtil nu planlagte kapacitet vil det tage to år at foretage fire opsendelser med SLS - og det bare for at rejse til Marsmånen Phobos. En landing på Marsoverfladen vil kræve endnu mere.

SLS vil dog muliggøre vigtig erfaring med længerevarende ophold udenfor Jordens beskyttende magnetfelt. Det

gælder både håndtering af strålingfaren og ophold uden adgang til hyppige forsyninger.

### Andre missioner

En anden anvendelse af SLS kunne være til ubemandede rumsonder til det ydre Solsystem. Her åbner SLS op for en lang række spændende muligheder, pga. den store løftekapacitet, hvor kun økonomien sætter grænsen.

Een mulighed var en ubåd til at sejle på Saturns måne Titan, hvor der findes store søer af flydende metan. Her vil en enkelt opsendelse være nok.

SLS vil også være anvendelig til at opbygge rumstationer i bane om Jorden længere væk fra Jorden end lav bane om Jorden. En rumstation, der skal besøges af astronauter, skal dog ligge udenfor Van-Allan-bælterne. I dette område vil strålingen være for høj.

Man kan spørge om ikke også SLS har perspektiver i relation til praktisk udnyttelse af rummet. Svaret er bekræftende:

Ved bemandede missioner eller bemandede rumstationer skal tingene med tilbage. Man er med andre ord

### Vil du læse mere:

Exploration beyond Earth:

[www.nasa.gov/exploration/systems/index.html](http://www.nasa.gov/exploration/systems/index.html)

Detaljer om første opsendelse af SLS: EM-1

[www.nasa.gov/feature/the-ins-and-outs-of-nasa-s-first-launch-of-sls-and-orion](http://www.nasa.gov/feature/the-ins-and-outs-of-nasa-s-first-launch-of-sls-and-orion)

Alt om Space Launch System:

[www.nasa.gov/exploration/systems/sls/index.html](http://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/index.html)

Seneste nyt om SLS/Orion:

[www.nasaspaceflight.com/news/constellation](http://www.nasaspaceflight.com/news/constellation)

nødt til at holde styr på sit affald.

Fremtidige satellittjenester kan måske i fremtiden foregå fra rumstationer, der er periodevis bemandede. Herved vil man kunne sikre at alt hvad der bliver sendt op i rummet også bliver hentet ned igen.

I øjeblikket efterlades udtjente satellitter i rummet og det betyder at rummet omkring Jorden fyldes med rumskrot. Hvis ikke denne praksis ændres vil det betyde at mange vigtige baner omkring Jorden bliver ubrugelige på grund af rumskrot. Der er god plads i rummet; men der er ikke ubegrænset plads og der bør laves forberedelser til en mere langsigtet praksis.

En normal satellit fylder kun nogle få kvadratmeter i udstrækning og udgør dermed kun et lille "mål" for et stykke rumskrot. Forestiller man imidlertid sig, at man i fremtiden vil opsende energisatellitter, vil de have kæmpe solpaneler på mange hektar. Sådanne satellitter kan kun virke i baner/områder med lidt eller intet rumskrot. Disse satellitter vil kunne levere solenergi - døgnet rundt og året rundt uafhængig af vejret. De vil i øvrigt sandsynligvis være tunge og derfor kræve opsendelsessystemer såsom SLS.

# TICRA - dansk fingeraftryk på satellitter og sonder

TEKST: MICHAEL LUMHOLT

TICRA udvikler og sælger software, som anvendes i den daglige drift hos hovedparten af de virksomheder, der ejer eller bygger satellitter. TICRAs software anvendes til planlægning og udvikling af satelliternes antenner. Samtidigt er TICRA på den forskningsmæssige forkant inden for RF-modellering af reflektorantenne-systemer, bl.a. gennem udviklingskontrakter for ESA.

## Software til den internationale rumfartsindustri

Alle satellitter og rumsonder er udstyret med en række antenner, så vi kan sende kommandoer og data mellem Jorden og satellitten/sonden. Det er uanset, om det er satellitter til forskning, jordobservation, navigation eller telekommunikation, eller det er rumsonder i vores Solsystem. Den dominerende antennteknologi til større satellitter har igennem flere årtier været den såkaldte reflektorantenne, som man kender fra parabolantenner til TV. TICRAs softwareprodukter er de mest avancerede og nøjagtige i verden til at designe

reflektorantenner til satellitter. Derfor anvendes produkterne hos stort set alle rumfartsorganisationer, institutioner og virksomheder i verden, som bygger satellitter – såvel i USA som i Europa og Asien. For de store satellitproducenter som for eksempel Boeing, Lockheed Martin, ThalesAlenia og Airbus er leveringstiden på en satellit en vigtig konkurrenceparameter. Derfor er det vigtigt, at alle produkter, der anvendes i produktionen, er yderst pålidelige, og at medarbejderne kan få hurtigt svar på eventuelle spørgsmål i brugen af produkterne. TICRA har gennem 40 års tæt samarbejde med den internationale rumfartsindustri

demonstreret, at vi er en yderst troværdig og pålidelig leverandør, som leverer hurtig og kompetent support. Derfor er vi en attraktiv leverandør til disse virksomheder.

## Design af antenner til kommunikationssatellitter

TICRAs kernekunder er virksomheder, som bygger kommunikationssatellitter, og praktisk talt alle kommunikationssatellitter i den geostationære bane er designet med brug af TICRAs software.

Signaler sendes fra Jorden til satellitten, modtages og forstærkes på



**Figur 1** Eutelsat-9B satellitten under RF-test hos Airbus Defence and Space, Frankrig, er et eksempel på en satellit, hvor antennerne er designet med TICRAs software. Copyright: Airbus Defence and Space SAS. Fra: [www.esa.int](http://www.esa.int).



satellitten, og distribueres til et givent område på Jorden. Anvendes en klassisk parabolantenne på satellitten vil signalet distribueres over et elliptisk område på Jorden. Ønskes for eksempel TV distribueret over Europa, må ellipsen vælges til at dække hele Europa og vil herved - udover det ønskede landområde - dække uønskede områder som dele af Atlanterhavet og Rusland. Det er fordelagtigt kun at sende signalet til det ønskede landområde, kaldet dækningsområdet.

Slår man en bule i parabolantennens overflade, ændres antennens udstråling, så signalet ikke længere distribueres over et elliptisk område på Jorden. Så ved at ødelægge reflektorantennens form på en kontrolleret måde, kan man opnå en udstråling, der følger det ønskede dækningsområde, for eksempel Europas landegrænser. TICRA tilbyder et softwareprogram, hvor brugeren som input giver reflektorantennens overordnede geometri samt det ønskede dækningsområde, og programmet giver som resultat den bulede reflektoroverflade. Et eksempel er vist på billedet i figur 2.

I beregningerne tages højde for ændringer i dækningsområdet grundet satellittens bevægelser i den geostationære bane samt termiske deformationer af overfladen alt efter om reflektoroverfladen er belyst af Solen eller i Jordens skygge. Softwaren udregner en numerisk løsning til et stort optimeringsproblem, og beregningstiden kan være flere uger. TICRA markedsfører det eneste kommercielle software, der kan forme reflektorflader til et givet dækningsområde.

### Analyse af satellittens mange antenner

Prisen for at udvikle, producere, og opsende en kommunikationssatellit



**Figur 2** Antenne med bulet reflektoroverflade designet af EADS Astrium.

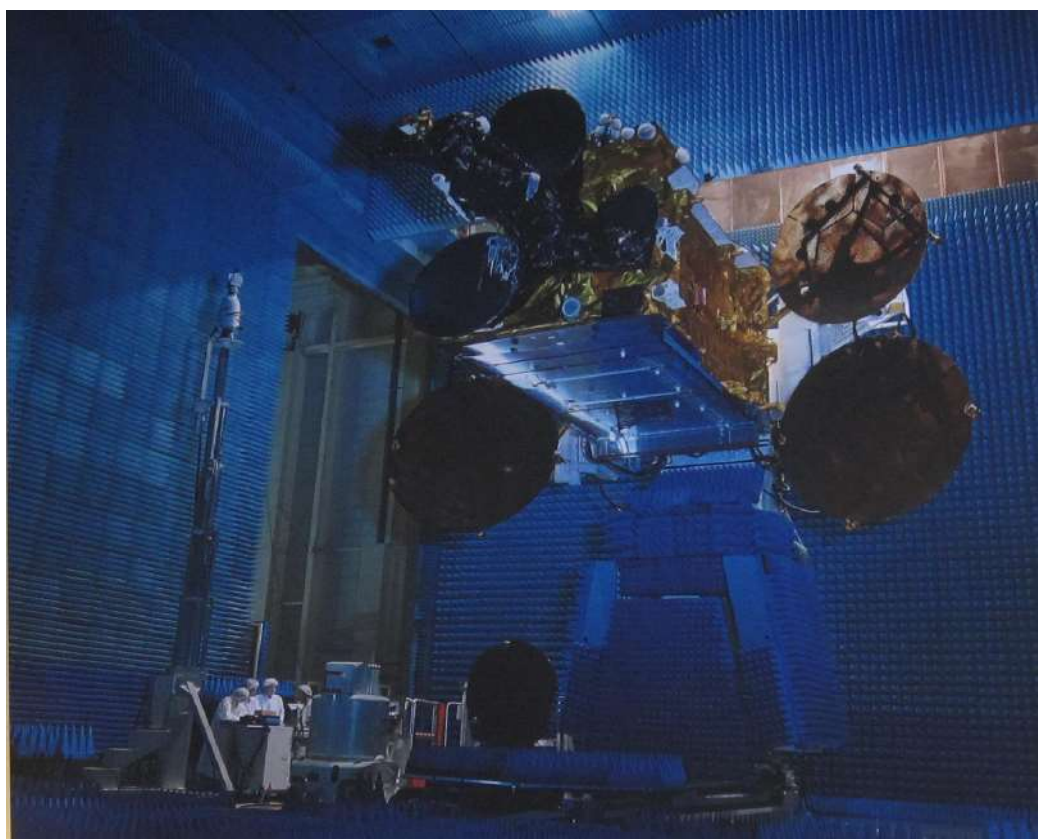
Source: B Schustermann. Fra: [www.theengineer.co.uk](http://www.theengineer.co.uk).

ligger ofte over 1 milliard kroner. For at opnå en god forretning skal der sælges TV og data til mange kunder, og derfor placeres adskillige antenner på satellitten for at kunne øge kapaciteten. Et eksempel kan ses på billedet i figur 3.

De mange antenner placeret tæt på hinanden giver udfordringer for

antennedesignet. Signalet fra Jorden, som modtages af antennerne på den ene side af satellitten, har meget lav styrke, og der anvendes derfor følsomme modtagersystemer på satellitten. Signalet, som sendes af antennerne på den anden side af satellitten, er derimod kraftige. Der er risiko for, at det kraftige signal fra sendeantennen via uønsket spredning

**Figur 3** Satellitten SES-6 under RF-test i MISTRAL Compact Test Range hos Intespace, Frankrig. Copyright: Intespace 2013. Photo: B. Ziegler.



i satellitstrukturen kan finde vej til modtagersystemerne og gøre satellitten ”døv”. Derfor kræves beregninger af såvel antennerne selv som af radiobølgernes spredning i satellitstrukturen med meget stor nøjagtighed. Og til dette har TICRA’s produkt, GRASP, gennem flere årtier været det førende på markedet. TICRA har inden for de seneste år udvidet funktionaliteten af programmet markant, så selv små detaljer på satellitten, der tidligere blev ignoreret, nu inkluderes i beregningerne. Matematisk er det formuleret som et fuldt

ligningssystem med mere end 1 million ligninger og 1 million ubekendte. Det vil kræve flere Terabytes at gemme ligningssystemet på computeren, så det er ikke muligt. Moderne løsningsmetoder kan reducere memory-forbruget betydeligt, men beregningstiden måles fortsat i døgn. Derfor har TICRA i et erhvervsforsker-projekt og under kontrakt med ESA udviklet en speciel ligningsløser, hvor egenskaberne af Maxwells ligninger er indbygget. Herved kan problemet løses på en moderne bærbar PC i løbet af få timer.

## Antenner til rumsonder

TICRA har også et fingeraftryk på de store og kendte rumsonder, som udforsker vores Solsystem, som New Horizons og Rosetta.

I juli måned 2015 kom NASA’s rumsonde, New Horizons, tæt forbi Pluto. Med ombord var en lang række videnskabelige instrumenter, som skal bibringe ny viden om dværgplanetens atmosfære og frose overflade. New Horizons’ fly-by var en stor succes, og vi har set NASA udsende billeder af Plutos overflade med meget fine detaljer. Missionen fortsætter med yderligere studier af Pluto og øvrige objekter i Kuiper-bæltet.

Missionen fortsætter også på en anden måde. Sonden er mere end 7,5 milliarder kilometer fra Jorden og har begrænset effekt at sende med, så derfor er en stor reflektorantenne en nødvendighed på sonden, som det ses på billedet i figur 4. Jo større antenner på sonden og på Jorden, jo større datamængde kan transmitteres til Jorden. Men selv med New Horizons’ 2-meter diameter antenne og med en 70-meter diameter antenne på Jorden tager det mere end et år at transmittere de store mængder data optaget ved Pluto til Jorden. Antennerne på sonden udgør altså en kritisk del af missionen, og der stilles meget høje tekniske krav til antennerne. For at sikre antennedesign med størst mulig nøjagtighed, anvender NASA det mest nøjagtige design-software, som er tilgængeligt, og det er TICRA’s software. Tilsvarende er antennerne på ESAs rumsonde Rosetta designet med TICRA’s software. Rosetta kredser om komet Churyumov-Gerasimenko (67P) og foretager detaljerede observationer af kometen samt modtager data fra landingsmodulet, Philae. Disse data transmitteres til Jorden.

**Figur 4 Illustration af New Horizons’ fly-by af Pluto-Charon systemet. Copyright: NASA/JHU APL/SwRI/Steve Gribben. Fra: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov).**



## Design af jordstationsantennen

Som forberedelse til Rosetta missionen opbyggede ESA et Deep Space Network af tre jordstationsantenner i hhv. Australien, Spanien og Argentina. TICRA har deltaget i designet af antennen i Perth, Australien, som ses under konstruktionen i billedet i figur 5. Selve antennen er et 35 meter diameter dobbelt-reflektor system. Denne del af antennen fødes af en såkaldt beam waveguide, der indeholder yderligere syv store spejle. Beam Waveguiden muliggør, at det 35 meter store og 600 tons tunge antennesystem kan bevæges om såvel en lodret som en vandret akse. Dermed kan antennen pege mod Rosetta uanset, hvilken retning over horisonten sonden befinder sig i. Dette vel at mærke med en nøjagtighed på 0,006 grader. En af de store design-udfordringer ved en sådan jordstation er, at antennen skal sende med høj effekt – op til 20 kW - men modtager signaler

med ekstrem lav effekt. Som eksempel er effekten, der kan samles op af Rosettas signal med den over 1000 kvadratmeter store antenne, 20 størrelsesordener svagere (2E-16W). Det stiller meget strenge krav til det anvendte udstyr. Og samtidigt stiller det meget strenge krav til nøjagtigheden af beregningerne af radiobølgernes udbredelse og spredning i de mange spejle og reflektorer. TICRA's kerneprodukt, GRASP, er det eneste kommercielle produkt, hvor man kan opnå denne nøjagtighed.

TICRA deltog på forskellige måder i designarbejdet med Deep Space Antennen i Perth under direkte kontrakt for ESA: dels udviklingskontrakter, hvor GRASP tidligt i forløbet blev udvidet med ny funktionalitet, som antenne-designerne havde brug for i deres nøjagtige beregninger; dels delopgaver omkring designet af beam waveguiden og antennen; dels beregninger på det endelige design som en uafhængig kontrol.

## Fra ESA kontrakter til kommercielt rumfartsfirma

TICRA startede som en mindre virksomhed, der - i kraft af en stor koncentration af specialviden - var i stand til at vinde en række kontrakter for ESA og en række andre internationale organisationer. Viden opnået på kontrakterne blev ført ind i en række softwareprodukter, som efterfølgende blev solgt kommercielt.

I dag stammer mere end 80% af omsætningen fra salg af softwareprodukter og tilhørende support. Omsætningen fra ESA-kontrakterne er stort set uændret, men TICRA har formået at opbygge en kommerciel forretning rundt om ESA-kontrakterne.

Trods den store kommercielle succes har TICRA fortsat brug for samarbejdet med ESA. På europæisk plan foregår udvikling i ny antenne-teknologi næsten udelukkende i ESA-regi, og i store internationale teams af virksomheder med hver deres nicheområde og – ikke mindst - under sparring med ESA. Derfor er Danmarks tilslutning til ESA vigtig for TICRA og en række øvrige danske rumfartsvirksomheder og universiteter.

Specielt er dansk tilslutning til ESAs teknologiprogram, ARTES, vigtig, for at TICRA også i fremtiden kan sætte et dansk fingeraftryk på de mange satellitter og sonder, der opsendes.



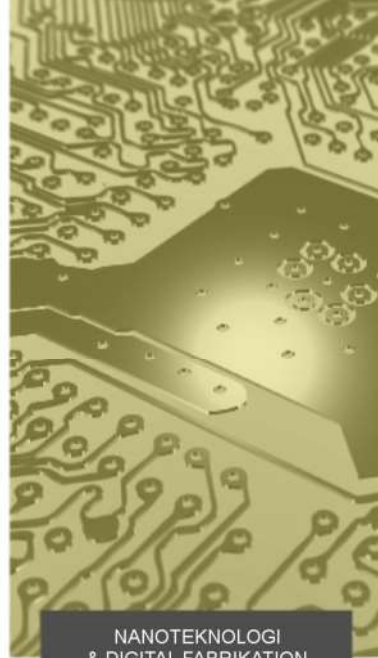
**Figur 5 Konstruktionen af ESAs nye antenne i New Norcia, Australien. Copyright: ESA. Fra: [www.esa.int](http://www.esa.int)**



KUNSTIG INTELLIGENS  
& ROBOT TEKNOLOGI



BIOTEKNOLOGI



NANOTEKNOLOGI  
& DIGITAL FABRIKATION



NETVÆRK  
& COMPUTER SYSTEMER

Grafik: Singularity University

# Ekspontiel Udvikling og Newspace

TEKST: MARTIN ROBERT KNUDSEN, CLEAR SKIES ANALYSE & RÅDGIVNING

## Ekspontiel teknologiudvikling

Nogle af de største omvæltninger vi oplever som mennesker er når en teknologi eller et system i en længere periode udvikler sig ekspontielt. Vores hjerner er indrettet efter at kunne forholde sig til lineære udviklinger – hjernens mekanismer til at forudsige lineær udvikling er ekstremt effektive, men vi har svært ved at forstå ekspontiel udvikling uanset om det er i samfundsstrukturer, sociale medier eller teknologier.

Vi opdager det typisk først, når det begynder at have indvirkning på vores dagligdag. En ekspontiel udvikling kan ”gå under radaren” i lang tid, da en ekspontiel udvikling er ”flad” i lang tid før den ”pludselig” begynder at brække opad. Det er ikke fordi det sker pludseligt, det har jo været undervejs længe, men det er først nær den brækker opad at man oplever ”forstyrrelsen” – disruption på engelsk.

## Ekspontielle hovedgrupper

Der findes i dag flere store teknologier, som udvikler sig ekspontielt som følge af at

transistorer i computerchips kan pakkes bedre og bedre og reelt fordobler regnekraften og halverer energiforbruget hver 18. måned, samt at vi finder teknikker og metoder til at miniaturisere altså bygge mindre og mindre komponenter.

1. Nanoteknologi og digital fabrikation
2. Bioteknologi
3. Kunstig Intelligens og Robotteknologi
4. Netværk og computersystemer

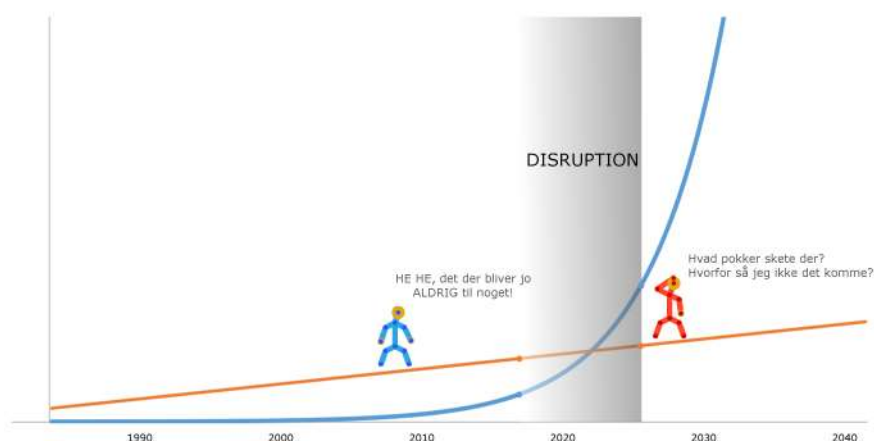
Indenfor alle disse områder er der udvikling, der sker ekspontielt, og som vil ændre vores samfund radikalt de næste tre årtier.

## NewSpace

NewSpace er en betegnelse, der bruges om den bevægelse, der sker på kanten af eller uden om de traditionelle rumfarts aktører – rumagenturerne og de store industri virksomheder. Der er ikke en enkelt accepteret definition, men følgende giver en god ide:

1. Newspace projekter er som regel **udviklet for private midler**, med begrænset eller ingen sammenhæng med de nationale rumfartsagenturer. NewSpace virksomheder undgår ikke ESA og NASA, men deltager ofte i deres projekter. Deres fokus er kommercielle kunder.

Ekspontiel udvikling



Grafik: Clear Skies

**2. Lavpris koncepter** for opsendelsessystemer og komponenter til rumfartøj. Deltager ofte i konkurrencer som Ansari X Prize og Google Lunar X Prize.

**3. Fokus på innovation eller kombination af billigere standard komponenter.** Istedet for at anvende komponenter der er "space-proven" søges udviklet ny teknologi eller anvendt billigere standard komponenter fra andre industrier.

**4. Trinvis udvikling af forretningsmodel og teknologi** – kendt fra udviklingen af computerchips og LCD skærme. Start med systemer med begrænset ydeevne, men med markeder, der kan generere et overskud. Dette overskud kan betale for at udvikle næste trin og markedet vil modnes i takt med teknologiudviklingen.

**5. Ambitiøse mål.** Eksempelvis målsætning om bemanded rumfart uden for jord-kredsløb i stor skala, og målsætning om at etablere kommunikations ydelser til områder på jorden, hvor kundegrundlaget er for spinkelt for de etablerede forretningskoncepter.

**6. Udnyttelse af eksponentielle teknologier.** Derudover tænker flere i OpenSource, alternativ funding og benytter net-fællesskaber til at vokse.

Forskellige spændende NewSpace virksomheder og organisationer:

- Bigelow Aerospace
- Blue Origin
- Copenhagen Suborbitals
- GomSpace
- Moon Express
- NanoRacks
- Planetary Resources
- Scaled Composites
- SpaceX
- Terra Bella
- Virgin Galactic
- XCOR Aerospace
- Zero Gravity Corporation

## Disruption i rumfarten

Indenfor rumfart er der flere områder, der udvikler sig eksponentielt, og hvor hele industrien er ved at blive "disrupted".

De eksponentielle teknologier giver mulighed for at lave satellitter mindre, lettere og med mere og mere regnekraft og større grad af autonomi. Udviklingen gøres billigere ved at anvende standardkomponenter og enheder fra andre industrier. Da opsendelses omkostningerne for små satellitter er meget lave er der åbnet op for helt nye teknologiske løsninger på kendte udfordringer. Det virker som om selv de vildeste projekter kan deles op i små økonomisk overkommelige teknologiske bidder, så der kontinuerligt kan præsenteres fremdrift.

## Naturlovenes begrænsninger

Der er dog stadig en række områder, hvor naturlovene sætter begrænsninger. Enten lever man med dem eller også søger man at omgå dem i sit missions koncept.

**1. Energi og lagring.** Man kan stadig ikke få mere energi ud af solpaneler end der kommer ind fra Solen, og energitæthed i batterier har grænser, der følger af deres materialeegenskaber.

Tricks: udfoldelige solpaneler, magnetiske sejl, solsejl, etc.

## 2. Datahastighed og signal.

Kommunikation over afstande har stadig udfordringer og sætter grænser op for funktionaliteten på små satellitter med små antenner, da styrken på radiobølgekommunikation aftager med kvadratet på afstanden. Tricks: kommunikere til netværk af jordbaserede stationer i nye bølgelængdeområder eller via større kommunikationssatellitter i højere jord kredsløb

## 3. Observationer og opløsning.

Den maksimale opløsning ved

jordobservationer afhænger fortsat af spejl- eller blænde-diameteren, afstanden (banehøjden) og bølgelængdeområdet. Høj billedkvalitet kræver også præcis orientering. Nanosatellitter kan derfor ikke opnå lige så god opløsning som store satellitter kan.

Trick: kombinere observationer fra flere små satellitter, der flyver i konstellation. Kredse om jorden i lavere banehøjde og acceptere kortere satellitlevetid.

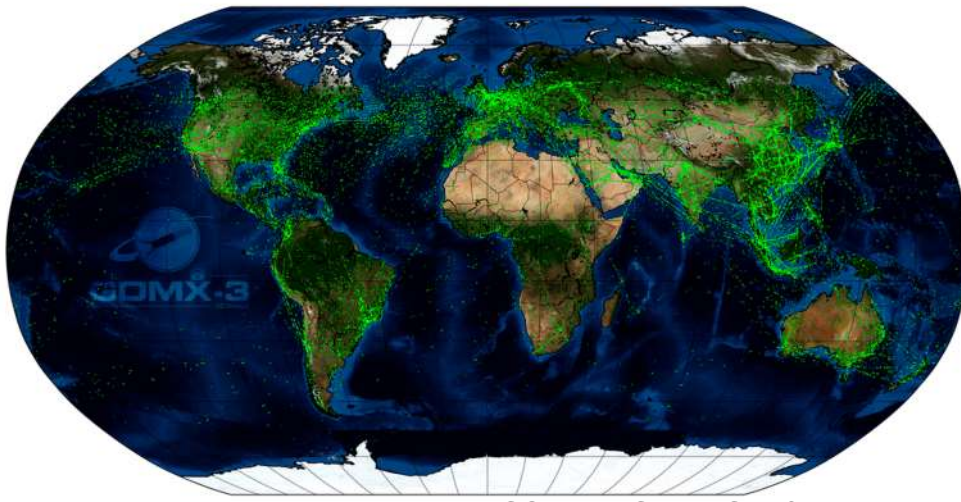


**GOMX-3 er en 3U Cubesat - fylder 3 standardmoduler under opsendelse. Vægtklasse: Nanosatellit. Foto: GomSpace.**

## Små-satellit typer

Minisatellitter vejer 100-500 kg  
Microsatellitter vejer 10-100 kg  
Nanosatellitter vejer 1-10 kg  
Picosatellitter vejer 100-1000 g  
Femtosatellitter vejer 10-100 g

En nanosatellit, der er opbygget i standard modulstørrelser på 10x10x11.35cm, kaldes en **CubeSat**. Den indeholder 1 liter anvendeligt volumen og en vægt på max 1,33 kg. Fylder den eksempelvis 6 enheder, anvendeligt volumen, benævnes den en 6U Cubesat.



Registrering af flytrafik med GOMX-3. Grafik: GomSpace.

# CubeSats fra GomSpace

TEKST: MARTIN ROBERT KNUDSEN,  
CLEAR SKIES ANALYSE & RÅDGIVNING

Den danske virksomhed, der måske er længst fremme i forhold til en eksponentiel udvikling indenfor rumfart er GomSpace, der ligger i den sydlige del af Aalborg i forbindelse med universitetet.

Siden GomSpace blev stiftet i 2007 har de arbejdet med komponenter til småsatellitter og indenfor de sidste år kunnet levere nøglefærdige microsatellitter, og nanosatellitter.

”GOM” i firmaets navn kommer fra the Muppet Show, hvor Statler og Waldorf var to "Grumpy Old Men", der kritiserede alt og alle fra de bedste tilskuerpladser i salen. Selvom det oprindeligt var et øgenavn fra studietiden til de tre grund-læggere, så tjener det også til evig påmindelse om hvad man skal stå mål til når man som lille ny virksomhed vil ind i en industri domineret af store virksomheder og nationale rumfarts-agenturer.

Efter en lang periode med mange småprojekter og flere og flere succeser, sidder GomSpace nu med fremme, som en betydende aktør med erfaringer og et setup, der er gearet til at kunne indfri det store potentiale indenfor NewSpace.

## GOMX-3

Den senest opsendte satellit er en 3U Cubesat ved navn GOMX-3. Den blev (sammen med en række andre Cubesats) fragtet til ISS ombord på en japansk HTV-5 service mission og indsat i kredsløb derfra 5. oktober 2015. Satellitten blev udviklet under en ESA kontrakt, der desuden var det første Cubesat projekt med teknologi udvikling for øje, som ESA har deltaget i.

”Cubesats er ideelle til at teste eksperimentelle teknologier på grund af størrelsen, og de lave omkostninger til opsendelse” fortæller adm. direktør i GOMspace Niels Buus. ”Kan vi overkomme en række teknologiske udfordringer vil Cubesats kunne udvide paletten af økonomisk bæredygtige anvendelsesmuligheder for satellitsystemer,” fortsætter han og introducerer derefter kort de vigtigste udfordringer, som GOMX-3 skal demonstrere løsninger på.

## Overvågning af flytrafik

GOMX-3 har til opgave at demonstrere en metode til at overvåge flytrafik ved måling på baggrund af såkaldte ADS-B

## Indsættelse i kredsløb

Til at indsætte Cubesats i kredsløb er det nødvendigt med mekanismer, der både kan fastholde dem under opsendelse, men også kan frigive dem, når de er i den rigtige banehøjde. Disse moduler kan monteres på forskellige steder nær eller under hovednyttelasten. På en enkelt opsendelse i 2014 med en russisk Dnepr raket er det lykkedes at opsende hele 37 satellitter - 2 minisatellitter, 2 microsatellitter og hele 33 Cubesats.

En anden god mulighed er at få sin Cubesat monteret i en NanoRacks CubeSat Deployer (NRCSD) og fragtet til ISS sammen med forsyninger. Her flytter astronauterne NRCSDerne over til det japanske JEM modul, installerer dem på JAXA MPEP (Multi-Purpose Experiment Platform) og flytter dem udenfor ISS via luftslusen. Astronauter eller jordpersonel kan herefter sende de enkelte Cubesats i kredsløb.

I efteråret 2015 blev der på denne måde sendt 18 stk 3U Cubesats, herunder de danske **AAUSAT-5** og **GOMX-3**, i kredsløb. Desværre kunne **Andreas Mogensen** ikke nå at udføre denne opgave under IRISS missionen – opgaven blev derfor udført af den amerikanske astronaut Kelly, mens Yui optog det på video fra udsigtsposten i Cupola modulet.

signaler. Alle fly udsender i fremtiden dette signal, der kan bruges til at positionsbestemme flyene, og derved give informationer til at undgå at flyene kommer for tæt på hinanden og at man udnytter flykorridorerne effektivt. De sikkerhedsmæssige aspekter i at kunne detektere og følge fly, der afviger fra deres flykorridor er åbenlyse.

GOMX-3 er til det formål udstyret med en spiral formet ADS-B antenne og modtager, som gør den i stand til at opfange signalerne inden for synsvidde og på flere hundrede km afstand.

### Kommunikation og Pointing

Frem til nu har Cubesats været udstyret med UHF eller S-band telemetri systemer, hvilket kun muliggør download af nogle få hundrede Mbit pr. dag. Gennem miniaturisering, mangedobling af regnekraft og forbedring af lagerkapacitet er det nu blevet muligt at foretage jordobservationer, astronomiske obs. eller have andet teknologisk udstyr ombord på nanosatellitter – opgaver der genererer mange Gigabyte data hvert døgn. Nøglen til at Cubesats kan komme videre ad den eksponentielle udvikling er derfor mere effektive kommunikations-løsninger til at sende data til jorden.

En mulighed er at oplagre data og så sende det ned til en jordstation, hver gang satellitten passerer hen over – her er høj overførselshastighed (Mbit/s) vigtig, da et døgn observationer skal overføres på få minutter. Dette fungerer på GOMX-3 med en indbygget X-band sender, udviklet af franske Surlinks.

En anden mulighed er at sende data til større satellitter i eksempelvis GEO, der så kan videresende data til jorden med deres kraftigere udstyr. Dette kræver dog at Cubesatten kan orienteres så præcist, at den kan både lytte og sende signaler til den større satellit. Med sine indbyggede små reaktions-hjul har GOMX-3 demonstreret, at den kan "låse fast" på signaler fra satellitter, og der kan således også bygges videre på missionskoncepter, hvor dette er nødvendigt.

### SSGs 3 diamanter og OneWeb

Indenfor NewSpace prøver man ofte at nytænke missioner eller forretningsmodeller og starte helt forfra. Kreative løsninger kan nogle gange tvinges frem ved at sætte så stramme begrænsninger på økonomi og fysiske parametre, at det er umuligt at løse opgaven på traditionel vis. Nogle af de mest spændende koncepter lige nu involverer flåder af småsatellitter.

GomSpace blev i april 2016 udvalgt til producent af de tre første nanosatellitter og en tilhørende jordstation i **Sky and Space Globals** satellit-kommunikations projekt, der skal levere telefoni og internet til de ekvatoriale områder, hvor satellit-kommunikation idag er både dyrt og dårligt.

Dette projekt er gået op imod det ambitiøse **OneWeb** projekt, hvor Airbus Defence and Space skal producere ca. 900 miniatellitter på maks. 150kg til at levere verdensomspændende internet fra kredsløb i

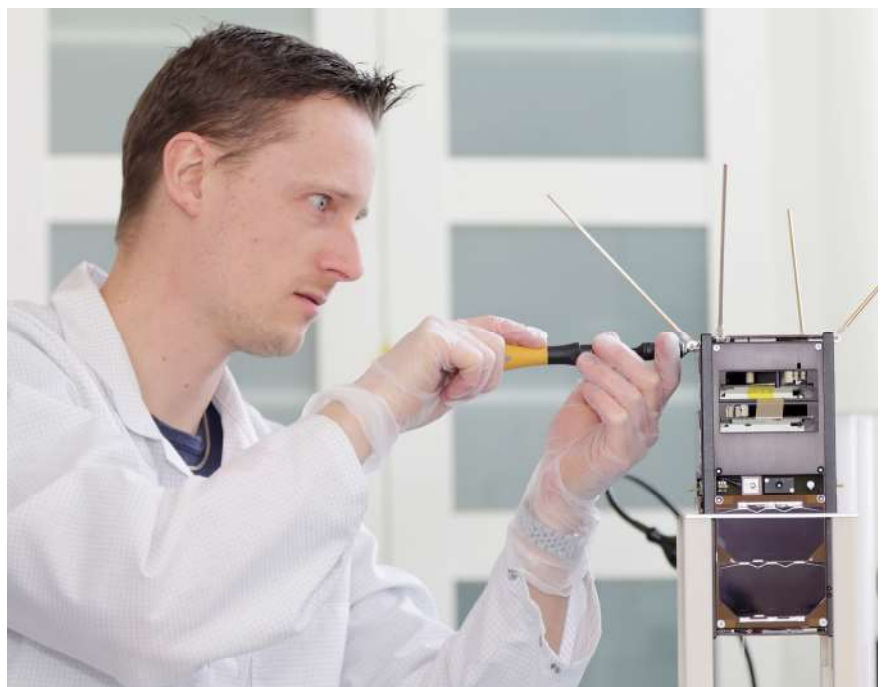
1.100 kms højde.

Der er sikret kontrakter for mere end USD 1 mia. til opsendelse af de mange satellitter med 21 Soyuz raketter gennem ArianeSpace (og optioner på flere) samt med Virgin Galactic's LauncherOne, når den bliver klar. Der er lavet aftaler med staten Florida om opførelse af fabrik, hvor løfter om arbejdspladser skal sikre medspil.

Ledelsen i OneWeb og hele projektet er sammensat af deltagere fra store industri virksomheder og entrepreneurs fra NewSpace. Det har derfor en god chance for at kunne blive realiseret, men også en stor risiko for at implodere pga. forskellig kultur.

Det bliver spændende at følge om Oneweb kan lykkes med at forbedre traditionel satellitkommunikation - og om SSG med deres GomSpace producerede nanosatellitter kan disrupte hele SatCom branchen og overhale Oneweb indenom med opsendelser af de "3 diamanter" i midten af 2017.

**GomSpace eksporterer til mere end 40 lande over hele verden. Design og integration foregår hos GomSpace i Aalborg. En stor del af produktionen udføres af danske leverandører. GomSpace beskæftiger i dag mere end 40 medarbejdere af forskellige nationaliteter. På billedet ses medstifter Morten Bisgaard, der idag er Senior Engineer. Foto: GomSpace.**



# IAFs årlige forårsmøde i Paris

TEKST: LYKKE PEDERSEN

Hvert år i marts samles ca. 400 medlemmer af IAFs komitéer i Paris. Både IAFs administrative og tekniske komitéer holder møder og IPC (International Programme Committee) udvælger de abstracts, der kommer med og bliver præsenteret på den årlige kongres, IAC.

IAFs forårsmøde 2016 blev holdt i Paris den 22.-24. marts. I løbet af de tre dage holder komitéerne og IAF ledelsen møder og der er en række fællesarrangementer såsom GNF (General Network Forum) foredrag, WIA-Europe Breakfast møde, cocktail party og et IPC (International Programme Committee) General Meeting, hvor der bl.a. aflægges status for dette års og næste års kongres, IAC. Til dette års IAC 2016 i Mexico var der indsendt 2716 abstracts fra (rekordmange) 78 lande, flest fra Kina og USA. Heraf vil mellem 2100 og 2200 abstracts blive accepteret til kongressen.

Det er komitéerne, der står for udvælgelsen af abstracts og der kommer folk fra hele verden og stiller deres tid og ekspertise til rådighed. Uden deres store engagement ville der ikke være nogen IAC.

Det er gratis at deltage i IAFs forårsmøde. IAF er åben overfor, at endnu flere kommer med i komitéerne. Medlemmer af en IAF-medlemsorganisation (f.eks. Dansk Selskab for Rumfartsforskning) kan søge om at komme med i en af IAFs mange komitéer (se grafik på næste side). Interesserede kan henvende sig til IAF-sekretariatet.

Læs mere om mulighederne for medlemmer i IAFs "Welcome Kit".  
<http://www.iafastro.org/membership/>



IAFs årlige forårsmøde i Paris finder sted i "CAP 15 Conference Centre", der ligger ved floden Seine 300 meter fra Eifeltårnet. Foto: IAF

## 65 år - Dansk Selskab for Rumfartsforskning blev medlem af IAF i 1951

Dansk Selskab for Rumfartsforskning og IAF (International Astronautical Federation) blev oprettet i årene efter 2. Verdenskrig. Begge organisationer har som formål at fremme rumfartens udvikling med fredelig mål for øje samt at udbrede kendskab til og viden om rumfart i samfundet. Dansk Selskab for Rumfartsforskning blev medlem af IAF i 1951 og det er i år 65 år siden.

## Se GNF-foredragene på IAFs YouTube kanal:

"COP21 Results and Impact on Space Activities"

- 26 ud af 50 COP21 miljøovervågningsparametre kan kun observeres fra rummet.

"Moon village Concept"

Præsentation af Johann-Dietrich Woerner, Director General (ESA)

- endnu kun et globalt koncept og ingen konkret projektplan.



# Oversigt over IAF komitéer

De tekniske komitéer afspejler mangfoldigheden af emner, der bliver præsenteret i løbet den årlige IAC kongres.

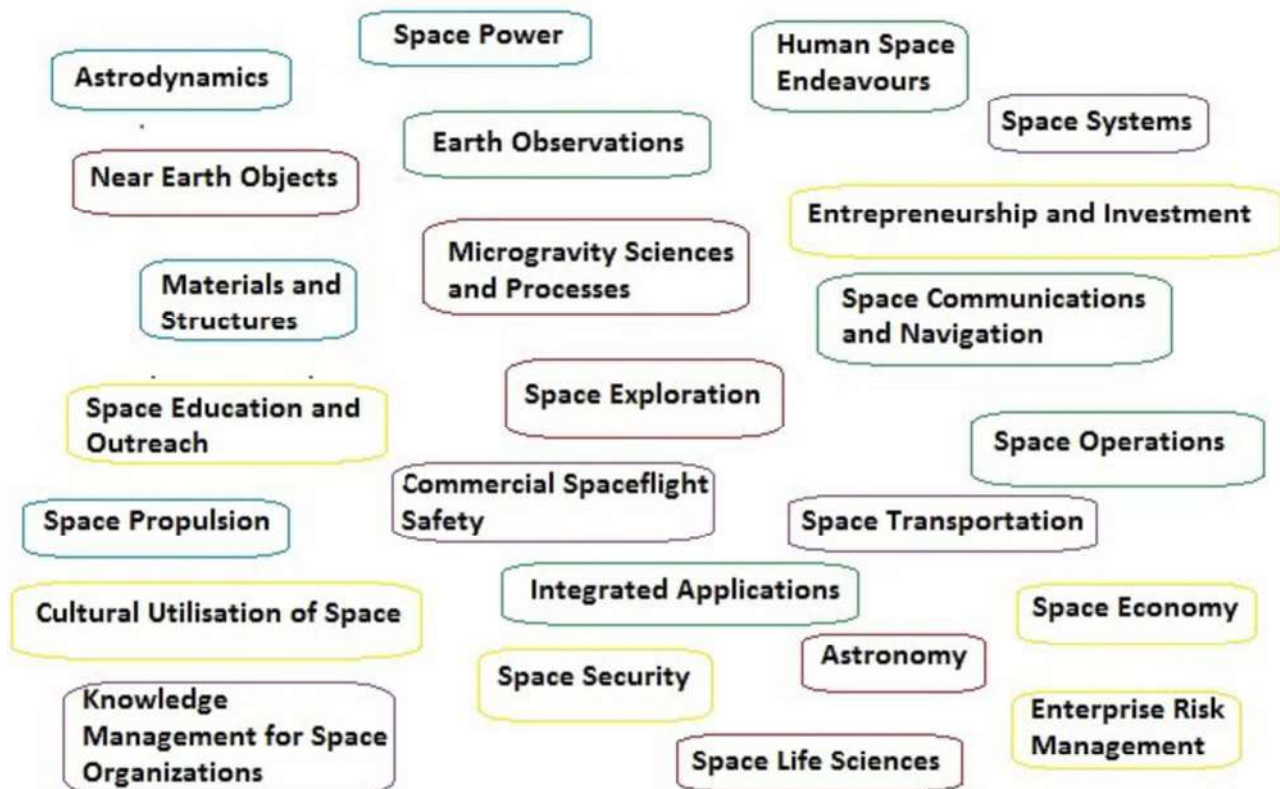
Der findes en teknisk komité for hvert af de områder, der er vist på grafikken nedenfor. Hver komité er ansvarlig for mindst ét symposium, bestående af en række tekniske sessioner (oplæg) under IAC kongressen.

Læs mere om komitéerne på IAFs hjemmeside under "About".

[www.iafastro.org](http://www.iafastro.org)



## Tekniske komitéer



## Administrative komitéer

- Committee for Liaison with International Organisations and Developing Nations (CLIODN)
- Congress and Symposia Advisory Committee (CSAC)
- Finance Committee
- Honours and Awards Committee (HAC) (2015-2018)
- IAF Regional Groups
- IAF/IAA/IISL Advisory Committee on History Activities (ACHA)
- Industry Relations Committee (2015-2018)
- International Project/Programme Management Committee (IPMC)
- IPC Steering Group (2015-2018)
- Policy Advisory Committee (PAC)
- Space Museums and Science Centres Committee (2015-2018)
- Space Societies Committee (SSC) (2015-2018)
- Space Universities Administrative Committee (SUAC)
- Technical Activities Committee (TAC)
- Workforce Development-Young Professionals Programme Committee (WD-YPP) (2015-2018)

# Forskelligt

## Andreas Mogensen udnævnt til æresmedlem i Dansk Selskab for Rumfartsforskning

På generalforsamlingen i Dansk Selskab for Rumfartsforskning 25. februar 2016 blev det besluttet at udnævne astronaut Andreas Mogensen til æresmedlem i kraft af den kæmpe formidlingsindsats, som han har leveret - såvel i sin funktion som astronaut med alt hvad opgaven indebærer, som hans væremåde og lyst til at formidle viden og passion for rumfart, rumforskning og naturvidenskab generelt (og alt det andet fantastiske med internationalt samarbejde, flid, mod, vedholdenhed, grundighed, optimisme,...).

Andreas Mogensen har gjort rumfart og rumforskning nærværende og vedkommende for danskere højt og bredt, og på bedste vis formidlet viden om og udbredt interessen for rumfart, rumfartsforskning og naturvidenskab generelt - hvilket er essensen af selskabets formål.

Derfor er vi glade for at han vil tage imod udnævnelsen.



Andreas på besøg i Svendborg. Foto: © Mads Claus Rasmussen



## Tyskland søger sin første kvindelige astronaut

I Tyskland blev der i marts 2016 iværksat en mediekampagne for at finde den første tyske kvindelige astronaut.

Ansøgningsfrist 30.april og uddannelsen vil starte i 2017.

Initiativet er iværksat af HE Space støttet af DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt).

#dieastronautin

## IAC 2016 Mexico

Hvert år er IAF med til at arrangere en stor kongres (IAC) med emner indenfor alle områder om rummet og rumfart. I 2016 afholdes denne kongres, IAC2016 for 67. gang, dette år i Guadalajara, Mexico.

Som medlem af Dansk Selskab for Rumfartsforskning kan du deltage i IAC kongressen til reduceret pris.

<http://www.iac2016.org/>





En blomstrende orange Zinnia opdyrket om bord på den internationale rumstation i det nye plantevækst system. Billede: Scott Kelly/NASA/AFP

