

Den Internationale Rumstation og Danmark

– Anden del: kæmpelyn, kameraer og jordskin

Carol Anne Oxborrow, DTU Space

Denne artikel er anden del af tre artikler om danske eksperimenter på den Internationale Rumstation, ISS. Jeg fokuserer her på eksperimenter, jeg kender til personligt, enten som forskningsleder eller gennem mine kolleger på DTU Space og DMI. Her fortæller jeg om vores forskningsprojekter udført af den danske ESA-astronaut, Andreas Mogensen, under hans iriss- og Huginnmissioner til ISS i 2015 og 2023-4. Som medlem af ESA, Den Europæiske Rumorganisation, er Danmark med i verdens største rummissioner, også på ISS.

Andreas Mogensens rummissioner: iriss og Huginn

I Kvant 2024 nr. 2 [1] har jeg skrevet om Andreas Mogensens udvælgelse og træning, samt om ISS generelt. I denne artikel vil jeg fortælle om hans to missioner og noget om, hvad han lavede på de to ture. Andreas blev udvalgt som astronautkandidat i 2009 og var færdiguddannet og hyret som astronaut i 2010, men han måtte vente indtil september 2015 for at blive opsendt til ISS på hans iriss-mission, der varede 10 dage. Den var en kort mission, hvor formålet var at tage derop i en frisk Soyuz/Progress-kapsel og for at bringe en lignende kapsel, der havde været deroppe i 6 måneder, ned igen. Grunden til denne lidt usædvanlige mission var, at ledelsen for ISS hos NASA, ESA og Roscosmos var begyndt at eksperimentere med et-års-missioner, i stedet for de sædvanlige halvårs-ture.



Figur 1. ISS set fra forsiden. Columbus. ESA's laboratorium-modul, hvor Andreas havde sin arbejds- og soveplads, ses forrest til venstre, med ASIM-instrumenterne på det nederste stativ for enden af Columbus. Billede: NASA/ESA (CC BY-NC-ND 2.0 DEED).

Det viste sig imidlertid, at kapslerne ikke kunne klare mere end omkring 6 måneder i rummet. Hver besætning, der opsendes, har deres kapsel parkeret på stationen som redningsbåd, indtil de kommer ned i denne igen. Af sikkerhedsmæssige grunde skulle Andreas og hans kapsel-kammerater, Sergei Volkov og Aidyn Aimbetov, levere en ny af slagsen til dem, som havde været deroppe allerede i 6 måneder, og skulle blive der 6 måneder til. Deres første opgaver, da de nåede ISS, var at flytte stolene, der var støbt til netop dem, fra den nye kapsel til den gamle, de skulle ned med.



Figur 2. Andreas Mogensens missions-emblemer.

Andreas' første meget korte mission hed iriss (med "iss" i navnet), efter den græske gudinde for regnbuen og gudernes budbringer. Hans 6-måneders mission i 2023-2024 hed Huginn efter en af de to ravne, der sidder på hver side af Odin og udsendes om dagen for at samle viden om Jordens tilstand, som de giver videre til Odin om natten. De to missions-emblemer, der vises i figur 2, er fyldt med symboler: iriss-skibet er også en vikingehjelm i rød, hvid og ESA-blå. Huginn-emblemet har en mere subtil symbolik med Danmark-formede skygger i ravnens vinger, og hvide reflekser der viser hvordan Andreas rejser fra sin hjemby, København, til ISS. Stjernerne tegner i vikingeruner symbolet for "sikre rejser".

Billeder fra ISS

Lige efter Andreas' første mission til ISS var offentliggjort, indkaldte Uddannelses- og Forskningsministeriet (UFM) forslag til eksperimenter, han kunne udføre under missionen. Det skulle være forsøg, der var nemme, hurtige og kun brugte udstyr, der allerede var oppe på ISS. Et stykke udstyr, de har deroppe, er et HD-videokamera. Der er en lang historie med fotografering fra ISS – Andreas har selv en stor, privat samling af billeder af lufthavne, fordi han altid har været fascineret af dem. Mellem 2014 og 2019 kunne man se en live stream fra et HD-videokamera monteret på ydersiden af ISS (HDEV-eksperimentet) – og denne var vildt fascinerende, som at flyve med rumstationen over Jorden.

Som forskere i DTU Space's Atmosfærisk Elektricitetsgruppe indsendte Torsten Neubert og Olivier Chanrion et forslag om at filme lyn manuelt fra ISS. Forslaget blev godkendt som "Thor-eksperimentet". På

det tidspunkt i 2014 var gruppen og mange ingeniører på DTU Space og Terma A/S i gang med at færdiggøre ASIM-instrumenterne, der skulle op til ISS i 2017, og vi så derfor Thor som en kort forgænger for ASIM-missionen. Vi kunne se i forvejen fra HDEV, at på nattesiden af Jorden funkler det med lynnedslag hele tiden – men der var meget lidt videnskabelig analyse af disse optagelser. Vi fik tildelt flere gange femten minutter af Andreas’ dyrebare tid til at filme voldsomme uvejr gennem et køje i Pojsk, den russiske dokningskapsel. Olivier Chanrion forsynede ESA med uvejrprognoser hver dag – og Thor blev sat i gang.



Figur 3. Andreas Mogensen og forfatteren med en 3D print-model af ASIMs røntgen- og gammastrålingsenhed, MXGS, november 2015. Foto: DTU Space.

Thor 2015

Desværre kom der ikke særlig meget ud af disse planlagte observationer, da køjet var svært at fotografere igennem. Andreas er dog langt mere end bare pligttopfyldende. Vi havde fået at vide fra UFM, at vinduesmodulet Cupola ikke kunne bruges til vores eksperiment, fordi den er helliget astronauternes pauser. Fair nok – de har et meget stressende arbejdsliv. Men Andreas ville ikke lade eksperimentet ligge, og under en pause i Cupola en nat kunne han se, at ISS var på vej hen mod et meget aktivt uvejr over Bengalbugten. Han hentede kameraet frem og filmede 2 minutter med optagelser af lyn, og dermed så han noget helt nyt.

Vores forskningsgruppe på DTU Space beskæftiger sig ikke med selve lynet, men med det fænomen, der udløses over stormskyer i forbindelse med lynnedslag og stærk elektrificering af stormskyer: kæmpelyn, der fås i mange varianter, og ses over de mest energirige uvejr, først og fremmest i troperne. Det var Olivier Chanrion, der gennemgik Andreas’ film – billede for billede. En lidt redigeret udgave af filmen kan ses på YouTube: https://youtu.be/vZkw_o25UyM. For det første kan man

se de almindelige lynnedslag, der oplyser skyerne nedenfra – og der er mange af dem. Se for eksempel figur 4, hvor vi klart kan se stormskyernes tårnform. Nogle af disse skytoppe når helt op i stratosfæren og kaldes for “over-shooting tops”, der bringer fugtighed og adskillige partikler højt op i atmosfæren, og dermed har betydning for Jordens klima. I det nederste venstre hjørne af filmen kan man skimte solpanelerne på en Soyuz-kapsel parkeret på ISS.



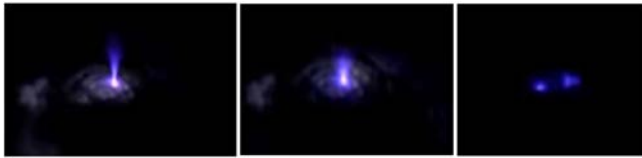
Figur 4. Lynnedslag oplyser stormskyer over Bengalbugten. Foto: ESA/Andreas Mogensen/DTU Space.

De mere usædvanlige begivenheder ses bedst med et kamera, idet de næsten sker for hurtigt for menneskeøjet. Røde Feer (Red Sprites) er forholdsvis talstærke fænomener (hvis man Googler ‘Red Sprites images’ kommer der hundredvis af billeder frem). Andreas har snuppet nogle af dem, og vi kan se, at den røde fe sker samtidigt med et lynnedslag, der dominerer billedet i figur 5.



Figur 5. Rød fe set i forbindelse med et lynnedslag. Foto: ESA/Andreas Mogensen/DTU Space.

Noget mere usædvanligt end en rød fe er blåstråler og kæmpestråler, men det som blev set for første gang i Andreas’ film (som han ville have haft svært at se under optagelserne) var blå-stråler, blå-glimter, blå-begyndere og blå-korona’er, der først kom frem med Olivier Chanrions finkæmning af filmen. Disse navne dækker over en bred vifte af vedvarende aktivitet på toppen af en enkelt elektrificeret sky på en måde, der ikke var set før. Vi kan også se, at disse blåstråler ikke er udløst i forbindelse med et lynnedslag, men opstår som følge af skyens opladning.



Figur 6. : Et lille udpluk af de næsten 200 blå begivenheder, der ses i Andreas Mogensens Thor-film.

Andreas var medforfatter til artiklen i *Geophysical Research Letters* [2].

Artiklens konklusioner lød: "... mange nedslag på kilometer-skala på niveauet med skyernes top i omkring 18 kilometers højde, pulserer med blå lys og kan nå helt op til stratosfæren i 40 kilometers højde. De understreger, at tordenstormsaktivitet kan påvirke stratosfærens kemi med mulige følger for Jordens energibalance." I øvrigt havde Olivier Chanrion talt mere end 90 blå begivenheder i minuttet i Andreas' film. Thor-eksperimentet var meget vellykket og langt over alles forventninger.

Thor var bare et enkelt eksperiment ud af flere som Andreas lavede under iriss-missionen. Han var med til at afprøve SkinSuit fra University College London, der skulle holde astronauters rygsøjler samlet i vægtløs tilstand. Han lancerede en CubeSat, AAUSAT5, der var bygget af studerende fra Aalborg Universitet. Han havde stor succes med at styre en opdagelsesvogn fra rummet, og han brugte en ny form for handske, der styrer en robthånd med følesans-feedback, således at astronauten har fornemmelsen af at røre ved objektet med robthånden og dermed kan udføre ganske følsomme opgaver, uden at gå uden for ISS. Alle disse eksperimenter er direkte nødvendige for fremtidens rummissioner, men de har også store anvendelsesmuligheder her på Jorden.

Thor-Davis 2023-24

Vi havde travlt i årene mellem iriss-missionen og 2022, da Andreas' anden mission blev offentliggjort af UFM og ESA. Da opslaget om eksperimenter udkom, var vi ikke begrænset til udstyr, der allerede fandtes på ISS, men denne gang havde vi mulighed for at udvikle instrumenter selv. Derfor kom Olivier Chanrion og Nicolas Pedersen i gang med at lave et kamerasæt, hvori et almindeligt HD-videokamera kunne filme sammen med et neuromorfisk eller "Event"-kamera. Problemet vi altid har med at studere kæmpelyn, er at det sker meget hurtigt selv i forhold til almindeligt lyn. Et lynnedslag til Jorden med alle dens processer varer omkring 0,5 sekunder, mens kæmpelyn kan være så korte som en tiendedel af et almindeligt lyn. Derfor har vi brug for meget fin tidsopløsning for at følge med i kæmpelynets udvikling. Til de jordbaserede lynstudier kan man købe et meget dyrt, tungt og energikrævende videokamera, der kører med 100.000 billeder i sekundet, og udover selve kameraet må man også købe et kølesystem til kameraet. Det hele er meget dyrt, men til gengæld indsamler systemet megabytes af data ved hvert nedslag.

Sådan noget er totalt uegnet til rummissioner på alle måder, inklusive den tunge datastrøm. Derfor foreslog vi at bruge en forholdsvis ny form for et kamera, der kun sender oplysninger ud, når lysniveauet i et enkelt

billedelement ændrer sig, enten med mere lys eller mindre lys. Derfor er datastrømmen meget lille. Sådan et kamera kaldes for et neuromorfisk kamera, fordi det fungerer som vores egne øjne og hjerner – vi ser kun de interessante nye ting, der sker, ikke den kedelige baggrund. Kameraet selv vejer 100 g, bruger 1,5 watt og er på størrelse med en pakke cigaretter (hvis jeg må sammenligne med noget så gammeldags) – jeg var helt forbløffet, da det blev leveret på instituttet. For at få fuld anvendelse af det, der svarer til 100.000 billeder i sekundet, må man have komplementerende billeder fra et videokamera, der viser alle de ting, der ikke ændrer sig i de millisekunder, kæmpelynet er på spil.



Figur 7. Olivier Chanrion viser Andreas Mogensen kamerasættet, han skal bruge under Huginnmissionen.

Figur 7 viser Andreas Mogensen og Olivier Chanrion på en pressekonference nogle måneder før opsendelsen til ISS. Her fik Olivier mulighed for at vise Andreas kamerasættet, der skulle bruges til lyn-optagelserne. Den lille røde æske lige over Oliviers tommelfinger er Davis 246 event-kameraET. Men at få et kamerasæt op til ISS kræver langt mere end at vise udstyret til en astronaut. Oliver og Nicolas Pedersen måtte udvikle en hel del software og lave elektronik for at få de to forskellige kameraer til at fungere sammen, ligesom ESA og NASA har et hav af sikkerhedskrav, der skal implementeres og dokumenteres. Og der skal skrives en enormt detaljeret brugervejledning til astronauterne.

Software kan opdeles i to enheder. Under selve optagelsen er der software, som styrer elektronikken, der starter og standser de to kameraer samtidigt og behandler datastrømmen. Når data ankommer til DTU Space, er der software til at danne billeder ud fra de sparsomme data fra event-kameraet. I modsætning til et almindeligt kamera har Thor-Davis-kameraet en stor "dynamisk rækkevidde". Det vil sige, at kameraet er lige så godt til at registrere meget små ændringer i lysniveauet, når der er svagt lys i de begyndende lynprocesser, som det er til at registrere det stærke lys, der opstår, når lynet er i fuld sving. Dermed kan vi analysere alle faser af kæmpelynets dannelse, opblomstring og forsvinden.

Der var også brug for en hel del praktisk arbejde, der havde at gøre med sikkerhed og vejledning, inden kamerasættet kunne godkendes til opsendelse til ISS. Det skulle således undersøges, om det fx er muligt, at linsesystemet på videokameraet kan eksplodere, hvis

kameraet pludselig befinder sig i et miljø uden lufttryk. Derfor skal der bores små huller ind til hver del af udstyret, der kan gemme luft i sig. For at undgå, at en astronaut kan ramme vinduet med kameraet og ødelægge udstyret, skal der laves en beskyttende krave omkring kameraets åbning. Denne lille sorte krave kan ses på forsiden af den røde æske i figur 7 og er næsten lige så stor som selve kameraet.

Heldigvis blev Andreas Mogensen ikke skadet af eksploderende linser eller stumper af et knust kamera. Han havde selv arbejdet for, at Thor-Davis og Jordskins-eksperimentet skulle udføres i Cupola, og vi fik lov til at få Thor-Davis-computeren monteret lige uden for vinduesmodulet. Erfaringerne fra Thor-eksperimentet viste, at planlagte observationer ikke er de bedste, selv med daglige vejrprognoser. Derfor fik Andreas lov til at bruge Thor-Davis-kameraerne, når der var mulighed for gode optagelser på 12 bestemte lørdage. På ugens fem hverdage er astronauternes arbejdsdage planlagt i 15 minutters perioder, så her kan der ikke komme lejlighedsvis optagelser. Søndagene er til astronauternes egne hobbyer og interesser (såsom at fotografere lufthavne). Men lørdagene er afsat til rengørings- og husholdningsopgaver, og her kan man sagtens kigge ud af Cupola en gang imellem, guidet af prognoser, for at se om der kommer noget interessant. Denne strategi har fungeret meget godt for eksperimentet, og igen gik Andreas langt udover det pligttopfyldende – til sidst fik vi data fra over 30 lørdage. I 21 dage havde han hjælp fra en anden ESA-astronaut, Marcus Wandt, hvis mission hed Muninn efter den anden af Odins ravne. Vi håber på, at de to amerikanere, der p.t. er strandet på ISS, vil bruge noget af ventetiden på også at lave nogle kæmpelyn-observationer.

Nogle billeder er blevet offentliggjort fra missionen og kan ses på [3]. Figur 8 viser kvaliteten af billederne, der kommer ned fra Thor-Davis. Billedet til højre viser lynet og den røde fe, som er i gang med at udvikle sig i en kort tidsperiode, mens videobilledet til venstre viser de samlede fotoner over et længere tidsrum. Her kan udviklingen ikke ses, og lynet er overeksponeret.



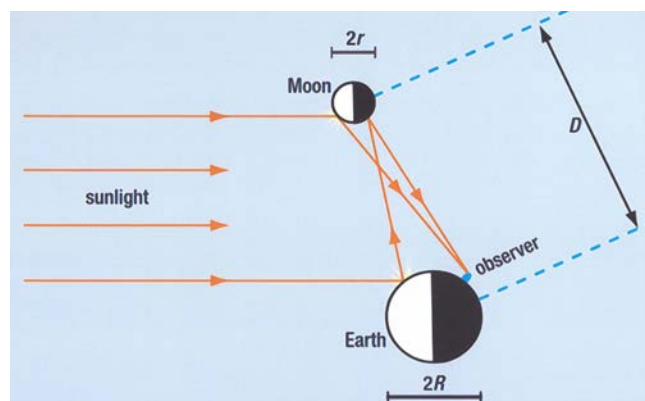
Figur 8. Billeder af lyn og rød fe taget samtidigt med HD-videokamera (venstre) og Davis eventkamera (højre) af Andreas Mogensen under Huginnmissionen.

Thor-Davis var bare et enkelt eksperiment udført af Andreas Mogensen under Huginnmissionen. De andre eksperimenter omfattede 3D-print i metal af reservedele (DTU); Mental sundhed og motion med virtuel realitet (DTU, [4]); effektiv vandrensning med en ny Aquaporin-membran; overvågning af astronauternes

søvnrytme med EEG; lys og døgnrytme på ISS samt en eksperimentel platform for skolebørn, der vil lave forsøg. Hvert af disse eksperimenter har en fascinerende historie bag sig, og derfor overlader jeg det til forskerne selv at fortælle om deres eksperimenter og resultater. Men som afslutning vil jeg fortælle om et andet eksperiment, jeg har fulgt på nært hold, fordi data om Jordskin behandles i min egen kælder, nemlig af min mand, Peter Thejll fra DMI. Det har været vildt spændende at se helt nye billeder af Månen dukke op i “Daddy’s Den” hver aften i seks måneder.

DMI Jordskin 2024

Der har været Jordskins-forskning på DMI i over 20 år. Tanken er, at nøjagtige målinger af Jordskinnet over længere perioder kan vise, hvordan Jordens evne til at reflektere sollys ændrer sig i takt med, at klimaet opvarmes. Hvor meget lys, der reflekteres eller absorberes i atmosfæren, har store konsekvenser for opvarmningen. Så hvad er Jordskin for noget? Vi kender alle til måneskin, som jo er sollyset reflekteret fra Månen og kan ses på Jorden. Jordskin er sollyset reflekteret af Jorden og op på Månen. Den sol-oplyste side af Månen er alt for lys til at se effekten af lyset reflekteret fra Jorden, men på Månens ikke-oplyste side kan man se Jordskinnet, der meget svagt reflekteres fra Månen som vist i figur 9.



Figur 9. Jordskin reflekteres først fra Jorden og så fra Månen.

Der har været forsøg på at studere Jordskin fra et lille teleskop oprettet af en gruppe danske og svenske forskere på toppen af en vulkan på Hawaii. Men selv på sådan et bjerg er der en hel del atmosfære mellem teleskopet og Månen, som kan ses i det spredte lys i figur 10. Billedet er sammensat af mange enkeltbilleder. Bruger man billeder nok, kan detaljerne på selv den almindeligvis mørke side ses. Da Jorden set fra Månen er større end Månen set fra Jorden, oplyser Jorden Månen ret stærkt – det hjælper også til at lade den mørke sides detaljer træde frem.

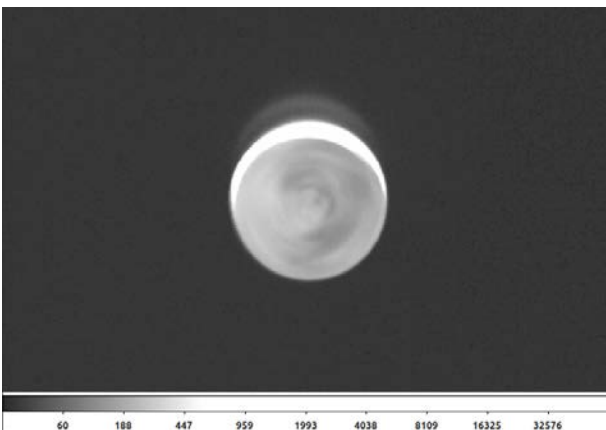
Den stærke spredning af lyset fra den lyse side til den mørke side gør det meget svært at bestemme Jordskinsstyrken til den nødvendige grad af nøjagtighed, der er 0,1%. Ved at fotografere Månen uden for Jordens atmosfære kan man komme tættere på denne nøjagtighed. Jordskins-eksperimentet under Huginnmissionen var et forsøg på at finde Jordens refleksivitet bedre end

0,1%. Denne gang brugte Andreas Mogensen det helt almindelige HD-kamera for at filme nymånen. Igen gik Andreas grundigt til værks, og der kom langt mere data ud af missionen end forventet. Udover disse billeder fra ISS, var folk verden over inviteret til at tage billeder af Månen med deres egne højkvalitetskameraer og poste dem på nettet med #NewMoonSnap og #Huginn som etiketter. Dermed kunne forskere sammenligne jordbaserede billeder med rumbaserede billeder.



Figur 10. Månen med både måneskin og jordskin som set med Jordskins-teleskopet på Hawaii.

Prøv at google “Earthshine” for at se de mange billeder af fænomenet.



Figur 11. De første billeder fra Huginnmissionen viser klart jordskin uden atmosfærisk spredning.

Som set i figur 11 er billederne fra Andreas Mogensens optagelser af betydeligt højere kvalitet uden

tegn på atmosfærisk spredning af lyset fra den oplyste del af Månen. Men et andet problem, dog af langt mindre grad, er nu dukket op, som tit er tilfældet med nye og forbedrede forsøg. Lige ovenover den oplyste bue kan man se en svag bue mere, som er en refleks fra Cupola-vinduet mellem kameraet og Månen – og dermed mellem astronauterne og det livløse og luftfrie rum. I andre billeder ses flere refleks-buer, fordi vinduerne i Cupola er lavet af flere glas-plast lag for at gøre dem skudsikre med hensyn til mikrometeoriter.

Forskerne på DMI kan nu komme tættere på de 0,1%, der kræves for at følge med i Jordens daglige, månedlige, årlige og lang-tids ændringer i refleksivitet. Der arbejdes videre med Andreas Mogensens billeder, men den endelige løsning forudsætter et automatisk kamerasystem, der kan registrere Månebilleder regelmæssigt i mange år, uden atmosfære eller vindue imellem. Derfor arbejder folk på DTU og DMI på at lave et kamerasystem, der kan opsættes på ISS, eller anden satellit, for at sende den nødvendige strøm af billeder tilbage til Jorden og dermed fortælle om planetens udvikling og fremtid.

Dette er den anden del af serien om Danmarks eksperimenter på ISS. I den tredje og sidste artikel fortæller jeg om to langvarige missioner, vi har i gang på den Internationale Rumstation, ASIM og Nicer, samt det kommende TOTEM-projekt.

Litteratur

- [1] C.A. Oxborrow (2024) “Den Internationale Rumstation og Danmark – Første del: Fra Skylab til Shenanigans”, *Kvant*, bind 35, nr. 2, side 6–9.
- [2] O. Chanrion, T. Neubert, A. Mogensen, Y. Yair, M. Stendel, R. Singh og D. Siingh (2017) “Profuse activity of blue electrical discharges at the tops of thunderstorms”, *Geophysical Research Letters*, bind 44 side 496–503.
- [3] <https://www.space.dtu.dk/om-os/nyheder/nyhed?id=46693140-bf37-496c-9ce1-2dc73bc018b7>
- [4] P.L. Thomsen (2024) “Virtual Assistance Mental Balance – et værktøj til vedligeholdelse af astronauters psykik”, *Kvant*, bind 35, nr. 2, side 10–12.



Carol Anne Oxborrow er fysiker, ph.d. Hun har arbejdet på DTU Space i 26 år med adskillige rummissioner: INTEGRAL, Planck, ASIM, MIRI på JWST og nu ATHENA WFI, der skal opsendes i 2038. Carol Anne er leder af ASIM Science Data Centre og forskningsgruppen for Atmosfærisk Elektricitet på DTU Space, samt viceleder af Afdelingen for Astrofysik og Atmosfærens Fysik.