

# Tilbage til Månen

Christina Toldbo, DTU Space

Det har taget 50 år, men nu er mennesket på vej tilbage til Månen. Under den kolde krig var det vigtigt for USA at vise, at landet var Sovjetunionen teknologisk og økonomisk overlegen, og derfor var der ikke behov for, at missionerne var lange. Men takket være mange års erfaringer fra Den Internationale Rumstation (ISS) har vi nu en stor viden om, hvordan mennesker kan opholde sig i lang tid i rummet. Alligevel er det et helt andet scenarie, når vi skal bosætte os på Månen.

For lidt over 50 år siden, i december 1972, kravlede astronauten Gene Cernan ind i månemodulet og lukkede lugen til Månens overflade bag sig. Siden har ingen mennesker besøgt vores nærmeste nabo. I alt har kun 12 mennesker gået på Månen – alle i årene mellem 1969-1972 under Apollo-programmet. Dengang var et af de primære formål med landingerne at vise, at USA var Sovjetunionen teknologisk og økonomisk overlegen, og derfor var der ikke behov for, at missionerne var lange. Neil Armstrong og Buzz Aldrin (de første mennesker på Månen under Apollo 11) brugte under 24 timer på Månens overflade og heraf kun 2½ time uden for månemodulet i deres ikoniske, hvide rumdragter. Det længste ophold (Apollo 17-missionen) var kun lidt over tre dage langt.

## Lange ophold i rummet

Man havde bevist, at mennesker kunne rejse i rummet, men det store spørgsmål var nu, om mennesker kunne opholde sig derude i lange perioder ad gangen og i så fald hvordan. For at finde ud af det, byggede både Sovjetunionen og USA en række rumstationer hvor astronauter og kosmonauter kunne opholde sig i månedsvis. Rumstationerne blev gradvist større og mere bekvemmelige, og i de sidste 30 år er pengene til menneskelig udforskning af rummet primært blevet brugt på at bygge og vedligeholde den største og mest sofistikerede rumstation "ISS". Rumstationen er et gigantisk projekt både politisk, videnskabeligt og helt bogstaveligt på grund af dens størrelse. Den er bygget af USA, Rusland, Japan, Canada og flere europæiske lande, herunder Danmark, og har kostet over 150 milliarder dollars. Siden år 2000 har der minimum været tre mennesker på stationen, og i alt har 269 mennesker fra 21 forskellige lande besøgt ISS. I de 23 år, rumstationen har været bemanded, har vi trænet at leve i længere tid i rummet. Hvordan man sover, spiser, træner og trives. Vi har også lært, hvordan man gror planter, reparerer og udbygger stationen, sikrer systemer som renses vandet og luften ombord, og hvordan man opbygger robuste forsyningskæder og samarbejdsrelationer.

Nu er vi klar til at tage skridtet videre og igen landsætte mennesker på Månen. Denne gang hedder projektet "Artemis", der i græsk mytologi er Apollos tvillingsøster og gudinde for Månen. Til forskel fra Apollo-projektet er planen at opbygge en mere permanent tilstedeværelse på og omkring Månen, og på

sigt at bruge Månen som en platform til fremtidige rejser til Mars. Udover mennesker på Månens overflade inkluderer Artemis-projektet også konstruktionen af en ny rumstation kaldet "Lunar Orbital Platform Gateway (LOP-G)" i kredsløb om Månen. LOP-G skal fungere som forskningsstation og "gateway" til Månens overflade og til missioner videre mod Mars. Ligesom med ISS-projektet er Artemis-projektet et samarbejde med internationale partnere bl.a. Europa gennem rumagenturet ESA, som Danmark også er med i. Denne gang er der altså også mulighed for, at der vil være europæere og endda en dansker på Månens overflade.



**Figur 1.** Orion-kapslen udefra (øverst) og indeni (nederst) i "Space Vehicle Mockup Facility", Johnson Space Flight Center, Houston.

Mennesket er uden tvivl det svageste led på en rummission. Der er et hav af udfordringer ved at opholde sig i rummet. Kroppen svækkes af at være vægtløs, og psyken udfordres af at være indesluttet på trang plads med kunstigt lys og summende maskiner. Mange af de nævnte ting er udfordringer, som vi forsøger at finde løsninger på ombord på ISS. Andreas Mogensens mission til den internationale rumstation er en brik i puslespillet om menneskers trivsel på længerevarende missioner i rummet, og han er med til at teste nye essentielle teknologier til fremtidens missioner. Bl.a. skal han teste en metal-3D-printer i rummet, som vil kunne bruges til at producere de værktøjer, man har brug for på en mission, så man ikke er afhængig af forsyninger fra Jorden. Han skal også afprøve et Virtual Reality (VR) system til at forbedre den mentale sundhed, når man er afskåret fra familie, venner og Jordens vante rammer i lange perioder.

Selvom vi tester og træner, så stammer alle vores hidtidige erfaringer med mennesker på lange missioner i rummet fra rumstationer som ISS – der kun er få timers rejse væk, 400 km over Jordens overflade. Det er altså et helt andet scenarie, vi står overfor, når vi skal bosætte os på Månen og Mars, som er henholdsvis en lille uge og syv måneder væk. Månens overflade og rummet omkring Månen (kaldet cis-lunar space) er det logiske næste skridt for menneskelig udforskning af rummet og en naturlig platform, hvor vi kan øve os i at kolonisere et andet himmellegeme, før vi giver os i kast med Mars.

For at kunne opholde os i lang tid i rummet og på en anden planet, er der brug for en masse infrastruktur og en række teknologier, som skal udvikles og testes. Vi skal udvikle og forbedre systemer, der fx kan genbruge vand og luft i et lukket kredsløb, og vi skal lære at udnytte ressourcer, som allerede findes på Månen eller Mars. Begge dele med det formål at mindske mængden af nødvendige raketopsendelser. Et lovende perspektiv er fundet af vandmolekyler bundet i Månens støv/regolith i kratere på Månens nord- og sydpol. Hvis vandet kan udvindes effektivt, kan Månen potentielt fungere som en rumhavn, hvor man kan spalte det udvundne vand i hydrogen og oxygen og bruge det som brændstof til rejser videre til Mars og andre destinationer.

### Kraftige raketter

På trods af mere lukkede kredsløb og udvinding af ressourcer fra Månen har vi i de næste årtier stadig brug for at sende en masse materiel til Månen, og det kræver kraftfulde raketter! “Artemis I”-missionen blev opsendt i november 2022, og var netop en ubemandet test af NASAs nye superraket “SLS” (Space Launch System) samt kommandomoduliet “Orion”, hvor astronauterne skal sidde.

Det er første gang siden 1972, at USA (og verden) har haft en raket til rådighed, som er kraftfuld nok til at sende flere tons til Månen og i fremtiden til Mars. Under Apolloprojektet brugte man “Saturn V”-raketten, som blev opsendt succesfuldt 13 gange – og heldigvis for det, for var den eksploderet på opsendelsesplatformen, ville det svare til 1/26 af atombomben over Hiroshima. Saturn V var godt 111 m høj, altså tre gange så høj som

Rundetaarn, og brændte 20 tons brændstof per sekund! Den sidste mission til Månen var som nævnt Apollo 17 i 1972, men der var faktisk planlagt en Apollo 18, 19 og 20. Derfor findes der også en fuldt funktionel Saturn V raket i Johnson Space Flight Center i Houston. Billedet herunder viser forfatteren af denne artikel ved siden af de fem nederste af motorerne, og det kan forhåbentlig give læseren et indtryk af størrelsen på sådan en raket.



**Figur 2.** Saturn-V første-trin med dens fem F-1 motorer. Johnson Space Flight Center, Houston.

SLS er lidt lavere end Saturn V, men har til gengæld boostere på siden og kan yde 15% mere løftekraft end Saturn V kunne. Hver raket kan ligesom Saturn V kun bruges én gang, og SLS koster mindst 2 milliarder dollars hver gang, den sendes op. Elon Musks Space X er også i gang med at udvikle deres egen superraket “Starship”, som snart skal gennemgå sin første test i kredsløb om Jorden. Hvis Starship er succesfuld, vil den være verdens hidtil kraftigste raket, og vi vil have hele to systemer, der kan bruges til Månen og Mars. I modsætning til SLS er planen, at Starship skal være genanvendelig, billigere og hurtigere at producere.

### New Space

I februar 2023 besøgte jeg Space X’s “Starbase” i Boca Chica, Texas, hvor de bygger og tester deres Starship. Billedet herunder er fra besøget og viser boosterens “Super Heavy” yderst til venstre og Starship SN15, Starship test S24 (den første kredsløbstest) og Starship S20 (prototype, der ikke har fløjet). I sin fulde konfiguration stilles Starship oven på boosterens og bliver således verdens højeste raket (120 m).

Det var en interessant oplevelse at besøge Starbase, fordi udviklingsfilosofien og metoderne er så anderle-

des, end hvad man er vant til. Gennemsnitsalderen på Starbase var 24 år, og de ansatte lyttede til rockmusik, mens de svejsede og hamrede på stålraketterne i den texanske fugt, varme og støv. Traditionelt samles og bygges raketter indenfor i rene haller af teknikere, der nøje følger forskrifterne i en række manualer. Det var svært ikke at opfatte det som en kæmpe kontrast mellem det, folk kalder “old space” og “new space” – som et paradigmeskifte, i hvordan rumfart udføres og drives.



**Figur 3.** Fra venstre mod højre ses boosterens ”Super Heavy” og tre udgaver af Starship (SN15, test S24 og S20). Foto fra Space X Starbase i Texas.

Jeg spurgte NASA, hvad de tænkte om SLS og muligheden for, at der måske om kort tid er to superraketter på markedet for første gang nogensinde. De fortalte, at det er et bevidst valg at køre et parallelløb mellem den traditionelle udviklingsfilosofi i form af et NASA-styret projekt og at lade de kommercielle kræfter råde. Således undgår man at satse alle pengene på én hest, og at én virksomhed får monopol. Er Starship succesfuld på den lange bane, har den dog så enormt et potentiale pga. sin genanvendelighed, at det formentlig vil føre til, at der ikke er brug for yderligere SLS-raketter.

SLS eller ej, så er disse superraketopsendelser et udtryk for det stigende engagement i menneskelig måneudforskning. Selvom SLS og Starship på sin vis konkurrerer om det samme marked, så er det bevillinger og ordrer fra NASA (og i mindre grad andre aktører), som Space X og andre kommercielle virksomheder indtil nu har bygget deres forretningsplan på. Under Apolloprojektet blev de fleste opgaver uddelegeret til virksomheder som fx Boeing, General Motors og IBM, så parløbet mellem rumagenturer og virksomheder er ikke noget nyt. Det nye er den lettere og billigere adgang til rummet for alle, herunder mindre virksomheder, lande og enkeltpersoner, og det voksende selvstændige marked, der dannes som resultat heraf. Virksomhederne er også i højere grad selv med til at drive udviklingen og begynder uafhængigt af rumagenturerne at opbygge infrastruktur og teknologier, som der endnu ikke er (stor) efterspørgsel efter.

For nu, er det bare med at holde fast og følge med i den rivende udvikling. I de næste ti år er der flere missioner planlagt til Månen end i de sidste 50 år tilsammen. De første astronauter, der skal vende tilbage i kredsløb om Månen ombord på Artemis II-missionen

er blevet udvalgt, og Space X’s Starship står klar på affyringsrampen. Snart bor der mennesker på Månen.



Christina Toldbo er postdoc i afdelingen for Måling og Instrumentering på DTU Space. I 2019 var hun projektleder for udstillingen “Rundt om Månen” i Rundetaarn i anledning af 50-året for den første månelanding.

**PFEIFFER VACUUM**

**Nyhed**  
**Oliefri vacuumpumpe - HiScroll (6-20 m<sup>3</sup>/t)**  
**Ekstrem lyd- og vibrationsvag**  
**pumpe med kompakt design**



Tlf. 3166 8708  
Lars.Scholte@pfeiffer-vacuum.dk  
www.pfeiffer-vacuum.com

**Kaos vs. Kosmos**

Den oldnordiske mytologi beskriver en konstant vekslen mellem Kaos og Kosmos. Kosmos, den organiserede verden, hvor guder og mennesker hersker og lever, står i kontrast til Kaos, den uorganiserede verden, som består af de samme bestanddele, men i kaotisk uorden – og hvor jætter og andre farlige væsener har frit spil. Udenfor menneskenes ordnede verden, Midgård, ligger jætternes rige, Jotunheim. Her er beboerne ofte antropomorfe beskrivelser af de utæmmelige naturkræfter (det vilde hav, vind, ild, vulkaner, etc.) samt de ting, som ligger udenfor guders og menneskers kontrol og viden.