

Rapport

Analyse af danske kompetencer og interesser i bemandet og ubemandet udforskning af rummet

Udarbejdet af Seismonaut for Styrelsen for Forskning og Uddannelse

August 2018

Indholdsfortegnelse

Introduktion	1
Del 1: Sammenfatning og konklusioner.....	4
1 Betydningen af exploration og danske eksempler	6
2 Impacts af danske exploration-aktiviteter.....	9
3 Danske kompetencer og E3P-programmet.....	13
Del 2: Betydningen af exploration og danske eksempler	15
1 Innovation og økonomisk vækst.....	17
2 Forskningskompetencer og -resultater.....	20
3 Globale samfundsudfordringer og diplomati.....	22
4 Kultur, inspiration og uddannelse.....	24
Del 3: Danske kompetencer og E3P-programmet.....	26
1 Low Earth Orbit og Beyond Low Earth Orbit	31
2 Månen.....	33
3 Mars	34

Introduktion

I denne rapport formidles resultaterne af analysen og kortlægningen af danske kompetencer og interesser inden for bemandet og ubemandet udforskning af rummet. Som bilag til nærværende analyserapport er der udarbejdet en bilagsrapport, der rummer et overblik over nogle af de mest fremtrædende videnskabelige og teknologiske aktører i Danmark inden for dette felt. Den samlede analyse og kortlægning er gennemført af Seismonaut på vegne af Styrelsen for Forskning og Uddannelse.

Formålet med analysen er at bidrage til baggrunden for politisk stillingtagen til Danmarks fremtidige deltagelse i programmer under det europæiske rumagentur, European Space Agency (ESA), vedr. bemandet og ubemandet udforskning af rummet.

Danmark har været medlem af ESA siden 1975, og det danske engagement i bemandet og ubemandet rumfart har derfor de seneste mange år været forankret i programmer under ESA. Dette omfatter ikke mindst aktiviteter knyttet til den internationale rumstation (ISS), hvor ESA udgør en del af partnerkredsen sammen med det amerikanske rumagentur (NASA), det russiske rumagentur (Roscosmos), det japanske rumagentur (JAXA) og det canadiske rumagentur (CSA). Således har Danmark siden 1988 været aktivt involveret i samarbejde om designet, udviklingen, driften og udnyttelsen af ISS.

ESA har siden 1995 haft en række Exploration-programmer, men fremlagde i december 2014 nye ambitioner om at arbejde aktivt for europæisk tilstedeværelse (bemandet og ubemandet) i rummet.¹ Som et første resultat af ambitionerne er der udarbejdet og igangsat et nyt rammeprogram kaldet ”European Exploration Envelope Programme (E3P)”. Programmets missioner er indtil videre fastlagt for perioden 2017-2019, mens retninger og prioriteringer for den efterfølgende periode skal drøftes på et ministermøde i 2019. Analysen rummer derfor en vurdering af danske aktørers kompetencer og erfaringer ift. de fremtidige aktiviteter i dette rammeprogram.

¹ ESA, 2015: *Exploring Together. ESA Space Exploration Strategy*

Danmark og ESA

ESA er et mellemstatsligt samarbejde grundlagt i 1975 med det formål at udvikle og fremme fredelig anvendelse af rumteknologi og rumforskning. ESA koordinerer medlemslandenes finansielle og intellektuelle ressourcer og gør det muligt at gennemføre programmer og aktiviteter af en størrelsesorden, som ingen af medlemslandene ville kunne stå for alene.

Danmark bidrager i dag med 225 mio. kr. årligt til ESAs obligatoriske og frivillige programmer, svarende til 0,8 % af ESA's budget. De obligatoriske programmer omfatter ESA's opsendelsesbase og det grundvidenskabelige program, mens de frivillige programmer primært omfatter bemandet og ubemandet rumfart, jordobservation, teknologiudvikling, telekommunikation, løfteraketter og navigation. Det danske medlemsbidrag er ligeligt fordelt på obligatoriske og frivillige programmer.

Analysen er gennemført med afsæt i eksisterende viden om den videnskabelige, teknologiske og samfundsøkonomiske betydning af aktiviteter knyttet til udforskning af rummet. Kildegrundlaget herfor udgøres af en række fremtrædende studier og analyser, herunder bl.a. studier og analyser fra OECD, ESA, International Space Exploration Coordination Group (ISECG), PwC m.fl.

En anden central del af grundlaget for kortlægnings- og analysearbejdet udgøres af interview med repræsentanter fra det danske økosystem af virksomheder og forskningsinstitutioner, der beskæftiger sig med udforskning af rummet. Bilagsrapporten rummer en oversigt over de interviewede danske aktører.

“Exploration” og “science”

”Exploration” defineres i denne analyse som menneskelig tilstedeværelse i rummet eller forberedelse til denne, dvs. i praksis afgrænset til det nære solsystem. ”Exploration” er således oversat til ”udforskning af rummet”. Exploration-missioner kan være enten bemandede eller ubemandede.

Aktiviteter på den internationale rumstation er naturligvis et omdrejningspunkt for bemandede missioner, men missionerne omfatter også ubemandede missioner til bl.a. Mars og månen.

Bemandede og ubemandede exploration-missioner giver altid anledning til nye videnskabelige erkendelser, men missionerne planlægges med det formål at være til stede eller at forberede menneskelig tilstedeværelse ved at udvikle den nødvendige teknologi og ved at undersøge de fysiske forhold.

Heri ligger samtidig forskellen til science-missioner, der udelukkende er drevet af videnskabelige formål, idet disse udelukkende har fokus på at foretage målinger og observationer i og af rummet.

Figur 1: Resultatet af exploration-missioner (drevet af teknolog udvikling) og science-missioner (drevet af videnskab)



Kilde: Seismonaut, 2018

Formålet med analyse- og kortlægningsarbejdet har, som nævnt, været at bidrage til baggrunden for politisk stillingtagen til Danmarks fremtidige deltagelse i programmer under ESA vedr. bemanded og ubemanded udforskning af rummet. Kortlægningsdelen har derfor fokuseret på at skabe et samlet overblik over nogle af de mest fremtrædende danske videnskabelige og teknologiske kompetencer knyttet til udforskning af rummet, mens fokus for analysearbejdet har været at afdække den videnskabelige, teknologiske og samfundsøkonomiske betydning af den danske deltagelse i bemanded og ubemanded udforskning af rummet.

Såvel analysen som kortlægningen tager afsæt i de aktiviteter, som danske virksomheder og forskningsinstitutioner har været involveret i. Her er ESA's programmer et centralt omdrejningspunkt, hvilket også kommer til udtryk i kortlægningen og analysen.

Ikke desto mindre er der også danske virksomheder og forskningsinstitutioner, der har aktiviteter tilknyttet andre rumagenturer, f.eks. NASA og DLR (Tyskland), ligesom flere virksomheder og forskningsinstitutioner har aktiviteter knyttet til andre udenlandske aktører, f.eks. Fraunhofer EMI i Tyskland, Jet Propulsion Laboratory i USA (under NASA), Korea Aerospace Research Institute (KARI) mv. Disse aktiviteter, som ikke er tilknyttet ESA, indgår også i grundlaget for kortlægningen og analysen, da de er med til at tegne det samlede billede af den danske rumøkonomi og det danske rumerhverv.

Metodisk baserer analysearbejdet sig endvidere på den evalueringsramme, som Styrelsen for Forskning og Uddannelse har udviklet for evalueringer og effektmålinger af den nationale innovationsinfrastruktur.² Evalueringsrammen fokuserer bl.a. på effektkæder, der udtrykker de centrale årsags-virkningssammenhænge mellem input, aktiviteter, output, forventede effekter og samfundsmæssige målsætninger.

I relation til udforskning af rummet medfører dette et overordnet analyseperspektiv, hvor politiske ambitioner, grundvidenskabelige spørgsmål, private virksomheders forsknings- og udviklingsaktiviteter mm. (input), driver igangsættelsen af rumprogrammer og bemandede eller ubemandede rummissioner (aktiviteter).

² Styrelsen for Forskning og Uddannelse, 2016: *Evalueringsramme for innovationsinfrastruktur - effektkæde, indikatorer og evalueringsplan*

Herigennem skabes behov for teleskoper, satellitter, instrumenter, systemer mv. - behov, der driver udviklingen af nye teknologier, der kan fungere under ekstreme forhold og medvirker til udviklingen af kompetencer og kommercielle aktiviteter på andre markeder (resultater). Udforskning af rummet medvirker herigennem til videnskabelige, teknologiske og samfundsøkonomiske gevinster (impacts).

Foruden denne introduktion, rummer rapporten følgende tre dele:

1. I rapportens første del præsenteres indledningsvist analysens hovedkonklusioner, efterfulgt af en sammenfatning af analysens hovedresultater.
2. I rapportens anden del præsenteres kortlægningen viden om betydningen af exploration-aktiviteter. Som en del heraf præsenteres eksempler på danske aktørers kompetencer og erfaringer.
3. I rapportens tredje og sidste del, præsenteres analysen af danske aktørers kompetencer og erfaringer ift. de fremtidige aktiviteter i ESAs E3P-program.

Del 1: Sammenfatning og konklusioner

Analysens hovedkonklusioner

For så vidt angår **betydningen af exploration-aktiviteter** viser analysen sammenfattende, at:

- Udforskning af rummet skaber samfundsøkonomiske effekter. Den danske involvering i ESAs ISS programmer har gennem årene 1995-2016 f.eks. bidraget positivt til såvel det danske BNP (107 mio. €) og den danske beskæftigelse (ca. 1.000 årsværk).
- Danske forskere har i en årrække haft tradition for at udvikle og foretage forsøg på ISS. Dette især på det humanfysiologiske område og i tilknytning til forskning i kroppens og cellernes opførsel og forandring i vægtløs tilstand. Forskningstraditionen rummer både videnskabelige eksperimenter og behov for udvikling af udstyr.
- Udforskningen af rummet har betydning for mulighederne for at løse nogle af de aktuelle udfordringer og trusler, som verdenssamfundet står overfor. Aktiviteterne bidrager bl.a. til at indfri målsætninger vedr. sundhed og trivsel, rent vand og sanitet, bæredygtig energi og bæredygtige lokalsamfund.
- Udforskning af rummet bidrager med et unikt og evolutionært perspektiv på menneskehedens rolle i universet og til at inspirere unge til at søge mod studier og uddannelsesretninger inden for bl.a. naturvidenskabelige discipliner.

Analysen peger på dette grundlag på, at danske exploration-aktiviteter har/har haft **betydelige impacts**:

- De danske grundvidenskabelige aktiviteter, knyttet til udforskning af rummet, fører til teknologiudvikling gennem behovet for instrumenter.
- Udviklingen og udnyttelsen af instrumenter fører til afledte impacts i form af teknologiudvikling, jobskabelse, omsætning samt tiltrækning af virksomheder, investeringer og arbejdskraft til Danmark.
- I Danmark står en række markante virksomheder bag udviklingen af instrumenter, som rummer betydelige samfundsøkonomiske potentialer.
- Det danske engagement omkring den internationale rumstation har ledt frem til et nyt forskningsfelt og til avancerede teknologier, der rummer store potentialer i forhold til f.eks. behandlings- og ældreplejeområderne.

For så vidt angår vurderingen af danske aktørers kompetencer og erfaringer ift. **E3P-programmet** viser analysen overordnet, at E3P-programmet i høj grad synes at betone behovet for teknologiudvikling, mens grundvidenskabelige mål og aktiviteter er mindre synlige. Dermed synes programmet umiddelbart at rumme de bedste muligheder for den del af det danske rumerhverv, der beskæftiger sig med udvikling af hardware-løsninger

For så vidt angår aktiviteter relateret til “**Low Earth Orbit**” og “**Beyond Low Earth Orbit**” peger analysen på, at

- vi i Danmark ikke besidder ESA-validerede kompetencer indenfor flere af de efterspurgte teknologiområder. Det gælder inden for fremdrift (propulsion), robotteknologi (robotics) og opretholdelse af menneskeligt liv (life support). På strålings-området (radiation) forholder det sig omvendt.
- Kortlægningen peger dog på, at en række danske aktører alligevel besidder relevante kompetencer og erfaringer inden for disse teknologiområder. Det gælder f.eks. på life science-området, hvor det imidlertid er klart, at de danske virksomheder endnu ikke ser rumområdet som et betydeligt marked.

For så vidt angår aktiviteter relateret til **Månen** og **Mars** peger analysen på, at

- vi i Danmark ikke besidder ESA-validerede kompetencer indenfor tre af de fem efterspurgte teknologiområder. Det gælder inden for fremdrift (propulsion), robotteknologi (robotics) og “In situ resource utilization” (ISRU). På strålings- (radiation) og energiområdet forholder det sig omvendt.
- Kortlægningen peger dog på, at en række danske aktører også på dette område synes at besidde relevante kompetencer og erfaringer, ligesom vi i Danmark besidder en international styrkeposition på cleantech-området, herunder ift. grøn teknologi, miljøteknologi, vindenergi mv. Tilsvarende life science-området er det dog klart, at de danske virksomheder på cleantech-området endnu ikke ser rumområdet som et betydeligt marked.

Samlet set peger analysen på, at der kan være behov for at opdatere ESAs vurderinger af danske kompetencer og være behov for at gøre virksomheder på f.eks. life science- og cleantech-områderne opmærksomme på de muligheder, der kan ligge for dem på rumområdet.

I det følgende sammenfattes analysens hovedresultater. Sammenfatningen rummer følgende tre dele:

1. Indledningsvist sammenfattes kortlægningen af eksisterende viden om betydningen af exploration-aktiviteter. Som en del af sammenfatningen præsenteres eksempler på danske aktørers kompetencer og erfaringer.
2. I forlængelse heraf præsenteres analysens konklusioner for så vidt angår betydningen af danske exploration-kompetencer.
3. Sammenfatningen afsluttes med en vurdering af danske aktørers kompetencer og erfaringer ift. de fremtidige aktiviteter i ESAs E3P- program.

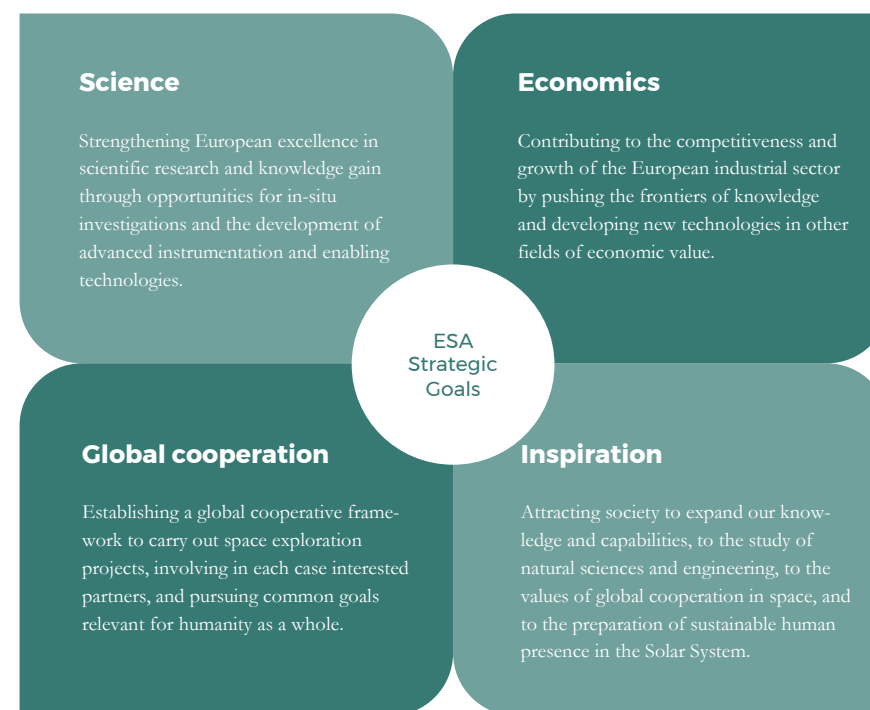
1 Betydningen af exploration og danske eksempler

ESA fremlagde i 2015 en ny strategi for exploration. Strategien sætter retningen for agenturets exploration-aktiviteter og knytter disse op på fire hjørnesteen – ”science”, ”economics”, ”global cooperation” og ”inspiration”.

De fire hjørnesteen er illustreret og beskrevet kort i figur 2.³ Det er således et omdrejningspunkt for ESA, at agenturets exploration-aktiviteter bidrager til 1) at styrke europæisk ekspertise inden for videnskabelig forskning, 2) at styrke konkurrenceevnen og væksten i den europæiske industrisektor, 3) at der forfølges fælles mål for menneskeheden som helhed, og 4) at tiltrække opmærksomhed omkring behovet for at udvide vores eksisterende viden og kompetencer.

³ ESA, 2015: *Exploring Together. ESA Space Exploration Strategy*

Figur 2: ESAs strategiske mål for bemanded og ubemandet udforskning af rummet



Kilde: ESA, 2015: *Exploring Together. ESA Space Exploration Strategy*

I det følgende sammenfattes eksisterende viden om betydningen af exploration-aktiviteter inden for netop disse fire hjørnesteen. I sammenfatningen gives endvidere eksempler på danske aktørers kompetencer og erfaringer.

1.1 Innovation og økonomisk vækst

For at understøtte medlemslandene i deres beslutningsprocesser knyttet til deltagelsen i ESA-programmer, har ESA gennemført en analyse af de socioøkonomiske effekter af deltagelsen i ISS. Analysen, som dækker perioden fra 1995 til 2016, viser bl.a., at ESAs involvering i ISS har givet et positivt samfundsbidrag.

For Danmarks vedkommende viser denne analyse, at en multiplikatoreffekt på 1,4 svarende til forholdet mellem en investering på 76 mio. € og et samlet bidrag til det danske BNP på 107 mio. €. Analysen viser estimerer endvidere, at den danske involvering i ESAs ISS-programmer gennem årene 1995-2016 modsvarer en beskæftigelse på ca. 1.000 årsværk, og at investeringerne samlet set har bidraget til en beskæftigelse på ca. 1.500 årsværk⁴.

I dansk sammenhæng blev der i 2008 udarbejdet en analyse af betydningen af ESA-samarbejdet, som supplerer det samlede vidensgrundlag om betydningen af den danske involvering i ESAs ISS programmer. Denne analyse viste bl.a., at en investering på 1 mio. kr. genererede en samlet omsætning blandt danske virksomheder på i alt 2,3 mio. kr.⁵

Udforskning af rummet skaber samfundsøkonomiske effekter. Den danske involvering i ESAs ISS programmer har gennem årene 1995-2016 f.eks. bidraget positivt til såvel det danske BNP (107 mio. €) og den danske beskæftigelse (ca. 1.000 årsværk).

1.2 Forskningskompetencer og -resultater

ISS beskrives i flere sammenhænge som en facilitet, der fører til innovation grundet behovene på selve rumstationen, eksempelvis inden for vandforsyning/-rensning. Derudover har stationen haft stor betydning som laboratorium for en række forskningsområder. ISS har samtidigt medvirket til en gennemgribende forandring af den måde, hvorpå vi forstår de humanfysiologiske, plantebiologiske samt biokemiske områder på, grundet muligheden for at foretage forsøg under

vægtløse forhold. I rapporten “*Benefits Stemming from Space Exploration*”⁶, som ISECG udgav i 2013, bliver det gjort klart, at den sundhedsforskning og innovation, der er sket inden for fx kræftbehandling, ikke kunne være afstedkommet uden ISS som forskningslaboratorium.

Et gennemgående træk for de forskningsmæssige aktiviteter er, at de medfører muligheder og resultater, som ikke på forhånd var tilsigtet, men som opstår idet den nye viden og de nye teknologier kobles med andre behov og problemstillinger. I 2014 vurderede OECD, at rumerhvervet gennem NASA samlet set havde afstedkommet 1.800 *spin-off*-teknologier, inden for alt fra sundhed og medicin, til transport, fremstilling og materialer samt computerteknologier⁷.

I dansk sammenhæng, har danske forskere haft en tradition for at udvikle og foretage forsøg på ISS. Dette især på det humanfysiologiske område og i tilknytning til forskning i kroppens og cellernes opførsel og forandring i vægtløs tilstand. Fra Aarhus Universitet, har man f.eks. forsket i kræftcellers opførsel i vægtløs tilstand, hvor det bl.a. har vist sig, at nogle typer af kræftceller har svært ved at overleve og formere sig.

Danske forskere og danske virksomheder har således i flere omgange stået bag forsøg med astronauter ombord på ISS, ligesom danske virksomheder har leveret udstyr til eksperimenterne. Et eksempel på sidstnævnte er den danske virksomhed Ohmatex, som i 2009 fik kontrakt med ESA om at udvikle en intelligent strømpe, der kan monitorere muskelaktivitet og væskeforskydning under træning.

Danske forskere har i en årrække haft tradition for at udvikle og foretage forsøg på ISS. Dette især på det humanfysiologiske område og i tilknytning til forskning i kroppens og cellernes opførsel og forandring i vægtløs tilstand. Forskningstraditionen rummer både videnskabelige eksperimenter og behov for udvikling af udstyr.

⁴ ESA (2016): *Assessment of the socio-economic impact of the ESA participation to the ISS Programme*

⁵ Styrelsen for Forskning og Uddannelse, 2008: *Evaluation of Danish Industrial Activities in the European Space Agency (ESA)*

⁶ International Space Exploration Coordination Group (ISECG), 2013: *Benefits Stemming from Space Exploration*

⁷ OECD (2014): *The space economy at a glance 2014*

1.3 Globale samfundsudfordringer og diplomati

Udforskningen af rummet og tilknyttede aktiviteter vurderes samtidigt at have betydning for mulighederne for at løse nogle af de aktuelle udfordringer og trusler, som verdenssamfundet står overfor. Det kan være udfordringer ift. klimaforandringer, oversvømmelser, ressourceknaphed (rent drikkevand mv.), vulkanudbrud eller andre naturkatastrofer.

Det internationale samarbejde i rummet gør det muligt at tilgå disse udfordringer med langt mere omfangsrige missioner og forskningsprojekter, end de enkelte lande ville kunne gøre hver for sig. Dertil kommer den effekt, at landene imellem opbygger diplomatiske, forskningsmæssige og forretningsmæssige forbindelser gennem rumsamarbejdet, som kan rumme kimen til storskala-samarbejde.

ESA har i denne forbindelse foretaget en kortlægning af, hvordan ESA-aktiviteterne kan bidrage positivt til at løse de udfordringer, som er identificeret af FN i de 17 verdensmål for bæredygtig udvikling.⁸ Kortlægningen peger her på, at aktiviteterne kan bidrage til at indfri målsætninger vedr. ”sundhed og trivsel”, ”rent vand og sanitet”, ”bæredygtig energi”, ”jobs og økonomisk vækst”, ”industri, innovation og infrastruktur”, samt ”bæredygtige byer og lokalsamfund”.

I en dansk sammenhæng har nærværende analyse identificeret en række eksempler på, hvordan danske aktører kan bidrage til målsætningerne. Et eksempel er Danish Aerospace Company, der siden 1988 har udviklet kondicykler til brug i rummet. Virksomheden har gennem dets ESA-relaterede aktiviteter således udviklet teknologier, der bidrager til at vedligeholde astronauter i sund tilstand - teknologier, som også kan bidrage til, at mennesker kan leve et sundt liv.

Et andet eksempel er aktiviteter og teknologier knyttet til bl.a. strømforsynings- og styringssystemer. Idet teknologierne og løsningerne skal kunne fungere i ekstreme miljøer, rummer de potentialer for at kunne medvirke til at udvikle mere bæredygtige energiløsninger og dermed løsninger, som på Jorden kan bidrage til at reducere CO₂-udledninger og andre miljøpåvirkninger.

⁸ www.esa.int/Our_Activities/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/ESA_and_the_Sustainable_Development_Goals

Udforskningen af rummet har betydning for mulighederne for at løse nogle af de aktuelle udfordringer og trusler, som verdenssamfundet står overfor. Aktiviteterne bidrager bl.a. til at indfri målsætninger vedr. sundhed og trivsel, rent vand og sanitet, bæredygtig energi og bæredygtige lokalsamfund.

1.4 Kultur, inspiration og uddannelse

Udforskningen af rummet vurderes i et bredere perspektiv at bidrage med et unikt og evolutionært perspektiv på menneskehedens rolle i universet, særligt fordi aktiviteterne ofte fokuserer på nogle af de mere grundlæggende forhold omkring vores oprindelse. Endvidere kan udforskningen af rummet bidrage til at inspirere unge til at søge mod bl.a. de naturvidenskabelige discipliner.

På tværs af de rapporter, der er blevet afsøgt, er der en enighed om, at arbejdet med udforskning af rummet smitter af på befolkningen og deres interesser. Ikke bare i rumerhvervet, men netop inden for de fagligheder, der binder rumerhvervet sammen. Navnlige STEM-kompetencerne, dvs. kompetencer indenfor naturvidenskab (*science*), teknologiudvikling og -forståelse (*technology*), ingeniørvidenskab (*engineering*) og matematik (*mathematics*).

Ud over at de større missioner og astronauters tilstedeværelse på ISS trækker en del opmærksomhed, har man også gennem ESA fokus på at sikre, at de yngre årsgange finder interesse i rummet. Man har således med ESERO (*European Space Education Resource Office*) etableret et internationalt videns- og uddannelsescenter, der arbejder for at fremme STEM-kompetencer gennem undervisningsmaterialer og lærerkurser bygget op omkring rumforskningen. ESERO har lokale kontorer i 12 ESA-medlemslande, heriblandt også i Danmark.

Udforskning af rummet bidrager med et unikt og evolutionært perspektiv på menneskehedens rolle i universet og til at inspirere unge til at søge mod studier og uddannelsesretninger inden for bl.a. de naturvidenskabelige discipliner.

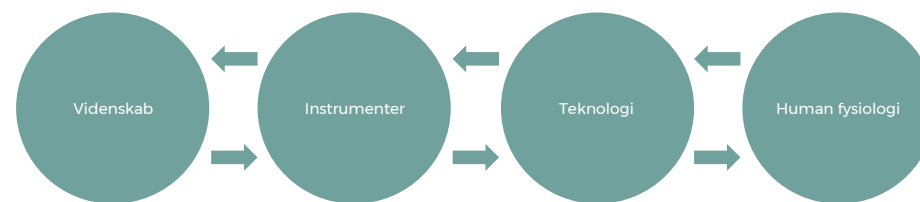
2 Impacts af danske exploration-aktiviteter

I det følgende sammenfattes analysen af impacts af exploration-aktiviteter, herunder impacts af aktiviteter blandt danske aktører. Analysen fokuserer i denne sammenhæng på følgende hovedområder:

- **Videnskab:** Videnskab omfatter missioner og aktiviteter, hvor formålet er at opnå nye videnskabelige erkendelser gennem udforskning af rummet, herunder gennem bemandede eller ubemandede missioner. Et eksempel er forskernes registrering af tyngdebølger i 2016, som indtil da alene var en teoretisk videnskabelig indsigt.
- **Instrumenter:** Videnskabelige instrumenter muliggør udforskning af rummet på nye måder og udvikles til et specifikt formål typisk på forslag fra de videnskabelige miljøer efter indkaldelse af forslag fra de internationale rumagenturer. Dertil kommer instrumenter, der er nødvendige for f.eks. en satellits funktion. Et eksempel er det danske stjerne kamera, som bruges til navigation.
- **Teknologi:** Udvikling af ny teknologi, der udspringer af rummissioner og som kan bringes i anvendelse i andre sammenhænge. Forskellen på instrumenter og teknologi er, at instrumentet bygges til at tjene ét specifikt formål, mens teknologier typisk indgår som et element i et instrument. Videre gælder det, at teknologier potentielt kan skaleres og kommercialiseres på et bredere marked. Et eksempel på en ny teknologi er Ohmatex' sensortechnologi, der kan måle betydningen af vægtløsheden for kroppen.
- **Humanfysiologi:** Som noget helt særligt for bemandede missioner er udvikling af ny viden om humanfysiologi, medicin og sundhed nødvendig for astronauters tilstedeværelse i rummet. Her udgør rumstationen i dag et naturligt omdrejningspunkt. Aktuell forskning og udvikling på omfatter kræftbehandling, stråling, aldring og synsindsættelse.

Som det er forsøgt illustreret i figur 3, kan disse fire områder ikke adskilles entydigt fra hinanden. Eksempelvis kan forskning på sundhedsområdet give anledning til udvikling af nye teknologier, som igen indgår i udvikling af specifikke instrumenter, der kan give nye videnskabelige erkendelser. Omvendt kan kæden føre den anden vej, hvor forskningsprojekter leder til instrumenter og teknologiu udvikling, som muliggør forskning på f.eks. sundhedsområdet.

Figur 3: Illustration af sammenhænge mellem de fire hovedområder



Kilde: Seismonaut, 2018

2.1 Stærke videnskabelige kompetencer skaber ny teknologi

Omkring betydningen af de danske videnskabelige aktiviteter knyttet til bemanded og ubemandet udforskning af rummet, peger kortlægningen og analysen på, at aktiviteterne har bidraget til væsentlige videnskabelige resultater, samt at disse aktiviteter fører til afledte impacts i form af teknologiu udvikling gennem behovet for instrumenter. De videnskabelige aktiviteter bidrager herigennem til jobskabelse og potentielt til at tiltrække investeringer og arbejdskraft til Danmark.

Kortlægningen viser således, at danske forskningsinstitutioner, herunder særligt Niels Bohr Institut og Aarhus Universitet, er involveret i en række centrale videnskabelige aktiviteter knyttet til både videnskabelig og bemanded/ubemandet udforskning af rummet. Eksempelvis har forskere fra Niels Bohr Institut i flere tilfælde indtaget centrale positioner i forbindelse med NASAs Mars-missioner, der har givet anledning til mange videnskabelige publikationer i internationale tidsskrifter.

De danske grundvidenskabelige aktiviteter knyttet til udforskning af rummet har bidraget til væsentlige videnskabelige resultater og fører til impacts i form af teknologiu udvikling, gennem behovet for instrumenter. De videnskabelige aktiviteter bidrager herigennem til jobskabelse og potentielt til at tiltrække investeringer og arbejdskraft til Danmark.

Forskere fra Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet har i flere tilfælde indtaget centrale positioner i forbindelse med NASAs Mars-missioner. Forskerne har deltaget i Mars Pathfinder i 1997, Spirit and Opportunity i 2004, Phoenix Mars Lander i 2008, Mars Science Laboratory med roveren, Curiosity, og er aktuelt involveret i udviklingen af Mars 2020 roveren.

Grundforskning er således nært beslægtet med instrumentudvikling og derigennem også med udvikling af nye teknologier. I tillæg hertil kommer de muligheder, aktiviteterne giver for danske forskere og de potentialer, der er knyttet til at skabe øget interesse blandt unge danskere for naturvidenskabelige uddannelser.

2.2 Instrumentkompetencer skaber impacts

Kortlægningen peger endvidere på, at danske aktører ofte indtager centrale positioner ift. udviklingen af de instrumenter, der muliggør bemandet og ubemandet udforskning af rummet. Dertil kommer de afledte muligheder bemandet og ubemandet udforskning skaber. Et aktuelt eksempel herpå er ASIM-laboratoriet, der skal studere atmosfæren, og som for nylig er blevet koblet på ISS.

Instrumentudvikling er nært beslægtet med videnskab og teknologi. Sammenhængen gør sig gældende på aktivitetsniveau og ses også ved instrumentudviklingens impact på hhv. videnskab og teknologi. Kortlægningen peger på, at udviklingen af instrumenter til udforskning af rummet skaber nye videnskabelige resultater og fører til afledte impacts i form af teknologiudvikling, jobskabelse, omsætning samt tiltrækning af virksomheder, investeringer og arbejdskraft til Danmark.

Udviklingen og udnyttelsen af instrumenter til udforskning af rummet skaber mulighed for nye videnskabelige resultater og fører til impacts i form af teknologiudvikling, jobskabelse, omsætning samt tiltrækning af virksomheder, investeringer og arbejdskraft til Danmark.

Når danske virksomheder og forskere udvikler videnskabelige instrumenter til rummet, har det først og fremmest direkte betydning for den forskning, som instrumenterne giver mulighed for at udføre. ASIM-laboratoriet er eksempelvis udviklet for at generere data, der anvendes i forskningsøjemed og dermed leder til nye videnskabelige erkendelser.

Instrumentudviklingen fører også til afledte teknologiske impacts. Det sker fordi, udvikling af instrumenter ofte kræver udvikling af ny teknologi, og denne teknologi kan til tider videreudvikles og anvendes i andre sammenhænge. Dertil kommer ny teknologi uden tilknytning til instrumenter. Det gælder eksempelvis med Force Technology's røntgenteknologi, som er udviklet for at kunne kvalitetssikre raketdyser, men efterfølgende har fundet anvendelse i andre sammenhænge (feks. i relation til fødevareproduktion), hvor den yderst præcise røngtenscanning er eftertragtet.

Sidst men ikke mindst leder instrumentudviklingen til afledte samfundsøkonomiske impacts. Den samfundsøkonomiske betydning indtræffer dels i kraft af den jobskabelse og omsætning, som genereres af virksomhederne og forskningsinstitutionerne, og dels i kraft af den tiltrækning af virksomheder, investeringer og arbejdskraft, som følger med en højspecialiseret erhvervs- og forskningsklynge.

2.3 Teknologiudvikling skaber innovation og vækst i erhvervslivet

Rumerhvervet er omdrejningspunkt for en igangværende transformation præget af nye teknologiske løsninger, som kan forbedre vores hverdag på jorden. Erhvervet tegnes af en række markante virksomheder, som i forskelligt omfang har opnået kontrakter fra rumagenturer på udvikling af udstyr og bidrag til bemandet og ubemandet rumfart. Kortlægningen peger på, at teknologiudviklingen følger af den videnskabelige grundforskning og af behovet for udviklingen af instrumenter i forbindelse med udforskning af rummet.

I Danmark står en række markante virksomheder bag udviklingen af instrumenter, som rummer betydelige teknologiske samfundsøkonomiske potentialer. Virksomhederne indgår dermed som en del af en igangværende transformation præget af nye teknologiske løsninger, som kan forbedre vores hverdag på jorden.

Et eksempel er Ohmatex' sensorteknologi, der kan måle astronauternes træningsaktiviteter og betydningen af vægtløsheden for kroppen, og som rummer potentialer i forhold til at analysere og optimere træningen hos elitesportsudøvere, ligesom teknologien kan give et spin-off i forhold til telemedicin og overvågning ved hjælp af intelligente tekstiler.

Et andet eksempel er GomSpace, som i samarbejde med ESA har udviklet nye produkter til satellitter og afprøvet disse i rummet. På exploration-området er GomSpace aktuelt involveret i et ESA-studie, der har til formål at belyse, hvordan nanosatellitter kan fungere som supplement til ubemandede rummissioner.

Teknologiudvikling sker i mange tilfælde som følge af behov i grundforskningen, men også i behovet for udviklingen af instrumenter i forbindelse med bemannet og ubemannet udforskning af rummet. I Danmark står en række markante virksomheder bag udviklingen af instrumenter, som rummer betydelige teknologiske samfundsøkonomiske potentialer.

En række danske virksomheder er således involveret i udviklingen af instrumenter til bemannet og ubemannet udforskning af rummet. Instrumenter, der således bygges til at tjene ét specifikt (videnskabeligt) formål, men som baseres på teknologier, der potentielt kan skaleres og kommercialiseres på et bredere marked. Teknologiudvikling kan derfor ses som en afledt impact af den videnskabelige grundforskning og instrumentudviklingen.

Udviklingen af nye teknologier er en langsigtet investering, og der er typisk tale om en produktionscyklus på 18 til 36 måneder, hvor de store investeringer typisk først for alvor tjenes hjem på 10-15 års sigt.⁹ Derfor kan den samfundsøkonomiske betydning af teknologierne ofte først aflæses på længere sigt. Alligevel dokumenterer både danske og udenlandske studier, at teknologiudviklingen har betydelige samfundsøkonomiske impacts - både i form af øget omsætning og beskæftigelse, men også i form af udviklingen af mere innovative og effektive løsninger.

2.4 Forskning og teknologiudvikling på sundhedsområdet

Kortlægningen peger på, at udforskning af rummet åbner nye forskningsfelter og leder frem til avancerede teknologier på sundhedsområdet. Det danske engagement omkring den internationale rumstation og arbejdet med at vedligeholde astronauternes sundhed har således dels ledt frem til et nyt forskningsfelt og dels

ledt til avancerede teknologier, der rummer store potentialer i forhold til f.eks. behandlings- og ældreplejeområderne.

Som omtalt ovenfor, har virksomheden Ohmatex udviklet en sensorteknologi, der kan måle astronauternes træningsaktiviteter og betydningen af vægtløshed for kroppen. Samarbejdet med ESA har haft direkte indvirkning på Ohmatex' aktiviteter og omsætning, og har også skabt grundlaget for at videreudvikle sensorteknologien og åbne op for nye markedsmuligheder.

Et andet eksempel er Danish Aerospace Company, som i dag er en central dansk aktør ift. ESA, og som i løbet af de sidste 25 år har bygget og sendt mere end tre tons medicinsk videnskabeligt udstyr til den internationale rumstation. Udstyret omfatter bl.a. respiratorisk udstyr, motionsudstyr og vandrensningsteknologi.

Det danske engagement omkring den internationale rumstation og arbejdet med at vedligeholde astronauternes sundhed, har dels ledt frem til et nyt forskningsfelt og dels ledt frem til avancerede teknologier, der rummer store potentialer i forhold til fx behandlings- og ældreplejeområderne.

I figuren nedenfor sammenfattes analysen af impacts af exploration-aktiviteter, herunder impacts af aktiviteter blandt danske aktører.

⁹ Styrelsen for Forskning og Innovation, 2008: *Evaluation of Danish Industrial Activities in the European Space Agency (ESA)*

Figur 4: Betydning af udforskning af rummet i et effektkæde-perspektiv

Videnskabelige, teknologiske og samfundsøkonomiske gevinster				
	Input	Aktiviteter	Resultater	Impacts
Videnskab	Indkaldelse af forslag fra internationale rumagenturer (primært ESA og NASA) og grundvidenskabelige spørgsmål	Danske forskere indtager centrale roller i internationale missioner og rumprojekter.	Danske forskere står bag en række betydningsfulde forskningsresultater, f.eks. med en ny metode til at måle afstande i universet og opdagelse af den fjerneste støvholdige galakse.	De grundvidenskabelige aktiviteter knyttet til udforskning af rummet skaber nye videnskabelige resultater og fører til afledte impacts i form af teknologiudvikling samt til jobskabelse og potentielt til at tiltrække investeringer og arbejdskraft.
Instrumenter	Indkaldelse af forslag og opdrag fra internationale rumagenturer (fx ESA og NASA) og i stigende grad fra private virksomheder (fx Boeing og SpaceX).	Udvikling af højteknologiske og specialiserede videnskabelige instrumenter i samarbejde mellem forskning og erhvervsliv.	Danske forskere og virksomheder indtager centrale roller i store internationale missioner og rumprojekter.	Videnskabelige instrumenter muliggør nye videnskabelige resultater og instrumentudviklingen fører til afledte impacts i form af teknologiudvikling, jobskabelse, omsætning samt tiltrækning af virksomheder, investeringer og arbejdskraft til Danmark.
Teknologier	Opdrag fra internationale rumagenturer (primært ESA og NASA) og behovet for udvikling af instrumenter og teknologier.	Involvering i rummissioner og udvikling af ny teknologi i samarbejde med forskningsaktører.	I Danmark står en række markante virksomheder bag udviklingen af instrumenter, som rummer betydelige teknologiske samfunds- økonomiske potentialer.	Virksomhederne indgår dermed i udviklingen af nye teknologiske løsninger, som kan forbedre vores hverdag på jorden.
Sundhed	Indkaldelse af forslag og opdrag fra internationale rumagenturer (primært ESA og NASA) og behovet for udvikling af videnskabelige forsøg, instrumenter og teknologier.	Involvering i rummissioner og udvikling af højteknologiske og specialiserede instrumenter ift. vedligeholdelse af astronauternes sundhedstilstand.	Det danske engagement har dels ledt frem til et nye forskningsfelter og dels til avancerede teknologier.	Aktiviteterne har skabt resultater, der rummer store videnskabelige, teknologiske og samfundsmæssige potentialer, herunder bl.a. ift. i behandling og ældrepleje.

Kilde: Seismonaut, 2018

3 Danske kompetencer og E3P-programmet

ESA fremlagde i december 2014 nye ambitioner om at arbejde aktivt for europæiske tilstedeværelse i rummet. Som et første resultat af ambitionerne er der udarbejdet og igangsat et nyt rammeprogram European Exploration Envelope Programme (E3P). Programmets missioner er indtil videre fastlagt for perioden 2017-2019. Selvom retninger og prioriteringer for den efterfølgende periode skal drøftes på ministermødet i 2019, ligger det fast, at missionerne vil være knyttet til prioriterede destinationer for menneskelig tilstedeværelse i rummet, nemlig de lave baner om Jorden samt Månen og Mars.

Overordnet set synes E3P-programmet i høj grad at betone behovet for teknologisk udvikling, mens grundvidenskabelige mål og aktiviteter er mindre synlige. Dermed synes E3P-programmet umiddelbart at rumme de bedste muligheder for den del af det danske rumerhverv, der beskæftiger sig med udvikling af hardware-løsninger - her forstået som de instrumenter og den teknologi der kan bidrage til at realisere de bemandede missioner.

3.1 "Low Earth Orbit" og "Beyond Low Earth Orbit"

E3P-programmet synes desuden at fordre en række fælles teknologiske udviklingsbehov ift. de aktiviteter, der er relateret til **"Low Earth Orbit"** og **"Beyond Low Earth Orbit"**. Dette omfatter teknologier og løsninger ift.:

- Opretholdelse af menneskeligt liv (Life Support)
- Fremdrift (Propulsion)
- Stråling (Radiation)
- Robotteknologi (Robotics)

ESA har de senere år arbejdet på at tydeliggøre og harmonisere teknologiforespørgslen og har i den forbindelse foretaget en vurdering af medlemslandenes kompetencer på en række teknologiområder.¹⁰ For Danmarks vedkommende peger vurderingerne på, at vi på disse teknologiområder ikke besidder ESA-

validerede kompetencer indenfor hverken "Life Support", "Propulsion" eller "Robotics". Dog besidder vi validerede kompetencer inden for "Radiation".

Som det dog fremgår i kortlægningen af danske kompetencer, synes en række danske aktører alligevel at besidde kompetencer og erfaringer inden for disse teknologiområder, herunder også på de ikke-validerede områder. Det gælder eksempelvis hos DTU Space og Terma på instrumentudviklingsområdet, hos Ohmatex og Danish Aerospace Company på området for humanfysiologisk udstyr.

Dertil kommer, at vi i Danmark besidder en international styrkeposition på life science-området, som dels omfatter en række store pharma-virksomheder (som Novo Nordisk, Lundbeck, Leo Pharma og bioteknologiske gazeller som Genmab) og dels omfatter en række tilknyttede virksomheder som fx Chr. Hansen, Carlsberg, Arla Foods, Novozymes, Oticon og Coloplast, ligesom området omfatter en stor underskov af mindre, højteknologiske virksomheder, hvoraf en del udspringer af life science-forskningen på universiteterne. Det er imidlertid klart, at de danske virksomheder inden for life science-området i dag ikke ser rumområdet som en betydelig andel af deres markeder.

I en analyse for ESA fra 2017, peger Rambøll således også på det forhold, at vi i Danmark besidder relevante kompetencer inden for en række områder, som kan være relevante i ESA-sammenhæng¹¹. I analysen peger Rambøll bl.a. på life science-området, men også på teknologier på vandområdet, på fødevarerområdet og på komponent-området.

Samlet set peger analysen således på, at danske aktører besidder kompetencer på flere af de teknologiområder som E3P-programmets aktiviteter vedr. de lave baner om Jorden synes at efterspørge. Dette omfatter også flere af de teknologiområder, hvor ESAs harmoniseringsproces viser at vi ikke har tilstrækkelige kompetencer.¹² Der kan således både være behov for at opdatere ESAs vurderinger af danske kompetencer og være behov for at gøre virksomheder på f.eks. cleantech-området opmærksomme på de muligheder, der kan ligge for dem på rumområdet.

¹⁰ European Space Agency (ESA), 2016: *European Space Technology Master Plan 2016, Appendix A*

¹¹ European Space Agency (ESA), 2017: *Danish technological capacities with regard to ESA-opportunities*

¹² Jf. vurderingerne i European Space Agency (ESA), 2016: *European Space Technology Master Plan 2016, Appendix A*

3.2 Månen og Mars

For så vidt angår E3P-programmets aktiviteter knyttet til **Månen** og **Mars**, synes følgende teknologiområder at være de primært efterspurgte:

- Fremdrift (Propulsion)
- Stråling (Radiation)
- Robotteknologi (Robotics)
- Energi (Energy)
- “In situ resource utilization” (ISRU) (primært ift. Månen)

Ifølge ESAs vurdering af de danske kompetencer inden for de fem ovenstående områder besidder Danmark validerede kompetencer inden for ”Radiation” og ”Energy”, mens vi ikke besidder validerede kompetencer inden for de øvrige teknologiområder.¹³

Som det dog fremgår af kortlægningen af danske kompetencer, synes en række danske aktører også på dette område dog at besidde relevante kompetencer og erfaringer. Det gælder eksempelvis hos Niels Bohr Institutet, der i dag indtager en betydelig international position inden for udforskningen af Mars, herunder via avancerede Mars-rovere. Mars-gruppen er således også involveret i udviklingen af et instrument (magnetometer) til NASA’s 2020 Mars-rover.

Tilsvarende har DTU Space etableret sig i en fremtrædende rolle inden for instrumentudvikling, dels i form af stjernekameraer til navigation af sonder og rovere, og dels i form af specialfremstillede røngteninstrumenter, magnet- målinger, radar-systemer mv. DTU Space er bl.a. involveret i NASAs Mars 2020-mission med et stjernekamera, der skal bidrage til navigationen.

Terma har specialiseret sig i højteknologisk og specialfremstillet hardware og software til rumindustrien og er bl.a. langt fremme på elektronik og strømforsyninger. De leverer endvidere on-board-software til test og validering til bl.a. ExoMars. Dette er kompetencer og erfaringer, der vil flugte godt med kommende Mars-missioner i E3P.

Endelig har Aarhus Universitets Mars Simuleringslaboratorie opbygget erfaringer med udvikling af instrumenter til Mars-missioner - bl.a. i samarbejde med Niels Bohr Institutet. Disse erfaringer går godt i spænd med retningerne i E3P-programmet for så vidt angår aktiviteter knyttet til Mars.

Dertil kommer, at vi i Danmark besidder en international styrkeposition på cleantech-området, herunder ift. grøn teknologi, miljøteknologi, vindenergi mv. Tilsvarende life science-området, er det dog klart, at de danske virksomheder på cleantech-området i dag ikke ser rumområdet som en betydelig andel af deres markeder.

I en analyse for ESA fra 2017, peger Rambøll således også på det forhold, at vi i Danmark besidder relevante kompetencer inden for en række områder, som kan være relevante i ESA-sammenhæng¹⁴. I analysen peger Rambøll netop på cleantech-området, men også på teknologier på vandområdet (vandrensning, vandforsyning og pumpesystemer), på fødevarerområdet og på komponent-området, hvor vi har virksomheder der er førende inden for brug af komposit, glasfiber mv.

Samlet set peger analysen således på, at danske aktører besidder kompetencer på flere af de teknologiområder som E3P-programmets aktiviteter vedr. Månen og Mars synes at efterspørge. Dette omfatter også flere af de teknologiområder, hvor ESAs harmoniseringsproces viser at vi ikke har tilstrækkelige kompetencer.¹⁵ Der kan således både være behov for at opdatere ESAs vurderinger af danske kompetencer og være behov for at gøre virksomheder på f.eks. cleantech-området opmærksomme på de muligheder, der kan ligge for dem på rumområdet.

¹³ European Space Agency (ESA), 2016: *European Space Technology Master Plan 2016, Appendix A*

¹⁴ European Space Agency (ESA), 2017: *Danish technological capacities with regard to ESA-opportunities*

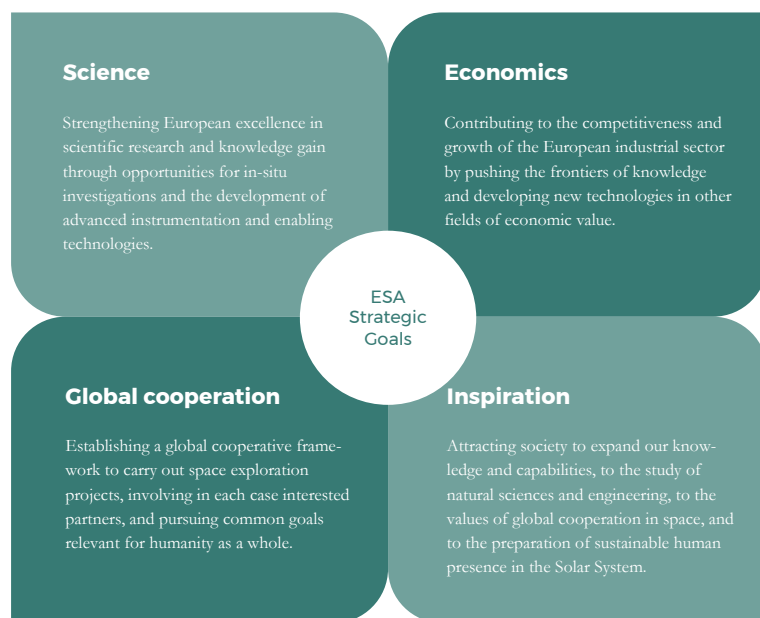
¹⁵ Jf. vurderingerne i European Space Agency (ESA), 2016: *European Space Technology Master Plan 2016, Appendix A*

Del 2: Betydningen af exploration og danske eksempler

I det følgende formidles analysens kortlægning af eksisterende viden om betydningen af exploration-aktiviteter. Gennemgangen af eksisterende viden har et særskilt fokus på at formidle eksempler på danske aktørers kompetencer og erfaringer. Gennemgangen struktureres endvidere med udgangspunkt i de fire hjørner i ESAs strategi for exploration, som blev fremlagt i 2015 – ”science”, ”economics”, ”global cooperation” og ”inspiration”. De fire hjørner er illustreret og beskrevet kort i figur 5.¹⁶

Det er et omdrejningspunkt for ESA, at agenturets exploration-aktiviteter bidrager til 1) at styrke europæisk ekspertise inden for videnskabelig forskning, 2) at styrke konkurrenceevnen og væksten i den europæiske industrisektor, 3) at der forfølges fælles mål for menneskeheden som helhed, og 4) at tiltrække opmærksomhed omkring behovet for at udvide vores eksisterende viden og kompetencer.

Figur 5: ESAs strategiske mål for bemandet og ubemandet udforskning af rummet



Kilde: ESA, 2015: *Exploring Together. ESA Space Exploration Strategy*

Kildegrundlaget udgøres af en række fremtrædende studier og analyser, herunder bl.a. følgende:

- OECD, 2012: *OECD Handbook on Measuring the Space Economy*
- International Space Exploration Coordination Group (ISECG), 2013: *Benefits Stemming from Space Exploration*
- OECD, 2014: *The Space Economy at a Glance 2014*
- European Space Agency (ESA), 2015: *Exploring Together. ESA Space Exploration Strategy*
- European Space Agency (ESA), 2016: *European Space Technology Master Plan 2016*
- European Space Agency (ESA) & PwC, 2016: *Assessment of the socio-economic impact of ESA participation to the International Space Station (ISS) programme*
- Novo Nordisk Fonden (2016): *Forskningsøkonomi. Samfundsøkonomisk effektanalyse af finansiering af offentlig forskning*
- OECD, 2016: *Space and Innovation*
- International Space Exploration Coordination Group (ISECG), 2018: *The Global Exploration Roadmap*

¹⁶ ESA, 2015: *Exploring Together. ESA Space Exploration Strategy*

1 Innovation og økonomisk vækst

Som det fremgår af illustrationen af de fire strategiske hjørneste i ESAs exploration strategi fra 2015 (jf. figur 5), er det et mål for ESAs exploration-aktiviteter at kunne bidrage til at styrke konkurrenceevnen og væksten i den europæiske industrisektor ved at skubbe grænserne for vores viden og udvikle nye teknologier. I det følgende formidles analysens kortlægning af eksisterende viden om betydningen af exploration-aktiviteter i forhold til innovation og økonomisk vækst, ligesom den danske kontekst og danske eksempler beskrives.

1.1 Effekter af deltagelsen i den internationale rumstation

For at understøtte medlemslandene i deres beslutningsprocesser knyttet til deltagelsen i ESA-programmer har ESA gennemført en analyse af de socioøkonomiske effekter af deltagelsen i ISS. Analysen, som dækker perioden fra 1995 til 2016, viser overordnet at ESAs involvering i ISS har givet et positivt samfundsbidrag. Analysen peger således på, at det samlede bidrag til medlemslandenes BNP i denne periode udgør 14,6 mia. €, mens den samlede investering i perioden udgør 8 mia. €, svarende til en multiplikator på ca. 1,8. Ud over bidraget til medlemslandenes BNP, afdækker analysen en forøgelse i beskæftigelsen. Det estimeres således, at der i årene 1995-2016 er sket en tilvækst på ca. 209.500 beskæftigede grundet ESAs ISS program. Mens lidt over halvdelen er beskæftigede i erhverv med direkte forbindelse til rumområdet, er ca. 100.000 beskæftiget i andre brancher og områder¹⁷.

For Danmarks vedkommende viser analysen en multiplikatoreffekt på 1,4 svarende til forholdet mellem en investering på 76 mio. € og et samlet bidrag til det danske BNP på 107 mio. €. For så vidt angår betydningen for den danske beskæftigelse, estimerer analysen, at den danske involvering i ESAs ISS programmer gennem årene 1995-2016 modsvarer en beskæftigelse på ca. 1.000 årsværk, og at investeringerne samlet set har bidraget til en beskæftigelse på ca. 1.500 årsværk.

¹⁷ ESA (2016): *Assessment of the socio-economic impact of the ESA participation to the ISS Programme*

¹⁸ Styrelsen for Forskning og Uddannelse, 2008: *Evaluation of Danish Industrial Activities in the European Space Agency (ESA)*

ESAs analyse af de socioøkonomiske effekter af deltagelsen i ISS kommer dog ikke nærmere ind på betydningen af betydningen af ISS for den danske økonomi. I dansk sammenhæng blev der i 2008 udarbejdet en analyse af betydningen af ESA-samarbejdet for den danske økonomi, som kan supplere det samlede vidensgrundlag. Denne analyse viste en investering på 1 mio. kr. i ESAs ISS-programmer og genererede en samlet omsætning blandt danske virksomheder på i alt 2,3 mio. kr.¹⁸

1.2 Rumerhvervet og rumøkonomien

Rumerhvervet er en central del af rumøkonomien. Hvor rumerhvervet betegner virksomheder med betydelige aktiviteter knyttet til udvikling, fremstilling, operation og applikation af rumrelaterede produkter og services, betegner rumøkonomien et langt bredere felt. Rumøkonomien omfatter således også virksomheder, som anvender rumrelaterede data og tjenester med henblik på at reducere egne omkostninger, ligesom rumøkonomien også omfatter forskningsinstitutioner og brugere af teknologi, viden og data (herunder både offentlige og private brugere).

OECD beskriver i deres håndbog for opgørelser af omfanget af rumøkonomien hvilke forhold, der har betydning for udviklingen af rumøkonomien og dermed også de forhold, der medvirker til at skabe innovation, produktivitet og vækst.

Ifølge OECD beror den samfundsøkonomiske betydning af rumområdet i første omgang på en række grundlæggende faktorer. Disse faktorer inkluderer de elementer, der er nødvendige for udviklingen af rumrelaterede aktiviteter, herunder tekniske, finansielle og sociale infrastrukturer. Disse infrastrukturer muliggør produktionen af rumrelateret udstyr og services og omfatter eksempelvis nationale og private investeringer i rumaktiviteter og menneskelige ressourcer¹⁹.

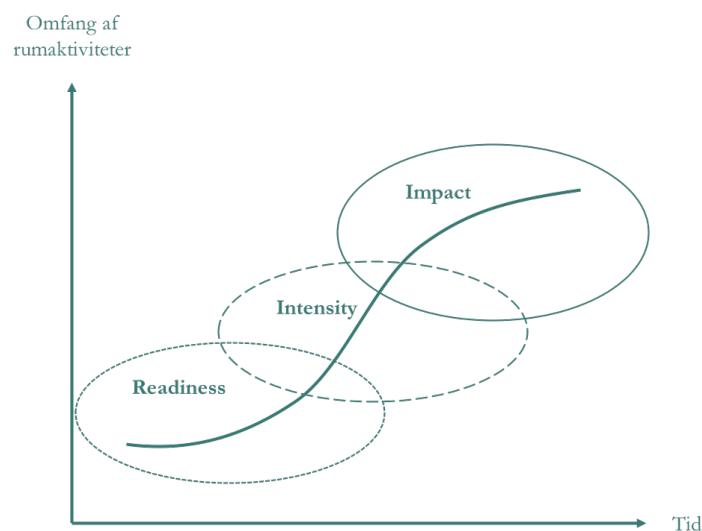
Analyserne fra OECD viser, at omfanget af disse grundlæggende faktorer har betydning for omfanget af rumrelaterede aktiviteter, herunder f.eks. deltagelse i videnskabelige missioner og udvikling af patenter. De grundlæggende faktorer har dermed også indflydelse på resultaterne af de rumrelaterede aktiviteter, herunder

¹⁹ OECD, 2012: *OECD Handbook on Measuring the Space Economy*

viden/forskning, produkter og ydelser, som kommer til udtryk i form af f.eks. omsætning hos erhvervslivet, videnskabelige resultater, publikationer og patenter.

OECD-analyserne viser endvidere, at resultaterne af de rumrelaterede aktiviteter bidrager til samfunds- og socioøkonomisk vækst, herunder f.eks. i form af nye kommercielle produkter og services, produktivitet og effektivisering, økonomisk vækst og omkostningsreduktion (f.eks. i forbindelse med forebyggende indsatser ved oversvømmelser). OECD opstiller på denne baggrund følgende grundmodel for forståelsen af sammenhænge mellem tilstedeværelsen af faktorer, intensiteten af rumrelaterede aktiviteter og rumområdets bidrag til samfunds- og socioøkonomisk vækst.

Figur 6: Udvikling af rumøkonomien



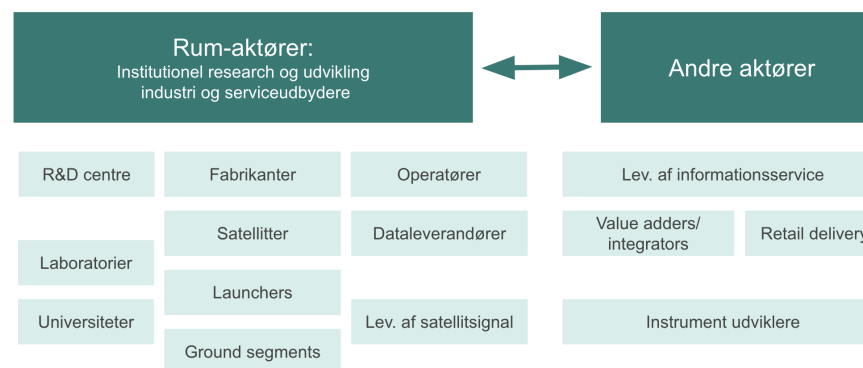
Kilde: Seismonaut på baggrund af OECD (2012): Handbook on Measuring the Space Economy

Figuren illustrerer, at impacts afhænger af et minimumsniveau for de grundlæggende forhold, herunder FoU-budgetter og ressourcer/kompetencer. De grundlæggende forhold har betydning for intensiteten af rumrelaterede aktiviteter (omfanget af missioner, patenter, kommercialisering mv.), som igen således har betydning for de samfundsøkonomiske gevinster.

Et centralt element for udviklingen af rumøkonomien og dermed for rumaktiviteterne, der kan bidrage til samfunds- og socioøkonomisk vækst, er naturligvis de aktører, der indgår i rumøkonomien. Disse omfatter alle offentlige og private aktører, der er involveret i udviklingen af rumrelaterede produkter og ydelser.

I et værdikædeperspektiv omfatter dette alle aktører, som beskæftiger sig med rumrelateret forskning og udvikling og alle aktører, der beskæftiger sig med produktion og leverance af rumrelaterede produkter og ydelser. Figuren nedenfor illustrerer de centrale typer af aktører i værdikæden:

Figur 7: Værdikæden og centrale aktørtyper



Kilde: Seismonaut på baggrund af OECD (2012): OECD Handbook on Measuring the Space Economy

1.3 Den danske kontekst og danske eksempler

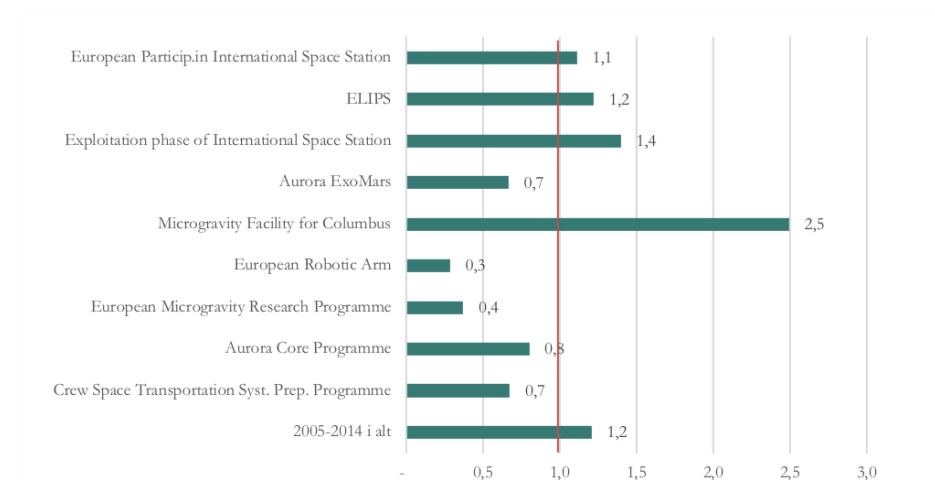
Danmark har i perioden fra og med år 2000 til og med 2020 investeret i alt 1.307 mio. kr. i de ESA-programmer, der nu hører under E3P. Investeringen svarer til ca. 65 mio. kr. pr. år fordelt over hele perioden 2000-2020. Heraf blev 410 mio. kr. givet før 2004 - primært til udviklingen af ISS. I de senere år har Danmark bidraget med ca. 40 mio. kr. pr. år til drift og udnyttelse af ISS og til nye exploration-missioner – primært ExoMars.

Ifølge ESA konventionen har hvert medlemsland krav på at få sin investering i organisationen retur i form af kontrakter til industri og forskningsinstitutioner. For så vidt angår ESAs programmer knyttet til udforskning af rummet viser en

analyse af de tilgængelige data for perioden 2005-2014, at vi i Danmark generelt opnår kontraktsummer, der mere end matcher investeringen (hvilket også indgår i grundlaget for ESAs analyse af de socioøkonomiske effekter af deltagelsen i ISS, se nedenfor). Dette fremgår af figur 8, der viser den samlede danske retur-koefficient (forholdet mellem investering og dansk kontraktsum) for ESAs programmer knyttet til udforskning af rummet for perioden 2005-2014.

Som det fremgår af figuren, dækker den samlede koefficient over en række forskelle. Mens koefficienten for nogle programmer i denne periode ligger over 1,0 (og i et enkelt tilfælde betydeligt over 1,0), er koefficienten også betydeligt under 1,0 for en anden række programmer. Den samlede koefficient er dog opgjort som en vægtet koefficient, hvorfor den samlede koefficient i betydelig grad afhænger af de tre programmer "European Participation in International Space Station", ELIPS og "Exploitation phase of International Space Station", der tilsammen udgør omkring 90% af den samlede danske investering på dette område.

Figur 8: Samlet dansk retur-koefficient for ESAs exploration-programmer, 2005-2014



Kilde: Seismonaut på baggrund af data fra ESA

²⁰ Se fx Styrelsen for Forskning og Uddannelse, 2016: "Analyse- og evidensgrundlag for rumområdet i Danmark"

Som nævnt ovenfor, blev der i 2008 udarbejdet en analyse af betydningen af ESA-samarbejdet for den danske økonomi. For så vidt angår danske investeringer i ESAs ISS-programmer viste analysen, at en investering på 1 mio. kr. i, skabte en samlet omsætning blandt danske virksomheder på i alt 2,3 mio. kr.

Inden for de seneste par år har en række analyser endvidere dokumenteret, at vi i Danmark har gode forudsætninger for at høste gevinster og skabe vækst gennem anvendelsen af rumrelaterede teknologier og udvikling af den digitale økonomi²⁰. Indfrielsen af potentialet kræver dog et skarpt fokus på danske virksomheders og forskeres deltagelse i internationale rumforskningsprogrammer. I 2016 lancerede regeringen derfor også Danmarks første strategi for rummet. Strategien sætter fokus på, hvordan rummet kan bidrage til vækst i det danske samfund og til at løse nogle af tidens store udfordringer, ligesom strategien sætter rammen for en lang række initiativer.

1.4 På vej mod et dansk økosystem og et mere modent marked

Parallelt med gennemførelsen af disse indsatser er omridset til et egentligt dansk rum-økosystem ved at tegne sig. Som en central del af økosystemet er rumerhvervet omdrejningspunkt for en igangværende transformation præget af nye teknologiske løsninger, som kan forbedre vores hverdag på jorden.

Det danske rumerhverv dækkede i 2016 over 127 virksomheder, hvor aktiviteter knyttet til rumteknologi udgjorde en betydelig del af deres økonomiske aktiviteter. Virksomhederne beskæftigede i 2016 ca. 1.700 rumrelaterede årsværk, der bidrog til at generere en samlet rumrelateret omsætning på 5,3 mia. kr., hvoraf eksporten udgjorde ca. 68%.²¹

Selvom rumerhvervet i sig selv måske ikke direkte tegner sig for en betydelig del af den danske økonomi (målt på rumerhvervets andel af det samlede antal årsværk i Danmark), har det alligevel stor indirekte effekt. Gennem udviklingen af højteknologiske produkter med direkte forbindelse til rummet og gennem udviklingen af services knyttet til satellitdata, danner rumerhvervet grundlag for effektivisering, udvikling af ny viden, nye teknologier og vækst. Netop teknologisk

²¹ Styrelsen for Forskning og Uddannelse, 2017: *Opfølgning på den danske rumstrategi. Implementeringsplan nummer 2*

aktivitet og forskningsaktivitet er væsentlige kilder til innovation, produktivitet og vækst.

Rumområdet er således et eksempel på, hvordan offentlige og nationale investeringer kan bidrage til udvikling af ny viden, nye teknologier og vækst. De danske investeringer i ESAs programmer er en offentlig investering, der (gennem "juste retour-systemet") bidrager til finansiering af danske virksomheder og forskningsinstitutioners rumrelaterede forsknings- og udviklingsaktiviteter - aktiviteter, der ikke ellers ville være mulige at realisere.²² I et bredere perspektiv kan de danske investeringer i ESAs programmer, dermed også anskues som en mekanisme, der bidrager til at skabe vækst og beskæftigelse i Danmark.

Det er dog klart, at disse kausaliteter lige nu er mere evidente på nogle områder end andre. Således synes teknologiudvikling knyttet til satellitnavigation, kommunikation og jordobservation at være eksempler på områder, hvor danske investeringer har medvirket til at skabe relativt modne markedsområder for erhvervslivet. Til sammenligning synes exploration-området måske endnu ikke at have samme grad af modenhed.

Udviklingen kan dog accelereres betydeligt inden for de kommende år. Det skyldes dels en stigende interesse fra kommercielle aktører for at involvere sig i aktiviteter knyttet til udforskning af rummet²³ og dels forventningerne om, at NASA og ESA i de kommende år vil arbejde aktivt for at udbrede mulighederne for at kommercielle aktører kan anvende de etablerede infrastrukturer (herunder særligt den International Rumstation).

Den stigende tilstedeværelse fra kommercielle aktører på dette felt åbner således op for, at offentlige exploration-investeringer kan suppleres med kommercielle aktiviteter. Det kan også give muligheder for, at danske virksomheder og forskningsinstitutioner kan indgå både forskningsmæssige og kommercielle samarbejder med private rumaktører. Exploration-området står derfor måske overfor en udvikling, der er parallel med den udvikling, vi har set inden for satellitnavigation, kommunikation og jordobservation.

²² Se fx Styrelsen for Forskning og Uddannelse, 2008: *Evaluation of Danish Industrial Activities in the European Space Agency (ESA)*

²³ ESA, 2015: *Exploring Together. ESA Space Exploration Strategy*

2 Forskningskompetencer og -resultater

Som det fremgår af illustrationen af de fire strategiske hjørner i ESAs exploration strategi fra 2015 (jf. figur 5), er det et mål for ESAs exploration-aktiviteter at kunne bidrage til at styrke europæisk ekspertise inden for videnskabelig forskning gennem bl.a. udvikling af avancerede instrumenter og teknologier. I det følgende formidles analysens kortlægning af eksisterende viden om betydningen af exploration-aktiviteter i forhold til forskningen, ligesom den danske kontekst og danske eksempler beskrives.

2.1 ISS har haft stor betydning for vores forskning

Der er talrige eksempler på, at udforskning af rummet giver et udbytte for forskningen, både ift. kompetencer og resultater. En rapport fra International Space Exploration Coordination Group (ISECG)²⁴, der tæller de største nationale og internationale rumagenturer, fastslår, at den internationale rumstation har haft stor betydning for forskningskompetencer og -resultater.

ISS beskrives som en facilitet, der har ført til innovation grundet behov på selve rumstationen, eksempelvis inden for vandforsyning/-rensning, men også i forbindelse med f.eks. 3D-print. Derudover har stationen haft stor betydning for forskningen som testfacilitet og laboratorium for en række forskningsområder.

ISS har som laboratorium haft stor betydning for forskellige grene af grundforskning. Hvor rumstationen naturligt agerer laboratorium for observationer, har ISS også haft ført til en gennemgribende forandring af den måde, hvorpå vi forstår de humanfysiologiske, plantebiologiske samt biokemiske områder på, grundet muligheden for at foretage forsøg under vægtløse forhold.

²⁴ International Space Exploration Coordination Group (ISECG), 2013: *Benefits Stemming from Space Exploration*

2.2 Stor betydning for sundhedsforskningen

I rapporten “*Benefits Stemming from Space Exploration*”²⁵, som ISECG udgav i 2013, bliver det gjort klart, at den sundhedsforskning og innovation, der er sket inden for kræftbehandling, fordele ved operationer i vægtløshed, hjælpemidler såsom proteser, exoskelet mv., medicin, DNA-forskning, behandling af synsnedsettelse, fysiologiske eksperimenter med stråling mm. ikke kunne være afstedkommet uden ISS som forskningslaboratorium.

Som en del af arbejdet har Ohmatex samarbejdet med forskere, herunder personer med høje erfaringer i at måle muskelaktivitet hos elitesportsudøvere og forskere fra Institut for Biomedicin på Københavns Universitet. Teknologien integreres her i en buks, som astronauter benytter under træning.

2.3 Spin-off-teknologier

Et gennemgående træk for de forskningsmæssige aktiviteter er at medføre afledte muligheder og resultater, som ikke på forhånd var tilsigtet, men som opstår idet den nye viden og de nye teknologier kobles med andre behov og problemstillinger her på Jorden. I 2014 vurderede OECD, at rumerhvervet gennem NASA samlet set havde afstedkommet 1.800 *spin-off*-teknologier, der har haft betydning for alt fra sundhed og medicin til transport, fremstilling og materialer samt computerteknologier²⁶.

Herudover viser flere undersøgelser, at investering i forskningsvirksomhed generelt har givet større afkast til det danske samfund end den udgift, samfundet har haft på denne aktivitet, og at investering i offentlig forskning derfor ikke bør ses som en egentlig udgift i traditionel forstand. Snarere skal den ses som en måde, hvorpå man kan sikre en mere effektiv forrentning af de investerede midler.²⁷

²⁵ International Space Exploration Coordination Group (ISECG), 2013: *Benefits Stemming from Space Exploration*

²⁶ OECD (2014): *The space economy at a glance 2014*

2.4 Den danske kontekst og danske eksempler

Som beskrevet ovenfor, findes der talrige eksempler på, at udforskning af rummet giver et udbytte for forskningen, både ift. kompetencer og resultater – dette også i Danmark, hvor danske forskere har haft en tradition for at udvikle og foretage forsøg på ISS.

I forhold til ISS har danske forskere især arbejdet med det humanfysiologiske i forbindelse med kroppens og cellernes opførsel og forandring i vægtløs tilstand. Fra Aarhus Universitet har man f.eks. forsket i kræftcellers opførsel i vægtløs tilstand, hvor det bl.a. har vist sig at nogle typer af kræftceller har svært ved at overleve og formere sig.

Danske forskere og virksomheder har således i flere omgange stået bag forsøg med astronauter ombord på ISS, ligesom danske virksomheder har leveret udstyr til eksperimenterne. Interviewene med danske aktører peger endvidere på, at der findes eksempler på, at den anvendte forskning vedrørende bl.a. vandrensning og genbrug har været innovationsskabende for lignende problematikker omkring rensning af drikkevand på Jorden.

Et af de mest opsigtsvækkende danske resultater er opsendelsen af ASIM, som for nylig er blevet koblet på den internationale rumstation ISS. ASIM, som er udviklet af DTU Space for ESA, og den danske virksomhed Terma er det største dansk-ledede rumprojekt. Terma leder den tekniske del af ASIM og har stået i spidsen for det industrielle konsortium, der byggede observatoriet.

Et andet eksempel er den danske virksomhed Ohmatex, som i 2009 fik kontrakt med ESA om at udvikle en intelligent strømpe, der kan monitorere muskelaktivitet og væskeforskydning under træning. Udstyret holder øje med, hvor effektiv træningen er og hvilke øvelser, der virker.

Dialogen med ESA omkring 2009-kontrakten kom i stand som følge af virksomhedens deltagelse i et netværksarrangement i Danmark. Her hørte virksomheden for første gang om mulighederne i relation til ESA og om ESAs særlige program

²⁷ Se fx Novo Nordisk Fonden (2016): *Forskningsøkonomi. Samfundsøkonomisk effektanalyse af finansiering af offentlig forskning*

for små- og mellemstore virksomheder vedr. nye teknologier - det såkaldte “Leading-Edge Technology Programme for Small and Medium Enterprises (LET-SME)”.

Projektet har medført yderligere aftaler med ESA om forskning i måling af muskelaktivitet. Mens 2009-kontrakten havde en kontraktsum på 300.000 €, indgik Ohmatex en ny kontrakt med ESA i 2012 til en samlet værdi på 500.000 €. 2012-kontrakten har fokus på at videreudvikle teknologien og målingerne af astronauternes træningsaktiviteter og betydningen af vægtløsheden for kroppen.

3 Globale samfundsudfordringer og diplomati

Som det fremgår af illustrationen af de fire strategiske hjørner i ESAs exploration strategi fra 2015 (jf. figur 5), er det et mål for ESAs exploration-aktiviteter at kunne bidrage til, at der globalt forfølges fælles mål, der er relevante for menneskeheden som helhed. I det følgende formidles analysens kortlægning af eksisterende viden om betydningen af exploration-aktiviteter i forhold til globale samfundsudfordringer og diplomati, ligesom den danske kontekst og danske eksempler beskrives.

Udforskningen af rummet og tilknyttede aktiviteter vurderes at have betydning for mulighederne for at løse nogle af de aktuelle udfordringer og trusler, som verdenssamfundet står overfor. Det kan være udfordringer på jorden i form af klimaforandringer, oversvømmelser, ressourceknaphed (rent drikkevand m.v.), vulkanudbrud eller andre naturkatastrofer; eller det kan være trusler fra rummet i form af f.eks. asteroider med kurs mod Jorden.

Det internationale samarbejde i rummet gør det muligt at tilgå disse udfordringer med langt mere omfangsrige missioner og forskningsprojekter, end de enkelte lande ville kunne gøre hver for sig. Dertil kommer den afledte effekt, at landene imellem opbygger diplomatiske, forskningsmæssige og forretningsmæssige forbindelser gennem rumsamarbejdet, som kan rumme kimen til storskala-samarbejder her på Jorden - eksempelvis knyttet til klimaforandringer, ressourceknaphed, sult eller andre globale trusler.

3.1 Bidrag til FNs verdensmål

Oversigten nedenfor er baseret på ESAs kortlægning af, hvordan ESA-aktiviteterne kan bidrage positivt til at løse de udfordringer, som er identificeret af FN i de 17 verdensmål for bæredygtig udvikling.²⁸ Oversigten rummer et udvalg af koblingerne mellem verdensmålene og ESA-aktiviteterne og fokuserer på områder med størst tilknytning til udforskning af rummet. I tillæg hertil kommer således potentialer knyttet til brug af satellitter i forbindelse med jordobservation, anvendelse af tele-/satellitkommunikation, navigation mv.

Som det fremgår, peger ESAs kortlægning på, at ESA-aktiviteterne i særlig grad kan bidrage positivt til at løse følgende verdensmål:

- **Mål 3 - Sundhed og trivsel:** At sikre et sundt liv for alle og fremme trivsel for alle aldersgrupper.
- **Mål 6 - Rent vand og sanitet:** At sikre at alle har adgang til vand og sanitet, og at dette forvaltes bæredygtigt.
- **Mål 7 - Bæredygtig energi:** At sikre at alle har adgang til pålidelig, bæredygtig og moderne energi til en overkommelig pris.
- **Mål 8 - Anstændige jobs og økonomisk vækst:** At fremme vedvarende, inklusiv bæredygtig økonomisk vækst, fuld og produktiv beskæftigelse samt anstændigt arbejde til alle
- **Mål 9 - Industri, innovation og infrastruktur:** At bygge robust infrastruktur, fremme bæredygtig industrialisering og understøtte innovation.
- **Mål 11 - Bæredygtige byer og lokalsamfund:** At gøre byer, lokalsamfund og bosættelser inkluderende, sikre, robuste og bæredygtige.

²⁸ www.esa.int/Our_Activities/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/ESA_and_the_Sustainable_Development_Goals

Figur 9: Udforskning af rummet og verdensmålene

	Vedligeholdelse af mennesker i sund tilstand i et ekstremt miljø i rummet kræver investeringer i teknologier. At holde astronauterne sunde i rummet kan virke langt væk fra sundhedssektoren på Jorden, men synergiene mellem de to yderpunkter er nærliggende. Lange perioder med vægtløshed resulterer f.eks. i forværring af knogler og muskelfibre på samme måde, som det ses hos bl.a. sengeliggende patienter.
	ESA har igangsat MELiSSA-projektet med henblik på at producere mad, vand og ilt til bemandede rummissioner, hvor forsyninger har høje omkostninger. Projektet og de tilknyttede løsninger kan være med til at løse globale udfordringer omkring genanvendelse af affald, vandforsyning og fødevarerproduktion. ESA har f.eks. udviklet en vandgenvindingsenhed, som har fokus på gråt spildevand.
	Jorden har aldrig været mere energi-sulten, men for at kunne holde trit med efterspørgslen er der brug for ny teknologi. Teknologier til udforskning af rummet (herunder f.eks. strømforsynings- og styringssystemer) hjælper energisektoren på Jorden med udviklingen af bæredygtige løsninger og med at reducere CO2-udledning mv.
	Som nævnt har ESA gennemført en analyse, der viser at ESAs involvering i ISS givet et positivt samfundsbidrag. Analysen peger bl.a. på, at det samlede bidrag til medlemslandenes BNP udgør 14,6 mia. € for perioden fra 1995 til 2016, mens den samlede investering i perioden udgør 8 mia. €.
	Rumagenturernes aktiviteter (herunder ESAs aktiviteter) har stor betydning for udviklingen af nye teknologier og for mulighederne for at overføre teknologi, ekspertise, knowhow eller faciliteter til et formål, som de ikke oprindeligt var beregnet til. I 2014 vurderede OECD, at rumsektoren gennem NASA-aktiviteter samlet set afstedkom 1.800 spin-off-teknologier, der har haft betydning for alt fra sundhed og medicin, til transport, fremstilling og materialer samt computerteknologier.
	ISS fungerer som laboratorium for en lang række forskningsaktiviteter. Udviklingen af løsninger til at understøtte astronauternes tilstedeværelse i rummet indeholder derfor muligheder for at udvikle løsninger på nogle af de udfordringer som store dele af verden står overfor, bl.a. i de dele af verden, hvor leveforholdene er særligt udfordrende

Kilde: Seismonaut på baggrund af www.esa.int/Our_Activities/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/ESA_and_the_Sustainable_Development_Goals

3.2 Danske eksempler

Som bilag til nærværende analyserapport er der udarbejdet en bilagsrapport, der rummer et overblik over nogle af de mest fremtrædende videnskabelige og teknologiske aktører i Danmark inden for dette felt. Denne kortlægning peger på en række eksempler på, hvordan danske rumforskningsaktører kan bidrage til disse målsætninger.

Et eksempel er Danish Aerospace Company, der siden 1988 har udviklet kondi-cykler til brug i rummet og respirationsfysiologisk måleudstyr til undersøgelse af astronauternes lunger og kredsløb. Virksomheden har gennem dets ESA-relate-rede aktiviteter således udviklet teknologier og løsninger, der bidrager til at vedli-geholde astronauter i sund tilstand og til teknologier, som kan bidrage til at men-nesker på Jorden kan leve et sundt liv.

Et andet eksempel på, hvordan ESA-aktiviteterne kan bidrage til at mennesker på Jorden kan leve et sundt liv, er Ohmatex' udvikling af en intelligent strømpe, der kan monitorere muskelaktivitet og væskeforskydning under træning. Løsning-gen gør brug af sensor-teknologi, der foruden anvendelse ift. elitesportsudøvere, kan bidrage med ny viden om væskebevægelser, hvilket giver ny viden om hjerte-og nyresvigt.

Et tredje eksempel er samarbejdet mellem Danish Aerospace Company og den danske virksomhed Aquaporin A/S. Samarbejdet ledte i 2013 til etableringen af Aquaporin Space Alliance, der arbejder for at udvikle og benytte vandrensnings-teknologi. Teknologien rummer potentialer for at forbedre vandforsyningen og dermed potentialer for at medvirke til at sikre, at alle har adgang til vand.

Et fjerde eksempel er aktiviteter og teknologier knyttet til bl.a. strømforsynings-og styringssystemer. Idet teknologierne og løsningerne skal kunne fungere i ekst-reme miljøer, rummer de potentialer for at kunne medvirke til at udvikle mere bæredygtige energiløsninger og dermed løsninger som på Jorden kan bidrage til at reducere CO₂-udledninger og andre miljøpåvirkninger.

Et femte eksempel er de humanfysiologiske forskningsaktiviteter, der gennemfø-res på Aarhus Universitet og Københavns Universitet. Forskningsaktiviteterne viser bl.a., at astronauternes ophold i vægtløshed rummer ny viden om betydning-en af tyngdekraften for vores kropsfunktioner. Langvarige rumflyvninger kan medføre knogletab, muskelsvind, immunologiske problemer, hjerte-kar-proble-mer og problemer med sårheling.

Forskningen peger også på, at vægtløshed ændrer biologiske nøgleprocesser så-som celledød og celledeling (hvorved f.eks. skjoldbruskkæftceller taber evnen til at dele sig). Den humanfysiologiske rumforskning rummer dermed også mulighe-der for at udvikle løsninger, som kan bidrage til at mennesker på Jorden kan leve et sundt liv.

4 Kultur, inspiration og uddannelse

Som det fremgår af illustrationen af de fire strategiske hjørneste i ESAs explora-tion-strategi fra 2015 (jf. figur 5), er det et mål for ESAs exploration-aktiviteter at kunne bidrage til at tiltrække opmærksomhed omkring behovet for at udvide vo-res eksisterende viden og interesse for naturvidenskab mv. I det følgende formid-les analysens kortlægning af eksisterende viden om betydningen af exploration-aktiviteter i forhold til kultur, inspiration og uddannelse, ligesom den danske kontekst og danske eksempler beskrives.

Udforskningen af rummet vurderes i et bredere perspektiv at bidrage med et unikt og evolutionært perspektiv på menneskehedens rolle i universet, særligt fordi aktiviteterne ofte fokuserer på nogle af de mere grundlæggende forhold omkring vores oprindelse og skæbne.

Endvidere kan udforskningen af rummet bidrage betydeligt til at inspirere unge til at søge mod studier og uddannelsesretninger inden for bl.a. de naturvidenska-belige discipliner. Sidstnævnte ses bl.a. i en analyse af sammenhængene mellem antallet af ph.d'ere i USA og udvalgte milepæle i rumhistorien.²⁹

På tværs af de rapporter, der er blevet afsøgt, er der enighed om, at arbejdet med udforskning af rummet smitter af på befolkningens interesser. Ikke bare i

²⁹ International Space Exploration Coordination Group (ISECG), 2013: *Benefits Stemming from Space Exploration*

rumerhvervet men netop inden for de fagligheder, der binder dette sammen, navnlig inden for STEM-kompetencerne, dvs. kompetencer indenfor naturvidenskab (*science*), teknologiudvikling og -forståelse (*technology*), ingeniørvidenskab (*engineering*) og matematik (*mathematics*).

Udover at de større missioner og menneskers tilstedeværelse i rummet og på ISS trækker en del opmærksomhed, har man også gennem ESA fokus på at sikre, at de yngre årgange overhovedet finder interesse i rummet og i de fagligheder, der uomgædeligt hænger sammen med forskningen. Man har således med ESERO (*European Space Education Resource Office*) etableret et internationalt videns- og uddannelsescenter, der arbejder for at fremme STEM-kompetencer gennem undervisningsmaterialer og lærerkurser bygget op omkring rumforskningen. ESERO har lokale kontorer i 12 ESA-medlemslande, heriblandt også i Danmark, hvorfra der arbejdes på at skabe interesse for uddannelse inden for de højt værdsatte STEM-kompetencer.

Mens ESERO løbende arbejder på at højne interessen i STEM-uddannelserne blandt børn og unge, tilskrives Andreas Mogensens tur til ISS som en vigtig begivenhed i danskernes bevidsthed omkring udforskning af rummet:

“Både den store mediebevågenhed i tiden omkring opsendelsen og den efterfølgende tournée til skoler og uddannelsessteder spiller en vigtig rolle, når det kommer til at sætte naturvidenskab på dagsordenen hos børn og unge.”³⁰

Et budskab, der bakkes op af en survey, som blev foretaget af Userneeds for Ingeniørforeningen i december 2015 blandt 2025 børnefamilier (med børn mellem 6 og 18 år). Her svarede 31%, at opsendelsen af den danske astronaut Andreas Mogensen havde medført, at der blev talt mere om teknik og naturvidenskab med deres børn i hjemmet.³¹

³⁰ Ingeniørforeningen, IDA, 2016: *“Danmark i det ydre rum - og hjemme igen”*

³¹ Ingeniørforeningen, IDA, 2016: *“Danmark i det ydre rum - og hjemme igen”*

Del 3: Danske kompetencer og E3P-programmet

Formålet med kortlægningen er at bidrage til grundlaget for politisk stillingtagen til Danmarks fremtidige deltagelse i programmer under ESA vedr. bemandet og ubemandet udforskning af rummet.

Ambitionerne rummer fire strategiske målsætninger for aktiviteterne, nemlig videnskabelige impacts, økonomiske impact, impacts ift. at katalysere samfundets opmærksomhed omkring forskning og ingeniørvidenskab (inspiration) og strategiske impacts knyttet til partnerskaber og relationer (på alle niveauer).³²

Som et første resultat af ambitionerne, er der udarbejdet og igangsat et nyt rammeprogram European Exploration Envelope Programme (E3P). Programmets missioner er indtil videre fastlagt for perioden 2017-2019 (1. periode). Selvom retninger og prioriteringer for den efterfølgende periode skal drøftes på det kommende ministermøde i 2019, ligger det fast, at missionerne vil være knyttet til prioriterede destinationer for menneskelig tilstedeværelse i rummet, nemlig de lave baner om Jorden samt Månen og Mars.

Det ligger også fast, at de følgende perioder i E3P-programmet vil blive struktureret omkring en række nøglemissioner (Cornerstone Missions), teknologi-missioner (Technology Demonstrator Missions) og mulighedsdrevne missioner (Missions of Opportunity).³³

Missioner i E3P-programmet

- **Cornerstone Missions (nøglemissioner):**
These missions are considered critical for achieving long-term goals, maintaining and consolidating established strategic partnerships, advancing priority technologies, securing long-term roles and ensuring the overall robustness and balance of the mission roadmap.
- **Technology Demonstrator Missions (Teknologi-missioner):**
These missions are driven by the goal to demonstrate ESA priority technologies which enable innovative mission concepts and contribute to sustainability of space exploration.
- **Missions of Opportunity (Mulighedsdrevne missioner):**
These missions represent an opportunity for advancing in a particular area and arise from participation in missions led by new or existing international partners or private sector partners. Typically, ESA has limited influence on the definition of these mission. ESA contributions to these missions would be driven by the goal to demonstrate technologies and close knowledge gaps.

I lyset af de planlagte missioner i E3P-programmet er det interessant at iagttage, hvordan den danske rumindustri er stillet i forhold til at byde ind på missionerne og sikre dansk medvirken i missionerne. Oversigten nedenfor præsenterer et overblik over hvilke hovedaktiviteter, der er knyttet til de enkelte destinationer i E3P-programmet.

³² European Space Agency (ESA), 2015: *Exploring Together. ESA Space Exploration Strategy*

³³ European Space Agency (ESA), 2017: *Advancing the ESA Space Exploration Strategy through the European Space Exploration Envelope Programme (E3P) - Towards an ESA Roadmap (2017)*

Figur 10: Hovedelementer i ESAs E3P program

Destination	Beskrivelse	Primære aktiviteter i E3P
Low Earth Orbit (LEO)	Partnerne bag ISS har indtil videre aftalt fortsat at drifte rumstationen frem til 2024 og muligvis også i en periode herefter. Som exploration-destination vil LEO fortsat være højt prioriteret af ESA - dels fordi destinationen giver unikke rammer for videnskabelig og teknologisk udvikling og dels, fordi destinationen fungerer som platform for udforskning og tilstedeværelse længere ude i rummet (Beyond Low Earth Orbit). Foruden den fortsatte drift og udnyttelse af ISS vil ESA understøtte de bruger- og kommercielt-drevne forskningsinfrastrukturer, der opstår i anden halvdel af 2020'erne og herigennem understøtte en gradvis overgang fra ISS til et post-ISS scenario.	● Fortsat drift af ISS frem til mindst 2024. ● Videre kommercialisering af ESAs ISS-aktiviteter og anvendelsen af ISS gennem partnerskaber med kommercielle aktører.
Beyond Low Earth Orbit	ESA har en målsætning om at etablere sig som en nøglepartner ift. bemandede exploration-missioner uden for LEO. ESA bidrager derfor med servicemodulet (European Service Module (ESM)) til rumkapslen Orion (servicemodulet leverer bl.a. strøm og ilt). E3P-programmet rummer derfor en række nøglemissioner knyttet til servicemodulet i første halvdel af 2020'erne. ESA bidrager også til Deep Space Gateway (DSG), som er en platform, der vil blive anbragt i en bane i Månens omegn, og som vil muliggøre bemandede og ubemandede missioner på Månens overflade.	● Bidrag til European Service Modulet (ESM) til NASAs rumkapsel Orion. Omfatter udviklingen af næste udgave af ESM som led i at sikre fremtidige astronaut-missioner uden for LEO i 2021-2024. ● Bidrag til udviklingen af Deep Space Gateway, herunder logistikmoduler, elektroniske systemer, fremdriftssystem, docking-funktion mv. Fase 1 forventes at forløbe fra 2022-2028.
Månen	Det er en central målsætning for ESA at bidrage menneskelig udforskning af Månens overflade. E3P-programmet rummer derfor elementer knyttet til den russiske Luna-Resource Lander og til den internationale HERACLES-mission. Luna-Resource Landeren skal lande på Månens sydlige pol og måle og analysere det vand, der forventes at eksistere der. HERACLES-missionen skal i midten af 2020'erne lande en rover på Månen, der skal udforske terrænet og hjemtage prøver som led i forberedelserne til at lande astronauter på Månen.	● Bidrag til udviklingen af Luna-Resource Landeren (forventet i begyndelsen af 2020'erne) og bidrag til målinger og undersøgelser ● Bidrag til udviklingen af HERACLES-roveren (forventet i midten af 2020'erne) og bidrag til hjemtag af prøver fra Månen.
Mars	Med afsæt i erfaringerne fra ExoMars 2016- og 2020-missionerne er fokus for ESA i E3P-programmet på udvalgte bidrag til en potentiel NASA-koordineret mission fokuseret på at hjemtage prøver fra Mars. E3P-programmet rummer derfor nøglemissioner knyttet til Mars 2020-roveren og til prøver fra Mars.	● Bidrag til udviklingen af Mars 2020-roveren og bidrag til hjemtag af prøver fra Mars.

Som beskrevet ovenfor, ligger det fast, at missionerne i E3P-programmet vil være knyttet til prioriterede destinationer for menneskelig tilstedeværelse i rummet. Programmet betoner dermed den bemandede udforskning af rummet og aktiviteterne i programmet synes derfor gennemgående at være knyttet til udviklingsbehov inden for en række teknologiområder, der kan understøtte og realisere målsætningerne om menneskelig tilstedeværelse i rummet.

Med henblik på at vurdere danske kompetencer og erfaringer knyttet til de fremtidige aktiviteter i E3P-programmet, er der som led i undersøgelsen derfor foretaget en gennemgang af materialer, der kan udfolde hvilke teknologiområder, der i særlig grad vil være relevante. Der findes generelt sparsomt med information om disse teknologiområder. Det er derfor vanskeligt på nuværende tidspunkt at foretage en præcis vurdering af danske kompetencer ift. de efterspurgte teknologier.

Oversigten på den følgende side viser dog hvilke teknologiområder, der overordnet set forventes at være efterspørgsel på. Som det fremgår af oversigten, synes der at være fælles udviklingsbehov knyttet til E3P-programmets aktiviteter relateret til “Low Earth Orbit” og “Beyond Low Earth Orbit”, nemlig teknologier og løsninger ift.:

- Opretholdelse af menneskeligt liv (Life Support)
- Fremdrift (Propulsion)
- Stråling (Radiation)
- Robotteknologi (Robotics)

Tilsvarende ses fælles udviklingsbehov knyttet til E3P-programmets aktiviteter relateret til Månen og Mars, nemlig teknologier og løsninger ift.:

- Fremdrift (Propulsion)
- Stråling (Radiation)
- Robotteknologi (Robotics)
- Energi (Energy)

For programmets aktiviteter knyttet til Månen kan der desuden identificeres et særskilt behov for “In situ resource utilization (ISRU)” - dvs. et behov for udvikling af teknologier til indsamling, forarbejdning, opbevaring og genanvendelse af

materialer, der opstår i forbindelse med udforskning af rummet, således at disse materialer ikke skal bringes fra Jorden.

Som det også fremgår af oversigten på den følgende side, synes E3P-programmet i høj grad at betone behovet for teknologiudvikling, mens grundvidenskabelige mål og aktiviteter er mindre synlige. Dermed synes E3P-programmet umiddelbart, at rumme de bedste muligheder for den del af det danske rumerhverv, der beskæftiger sig med udvikling af hardware-løsninger i form af instrumenter og teknologi eller humanfysiologi, der kan bidrage til at realisere de bemandede missioner.

Det skal samtidig bemærkes, at mission-aktiviteterne i E3P-programmet understøttes af to tværgående aktivitetsområder, nemlig ExPeRT (“Technology for Exploration”) og SciSpace (“Science in Space Environment”):

- **ExPeRT** integrerer alle aktiviteter, der er nødvendige for at forberede og indlede nye bemandede og ubemandede missioner. ExPeRT sigter konkret på at sikre, at fremtidige missioner/teknologier er velforberedte.
- **SciSpace** dækker de videnskabelige og forskningsmæssige aktiviteter, der udføres på tværs af E3P-programmet og programmets nøglemissioner.

SciSpace er videreførelse af ELIPS, som bl.a. dannede grundlag for det danske ASIM-observatorium, hvilket således bevidner, at der kan være gode muligheder for danske forskere og virksomheder i de tværgående aktiviteter. Aktiviteterne omhandler undersøgelse af betydningen af vægtløshed på humanfysiologi, planter, dyr, materialer, væsker, processer m.m.

Figur 11: Oversigt over efterspurgte teknologiområder i E3P-programmet

Teknologiområde	Beskrivelse	Primære destinationer
Opretholdelse af menneskeligt liv (Life Support)	Udvikling af teknologier og løsninger relateret til regenerative systemer til opretholdelse af menneskeligt liv i rummet, herunder eksempelvis udvikling af løsninger vedr. genanvendelse af affald til at producere ilt, vand og fødevarer.	Low Earth Orbit (LEO) Beyond Low Earth Orbit
Fremdrift (Propulsion)	Udvikling af teknologier og løsninger til (elektriske og kemiske) fremdriftssystemer til rumfartøjer og satellitter, herunder eksempelvis teknologier til lagring og fordeling af drivmidler, strømforsyning mv.	Low Earth Orbit (LEO) Beyond Low Earth Orbit Månen Mars
Stråling (Radiation)	Udvikling af teknologier, der kan understøtte menneskelig tilstedeværelse i rummet til trods for det høje strålingsniveau. Dette omfatter eksempelvis teknologier knyttet til måling, modellering, test og bestemmelse af betydningen af stråling for såvel mennesker som materialer, komponenter mv.	Low Earth Orbit (LEO) Beyond Low Earth Orbit Månen Mars
Robotteknologi (Robotics)	Udvikling af teknologier, der kan understøtte ubemandet udforskning af rummet, herunder eksempelvis teknologier knyttet til robotters mekaniske og elektriske funktioner, udvikling af software, kommunikationsteknologi samt brug af kunstig intelligens.	Low Earth Orbit (LEO) Beyond Low Earth Orbit Månen Mars
Energi (Energy)	Udvikling af teknologier og løsninger knyttet til forsyning af rumfartøjer med energi, energilagring og genopladning af energi (fx batterier og paneler). Behovet er forbundet til bemandede fartøjer, men også til ubemandede fartøjer, herunder f.eks. sonder, landere, rovere mv.	Månen Mars
In situ resource utilization (ISRU)	Udvikling af teknologier til indsamling, forarbejdning, opbevaring og genanvendelse af materialer, der opstår i forbindelse med bemanded eller ubemandet udforskning af rummet, således at disse materialer ikke skal bringes fra Jorden. Behovet er defineret som en "Technology Demonstrator Mission" knyttet til E3P-programmets Måne-aktiviteter.	Månen

Oversigten er udarbejdet af Seismonaut med afsæt i følgende kilder:

- European Space Agency (ESA), 2016: European Space Technology Master Plan 2016
- European Space Agency (ESA), 2017: Advancing the ESA Space Exploration Strategy through the European Space Exploration Envelope Programme (E3P)
- European Space Agency (ESA), 2018: Future technologies for planetary exploration within the European Exploration Envelope Programme at the European Space Agency

Hvor ISS hidtil har været omdrejningspunktet for bemandet rumfart, er målet i E3P-programmet at etablere en bemandet platform uden for LEO, nærmere betegnet i kredsløb om Månen. Denne platform, også kaldet Deep Space Gateway, skal muliggøre bemandet udforskning af Månen. Deep Space Gateway vil også bidrage til at sende astronauter endnu længere ud i rummet.

Det øgede fokus på bemandet rumfart, og de missioner som i den forbindelse er udlagt i E3P-programmet, lægger overordnet set op til et fokus på instrumentudvikling, teknologi og humanfysiologi. De grundvidenskabelige mål er, som nævnt, mindre synlige i E3P-programmet.

E3P-programmet vil derfor overordnet set bedst imødekomme den del af den danske rumindustri, som beskæftiger sig med hardware i form af instrumenter og teknologi, eller humanfysiologi og sundhedsforskning der kan bidrage til at realisere de bemandede missioner. Dog skal det samtidig nævnes, at videnskab og instrumentudvikling i vid udstrækning går hånd i hånd. Således kan det også konstateres, at en videnskabelig hovedaktør som Niels Bohr Institutet også beskæftiger sig konkret med Mars-forskning, hvilket dermed flugter godt med interessen for Mars i E3P.

1 Low Earth Orbit og Beyond Low Earth Orbit

ISS befinder sig i et lavt kredsløb omkring Jorden. Partnerne bag ISS har indtil videre aftalt fortsat at drifte rumstationen frem til 2024 og muligvis også i en periode herefter. Som exploration-destination vil LEO fortsat være højt prioriteret af ESA - dels fordi destinationen giver unikke rammer for videnskabelig og teknologisk udvikling, og dels fordi destinationen fungerer som platform for udforskning og tilstedeværelse længere ude i rummet (Beyond Low Earth Orbit).

Foruden den fortsatte drift og udnyttelse af ISS (indtil 2024) vil ESA understøtte de bruger- og kommercielt-drevne forskningsinfrastrukturer, der opstår i anden halvdel af 2020'erne og herigennem understøtte en gradvis overgang fra ISS til et post-ISS scenario.³⁴

De primære aktiviteter i E3P-programmet ift. **Low Earth Orbit** forventes dermed at være:

- Fortsat drift af ISS frem til mindst 2024.
- Videre kommercialisering af ESAs ISS-aktiviteter og anvendelsen af ISS gennem partnerskaber med kommercielle aktører.

ESA har en målsætning om at etablere sig som en nøglepartner ift. bemandede exploration-missioner uden for (Beyond Low Earth Orbit). ESA bidrager derfor med servicemodulet til NASA's rumkapsel Orion (servicemodulet leverer bl.a. strøm og ilt). E3P-programmet rummer derfor også en række nøglemissioner knyttet til servicemodulet i første halvdel af 2020'erne.

ESA bidrager samtidigt til NASA's Deep Space Gateway (DSG), også kaldet Lunar Orbital Platform, som er en platform, der vil blive anbragt i en bane i Månens omegn, og som vil muliggøre bemandede og ubemandede missioner på Månens overflade. Som navnet antyder, er det dog tanken, at DSG på sigt skal bruges som springbræt til udforskningen af Solsystemet, herunder Mars.³⁵

³⁴ European Space Agency (ESA), 2017: *Advancing the ESA Space Exploration Strategy through the European Space Exploration Envelope Programme (E3P) - Towards an ESA Roadmap (Issue 1.2: October 2017)*

³⁵ European Space Agency (ESA), 2017: *Advancing the ESA Space Exploration Strategy through the European Space Exploration Envelope Programme (E3P) - Towards an ESA Roadmap (Issue 1.2: October 2017)*

De primære aktiviteter i E3P-programmet ift. **Beyond Low Earth Orbit** forventes dermed at være:

- Bidrag til European Service Modulet (ESM) til NASAs rumkapsel Orion. Omfatter udviklingen af næste udgave af ESM som led i at sikre fremtidige astronaut-missioner uden for LEO i 2021-2024.
- Bidrag til udviklingen af Deep Space Gateway, herunder logistikmoduler, elektroniske systemer, fremdriftssystem, docking-funktion mv. Fase 1 forventes at forløbe fra 2022-2028.

Som beskrevet ovenfor, synes der at være en række fælles udviklingsbehov knyttet til E3P-programmets aktiviteter relateret til "Low Earth Orbit" og "Beyond Low Earth Orbit" – dette omfatter teknologier og løsninger ift.:

- Opretholdelse af menneskeligt liv (Life Support)
- Fremdrift (Propulsion)
- Stråling (Radiation)
- Robotteknologi (Robotics)

ESA har de senere år arbejdet på at tydeliggøre og harmonisere teknologieferspørgslen og har i den forbindelse foretaget en vurdering af medlemslandenes kompetencer på en række teknologiområder.³⁶ For Danmarks vedkommende peger vurderingerne på, at vi generelt har relativt få teknologiområder, hvor vi besidder "validerede kompetencer", samt at vi på disse validerede områder generelt er i konkurrence med hovedparten af de øvrige medlemslande.

For så vidt angår de fire teknologiområder, som er knyttet til E3P-programmets aktiviteter relateret til "Low Earth Orbit" og "Beyond Low Earth Orbit", besidder vi i Danmark således **ikke** ESA-validerede kompetencer indenfor hverken "Life Support", "Propulsion" eller "Robotics", mens vi besidder validerede kompetencer inden for "Radiation".

Som det dog fremgår af kortlægningen af danske kompetencer, synes en række danske aktører dog alligevel at besidde relevante kompetencer og erfaringer

inden for disse fire teknologiområder. Det gælder eksempelvis hos DTU Space og Terma på instrumentudviklingsområdet, hos Ohmatex og Danish Aerospace Company på området for humanfysiologisk udstyr, samt hos Københavns Universitet inden for rummedicinsk forskning.

Dertil kommer, at vi i Danmark besidder en international styrkeposition på life science-området. Området er mest kendt for store pharma-virksomheder som Novo Nordisk, Lundbeck, Leo Pharma og bioteknologiske gazeller som Genmab, men den danske life science sektor er meget mere end det. Det fælles udgangspunkt for life science virksomheder er, at de baserer sig på forskning i "det levende".

Life science-sektoren består derfor af et stort økosystem af forskningsaktive virksomheder, der baserer deres produkter og produktion på forskning inden for 1) genetik, proteiner, celler, gær, bakterier, planter, dyr og mennesker, 2) nye biobaserede former for produktion.

Med til dette økosystem hører andre kendte virksomheder som Carlsberg, Chr. Hansen, Arla Foods, Novozymes, Oticon og Coloplast. Hertil kommer en stor underskov af mindre, højteknologiske virksomheder, hvoraf en del udspringer af life science-forskningen på danske universiteter.³⁷

³⁶ European Space Agency (ESA), 2016: *European Space Technology Master Plan 2016, Appendix A*

³⁷ Se fx Danmarks Tekniske Universitet (DTU), 2017: *Dansk life science under mikroskop - En forskningsbaseret styrkeposition der forgrener sig*

2 Månen

Som beskrevet ovenfor, er det en central målsætning for ESA at bidrage menneskelig udforskning af Månens overflade. E3P-programmet rummer derfor elementer knyttet til den russiske Luna-Resurs lander og til den internationale HERACLES-mission. Sidstnævnte skal i midten af 2020'erne lande en rover på Månen, der skal udforske terrænet og hjemtage prøver som led forberedelserne til at lande astronauter på Månen.³⁸ De primære aktiviteter i ESAs E3P-program ift. Månen forventes dermed at være:

- Bidrag til udviklingen af Luna-Resource Landeren (forventet i begyndelsen af 2020'erne) og bidrag til målinger og undersøgelser
- Bidrag til udviklingen af HERACLES-roveren (forventet i midten af 2020'erne) og bidrag til hjemtag af prøver fra Månen.

For så vidt angår E3P-programmets aktiviteter knyttet til Månen, synes følgende teknologiområder at være de primært efterspurgte:

- Fremdrift (Propulsion)
- Stråling (Radiation)
- Robotteknologi (Robotics)
- Energi (Energy)
- "In situ resource utilization" (ISRU)³⁹

For så vidt angår disse fem teknologiområder viser ESAs vurdering af de danske kompetencer, at vi vurderes at besidde validerede kompetencer inden for "Radiation" og "Energy", mens vi ikke besidder validerede kompetencer inden for de øvrige teknologiområder.⁴⁰

Som det dog fremgår af kortlægningen af danske kompetencer, synes en række danske aktører dog alligevel at besidde relevante kompetencer og erfaringer inden for disse teknologiområder. Det gælder eksempelvis hos Niels Bohr

³⁸ European Space Agency (ESA), 2017: *Advancing the ESA Space Exploration Strategy through the European Space Exploration Envelope Programme (E3P) - Towards an ESA Roadmap (Issue 1.2: October 2017)*

³⁹ Dette område omfatter teknologier til indsamling, forarbejdning, opbevaring og genanvendelse af materialer, der opstår i forbindelse med udforskning af rummet, således at disse materialer ikke skal bringes fra Jorden

Instituttet vedr. robot-/rover-teknologi, hos DTU Space ift. navigation af udstyr på overfladen af Månen og Mars, samt hos Terma ift. elektronisk udstyr. Se nærmere herom nedenfor vedr. E3P-programmets aktiviteter i relation til Mars.

Dertil kommer, at vi i Danmark besidder en international styrkeposition på cleantech-området. Cleantech er i sin reneste form en sammenskrivning af de engelske ord clean og technology. På dansk kan vi også kalde det grøn teknologi - og nogle vil måske kalde det miljøteknologi.

I Danmark blev de første erfaringer gjort med vindmøller allerede i 1950'erne og 60'erne, og det var også i Danmark, at verdens første havvindmøllepark blev opført i 1991. En række af landets store og hæderkronede virksomheder som Grundfos, Danfoss og Haldor Topsøe er i dag at finde inden for cleantech-paraplyen, så det er ikke kun inden for vindenergi, at Danmark har været tidligt i gang. Pioneer-rollen har også betydet, at Danmark i årtier har haft et ry som et hotspot for grøn teknologi.⁴¹

Foruden cleantech-området, er det klart, at vi i Danmark også besidder stærke kompetencer på det robotteknologiske område, særligt på Fyn. I Odense og omegn findes i dag således mere end 70 robotvirksomheder med op imod 1.800 medarbejdere, ligesom der i Odense findes et internationalt anerkendt forskningsmiljø på robotområdet med bl.a. Syddansk Universitets Robotinstitut og Teknologisk Institut i spidsen.

Rumområdet indgår dog ikke som et af de primære markeder for virksomhederne på det robotteknologiske område i dag, og der kan derfor være behov for at udbrede virksomhedernes kendskab til rumområdet som både et markedsområde og som en mulighed for at opnå medfinansiering til udviklingsaktiviteter.

⁴⁰ European Space Agency (ESA), 2016: *European Space Technology Master Plan 2016, Appendix A*

⁴¹ Se fx Ingeniørforeningen (IDA), 2018: *Cleantech i Danmark*

3 Mars

Med afsæt i erfaringerne fra ExoMars 2016- og 2020-missionerne er fokus for ESA i E3P-programmet på udvalgte bidrag til en potentiel NASA-koordineret mission fokuseret på at hjemtage prøver fra Mars. E3P-programmet rummer derfor nogle missioner knyttet til Mars 2020-roveren og til prøver fra Mars.⁴² De primære aktiviteter i ESAs E3P-program ift. Mars forventes dermed at være:

- Bidrag til udviklingen af Mars 2020-roveren.
- Bidrag til hjemtag af prøver fra Mars.

E3P-programmets aktiviteter knyttet til Mars, synes primært at knytte sig an til følgende teknologiområder:

- Fremdrift (Propulsion)
- Stråling (Radiation)
- Robotteknologi (Robotics)
- Energi (Energy)

Blandt disse teknologiområder, vurderer ESA alene, at vi i Danmark besidder validerede kompetencer inden for ”Radiation”, mens vi ikke besidder validerede kompetencer inden for de øvrige teknologiområder.⁴³

Som det dog fremgår af kortlægningen af danske kompetencer, synes en række danske aktører dog alligevel at besidde relevante kompetencer og erfaringer inden for disse teknologiområder. Det gælder eksempelvis hos Niels Bohr Institutet, der i dag indtager en betydelig international position inden for udforskningen af Mars, herunder via avancerede Mars-rovere. Mars-gruppen er således også involveret i udviklingen af et instrument til 2020 Mars-roveren, som indgår i E3P.

Tilsvarende har DTU Space etableret sig i en fremtrædende rolle inden for instrumentudvikling, dels i form af stjerne-kameraer til navigation af ubemandede sonder og rovere, og dels i form af specialfremstillede røngteninstrumenter, magnetmålinger og radar-systemer mv. DTU Space er bl.a. involveret i NASAs Mars

2020-mission med et stjerne-kamera, der skal bidrage til navigation af køretøjet på Mars.

Terma har specialiseret sig i højteknologisk og specialfremstillet hardware og software til rumindustrien og er bl.a. langt fremme på elektronik og strømforsyninger. De leverer endvidere on-board-software til test og validering. Dette er kompetencer og erfaringer, der vil flugte godt med Mars-missionerne i E3P.

Endelig har Aarhus Universitets Mars Simuleringslaboratorie opbygget erfaringer med udvikling af instrumenter til Mars-missioner - bl.a. i samarbejde med Niels Bohr Institutet. Disse erfaringer går godt i spænd med retningerne i E3P-programmet for så vidt angår aktiviteter knyttet til Mars.

⁴² European Space Agency (ESA), 2017: *Advancing the ESA Space Exploration Strategy through the European Space Exploration Envelope Programme (E3P) - Towards an ESA Roadmap (Issue 1.2: October 2017)*

⁴³ European Space Agency (ESA), 2016: *European Space Technology Master Plan 2016, Appendix A*