

Romværinfrastruktur i Norge

- eksisterende og ønsket infrastruktur



Norsk Romsenter
NORWEGIAN SPACE CENTRE

NRS-rapport 2012/2

Romværinfrastruktur i Norge

- eksisterende og ønsket infrastruktur

Av Vigdis Lonar Barth





De tre SWARM satellittene i Earth Explorer serien til ESA skal skytes opp i polarbane høsten 2012. Satellittene skal gi den hittil beste kartleggingen av jordas magnetfelt, og vil være et viktig bidrag til romværerovervåkingen i Europa. Kilde: ESA/AOES Medialab

Innhold

Forord	4
1. Innledning	5
2. Behovet for en pålitelig romværværsling i Norge	6
2.1 Kort om romvær	6
2.2 Aktuelle målgrupper og brukere av en romværværslingstjeneste	8
3. Eksisterende romværinfrastruktur i Norge	12
3.1 Kartverket	12
3.2 UNIS / Kjell Henriksen Observatoriet / SPEAR	13
3.3 Universitetet i Bergen	13
3.4 Tromsø Geofysiske Observatorium/ Universitetet i Tromsø	14
3.5 Kongsberg Seatex	15
3.6 FUGRO	15
3.7 Andøya Rakettskytefelt	15
3.8 Plasma- og romfysikk	15
3.9 Institutt for teoretisk astrofysikk	16
4. Norges bidrag til en europeisk romværtjeneste	17
4.1 SSA-programmet	17
4.2 Vitenskapsprogrammet	18
4.3 Nasjonale representanter	19
5. Ønsket infrastruktur	20
5.1 GNSS scintillasjonsmottakere	20
5.2 GPS referansestasjoner	21
5.3 Ionosonde / Dynasonde	21
5.4 Riometer	21
5.5 Magnetometer	21
5.6 All-sky kamera	22
5.7 SuperDARN	22
5.8 Oppgradering av EISCAT og EISCAT_3D	23
5.9 Forskningsraketter	24
5.10 Småsatellitter for romvær	24
5.11 Samlokalisering og dataoverføring	26
6. Videre anbefaling	27
6.1 Mulige finansieringsløsninger	27
7. Konklusjon	30
8. English Summary	31
Forkortelser	32
Kilder	3. omslagside

Forord

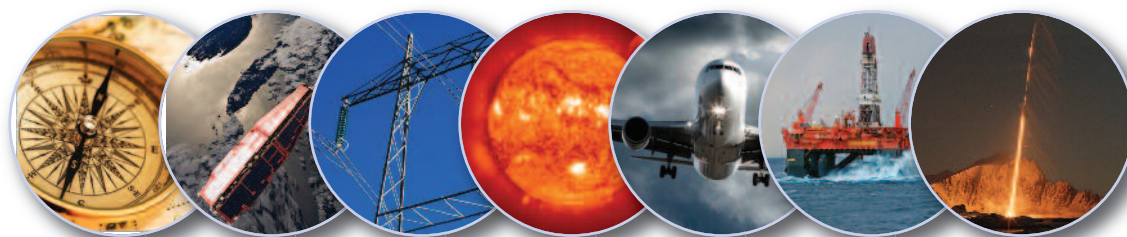
Det er en økende interesse for romværproblematikken i Norge. Det undersøkes nå blant norske aktører hvordan de på best mulig måte kan forberede seg på den økende romværaktivitet som kommer i årene fremover. Behovet for en pålitelig romværvarsling av høy kvalitet er nødvendig og svært ønsket blant norske brukere, der de mest aktuelle brukergruppene i Norge er kommunikasjon, navigasjon og kraftbransjen.

Denne rapporten gir en oversikt over eksisterende infrastruktur og ønsket infrastruktur både i Norge og på Svalbard som kan gi data til en eventuell romværvarslingstjeneste. I tillegg har relevante norske aktører bidratt med tilbakemeldinger på sine fremtidige ønsker og instrumenteringsbehov.

Også i Europa er romværinteressen økende, og Norge ønsker å kunne bidra i utviklingen av en fremtidig Europeisk romværtjeneste og til ESAs Space Situational Awareness (SSA) program. Målet er å ha et fullt koordinert romvær miljø i Europa med et kontinuerlig overvåkingssystem, der data fra spredt infrastruktur vil bli samlet gjennom internasjonalt samarbeid.

På nasjonalt nivå er målet å sikre en langtidsovervåking av romvær og sikre fremtidig drift av romværinstrumenter.

*Vigdis Lonar Barth
Norsk Romsenter, mai 2012*



1. Innledning

Romvær står for tiden høyt på den europeiske agenda. European Space Agency (ESA) opprettet i 2009 SSA (Space Situational Awareness) programmet der et av hovedfokuserne er romværproblematikken. I dette programmet legges det spesiell vekt på overvåking, romværvarsling og effekter på infrastruktur. SSA ønskes videreført som et Preparatory Programme (PP) med en årlig ramme på 30 mill. euro. Dette vil bli avgjort på ESAs ministerkonferanse i november 2012. Det vil være spesielt viktig for Norge med sin unike beliggenhet og tilgang til gode installasjoner å være med i fronten i dette programmet. En god og pålitelig romværvarsling vil være til stor nytte for Norge med den store og stadig økende aktiviteten i nordområdene. Romvær kjenner ingen nasjonale grenser, og det er derfor viktig med et godt internasjonalt samarbeid for å møte utfordringene på best mulig måte.

Norge kan være med å bidra på mange områder i en eventuell europeisk romværvarslingstjeneste. På nasjonalt plan vurderer derfor Norsk Romsenter (NRS) å investere i romværrelatert infrastruktur for å styrke Norges rolle på dette feltet og for å kunne bidra til bedre romværvarsler nasjonalt og internasjonalt. En utredning om aktuelle måleinstrumenter har dermed vært nødvendig, og en rapport om romværinfrastruktur i Norge har i den forbindelse blitt utarbeidet av NRS.

Rapporten viser til allerede eksisterende bakkebasert romværinfrastruktur i Norge og på Svalbard som kan benyttes til dette formål både i Arktis og Antarktis. Mye av denne infrastrukturen har primært blitt anskaffet gjennom ulike forskningsmidler.

I tillegg vektlegger rapporten at det er et behov for en oppgradering av utdatert utstyr og investering i nytt utstyr for at Norge skal kunne være med i utviklingen videre. En del av dette utstyret er rimelig i anskaffelse, og også lett å drifte. Noen av disse instrumentene er allerede planlagt og finansiert, mens mange av instrumentene fremdeles bare står på ønskelisten. Rakettmålinger er også relevante i denne sammenheng for å forstå de prosessene som danner romvær, og også med tanke på valideringsbehovet for kommende operasjonelle romværtjenester.

Spørsmålene som er blitt stilt i rapporten utarbeidet ved NRS er følgende:

- Hva er gevinsten av å investere i instrumenter forskningsmessig og operasjonelt?
- Hva er kostnadene for etablering og drift av instrumentene?
- Hva er gevinsten i forhold til samarbeidspartnere nasjonalt og internasjonalt?
- Hvordan kan vi koble dette opp mot ESA/EU og SSA aktivitet?

Arbeidsgruppen for rapporten utarbeidet ved NRS bestod innledningsvis av følgende:

Pål Brekke (leder), Terje Wahl, Einar-Arne Herland, Dag Anders Moldestad, Kjell Arne Aarmo og Terje Pettersen. Etter at et første draft var utarbeidet overtok Vigdis Lonar Barth redaksjonsjobben for utarbeidelse av en mer omfattende utgave av denne rapporten.

Målet med den videre anbefalingen er å sikre en langtidsovervåking og fremtidig drift av instrumentene, styrke eksisterende infrastruktur ved bl.a. å sette datahull i dagens målinger, samt å utarbeide en langsiktig investeringsplan for anskaffelse, drift og vedlikehold.

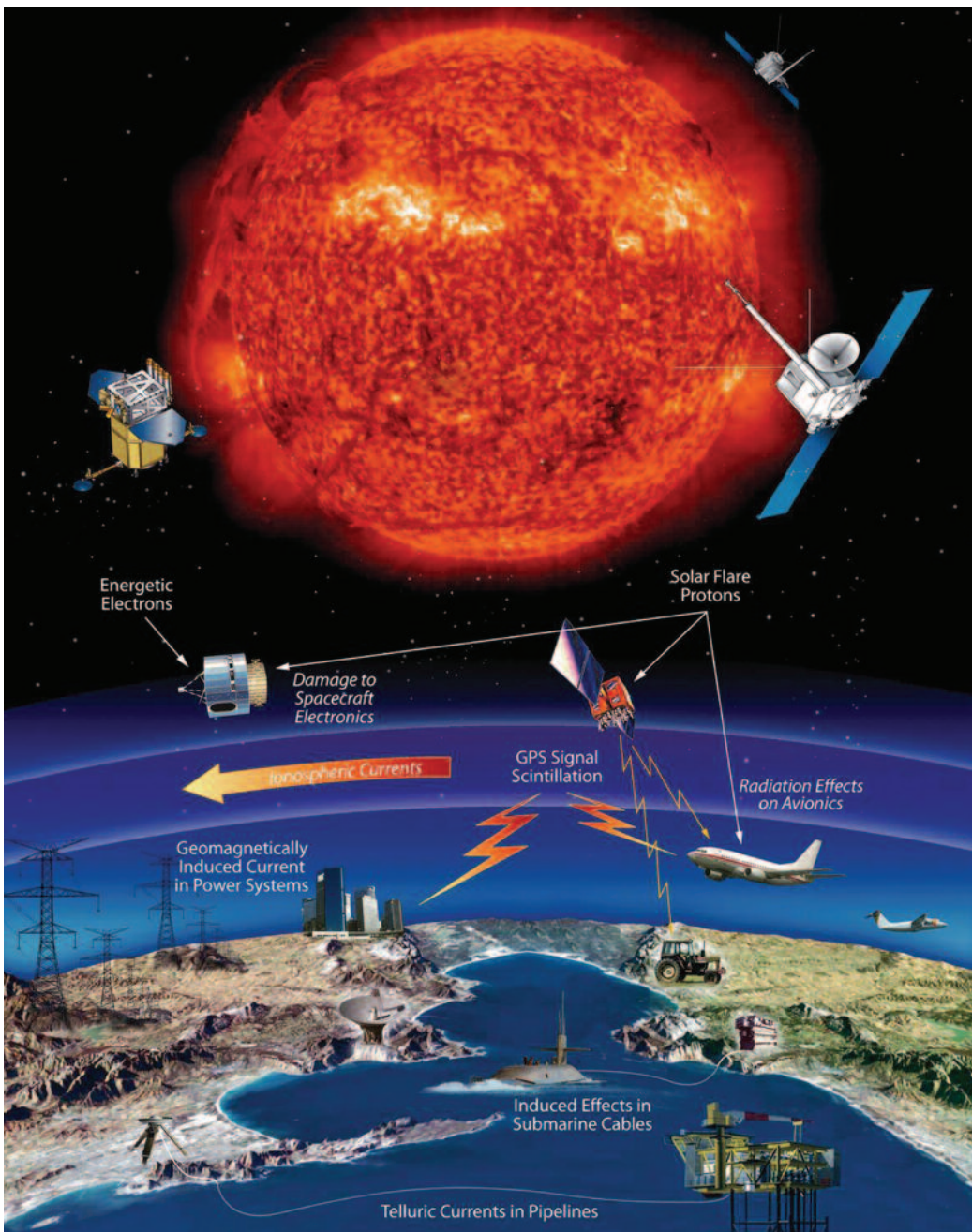
2. Behovet for en pålitelig romværvarsling i Norge

2.1 Kort om romvær

Romvær er betegnelsen på kortvarige forandringer av forhold i verdensrommet som påvirker jorda og våre teknologiske systemer. Definisjonen brukt ved US National Space Weather Plan er følgende:

”Conditions on the Sun and the solar wind, magnetosphere, ionosphere, and thermosphere that can influence the performance and reliability of space-borne and ground-based technological systems and can endanger human life and health.”

Jordas øvre atmosfære og nære verdensrom påvirkes i hovedsak av aktiviteten på sola, og følges i stor grad av solsyklusen. Solsyklusen har en varighet på 11 år der antall solflekker varierer fra et lite antall i minimumsperioden, til et høyt antall solflekker i maksimumsperioden. Forandring av tetthet og hastighet av solvinden, elektromagnetisk stråling og det interplanetare magnetfeltet gir skiftende forhold i jordas magnetosfære og ionosfære. Ved solar flares og koronautbrudd på sola sendes det ut elektromagnetisk stråling og enorme



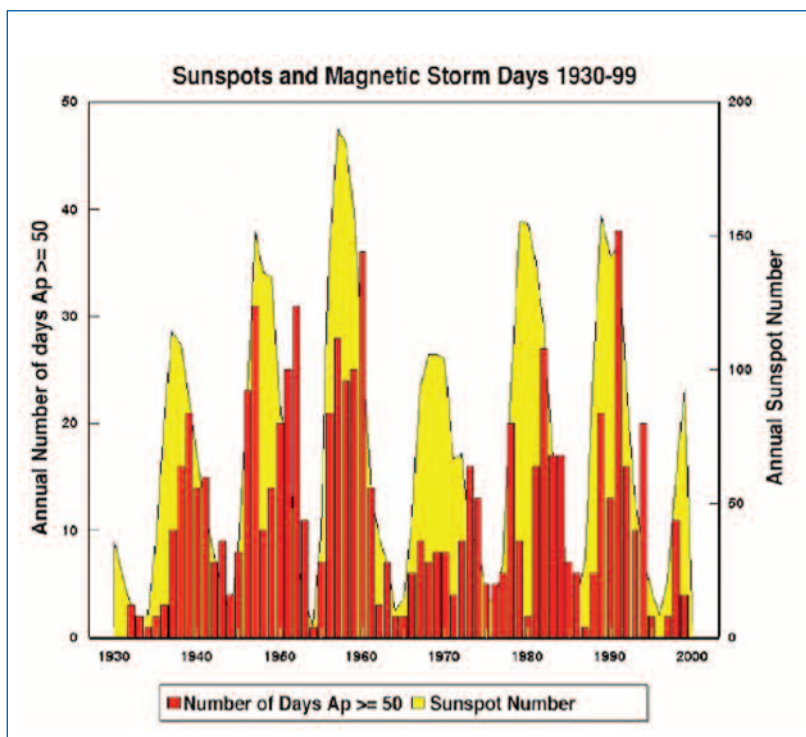
Figur 1: Moderne teknologi som påvirkes av romvær. Illustrasjon: NASA

skyer av gass og magnetfelt. Dette fører blant annet til nordlys/sørlys, geomagnetiske stormer, forstyrrelser i jordas ionosfære, økning av høyenergipartikler i magnetosfæren og sterke elektriske felt og strømmer i både i ionosfæren og magnetosfæren. Solar flares sender ut elektromagnetisk stråling som følger lysets hastighet. Denne strålingen når oss dermed ca. åtte minutter etter et utbrudd. Protonskurer ankommer jorda 15 min – 1 time etter et utbrudd, mens gass- og magnetskyen fra et koronautbrudd ankommer i løpet av 1 – 3 dager avhengig av bl.a. hastigheten til skyen.

Jorda påvirkes av disse solutbruddene når de har retning mot jorda, og påvirkningen blir størst når utbruddet har sin opprinnelse nær ekvator på sola. Statistisk sett ser man høyest geomagnetisk aktivitet i den nedadgående delen av solsyklusene, se figur 2.

Romværet påvirker radiokommunikasjon og navigasjonssystemer, strålingen kan degradere og ødelegge elektronisk utstyr i rommet og den kan utgjøre en risikofaktor for mennesk på bemannede romferder. Forstyrrelsen fører også til induerte strømmer (Geomagnetic Induced Currents (GIC)) i jordoverflaten og induerte strømmer i elektrisk ledende strukturer på bakken. For å lage en pålitelig romværvarsling må

Figur 2: Årlig antall solflekker og geomagnetiske aktive dager siden 1930-tallet. Man ser en tydelig overvekt av sterkt aktive dager i den nedadgående delen av solsyklusene. Kilde: Joe Hirman, NOAA



man derfor samle inn tilgjengelige data i sanntid som beskriver tilstandene på sola, i heliosfæren, i magnetosfæren og i ionosfæren for å skape et bilde av forholdene mellom sola og jorda. Denne informasjonen brukes videre til å lage romværvarsel og advarsler for geomagnetiske stormer, bl.a. informasjon om forventet periode for når denne solstormen vil treffe jorda, og hvor sterk den vil/kan bli. Det brukes både bakkebaserte og rombaserte sensorer og instrumenter til dette, samt ulike avbildningssystemer for å se på solatmosfærens ulike lag.

I det såkalte Lagrangepunktet, hvor det er balanse mellom jordas og solas tiltrekningskraft, er det plassert sol-observerende satellitter som vil varsle partikkelstormer ca. en time før de skaper problemer på jorda. SSA og forskningsmiljøer verden over ønsker en erstatter for den nåværende satellitten ACE (Advanced Composition Explorer) som i dag lever på overtid og som er lokalisert i L1. En satellitt i L1 er en nødvendighet for å kunne gi oss et varsel på hvor sterk solstormen blir. Derfor har nå NOAA i samarbeid med NASA og U.S. Air Force vedtatt å pusse opp og bygge om den lagrede gamle klimasatellitten Triana til romværssatellitten DSCOVR. I tillegg innser stadig flere land i Europa hvor viktig romværovervåking er og blir fremover. Det vil være en stor styrke og et etterlenget bidrag for romværovervåkingen om Europa bygger og utvikler en overvåkingssatellitt i L1. Norge foreslo høsten 2011 at ESAs SSA-program bør gå i gang med utredning/planlegging av en europeisk romværssatellitt i L1. KuaFu er en planlagt romvær-mission i Kina der Kina ønsker å etablere et romværvarslingsystem bestående av tre satellitter. En av satellittene skal plasseres i Lagrangepunkt L1, mens de to andre skal plasseres i polarbaner rundt jorda. I ESAs Science program er det mulighet for at KuaFu blir en realitet også for Europa, se kapittel 4.2.

Konsekvensene av en ekstrem solstorm og en påfølgende ekstrem geomagnetisk storm er et stort diskusjonstema. Ekspertene er uenige, grunnet liten erfaring og lite data fra tidligere kraftige stormer. I tillegg kan ikke teknologien for 100 år siden sammenlignes med dagens teknologi, utviklingen har vært enorm. I dag avhenger store deler av verden av sårbar teknologi og trusselen av ekstremt romvær har

derfor aldri vært større. Det påstås (kilde nr. 20) at en kraftig solstorm tilsvarende Carrington Event i 1859 kan skape store ødeleggelser for den eksisterende satellittflåten. Om en slik storm hadde truffet oss i dag ville det ført til tap av inntekter på rundt 30 milliarder dollar bare for satellittoperatører. Det er et velkjent fenomen at satellitter er sårbare for romvær, men samtidig har utstyret og elektronikken blitt mer robust med årene. Satellittoperatørene selv mener de har tatt sine forhåndsregler, og melder om lite problemer med romvær de siste årene. Dette kan også ha en sammenheng med en periode med liten aktivitet på sola, og vil muligens endre seg frem mot solmaksimum i 2013. Et eksempel på påvirkning på satellitter under geomagnetiske stormer er Halloweenstormen i 2003 der 30 uregelmessigheter ble registrert, og en satellitt gikk tapt.

Den største frykten er hvor store konsekvenser en kraftig storm vil få for kraftmarkedet. Også her er ekspertene uenige, noen mener det er lite å frykte, mens andre spår dommedag. Strømbrudd pga jordstrømmer har skjedd flere ganger i historien og det vil nok skje igjen. I 1989 falt strømmettet i Quebec i Canada sammen. Det tok ni timer før de var tilbake i normal operasjon, og millioner av mennesker var uten strøm midt på vinteren. Om det kommer en ekstrem storm som ødelegger mange transformatorer i flere land, vil det kunne ta flere måneder/år å erstatte disse. De sosiale problemene som vil følge med et slikt langvarig strømbrudd er mange og alvorlige, siden hele vårt samfunn avhenger av strømforsyningen for å fungere. Vi er bl.a. avhengige av strøm for lagring og tilberedning av mat, vann, oppbevaring av medisiner, minibanker, internett, kommunikasjon, bensin, offentlig transport og oppvarming. Desto lengre strømbrudd, desto større vil problemene bli. Kraftbransjen har lært av tidligere erfaringer, og gjort tiltak for å være beredt på romværrisikoen, men kunnskapen og erfaringen som er blitt gjort på dette området bygger bare på noen få tiår. Romværaktiviteten de siste årene har vært uvanlig lav, og det fryktes derfor at vi vil oppleve sterkere geomagnetiske stormer i årene som kommer. Mulige konsekvenser for Norge under en kraftig geomagnetisk storm er vist i figur 3.

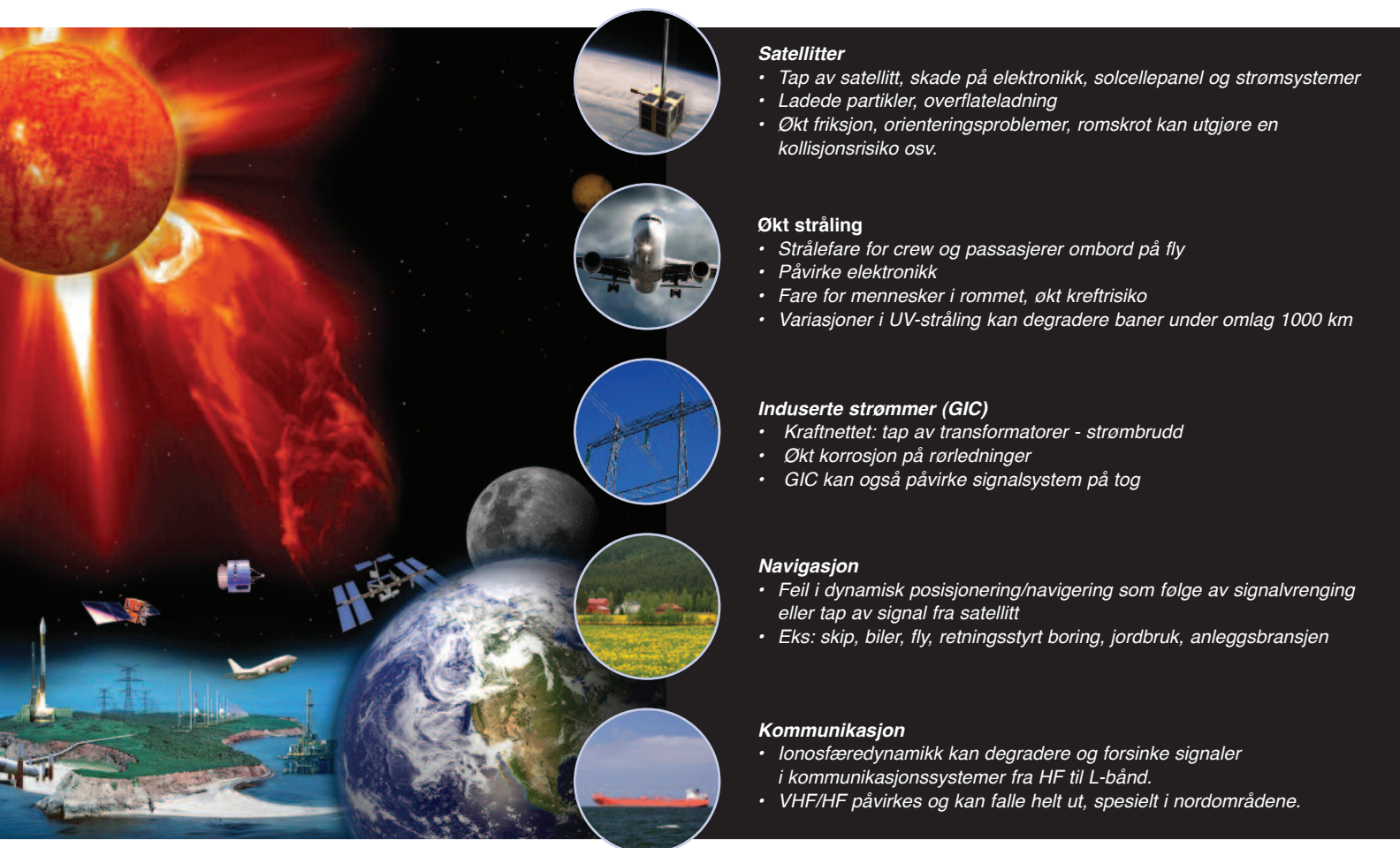
2.2 Aktuelle målgrupper og brukere av en romvævarslingstjeneste

Som været på jorda opptrer også romværet i ulike former og med ulik styrke avhengig av bl.a. hvor vi befinner oss i den 11-årige solsyklusen. Romvævarsler i sanntid er derfor et sterkt ønske og et vesentlig behov hos de aktuelle brukere i Norge, siden flere og flere gjør seg avhengige av moderne, avansert og sårbare teknologi for å kunne utføre sine operasjoner. Aktuelle målgrupper og brukere av romvævarsler i Norge er illustrert i figur 7. Pr i dag finnes det ingen operativ romvævarsling i Norge, men det satses mye på å kunne bidra til å varsle romværet internasjonalt i Europa. Dette er viktig for å kunne planlegge drift av systemer som påvirkes av romværet, for eksempel ved å sette satellitter i en operasjonsmodus hvor man reduserer sannsynlighet for skader, eller skru av transformatorer i kraftnettet for å unngå ødeleggelser av jordstrømmer.

En romvævarsling kan også brukes til å bedre navigasjonsproblemer som oppstår med GPS-systemet og hindre feilnavigering i nordområdene. Ved kraftige geomagnetiske stormer kan man få GPS signal med feil på opp mot 100 m og/eller miste signalet helt. Dette kan få alvorlige konsekvenser ved f.eks. grunnstøtinger med påfølgende skadelige oljeutslipp. Norske forskere med lange tradisjoner i nordlysforskningen og med et unikt utgangspunkt på Svalbard har kanskje de beste forutsetninger til å varsle navigasjonsforstyrrelser i nordområdene.

Systemer som er avhengig av dynamisk posisjonering med GPS som f.eks. anleggsbransjen er spesielt avhengig av å opprettholde stabile GPS-posisjoner. I denne sammenheng er posisjoneringstjenesten som Kartverket har utviklet viktig å satse videre på. Både under oljeleting og under selve oljeboringen benyttes magnetometre i styringssystemene. Dette krever et stabilt magnetfelt og under geomagnetiske stormer vil man oppleve perioder med betydelige avvik, noe som fører til stans i operasjonen.

Satellittoperatører har generelt god kunnskap og bevissthet rundt problemet, siden rombaserte systemer er spesielt utsatt for romvær. I denne bransjen er prognoser av bl.a. strålingseffekter på sensitiv elektronikk og sann-



Figur 3: Konsekvenser for Norge ved sterke geomagnetiske stormer.
Kilde stort bildet: NASA.
Kilde små bilder: se kilder.

tids overvåking av den ionosfærisk tettheten viktig. Den norske satellitten AISSat-1 er også utsatt for romværforstyrrelser siden selve AIS-signalen ligger i VHF-området, og dermed påvirkes av forstyrrelser i ionosfæren.

På 90-tallet ble det åpnet for polare flyruter, som må omdirigeres under kraftige solstormer pga økt strålingsfare for mannskap og passasjerer, samt tap av HF-kommunikasjon. HF kommunikasjon er den eneste form for kommunikasjon som kan brukes i polområdene, siden kommunikasjonssatellitter (geosta-



Figur 4: På 90-tallet ble det åpnet for polare flyruter, som må omdirigeres under kraftig romvær.
Kilde: iStockphoto.com/
Stephen Strathdee

Satellitter

- Tap av satellitt, skade på elektronikk, solcellepanel og strømsystemer
- Ladede partikler, overfladeladning
- Økt friksjon, orienteringsproblemer, romskrot kan utgjøre en kollisjonsrisiko osv.

Økt stråling

- Strålefare for crew og passasjerer ombord på fly
- Påvirke elektronikk
- Fare for mennesker i rommet, økt kreftrisiko
- Variasjoner i UV-stråling kan degradere baner under omlag 1000 km

Induserte strømmer (GIC)

- Kraftnettet: tap av transformatorer - strømbrudd
- Økt korrosjon på rørledninger
- GIC kan også påvirke signalsystem på tog

Navigasjon

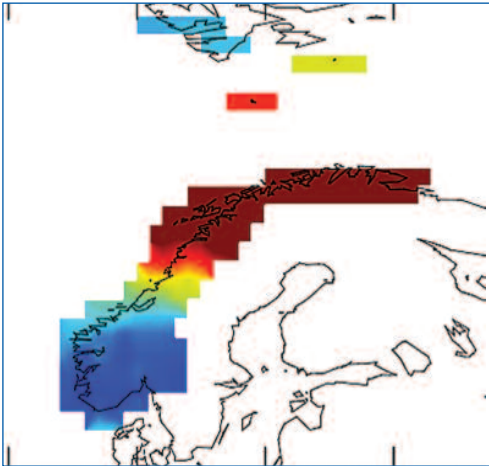
- Feil i dynamisk posisjonering/navigering som følge av signalvringing eller tap av signal fra satellitt
- Eks: skip, biler, fly, retningsstyrt boring, jordbruk, anleggsbransjen

Kommunikasjon

- Ionosfæredynamikk kan degradere og forsinke signaler i kommunikasjonssystemer fra HF til L-bånd.
- VHF/HF påvirkes og kan falle helt ut, spesielt i nordområdene.

sjonære satellitter) ikke er tilgjengelige over 82 grader nord. HF kommunikasjon baserer seg på refleksjon via ionosfæren for å oppnå langdistanselinker. Dersom plasmatettheten i en gitt høyde endrer seg, vil dette forstyrre og i verste fall umuliggjøre kommunikasjon på mange frekvenser. Under geomagnetiske stormer kan transpolar HF kommunikasjon settes ut av spill i flere dager. Siden flyene skal ha kontakt med kontrollsentrene til enhver tid i følge internasjonale luftfartsregler er det nødvendig med gode forhåndsvarsler og overvåking av romværet. Selv om Europa ikke flyr polare ruter pr. i dag, vil dette garantert komme i fremtiden, og også her er det viktig med en pålitelig romværvarsling.

Brukere av radiokommunikasjon vil trenge en pålitelig prognose av TEC (total electron content) kart, scintillasjonskart og en overvåking av ionosfæriske forstyrrelser som formidles til brukerne på en forståelig måte. Tjenester fra satellitter er samfunnskritisk, og sårbarheten vil øke med flere satellitter, og i takt med økt aktivitet i nordområdene. Med sin belig-



Figur 5: Ionosfæriske forstyrrelse kl 05:30 fredag 9.mars 2012. Blå farge indikerer rolige tilstander, mens rødt/brunt indikerer alvorlige forstyrrelser. Kilde: Kartverket

genhet i nordområdene har Norge et nasjonalt og internasjonalt ansvar for å sørge for at en eventuell romværvarslingstjeneste blir så sikker og nøyaktig som mulig.

Canada utvikler et satellittsystem PSW (Polar Communications and Weather) for å gi satellittkommunikasjonstjenester i Arktis. Dette systemet vil neppe kunne være operasjonelt før nærmere 2020. Selv om dette er et alternativ til HF kommunikasjon i disse utsatte områdene, vil også dette systemet risikere å få signalavbrudd pga romvær. Det vil derfor være nødvendig å opprettholde en miks av HF og satellittkommunikasjon for å bedre kommunikasjonen under romvær-enerter i disse områdene.

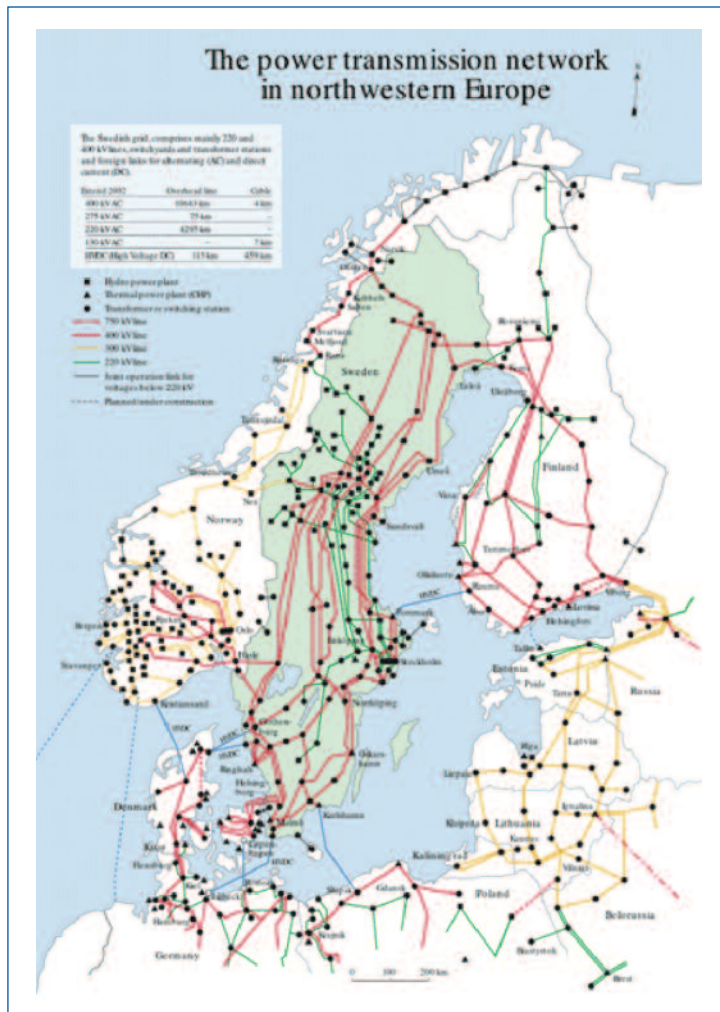
Kraftbransjen ønsker seg pålitelige forhåndsvarsler av potensielt skadelige geomagnetiske stormer, spesielt med tanke på størrelse og retning til den induserte strømmen. Dette ønsker de for å kunne sette i gang tiltak der det er aktuelt før den geomagnetiske stormen setter inn. Å skru av transformatorer og deler av strømmettet for å forta en slik kontrollert black-out tar tid, og kan være svært kostbart om det viser seg at solstormen ikke slår til allikevel. Kraftmarkedet er på mange måter den mest sårbare brukeren av en romværvarslingstjeneste, siden så å si hele samfunnet er kritisk avhengige av strømforsyningen.

Under en geomagnetisk storm genereres "elektrojeter" i ionosfæren i en høyde av ca. 100 km og disse kan nå opp til flere millioner Amper.

Når strømmene endres i tid induseres geomagnetiske felter til jordoverflaten og til bakken, ifølge Faradays induksjonslov. En geomagnetisk induisert strøm er en veldig lavfrekvent strøm (0,1 Hz), dvs omtrent som likestrøm.

På bakken kan dette føre til at kraftforsyningsnettet forstyrres og transformatorer overbelastet. Jordstrømmene kommer inn i kraftledningene (strømmettet) via de såkalte 0-punktene i transformatoren, der 0-punktet er direkte koblet til jord. I verste fall ødelegges transformatorene helt om ikke tiltak gjøres i tide, noe som kan føre til strømløse områder og i ekstreme tilfeller kan dette nettet bryte sammen. Det er begrenset med transformatorer i reserve, og det kan forventes opptil 1 års leveringstid på ny transformator. Konsekvensene kan derfor bli store dersom

Figur 6: Strømmettet i Norden. Illustrasjon: ESA GIC Pilot Prosjekt

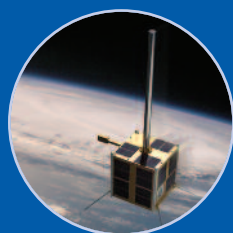


flere transformatorer blir slått ut samtidig. Studier av påvirkning på nettet i Norge har vist at Norge har relativt robuste transformatorer, kraftlinjene går stort sett over korte strekk og vi har vannkraftverk spredt rundt i landet som gjør det lett å omfordele strøm. En relativt billig forsikring for kraftbransjen vil være å sette inn en motstand i nullpunktstilkoblingene på rundt 200 transformatorer. Det generelle ønske fra kraftbransjen i forhold til denne rapporten er en god og pålitelig forhåndsvarsling av GIC.

Det Nordiske samarbeidet på dette området er godt. I januar 2012 ble det holdt et Nordisk symposium i København der hovedfokuset var romvær og utfordringer med GIC i kraftforsyningen. Siden det norske kraftnettet er koblet til resten av Skandinavia vil et utstrakt strømbrydd i for eksempel Sverige også kunne "lekke" inn i Norge.

Et EU finansiert prosjekt under navnet EURISGIC, der bl.a. Sverige og Finland bidrar, skal lage Europas første sanntids prototype forhåndsvarsling tjeneste av GIC i kraftsystemer. Varslingen baserer seg på in-situ solvind observasjoner og omfattende simuleringer av jordas magnetosfære. Målet er å kunne lage kart der retningen på elektrojeten kan bestemmes og også hvor sterk den induerte strømmen vil bli. I tillegg til kraftbransjen påvirkes også olje- og gassindustrien av disse induerte jordstrømmene. Induserte strømmer påføres rørledninger og fører til økt korrosjon. Dette problemet kan løses med en god forhåndsvarsling ved at en strøm påføres med motsatt polaritet av den induerte strømmen. Med en varslingstjeneste kan dette planlegges på forhånd og dermed øker levetiden til rørledningene. Signalsystemet til tog er også påvist påvirket av GIC, som for eksempel i 1982 da de opplevde feil på togsignalene i Sverige (kilde 21).

Figur 5: Brukere i Norge som vil ha stor nytte av en romværtjeneste. For kilde til småbilder, se kilder.



Satellittoperatør

- AISSat-1: NRS/FFI/ Kystverket
- Thor: Telenor Satellite Broadcasting



Luftfart

- Luftfartsverket
- Søk og redningstjenesten
- Avinor
- Lufttransport
- Postfly
- Ambulansefly



Kraftmarkedet

- Statnett
- NVE
- (Jernbanelinjen - feil på togsignaler)



Dynamisk posisjonering

- Olje- og gassindustrien
- Oljedirektoratet
- Kongsberg Seatex
- FUGRO
- Anleggsbransjen
- Kartverket



Navigasjon

- brukere av GNSS
- Skipsfartøy
- Statens vegvesen
- Luftfartøy
- Søk og redningstjenestene
- Kartverket



Kommunikasjon

- Post- og teletilsynet
- Søk og redningstjenestene
- Brukere av satellitttelefon og radiokommunikasjon i nordområdene
- Forsvaret
- Mobiloperatører

3. Eksisterende romværinfrastruktur i Norge

Aktuelle miljøer ble kontaktet av NRS for å bidra til en oversikt over eksisterende- og ønsket infrastruktur i Norge:

- Kartverket
- Universitetsenteret på Svalbard (UNIS) / Kjell Henriksen Observatoriet (KHO)
- Universitetet i Bergen (UiB)
- Tromsø Geofysiske Observatorium (TGO) / Universitetet i Tromsø (UiT)
- Kongsberg Seatex
- FUGRO
- Andøya Raketttskytefelt (ARS)
- Universitetet i Oslo (UiO)

Responsen var noe varierende, men de fleste miljøene gav spesifikke tilbakemeldinger som beskrev deres nåværende instrumenter samt deres fremtidige ønsker og behov.

3.1 Kartverket

Kartverket har jobbet med problemer relatert til bruk av satellittbaserte navigasjonssystemer i arktiske områder over en lengre periode. Dette inkluderer ionosfærisk relaterte fenomener som scintillasjon. Kartverket har i dag et godt utbygget nett av lav-rate GNSS-mottakere (1 Hz) i fastlands-Norge med hele 135 eksisterende stasjoner. Mottakerne tar målinger hvert sekund, og disse stasjonene vil derfor kunne danne basis for sanntidskart av elektronetthet (TEC) i en nasjonal romværtjeneste, som er en av de ønskede produktene i SSA programmet. På Svalbard derimot finnes det ikke et godt utbygget nett, med kun noen fåtalls stasjoner plassert i bosetningene i vest, og det er naturligvis lite/ingen dekning i havområdene utenfor Norge og Svalbard.

Posisjoneringsnettverkene til Kartverket (CPOS og DPOS) virker som en operativ tjeneste for betalende brukere. Tjenesten er rettet mot profesjonelle brukere som har krav om posisjonsbestemmelse på centimeter- og desimeter-nivå. Tjenestene består av korreksjoner som mottas i sanntid ved hjelp av et GSM- eller GPRS-modem. Med utgangspunkt i mottatte korreksjoner er brukeren GPS/GLO-NASS-mottaker i stand til å beregne sin posisjon på centimeter/desimeter-nivå i sanntid. Dette brukes bl.a. i anleggsbransjen, der systemet forteller maskinførerne nøyaktig hvor de er i terrenget og hvor de skal grave. Antallet brukere av dette systemet har nær doble seg i løpet av 2011 og er nå oppe i ca. 1500 brukere (pr 09.12.2011). De største brukerne er private entreprenørfirmaer, kommuner

og store offentlige etater som Statens vegvesen. Les mer om posisjonstjenestene her: <http://www.statkart.no/nor/Geodesi/Posisjonstjenester/>

RTIM er Kartverkets sanntids ionosfæreovervåking og prosesserer sanntidsdata fra Kartverkets GNSS nettverk. Skal i løpet av 2012 bli tilgjengelig i sanntid for brukere. Dette vil være et viktig steg framover innen romværvarsling i norske områder.

Kartverket/NRS og det franske romsenteret, CNES (Centre National d'Études Spatiales), har et samarbeidsprosjekt der det skal utplasseres to scintillasjonsmottakere i Norge, en mottaker skal utplasseres på Svalbard og en mottaker er allerede utplassert på Vega i Nord-Norge. I Tromsø befinner det seg også en GNSS mottaker. Kartverket/NRS og CNES har et felles mål å modellere scintillasjonsfenomener over Europa og spesielt over nordområdene. Dette fordi fenomenet ofte oppstår i denne regionen pga nærheten til nordlysovalen, som er der ladede partikler fra sola kommer ned via kobling med jordas magnetfelt.

Kartverket signerte høsten 2011 en samarbeidsavtale med det tyske romsenteret DLR (Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt/ German Aerospace Center), der de sammen skal bygge opp en beredskap for å overvåke været i ionosfæren. Med denne tjenesten skal de følge utbruddene på sola fra minutt til minutt, og det vil fortløpende registreres forstyrrelser i ionosfæren. Denne overvåkings-tjenesten kan også brukes til å varsle både nordlys og andre forstyrrelser, for eksempel av GPS og andre satellittbaserte tjenester. Tjenesten som skal være klar i 2012 vil være gratis og den vil gjøres tilgjengelig for alle via nettet. Samarbeidet mellom Norge og Tyskland skal bidra til å utvikle produkter og tjenester som skal forbedre og øke tilgjengeligheten for GPS og andre navigasjons- og kommunikasjonstjenester ved solstormer og påfølgende forstyrrelser i ionosfæren. Kartverkets mål med prosjektet er en videreføring av tjenesten ved å etablere et nasjonalt kompetansesenter for satellittbaserte navigasjonstjenester der Kartverket tar jobben med å overvåke ionosfæren i nordområdene, mens DLR tar ansvaret for det sentrale Europa. For å validere GPS-data bruker Kartverket ionosondedata og EISCAT data. All-sky

kamera kunne også vært nyttig, men det er ikke utprøvd i denne sammenheng. Magnetometerdata er ikke direkte sammenlignbare med GNSS data, så en eventuell validering med bruk av slike data vil kun kunne gjøre på "øymål".

3.2 Kjell Henriksen Observatoriet

UNIS med sin unike beliggenhet fokuserer på nordlys og midlere atmosfæreforskning. Universitetsenteret drifter den nye nordlysstasjonen Kjell Henriksen Observatoriet (KHO) på Svalbard i samarbeid med UiT, og utnytter også EISCAT installasjonen på Svalbard.

KHO stod ferdig i 2007 og ble innviet februar 2008. Stasjonen rommer verdensledende instrumenter til bruk i nordlysforskning. Både TGOs fluxgate magnetometer, som er en del av magnetometernettet til TGO, og DMIs 64-beam Imaging Riometer er lokaliserte her. En liste over instrumenter i drift finnes her: <http://kho.unis.no/>. KHO brukes av til sammen 16 institusjoner fra syv land.

Det ionosfæriske oppvarmingsanlegget SPEAR eies og opereres av UNIS: <http://spear.unis.no>. Kontrollert lager det kunstige ionosfæriske uregelmessigheter, dvs kunstig radar nordlys.

Figur 6:
Forskningsinfrastrukturen på Breinosa utenfor Longyearbyen. Nordlysobservatoriet (KHO), EISCAT og SPEAR.
Foto: Anja Strømme



En dynamisk koherent radar LDCR (Longyearbyen Dynamic Coherent Radar) er under prosjektering for å plasseres nær Longyearbyen. Den ble i desember 2011 vedtatt støttet gjennom "Conoco Phillips Space Physics Proposal". Denne radaren vil komplimentere allerede eksisterende instrumenter på Svalbard og gi en bedre forståelse av hvordan energi beveger seg gjennom atmosfæren. Radaren kan kontinuerlig overvåke flere av atmosfærens lag samtidig, og man kan følge forholdene i atmosfæren både før, under og etter signaler fra GPS satellitter passerer gjennom de ulike lagene. Dette vil igjen gi en bedre forståelse av hvordan signalet beveger seg fra satellitten ned til bakken for å kunne utvikle bedre GPS systemer og gi oss en bedre forståelse av solvindens påvirkning på det globale klima.

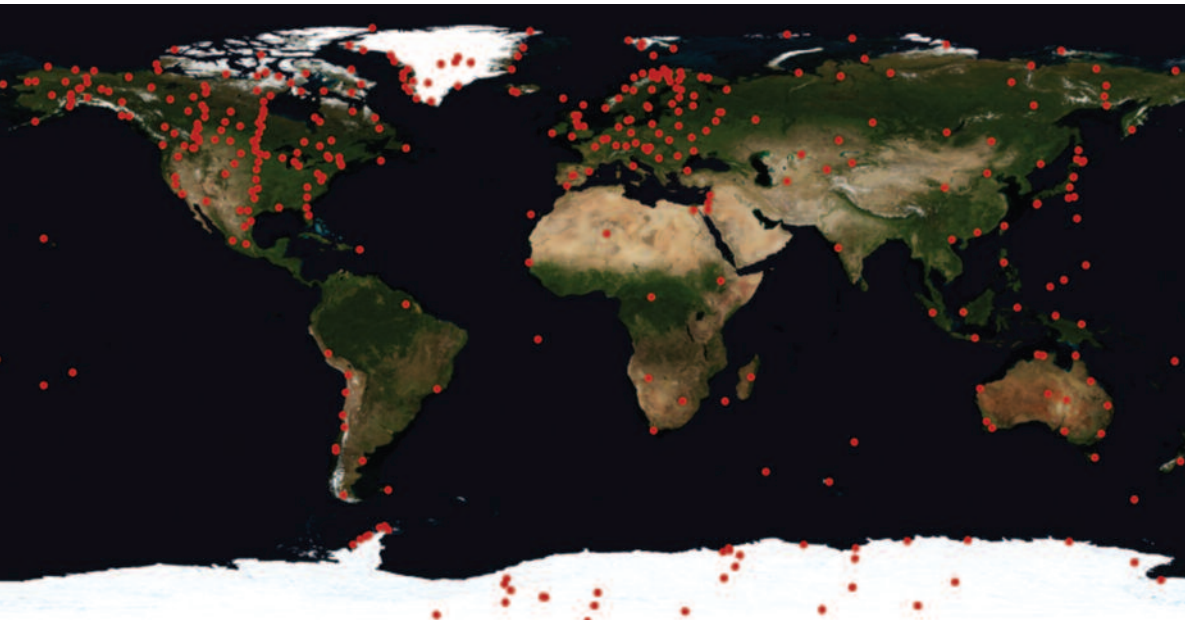
Det planlegges at UNIS innen oktober 2013 vil utvikle et datalagringsystem og få tilgang til alle data fra de 26 SuperDARN radarene. LDCR vil se nord-øst og dermed dekke et område over polkalotten som i dag ikke dekkes av eksisterende radarer. LDCR vil etter planen være operativ i september 2013, og vil kunne integreres i SuperDARN nettverket fra oktober 2013.

3.3 Universitetet i Bergen

Universitetet i Bergen (UiB) studerer ionosfæriske og magnetosfæriske prosesser, og ser bl.a. på koblingen mellom magnetosfæren og nordlyset. De bygger komponenter til satellitt-instrumentering, slik som instrumentene PIXIE på POLAR og ASIM på den internasjonale romstasjonen (ISS). ASIM er et røntgeninstrument som studerer elektriske utladninger fra jorda ut i rommet, såkalte sprites.

Fra 300 målestasjoner verden over tikker det inn data på jordas magnetfelt til SuperMAGs server ved Institutt for fysikk og teknologi i Bergen (UiB). UiB har nå ansvaret for styringen og driften av SuperMAG. SuperMAG er et operativt offline overvåkingssystem av jordas magnetfelt som finansieres av NRS gjennom ESAs PRODEX¹-program (Programme de Développement d'EXpériences scientifiques). Dette gjøres for å øke norsk

¹ Opprettet som frivillig program i ESA juni 1986, Norge ble med i programmet i 1989. PRODEX er til for små land som ikke har store nasjonale tekniske romsentre, som Norge. I dette programmet stiller ESA juridisk og teknisk personell til rådighet for å "guide" norske forskere i prosjekter for maksimal utnyttelse av ESAs satellitter, eller for kreativ tenkning om nye mulige målemetoder eller satellittinstrumenter.



Figur 7: Oversikt over magnetometerkjeden som bidrar med data til SuperMAG.

Illustrasjon: SuperMAG

engasjement i SWARM, en av Earth Explorer-satellittene. SWARM skytes opp høsten 2012 og skal måle styrke og retning til jordas magnetfelt. SuperMAG er pr i dag en offline tilrettelegging for forskning og analyseformål med brukere fra hele verden. En naturlig utvikling vil kunne være å utvikle et sanntidssystem med sanntidskart.

Et annet mulig bidrag fra Norge til ESA er TEGAX, også under utarbeidelse ved UiB. Dette konseptet vil kunne gi Norge en sentral rolle i en internasjonal romværerovervåking og for videre forskning på romvær. 11 satellitter i hver bane med identiske instrumenter vil gi kontinuerlige målinger av energisk partikkelnedbør. Ønsket fra Bergen var å sette instrumentene på Iridium NEXT satellittene med 66 satellitter i seks baner. Siden dette ikke ble en mulighet, er nå ønsket å plassere TEGAX instrumentene på europeiske ESA satellitter. For tiden undersøkes mulighetene for dette. UiB deltar også på Cluster i samarbeid med UiO og FFI. Cluster er fire satellitter i bane rundt jorda, som bl.a. foretar målinger av vekselvirkningen mellom jordas magnetfelt og solvinden. Cluster ble skutt opp sommeren 2000, og er nå en forlenget mission ut 2014. For mer info: <http://web.ift.uib.no/> Rom fysikk/

3.4 Tromsø Geofysiske Observatorium/Universitetet i Tromsø

Universitetet i Tromsø (UiT) er et internasjonalt ledende miljø i bruken av EISCAT, og

særlig innenfor småskalastudier av plasma-turbulens og nordlys. UiT driver landets eneste plasmalaboratorium for anvendelser innen romfysikk og er også involvert i nordlysstasjonen på Svalbard.

Tromsø Geofysiske Observatorium (TGO) har et nasjonalt geofysisk ansvar, og utfører i dag sanntidstjenester der de overvåker geomagnetismen med sin veletablerte og godt utbygde magnetometerkjede. Magnetometerkjeden består av 14 magnetometre.

Figur 8: Ramfjordmoen sett fra toppen av den 60 m høye antennemasta til Universitetets ionosonde.

Foto: Bjørnar Hansen



Det er viktig for TGO at det faglige grunnlaget for geomagnetisme opprettholdes, noe som er avgjørende for at TGO skal ha en fremtid. Den vitenskapelige utforskningen av nordlyset utføres i dag på Ramfjordmoen, der EISCAT holder til.

TGO er en viktig deltaker i romværdelen av ESAs SSA-program, og koordinerer "Geomagnetic conditions" ved SWE Expert Service Centre.

UiT driver også med forskningsraketter som skytes opp fra Andøya. Rakettene går under navnet MAXIDUSTY og undersøker støvpartikler i jordas sommer- og vintermesosfære. Mer om TGO finnes her: <http://www.tgo.uit.no/>

Det er i dag et relativt klart skille mellom SuperMAG som et magnetometer-datasenter som skal legge til rette data til bruk i forskning og analyseformål, og TGO som en sanntidstjeneste til bruk i operativ virksomhet. Det vil nok være naturlig for SuperMAG å bevege seg i retning av TGOs sanntidstjenester i fremtiden, med SuperMAGs potensialet som sanntidssystem. Det vil derfor være nødvendig med en diskusjon rundt en overordnet norsk strategi der både SuperMAG og TGO blir invitert til dialog.

3.5 Kongsberg Seatex

Kongsberg Seatex er hovedsakelig instrument- og systembyggere. De bygger bl.a. en referansestasjon for det kommende Galileo-systemet. Kongsberg Seatex ønsker seg flere GPS scintillasjonsmottakere i romværsammenheng, og ønsker seg et pilotprosjekt for å teste ut romværovervåkingsutstyr på skip. Hjemmeside: <http://www.km.kongsberg.com/seatex>

3.6 FUGRO

Monterer opp referansesystemer, og er i den forbindelse mest interessert i flere GPS scintillasjonsmottakere i romværsammenheng. FUGRO bruker data fra overvåkingen for å gi nøyaktighet til brukeren, samt varsle og forklare effekter på GNSS ytelse som følge av ionosfæreaktivitet. FUGRO vil kunne bidra med å stille til rådighet steder rundt om i verden hvor man kan plassere slike GPS scintillasjonsmottakere.

Hjemmeside: <http://www.fugro.no/>



Figur 9: Laser møter nordlys på Alomar.

Foto: ARS

3.7 Andøya Rakettskytefelt

Andøya Rakettskytefelt (ARS) på Andenes og Svalbard Rakettskytefelt (SvalRak) i Ny-Ålesund på Svalbard, tilknyttet ARS, gir forskerne unik tilgang til å skyte opp raketter rett inn i nordlyset. Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research (ALOMAR) på Andøya, tilknyttet ARS, gir forskerne tilgang til supplementerende data til å overvåke og bestemme skytebetingelser. Pr i dag er det pga bemanning ikke mulig å skyte opp raketter fra både Andøya og Svalbard samtidig. EISCAT, SuperDARN og optiske instrumenter ved KHO er unike støtteinstrumenter for rakettkampanjene både på Svalbard og på Andøya. ARS har hatt behov for oppgradering av bygningsmasse og teknisk utstyr, og har vært under ombygging i 2011-2012.

For mer info: <http://www.rocketrange.no/>

3.8 Plasma- og romfysikk

Romfysikkgruppen ved Universitetet i Oslo driver aktivt med forskning på romvær og har startet en serie av forskningsraketter som har fått navnet "Investigation of Cusp Irregularities (ICI)", se figur 12. Etter et mislykket førsteforsøk, ble etterfølgerne ICI-II (2008) og ICI-3 (2011) store suksesser. ICI-4 er under planlegging og ønskes skutt opp i desember 2013 dersom finansiering går i orden. Rakettene sendes opp fra Svalbard og kartlegger årsaken til atmosfæriske forstyrrelser på kommunikasjons- og navigasjonsfrekvenser over polkalotten.

UiO er også med på den NASA finansierte raketten MICA, som er et samarbeid mellom forskere ved NASA, Cornell University og flere andre amerikanske universiteter. Den norske delen av prosjekt er støttet gjennom PRODEX programmet i ESA. MICA (Magnetosphere-Ionosphere Coupling in the Alfvén resonator) undersøkte elektriske og magnetiske felter i den delen av atmosfæren som kalles ionosfæren. Forskerne er spesielt interessert i hvordan elektrisiteten i nordlyset påvirker GPS. De norske forskerne hadde sitt Langmuirprobe instrument på denne raketten. UiO skal også være med på den amerikanske nordlysraketten CAPER, som skal skytes opp fra Andøya over Svalbard vinteren 2013/2014. I 2014 blir Langmuir-probe instrumentet montert på 20 europeiske mikro-satellitter i en gruppe på 50 slike satellitter. Disse mikrosatellitene skal undersøke hvordan romværet påvirker jordas øvre atmosfære.

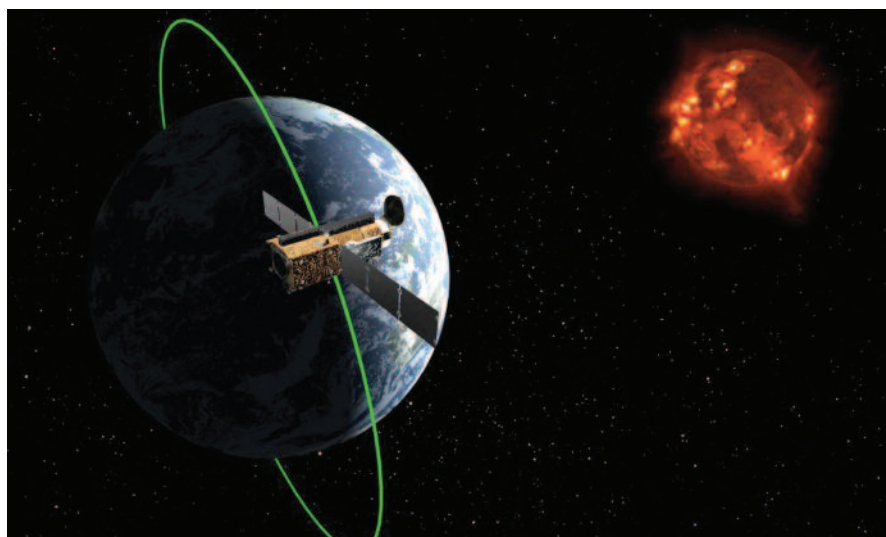
Gruppen er ellers ansvarlig for deler av de bakkebaserte observasjonene av dagsnordlys på Svalbard og Grønland, med bl.a. all-sky kamera i Ny-Ålesund og Longyearbyen. UiO deltar også sterkt i CLUSTER prosjektet i samarbeid med UiB og FFI. Universitetet har bidratt med både hardware og software til elektrisk felt og bølge (Wave) - EFW instrumentet om bord på Cluster II satellittene. EFW-instrumentet har i oppgave å måle elektriske og magnetiske felt. Hjemmeside: <http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/plasma/>

3.9 Institutt for teoretisk astrofysikk

Institutt for astrofysikk ved Universitetet i Oslo (ITA) utnytter i stor grad både bakke- og satellittbaserte observatorier. Norge deltar i NASAs nye superteleskop Solar Dynamics Observatory (SDO) som ble skutt opp i april 2010. SDO er arvtager til SOHO og tar bilder hvert tiende sekund med fire ganger høyere oppløsning enn HD TV. Satellitten sender ned ufattelige 1500 GB med bilder hver dag. Satellitten skal avdekke aktiviteter i solas indre, på solas overflate og i koronaen. Finstruktur i solas atmosfære skal avsløre aktivitet som skaper romvær. SDO vil kunne avdekke de grunnleggende prosessene bak det som kalles romvær, men ikke romværet i seg selv. European Hinode Science Data Center



Figur 12: ICI-3 fløy gjennom nordlyset opp til 350 kilometers høyde. Illustrasjon: Trond Abrahamsen, Andøya Rakettskytefelt (ARS)



Figur 13: Hinode går i en solsynkron, nær polar bane rundt jorda. Illustrasjon: JAXA

drives av ITA. Datasenteret er et samarbeidsprosjekt mellom Norge og ESA. Hinode er en japansk satellitt under ledelse av JAXA (Japanese Aerospace Exploration Agency) i samarbeid med NASA, the Science & Technology Facilities Council (STFC) og ESA. Hinode overvåker sola med 3 teleskoper (EIS, SOT og XRT) og ble skutt opp høsten 2006, se figur 13. Dataene leses ned hos SvalSat på Svalbard, som kan se alle de 15 passeringer til Hinode hvert døgn. Mer om Hinode: <http://sdc.uio.no/sdc/welcome>

ITA har også deltatt omfattende i SOHO-prosjektet, Solar-B, PLANCK og ROSETTA og har et omfattende og bredt internasjonalt samarbeidsnett. Hjemmeside: <http://www.mn.uio.no/astro/>

4. Norges bidrag til en europeisk romværtjeneste

Generelt i Europa er det en mix av forsknings- og operative virksomheter som er finansiert nasjonalt og på et europeisk nivå (EU og ESA). Infrastrukturen i Europa er spredt, og koordineringen kunne vært bedre.

Det er viktig at Norge nå sikrer seg norske roller i overgangen fra grunnforskning til operasjonalisering innen europeisk romværvarsling.

4.1 SSA-programmet

Romværdelen av ESAs romovervåkningsprogram Space Situational Awareness (SSA) skal fremmes på ministerkonferansen høsten 2012. Diskusjonene rundt hva som skal ligge som forslag til nytt SSA-program er derfor i gang, og her blir det viktig å synliggjøre Norge, og hva Norge ønsker seg for det nye SSA programmet. Det generelle ønsket til SSA er å danne et fullstendig koordinert romværtiljø i Europa med et konstant overvåkningssystem der data fra spredt infrastruktur skal samles gjennom internasjonalt samarbeid. Det skal brukes allerede operativt og eksisterende utstyr der man ønsker å unngå duplisering.

Arkitekturdesignet for SSA er ute på budrunde, og hvilke konsortium som får oppdraget vil sannsynligvis bli offentliggjort i løpet av våren 2012.

Et pilot romvær datasenter (SWE Data Centre) er lokalisert ved Redu stasjonen (ESA) i Belgia, og koordineringssenteret (SSCC – SWE Service Coordination Centre) vil også bli etablert i Belgia. SWE teamet er lokalisert ved ESAC (ESAs European Space Astronomy Centre). I tillegg opprettes en rekke ekspertise servicesenter (ESC – Expert Service Centres) basert på eksisterende kompetansetiljøer. Tromsø Geofysiske Observatorium (TGO) er koordinator for ekspertisesenteret for geomagnetisme (geomagnetic conditions). Data fra eksisterende europeiske stasjoner som IGS (International GNSS Service), ionosonde nettverket, bakkebaserte magnetometre og solobservatorier produserer i dag state-of-the-art data som er klare til å mates inn i romvær datasenteret. Disse dataene vil lage grunnlaget for fremtidens romværprodukter og -tjenester.

The space weather COST (the European

Cooperation in Science and Technology) action ES0803 skal skape tverrfaglig nettverk mellom europeiske forskere som arbeider med ulike problemstillinger av geospace, samt varslingsystemutviklere og operatører. Den årlige European Space Weather Week er hovedforumet for å etablere kontakter mellom forskere og brukere.

Potensiell norsk deltakelse i SSA programmet:

- støtte fase A av en europeisk operativ romvær-mission som bør være på plass i Lagrangepunkt L1 for neste solmax (om ca. 12 år)
- bygge og fly romvær-instrumenter som passasjerer på kommende europeiske satellitter i LEO, MEO, GEO
- TGOs geomagnetiske målinger
- Kartverkets ionosfæremålinger og sanntidsovervåking
- bistå med bakkeinfrastruktur i Norge, spesielt i nordområdene

Universitetet i Oslo ønsker sin multi-Langmuirprobe realisert og visjonen er å etablere et nytt fysisk romværepåparameter som beskriver turbulens/scintillasjonsnivå.

SuperMAG og Universitetet i Bergen ønsker en utvidelse av SuperMAG til å inkludere sanntidsdata og sanntidsdata-produkter. SuperMAG kan være viktig i forbindelse med validering av SWARM satellitten i samarbeid med TGO.

De geomagnetiske målingene til TGO bør synliggjøres i romværdelen i ESA SSA for å styrke eksistensen av disse stasjonene. TGO har en solid langtidsmåleserie av geomagnetisme- og sanntidsdata. Deres godt utbygde nett med 14 magnetometre for sanntidsinformasjon gjør at TGO står sterkt i en internasjonal romværvarsling. Observasjoner av magnetfeltvariasjoner på høye breddegrader gir en direkte signatur av ionosfæriske strømmer som er den delen av romværet som påvirker kraftbransjen, jernbanenettet og oljebransjen. Magnetometerkjeden er gjort mulig ved hjelp av midler fra oljeindustrien som følge av overvåking av retningsboring. Oljeindustrien betaler for tjenesten, men eier verken data eller instrument. Magnetometrene til TGO er selvbygd med enkelt datautstyr, de er billig å lage og billig å holde i drift. I tillegg har TGO

en ionosonde i samarbeid med britene i Ramfjorden. Denne ionosonden er egentlig en dynasonde, men den kan kjøres som en ionosonde. TGO ser det som en fordel å kunne fordele oppgaver mellom landene, og ser for seg et samarbeid med Finland, Østerrike, Tyskland m. flere. I første del av arbeidspakken i SN-1 vil det være viktig å danne seg et faglig nettverk. Her er TGO allerede godt på veg. Et operativt utgangspunkt for geomagnetiske tjenester er utviklet i denne arbeidspakken. Dette ønskes bygget ut med elementer som tilgang til numeriske data, ekvivalentstrømmer, posisjon av elektrojeten osv.

TGO er også deltaker fra Norge i EU FP7-prosjektet AFFECTS (Advanced Forecasting for Ensuring Communications Through Space). Prosjektet har deltakere fra Norge, Tyskland, Belgia, Ukraina og US, og Tyskland er koordinator.

4.2 Vitenskapsprogrammet

KuaFu er en vedtatt romvær-mission i Kina der Kina ønsker å etablere et romværvarslingssystem bestående av tre satellitter. En av satellittene skal plasseres i Lagrangepunkt L1, mens de to andre skal plasseres i polarbaner rundt jorda, se figur 14. KuaFu-A vil ha en

rekke instrumenter for å observere solas atmosfære, koronautbrudd (CMEs) og andre utbrudd av høyenergetiske partikler, plasma, og magnetfelt som vil påvirke jorda. KuaFu-A har også et sett med in situ instrumenter, inkludert et magnetometer som vil måle partikler og magnetfelt en time før gasskyen treffer jordas magnetosfære. KuaFu-B satellittene vil gi den første kontinuerlige avbildningen av nordlysregionene, og dermed muliggjøre at romvær stormene kan følges fra start til slutt. Også disse satellittene vil ha in situ instrumenter for å måle partikler og magnetfelder.

I ESAs Science program er det mulighet for at KuaFu blir en realitet også for Europa. I denne mission ser man et mulig samarbeid mellom ESA og Kina for å sikre en etterfølger av ACE satellitten som nå lever på overtid. En utredning for et europeisk bidrag til KuaFu er satt i gang. Blir dette samarbeidet en realitet vil Kina ha ansvar for en solvind monitor KuaFu-A (i L1) og Europa to satellitter for kontinuerlige observasjoner, samt konjugert polarlys observasjoner. Hvorvidt dette blir en realitet er avhengig av hvor mye penger ESA har når avgjørelsen skal tas. Et mulig norsk bidrag kan være å lese ned data fra disse satellittene ved SvalSat² og TrollSat³.

Linker til europeiske romværsider:

ESA SSA programmet: <http://www.esa.int/esaMI/SSA/index.html>

ESA SSA programmet, romværdelen av programmet:

http://www.esa.int/esaMI/SSA/SEMOMNIK97G_0.html

ESA har laget en hjemmeside for romværvarsler med linker til utredningsarbeidet:

<http://www.esa-spaceweather.net/>.

En europeisk romvær-portal for å dele informasjon og kunnskap finnes her:

<http://www.spaceweather.eu/>

Space Weather European Network – SWENET <http://esa-spaceweather.net/swenet/>

ISES, International Space Environment Service: <http://ises-spaceweather.org/>

SolarMetrics, Professional Space Weather Services for Aerospace: <http://www.solarmetrics.com>

QinetiQ Atmospheric Radiation Model: <http://qarm.space.qinetiq.com/>

GIC now!: http://aurora.fmi.fi/gic_service/english/index.html

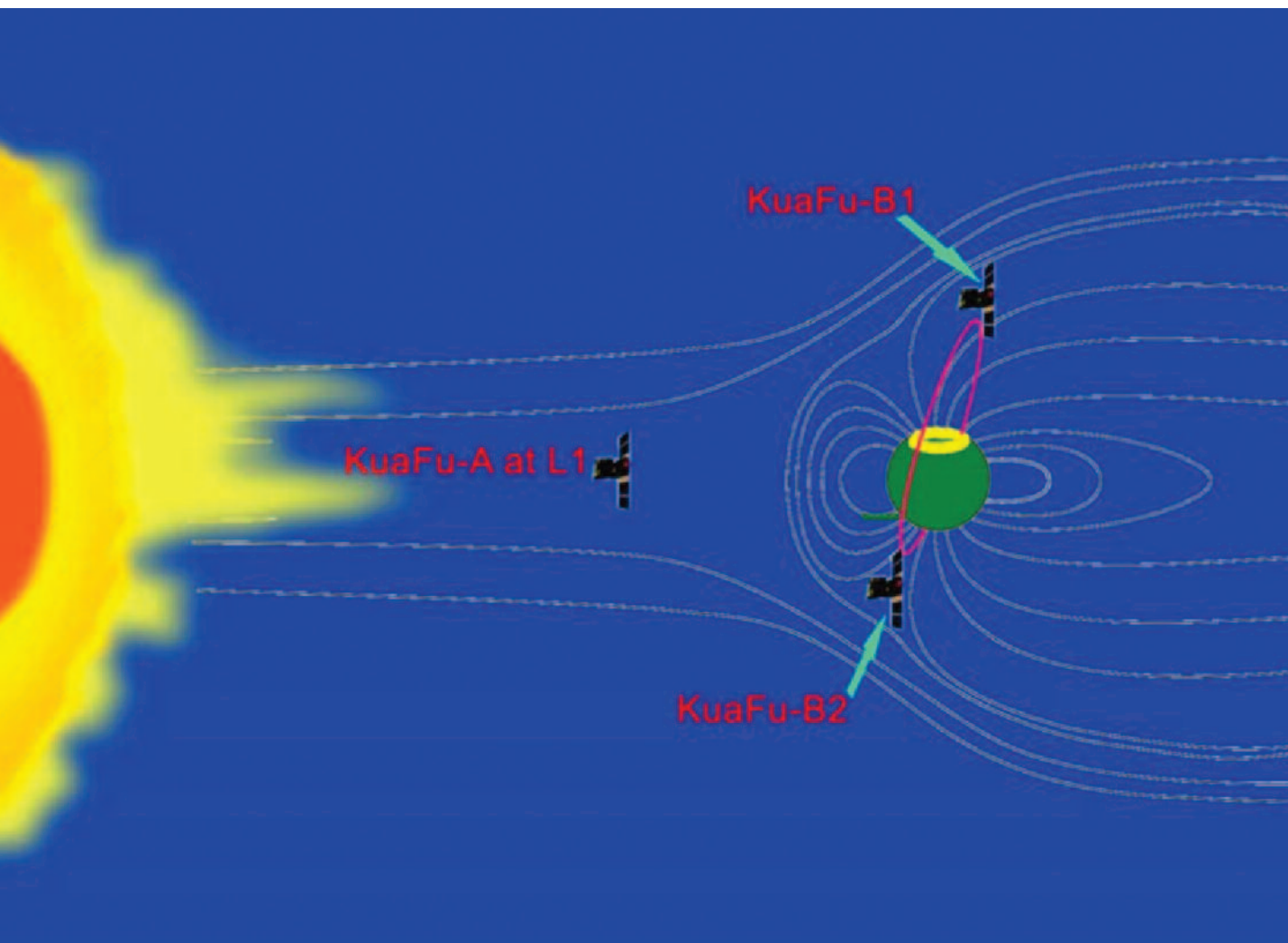
Prototype GIC Forecast Service: <http://www.lund.irf.se/gicpilot/gicforecastprototype/>

BGS Geomagnetism Applications and Services:

http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/services.html

²Svalbard Satellittstasjon, 5 km vest for Longyearbyen på Svalbard.

³Trollsat er en landbasert satellittstasjon på Dronning Maud Land, Antarktis. Stasjonen er eid av Kongsberg Satellite Services og ligger i tilknytning til den norske forskningsstasjonen Troll.



Figur 14: KuaFu mission slik den er tenkt med en satellitt i L1 og to satellitter i polarbane. Europa kan få ansvar for de to satellittene i polarbane. Kilde: Presentert av Rainer Schwenn, MPS Lindau, 24.04.2005 ved ILWS.

Neste FP7 Space utlysning er juli 2012. Neste rammeprogram i EU vil gå fra 2014 til 2020 og heter Horizon 2020. Romvær vil være et prioritert tema i Space-delen der.

4.3 Nasjonale representanter

Unni Pia Løvhaug (UiT) og Jøran Moen (UiO) er medlemmer av Management Committee i The Space weather COST action. Nasjonal representant i International Space Weather Initiative er Nikolay Østgård (UiB).

Nasjonal representant i ILWS - International Living With a Star Program er Pål Brekke (NRS).

Terje Wahl (NRS) er nestleder i styret for ESAs SSA program og Pål Brekke (NRS) er nasjonal delegat i SSA programmet.

Nasjonale delegater i styret for ESAs Science program er Pål Brekke (NRS) og Per Barth Lilje (UiO).

5. Ønsket infrastruktur

Ønsket fra Europa er 24 timers dekning med data gjennom internasjonalt samarbeid. Det trengs observasjoner fra identiske og godt kalibrerte instrumenter lokalisert på ulike breddegrader og lengdegrader.

Instrumentene som er ønsket av de aktuelle miljøene er nyttige både i forskningsøyemed og i operasjonell romværtjeneste. De vitenskapelige spørsmålene innenfor forskningsfeltet er mange, og dyrt teknologisk avansert utstyr er vanligvis nødvendig for å løse disse. Nedenfor er ønskede instrumenter listet opp.

1. GPS scintillasjonsmottakere
2. GPS referansestasjoner

3. Ionosonder (dynasonder)
4. Riometre
5. Magnetometre
6. All-sky kamera
7. SuperDARN radarer
8. Oppgradering av EISCAT og EISCAT 3D
9. Forskningsraketter

5.1 GNSS scintillasjonsmottakere

Det er ønskelig å investere i flere scintillasjonsmottakere fra flere av de spurte miljøene. Dette er relativt dyre instrumenter i størrelsesorden ~ 100 000 kroner pr mottaker. Pr i dag vet man ikke hvor mange scintillasjonsmottakere det er behov for, og det vil derfor være nødvendig med en rapport fra Kartverket



Figur 15: Infrastruktur i Norge og i Nordområdene. Blå skrift er eksisterende utstyr, mens rød skrift er ønsket infrastruktur. De røde prikkene er magnetometerkjeden til TGO, mens de gule prikkene er ikke-TGO-eide magnetometre. Figuren er modifisert fra figur 16.

der resultater fra de tre nevnte GPS scintillasjonsmottakerne foreligger etterhvert som data blir tilgjengelige. Det bør utdypes hvor mange mottakere som er nødvendig og en eventuell ønsket plassering av disse.

Det er svært ønskelig med dekning i Norskehavet og Barentshavet, men dette er utfordrende infrastruktur å få til. Et alternativ som kan undersøkes er mulighet for et pilotprosjekt der målet er å lage GPS referansestasjoner for uttesting om bord på store skip eller bøyer.

Scintillasjonsmottakerne ønskes utplassert på Svalbard, Jan Mayen, Hopen, Bjørnøya og på Andøya der det allerede finnes operative magnetometre. På sikt ønskes disse også installert på oljeinstallasjoner der det ofte er god nettilgang, og som pilotprosjekt der nytten av slikt utstyr testes ut på bevegelige fartøy i Nordområdene. Troll bør også på sikt ha en slik mottaker. Det vil være ønskelig å samlokalisere denne med FUGRO sin stasjon og om mulig benytte den samme antenneinstallasjonen. Dette vil være nyttig i det bilaterale prosjektet med CNES, da man vil få målinger over et vesentlig større område. Sannsynligvis vil det også være stor interesse i romværdelen av ESAs SSA program for instrumentering på Troll. Siden navigasjon i Antarktis ikke er like kritisk som i de mer befolkede nordområdene, er dette ikke blitt prioritert i denne anbefalingen.

5.2 GPS referansestasjoner

Kartverket har et godt utbygget nett for GPS referansestasjoner. De har pr i dag 135 stasjoner, med en avstand av 50-70 km mellom hver stasjon. For å forbedre overvåkingen er det ønskelig med referansestasjoner lenger øst og vest til Grønland og Russland. Danmark har stasjoner på Grønland, men de har problemer med sanntid. Referansestasjoner i Russland er en politisk større utfordring. En referansestasjon koster ca. 200 000 kroner pr enhet.

5.3 Ionosonde / Dynasonde

ESA ønsker et europeisk ionosondenettverk der ionosonden til TGO/UK i Ramfjordmoen blir inkludert. EISCAT har en ionosonde på Svalbard. I tillegg er det ønskelig med en ionosonde på Jan Mayen, Bjørnøya og en i Sør-Norge.

Ionosonden i Sør-Norge står ikke høyt på ønskelisten siden det finnes en ionosonde i Uppsala som kan brukes. Ionosonde på Jan Mayen vil i denne sammenheng prioriteres siden denne ses på som et viktig bidrag, men her kreves det nett for at dette skal være nyttig.

Kartverket ønsker seg flere ionosonder i bruk, men ønsker ikke å operere disse selv. Kostnadsestimat: ca. 1 million kroner pr enhet, med en driftskostnad på ca. 90 000 kroner pr år.

5.4 Riometer

Et 64-beam avbildende riometer ønskes oppdatert på Svalbard, siden det eksisterende er utdatert og trenger modernisering og opprustning. Et riometer ønskes også reinstallert på Bjørnøya. Det finnes et riometer på Andøya og det finnes også et i Finland. På Svalbard finnes det ifølge SIOS sin gapanalyse et 30 MHz riometer både i Barentsburg (den russiske stasjonen) og i Hornsund (den polske stasjonen). I Ny-Ålesund har kineserne satt opp et avbildende riometer (38,2MHz).

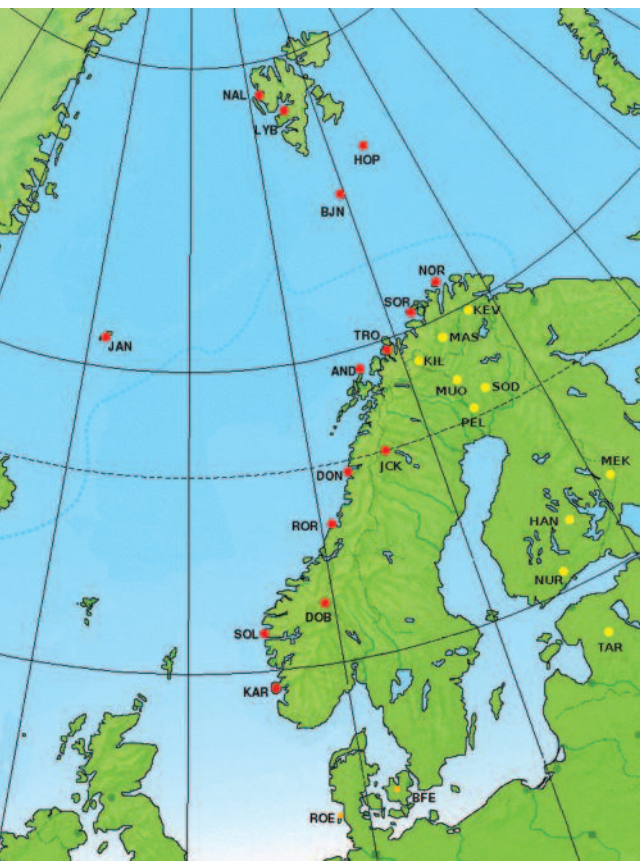
Riometre er en effektiv og billig måte å registrere partikkelnedbør på, som igjen forstyrrer radiokommunikasjon. Romvær kan nøye seg med et konvensjonelt (vanlig) riometer, mens ionosfæreforskere ønsker seg et avbildende riometer, slik som det som finnes på Svalbard. Et riometer bør også finnes på Troll. Riometerobservasjoner er ikke inkludert i SN-I eller SN-IV. De opptrer imidlertid i romværprogrammets "user requirement" og vil opplagt bli etterspurt i den videre utbygging. TGO vil være godt egnet til å sette opp og drifte et riometernet i Norge.

Riometer har tidligere vært installert på Bjørnøya og i Ny-Ålesund under ledelse av Peter Stauning. Overvåkingen ble avsluttet pga at det var for vanskelig tilgang til å drive vedlikehold på instrumentet på Bjørnøya, mens det var finansiering og utdaterte instrumenter som var problemet i Ny-Ålesund. Kostnadsestimat: 100 000 kroner. For Bjørnøya er kostnadsestimatet: 150 000 kroner for et tradisjonelt riometer, med en driftskostnad på 90 000 kroner.

5.5 Magnetometer

Jan Mayen sitt magnetometer ønskes erstattet, siden dette er ute av drift, men problemet med sanntids-magnetometer på Jan Mayen er lokali-

sering og kommunikasjon. En forutsetning for å sette opp et nytt magnetometer her vil derfor være nettilgang. Nå bygges en bakkestasjon for Galileo satellitter med tilgang til nett, så en mulighet vil være å koble seg på dette nettet, se samlokalisering og datatilgang. Det må undersøkes om noen av instrumentene vil kunne påvirke, eller påvirkes av, andre installasjoner som Galileo, EGNOS og Loran C.



Figur 16: Magnetometerkjeden slik den er i dag. 14 magnetometre dekker Norge (røde prikker) med geomagnetiske data. Kilde: TGO

Et ”hull” i magnetometerkjeden ønskes dekket rundt Røst. Et magnetometer ønskes også på Troll. For Norge sin del, vil dette være verdifullt i forskningssammenheng og et synlig norsk bidrag internasjonalt til en global romværvarsling. Selv om det allerede eksisterer flere magnetometre i Antarktis, vil dette være med på å hindre datagaps i områder med usikker dekning.

I tillegg ønskes bedre dekning i nordområdene, og en oppgradering av magnetometret i Ny-Ålesund. Magnetometret i Ny-Ålesund er i bruk, men med den stadig økende tilveksten

av instrumenter, er dataene plaget av støy. Ei ny målebu bør derfor bygges.

Med data fra magnetometre i Canada, Grønland og nord på Svalbard vil man kunne få en god dekning over polkalotten. Man er også mindre sårbar for eventuelt utfall av nett på en stasjon, og påfølgende datagaps, dersom man har data fra andre magnetometre i området. Magnetometre er et viktig bidrag til romvær- overvåking, både som varsling og sanntids- overvåking.

TGO benytter allerede magnetometerdata fra Danmark, Grønland og Finland. Disse dataene prosesseres sammen med TGOs egne data. Det er ønskelig med en ”open access real-time region” fra Finland til Grønland, fra Svalbard til Danmark og om mulig fra et enda større området. Dette vil motivere til nye studier og nye anvendelser. SuperMAG er på god veg til å utvikles nettopp til sanntidsovervåking, så det vil være nyttig med et samarbeid mellom TGO og SuperMAG om dette. Kontakt er allerede opprettet, og det eneste som hindrer utvikling til sanntidsdata for SuperMAG er finansiering til ekstra bemanning. For tiden driftes SuperMAG av professor J. Gjerløv v/Universitetet i Bergen, samt en programmerer i en 40% stilling. Det er behov for mer bemanning dersom SuperMAG skal kunne utvikle seg videre. Estimert kostnad for et magnetometer er ca. 150 000 kroner pr enhet, med en driftskostnad på 90 000 kroner pr år om det ikke finnes vanlig nett.

Et pilotprosjekt for å teste ut om det er mulig å feste enkle magnetometre på havbøyer i samarbeid med oseanografer er en mulighet for å forbedre dekning i havområdene. Denne muligheten har vært undersøkt av Universitetet i Bergen, og ses på som en realistisk mulighet. Hvis det blir en suksess, kan dette kobles opp mot SWARM validering.

5.6 All-sky kamera

Et All-sky kamera med spektral avbildning ønskes på Troll for konjugerte studier av nord- og sørllys-ovalens posisjon. Kostnaden er estimert til ca. 500 000 – 1 000 000 norske kroner.

5.7 SuperDARN

SuperDARN (Super Dual Auroral Radar Network) er et internasjonalt koherent radar-

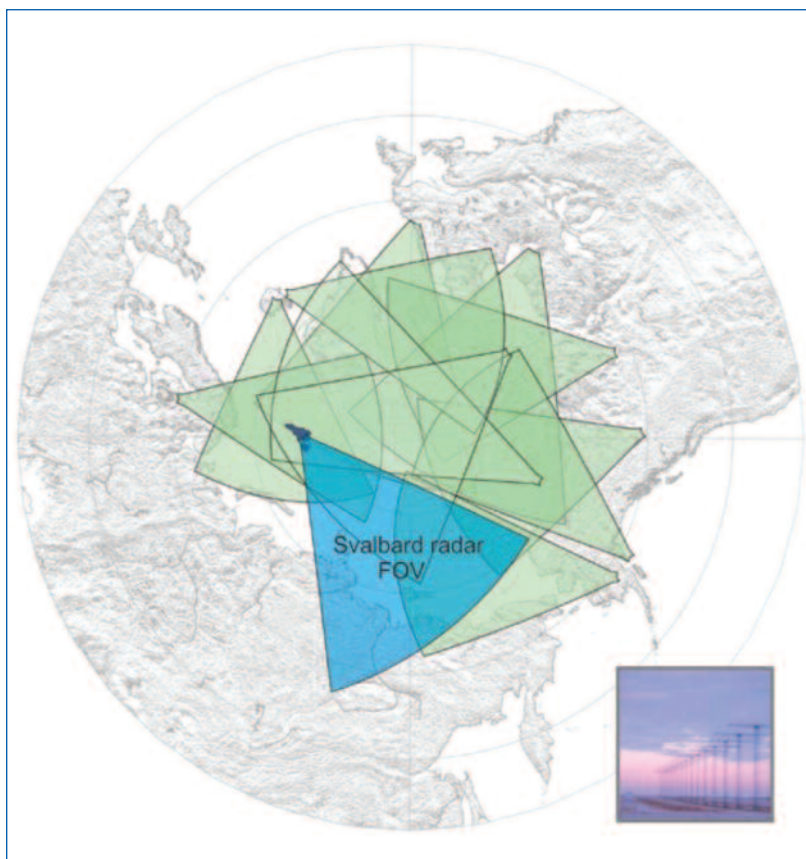
nettverk som pr i dag består av til sammen 11 radarer på høyere breddegrader, syv på midtre breddegrader og åtte på den sørlige halvkule. Av figur 17 ser man at deler av Norge dekkes av radarene fra Island og Finland, men man kan tydelig se av kartet at dekningsen er generelt dårlig over Norge, og man ser vanligvis ikke de riktige områdene. Derfor er nye radarantennene ønsket til dekningsforbedring og for å sikre kontinuerlige data til forskningsformål over et så stort område som mulig. Slike antenner opererer i sanntid og overvåker plasmaskyer som påvirker GPS signaler, radio- og satellittkommunikasjon, som er svært viktig for en eventuell romværvarsling. For at vi skal kunne "se" disse over "våre" områder trengs en radar i Oslo/Bergen og en antenne på Andøya som kan se atmosfæren over Svalbard. For romværapplikasjoner i Nordområdene vil en antenne på Andøya være ypperlig til dette formålet.

Det er verdt å merke seg at dekningskartet for f.eks. Island/Finland radarene er teoretiske og en rekke fysiske betingelser må være oppfylt samtidig for at disse skal gi data over

Svalbard. Radarene ligger ca. 2000 km fra Svalbard, mens radaren har typisk best data-dekning 500-1200 km. Derfor vil en antenne i Oslo/Bergen være til stor nytte i forsknings-sammenheng og til bruk under oppskyting av forskningsraketter på Andøya. En radar i Sør-Norge vil også være til stor nytte for EISCAT_3D. Om denne plasseres i Kiruna vil Island radaren være for langt unna. I tillegg vil en SuperDARN radar på Troll kunne gi bedre forståelse av plasmairregulariteter i den konjugerte atmosfæren over Antarktis.

Deltakelse i SuperDARN gir adgang til deres globale nettverk og data. Dette datanettverket vil nå kunne bli tilgjengelig for norske forskere gjennom den nye koherente radaren som planlegges på Svalbard. Denne radaren ser nord-øst og vil dekke et området over nordkallotten som i dag ikke dekkes av eksisterende radarer, se kapittel 3.2 for mer informasjon. Estimert kostnad for 2-3 antenner er 3M Euro, med en operasjonskostnad på 0.1-0.2 M Euro.

Figur 17: Synsfeltet til de 11 SuperDARN radarene på høyere breddegrader sammen med synsfeltet til den planlagte radaren i Longyearbyen. Bildet nederst til høyre viser en ny SuperDARN radar i Canada.
Kilde: Conoco Phillips Space Physics Proposal



5.8 Oppgradering av EISCAT og EISCAT_3D

EISCAT-radarene er inkoherente radarer som måler parametre relatert til ionosfærisk plasma, slik som elektrontetthet, ionosfæriske temperaturer og hastigheter med begrenset field of view (FOV). Det er et sterkt behov for oppgraderinger av EISCAT-radarene på fastlandet, dersom EISCAT fortsatt skal være ledene på sitt felt, både fordi radarene begynner å bli utdaterte, og fordi radiofrekvensområdet som benyttes etter hvert har blitt tatt over av mobiltelefoni og digitalradio.

EISCAT_3D er et prosjekt for etablering av et nytt EISCAT-radarsystem i Nord-Scandinavia. Forslaget inkluderer en ny fasestyrt sender/mottaker og to til fire nye mottakere og vil muliggjøre tredimensjonal kartlegging av den øvre atmosfære med meget høy oppløsning i tid og rom. Målingene vil ha et utvidet romlig området, samt være kontinuerlige og samtidige. EISCAT_3D er kommet inn på ESFRIs veikart for fremtidige europeiske forskningsinfrastrukturer, etter forslag fra Sverige og med støtte fra Norge og Finland. Dersom dette forslaget realiseres vil byggingen ta to til tre år, mens anlegget antas å ha en levetid på 30 år. Universitet i Tromsø deltar som norsk partner i forberedelsesfasen for EISCAT_3D. Data fra EISCAT er også en



Figur 18: Kunstnerisk illustrasjon av EISCAT_3D.
Illustrasjon: EISCAT_3D

sentral komponent i ESFRI-prosjektet Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System (SIOS).

5.9 Forskningsraketter

For å kunne forstå de komplekse fysiske prosessene bak romvær er det nødvendig med realistiske fysiske beskrivelser av mikro-skala prosesser i den øvre atmosfæren og ionosfæren. Forskningsraketter er den mest effektive måten for å studere disse. Raketter er den eneste måten å kunne studere in-situ målinger i atmosfæren mellom 50 og ca. 250 km. De er også den eneste måten for å gi vertikale profiler av ionosfæren og parametre i atmosfæren over 50 km. Over 250 km tar satellitter in-situ målinger, men en rakett kan bevege seg mye saktere gjennom mediet og dermed få med seg svært detaljerte strukturer. En rakett kan også "times" til en spesielt ønskelig event, og skytes opp under denne. Til dette trengs det gode bakkemålinger for å definere den ønskede situasjonen. Synergien mellom radarer og optiske instrumenter er derfor meget viktig under rakettkampanjer. Det er et generelt ønske fra forskningsmiljøene med mer forskningsdata mellom 90 og 300 km. For å få til dette må flere forskningsraketter skytes opp.

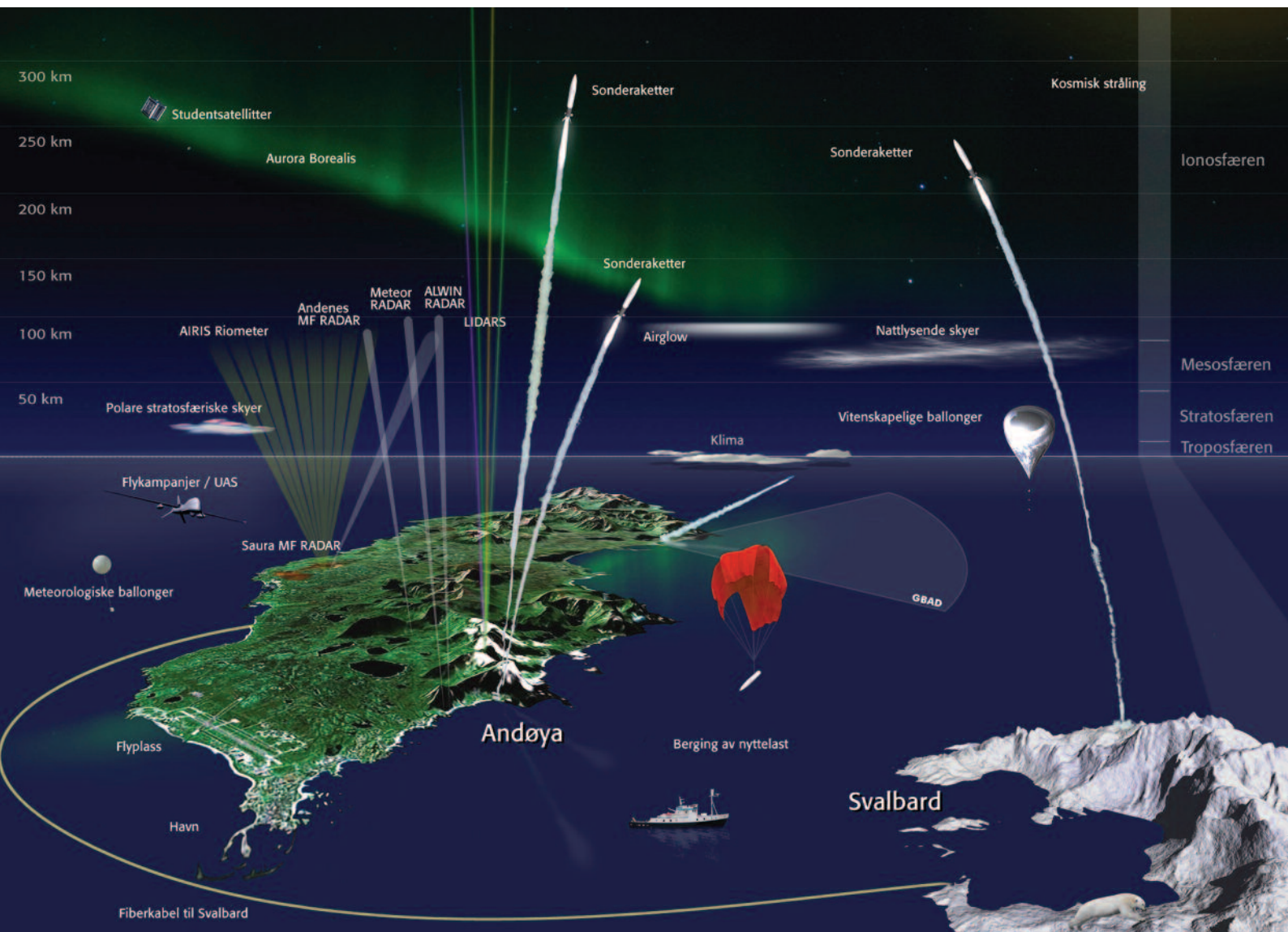
På SvalRak kan raketter skytes opp tilnærmet langs magnetfeltlinjene direkte inn i cusp regionen og inn i den midlere atmosfæren på

80 grader nord. På vinteren skytes rakettene direkte inn i dagsnordlyset som kun er mulig på Svalbard med sin plassering under nordlys-ovalen. Det er svært nyttig å kombinere oppskytinger fra Andøya Rakettskytefelt med rakettmålinger over Svalbard. En rakett kan skytes opp fra Andøya og passere flere tusen km over Svalbard. Raketttbanen vil da være tilnærmet horisontal over Svalbard og bevege seg med lav hastighet som gir detaljerte målinger i rom og tid. Det er i fremtiden ønskelig med 4D observasjoner av turbulens, og til dette kreves raketter med datter-nyttelaster.

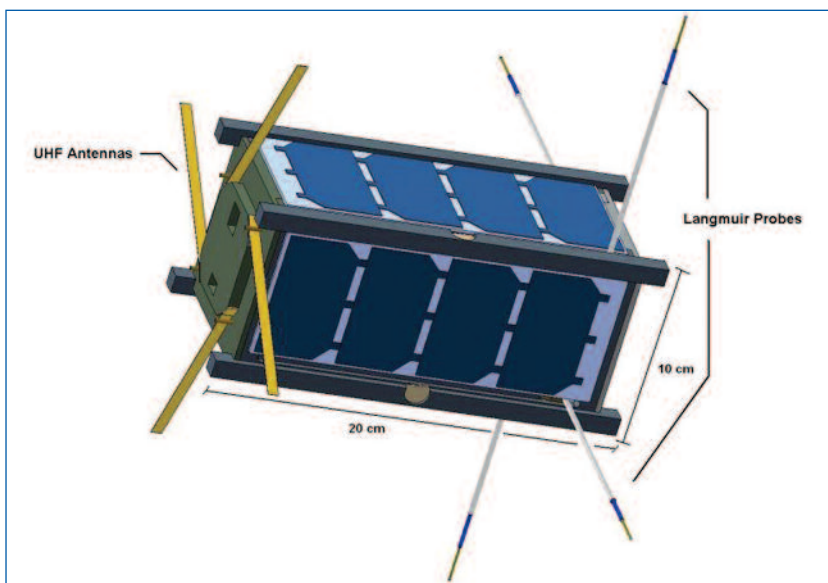
Den forventede økningen i olje- og gassvirksomhet øst i Barentshavet gir Norge en utfordring når det kommer til romvær-problematikk. God romværanalyse og -varsel forutsetter peiling over det aktuelle området mot navigasjonssatellitter. Tilgang til målinger fra Franz Josef Land og Novaja Zemlja, Grønland, Canada og plattformer etablert i området er ønskelig. Bruk av romværinstrumentering på skip vil være et gjennombrudd i denne sammenheng.

5.10 Småsatellitter for romvær

Cubestar er et studentsatellittprosjekt i regi av Universitetet i Oslo, der målet er å bygge en romværsatellitt. Prosjektet er også en demonstrasjon av teknologien bak deres patentin-



Figur 19: Ulike forskningsverktøy i forbindelse med rakettoppskytninger fra Andøya Rakettskytefelt og på Svalbard. Illustrasjon Trond Abrahamsen, ARS.



strument, ”multiple-Needle-Langmuir-Probe, m-NLP”. Instrumentet er laget for å kunne utføre elektrontetthetsmålinger med en høy romlig oppløsning man tidligere ikke trodde var mulig. Instrumentet har vært testet i laboratorium og på diverse forskningsraketter. Det neste trinnet er å teste ut instrumentet på satellitt i bane, og Cubestar vil være plattformen for å oppnå dette målet. Forventet oppskyting for Cubestar-satellitten er 2012/2013.

Figur 20: Cubestar.
 Illustrasjon: Cubestar, UiO
 (http://www.cubestar.no/index.php?p=1_7_Overview)

5.11 Samlokalisering og dataoverføring

Dataoverføring fra avsidesliggende områder kan være problematisk. På Bjørnøya, Hopen og Jan Mayen trengs det derfor å sikre et nødvendig system for en operativ nytte. Pr i dag må institusjonene selv sette opp sine egne systemer.

I forbindelse med Galileo blir det bygget en bakkestasjon på Jan Mayen, dette kan muligens sikre nett for forskningsinstrumenter ved at disse instrumentene samlokaliseres med EGNOS/Galileo. Det må i så tilfelle undersøkes om disse instrumentene vil kunne forstyrre Galileo, EGNOS eller LoranC, og om LoranC vil kunne forstyrre nye instrumenter.

Kartverket bruker i dag VSAT (Very Small Aperture Terminal) til dataoverføring der det ikke er nett. VSAT er i utgangspunktet en toveis satellitt bakkestasjon. En av fordelene med VSAT er tilgjengeligheten, men det er svært kostbart. På Jan Mayen har de egen VSAT (64kbits/s), men denne må oppgraderes dersom flere skal bruke den. På Bjørnøya og Hopen har de sanntid i samarbeid med

met.no, der de deler båndbredden. Kostnadsestimat er ca. 200-500 000 norske kroner pr år. TGO har etablert internettsamband på Bjørnøya og Hopen sammen med met.no, men dette er kostbart. TGO eier og betaler 50% sammen med UiB. På Jan Mayen mangler TGO tilstrekkelig samband.

Denne typen infrastruktur anbefales å tas hånd om fra overordnet hold, særlig med tanke på det store fokuset på nordområdesatsningen.

I Antarktis har FUGRO en GPS referansestasjon på Troll. I tillegg er det installert en Galileo sensorstasjon. Ingen av disse stasjonene er egnet som scintillasjonsmottakere, og det er derfor ønskelig med en separat mottaker til dette formålet. Det vil være en mulighet å samlokalisere denne stasjonen med FUGRO sin stasjon og benytte den samme antenneinstallasjonen. Denne mottakeren vil være nyttig i det bilaterale prosjektet mellom CNES og Kartverket, da man ville fått målinger over et vesentlig større området.



Figur 21: Problematisk stasjoner for dataoverføring er ringet rundt med rødt: Jan Mayen, Bjørnøya og Hopen. Bildet er modifisert fra Wikipedia.

6. Videre anbefaling

De spurte miljøene har relativt like ønsker for nye investeringer og oppgraderinger av eksisterende infrastruktur. Instrumentene nevnt i denne rapporten vil være et viktig bidrag i en romværvarslingsstjeneste, og de vil også gi verdifulle nasjonale data til bruk i forsknings-sammenheng. Noen av ønskene er lettere gjennomførbare enn andre, med tanke på finansiering.

Forslag til prioriteringer

- Tette opplagte hull i dagens dekningsområde i Arktis og i Antarktis for de nevnte instrumenter:
 - dekke magnetometerhullet ved Røst
 - oppgradere magnetometret i Ny-Ålesund
 - erstatte magnetometret på Jan Mayen
 - sikre nettilgang til Jan Mayen
 - ionosonde
 - riometer
 - utplassere riometer på Bjørnøya og i Ny-Ålesund (evt. samarbeid med kineserne)
 - utplassere GPS scintillasjonsstasjoner der det allerede finnes magnetometre
- Stimulere teknologiarbeid:
 - operative romværinstrumenter om bord på skip som går i rutinetrafikk i nordområdene
 - finansiere mulighetsstudier for utplassing av magnetometre og GNSS referansestasjoner på for eksempel bøyer og andre installasjoner på havet for å bedre deknningen i havområdene
- Planlegge fremtidig finansiering:
 - sikre rakettfinansiering gjennom SIOS-prosjektet
 - utarbeide en langsiktig investeringsplan i samarbeid med Forskningsrådet for investering av avanserte radarer på norsk grunn
- Politisk hjelp/rådgivning:
 - sikre og fremme norske bidrag i rom-værdelen av SSA programmet
 - oppfordre til samarbeid mellom landene for å etablere et større dekningsområde og utveksling av data

6.1 Mulige finansieringsløsninger

Økonomisk støtte fra Norsk Romsenter:

- a) Økonomisk støtte fra NRS vil først og fremst være mulig gjennom den offentlige

tilskuddsordningen for nasjonale følgeprogrammer – følgemiddelordningen. Søknadsfristen for å søke følgemidler for året 2013 er foreløpig 1. november 2012. Her kan det f.eks. søkes om penger til investering i instrumentet, dersom søkeren står for driften.

- b) Norsk Romsenter kan selv investere i f.eks. et instrument, dersom det kommer samfunnet til nytte, men dette vil da være snakk om relativt små beløp innenfor eksisterende budsjetter.
- c) Det må vurderes om det skal fremmes et eget satsningsforslag fra Norsk Romsenter til Nærings- og handelsdepartementet om utbygging av romværinfrastruktur.

Finansiering gjennom ESA

Siden Norge er fullverdig medlem av ESA, kan NRS bidra med politisk støtte og hjelp til å søke om finansieringsmidler i ESA. Søktes det om støtte til forskning søker man gjennom PRODEX-programmet, mens støtte i forbindelse med operativ virksomhet søkes fra romværprogrammet i ESA (SSA). Romværprogrammet i ESA vil kunne åpne for nye og store muligheter for norsk forskning og forvaltning og for en god norsk infrastruktur. Nye planer for ESAs romovervåkingsprogram skal vedtas på ESAs minister-konferanse i november 2012.

Forskningsrådet og andre kilder

Et viktig bidrag til radarene er nå under prosjektering for plassering på Svalbard. Radaren har blitt vedtatt støttet fra "ConocoPhillips Space Physics Proposal", og den vil etter planen bygges nær Longyearbyen for å kunne overvåke himmelen over Svalbard og polkalotten. Denne avanserte og dyre radaren er et svært etterlengtet ønske blant forskningsmiljøene, og nødvendig for den videre forskningen på blant annet romvær. En SuperDARN radar ønskes også i Sør-Norge for å kunne overvåke atmosfæren over Andøya. Denne radaren vil kunne være til stor nytte under rakettkampanjer på Andøya. Raketttskytefelt siden den vil gi in situ informasjon om ionosfæren over Andøya. I samarbeid med Forskningsrådet vil det derfor være ønskelig med en utredning av nytteverdien av en slik radar. Det er også ønskelig med en radar for konjugerte målinger i Antarktis

og en radar i Bergen til å overvåke atmosfæren over Sør-Norge.

Teknologiutvikling

Å kunne gjøre målinger av atmosfæren over havområdene er svært ønskelig, men vanskelig å få til. Ved å motivere teknologibransjen til å starte med utvikling av f.eks. GPS referansestasjoner til plassering på skip, vil man få vesentlig bedre dekning til å forbedre navigasjonstjenester under romvær. Dette er et spennende tema som vil kombinere romfysikk og reguleringsteknikk.

Kartverket har i dag plassert sine GPS referansestasjoner jevnt fordelt rundt i Norges land, og får tilsvarende gode målinger over hele landet under en eventuell solstorm. Å kunne utvide denne dekningen med de østlige delene av Svalbard, Norskehavet og Barentshavet, vil være en stor gevinst både for Kartverket, men også for brukerne av GNSS.

Bilaterale avtaler

Å samarbeide på tvers av landegrensene vil kunne være aktuelt f.eks. i forbindelse med magnetometerkjeden til TGO. Det finnes allerede magnetometre på Svalbard, men ved å inkludere sanntidsdata fra magnetometre på Grønland og i Canada vil datadekningen til TGO i nordområdene med en gang bli vesentlig forsterket.

Det samme gjelder for Kartverkets GPS referansestasjoner. En stasjon på Grønland og en på Frans Josef land vil øke dekningsområdet, og et samarbeid mellom Russland, Danmark og Norge kan bli aktuelt i denne sammenheng. Et viktig spørsmål er om Danmark blir med i neste fase av ESAs SSA program fra 2013.

Rakettfinansiering

SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System)

SIOS har til hensikt å etablere en omfattende Arktis observasjonsplattform fasilitet på og i områdene rundt Svalbard. SIOS ble et ESFRI prosjekt i 2008 (European Strategy Forum on Research Infrastructures). ESFRI er et rådgivende organ opprettet av Europakommisjonen i forbindelse med strategisk satsning på infrastruktur og forskning i Europa.

SIOS består av to hovedelementer.

1. Videreutvikle og utfylle eksisterende infrastruktur og observasjonssystemer på Svalbard og i havområdene rundt øygruppen. Målet er en heldekkende infrastruktur innenfor hav, atmosfære og rom, is og breer og landjord.
2. Opprette ett felles kunnskapssenter til lagring, integrering og tilgjengeliggjøring av de innhentende data.

Som utgangspunkt for SIOS prosjektet er det derfor blitt foretatt en omfattende gapanalyse av eksisterende infrastruktur og med forslag til ny infrastruktur i områdene på og rundt Svalbard. Analysen har tatt utgangspunkt i 11 forskningsområder, "key research topics" (KT), der KT1 er "Vertical coupling in the Arctic atmosphere and coupling to space". KT1 inneholder elementer som er relevante for romvær. SIOS fokuserer på forskning og legger særlig vekt på forståelse av fysiske prosesser og klimaendringer. Eksisterende og foreslått infrastruktur er dog overlappende med hva som trengs for romvær, og det vil derfor være viktig å sørge for at planene for romvær- infrastruktur og SIOS-infrastruktur koordineres.

Fullverdig finansiering av raketter er en utfordring fordi det krever mye penger til å bygge raketter og til å utvikle gode nok måleinstrumenter. Studier fra raketter på Svalbard er nødvendig for å kunne løse flere av de vitenskapelige problemene definert i gapanalysen til SIOS (KT1). Rakettmålinger i synergi med den unike bakkestrukturen på Svalbard og i SIOS området vil gi forskerne gode forutsetninger for å studere og forstå de viktige prosessene som danner romvær i ionosfæren. Målingene er også relevante til valideringsbehovene for kommende operasjonelle romværtjenester. Finansiering av ICI-serien av raketter for romværstudier ønskes derfor sikret i SIOS. 1-2 norske forskningsraketter (ICI-rakettene) ønskes skutt opp årlig, samt i gjennomsnitt 1-2 raketter årlig i samarbeid med internasjonale partnere.

Rakett-samarbeid med internasjonale partnere

Mulige partnere og finansiering i samarbeid med disse er avhengig av den politiske situasjonen og beslutningstakerne. Teoretisk er

USA, Japan, Canada, Tyskland, Kina og Russland mulige samarbeidsland.

Nasjonal følgemiddelordning

Forskningsrådet støtter vitenskapelige prosjekter. Søknader hos Forskningsrådet må gjennom en vitenskapelig vurdering før de

godkjennes. Godkjennes søknaden, sendes en søknad til Norsk Romsenter om støtte til finansiering av nyttelastplattformen og bæreraketten. Utfordringen er at man er avhengig av ulike poster på statsbudsjettet som ikke er synkronisert.

7. Konklusjon

Nordområdestrategien er en av regjeringens viktigste satsinger, der nordområdene skal settes på kartet både nasjonalt og internasjonalt. Med den økte nordområdesatsingen og den stadig økende aktiviteten i nordområdene er overvåking av romvær svært viktig. Norsk Romsenter og flere andre norske aktører vurderer derfor å investere i romværrelatert infrastruktur for å styrke Norges rolle på dette feltet. Romværet vil påvirke alle som ønsker å drive aktivitet i nordlige områder, og med Norges unike beliggenhet er det et nasjonalt ansvar å sikre bl.a. trygg navigasjon og god kommunikasjon i disse områdene.

Denne rapporten viser at det er behov for både oppgradering, investering i nytt utstyr og dekningsforbedring av romværinfrastrukturen i Norge. I tillegg ser man nå et behov for å teste ut måleinstrumenter om bord på skip og bøyer for å bedre dekningsforholdene i havområdene. Dette gjelder spesielt GNSS scintillasjonsmottakere, GPS referansestasjoner og magnetometre. Ionosonde- og riometernetverket ønskes utvidet og oppgradert. Det er et generelt ønske å tette datahull i dagens målinger, bl.a. i magnetometernetverket. For at dette skal bli mulig, er det viktig å sikre bedre tilgang til nett- og dataoverføring fra avsidesliggende steder som Bjørnøya, Hopen og Jan Mayen. Finansiering av forskningsraketter og nye forskningsradarer er en utfordring pga de høye investerings- og driftskostnadene, men det ses nå på mulighetene for å sikre 2-3 rakettopskytninger i året gjennom SIOS prosjektet. Investering av nye radarer må ses på som en langtidsinvestering i samarbeid med bl.a. Forskningsrådet.

Det er en økende interesse for romvær i Norge. Spesielt kraftbransjen med NVE og Statnett i spissen har opparbeidet seg en god forståelse for fenomenet. De har sett nærmere på effekter av jordstrømmer i Norge og gjennom dette arbeidet har de nå kommet frem til tiltak for hvordan strømmettet i Norge kan gjøres bedre rustet mot de induerte jordstrømmene. Diverse seminarer har blitt arrangert de siste årene for å bedre forståelsen blant



Figur 22: NOAAs romværvarslings-senter. Tilsvarende senter ønskes nå bygget opp i Europa basert på den eksisterende infrastrukturen. Foto: NOAA Space Weather Prediction Centre

norske aktører, bl.a. et Nordisk symposium i København januar 2012, der hovedfokuset var romvær og utfordringer med GIC i kraftforsyningen. Høsten 2012 arrangeres det en stor romværkonferanse i Oslo i regi av TIEMS (The International Emergency Management Society). Konferansen skal fokusere på hvilke utfordringer romværet har for det moderne samfunn og ser ut til å få stor oppslutning.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) vil i løpet av 2012 levere sin rapport med risikovurdering av at en verst tenkelig solstorm rammer Norge.

Romvær er også et svært aktuelt tema i Europa, og frem mot ESAs ministerkonferanse i november 2012 vil det være viktig å spille inn nasjonale behov og mulige tjenester Norge kan bidra med i SSA-programmet. Det er viktig at Norge sikrer seg roller i overgangen fra grunnforskning til operasjonalisering i den kommende europeiske romværvarslingstjenesten.

Samtidig må det planlegges et nasjonalt løp for utvikling, utplassering og drift av nødvendig romværinfrastruktur som ikke kan forventes dekket gjennom europeiske prosjekter.

8. English summary

The High North is one of the main strategic focus areas for the Norwegian government. The High North strategy will highlight Northern areas both nationally and internationally. With the increased focus in this region, and with the corresponding increasing activity in these northern areas, it is very important to monitor the space weather. The Norwegian Space Centre therefore considers investing in space weather related infrastructure to strengthen Norway's role in this field. Space weather will affect anyone who wants to do activity in the northern areas, and with Norway's unique location, there is a national responsibility to ensure both safe navigation and good communication in these areas.

The need for a reliable space weather forecast of high quality is necessary and highly wanted among Norwegian users. The most relevant user groups in Norway are within communications, navigation and the power industry. In particular, the power industry with NVE and Statnett in the lead has gained a good understanding of the phenomenon. They have looked at the effects of ground currents in Norway, and through this work they have now come up with ideas for how the power grid in Norway can be better protected from the induced ground currents. Various seminars have been held in the recent years to improve the understanding of space weather, including a Nordic symposium in Copenhagen held in January 2012 where the main focus was space weather issues and the challenges of ground induced currents. In autumn 2012 there will be a big space weather conference in Oslo organized by TIEMS (The International Emergency Management Society). This conference will focus on space weather challenges for the modern society and the conference seems to get good attention.

DSB (Directorate for Civil Protection and Emergency Planning) will in spring 2012 submit their report with a risk assessment where a worst-case solar storm affects Norway.

This report provides an overview of existing infrastructure and wanted infrastructure in Norway and on Svalbard that can be used for space weather monitoring. Relevant Norwegian institutions have provided feed-

back with their wishes and instrumentation needs for the future. In addition to this, there is now a need to test out potential instruments to be placed on board ships and buoys in order to improve the coverage over the oceans. This applies in particular to GNSS scintillation receivers, GPS reference stations and magnetometers. The ionosonde and riometer network requires upgrading and expanding. There is a general wish to fill data gaps in current research, the magnetometer network among others. To make this possible, it is important to ensure access to networks and data transmission from remote locations such as Bjørnøya, Hopen and Jan Mayen. Funding of research rockets and new scientific radars are a challenging task because of the high investment- and operating cost.

The opportunities to secure 2-3 rockets launches per year through the SIOS project are currently being investigated. Construction of new radars has to be considered as a long-term investment in collaboration with the Norwegian Research Council among others.

Also in Europe the space weather interest is increasing, and Norway wants to contribute to the development of a future European Space Weather Service and to ESAs Space Situational Awareness (SSA) program. Towards the ESA Ministerial Conference in November 2012 it will be important to examine the national needs and the possible services Norway can contribute with. The common goal is to have a fully coordinated space weather sector in Europe with a continuous monitoring system where data from scattered infrastructure will be collected through international cooperation. Norway is uniquely located for space weather studies and has access to excellent installations for monitoring space weather. Good coverage of geomagnetism data, real time monitoring of the ionosphere and development of instruments as passengers onboard upcoming European satellites are examples of such possible contributions.

National development, deployment and operation of necessary space weather infrastructure that cannot be expected to be covered through European projects must also be planned.

Forkortelser

ACE	Advanced Composition Explorer
AIS	Automatic Identification System
ALOMAR	Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research
ARS	Andøya Rakettskytefelt
CNES	Centre National d'Études Spatiales
CME	Coronal Mass Ejection
DLR	Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)/ German Aerospace Center
DMI	Danish Meteorological Institute
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
EISCAT	European Incoherent Scatter
ESA	European Space Agency
ESAC	The European Space Astronomy Centre
ESC	Expert Service Centres
ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures
EU	European Union
FFI	Forsvarets forskningsinstitutt
FOV	Field of view
GEO	Geostationary Earth Orbit
GIC	Geomagnetic induced currents
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HF	High frequency
ICI	Investigation of Cusp Irregularities
IGS	International GNSS Service
ILWS	International Living With a Star Program
ISS	International space station
ITA	Institutt for astrofysikk
JAXA	Japanese Aerospace Exploration Agency
KLM	Kjell Henriksen Observatoriet
LEO	Low Earth Orbit
LDCR	Longyearbyen Dynamic Coherent Radar
MEO	Medium Earth Orbit
m-NLP	multiple-Needle-Langmuir-Probe
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NRS	Norsk Romsenter
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
PP	Preparatory Programme
PRODEX	PROgramme de Développement d'EXpériences scientifiques
PSW	Polar Communications and Weather
SDO	Solar Dynamics Observatory
SIOS	Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System
SSA	Space Situational Awareness
SSCC	SWE Service Coordination Centre
STFC	Science & Technology Facilities Council
SuperDARN	Super Dual Auroral Radar Network
SWENET	Space Weather European Network
TEC	Total electron content
TGO	Tromsø Geofysiske Observatorium
TIEMS	The International Emergency Management Society
UiB	Universitetet i Bergen
UiO	Universitetet i Oslo
UiT	Universitetet i Tromsø
UNIS	Universitetssenteret på Svalbard
VHF	Very high frequency
VSAT	Very Small Aperture Terminal

Kilder

1. Visjon 2015 – Rom for forskning. Norske utfordringer og muligheter: ny satsning på forskning som utnytter rommet. NRS og Norges forskningsråd, Oktober 2005
2. Rapport om romværinfrastruktur i Norge. NRS, 2011
3. Free Executive Summary. Severe Space Weather Events – Understanding Societal and Economic Impacts. Workshop Report, 2008
4. Space Weather Week ESWW8, 2011
5. Møte mellom TGO og NRS, 1. november 2011
6. Romvær - Prosesser og effekter, Knut Svenes FFI-rapport, 5 .juni 2009.
7. Tromsø Geofysiske Observatorium: <http://www.tgo.uit.no/>
8. Statens kartverk: <http://www.statkart.no/nor/Geodesi/Posisjonstjenester/>
9. Andøya Raketttskytefelt: <http://www.rocketrange.no/>
10. Universitetssenteret på Svalbard: <http://www.unis.no/>
11. Kjell Henriksen Observatoriet: <http://kho.unis.no/>
12. EISCAT: <http://www.eiscat.com/>
13. EISCAT_3D: <http://www.eiscat3d.se/>
14. SuperDARN: <http://superdarn.jhuapl.edu/index.html>
15. Hinode datasenter: <http://sdc.uio.no/sdc/welcome>
16. SIOS: http://www.sios-svalbard.org/prognett-sios/Home_page/1234130481072
17. Conoco Phillips Space Physics Proposal Project - Longyearbyen Dynamic Coherent Radar (LDCR)
18. SIOS gapanalyse
19. Trond Ohnstad, Statnett
20. DSB Workshop på NRS, 8. november 2011
21. Space weather – Its impact on Earth and implications for business (Lloyd's 360° Risk Insight)
22. Forecasting the impact of an 1859-caliber superstorm on geosynchronous Earth-orbiting satellites: Transponder resources, Sten F. Odenwald og James L. Green, 2007. <http://www.agu.org/pubs/crossref/2007/2006SW000262.shtml>
23. Space weather events in July 1982 and October 2003 and the effects of geomagnetically induced currents on Swedish technical systems, Wik et.al. 2009: <http://www.ann-geophys.net/27/1775/2009/angeo-27-1775-2009.html>

Forside: NASA

Forord fra venstre

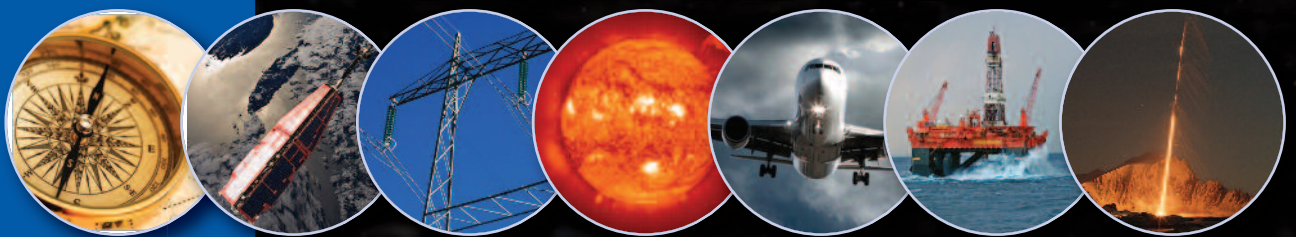
Hotell Tandem Cafe (www.tandem-hotel.de/en/arrival.html), SWARM (ESA)/AEOS Medialab, Statnett, SDO (NASA), [iStockphoto.com/Stephen Strathdee](http://iStockphoto.com/StephenStrathdee), Trond Runar Solevaag/123RF.COM, Foto: Kjell-Bjarne Pettersen.

Figur 3 fra venstre

FFI / NASA / Norsk Romsenter / nyhetsgrafikk.no, [iStockphoto.com/Stephen Strathdee](http://iStockphoto.com/StephenStrathdee), Statnett, Inger Anne Hulbaekdal/123RF.COM, iStockphoto.com/Clicks

Figur 5 fra venstre

FFI / NASA / Norsk Romsenter / nyhetsgrafikk.no, [iStockphoto.com/Stephen Strathdee](http://iStockphoto.com/StephenStrathdee), Statnett, <http://www.kobbvagen.no/sider.asp?ID=15&L=1>, iStockphoto.com/Clicks, iStockphoto.com/AnastasiyaShanhina



Kilder

1. Visjon 2015 – Rom for forskning. Norske utfordringer og muligheter: ny satsning på forskning som utnytter rommet. NRS og Norges forskningsråd, Oktober 2005
2. Rapport om romværinfrastruktur i Norge. NRS, 2011
3. Free Executive Summary. Severe Space Weather Events – Understanding Societal and Economic Impacts. Workshop Report, 2008
4. Space Weather Week ESWW8, 2011
5. Møte mellom TGO og NRS, 1. november 2011
6. Romvær - Prosesser og effekter, Knut Svenes FFI-rapport, 5 juni 2009.
7. Tromsø Geofysiske Observatorium: <http://www.tgo.uit.no/>
8. Statens kartverk: <http://www.statkart.no/nor/Geodesi/Posisjonstjenester/>
9. Andøya Rakettskytefelt: <http://www.rocketrange.no/>
10. Universitetssenteret på Svalbard: <http://www.unis.no/>
11. Kjell Henriksen Observatoriet: <http://kho.unis.no/>
12. EISCAT: <http://www.eiscat.com/>
13. EISCAT_3D: <http://www.eiscat3d.se/>
14. SuperDARN: <http://superdarn.jhuapl.edu/index.html>
15. Hinode datasenter: <http://sdc.uio.no/sdc/welcome>
16. SIOS: http://www.sios-svalbard.org/prognett-sios/Home_page/1234130481072
17. Conoco Phillips Space Physics Proposal Project - Longyearbyen Dynamic Coherent Radar (LDCR)
18. SIOS gapanalyse
19. Trond Ohnstad, Statnett
20. DSB Workshop på NRS, 8. november 2011
21. Space weather – Its impact on Earth and implications for business (Lloyd's 360° Risk Insight)
22. Forecasting the impact of an 1859-caliber superstorm on geosynchronous Earth-orbiting satellites: Transponder resources, Sten F. Odenwald og James L. Green, 2007. <http://www.agu.org/pubs/crossref/2007/2006SW000262.shtml>
23. Space weather events in July 1982 and October 2003 and the effects of geomagnetically induced currents on Swedish technical systems, Wik et.al. 2009: <http://www.ann-geophys.net/27/1775/2009/angeo-27-1775-2009.html>

Forside: NASA

Forord fra venstre

Hotell Tandem Cafe (www.tandem-hotel.de/en/arrival.html), SWARM (ESA)/AEOS Medialab, Statnett, SDO (NASA), [iStockphoto.com/Stephen Strathdee](http://iStockphoto.com/StephenStrathdee), Trond Runar Solevaag/123RF.COM, Foto: Kjell-Bjarne Petersen.

Figur 3 fra venstre

FFI / NASA / Norsk Romsenter / nyhetsgrafikk.no, [iStockphoto.com/Stephen Strathdee](http://iStockphoto.com/StephenStrathdee), Statnett, Inger Anne Hulbaekdal/123RF.COM, iStockphoto.com/Clicks

Figur 5 fra venstre

FFI / NASA / Norsk Romsenter / nyhetsgrafikk.no, [iStockphoto.com/Stephen Strathdee](http://iStockphoto.com/StephenStrathdee), Statnett, <http://www.kobbvagen.no/sider.asp?ID=15&L=1>, iStockphoto.com/Clicks, iStockphoto.com/AnastasiyaShanhina