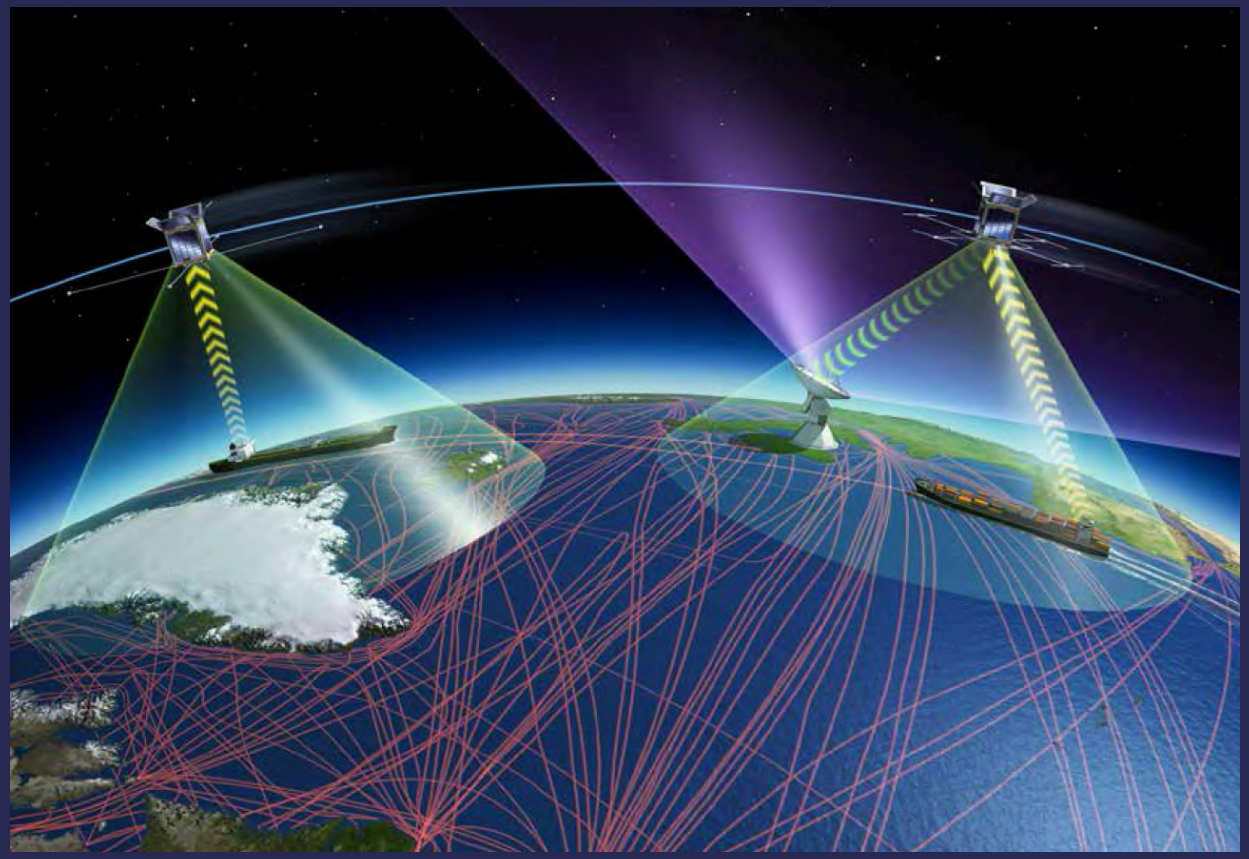
Hva ville skje hvis satellittene sluttet å fungere?



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Kjetil Bilic Michaelsen
Sektoransvar forsvar
kjetil.michaelsen@spaceagency.no

Satellitter bidrar til bedre sikkerhet, men også økt sårbarhet i samfunnet

- Satellitter, baner og bruk
- Hva kan forstyrre satellitter
- Tjenester som kan falle ut

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

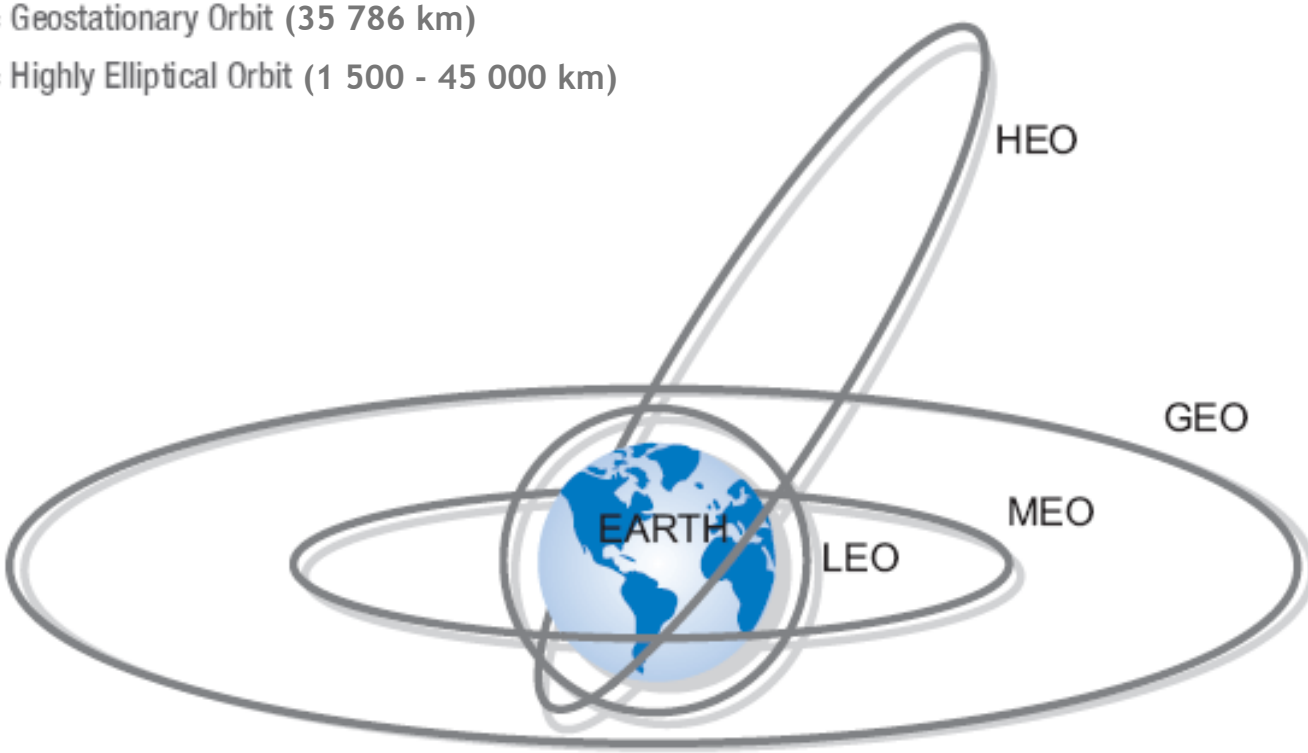
Satellittbaner

LEO = Low Earth Orbit (100 - 1 500 km)

MEO = Medium Earth Orbit (5 000 - 25 000 km)

GEO = Geostationary Orbit (35 786 km)

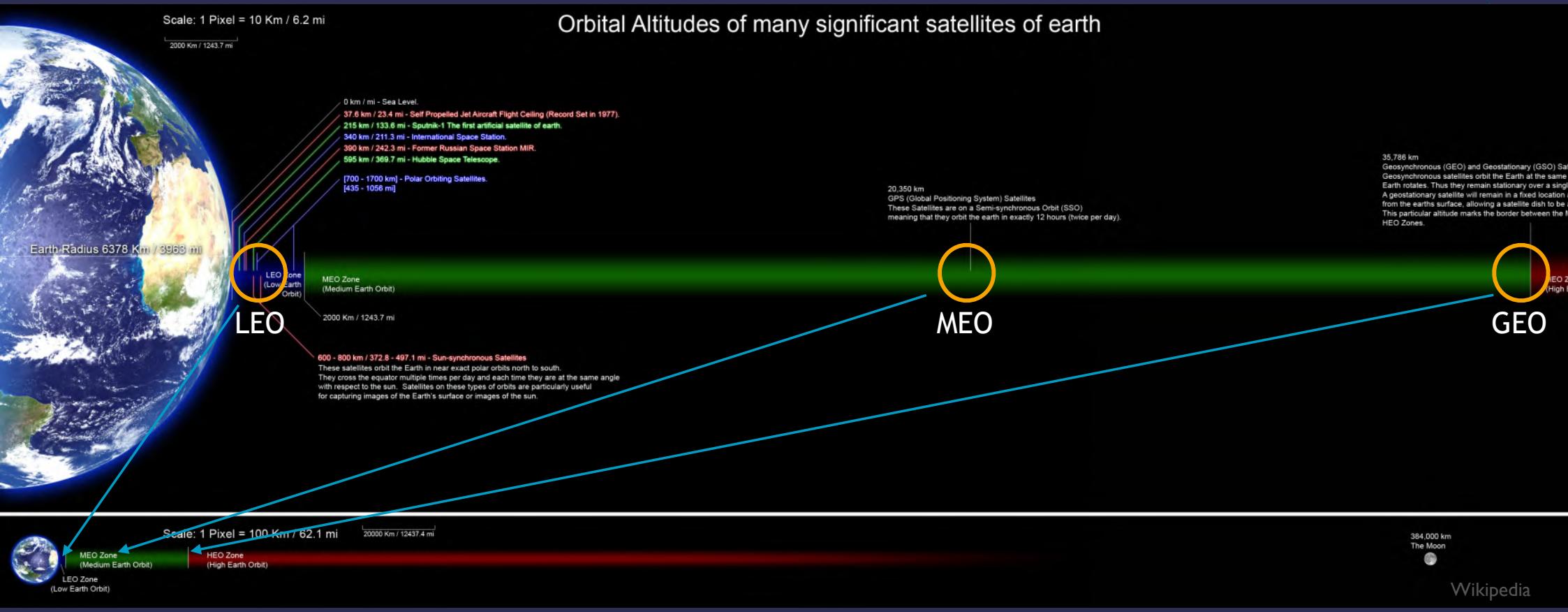
HEO = Highly Elliptical Orbit (1 500 - 45 000 km)



Ikke i skala

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

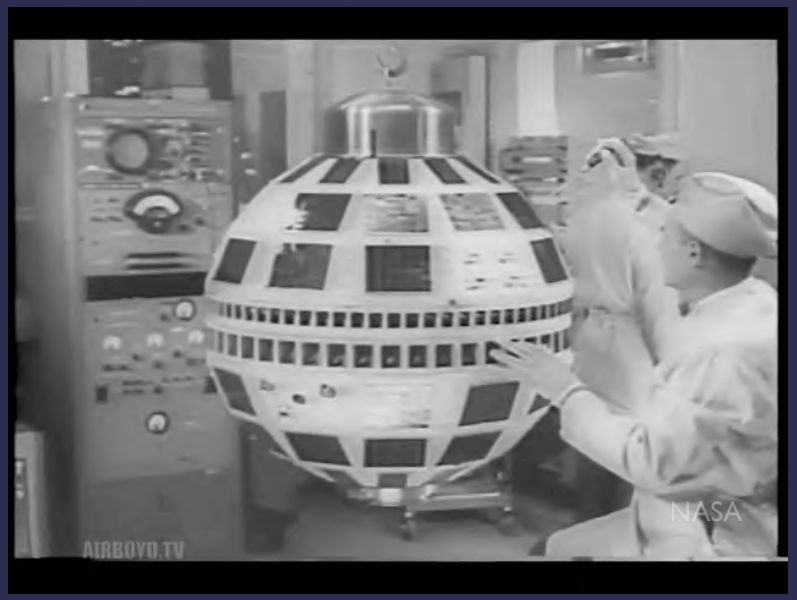
Satellittbaner



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Telekommunikasjon

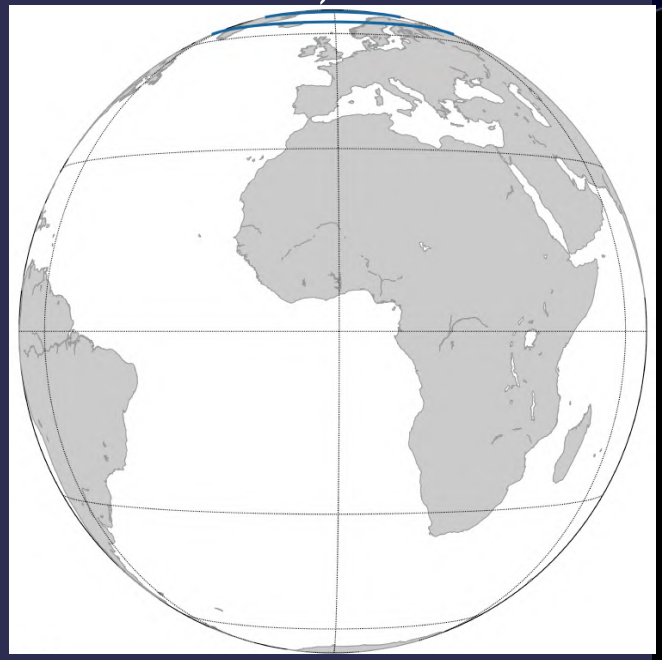
- Telstar - verdens første telekommunikasjonssatellitt - 1962
- Inspirerte til Englands første nummer 1 hit i USA.

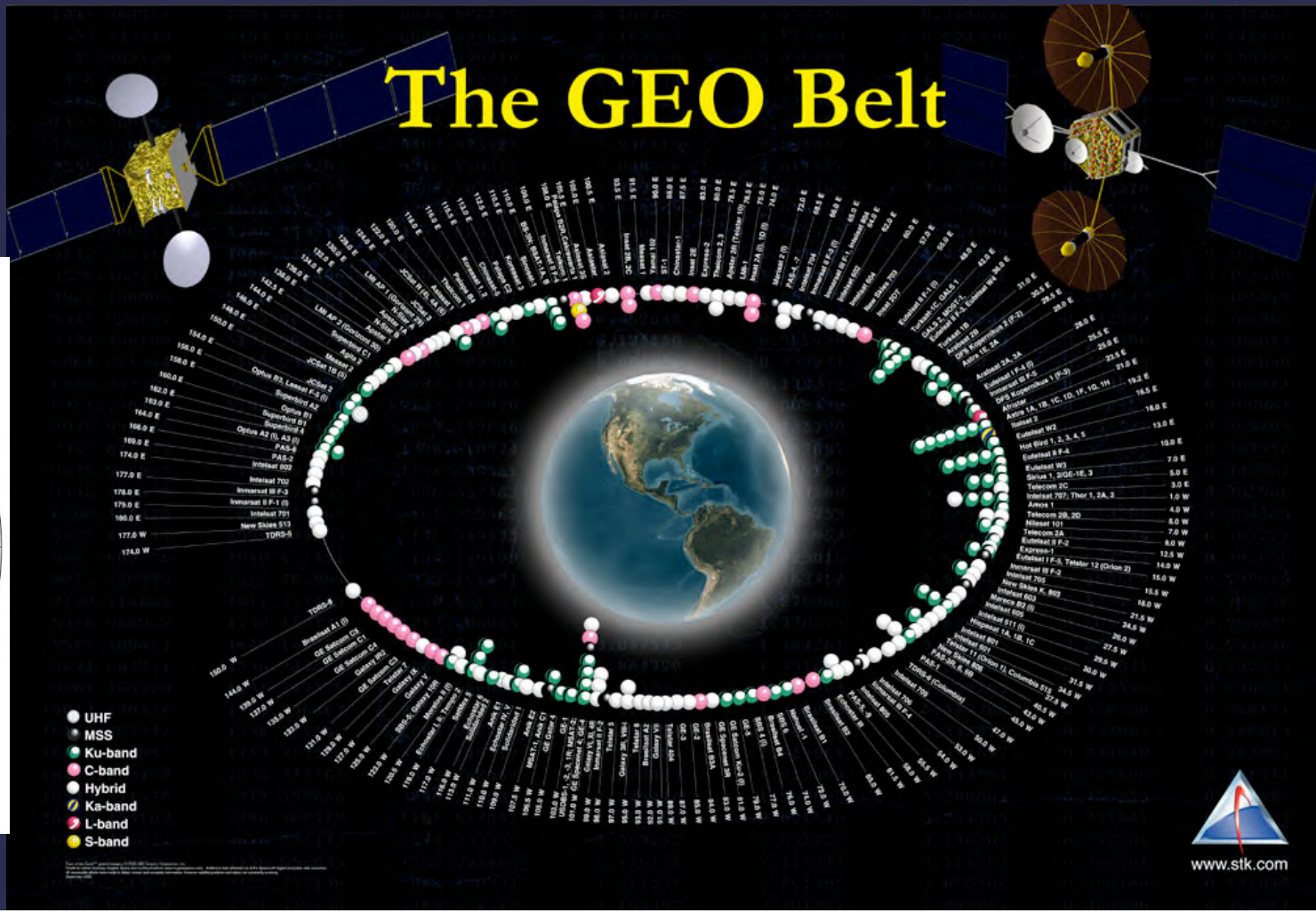


Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Geostasjonære satellitter (GEO)

- Telekommunikasjon
- TV-satellitter
- Værsatellitter (GOES, Meteosat)

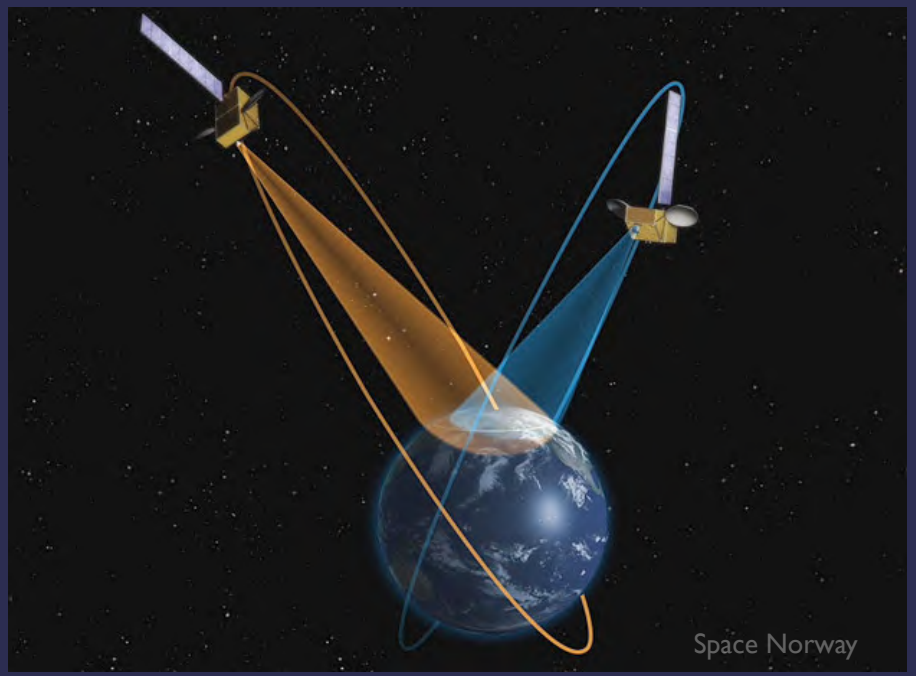


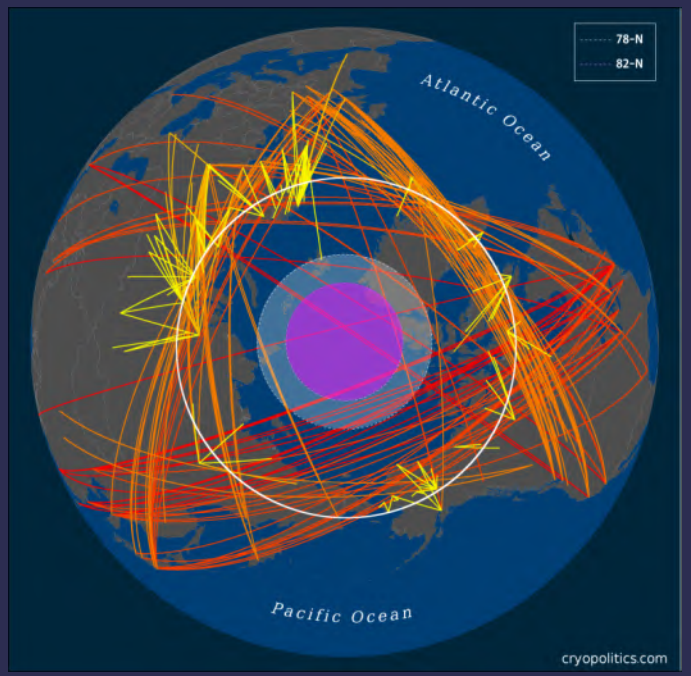


Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Høy inklinasjonsbane (HEO)

- Vil muliggjøre bredbånd og satellittkommunikasjon i Arktis





SVALBARDPOSTEN
VERDENS NORDLIGSTE AVIS

– Raskt og stabilt internett er viktig for de som driver aktivitet i nordområdene. Nyheten om milliardbevilgningen ble offentliggjort etter statsråd i dag. FOTO: Hilde Røsvik

En milliard til bedre dekning

Regjeringen bevilger rundt en milliard kroner slik at Space Norway kan gå videre med planer om å etablere satelittbasert bredbåndkommunikasjon i nordområdene.

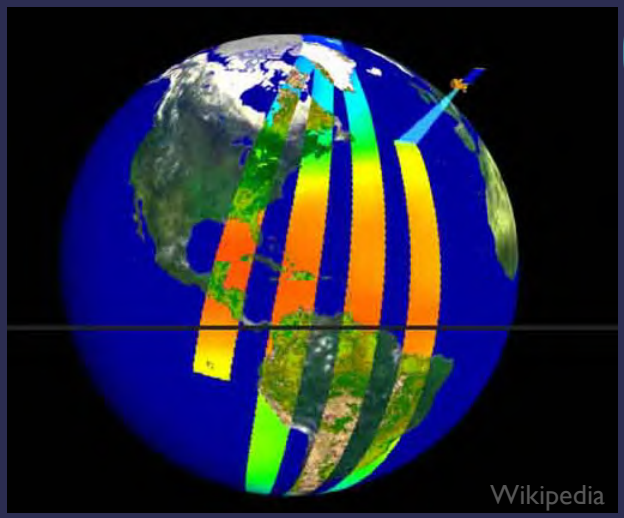
Middels høy bane (MEO)

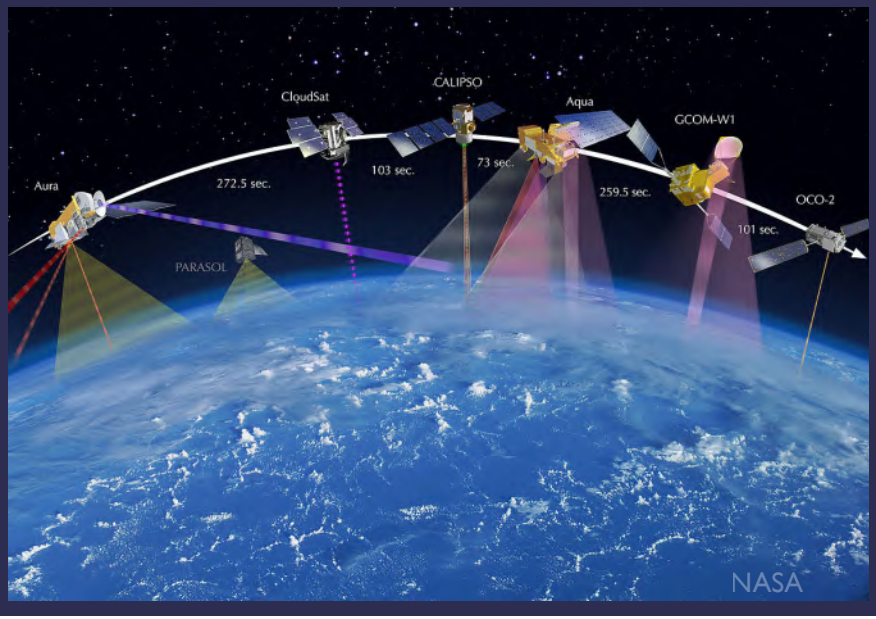
- O3b (8 000 km)
- GPS (20 200 km)
- Galileo (23 200 km)
- Glonass (19 100 km)

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

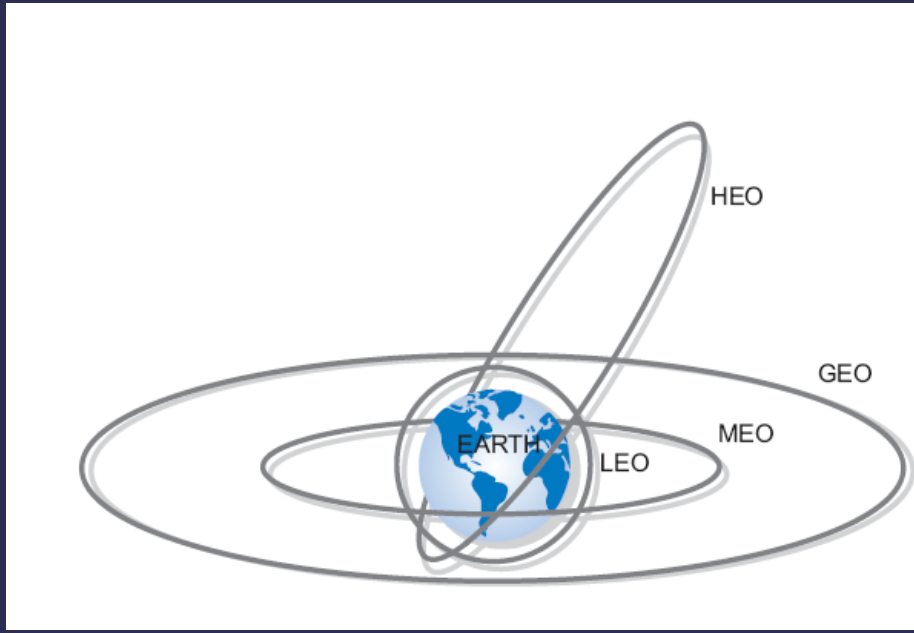
Lavbanesatellitter (LEO) - polarbane

- Jordobservasjon/spionasje
- Astrofysikk/solfysikk
- Telekommunikasjon (Iridium, OneWeb, SpaceX)





Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

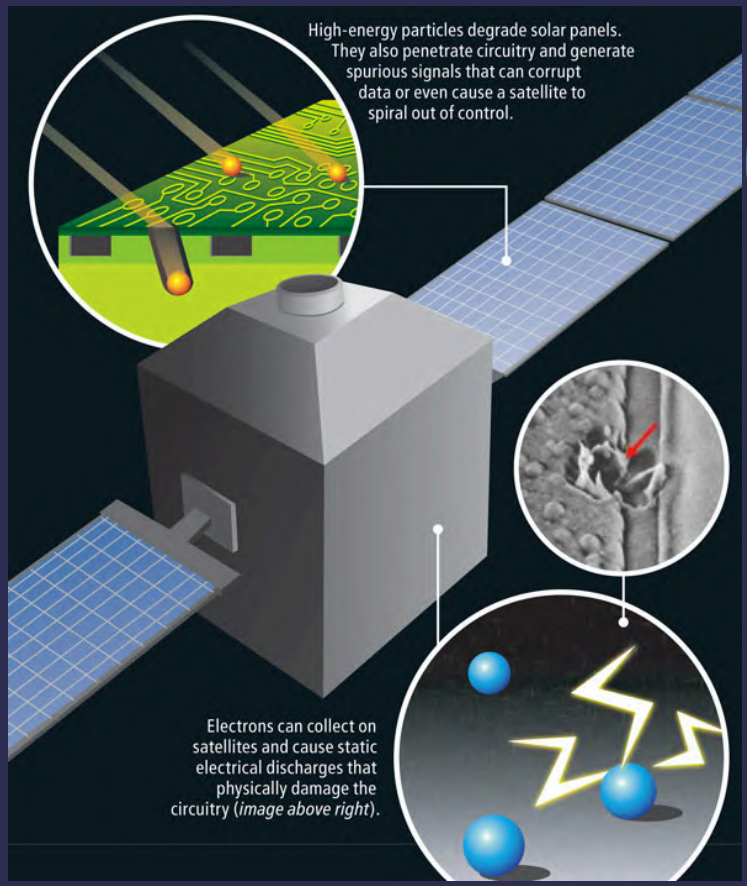
Satellitter bidrar til bedre sikkerhet, men også økt sårbarhet i samfunnet

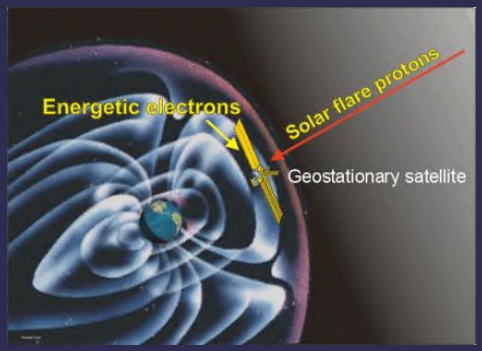
- Satellitter, baner og bruk
- Hva kan slå ut satellitter
- Tjenester som kan falle ut

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Effekter på satellitter

- Statisk utladning
- Degradering grunnet høyenergipartikler
- Degradering av materialer/solpaneler
- Støy på stjerne «trackers»/navigasjonssystemer
- Orienteringsproblemer
- Økt «luft»-motstand («drag»)
- Mikro meteoritt-skader
- Romsøppel-treff
- Signalforstyrrelser





Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Hva kan slå ut satellitter

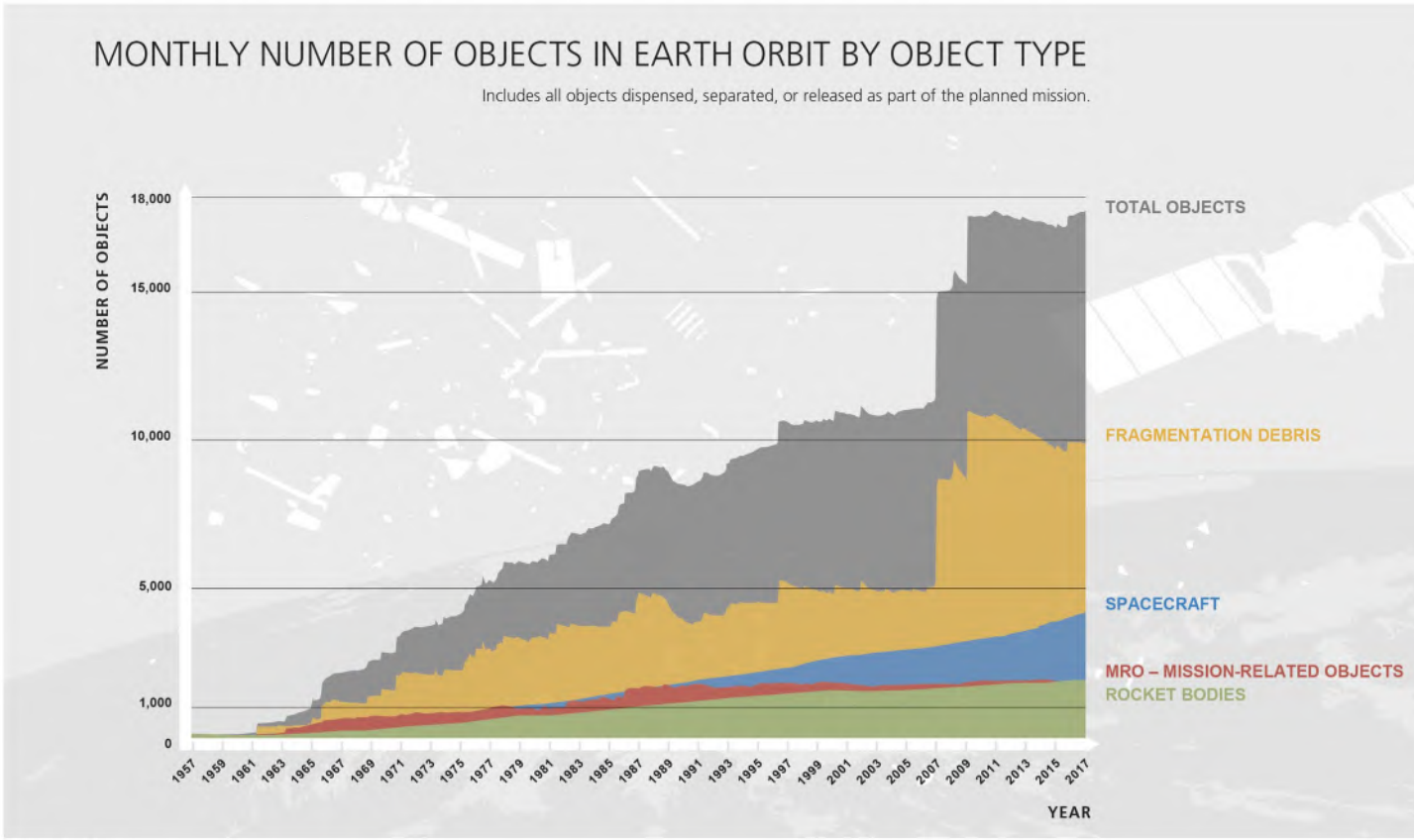
- Romsøppel
- Asteroider/meteoritter
- Solstormer
- Jamming/Cyber-angrep

Slike trusler mot rom-infrastrukturen er reell og myndigheter verden rundt jobber med å gjøre systemene mest mulig robuste.

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Satellitter og romsøppel

- 8000 satellitter skutt opp
- 5000 i fremdeles i bane
- 2000 operative
- 20.000 objekter > 10 cm
- 700.000 små objekter



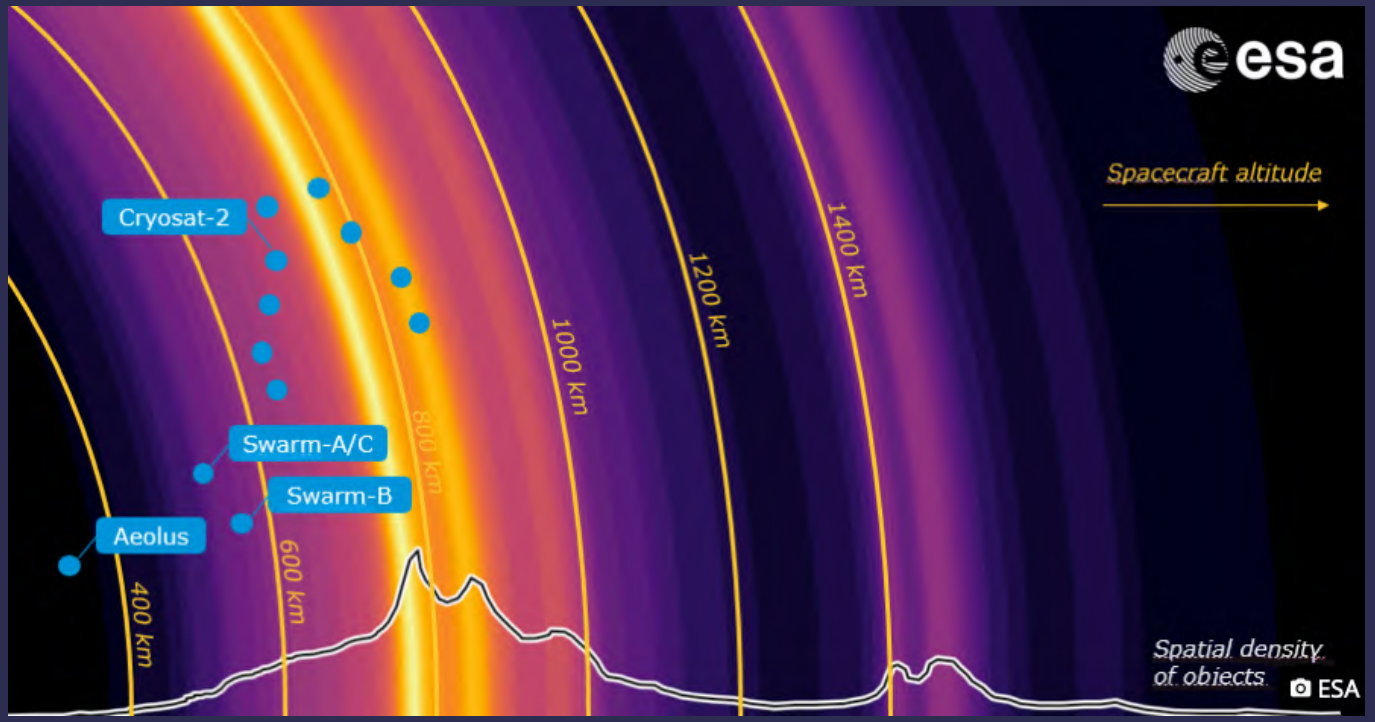
Source: NASA

DLR

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Satellitter og romsøppel

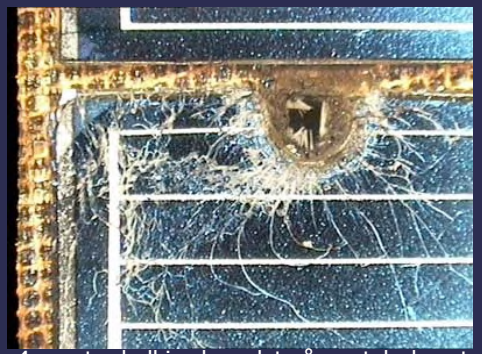
- 8000 satellitter skutt opp
- 5000 i fremdeles i bane
- 2000 operative
- 20.000 objekter > 10 cm
- 700.000 små objekter



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Romsøppel

- Kollisjon mellom satellitter
- Kollisjon med fragmenter

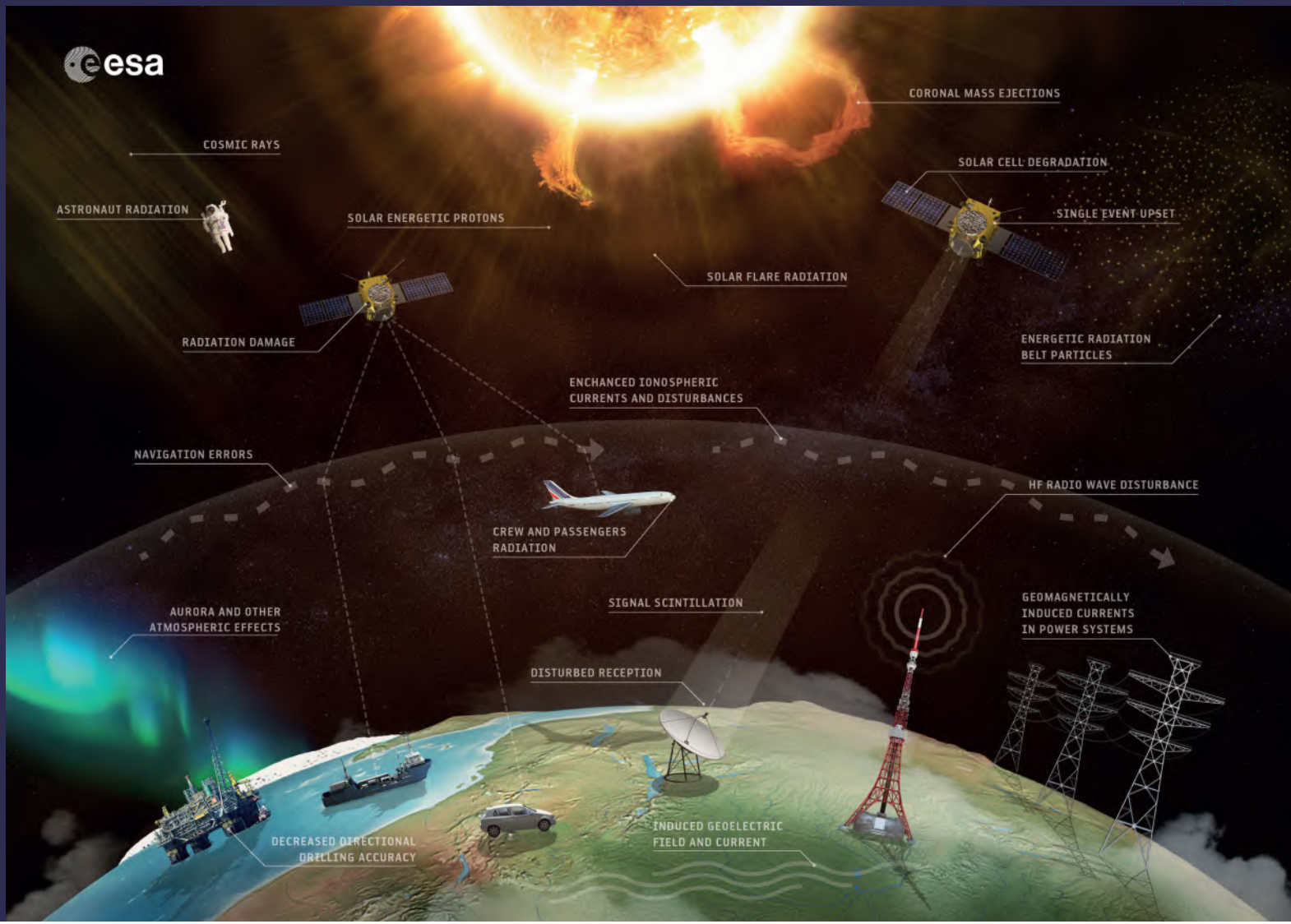

4 cm stor hull i solpanelet på romteleskopet.
NASA

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

- https://platform.leolabs.space/visualization

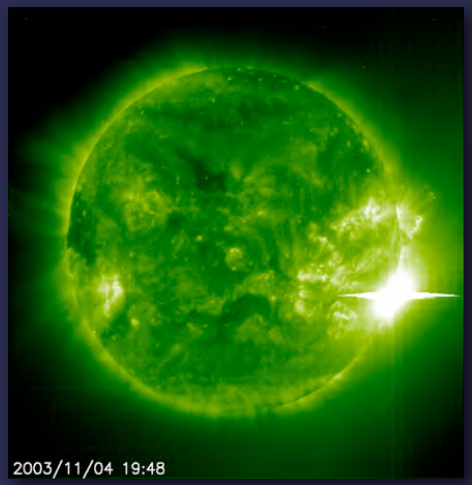
Romvær

- Sola er 150 mill. km borte, men skader fortsatt liv og utstyr!
- Jordens atmosfære beskytter oss mot det meste.
- De effektene solen har på jorden og dens nære verdensrom kalles romvær.

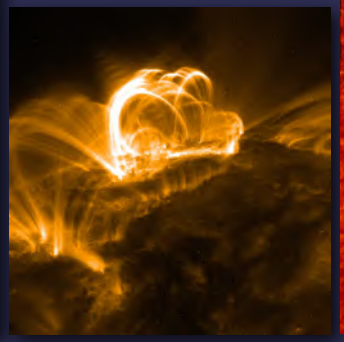


Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

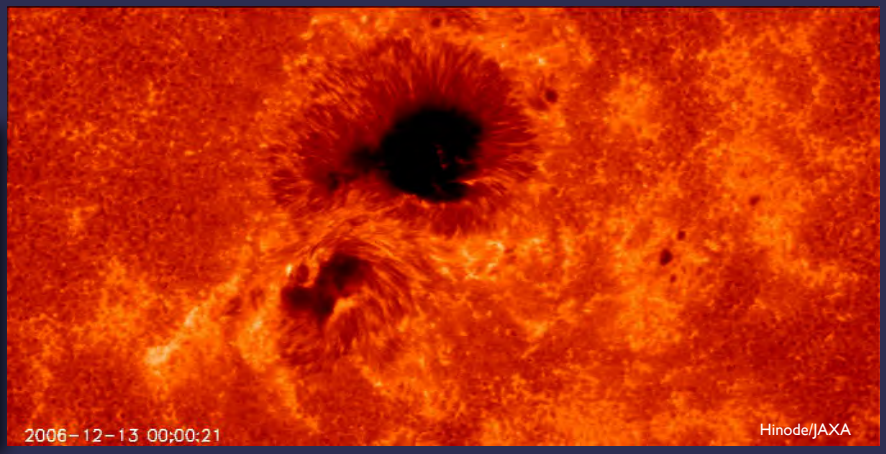
EKSPLOSJONER PÅ SOLEN - FAKLER/FLARES



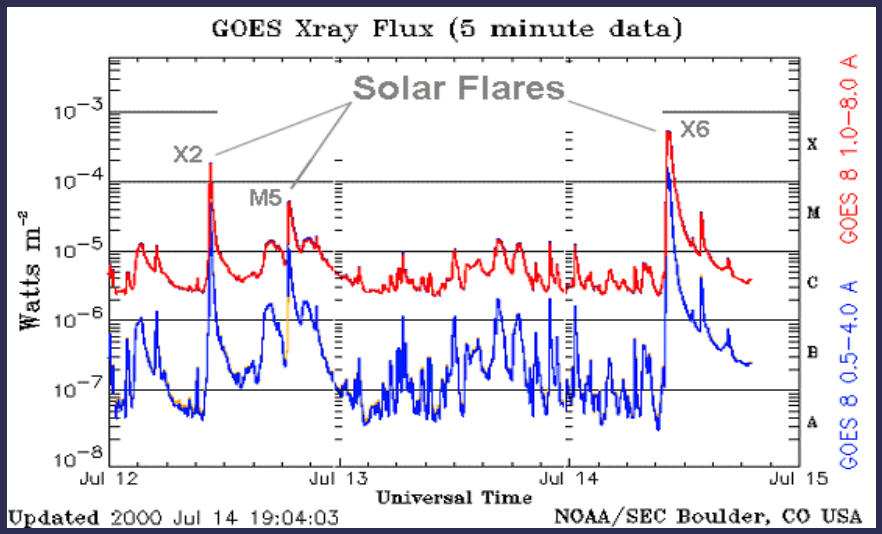
SOHO(NASA/ESA)



TRACE/NASA

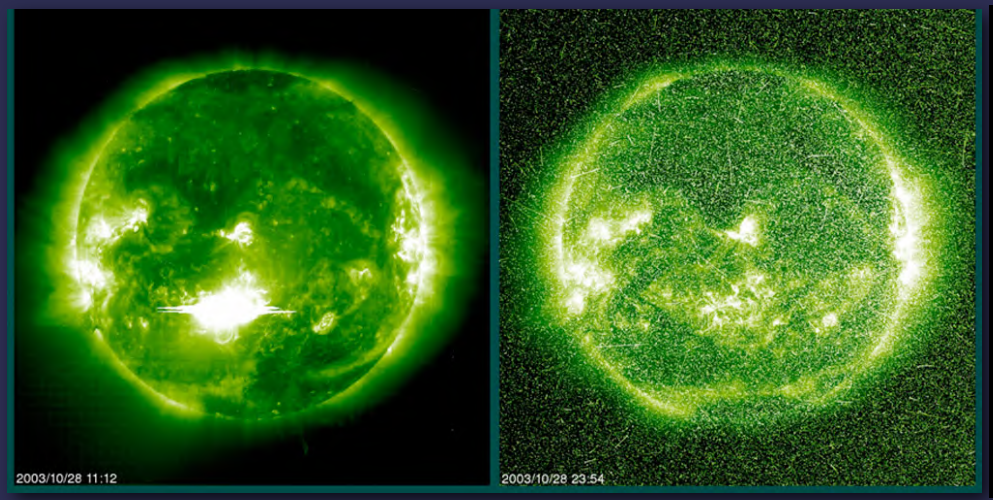


Magnetfeltet i store aktive regioner på sola blir ofte ustabilt og resulterer i voldsomme eksplosjoner i solatmosfæren.
Dette avgir store mengder UV- og røntgenstråling.

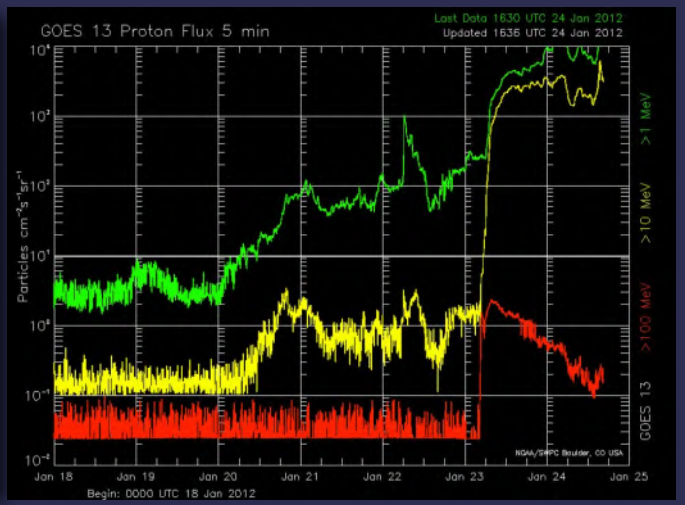


Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

PARTIKKEL/PROTON-DUSJER FRA SOLEN



SOHO(NASA/ESA)

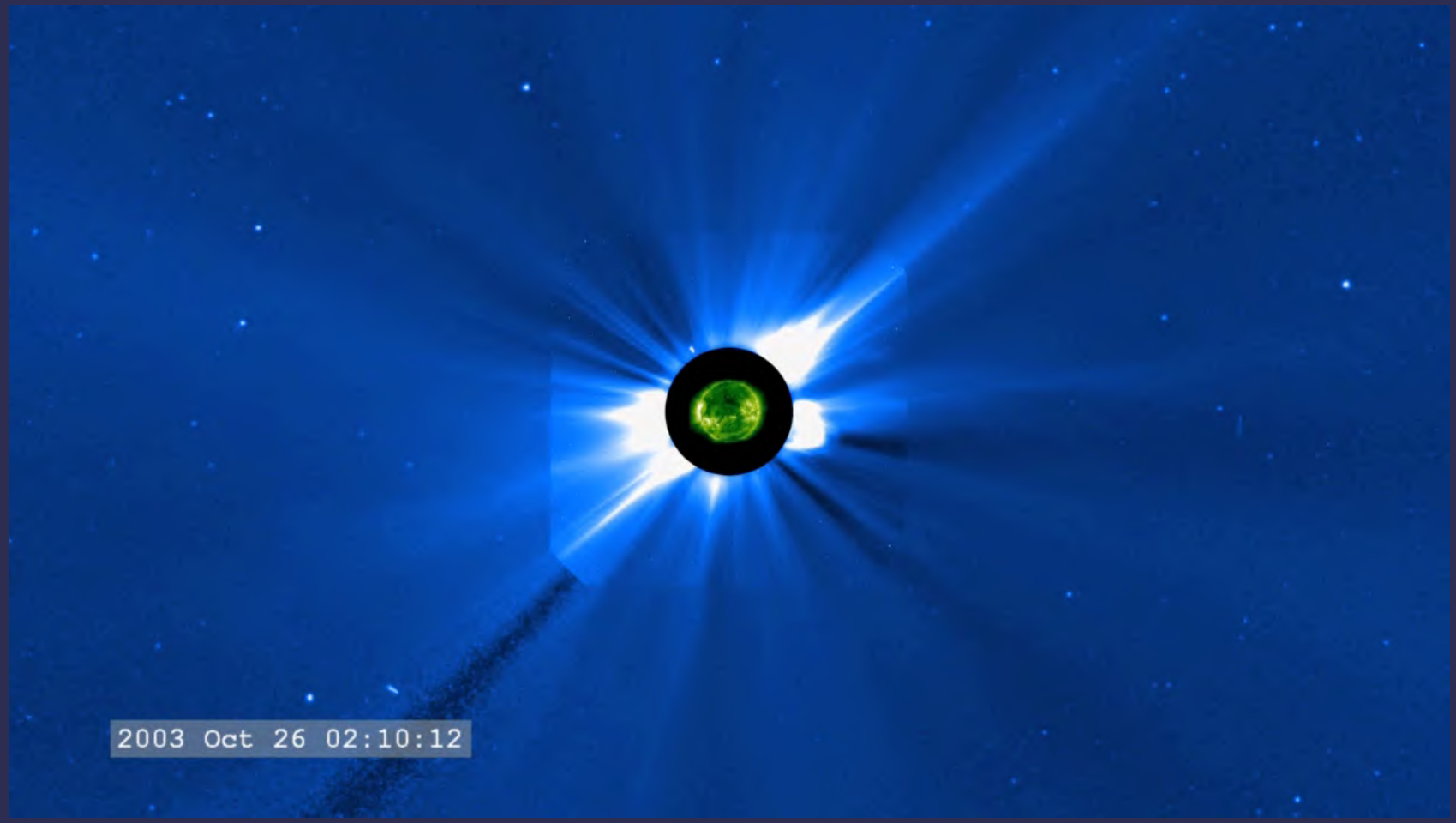


Noen få ganger vil eksplosjoner eller utbrudd akselerere store mengder partikler til nesten lysets hastighet. Slike dusjer med partikler består stort sett av protoner, og det tar under en time å nå jorden.

Protonene har så høy hastighet og energi at de kan trenge gjennom satellitter og skade elektronisk utstyr. De kan også ødelegge kvaliteten på bilder og vitenskapelige data fra satellittene. Partiklene "blinder" de digitale kameraene, og vi ser en stor mengde støy i bildene.

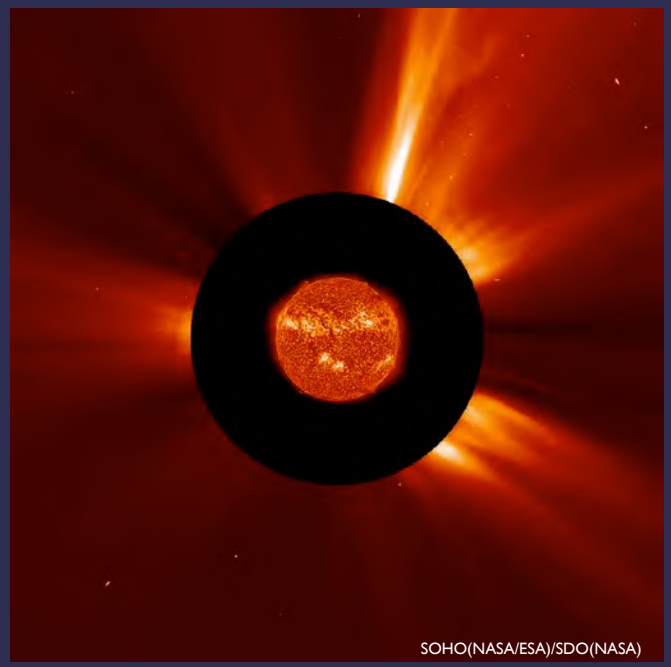
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

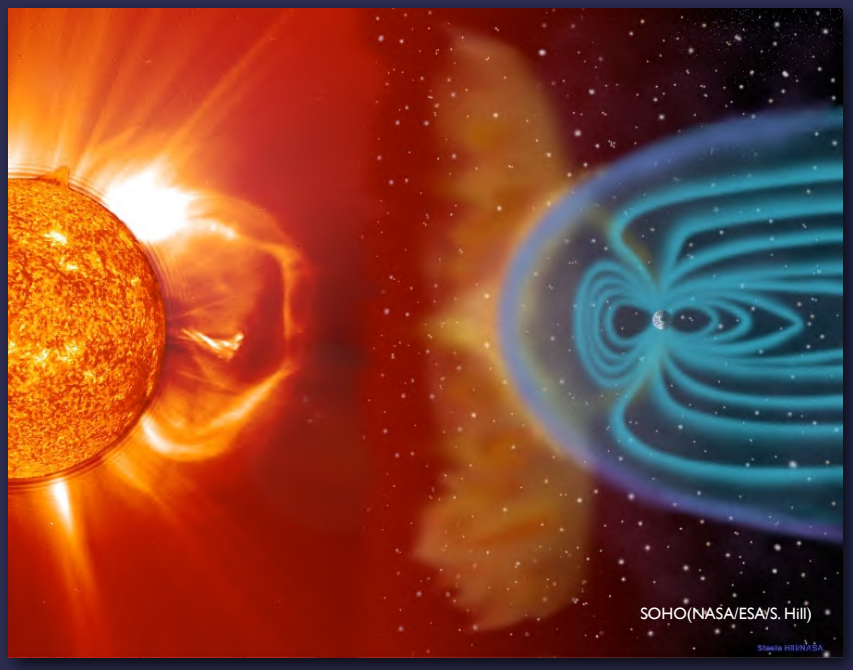
Partikkel/Proton-dusj



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

GASSUTBRUDD - CORONAL MASS EJECTIONS (CME)



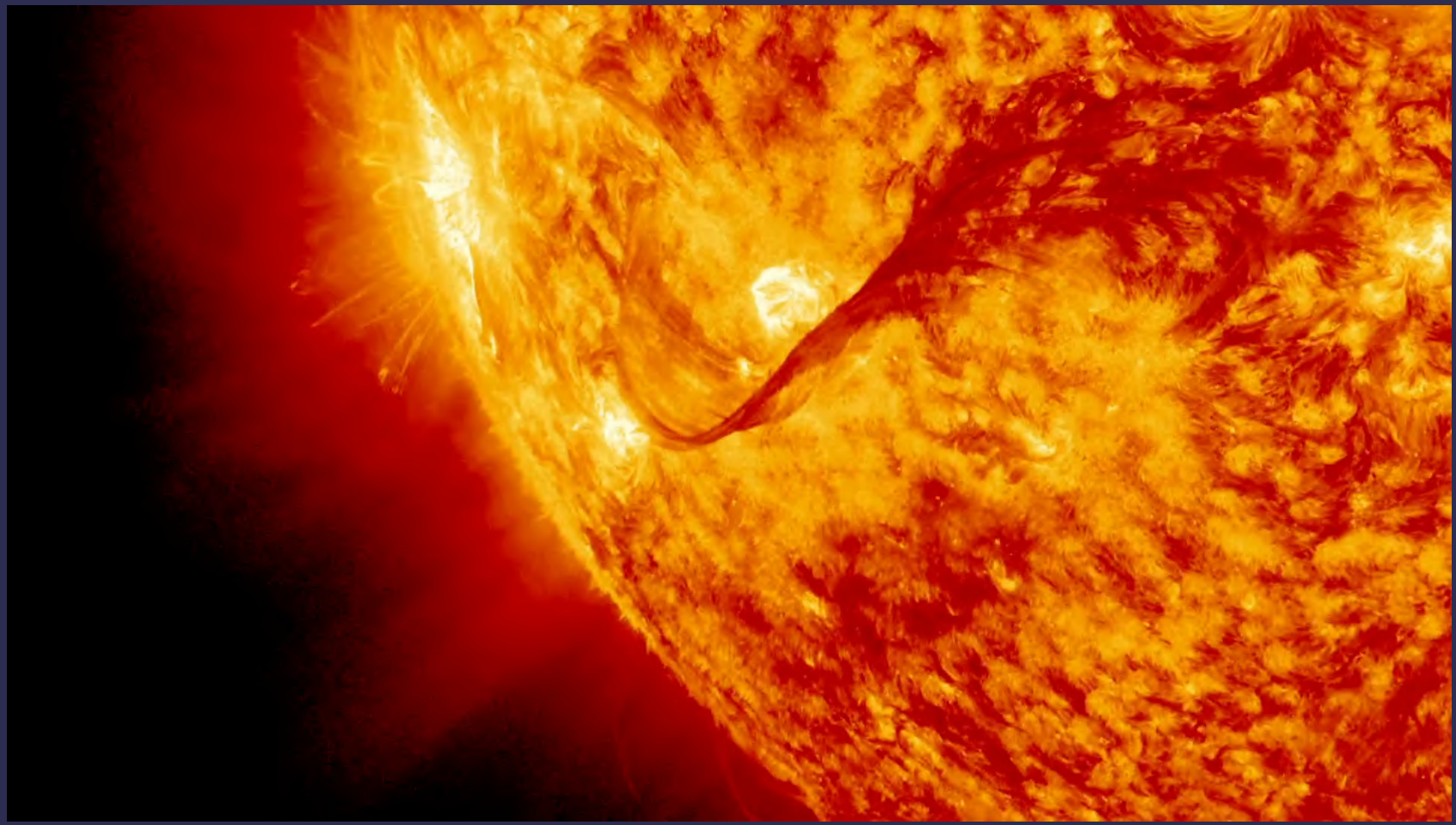


Noen ganger kan det bryte ut store mengder gass og magnetiske felt kastes ut i verdensrommet. De største utbruddene kaster ut flere milliarder tonn partikler.

Slike utbrudd kalles Coronal Mass Ejections eller CME´s. Gassboblen vil ekspandere i verdensrommet, kan nå hastigheter opp til 8 millioner km/t og nå jorden ila. 1-3 dager.

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

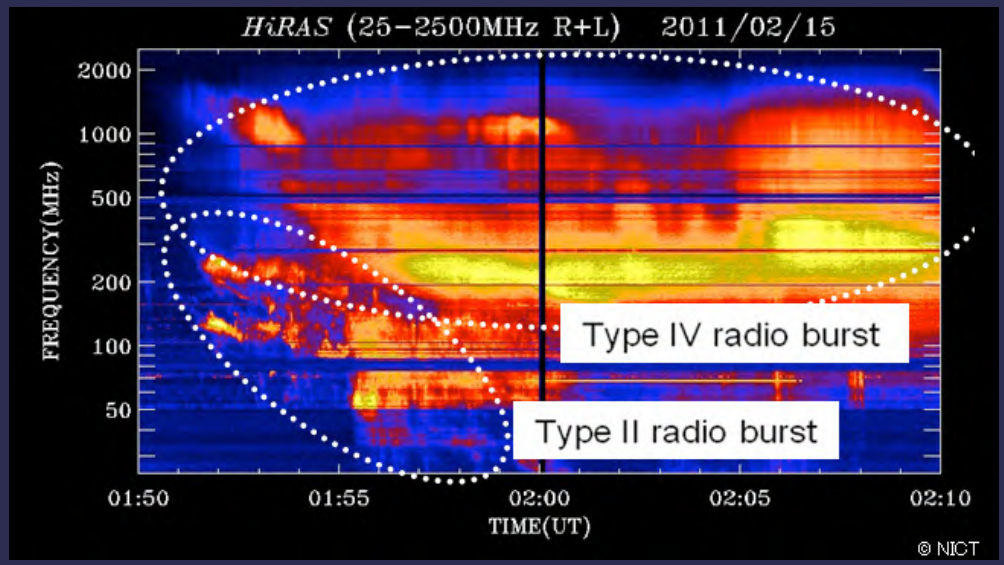
GASSUTBRUDD - CORONAL MASS EJECTIONS (CME)

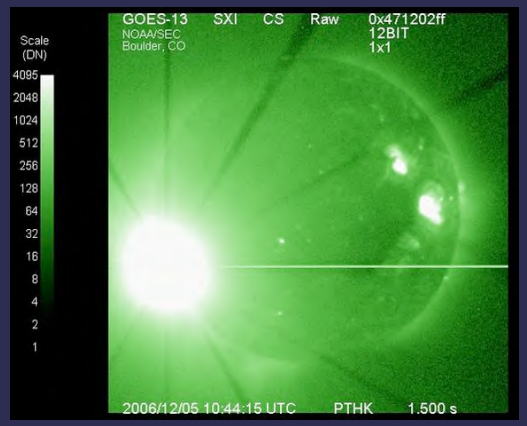


SDO/Stereo/NASA

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

RADIOBØLGE-UTBRUDD





Noen få ganger vil hendelser på solen generere sterke utbrudd av radiobølger
- ofte med de samme frekvensene som for kommunikasjons og navigasjonssystemer.

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

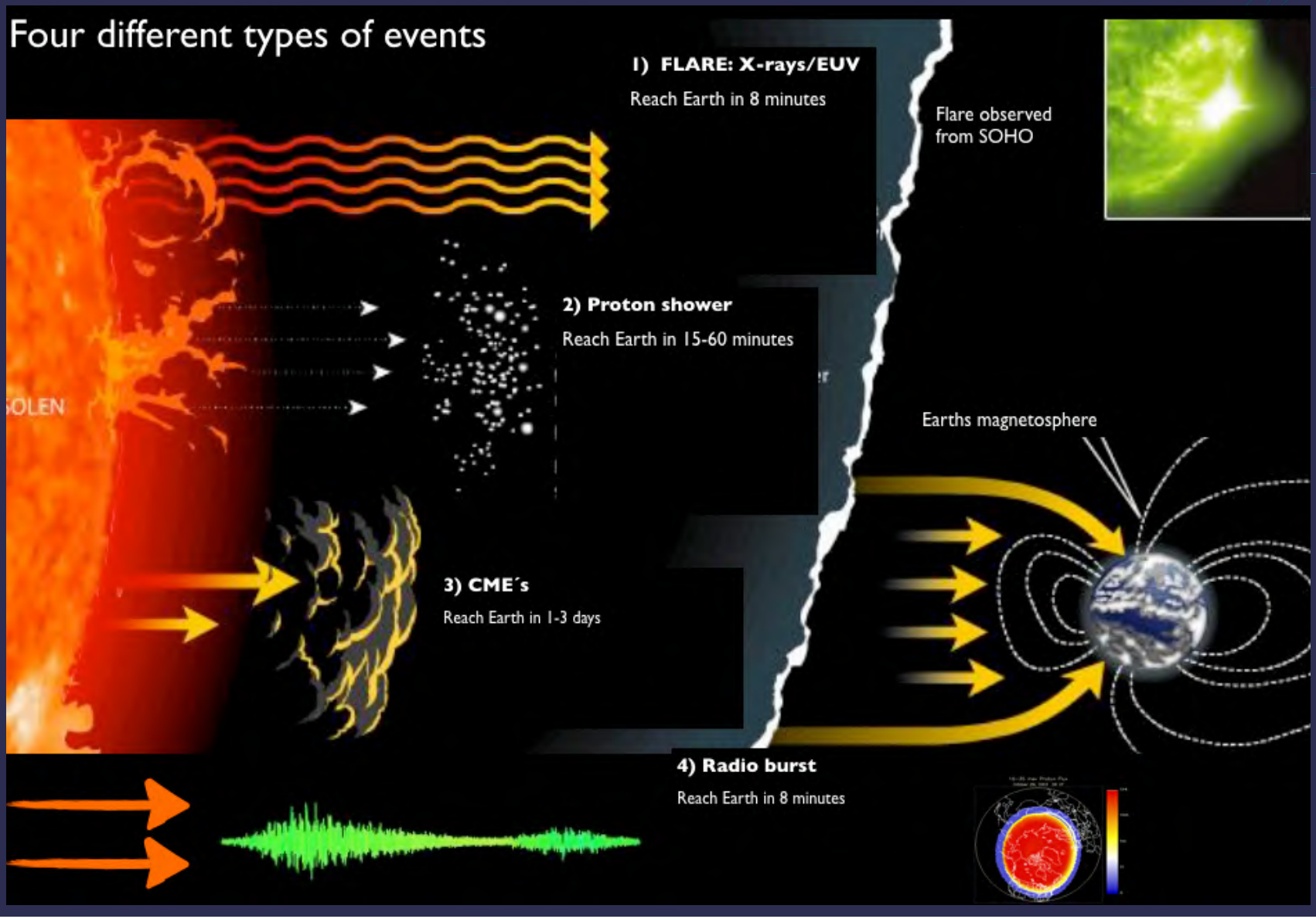
Romvær

1)Røntgen/UV-stråling

2) Partikler/proton

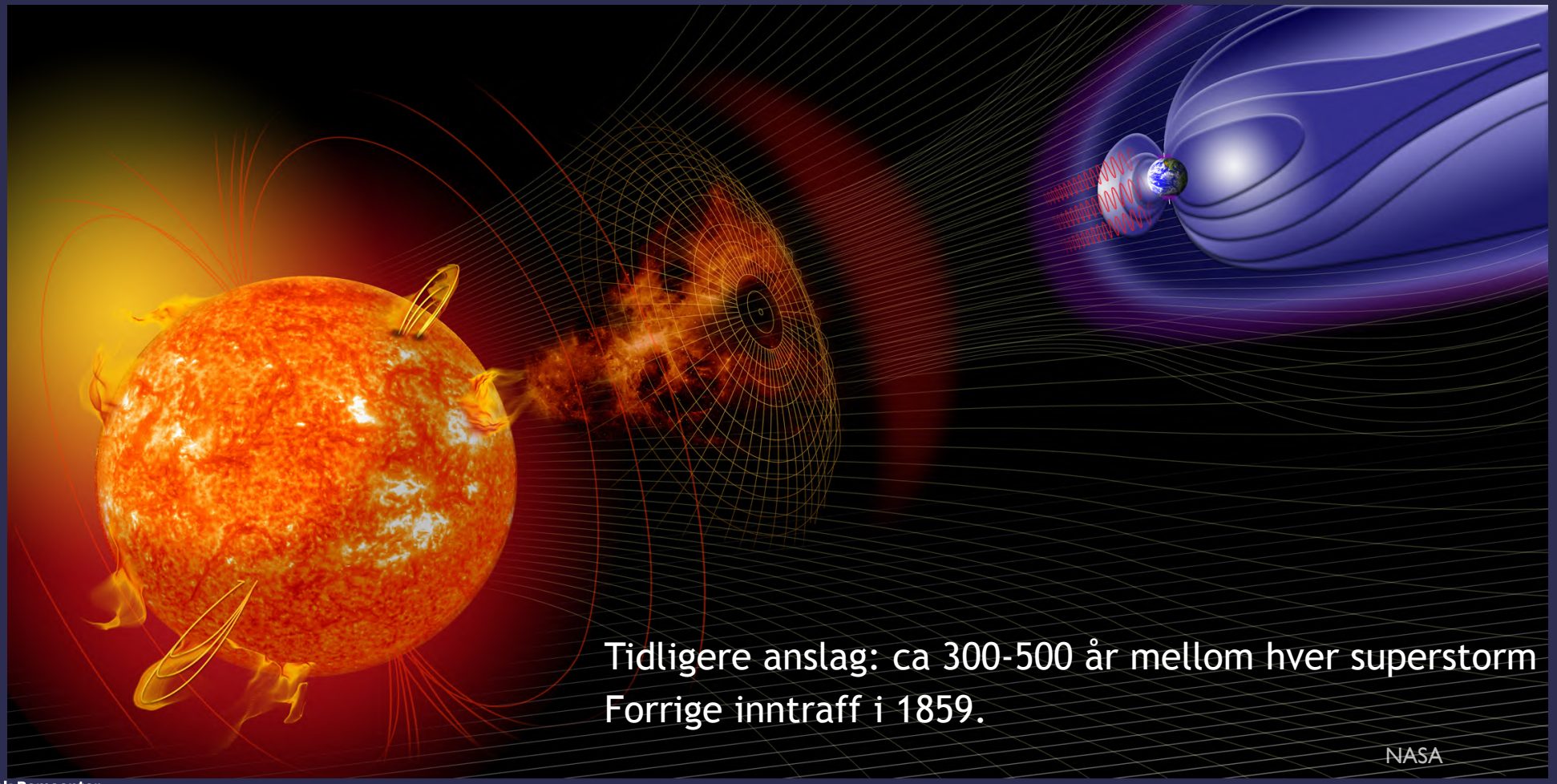
3) CME, gass/magn.

4) Radiostøy



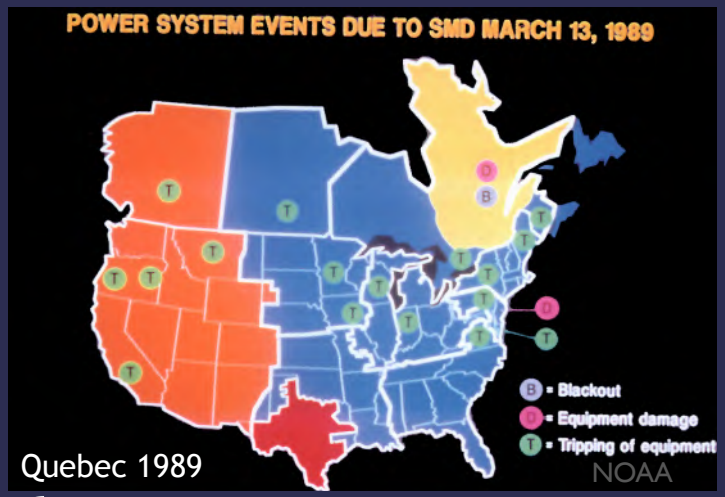
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Hvor ofte inntreffer superstormer?



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Superstorm - Carrington 1859



Extreme Solar Weather Has Happened Before

Morse Telegraph Table
Photo from www.telegraphlore.com

- **1847** – "Anomalous current" noted on telegraph line between Derby and Birmingham. First recorded impact of solar weather on technology.
- **August 28-29, 1859** – Telegraph service disrupted worldwide by geomagnetic superstorm.
- **September 1-2, 1859** – Carrington-Hodgson event is largest geomagnetic storm in 500 years.
- **May 16, 1921** – The "Great Storm" disrupted telegraph service, caused fires, burned out cables. **Storms like this may occur roughly every 100 years.**
- **March 13, 1989** – Geomagnetic storm collapsed Quebec power grid. Northeast U.S. and Midwest power grid came within seconds of collapse.
- **October 19 – November 7, 2003** – "Halloween Storms" interrupted GPS, blacked out High Frequency (HF) radio, forced emergency procedures at nuclear power plants in Canada and the Northeastern United States, and destroyed several large electrical power transformers in South Africa.

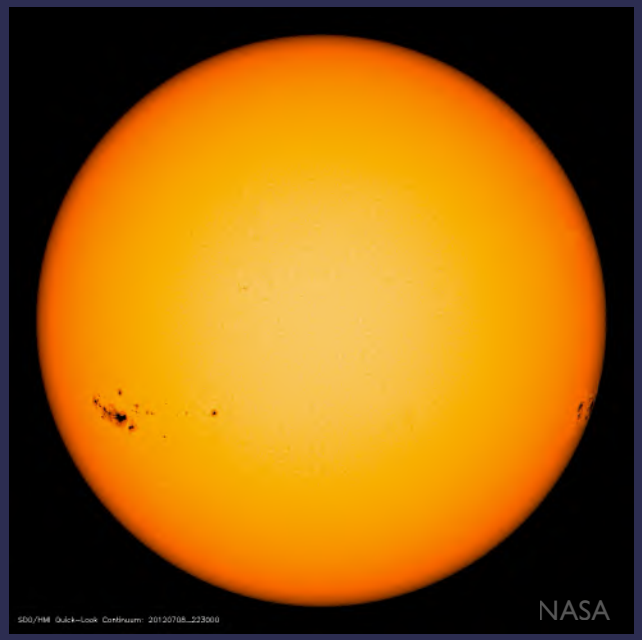
NOAA

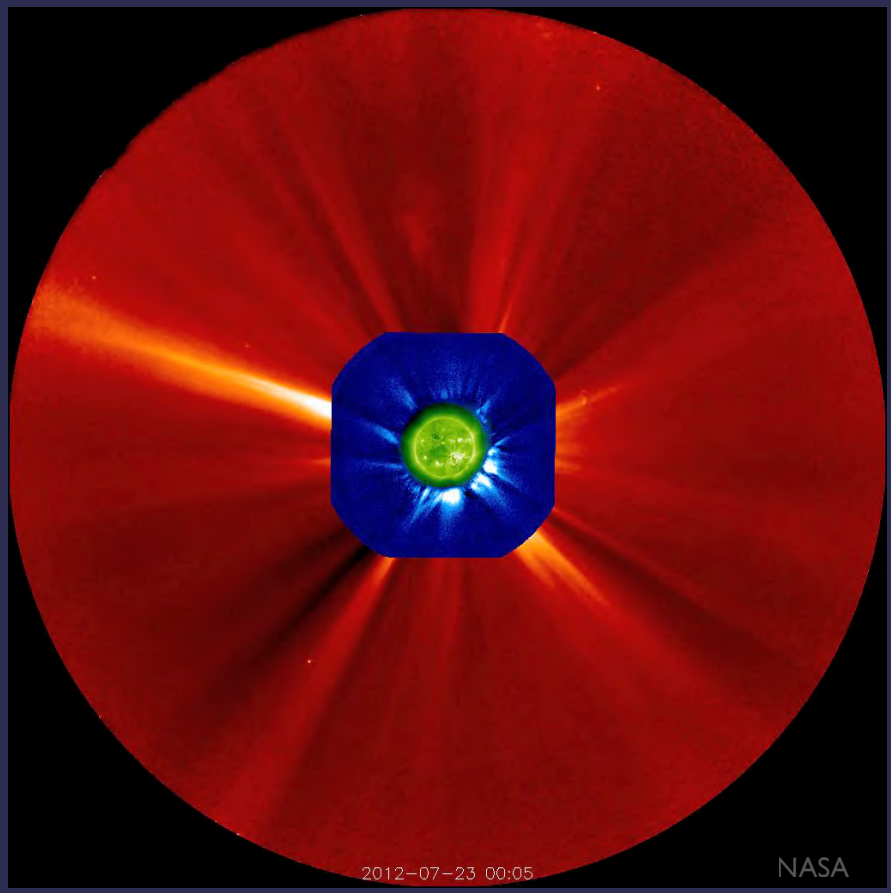
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

I 2012 var vi 9 dager unna en katastrofe

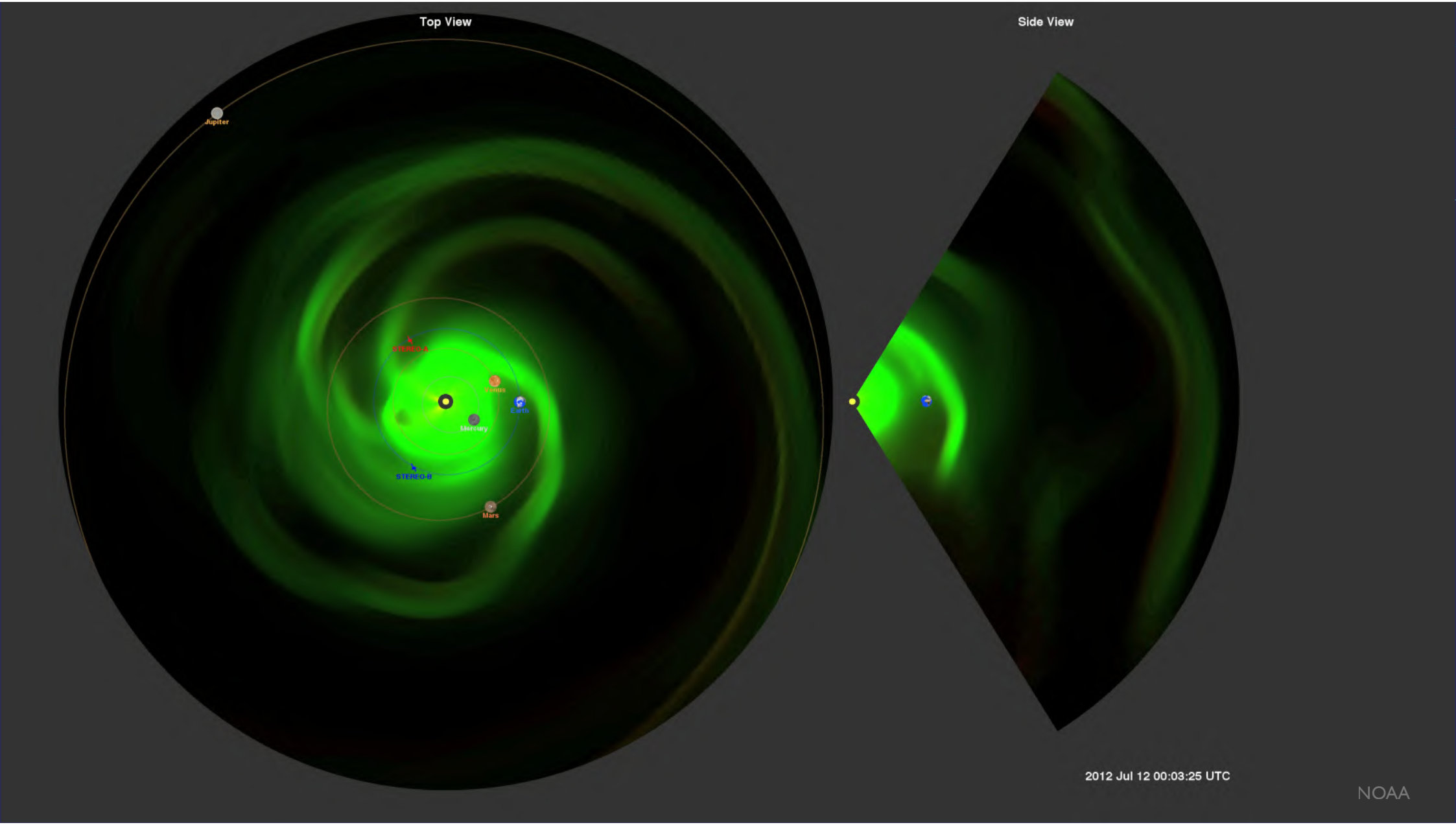
Solstormen sett fra motsatt side av Solen 23 juli 2012. STEREO har flere vidvinkel-kameraer som fanget opp gass-utbruddet.

Uten Stereo ville vi aldri oppdaget denne.



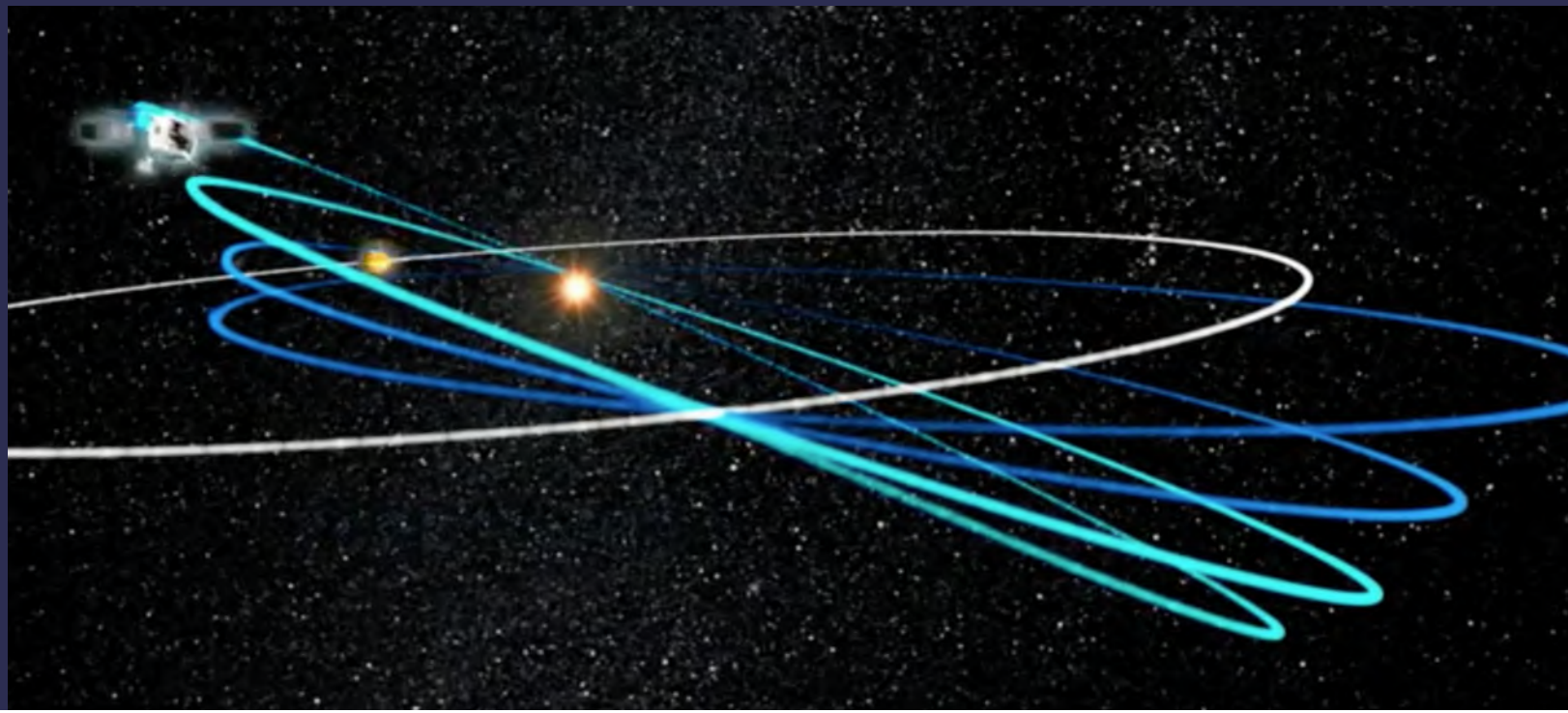


Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency


Top View
Side View
Jupiter
STEREO-A
Venus
Earth
Mercury
STEREO-B
Mars
2012 Jul 12 00:03:25 UTC
NOAA

Solar Orbiter

- Skytes opp i februar 2020
- Nærmere solen enn alle planetene i solsystemet
- Må tåle meget høy stråling og mer enn 520°C
- Første gang vi kan få bilder av solens poler
- Norske leveranser til romsonden
  - UiO
  - Kongsberg
  - Acando Bitvis



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

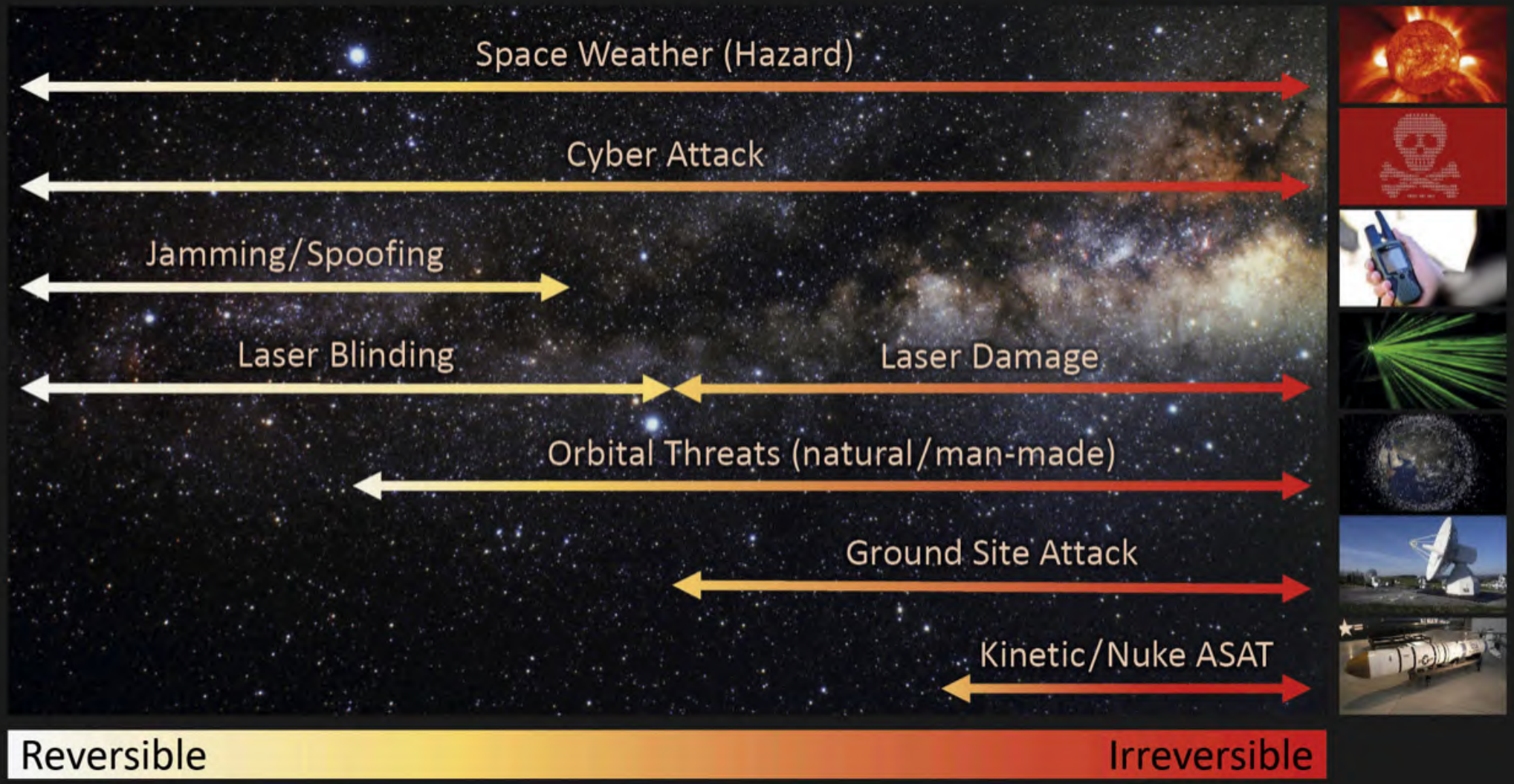
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Interferens og tilsiktede forstyrrelser

- Radiosystemer kan utilsiktet forstyrre hverandre
- Fiendtlig forstyrrelser
  - Jamming
  - Narring

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Spectrum of Threats and Hazards for Satellites and Expected Impacts



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

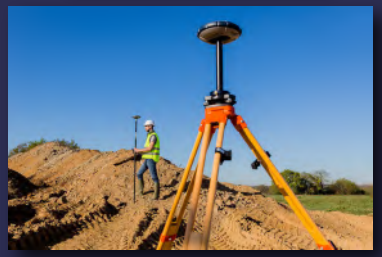
Satellitter bidrar til bedre sikkerhet, men også økt sårbarhet i samfunnet

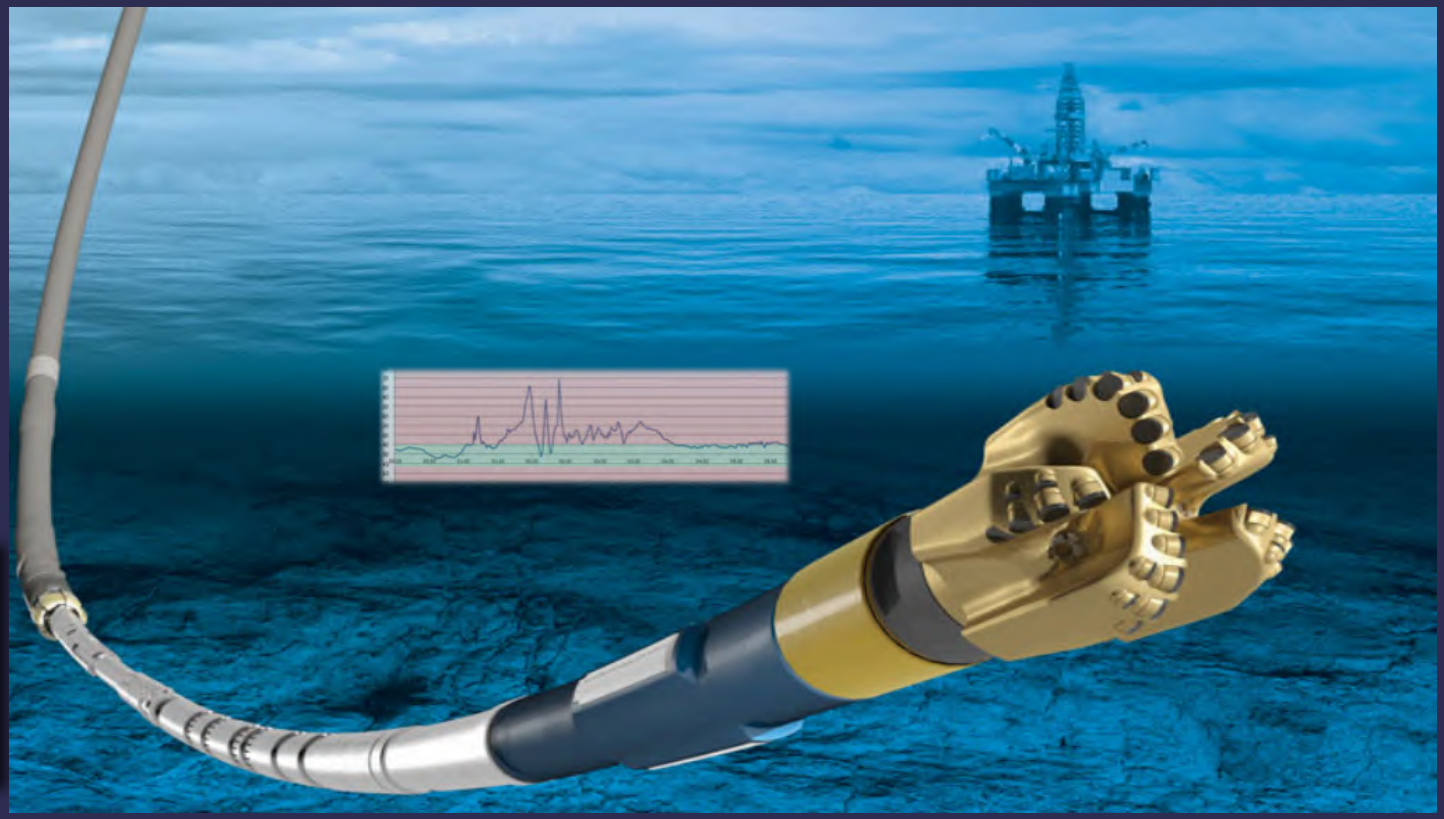
- Satellitter, baner og bruk
- Hva kan slå ut satellitter
- Tjenester som kan falle ut

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Romvær forstyrrer både satellittnavigasjon og jordens magnetfelt

- begge deler fører til unøyaktig posisjonsbestemmelse





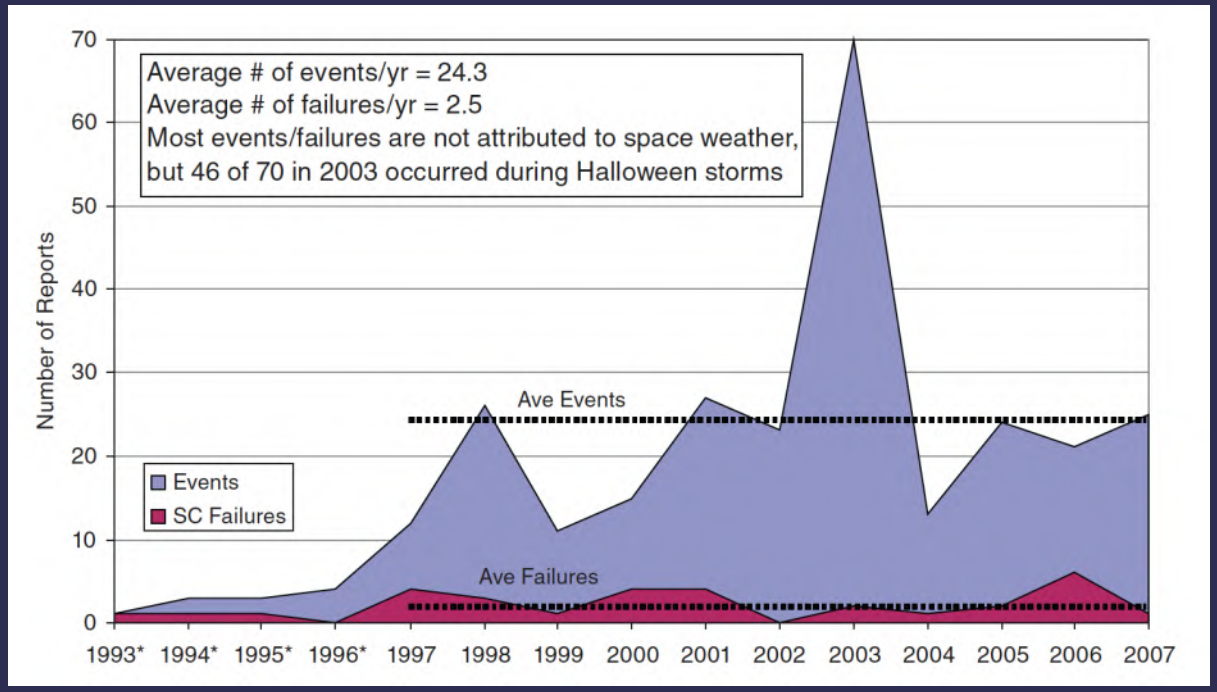
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Romvær kan skade satellitter

Galaxy IV ble i 1998 slått ut. Kostet 2 milliarder NOK. Overførte 80% av alle personsøkertjenester i USA. PC-Direct, CBS' radiostasjoner, CNN's flyplass-sendinger.

Årlige tap i satellittbransjen:

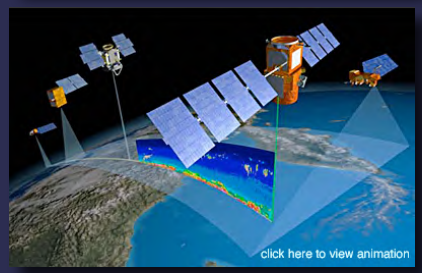
5 milliarder NOK



Space weather and satellite anomalies/failures. SOURCE: Michael Bodeau, Northrop Grumman

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Halloween-stormen i 2003



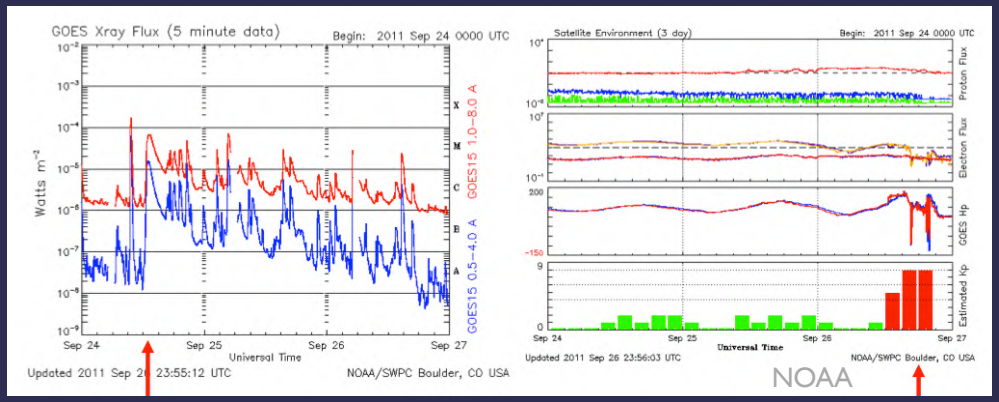
- Over 20 satellitter påvirket, en Japansk satellitt gikk tapt
- Radio blackout - påvirket fly
- FFA i USA sendte ut strålingsvarsler for crew/passasjer
- Strømbrudd i sør-Sverige
- Klatrere i Himalaya fikk ikke kontakt via satellittelefoner
- US Coast Guard måtte skru av Loran-C
- Strålingsmåler på en NASA Mars-sonde ble slått ut permanent

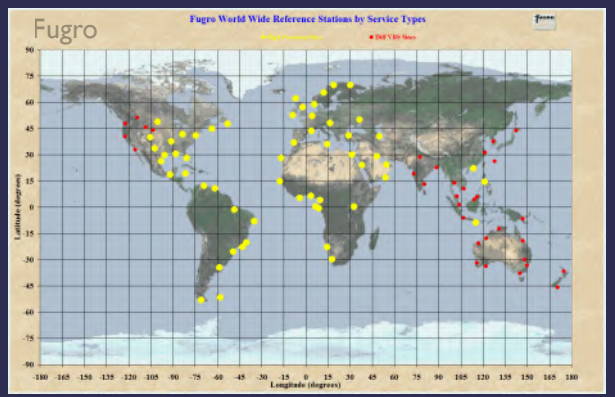
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

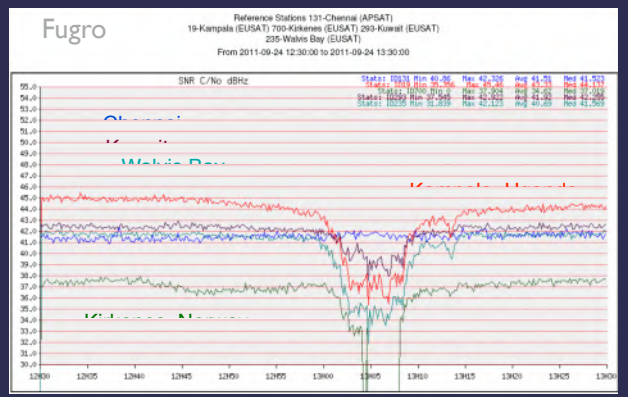
Romvær kan forstyrre/slå ut GPS

24 september 2011 slo en solstorm/radioburst ut GPS-signalene på dagsiden av jorden i åtte minutter.

Brukere av dynamisk posisjonering fikk problemer i denne perioden.







Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Hva hvis en superstorm treffer jorda?

© Xperium.no

Hva hvis en superstorm treffer jorda?

© Xperium.no

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

En dag uten satellitter

07:00

Frokost TV - svart skjerm for de som har satellitt-TV.

Du skrur på radio og hører på nyhetene at børsene i Tokyo måtte stenge. Problemer med synkronisering av tid.

NRK prøver å få link til sin korrespondent i Tokyo uten hell.

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

En dag uten satellitter

Værmeldinger er avhengig av satellittbilder, så vi får intet langtidsvarsel
- du kan ikke planlegge fjellturen til helgen.

De siste internasjonale sportsnyhetene lar vente på seg.

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

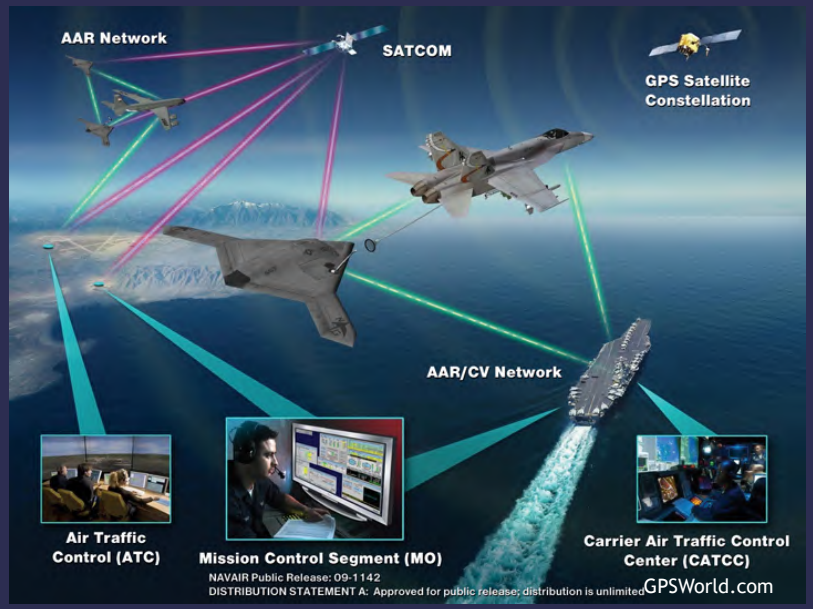
En dag uten satellitter

08:00

Tap av globale kommunikasjonssatellitter setter verdensfreden i fare. I en bunker et sted i USA mistet de kontakt med en drone med våpen som fløy over Midt-østen.

Tap av satellittkommunikasjon gjør det umulig å gi kommandoer til soldater, skip og fly i fjerne strøk.

Verdenslederne sliter med å få kontakt med hverandre og den globale spenningen øker.



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

En dag uten satellitter

09:00

E-post og internett fungerer, dog mye tregere. En del internasjonale telefonsamtaler faller ut.

Bare samtaler/data gjennom sjøkabler og telefonlinjer fungerer.

Den raske og ellers robuste radiokommunikasjonen verden over svikter.

HF og VHF radiokommunikasjon er slått ut av selve solstormen.

Fax-maskinen blir plutselig aktuell igjen…

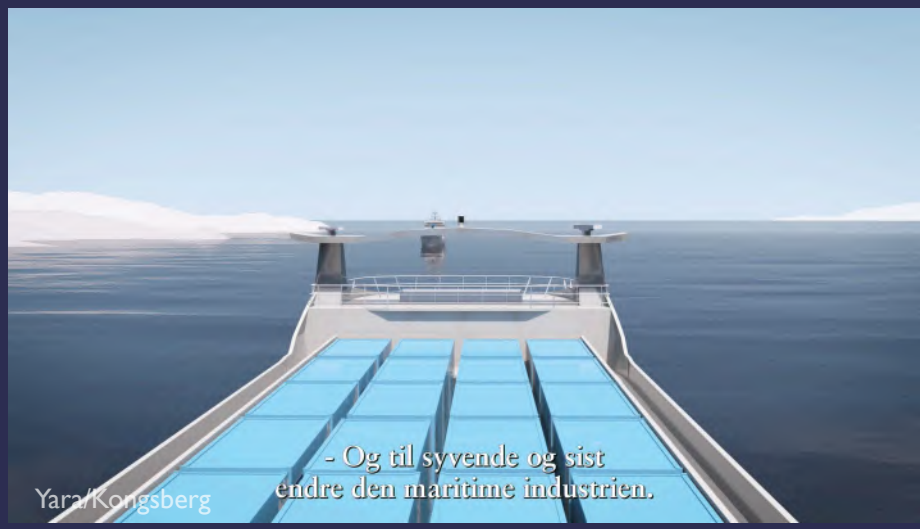
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

En dag uten satellitter

11:00

Verdensledere trommer sammen kriseteam.
Stadig nye utfordringer dukker opp:

- Tap av Galileo/GPS-signaler
- Du sliter med å finne veien til et viktig møte (hvor er papirkartene???)
- Nødetatene bruker lengre tid på å finne frem
- Flytrafikken forsinkes
- Alle autonome skip og biler stopper opp



Birkeland Yara Autonomous electric ship (Kongsberg/Yara)

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

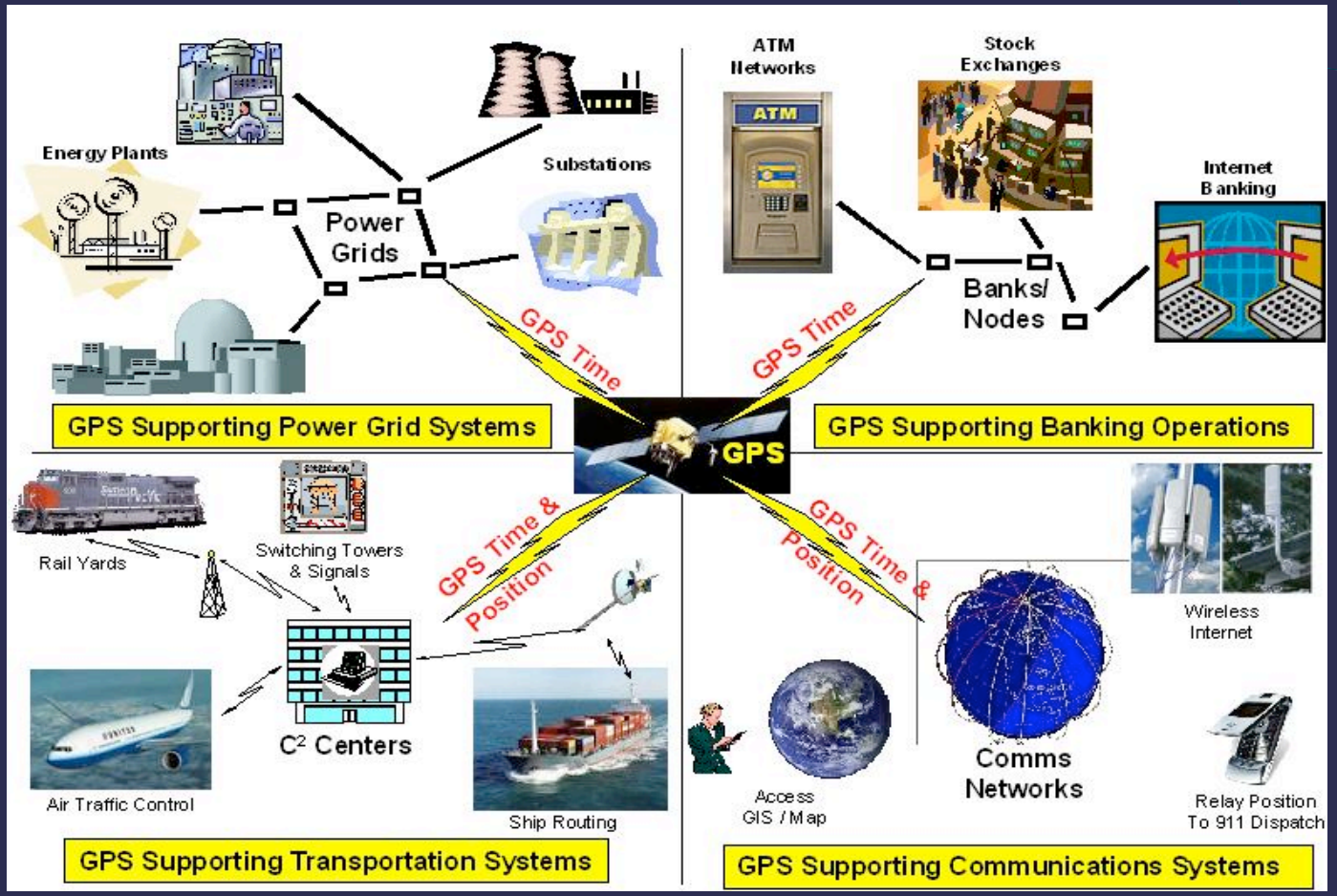
En dag uten satellitter

12:00

Galileo/GPS gir oss også en nøyaktig klokke/ tidsreferanse.

En rekke av de ting vi tar som gitt er helt avhengig av nøyaktig tid:

- Minibanker slutter å virke
- Børser må stenge
- Kommunikasjons- og strømnett blir ustabile



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

En dag uten satellitter

13:00

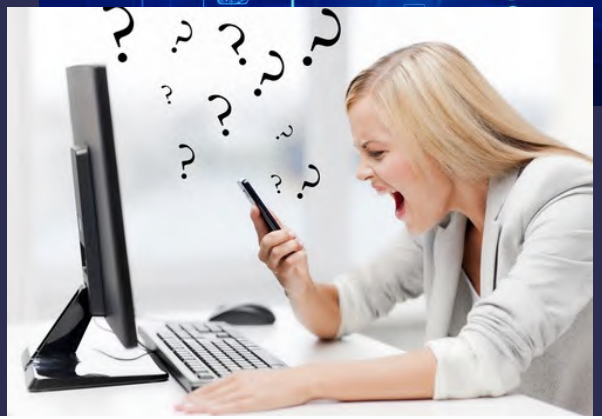
Datanettverk som styres av datamaskiner er i faresonen.

Mange systemer har reserve klokkeløsninger i tilfelle Galileo/GPS svikter. Men selv små feil på brøkdeler av sekund fører til datakollisjoner.

«Skyen» svikter.

Internet går ned.

Nå innser også barna våre at det er **KRISE!!!**



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

En dag uten satellitter

14:00

Solstormen har allerede slått ut strømnett ved høye breddegrader. Nettleverandørene sliter med å balansere etterspørsel og synkronisere nettet og flere strømbrudd inntreffer.

Datastyrte renseanlegg må over på manuell drift.

Trafikklys og togsignaler feiler og skaper trafikkaos.

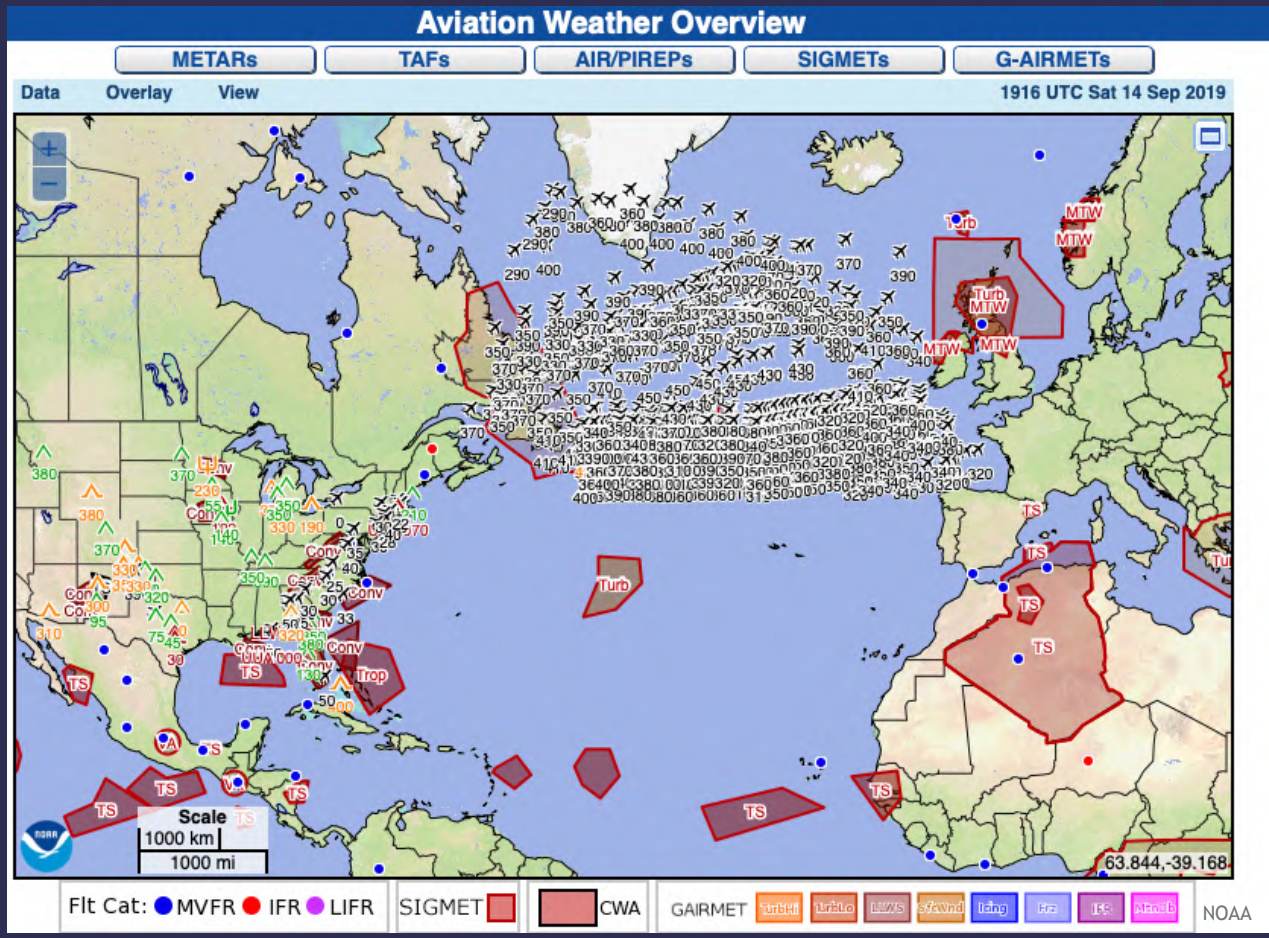
Mobilnettet som har vært ustabilt hele dagen faller ut.

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

En dag uten satellitter

16:00

Mangel på værmeldinger gjør det uforsvarlig å fly. Særlig over hav der det er få andre observasjoner.



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

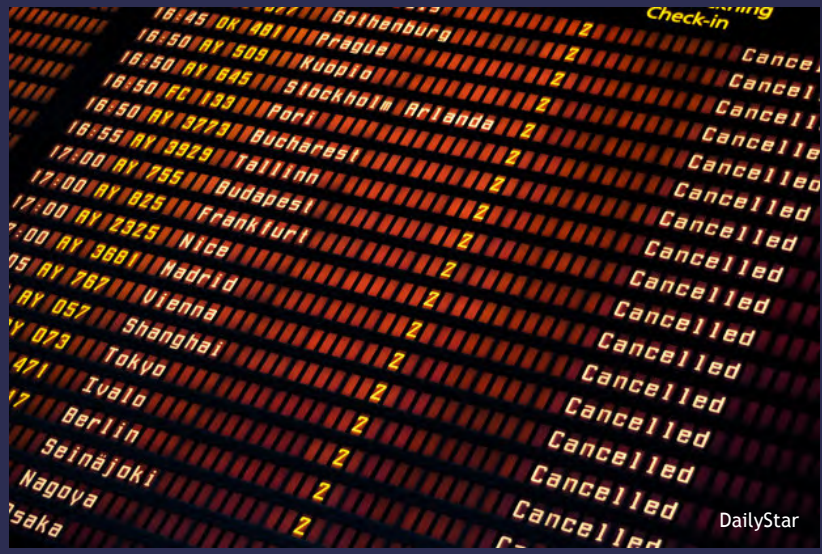
En dag uten satellitter

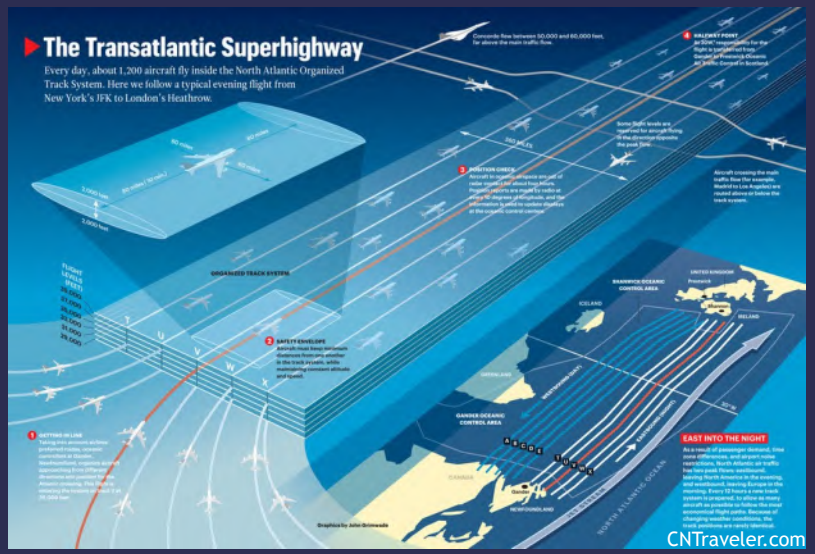
17:00
Tap av satellittkommunikasjon og GPS fører til mange kanselleringer og forsinkelser.

Selv om de fleste fly bruker interne «treghets» navigasjonssystemer (gyroskoper etc.) så benyttes i dag GNSS signaler til å oppdatere de interne for å opprettholde høye nøyaktighet.

Automatic Dependence Surveillance (ADS) er et nytt GNSS-drevet signal som hjelper AVINOR/flykontrollen med å vite hvem som er hvor.

EGNOS blir utilgjengelig og flyplasser med GPS-basert innflyvning vil oppleve forsinkelser - særlig i dårlig vær.





Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

En dag uten satellitter

18:00
Global tracking av fly blir borte. Dette er et nytt krav etter at Malaysian airline 370 forsvant for noen år siden. En mister og muligheten til å sende tilbake vitale tekniske data fra flymotorer etc.

Tap av HF kommunikasjon over polene og på dagsiden av Jorden krever økt avstand mellom fly.

Høyenergetiske partikler kan forstyrre elektronikk på fly.

På et tidspunkt kan de fleste fly måtte settes på bakken.

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

En dag uten satellitter

22:00

Effekten av «en dag uten satellitter» er tydelig:

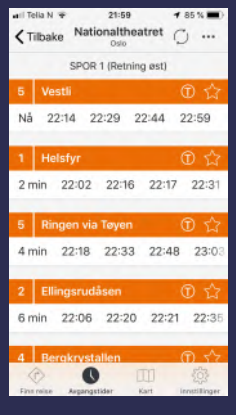
Kommunikasjon, transport, strømnett og datasystemer er alvorlig svekket.

Sanntids bus/tog-info virker ikke.

Global handel er lammet.

Myndigheter i alle land har store utfordringer.

Matvareforsyninger kan bryte sammen.



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Et fiskefartøy synker i Nordsjøen - men det er ingen satellitter som kan fange opp nødpeilesenderen.

Et cruiseskip har motorproblemer i Arktis og driver ute av kontroll.
Radiokommunikasjon er dårlig og satellittelefoner fungerer ikke.
Nødetatene sliter med å lokalisere skipet uten GPS eller AIS sporing fra NORSAT-1.

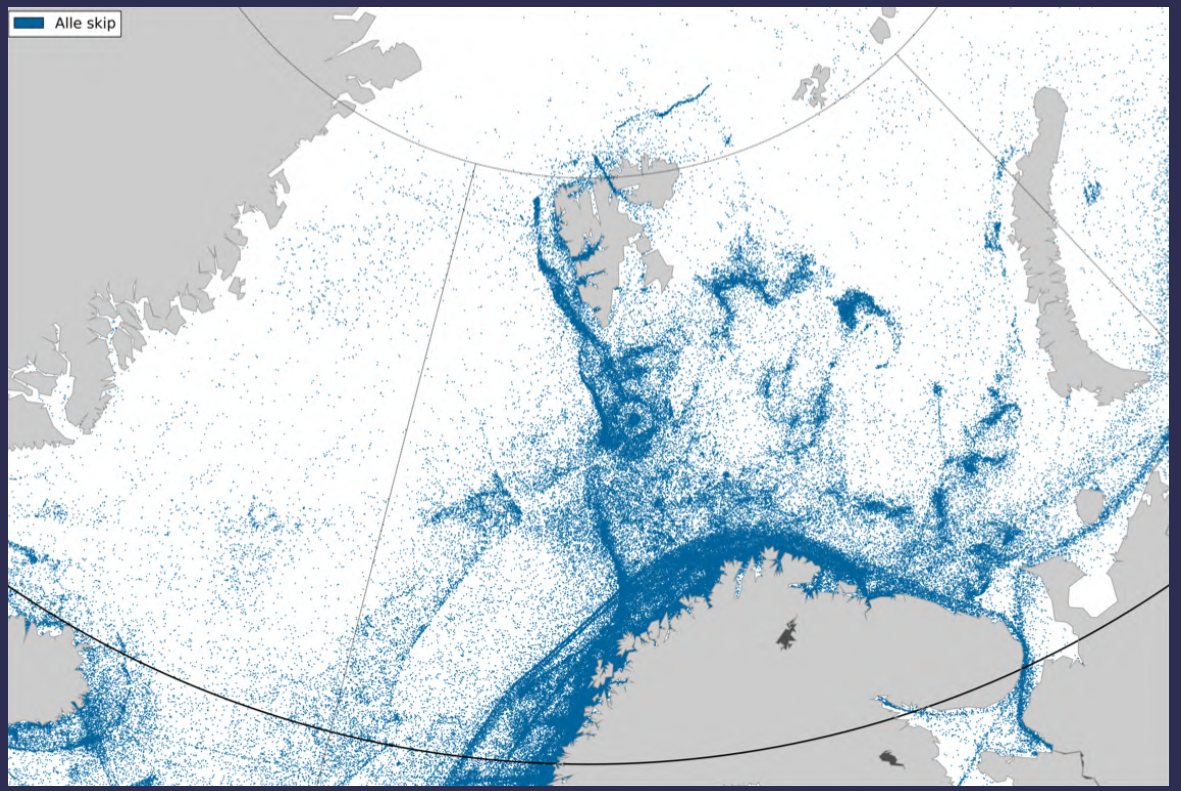
Loran C er også ustabilt pga. solstormen.

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Flere utfordringer for hver dag som går uten satellitter

Overvåkning av skipstrafikk



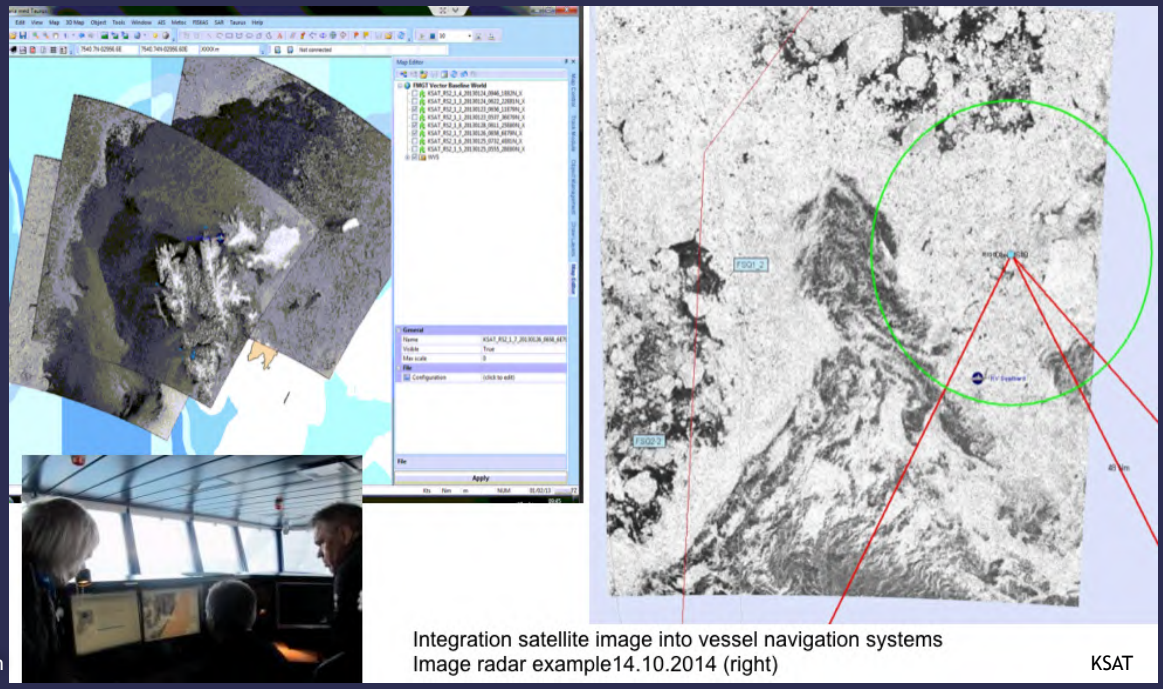
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Overvåkning av havis.

Navigasjon for skip i Arktis.

Alfred Wegener Institute / Mario Hoppmann



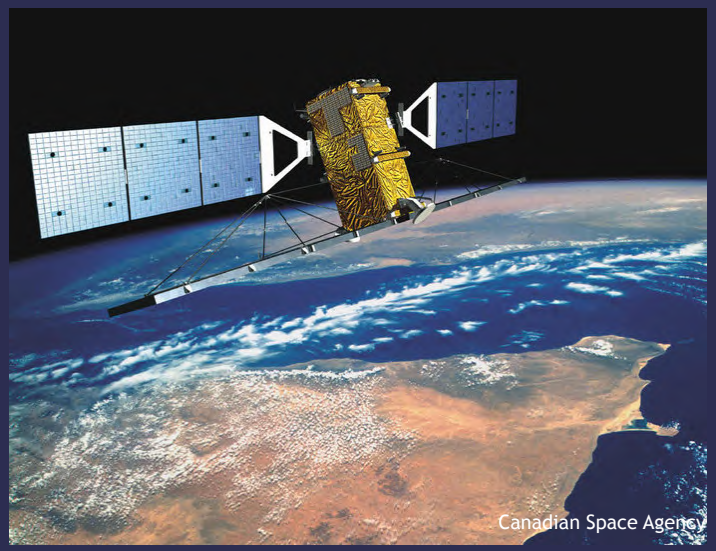
Integration satellite image into vessel navigation systems
Image radar example14.10.2014 (right)

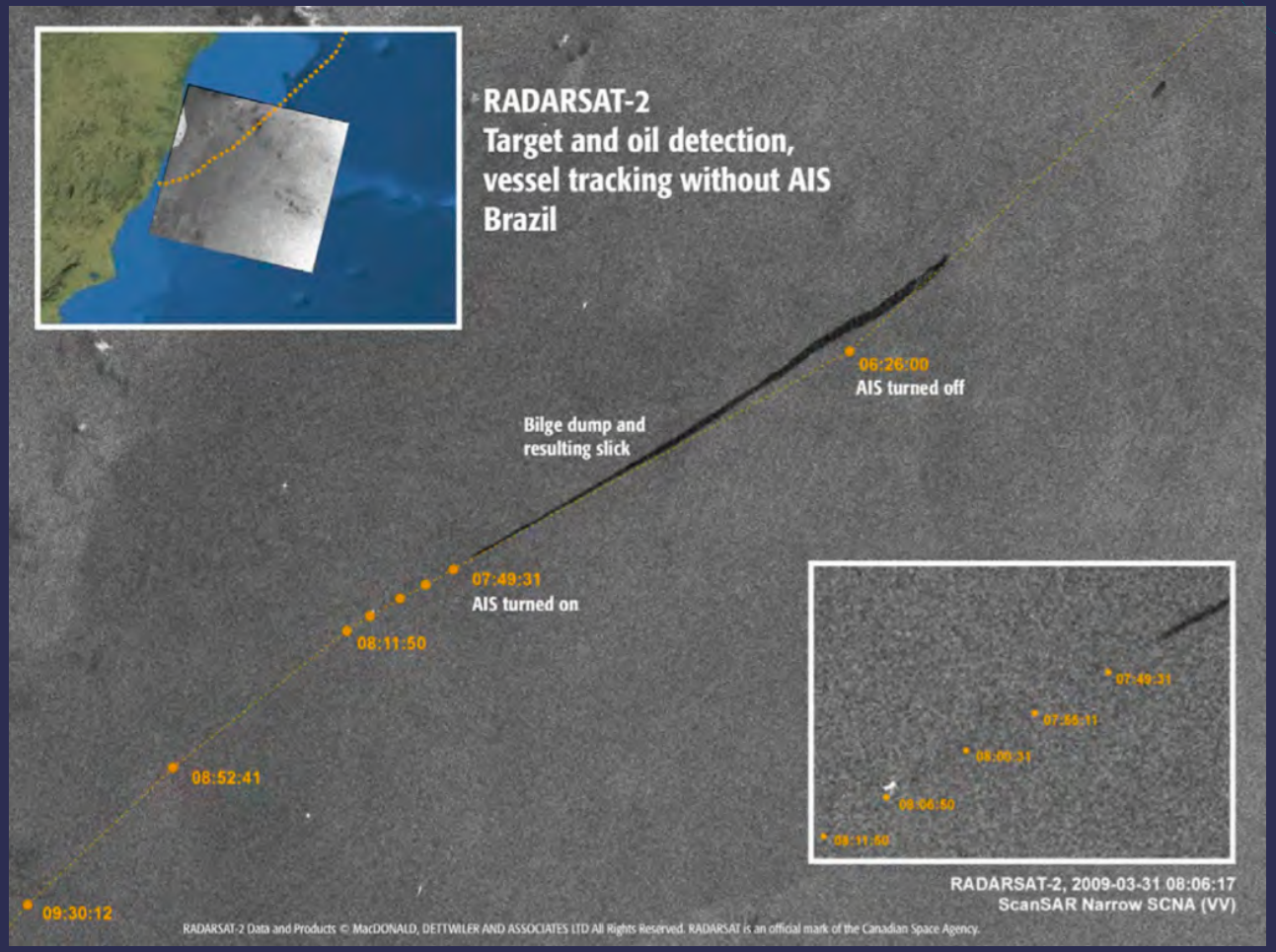
KSAT

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Overvåkning av oljesøl





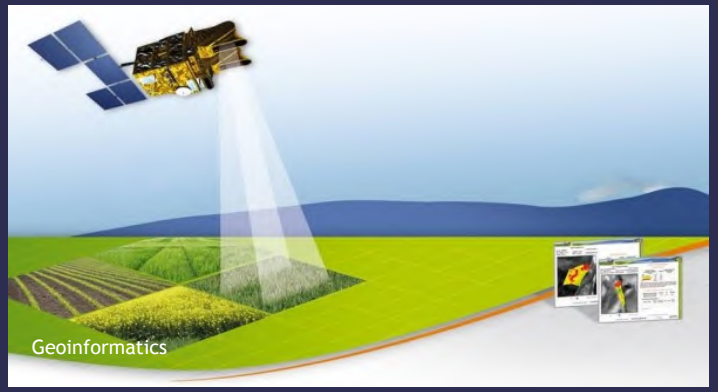
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

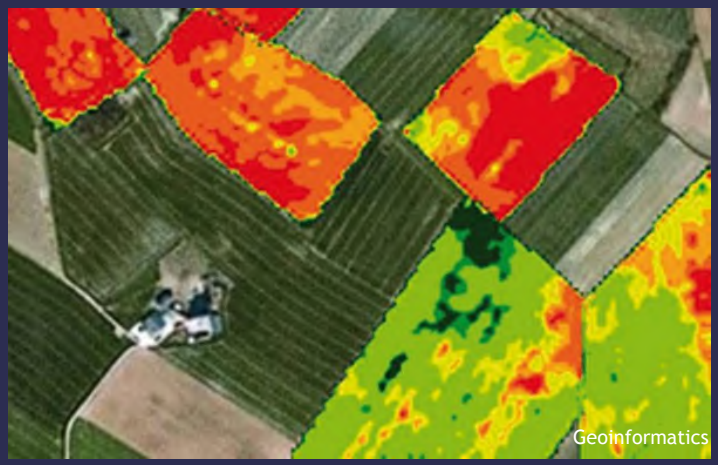
Flere dager uten satellitter

Overvåkning jordbruksareal.

Når skal bonden høste?

GPS-styrt pløying, gjødsling.

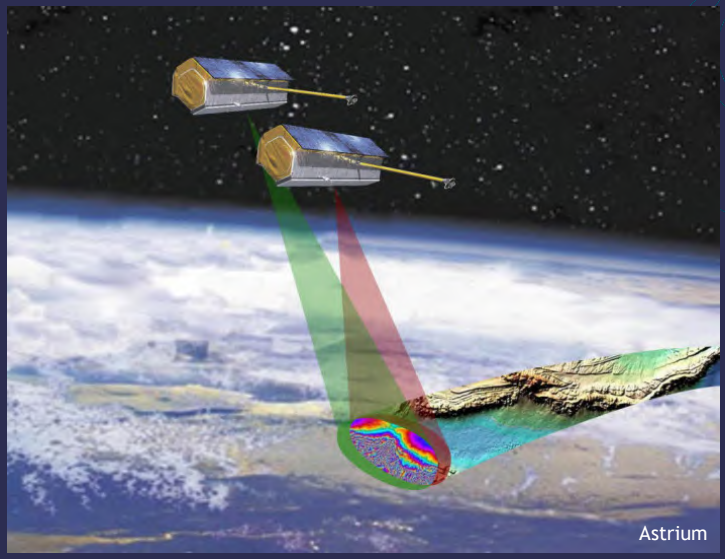




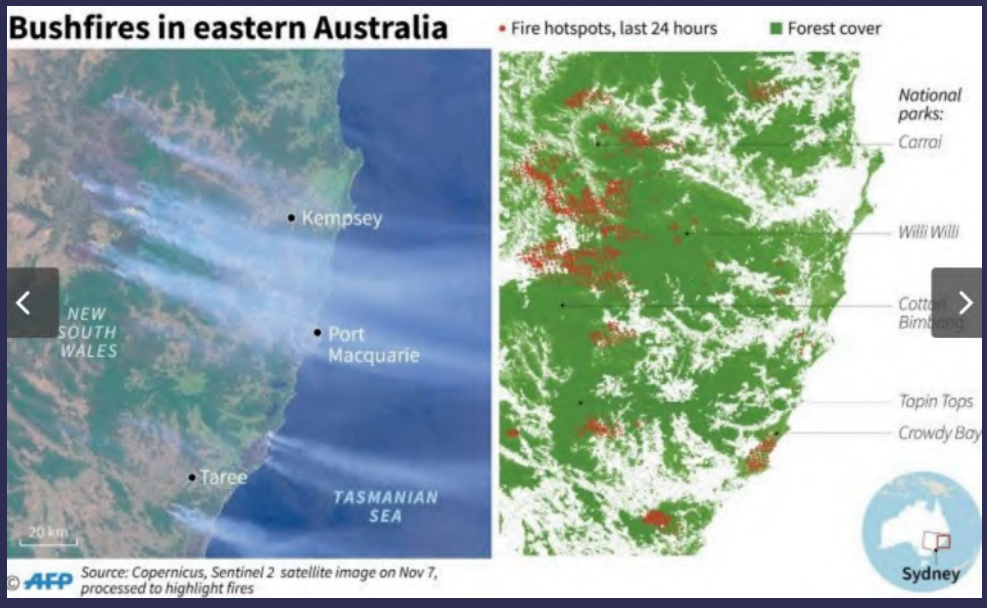
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Overvåkning av ulovlig hugst i Amazonas.



Monitorering av store skogbranner som f.eks. den som pågår akkurat nå i Australia.



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Et jordskjelv inntreffer i Italia.

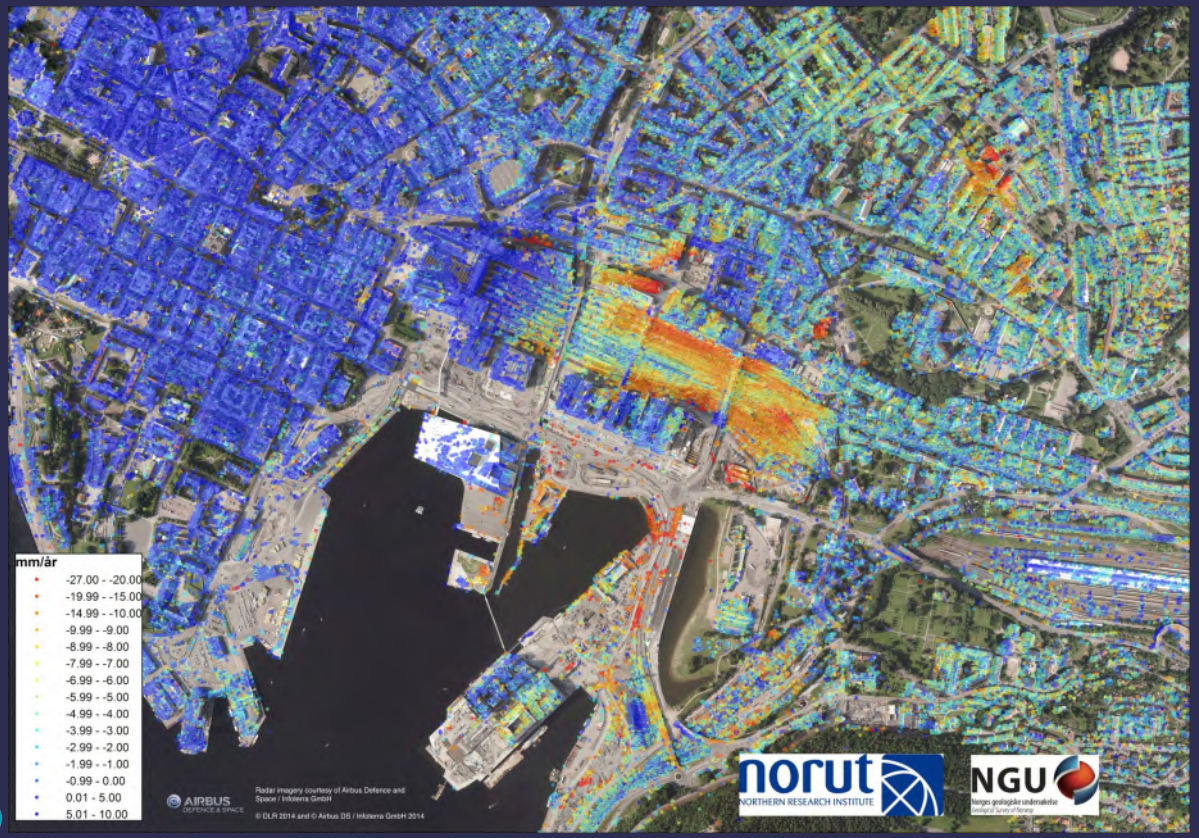
Satellittbilder av katastrofeområder er ikke tilgjengelig.

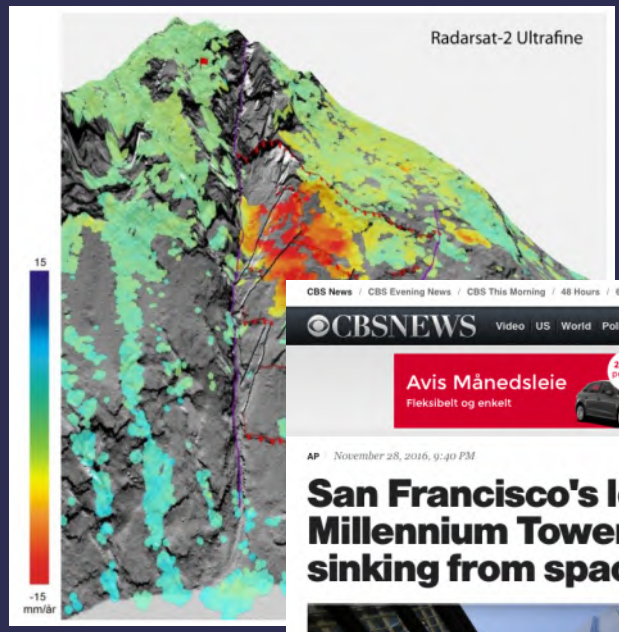
Hjelpemannskaper sliter å få full oversikt over skadene og med å finne beste vei inn i området.

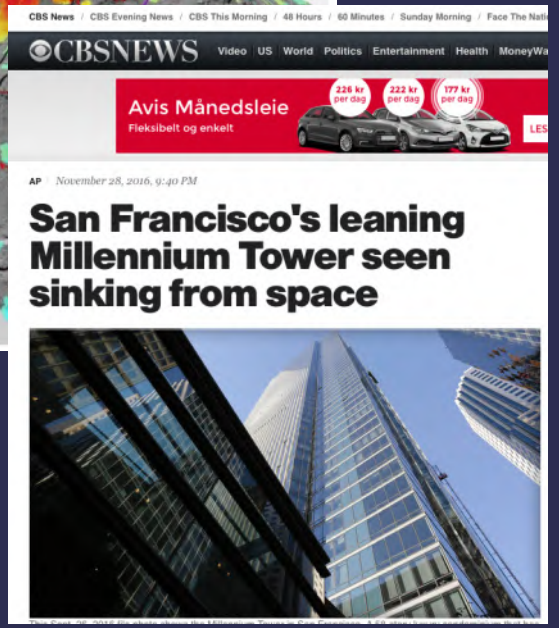
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Nedsynkning observert med satellitter blir utilgjengelig







Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

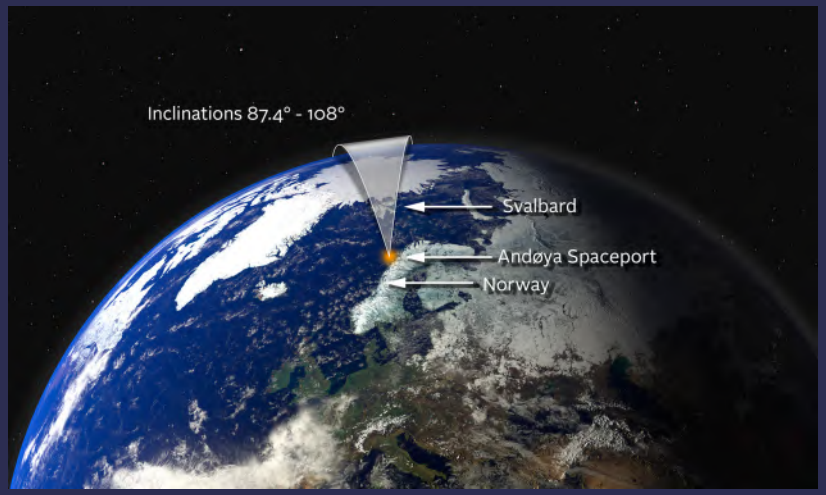
Flere dager uten satellitter

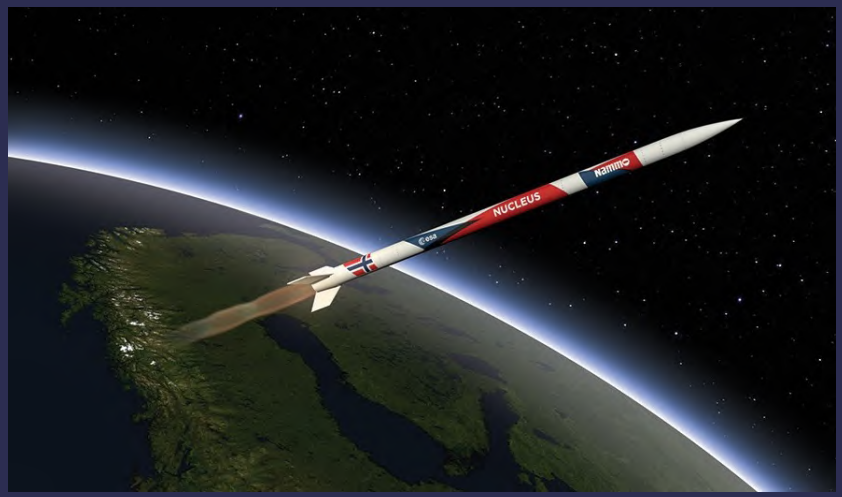
Oppskyting av raketter.

ESA, NASA, JAXA etc. må utsette oppskyting av raketter.

Andøya Space Center og Andøya Space Port må også utsette oppskytinger.

Mannskaps-bytte og forsyninger til romstasjonen utsettes.





Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Satellittelefoner:

Ekspedisjoner til Arktis, Antarktis.

Klatrere i Himalaya

Pressefolk i krigssoner, katastrofeområder

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

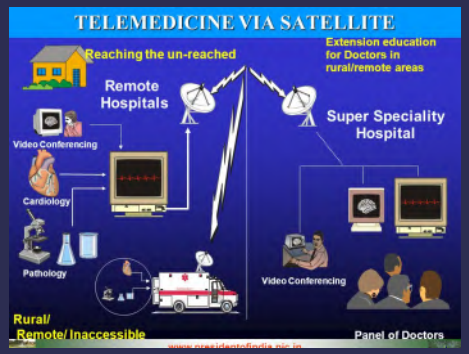
Søk og redning

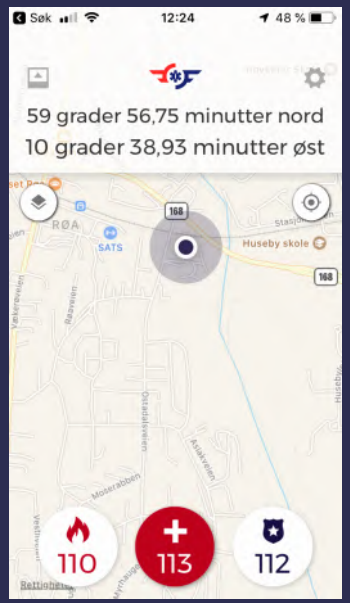
Nødpeilesendere vil ikke fungere

Redningsaksjoner vanskelig uten Galileo/GPS

Telemedisin

113-Appen vil ikke gi din posisjon





Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Kommersielle droner

Militære droner

Vitenskapelige droner

… settes på bakken…

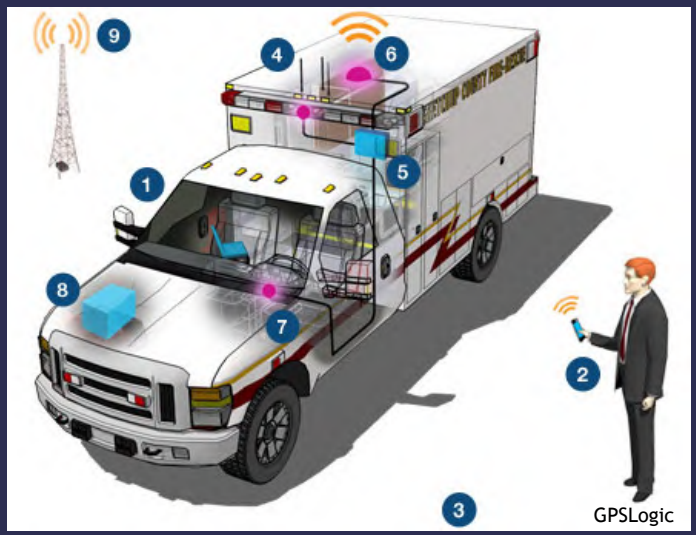
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Politiet/ambulanse sliter med å finne frem.

GPS i alle biler -> operativ leder kan ikke lenger se hvor patruljene befinner seg.

Sporing av personell - spanere.

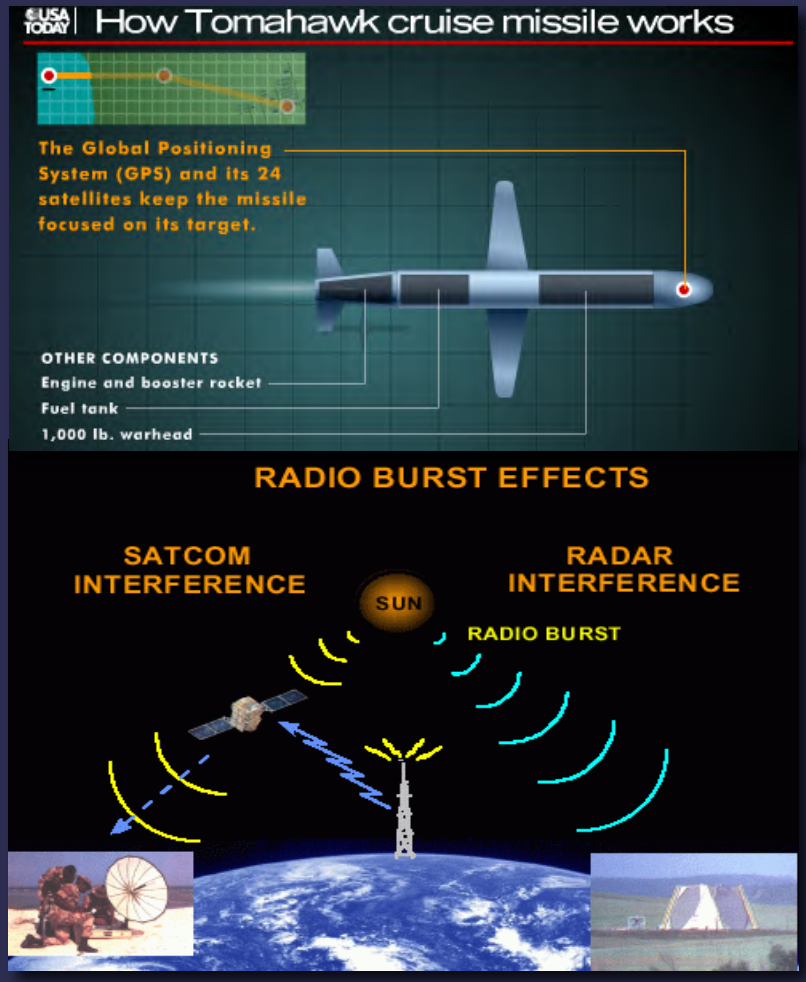


Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Flere dager uten satellitter

Forsvaret:

- Smarte bomber og våpensystemer bruker GPS
- Militære satellittsystemer
- Tidlig varslingssystemer
- Satellittkommunikasjon (SATCOM)



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

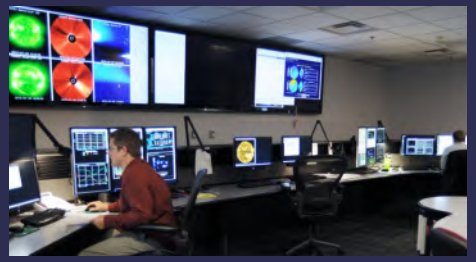
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Romvær internasjonalt

Internasjonalt:
WMO, FN-COPUOS, ICAO

USA:
NOAA, FEMA (+ US Air Force)

Europa:
ESA SSA, EU SSA + nasjonale



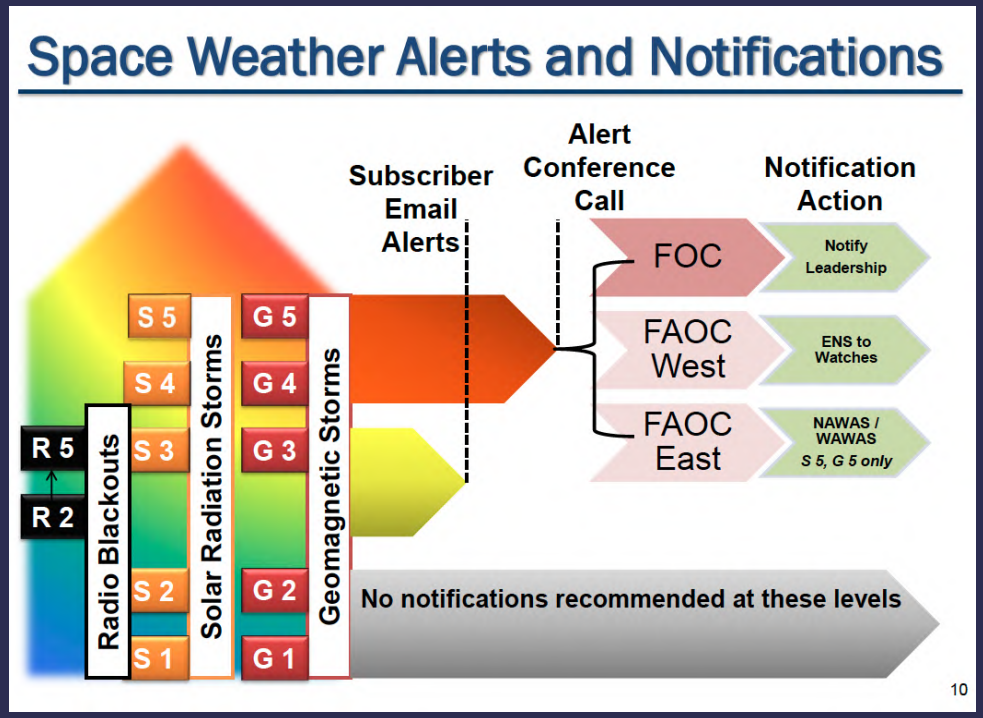
Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

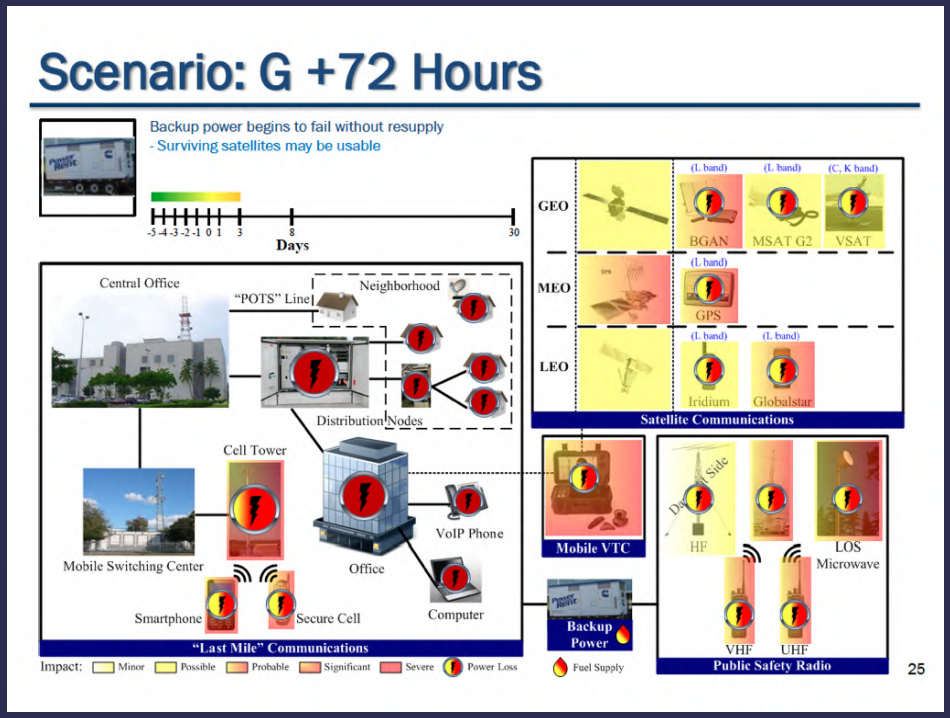
https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/pa-rett-sted-til-rett-tid/id2618053/

Romvær FEMA

The Federal Emergency Management Agency

Kriseøvelse på romvær





Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

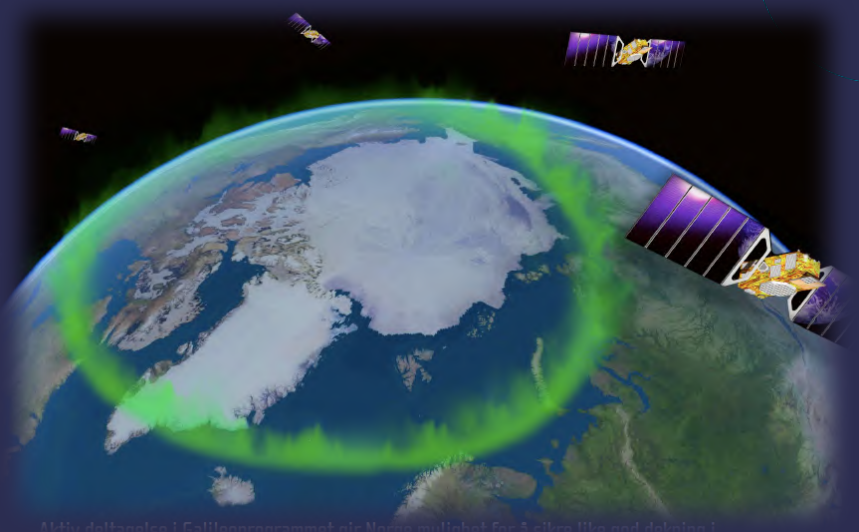
Norge og Romvær

Norge har særegne og konkrete utfordringer pga av landets beliggenhet under nordlysovalen og nordlig bosetting, store havområder, og rask innføring av digitale og autonome systemer i samfunnsdriften.

Norsk Romsenter har gjennom flere år støttet romvær-relatert utviklingsaktivitet både ved Kartverket, Universitetet i Tromsø (TGO) og Universitetet i Oslo.

Norge har dessuten deltatt i alle tre fasene som er gjennomført av ESAs program Space Situational Awareness (SSA), der romvær har vært et viktig element.

ESA Norge ble høsten 2017 medlem av FNs Committe on the Peaceful uses of Outer Space (COPUOS).



Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

PNT-strategien

En rekke kritiske samfunnsfunksjoner er i dag avhengige av PNT-systemer (særlig GNSS), og funksjonene er sårbare for svikt i disse systemene.

Rapporten bidrar til å øke bevisstheten om samfunnets sårbarhet for svikt i PNT-systemer, og bidra til å redusere sårbarheten gjennom forebyggende tiltak og beredskap.

For å oppnå dette har nå regjeringen presentert en handlingsplan og tiltakene i planen vil bli fulgt opp av ansvarlige sektormyndigheter.

Publisert av samferdselsministeren 6. november 2018
https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/pa-rett-sted-til-rett-tid/id2618053/

Romværstrategi

DSB, Telenor, Statnett, NVE og Norsk Romsenter har simulert en solstorm for å se på hvilken samfunnskritisk infrastruktur som kan bli slått ut.

«Det norske kraftnettet er relativt robust - sammenlignet med andre land»

Samfunnets sårbarhet for kraftige solstormer har vært omtalt i flere rapporter, og er også omtalt i flere utgaver av Nasjonalt risikobilde fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB).

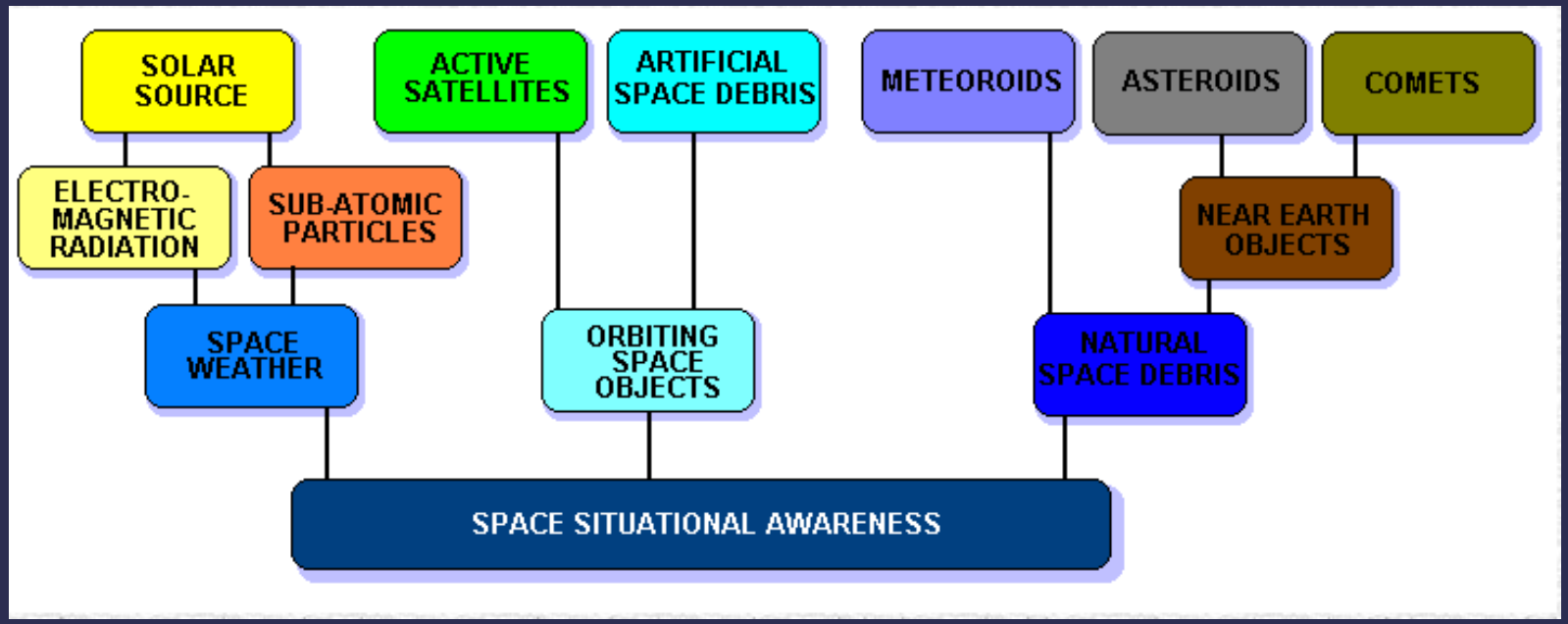
Norsk Romsenter skal utarbeide en nasjonal romværstrategi i løpet av 2019.

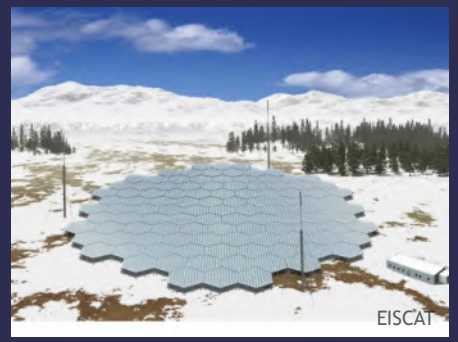
5.6 SOLSTORM

BAKGRUNN

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Situasjonsforståelse i rommet - SSA





Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Takk for oppmerksomheten!

P. Brekke

Norsk Romsenter
Norwegian Space Agency

Kjetil Bilic Michaelsen
Sektoransvar forsvar
kjetil.michaelsen@spaceagency.no

Acknowledgement: Mike Hapgood (UKRI STFC) and Captain Bryn Jones (Solarmetrics)