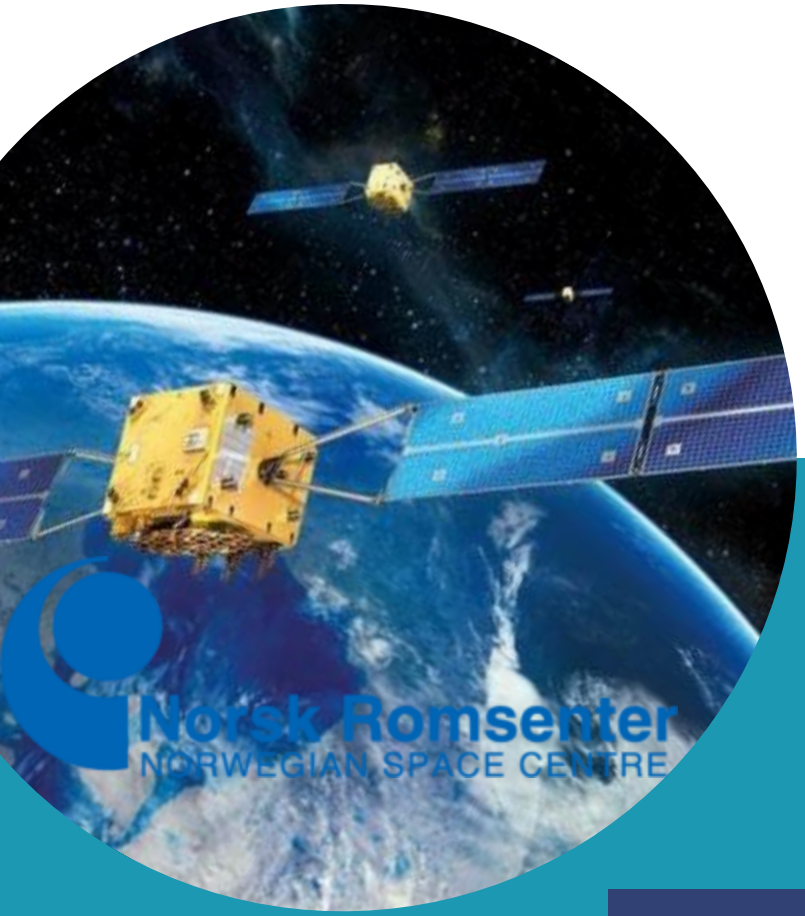


SIKKERHET I GLOBALE SATELLITTBASERTE NAVIGASJONSSYSTEMER

UiO, 2015
Øivind Christophersen

TEMA

- Litt om hvordan satellittbaserte navigasjonssystemer virker
- Sårbarheter, risiko og samfunnet
- Sikkerhetstiltak
- Norges rolle og utfordringer i Europeisk GNSS

LITT OM HVORDAN SATELLITTBASERTE NAVIGASJONSSYSTEMER VIRKER

- Atomklokker (nøyaktig tid) og kjente satelittbaner
- Krysspeiling: Avstanden = lyshastighteten x tiden
- Kontakt med minimum 4 satelitter (x,y,z & t)
- Antall og plassering av satellittene
- Signalet har meget liten energi og drukner i støy
- Korrigerte signaler (EGNOS/DGNSS)

ATOMKLOKKER

Alle stellittene er utstyrt med:

2 redundant Passive Hydrogen Maser clocks (PHM)

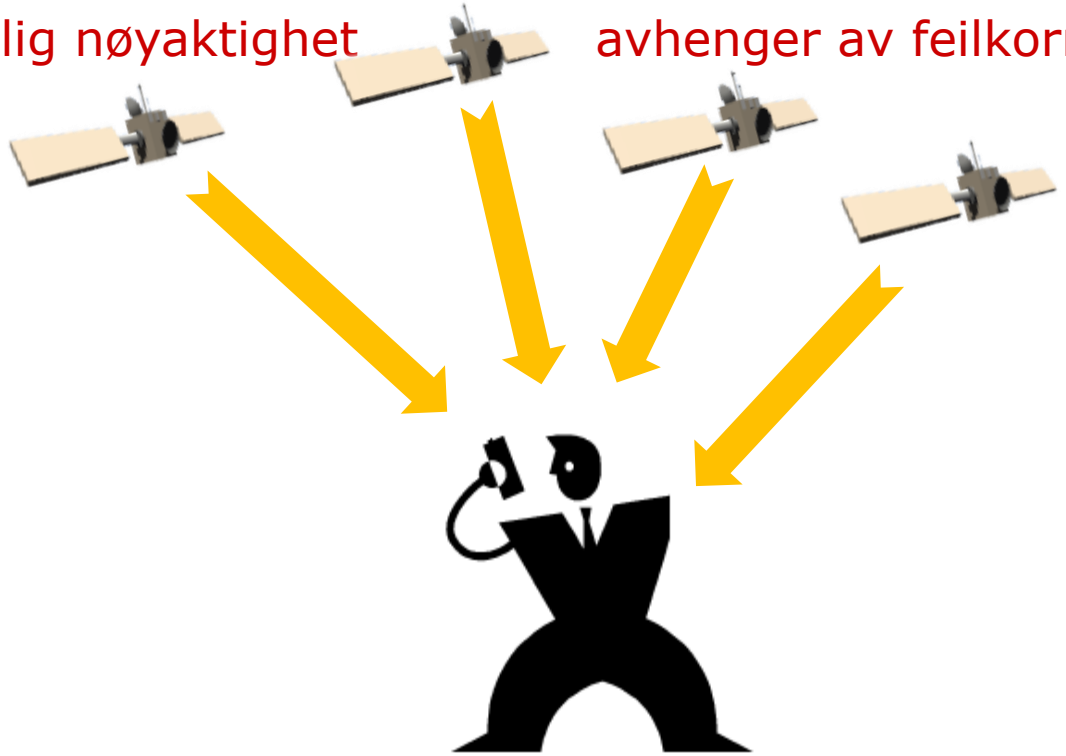
2 rubidium clocks (RAFS – Rubidium Atomic Frequency Standards)

- High-Stability: 2x10-12 at τ = 1 second
- Low Power: ≤ 14 watts
- Low Drift: ≤ 5x10-14/day
- High-Reliability: 700,000 Hr MTBF
- Fully Space-Qualified
- Radiation Hardened
- Negligible Environmental Sensitivities

PRINSIPPET: SATELLITTER SOM NØYAKTIGE REFERANSEPUNKTER

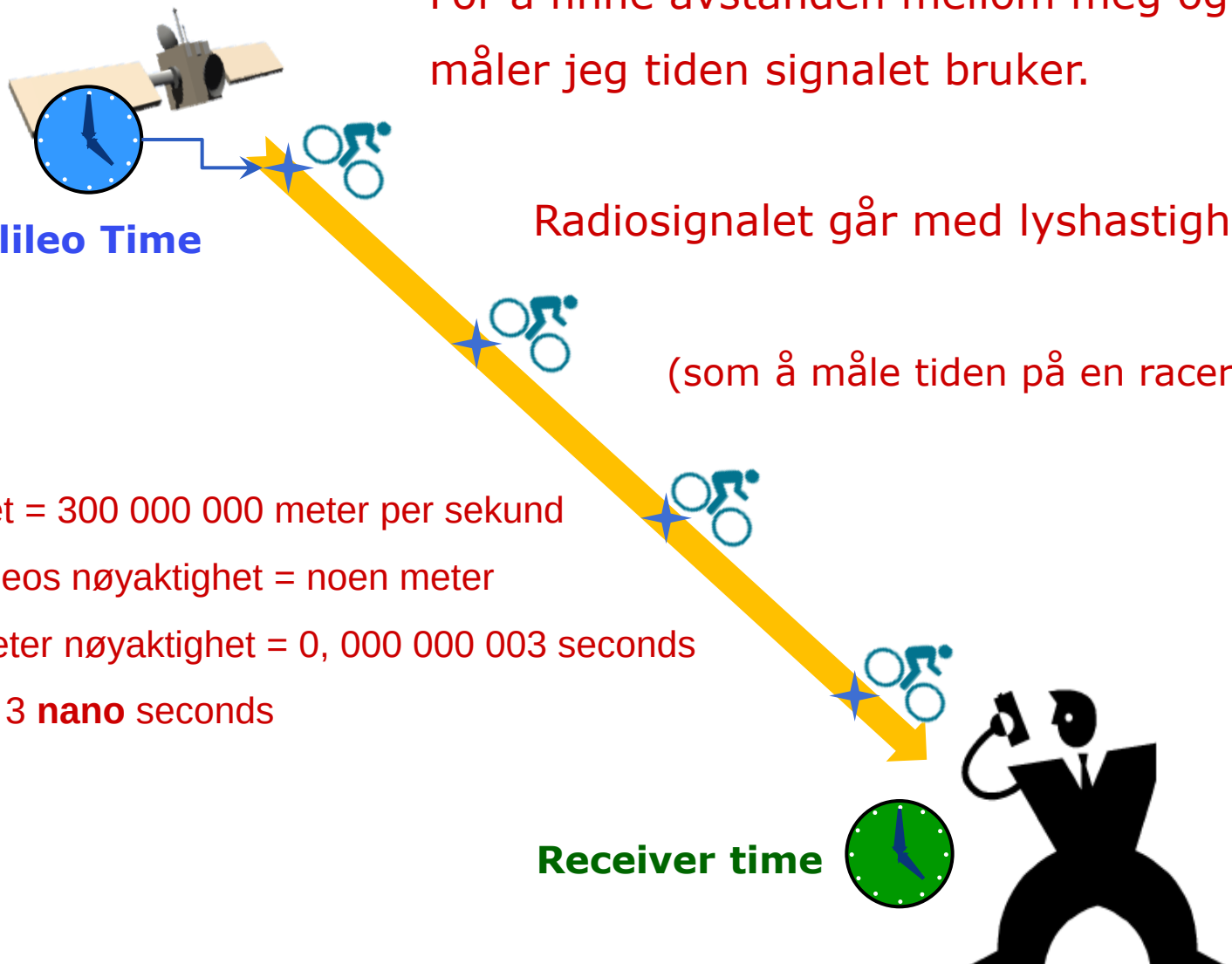
Satellittene brukes som meget nøyaktige referansepunkter (fixed stars)

1) Satellittene oppgir sine posisjoner med høy nøyaktighet
2) Jeg måler nøyaktig avstand mellom meg og hver satelitt
3) Basert på dette kalkulerer jeg min egen posisjon
4) Endelig nøyaktighet avhenger av feilkorrigeringer



SIGNALET OG TIDEN

For å finne avstanden mellom meg og satellittene måler jeg tiden signalet bruker.



Radiosignalet går med lyshastigheten

(som å måle tiden på en racersykkelist :-)

Lyset = 300 000 000 meter per sekund

Galileos nøyaktighet = noen meter

1 meter nøyaktighet = 0, 000 000 003 seconds

dvs 3 **nano** seconds

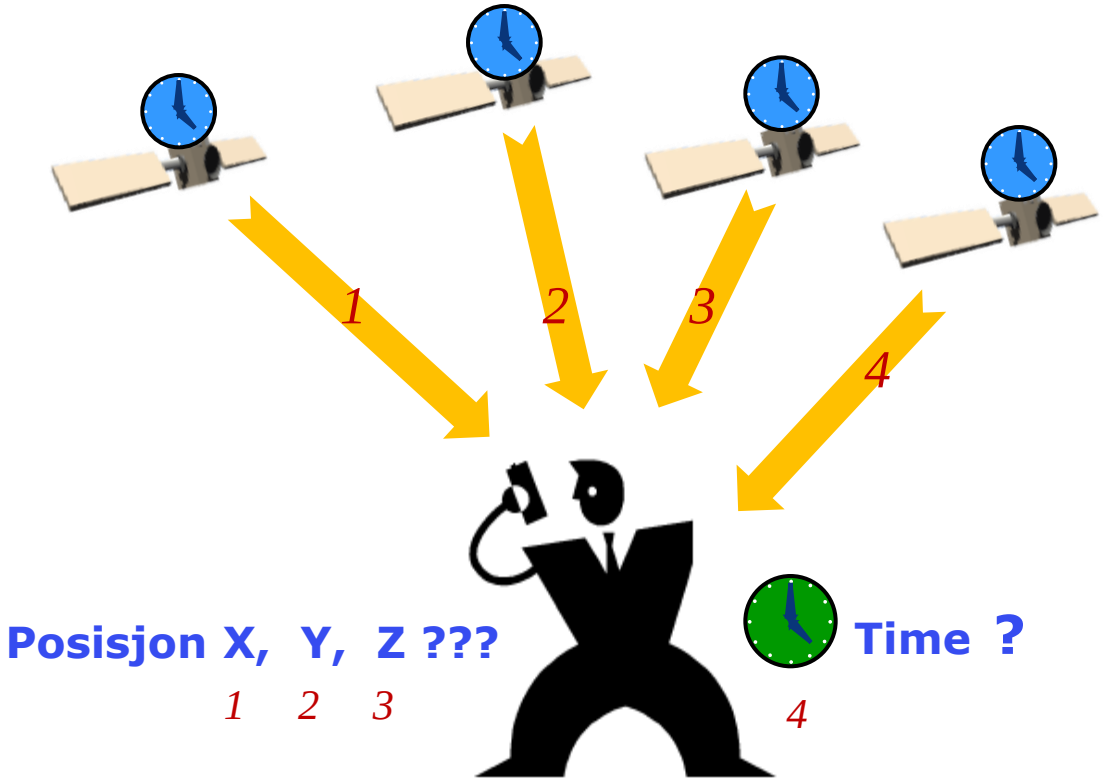
FIRE MÅLINGER ER NØDVENDIG

I tillegg til de tre ukjente posisjonskoordinatene: x, y og z,

må jeg også synkronisere « mottakertiden » med « Galileotiden »

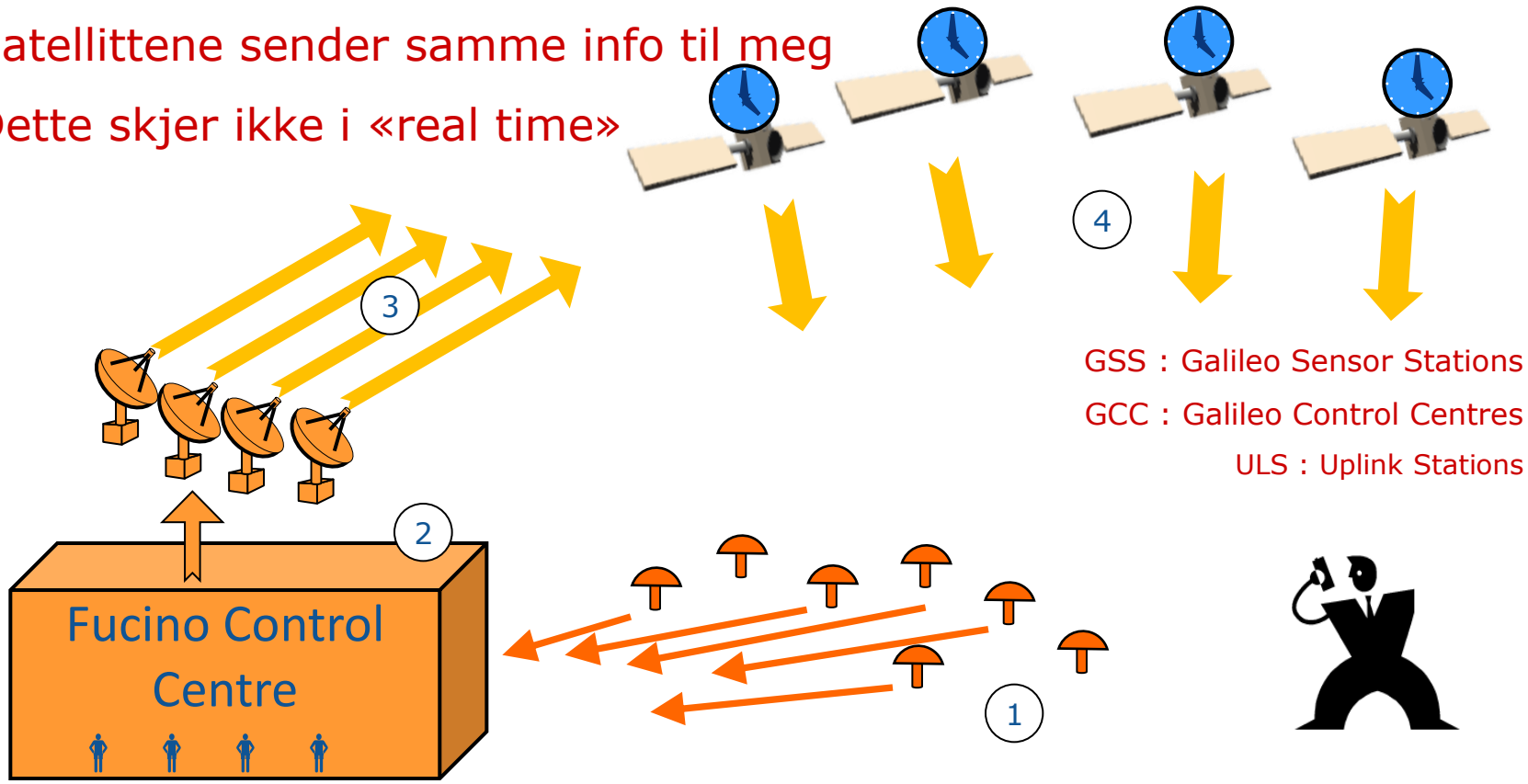
- ellers vil mine målinger være verdiløse. Tiden er den fjerde ukjente

➔ Minimum 4 satellitter er nødvendig (flere kan selvsagt benyttes)

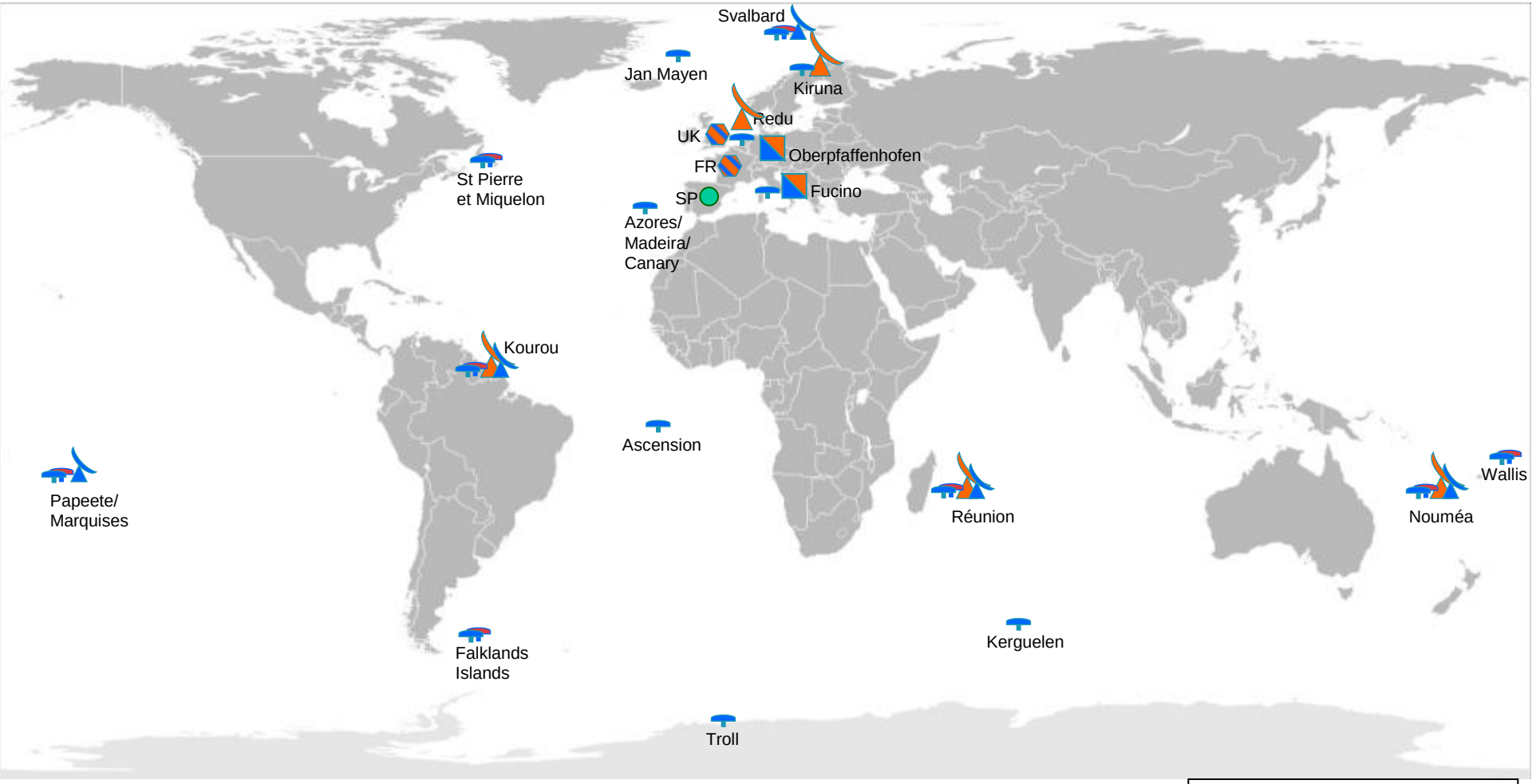


SATELLITTENE TRENGER ET «BAKKESEGMENT» FOR Å FASTSLÅ SINE NØYAKTIGE POSISJONER

1) Måler signaler i et globalt nettverk av stasjoner (GSS) ;
2) Beregner meget nøyaktig satellittenes baner og klokker (GCC);
3) Sender denne info (orbits + clocks) til satellittene (ULS)
4) Satellittene sender samme info til meg
5) Dette skjer ikke i «real time»



ET VERDENSOMSPENNENDE “BAKKESEGMENT”



GSS (2 redundant)
GSS (1)
ULS
(2 ant.)
TTC
GCC
GSMC
Service Centre

30 SATELLITTER I GALILEO

«Alle» over hele kloden må se minst 4 satellitter, - hele tiden

- Nær Jorden = lite satellitt fotavtrykk = for mange satellitter
- Fjernt fra Jorden = svakt signal

Løsning :

➔Medium Earth Orbit mellom "low" and the "geo" = 23.222km

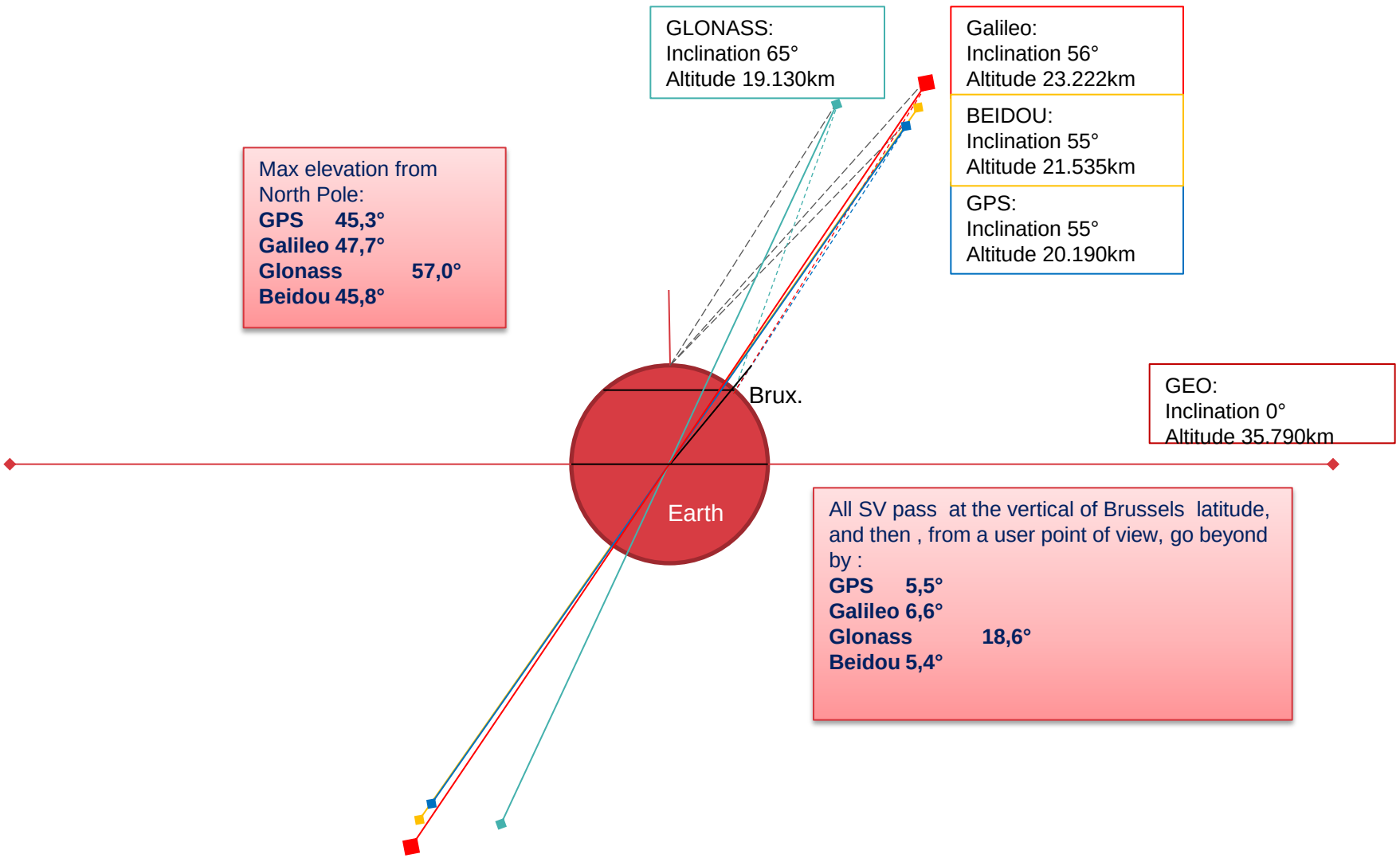
➔Vinkel = 56° med Ekvator

➔24 nominelle satellitter

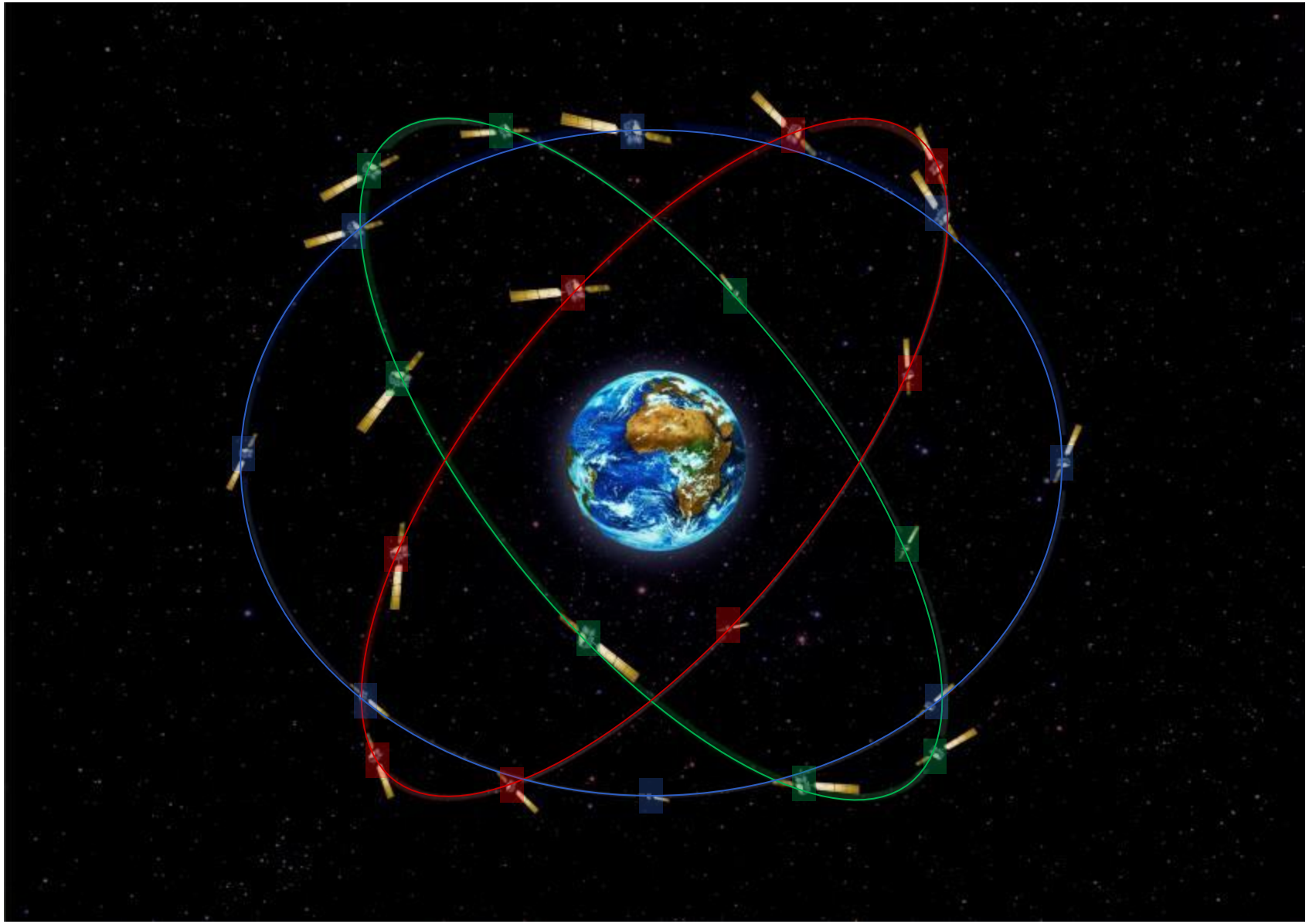
➔3 omløpsplan = 8 satellitter per plan

➔30 satellitter = 24 + 6 reserve

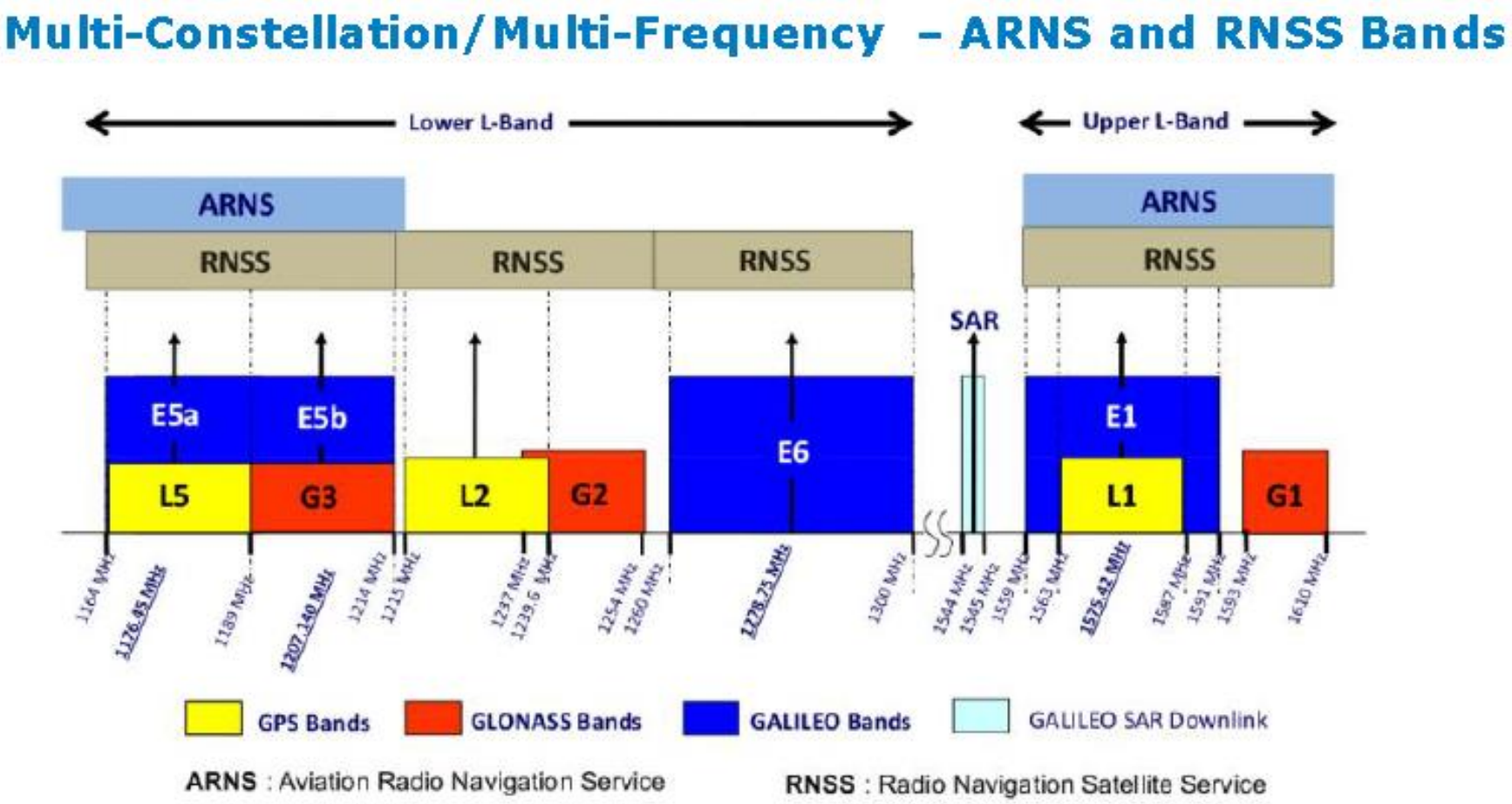
PLASSERING IFT EKVATOR
GALILEO, GPS, GLONASS, BEIDOU



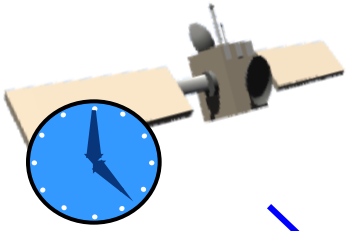
24 NOMINELLE SATELLITTER



FREKVENSER


Multi-Constellation/Multi-Frequency – ARNS and RNSS Bands
Lower L-Band
Upper L-Band
ARNS
RNSS
RNSS
RNSS
ARNS
RNSS
SAR
E5a
E5b
E6
E1
L5
G3
L2
G2
L1
G1
1164 MHz
1176.45 MHz
1189 MHz
1207.140 MHz
1214 MHz
1215 MHz
1237 MHz
1239.6 MHz
1254 MHz
1260 MHz
1278.75 MHz
1300 MHz
1544 MHz
1545 MHz
1559 MHz
1563 MHz
1575.42 MHz
1587 MHz
1591 MHz
1593 MHz
1610 MHz
GPS Bands
GLONASS Bands
GALILEO Bands
GALILEO SAR Downlink
ARNS : Aviation Radio Navigation Service
RNSS : Radio Navigation Satellite Service

SIGNALET FRA SATELLITTEN



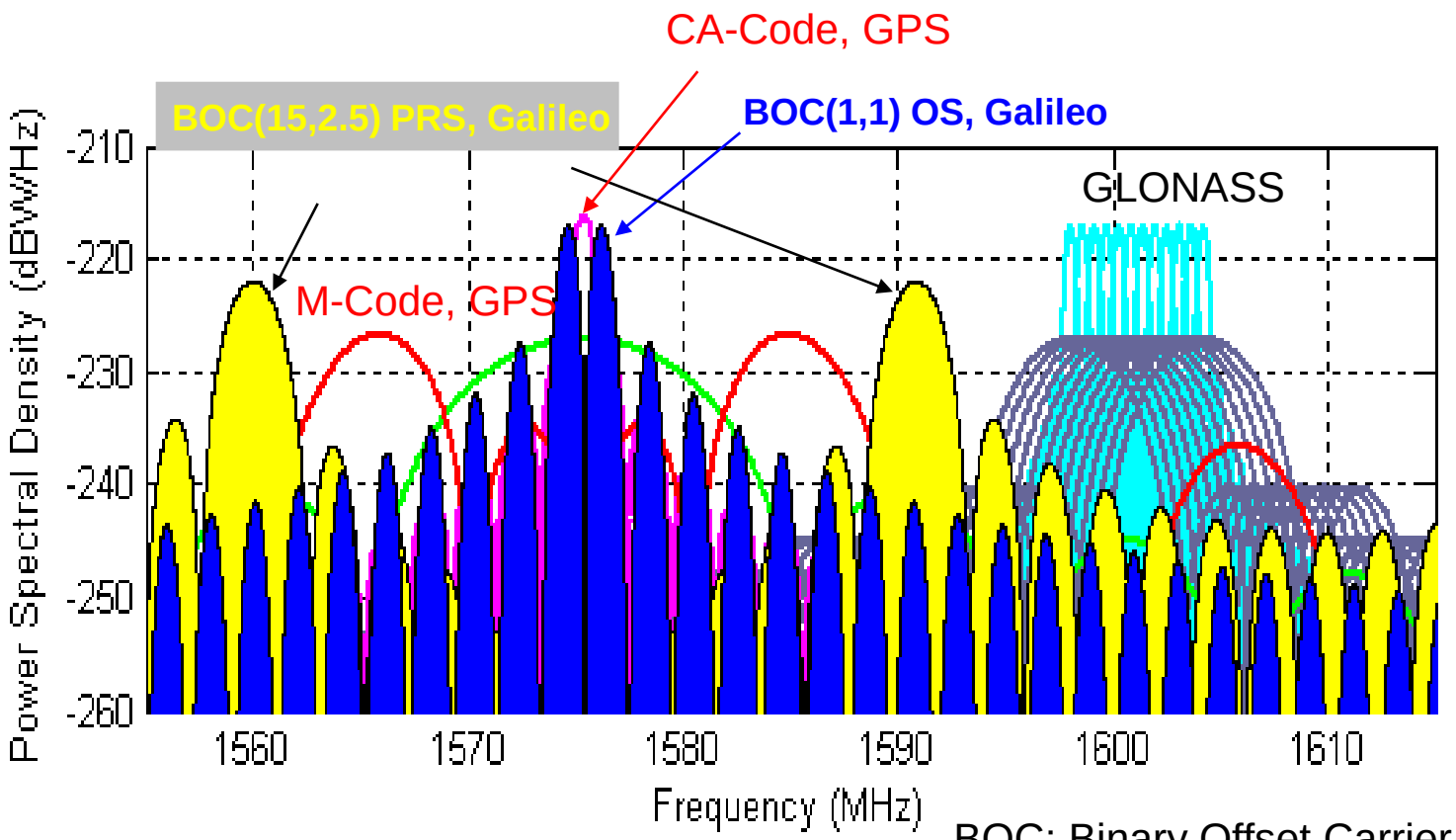
Navigation message (Orbits and Clocks)
E1: 125 bit per second (i.e. very low data rate)
Encrypted for PRS and CS

The Galileo "Frequency"
Also called the "carrier"
(E1, E5a, E5b, E6)

Carrier E1 : 1,5 GHz

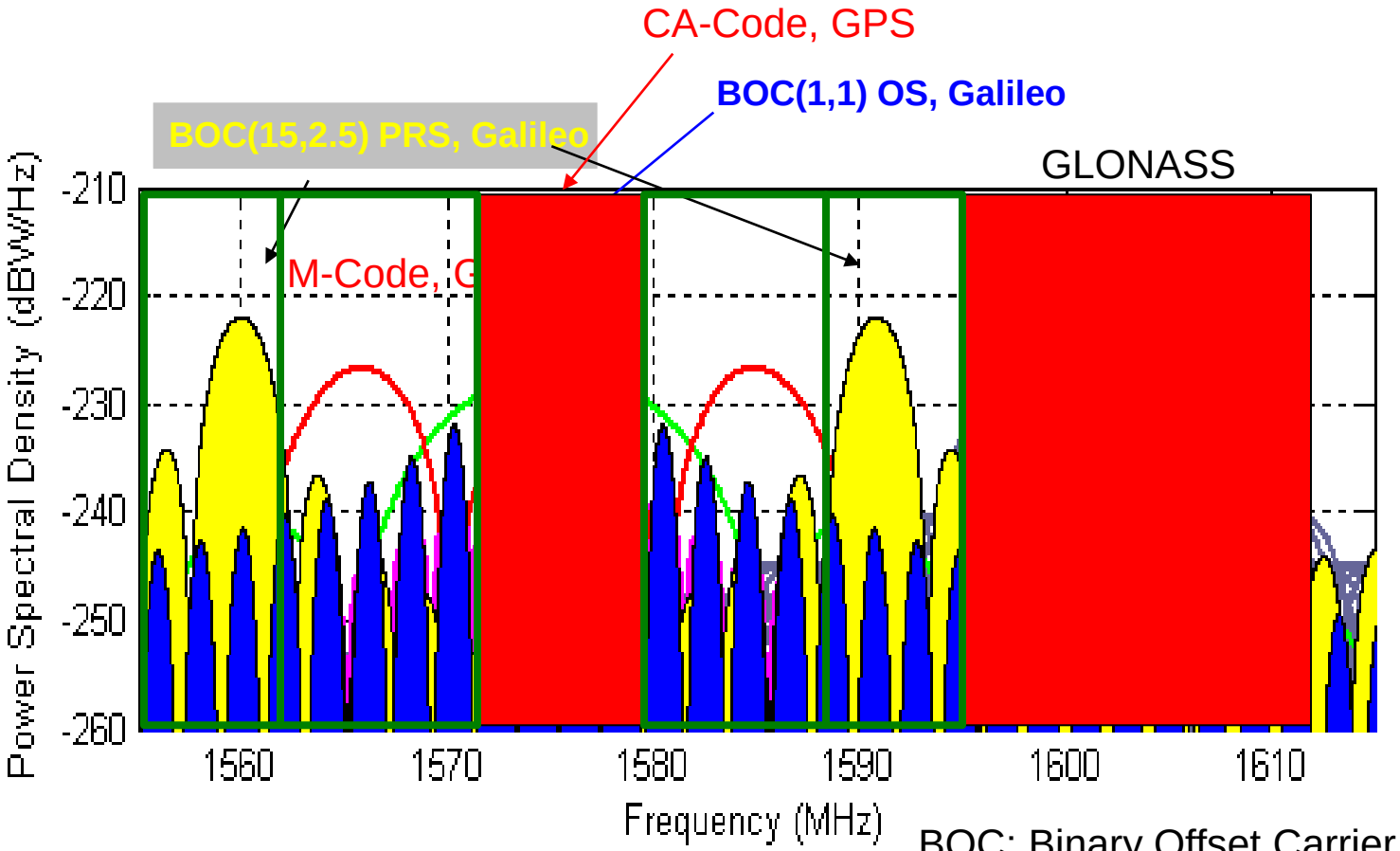
the "code":
- to identify the satellite
- to measure the propagation time
- encrypted for PRS and CS
E1 code = 1023 bit per millisec

GPS, GLONASS AND GALILEO SIGNALS ON L1



BOC: Binary Offset Carrier

GPS, GLONASS AND GALILEO SIGNALS ON L1



BOC: Binary Offset Carrier

SIGNALET FRA SATELLITTEN ER MEGET SVAKT

- **Tapet (dempningen) er gitt som:**
  - **20 log (4 x pi x R / wavelength)**
- Hvor R er avstanden: ca 21.000km for en GPS satellitt
- Tapet (dempningen) blir 183dB for the L1 wavelength
- En GPS L1-satellitt har en utgangseffekt på ca 200 watt eller +23dBW,
- Signalstyrken på bakken er ca -160dBW or -130dBm eller 10^{-16} watt
- …eller omtrent som å se en lommelykt på 20.000km avstand..!

EGNOS

- European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) forbedrer GPS satellittnavigationsystemet og gjør det egnet for sikkerhetskritiske anvendelser, som styring av fly eller navigering av skip i trange fravann.
- EGNOS består av tre geostasjonære satellitter og et nettverk av bakkestasoner. EGNOS sender signaler som inneholder informasjon om tilliten og nøyaktigheten på GPS-signalene. Dette gir brukerne en nøyaktighet på minst 1,5 m.
- EGNOS er et fellesprosjekt mellom ESA, European Commission and Eurocontrol.
- Fem referansestasjoner i Norge: Jan Mayen, Svalbard, Kirkenes, Tromsø og Trondheim

KAN VI STOLE PÅ GPS?

SÅRBARHETER, RISIKO OG SAMFUNNET

- Støykilder
  - Atmosfærisk støy og romvær
  - Komponentstøy (egenstøy) termisk støy
  - Interferens og jamming
  - Spoofing
- Skjerming og refleksjoner (høye hus, daler, tunneller, etc)
- Bakkesystemets sårbarhet (internett)
- Brukerfeil, systemfeil og teknisk svikt
- Kritisk infrastruktur og samfunnet
  - GNSS underliggende infrastruktur for posisjonering, navigasjon og presis tid

Politiets radiosamband

Aftenposten 11.01.09 kl. 02:50 Publisert: 10.01.09 kl. 23:12

«Politiets radiosamband kan ha blitt sabotert...?»

JAMMING…!

Amerikanske styrker i Ukraina under øvelse. Treningen av ukrainske soldater har gitt USA og NATO et nytt og overraskende bilde av russisk elektronisk krigføring, **FOTO:** Pavlo Palamarchuk

Vladimir Putins elektroniske krigføring i Ukraina skremmer USA og NATO

Putins nye våpen skremmer amerikanerne og NATO. De lammer kommunikasjon, slår ut GPS-er og gjør moderne våpensystemer ubrukelige.

↓annonse

GENIUS
GNSS Education

Available Jammers

- "…plugs into car cigarette lighter"
- "…will jam all GPS sat-nav signals within a radius of 50m and GSM phone signals within 20m"

© NGU 2014

- Many other jammers available
  - Illegal to operate, but not presently to own

GENIUS
GNSS Education

Impact on GNSS Applications

User Application	Potential Impact
Handheld	Positioning Errors – loss of confidence Denial in specific locale
In-Car	Similar to handheld – map-matching may mitigate
Fleet Management	Trucks, taxis, police etc – inconvenient, problem in emergency
Precision Survey	Incorrect positioning – how can we tell in the field, or in post-processing?
Power/Utility Systems	Loss of time synchronisation – fall back to degraded mode of operation
Transport - road tolling	Incorrect billing – challenges in court?
Transport – Ships, Aircraft	Multiple frequency mitigation - Lack of trust, Hazardously Misleading Information (HMI)

© NCI 2014

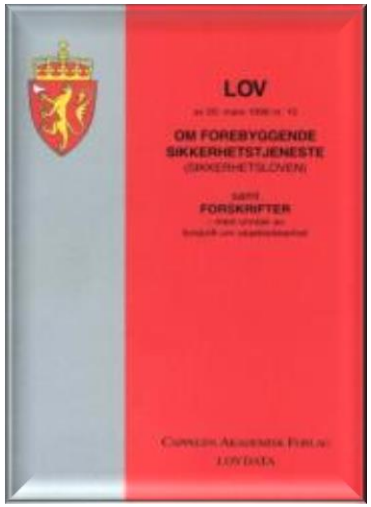
SIKKERHETSTILTAK

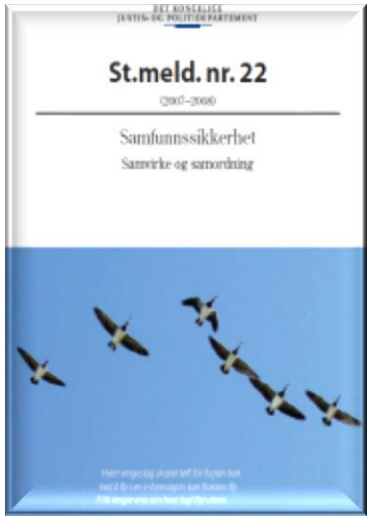
- ROS-analyse
- Forebyggende sikkerhet
- Redundans
- Mottakere og støyimmunitet
- Kryptering og spreddspektrum
- Integritetskontroll og alarm
- Integrasjon med andre systemer og sensorer
- “Kalde atomer”
- Interferensdeteksjon og mottiltak
  - Beskyttelse av spektrum
  - Forbud og håndtering av jammere

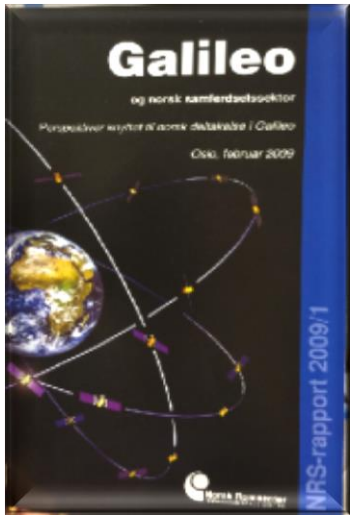
NORGES ROLLE OG UTFORDRINGER I EUROPEISK GNSS

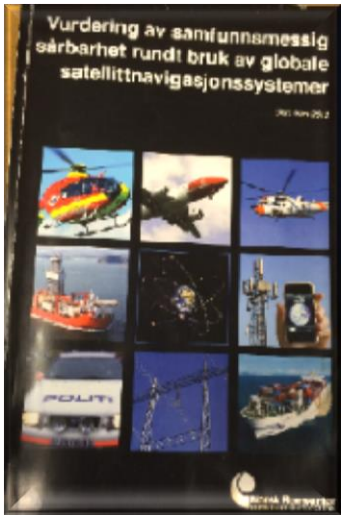
- Politikk og Stortingsmeldinger
- Nordområdene og Antarktis
- Norge medlem av ESA, - men ikke EU.
  - EØS-avtalen og tilleggsavtaler
  - Deltakelse I møtefora
- Våre strategiske samarbeidspartnere
- Galileotjenester
- Norsk industri

POLITIKK OG ST.MELDINGER









TRE EUROPEISKE BAKKESTASJONER PÅ NORSKE OMRÅDER

SVALBARD (ULS & GSS)

JAN MAYEN (GSS)

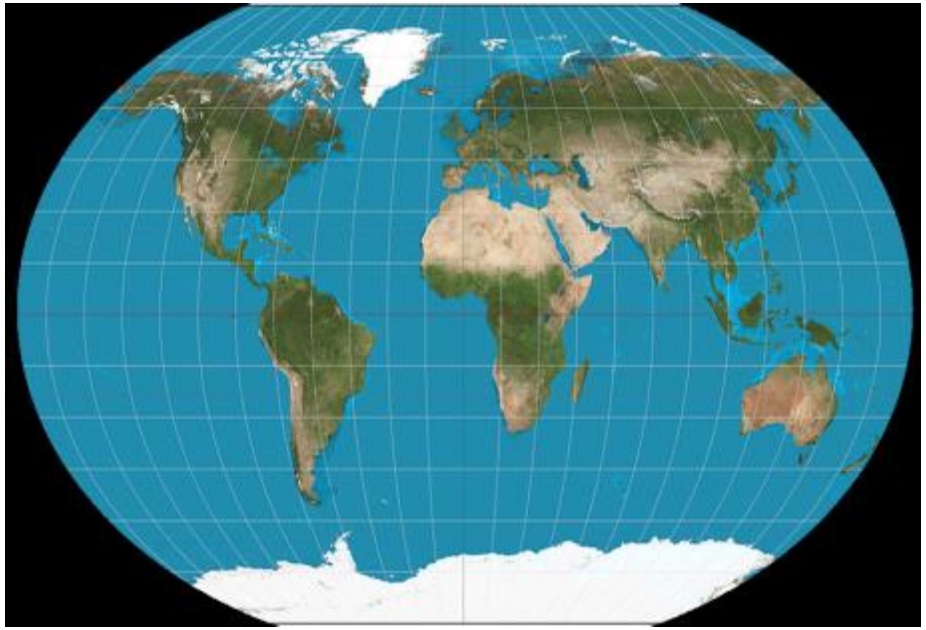
JAN MAYEN

TROLL, DRONNING MAUDS LAND

TROLL (GSS)

NORSKE INTERESSER

- Aktiv påvirkning for bedre ytelse i nordområdene
- Industri og tjenester
- Brukerbehov
  - Sikker og kosteffektiv navigasjon for maritime-, luftfarts og landanvendelser
  - Presis tid
  - Geodesi og oppmåling
  - Oljebransjen
  - SAR
  - Suverenitetshevdelse og overvåking
  - Ressursforvaltning
  - Naturvern
  - Sporing av farlig gods
  - Rasvarsel og monitorering av fjell
  - Intelligente transportsystemer (ITS)



NORSK INDUSTRI

I utbyggingsfasen av Galileo (2008-2013) har norske bedrifter fått kontrakter til en verdi av vel 70% av det norske økonomiske bidraget på 74 millioner euro.

• **Kongsberg Norspace** har levert komponenter til Galileosatellittene for vel 30 millioner euro. Gjennom utviklingskontrakter med ESA posisjonerer Norspace seg for leveranser også til neste generasjons satellitter fra 2020.

• **Kongsberg Seatex** er hovedkontraktør på Galileo sensorstasjoner. Selskapet har vunnet kontrakter i utbyggingsfasen for 7,7 millioner euro.

• **Kongsberg Satellite Services (KSAT)** drifter Galileo og EGNOS bakkestasjoner og har en årlig inntekt på ca 4 millioner euro.

• **Fugro Satellite Positioning** har vært med i definisjonen av den kommersielle tjenesten i Galileo og leverer tjenester med ekstrem nøyaktighet

GALILEO-TJENESTER

Navigasjon	Open Service	Massemarkedet, gratis Enkel posisjonering (7m) Ingen garanti, ingen integritet	
	Commercial Service	Profesjonelle anvendelser, høy nøyaktighet (cm), tjenestegaranti Integritetsvarsling (1-10s)	
	Safety of Life Service	Sikkerhetskritiske anvendelser Varsling om nedsatt ytelse ila sek. Redefineres GPS+Galileo og ARAIM EGNOS V3.0 regionalt i Europa	
	Public Regulated Service (PRS)	Offentlig bruk – myndighetsutøvelse og samfunnskritisk infrastruktur Robust mot forstyrrelse, kryptert	
SAR	Search and Rescue	Raskere formidling av nødsignaler Tilbakekvittering til den nødstedte	

OPPSUMMERING

- EGNSS muliggjort gjennom EØS-avtalen, samarbeidsavtalen og sikkerhetsavtalen
- Sårbart, men samfunnsmessig nødvendig
- EGNSS en lønnsom investering og politisk interessant
- Ansvar for sikkerheten på tre Galileo-stasjoner og fem EGNOS-stasjoner (kritisk infrastruktur)
- PRS (Public Regulated Services) og CPA
  - Nasjonal tilpasning og industriell gevinst

NB! European Space Expo pågår nå på Youngstorget i Oslo.