



GA en GALILEO, het Europese satellietnavigatiesysteem

Tom Willems

Workshop voor de General Aviation

9/11/2018

Overzicht

- Septentrio
- Galileo
 - Status en evolutie
- VFR navigatie met GPS/GNSS – Galileo in context
 - Van: GPS L1 (single frequency)
 - Naar: multi-constellation multi-frequency
 - *Testresultaten*
- Galileo in gecertificeerde SoL (safety-of-life) toepassingen: DFMC
 - *Testresultaten*
- Samenvatting

Septentrio

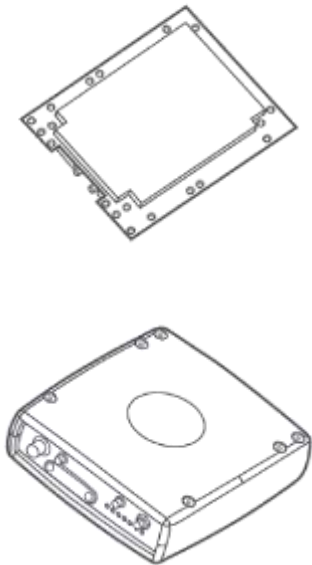
Septentrio

- Founded in 2000 as IMEC spin-off
- Septentrio NV (Leuven HQ), Septentrio Inc (Los Angeles) & Asia-Pacific
- International team of 100 people worldwide, 50 in GNSS R&D
- Focus on cm-dm accuracy
- Own HW/SW technology and building blocks
- GNSS-INS hybrid solutions
- Long term strategic partner of the European Space Agency
- We offer high precision GNSS positioning and timing solutions for the most demanding applications

Septentrio Products

AsteRx

Rover Receivers and OEM boards
for automation and machine control



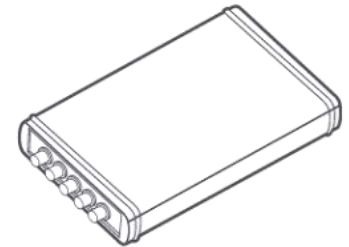
Altus

Smart antennas for
GIS and survey

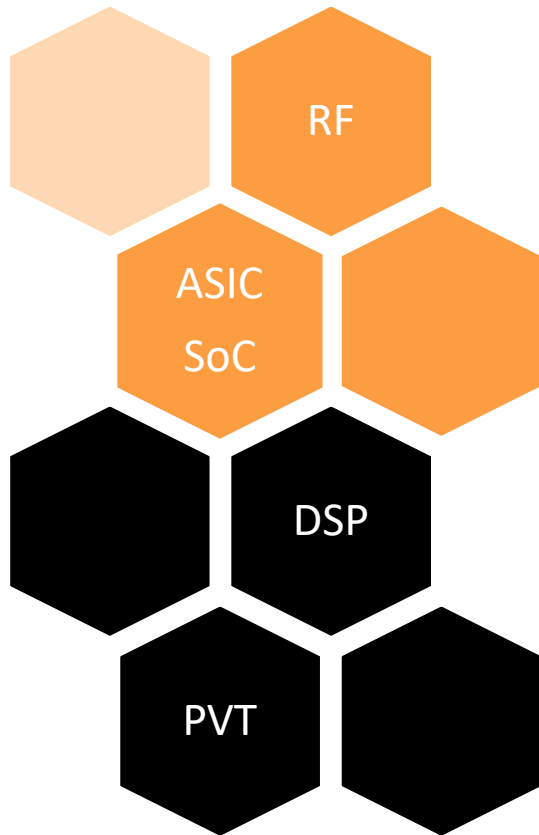


PolaRx

Reference receivers for
science and networks



Septentrio Core Technology



- **RF Front-end & Clock**
 - Multi-Frequency Multi-Constellation
 - High interference immunity
- **SoC, ASIC**
 - All-in-view multi-frequency multi-constellation
 - Fast acquisition
 - Built-in interference mitigation (incl. chirp jammer mitigation)
- **DSP**
 - All signals in space (GPS, GLO, GAL, BDS, QZSS)
 - Multipath mitigation (wide-band architecture, APME)
 - Very low measurement noise
 - Secure GNSS signals and Anti-Spoofing
- **PVT**
 - Scalable accuracy: sub-meter down to cm
 - High availability in challenging environments
 - High reliability

The Galileo Test Segment Company



- Prime Contractor to ESA since 2004
- World's first Galileo receivers in 2005
- GIOVE, IOV and FOC Test and Ground Segment receivers by Septentrio
- Septentrio leadership recognised worldwide



Galileo

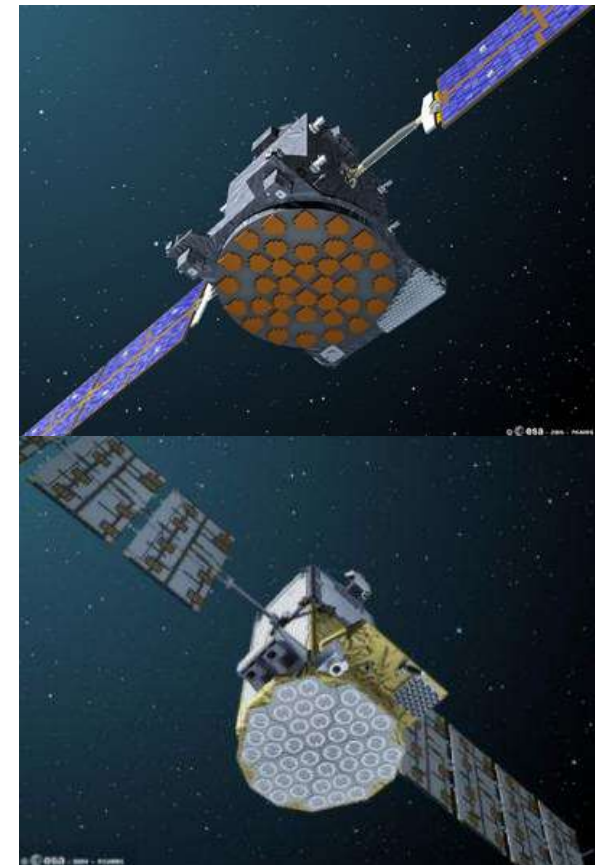
Galileo



- Global, European system
- Under consideration since 1990s
- Important objective: European independence at political, technological and security level
- Programme under civilian control
- Public-private partnership abandoned in 2007
- Now funded by EU, managed by EC and GSA (European GNSS Agency), implemented by ESA
- **15/12/2016: Initial Services Declaration**

Galileo Space Segment

- Satellites orbit ca. 23200km above earth
- 3 orbital planes with 56° inclination
- Target: 30 satellites
- First satellites launched in 2005 and 2008
 - GIOVE-A and GIOVE-B
 - Successful signal demonstration/testing
 - Use of frequencies (ITU) secured
 - Now decommissioned



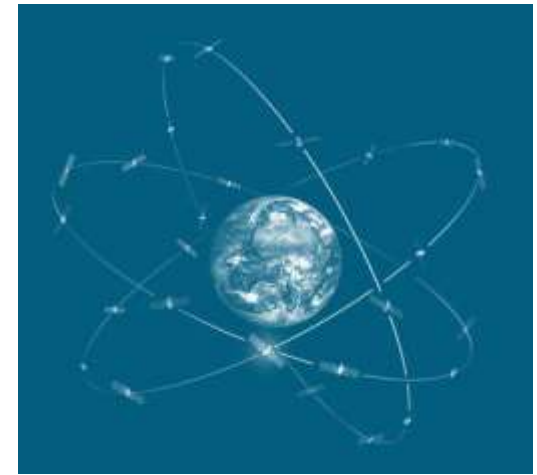
Galileo Space Segment

- **2011-2012: 4 IOV (In Orbit Validation) satellites launched**
 - 1st Galileo-only positioning 3/2013 (Septentrio TUR)
 - Successful end-to-end validation of Galileo system
 - **3 operational**, 1 unhealthy
- **2014: 2 FOC (Full Operational Capability) satellites**
 - Did not reach correct orbits
 - Meanwhile, orbits partly corrected
 - Usable for testing
 - Will likely join the operational constellation
- **2015-2018: 20 FOC satellites launched successfully**
 - **15 operational**, 1 under maintenance, 4 under commissioning
- Next batch of 8 satellites ordered, bringing the total to **34 satellites**
- Galileo Second Generation (**G2G**) studies are ongoing



Galileo's Services

- **OS: Open Service**
 - Freely accessible signals in multiple bands
 - **Authentication capability**
 - Open Service Navigation Message Authentication (OSNMA)
- **CS: Commercial Service**
 - Originally intended to be managed by commercial service providers, currently being redefined
 - Signals in E6 band (E6B and E6C), one or both encrypted
 - **Authentication capability**
 - **High Accuracy service**
 - Transmission of Precise Point Positioning (PPP) data
 - Decimeter-level accuracy worldwide

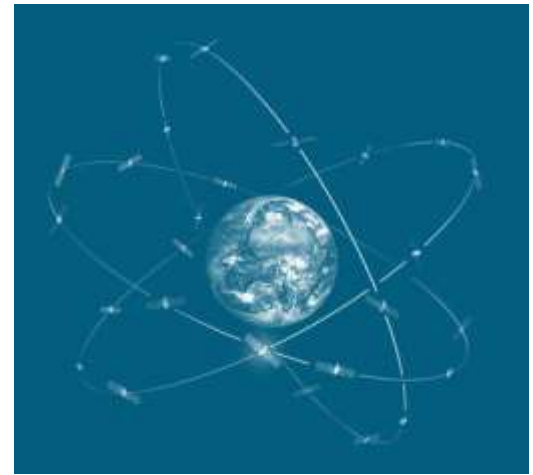


Galileo's Services

- **PRS: Public Regulated Service**
 - Protected signals (L1A and E6A)
 - Governmental authorisation required
 - For emergency services, police, coast guard, safety services, critical infrastructure (e.g. telecom) and transportation, defence,...
- **SAR: Search and Rescue Service**
 - Near real-time localisation (typ. <5km) of ELTs, EPIRBs, etc.
 - Return link message



- ~~Safety of Life (SoL) Service~~



Galileo Signals

- Galileo satellites transmit signals in **three frequency bands**
 - including E5a signal in aeronautical radionavigation band

Band	Signal	Service
E1	E1A	PRS
	E1BC	OS
E5	E5-AltBOC	OS
	- E5a	OS
	- E5b	OS
E6	E6A	PRS
	E6BC	CS

- Modern signal structures
 - e.g. wideband E5-AltBOC signal with very low measurement noise and high multipath resistance

Galileo in de Context van VFR Navigatie met GPS/GNSS

Galileo en VFR Navigatie

- Context: VFR navigatie met GPS/GNSS (als hulpmiddel)
 - Bijv. tablet met SkyDemon, EasyVFR of dergelijke
- Wat zijn de technische evoluties? Wat draagt Galileo bij?
- Misschien gebruik je al Galileo zonder dat je het weet




Foto: Garmin



Foto: SkyDemon

Van GPS naar GNSS – Multi-constellation

- De voornaamste *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) zijn:
 - GPS 
 - GLONASS 
 - Galileo 
 - BeiDou 
- De meeste (recente) satellietnavigatie-apparatuur **combineert** GPS met één of meerdere bijkomende constellaties
- Daarnaast ondersteuning voor SBAS (in Europa: EGNOS) – zie verder
- Dit biedt **voordelen** op het gebied van performantie
 - Nauwkeurigheid, continuïteit, integriteit; beschikbaarheid
 - Redundantie

Van GPS naar GNSS – Multi-constellation

- Galileo-ondersteuning **zeer ruim verspreid**
- Bijvoorbeeld met de “GPSTest” app kan je nagaan of je Android tablet/smartphone Galileo benut
- Galileo Device Directory:*
<http://www.usegalileo.eu/>



Afbeelding: GSA

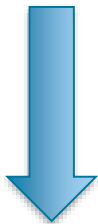
GPS Test ON

STATUS		MAP		SKY	
Lat:	50.0979984°	Time:	01:41:24.00 pm		
Long:	14.4346337°	TTFF:			
Alt:	255.8 m	Acc:	8.0 m		
Alt (MSL):	210.6 m	Speed:	0.0 m/sec		
# Sats:	22/24	Bearing:			
PDOP:	1.5	H/V DOP:	0.9/1.2		
ID	GNSS	C/N0	Elev	Azim	Flags
13		35.0	79.0°	167.0°	EAU
12		25.0	73.0°	8.0°	EAU
15		36.0	61.0°	284.0°	EAU
9		33.0	60.0°	214.0°	EAU
28		35.0	51.0°	61.0°	EAU
3		35.0	47.0°	310.0°	EAU
5		32.0	41.0°	302.0°	EAU
13		20.0	34.0°	255.0°	EAU
1		31.0	32.0°	59.0°	EAU
20		32.0	30.0°	254.0°	EAU
11		26.0	28.0°	54.0°	EAU
17		34.0	23.0°	127.0°	EAU
24		29.0	23.0°	272.0°	EAU
21		34.0	21.0°	63.0°	EAU
4		27.0	20.0°	164.0°	EAU
30		33.0	20.0°	82.0°	EAU
20		23.0	13.0°	10.0°	EAU
5		29.0	10.0°	198.0°	EAU
26		25.0	10.0°	67.0°	EAU

Afbeelding: GSA

Van GPS naar GNSS – Multi-constellation

- Testresultaten:

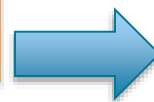


Log



Post-processing

*Configuratie:
positioneringsmode,
signaalselectie,...*



Analyse

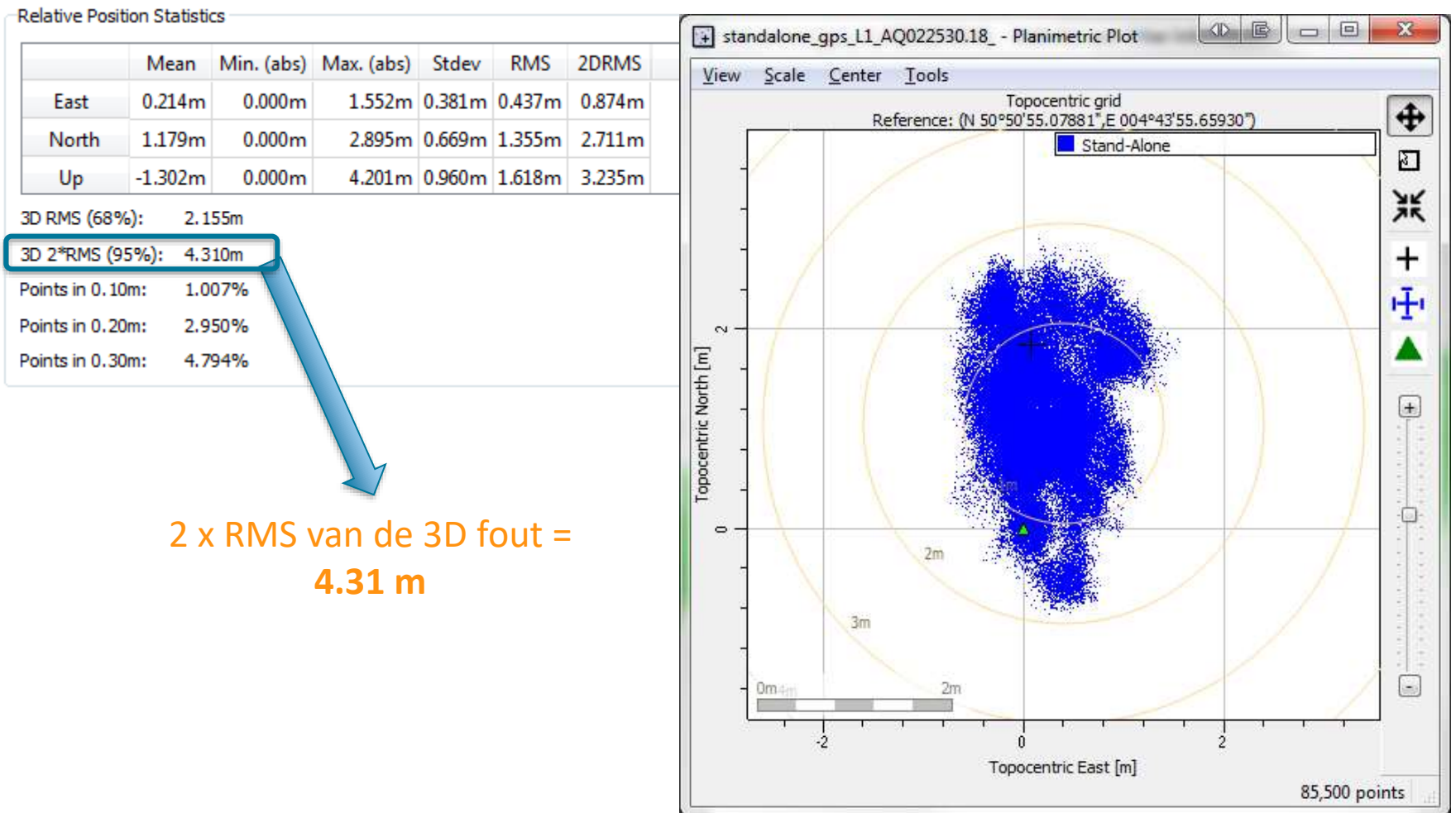
Referentiepositie

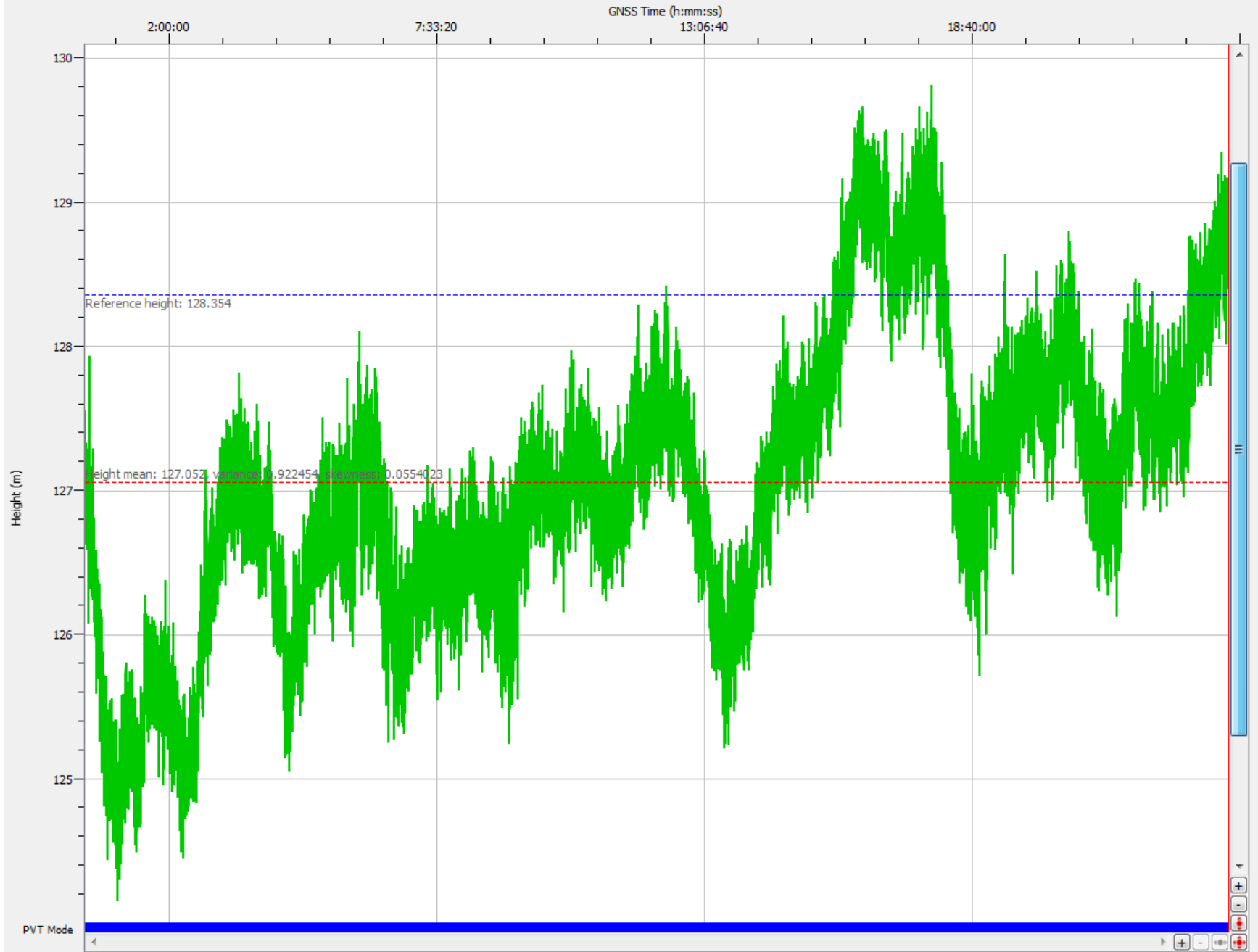


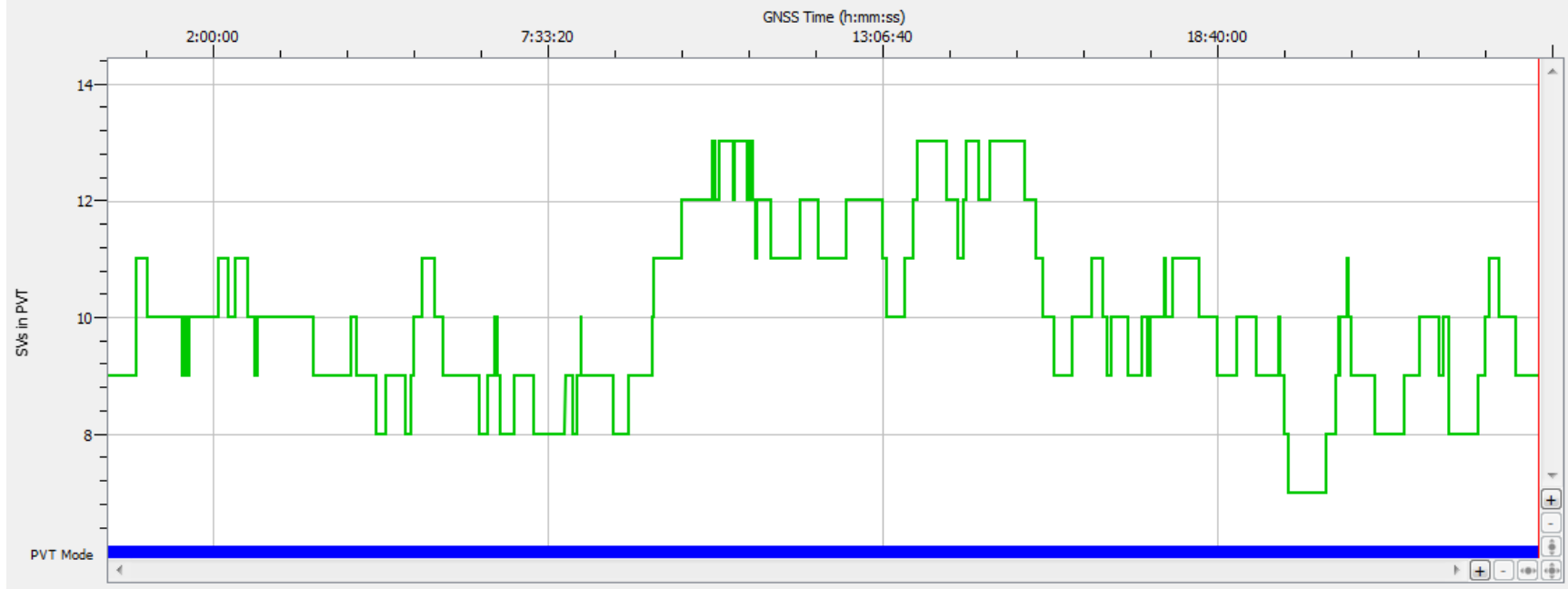
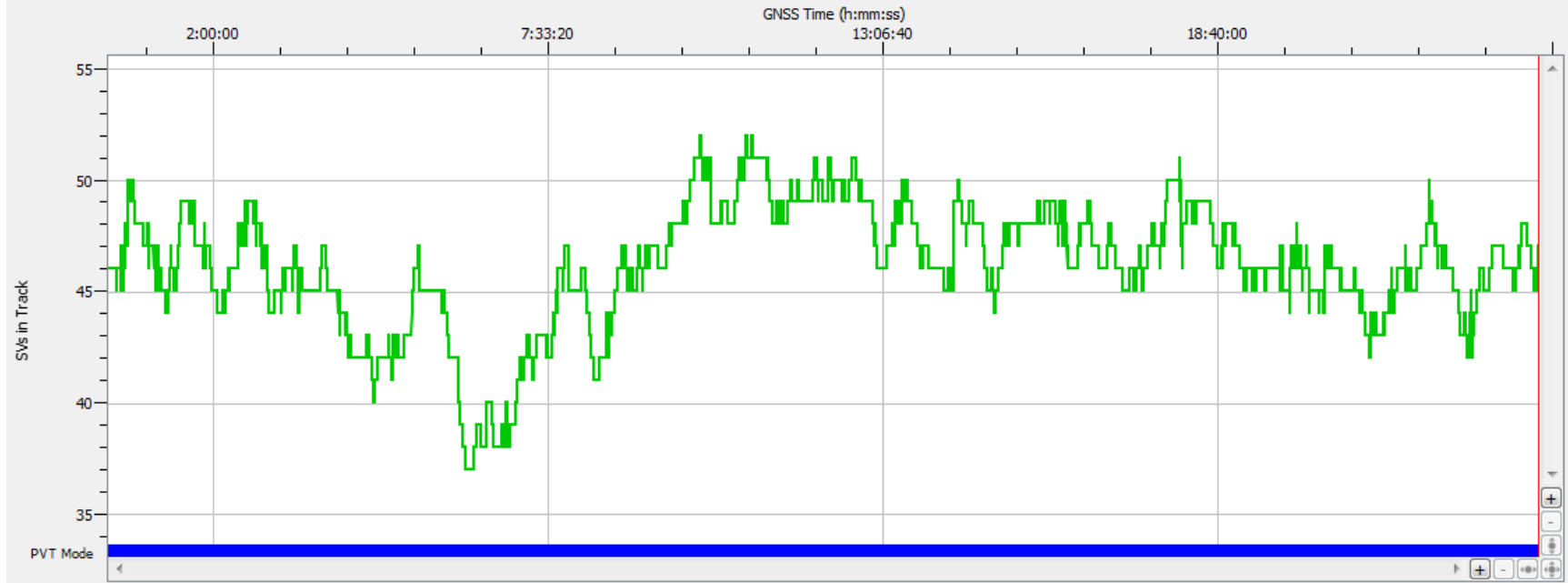
*Rapporten
Statistieken*

Van GPS naar GNSS – Multi-constellation

- *GPS L1-only, stand-alone, 2018 DOY 253, Leuven, max dynamics*





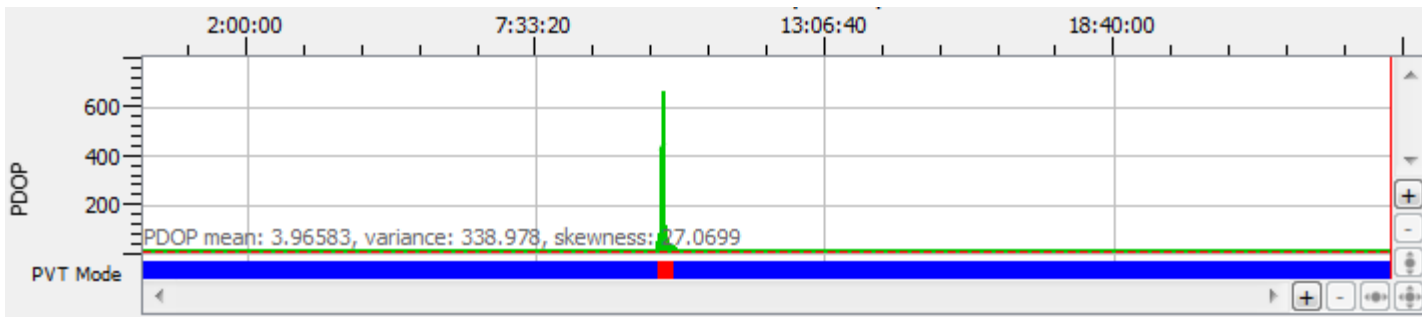


Van GPS naar GNSS – Multi-constellation

- *L1-only, stand-alone, 2018 DOY 253, Leuven, max dynamics (zelfde dataset)*

Signalen	3D 2*RMS
GPS L1	4.31 m
Galileo L1	5.10 m
GPS + Galileo L1	4.08 m
GPS + Galileo + GLONASS + BeiDou L1	4.06 m

- 4 tot 9 Galileo satellieten in de positieberekening
- ca. 20 minuten geen positie door slechte geometrie



Van L1-only naar Multi-frequency

- GNSS systemen zenden signalen uit in **meerdere frequentiebanden**
- Meeste apparatuur gebruikt uitsluitend de signalen in de **L1 band**
 - GPS L1, GLONASS G1, Galileo E1, BeiDou B1, ...
- Belangrijkste foutenbron in single-frequency (stand-alone) plaatsbepaling is de **ionosfeer** (ca. 70-1000 km boven het aardoppervlak)
- Deze foutenbron kan quasi **geëlimineerd** worden door het meten van signalen in twee (of meer) frequentiebanden



GNSS Signalen Vergeleken

- We beschouwen hier de pseudorange **meetprecisie** (!) die kan worden bereikt

Stelsel	Signaal	Precisie (1σ niveau)
GPS	L1 C/A, L2C	16 cm
	P code	10 cm
	L5	6 cm
GLONASS	L1 C/A, L2 C/A	25 cm
	P code	10 cm
Galileo	E1	8 cm
	E5a, E5b	6 cm
	E5-AltBOC	1.5 cm
	E6	7 cm
BeiDou	B1, B2	8 cm
	B3	6 cm

- Randvoorwaarden: C/N0 45 dB-Hz, unsmoothed, PolaRx5 (datasheet)

Van L1-only naar Multi-frequency

- Ondersteuning voor meerdere frequentiebanden vrij complex
- Tot nu toe voorbehouden voor gespecialiseerde apparatuur
 - Bijv. GNSS apparatuur voor survey levert **centimeter-nauwkeurigheid** gebaseerd op RTK technologie, fasemetingen op meerdere banden en dataverbinding met extern referentienetwerk



Van L1-only naar Multi-frequency

- Multi-frequency ondersteuning komt echter ruimer beschikbaar!
- 31/5/2018: eerste dual-frequency smartphone, de **Xiaomi Mi 8**
 - Broadcom BCM47755 chip: **L1 + L5/E5a, alle constellaties**
- Dit biedt **voordelen** op het gebied van performantie
 - Ionosfeer als foutenbron quasi geëlimineerd
 - Interferentie robuustheid



Afbeelding: Xiaomi

Van L1-only naar Multi-frequency

- *Stand-alone, 2018 DOY 253, Leuven, max dynamics (zelfde dataset)*

Signalen	3D 2*RMS
GPS L1	4.31 m
GPS L1 + L2	3.22 m
GPS+Galileo L1	4.08 m
GPS L1 + L2 + Galileo L1 + E5b	2.84 m

Galileo in Gecertificeerde Safety-of-Life Toepassingen: DFMC

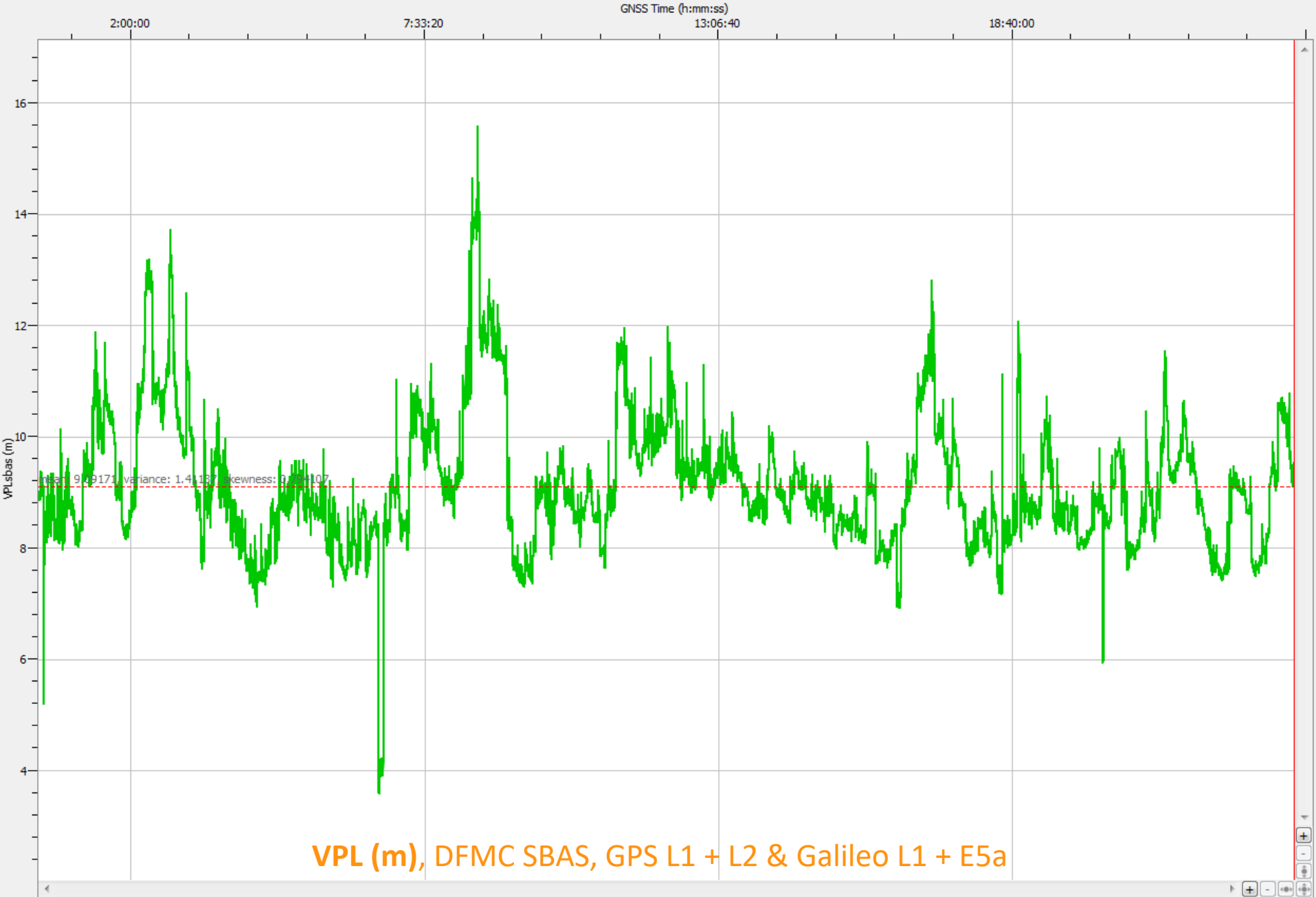
DFMC

- Safety-of-Life (SoL) toepassingen kunnen vandaag enkel op basis van **GPS L1 & SBAS L1** (RTCA DO-229 standaard)
- Standaardisatie loopt om dit uit te breiden naar:
 - **Dual-Frequency Multi-Constellation** (DFMC)
 - Frequentiebanden: **L1 + L5/E5a**
- **EGNOS V3** project loopt om DFMC te introduceren in EGNOS
 - Ondersteuning voor GPS en Galileo
 - Operationeel in 2025?
- In Australië-Nieuw Zeeland loopt momenteel een proefproject (GATBP) met live DFMC SBAS transmissies
- Nog een lange weg te gaan

DFMC SBAS – Australië-Nieuw Zeeland Test Bed

- In het testsysteem wordt L2 als tweede GPS-band gebruikt i.p.v. L5
- Testresultaten van gezamenlijk project van o.a. Septentrio en GMV
- *2018 DOY 253, Canberra, max dynamics*

Modus / Signalen	3D 2*RMS
Stand-alone GPS L1	4.42 m
“Traditionele” GPS L1 SBAS	1.59 m
<u>DFMC SBAS</u> GPS L1 + L2	1.28 m
<u>DFMC SBAS</u> GPS L1 + L2 Galileo L1 + E5a	1.04 m



Samenvatting

- Galileo is realiteit en wordt steeds meer gebruikt
- Evolutie van navigatieapparatuur
 - Van: GPS L1-only
 - Naar: multi-constellation L1-only (inclusief Galileo)
 - Op langere termijn: multi-constellation multi-frequency
 - In luchtvaart voornamelijk L1 + L5/E5a
- Hogere performantie, o.a. door redundantie en ionosfeer-eliminatie
- Gecertificeerde SoL toepassingen
 - Op dit ogenblik nog beperkt tot GPS L1 en SBAS L1
 - Dual-Frequency Multi-Constellation is de toekomst



Tom Willems – tom.willems@septentrio.com

EMEA (HQ)

Greenhill Campus
Interleuvenlaan 15i,
3001 Leuven, **Belgium**

septentrio.com

Americas

Los Angeles, **USA**

sales@septentrio.com

Asia-Pacific

Melbourne, **Australia**
Shanghai, **China**
Yokohama, **Japan**

