

Galileo, het Europese satelliet-navigatiesysteem



Student: De Poorter Tibo

Meetmethodes 02

Docent: Janssens Reinout

1. Wat is Galileo ?

Galileo is het wereldwijde satellietnavigatiesysteem (GNSS) van Europa.

Het prestigieuze project kwam tot stand door een samenwerkingsverband, goedgekeurd in 2003, tussen enerzijds de Europese Unie (EU) en anderzijds de Europese Ruimtevaartorganisatie (ESA). Het project werd door de EU gefinancierd en door de ESA gerealiseerd.



Net als het Amerikaanse GPS, het Russische Glonass en het Chinese Beidou-2, levert Galileo kwaliteitsvolle positionerings-, navigatie- en tijdsbepalingsdiensten aan gebruikers over de gehele wereld.

Galileo is het allereerste civiele satellietnavigatiesysteem. Zowel het Amerikaanse GPS, het Russische Glonass en het Chinese Beidou, zijn daarentegen militair gecontroleerde systemen.

De kostprijs van het hele Europese project, inclusief de grond- infrastructuur, wordt geschat op zo'n 10 miljard euro.

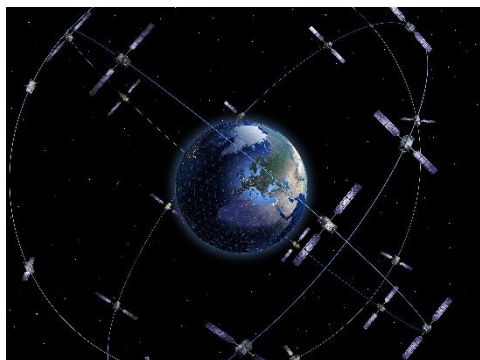
2. Hoe is Galileo opgebouwd ?

Het volledige Galileo Space Segment zal bestaan uit 30 satellieten, waarvan er 3 reservesatellieten zijn.

De satellieten bevinden zich in 3 middelhoge cirkelvormige banen op een hoogte van 23.222 kilometer boven het aardoppervlak. De 3 orbitale baanvlakken staan onder een hoek van 56° met het evenaarvlak, en zijn geplaatst op gelijke onderlinge afstanden, dus om de 120° .

Op elke cirkelvormige baan zijn er 9 operationele satellieten en 1 reserve- satelliet voorzien. De satellieten worden, op elke baan, op gelijke afstanden van elkaar geplaatst.

Elke satelliet meet circa 2,70m x 1,10m x 1,20m, en weegt zo'n 700 kg. De spanwijdte van haar zonnepanelen bedraagt ongeveer 13m. De antennes zitten onderaan de satelliet en wijzen altijd naar de aarde. Elke satelliet heeft een tijd nodig van 14 uur en 22 minuten om een volledige baan rond de aarde te beschrijven.



De Galileo-constellatie werd zo opgebouwd opdat iedereen, ook in de noordelijkste delen van Europa (tot 75° NB), met een waarschijnlijkheid van meer dan 90%, steeds minstens 4 satellieten in het bereik zou hebben, zodat hij zijn positie zou kunnen bepalen aan de hand van de signalen die door deze satellieten worden uitgezonden. Vanaf de meeste locaties zullen zelfs steeds 6 tot 8 satellieten zichtbaar zijn, wat de nauwkeurigheid bij de plaatsbepaling ten goede komt.

Om het Galileo-navigatiesysteem te laten werken zijn er eveneens grondstations nodig.

Er zijn 2 soorten grondstations : enerzijds zijn er de Galileo-controlecentra (GCC), en anderzijds zijn er de Galileo-sensorstations (GSS).

Er werden 2 GCC's gebouwd in Europa, één in München en een tweede in Fucino, nabij Rome. Deze GCC's zijn verbonden met een netwerk van 20 Galileo-sensorstations. De gegevens die worden ontvangen door een wereldwijd netwerk van Galileo-sensorstations, worden via een

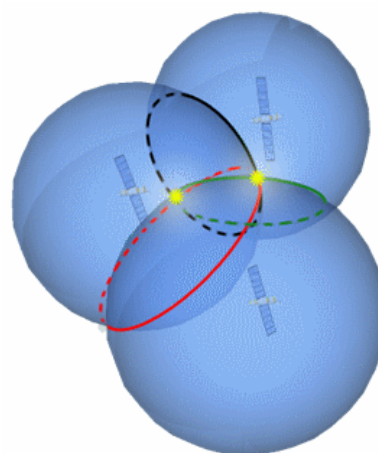
communicatienetwerk doorgestuurd naar de Galileo-controlecentra. Deze laatste controleren de juistheid van de gegevens en synchroniseren het tijdsignaal van de satellieten met de klokken van het grondstation. Aangezien Galileo beschikt over een tweewegcommunicatie tussen de satellieten en de grondstations, kan niet alleen data worden ontvangen op aarde, maar kunnen ook correcties naar de satellieten worden verstuurd vanuit het controlecentrum.

Galileo maakt gebruik van een eigen referentiestelsel, namelijk het Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF), dat gekoppeld is aan het ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Op elk moment moet de afwijking tussen de GTRF-coördinaten en de ITRF-coördinaten van de Galileo-sensorstations en andere geselecteerde referentiestationen minder dan 3 cm bedragen. Hiertoe wordt de GTRF regelmatig aangepast aan nieuwe versies van de ITRF.

3. Hoe werkt GNSS ?

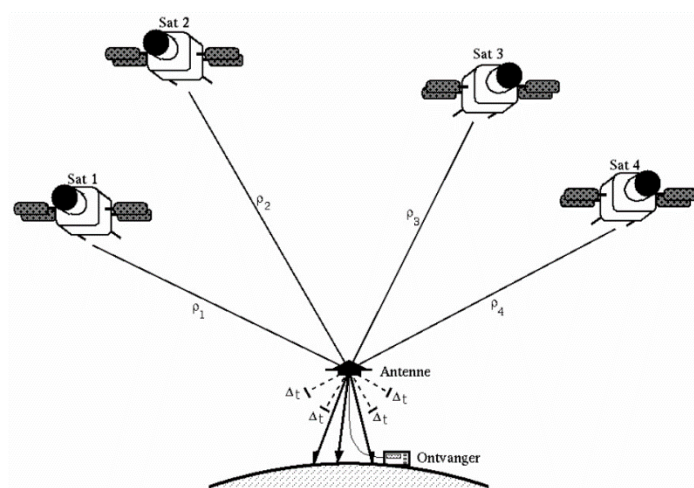
Opdat een ontvanger zijn positie zou kunnen bepalen, dient hij signalen te ontvangen van minstens 4 satellieten.

Eenvoudig uitgelegd komt het erop neer dat, indien je van 3 punten in de ruimte (3 satellieten) de afstand (L1, L2 en L3) kent tot een ontvanger op aarde, dan kan je theoretisch met deze gegevens de plaats bepalen op aarde, waar de ontvanger zich bevindt. Men kan in elk van die 3 punten in de ruimte een bol tekenen met als straal de afstand tot de ontvanger. De 3 bollen, die men op die wijze heeft verkregen, snijden elkaar in 2 punten. Het ene punt bevindt zich nabij het aardoppervlak, daar bevindt zich aldus de ontvanger. Het andere snijpunt van die 3 bollen, bevindt zich ver van het aardoppervlak, en dient geëlimineerd te worden.



In werkelijkheid is er nog een 4^{de} satelliet vereist. Deze 4^{de} satelliet is nodig omdat de signalen die worden uitgestuurd door de satelliet een tijd onderweg zijn naar de ontvanger. Het uurwerk van de ontvanger is niet gesynchroniseerd met de zeer nauwkeurige atoomklokjes in de satelliet. Hierdoor ontstaat een tijdsfout in het ontvangers-uurwerk.

In het vraagstuk om de exacte positie te bepalen van de ontvanger zijn er bijgevolg 4 onbekenden, namelijk de X,Y,Z-coördinaten van de ontvanger en de tijdfout van de ontvanger. Deze 4 onbekenden kunnen berekend worden met de ontvangen signalen van 4 satellieten.



4. Waarom is Galileo nodig voor Europa ?

Vóór de komst van het Galileo-navigatiesysteem konden Europese gebruikers alleen hun posities bepalen ofwel met de Amerikaanse GPS-satellieten, ofwel met de Russische Glonass-satellieten.

De belangrijkste reden waarom Europa een eigen satellietnavigatie-systeem wenste, is van politieke aard.

Satellietpositionering is uit onze moderne maatschappij niet meer weg te denken. Als de signalen van de satellieten morgen zouden worden uitgeschakeld of verstoord, dan zouden belangrijke systemen in onze samenleving niet meer werken of verstoord geraken of zelfs een groot gevaar worden voor onze maatschappij. Denken we maar aan vliegverkeer, scheepvaart, zelfrijdende auto's, toepassingen met nauwkeurige tijdsmetingen, geodetische plaatsbepalingen, landbouwtoepassingen, reddingsoperaties, enz.

GPS of Glonass zouden uit politieke of militaire overwegingen hun signalen kunnen uitschakelen of manipuleren, met als doel Europa ernstig te treffen en zeer aanzienlijke schade toe te brengen. Een vijandelijke aanval op Europa zou aldus mogelijk zijn door een loutere verstoring van de signalen van hun satellieten.

Reeds in de jaren negentig zag Europa in dat ze moesten streven naar onafhankelijkheid van andere grootmachten, zoals van de VS en van Rusland.

Europa wilde een eigen onafhankelijk satellietnavigatiesysteem opbouwen onder civiele controle, dat continuïteit van de dekking kan garanderen.

De Europese onafhankelijkheid was de belangrijkste reden van Europa om zelf dit grootse project te realiseren. Op die manier wordt het mogelijk voor Europa om autonoom te beslissen over de beschikbaarheid van een GNSS.

De huidige spanningen tussen de grote wereldmachten maken de noodzaak van een eigen Europese GNSS alleen maar groter. In de actualiteit (De Morgen dd. 1/05/2024) staat heden te lezen *'Estland beschuldigt Rusland van sabotage gps-systeem....'*. Slechts enkele dagen later kunnen we lezen in HLN van 4/05/2024 : *'...Westerse landen vrezen voor een Russische satelliet uitgerust met kernwapens die in een baan om de aarde draait en bedoeld is om andere satellieten uit de ruimte te schieten. Een Amerikaanse overheidsfunctionaris beweert dat een testmodel van dit ruimtewapen zelfs al rond de aardbol vliegt ...'*

Uit voorgaande nieuwsberichten blijkt dat de vrees van Europa voor GNSS-afhankelijkheid van andere wereldmachten, zeker terecht is.

Naast de voornaamste reden van onafhankelijkheid van andere wereldspelers, waren er nog enkele ondergeschikte redenen voor de ontwikkeling van een Europese GNSS :

- Galileo zou kunnen samenwerken met andere GNSS-systemen, zoals GPS en Glonass. Op die manier kan het aantal zichtbare satellieten op een bepaalde positie sterk toenemen, wat een positieve bijdrage levert aan een nauwkeurige plaatsbepaling, zelfs op plaatsen waar de hemel slechts beperkt zichtbaar is ingevolge bijvoorbeeld hoogbouw, bomen, enz. Door deze positieve bijdrage kan Galileo een belangrijk onderdeel worden van de mondiale satellietnavigatie.
- Galileo heeft een betere dekking op hoge breedtegraden dan GPS. Daarom is Galileo zeer geschikt voor Noord-Europa, waar het een goede werking biedt tot de meest noordelijke punt van Europa, de Noorse Noordkaap. Dit noordelijk gebied wordt niet goed gedekt door GPS.
- Fabrikanten van ontvangers en apparatuur, leveranciers en dienstverleners in dit toepassingsgebied, krijgen door dit project nieuwe economische mogelijkheden.

5. Chronologisch overzicht van de ontwikkeling van Galileo.

- 1993 : ESA start zijn eerste programma voor het ontwikkelen van een GNSS. Uit dit vroege werk ontstonden EGNOS en GALILEO.

- 2003 : Het project werd officieel goedgekeurd door de EU en door de ESA.

- 28/12/2005 : Lancering van de eerste testsatelliet GIOVE-A vanaf de Russische lanceerbasis Balkomoer in Kazachstan.

- 2007 : Het project kwam in de problemen wegens een gebrek aan overeenstemming binnen het samenwerkingsverband. Eind 2007 werd er toch een akkoord bereikt tussen de partijen, waardoor aan het project kon worden verder gebouwd.

- 27/04/2008 : Lancering van de tweede testsatelliet GIOVE-B.

- 21/10/2011 : Vanaf de lanceerbasis bij Kourou werden de eerste twee IOV-satellieten voor Galileo gelanceerd. Deze satellieten heten Thijs en Natalia.

- 12/10/2012 : Lancering van het tweede paar IOV-satellieten.

Aangezien nu 4 IOV-satellieten in de ruimte aanwezig waren, en omdat er minstens 4 satellieten nodig zijn om een navigatieplaatsbepaling uit te voeren, konden vanaf nu strenge testen worden uitgevoerd.

- 12/03/2013 : Europa kon voor het eerst een positie op de grond bepalen met behulp van alleen zijn eigen onafhankelijk navigatiesysteem Galileo. Deze historische eerste fix had plaats in het navigatielaboratorium van ESA, het European Space Technology and Research Centre (ESTEC) te Noordwijk (Nederland). Het doel van de IOV-fase was een validatie van het Galileo-systeem met een beperkte constellatie van slechts 4 satellieten. De nauwkeurigheid was toen tussen de 10 en 15 meter.

Deze eerste fix was dan ook een historisch moment van het hele Galileo-project.

- Vanaf 2014 : Lancering van Galileo FOC-satellieten op regelmatige basis, tot heden.

- 11/09/2015 : Bij de lancering van de 5^{de} en de 6^{de} satelliet kwamen deze in een verkeerde baan terecht. Pas na 14 koerscorrecties kon de baan voldoende worden gecorrigeerd.

- 2016 : Er werden afwijkingen vastgesteld in enkele atoomklokken van de Europese Galileo-satellieten. Elke satelliet bevat 4 klokken, waardoor de satellieten konden blijven functioneren. De werking van het totale systeem kwam hierdoor niet in het gedrang.

- 16/12/2016 : Galileo is van start gegaan met initiële diensten voor autoriteiten, bedrijven en burgers. Deze diensten worden aangeboden via de dienstverlener van Galileo, EUSPA, het agentschap van de Europese Unie voor het ruimtevaartprogramma. Vanaf dat moment werd Galileo geïntegreerd in tal van toepassingen voor het grote publiek, o.a. in smartphones, routeplanners, enz.

- 11-18 juli 2019 : Het Galileo-systeem heeft te kampen met een enorme panne. Het systeem ging voor zes dagen offline. Bij de positiebepaling met het netwerk zou een fout opgetreden zijn van wel een halve kilometer.

Er werd niet open gecommuniceerd door de Global Navigation Satellite Systems Agency (GSA), integendeel de panne werd verdoezeld.

- 31/01/2020 : Op deze datum treedt de Brexit in werking. Ook deze politieke gebeurtenis heeft roet in het eten gegooid bij de voltooiing van het Galileo-systeem. In de maanden voorafgaand aan de Brexit zijn ruzies ontstaan tussen de EU en het VK omtrent de toegang tot het signaal. Het VK heeft eerder maar liefst 1,4 Britse Pond geïnvesteerd in het Galileo-project, maar trekt zich volledig terug uit Galileo. De EU vond dat niet-EU-staten geen toegang kunnen krijgen tot het signaal, dus ook niet het VK na de Brexit.

- 14/12/2020 : Het systeem kende een storing die circa zes uren duurde, ingevolge abnormaal gedrag bij de tijdsbepalingsfunctie in de grondcontrolecentra.

- 5/12/2021 : De 23^{ste} en 24^{ste} satelliet werden met een Sojoez-raket gelanceerd vanop de lanceerbasis Kourou in Frans-Guyana.

- 25/02/2022 : Rusland valt Oekraïne aan. De relatie tussen Rusland en Europa geraakt volledig verstoord, waardoor Rusland al zijn personeel op de lanceerbasis in Frans-Guyana terugtrok. Hierdoor konden de overige Galileo-satellieten niet meer gelanceerd worden met een Sojoez-raket.

- 24/01/2023 : Nieuwe High Accuracy Service (HAS) levert een horizontale nauwkeurigheid tot 20 cm en een verticale nauwkeurigheid tot 40 cm.

(Vergelijk bovenstaande met de nauwkeurigheid van Galileo in 2013, die toen slechts 10 à 15 m bedroeg, en met GPS die maximaal een nauwkeurigheid haalt van circa 4 m)

HAS wordt aangeboden als een open en gratis dienst van Galileo voor toepassingen die een hoge nauwkeurigheid vereisen.

- 28/04/2024 : SpaceX lanceert 2 Galileo-satellieten met een Falcon 9 raket vanaf Kennedy Space Center. Aldus telt Galileo op heden 26 FOC-satellieten.



Vandaag is Galileo het meest nauwkeurige satellietnavigatiesysteem ter wereld en het bedient op heden meer dan vier miljard gebruikers over de gehele wereld.

Galileo is beschikbaar op alle smartphones die in Europa worden verkocht. Galileo wordt ingezet voor de scheepvaart, spoorwegen, landbouw, positionering, nauwkeurige tijdsmetingen, reddingsoperaties, enz.

De verwezenlijking van Galileo heeft in de loop der jaren meerdere moeilijkheden gekend, doch in een periode van amper 10 jaar tijd, sinds de lancering van de eerste FOC-satellieten, heeft het systeem zich ontwikkeld tot het nauwkeurigste mondiale GNSS-systeem.

Galileo mag zeker aanzien worden als een ambitieus prestigeproject van de EU en de ESA.

6. Welke diensten biedt Galileo ?

Galileo biedt meerdere diensten en services aan. Enkele diensten worden hierna beschreven:

1) Open service :

Dit besturingssysteem biedt aan Europese gebruikers overal ter wereld gratis navigatie-, positionerings- en timingdiensten aan. Deze dienst biedt niet de hoogste nauwkeurigheid, en wordt bijvoorbeeld gebruikt door smartphones en autonavigatiesystemen.

2) Hoge nauwkeurigheidsservice (HAS) :

Dit is een gratis en wereldwijd beschikbare dienst voor positionering met hoge nauwkeurigheid. Bij HAS worden aanvullende correcties uitgevoerd, die vervolgens in realtime worden doorgestuurd naar geschikte ontvangers. De ontvangers kunnen de correcties ontvangen via meerdere satellieten, zodat de correcties zeer snel worden ontvangen. HAS staat aldus voor snellere correcties en hogere precisie.

3) Openbaar gereguleerde dienst (PRS) :

voor overheden en geautoriseerde gebruikers.

4) Zoek- en reddingsdienst (SAR) :

Deze dienst wordt gebruikt voor het snel doorgeven van noodsignalen

7. Hoe kan centimeter nauwkeurigheid bereikt worden bij positioneringssystemen met satellieten ?

Het door de satellieten uitgezonden signaal is samengesteld enerzijds uit de draaggolven en anderzijds uit de codes. Aldus zijn er 2 methodes om de afstand satelliet-ontvanger te berekenen. Vooreerst is er de methode van de pseudo-afstandsmeting (pseudo-range) die uitgevoerd wordt op de codes. Ten tweede is er de fase-meting die uitgevoerd wordt op de draaggolven.

Pseudo-afstandsmeting :

De techniek van de pseudo-afstandsmeting wordt gebruikt om direct op het moment zelf zijn positie te bepalen en is te vergelijken met een achterwaartse insnijding in de ruimte.

De nauwkeurigheid op de pseudo-afstandsmeting bij het Amerikaanse GPS is van de grootteorde van 3 à 4 m voor de C/A-code (publiek gebruik) en 30 cm voor de P-code (militair gebruik). De hoogste nauwkeurigheid van het GPS-systeem is echter voorbehouden voor het Amerikaanse leger. Soms worden de signalen opzettelijk gedegradeerd voor civiele gebruikers en is de nauwkeurigheid rond de 100 m voor de C/A-code, en rond de 10m met de P-code.

Bij Galileo bedraagt de nauwkeurigheid voor 'Open service' circa 1 m, en voor HAS circa 20 cm.

Fase-meting :

Deze techniek, ook genaamd RTK (Real Time Kinematic), is geen absolute plaatsbepaling zoals bij de pseudo-afstandsmeting.

Fase-meting kan enkel gebruikt worden bij relatieve of differentiële-metingen (DGPS). Hiervoor zijn er steeds 2 of meerdere ontvangers nodig.

In de praktijk wordt er meestal gebruik gemaakt van een referentie- ontvanger (in Vlaanderen meestal de referentiestations van Flepos) en een mobiele ontvanger, genaamd 'rover'.

Met RTK worden in de referentie-ontvanger en in een rover faseverschillen gemeten tussen een uit de satellieten binnenkomend signaal en het door de ontvangers zelf gegenereerde identieke signaal.

Door het gebruik van GNSS-data, post processing, GNSS correctie-netwerken en het compenseren van atmosferische storingen, bereikt men met RTK of fase-meting een nauwkeurigheid van enkele millimeters voor de positiebepaling.

Het is nog nuttig om te vermelden dat elke Galileo-satelliet tien verschillende navigatiesignalen kan uitzenden, die gebruikt worden voor de verschillende Galileo-diensten. Er zijn signalen die navigatiedata bevatten (de datakanalen), en er zijn signalen die geen data bevatten (pilotkanalen). Opdat een ontvanger zou kunnen bepalen van welke satelliet een signaal afkomstig is, of opdat een ontvanger de tijd zou kunnen meten dat een signaal nodig had om van de satelliet tot bij de ontvanger te geraken (bij positiebepaling), wordt een code toegevoegd aan het signaal.

Elk GNSS-systeem gebruikt zijn eigen signaal-frequenties, waarvan de voornaamste zijn :

GPS : L1, L2, L5

Glonass : L1, L2, L3

Galileo : E1, E5 en E6

Beidou : B1, B2, B3

Bij Galileo is er een modulatie toegepast om te voorkomen dat er interferentie optreedt met andere satellietnavigatiesystemen, wat zou kunnen optreden bij L1 en E1, gezien deze signalen dezelfde frequentie hebben. Hierdoor is het eenvoudiger om ontvangers te bouwen die zowel GPS-signalen als Galileo-signalen kunnen ontvangen.

8. De toekomst van Galileo ?

Op de European Space Conference in Brussel zegt Javier Benedicto, directeur van ESA, op 24/01/2023 : '*Galileo staat niet stil*'.

Sinds de lancering van de eerste satellieten heden slechts 13 jaar geleden, is Galileo reeds uitgegroeid tot het meest nauwkeurige satellietnavigatiesysteem in de hele wereld.

Galileo is nu al de beste ter wereld, maar zal nog verder verbeteren en evolueren in de toekomst door o.a. volgende innovaties :

- lancering van de nog resterende satellieten
- ontwikkeling van de tweede generatie Galileo-satellieten (Galileo Second Generation = G2). Deze satellieten zijn groter, wegen 2.000 kg, hebben krachtigere navigatie-antenne, meer en betere atoomklokken, meer apparatuur, enz. Er zullen ook inter-satellietverbindingen mogelijk worden gemaakt. Deze G2-satellieten zullen op termijn de eerste generatie satellieten vervangen.
- ontwikkeling van testontvangers voor G2. Deze ontvangers zullen in de toekomst ook worden gebruikt voor testen in de ruimte en voor de eerste validatie-positiebepalingen in de ruimte, vergelijkbaar met de eerste G1-positiebepaling in het ESTEC te Noordwijk (NL), die plaats vond op 12/03/2013, intussen iets meer dan 10 jaar geleden.
- het ontwerpen van nieuwe atoomklokken. Begin 2024 startte ESA een nieuw project om een nieuwe technologie voor atoomklokken te ontwerpen, ontwikkelen en kwalificeren. Er werd een kontrakt getekend ten bedrage van 12 miljoen euro voor de nieuwe Galileo-atoomklok-technologie. Ultranaauwkeurige en betrouwbare atoomklokken zijn essentiële onderdelen van satellietnavigatie en zorgen voor de verbetering van de systeemprestaties en voor de positionerings-nauwkeurigheid.
- nieuwe signalen te ontwikkelen, die zullen gelaagd worden bovenop de oude Galileo-signalen (Quasi Pilot en Data Signal).

Enerzijds wil Europa zijn satellietnavigatie, die al de beste is ter wereld, steeds verder verbeteren, zodat nog grotere nauwkeurigheden kunnen gegarandeerd worden bij positiebepaling en tijdsmetingen, en zodat nog grotere snelheden kunnen gehaald worden voor het verwerken en ontvangen van data.

Anderzijds wil Europa zijn huidige voorsprong in satellietnavigatie kunnen behouden of zelfs vergroten tegenover de andere wereldspelers.

9. Een kritische evaluatie van Galileo

Galileo is lange tijd een project geweest waarin Europa vele miljarden investeerde, maar dat te maken kreeg met de ene complicatie na de andere.

De vele problemen tijdens de ontwikkeling van Galileo blijken duidelijk uit 'het chronologische overzicht' hiervoor. Vele jaren werd Galileo dan ook argwanend bekeken door toekomstige kandidaat-gebruikers.

De laatste jaren lijkt het erop dat de problemen zijn verholpen. De EU en ESA hebben dan ook terecht redenen om zeer fier te zijn op hun uiteindelijk zeer geslaagde project, dat zelfs momenteel als het beste en meest nauwkeurige van de hele wereld mag aanzien worden.

Toch moeten we zeer kritisch blijven, en ons vragen stellen over de toekomst :

1) Zal het voor Europa mogelijk zijn om koploper te blijven in deze technologie ? Zal Europa in de toekomst miljarden euro's kunnen blijven investeren om baanbrekend onderzoek te blijven doen ? Niet alleen Amerika, Rusland en China zijn concurrenten, maar ook India en Japan zijn bezig met een eigen GNSS. Het zal dus zeker niet eenvoudig zijn voor Europa om de beste te blijven. Zowel op technologisch, als op financieel-economisch vlak, komt er een hele uitdaging voor Europa.

2) De oorspronkelijke bedoeling van het Galileo-project, was om een satellietnavigatiesysteem voor Europa uit te bouwen, zodat Europa niet meer afhankelijk zou zijn van andere wereldmachten, bij eventuele vijandelijkheden. Op dit moment zijn de spanningen tussen de wereldmachten hoog oplopend. We kunnen ons zeker terecht de vraag stellen of Galileo voldoende bestand is tegen vijandelijke aanvallen op het systeem om de continuïteit van zijn signalen te garanderen in alle mogelijke omstandigheden. In de actualiteit lezen we dat navigatiesignalen in Estland zouden verstoord worden of dat satellieten reeds in de ruimte aanwezig zijn om andere satellieten uit te schakelen.

10. Besluit

Galileo is terecht een mondiaal prestige-project voor de EU en de ESA. Europa is er finaal in geslaagd om een GNSS te ontwikkelen die op heden de beste is van de gehele wereld.

Galileo is één van de belangrijkste ruimteprogramma-projecten in Europa. Galileo biedt aan alle Europese gebruikers de mogelijkheid om gratis wereldwijd tijdsmetingen en positiebepalingen uit te voeren.

Verdere investeringen in onderzoek en ontwikkelingen zijn noodzakelijk opdat Europa koploper zou kunnen blijven in satellietnavigatie , en opdat Europa zijn systeem voldoende zal kunnen beveiligen.

Galileo blijft dus ook in de toekomst een grote uitdaging voor Europa.

Bronnen:

European Space Agency. (z.d.). <https://esa.int/>

Natuurkunde.nl - GPS: weet waar je bent. (z.d.). Stichting natuurkunde.nl.

<https://www.natuurkunde.nl/artikelen/568/gps-weet-waar-je-bent>

Christiaens, K. (2024, 30 april). SpaceX brengt twee Europese Galileo-navigatiesatellieten in de ruimte. Spacepage. <https://www.spacepage.be/nieuws/ruimtevaart/spacex/spacex-brengt-twee-europese-galileo-navigatiesatellieten-in-de-ruimte>

Christiaens, K. (2023, 7 maart). Hoe zou het nog zijn met het Europese Galileo-navigatienetwerk? Spacepage. <https://www.spacepage.be/nieuws/ruimtevaart/algemeen/hoe-zou-het-nog-zijn-met-het-europese-galileo-navigatienetwerk>

Muls, A. (z.d.). De opbouw van het Galileo navigatiesysteem.

<http://www.irsd.be/website/images/livres/rmb/13/rmb16.pdf>

FLAGIS. (z.d.). Laatste stand van zakeIntegratie vanGalileo in Flepos. In

www.vlaanderen.be/informatievlaanderen. https://flagis.be/onewebmedia/FLAGIS_Galileo.pdf

FLEPOS Centimeternauwkeurige positiebepaling. (z.d.). www.vlaanderen.be.

<https://www.vlaanderen.be/digitaal-vlaanderen/onze-oplossingen/flepos-centimeternauwkeurige-positiebepaling>

Ruimtenavigatie Galileo is na 13 jaar eindelijk compleet. (2018, 25 juli). De Ingenieur.

<https://www.deingenieur.nl/artikel/ruimtenavigatie-galileo-is-na-13-jaar-eindelijk-compleet#:~:text=Vandaag%20heeft%20ESA%20de%20laatste,op%20in%20totaal%2024%20satelliet en.>

MoveRTK | De nummer 1 in precisie. (z.d.). <https://movertk.nl/>

EUSPA. (2023). Galileo-precisiedienst is nu operationeel en levert een ongekend nauwkeurige plaatsbepaling. In PERSBERICHT EUSPA.

https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/nl_the_galileo_high_accuracy_service_has_is_now_operational.pdf

Adm. (2018, 25 juli). 'Europese gps' krijgt vorm: Ariane-raket met vier Galileo-satellieten met succes gelanceerd. Het Nieuwsblad. https://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20180725_03631602

Aussems, M. (2020, 24 oktober). Europees Satellietnavigatienetwerk Galileo offline voor onbekende redenen - ITdaily. ITdaily. <https://itdaily.be/nieuws/infrastructuur/europees-satellietnavigatienetwerk-galileo-offline-voor-onbekende-redenen/>

Aussems, M. (2020a, oktober 24). Europees gps-alternatief Galileo verdoezelt enorme panne - ITdaily. ITdaily. <https://itdaily.be/nieuws/infrastructuur/europees-gps-alternatief-galileo-verdoezelt-enorme-panne/>

Nws, V. (2019, 15 juli). Europees satellietnavigatiesysteem Galileo ligt grotendeels plat. vrtnws.be.

<https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2019/07/15/europees-satellietnavigatiesysteem-galileo-ligt-gedeeltelijk-pla/#:~:text=Sinds%20vrijdag%20is%20het%20Europese,van%20de%20Koninklijke%20Militaire%20School.>

Nws, V. (2018, 23 mei). "Brexit means brexit, ook in de ruimte!" vrtnws.be.

<https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2018/05/23/analyse-rob-heirbaut-brexit-in-de-ruimte/>

DPG Media Privacy Gate. (z.d.). <https://www.demorgen.be/nieuws/estland-beschuldigt-rusland-van-sabotage-gps-systeem-finnair-houdt-vliegtuigen-aan-de-grond~bb46904e/>

Stevens, G. (2024, 5 mei). VS waarschuwt voor nieuwe dreiging: “Testmodel van Russisch kernwapen vliegt al in baan rond de aarde”. Het Nieuwsblad.
https://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20240505_93284782#:~:text=In%20Google%20Play-,VS%20waarschuwt%20voor%20nieuwe%20dreiging%3A%20%E2%80%9CTestmodel%20van%20Russisch%20kernwapen%20vliegt,in%20baan%20rond%20de%20aarde%E2%80%9D&text=Een%20testmodel%20van%20nieuw%20Russisch,een%20baan%20rond%20de%20aarde.

DPG Media Privacy Gate. (z.d.-b). <https://www.hln.be/nieuws/proefmodel-russisch-kernwapen-vliegt-al-in-baan-rond-de-aarde-waarschuwt-amerikaanse-viceminister~a6cf9e8a/>

SpaceX. (z.d.). SpaceX. <https://www.spacex.com/launches/mission/?missionId=galileo12>

Janssens, R. (z.d.). Meetmethodes 02 deel 2 Theorie.

Afbeeldingen:

Logo Galileo: Wikipedia contributors. (2024, 5 mei). Galileo (satellite navigation) - Wikipedia.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(satellite_navigation\)#/media/File:Galileo_logo.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_(satellite_navigation)#/media/File:Galileo_logo.svg)

Aarde met satellieten: Galileo constellation. (z.d.).
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2022/07/Galileo_constellation

Galileo en egnos:
https://www.newslettereuropean.eu/wp-content/uploads/egnosc_galileo_SLOGAN-207x191.jpg

IOV: First Galileo IOV satellite. (z.d.).
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2011/07/First_Galileo_IOV_satellite

Galileo I12 launch: Falcon 9 launches Galileo L12 photos. (z.d.).
https://www.launchphotography.com/Galileo_L12

4 Satellieten: Janssens, R. (z.d.). Meetmethodes 02 deel 2 Theorie.

Bollen: Natuurkunde.nl - GPS: weet waar je bent. (z.d.-b). Stichting natuurkunde.nl.
<https://www.natuurkunde.nl/artikelen/568/gps-weet-waar-je-bent>