Sensoren en elektronica

Break out sessie

Hans Van Haevermaet (UAntwerpen)
Xavier Rottenberg (IMEC)
Filip Tavernier (KUL)

Einsteintelescoop informatie sessie
18 juni 2025

Einstein Telescope

Context

Einstein Telescope wordt Europa's volgende generatie zwaartekrachtsgolvendetector. Om signalen van kosmische oorsprong waar te nemen, moet Einstein Telescope ongelooflijk kleine ruimtetijdvervormingen detecteren — tot ver onder het niveau van atomaire bewegingen.

Het systeem is gevoelig voor elke vorm van ruis of storing, en vereist daarom ultragevoelige en uiterst stabiele **sensoriek, actuering en geavanceerde regelsystemen.**

Uitdaging

Om de precisie te bereiken die nodig is voor zwaartekrachtsgolvendetectie, zijn systemen nodig die:

- Bewegingen meten op sub-nanometerschaal
- Razendsnel en foutloos kunnen corrigeren
- 24/7 betrouwbaar functioneren in een complexe ondergrondse omgeving
- Weinig thermische en elektromagnetische ruis genereren
- Voldoen aan criteria om in ultra-hoog vacuüm te kunnen werken

Deze eisen liggen ver boven gangbare industriële standaarden. Oplossingen moeten maatwerk zijn – en grensverleggend in prestaties.

Doel

Het ontwikkelen van een compleet ecosysteem van

- **Sensoren**: laserinterferometrie, versnellingsmeters, positiesensoren, seismometers, temperatuursensoren
- **Actuatoren**: piezo-elementen, magnetische aandrijvers, precisie-motoren
- **Meet- en regelsystemen**: real-time signaalverwerking, adaptieve algoritmes, AI-ondersteunde feedback

Voor de industrie betekent dit

- Innovatiekansen in hightech en embedded systems
- Verkenning van nieuwe markten (o.a. ruimtevaart, medische techniek, quantumtechnologie)
- Samenwerking met topinstituten en toegang tot Europese onderzoeksprogramma’s

Aanpak

Einstein Telescope is een project in aanbouw, met volop ruimte voor **technologische co-ontwikkeling**.

De aanpak

- **Open innovatie**: bedrijven kunnen meewerken aan ontwerp, simulatie en prototyping
- **Testlabs en demonstrators**: technologieën worden getest in gecontroleerde omgevingen
- **Systeemintegratie**: samenwerking tussen disciplines (mechatronica, software, fysica) staat centraal
- **Publiek-private partnerschappen**: inzet op langdurige samenwerking, kennisdeling en valorisatie

Technologiedomein sensoren

Beschrijving:

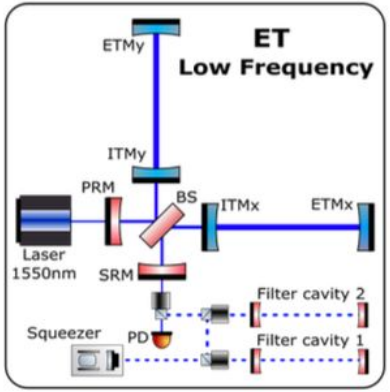
De Einsteintelescoop zal uiterst zwakke signalen van zwaartekrachtsgolven detecteren. Omgevingssignalen kunnen de metingen mogelijk verstoren. Daarom wordt een scala aan sensoren gebruikt om deze invloeden te meten. Dit omvat **optische, seismische, inertiaal en omgevingssensoren**. Informatie van deze sensoren wordt verzameld in een instrumentatienetwerk en vervolgens gebruikt in **regelsystemen** om **actuatoren** aan te sturen, bijvoorbeeld om **trillingsdemping** te realiseren.

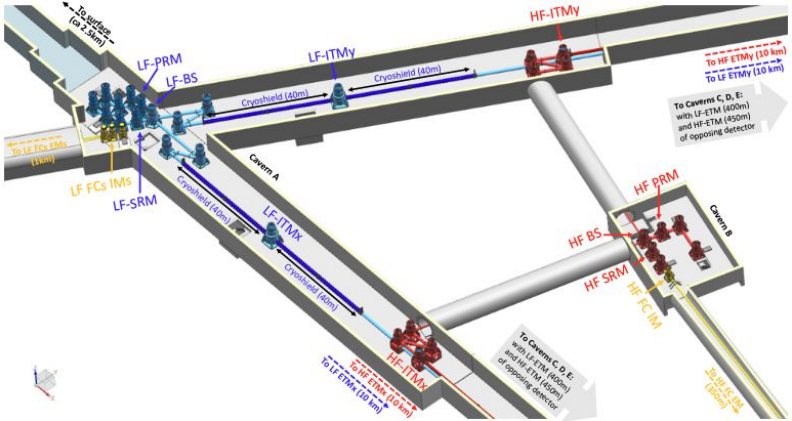
Commissieleden:

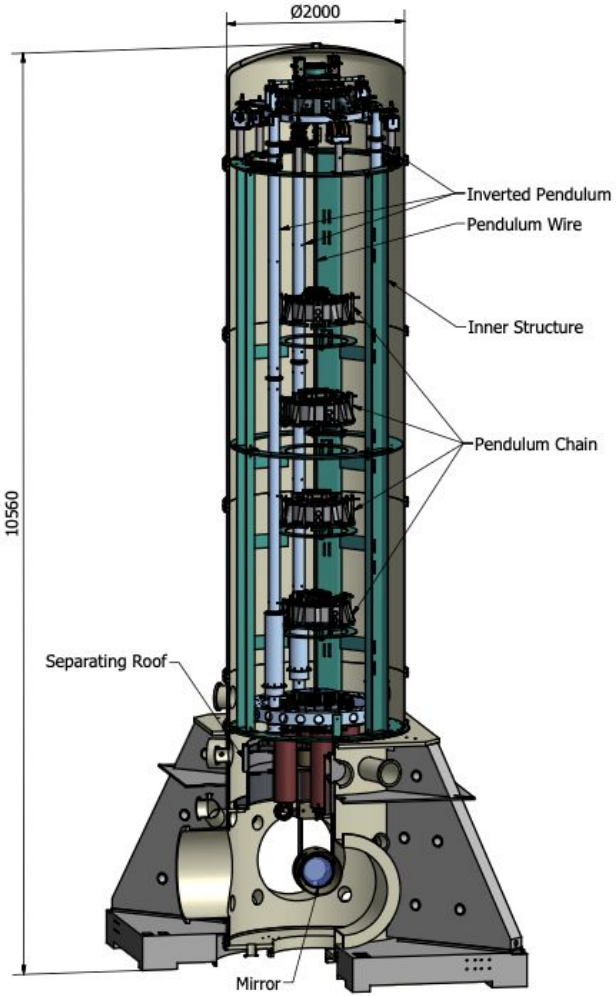
Nick van Remortel (UAntwerpen)
Kris van de Voorde (IMEC)
Jo van den Brand (Nikhef/VU Amsterdam)

Dempingsystemen

Zwaartekrachtsgolf detector:



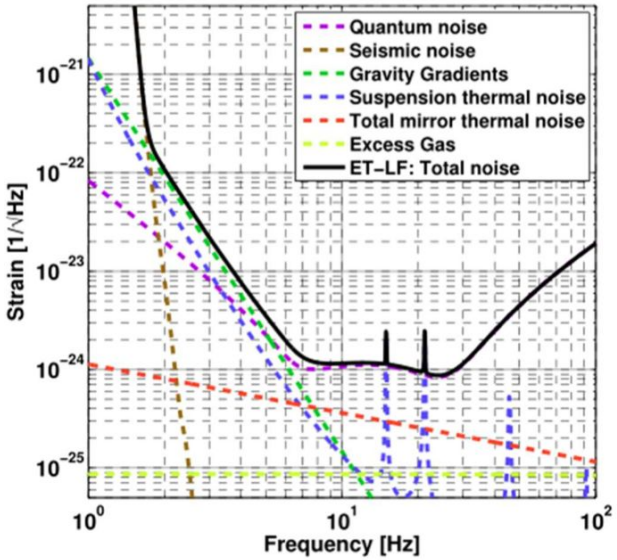


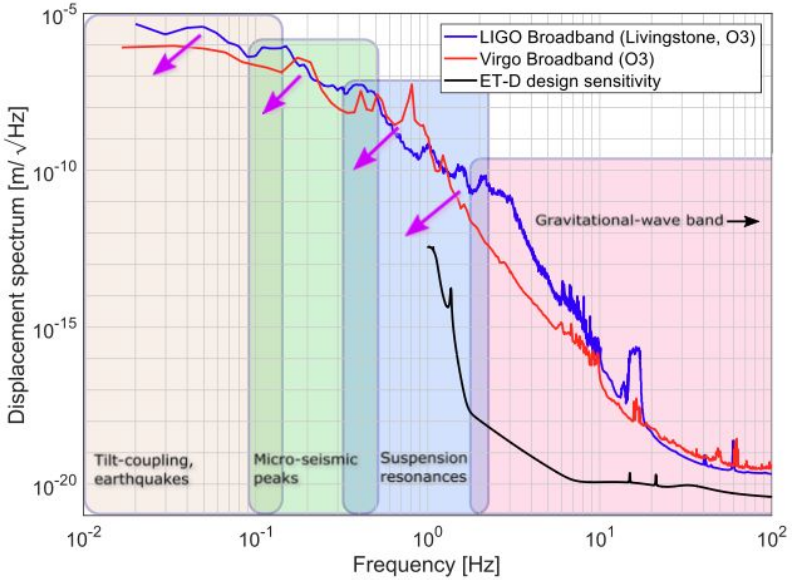


fwo VLAIO

Dempingsystemen

“Seismic wall”





Dempingsystemen

Seismische isolatiesystemen: vormen de mechanische interface tussen de omgeving en de detector optica

- Reduceer trillingen en seismische ruis tot onder de gevoeligheids vereisten in de detectieband
- Reduceer breedband RMS-beweging van de ophangingssystemen: de bijdragen van de suspensie resonanties en de micro-seismische piek(en)
- Voorzie laag frequente positie en hoekregeling van elk opgehangen optisch element.

Demping van mHz tot kHz frequenties nodig

Dempingsystemen

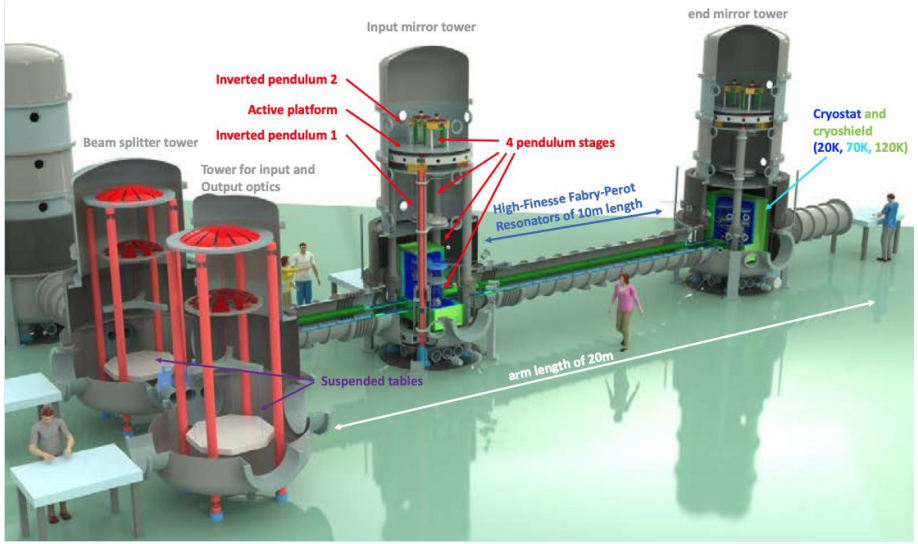
De belangrijkste sensoren die vereist zijn:

- Rotatie inertiesensoren: actief beheersen van hellingen, ruis < 10^{-10} rad/√Hz bij 10 mHz
- Geavanceerde inertiesensoren voor translaties, met resolutie van ~10^{-13} m/√Hz bij 1 Hz.
- Precisie contactloze positiesensoren voor demping. Om actief energie uit de normale modi van de suspensie keten te extraheren zonder ruis te injecteren, heeft een sensor een betere resolutie nodig dan de beweging van het invoer platform: < 10^{-13} m/√Hz bij 1 Hz.
- Inter-platform sensoren voor translaties en rotaties: RMS ruis ~10^{-10} m/√Hz bij 10 mHz.

(Uit Einstein Telescope Design Report Update 2020)

ETpathfinder

Prototype Einstein Telescope op kleinere schaal



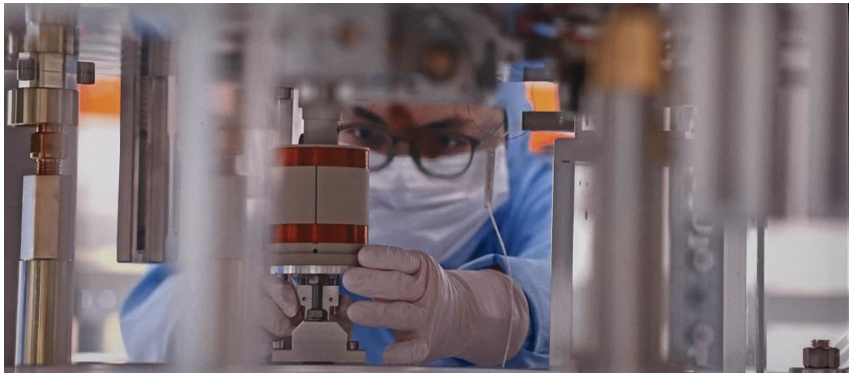
LVDT sensoren

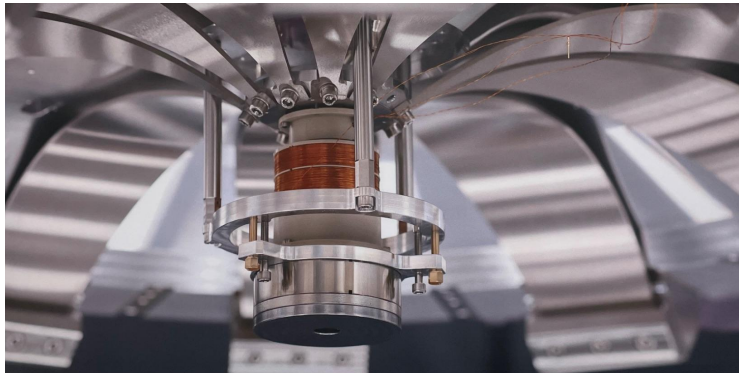
Positiesensor (gecombineerd met voice coil actuator)

- Contactloos (inductie)
- Zeer lineair
- Ruis bepaald door elektronica
- UHV vacuüm compatibel
- Huidige ruis niveau: ~1nm/√Hz

Onderzoek in UAntwerpen:

- Optimalisatie gevoeligheid
- Uitlees elektronica
- Nieuwe design concepten
- Eddy current systemen



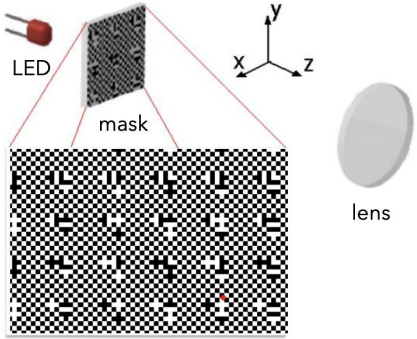


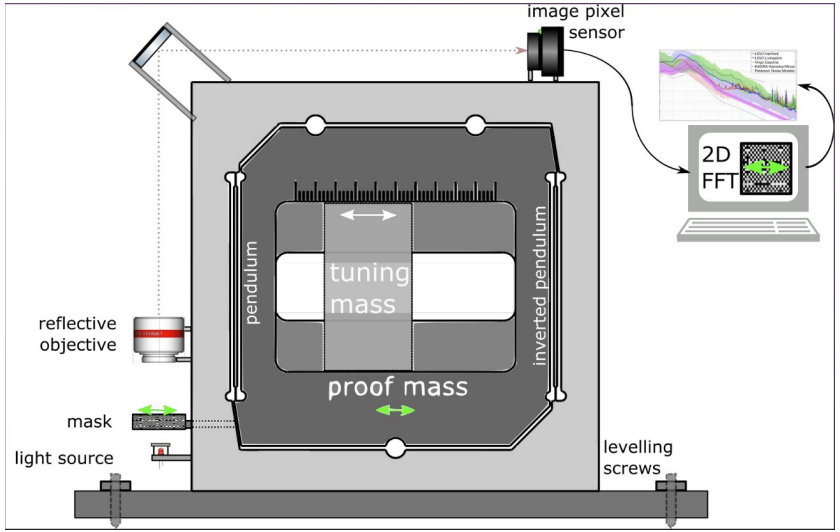
Inertiesensoren

RasWatt: combinatie RasNik en Watt's linkage (onderzoek UAntwerpen)

Inertiesensor: massa opgehangen met een slinger en een omgekeerde slinger

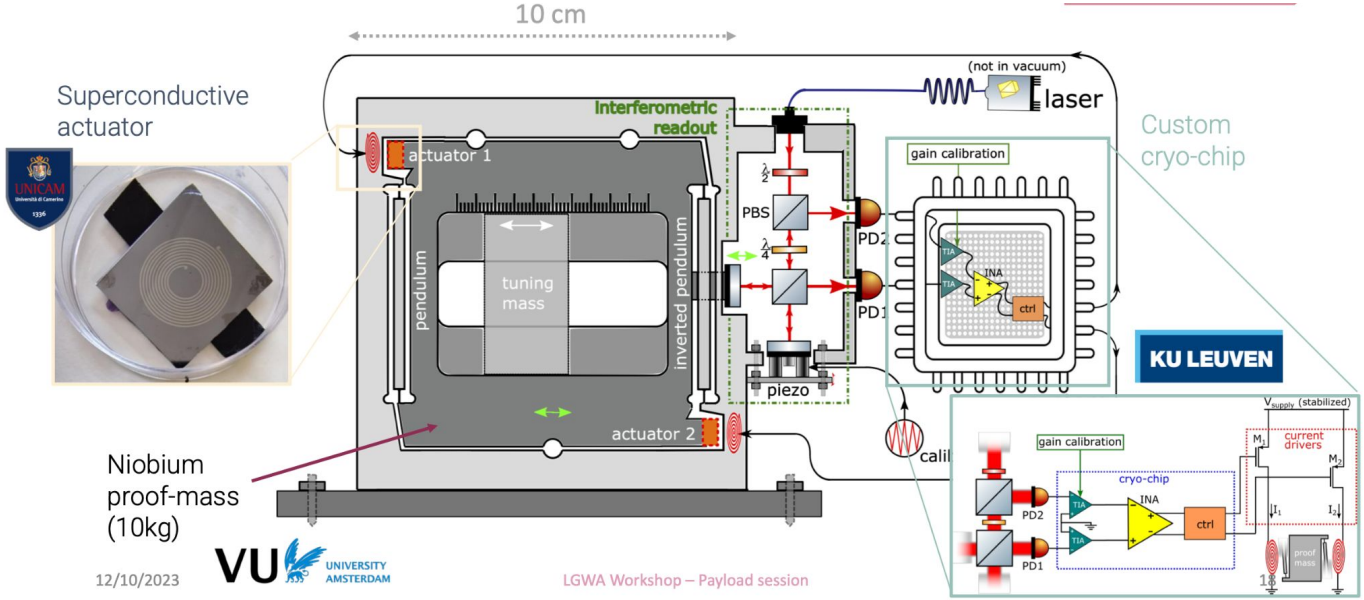
Ruisniveau's: pm/√Hz





Inertiesensoren

Cryogene inertiesensor en cryogene elektronica (chip) met interferometer readout



Ontwikkeling in kader van ET-CRISTAL
M. Zeoli (ULiege) - A. Gatti (KU Leuven)

Meet- en regel systemen

Data Acquisition Systems:

- Analoge signalen sensoren gaan via lange kabel naar ADC voor verdere digitale verwerkingen
- Custom hardware met FPGA, DSP modules (1MHz sampling rate, 18-bits)
- GPS time synchronisatie

Naar toekomst toe:

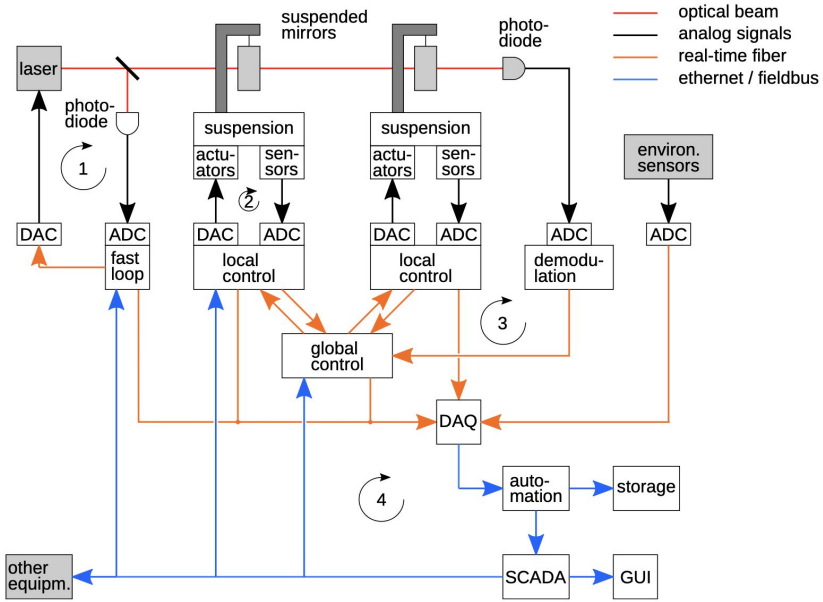
- ADC bij sensor en (verwerkte) digitale data naar DAQ systeem?
- Commerciële oplossingen voor Einstein Telescope DAQ?
- …?

Meet- en regel systemen

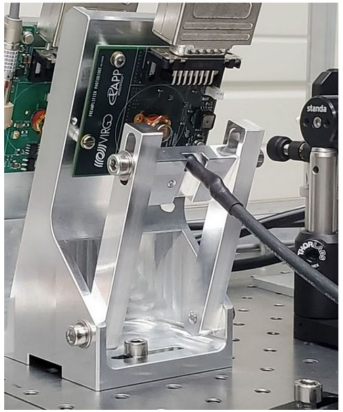
Regel systemen:

- Meestal PID gebaseerd tot nu toe:
  filtering sensor signalen; controller; actuator output
- Complete sensing and control
  in alle vrijheidsgraden: MIMO systeem
- Sensor blending:
  LVDT + Nanometrics Trillium seismometer
- Nodig voor real time actieve sturing
  van bv optische componenten

Ontwikkeling nieuwe algoritmes:
Inspiratie uit robotics, AI, …?



Optische sensoren



Zwaartekrachtsgolf detector: complex optisch systeem met **photodiode detectors** en **beam camera's** om laser bundels aan te sturen en uit te lezen.

Einstein Telescope: nieuwe golflengte 1550nm en/of 2090nm
Vooral voor 2090nm photodiode detectors onbekend terrein.
Nood aan ontwikkeling en (ruis) karakterisatie.

Beam camera's: worden gebruikt voor alignment, beam profile monitoring, etc.
ETpathfinder: reeds Xenics Wildcat 640 U3V 100 in gebruik.
(InGaAs photodiode array,640 x 512 pixels, 900 – 1700 nm)

Via geavanceerde real time beeldverwerkingstechnieken aansturing van optica?

fwo VLAIO

Omgevingssensoren

Daarnaast zullen er duizenden omgevingssensoren nodig zijn, zowel aan het oppervlak als in de ondergrondse grotten en tunnels: meten externe verstoringen die tot foutieve metingen zouden kunnen leiden.

- In groter gebied rondom ET: zeer gevoelige **seismometers** en versnellingsmeters
- **Gevoelige microfoons**: akoestische sensoren moeten het geluid van het oppervlak meten dat zich voortplant in de grotten en tunnels.
- **Barometers**, druksensoren, temperatuurmeters: meting variaties in luchtdruk, weer
- **Bliksemdetectoren**: men verwacht dat ET zal worden beïnvloed door blikseminslagen van over de hele wereld. EM golven kunnen opgepikt worden door de spoelen van de gevoelige trillingsdempers in de vacuümtorens en daarmee trillingen veroorzaken op de spiegels.
- **Debietmeters**: zullen het water meten dat uit de tunnels wordt afgevoerd.
- **Gauss-sensoren en magnetometers**: meting eddy-stromen en elektromagnetische velden in de grotten.

Meer info/bronnen

Einstein Telescope Design Report Update 2020: https://www.et-gw.eu/index.php/relevant-et-documents
ETpathfinder design report: https://www.etpathfinder.eu/wp-content/uploads/2020/03/ETpathfinder-Design-Report.pdf

Technologiedomein sensoren: https://www.einsteintelescope-emr.eu/sensoren/

fwo VLAIO

Einstein Telescope