



OPTISCHE JODUHR



FREQUENZKAMM

LASERTERMINAL

© NIAC





Erste In-Orbit Qualifizierung von quantenoptischen Technologien



Rundum COMPASSO

Unsere Motivation:

Technologischer und gesellschaftlicher Fortschritt

Für was steht COMPASSO?

Entwicklung und Validierung einer neuen Generation hochpräziser optischer Uhren und Laserterminals.

Was ermöglicht COMPASSO?

Verbesserung des Galileo Gesamtsystems

Nutzen für die Gesellschaft/Zukunftsvision

Präzisere und zuverlässigere Dienste im Bereich der Mobilität (u.a. Positionsbestimmung in der Luftfahrt, auf der Schiene, in der Schifffahrt, für hochautomatisierte Fahrzeuge), Land- und Forstwirtschaft, Vermessungstechnik, Zeitsynchronisation, Klimaschutz, uvm.

COMPASSO – Experiment: Nutzlast

Die Nutzlast besteht aus den Instrumenten: Joduhr, Frequenzkamm, Laserkommunikationsterminal

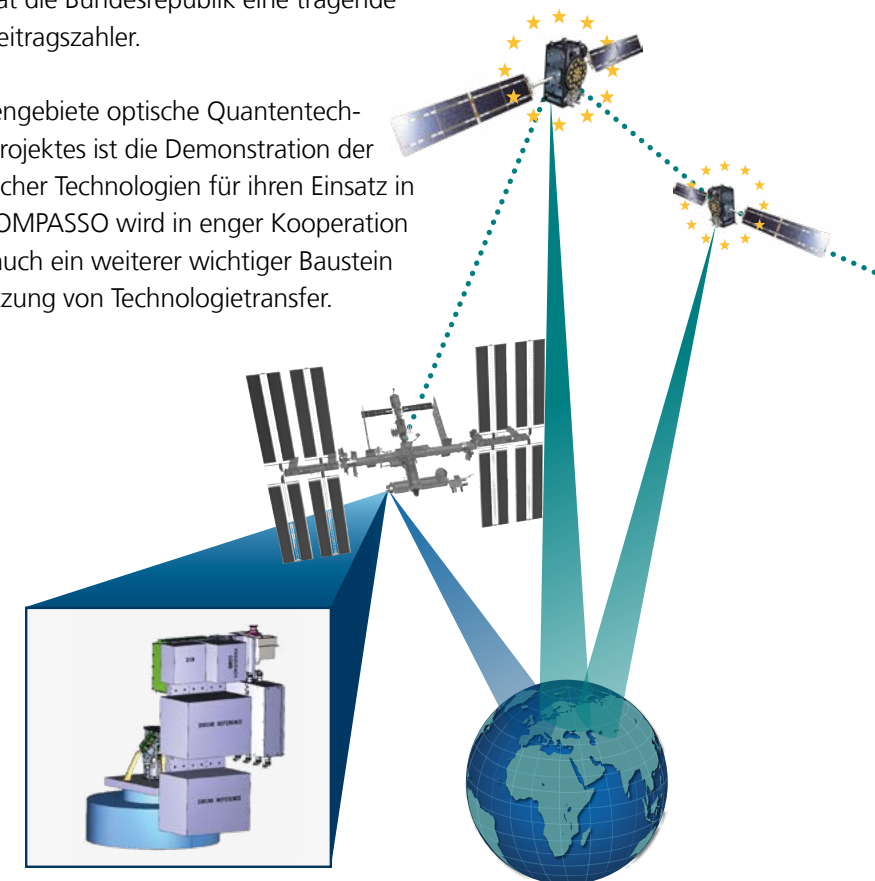
Träger der Nutzlast ist die Bartolomeo Plattform auf dem europäischen Columbus Modul der internationalen Raumstation (ISS).

FÜR EINE PRÄZISE UND SICHERE ZUKUNFT

Willkommen zu COMPASSO

Deutschland gehört zu den internationalen Vorreitern in der Erforschung von Quantentechnologien. So hat die Bundesregierung wesentliche Maßnahmen ergriffen, um mittelfristig eine technologische Führungsrolle einzunehmen. Ein weiteres Feld von hoher wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Relevanz stellt die Satellitennavigation dar. Von besonderem Interesse ist hier die Weiterentwicklung des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo. Im Galileo-Programm hat die Bundesrepublik eine tragende industrielle Rolle und ist zudem einer der größten Beitragszahler.

Das COMPASSO-Projekt vereinigt die beiden Themengebiete optische Quantentechnologien und Galileo. Die primäre Zielsetzung des Projektes ist die Demonstration der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit quantenoptischer Technologien für ihren Einsatz in zukünftigen Generationen von Galileo Satelliten. COMPASSO wird in enger Kooperation mit industriellen Partnern entwickelt und ist damit auch ein weiterer wichtiger Baustein in den vielfältigen Aktivitäten des DLR zur Unterstützung von Technologietransfer.



COMPASSO:
Qualifizierung von kompakten und hochstabilen laser-optischen Uhren und Laserterminals für herausragende zukünftige Galileo Technologien

Welt der Navigation

Positionsbestimmung durch Bestimmung des Abstands zwischen dem Empfänger auf der Erde und mindestens drei bekannten Satelliten (**Trilateration**).

Dabei wird der Punkt berechnet, an dem sich die drei Strecken (r_1 , r_2 , r_3) treffen (analog x,y,z-Achse).

Um die **Zeitabweichung** (r_4) der Empfängeruhr zu berechnen, muss ein vierter Satellit empfangen werden.

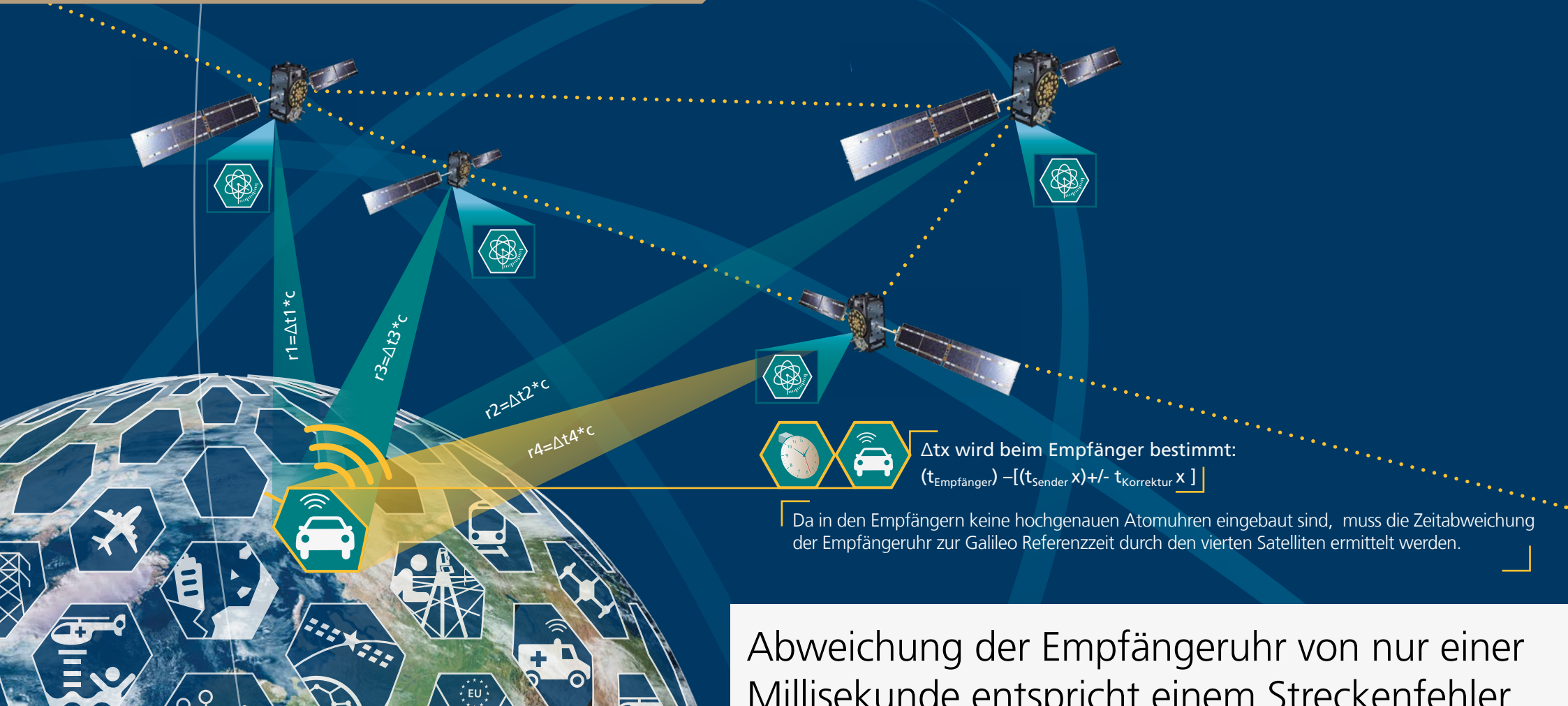
- Mindestens 4 Galileo Satelliten sind notwendig. Je mehr Satelliten empfangen werden können, desto genauer und stabiler ist die Positionsbestimmung auf der Erde.



Telemetriedaten mit Borduhrzeit t_{Sender} , Satellitenbahn und Zeitkorrekturen $t_{\text{Korrektur}}$ werden kontinuierlich gesendet. $t_{\text{Korrektur}}$ wird aus der Differenz der Satellitenuhrzeit zur Galileo Referenzzeit am Boden bestimmt.

Entfernungsmessung über die Laufzeit $rx = \Delta t_x \cdot c$
 Δt_x = Zeitspanne, die das Signal benötigt, um vom Satelliten x zum Empfänger zu gelangen
 c = Lichtgeschwindigkeit (~ 300.000 km/s)

Nicht berücksichtigt sind in dieser (vereinfachten) Darstellung zusätzliche Fehlereinflüsse, wie sie bspw. durch den Einfluss der Atmosphäre auf die Signalausbreitung entstehen.



Δt_x wird beim Empfänger bestimmt:

$$(t_{\text{Empfänger}}) - [(t_{\text{Sender}} \cdot x) + t_{\text{Korrektur}} \cdot x]$$

Da in den Empfängern keine hochgenauen Atomuhren eingebaut sind, muss die Zeitabweichung der Empfängeruhr zur Galileo Referenzzeit durch den vierten Satelliten ermittelt werden.

Abweichung der Empfängeruhr von nur einer Millisekunde entspricht einem Streckenfehler von ca. 300 km auf der Erde.



INHALTSVERZEICHNIS

Was Sie in dieser Broschüre erwartet

Willkommen zu COMPASSO

Seite 3

Welt der Navigation

Seite 4

COMPASSO – Zukunftspotential

Seite 7

Technologiefortschritt:
Die Uhr im Wandel

Seite 8

Drei Kerntechnologien: Joduhr,
Frequenzkamm und Laserterminal

Seite 9

Bartolomeo Plattform

Seite 10

Missionsszenario

Seite 11

30 Galileo Satelliten

Seite 12

COMPASSO – Qualifizierung
optischer Technologien

Seite 13

Kooperationen und Synergien

Seite 15

Vision/Zukunft:
COMPASSO Technologien

Seite 16

Technologische Zielsetzung
Namensfindung COMPASSO

Seite 17

DLR und GK im Überblick

Seite 18

Innovation für Europa

Aktuelles Galileo System:

Genauigkeit der Galileo-Zeit: Weniger als 8 Nanosekunden Abweichung zur Weltuhrzeit UTC

Genauigkeit der Positionsbestimmung: Besser als 2 m

Bahnverkehr

Sichere Vermeidung von Kollisionen durch hochgenaue Positionsbestimmung (Gleisabstand oft nur 3,5 m)

Schiffsverkehr

Transportwege werden optimiert und verringern dadurch Umweltverschmutzung und Kosten. Genauere und zuverlässigere Ortung für Seenotrettung.

Vermessungswesen und Überwachung

Ob Bahn, Straße, große Anlagen oder Gebäudebau, moderne Vermessungstechnik beruht heute auf der Nutzung von GNS-Signalen und erlaubt nicht nur die (kleinräumige) Vermessung im urbanen oder ländlichen Bereich, sondern auch großräumig, wie z.B. im Bereich der globalen Erdvermessung (Geodäsie).

Land- und Forstwirtschaft

Mehr Präzision in der Landwirtschaft reduziert den Einsatz von Treibstoff, Pestiziden und Düngemitteln - für eine umweltverträgliche und nachhaltige Landwirtschaft

Luftfahrt

Signale werden überall empfangen (auch über Ozeanen)

- Spurloses Verschwinden eines Flugzeugs ist dadurch so gut wie ausgeschlossen. Sicherheitsabstände können bei schlechter Sicht immer gewährleistet werden
- Präzisionslandungen bei schlechter Sicht

COMPASSO als wichtiges Projekt für zukünftige Technologien auf der Erde



Standortbasierte Dienste

Der „Klassiker“ unter den Navigationsdiensten erlaubt durch die Bestimmung des eigenen Standorts eine Vielzahl damit verbundener Angebote wie Routenberechnungen, Suche nach dem nächsten Ziel (Restaurant, Geschäft etc.) Geocaching, Fitnessprogramme oder Notrufdienste.

Zeitdienste und Synchronisation

Wenn auch allgemein weniger bekannt profitieren sowohl Finanztransaktionen, der Mobilfunksektor, als auch die Energieversorgung (z.B. Energienetze oder Windparks) in erheblichem Maß von genauer Zeitsynchronisation und genauen Zeitstempeln.

Mobilität

Im Verkehrsbereich sind alle Varianten - von der Individualreise über Bahn- Schiffs- und Luftverkehr bis hin zum autonomen Fahren - ohne GNS-Systeme nicht mehr denkbar. Diese bieten die ideale Technologie, um höchste Präzision und Sicherheit bei jeder Witterung, Jahreszeit, Umgebung oder Lichtquelle zu gewährleisten.

Klimaforschung

Hochgenaue GNS-Daten unterstützen und ermöglichen eine Vielzahl von Analysen im Bereich der Klimaforschung. Neben terrestrischen Anwendungen sind auch weltraumgestützte Erdbeobachtungsmissionen prominente Nutzer. Diese nutzen GNS Daten zum Beispiel bei hochgenauen Gravitationsmessungen, um u.a. jahreszeitliche Veränderungen der Wasserflüsse zu messen und zu verfolgen.

EINBINDUNG IN DIE GESELLSCHAFT

COMPASSO – Zukunftspotential

Aufgrund der hohen Präzision und globalen Verfügbarkeit gibt es ein umfangreiches Spektrum an Anwendungen, die von globalen Navigationssatellitensystemen (**Global Navigation Satellite Systems - GNSS**) profitieren. Diese können mit COMPASSO verbessert und erweitert werden, da der Einsatz optischer Quantentechnologie im Vergleich zur bestehenden Technologie mehr Genauigkeit, Ausfallsicherheit und Performanz verspricht. Zukünftige Dienste können somit noch nachhaltiger, sicherer und effizienter für uns Menschen werden.

Da die gesellschaftliche Relevanz im Bereich Satellitennavigation rasant wächst, werden sich in diesem Anwendermarkt in den kommenden Jahren eine Vielzahl weiterer Innovationsmöglichkeiten eröffnen. Die Beteiligung an COMPASSO ermöglicht es den Industriepartnern außerdem ihre Erfahrungen und technologischen Fähigkeiten im Hinblick auf den Weltraumeinsatz ihrer Technologien auszubauen und sich somit einen Wettbewerbsvorteil zu sichern.

COMPASSO trägt damit zur Förderung des kommerziellen Einsatzes von innovativen Technologien im Weltall sowie zum Ausbau der Forschungslandschaft der Quantentechnologien in Deutschland bei. Im Rahmen der europäischen Zusammenarbeit erlaubt dieses Projekt außerdem dem DLR bzw. Deutschland, zur Weiterentwicklung von Galileo wertvolle Beiträge zu leisten und diese maßgeblich mitzugestalten.

Technologiefortschritt: Die Uhr im Wandel

Mechanische Uhr im Hz Bereich
► Ungenauigkeit: etwa 1s am Tag

Quarzuhr im MHz (10^6 Hz) Bereich
► Ungenauigkeit: etwa 1s im Jahr

Atomuhr im GHz (10^9 Hz) Bereich
► Ungenauigkeit: etwa 1s in einer Million Jahren

Optische Uhren im PHz (10^{15} Hz) Bereich
► Ungenauigkeit: etwa 1s in einer Milliarde Jahren

Laser

Laserkommunikationssysteme übertragen Daten mit einer Rate von bis zu 10 Gbit/s (Vergleich: Mobilfunk 4G -1 Gbit/s).

Ermöglicht hochpräzise, millimetergenaue Entfernungsmessungen zwischen den Satelliten und dem Boden, bzw. zwischen Satelliten.

Frequenzkamm

Den Frequenzkamm kann man sich als ein Laserlineal für Licht vorstellen, der aus etwa 10^5 bis 10^6 extrem schmalbandigen Laserfrequenzen besteht.

Anwendung:

- Messung hochfrequenter optischer Frequenzen (z.B. optische Uhren)
- Schnittstelle zwischen optischem Bereich und Radiofrequenzen.

Uhren:

Allgemein besteht eine Uhr aus einem Pendel (Oszillator), das möglichst gleichmäßig schwingt und einem Zähler, der diese Schwingungen mitzählt. Je schneller die Schwingung, umso feiner erfolgt die Zeitmessung.

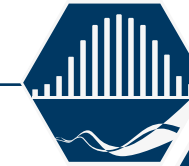
Optische Uhren:

Als optischen Oszillator (Referenz für die Frequenz) verwendet man ein Atom, das eine genau definierte Welle im optischen Frequenzbereich, also im sichtbaren Licht, aussendet. Bei COMPASSO ist dies molekulares Jod mit einer Wellenlänge von ca. 500 nm (=grünes Licht).

Eine Sekunde dauert so lange wie
9192631770 Schwingungen eines
Atoms des Nuklids Cäsium 133

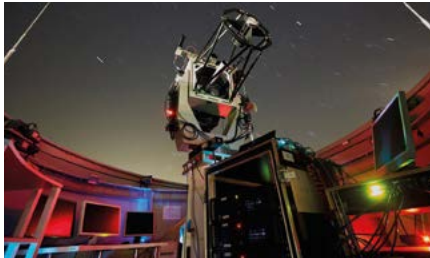
Die Sekunde (s) ist die SI-Einheit der Zeit



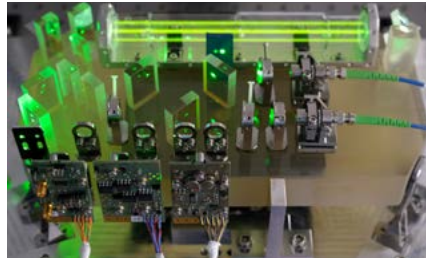


NUTZLAST AUF DER ISS

Drei Kerntechnologien: Joduhr, Frequenzkamm und Laserterminal



Optische Bodenstation
Oberpfaffenhofen



Optische Joduhr (DLR-Institut für Quantentechnologien)



Frequenzkamm der Firma Menlo

1. BIDIREKTIONALES LASERTERMINAL

Das in der COMPASSO-Mission verwendete und von der Firma Tesat in Kooperation mit dem DLR weiterentwickelte Laserterminal ist eine hervorragende Möglichkeit zum Austausch von Informationen zwischen Satelliten und Bodenstation. Es bietet im Vergleich zur Kommunikation mit Radiowellen wesentliche technologische Vorteile (u.a. Gewicht, Bandbreite, Genauigkeit) und ermöglicht zudem hochpräzise Entfernungsbestimmungen und neue Möglichkeiten des sicheren Datenaustausches (z.B. durch Quantenkryptographie).

Im COMPASSO-Experiment wird durch die Zusammenschaltung von Joduhr und Frequenzkamm ein System realisiert, das eine hochstabile (rauscharme) Frequenz und somit eine hochgenaue Zeitbasis erzeugt. Die Kombination von Joduhr und Frequenzkamm ist nötig, da optische Uhren extrem schnell schwingen. Es gibt aber keine elektronischen Systeme, die diese Schwingungen direkt zählen können. Mit einem Frequenzkamm werden die Schwingungen optischer Uhren in niedrigere Frequenzen umgewandelt, die dann mit herkömmlichen Mikrowellensystemen verbunden und gezählt werden können.

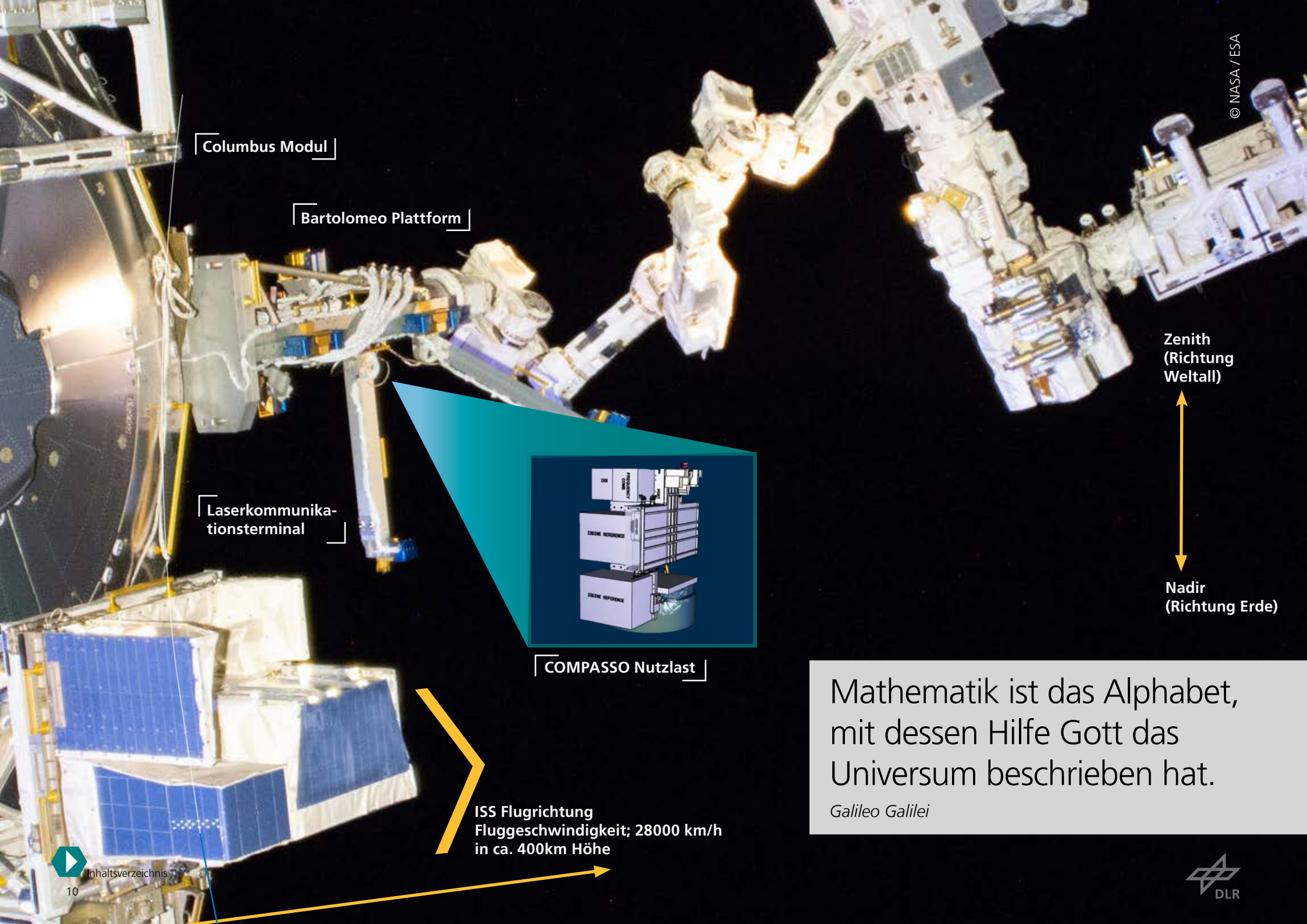
2. OPTISCHE JODUHR

Die im DLR entwickelte und sowohl im Labor als auch auf Höhenforschungsraketen getestete, optische Joduhr ist eine hochpräzise optische Frequenzreferenz und Zeitbasis. Sie stellt eine innovative, technologische Alternative zu den bestehenden in der Satellitennavigation verwendeten Atomuhren dar und soll im Rahmen von COMPASSO den Nachweis für ihre Eignung auf zukünftigen Galileo Satelliten (und für andere wissenschaftliche sowie kommerzielle Weltraummissionen) erbringen.

3. FREQUENZKAMM

Der von der Firma Menlo entwickelte Frequenzkamm ist eine physikalische Schnittstelle zwischen dem optischen Bereich und dem für die Satellitennavigation genutzten Bereich der Radiofrequenzen. Der ebenfalls bereits auf Höhenforschungsraketen getestete Frequenzkamm wird im Rahmen von COMPASSO für den Einsatz im Weltraum angepasst und qualifiziert.

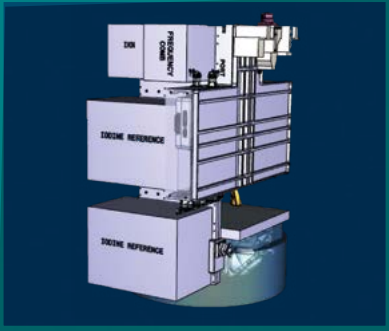
Die Aufgabe des Laserterminals ist es, das vom Frequenzkamm erzeugte Signal und die Zeitinformation zum Boden zu übertragen und dabei gleichzeitig hochgenaue Entfernungsmessungen vorzunehmen. Eine erfolgreiche Weltraumqualifizierung dieser Technologien ist die Grundvoraussetzung für einen späteren Einsatz in den zukünftigen Generationen der Galileo Satelliten.



Columbus Modul

Bartolomeo Plattform

Laserkommunikationsterminal



COMPASSO Nutzlast

Zenith
(Richtung Weltall)

Nadir
(Richtung Erde)

ISS Flugrichtung
Fluggeschwindigkeit; 28000 km/h
in ca. 400km Höhe

Mathematik ist das Alphabet,
mit dessen Hilfe Gott das
Universum beschrieben hat.

Galileo Galilei





ZEITLICHER ÜBERBLICK

Missionsszenario

COMPASSO lässt sich in drei Phasen unterteilen:

1. Nutzlast-Entwicklungsphase:

Innerhalb dieser für einen Zeitraum von vier Jahren angesetzten Phase wird die COMPASSO Nutzlast entwickelt und getestet. Je nach Entwicklungsstand der einzelnen Komponenten (Joduhr, Frequenzkamm, Laserkommunikationsterminal, ...) werden auf dem Weg zur finalen Nutzlast unterschiedliche Modelle qualifiziert.

Wie in der Grafik abgebildet, sind für das Gesamtsystem drei Modellversionen vorgesehen:

- „Breadboard-Model“ (BBM): Ein aus vorhandenen Laborgeräten erstelltes und nicht vollständig repräsentatives Modell, das erste funktionale Test ermöglicht.
- „Development Model“ (DM): Ein Entwicklungsmodell, das der finalen Auslegung der Nutzlast möglichst nahekommt und vollumfängliche Tests der Hard- und Software ermöglicht.
- „Proto Flight Model“ (PFM): Finale Nutzlast, bereit für den Einsatz auf der ISS.

2. In-Orbit Operation / Experimentierphase auf der ISS:

Diese Phase beinhaltet die eigentliche Weltraummission und umfasst einen Zeitraum von 1,5 Jahren.

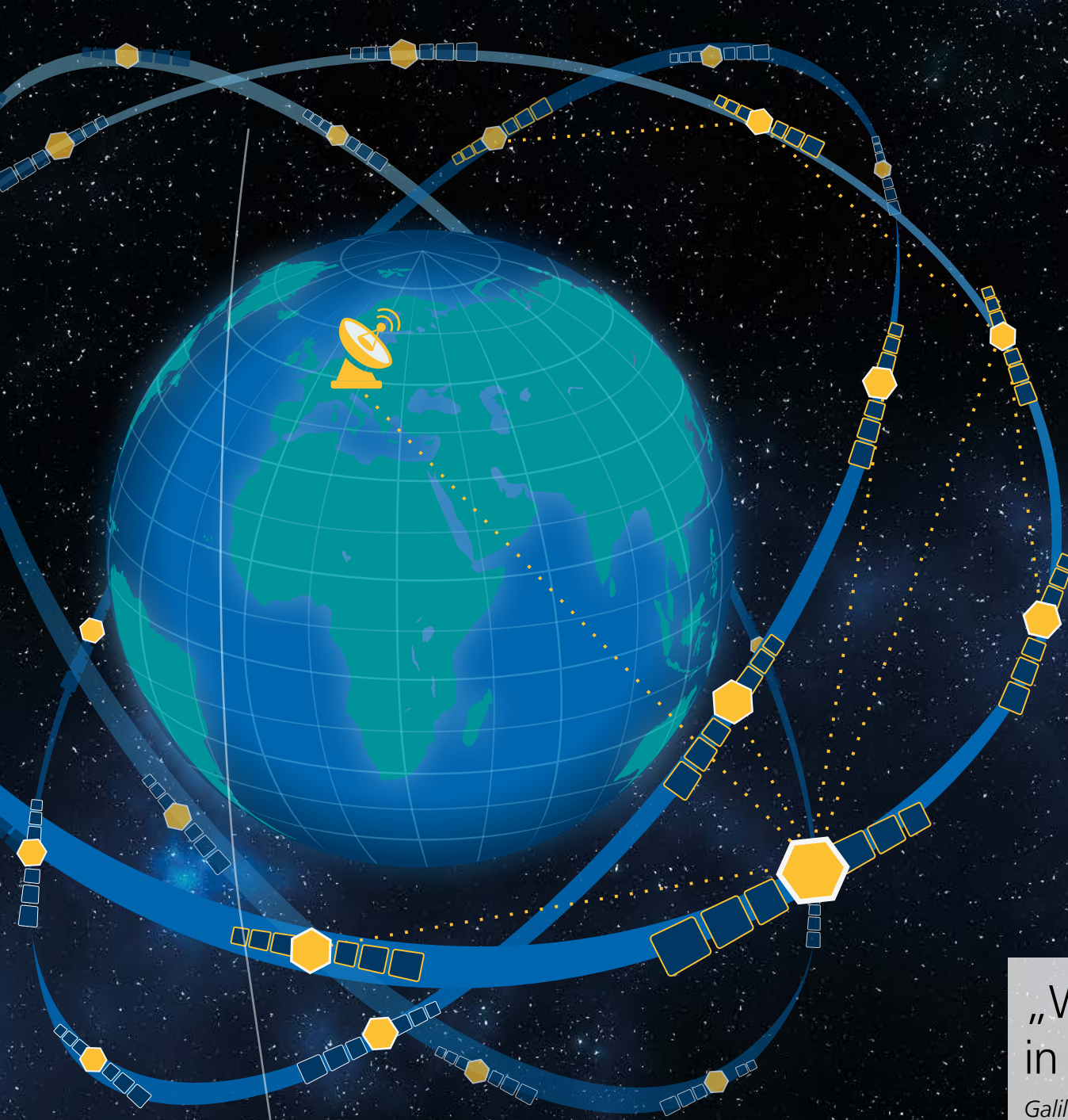
3. Rückführung und Validierung

In dieser Phase schließt die Mission ab. Die Nutzlast wird auf der ISS in Komponenten zerlegt, diese zur Erde zurückgeführt und an das DLR für abschließende Analysen und Tests übergeben.



Montage der Nutzlast an der ISS:

Als zeitlicher Horizont ist gegenwärtig ein Start der COMPASSO-Nutzlast für 2025 anvisiert.



30 Galileo Satelliten in rund 23000 km
Für mehr Unabhängigkeit für Europa

Das zivile Galileo System ist seit Dezember 2016 in Betrieb, bis 2021/22 sollen alle geplanten Dienste verfügbar sein. Es garantiert Europa Zugang zu einem eigenen globalen Satellitennavigationssystem, auch wenn andere Systeme abgeschaltet werden oder an Genauigkeit verlieren.



„Wer die Geometrie begreift, vermag
in dieser Welt alles zu verstehen.“

Galileo Galilei

GALILEO EVOLUTION – FÜR DIE NÄCHSTEN GENERATIONEN DER GALILEO SATELLITEN

COMPASSO: Qualifizierung optischer Technologien

Galileo Evolution

Einsatz von hochpräzisen und robusten Frequenzreferenzen und Uhren auf den Satelliten

Optische Inter-Satelliten-Links (ISL): robuste, sichere und hochratige Kommunikationsverbindungen zwischen den Galileo Satelliten

Optisches Inter-Satellite Ranging (ISR): Hochpräzise Vermessung der Satellitenpositionen im Orbit

Höhere Genauigkeit und Zuverlässigkeit
► verbesserte Anwendungsmöglichkeiten

Das Galileo-Programm muss nicht nur die Aufrechterhaltung seiner Positions- und Zeitdienste gewährleisten, sondern sich gleichzeitig permanent weiterentwickeln, um den Anforderungen einer sich dynamisch entwickelnden Gesellschaft und Wirtschaft gerecht zu werden. Im Rahmen des Programms werden daher regelmäßige technologische Evolutionsszenarien für die nächsten Generationen von Galileo Satelliten diskutiert. Von großer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang verbesserte, hochgenaue Uhren und Laserterminals auf den Satelliten sowie Inter-Satellite Links. Letztere ermöglichen die Datenübertragung, Entfernungsmessung sowie eine präzise(re) Zeit und Frequenzübertragung zwischen den Galileo Satelliten.

Damit diese Technologien ihren Eingang in das Galileo System finden, müssen sie hohe Anforderungen erfüllen. Dies bedeutet, dass sie nicht nur eine signifikant verbesserte Funktionalität gegenüber den bestehenden Komponenten aufweisen, sondern im Besonderen auch weltraumspezifischen und operationellen Gesichtspunkten genügen. Für zukünftige Generationen von Galileo Satellitenuhren bedeutet dies, dass sie nicht nur hochgenau und stabil sein müssen, sondern möglichst über einen langen Zeitraum unter Weltraumbedingungen funktionieren, ein geringes physikalisches Volumen aufweisen, einen geringen Stromverbrauch

haben und einen einfachen operationellen Betrieb ermöglichen müssen.

Hier liegt die besondere Bedeutung von COMPASSO

Die hier eingesetzten optischen Uhren und Terminals bieten neben weiteren Anwendungen exakt die Antworten auf die angedachten Entwicklungsszenarien. Eine erfolgreiche Weltraumqualifizierung der in COMPASSO implementierten optischen Technologien ist ein Meilenstein für den Einsatz in zukünftigen Generationen der Galileo Satelliten. Dort können diese optischen Uhren und die neue Generation von Laserterminals wesentlich zu Verbesserungen in der Bahnbestimmung der Satelliten und der Erzeugung der Galileo Systemzeit beitragen. Im Vergleich zum heutigen System ermöglicht dies zukünftigen Nutzern eine 10-fach genauere und schnellere Positionsbestimmung bis in den Zentimeterbereich. Gleichzeitig eröffnen sich neue Möglichkeiten der Nutzung von Galileo beispielsweise für die zeitliche Synchronisation industrieller und informationstechnischer Prozesse.



Ich schätze das Auffinden einer einzigen, wenn auch unbedeutenden Wahrheit höher, als das Herumdisputieren über die höchsten Fragen.

Galileo Galilei

MITEINANDER STARK

Kooperationen und Synergien

DLR Galileo Kompetenzzentrum:

Ist für die Gesamtprojektleitung verantwortlich und übernimmt als zentrale Aufgabe das Anforderungsmanagement, die Produktsicherung, das Qualitätsmanagement und die Validierung der Subsysteme

DLR-Institut für Kommunikation und Navigation:

Koordiniert die Entwicklung des Laser Communication and Ranging Terminals (LCRT), entwickelt die Komponenten zur hochgenauen Entfernungsmessung und wird die erforderliche optische Bodenstation bereitstellen.

DLR-Raumfahrtbetrieb und Astronautentraining:

Ist für die Bodenbetriebssoftware und den Missionsbetrieb verantwortlich.

DLR-Institut für Quantentechnologien:

Ist Designer, Entwickler und Lieferant der jodbasierten Frequenzreferenzen, die vom DLR-Institut für Raumfahrtssysteme, dem DLR-Institut für Optische Sensorsysteme und anderen externen Lieferanten unterstützt wird.

DLR-Institut für Softwaretechnologie:

Die Satelliten-Betriebssoftware für Telekommandierung und Telemetrie wird hier entwickelt.

Airbus:

Ist der Betreiber der Bartolomeo-Plattform und unterstützt das Projekt im Bereich Systems Engineering und Safety.

Tesat Spacecom GmbH:

Liefert das Basismodell ihres Laser Communication Terminals (SmartLCT) und erweitert dieses in Zusammenarbeit mit KN zum LCRT

Menlo Systems:

Der optische Frequenzkamm ist eine Entwicklung der Menlo Systems GmbH.

Kooperationspartner:



AIRBUS

TESAT

MenloSystems

Partner

- Institut für Kommunikation und Navigation
- Raumflugbetrieb und Astronautentraining
- Institut für Quantentechnologien
- Institut für Softwaretechnologie
- Institut für Raumfahrtssysteme
- Institut für optische Sensorsysteme

- Airbus
- Tesat
- Menlo
- ...

Vision/Zukunft:

COMPASSO Technologien für die nächste Generation Galileo Satelliten
Für eine präzise und sichere Zukunft

2021-2027: Entwicklung und Demonstration des
In-Orbit-Betriebs von quantenoptischen Schlüssel-
technologien für zukünftige GNSS



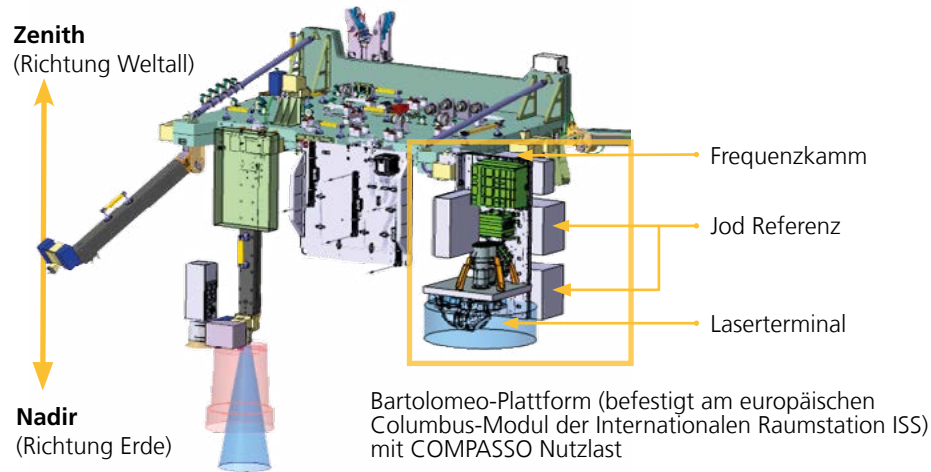
Die Neugier steht immer an erster Stelle
eines Problems, das gelöst werden will.

Galileo Galilei



OPTISCHE UHREN UND LASERTECHNOLOGIEN AUF DER BARTOLOMEO-
PLATTFORM DER ISS

Technologische Zielsetzung



Demonstration des Weltraumbetriebs von quantenoptischen Schlüsseltechnologien für zukünftige globale Satellitennavigationssysteme (GNSS), insbesondere das europäische Galileo System, sowie für Erdbeobachtungs- und Wissenschaftsmissionen

Demonstration der Machbarkeit des Betriebs von optischen Jod-Frequenzreferenzen im Weltraum

Demonstration der Realisierbarkeit des Betriebs von optischen Frequenzkämmen im Weltraum

Demonstration der Machbarkeit des Betriebs eines bidirektionalen Laser Communication and Ranging Terminals (LCRT) im Weltraum

Demonstration der optischen Datenübertragung über eine bidirektionale optische Verbindung zwischen der ISS und einer optischen Bodenstation

NAMENSFINDUNG

COMPASSO

Der Name leitet sich von dem ersten kommerziellen, wissenschaftlichen, von Galileo Galilei entwickelten Instrument ab, einem geometrischen und militärischen Kompass. Das 1597 entworfene Gerät ähnelte einem Proportionszirkel aus zwei Linealen, die sich in Form eines Halbkreises bewegten.

Diese Erfindung hatte viele Anwendungen und wurde u.a. als Vorläufer des Rechnerschiebers verwendet.



Galileo Galilei



COMPASSO Instrument

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Wir betreiben Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projektträger betreuen Förderprogramme und unterstützen den Wissenstransfer.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 55 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Unsere 10000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen wir dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

Ansprechpartner COMPASSO

Dr. rer. nat. Stefan Schlüter
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Galileo Kompetenzzentrum
Münchener Straße 20, 82234 Weßling

E-Mail: Stefan.Schlueter@dlr.de

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Charles Ben
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Programmatik Raumfahrtforschung und -technologie
Hansestraße 115, 51149 Köln

E-Mail: Charles.Ben@dlr.de

[DLR.de/GK](https://www.dlr.de/GK)

[DLR.de/GK/COMPASSO](https://www.dlr.de/GK/COMPASSO)

Das Galileo Kompetenzzentrum im Überblick

Das Galileo Kompetenzzentrum unterstützt Europa bei der Bereitstellung der bestmöglichen Navigationstechnologien für Bürgerinnen und Bürger. Daran arbeiten wir gemeinsam mit den wissenschaftlichen Instituten und Einrichtungen des DLR und weiteren Partnern aus Forschung und Industrie.

Die Verwirklichung neuer Technologien und Konzepte für eine spätere mögliche Nutzung oder Vermarktung dieser durch die Industrie, ist dabei eines unserer zentralen Anliegen. Unser fundiertes Wissen über das Galileo Gesamtsystem gibt uns die Möglichkeit, als Mittler und Berater verschiedener Stakeholder zu agieren und maßgeblich zur Weiterentwicklung von Galileo beizutragen.

Impressum

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
Galileo Kompetenzzentrum

Gestaltung und Illustration

Angelica Lenzen, www.angelicalenzen.de

Bilder DLR (CC-BY 3.0), soweit nicht anders angegeben.
Titelbild: © NASA mit COMPASSO KeyVisual