

# DIE NEUESTEN ENTWICKLUNGEN DER (LASER-) SATELLITENKOMMUNIKATION

36. FSM SCIENCE BRUNCH – 23. NOV. 2023



# GUTEN MORGEN

/// Optische Kommunikation ist alt, viel älter als RF

- / Signalfeuer
- / PhotoPhone
- / Taschenlampe, Scheinwerfer-Links, Morse
- / Kerzenlicht

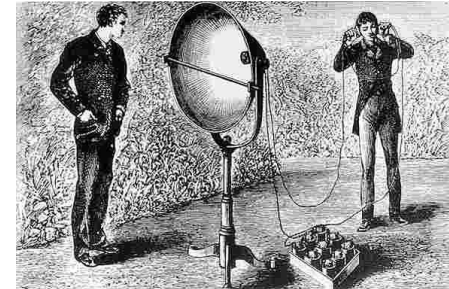
→ aber alles ist NICHT Laser Kommunikation

/// Fokus heute auf FreeSpace Laser Communication for Space

- / Terrestrische Optische Kommunikation (FiberCom / FreeSpace)
- / Intrasatellite Kommunikation (fibered)



Source: [www.yachtcharter.de](http://www.yachtcharter.de)



Source: [en.wikipedia.org/wiki/Photophone](https://en.wikipedia.org/wiki/Photophone)



Source: <https://www.navytimes.com>



# 1881 – PHOTOPHONE (ALEXANDER GRAHAM BELL AND SUMNER TANTER)

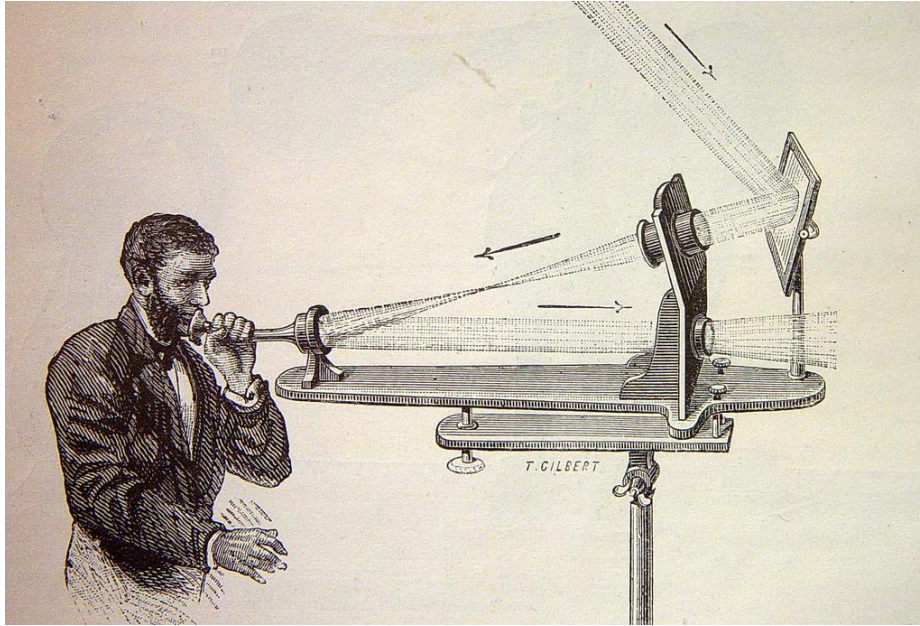
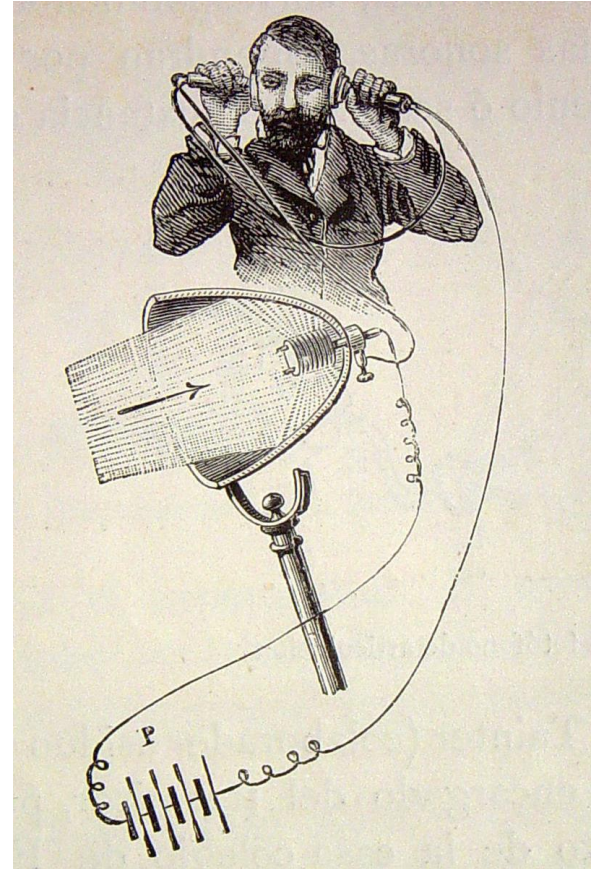


Illustration of the photophone's transmitter, originally from: El mundo físico : gravedad, gravitación, luz, calor, electricidad, magnetismo, etc. / A. Guillemin by: Guillemin, Amédée, published by: Barcelona Montaner y Simón, 1882

Illustration of the photophone's receiver, originally from: El mundo físico : gravedad, gravitación, luz, calor, electricidad, magnetismo, etc. / A. Guillemin by: Guillemin, Amédée, published by: Barcelona Montaner y Simón, 1882



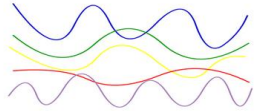
# LASER

/// **Laser** (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation)  
Erfunden: 16. Mai 1960, Theodore Maiman, Hughes Research Laboratory in California

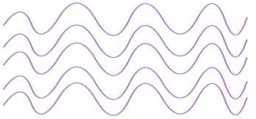
/// Zeitlich und räumlich kohärent

→ gleichphasig

→ monochrom



Mehrfarbig und nicht phasengleich



Einfarbig und phasengleich

→ Gute Strahlqualität und -bündelung 

 **YouTube** <https://www.youtube.com/watch?v=y3SBSbsdiYg>

/// Auch ein Laserstrahl hat real eine Strahlaufweitung, aber ...

Näherungsformel  $\varphi = \lambda / (\pi * D)$

- D = Apertur (Antennen- bzw. Teleskopdurchmesser)
- $\lambda$  = Wellenlänge (→ 1/Frequenz Gesetz)

/// Beispiel für Spot Size in 1000 km

! RF (25GHz, Ka, Sendeantenne D=500mm)  
→ ca. **15'000 m**

! Laser (191'000 GHz, Sendeantenne D=100mm)  
→ ca. **10 m**

/// Leistung geht im Quadrat verloren!!



# LASER

/// Ich hab's versucht, zu visualisieren ....



Date: 26/11/2023

Ref: TCH-20231123-FSM Science Brunch

Template: 83230347-DOC-TAS-EN-011

PROPRIETARY INFORMATION

© 2023 Thales Alenia Space All rights reserved

THALES ALENIA SPACE OPEN

ThalesAlenia  
Space  
Thales / Leonardo company

# MOTIVATION FÜR LASER

## ///Pro

- / Energieeffizient
- / Hohe Bandbreite / Kanalkapazität
- / Zusätzliches Spektrum
- / Kleiner «footprint» typisch ein paar Meter / 1000km
- / Nicht reguliert / Lizenzen
- / Akzeptanz auch in Hinblick auf Strahlung/Gesundheit (siehe auch Eye-Safety)

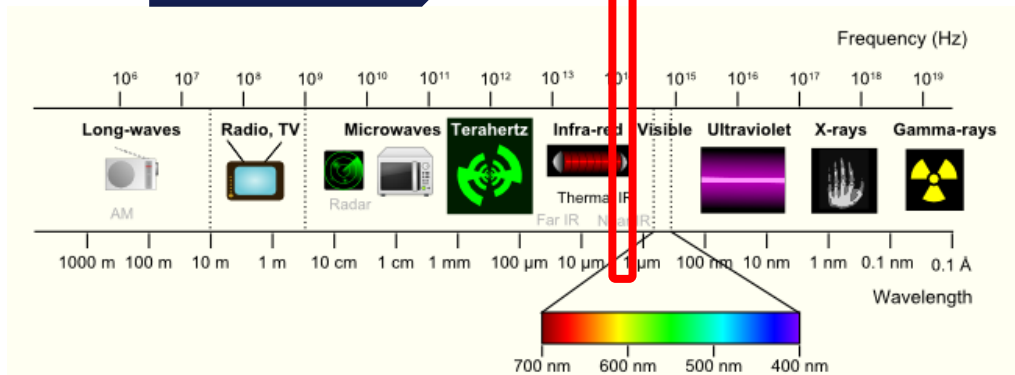
## ///Kontra

- / Hohe opto-mech. Präzision
- / Anfälligkeit für Strahlung und Temperatur
- / Anspruchsvolle Optik, Photonics → Digital Signal Processing hilft
- / Wetter und Atmosphäre
- / zZ. Keine direkte Weiterverarbeitung (Wandlung in el. Signale)
- / Noch etwas jüngere Technologie (aber hat mächtig aufgeholt, FiberCom)
- / Eye-safety

# RF AND LASER - ELECTRO-MAGNETIC WAVES

Trend RF

Laser, Stand der Technik : 1550nm (NIR)

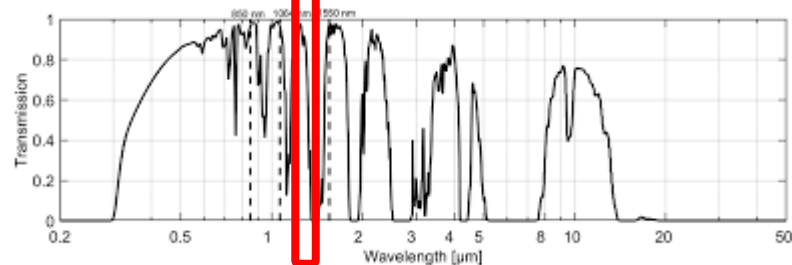


Terrestrisch (sub-marine)  
Fibercom Technologie  
→ boost für 1550 nm

Gutmütiges trans-atmosphären  
Verhalten

The **terahertz** (THz) band (0.1–10 THz) is one of many promising pillar technologies that meets the requirements of 6G for 2030 and beyond

Gutmütige Atmosphäre bei 1.5  $\mu\text{m}$



Sources:

[https://www.tutorialspoint.com/antenna\\_theory/antenna\\_theory\\_spectrum\\_transmission.htm](https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/antenna_theory_spectrum_transmission.htm)

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/sat.1426>

<https://terasense.com>

$10^{21}$   
 $10^{16}$



# FROM EARTH TO DEEP SPACE...

36 000 KM

23 000 KM

8 000 KM

800 KM

700 KM

400 KM

20 KM

Date: 26/11/2023

Ref: TCH-20231123-FSM Science Brunch

Template: 83230347-DOC-TAS-EN-011

PROPRIETARY INFORMATION

© 2023 Thales Alenia Space All rights reserved

THALES ALENIA SPACE OPEN



# WARUM KOMMUNIKATION VON «SPACE»

## /// Offensichtlich / unabdingbar:

- / Exploration, Mond, Planeten
- / Science, Experimente
- / Erdbeobachtung, Wetter

## /// Telekom:

- / Grosse Reichweite
- / Einfacher Zugang zu «unwirtlichen» Gebieten
- / Keine fremden Territorien
- / Kürzere Laufzeiten (Lichtgeschwindigkeit in Glasfaser ca 1.5x langsamer)



Space – wo beginnt das Weltall?

# «SPACE»

/// **Formelle** Grenze: Karman Linie auf 100km Höhe

/// **Praktisch:** Umlaufbahn oder weiter  
→ Herausforderungen

/ Launch / Start

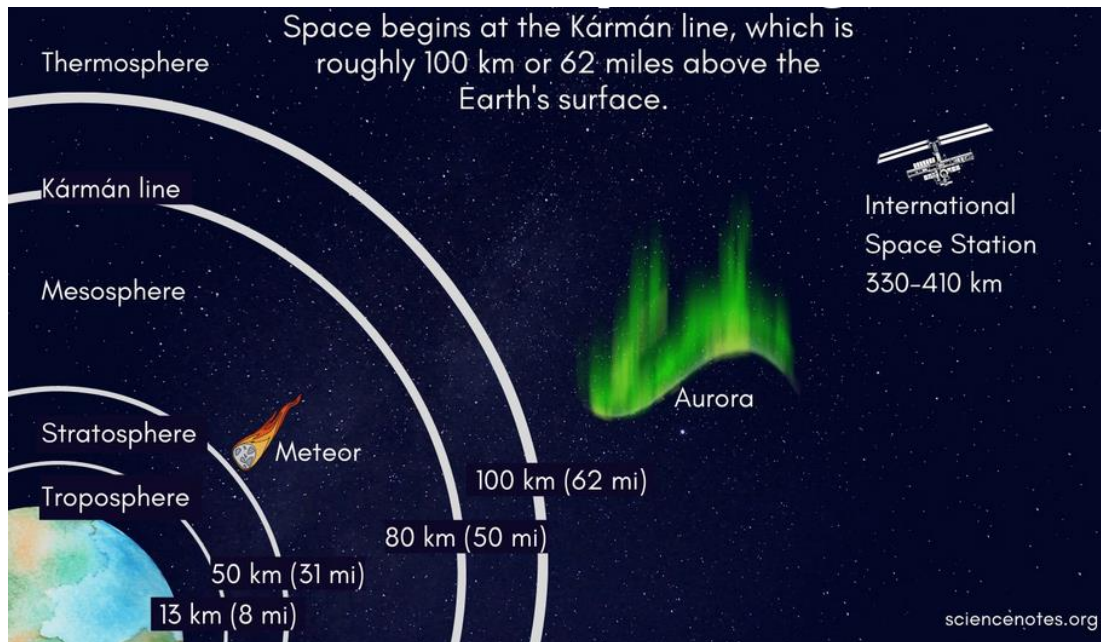
- Gewicht, Kosten
- Mechanische Stabilität
- Teuer

/ Spezifische Umweltbedingungen

- Temperatur
- Strahlung

/ Schlechte Zugänglichkeit

- Bedingte Reparatur → Zuverlässigkeit
- Kein Hardware Upgrade





# KOMMUNIKATIONS «USE CASES» IM / FÜR RAUMFAHRT

## /// Mission Control / TCTM

- ! Steuerung
- ! Überwachen

 [YouTube Failure is not an option / Mission Control](#)



## /// Sensor Daten Rückfluss

- ! Erdbeobachtung
- ! Wissenschaft (von erdnah bis deep space)



## /// Telecom

- ! Komplementär zu erdgebundener Infrastruktur, punkt-punkt, Relay (auch für Erdbeobachtung)
- ! TV Broadcast, grossflächige Verteilung



Sources: NASA/JPL-Caltech, ESA-ESTRAC, BostonGlobe, WanderSite.ch, TAS, KKL

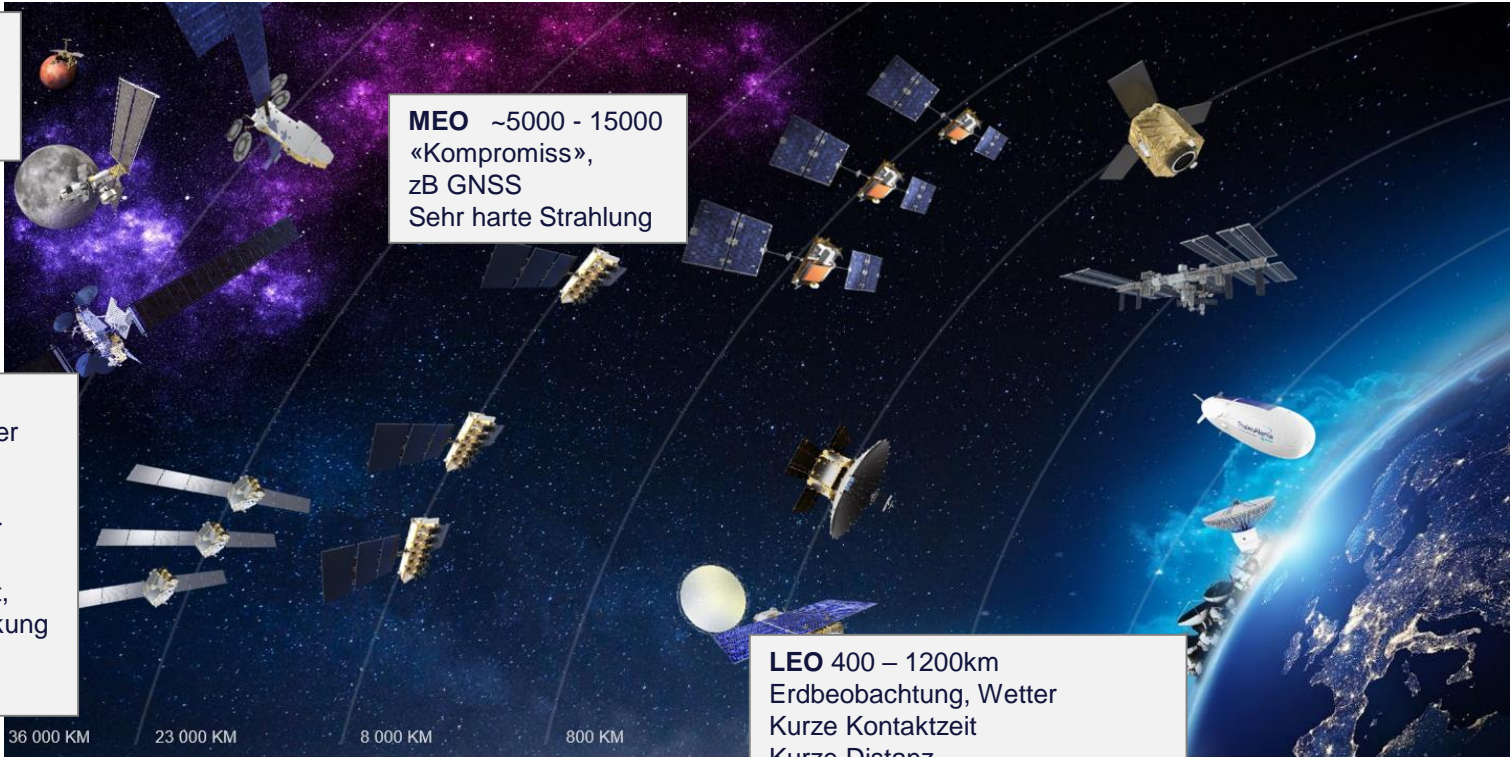
# ORBITS (LOW-, MEDIUM-, GEOSTATIONARY EARTH ORBIT, → LEO, MEO, GEO)

**DeepSpace**  
«Aufwändig»  
Noch science-  
dominiert

**MEO** ~5000 - 15000  
«Kompromiss»,  
zB GNSS  
Sehr harte Strahlung

**GEO** 36000km  
Geostationär, über  
Äquator  
Lange Distanz  
Relay/TV, Wetter  
Erdbeobachtung  
lange Kontaktzeit,  
definierte Abdeckung  
Harte Strahlung  
Langer Launch

**LEO** 400 – 1200km  
Erdbeobachtung, Wetter  
Kurze Kontaktzeit  
Kurze Distanz  
SpaceDebrit / Restatmosphäre  
Strahlung unterschiedlich  
Kurzer Launch



Sources: TAS

Date: 26/11/2023

Ref: TCH-20231123-FSM Science Brunch

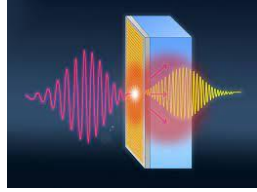
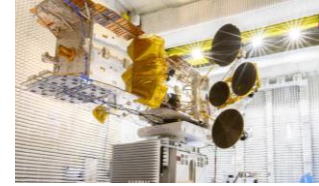
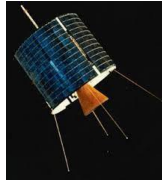
Template: 83230347-DOC-TAS-EN-011

PROPRIETARY INFORMATION

© 2023 Thales Alenia Space All rights reserved

THALES ALENIA SPACE OPEN

# EVOLUTION (EUROPA-FOKUSIERT, NICHT VOLLSTÄNDIG)



Popov/Marconi  
Morse Radio

Sputnik 83.6kg,  
Beep auf 20MHz  
und 40MHz

EarlyBird,  
11 34kg,  
2xC-Band  
1 TV

STS program  
Easy Access

EDRS A  
66xKu

SES-17  
6400kg, 15kW

TerraHetz  
Technologie  
(Symbolbild)

1880

~1890+

1957

1965

1980

2016

TV broadcast → Internet

2021

1960

1970

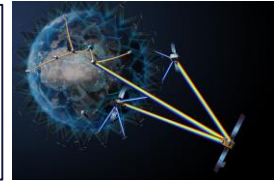
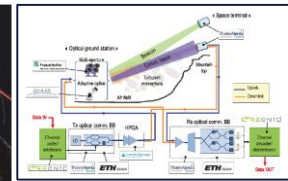
1990s

2019

2020

2022

2023+



Bell  
PhotoCam

Th. Mailan  
First Laser

FiberCom

ARTEMIS  
Laser  
Demo Sat

EDRS C  
Ka, 1064nm,  
1.8Gbps

Constellations  
n x 10Gbps+

VERTIGO /  
H2020  
Tbps Feeder  
Tech Demo  
(non-space)

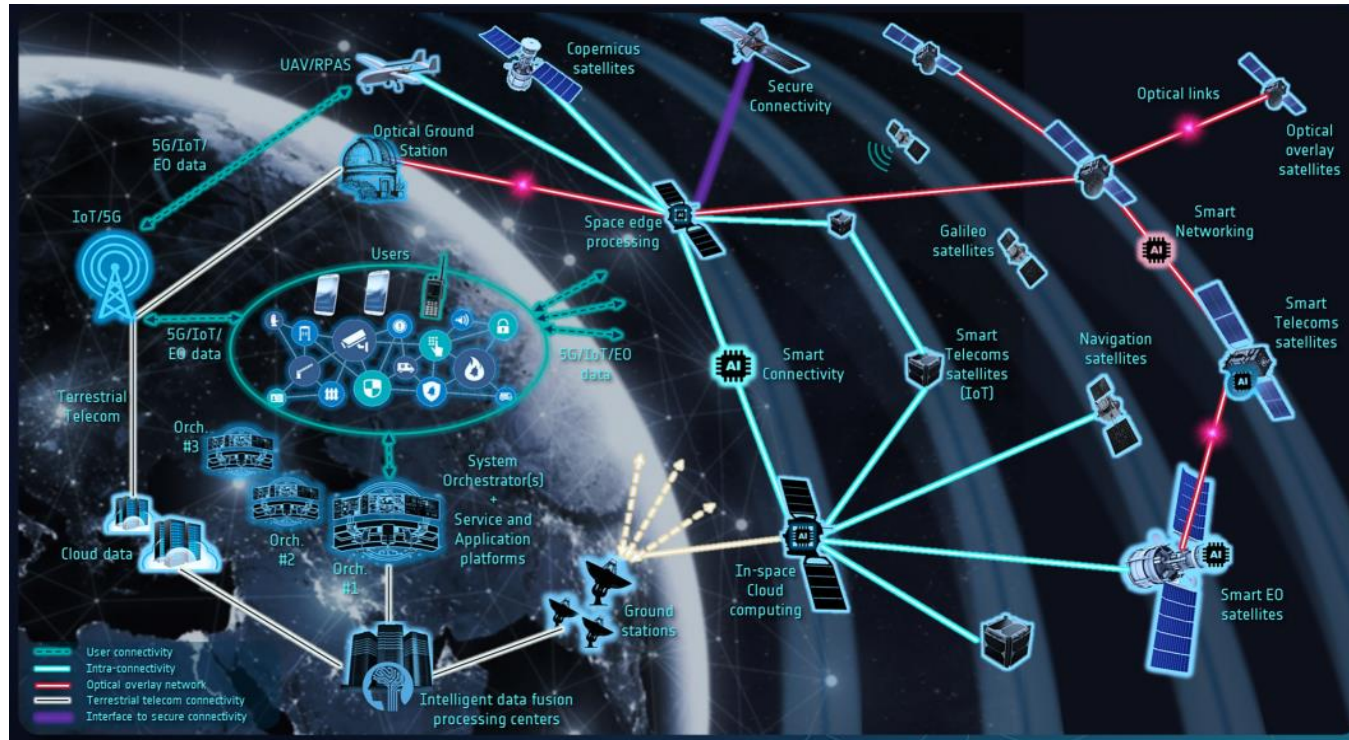
FiberIn The Sky,  
HyDRON,...

Sources: NASA, ESA, ETH, nature, www.letilaser.fr, TAS, fastrackcomm.net



# RF UND OPTISCHE KOEXISTENZ

/// ESA - Vision 2035 – A Federation of Systems



Sources: ESA, TAS

Date: 26/11/2023

Ref: TCH-20231123-FSM Science Branch

Template: 83230347-DOC-TAS-EN-011

PROPRIETARY INFORMATION

© 2023 Thales Alenia Space All rights reserved

THALES ALENIA SPACE OPEN

# OPTICAL COMMS & USE CASES

DEEP SPACE



GEO

### Data Relay LEO to GEO

- ✓ Civil Protection / Surveillance
- ✓ Improvement of data latency
- ✓ High Data volume

### Optical Inter Sat link

- ✓ Trunking / Real time
- ✓ High data rates / Low latency
- ✓ Simplified GND segment

LEO /MEO CONSTELLATIONS

LEO OBS

### Quantum Key distribution

- ✓ Unbreakable cryptography
- ✓ Satellite links are necessary because optical fiber absorption limits to ~100km

### Data Downlink

- ✓ Civil Protection / Surveillance Direct to Theater
- ✓ High Data volume
- ✓ Optical Ground Station network/service

### Optical Feeder Link Space-to-Ground (bi-directional)

- ✓ Very High data rates (up to 1Tbps)
- ✓ No Frequency Coordination
- ✓ Geographical diversity on ground

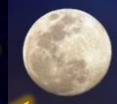
### Data Relay Through Constellation

- ✓ Real time Relay from Civil Protection / Surveillance LEO and UAVs
- ✓ High Capacity service

### Deep Space Comms

- ✓ Efficient data rate for very long distances

Terrestrial network



# TYPISCHE ELEMENTE EINES LASER TERMINALS



## OPTEL-C / TAS Constellation Terminal

- 130 mm Teleskop
- 2 W opt Leistung
- 10Gbps duplex
- 6000 km
- 1550nm Band

### /// Optischer Kopf

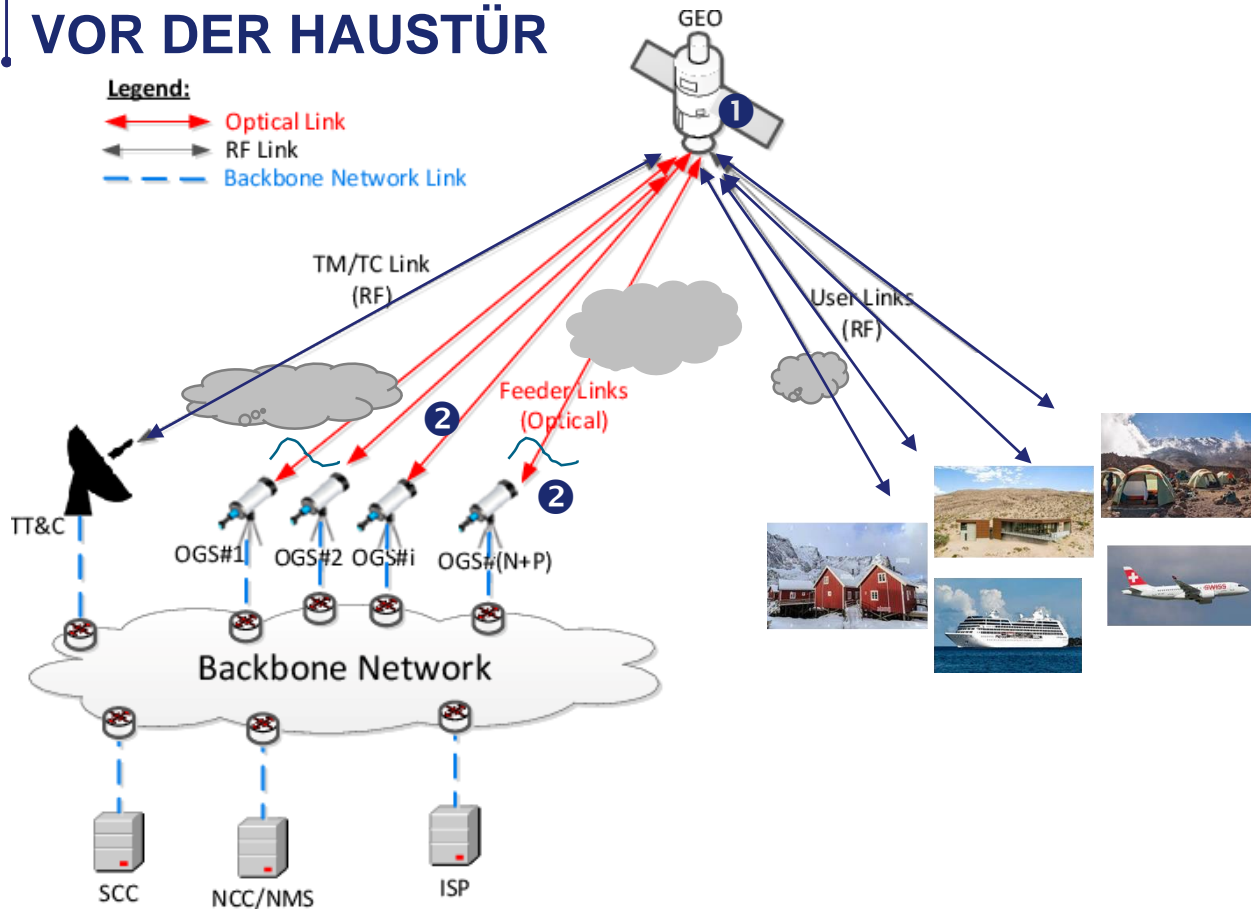
- ! Grob und Feinsteuerung (micro-Rads!!)
- ! Bündelung des Strahls (Teleskop)
- ! Strahl Management (kombinieren, teilen, filtern, stabilisieren)
- ! Suchen und Folgen (Pointing, Aquisition, Tracking)

### /// Laser Modem (nicht gezeigt)

- ! Schnittstelle zum Satelliten
- ! Modulation des Laser Lichts (Generation und Detektion des Laser Lichtes)
- ! Kodierung, Fehlerkorrektur der Daten
- ! Verstärkung des Lichtes
- ! Ggf Zeit und Distanzmessungen



# VOR DER HAUSTÜR



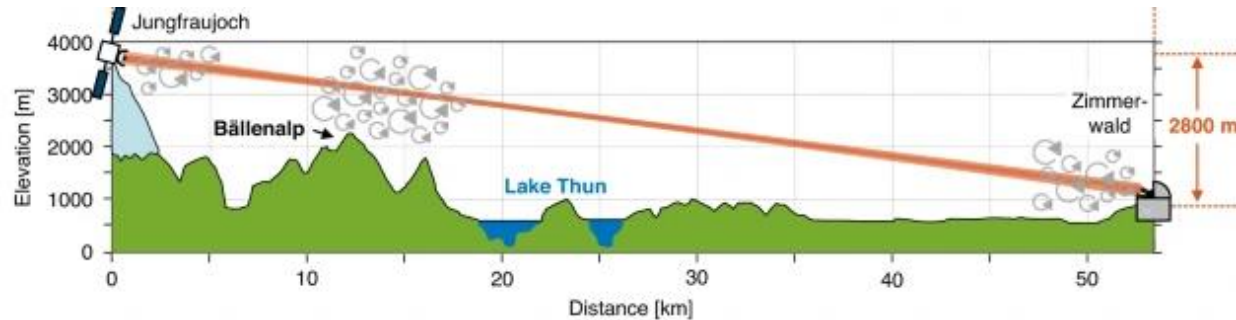
- GEO Satellit ①
  - Stationär
  - Einfaches Tracking
  - Rel. Lange Distanz
  - «grosse» Ressourcen
- Feeders von/zu Gateways ②
  - Stationär auf Erde,
  - wenige, aber leistungsfähig
  - Site-Diversity (Wetter)
- SpotBeams zu End-User ③
  - mehrere Benutzer/Beam
  - mobil
  - remote
  - kleine Ressourcen

Sources: TAS, VERTIGO, ETH

# VOR DER HAUSTÜR

/// Bsp Feederlink  
(VERTIGO)

- ! Tbps Datentransrate
- ! Boden  $\leftrightarrow$  GEO
- !  $\ll$  1kW, WDM
- !  $<$  0.5 m Teleskope
- ! Skalierbare Leistungen



Sources: TAS, VERTIGO, ETH

# VOR DER HAUSTÜR

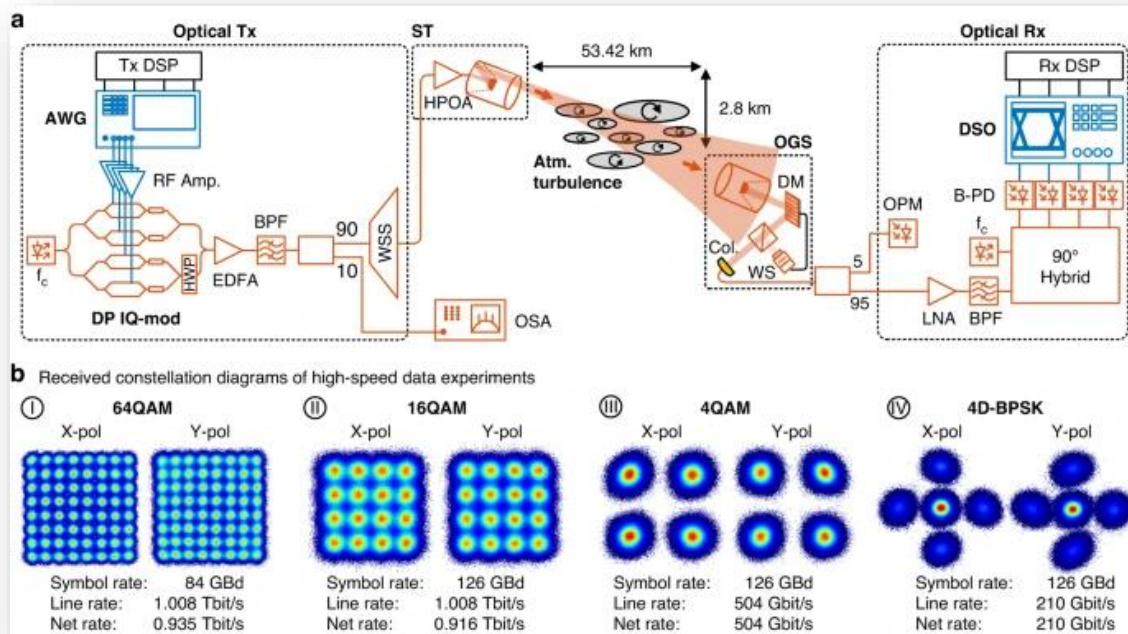
/// Verschiedene Varianten evaluiert:

- ! Modulation
- ! High Power Strahlbündelung
- ! WDM (mehrere optische Kanäle)
- ! Adaptive Optik (Atmo)
- ! Multi-Appertur Teleskope



During the test campaign, ETHZ, ONERA and Thales Alenia Space demonstrated a record transmission speed in free-space of up to 1 Tbit/s on a single wavelength and over a distance of 53 km. This achievement was established under extremely challenging conditions by transmitting data through a turbulent propagation channel between Jungfrau-Joch Research Station in Swiss Alps and Zimmerwald Observatory in the neighbourhood of Bern. The trial was the opportunity to test the combination of key technologies for optical links including adaptive optics, multi-aperture techniques as well as a variety of modulation formats.

Sources: TAS, VERTIGO, ETH

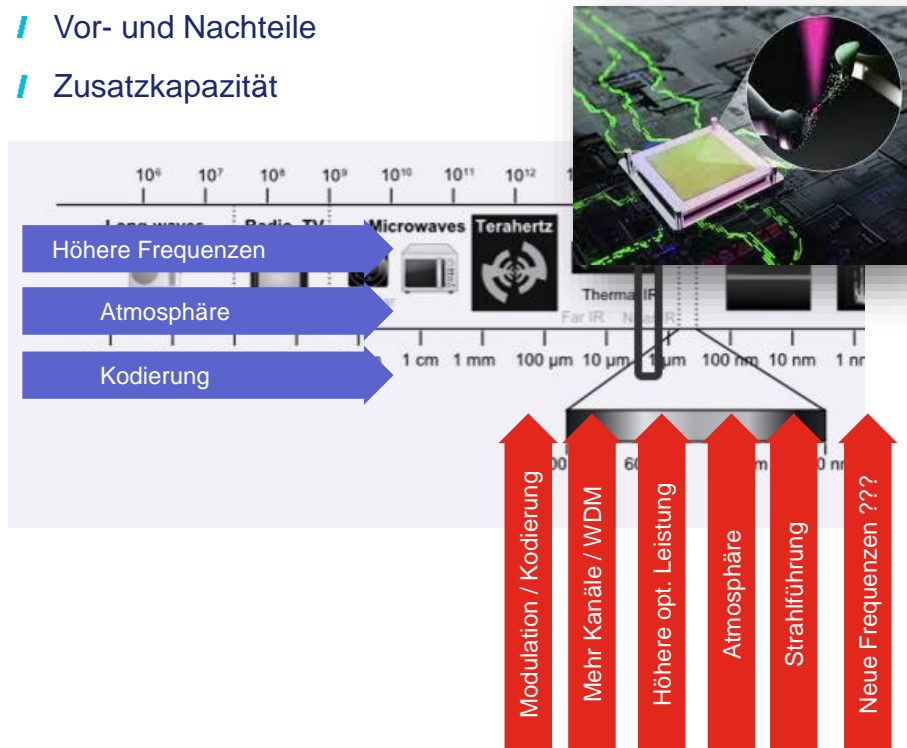


# SCHLUSSWORT

/// Allgemein: Ko-existenz und Näherkommen von RF und Laser

/ Vor- und Nachteile

/ Zusatzkapazität



Viel Synergie !

Photonic als Key-Enabler

Terrestrische Telecom als  
Zugpferd

Was wird die **ferne** Zukunft  
bringen?

- ❖ Quantum?
- ❖ Optical Processing?
- ❖ Neue Wellenlängen?

Sources: ETH IEF

Date:

Ref: T04110204423-FSM Science Brunch

Template: 83230347-DOC-TAS-EN-011

PROPRIETARY INFORMATION

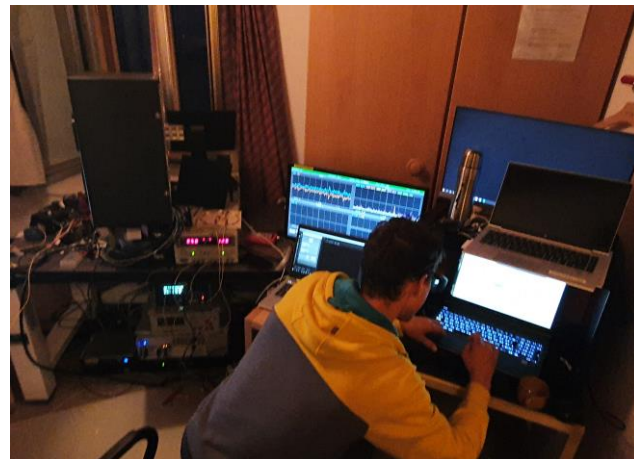
© 2023 Thales Alenia Space All rights reserved

THALES ALENIA SPACE OPEN

ThalesAlenia  
Space  
a Thales / Leonardo company



# IMPRESSIONEN VON VERTIGO



Date: 26/11/2023

Ref: TCH-20231123-FSM Science Brunch

Template: 83230347-DOC-TAS-EN-011

PROPRIETARY INFORMATION  
© 2023 Thales Alenia Space All rights reserved

THALES ALENIA SPACE OPEN

ThalesAlenia  
Space  
Thales / Leonardo company