

Satellitenkommunikation mit Licht - zu höchsten Datenraten und perfekter Sicherheit

Christian Fuchs, Dirk Giggenbach, Florian Moll, Ramon Mata Calvo,
Juraj Poliak, Ricardo Barrios, Christopher Schmidt
DLR

Christoph Günther
DLR und TUM



Ziel: Globaler breitbandiger Internetzugriff

- EU-Kommission Ziele für 2020
 - 30 Mbps flächendeckend
 - 100 Mbps für 50% der Haushalte
- Stand Q3'2015 – Akamai Report

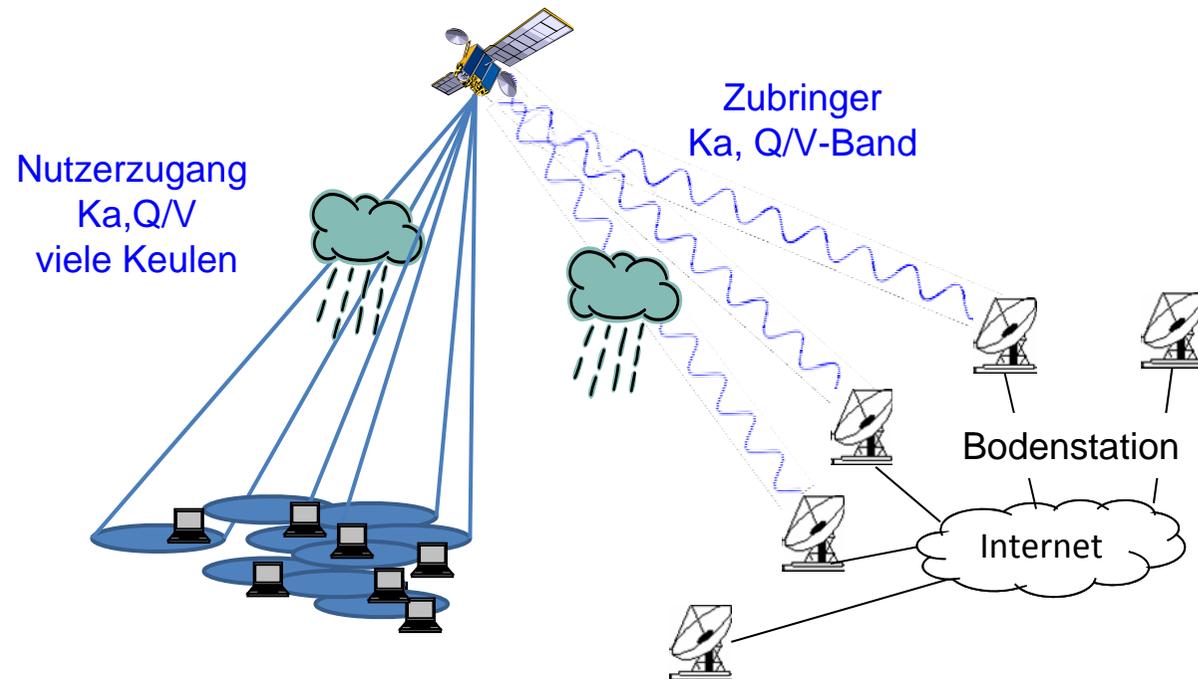
Global Rank	Land	Mittl. Rate Mbps
16	USA	12.6
2	Schweden	17.4
22	Deutschland	11.5
92	Südafrika	3.7

- Google, OneWeb, Amazone, Facebook



Ein Ansatz: Geostationäre Satelliten - Funktechnik

- Wenig Spektrum
- Vielen Keulen im Abdeckungsbereich
- Herausforderungen:
 - sehr viele Bodenstationen



Spektrum

- Funkwellen

Satellitenkommunikation – stationär

(DL + UL)

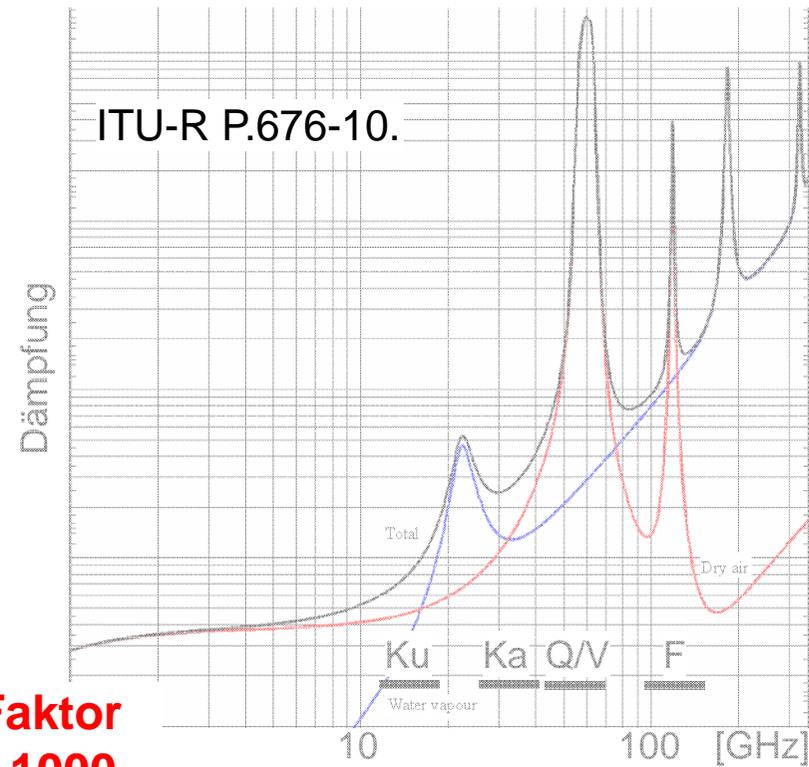
Ku: 1+0.5 GHz

Ka: 3+1 GHz

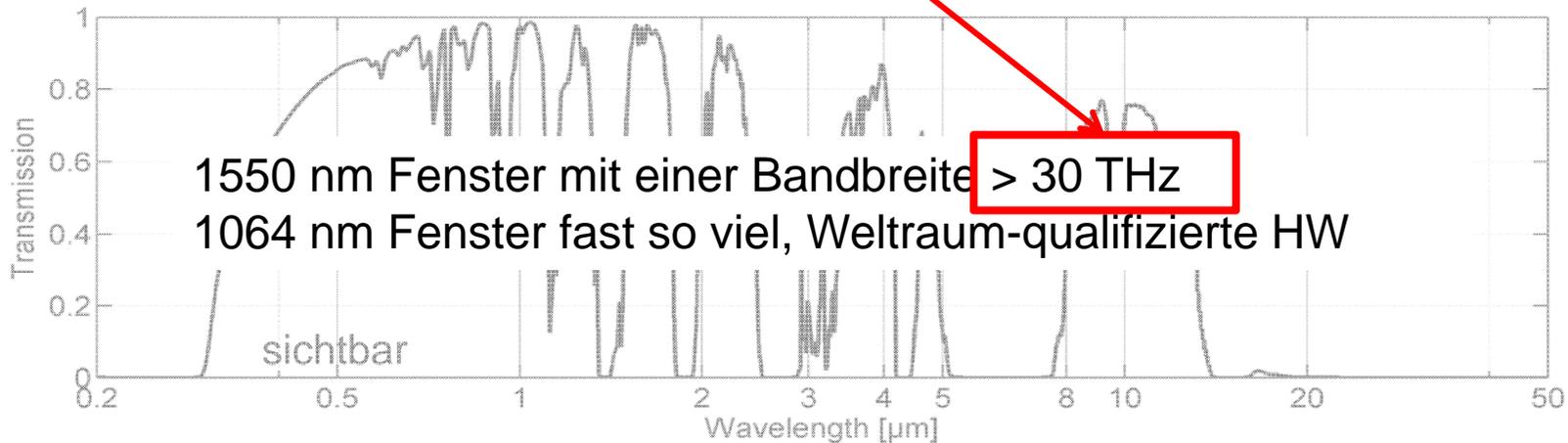
Q/V: 3+4 GHz

**zusammen
12.5 GHz**

- optische (infrarot Signale)

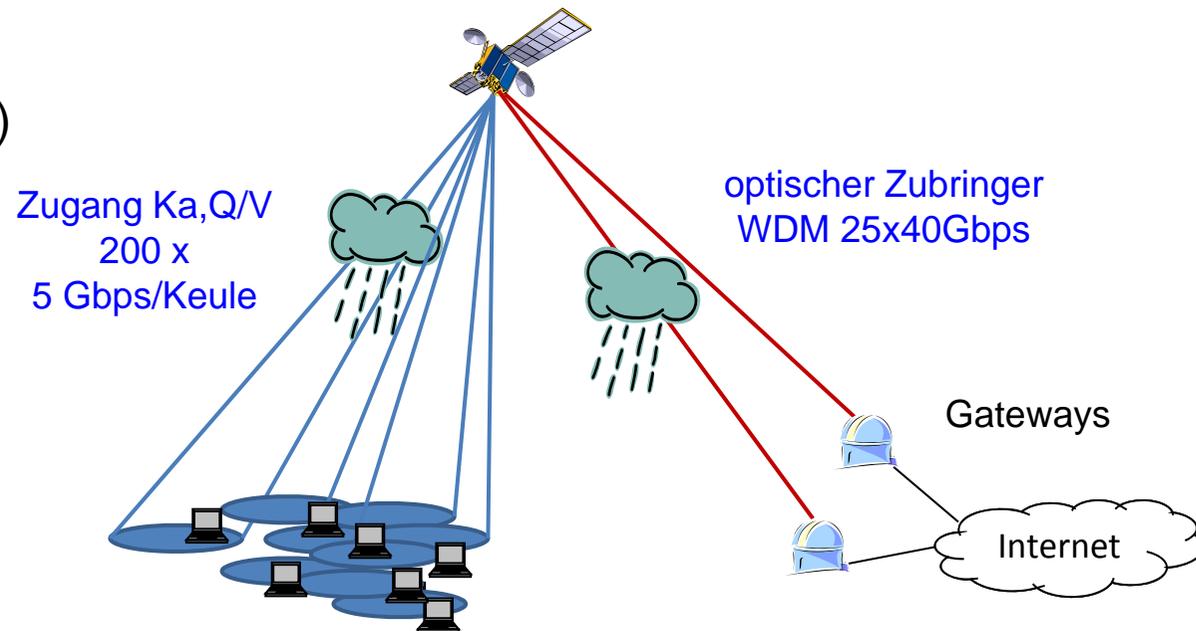


**Faktor
>1000**



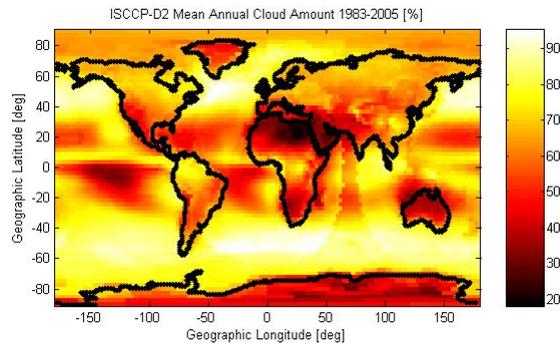
Zukunft: Geostationären Satelliten – Optische Kommunikation

- Nutzerseite
 - 200 Keulen
 - 5 Gbps/Keule
- Zubringer (Feeder link)
 - optisch 1 Tbps
- Herausforderungen:
 - Wolken
 - Verzerrungen
 - Transcodierung
 - Vernetzung am Boden



Stationsdiversität gegen Wolken

- Genügend viele Bodenstationen:
mindestens eine Station wolkenfrei



International Satellite Cloud
Climatology Project (ISCCP)
<http://isccp.giss.nasa.gov/>



99.97%



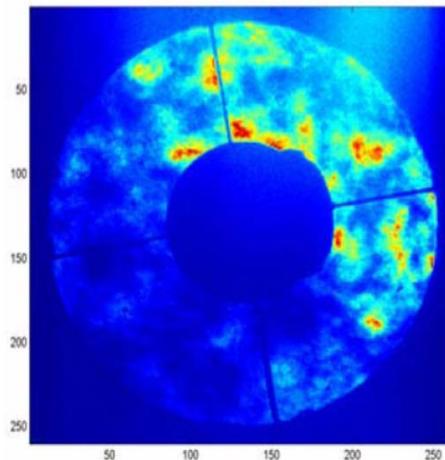
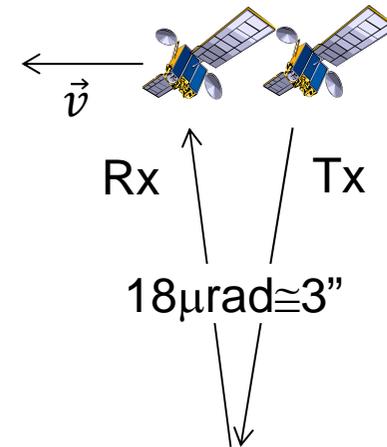
10 Europäische OGS im Mittelmeerraum: Verfügbarkeit= 99.89%

8 Interkontinentale Stationen: Verfügbarkeit bis zu 99.999%



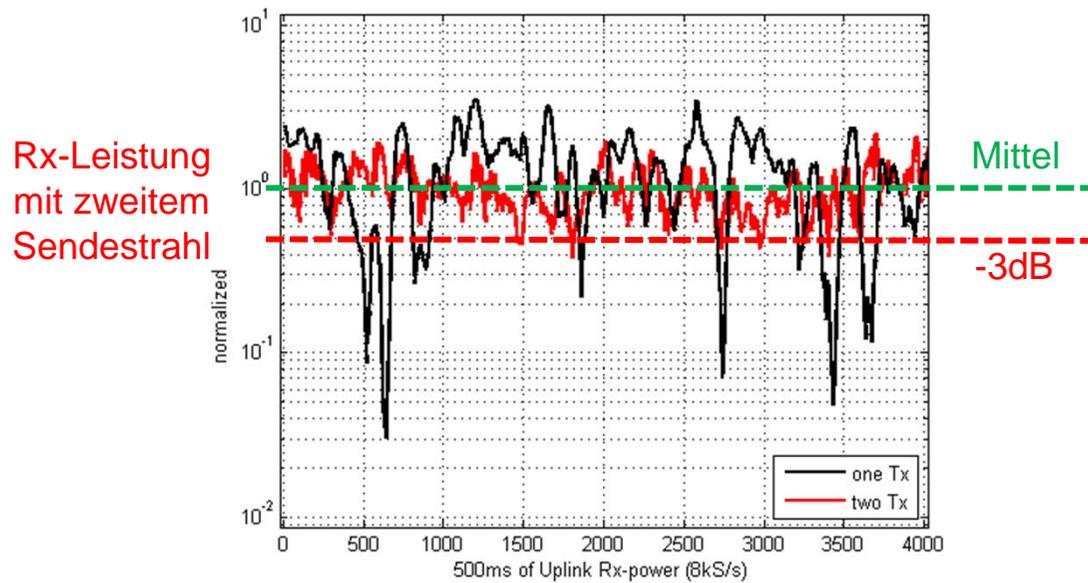
Licht aus Laser-Quellen und Ausbreitung

- Sehr kleiner Strahldurchmesser
 - ein Großteil der Strahlung trifft den Empfänger
=> geringe Sendeleistung
- Nachteile des kleinen Strahldurchmessers
 - sehr genaue Ausrichtung nötig
 - muss Bewegung des Satelliten berücksichtigen (Satellit ist nicht mehr dort wo er das Signal abgesandt hat wenn er das Rücksignal empfängt)
- Brechungsindexschwankungen (flimmernde Straße) verzerren das Signal und lenken es ab:
 - am Satelliten: Satellit wird nicht getroffen...
 - Am Boden: Auslöschungen, ineffiziente Einkopplung in die Faser



Sendediversität

Artemis, uplink: 820 nm, 50 Mbps



Artemis, Satellit

© ESA



Izana, Teneriffa



Tests Diversitätsverfahren Emulation der Verhältnisse am Boden

- Bodenstation DLR-Weilheim, Satelliten DWD-Hohenpeißenberg, 10 km

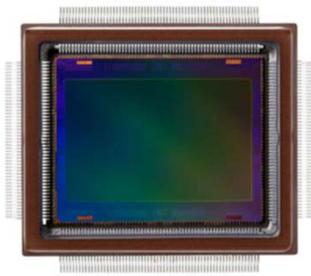
The composite image illustrates the experimental setup for testing diversity methods. It consists of three main parts:

- Top Left:** A photograph of the ground station antenna at DLR-Weilheim, showing a large parabolic dish pointing towards the sky. A yellow cable is connected to the antenna.
- Top Right:** A schematic diagram showing the line-of-sight between the ground station (labeled "Boden-") and the satellite (labeled "Satellit") at a distance of 10.5 km. A red shaded area below the line represents the ground surface.
- Bottom Left:** A schematic diagram of the optical path. It shows a signal from an RFE (Radio Frequency Element) through an SMF (Single Mode Fiber) to a lens, then through a beam splitter, a chopper, and another lens to a 4QD (Quadrant Detector) sensor. A "Beac" (beacon) is also shown.
- Bottom Right:** A photograph of the optical bench components. Labels include: Filter, Lens, Beam Splitter, 3 prism mirrors, Chopper, Quad A, Quad B, and Fiber Output. A TX-1 transmitter is connected via SMF to a 4QD sensor.



Zweites Anwendungsszenario: Erdbeobachtung aus dem Weltall

- Kameras mit zunehmender Anzahl Pixels
- Satelliten werden immer kleiner



Unterhaltungselektronik
250M Pixels
Canon

Erdbeobachtung Projekte:
50-100k Pixels pro Linie

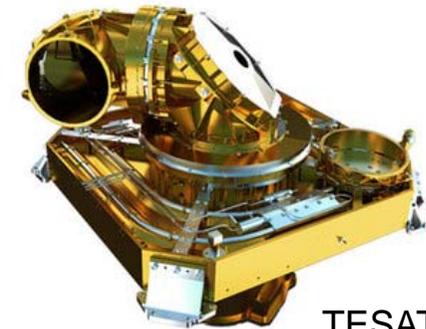


© EUSI, Inc. All Rights Reserved

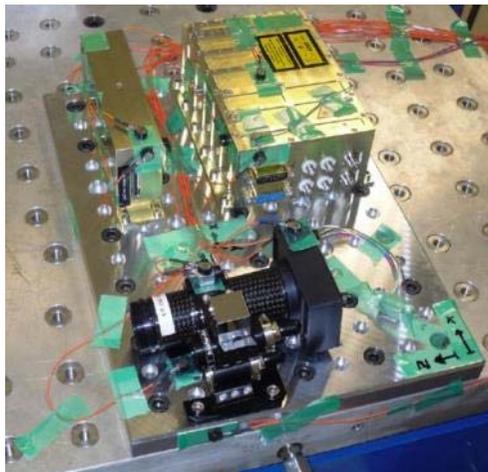


Optische Rückführung der Daten

- Lösung für größere Satelliten:
European Data Relay System (EDRS)
echtzeitfähig
- Kleine Satelliten: Direkte Verbindungen zum Boden
Sichtverbindung



TESAT
1.8 Gbps, 53 kg
ca. 45'000 km



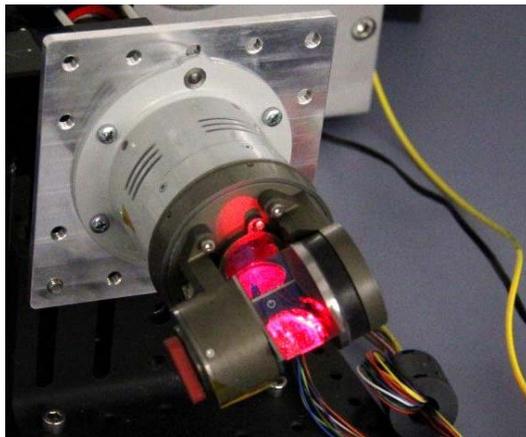
DLR OSIRIS V.2 Terminal

	Funk		Optisch	
Freq.Band	S-Band	X-Band	OSIRIS V2	OSIRIS V3
Downlink	2 Mbps	0.5 Gbps	1 Gbps	10 Gbps
Uplink	4 kbps	-	1 Mbps	1 Mbps
Tx-Leistung	5 W	12 W	1 W	1.3 W
Gewicht	4 kg	9 kg	1.65 kg	5 kg
Bodenstation	5 m	12 m	60 cm	60cm



Optische Rückführung der Daten

- Lösung für größere Satelliten:
European Data Relay System (EDRS)
echtzeitfähig
- Kleine Satelliten: Direkte Verbindungen zum Boden
Sichtverbindung



DLR OSIRIS V.3 Ausrichte-
Einheit

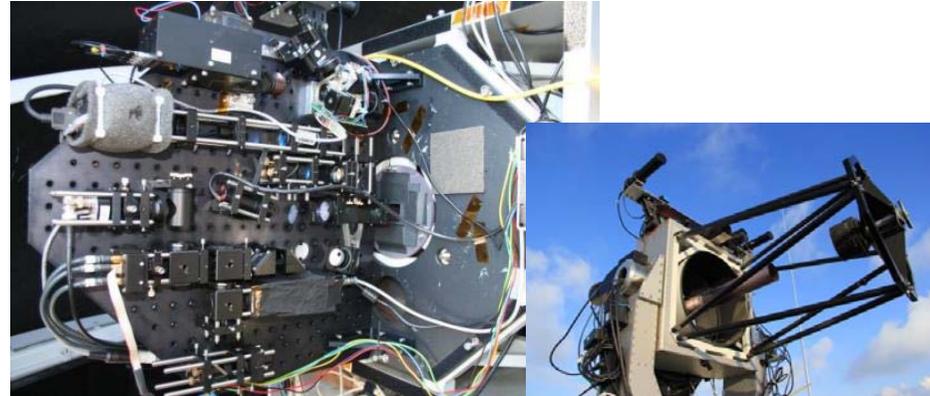
	Funk		Optisch	
Freq.Band	S-Band	X-Band	Factor	OSIRIS V3
Downlink	2 Mbps	0.5 Gbps	x 20	10 Gbps
Uplink	4 kbps	-	x 250	1 Mbps
Tx-Leistung	5 W	12 W	/ 10	1.3 W
Gewicht	4 kg	9 kg	/ 2	5 kg
Bodenstation	5 m	12 m	/ 20	60cm



Luftraum: Übertragungskanal verstehen – Verfahren testen



Erste Übertragung Boden zu Flugzeug



Erster Erfolg im Düsenflugzeug Mach 0.7 zusammen mit der Ausgründung Vialight



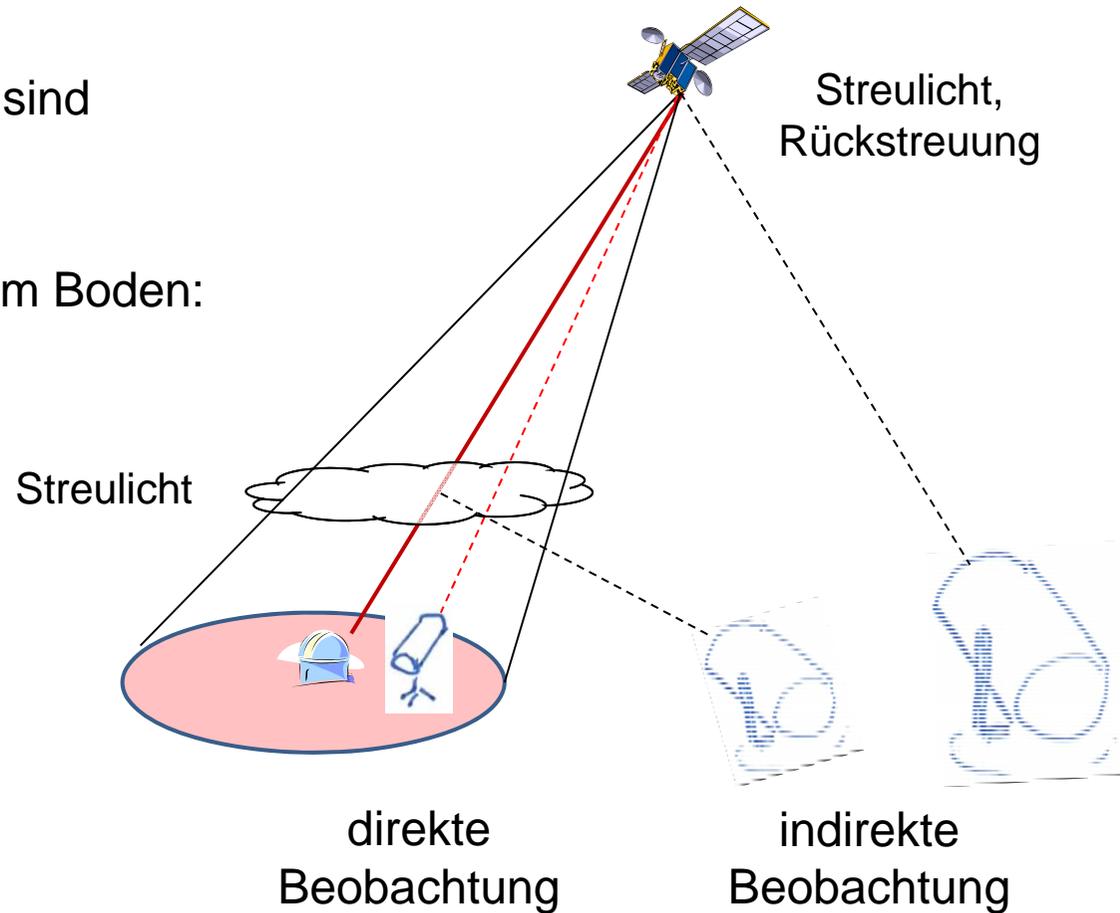
Optische Satellitenkommunikation - beschränkte Abhörbarkeit

Optische/IR Signale sind
eng kollimiert

direkte Mithörzone am Boden:

LEO: 10 m

GEO: 360 m



Sicherheit durch physikalische Prozesse

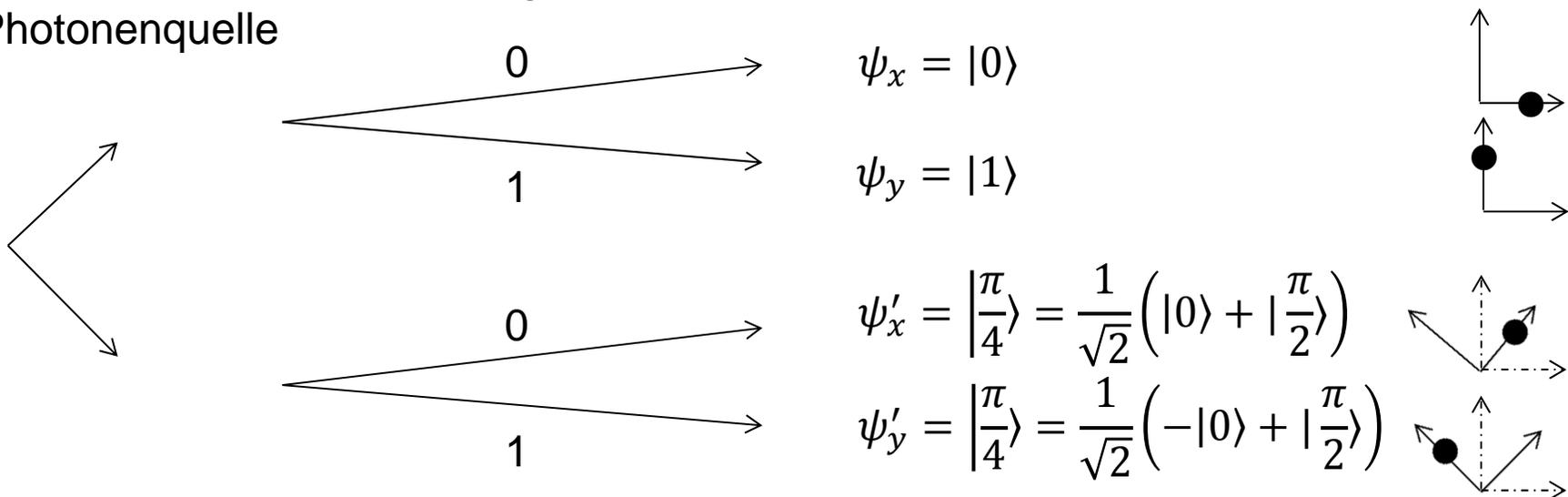
Einzelphotonen-Experimente

Ziel: gemeinsamer zufälliger Schlüssel den kein anderer kennt

Alice wählt zufällig die Polarisation der Photonenquelle

Alice wählt zufälliges Bit

kohärenter QM Zustand



Bob wählt zufällig die Polarisation des Detektor $\phi = \psi$ oder $\phi = \psi'$.

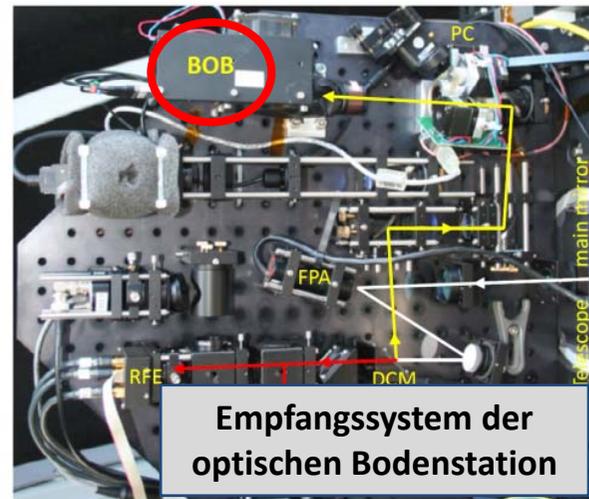
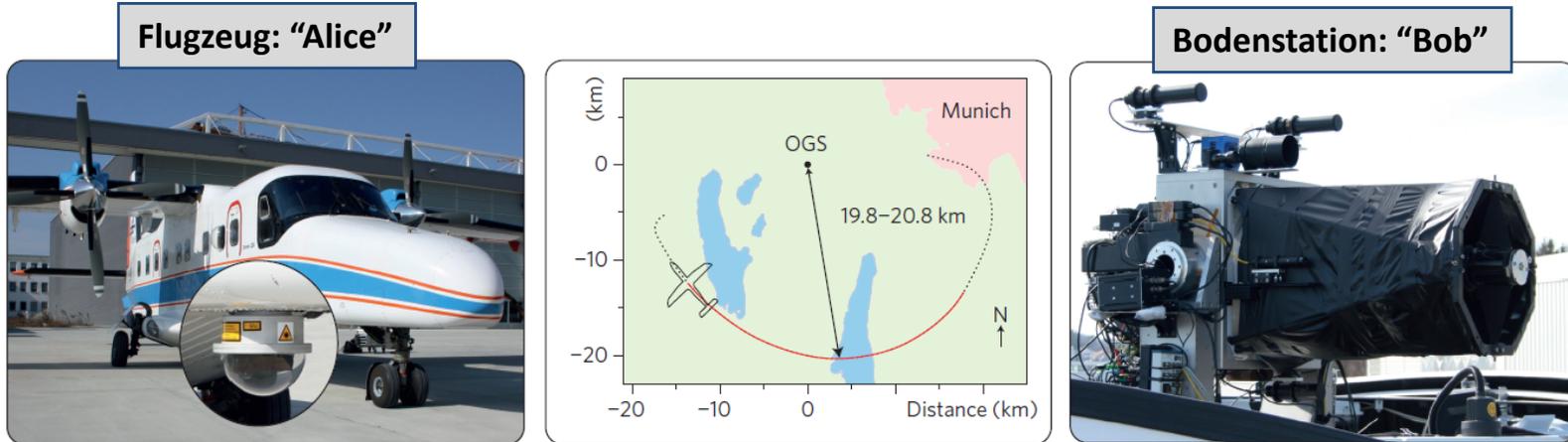
Wahrscheinlichkeit, dass x gesandt wurde: $|(\phi_x, \psi_{empfang})|^2 = 0, 1, \text{ oder } 1/2$.

Ditto für y . Anschließendender Auswahlprozess. [Bennett, Brassard 1984]



Erster Quantenschlüsselaufbau Flugzeug-Boden

Zusammenarbeit LMU-DLR, Prof. Weinfurter und sein Team, Moll und DLR-Team



Zusammenfassung

- Die optische Freiraumkommunikation ergänzt die Funkkommunikation
 - ähnliche Rolle wie die Glasfaser in Transportnetzen
 - Datenraten bis zu 100 Tbps denkbar für jeden Satelliten
 - Optische Systeme sind deutlich kompakter als Funkssysteme, und haben dabei einen bis zu 1000 mal größeren Durchsatz
 - Wolken und Nebel schränken die Nutzbarkeit der Technologie ein
 - die optische Freiraum-Übertragung ist inhärent sicher, zudem
 - ermöglicht sie die Konstruktion von Quantenschlüsseln mit beweisbarer Sicherheit
- Das DLR hat viele Entwicklungen in der Freiraumkommunikation zu Flugzeugen und Satelliten initiiert. Die Deutsche Industrie ist sehr gut positioniert TESAT (Backnang) und ViaLight (Oberpfaffenhofen).
- Mehrere Staaten setzen inzwischen allerdings große Programme auf.

