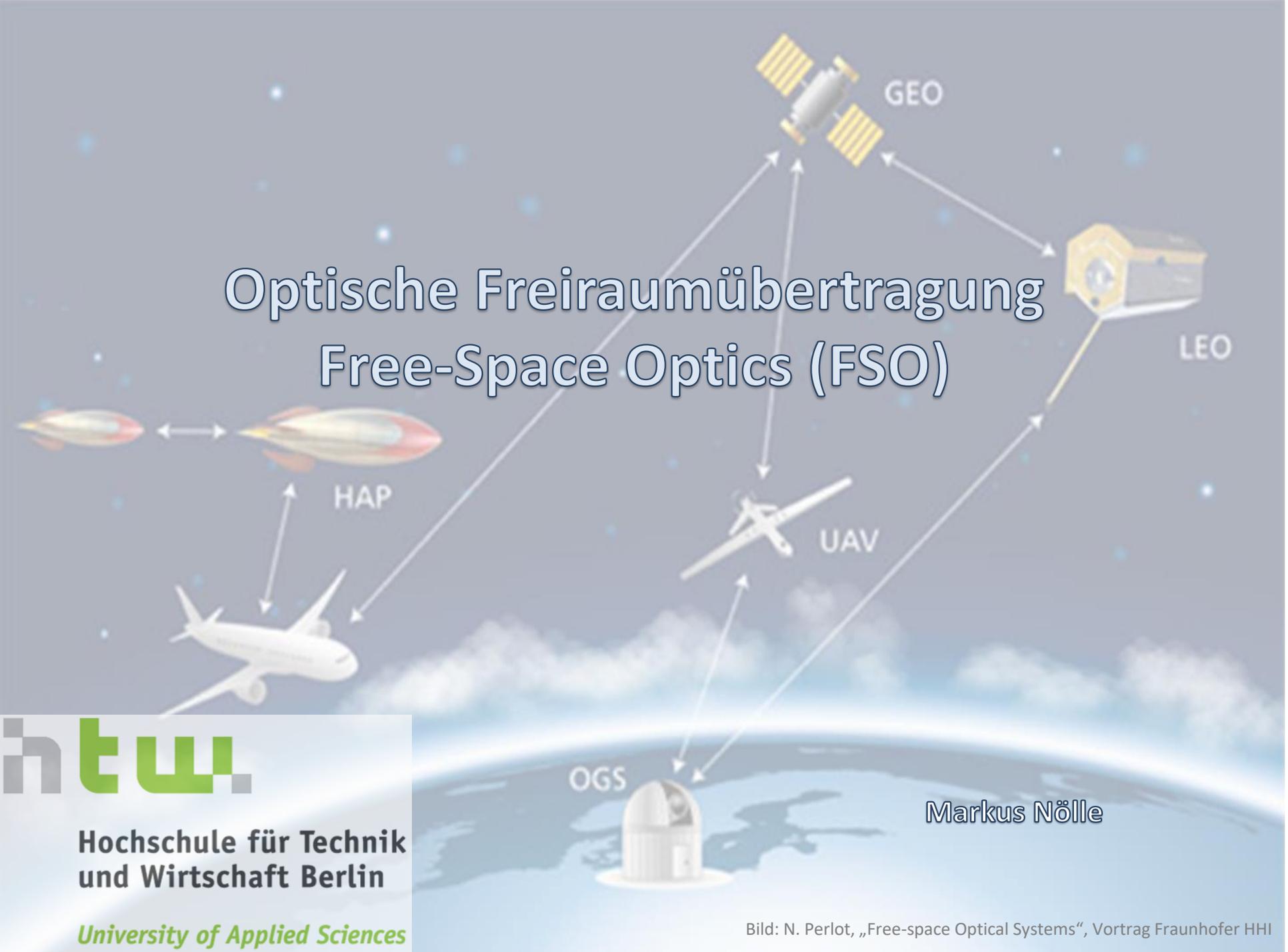


# Optische Freiraumübertragung Free-Space Optics (FSO)



Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

Markus Nölle

# Gliederung

---

- Involvierte Institutionen und Personen
- Warum optische Freiraumkommunikation?
  - Anwendungsgebiete
  - Probleme / aktuelle Fragestellungen in F&E
- Stand der Arbeiten
  - Digitale Signalverarbeitung / Numerische Analysen
  - Experimentelle Arbeiten

# Personen / Kooperationen

## HTW



- Abraham Johst
- Lutz Molle
- Markus Nölle
- Simon Schütze

## Berliner Hochschule für Technik (BHT)

- Benjamin Riebold
- Matthias Biletzke
- Michael Rohde
- Omid Mohebatzadeh
- Wolfram Runge



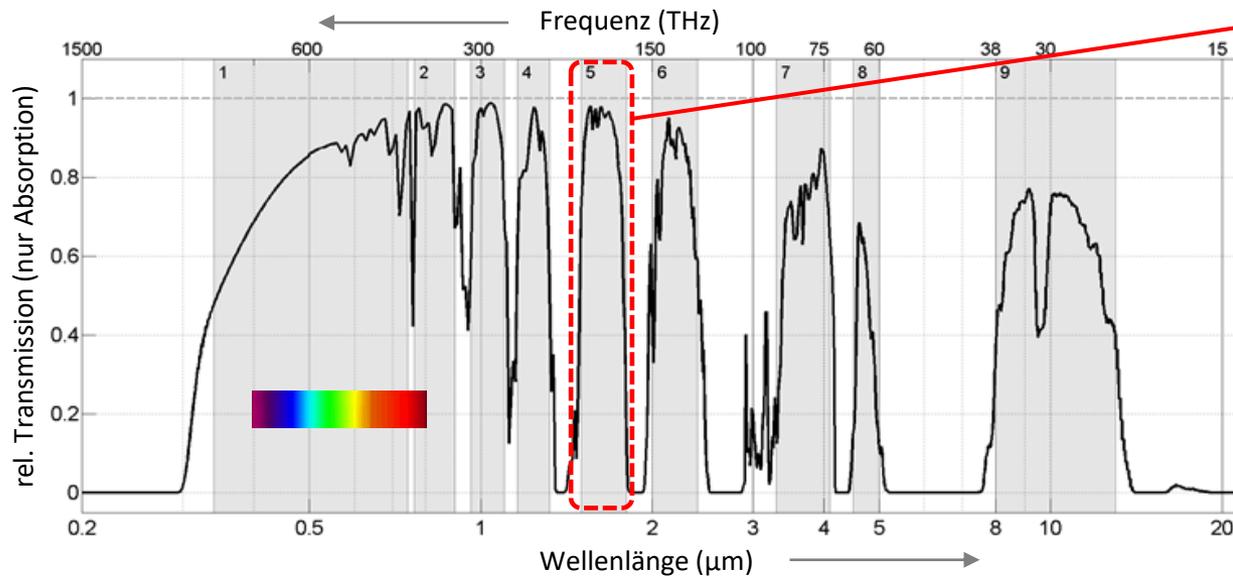
## FhI für Nachrichtentechnik (Heinrich-Hertz-Institut)

- Marcel Rothe
- Nicolas Perlot



# Warum optische Freiraumkommunikation?

- Vorteile von **Free-Space Optics (FSO)** im Vergleich zur Funkübertragung
  - **Optischer Frequenzbereich** im nahen Infrarot ist **lizenzfrei** nutzbar
  - sehr **hohe Bandbreiten verfügbar**, daher potentiell viel höhere Datenraten erzielbar
  - ...



Wellenlängen um 1550 nm:  
kostengünstige  
Komponenten kommerziell  
verfügbar

Bildquelle: N. Perlot, „Free-space Optical Systems“

# Anwendungsfelder der optische Freiraumkommunikation

- Hochbitratige Alternative (oder Ergänzung) von Richtfunkverbindungen
  - zwischen **Unternehmensstandorten**
  - zur flexiblen Anbindung von **Mobilfunkmasten** (Mobile Backhaul, 5G)
  - in **Entwicklungs- oder Schwellenländern**
  - **Satellitenkommunikation**

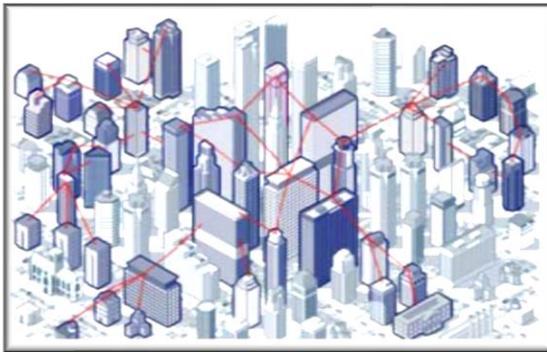


Bild: N. Perlot, „Free-space Optical Systems“

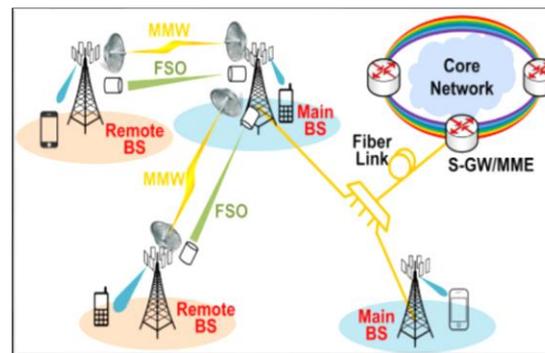


Bild: J. Zhang, Opt. Lett. 41, p. 1909 f. (2016)

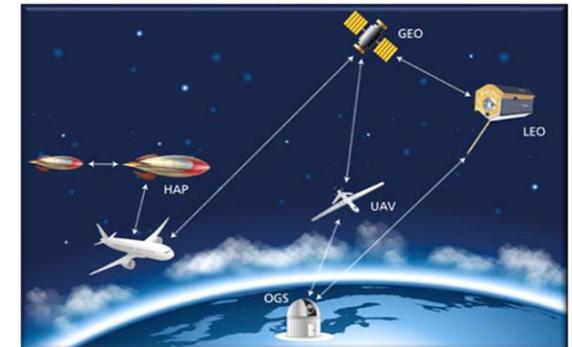
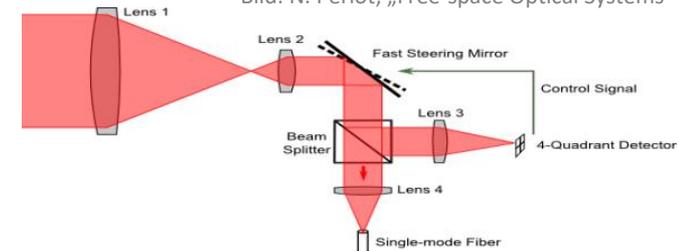


Bild: N. Perlot, „Free-space Optical Systems“

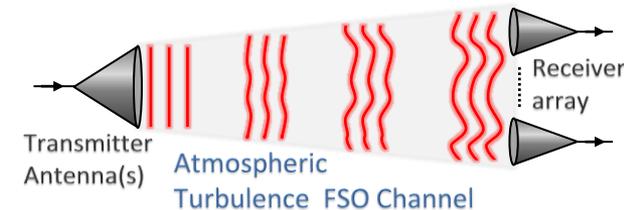
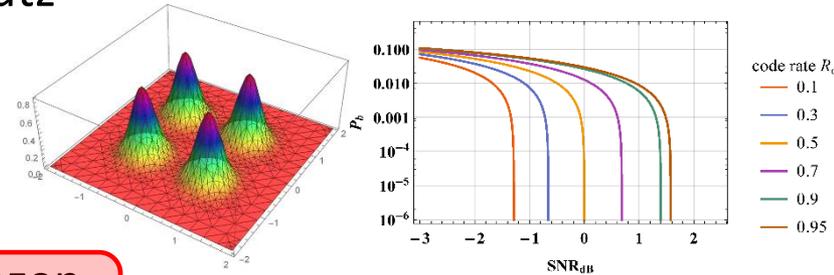
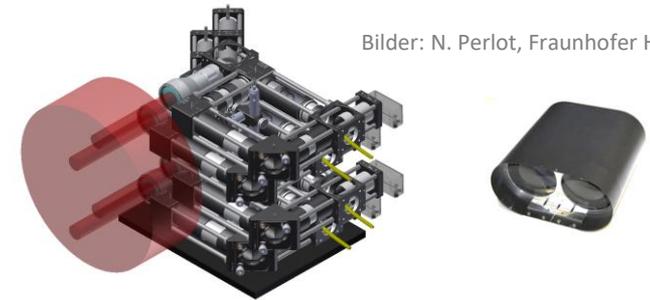
# Fragestellungen zu FSO in der F&E

- Stahlausrichtung und adaptive Nachführung
- Reduzierung der Terminalgröße und des Energieverbrauchs (vor allem für Satellitenanwendungen)
- Robuste Modulation & verbesserte Fehlerschutz-Codierverfahren
- Kompensation von atmosphärischen Turbulenzen (Fading)

Bild: N. Perlot, „Free-space Optical Systems“

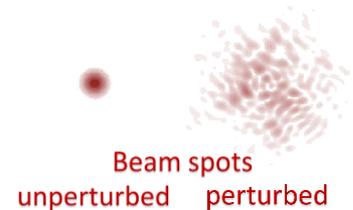
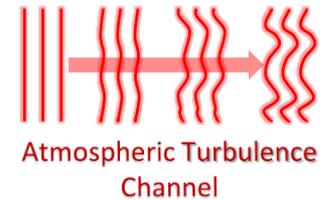


Bilder: N. Perlot, Fraunhofer HHI



# Atmosphärische Turbulenzen

- Was sind Atmosphärische Turbulenzen?
  - **Lokale Temperaturschwankungen** der Atmosphäre führen zu **Variationen des Brechungsindex** und damit zu **stochastischer Streuung** der Lichtwelle
  - Am Empfänger führt dies zu **zeitabhängigen und zufälligen Amplituden- und Phasenschwankungen** (sog. Fading)



- Möglichkeiten zur Kompensation (Auswahl)
  - **Kompensation durch adaptive Optiken** (deformierbare Spiegel)
  - **Einsatz mehrerer (kleiner) optischer Empfänger und Kombination** der einzelnen Empfangssignale mittels **digitaler Signalverarbeitung**

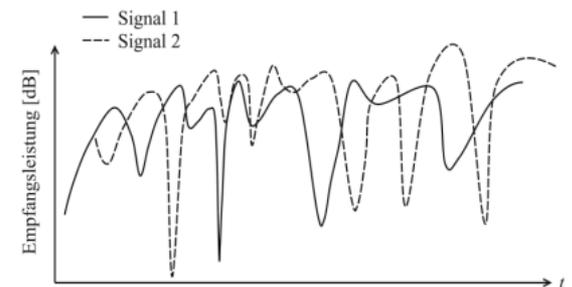
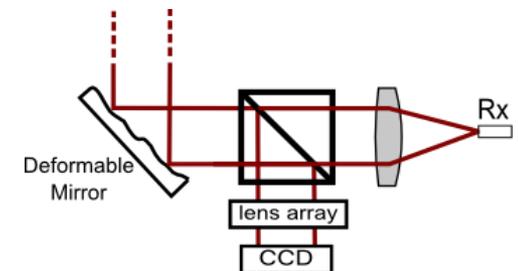
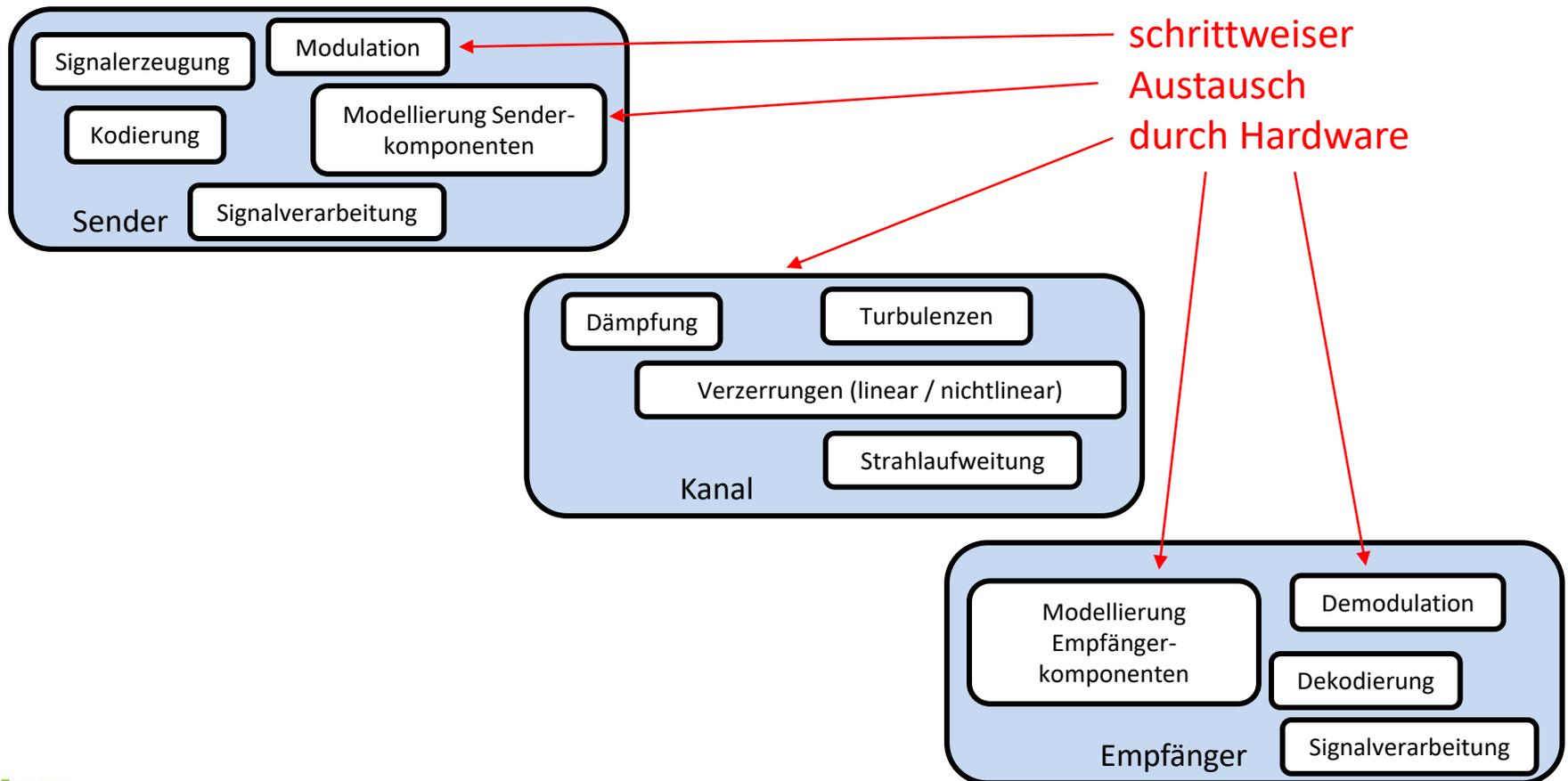


Bild: Geisler et al, „Multi-aperture digital coherent combining for free-space optical communication receivers“ Opt. Express, vol. 24, pp. 12661-12671, 2016

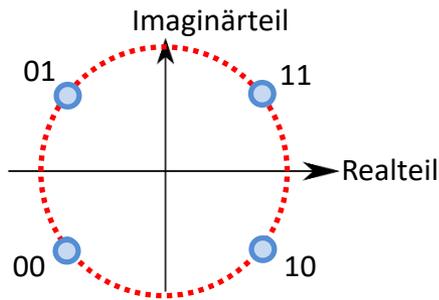
# Stand der Arbeiten I

- Entwicklung einer Simulationsumgebung für FSO-Übertragungssysteme inklusive digitaler Signalverarbeitungsalgorithmen
- <https://gitlab.rz.htw-berlin.de/noelle/comm>



# Stand der Arbeiten II

- Entwicklung von digitalen Signalverarbeitungsalgorithmen zur
  - Reduzierung von Verzerrungen und Störungen während der Übertragung



Kurzes interaktives Beispiel

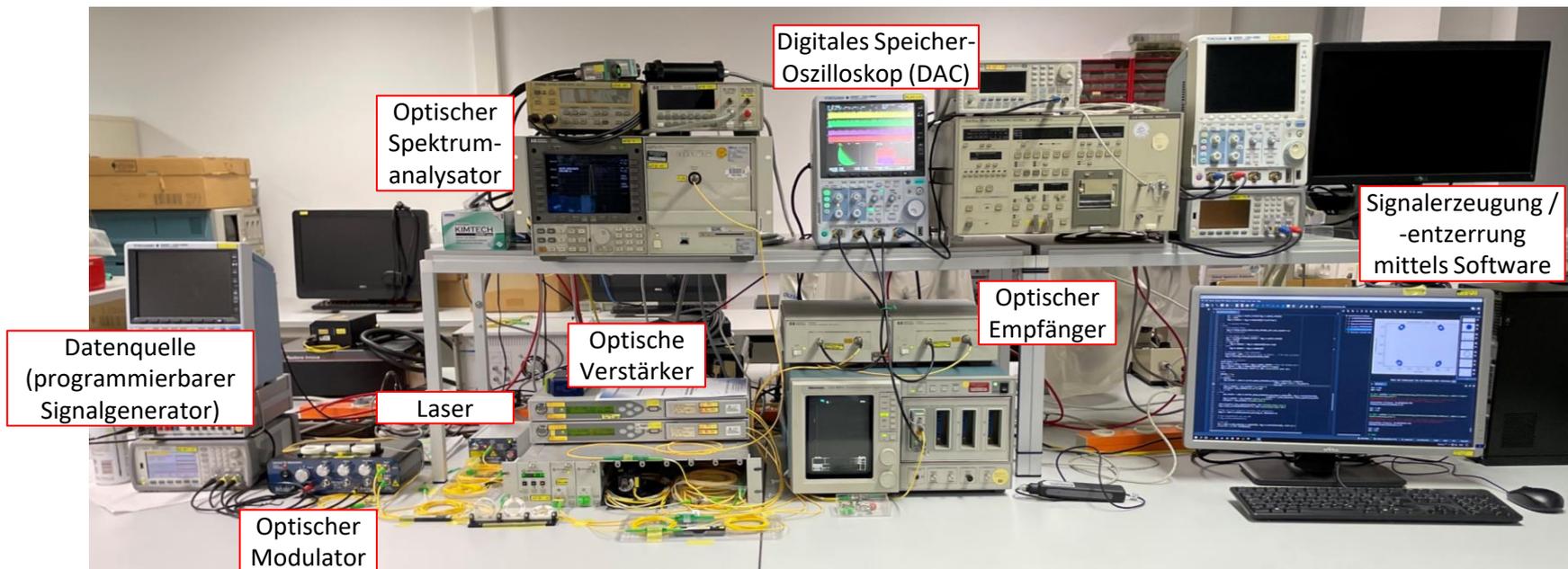
- Nächster Schritt: Kompensation atmosphärischer Störungen

Personen (am FB) mit Interesse an digitaler Signalverarbeitung sind herzlich eingeladen den Code zu benutzen (und sich ggfs. an der Weiterentwicklung zu beteiligen)!

# Stand der Arbeiten III

## An der HTW

- Beschaffungen zur flexiblen Erzeugung und der Digitalisierung von Signalen im GHz-Bereich abgeschlossen
- Mittels Simulationsumgebung erzeugte Signale können am Sender generiert und am Empfänger wieder digitalisiert werden



- Emulation von Kanalstörungen anstatt einer echten Freistrahlstrecke
- Verifikation von Algorithmen (Proof-of-concept Experimente)

# Stand der Arbeiten IV

## An der BHT

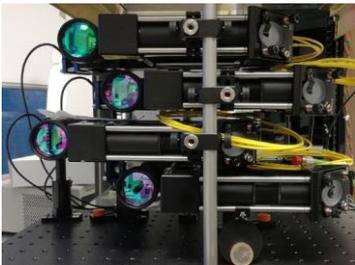
- Planung des Aufbaus eines Sender- / Empfängers für FSO und konventionelle 80 GHz Richtfunkstrecke zw. BHT und HHI

## Am FhI für Nachrichtentechnik (HHI)

- Laborequipment für höhere Datenraten
- Feldexperimente an realistischen Übertragungsstrecken



Aerial photo: Google, GeoBasis-DE/BKG, Landsat



Fraunhofer  
Heinrich Hertz Institute

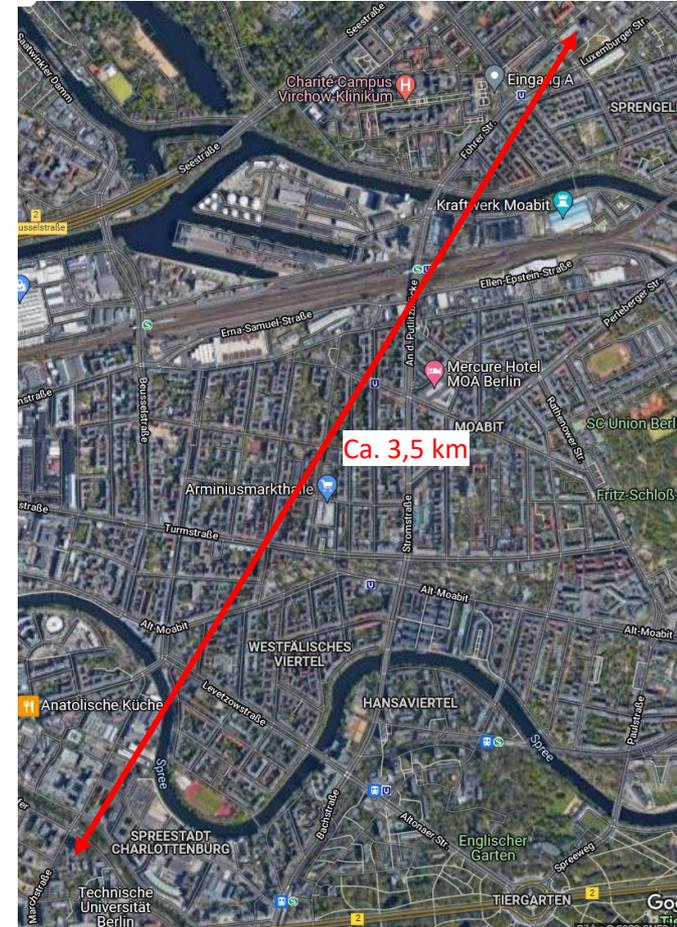


Bild: Google Maps

---

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit