ALFONS

Adaptives Licht-Fokussierungssystem zur Optimierten Nutzdaten-Übertragung in der Stadt

Programm / Ausschreibung	WRLT 24/26, WRLT 24/26, ASAP 2025	**Status**	laufend
Projektstart	01.12.2025	**Projektende**	30.11.2027
Zeitraum	2025 - 2027	**Projektlaufzeit**	24 Monate
Keywords	urbane Turbulenz; adaptive Optik; optische Freistrahlkommunikation; Simulationsumgebung; Quantenkommunikation		

Projektbeschreibung

Ausgangssituation, Problematik bzw. Motivation

Optische Freistrahlkommunikation – insbesondere für Anwendungen in der Quantenkommunikation (QKD) – ist ein zentraler Baustein zukünftiger sicherer Kommunikationsinfrastrukturen. In urbanen Gebieten wird die optische Übertragung jedoch durch bodennahe Turbulenzen stark beeinträchtigt. Diese städtischen Turbulenzphänomene sind durch Bebauung und Temperaturgradienten geprägt und unterscheiden sich signifikant von klassischen Höhenlagen oder ländlichen Bedingungen.
Adaptive Optiksysteme (AO), wie sie in der Astronomie eingesetzt werden, sind nicht direkt übertragbar: Sie sind technisch hochkomplex, sehr kostenintensiv, ausschließlich für den Einsatz unter Laborbedingungen konzipiert und bieten keine Polarisationstreue – ein wesentliches Kriterium für QKD-Anwendungen. Für reale, wirtschaftlich tragfähige Kommunikationsszenarien in Städten fehlen derzeit AO-Systeme, die robust, kostenoptimiert und funktional auf diese Umgebung zugeschnitten sind.

Ziele und Innovationsgehalt

Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer anwendungsorientierten, modularen Simulationsumgebung, welche urbane Turbulenzbedingungen, Wellenausbreitung und adaptive Optik systematisch kombiniert und realitätsnah abbildet. Auf dieser Basis werden kosteneffiziente AO-Lösungen für den urbanen Raum entworfen, mit einem klaren Fokus auf einfache, robuste Systeme, die auf die Anforderungen von Laser- und Quantenkommunikation – insbesondere hohe Turbulenz, Einkopplung in Singlemode-Fasern und Polarisationsstabilität – abgestimmt sind.
Im Gegensatz zu herkömmlichen, allgemein gehaltenen AO-Modellen verfolgen wir einen zielgerichteten und wirtschaftlichen Entwicklungsansatz: Die Simulationsumgebung ermöglicht es, verschiedene technische Lösungen digital zu analysieren, bevor kostenintensive Prototypen gebaut werden. Damit lassen sich Entwicklungszeiten und -kosten erheblich reduzieren, während gleichzeitig eine hohe technische Passgenauigkeit erreicht wird.

Angestrebte Ergebnisse bzw. Erkenntnisse

Im Rahmen des Projekts wird ein urbaner Freistrahl-Testlink aufgebaut, um unter realen städtischen Bedingungen atmosphärische Messdaten zu erheben. Diese Daten dienen als Grundlage zur Validierung der entwickelten Simulationsumgebung. Damit ist sichergestellt, dass die Simulationen nicht nur technisch korrekt, sondern auch physikalisch aussagekräftig sind.
Als Endergebnis entsteht ein vollständig validiertes, simulationsgestütztes Entwicklungswerkzeug, mit dem sich adaptive Optiksysteme für den urbanen Einsatz systematisch planen und optimieren lassen. Darüber hinaus wird auf Basis der Simulationen ein konkretes AO-System konzipiert und virtuell getestet – inklusive Regelkreisen, optischem Design und Einkopplungseigenschaften.
Das Projekt schafft somit die Grundlage für die wirtschaftlich tragfähige Nutzung adaptiver Optik in urbaner Freistrahlkommunikation und liefert einen entscheidenden Beitrag zur Integration von QKD in reale Infrastrukturen.

Abstract

Initial Situation, Problem Statement and Motivation

Free-space optical communication – particularly for applications in quantum communication (QKD) – is a key component of future secure communication infrastructures. In urban areas, however, optical transmission is heavily affected by near-ground atmospheric turbulence. These urban turbulence phenomena are shaped by building structures and temperature gradients, and differ significantly from those found in elevated or rural environments.
Adaptive optics (AO) systems, as used in astronomy, are not directly applicable: they are technically complex, highly cost-intensive, designed exclusively for laboratory environments, and lack polarization fidelity – a critical requirement for QKD applications. Currently, there are no AO systems available that are robust, cost-efficient, and functionally adapted to real-world urban communication scenarios

Objectives and Degree of Innovation

The aim of the project is to develop an application-oriented, modular simulation environment that systematically combines urban turbulence conditions, wave propagation, and adaptive optics in a realistic model. Based on this, cost-efficient AO solutions tailored to urban environments will be designed, with a clear focus on simple, robust systems optimized for the specific demands of laser and quantum communication – particularly high turbulence, coupling into single-mode fibers, and polarization stability.
In contrast to conventional, broadly generalized AO models, we pursue a targeted and economically viable development strategy: the simulation environment allows for the digital evaluation of different technical approaches prior to the construction of costly prototypes. This significantly reduces both development time and cost, while enabling high technical specificity.

Expected Results and Outcomes

As part of the project, an urban free-space test link will be set up to collect atmospheric measurement data under real city conditions. These data will serve as the basis for validating the developed simulation environment. This ensures that the

simulations are not only technically correct but also physically meaningful.
The final outcome will be a fully validated, simulation-based development tool that enables the systematic design and optimization of adaptive optics systems for urban use. In addition, a specific AO system will be designed and virtually tested using the simulation environment – including control loops, optical design, and coupling performance.
The project thus lays the foundation for the economically viable use of adaptive optics in urban free-space communication and makes a decisive contribution to the integration of QKD into real-world infrastructures.

Projektpartner

- Quantum Technology Laboratories GmbH