



Laserstrahlpropagation durch die turbulente Atmosphäre

Laser beam propagation through turbulent atmosphere

Untersuchungen zur Laserstrahlpropagation bei unterschiedlichen Wetterbedingungen.

Laser propagation measurement at different weather conditions.



Messstrecke für die Szintillationsmessung zur Bestimmung der optischen Turbulenz der Atmosphäre.

Scintillation measurement for the determination of the optical turbulence in the atmosphere.



Die Fernwirkung von Laserstrahlung findet derzeit ihren Einsatz in einer wachsenden Zahl unterschiedlicher Disziplinen. Zu den Anwendungsfeldern zählen:

- FSO-Laserkommunikation,
- Laserferndetektion, speziell die Stand-off Detektion,
- Pointing und Tracking, u.a. Satellitenverfolgung,
- Aktives Imaging,
- Laserwirkung auf unterschiedliche Materialien und Strukturen.

Für jede dieser Aufgabenstellungen wird die Laserstrahlung durch die freie Atmosphäre geführt. Neben den Lasereigenschaften bestimmen daher auch die Wechselwirkungen zwischen Laserstrahlung und Atmosphäre das Ergebnis der jeweiligen Anwendung.

Die Signalgüte in großer Entfernung zur Strahlquelle hängt seitens des Lasers von der Wellenlänge, der Strahlqualität und der Strahlstärke ab. Von Seiten der Atmosphäre führen Absorption und Streuung zur Abschwächung der Laserleistung, während Fluktuationen des atmosphärischen Brechungsindex zu Schwankungen der Strahlstärke und zur Phasenfrontdeformation führen. Diese Vorgänge reduzieren die Strahlungsintensität am Ziel, mindern die Positioniergenauigkeit und beeinträchtigen die Qualität der Informationsübertragung.

Zur Beurteilung der einzelnen Prozesse und zur Auslegung und Charakterisierung aktiver optischer Systeme werden die atmosphärischen Eigenschaften aufgezeichnet und ihr Verhalten auf der Laser-Freistrahlestrecke im Jahresverlauf erforscht. Für eine genaue Beschreibung der Interaktion zwischen Atmosphäre und Laserstrahlung erfolgen die mikrometeorologischen Messungen zeitgleich und ortsnahe zur Wirk laserstrahlung.

Presently, the long-range free-atmosphere laser deployment becomes increasingly important in a wide field of civilian and defense disciplines, as there are

- *FSO laser communication,*
- *Laser detection and ranging, especially stand-off detection,*
- *Laser pointing and tracking, e.g. space situation awareness,*
- *Active imaging,*
- *Laser effect on different materials and structures.*

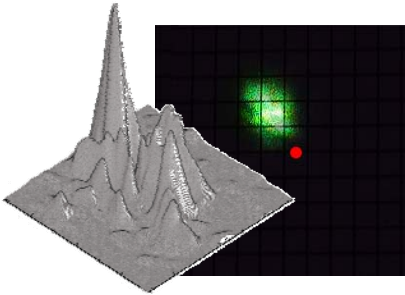
As a common factor of all these tasks the laser radiation is propagated through the atmosphere. Consequently, the success of the particular application not only depends on the laser characteristics but also on the interference between the laser beam and the actual atmospheric conditions.

The quality of the laser signal far off the laser source depends on the laser wavelength, the beam quality, and the intensity. Atmospheric absorption and scattering attenuate the laser radiance while changes in the atmospheric index of refraction lead to fluctuations of the transmitted radiance and to deformations of the phase front. These processes reduce the radiation intensity at the receiver, diminish the exactness of pointing and affect the quality of the transmitted information signal.

A data base of atmospheric properties recorded and evaluated on the laser test range during the course of the year allows for the assessment of the different propagation effects and for the design and characterization of active optical systems. Micrometeorological measurements were performed simultaneously and nearby to the laser propagation for a detailed description of the interference between atmosphere and laser radiation.

Prognostizierter und gemessener Einfluss der atmosphärischen Turbulenz auf die Positioniergenauigkeit.

Predicted and measured influence of atmospheric turbulence on the pointing error.



Die eingesetzten Simulationsmodelle beschreiben das Turbulenzverhalten der Atmosphäre auf Basis der Turbulenz-Phasenschirm-Methode und nutzen FFT-Methoden für die Berechnung. Numerische Methoden und experimentelle Untersuchungen ergänzen sich in der Beschreibung und Erklärung der Propagationseigenschaften. Darüber hinaus ermöglicht die Simulation die Skalierung experimentell abgesicherter Ergebnisse für Aufgabenstellungen längerer Reichweite und/oder extremer Umgebungsbedingungen.

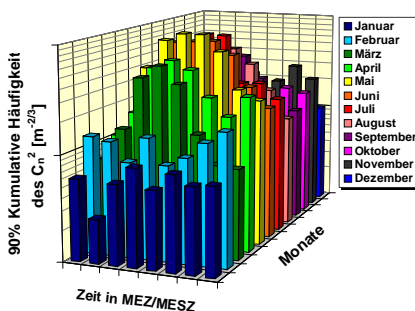
Die Experimente zur Laserstrahlpropagation werden an Lasern mit Wellenlängen im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereich durchgeführt. Dabei kommen Laserleistungen von wenigen Milliwatt bis hin zur 10 kW-Klasse bei unterschiedlichen Strahlqualitäten zum Einsatz.

The applied simulation models describe the turbulence behavior based on the turbulence-phase-screen-method. FFT-methods are used for solving the relations. Numerical methods and experimental investigations are used complementary in the description and evaluation of the propagation characteristics of the laser beam. The simulation allows for the scaling of experimentally verified results towards concerning tasks at more far off range and for the comprehension of effects due to extreme environmental conditions.

The propagation experiments are performed with laser sources emitting light in the ultraviolet, visible and infrared region. Laser powers involved range from values of several milliwatts up to the 10 kW-class at different beam qualities.

Tageszeitabhängiger 90%-Wert der kumulativen Häufigkeit der optischen Turbulenz im Jahresgang 2009.

90%-value of cumulative frequency of optical turbulence corresponding to the time of day in the course of 2009.



Die Abschwächung der Laserstrahlung durch Hydrometeore (flüssige und feste Kondensationsprodukte von Wasser in der Atmosphäre und am Erdboden) und Aerosole (Gemisch aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen und Gasen in der Atmosphäre) ist wellenlängen- und intensitätsabhängig. Entsprechend der Dispersion wirkt sich die optische Turbulenz ebenfalls wellenlängenabhängig auf die Strahleigenschaften aus. Die bodennahen Werte für den Refraktionsstrukturparameter reichen von $C_n^2 \approx 10^{-16} \text{ m}^{-2/3}$ bis $C_n^2 \approx 10^{-11} \text{ m}^{-2/3}$. Diese Variationsbreite kann oftmals sogar innerhalb eines Tagesganges durchlaufen werden.

Die Propagationsuntersuchungen liefern Kennzahlen für die Systemauslegung und Systembeurteilung und bilden die Basis für die Konzeption und Charakterisierung von anwendungsbezogenen Systemlösungen.

The attenuation of the laser radiation due to hydrometeors (liquid and solid water condensates in the atmosphere and on the ground) and aerosols (mixture of liquid or solid suspended particles and gas in the atmosphere) correlates with the laser wavelength and the beam intensity. The effect of the optical turbulence on the laser beam properties also depends on the laser wavelength according to the dispersion. Ground level optical turbulence shows values of the refractive index structure parameter between $C_n^2 \approx 10^{-16} \text{ m}^{-2/3}$ and $C_n^2 \approx 10^{-11} \text{ m}^{-2/3}$. Such wide variation range can repeatedly be passed by the optical turbulence during the course of just one day.

Investigations of atmospheric laser beam propagation yield characteristic numbers for system design and assessment and form the base for the conception and characterization of application-oriented solutions.



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Technische Physik

Pfaffenwaldring 38-40

70569 Stuttgart

Telefon: +49 (0)711 6862-773

Telefax: +49 (0)711 6862-788

www.DLR.de/tp