

Charakterisierung von Homogenisierkomponenten für die satellitengestützte Messung von Treibhausgasen

Simon Amann*, Tobias Haist*, Bernd Sierk**

*Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

**ESA-ESTEC, Noordwijk, Niederlande

mailto:amann@ito.uni-stuttgart.de

In diesem Beitrag wird eine Messkampagne zur Charakterisierung verschiedener faserbasierter Homogenisierer vorgestellt. Diese sind für den Einsatz in einem satellitenbasierten Push-broom Spektrometer konzipiert. Es wird auf die Ziele, Anforderungen, Durchführung sowie Ergebnisse der Messungen eingegangen.

1 Einleitung

Im Rahmen des Copernicus Programms der Europäischen Union wird ein Satellit zur räumlichen Messung anthropogener Treibhausgase entwickelt. Hierfür wird ein Push-broom Spektrometer verwendet, welches die an der Erdoberfläche reflektierte Sonnenstrahlung räumlich und spektral misst. Der Anteil der Treibhausgase in der Atmosphäre, wie zum Beispiel Kohlenstoffdioxid und Methan, kann anhand markanter Absorptionslinien im gemessenen Spektrum bestimmt werden. Eine Ungenauigkeit aktueller Systeme entsteht bei einer inhomogenen Beleuchtung des Spektrometer-Eingangsspalts. Diese tritt bei einer inhomogen reflektierenden betrachteten Szene auf, wie sie zum Beispiel beim Überflug einer Küstenregion vorkommt. Eine Möglichkeit diese Ungenauigkeit zu verringern ist die Verwendung von Homogenisierern im Eingangsspalt des Spektrometers. Die hier vorgestellte Messkampagne zeigt die Schritte sowie Ergebnisse zur Charakterisierung der Homogenisierer. Der wesentliche Bestandteil besteht dabei darin, die Nahfeld-Homogenität am Faseraustritt bei verschiedenen Eingangsszenen zu untersuchen.

2 Ziel und Anforderungen

Die untersuchten Homogenisierer bestehen aus mehreren Faserkernen, welche entlang des Eingangsspalts angeordnet werden. Hierdurch bleibt die räumliche Information quer zur Flugrichtung erhalten. Die Homogenisierung entsteht durch Mehrfachreflexionen des Lichts in jeder einzelnen Faser. Untersucht werden Arrays mit einer Kerngröße von $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ und $300\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ und einer Länge von 2 cm und 4 cm. Eine Mikroskopaufnahme mehrerer solcher rechteckigen Fasern ist in Abb. 1 gezeigt.

Die Untersuchungen sollen die im späteren Einsatz vorherrschenden Bedingungen möglichst genau nachbilden. Da es sich um einen Spektrometer Aufbau handelt, ist die Homogenisierung einzelner Wellenlängen von Interesse (zeitlich kohärent).

Aus diesem Grund werden für die Untersuchungen Laser mit einer Wellenlänge von 770 nm (NIR) und 1620 nm (SWIR) verwendet. Die Anforderung an räumliche Inkohärenz entsteht durch die verwendete Geometrie von Beleuchtung (Sonne) und Detektor (Teleskop). Diese wird bei den Messungen durch Verwendung eines rotierenden Diffusors und Mittelung mehrerer Kamerabilder umgesetzt.

Der Faseraustritt wird bei verschiedenen Beleuchtungen (Abb. 2) des Fasereingangs betrachtet. Die verwendeten Eingangsszenen bilden die im Einsatz vorkommenden Bedingungen nach. Szene 1 dient als Referenz, Szene 2 entspricht dem Signal beim Überflug eines Bereichs mit sprunghafter Änderung der Reflexion innerhalb der Integrationszeit, Szene 3 dem Flug entlang einer Kante mit sprunghafter Änderung der Reflexion und Szene 4 einer Mischung aus Szene 2 und Szene 3.

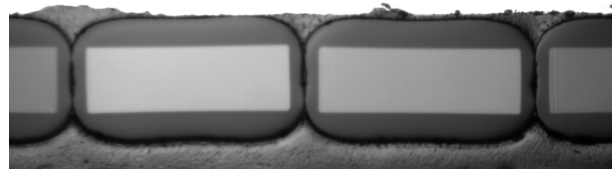


Abb. 1 Mikroskopaufnahme eines Homogenisierers mit rechteckigen Faserkernen. Die Fasern sind in einer Linie senkrecht zur Flugrichtung beziehungsweise entlang des Spalts ausgerichtet.

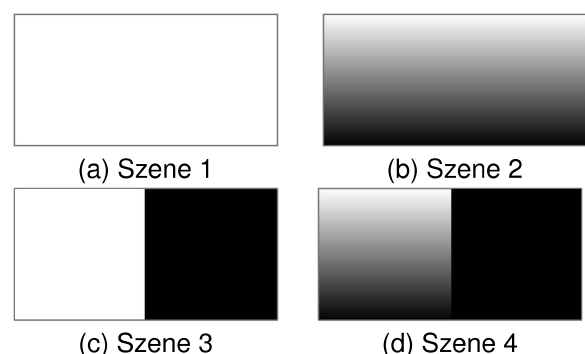


Abb. 2 Untersuchte Beleuchtungsszenen.

3 Versuchsaufbau

Der Aufbau zur Bestimmung der Homogenisierungsqualität besteht aus drei Teilen: Beleuchtung der Maskenebene, Abbildung der Maskenebene auf den Fasereingang und mikroskopische Betrachtung des Faserausgangs. Für die Beleuchtung wird das Laserlicht auf eine Kombination aus einem statischen sowie einem rotierenden Diffusor gerichtet. Eine homogene Lichtverteilung in der Maskenebene wird durch einen 2f Aufbau erreicht. In dieser wird eine durch Fotolithografie hergestellte Maske (Chrom auf Glas) platziert. Die verschiedenen Szenen sind durch ein binäres Muster mit einer Auflösung kleinerer als des Abbildungssystems realisiert. Die Maske wird im nächsten Schritt verkleinert auf einen einzelnen Fasereingang der Arrays abgebildet. Der Faserausgang wird mit Hilfe eines Mikroskop Aufbaus auf den Hauptbildsensor abgebildet. Durch Strahlteiler und weitere Bildsensoren im Aufbau wird die Justierung realisiert.

Bei der Messung mit 1620 nm sind Interferenzen im Bild des Nahfelds sichtbar, welche aufgrund von Mehrfachreflexionen im Detektorglas des Hauptbildsensors entstehen. Es wurde eine Methode entwickelt, um diese zu minimieren: Der Detektor (ohne Linse) wird auf einem vertikal verstellbaren Positioniertisch montiert. Da sich die Interferenzstreifen mit der Detektorposition ändern, können diese eliminiert werden indem Bilder an verschiedenen Höhen mit einem Unterschied des mehrfachen der Pixelgröße aufgenommen werden. Durch digitale Rückverschiebung und Mittelung der resultierenden Bilder werden die Interferenzen im Bild eliminiert. Diese Methode hat den weiteren Vorteil, dass der Faserausgang jeweils mit verschiedenen Pixeln aufgenommen wird wodurch ebenfalls das Rauschen der Infrarotkamera minimiert wird.

4 Ergebnisse

Die Messungen zeigen, dass generell durch die Verwendung der Homogenisierer eine deutliche Verbesserung der Homogenität erreicht wird. Teilweise sind Interferenzeffekte sowie Gradienten sichtbar. Diese werden mit steigender Faserlänge geringer. Bei der SWIR Wellenlänge wird wie zu erwarten eine schlechtere Homogenität erreicht. In Abb. 3 werden zwei Beispielbilder, aufgenommen mit unterschiedlicher Wellenlänge und Eingangsszene, gezeigt.

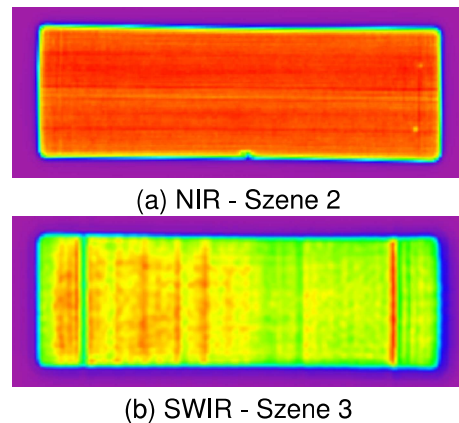


Abb. 3 Nahfeld Lichtverteilung (Falschfarben) am Faserausgang für verschiedene Beleuchtungsszenen und Wellenlängen.

In weiteren Untersuchungen werden mit zusätzlichen einzelnen Fasern die Depolarisationseigenschaften untersucht. Hier zeigt sich, dass eine signifikante Depolarisation erst ab einer Faserlänge von 1 m bis 10 m erreicht wird.

Des Weiteren wird betrachtet, wie sich das Winkelspektrum aufgrund der Homogenisierer ändert. Hierfür wird der Laserstrahl mit verschiedenen numerischen Eingangsaperturen auf den Fasereingang fokussiert. Der Bildsensor wird am Faserausgang ohne Linse positioniert wodurch die numerische Ausgangsapertur bestimmt werden kann. Es zeigt sich, dass vor allem bei der SWIR Wellenlänge eine Aufweitung des Strahlbündels durch die Homogenisierer stattfindet.

Abschließend lässt sich sagen, dass faserbasierte Homogenisierer gut für den Einsatz in einem satellitenbasierten Push-broom Spektrometer geeignet sind. Beim Design muss hierbei auf die Aufweitung der Strahlenbündel geachtet werden.

5 Danksagung

Wir danken der ESA für die Förderung dieser Untersuchungen.

Literatur

- [1] S. Amann, Q. Duong-Ederer, T. Haist, B. Sierk, B. Guldimann, and W. Osten, "Characterization of fiber-based slit homogenizer devices in the NIR and SWIR," (2019).
- [2] B. Sierk, J. Caron, A. Loscher, Y. Meijer, J.-L. Bézy, M. Buchwitz, and H. Bovensmann, "The CarbonSat candidate mission: imaging greenhouse gas concentrations from space," in *Earth Observing Systems XIX*, J. J. Butler, X. J. Xiong, and X. Gu, eds. (2014).