

Miniaturisierte optische Messsonde zur Detektion von Tropfengrößen in Dampfturbinen

Marcel Prochnau*, Simon Andres**, Martin Holters*, Jochen Stollenwerk*, Peter Loosen*

* Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme, RWTH Aachen University

** Lehrstuhl und Institut für Kraftwerkstechnik, Dampf- und Gasturbinen, RWTH Aachen University

<mailto:marcel.prochnau@tos.rwth-aachen.de>

Die Miniaturisierung optischer Systeme ermöglicht die Erschließung neuer Anwendungen. Am Beispiel einer miniaturisierten optischen Messsonde zur Bestimmung der Tropfengrößenverteilung innerhalb einer Dampfturbine wird insbesondere das Potential des Selective Laser Etching (SLE) zur Fertigung der mechanischen Halterung des optischen Systems aufgezeigt.

1 Einführung

Optische Messtechnik wird bereits in vielen Bereichen erfolgreich eingesetzt. Zur Erschließung weiterer Anwendungsfelder werden neue Möglichkeiten untersucht, um Messmittel zu verkleinern. Am Beispiel einer Messsonde zur Vermessung von Tropfengrößen in Dampfturbinen wird ein bestehendes Messsystem miniaturisiert. Dazu wird zum einen das optische System an die besonderen Anforderungen kleiner Bauräume angepasst und zum anderen wird ein neuartiges Fertigungsverfahren für die mechanische Linsenhalterung eingesetzt.

Das der Messsonde zugrundeliegende Messprinzip zur Bestimmung der lokalen Tropfengrößenverteilung beruht auf der Theorie der Lichtstreuung an sphärischen Partikeln. Dazu wird Laserlicht in das Messvolumen eingespeist und die von den Tropfen induzierte Streulichtintensität gemessen. Auf Grund der kompakten Baugröße von $\varnothing \leq 8$ mm und der erforderlichen Aufnahme von bis zu 9 optischen Elementen (Linsen, Blende, Faser) werden individualisierte Linsenfassungen in Form von Quarzglastuben mittels Selective Laser Etching (SLE) hergestellt.

2 Optisches System

Ziel des optischen Systems ist die Einkopplung von Laserlicht in das Messvolumen (innerhalb der Dampfturbine) sowie die Detektion des gestreuten Lichts mittels Photomultiplier. Um das optische System möglichst kompakt realisieren zu können werden sowohl das Laserlicht als auch die aufgenommene Streustrahlung über Lichtleiter von/zu den entsprechenden Gerätschaften (Laser/Photomultiplier) außerhalb der Turbine geführt.

Das optische System ist zweigeteilt realisiert. Der als *Hinweg* bezeichnete Teil des optischen Systems fokussiert das Laserlicht auf eine Größe von $10\ \mu\text{m}$, siehe Abb. 1. Durch den begrenzten Bauraum sowie den benötigten, definierten Strahldurchmesser

von $10\ \mu\text{m}$ (zur Abgrenzung des definierten Messvolumens aufgrund der hohen Tropfendichte) wird ein Leistungsverlust auf Grund der Verwendung einer Blende toleriert. Der Hinweg besteht aus 9 optischen Elementen (sieben sphärische Linsen, eine Blende und Lichtleitfaser), siehe Abb. 1. Um ein möglichst kostengünstiges System zu ermöglichen werden im Rahmen des Auslegungsprozesses soweit möglich Kataloglinsen eingesetzt.

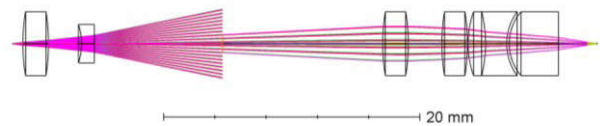


Abb. 1: Simulierter Strahlverlauf - Hinweg

Der als *Rückweg* bezeichnete zweite Teil der Optik dient der Erfassung des Streulichts. Der simulierte Strahlverlauf des Rückwegs ist in Abb. 2 dargestellt. Mit Hilfe einer Blende (vor dem Prisma) wird das zu betrachtende Messvolumen eingestellt. Die Strahlführung des Streulichts zur Einkopplung in die Lichtleitfaser wird mittels zweier GRIN-Linsen realisiert. Für einen kompakten Aufbau der Messoptik befindet sich der Rückweg oberhalb des Hinwegs, weshalb die Umlenkung des Streulichts um 90° mittels eines Prismas realisiert wird.

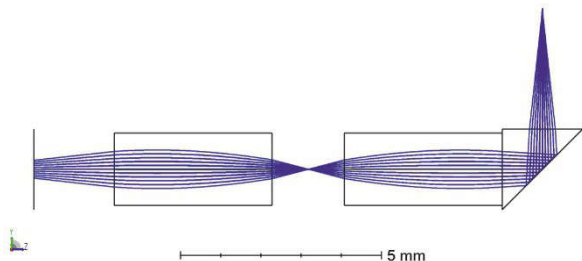


Abb. 2: Simulierter Strahlverlauf - Rückweg

3 Mechanische Linsenhalterung

Um eine kompakte und gleichzeitig stabile Linsenhalterung zu realisieren wird das Selective Laser Etching (SLE) als Fertigungsverfahren eingesetzt,

bei dem mittels Ultrakurzpuls-Laserstrahlung nahezu beliebige Geometrien in das Volumen transparenter Werkstoffe eingebracht werden können, die anschließend mittels selektivem Ätzen aus dem Volumen entwickelt werden. Die mechanische Linsenhalterung wird mittels SLE in Form von Quarzglas-tuben realisiert. Die Optiken werden zwischen Führungsstegen mechanisch positioniert und mittels UV-Kleber fixiert. Unterhalb der Linsen befindet sich eine umlaufende Ausbuchtung zur Applikation des UV-Klebers nach der Positionierung der Linse zwischen den Führungsstegen. Der Kleber verteilt sich auf Grund der Kapillarkräfte flächig unterhalb der Linse, bevor dieser mittels einer UV-Quelle ausgehärtet wird.

Der Hin- und Rückweg ist jeweils zweigeteilt realisiert, um eine optimale Zugänglichkeit während der händischen Montage des optischen Systems zu gewährleisten. Nachdem alle Linsen, die Blende und die Faser in einer Hälfte des Tubus fixiert sind wird die zweite Hälfte mit UV Kleber benetzt, positioniert und fixiert.

Die Ausrichtung von Hin- und Rückweg zueinander erfolgt mechanisch mit Hilfe von Anschlägen. Für die laterale Führung wird eine Schwalben-Schwanz-Nut verwendet. Die Fixierung von Hin- und Rückweg erfolgt ebenfalls mittels UV-Kleber.

Abb. 3 zeigt das CAD Modell einer Hälfte des Glaskubus des Hinwegs mit den Anschlägen für die Linsen, die Ausbuchtung der Klebenut und die Schwalbenschwanznut für die Aufnahme des Rückwegs.



Abb. 3: CAD Modell obere Hälfte des Hinwegs

Um Einstreuungen von Laserlicht in den Glaskubus zu vermeiden, z.B. durch die verwendete Blende, werden die Tuben von innen mittels Lack geschwärzt. Andernfalls könnte der Glaskubus selbst als Lichtleiter fungieren und Licht an ungewünschten Stellen in das Messvolumen oder in den Empfänger-tubus auskoppeln.

4 Ergebnisse

Die aufgebaute Optik ist in Abb. 4 und Abb. 5 dargestellt. Die in den Bildern gezeigten Optiken sind zu Veranschaulichungszwecken nicht von innen geschwärzt. Ebenso fehlen in den Bildern die Lichtleit-fasern vom Laser und zum Photomultiplier.



Abb. 4: Aufgebaute Optik (Hintergrund: Hinweg, Vordergrund: Rückweg) – © Fraunhofer ILT / Rainer Neumeyer



Abb. 5: Links: komplette Messsonde (Hin- und Rückweg) Rechts: Zusammengebauter Hinweg – © Fraunhofer ILT / Rainer Neumeyer

Messungen des Fokusbereichs des Hinwegs ergeben einen Wert von 11 μm . Laborversuche mit einem Tropfengenerator zeigen die erwarteten Impulse des Photomultipliers beim Passieren von Tropfen durch das Messvolumen. Auch die ersten Messungen innerhalb einer Industriedampfturbine liefern geeignete Tropfensignale, welche den hier gewählten Entwicklungsansatz bestätigen.

5 Danksagung

Die Untersuchungen wurden als Teil des Forschungsvorhabens COOREFLEX-turbo innerhalb der AG Turbo im Forschungsnetzwerk „Flexible Energieumwandlung“ durchgeführt. Das Vorhaben wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 03ET7071S auf Grundlage eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.