

Untersuchung transonischer Zweiphasenströmung am Beispiel der Verdichterströmung einer Gasturbine

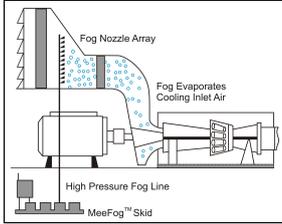


Abbildung 1: Gasturbine mit Inlet-Fogging
 Quelle: <http://www.meefog.com/>

Die Nutzleistung von Gasturbinen ist unter anderem von der Temperatur der angesaugten Luft abhängig. Um die Nutzleistung der Turbine zu maximieren, muss eine möglichst niedrige Lufttemperatur bei der Verdichtung vorherrschen. Zu diesem Zweck werden bei stationären Gasturbinen Wassertröpfchen in den Ansaugschacht eingedüst, um durch die Verdunstung der Wassertropfen eine Senkung der Lufttemperatur hervorzurufen. Zusätzliche wird hierdurch der Massenstrom erhöht. Ein solches Verfahren wird Inlet-Fogging genannt.

In Abbildung 1 ist eine Gasturbine mit einem solchen System schematisch dargestellt. Hochdruckpumpen befördern Wasser zu den Düsen, die hinter den Filtern im Ansaugschacht angeordnet sind. Die entstehende Zweiphasenströmung wird in den Verdichter der Gasturbine geleitet.

Abbildung 2 zeigt die Nutzleistung einer Gasturbine aufgetragen über die Tageszeit. Die rote Linie beschreibt den Leistungsverlauf eines herkömmlichen Gasturbinensystems. Die blaue Linie zeigt den Verlauf eines Systems mit Inlet-Fogging. Es wird deutlich, dass bei den wärmsten Stunden am Tag die Nutzleistung eines herkömmlichen Systems deutlich absinkt und dass diesem Effekt mit dem Inlet-Fogging entgegengewirkt werden kann. Beispiel für eine Anwendung sind warme Sommertage in den USA. Der Stromverbrauch steigt, durch eine stärkere Nutzung von Klimaanlage, die Nutzleistung von Gasturbinen sinkt aufgrund der hohen Umgebungstemperaturen. Durch das Inlet-Fogging wird die Temperatur der angesaugten Luft herabgesetzt und der Massenstrom erhöht. Dies führt zu einer Erhöhung der Nutzleistung der Gasturbine.

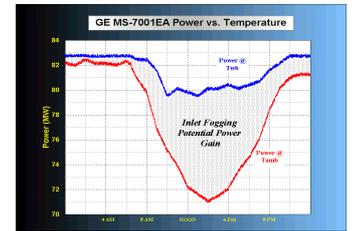


Abbildung 2: Gasturbinennutzleistung in Abhängigkeit von Tagestemperaturen
 Quelle: <http://www.capeengineering.com>



Abbildung 3: Inlet-Fogging System im Einsatz
 Quelle: <http://www.capeengineering.com>

Um eine möglichst feine Zerstäubung zu erreichen, wird das Wasser den Düsen mit einem Druck bis zu 200 bar zugeführt. Beim Durchtritt der Luft und der Wassertropfen durch den Verdichter können Strömungsgeschwindigkeiten bis Mach 1 auftreten. Die Tropfengröße beträgt zwischen 10 und 100 μm . Abbildung 3 zeigt die Düsen eines Inlet-Fogging-Systems im Einsatz.

Für die Untersuchungen wird der vorhandene Gitterwindkanal des Laboratoriums so erweitert, dass eine Wassereindüsung vor einem Verdichtergitter erfolgt. Somit können die oben genannten Bedingungen modelliert werden. Für die Untersuchungen stehen verschiedene Messverfahren zur Verfügung. Die wichtigsten sollen kurz erläutert werden.

Die **Particle Image Velocimetry (PIV)** ermöglicht Messungen von Geschwindigkeitsfeldern einer Strömung. Anhand der Abbildung 4 kann das Prinzip erläutert werden. Werden einer Strömung Partikel mit hinreichender Größe hinzugegeben und durch einen Lichtschnitt eines Nd:YAG-Laser (Neodym-Yttrium-Aluminium-Garnet Laser) angestrahlt, wird das von den Partikeln reflektierte Licht von der CCD-Kamera (Charge-Coupled-Device – Kamera) zu zwei kurz aufeinander folgenden Zeitpunkten ($\Delta t \ll 1 \text{ s}$) aufgenommen. Mit Hilfe von entsprechenden Algorithmen werden die dabei entstehenden Bilder verglichen. Aus der Verschiebung der Partikel können so die Geschwindigkeitsvektoren der einzelnen Partikel ermittelt werden und diese zu einem Geschwindigkeitsfeld zusammengesetzt werden.

Vorteile: berührungslos, Aufnahme von Geschwindigkeitsfeldern in kurzer Zeit

Nachteile: Seeding, hohe zeitliche Auflösung nur eingeschränkt möglich

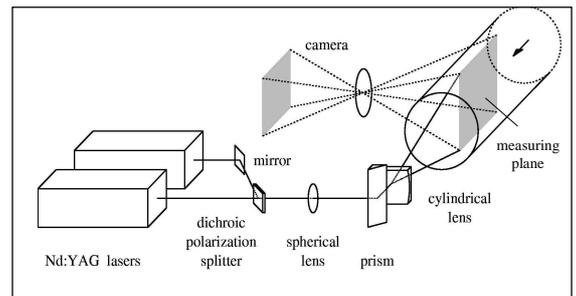


Abbildung 4: Schematischer Aufbau der PIV
 Quelle: Präsentation „What is PIV?“, DANTEC-DYNAMICS

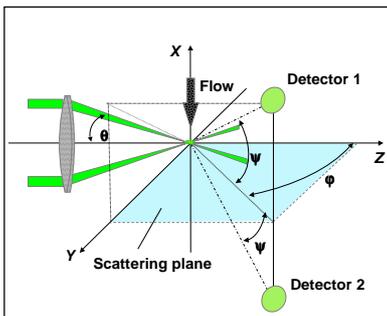


Abbildung 5: Prinzipskizze der PDA
 Quelle: Präsentation „Principles of Phase Doppler Anemometry“, DANTEC-DYNAMICS

Die **Particle Dynamics Analysis (PDA)** dient zur simultanen Messung von Geschwindigkeiten und Partikelgrößen einzelner sphärischer Partikel. Zwei sich kreuzende Laserstrahlen bilden in ihrem Schnittvolumen konstruktive und destruktive Interferenzen, die in einer 2D-Betrachtung Interferenzstreifen darstellen. Ein Partikel, das das Messvolumen durchquert, reflektiert bzw. streut das Licht der konstruktiven Interferenzstreifen. Die von einem Detektor aufgenommene Dopplerfrequenz verhält sich proportional zur Geschwindigkeitskomponente des Partikels senkrecht zu den Interferenzstreifen.

Das von dem sphärischen Partikel reflektierte bzw. gebrochene Licht wird von zwei unterschiedlich im Raum angeordneten Photodetektoren aufgenommen. Aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Position der Detektoren kommt es zu einer Phasen-Verschiebung der beiden Streulichtsignale. Diese ist proportional zum Durchmesser des Partikels.

Vorteile: berührungslos, kalibrierungsfrei, direkte Zuordnung von Partikelgröße und -geschwindigkeit

Nachteile: Seeding, Größe nur von sphärischen Partikeln messbar,