

# Zur jüngsten Entwicklung in der Modellierung von turbulenten Verbrennungsprozessen mittels ODT

T. Starick<sup>1</sup>, J. Medina<sup>1</sup>, M. Klein<sup>1</sup>, Z. Jozefik<sup>2</sup>, H. Schmidt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl Numerische Strömungs- und Gasdynamik, Siemens-Halske-Ring 14, 03046 Cottbus, Deutschland

<sup>2</sup> ERC Inc./Air Force Research Lab, Edwards AFB, Ca., USA

One-Dimensional Turbulence (ODT) ist ein stochastisches Modell zur Simulation von reaktiven Strömungen, welches die molekulare Diffusion und Reaktionskinetik entlang des eindimensionalen Rechengebietes vollständig auflöst. Die turbulente Advektion wird über stochastisch auftretende eindimensionale Wirbelereignisse modelliert, welche den fundamentalen Erhaltungseigenschaften unterliegen. Diffusions- und Reaktionseffekte werden über deterministische Gleichungen abgebildet. Obwohl in ODT eine Modellierung der dreidimensionalen Effekte stattfindet, wurde in einer Vielzahl von Studien die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse von Direkten Numerischen Simulationen (DNS) nachgewiesen.

In den bisher durchgeführten Untersuchungen wurde ODT für eine Reihe von Problemstellungen auf dem Gebiet der Verbrennung angewendet. Mit passiven Skalaren konnte zunächst der Einfluss von diskreten Zeit- und Längenskalen der Turbulenz separat von Reaktionen betrachtet und die Fähigkeiten des Modells im Vergleich mit Large Eddy Simulation (LES) und PDF-Reynolds-Averaged Navier Stokes (PDF-RANS) Resultaten demonstriert werden. Die korrekte Abbildung der turbulenten Mischung und des Transports von passiven Skalaren stellt eine Grundlage für die zuverlässige Mehrskalensmodellierungen dar. Ebenfalls wurde die Selbstzündung von n-Heptan bei niedrigen Temperaturen mit komplexer Reaktionskinetik mittels ODT untersucht. An dieser Stelle ist ODT nicht nur in der Lage eine zuverlässige Vorhersage des zeitlichen Verlaufs der Bulk-Größen, wie Druck und Wärmefreisetzungsrate zu liefern, sondern auch Aussagen über komplexe Größen, wie die Dichte-gewichtete Flammenfrontgeschwindigkeit (density-weighted displacement speed) zu treffen. Letztere wird für die Unterteilung von Verbrennungsvorgängen in Deflagration und Detonation eingesetzt. Des Weiteren ist eine exakte Vorhersage der Zündverzugszeit für Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Verbrennungen unabdingbar. Für scherungsdominierte Strömungen, welche sich beispielsweise in Brennerflammen einstellen, ist ODT in der Lage die genaue Position der Entflammung zu ermitteln. Einen signifikanten Einblick in die Fähigkeiten des ODT Modells bezüglich bedingter Statistiken haben die bisherigen Studien von Gegenstrom-Flammen geliefert.

In den zurückliegenden Studien konnte gezeigt werden, dass die mittels ODT erzeugten Statistiken eine beachtlich gute Übereinstimmung mit DNS-Resultaten aufweisen. Obwohl die meisten der bereits untersuchten Fälle auf dem Ansatz von niedrigen Mach-Zahlen beruhen, ist auch eine Erweiterung von ODT auf kompressible Strömungen formuliert worden. Im Hinblick auf die reduzierte Dimensionalität von ODT, die Qualität der erzielten Ergebnisse und die Effektivität bei der Nutzung der Rechenleistung, stellt ODT eine attraktive Alternative für turbulente reaktive Simulationen dar. In dem Vortrag fassen wir die wichtigsten Ergebnisse aus jüngsten Publikationen zusammen und geben einen Ausblick in puncto Entwicklung noch effektiverer stochastischer Verbrennungsmodelle.

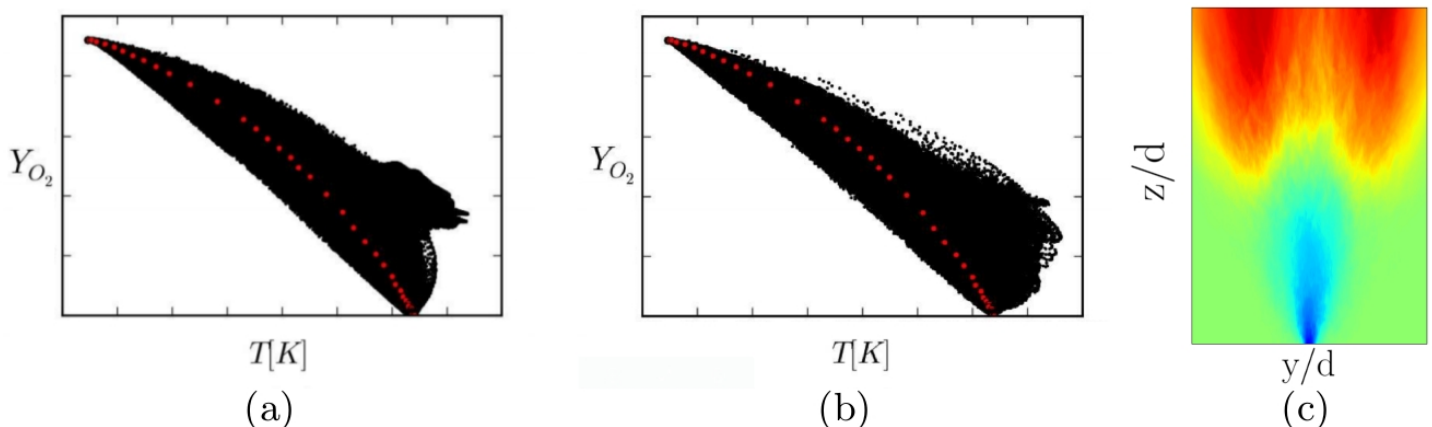


Abbildung 1: Streudiagramm des Sauerstoff Massenanteils bei einer Gegenstrom-Flamme mittels DNS (a) und ODT (b) berechnet und zweidimensionale Visualisierung der Temperaturverteilung einer Brennerflamme (c) mittels ODT bestimmt