

Prof. Dr.-Ing. M. Hoffmeister,  
Dipl.-Phys. K. Hertwig, Dr. rer. nat. K.-J. Kreul,  
Dr. rer. nat. H. Kretschmar, Dr.-Ing. K. Erler,  
Chemnitz

# **Modellierung von turbulenten Drallstrahlen für Brennkammern von Flugtriebwerken**

Reihe **7**: Strömungstechnik

Nr. **291**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung und Zielstellung</b>	<b>1</b>
<b>2. Versuchsstandsbeschreibung</b>	<b>6</b>
2.1 Bauelemente und Gestaltungsgesichtspunkte . . . . .	6
2.2 Kennzahlen und Reproduzierbarkeit des Betriebszustandes . . . . .	15
<b>3. Meßmethoden</b>	<b>18</b>
3.1 Visualisierungstechniken . . . . .	18
3.2 Zum Einsatz der Hitzdrahtanemometrie (HDA) . . . . .	20
3.3 Messungen zeitlich gemittelter Gesamtdrücke und statischer Drücke . . . . .	22
3.4 Zum Einsatz der Laser-Doppler-Anemometrie (LDA) . . . . .	23
3.4.1 Verwendete Meßtechnik . . . . .	23
3.4.2 Bestimmung des mittleren Geschwindigkeitsvektors und des kompletten Reynoldsschen Spannungstensors aus Messungen mit einem 2D-LDA . . . . .	25
3.4.3 Optimale Meßwinkel und Genauigkeitsgrenzen . . . . .	28
3.4.4 Messungen in der Modellbrennkammer . . . . .	31
3.4.5 Auswahl der Parameter Laserleistung, Datenrate und Meßzeit . . . . .	32
3.4.6 Datenauswertung und Fehlerabschätzung . . . . .	32
<b>4. Zu- und Abströmbedingungen der Modellbrennkammer (BK)</b>	<b>36</b>
4.1 Die untersuchten Betriebszustände und Meßebenen . . . . .	36
4.2 Eigenschaften des Drallerzeugers . . . . .	39
4.2.1 Die drallfreie Durchströmung . . . . .	39
4.2.2 Eine Durchströmung mit Drall . . . . .	41
4.3 Messungen am Einströmrand . . . . .	42
4.4 Messungen am Ausströmrand . . . . .	45
<b>5. Drallströmungen in der Modellbrennkammer</b>	<b>46</b>
5.1 Visualisierungen . . . . .	46
5.2 Messungen mit dem Laser-Doppler-Anemometer (LDA) . . . . .	48
<b>6. Krümmungseinflüsse bei der Modellierung dreidimensionaler turbulenter Scher- schichten</b>	<b>54</b>
6.1 Vorbemerkungen . . . . .	54
6.2 Grundgleichungen bei großen Reynoldszahlen ( $\rho = \text{const.}$ ) . . . . .	54
6.3 Einführung lokaler orthogonaler krummliniger Koordinaten für eine doppelt gekrümmte Scherschicht mit Grenzschichtcharakter . . . . .	56
6.4 Vereinfachte Reynoldssche Gleichungen für die Scherschicht . . . . .	58
6.5 Lokale Ähnlichkeitskennzahlen für die Scherschicht . . . . .	59
6.6 Ein algebraisches Spannungsmodell (ASM) für die Scherschicht . . . . .	67

<b>7. Numerische Simulation</b>	<b>73</b>
7.1 Der Code KIVA II . . . . .	73
7.2 Wahl der Randbedingungen . . . . .	79
7.3 Modifikation des k- $\epsilon$ -Turbulenzmodells . . . . .	80
<b>8. Vergleiche zwischen numerischen Simulationen und Messungen</b>	<b>81</b>
8.1 Die Standardlösung des k- $\epsilon$ -Modells (KEM) . . . . .	81
8.2 Zum Einfluß von Modifizierungen . . . . .	84
8.3 Zum Einfluß der $\epsilon$ -Randbedingungen . . . . .	88
<b>9. Zusammenfassung und abschließende Bemerkungen</b>	<b>88</b>
<b>10.Literatur</b>	<b>91</b>
<b>Anlage 1</b>	<b>96</b>
Zur Glättung von Meßwerten . . . . .	96
<b>Anlage 2</b>	<b>97</b>
Bilder des Abschnitts 4. . . . .	98
Bilder des Abschnitts 5. . . . .	136
Bilder des Abschnitts 8. . . . .	158