

Dipl.-Ing. Yangpei Xie, München

Zur Auslegung einer thermisch homogenen Gasturbinenbrennkammer

Reihe **12**: Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Nr. **276**

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Symbole	VIII
1 Einführung.....	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Stand der Forschung.....	2
1.2.1 Methoden zur Modellbildung turbulenter reagierender Strömungen in Gasturbinenbrennkammern.....	2
1.2.2 Numerische Berechnung von Gasturbinenbrennkammern	9
1.3 Aufgabenstellung und Untersuchungsobjekt	11
2 Modellierung der Strömungs- und Verbrennungsvorgänge in Gasturbinenbrennkammern	14
2.1 Beschreibung der Strömungs- und Verbrennungsvorgänge.....	14
2.1.1 Massen-, Impuls- und Energieerhaltungsgleichungen.....	14
2.1.2 Das Turbulenzmodell.....	15
2.1.3 Das Wärmefreisetzungsmodell	16
2.1.4 Randbedingungen	17
2.2 Numerische Behandlung des differentiellen Erhaltungsgleichungssystems.....	19
2.2.1 Diskretisierung der Erhaltungsgleichungen nach der Finite-Volumen- Methode	20
2.2.2 Diskretisierungsansätze für die Konvektions-, Diffusions- und Quellterme.....	21
2.2.3 Versetzte Rechengitter	24
2.2.4 Formulierung der Randbedingungen	25
2.3 Lösung des Differenzgleichungssystems	25
2.3.1 Druckkorrekturverfahren	25
2.3.2 Lösungsalgorithmen	26
3 Numerische Berechnung einer Ellbogen-Brennkammer.....	30
3.1 Definition des Rechengebietes	30
3.2 Netzgenerierung	31
3.2.1 Rechengitter des Umkehr-Luftzuführungsrohrs	32
3.2.2 Rechengitter zur Nachbildung der Brennkammer	32
3.3 Numerische Berechnung des Luftzuführungsrohrs.....	35
3.3.1 Formulierung der Randbedingungen auf der Basis experimenteller Messungen	35
3.3.2 Kritische Betrachtung zur Auswahl geeigneter Unterrelaxationsfaktoren	36

3.3.3	Rechenergebnisse	37
3.4	Numerische Berechnung der Brennkammer	38
3.4.1	Modifikation des Verbrennungsmodells in PHOENICS	39
3.4.2	Lösung der Energiegleichung	41
3.4.3	Randbedingungen	42
3.4.4	Berechnungsergebnisse und Verifikation des Rechenmodells mit Versuchsergebnissen.....	42
4	Berechnung der Gasturbinenbrennkammer mit Einbeziehung der Strahlungsmodellierung	49
4.1	Strahlungsmodellierung mit der Monte-Carlo-Methode.....	50
4.1.1	Wesen der Monte-Carlo-Methode	50
4.1.2	Erzeugung von Zufallszahlen	51
4.1.3	Genauigkeit der Monte-Carlo-Methode.....	51
4.1.4	Prinzipielles zur Monte-Carlo-Simulation eines Strahlungsprozesses	52
4.1.5	Modelle zur Simulation der Wärmestrahlung zwischen Oberflächen fester Körper	53
4.1.6	Gasstrahlung	56
4.2	Monte-Carlo-Modell zur Erfassung des Strahlungsprozesses in Gasturbinen- brennkammern.....	58
4.2.1	Festlegung der charakterischen Größen eines Photons.....	59
4.2.2	Verfolgung der Wärmephotonen	60
4.2.3	Formulierung der zyklischen und symmetrischen Randbedingungen.....	61
4.2.4	Strahlungsmodelle für orthogonale und konturangepaßte Rechengitter.....	62
4.3	Vergleich der Rechenergebnisse mit und ohne Berücksichtigung der Wärmestrahlung	64
5	Experimentelle Untersuchungen.....	68
5.1	Wellenleistungs-Gasturbinenprüfstand mit Meßwerterfassungssystem	69
5.2	Meßtechnik.....	71
5.2.1	Temperaturmessung mit Thermofarben.....	73
5.2.2	Messung der Turbineneintrittstemperaturen mit Thermoelementen	74
5.3	Meßergebnisse und Analyse.....	80
5.3.1	Vorversuche	80
5.3.2	Einfluß der Instrumentierung des Turbineneintritts mit Thermoelementen auf das Betriebsverhalten der Gasturbine	87
5.3.3	Auswirkung der Flammrohrgeometrie auf die Temperaturverteilung am Turbineneintritt	89

5.3.4 Temperaturverteilung am Turbineneintritt und Betriebsverhalten der gesamten Gasturbine mit der originalen und der verbesserten Brennkammer	92
5.3.5 Vergleich der Temperaturverteilungen am Flammrohr	102
5.3.6 Meßunsicherheit	102
6 Zusammenfassung und Ausblick.....	106
Anhang.....	109
Literaturverzeichnis.....	111