

Inhaltsverzeichnis

Seite

Formelzeichen	VII
1. Einleitung	1
2. Theoretische Betrachtungen zur experimentellen Bestimmung der Modenstruktur in zylindrischen Rohren	3
2.1 Grundgleichungen	3
2.2 Vergleich verschiedener Modenanalyseverfahren	7
2.2.1 Modenanalyse unter Verwendung des komplexen Schalldrucks	9
2.2.2 Modenanalyse unter Verwendung von Schalldruck- und Kreuzleistungsspektren	10
2.2.3 Modenanalyse unter Verwendung von querschnittsgemittelten Kreuzleistungsspektren	11
3. Ermittlung der durch unterschiedliche aerodynamische Wechselwirkungsprozesse erzeugbaren Azimutalmoden	14
3.1 Interaktionen Einlaufströmung/Rotor und Rotor/Stator	15
3.2 Interaktionen zwischen Rotoren bei ungleichen Drehzahlen und beliebigen Schaufelzahlen	16
4. Darstellung der Versuchsanordnungen und der verwendeten Meßtechnik	23
4.1 Triebwerksmodell	23
4.2 Versuchsanordnung in den unterschiedlichen Windkanälen	25
4.3 Verwendete Meßtechnik und Modenanalyse	27
4.4 Simulationsrechnungen zur Abschätzung des Einflusses von Meßfehlern auf die azimutalen und radialen Modenverteilungen	30
5. Diskussion der Ergebnisse zur Ermittlung der dominierenden Schallquellen	34
5.1 Voruntersuchungen	35
5.2 Aerodynamische Schallerzeugungsprozesse bei der Schaufelfrequenz und ihren Harmonischen	35
5.3 Vergleich der azimutalen Modenverteilungen bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen des Triebwerksmodells	42
5.3.1 Einfluß des bezogenen Druckverhältnisses	42
5.3.2 Einfluß des Anstellwinkels	46
5.3.3 Vergleich zwischen unterschiedlichen Triebwerksauslegungen	48
5.3.4 Einfluß der Windkanalgeschwindigkeit	50
5.3.5 Vergleich zwischen unterschiedlichen Windkanälen	52

5.3.6	Einfluß unterschiedlicher Staffelungswinkel	53
5.3.7	Vergleich zwischen gleichen und ungleichen Blattzahlen und verschiedenen Rotorabständen	55
5.4	Darstellung und Vergleich der radialen Modenverteilungen	61
6.	Berechnung des abgestrahlten Schallfeldes	66
6.1	Problemstellung	66
6.2	Die Methode der Ersatzstrahlersynthese	67
6.3	Ringquellen als Ersatzstrahler	70
6.4	Berücksichtigung einer gleichförmigen überlagerten Strömung	76
6.5	Berechnungsverfahren unter Annahme einer gleichförmigen Strömungsgeschwindigkeit	79
6.5.1	Prinzip des Berechnungsverfahrens	79
6.5.2	Anordnung der Quellen	81
6.5.3	Vergleich zwischen berechneter und gemessener Schallabstrahlung vom Triebwerksmodell	87
6.6	Berechnungsverfahren bei Berücksichtigung der unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten	95
6.6.1	Aufteilung des abgestrahlten Feldes in zwei Bereiche mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten	95
6.6.2	Vergleich der approximierten und vorgegebenen Randbedingungen	99
6.6.3	Vergleich zwischen berechneter und gemessener Schallabstrahlung	100
6.6.4	Diskussion der Ergebnisse	108
7.	Zusammenfassung und Ausblick	111
	Anhang	114
A	Zur Messung der akustischen Druckspektren in einer turbulenten Strömung	114
B	Zur Herleitung der Abstrahlfunktion einer Ringquelle	118
C	Zur Transformation der konvektiven Wellengleichung in eine analoge Form wie die Wellengleichung in ruhendem Medium.	121
D	Zur numerischen Lösung von komplexen Gleichungssystemen nach der Methode des kleinsten Fehlerquadrates	123
	Literaturverzeichnis	126