

Inhalt

- 1 Einleitung..... 1
- 2 Stand der Technik der kleinen Turbojet-Triebwerke.....9
 - 2.1 Aufbau der kleinen Turbojet-Triebwerke9
 - 2.2 Thermodynamische Auslegung der kleinen Turbojet-Triebwerke 11
 - 2.3 Begrenzungen und Verbesserungspotentiale 14
 - 2.4 Bewertung des Stands der Technik kleiner Turbojet-Triebwerke 17
 - 2.5 Forschungsbedarf bei kleinen Turbojet-Triebwerken 19
- 3 Methoden zur Schubsteigerung.....21
 - 3.1 Ansätze zur Schubsteigerung21
 - 3.1.1 Nachbrenner21
 - 3.1.2 Wassereinspritzung24
 - 3.1.3 Luftabzapfung30
 - 3.1.4 Erhöhung des Massenstroms30
 - 3.2 Bewertung der Konzepte zur Eignung für kleine Turbojet-Triebwerke34
 - 3.3 Forschungsbedarf Schubverstärkung für kleine Turbojet-Triebwerke38
- 4 Stand der Technik Ejektordüsen39
 - 4.1 Grundlagen des Ejektordüsenkonzepts.....39
 - 4.1.1 Analytische Betrachtung mit Kontrollvolumen43
 - 4.1.2 Analytische Betrachtung auf Basis des physikalischen Phänomens.....48
 - 4.2 Experimentelle Untersuchung für Luftfahrtanwendungen50
 - 4.2.1 Primärdüse.....50
 - 4.2.2 Mischrohr54
 - 4.2.3 Sekundäreinlauf57
 - 4.2.4 Diffusor57
 - 4.2.5 Auswirkung der äußeren Anströmung.....60
 - 4.3 Anwendung in Luftfahrzeugen.....60
 - 4.4 Ansätze zur Anwendung bei kleinen Turbojet-Triebwerken62
 - 4.5 Forschungsbedarf bei Ejektordüsen an kleinen Turbojet-Triebwerken63
 - 4.5.1 Untersuchungsmethodik64
 - 4.5.2 Definition der Bewertungsgrößen.....64

5	Entwicklung der Ejektordüse für kleine Turbojet-Triebwerke	67
5.1	Grundkonzept.....	67
5.2	Auslegung der blütenförmigen Primärdüse	68
5.3	Auslegung der Ejektordüse	77
6	Aufbau des Prüfstands zur Vermessung kleiner Schubtriebwerke	81
6.1	Messstellen am Triebwerk.....	81
6.2	Anforderungen	83
6.2.1	Betrieb des kleinen Turbojet-Triebwerks	83
6.2.2	Anforderung an die Erfassung der Messgrößen	84
6.2.3	Anforderungen an die Vermessung der Düsenströmung	85
6.3	Aufbau des Prüfstands	86
6.3.1	Struktur des Prüfstands.....	86
6.3.2	Elektronik	91
6.3.3	Triebwerkselektronik	91
6.4	Messtechnik	93
6.4.1	Schubkraftmessung	94
6.4.2	Brennstoffmassenstrommessung.....	95
6.4.3	Digitale Messung der Triebwerksdrehzahl	96
6.4.4	Thermoelemente	97
6.4.5	Temperaturmessung mit Widerstandsthermometern	99
6.4.6	Analoge Messwerte.....	100
6.4.7	Ringmesssystem.....	102
6.4.8	Schlierenoptik	105
6.5	Programm zur Datenerfassung	107
7	Experimentelle Untersuchungen	109
7.1	Allgemeine Vorgehensweise bei der Vermessung	109
7.1.1	Definition der Laststufen	110
7.1.2	Vorgehensweise zur Vermessung der Düsenströmung	110
7.2	Allgemeine Vorgehensweise bei der Auswertung der Messdaten.....	111
7.2.1	Auswertung der Daten zur Ermittlung des Betriebszustands	112
7.2.2	Auswertung zur Analyse der Düsenströmung von Primärdüsen	112
7.2.3	Auswertung zur Analyse der Düsenströmung von Ejektordüsenkonfigurationen.....	113

7.2.4	Bewertung von Temperatur- und Geschwindigkeitsprofilen	115
7.3	Referenzmessung mit der Standard-Schubdüse	116
7.3.1	Auswertung der Referenzmessung	116
7.3.2	Analyse der Düsenströmung	120
7.3.3	Schlussfolgerungen zur Düsenströmung der Standarddüse	127
7.4	Vermessung von Primärdüsen mit höherer Mischfähigkeit	130
7.4.1	Auswertung der Leistungsdaten der Primärdüsen mit Mischfähigkeit	131
7.4.2	Analyse der Chevrongdüse CVN	134
7.4.3	Analyse der blütenförmigen Primärdüse LMN	138
7.4.4	Analyse blütenförmige Primärdüse „scaloped“ LMN-Sc	143
7.4.5	Schlussfolgerungen zu Primärdüsen mit erhöhter Mischfähigkeit	148
7.5	Messung an unterschiedlichen Ejektordüsenkonfigurationen	149
7.5.1	Auswertung der Ejektordüsenkonfigurationen	149
7.5.2	Analyse der Temperatur- und Geschwindigkeitsfelder	152
7.5.3	Schlussfolgerung zur Vermessung der Ejektordüsenkonfigurationen	161
7.6	Schlussfolgerung aus der experimentellen Vermessung	161
8	Numerische Untersuchung	165
8.1	Allgemeiner Aufbau der numerischen Simulation	165
8.2	Untersuchung der blütenförmigen Primärdüse	166
8.2.1	Aufbau der Simulation der Primärdüsen in Ansys CFX	166
8.2.2	Validierung mittels experimenteller Daten der Primärdüsen	171
8.2.3	Validierung mittels Messdaten zur Düsenströmung der Primärdüsen	172
8.2.4	Parametervariation der blütenförmigen Primärdüse	182
8.2.5	Parameter zur Erhöhung der Mischfähigkeit der blütenförmigen Primärdüse	189
8.3	Untersuchung der Konstruktionsparameter der Ejektordüse	190
8.3.1	Aufbau der Simulation der Ejektordüse in Ansys CFX	190
8.3.2	Netzstudie zur Unabhängigkeit der Ergebnisse	193
8.3.3	Validierung mittels experimenteller Daten der Ejektordüse	194
8.3.4	Validierung mittels Messdaten zur Düsenströmung der Ejektordüsen	198
8.3.5	Parametervariation der Ejektordüse	212
8.3.6	Systematik zur Maximierung der Schubverstärkung	220
8.4	Validierung der optimierten Konstruktionsparameter der Ejektordüse	222

Inhalt

9	Weitere Erkenntnisse aus der Untersuchung der Ejektordüse	227
9.1	Ergebnisse der Lärmuntersuchung	227
9.2	Reduktion der Abgastemperatur.....	230
10	Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	233
11	Ausblick.....	243
A	Bedieneroberfläche des LobeMixerNozzle-Generator-Programms.....	245
B	Berechnung des Düsendruckverhältnisses aus den Messdaten	249
	Literaturverzeichnis.....	251
	Abbildungsverzeichnis	265
	Tabellenverzeichnis	271