

Berichte aus der Luft- und Raumfahrttechnik

Martin Bleilebens

**Einfluss der Wandtemperatur auf die
Stoß/Grenzschicht-Wechselwirkung
an einer Rampe im Hyperschall**

Shaker Verlag
Aachen 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Experimentelle Arbeiten mit aufgeheizten Rampenmodellen	3
2	Theoretische Grundlagen	7
2.1	Strömungsfeld im reibungsfreien Fall	7
2.2	Strömungsfeld im reibungsbehafteten Fall	8
2.2.1	Geometrische Größen	9
2.2.2	Anliegende Grenzschicht an der vorderen Platte	11
2.2.3	Ablösung und Strömung in der Scherschicht	16
2.2.4	Wiederanlegen und Grenzschichtverhalten an der Rampe	24
2.2.5	Maximale Wärmelast an der Oberfläche der Rampe	25
2.2.6	Geometrie der Ablöseblase	26
2.2.7	Realgas-Effekte in der Rampenströmung	32
2.3	Abweichungen von der idealen zweidimensionalen Rampenströmung	32
2.3.1	Einflüsse der Modellgeometrie	32
2.3.2	Zeitliches Verhalten beim Aufbau der Ablöseblase	33
3	Versuchsanlage	35
3.1	Funktionsprinzip des Stoßwellenkanals TH2	35
3.2	Bestimmung der Anströmbedingungen in der Messstrecke	38
3.2.1	Gemessene Strömungsgrößen	41
3.2.2	Nutzbare Messzeit und Reproduzierbarkeit	43
3.2.3	Berücksichtigung der Kalibrationsergebnisse	45
3.2.4	Realgas-Effekte in der Düsenströmung	47
4	Messtechnik	49
4.1	Verstärker und Transientenrekorder	49
4.2	Druckmesstechnik	49
4.3	Messung der Oberflächentemperatur	50
4.3.1	Thermoelemente	50
4.3.2	Infrarot-Messtechnik	51

4.4	Berechnung der Wärmestromdichte	57
4.4.1	Theoretische Ansätze und Voraussetzungen	58
4.4.2	Implementiertes Rechenverfahren	59
4.5	Optische Strömungssichtbarmachung	60
4.6	Messunsicherheiten	60
5	Modelltechnik	63
5.1	Voruntersuchungen	63
5.2	Entwurf des Rampenmodells	66
5.3	Aufbau der Modellheizung	69
5.4	Isolation	71
5.5	Kühlung der Drucksensoren	74
5.6	Verbindung Modelloberfläche - Sensor	75
5.6.1	Zeitliches Verhalten des gemessenen Drucks	77
6	Versuchsergebnisse und Diskussion	81
6.1	Versuchsprogramm	81
6.2	Messergebnisse	83
6.2.1	Anströmbedingungen der Versuchsreihen	84
6.2.2	Temperaturverteilungen der Modelloberflächen	85
6.2.3	Analyse der Druckmessungen	89
6.2.4	Bestimmung der Ablöse- und Wiederanlegepositionen	93
6.2.5	Dimensionslose Druckverteilungen	95
6.2.6	Temperaturerhöhungen während der Versuchszeit	102
6.2.7	Wärmestromdichten	105
6.2.8	Ablöse- und Wiederanlegepositionen	111
6.3	Vergleich mit theoretischen und numerischen Ergebnissen	115
6.3.1	Dimensionslose Druckverteilungen	116
6.3.2	Dimensionslose Wärmestromdichten	124
6.3.3	Skalierung der Ablöseblase	127
7	Zusammenfassung	139
	Literaturverzeichnis	143
A	Berechnung der Anströmbedingungen	149
B	Kalibrierte Versuchsbedingungen	151
C	Übersicht über die Druckmessungen	157
D	Grenzschichtprofile für die Versuchsbedingungen	165

Inhaltsverzeichnis	III
E Abschätzung der Messunsicherheiten	171
F Anströmdaten	179
G Oberflächentemperatur, Ablöselängen und Referenzgrößen	183