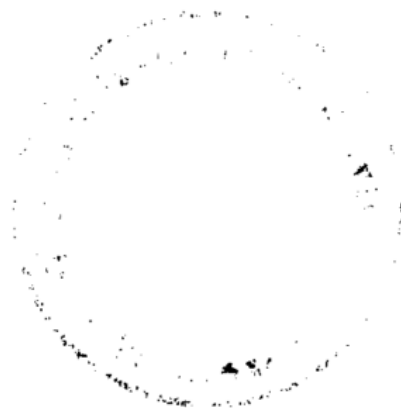


Dipl.-Ing. Frank Haselbach, Berlin

**Thermalhaushalt und  
Kalibration von  
Oberflächenheißfilmen  
und Heißfilmarrays**

Reihe **7**: Strömungstechnik

Nr. **326**



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Forschung und Ziele</b>	<b>4</b>
2.1 Meßverfahren zur Erfassung von Oberflächenkräften .....	4
2.2 Grundlagen der Heißfilmtechnik .....	5
2.3 Ziele der vorliegenden Arbeit .....	8
<b>3 Thermodynamische Grundlagen der Oberflächenheißfilmkalibration</b>	<b>10</b>
3.1 Betriebsarten von Oberflächenheißfilmen .....	10
3.2 Wärmeübergang und Wärmebilanz .....	11
3.2.1 Einzelheißfilme.....	11
3.2.2 Heißfilmarrays .....	20
3.3 Meßgenauigkeit von Oberflächenheißfilmen.....	22
3.4 Dynamisches Verhalten von Oberflächenheißfilmen .....	24
<b>4 Versuchsanlagen und Meßtechniken</b>	<b>27</b>
4.1 Versuchsanlagen .....	27
4.2 Verwendete Meßverfahren.....	28
4.2.1 Verwendete Oberflächenheißfilme.....	28
4.2.2 Temperaturmeßtechnik und Visualisierungsverfahren.....	29
4.2.3 Referenzverfahren zur Wandschubspannungsbestimmung.....	32
4.3 Versuchsaufbauten und -durchführung.....	34
4.3.1 Niedergeschwindigkeitsmeßstrecke .....	34
4.3.2 Versuchsaufbau im Transsonikkanal.....	35
4.3.3 Datenerfassung und Datenreduktion.....	36
<b>5 Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>38</b>
5.1 Vorversuche .....	38
5.2 Feldmessungen.....	39
5.2.1 Bestimmung des Wand- und Strukturtemperaturfeldes.....	39
5.2.2 Strömungsfeldmessungen über Oberflächenheißfilmen.....	43
5.3 Kalibration von Heißfilmen in laminarer und turbulenter Strömung .....	46
5.3.1 Statische Kalibration .....	46
5.3.2 Dynamisches Verhalten von Einzelheißfilmen .....	47
5.4 Einfluß der thermischen Interferenz auf die statische Kalibration.....	49
5.4.1 Untersuchungen im Niedergeschwindigkeitsbereich.....	49

5.4.2 Untersuchungen in kompressiblen Strömungen .....	52
5.5 Einfluß der thermischen Interferenz auf das dynamische Verhalten von Heißfilmsensoren .....	55
<b>6 Numerische Simulationen</b>	<b>58</b>
6.1 Gekoppelte Berechnung von Strömung und Struktur .....	58
6.1.1 Berechnungsmodell .....	58
6.1.2 Strukturberechnung .....	59
6.1.3 Strömungsberechnung .....	60
6.1.4 Kopplungsprinzip und Gittergenerierung .....	64
6.2 Vorgehensweise bei der Berechnung und bei der Ermittlung der Wärmeabgaben.....	66
6.3 Ergebnisse der numerischen Simulationen .....	70
6.3.1 Einzelheißfilm-Simulation .....	70
6.3.2 Ergebnisse des Heißfilmarrays - Temperaturverteilungen .....	72
6.3.3 Ergebnisse des Heißfilmarrays - Variationsrechnungen.....	73
6.3.4 Numerische Kalibration von Heißfilmarrays.....	76
<b>7 Vergleich der experimentellen und numerischen Ergebnisse</b>	<b>79</b>
7.1 Strömungs- und Temperaturfeld .....	79
7.2 „Numerische“ und experimentelle Kalibration mit Interferenzeinfluß.....	80
7.3 Ergebnisse zur Wärmestrombilanz .....	81
<b>8 Standardisierte Kalibration von Heißfilmarrays</b>	<b>84</b>
8.1 Betrachtungen zur Kalibrationsvorschrift .....	84
8.2 Standardisierte Kalibration von Heißfilmarrays .....	85
<b>9 Zusammenfassung</b>	<b>89</b>
<b>10 Literaturverzeichnis</b>	<b>91</b>