

FORTSCHRITT-  
BERICHTE

**VDI**

Dipl.-Ing. Ralf Theurer, Stuttgart

**Ein erweitertes  
Randelementverfahren  
zur Berücksichtigung  
nichtlinearer Effekte  
in der Aerodynamik**

Reihe **7**: Strömungstechnik

Nr. **334**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
2.1	Motivation .....	1
2.2	Stand der Forschung .....	2
2.3	Inhalt und Ziel der Arbeit .....	4
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1	Herleitung der Potentialgleichung .....	7
2.2	Betrachtung verschiedener Formulierungen .....	9
2.3	Normierung und Bestimmung weiterer Strömungsgrößen .....	11
2.4	Potentialtheorie - Harmonische Funktionen .....	12
<b>3</b>	<b>Randelementverfahren</b>	<b>20</b>
3.1	Integralgleichung .....	20
3.2	Geschwindigkeits-Formulierung .....	24
3.3	Randbedingungen .....	26
3.3.1	Externe Neumann-Randbedingung .....	27
3.3.2	Interne Dirichlet-Randbedingung .....	28
3.4	Diskretisierung .....	29
<b>4</b>	<b>Behandlung der nichtlinearen Terme</b>	<b>33</b>
4.1	Übersicht .....	33
4.1.1	Feldintegrations- / Feldpanelmethode .....	34
4.1.2	Multiple-Reciprocity-Methode .....	36
4.1.3	Dual-Reciprocity-Methode .....	37
4.2	Anwendung der-Dual-Reciprocity-Methode .....	39
4.2.1	Anpassung an das Panelverfahren .....	40
4.2.2	Bestimmung der Quellstärken $\sigma$ .....	45
4.2.3	Iterationsschema .....	46
4.2.4	Interpolationsfunktion und Knoten im Feld .....	47
4.3	Besonderheiten bei transsonischer Strömung .....	53
4.3.1	Gültigkeit der vollständigen Potentialgleichung .....	54
4.3.2	Künstliche Dissipation .....	56
4.3.2.1	Grundgedanke .....	56
4.3.2.2	Realisierung im Verfahren .....	57

4.3.3 Stabilisierungsverfahren .....	59
4.3.4 Berechnung der modifizierten Quellterme .....	60
4.3.5 Verbesserte Auflösung von Verdichtungsstößen.....	62
4.3.5.1 Shock-Fitting Methode.....	62
4.3.5.2 Anpassung der DRM Diskretisierung .....	63
<b>5 Berücksichtigung viskoser Effekte</b> .....	<b>66</b>
5.1 Grenzschichtkonzept .....	66
5.2 Grenzschichtverfahren.....	69
5.3 Iterative Koppelung .....	71
<b>6 Ergebnisse</b> .....	<b>75</b>
6.1 Voruntersuchungen .....	75
6.1.1 Validierung des linearen Basisverfahrens.....	75
6.1.2 Vergleich von nichtkonservativer und konservativer Formulierung.....	78
6.1.3 Einflüsse der Diskretisierung.....	79
6.1.3.1 Felddiskretisierung.....	79
6.1.3.2 Randdiskretisierung.....	81
6.1.3.3 Ansatzfunktionen der nichtlinearen Singularitätenverteilungen.....	83
6.1.4 Einflüsse der Dissipationsparameter.....	85
6.1.4.1 Viskositätsparameter .....	86
6.1.4.2 Dämpfungsparameter (Stabilisierung) .....	88
6.2 Vergleich der Ergebnisse .....	89
6.2.1 Subsonische Strömung.....	91
6.2.2 Transsonische Strömung.....	97
6.3 Vergleichsrechnungen mit Berücksichtigung der Grenzschicht .....	108
6.3.1 Subsonische Strömung.....	109
6.3.2 Transsonische Strömung.....	111
6.4 Anwendungsbeispiel zur transsonischen Profilloptimierung .....	114
6.4.1 Konzept der adaptiven Profilstruktur zur Stoßkontrolle.....	114
6.4.2 Voruntersuchungen zur aerodynamischen Wirksamkeit von Stoßbeulen.....	116
<b>7 Schlußbetrachtung</b> .....	<b>123</b>
7.1 Zusammenfassung .....	123
7.2 Ausblick .....	125
<b>Anhang</b> .....	<b>127</b>
A Äquivalenz von Dipol und Wirbelverteilung für 2d-Anwendungen.....	127
B Einfluß des Außenrandes auf die Strömung im Gebiet $\Omega_{Ring}$ .....	129
C Linearisierte Beschreibung von Beulengeometrien.....	131
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>133</b>