

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	iv
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	x
Bezeichnungen	xi
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeine Einführung	1
1.2 Stand der Forschung	2
1.2.1 Übersicht	2
1.2.2 Linearisierung und Shock Capturing	3
1.2.3 Simulation der Profilschwingung	5
1.3 Ziele und Aufbau der Arbeit	7
1.3.1 Ziele	7
1.3.2 Gliederung der Arbeit	7
2 Grundlagen	9
2.1 Konservative Form der Eulergleichungen	9
2.2 Dimensionslose Darstellung	10
2.3 Eulergleichungen in krummlinigen Koordinaten	12
2.4 Quasilineare Form der Eulergleichungen	14
3 Numerische Lösung der Eulergleichungen	18
3.1 Dimensionssplitting	21
3.2 MUSCL-Extrapolation	24
3.3 Explizite Zeitintegration	26
3.4 Implizite Zeitintegration	27

3.5	Berechnung der Metrik	33
3.5.1	Flächenberechnung	34
3.5.2	Volumenberechnung	35
3.5.3	Berechnung der Zellflächengeschwindigkeiten	36
4	Randbedingungen	37
4.1	Charakteristische Variablen	37
4.2	Charakteristische Fernfeldrandbedingungen	39
4.3	Festkörperrandbedingung	43
4.3.1	Charakteristische Festkörperrandbedingungen	43
4.3.2	Festkörperrandbedingung mittels Extrapolation	45
5	Linearisierung	46
5.1	Linearisierung der Metrik	47
5.1.1	Linearisierung ohne expliziten Zeitansatz	47
5.1.2	Linearisierung mit explizitem Zeitansatz	49
5.2	Linearisierung der Eulergleichungen	50
5.2.1	Linearisierung ohne Zeitansatz	50
5.2.2	Linearisierung mit harmonischem Zeitansatz	55
6	Numerik der zeitlinearisierten Eulergleichungen	58
6.1	Dimensionssplitting	59
6.2	MUSCL-Extrapolation	60
6.3	Berechnung der linearisierten Metrik	60
6.4	Numerische Berechnung der Quellterme	63
7	Linearisierte Randbedingungen	65
7.1	Linearisierte Fernfeldrandbedingung	65
7.2	Linearisierte Festkörperrandbedingung	66
8	Gittergenerierung	68
9	Zweidimensionale Ergebnisse	70
9.1	Subsonische Umströmung	71
9.1.1	Gitter des Profils NACA0012	71

9.1.2	Nickschwingung mit Frequenzvariation	73
9.1.3	Schlagschwingung mit Frequenzvariation	80
9.1.4	Nickschwingung mit Amplitudenvariation	85
9.2	Transsonische Umströmung	90
9.2.1	Gitter des Profils NACA64A010	90
9.2.2	Nickschwingung mit Frequenzvariation	90
9.3	Supersonische Umströmung	96
9.3.1	Gitter des Parabelprofils	96
9.3.2	Stationäre Umströmung	98
9.3.3	Nickschwingung mit Frequenzvariation	100
9.3.4	Schlagschwingung mit Frequenzvariation	106
10	Dreidimensionale Ergebnisse	112
10.1	Geometrie	113
10.2	Topologie des Raumgitters	115
10.3	AGARD Testfall CT5	118
10.4	Rechenzeiten	120
10.5	Druckverteilung bei stationärer Anströmung	121
10.6	Vergleich der instationären Druckbeiwerte	123
10.6.1	0. Harmonische des Druckbeiwerts	123
10.6.2	1. Harmonische des Druckbeiwerts	129
10.6.3	Bewertung der Ergebnisse	129
10.7	Subsonische Umströmung	136
10.7.1	Vergleich der Beiwerte	136
10.7.2	Einfluß der Frequenz	137
10.8	Transsonische Umströmung	144
10.8.1	Vergleich der Beiwerte	144
10.8.2	Einfluß der Frequenz	145
10.9	Supersonische Umströmung	153
10.9.1	Vergleich der Beiwerte	153
10.9.2	Einfluß der Frequenz	154
11	Zusammenfassung und Ausblick	163

A	Beiwerte	171
A.1	Berechnung der Luftkräfte	171
A.2	Widerstand	172
B	Analyse instationärer Größen	175
B.1	Fourieranalyse	175
B.2	Derivativa	176
C	Stabilitätsanalyse	178
C.1	Stabilitätskriterium	178
C.2	Stabilität bei Schlag- und Nickschwingung	179