

# Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	V
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Ziel der Arbeit . . . . .	2
1.2. Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2. Mathematische und systemtheoretische Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1. Systemdarstellung im Zeitbereich . . . . .	6
2.2. Systemdarstellung im Frequenzbereich . . . . .	9
2.2.1. Frequenzgang . . . . .	10
2.2.2. Übertragungsfunktion . . . . .	10
2.3. Fehlermaße . . . . .	11
2.3.1. Fehlerbestimmung im Frequenzbereich . . . . .	11
<b>3. Projektionsbasierte Modellreduktion</b>	<b>13</b>
3.1. Einleitung . . . . .	14
3.2. Problemstellung . . . . .	15
3.3. Projektion und Projektoren . . . . .	16
3.4. Projektionsbasierte Modellreduktion . . . . .	17
<b>4. Krylov-Unterraum-basierte Modellreduktion</b>	<b>21</b>
4.1. Einleitung . . . . .	22
4.2. Momente der Übertragungsfunktion . . . . .	23
4.3. KRYLOV-Unterräume . . . . .	26
4.4. Momentenabgleich . . . . .	31
4.5. Numerische Umsetzung . . . . .	35
4.6. ARNOLDI- und SOAR-Algorithmus . . . . .	37
4.7. Ungedämpfte Systeme und Systeme mit RAYLEIGH-Dämpfung . . . . .	43
4.7.1. Ungedämpfte Systeme . . . . .	43
4.7.2. Systeme mit RAYLEIGH-Dämpfung . . . . .	44
4.8. Erzielen von reellwertigen Systemen . . . . .	45
4.9. Erweiterte KRYLOV-Unterraum-Verfahren . . . . .	48
<b>5. Grundlagen der Substrukturtechniken</b>	<b>53</b>
5.1. Einführung in die Substrukturtechnik . . . . .	54
5.2. Hilfsmittel $\mathcal{B}$ und $\mathcal{L}$ . . . . .	56
5.3. Primärformulierung . . . . .	58
5.4. Dual-Formulierung . . . . .	59

5.5.	Primär- und Dualformulierung für reduzierte Substrukturen . . . . .	60
5.5.1.	Primärformulierung für reduzierte Substrukturen . . . . .	61
5.5.2.	Dualformulierung für reduzierte Substrukturen . . . . .	62
<b>6.</b>	<b>Component Mode Synthesis</b>	<b>65</b>
6.1.	Einleitung . . . . .	66
6.2.	Klassische-Komponenten-Moden . . . . .	67
6.2.1.	Normal-Moden . . . . .	67
6.2.2.	Constraint-Moden & Starrkörper-Moden . . . . .	69
	Constraint-Moden . . . . .	69
	Starrkörper-Moden . . . . .	70
	Gemeinsamkeit von Constraint-Moden und Starrkörper-Moden . .	70
6.2.3.	Attachment-Moden . . . . .	70
	Kragarm-Attachment-Moden . . . . .	71
	Trägheitsbefreite-Attachment-Moden . . . . .	71
	Residuum-Nachgiebigkeits-Attachment-Moden . . . . .	72
6.3.	$s_0$ -Krylov-Moden . . . . .	73
6.4.	Methoden mit gefesselten Verbindungsstellen . . . . .	75
6.4.1.	Craig-Bampton-Verfahren . . . . .	76
6.4.2.	Craig-Hale-Verfahren mit gefesselten Randknoten . . . . .	77
6.5.	Methoden mit freien Verbindungsstellen . . . . .	77
6.5.1.	Verfahren von MacNeal . . . . .	79
6.5.2.	Verfahren von Rubin . . . . .	80
6.5.3.	Dual Craig-Bampton-Verfahren von Rixen . . . . .	81
6.5.4.	Craig-Hale-Verfahren mit freien Randknoten . . . . .	83
6.5.5.	Verfahren mit $s_0$ -Krylov-Unterräumen . . . . .	84
	Vergleich: . . . . .	85
<b>7.</b>	<b>Frequenzgang-basierte Substrukturtechnik</b>	<b>87</b>
7.1.	Einleitung . . . . .	88
7.2.	Impedanz-Kopplungsmethode . . . . .	89
7.3.	Admittanz-Kopplungsmethode . . . . .	90
7.4.	Lagrange-Multiplikator-FBS . . . . .	92
7.4.1.	LM-FBS für reduzierte Subsysteme . . . . .	94
<b>8.</b>	<b>Anwendung</b>	<b>97</b>
8.1.	Einleitung . . . . .	98
	Anmerkung: . . . . .	99
8.2.	Beispiel 1: zwei ebene Platten . . . . .	99
8.2.1.	Zwei ebene Platten, ungedämpft . . . . .	100
8.3.	Beispiel 2: PKW-Achsträger . . . . .	107
8.3.1.	PKW-Achsträger im Frequenzbereich von 0 bis 1 kHz . . . . .	108
8.3.2.	PKW-Achsträger im Frequenzbereich von 10 kHz bis 11 kHz . . .	121

---

8.4. Beispiel 3: PKW-Motorträger . . . . .	133
8.4.1. PKW-Motorträger im Frequenzbereich von 0 bis 1 kHz . . . . .	134
8.4.2. PKW-Motorträger im Frequenzbereich von 10 bis 11 kHz . . . . .	142
8.5. Beispiel 4: Windkraftanlage . . . . .	152
8.5.1. Entwicklungspunkt 0,12 Hz . . . . .	154
8.5.2. Entwicklungspunkt 50 Hz . . . . .	157
8.5.3. Entwicklungspunkt 80 Hz . . . . .	159
<b>9. Ausblick und Zusammenfassung</b>	<b>163</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>173</b>
A.1. Mathematische Grundlagen . . . . .	173
A.1.1. FOURIER-Transformation . . . . .	173
A.1.2. LAPLACE-Transformation . . . . .	174
A.2. Herleitung: Ausgangs-Krylov-Unterraum zweiter Ordnung . . . . .	176
A.3. Sortierabbildung . . . . .	177
A.4. Zerlegung von Matrizen in symmetrische und schiefsymmetrische Anteile	178
A.5. Inverse der Steifigkeitsmatrix . . . . .	178
A.6. Herleitung der trägheitsbefreienden Projektionsmatrix . . . . .	179
A.7. Übertragungsfunktion zweiter Ordnung mit Frequenzverschiebung . . . . .	180
A.8. Herleitung: Realtransformation von komplexen Vektoren . . . . .	181
A.9. Herleitung: LM-FBS für reduzierte Subsysteme . . . . .	181