

BMBF - Verbundforschungsvorhaben

***Komforterhöhung
durch verbesserte Vorhersagen
von lokalen und globalen Schwingungen
in Schiffsaufbauten
- VibKom -***

Teilprojekt 1

Förderkennzeichen 03SX214

**Vorhersage des dynamischen Verhaltens
globaler und lokaler Schiffsstrukturen**

Arbeitskomplex I

Globale Schiffsschwingungen

Schlussbericht

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Sven-Erik Rosenow

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Günther Schlottmann

Rostock, September 2008



LTMM

Universität Rostock

Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik

Lehrstuhl für Technische Mechanik / Maschinendynamik

Prof. Dr.-Ing. habil Günther Schlottmann

Albert Einstein Str. 2

18059 Rostock

Tel.: 0381-4989380, Fax: -4989382

guenther.schlottmann@uni-rostock.de

Inhaltsverzeichnis	I
0. Zielstellung und Lösungsweg im Gesamtvorhaben VibKom	V
1. Einleitung	1
2. Dynamisches Verhalten schiffbaulicher Strukturen	3
2.1 Beschreibung des Schwingungsverhaltens	3
2.2 Vorhersage des Schwingungsverhaltens	4
2.2.1 Globale Schiffsstrukturen.....	5
2.2.1.1 Rechnerische Ermittlung des Eigenschwingungsverhaltens	5
2.2.1.2 Rechnerische Ermittlung erzwungener Schwingungen	6
2.2.2 Lokale Schiffsstrukturen	8
2.3 Dämpfungsverhalten schiffbaulicher Strukturen	8
2.4 Experimentelle Untersuchungen zum Dämpfungsverhalten schiffbaulicher Strukturen in der Fachliteratur	10
2.4.1 Angewandte Verfahren zur Dämpfungsidentifikation.....	10
2.4.2 Identifizierte Dämpfungsparameter.....	12
2.4.2.1 Globale Schiffsschwingungen	12
2.4.2.2 Lokale Schiffsschwingungen	18
2.4.2.3 Zusammenfassung zur Dämpfungsidentifikation.....	20
3. Zielstellung, Objekte und Vorgehensweise	22
3.1 Zielstellung der Untersuchung	22
3.2 Objekte der Untersuchung.....	23
3.3 Vorgehensweise	24
4. Mathematische Modellierung mechanischer Systeme	27
4.1 Dynamische Grundgleichungen.....	27
4.1.1 Das gedämpfte System.....	27
4.1.2 Das ungedämpfte System	28
4.2 Die modale Entkopplung der Systemgleichungen	29
4.2.1 Die modale Entkopplung des proportional gedämpften Systems	29
4.2.2 Die modale Entkopplung des allgemein gedämpften Systems im Zustandsraum.....	31
4.3 Beschreibung der Dämpfung	32
4.3.1 Modelle der Dämpfung	32
4.3.1.1 Viskose Dämpfung	33

4.3.1.2	Strukturelle Dämpfung	33
4.3.1.3	Vergleich von viskoser und struktureller Dämpfung	34
4.3.2	Verteilung der Dämpfung	34
4.3.2.1	Proportionale Dämpfungsverteilung	35
4.3.2.2	Nicht-proportionale Dämpfungsverteilung	36
4.3.2.3	Vergleich proportionaler und nicht-proportionaler Dämpfungsverteilung.....	39
4.4	Das Übertragungsverhalten mechanischer Systeme	47
4.4.1	Das Übertragungsverhalten im Frequenzbereich für determinierte Eingangsgrößen	48
4.4.1.1	Das Übertragungsverhalten des ungedämpften Systems	49
4.4.1.2	Das Übertragungsverhalten des allgemein gedämpften Systems.....	49
4.4.1.3	Das Übertragungsverhalten des proportional gedämpften Systems ...	50
4.4.2	Das Übertragungsverhalten im Frequenzbereich für stochastische Eingangsgrößen	51
4.4.2.1	Kennfunktionen stochastischer Signale.....	51
4.4.2.2	Übertragungsverhalten im Frequenzbereich	53
5.	Ermittlung des dynamischen Verhaltens mechanischer Systeme	54
5.1	Experimentelle Modalanalyse	56
5.1.1	Klassische Modalanalyse	56
5.1.1.1	Experimentelle Ermittlung der Frequenzgangmatrix	56
5.1.1.2	Parameteridentifikation	59
5.1.2	Operative Modalanalyse	62
5.1.2.1	Experimentelle Ermittlung von Strukturantworten	62
5.1.2.2	Parameteridentifikation	64
5.2	Rechnerische Modalanalyse.....	70
5.3	Vergleich rechnerischer und experimenteller Modalanalyse	70
5.4	Berechnung erzwungener Schwingungen	74
5.5	Zusätzliche Möglichkeiten des Modellvergleiches	75
6.	Untersuchungen globaler Schiffsstrukturen	76
6.1	Rechnerische Ermittlung des Eigenschwingungsverhaltens	76
6.1.1	Containerschiff Typ CV2500	76
6.1.2	RoRo-Schiff FSG**0	79
6.1.3	RoRo-Schiff FSG**1	81

6.2	Anwendbarkeit von experimentellen Identifikationsverfahren in Abhängigkeit von Untersuchungsbedingungen	82
6.3	Anwendung der klassischen Modalanalyse unter Werftbedingungen	83
6.3.1	Durchführung der experimentellen Untersuchungen	83
6.3.2	Ergebnisse der klassischen Modalanalyse	86
6.3.2.1	Containerschiffe Typ CV2500.....	86
6.3.2.2	RoRo-Schiff FSG**0	91
6.4	Anwendung der operativen Modalanalyse unter Werftbedingungen	94
6.4.1	Durchführung der experimentellen Untersuchungen	94
6.4.2	Ergebnisse der operativen Modalanalyse unter Werftbedingungen	96
6.4.2.1	Containerschiffe Typ CV2500.....	96
6.4.2.2	RoRo-Schiff FSG**0	100
6.5	Anwendung der operativen Modalanalyse bei Probefahrt	102
6.5.1	Durchführung der experimentellen Untersuchungen	102
6.5.2	Ergebnisse der operativen Modalanalyse unter Probefahrtbedingungen ...	105
6.5.2.1	Containerschiffe Typ CV2500.....	105
6.5.2.2	RoRo-Schiff FSG**0	108
6.5.2.3	RoRo-Schiff FSG**1	110
6.6	Anwendung der operativen Modalanalyse im Liniendienst.....	112
6.6.1	Durchführung der experimentellen Untersuchungen	112
6.6.2	Ergebnisse der operativen Modalanalyse im Liniendienst.....	113
6.6.2.1	Containerschiff Typ CV2500.....	113
6.7	Auswertung von Hochfahrvorgängen, Containerschiffe Typ CV2500.....	115
6.7.1	Probefahrt.....	115
6.7.2	Liniendienst.....	117
6.8	Zusammenfassung und Bewertung schiffsspezifischer Ergebnisse	119
6.8.1	Dämpfung	119
6.8.2	Eigenfrequenzen.....	122
6.9	Bewertung der Umgebungsbedingungen	127
6.10	Bewertung der verwendeten Verfahren der Modalanalyse.....	127
6.11	Rechnerische Vorhersage des Zwangsschwingungsverhaltens	128
6.11.1	Stoßanregung klassische Modalanalyse	129
6.11.2	Erregung durch die Hauptmaschine	130
6.11.3	Propelleranregung	133
6.11.4	Strukturmodifikation FE-Modell.....	134

7. Zusammenfassung	138
8. Literaturverzeichnis	142
A Anhang	147
A4 Anhang zum Kapitel 4.....	147
A6 Anhang zum Kapitel 6.....	147