

FORTSCHRITT-
BERICHTE

VDI

Dipl.-Ing. Torsten Herrmann, Hamburg

**Parametrische Identifikation
nichtklassisch gedämpfter
Finite Element Modelle im
Zeitbereich**

Reihe **11**: Schwingungstechnik

Nr. **234**

HLuHB Darmstadt



14022830

VDI VERLAG

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis	V
Liste der Bezeichnungen	IX
1 Einleitung	1
1.1 Überblick zum Bereich der Identifikation großer Systemmodelle	1
1.1.1 Aufgabe der Systemidentifikation	1
1.1.2 Benennung und Einordnung bestehender Identifikationsverfahren . .	2
1.2 Zielsetzung und Inhalt der vorliegenden Arbeit	7
1.2.1 Beschreibung der Zielsetzung der Arbeit	7
1.2.2 Anwendungsbereich des Identifikationskonzepts	8
1.2.3 Wesentliche Elemente und Inhalte der Arbeit	9
2 Methoden zur Identifikation dynamischer Modelle im Zeitbereich	13
2.1 Modelle zur Beschreibung des mechanischen Systems und der Messungen .	13
2.1.1 Einführung	13
2.1.2 System- und Meßmodelle	13
2.1.3 Darstellung von Störungen und Unsicherheiten in den Messungen .	19
2.2 Schätzverfahren zur Identifikation im Zeitbereich	22
2.2.1 Einleitung	22
2.2.2 Beispiele für Residuen	25
2.2.3 Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate	27
2.2.4 Bayes'sche Schätztheorie	28

2.2.5	Kalmanfilterung als Bayes'scher Zustandsschätzer	30
3	Methode auf der Basis der kleinsten Fehlerquadrate von modalen Lösungs- fehlern (MLSQ-Verfahren)	35
3.1	Einführung	35
3.2	Beschreibung der Vorgehensweise	38
3.2.1	Aufbau des unvollständigen Modalmodells	39
3.2.2	Rekonstruktion eines vollständigen Meßzustandsvektors	40
3.2.3	Verbesserung der Parameterschätzwerte	43
4	Erweiterte Kalmanfilterung	46
4.1	Einführung	46
4.2	Konventionelle erweiterte Kalmanfilterung	47
4.2.1	Erweitertes Schätzproblem und nichtlineare Filterung	47
4.2.2	Linearisierungskonzept Taylorreihe in der nichtlinearen Filterung	50
4.3	Modale Formulierung der erweiterten Kalmanfilterung	54
4.3.1	Einführung zum Konzept	54
4.3.2	Erweitertes Schätzproblem für lineare FE-Modelle	55
4.3.3	Modale Vorhersage der bedingten stochastischen Antwort	58
4.3.4	Filtergleichungen in modaler Form	66
4.3.5	Modale Vorhersage und Filterung im Gesamtkonzept	68
4.3.6	Ausblick zur Behandlung von physikalisch nichtlinearen Systemen	73
4.4	Methoden zur Konvergenzverbesserung der erweiterten Kalmanfilterung	76
5	Berechnung von unvollständigen Modalmodellen in iterativen Identifi- kationsverfahren	82
5.1	Forderungen an die Eigenproblemlösung bei der Identifikation von FE- Modellen	82
5.2	Unterraumiterationsmethode für gedämpfte Systeme	85
5.2.1	Inverse Vektoriteration	85
5.2.2	Lösung des Unterraumproblems	87
5.2.3	Anmerkungen zur numerischen Effizienz	88
6	Numerische Anwendungsbeispiele	91

6.1	Allgemeines	91
6.2	Verifikation der Verfahren in Simulationsstudien	91
6.2.1	MLSQ-Verfahren	94
6.2.2	Erweiterte Kalmanfilterung in modaler Formulierung	95
6.2.3	Methode zur Verbesserung des Konvergenzverhaltens der Erweiterten Kalmanfilterung	100
6.3	Anwendung auf ein Identifikationsproblem	101
6.3.1	Einführung	101
6.3.2	Untersuchte Teststruktur und deren Modellierung	103
6.3.3	Meßinformation	105
6.3.4	Identifikationsergebnisse und deren Diskussion	107
6.3.5	Einsatz des MLSQ-Verfahrens als Startverfahren	111
7	Schlußfolgerungen und Ausblick	113
A	Statistische Eigenschaften von Schätzverfahren	116
B	Weitere statistische Schätzverfahren	119
B.1	Gewichtete kleinste Fehlerquadrate	119
B.2	Hilfsvariablen Methoden	120
B.3	"Maximum-Likelihood" Methode	120
C	Systematischer Schätzfehler der Methode der kleinsten Fehlerquadrate	124
D	Statistisch äquivalente Linearisierung und nichtlineare Filterung	126
D.1	Linearisierte System- und Meßgleichung	126
D.2	Vorhersage- und Filtergleichungen	128
E	Lineare Dämpfungsmodelle	129
E.1	Kenngrößen für linear gedämpfte Systeme	129
E.2	Lineare, viskoelastische Dämpfungsmodelle	133
F	Finite Element Formulierung einer Fügestelle	137
F.1	Einleitung	137
F.2	Elementmatrizen in lokalen Koordinaten	138

G Prinzipielle Konvergenzeigenschaften des MLSQ-Schätzers	144
Literaturverzeichnis	147