

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Literaturübersicht	2
Mehrkörpersysteme	2
Elastische Mehrkörpersysteme	3
Mehrkörpersysteme und Computeralgebra	4
Spannungsberechnung	5
Rechnerische Lebensdauervorhersage	6
1.2 Ziel und Aufbau der Arbeit	7
1.3 Nomenklatur	9
2 Modellbildung mechanischer Systeme	11
2.1 Ersatzsysteme der Mechanik	12
2.2 Mehrkörpersysteme	13
2.3 Elastische Mehrkörpersysteme	14
3 Kinematik elastischer Mehrkörpersysteme	17
3.1 Kinematik eines elastischen Körpers	17
3.2 Finite-Elemente-Ansatz	20
3.3 Bernoulli-Balkenelement	23
3.4 Relativkinematik elastischer Mehrkörpersysteme	28
Elastischer Körper in einem Mehrkörpersystem	29
Formeln der Relativkinematik	30

4	Dynamik elastischer Mehrkörpersysteme	33
4.1	Prinzip von D'Alembert	34
	Virtuelle Arbeit der Massenträgheitskräfte	35
	Virtuelle Arbeit der Verformungen	37
	Virtuelle Arbeit der Volumenkräfte und der eingepprägten Kräfte	38
4.2	Ortsintegralmatrizen	39
4.3	Steifigkeitsterme	42
4.4	Datenmodell für elastische Körper	46
4.5	Bewegungsgleichungen elastischer Mehrkörpersysteme	49
	Spannungsberechnung	52
4.6	Behandlung nichtholonomer Systeme und kinematischer Schleifen	53
5	Ein Programmsystem für elastische Mehrkörpersysteme	56
5.1	Einsatz der Computeralgebra	56
5.2	Ablauf einer Dynamikanalyse	58
5.3	Programmodule	61
	Programmpaket <i>NEWEUL</i>	61
	Preprozessor <i>FEBEAM</i>	63
	<i>MAPLE</i> -Prozedur <i>emks</i>	63
	Simulationsumgebung <i>NEWSIM</i>	63
6	Rechnerische Lebensdauervorhersage	64
6.1	Vorgehensweise bei der rechnerischen Lebensdauervorhersage	65
6.2	Konzepte zur rechnerischen Lebensdauervorhersage	67
6.3	Zähl- und Klassierverfahren	68
	Rainflow-Zählverfahren	69
6.4	Bauteilwöhlerlinie	71
	Rechnerische Abschätzung der Wöhlerlinie	72
6.5	Schadensakkumulationshypothese	73
	Palmgren-Miner Regel	74
	Modifikationen der Miner-Regel	75
	Verfahren von Zenner und Liu	77
6.6	Realisierung und Anwendungsbereich einer Lebensdauerabschätzung	78
	Bewertung der Verfahren zur Lebensdauerabschätzung	79
	Anwendungsbereich einer Lebensdauervorhersage mit der Simulation des Belastungskollektives	82

7	Anwendungen	84
	7.1 Rotierender Balken	85
	Vergleich der relativen Durchbiegung	86
	Vergleich der Spannungen	88
	7.2 Zweiachsiger Roboter	89
	7.3 Lebensdauerabschätzung eines zweiachsigen Roboters	91
	Periodische Bewegung	94
	Nichtperiodische Bewegung	96
	Auslegung des Roboters mit Hilfe der Lebensdauervorhersage	97
	7.4 Hermes Robot Arm (HERA)	98
	NLR-Benchmark-Test	101
8	Zusammenfassung	103
	Anhang	106
	A Ortsintegralmatrizen	106
	B Zeitinvariante Volumenintegrale eines Bernoulli-Balkenelementes	109
	C Geometrische Steifigkeitsmatrix eines Bernoulli-Balkenelementes	113
	D Bestimmungsgleichungen für die Klasse modal	116
	Literatur	120