

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Begriffe	V
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Stand des Wissens	3
1.3 Ziele und Aufbau der Arbeit	10
2 Modellierung und Bewegungsgleichungen eines elastischen Körpers	14
2.1 Beschreibung der Kinematik	14
2.2 Newton-Euler Gleichungen	16
2.3 Finite-Elemente Gleichungen	19
3 Numerische Umsetzung und Vereinfachungen der Bewegungsgleichungen	25
3.1 Erweiterung eines kommerziellen Finite-Elemente-Programms	25
3.2 Numerische Integration der Knotenpunktverschiebungen	27
3.3 Das Rechenverfahren bei Mehrkörpersystemen mit Führungsbewegung	29
3.3.1 Berechnung MKS-spezifischer Lasten	29
3.3.1.1 Bewegungszustand der Referenzsysteme	29
3.3.1.2 Berechnung der Zwangskräfte	32
3.3.1.3 Berechnung der Trägheitskräfte	33
3.3.2 Zusammenfügen der Einzelkörper zum Gesamtsystem	36
3.3.3 Ausprägungen des Rechenverfahrens bei MKS mit Führungsbewegung	38
3.4 Das Rechenverfahren bei Mehrkörpersystemen ohne Führungsbewegung	43
3.4.1 Berechnung MKS-spezifischer Lasten	43
3.4.1.1 Numerische Integration der Referenzsystem-Koordinaten und Berechnung der Zwangskräfte	43
3.4.1.2 Berechnung der Trägheitskräfte	47
3.4.2 Zusammenfügen der Einzelkörper zum Gesamtsystem	47
3.4.3 Ausprägungen des Rechenverfahrens bei MKS ohne Führungsbewegung	48

4 Testbeispiele	51
4.1 Balken unter harmonischer Normalkraftanregung	52
4.2 Balkenmodell eines Rotorblatts	57
4.2.1 Stationärer Betrieb	57
4.2.2 Transienter Betrieb	59
4.3 Kurbeltrieb I	61
4.3.1 Integration vollständig gekoppelter Bewegungsgleichungen	63
4.3.2 Anwendung des entwickelten Rechenverfahrens	68
4.4 Kurbeltrieb II	71
4.5 Manipulatormodell	81
4.6 Elastischer Winkel im Schwerfeld	89
5 Hinweise für den Anwender	99
5.1 Anforderungen an das Finite-Elemente-Programm	99
5.2 Weitere Software-Unterstützung bei der Umsetzung des Rechenverfahrens	101
5.3 Aufwand zur Erstellung von Benutzer-Unterprogrammen	102
5.3.1 MKS mit Führungsbewegung unter Annahme der 'Rückwirkungsfreiheit'	103
5.3.2 MKS mit Führungsbewegung ohne Annahme der 'Rückwirkungsfreiheit'	104
5.3.3 MKS ohne Führungsbewegung	105
5.4 Rechenzeitaufwand	108
5.4.1 Direkte Integration der Knotenpunktverschiebungen	108
5.4.2 Lineare bzw. geometrisch nichtlineare Modellierung elastischer Körper	109
5.4.3 Rechnung mit bzw. ohne Annahme der 'Rückwirkungsfreiheit'	114
5.5 Bemerkungen zur Annahme der 'Rückwirkungsfreiheit'	116
6 Zusammenfassung und Ausblick	122
7 Literatur	125