

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
2 Dynamik elastischer Körper	5
2.1 Charakterisierung elastischer Modellkörper	5
2.2 Zustand	7
2.2.1 Permutationen	8
2.2.2 Beispiel: Rotierende Welle	10
2.3 Energie	11
2.3.1 Kinetische Energie	12
2.3.1.1 Beispiel: Rotierende Welle	13
2.3.2 Potential	14
2.3.2.1 Beispiel: Rotierende Welle	15
2.4 Bewegungsgleichungen	16

2.4.1	Die Zentralgleichung	16
2.4.2	Energiemethoden	17
2.4.3	Impuls-/Drallmethode(n)	19
2.4.4	Hamilton-Prinzip	24
2.4.5	Galerkin-Näherung	26
2.4.6	Erweiterte Galerkin-Näherung	27
2.4.7	Ritzsche Näherung – Lagrangesche Gleichungen	28
2.4.8	Beurteilung der Methoden	30
3	Mehrkörpersysteme	32
3.1	Starre Mehrkörpersysteme (MKS)	32
3.2	Elastische Mehrkörpersysteme (EMKS)	36
3.3	Subsysteme	36
3.4	Linearisierung	37
3.5	Zum Ritzansatz	40
4	Programmbausteine	42
4.1	Topologie	42
4.2	Kinematik	47
4.2.1	Lokale Jacobimatrizen	49
4.2.2	Globale Jacobimatrizen	50

4.2.2.1	Kette	50
4.2.2.2	Baum	52
4.3	Kinetik starrer MKS	54
4.3.1	Gauß-Elimination	55
4.3.2	Zwangskräfte – Globale Orthogonalität	58
4.3.3	Rekursion – Lokale Orthogonalität	62
4.3.3.1	Kette	63
4.3.3.2	Baum	65
4.3.3.3	Schließen kinematischer Schleifen	65
4.4	Kinetik elastischer MKS	69
4.4.1	Elastische Freiheitsgrade	71
4.4.2	Bewegungsgleichungen – Rekursion	72
4.5	Ausgewählte elastische Körper	77
4.5.1	Rayleigh - Bernoulli - Balken	78
4.5.2	Timoshenko – Balken	86
4.5.3	Kreisring	88
4.5.4	Platten und Schalen – Finite Elemente	89
4.5.4.1	Ermittlung der Eigenfunktionen	91
4.5.4.2	Allgemeines und spezielles Eigenwertproblem	92
4.5.4.3	Numerische Auswertung	96

4.5.4.4	Quadratische Entwicklung	103
4.5.4.4.1	Verschiebung, Verzerrung, Stoffgesetz und Gleichgewicht.	103
4.5.4.4.2	Beispiel Balken	106
4.6	Ausblick	108
4.6.1	Algorithmen	108
4.6.2	Programmiersprachen	110
5	Satellitendynamik	113
5.1	Rotierende elastische Raumstation	114
5.1.1	Kinematik	114
5.1.2	Kinetik	116
5.1.3	"Dynamical Stiffening"	118
5.1.4	Stabilität	120
5.2	Lageregelung eines Raumteleskops	123
5.2.1	Bewegungsgleichungen	124
5.2.2	Strukturinstabilitäten	125
5.2.3	Regelung	127
5.3	Satellit mit beweglichen Sonnenpaneelen	129
5.3.1	Eigenschwingungen von Sonnenpaneelen	130
5.3.1.1	Eigenschwingungen – Eigenwertproblem	132

5.3.1.2	Symmetrische Paneelanordnung	133
5.3.2	Gesamtsystem	134
5.3.3	Regelung	141
6	Rotierende Wellen	144
6.1	Einzelwelle	145
6.1.1	Kinematik	145
6.1.1.1	Lage und Geschwindigkeit	145
6.1.1.2	Minimalgeschwindigkeit, Funktionalmatrix	147
6.1.2	Kinetik	148
6.1.2.1	Bewegungsgleichungen im mitdrehenden Referenzsystem	148
6.1.2.2	Bewegungsgleichungen in beliebigem Referenzsystem	150
6.1.3	Modalreduktion	152
6.2	Mehrwellensysteme	154
6.3	Geregelte Rotoren	160
6.3.1	Vorüberlegungen	161
6.3.1.1	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	161
6.3.1.2	Zustandsregler – Ausgangsregler	164
6.3.1.3	Kollokation – Dislokation	167
6.3.2	Regelung	170

6.3.2.1	(Passive) Lager	171
6.3.2.2	Elektromagnetisches Stellglied	173
6.3.2.3	Hydraulisches Stellglied	186
7	Roboterdynamik	200
7.1	Eingliedriger Roboter	201
7.1.1	Bewegungsgleichungen, Biegung in zwei Ebenen	202
7.1.2	Bewegungsgleichungen, Biegung in einer Richtung	206
7.1.3	Regelung	209
7.2	Dynamik elastischer Knickarmroboter	211
7.2.1	Modellbildungs- und Regelungsprobleme des Gesamtkonzepts	212
7.2.2	Modelle für elastische Roboter	214
7.2.3	Bahnplanung – Bahnsteuerung	227
7.2.3.1	Bahnoptimierung	229
7.2.3.1.1	Allgemeiner Fall.	229
7.2.3.1.2	Zeitoptimierung.	234
7.2.3.1.3	Sequentielle Manöver – Parallele Rechnung.	241
7.2.3.1.4	Punkt-zu-Punkt-Bahnen.	242
7.3	Regelung elastischer Knickarmroboter	243
7.3.1	Vorsteuerung	243

7.3.1.1	Referenzbewegung	243
7.3.1.2	Quasistatische Korrekturen	243
7.3.2	Regelung – Rückkopplung	251
7.3.2.1	Bahnregelung	252
7.3.2.2	Kraftregelung	253
7.3.2.3	Kombinierte Bahn–Kraftregelung	254
7.3.2.4	Verifizierung	256
7.4	Laborroboter	262
7.4.1	Konstruktionsdaten	262
	Literaturverzeichnis	267
	Namen– und Sachverzeichnis	278