

Habilitationsschrift  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktoringenieur habitatus (Dr.-Ing. habil.)

# Theorie zur Modellbildung und Simulation räumlicher nichtlinear verformbarer Mechanismen in konvektiver Metrik

vorgelegt der Fakultät für Maschinenbau  
der Technischen Universität Ilmenau  
von Dr.-Ing. Daniel Franitza  
aus Spremberg

26. April 2006

Gutachter:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. K. Zimmermann  
Technische Universität Ilmenau
2. Prof. Dr. rer. nat. habil. K.-H. Modler  
Technische Universität Dresden
3. Prof. Dr.-Ing. B. Corves  
RWTH Aachen

wissenschaftlicher Vortrag/  
Kolloquium am: 23.03.2007

Bearbeitungsnummer: MB 155

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1. Nomenklatur und verwendete Variablen . . . . .	7
1.1.1. Indizes . . . . .	7
1.1.2. Tensoren und Matrizen . . . . .	7
1.1.3. Ableitungsoperatoren . . . . .	7
<b>2. Konvektive Balkentheorie</b>	<b>9</b>
2.1. Balkenkinematik . . . . .	9
2.1.1. Definition der Balkengeometrie im 3D . . . . .	9
2.1.2. Geschwindigkeiten kinematischer Größen . . . . .	12
2.1.3. Die kinematischen Zwangsbedingungen . . . . .	13
2.1.4. Die Deformationsgeschwindigkeit . . . . .	14
2.2. Balkenkinetik . . . . .	18
2.2.1. Definition der Schnittgrößen . . . . .	18
2.2.2. Definition der Schnittgrößengeschwindigkeiten . . . . .	20
2.2.3. Die Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	23
2.2.4. Die Zuwuchsform der Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	29
2.3. Formulierung in globalen Koordinaten . . . . .	33
2.3.1. Kinematische Variablen in globalen Koordinaten . . . . .	33
2.3.2. Kinetische Variablen in globalen Koordinaten . . . . .	35
2.3.3. Behandlung großer räumlicher Rotationen . . . . .	37
2.4. Materialmodellierung . . . . .	41
<b>3. Nichtlineare Balkendynamik</b>	<b>51</b>
3.1. Das dynamische Anfangs-Randwertproblem . . . . .	51
3.1.1. Identifikation der Terme der klassischen nichtlinearen Dynamik . . . . .	53
3.2. Ortsintegration im dynamischen AWP . . . . .	60
3.2.1. Ortsintegration mit EULER-Vorwärts am dynamischen Zugstab . . . . .	60
3.3. Zeitintegration dynamischer Anfangswertaufgaben . . . . .	64
3.3.1. Betrachtung der Energiebilanz . . . . .	64
3.3.2. Konstruktion höherer Zeitintegrationsroutinen für dynamische Anfangswertaufgaben . . . . .	64

<b>4. Kinematische Bindungen</b>	<b>69</b>
4.1. Klassische Gelenke . . . . .	69
4.1.1. Gelenksystematik . . . . .	69
4.1.2. Beschreibung von Elementbindungen . . . . .	70
4.1.3. Beschreibung von Randbedingungen . . . . .	79
4.1.4. Konstruktion der Gesamtsteifigkeitsmatrix . . . . .	81
<b>5. Das Programm KOBA3D</b>	<b>83</b>
5.1. Struktur des Programmsystems . . . . .	83
5.1.1. Modellierung und Eingabe . . . . .	83
5.1.2. Numerische Lösung des Anfangs-Randwertproblems . . . . .	84
5.1.3. Ausgaben und Postprozessor . . . . .	86
5.2. Programmanwendungen und Beispiele . . . . .	88
5.2.1. Kreisbiegung . . . . .	88
5.2.2. Elementkopplungen und hybride Mechanismen . . . . .	91
5.2.3. Stabilitätsuntersuchungen . . . . .	94
5.2.4. Dynamische Simulationen . . . . .	96
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>99</b>
6.1. Zusammenfassung . . . . .	99
6.2. Ausblick . . . . .	100
6.2.1. Konstruktive Anwendungen . . . . .	100
6.2.2. Synthese . . . . .	101
<b>A. Anhang</b>	<b>103</b>
A.1. Konvektive Betrachtungsweise . . . . .	103
A.2. Objektive Spannungsgeschwindigkeiten . . . . .	105
A.3. Die LEGENDRE-Transformation . . . . .	105
A.4. Rechenregeln mit Permutations- und KRONECKERSymbolen . . . . .	107
A.5. Kurzdokumentation zu KobaInput . . . . .	108
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>111</b>
<b>Index</b>	<b>115</b>