

Berechnung des geometrisch
nichtlinearen Verhaltens von Blattfedern,
sowie die Betrachtung der
hyperelastischen Werkstoffmodelle unter
Einsatz des Finite-Element Programms
MECHANICA

DIPLOMARBEIT

Fachhochschule Lausitz

Fachbereich:

Architektur / Bauingenieurwesen / Versorgungstechnik

eingereicht von: Michael Koark

geboren am: 12.04.1979

Matrikel-Nummer: 242064

Referenten: Prof. Dr. Claus König

Prof. Dr. Hartwig Hübel

FH Lausitz

Korreferent: Diplom. Ing. Paul Kloninger

ibb Konstruktionsdienstleistungs-GmbH

Thema: Berechnung des geometrisch nichtlinearen Verhaltens von Blattfedern, sowie die Betrachtung der hyperelastischen Werkstoffmodelle unter Einsatz des Finite-Element Programms MECHANICA

Themenbereich: Festigkeitslehre, Werkstoffkunde, FEM-Berechnung

Aufgabenstellung: Die Auslegung und die Berechnung von tragenden Strukturen müssen oft im Hinblick auf das zu erwartende nichtlineare Verhalten unter statischer Last erfolgen. Von Interesse ist zum einen der Einfluss der geometrischen Nichtlinearität. Eine Blattfeder oder eine Schenkelfeder können sich geometrisch nichtlinear verhalten, ohne dass eine Plastizität eintritt, d. h. die Dehnungen sind bei relativ großen Verschiebungen klein. Die Problematik der sogenannten großen Verformungen kann mit dem Tool MECHANICA erfasst werden, wobei die Vernetzung ausschließlich mit Volumenelementen erfolgen darf. In diesem Zusammenhang sollen die rechnerischen Abweichungen anhand von Referenzmodellen untersucht werden, da in der Praxis oft nur mit Balken- bzw. Stabelementen gerechnet werden kann.

Des Weiteren sollen im Rahmen der Arbeit auch hyperelastische Werkstoffmodelle wie der Polynomansatz, Neo-Hooke, Arruda-Boyce, Yeoh, Mooney-Rivlin etc. untersucht werden. Hier soll zunächst eine sorgfältige theoretische Recherche stattfinden, um die entsprechenden Grundlagen für die Validierung unter MECHANICA zu liefern. Auch in diesem Teil der Arbeit sollen Referenzmodelle aufgebaut werden, die allerdings einen Vergleich mit anderen FE-Programmen ermöglichen.

Die übrigen Nichtlinearitäten wie z. B. die Plastizität, die Kontaktproblematik oder eine Instabilität wie das Knicken oder das Beulen sollen nicht im Rahmen der Arbeit beleuchtet werden.

Das Ziel der Arbeit ist eine methodische Ausarbeitung der nichtlinearen Modellbildung für den Einsatz des FE-Programms Pro/MECHANICA.

Termin: ab sofort
Dauer: 12 Wochen

Ihre Voraussetzungen:

- Kenntnisse in Werkstoffkunde und Strukturmechanik
- Grundkenntnisse in FEM
- Grundkenntnisse in Pro/ENGINEER Wildfire 4.0
- Grundkenntnisse in Pro/MECHANICA

Unser Unternehmen: ibb Konstruktionsdienstleistungs- GmbH mit Hauptsitz in Petersberg bei Fulda. Weitere Informationen finden Sie unter www.ibb-konstruktion.de

Inhaltsverzeichnis

Deckblatt	I
Vorwort	II
Thema	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VI
Formelverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
2 Strukturmechanik	2
2.1 Lineare Theorie	2
2.2 Nichtlineare Theorien	3
2.3 Numerische Lösungsmethoden	5
3 Die Finite Element-Methode (FEM)	6
3.1 Allgemeine Betrachtung	6
3.2 Mathematischer Hintergrund	7
3.3 Nichtlineare Berechnungsverfahren in der FEM	8
3.4 Vergleich zwischen klassischen Lösungsverfahren und der FEM	9
4 Simulation mit Pro/ENGINEER Advanced Mechanica	10
4.1 Allgemeines zum Programm	10
4.2 Funktionen und Spezifikationen	11
4.3 Berechnungsalgorithmus	12
4.4 Allgemeine Vorgehensweise in der Modellbildung und Berechnung	12
4.5 Preprozessor Pro/ENGINEER	13
4.6 Konvergenzmethoden in Mechanica	13
4.7 Statische Analysen starker Verformungen in Mechanica	15
5 Geometrisch nichtlineares Verhalten von Federn	18
5.1 Einteilung der Federelemente	19
5.2 Berechnungsgrundlagen	20
5.3 Biegebeanspruchte Federn (Biegefedern)	22
5.4 Allgemeine Festlegungen zur Berechnung	22
5.5 Von Mises Vergleichsspannung	24
5.6 Analytische Berechnung ausgewählter Federelemente	25
5.6.1 Lösungen aus der Literatur	25
5.6.2 Lineare Berechnung	27

5.6.3	Geometrisch nichtlineare Berechnung	40
5.7	Numerische Vergleichsrechnung	45
5.8	Numerische Berechnung mit Mechanica	46
5.8.1	Modellbildung	46
5.8.2	Berechnungsvorbereitung	47
5.8.3	Lineare Berechnung	50
5.8.4	Nichtlineare Berechnung	68
5.8.5	Zusammenfassung	87
5.9	Vergleich der analytischen und numerischen Berechnung	94
5.9.1	Lineare Berechnung	95
5.9.2	Nichtlineare Berechnung	101
6	Hyperelastische Werkstoffmodelle	107
6.1	Gummiartige Materialien	108
6.1.1	Wichtige Vertreter der Polymere	110
6.1.2	Eigenschaften von Elastomeren	113
6.1.3	Prüfen von Elastomeren	118
6.2	Hyperelastische bzw. Entropie-elastische Materialmodelle	123
6.3	Materialkonstanten der Elastomere für die Materialmodelle	130
6.4	Definition der Materialmodelle in Mechanica	133
6.4.1	Cloropren-Polymer (CR)	135
6.4.2	Isopren-Polymer; Naturkautschuk (NR_55pphCB)	137
6.5	Rechengeschwindigkeit	144
7	Zusammenfassung und Ausblick	148
7.1	Geometrisch nichtlineares Verhalten von Federn	148
7.2	Hyperelastische Materialmodelle	149
7.3	Ausblick	150
	Literaturverzeichnis	151
	Abbildungsverzeichnis	154
	Tabellenverzeichnis	158
	Anhang	161
	Erklärung	194