

# Inhaltsverzeichnis

<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Thermoviskoelastische Kopplungsphänomene . . . . .	1
1.2 Stand der Forschung . . . . .	2
1.3 Ziel- und Aufgabenstellung . . . . .	5
1.4 Gliederung der Arbeit . . . . .	6
<b>2 Darstellung viskoelastischer Stoffgesetze</b>	<b>8</b>
2.1 Differentielle Formulierung . . . . .	8
2.2 Beispiellösungen . . . . .	10
2.2.1 Maxwell-Körper . . . . .	10
2.2.2 Kelvin-Voigt-Körper . . . . .	12
2.2.3 Linearer Standardkörper . . . . .	12
2.3 Verallgemeinerung . . . . .	14
2.4 Integrale Formulierung . . . . .	15
2.5 Formulierung mit Inneren Variablen . . . . .	16
2.6 Stoffgesetz bei periodischer Beanspruchung . . . . .	17
2.7 Dreidimensionale viskoelastische Stoffgesetze . . . . .	20
<b>3 Thermorheologisch einfache Stoffe</b>	<b>23</b>
3.1 Phänomenologie der Temperaturabhängigkeit . . . . .	23
3.2 Materialdaten für Polyamid 6.6 (PA66) . . . . .	25
3.3 Stoffgesetze für thermorheologisch einfache Materialien . . . . .	31
<b>4 Thermodynamik und Kontinuumsmechanik</b>	<b>33</b>
4.1 Bilanzgleichungen . . . . .	33
4.2 Ableitung thermodynamisch konsistenter Materialgleichungen . . . . .	36
4.2.1 Das Grundproblem . . . . .	36
4.2.2 Thermodynamische Potentiale . . . . .	37
4.2.3 Materialgleichungen der Thermoelastizität . . . . .	38
<b>5 Grundgleichungen der Thermoviskoelastizität</b>	<b>42</b>
5.1 Materialgleichungen der Thermoviskoelastizität . . . . .	42
5.1.1 Formulierung mittels Gedächtnisintegralen . . . . .	43
5.1.2 Innere Variablen . . . . .	44
5.2 Ein Funktional für die freie Energie . . . . .	46
5.3 Kontrolle der Dissipationsleistungsdichte . . . . .	49
5.4 Zusammenstellung der Grundgleichungen . . . . .	52
<b>6 Entwicklung eines Finite-Elemente-Verfahrens</b>	<b>55</b>
6.1 Äquivalente Integral-Darstellung des Problems . . . . .	55
6.2 Inkrementelle Materialgleichungen . . . . .	58
6.2.1 Spannung . . . . .	58

6.2.2	Entropie . . . . .	59
6.2.3	Dissipationsleistungsdichte . . . . .	61
6.3	Übergang zum FE-Verfahren . . . . .	62
6.4	Lösen des nichtlinearen Gleichungssystems . . . . .	65
6.5	Hinweise zur programmtechnischen Umsetzung . . . . .	67
6.5.1	Anfangswerte der Rekursion . . . . .	67
6.5.2	Vermeidung numerischer Schwierigkeiten . . . . .	68
6.5.3	Abbruchkriterien der Iteration . . . . .	69
<b>7</b>	<b>Einfache Beispielrechnungen</b>	<b>72</b>
7.1	Geometrie und Materialwerte . . . . .	72
7.2	Quasistatischer Zug-Druck-Wechselversuch . . . . .	73
7.2.1	Spannungsgesteuerter Versuch . . . . .	74
7.2.2	Dehnungsgesteuerter Versuch . . . . .	76
7.2.3	Demonstration des "Memory-Effekts" . . . . .	78
7.3	Dissipatives Aufheizen bei periodischer Beanspruchung . . . . .	80
<b>8</b>	<b>Weitere Beispiele</b>	<b>85</b>
8.1	Grundgleichungen des unendlich langen Zylinders . . . . .	85
8.2	Das Knauss/Losi - Problem . . . . .	87
8.3	Das Lockett/Morland - Problem . . . . .	91
<b>9</b>	<b>Untersuchungen zum numerischen Verhalten</b>	<b>96</b>
9.1	Vorbemerkungen zum ausgewählten Beispiel . . . . .	96
9.2	Lösungsverhalten . . . . .	101
9.2.1	Abbruchkriterien der Iteration . . . . .	101
9.2.2	Variation der Schrittweite $\Delta t$ . . . . .	102
9.2.3	Lösen des gekoppelten thermomechanischen Gleichungssystems . . . . .	103
9.2.4	Vorgabe unterschiedlicher Fehlertoleranzen . . . . .	104
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>106</b>
<b>A</b>	<b>Mathematische Hilfsmittel</b>	<b>108</b>
A.1	Definition von Abkürzungen . . . . .	108
A.2	Zeitliche Ableitungen . . . . .	110
<b>B</b>	<b>Inkrementelle Formulierung</b>	<b>111</b>
	Literaturverzeichnis	114