

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Vorbetrachtungen</b>	<b>1</b>
1.1 Einleitung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
1.3 Aktueller Stand der Forschung	4
<b>2. Kinematik deformierbarer Festkörper</b>	<b>9</b>
2.1 Allgemeines	9
2.2 Deformationsgradient und Verzerrungstensor	9
2.3 Zerlegungen des Deformationsgradienten	10
2.3.1 Thermisch-mechanische Zerlegung	11
2.3.2 Elastisch-inelastische Zerlegung	12
2.3.3 Volumetrisch-isochore Zerlegung	13
2.4 Spannungs- und Verzerrungsvariable	13
Mechanische und thermische Spannungsleistung	13
Duale Variable	14
2.5 Statische Vordeformationen	16
<b>3. Bilanzgleichungen der klassischen Kontinuumsmechanik</b>	<b>19</b>
3.1 Allgemeines	19
3.2 Massenbilanz	19
3.3 Impulsbilanz	19
3.4 Drehimpulsbilanz	20
3.5 Energiebilanz	20
3.6 Entropiebilanz und Dissipationsungleichung	20
3.7 Dimensionslose Form der Bilanzgleichungen	22
<b>4. Bestehende Materialmodelle für Polymere</b>	<b>24</b>
4.1 Vorbemerkung	24
4.2 Thermokinematische Zwangsbedingungen	24
4.3 Finite Thermoelastizität	26
4.3.1 Entropieelastizität	27
4.3.2 Spezielle Phänomene	29
Thermoelastische Inversion	31
Joule-Gough Effekt	32
4.4 Lineare Viskoelastizität	34
4.4.1 Konzepte der allgemeinen Theorie	34
Maxwell Elemente	35
Kelvin Elemente	38

4.4.2	Materialfunktionen der linearen Viskoelastizität	41
	Relaxations- und Kriechfunktion	42
	Dynamische Moduli und Nachgiebigkeiten	43
4.4.3	Fraktionelle Viskoelastizität	45
	Konzept der fraktionellen Differentiation	46
	Das Grundmodell der fraktionellen Viskoelastizität	47
	Dynamische Moduli und Nachgiebigkeiten	49
	Relaxations- und Kriechspektren	50
	Thermomechanische Konsistenz	51
	Schlußbemerkung	52
4.4.4	Approximation kontinuierlicher Spektren	52
4.4.5	Zum Konzept der thermorheologisch einfachen Stoffe	56
	Verschiebungsprinzipien	60
	Schlußbemerkung	62
4.4.6	Ermittlung des Relaxationsspektrums aus den dynamischen Moduli	63
	Fraktionelles Dämpfungselement	65
	Maxwell Element	66
<b>5.</b>	<b>Thermomechanische Experimente an gefüllten Elastomeren</b>	<b>67</b>
5.1	Allgemeine Bemerkungen	67
	Einteilung thermomechanischer Materialeigenschaften	68
	Auswahl des Werkstoffes und Untersuchungsmethode	71
5.2	Materialverhalten bei finiten Deformationen und kleinen Geschwindigkeiten	73
5.2.1	Mullins-Effekt	74
5.2.2	Monotone Zug- und Druckversuche bei Raumtemperatur	77
5.2.3	Zyklische Versuche bei Raumtemperatur	79
	Plastizität: Bleibende Dehnungen oder Gleichgewichtshysteresis	81
5.2.4	Zugversuche bei unterschiedlichen Temperaturen	81
5.2.5	Zyklische Versuche bei unterschiedlichen Temperaturen	84
5.3	Materialverhalten bei kleinen Deformationen unter dynamischen Belastungen	86
	Dynamische Moduli bei nichtlinearem Materialverhalten	87
	Dynamische Nachgiebigkeiten bei nichtlinearem Materialverhalten	88
	Voruntersuchungen und Probengeometrie	89
5.3.1	Das thermomechanische Verhalten der dynamischen Moduli	91
5.4	Zusammenstellung und Diskussion der beobachteten Materialeigenschaften	97
<b>6.</b>	<b>Formulierung einer allgemeinen Theorie zur Stoffmodellierung</b>	<b>98</b>
6.1	Struktur der Theorie	98
6.1.1	Motivation der Theorie an einem nichtlinearen rheologischen Modell	99
6.1.2	Entwicklung der Materialtheorie für dreidimensionale Prozesse	102
	Kinematische Variablen und zugehörige Spannungen (Duale Variablen)	103

Struktur der freien Energie	105
Auswertung der Dissipationsungleichung	105
Zur Formulierung thermomechanisch konsistenter Fließregeln	108
Zusammenstellung der allgemeinen Materialgleichungen	111
6.1.3 Struktur des Modells auf der therm. mechan. Zwischenkonfiguration	112
6.1.4 Struktur des Stoffmodells auf der Referenzkonfiguration	114
6.2 Statisches Verhalten bei finiten Deformationen	115
6.2.1 Allgemeines	115
6.2.2 Gleichgewichtselastizität	116
Auswertung der Modellgleichungen	117
6.2.3 Gleichgewichtshysteresis	120
Verhalten bei Zug-Druckbelastungen	121
Verhalten bei Scherbelastungen	123
Vollst. Modell für die Gleichgewichtsspannung bei Zug-Druckbelastungen	126
6.2.4 Überspannung	127
Modellverhalten bei schnellen und langsamen Prozessen	128
Modellverhalten bei monotonen Zug-Druckbelastungen	129
Steuerung der logarithmischen Verzerrungsrate	130
Abhängigkeit der Viskosität von der Spannung	131
Abhängigkeit der Viskosität von der Deformation	135
Darstellung der Kennlinien durch ein Spektrum	137
Verhalten bei Relaxationsvorgängen	139
Darstellung der Relaxation durch Spektren	140
Zur Temperaturabhängigkeit der Überspannung	144
6.2.5 Modellrechnungen	148
Abschließende Bewertung	155
6.2.6 Mullins-Effekt	155
Beschreibung durch Strain Amplification Faktor	157
Beschreibung durch Schädigungsvariable	158
Evolution der Schädigungsvariable und Modellrechnungen	159
6.3 Dynamisches Verhalten bei kleinen Deformationen	161
6.3.1 Vorbetrachtung	161
6.3.2 Ansätze zur Beschreibung der Amplitudenabhängigkeit (Payne-Effekt)	167
Das Modell der idealen Elastoplastizität	168
Das mikromechanische Modell von Kraus	171
Viskoelastizität mit prozeßabhängiger Viskosität (Thixotropie)	173
Abschließende Bemerkung	175
6.3.3 Dreidimensionales Modell zur Darstellung amplitudenabhängiger Moduli	176
Entwicklung einer Evolutionsgleichung für die Strukturvariable	177
Linearisierung der allgemeinen Materialgleichungen	181

Berechnung des stationären Wertes der Strukturvariablen	184
Spannungstensor der statisch vordeformierten Konfiguration	185
Analytische Berechnung der dynamischen Moduli	185
6.3.4 Ermittlung der Materialparameter	187
Bestimmung der Skalierungsfunktion	187
Bestimmung der Steifigkeitsparameter und Viskositäten	190
6.3.5 Modellrechnungen	194
<b>7. Abschließende Bemerkungen</b>	<b>203</b>
<b>8. Literatur</b>	<b>207</b>
<b>9. Stichwortverzeichnis</b>	<b>216</b>