

# Inhaltsverzeichnis

<b>Bezeichnungen</b> . . . . .	XI
<b>1 Einleitung und Überblick</b> . . . . .	1
<b>Teil A Elementare Theorie des Materialverhaltens</b> . . . . .	7
<b>2 Rheologische Modelle</b> . . . . .	9
2.1 Grundmodelle . . . . .	9
2.2 Viskoelastisches Verhalten . . . . .	10
2.3 Plastisches Verhalten . . . . .	20
2.4 Viskoplastisches Verhalten . . . . .	26
<b>3 Phänomenologische Beschreibung von Materialverhalten</b> . . . . .	29
3.1 Prozeßklasse und Ausgabefunktional . . . . .	29
3.2 Experimente . . . . .	30
3.3 Verhalten der rheologischen Modelle . . . . .	31
3.4 Bearbeitung der Probe . . . . .	32
3.5 Zustand . . . . .	33
3.6 Zustandsgleichung und Zustandsübergang . . . . .	34
3.7 Zustandsbeschreibung der rheologischen Modelle . . . . .	35
3.8 Klassifikation des Materialverhaltens . . . . .	37
3.9 Existenz von Geschichtsfunktionalen . . . . .	39
3.10 Die Nollschen Theorien der einfachen Stoffe . . . . .	44
3.11 Experimente an semielastischen Proben . . . . .	45
3.12 Zusammenfassung . . . . .	45
<b>4 Passivität und Stabilität</b> . . . . .	47
4.1 Passivität . . . . .	47
4.2 Stabilität von Ruhelagen . . . . .	49
4.3 Andere Deutung der Stabilitätsdefinition . . . . .	51
4.4 Gleichgewicht als notwendige Stabilitätsbedingung . . . . .	51
4.5 Existenz einer Mulde als hinreichende und notwendige Stabilitätsbedingung . . . . .	52
4.6 Das Zufuhrkriterium als hinreichende Stabilitätsbedingung . . . . .	53
4.7 Zusammenhang zwischen Stabilität und Passivität . . . . .	54
4.8 Das Energiekriterium als hinreichende Stabilitätsbedingung . . . . .	55

4.9	Quasistatische Arbeit . . . . .	55
4.10	Anwendung auf spezielle Stoffgesetze . . . . .	57
4.11	Konstitutive Ungleichungen . . . . .	62
4.12	Zusammenfassung . . . . .	63
<b>Teil B Kontinuumstheorie . . . . .</b>		<b>65</b>
<b>5</b>	<b>Lineare Algebra . . . . .</b>	<b>66</b>
5.1	Vektorräume . . . . .	66
5.2	Lineare Abbildungen von Vektorräumen . . . . .	67
5.3	Invertierbare Abbildungen . . . . .	71
5.4	Die Abbildungen $\text{Lin}(\mathcal{F}, \mathcal{F})$ . . . . .	74
5.5	Die Abbildungen $\text{Lin}(\mathcal{F}, \mathcal{F}^*)$ . . . . .	78
5.6	Inneres Produkt . . . . .	79
5.7	Tensoren . . . . .	81
5.8	Bemerkungen zum Kalkül . . . . .	85
<b>6</b>	<b>Kontinuumsmechanik und -thermodynamik . . . . .</b>	<b>88</b>
6.1	Messungen . . . . .	88
6.2	Koordinaten . . . . .	91
6.3	Felder . . . . .	92
6.4	Körper . . . . .	95
6.5	Lokale Plazierung . . . . .	97
6.6	Masse . . . . .	99
6.7	Bewegung und Verformung . . . . .	100
6.8	Beobachterwechsel . . . . .	103
6.9	Dynamik . . . . .	105
6.10	Kinetik . . . . .	110
6.11	Hitze . . . . .	111
6.12	Thermodynamik . . . . .	112
6.13	Beispiel . . . . .	113
<b>7</b>	<b>Ergänzungen . . . . .</b>	<b>115</b>
7.1	Innere Energie . . . . .	115
7.2	Lokaler Plazierungswechsel . . . . .	116
7.3	Verwendung einer Bezugsplazierung . . . . .	119
7.4	Differentiation allgemeiner sowie isotroper Funktionen . . . . .	122
7.5	Generalisierte Verzerrungen und Spannungen . . . . .	130
7.6	Verzerrungs- und Beanspruchungsgeschwindigkeiten . . . . .	134
7.7	Koaxiale Verformungsprozesse . . . . .	139
7.8	Symmetrien und Potentiale . . . . .	139
7.9	Wahl der unabhängigen Variablen . . . . .	143
7.10	Theorien kleiner Verformungen . . . . .	145
7.11	Formelsammlung zur Kinematik und Dynamik . . . . .	147
7.12	Übungsbeispiel . . . . .	148

<b>Teil C Grundlagen der Materialtheorie</b>	157
<b>8 Die Theorie der einfachen Stoffe</b>	158
8.1 Wahl der Variablen	158
8.2 Passivität	162
8.3 Das thermoelastische passive Materialelement	165
8.4 Variablentausch	171
8.5 Zwangsbedingungen	172
8.6 Klassifikation von Materialverhalten	176
8.7 Symmetrie elastischer und thermoelastischer Materialelemente	177
8.8 Symmetrie elastischer Steifigkeiten	181
8.9 Experimente	183
<b>9 Konstruktion mechanischer Stoffgleichungen I: Die Hintereinanderschaltung</b>	189
9.1 Kinematik des inelastischen Gleitens	189
9.2 Dynamik des inelastischen Gleitens	191
9.3 Mehrere Gleitmechanismen	194
9.4 Allgemeine inelastische Verformung	197
9.5 Fließregel	200
9.6 Weitere Formen der Darstellung	200
9.7 Formelsammlung zur Hintereinanderschaltung elastischer und inelastischer Verformung	205
9.8 Symmetrien des elastischen und inelastischen Verhaltens	206
9.9 Einfachste isotrope Ansätze	210
9.10 Die momentane inelastische Konfiguration als Zustandsvariable	213
9.11 Inkrementelle isotrope Stoffgleichungen	214
9.12 Integration spezieller Ansätze	216
9.13 Koaxiale rotationssymmetrische Prozesse	219
9.14 Einfache Scherung	223
9.15 Kleine elastische Verzerrungen (Hookesches Gesetz)	232
9.16 Genäherte Integration bei langsamer Verformung eines Maxwell- Materials	233
9.17 Unechte Hintereinanderschaltung	236
<b>10 Konstruktion mechanischer Stoffgleichungen II: Die Parallelschaltung</b>	241
10.1 Viskoses Material	241
10.2 Parallelschaltung der Beanspruchungen	246
10.3 Isotrope Viskoelastizität	250
10.4 Kompliziertere Schaltungen	254
<b>11 Weiterer Ausbau der Theorie</b>	264
11.1 Passivität thermomechanischer Materialelemente	264
11.2 Hintereinanderschaltung und Parallelschaltung mit thermischen Variablen und Verfestigung	267

11.3	Stoffgleichungen mit eingeschränktem Anwendungsbereich . . . . .	275
11.4	Zur formalen Übertragbarkeit der rheologischen Modelle . . . . .	284
11.5	Inkrementelle Nichtlinearität . . . . .	285
11.6	Starrplastische Materialmodelle . . . . .	292
<b>Teil D Sondergebiete der Materialtheorie . . . . .</b>		<b>297</b>
<b>12</b>	<b>Materielle Stabilität . . . . .</b>	<b>298</b>
12.1	Thermomechanische Stabilität des Kontinuums . . . . .	298
12.2	Notwendige Bedingungen für die mechanische Stabilität homogener Körper . . . . .	307
12.3	Stabilität thermoelastischer Körper . . . . .	313
12.4	Polykonvexität . . . . .	318
12.5	Infinitesimale Polykonvexität . . . . .	325
12.6	Stabiles und metastabiles Gleichgewicht . . . . .	336
12.7	Phasenerfall beim Fluid . . . . .	343
12.8	Phasenerfall beim Festkörper . . . . .	347
12.9	Stabilität viskoelastischer Körper . . . . .	350
12.10	Stabilität plastischer Körper . . . . .	353
<b>13</b>	<b>Homogenisierung . . . . .</b>	<b>361</b>
13.1	Mittelwerte . . . . .	361
13.2	Wirksame Steifigkeit . . . . .	366
13.3	Einschließungssätze . . . . .	377
13.4	Nichtelastisches Verhalten . . . . .	382
<b>14</b>	<b>Beschreibung spezieller Verhaltensweisen . . . . .</b>	<b>385</b>
14.1	Integraldarstellungen in der Viskoelastizität . . . . .	385
14.2	Kriechverfestigung . . . . .	400
14.3	Thixotropie und Rheopexie . . . . .	404
14.4	Kriechbruch . . . . .	408
14.5	Plastizität und Verfestigung . . . . .	413
14.6	Memory-Effekt . . . . .	424
<b>15</b>	<b>Besonderheiten realer Materialien . . . . .</b>	<b>429</b>
15.1	Gummielastizität . . . . .	429
15.2	Viskoelastisches Verhalten von Polymeren . . . . .	439
15.3	Kriechen von Metallen . . . . .	446
15.4	Granulare Materialien . . . . .	449
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>		<b>454</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>		<b>461</b>