

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung in plastisches Werkstoff- und Strukturverhalten</b>	1
1.1	Plastische Reserve	1
1.2	Grundbegriffe plastischen Werkstoffverhaltens	3
1.2.1	Elastisches Verhalten	3
1.2.2	Deviatorischer Spannungszustand	4
1.2.3	Fließfläche	5
1.2.4	Fließgesetz	8
1.2.5	Verfestigungsgesetz	9
1.2.6	Prager-Ziegler Verfestigung	11
1.2.7	Besseling-Modell	13
1.2.8	Chaboche-Modell	14
	Literatur	16
<b>2</b>	<b>Strukturverhalten bei veränderlicher Belastung</b>	19
2.1	Örtliche und direktionale Spannungsumlagerung	19
2.2	Struktur-Ratcheting anhand des Zweistab-Modells	21
2.3	Einfluss kinematischer Verfestigung	24
2.4	Ratcheting-Interaktions-Diagramm	26
2.5	Beispiele für Ratcheting	28
2.5.1	Dreistab-Modell	28
2.5.2	Mehrachsiges Ratcheting	29
2.5.3	Bree-Rohr	35
2.5.4	Durchlaufträger	39
2.5.5	Querschnitts-Interaktion	43
2.6	Mythen zu Ratcheting	45
2.7	Restspannungen	46
2.8	Lebensdauer	48
2.8.1	Ermüdung	48
2.8.2	Dehnungsakkumulation	49

---

2.9	Berechnungsmethoden	51
2.9.1	Fiktiv elastische Berechnung und Korrekturfaktoren	52
2.9.2	Inkrementelle elastisch-plastische Analyse	53
2.9.3	Twice-Yield Methode	55
2.9.4	Direkte Methoden	56
	Literatur	58
<b>3</b>	<b>VFZT bei monotoner Belastung</b>	61
3.1	Transformierte interne Variable	61
3.1.1	Grundlegende Annahmen für das Werkstoffgesetz	61
3.1.2	Umformulierung des Werkstoffgesetzes	62
3.1.3	Modifizierte elastische Analyse	67
3.1.4	Einachsiger Spannungszustand	69
3.1.5	Ebener Spannungszustand	70
3.2	Fließzone	72
3.3	Transformierte interne Variable bei radialer Belastung	73
3.4	Beispiele für radiale Belastung	74
3.4.1	Zugstab mit Querschnittssprung	74
3.4.2	Biegeträger mit Sandwich-Querschnitt	77
3.5	Transformierte interne Variable bei nichtradialer Belastung	81
3.6	Beispiele für nichtradiale Belastung	83
3.6.1	Direktionale Spannungsumlagerung aufgrund elastischer Inkompressibilität	83
3.6.2	Direktionale Spannungsumlagerung trotz elastischer Inkompressibilität	87
3.6.3	Lochscheibe	90
3.6.4	Dickwandiger Zylinder unter Innendruck	93
	Literatur	97
<b>4</b>	<b>VFZT bei zyklischer Belastung</b>	99
4.1	Natur des Einspielzustandes	99
4.2	Dehnschwingbreite bei plastischem Einspielen	101
4.3	Beispiele für Dehnschwingbreite bei plastischem Einspielen	103
4.3.1	Zweistab-Modell	103
4.3.2	Mehrachsiges Ratcheting	105
4.3.3	Bree-Rohr	107
4.3.4	Dickwandiger Zylinder unter Temperaturtransiente	109
4.4	Akkumulierte Dehnungen bei elastischem Einspielen	113
4.4.1	Identifikation des elastischen und des plastischen Teilvolumens	113
4.4.2	Abschätzung der transformierten internen Variable	114

---

4.5	Beispiele für akkumulierte Dehnungen bei elastischem Einspielen . . . . .	118
4.5.1	Zweistab-Modell . . . . .	118
4.5.2	Mehrachsiges Ratcheting . . . . .	127
4.5.3	Bree-Rohr . . . . .	133
4.6	Akkumulierte Dehnungen bei plastischem Einspielen . . . . .	136
4.6.1	Identifikation des elastischen und des plastischen Teilvolumens .	137
4.6.2	Abschätzung der transformierten internen Variable . . . . .	137
4.7	Beispiele für akkumulierte Dehnungen bei plastischem Einspielen . . . . .	141
4.7.1	Zweistab-Modell . . . . .	141
4.7.2	Mehrachsiges Ratcheting . . . . .	143
4.7.3	Bree-Rohr . . . . .	145
4.7.4	Dickwandiger Zylinder unter Temperaturtransiente und Innendruck . . . . .	148
4.8	VFZT bei Mehr-Parameter-Belastung . . . . .	153
4.8.1	Ermittlung der Natur des Einspielzustandes . . . . .	153
4.8.2	Sukzessive Projektion für elastisches Einspielen . . . . .	154
4.8.3	Sukzessive Projektion für plastisches Einspielen . . . . .	155
4.8.4	Beispiel Dreistab-Modell . . . . .	155
	Literatur . . . . .	160
<b>5</b>	<b>VFZT bei temperaturabhängigen Materialdaten . . . . .</b>	<b>163</b>
5.1	Lineare kinematische Verfestigung . . . . .	163
5.1.1	Temperaturabhängiger Verfestigungsmodul . . . . .	164
5.1.2	Temperaturabhängige Fließgrenze . . . . .	167
5.1.3	Grundgleichungen für Zugstab . . . . .	170
5.2	VFZT bei anisothermer monotoner Belastung . . . . .	171
5.3	VFZT bei anisothermer zyklischer Belastung . . . . .	172
5.4	Dehnschwingbreite bei plastischem Einspielen . . . . .	173
5.5	Beispiele für Dehnschwingbreite bei plastischem Einspielen . . . . .	176
5.5.1	Zweistab-Modell . . . . .	176
5.5.2	Mehrachsiges Ratcheting . . . . .	178
5.5.3	Bree-Rohr . . . . .	178
5.5.4	Dickwandiger Zylinder unter Temperaturtransiente . . . . .	181
5.6	Akkumulierte Dehnungen bei elastischem Einspielen . . . . .	181
5.6.1	$Y^*$ liegt in $\omega_2$ . . . . .	184
5.6.2	$Y^*$ liegt in $\omega_1$ . . . . .	185
5.6.3	$Y^*$ liegt in $\omega_4$ . . . . .	185
5.7	Beispiele für akkumulierte Dehnungen bei elastischem Einspielen . . . . .	186
5.7.1	Zweistab-Modell . . . . .	186
5.7.2	Mehrachsiges Ratcheting . . . . .	194
5.7.3	Bree-Rohr . . . . .	195
5.8	Akkumulierte Dehnungen bei plastischem Einspielen . . . . .	196

---

5.9	Beispiele für akkumulierte Dehnungen bei plastischem Einspielen . . . . .	198
5.9.1	Zweistab-Modell . . . . .	198
5.9.2	Mehrachsiges Ratcheting . . . . .	205
5.9.3	Bree-Rohr . . . . .	206
5.9.4	Dickwandiger Zylinder unter Temperaturtransiente und Innendruck . . . . .	208
	Literatur . . . . .	211
<b>6</b>	<b>Overlay-Modell . . . . .</b>	213
6.1	Multilineare kinematische Verfestigung . . . . .	213
6.2	Layer ohne Verfestigung . . . . .	214
6.3	Layer mit linearer kinematischer Verfestigung . . . . .	215
6.3.1	Grundgleichungen zur Bestimmung der Materialparameter . . . . .	216
6.3.2	1. Segment des Gesamtzustandes . . . . .	220
6.3.3	2. Segment des Gesamtzustandes . . . . .	221
6.3.4	3. Segment des Gesamtzustandes . . . . .	222
6.3.5	Materialparameter bei elastischer Inkompressibilität . . . . .	224
6.3.6	Materialparameter bei trilinearem Werkstoffgesetz . . . . .	225
6.3.7	Materialparameter bei quadrilinearem Werkstoffgesetz . . . . .	227
6.4	Trilinearisierung realer Spannungs-Dehnungs-Kurven . . . . .	229
	Literatur . . . . .	233
<b>7</b>	<b>VFZT bei multilinear Verfestigung . . . . .</b>	235
7.1	Theorie . . . . .	235
7.1.1	Verhalten der einzelnen Layer . . . . .	236
7.1.2	Gesamtzustand . . . . .	237
7.1.3	Einachsiger Spannungszustand . . . . .	245
7.2	Beispiele . . . . .	245
7.2.1	Zweistab-Modell . . . . .	245
7.2.2	Mehrachsiges Ratcheting . . . . .	247
7.2.3	Bree-Rohr . . . . .	256
7.2.4	Stutzen . . . . .	260
	Literatur . . . . .	271
<b>8</b>	<b>Traglastberechnung . . . . .</b>	273
8.1	Berechnungsschritte . . . . .	273
8.2	Asymptotischer Zustand . . . . .	274
8.3	Beispiele für asymptotische Zustände . . . . .	276
8.3.1	Ein Element mit zweiachsigem Spannungszustand . . . . .	276
8.3.2	Biegebalken und Fachwerkstäbe . . . . .	278
8.3.3	Dickwandiges Rohr unter Innendruck . . . . .	279
8.3.4	Lochscheibe . . . . .	280

---

8.4	Durchplastiziertes Tragwerk	282
8.5	Beispiele für Traglast durchplastizierter Tragwerke	286
8.5.1	Ein Element mit zweiachsigem Spannungszustand	286
8.5.2	Biegebalken	288
8.5.3	Dickwandiges Rohr unter Innendruck	297
8.5.4	Lochscheibe	299
8.6	Nicht durchplastiziertes Tragwerk	302
8.7	Beispiele für Traglast nicht durchplastizierter Tragwerke	305
8.7.1	Statisch unbestimmter Biegebalken	306
8.7.2	Lochscheibe mit freien Längsrändern	308
8.8	Querschnitts-Tragfähigkeit	309
8.8.1	Bekannte Drehachse	309
8.8.2	Drehachse nicht bekannt	311
	Literatur	316
	<b>Sachverzeichnis</b>	317