

Inhalt

1 Stabtragwerke	1
1.1 Theoretische Grundlagen	1
1.1.1 Einleitung	1
1.1.2 Kraftgrößenverfahren	4
1.1.3 Weggrößenverfahren	5
1.1.3.1 Drehwinkelverfahren	6
1.1.3.2 Matrizielles Weggrößenverfahren	7
1.1.4 Einflusslinien	11
1.1.5 Kondensationstechniken	17
1.1.5.1 Allgemeines	17
1.1.5.2 Statische Kondensation und Substrukturtechnik	18
1.1.5.3 Kinematische Kondensation	19
1.1.6 Nichtlineares Verhalten von Stabtragwerken	19
1.1.6.1 Geometrische Nichtlinearität	19
1.1.6.2 Physikalische Nichtlinearität	22
1.1.6.3 Nichtlineare Iterationsverfahren	25
1.2 Beispiele für Linienträger	27
1.2.1 Einfeldträger	27
1.2.2 Gerberträger	31
1.2.3 Momenteneinflusslinie eines Durchlaufträgers	36
1.2.4 Zustandsgrößen eines gevouteten Trägers	44
1.2.5 Zustandsgrößen eines Durchlaufträgers mit Vouten	47
1.2.6 Gevouteter Durchlaufträger unter Temperaturänderung	52
1.2.7 Durchlaufträger auf WINKLER-Bettung	55
1.2.8 Durchlaufträger auf Einzelfedern	58
1.3 Beispiele für ebene Systeme	62
1.3.1 Ebenes Fachwerk	62
1.3.2 Weggrößenverfahren am Beispiel eines Rahmens	66
1.3.3 Einfeldrahmen mit schrägen Stielen	72
1.3.4 Unverschieblicher Hallenrahmen	76
1.3.5 Einflusslinie eines Kastenquerschnitts	79
1.3.6 Hallenrahmen mit starren Riegelbereichen	82
1.3.7 Stabwerk mit gekrümmtem Teilsystem	87
1.3.8 Kreisbogen bei Temperaturbelastung	90
1.3.9 Bauzustand bei einer Balkenbrücke	94
1.3.10 Vorspannung und Auflagerverschiebung	99
1.4 Beispiele für räumliche Systeme	106

VIII Inhaltsverzeichnis

1.4.1	Einfaches räumliches Fachwerk	106
1.4.2	Größeres räumliches Fachwerk	108
1.4.3	Trägerrost	111
1.4.4	Räumlicher Rahmen	115
1.4.5	Räumlicher Rahmen mit Fachwerkstäben	123
1.5	Beispiele zur geometrischen Nichtlinearität	128
1.5.1	Einführungsbeispiel: Lineare Stabilität	128
1.5.2	Lineare Stabilität eines ebenen Stabtragwerks	132
1.6	Beispiele zur physikalischen Nichtlinearität	139
1.6.1	Hallenrahmen	139
1.6.2	Zweistöckiger Hallenrahmen	142
1.6.3	Physikalisch nichtlineares ebenes Fachwerksystem	147
1.6.4	Physikalisch nichtlineares Stabsystem	151
1.6.5	System mit physikalisch nichtlinearen Federn	155
1.6.6	Physikalisch nichtlineares Stabsystem	157
1.7	Beispiele zur statischen Kondensation	161
1.7.1	Statische Kondensation nach dem Weggrößenverfahren	161
1.7.2	Primär- und Sekundärkonstruktion	163
1.7.3	Rechnergestützte statische Kondensation	166
1.7.4	Zustandsgrößen infolge erzwungener Biegelinien	172
1.8	Anhang	174
1.8.1	Abkürzungen und Definitionen	174
1.8.2	Transformation	174
1.8.3	Ebener Fachwerkstab	175
1.8.4	Räumlicher Fachwerkstab	176
1.8.5	Beidseitig elastisch eingespannter Biegestab	177
1.8.6	Biegestab mit Momentengelenk rechts	178
1.8.7	Biegestab mit Momentengelenk links	179
1.8.8	Biegestab mit Vouten	180
1.8.9	Trägerrostelement	181
1.8.10	Elastisch eingespannter Biegestab nach Th. II. Ordnung	182
1.8.11	Räumlicher Biegestab im lokalen Koordinatensystem	183
1.8.12	Räumlicher Biegestab im globalen Koordinatensystem	185
1.8.13	Biegestab mit Momentengelenk rechts nach Th. II. Ordnung	186
1.8.14	Biegestab mit Momentengelenk links nach Th. II. Ordnung	187
1.8.15	Programmbeschreibungen	188
1.9	Literatur zum Kapitel Stabtragwerke	210

2 Seile	211
2.1 Einleitung	211
2.2 Mechanische Eigenschaften von Seilen	211
2.2.1 Seilarten	211
2.2.2 Dehilverhalten von Seilen	212
2.3 Grundlagen der Seilstatik	214
2.3.1 Annahmen	214
2.3.2 Differentialgleichungen für das ebene Seil	215
2.3.3 Allgemeine Form der Seilgleichung	216
2.4 Seil unter Eigengewicht (Kettenlinie)	217
2.5 Seil unter beliebiger Belastung	221
2.5.1 Vertikale und horizontale Belastungen	222
2.5.1.1 Genaue Seilgleichung	222
2.5.1.2 Approximation der Seilgleichung	223
2.5.2 Kombinierte vertikale und horizontale Belastung	226
2.5.2.1 Genaue Seilgleichung	226
2.5.2.2 Approximation der Seilgleichung	227
2.6 Matrzielle Formulierung von Seilelementen	229
2.6.1 Ebenes Seilelement mit zwei Knoten	229
2.6.1.1 Kinematik, Gleichgewicht und Werkstoffgesetz	230
2.6.1.2 Elementmatrizen	231
2.6.2 Räumliches Seilelement mit zwei Knoten	232
2.6.3 Anwendung der matrziellen Formulierungen	233
2.7 Berechnungsbeispiele	233
2.7.1 Horizontales Einzelseil	234
2.7.1.1 Lastfall 1: Eigengewicht und Eislast	234
2.7.1.2 Lastfall 2: Gleichstreckenlast	237
2.7.1.3 Lastfall 3: Gleichstreckenlast mit variabler Seilausgangslänge	240
2.7.1.4 Lastfall 4: Trapezlast und Einzellast	242
2.7.1.5 Lastfall 5: Gleichstreckenlast und Federlagerung	246
2.7.2 Schräges Einzelseil	249
2.7.2.1 Lastfall 1: Eigengewicht und Eislast	250
2.7.2.2 Lastfall 2: Gleichstreckenlast, Vorspannung, Temperatur	254
2.7.2.3 Lastfall 3: Quadratische Streckenlast	258
2.7.2.4 Lastfall 4: Kombinierte Streckenlasten	262
2.7.2.5 Lastfall 5: Kombinierte Einzellasten	265
2.7.3 Bestimmung der Seilausgangslänge	268
2.7.3.1 Beispiel 1: Horizontales Seil unter Eigengewicht	269
2.7.3.2 Beispiel 2: Horizontales Seil unter Streckenlast	269
2.8 Berechnungen mit dem Programm InfoCAD	270
2.9 Beschreibung des Programms SEIL	272
2.9.1 Programmstart und Hauptfenster	272
2.9.2 Dateneingabe	273
2.9.2.1 Geometrie und Material	274
2.9.2.2 Auflagerbedingungen	274

X Inhaltsverzeichnis

2.9.2.3	Lastfälle	275
2.9.2.4	Steuerparameter	275
2.9.3	Berechnung	276
2.9.4	Ergebnisdarstellung	276
2.10	Literatur zum Kapitel Seile	278
2.11	Variablenverzeichnis zum Kapitel Seile	279
3	Flächentragwerke	283
3.1	Grundlagen	283
3.1.1	Mechanische und mathematische Grundlagen	283
3.1.1.1	Das HOOKEsche Gesetz	284
3.1.1.2	Die Dehnungs-Verschiebungs-Beziehungen	285
3.1.1.3	Beziehungen zwischen kartesischen und Polarkoordinaten	286
3.1.2	Scheibe	287
3.1.2.1	Idealisierungen und Annahmen	288
3.1.2.2	Herleitung der Scheibengleichung	288
3.1.2.3	Kreisscheibe unter rotationssymmetrischer Belastung	290
3.1.3	Platte	294
3.1.4	Kreisring	296
3.1.5	Zylinderschale	297
3.1.6	Kugelschale	299
3.1.7	Kegelschale	300
3.1.8	Das Kraftgrößenverfahren zur Berechnung zusammengesetzter, rotationssymmetrischer Flächentragwerke	301
3.2	Einführende Beispiele	304
3.2.1	Scheibe	305
3.2.1.1	Kreisringscheibe mit aufgezwungener Verformung	305
3.2.1.2	Kreisscheiben unter Temperaturbeanspruchung	307
3.2.2	Platte	308
3.2.2.1	Kreisringplatte mit Randlast	308
3.2.2.2	Kreisringplatte mit Zwischenlagerung	310
3.2.3	Kreisring	312
3.2.3.1	Kreisring mit Radiallast	312
3.2.3.2	Kreisringe mit Vertikallast	313
3.2.4	Zylinder	315
3.2.4.1	Zylinderschale mit Einzelspannglied	315
3.2.4.2	Silo mit Wasserfüllung	318
3.2.5	Kugel	320
3.2.5.1	Kugeldach	320
3.2.5.2	Gasdruckbehälter	324
3.2.6	Kegel	326
3.2.6.1	Kegel unter Temperaturbeanspruchung	326
3.2.6.2	Kegel mit Wasserfüllung und unterschiedlichen Lagerungen	329
3.3	Zusammengesetzte Tragwerke	332
3.3.1	Kreisplatte mit Rndlagerung auf Kreisring	333
3.3.2	Zylinder mit kalter Teilstellung	336

3.3.3	Zylindrischer Wasserbehälter mit hängendem, kegelförmigem Boden	340
3.3.4	Zylindrisches Bauwerk mit Kuppeldach und federnd gelagerter Bodenplatte	344
3.3.5	Zylindrisches Bauwerk mit Deckplatte und Mittelstütze	349
3.3.6	Zylindrischer Wasserbehälter mit stehendem, kegelförmigem Boden	354
3.3.7	Zylindrischer Turm mit Deckplatte und drei Kreisringplatten	358
3.3.8	Kugelförmiger Behälter für Flüssiggas unter Überdruck	362
3.3.9	Kuppel in Form einer Kugelschale und einer zweiteiligen Kegelschale	368
3.3.10	Kegelstumpfförmiger Wasserbehälter auf zylindrischem Schaft	373
3.3.11	Hängender, wassergefüllter Kegel mit Randlagerung auf Kreisringplatte	379
3.3.12	Ringträger mit Hohlkastenquerschnitt unter Innendruck	382
3.4	Programmbeschreibung ftw^r	386
3.5	Hilfstafeln für rotationssymmetrische Flächentragwerke	394
3.6	Literatur zum Kapitel Flächentragwerke	427
	Sachwortverzeichnis	429