

Heinrich Rothert - Volker Gensichen

Nichtlineare Stabstatik

Baustatische Methoden
Grundlagen und Anwendungen

Mit 206 Abbildungen und 38 Tabellen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo 1987

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Aufgabe der baustatischen Berechnung	1
1.2 Grundsätzliches zum Lösungsweg	1
1.2.1 Die wichtigsten Idealisierungen der linearen Stabstatik	1
1.2.2 Zur linearen Theorie gerader Stäbe	3
2 Beispiele für lineares und nichtlineares Verhalten	8
2.1 Vorbemerkungen	8
2.2 Genaue Verschiebungsgeometrie und Gleichgewicht am verformten System	8
2.3 Genaue konstitutive Beziehungen	10
2.3.1 Dehnungs-Verschiebungs-Beziehungen	10
2.3.2 Die Elastizitätsgesetze für die Schnittgrößen	12
2.3.3 Gegenüberstellung von geometrisch linearer und nichtlinearer Theorie	12
2.4 Nichtlineares Materialverhalten	13
2.4.1 Allgemeines	13
2.4.2 Nichtlinear elastisches Materialverhalten	14
2.4.3 Idealisierende Ansätze bei Werkstoff-Nichtlinearität	15
2.5 Systeme veränderlicher Gliederung	17
2.5.1 Begriffsbestimmung	17
2.5.2 Anwendungsbeispiele	18
2.6 Stabilitätsprobleme	20
2.7 Zusammenfassung	20
3 Sicherheitsbetrachtungen	23
3.1 Allgemeine Anforderungen an Sicherheitskonzepte	23
3.2 Bemessung unter Zugrundelegung von zulässigen Spannungen	24
3.3 Bemessung unter Zugrundelegung von Traglasten	25
3.3.1 Erläuterung verschiedener Nachweiskonzepte	25
3.3.2 Globale Sicherheitsfaktoren und Teilsicherheitsfaktoren	27
3.3.3 Schlußfolgerungen	29
3.4 Wahrscheinlichkeitstheoretisch begründete Methoden	29
3.5 Vergleich verschiedener Sicherheitskonzepte an einem Beispiel	30

4 Geometrische Nichtlinearität	40
4.1 Abschätzungskriterien, Klassifizierung	40
4.1.1 Die wesentlichen Problemgruppen	40
4.1.2 Das Biegeproblem	41
4.1.3 Das Längskraftproblem	46
4.1.4 Zusammenfassung und Klassifizierung	48
4.2 Elastizitätstheorie II. Ordnung	49
4.2.1 Bezeichnungen, Voraussetzungen	49
4.2.2 Definition der Schnittgrößen	49
4.2.3 Differentialbeziehung zwischen Verschiebung und Belastung	50
4.2.4 Baustatischer Regelfall	51
4.2.5 Lösung der Differentialgleichung	52
4.2.6 Anmerkungen zur Superposition	53
4.2.7 Anwendungsbeispiel: Druckstab mit Querbelastrung	56
4.2.8 Baustatische Verfahren der Th.II.0	57
4.3 Das Verfahren von Mann (Drehwinkelverfahren) für Th.II.0	58
4.3.1 Vorbemerkungen	58
4.3.2 Voraussetzungen und Definitionen	59
4.3.3 Beziehungen zwischen Stabendmomenten und Drehwinkeln	60
4.3.4 Allgemeine Knotengleichung der Th.II.0	65
4.3.5 Allgemeiner Lösungsweg bei Systemen mit unverschieblichen Knoten	67
4.3.6 Anwendungsbeispiel: Rahmen mit unverschieblichen Knoten	69
4.3.7 Extremale Schnittgrößen	79
4.3.8 Allgemeine Netzgleichung der Th.II.0	82
4.4 Imperfektionen	89
4.4.1 Definitionen und Annahmen	89
4.4.2 Herleitung der Differentialgleichung	90
4.4.3 Lösung der Differentialgleichung	91
4.4.4 Einbeziehung von Vorverformungen in das Drehwinkelverfahren	94
4.5 Anwendungsbeispiel: Trapezrahmen mit elastisch verschieblichen Knoten	97
4.5.1 Vorbemerkungen	97
4.5.2 System und Belastung	97
4.5.3 Festeinspannmomente	98
4.5.4 Geometrisch Unbekannte, Verschiebungszustände	98
4.5.5 Gleichungssystem für die geometrisch Unbekannten	99
4.5.6 Schätzung der Längskräfte	100
4.5.7 Schnittgrößen nach Th.II.0	102
4.5.8 Lastfall Vorverformungen	105
4.5.9 Hinweise zur Bemessung	109
4.5.10 Geänderte Belastung: Vorwiegende Längskraftbeanspruchung	111
4.5.11 Anhang: Bemessungsdiagramm für Biegemoment mit Längskraft	113
4.6 Zusammenfassung	115

Stabilitätsprobleme der Elastostatik	116
5.1 Überblick	116
5.2 Erläuterung des Stabilitätsbegriffs in der Baustatik	116
5.2.1 Gegenüberstellung von Spannungs- und Stabilitätsproblemen ...	116
5.2.2 Stabilitätsprobleme als Fälle von Mehrdeutigkeit	119
5.2.3 Ursachen und Auswirkungen von Stabilitätsproblemen	119
5.3 Durchschlagprobleme	120
5.4 Verzweigungsprobleme	125
5.5 Klassische Näherung für Stabilitätsprobleme	131
5.5.1 Allgemeines	131
5.5.2 Differentialgleichungsmethode	133
5.5.3 Verfahren von Mann (Drehwinkelverfahren)	143
5.5.4 Gültigkeitsgrenzen der klassischen Näherung	148
5.6 Weitere Beispiele für Verzweigungsprobleme	149
5.6.1 Anmerkungen zur Klassifizierung	149
5.6.2 Biegedrillknicken	149
5.6.3 Kippen	151
5.6.4 Torsionsknicken	151
5.6.5 Zusammengesetzte Stabilitätsprobleme	152
5.6.6 Verzweigungsprobleme bei statisch unbestimmtem Grundzustand	156
Werkstoff-Nichtlinearität (physikalische Nichtlinearität)	159
6.1 Vorbemerkungen	159
6.2 Approximationen des nichtlinearen Werkstoffverhaltens	161
6.2.1 Übersicht	161
6.2.2 Potenzreihenansatz	162
6.2.3 Allgemeine bilineare Approximation	163
6.2.4 Sonderfall der bilinearen Approximation (linear elastisch - ideal plastisches Werkstoffgesetz)	167
6.3 Interaktion der Schnittgrößen	170
6.3.1 Grundgedanke	170
6.3.2 Biegemoment mit Längskraft	171
6.3.3 Biegemoment mit Querkraft	187
6.3.4 Längskraft mit Querkraft	189
6.3.5 Biegemoment mit Längs- und Querkraft	190
6.3.6 Vereinfachte, linearisierte Interaktionsbedingungen	191
6.4 Nachweis der Grenzlast am Gesamttragwerk	192
6.5 Fließgelenktheorie I. Ordnung	195
6.5.1 Allgemeines	195
6.5.2 Zugkraftbeanspruchung	199
6.5.3 Träger mit Streckenlast unter Berücksichtigung der M-Q-Interaktion	201
6.5.4 Berechnung der Traglast mit Hilfe der Traglastsätze	205

6.5.5	Berechnung der Traglast mit Hilfe der Elastizitätstheorie	209
6.5.6	Ermittlung von Verschiebungsgrößen	213
7	Geometrische und physikalische Nichtlinearität	215
7.1	Allgemeines	215
7.2	Vorgehensweise, dargestellt am von-Mises-Fachwerk.....	215
7.2.1	Das auf Zug beanspruchte System	215
7.2.2	Das auf Druck beanspruchte System	218
7.2.3	Zusammenfassung der Untersuchungen am von-Mises-Fachwerk	224
7.3	Allgemeines zur Fließgelenktheorie II. Ordnung	225
7.4	Schrittweise Berechnung der Traglast mit Hilfe der Differentialgleichungsmethode	226
7.4.1	System und Belastung, Vorbemerkungen	226
7.4.2	Berechnung im elastischen Bereich	227
7.4.3	Zustand bis zur Ausbildung des zweiten Fließgelenks	229
7.4.4	Untersuchung der Fließgelenkkette	234
7.5	Zusammenfassung und Vergleich von F.G.Th.II.O. mit F.G.Th.I.O. . . .	236
7.6	Das Drehwinkelverfahren für die Fließgelenktheorie II. Ordnung . . .	238
7.6.1	Vorbemerkungen	238
7.6.2	Vorzeichendefinition des Knickwinkels und des Biegemoments im Fließgelenk	240
7.6.3	Beziehungen zwischen Stabendmomenten und geometrisch Unbekannten	240
7.6.4	Allgemeine Knotengleichung	243
7.6.5	Beziehungen zwischen dem Biegemoment im Feld und den geometrisch Unbekannten	244
7.6.6	Allgemeine Momentengleichung am Fließgelenk	244
7.6.7	Lage des Fließgelenks im Feld eines Stabes bei konstanter Streckenlast und bei Vorverformungen	246
7.6.8	Anwendungsbeispiel: Zweigeschossige Stütze	247
7.6.9	Allgemeine Netzgleichung	257
7.6.10	Allgemeiner Lösungsweg für Systeme mit elastisch verschieblichen Knoten	258
7.6.11	Anwendungsbeispiel: Rahmen mit elastisch verschieblichen Knoten	261
8	Ergänzende Betrachtungen zum Tragsicherheitsnachweis, Näherungsverfahren	268
8.1	Vorbemerkungen	268
8.2	Zur Elastizitätstheorie II. Ordnung und Stabilität	268
8.2.1	Spannungs- und zugehöriges Knickproblem	268
8.2.2	Nachweis des stabilen Gleichgewichtszustands	270
8.2.3	Verzweigung bei Spannungsproblemen	274
8.2.4	Ungünstige Vorverformungen, affine Lastfälle und der Dischinger-Faktor	277

8.3	Zum Tragsicherheitsnachweis bei physikalischer Linearität	285
8.3.1	Übersicht	285
8.3.2	Verhältnis von Bemessungslast und Knicklast	286
8.3.3	Unterschied der Ergebnisse nach Th.I.O. und E.Th.II.0.	290
8.3.4	Überschlägliche Bemessung mit Hilfe der Th.I.O. und des Dischinger-Faktors.	292
8.3.5	Überschlägliche Bemessung mit Hilfe der Th.I.O. und zusätzlicher Ersatzbelastungen anstelle von Vorverformungen . . .	297
8.4	Zum Tragsicherheitsnachweis bei geometrischer und physikalischer Nichtlinearität: Ersatzstabverfahren	298
8.4.1	Vorbemerkungen.	298
8.4.2	Grundgedanke der Ersatzstabverfahren	299
8.4.3	Planmäßig zentrische Beanspruchung	300
8.4.4	Planmäßige Biegemomente.	305
8.4.5	Vor- und Nachteile der Ersatzstabverfahren	306
8.5	Zum Tragsicherheitsnachweis bei Durchschlagproblemen.	307
8.5.1	Übersicht	307
8.5.2	Die Stabkennlinie.	308
8.5.3	Traglastkurven für das von-Mises-Fachwerk	314
8.5.4	Statisch unbestimmtes Tragwerk	316
8.6	Zusammenfassung	320
	Literaturverzeichnis	322
	Sachverzeichnis	327