

Wilfried B. Krätzig · Reinhard Harte
Konstantin Meskouris · Udo Wittek

Tragwerke 2

Theorie und Berechnungsmethoden
statisch unbestimmter Stabtragwerke

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 78 Tafeln und 177 Abbildungen

 Springer

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	XV
1 Das Kraftgrößenverfahren	1
1.1 Vorbemerkungen	1
1.1.1 Tragwerksmodellierung und Aufgaben der Statik	1
1.1.2 Statisch unbestimmte Tragstrukturen	2
1.1.3 Tragverhalten bei statischer Unbestimmtheit	4
1.2 Herleitung des Verfahrens	6
1.2.1 Einführung: 2-fach statisch unbestimmtes Tragwerk	6
1.2.2 Verallgemeinerung auf n -fach statisch unbestimmte Tragwerke	11
1.2.3 Fehlermöglichkeiten, Rechenkontrollen und Fehlerdiagnose	15
1.2.4 Beispiel: Ebenes Rahmentragwerk	18
1.2.5 Beispiel: Modifiziertes statisch bestimmtes Hauptsystem und Zwängungszustände	19
1.2.6 Beispiel: Räumliches Rahmentragwerk	26
1.3 Das System der Elastizitätsgleichungen	26
1.3.1 Elastizitätsmatrix	26
1.3.2 Maßeinheiten	29
1.3.3 Interpretation als Minimalaussage	30
1.3.4 Gleichungsauflösung	32
1.3.5 Matrix der β_{ik} -Zahlen	35
1.3.6 Lösungsstabilität und statisch bestimmte Hauptsysteme	36
1.4 Verformungen statisch unbestimmter Tragwerke	39
1.4.1 Prinzip der virtuellen Kräfte	39
1.4.2 Reduktionssatz	40
1.4.3 Beispiel	42
1.4.4 Erweiterung des Reduktionssatzes	43
1.4.5 Biegelinienermittlung	44
1.5 Einflußlinien statisch unbestimmter Tragwerke	44
1.5.1 Einflußlinien für äußere Weggrößen	44
1.5.2 Kraftgrößen-Einflußlinien als Biegelinien am $(n - 1)$ -fach statisch unbestimmten Hauptsystem	47
1.5.3 Kraftgrößen-Einflußlinien unter Benutzung des statisch bestimmten Hauptsystems	50
1.5.4 Einflußlinien für statisch Überzählige	53

2 Das Kraftgrößenverfahren in matrizieller Darstellung	58
2.1 Das diskretisierte Tragwerksmodell	58
2.1.1 Tragwerksdefinition	58
2.1.2 Äußere Zustandsgrößen	59
2.1.3 Knotengleichgewicht und innere Kraftgrößen	63
2.1.4 Verwendung vollständiger und globaler Stabendkraftgrößen	68
2.1.5 Innere kinematische Variablen	73
2.1.6 Element-Nachgiebigkeitsbeziehung	77
2.1.7 Berücksichtigung von Stabeinwirkungen	82
2.1.8 Energieaussagen und kinematische Transformation	86
2.1.9 Zusammenfassung und Überblick	91
2.2 Statisch bestimmte Tragwerke	93
2.2.1 Varianten der Gleichgewichtsformulierung	93
2.2.2 Einführende Beispiele	94
2.2.3 Standardaufgaben	99
2.2.4 Beispiel: Ebenes Rahmentragwerk	103
2.2.5 Beispiel: Trägerrost	103
2.2.6 Beispiel: Ebenes Fachwerk	106
2.3 Statisch unbestimmte Tragwerke	110
2.3.1 Statische Unbestimmtheit und Zeilendefizit von g^*	110
2.3.2 Standard-Kraftgrößenalgorithmus	111
2.3.3 Einführungsbeispiel	114
2.3.4 Reduzierter Algorithmus und Rechenhilfsmittel	118
2.3.5 Übertragung des Reduktionssatzes	125
2.3.6 Standardaufgaben	126
2.4 Ergänzungen und Verallgemeinerungen	130
2.4.1 Vom konjugierten Gesamtpotential zur Nachgiebigkeitsbeziehung	130
2.4.2 Innere Zwangsbedingungen und reduzierte Freiheitsgrade	132
2.4.3 Verallgemeinerte Last- und Einheitszustände	135
2.4.4 Gruppen von Einheitszuständen sowie unterschiedliche Hauptsysteme ..	137
2.4.5 Orthogonale Einheitszustände	140
2.4.6 Statisch unbestimmte Hauptsysteme	144
2.4.7 Automatische Wahl des Hauptsystems	149
3 Das Weggrößenverfahren	159
3.1 Formulierung in unabhängigen Stabendvariablen	159
3.1.1 Diskretisiertes Tragwerksmodell und Zustandsvariablen	159
3.1.2 Element-Steifigkeitsbeziehung in unabhängigen Variablen	162
3.1.3 Berücksichtigung von Stabeinwirkungen	167
3.1.4 Kinematische Kompatibilität	169
3.1.5 Knotengleichgewicht und Kontragredienzeigenschaft	174
3.1.6 Gesamtüberblick und Zusammenfassung	178
3.1.7 Algorithmus des Weggrößenverfahrens	180
3.1.8 Beispiele: Ebene Rahmensysteme und ebenes Fachwerk	187
3.1.9 Nichtprismatische Stabelemente	190
3.2 Das Drehwinkelverfahren	197
3.2.1 Stabendmomentenbeziehungen	197
3.2.2 Tragwerke mit unverschieblichem Knotennetz	201

3.2.3 Einflußlinienermittlung	203
3.2.4 Knotengleichungen und Knotensteifigkeiten	209
3.2.5 Tragwerke mit verschieblichem Knotennetz.....	212
3.2.6 Iterationstechniken beim Drehwinkelverfahren	217
3.2.7 Das Momentenausgleichsverfahren von G. KANI.....	220
3.2.8 Das Momentenausgleichsverfahren von H. GROSS	225
3.3 Verwendung vollständiger Stabendvariablen	230
3.3.1 Vom Gesamtpotential zur Element-Steifigkeitsbeziehung	230
3.3.2 Einführung vollständiger Stabendvariablen	234
3.3.3 Vollständige Element-Steifigkeitsmatrizen.....	239
3.3.4 Das diskretisierte Tragwerksmodell.....	243
3.3.5 Einführungsbeispiel	245
3.3.6 Berücksichtigung von Stabenwirkungen.....	250
3.3.7 Beispiel: Ebenes Rahmentragwerk mit schrägem Stiel.....	252
3.3.8 Beispiel: Trägerrost.....	256
3.4 Die direkte Steifigkeitsmethode.....	260
3.4.1 Gesamt-Steifigkeitsbeziehung und Lagerreaktionen.....	260
3.4.2 Gesamt-Steifigkeitsmatrizen durch Inzidenzen.....	263
3.4.3 Globale Elementsteifigkeiten und Volleinspannkraftgrößen	265
3.4.4 Das Tragwerksmodell der direkten Steifigkeitsmethode.....	272
3.4.5 Beispiel: Aufbau von $\tilde{\mathbf{K}}$ für ein ebenes Rahmentragwerk	276
3.4.6 Beispiel: Trägerrost.....	280
3.5 Computerbasierte Tragwerksanalysen	282
3.5.1 Algorithmisierung der direkten Steifigkeitsmethode	282
3.5.2 Stabweise Zustandsgrößenermittlung nach dem Übertragungsverfahren	286
3.5.3 Zur Struktur von Programmsystemen	291
3.5.4 Bandstruktur und Bandweitenreduktion der Gesamt-Steifigkeitsmatrix	294
3.5.5 Makroelemente und Strukturtechniken	297
3.5.6 Fehlermöglichkeiten, Fehlerkontrollen und Ergebniszuverlässigkeit	299
4 Einführung in nichtlineares Verhalten von Stabtragwerken	306
4.1 Lineares und nichtlineares Tragverhalten	306
4.2 Geometrische Nichtlinearität nach Theorie 2. Ordnung	310
4.2.1 Einführende Bemerkungen	310
4.2.2 Ein erster Schritt zur Theorie 2.Ordnung: EULER-Stabilität	312
4.2.3 Imperfektionen und Stabilitätsverhalten	314
4.2.4 Stabsteifigkeitsbeziehung nach Theorie 2. Ordnung.....	318
4.2.5 Stabsteifigkeiten für Gelänkstäbe	326
4.2.6 Volleinspannkraftgrößen nach Theorie 2. Ordnung.....	326
4.2.7 Tragwerksanalysen nach Theorie 2. Ordnung	329
4.2.8 Zwei Einführungsbeispiele	332
4.3 Physikalische Nichtlinearität nach dem Fließgelenkverfahren	335
4.3.1 Vorbemerkungen zur Werkstoffplastizität	335
4.3.2 Elasto-plastische Querschnittsmodelle für Stahl.....	340
4.3.3 Elasto-plastische Modelle für Stahlbetonquerschnitte	345
4.3.4 Traglastsätze und inkrementell-elastische Fließgelenkanalyse	350

4.3.5 Einführungsbeispiel	352
4.3.6 Fortführendes Beispiel	356
Anhang 1: Matrizenalgebra.....	360
Anhang 2: Computerprogramme.....	372
Anhang 3: Berechnung einer hölzernen Fachwerkbrücke	393
Anhang 4: Berechnung des stählernen Binders eines Ausstellungspavillons ..	404
Anhang 5: Das Programmsystem SSt-micro®.....	414
Namenverzeichnis.....	419
Sachverzeichnis.....	421