

1	Vorbetrachtungen zur Methode der finiten Elemente	1
1.1	Fachliche Einordnung	1
1.2	Historische Entwicklung	6
1.3	Überblick	8
1.4	Methodenübersicht	13
1.5	Idealisierung	18
1.6	Rechenprogramme	23
1.7	Vororientierung	28
2	Fehlerabgleichsverfahren	31
2.1	Lernziel	31
2.2	Grundgleichungen des Biegebalkens	32
2.3	Analytische Lösungen	35
	Übungsaufgabe 2.1	36
	Übungsaufgabe 2.2	36
2.4	Verfahren von Bubnov/Galerkin	37
	Übungsaufgabe 2.3	42
2.5	Verfahren von Ritz	42
2.6	Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate	46
	Übungsaufgabe 2.4	52
2.7	Ansatzfunktionen	52
	Übungsaufgabe 2.5	57
2.8	Abbruchfehler	58
	Übungsaufgabe 2.6	61
3	Deformationsmethode	63
3.1	Lernziel	63
3.2	Steifigkeitsmatrix des Biegebalkens	64
	Übungsaufgabe 3.1	72
	Übungsaufgabe 3.2	72
	Übungsaufgabe 3.3	72
	Übungsaufgabe 3.4	73
3.3	Steifigkeitsmatrizen anderer Stabelemente	73
3.3.1	Biegestab	74
3.3.2	Zug-Druck-Stab	76

3.3.3 Torsionsstab	78
3.3.4 Räumlicher Stab	80
3.3.5 Abschließende Anmerkungen zu den unterschiedlichen Stabelementen	86
Übungsaufgabe 3.5	87
Übungsaufgabe 3.6	87
Übungsaufgabe 3.7	87
Übungsaufgabe 3.8	87
3.4 Zusammenbau zum Gesamttragwerk	88
3.5 Berechnung des Gesamtsystems	101
3.5.1 Einzeldioden	102
3.5.2 Stützensenkungen und Einzellasten	105
3.5.3 Auflagerbedingungen	106
Übungsaufgabe 3.9	108
3.5.4 Auflösung des Gleichungssystems	108
3.5.5 Auflagerkraftgrößen	118
Übungsaufgabe 3.10	120
Übungsaufgabe 3.11	120
Übungsaufgabe 3.12	121
3.6 Berechnung der Schnittgrößen	121
3.7 Ablauf der Berechnungen	126
3.8 Kombinierte Tragwerksarten	128
3.9 Abschließende Bemerkungen	132
Übungsaufgabe 3.13	133
 4 Arbeitsprinzip	135
4.1 Lernziel	135
4.2 Prinzip der virtuellen Verrückungen und Arbeiten	136
4.2.1 Steifigkeitsbeziehung des Biegebalkens	146
4.2.2 Berücksichtigung von Stabendgelenken	155
Übungsaufgabe 4.1	160
Übungsaufgabe 4.2	160
4.3 Prinzip vom Minimum der potentiellen Energie	161
4.3.1 Steifigkeitsbeziehung des Zug-Druck-Stabs	167
4.4 Berücksichtigung von Temperaturdehnungen	176
4.4.1 Temperatur am Zug-Druck-Stab	178
4.4.2 Temperatur am Biegebalken	180
4.4.3 Abschließende Bemerkungen	183
Übungsaufgabe 4.3	183
4.5 Steifigkeitsbeziehung des Gesamttragwerks	183
4.6 Konvergenzbetrachtungen	192
4.7 A-Posteriori-Fehler	202
4.7.1 p -Version	208
4.7.2 h -Version	210
4.8 Abschließende Bemerkungen	211
Übungsaufgabe 4.4	211

5	Diskretisierte Systeme	213
5.1	Lernziel	213
5.2	Transformationen	213
5.2.1	Globale Knotenbezugssysteme	213
5.2.2	Räumliche Transformation der Verschiebungsgrößen	217
5.2.3	Exzentrische Anschlüsse	221
5.2.4	Globale Steifigkeitsbeziehung des räumlichen Stabs	224
5.3	Ebenes Fachwerk	226
5.4	Ebener Rahmen	230
5.5	Trägerrost	234
	Übungsaufgabe 5.1	240
	Übungsaufgabe 5.2	240
6	Übertragungsverfahren	243
6.1	Lernziel	243
6.2	Grundgleichungen des Übertragungsverfahrens	244
6.3	Herleitung der Steifigkeitsbeziehung mit Hilfe des Übertragungsverfahrens	250
	Übungsaufgabe 6.1	256
7	Schlußbemerkungen	257
8	Lösungen zu den Übungsaufgaben	259
	Literaturverzeichnis	295
	Sachverzeichnis	299