

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorbetrachtungen zur Methode der finiten Elemente</b>	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
<b>2</b>	<b>Fehlerabgleichsverfahren</b>	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
<b>3</b>	<b>Deformationsmethode</b>	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 Einzelfedern . . . . .	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
<b>4 Arbeitsprinzip . . . . .</b>	<b>135</b>
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

<b>5 Diskretisierte Systeme</b> . . . . .	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
<b>6 Übertragungsverfahren</b> . . . . .	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
<b>7 Schlußbemerkungen</b> . . . . .	257
<b>8 Lösungen zu den Übungsaufgaben</b> . . . . .	259
<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	295
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	299