

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorbetrachtungen zur Methode der finiten Elemente</b>	<b>1</b>
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> . . . . .	<b>31</b>
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> . . . . .	<b>63</b>
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	Biegelstab . . . . .	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
 4 Arbeitsprinzipien . . . . .	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

<b>5 Diskretisierte Systeme . . . . .</b>	<b>213</b>
<b>5.1 Lernziel . . . . .</b>	<b>213</b>
<b>5.2 Transformationen . . . . .</b>	<b>213</b>
<b>5.2.1 Globale Knotenbezugssysteme . . . . .</b>	<b>213</b>
<b>5.2.2 Räumliche Transformation der Verschiebungsrößen . . . . .</b>	<b>217</b>
<b>5.2.3 Exzentrische Anschlüsse . . . . .</b>	<b>221</b>
<b>5.2.4 Globale Steifigkeitsbeziehung des räumlichen Stabs . . . . .</b>	<b>224</b>
<b>5.3 Ebenes Fachwerk . . . . .</b>	<b>226</b>
<b>5.4 Ebener Rahmen . . . . .</b>	<b>230</b>
<b>5.5 Trägerrost . . . . .</b>	<b>234</b>
Übungsaufgabe 5.1 . . . . .	240
Übungsaufgabe 5.2 . . . . .	240
<b>6 Schlußbemerkungen . . . . .</b>	<b>243</b>
<b>7 Lösungen zu den Übungsaufgaben . . . . .</b>	<b>245</b>
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>277</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>281</b>