

Inhaltsverzeichnis

1	Übersicht - Einführung	1
1.1	Übersicht	1
1.2	Einführungsbeispiel: Berechnung des Kreisumfangs	2
1.3	Übertragung auf die Statik	7
1.4	Modellbildung	8
1.5	Eingabewerte	10
1.6	Formen der Eingabe	13
	Literatur	14
2	Die Grundgedanken der Finite-Element-Methode am Beispiel des Normalkraftstabs	15
2.1	Übersicht	15
2.2	Arbeit mit Ansatzfunktionen und starke und schwache Form des Gleichgewichts	17
2.2.1	Die Differentialgleichung als lokale Form des Problems	17
2.2.2	Gewichtete Integralform	22
2.2.3	Prinzip der Virtuellen Verrückungen	32
2.2.4	Prinzip vom Minimum der Potentiellen Energie	37
2.2.5	Zusammenfassung	40
2.3	Überleitung zur Finite-Element-Methode	42
2.3.1	Übersicht	42
2.3.2	Ansätze mit Verschiebungsgrößen als Freiheitsgrade	43
2.3.3	Herleitung eines Finiten Elements für Normalkraftstäbe	44
2.3.4	Diskretisierung mit einem Element	47
2.3.5	Diskretisierung mit zwei Elementen	48
2.3.6	Elementbeziehungen mit dem Prinzip der Virtuellen Verrückungen	53
2.3.7	Elementbeziehungen mit dem Galerkin-Verfahren	53
2.3.8	Genauigkeit der Ansatzfunktionen	54

2.4	Normalkraftstäbe: Einfluss von Netzteilung und Art der Schnittkraftermittlung	57
2.4.1	Berechnung 1: System mit einem Element und Knotenlast	57
2.4.2	Berechnung 2: System mit einem Element und Linienlast	59
2.4.3	Berechnung 3: System mit zwei Elementen und Knotenlasten	63
2.4.4	Berechnung 4: System mit zwei Elementen und Linienlast	64
2.4.5	Konvergenzstudie	66
2.4.6	Unterschied zwischen Netzteilung und Stabteilung	69
2.4.7	System mit zwei Fachwerkelementen und Knotenlasten	71
2.4.8	Zusammenfassung	73
	Literatur	73
3	Der schubweiche Balken	75
3.1	Zweifeldträger unter Gleichlast	75
3.2	Zweifeldträger unter Einzellasten	83
3.3	Einfeldträger mit Kragarm	85
3.4	Ergebnis	91
	Literatur	91
4	Scheiben	93
4.1	Grundannahmen der Scheibentheorie	93
4.2	Qualitative Erklärung des zweiachsigen Spannungszustands	95
4.3	Spannungstransformation	107
4.4	Kragarm mit Scheibenelementen	110
4.4.1	Berechnung 1: Kragarm als Stab mit einem Element	110
4.4.2	Berechnung 2: Kragarm als Scheibe mit einem Element	113
4.4.3	Berechnung 3: Kragarm als Scheibe mit feinerem Netz (10×4)	120
4.4.4	Berechnung 4: Kragarm als Scheibe mit sehr feinem Netz (200×60)	123
4.4.5	Singularitäten	125
4.4.6	Berechnung 5: Kragbalken als Scheibe federgelagert, $c_p = 10^8 \text{ kN/m}^2$	138
4.4.7	Berechnung 6: Kragbalken als Scheibe federgelagert, $c_p = 10^7 \text{ kN/m}^2$	141
4.4.8	Analytische Berechnung der Verformung in y-Richtung	142
4.5	Überlegungen zu Elementen	142
4.5.1	Kompatibles und inkompatibles Element	142
4.5.2	Dreieckselement	145
4.5.3	Isoparametrisches Viereckselement – Geometrieapproximation	146
4.5.4	Grundregeln der Netzgenerierung	148
4.6	Berechnung 7: Echte Scheibe	149
4.7	Berechnung 8: Echte Scheibe federgelagert, $c_p = 10^7 \text{ kN/m}$	153
4.8	Fehlerschätzung	158

4.9	Auswirkung der Lasteinleitung	161
4.10	Auswirkung der horizontalen Lagersteifigkeit	167
4.11	Spaltzugkräfte	175
4.12	Scheibe mit Loch	181
4.13	Flächenbewehrung	188
4.13.1	Verfahren von Baumann	188
4.13.2	Herleitung nach Schlaich/Schäfer	191
4.13.3	Platten-/Faltwerkbemessung bei SOFiStiK	193
4.13.4	Zusätzliche Überlegungen	195
4.13.5	Verfahren von Baumann – Einfluss des Winkels zwischen Bewehrung und Lastrichtung	195
4.13.6	Unbemessbare Elemente	196
4.14	Bemessungsbeispiel Quadratscheibe	197
4.15	Bemessung im Zustand II	205
4.16	Praxisbeispiel: Stahlbetonpfeiler	208
4.17	Praxisbeispiel: Aussteifende Deckenscheibe	210
4.18	Schubfeldberechnung	212
4.18.1	Voraussetzungen	212
4.18.2	Einführungsbeispiel	212
4.18.3	Schubfeld aus Trapezblech mit Öffnungen	220
	Literatur	226
5	Platten	229
5.1	Grundannahmen	229
5.2	Schubstarre Platte (Kirchhoff-Platte)	232
5.3	Schubweiche Platte	234
5.4	Transformation der Schnittgrößen	235
5.5	Finite-Element-Formulierungen für Platten	238
5.6	Lagerung von Platten	239
5.7	Singularitäten	240
5.8	Plattenberechnung mit Finiten Elementen	245
5.9	Abhebende Ecken	258
5.10	Drillweiche Platte	259
5.11	Randschichteffekt	262
5.12	Einfluss der Querdehnzahl	271
5.13	Einfluss einer Federlagerung	273
5.14	Einachsiger Lastabtrag	275
5.15	Dreiseitig gelagerte Platte	278
5.16	Schiefe Platte	280
5.17	Bodenplatten	283
5.18	Platte mit einspringender Wand	310
	Literatur	339

6	Plattenbalken	341
6.1	Platte ohne Unterzug	342
6.2	Starre Lager anstelle des Unterzuges	345
6.3	Berücksichtigung des Steges als zentrischen Balken	349
6.4	Berücksichtigung des Steges als zentrischen Balken mit angepasster Höhe	356
6.5	SOFiSTiK-Plattenbalken-Automatik	359
6.6	Exzentrisch gekoppelter Balken	364
6.7	Platte mit zentrischen Elementen unterschiedlicher Dicke	374
6.8	Faltwerk mit exzentrischen Elementen unterschiedlicher Dicke	380
6.9	Räumliches Faltwerk	385
6.10	Zusammenfassung der Ergebnisse	397
6.11	Räumliches Faltwerk mit Steghöhe 1,15 m	399
6.12	Plattenbalkenbemessung	399
	Literatur	413
7	Räumliche Systeme	415
7.1	Einfeldträger im Raum	415
7.2	Orientierung des lokalen Koordinatensystems	424
7.3	L-Profil – Schiefe Biegung	435
7.4	Träger mit Knick	439
7.5	Besonderheiten räumlicher Systeme	445
7.6	Detailmodellierung	450
7.7	Praxisbeispiele	454
	Literatur	456
8	Numerische Aspekte	459
8.1	Gauß-Integration	459
8.2	Übertragungsverfahren für Stabtragwerke	464
8.3	Diskretisierungsfehler	465
8.3.1	Bestimmung des Fehlers bei bekannter exakter Lösung	468
8.3.2	Fehlerschätzung bei unbekannter Lösung	470
8.3.3	Relativer Fehler	474
8.3.4	Fehlerschätzung für die Finite-Element-Lösung mit nur einem Element	475
8.3.5	a-priori-Fehlerestimatoren – Konvergenz der Finite-Element-Lösung	478
8.3.6	Singularitäten	480
8.4	Rundungs- und Abbruchfehler	480
	Literatur	490

9	Kontrollmöglichkeiten bei der Finite-Element-Berechnung	493
9.1	Kontrolle des Finite-Element-Modells	493
9.2	Kontrolle des Programms	499
9.3	Kontrolle der Eingabe	500
9.4	Kontrolle der Ergebnisse	502
	Stichwortverzeichnis	505