

Inhaltsverzeichnis

1 Geschlossene Lösungen für einfach gestützte Mindlinsche Platten	1
1.1 Einführung	1
1.2 Grundgleichungen	1
1.3 Geschlossene Lösungen	5
1.4 Plattensteifigkeiten	8
1.4.1 Homogene isotrope Platten	8
1.4.2 Sandwichplatten	8
1.4.3 Steifigkeiten für Flächentragwerke aus Verbundmaterial	10
1.4.4 Platten mit Hohlquerschnitt	13
1.5 Programme	15
1.5.1 Programm PLATES	15
1.5.2 Eingabedaten für das Programm PLATES	15
1.5.3 Verzeichnis der Variablennamen	16
1.5.4 Programm RIGID	23
1.5.5 Eingabedaten für das Programm RIGID	23
1.6 Beispiele	32
1.7 Literaturverzeichnis	
2 Finite Streifenmethode für Mindlinsche Platten und axialsymmetrische Schalen	36
2.1 Einführung	36
2.2 Berechnung eines einfach gestützten Balkens mit Fourierreihen	38
2.3 Finite Streifenmethode für rechteckige Mindlinsche Platten	42
2.3.1 Grundgleichungen für Mindlinsche Platten	42
2.3.2 Finite Streifenmethode für Mindlinsche Platten	45
2.3.3 Numerische Integration	49
2.3.4 Eine Familie von Mindlinschen finiten Streifen mit reduzierter Integration	49
2.3.5 Beispiele	52
2.3.5.1 Konvergenz mit einer gewissen Anzahl von Harmonischen	52
2.3.5.2 Konvergenz mit einer bestimmten Anzahl von Streifen	52
2.3.5.3 Verhalten dünner Platten	52
2.3.5.4 Quadratische Platte mit lokalisierter Randlast	56
2.3.5.5 Schlußfolgerungen	58
2.4 Platten mit Hohlquerschnitten und gekrümmten Plattformen	58
2.4.1 Grundgleichungen	58
2.4.1.1 Verschiebungen	58
2.4.1.2 Verzerrungen	59
2.4.1.3 Spannungen	60
2.4.1.4 Spannungsverzerrungsgesetz	61
2.4.1.5 Potentielle Energie der Schale	62

2.4.2	Formulierung der finiten Streifenmethode für Platten mit gekrümmten Deckflächen	62
2.4.3	Zusammenfassen der Steifigkeitsmatrizen und Koordinatentransformation	65
2.5	Platten mit gekrümmten Deckflächen	67
2.6	Platten mit Hohlprofil und rechteckiger Plattform	68
2.6.1	Verschiebungsfeld	68
2.6.2	Verzerrungsfeld	69
2.6.3	Spannungen	69
2.6.4	Finite Streifenformulierung für Platten mit Hohlquerschnitt und rechteckiger Plattform	69
2.7	Axialsymmetrische Schalen	70
2.7.1	Mindlinsche finite Streifenmethode für axialsymmetrische Schalen unter beliebiger Belastung	70
2.8	Berechnung des äquivalenten Knotenkraftvektors	73
2.9	Mindlinsche Streifenelemente für Faltwerke und axialsymmetrische Schalen mit reduzierter Integration	76
2.10	Beispiele	76
2.10.1	Gelenkig gelagerte Platte mit gekrümmter Deckfläche	76
2.10.2	Gerade Brücke	78
2.10.3	Einfach gestützte Kastenbrücke	78
2.10.4	Kreisplatte mit exzentrischer Punktlast	78
2.10.5	Zylinderschale	82
2.11	Die Implementierung der finiten Streifenmethode auf dem Computer	86
2.12	Programm PBSTRIP zur Analyse von geraden oder gekrümmten Platten mit der finiten Streifenmethode	88
2.12.1	Hauptprogramm	88
2.12.2	Eingabedaten für Subroutine INPUT	88
2.12.3	Subroutine STIFFS für Steifigkeitsmatrizen	92
2.12.4	Von STIFFS aufgerufene Subroutinen	94
2.12.4.1	Subroutine MODPB	94
2.12.4.2	Subroutine GAUSSQ	95
2.12.4.3	Subroutine SFR1	95
2.12.4.4	Subroutine JACOB1	96
2.12.4.5	Subroutine BMATFS	97
2.12.4.6	Subroutine DBE	98
2.12.5	Subroutine LOADFS	98
2.12.6	Subroutine STREFS	100
2.12.7	Subroutine ADD	101
2.12.8	Subroutine FRONT	103
2.13	Beispiele	103
2.13.1	Quadratische Platte	103
2.13.2	Kreisplatte	107
2.14	Aufbereiten der Eingabedaten für das Programm PBSTRIP	110
2.15	Verzeichnis der Variablennamen	113
2.16	Literaturverzeichnis	114
3	Mindlinsche finite Plattenelemente	
	Marguerre-Mindlinsche Schalenelemente	117
3.1	Einführung	117
3.2	Mindlinsche Plattentheorie	117
3.2.1	Mindlinsche Plattentheorie-Formulierung mit Verschiebungssätzten	117
3.2.2	Alternative Formulierung	120
3.2.3	Geänderte Bezeichnungen	121
3.3	Mindlinsche Plattenelemente	121
3.3.1	Finite Elemente Formulierung	121

3.3.2 Isoparametrische Darstellung	122
3.4 Wünschenswerte Eigenschaften eines Mindlinschen Plattenelements	123
3.4.1 Das Phänomen Locking	123
3.4.2 Reduzierte und selektive Integration	124
3.5 Das Heterosis Mindlin-Plattenelement	128
3.5.1 Vorbemerkungen	128
3.5.2 Hierarchische Formulierung des Heterosis-Elementes	129
3.5.3 Berechnung der Spannungsresultierenden	131
3.6 Das Programm MINDLIN	132
3.6.1 Einführung	132
3.6.2 Zusammenstellung der Variablennamen	132
3.6.2.1 Felder	132
3.6.2.2 Variablen	133
3.6.3 Hauptprogramm	134
3.6.4 Eingabemodul	135
3.6.4.1 Subroutine INPUT	135
3.6.4.2 Subroutinen NODEXY, RAZERO und IVZERO	137
3.6.5 Steifigkeitsmodul	138
3.6.5.1 Subroutine STIFPB	138
3.6.5.2 Hilfsroutinen GAUSSQ, SFR2, JACOB2, MODPB, BMATPB, BSAMP, BMOTP, SFRM und SUBPB	140
3.6.6 Lastmodul	147
3.6.6.1 Subroutine LOADPB	147
3.6.7 Lösungsmodul	148
3.6.8 Ausgabe- und Spannungsmodul	148
3.6.8.1 Subroutine OUTDIS	148
3.6.8.2 Subroutine OUTSTR	149
3.6.8.3 Subroutine BENDM	151
3.6.8.4 Subroutine STRPB	151
3.6.8.5 Subroutine GRADPB	152
3.6.8.6 Subroutine PRINC	152
3.6.8.7 Subroutine SHEAR	153
3.6.8.8 Subroutine AVERAG	154
3.7 Benutzeranweisungen für das Programm MINDLIN	154
3.8 Beispiele	156
3.8.1 Vorbemerkungen	156
3.8.2 Patch-Test	156
3.8.3 Quadratische Platte	159
3.8.4 Eingespannte, gleichförmig belastete Kreisplatte	163
3.9 Lagrange-Plattenelement mit extra Schubansätzen	167
3.10 Schwach gekrümmte Schalenlemente	171
3.10.1 Grundgleichungen für die schwach gekrümmte Schale Marguerre-Mindlinsches Schalenelement	171
3.10.2 Extra Membran- und Schubansätze	176
3.10.3 Das Programm QUAD9	177
3.10.4 Beispiele	217
3.10.4.1 Patch-Test	217
3.10.4.2 Eingespanntes Kreissegment	218
3.11 Literaturverzeichnis	220
3.12 Anhang 1: Subroutine FRONT	221
4 Berechnung von elasto-plastischen und geometrisch nichtlinearen anisotropen Platten und Schalen	226
4.1 Einführung	226
4.2 Degenerierte isoparametrische Elemente	229

4.2.1	Allgemeines	229
4.2.2	Koordinatensysteme	230
4.2.2.1	Globales Koordinatensystem – $\{x_i\}$	230
4.2.2.2	Koordinatensystem – $\{v_{ik}\}$	230
4.2.2.3	Krummliniges Koordinatensystem – ξ, η, ζ	232
4.2.2.4	Lokales Koordinatensystem – $\{x'_i\}$	232
4.2.3	Elementgeometrie	233
4.2.4	Verschiebungsfeld	234
4.2.5	Verzerrungen	235
4.2.6	Spannungen	236
4.2.7	Die Materialgleichungen	237
4.2.7.1	Das verallgemeinerte Hookesche Gesetz	237
4.2.7.2	Schubfaktoren	239
4.2.8	Quadratische Schalenelemente	241
4.2.8.1	8-Knoten-Serendipity-Element	241
4.2.8.2	9-Knoten-Lagrange-Element	242
4.2.8.3	Heterosis-Element	242
4.2.8.4	Hierarchische Formulierung	243
4.2.9	Numerische Integration	244
4.2.9.1	Reduzierte Integration	244
4.2.9.2	Selektive Integration	245
4.2.10	Geschichtetes Modell	246
4.3	Berücksichtigung des nichtlinearen Verhaltens	249
4.3.1	Allgemeine numerische Verfahren für die nichtlineare Analyse	249
4.3.2	Plastische Fließtheorie	250
4.3.3	Geometrische Nichtlinearität	254
4.4	Finite Elemente Programm PLASTOSHELL	257
4.4.1	Das Hauptprogramm PLSHELL	259
4.4.2	Subroutine ALGOR	261
4.4.3	Subroutine BGMAT	262
4.4.4	Subroutine CHECK1	264
4.4.5	Subroutine CHECK2	265
4.4.6	Subroutine CONVER	268
4.4.7	Subroutine DIMEN	269
4.4.8	Subroutine ECHO	270
4.4.9	Subroutine FLOWS	270
4.4.10	Subroutine FRAME	271
4.4.11	Subroutine FRONT	272
4.4.12	Subroutine FUNC	272
4.4.13	Subroutine GAUSSQ	274
4.4.14	Subroutine GEOME	275
4.4.15	Subroutine INCREM	276
4.4.16	Subroutine INPUT	277
4.4.17	Subroutine INVAR	279
4.4.18	Subroutine LDISP	279
4.4.19	Subroutine LOADS	280
4.4.20	Subroutine MATM	282
4.4.21	Subroutine MODAN	284
4.4.22	Subroutine NODEX	286
4.4.23	Subroutine OUTPUT	287
4.4.24	Subroutine PRES	289
4.4.25	Subroutine RESTR	290
4.4.26	Subroutine SFR1	293
4.4.27	Subroutine SINGOP	293
4.4.28	Subroutine STIFF	294

4.4.29 Subroutine VECT	296
4.4.30 Subroutine WORKS	297
4.4.31 Subroutine RESTAR	298
4.4.32 Subroutine ZERO	298
4.4.33 Subroutine SHEARC	299
4.5 Numerische Beispiele	300
4.5.1 Eingespannte quadratische Platte	300
4.5.2 Eingespannte quadratische Schale	301
4.5.3 Zylindrische Schalen	301
4.6 Literaturverzeichnis	306
5 Tragfähigkeit von Platten und Schalen aus bewehrtem Beton mit geometrischen und physikalischen nichtlinearen Effekten	309
5.1 Einführung	309
5.2 Materialmodellierung	311
5.2.1 Druckverhalten des Betons	311
5.2.1.1 Das Fließkriterium	311
5.2.1.2 Das Fließgesetz	314
5.2.1.3 Das Verfestigungsgesetz	315
5.2.1.4 Die Bruchhypothese	316
5.2.2 Zugverhalten des Betons	316
5.2.2.1 Zugverfestigung	317
5.2.2.2 Schubmodul im gerissenen Zustand	319
5.2.3 Verhalten des Eisens unter Zug und Druck	320
5.3 Finite Elemente Lösung	320
5.4 Finite Elemente Programm CONSHELL	325
5.4.1 Hauptprogramm	325
5.4.2 Subroutine CONVRD	328
5.4.3 Subroutine FLOWS	329
5.4.4 Subroutine INVAR	330
5.4.5 Subroutine INVA2	330
5.4.6 Subroutine MODUL	331
5.4.7 Subroutine PRIST	332
5.4.8 Subroutine RESI1	332
5.4.9 Subroutine RESI2	334
5.4.10 Subroutine RESI3	336
5.4.11 Subroutine RESTR	337
5.4.12 Subroutine STIFF	340
5.4.13 Subroutine TRANS	343
5.4.14 Subroutinen INPUT, LOADS und OUTPUT	343
5.4.15 Subroutinen HARDEN und YLSUF	350
5.5 Numerische Beispiele	351
5.5.1 Quadratische Platte	352
5.5.2 Parabolische zylindrische Schale	356
5.6 Literaturverzeichnis	361
5.7 Anhang 2: Aufbereitung der Eingabedaten von PLASTOSHELL und CONSHELL	364