

Inhaltsverzeichnis

Vorwort Vi

I EINFÜHRUNG

1 Aufgabe und Abgrenzung der Baustatik 1

- 1.1 Allgemeines 1
- 1.2 Grundlagen der Baustatik 1
- 1.3 Baustatische Verfahren 2
- 1.4 Baustatik und Baudynamik 3
- 1.5 Baustatik und Konstruktion 4

2 Geschichtlicher Hintergrund 5

II GRUNDLAGEN

3 Projektierung von Tragwerken 11

- 3.1 Allgemeines 11
- 3.2 Tragwerksentwurf 13
- 3.3 Nutzungsvereinbarung und Projektbasis 15
- 3.4 Zusammenfassung 26
- 3.5 Aufgaben 27

4 Tragwerksanalyse und Bemessung 29

- 4.1 Allgemeines 29
- 4.2 Einwirkungen 29
- 4.2.1 Einwirkungen und Auswirkungen 29
- 4.2.2 Einwirkungsmodelle und repräsentative Werte 30
- 4.3 Tragwerksmodell 31
- 4.4 Grenzzustände 32
- 4.5 Bemessungssituationen und Lastfälle 32
- 4.6 Nachweise 33
- 4.6.1 Nachweiskonzept 33
- 4.6.2 Bemessungswerte 33
- 4.6.3 Nachweis der Tragsicherheit 35
- 4.6.4 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit 35
- 4.7 Bemerkungen 35
- 4.8 Hinweise zur statischen Berechnung 37
- 4.9 Hinweise zum technischen Bericht 39
- 4.10 Zusammenfassung 41
- 4.11 Aufgaben 41

5 Statische Beziehungen 43

- 5.1 Kräftesysteme und Gleichgewicht 43
- 5.1.1 Grundbegriffe 43
- 5.1.2 Kräftesysteme 44

- 5.1.3 Gleichgewicht 45
- 5.1.4 Standfestigkeit 45
- 5.1.5 Lager 47
- 5.1.6 Gelenke 50
- 5.1.7 Schnittgrößen 51
- 5.2 Spannungen 53
- 5.2.1 Grundbegriffe 53
- 5.2.2 Einachsiger Spannungszustand 53
- 5.2.3 Ebener Spannungszustand 54
- 5.2.4 Räumlicher Spannungszustand 57
- 5.3 Differentielle Tragwerkselemente 61
- 5.3.1 Gerade Stäbe 61
- 5.3.2 In einer Ebene gekrümmte Stäbe 62
- 5.4 Zusammenfassung 68
- 5.5 Aufgaben 69

6 Kinematische Beziehungen 71

- 6.1 Grundbegriffe 71
- 6.2 Ebener Verformungszustand 72
- 6.3 Räumlicher Verformungszustand 74
- 6.4 Zusammenfassung 76
- 6.5 Aufgaben 77

7 Werkstoffbeziehungen 79

- 7.1 Grundbegriffe 79
- 7.2 Linear elastisches Verhalten 81
- 7.3 Ideal plastisches Verhalten 83
- 7.3.1 Einachsiger Spannungszustand 83
- 7.3.2 Räumlicher Spannungszustand 84
- 7.3.3 Fließbedingungen 85
- 7.4 Zeitabhängiges Verhalten 91
- 7.4.1 Schwinden 91
- 7.4.2 Kriechen und Relaxation 91
- 7.5 Temperaturverformungen 95
- 7.6 Ermüdung 95
- 7.6.1 Allgemeines 95
- 7.6.2 S-N-Diagramme 96
- 7.6.3 Schadensakkumulation unter Betriebslasten 97
- 7.7 Zusammenfassung 99
- 7.8 Aufgaben 100

8 Energieverfahren 103

- 8.1 Einführendes Beispiel 103
- 8.1.1 Statisch bestimmtes System 103
- 8.1.2 Statisch unbestimmtes System 105

8.1.3	Arbeitsgleichung	106
8.1.4	Bemerkungen	107
8.2	Variablen und Operatoren	107
8.2.1	Einleitung	107
8.2.2	Ebene Stabtragwerke	109
8.2.3	Räumliche Stabtragwerke	111
8.2.4	Ebener Spannungszustand	112
8.2.5	Ebener Verzerrungszustand	113
8.2.6	Platten	113
8.2.7	Dreidimensionale Kontinua	115
8.2.8	Bemerkungen	116
8.3	Prinzip der virtuellen Arbeiten	117
8.3.1	Virtuelle Kraft- und Verformungsgrößen	117
8.3.2	Prinzip der virtuellen Verformungen	117
8.3.3	Prinzip der virtuellen Kräfte	117
8.3.4	Bemerkungen	118
8.4	Elastische Systeme	120
8.4.1	Hyperelastische Werkstoffe	120
8.4.2	Konservative Systeme	121
8.4.3	Linear elastische Systeme	128
8.5	Näherungsverfahren	131
8.5.1	Einleitung	131
8.5.2	Verfahren von RITZ	131
8.5.3	Verfahren von GALERKIN	135
8.6	Zusammenfassung	136
8.7	Aufgaben	138

III LINEARE STATIK DER STABTRAGWERKE

9	Aufbau von Stabtragwerken	139
9.1	Allgemeines	139
9.2	Tragwerksmodellierung	139
9.3	Diskretisiertes Tragwerksmodell	142
9.3.1	Beschreibung des statischen Systems	142
9.3.2	Knotengleichgewicht	143
9.3.3	Statische Bestimmtheit	144
9.3.4	Kinematische Herleitung der Gleichgewichtsmatrix	146
9.4	Zusammenfassung	149
9.5	Aufgaben	149
10	Kraftgrößenermittlung	151
10.1	Allgemeines	151
10.2	Betrachtung ausgewählter Schnittkörper	152
10.3	Knotengleichgewicht	156
10.4	Kinematische Methode	158
10.5	Zusammenfassung	160
10.6	Aufgaben	160
11	Schnittgrößen und Zustandslinien	161
11.1	Allgemeines	161
11.2	Gelenkstabwerke	163
11.2.1	GERBERträger	163
11.2.2	Gelenkbogen und -rahmen	165
11.2.3	Verstärkte Balken mit Zwischengelenk	167

11.3	Fachwerke	168
11.3.1	Voraussetzungen und Tragwerksaufbau	168
11.3.2	Berechnungsverfahren	171
11.3.3	Knotengleichgewicht	171
11.3.4	CREMONAplan	173
11.3.5	RITTERsches Schnittverfahren	174
11.3.6	Kinematische Methode	175
11.4	Zusammenfassung	176
11.5	Aufgaben	177
12	Einflusslinien	179
12.1	Allgemeines	179
12.2	Einflusslinienermittlung mittels Gleichgewichtsbedingungen	180
12.3	Kinematische Einflusslinienermittlung	181
12.4	Zusammenfassung	185
12.5	Aufgaben	185
13	Elementare Verformungen	187
13.1	Allgemeines	187
13.2	Biegung und Normalkraft	187
13.2.1	Spannungs- und Verformungszustand	187
13.2.2	Hauptachsen	189
13.2.3	Spannungsberechnung	191
13.2.4	Verbundquerschnitte	192
13.2.5	Temperaturverformungen	194
13.2.6	Ebene Biegung gekrümmter Stäbe	195
13.2.7	Praktische Hinweise	196
13.3	Querkraft	196
13.3.1	Näherung für prismatische Stäbe unter spezieller Biegung	196
13.3.2	Approximativer ebener Spannungszustand	198
13.3.3	Dünnwandige Querschnitte	199
13.3.4	Schubmittelpunkt	201
13.4	Torsion	202
13.4.1	Kreisquerschnitte	202
13.4.2	Allgemeine Querschnitte	203
13.4.3	Dünnwandige Hohlquerschnitte	206
13.4.4	Wölbtorsion	209
13.5	Zusammenfassung	218
13.6	Aufgaben	220
14	Einzelverformungen	223
14.1	Allgemeines	223
14.2	Arbeitssatz	224
14.2.1	Einführendes Beispiel	224
14.2.2	Allgemeine Formulierung	225
14.2.3	Berechnung der Verschiebungsarbeitsintegrale	225
14.2.4	Systematisches Vorgehen	228
14.3	Anwendungen	228
14.4	Satz von Maxwell	232
14.5	Zusammenfassung	233
14.6	Aufgaben	233

15	Verformungslinien	235			
15.1	Allgemeines	235	17.4.3	Gleichgewichtsbedingungen	295
15.2	Differentialgleichungen gerader Stabelemente	235	17.4.4	Anwendungen	296
15.2.1	Ebene Beanspruchung	235	17.4.5	Zwängungen	300
15.2.2	Räumliche Beanspruchung	237	17.4.6	Einflusslinien	305
15.2.3	Querkrafteinfluss	237	17.4.7	Momentenausgleichsverfahren von CROSS	307
15.2.4	Kriech-, Schwind- und Temperaturverformungen	237	17.5	Zusammenfassung	311
15.2.5	Gekrümmte Stabachsen	237	17.6	Aufgaben	312
15.3	Integrationsverfahren	238			
15.3.1	Analytische Integration	238	18	Kontinua	313
15.3.2	MOHRSche Analogie	240	18.1	Allgemeines	313
15.4	Zusammenfassung	245	18.2	Stabdehnung	313
15.5	Aufgaben	245	18.2.1	Anwendungsbeispiele	313
16	Kraftmethode	247	18.2.2	Berechnungsmodell	314
16.1	Allgemeines	247	18.2.3	Eigenspannungen	316
16.2	Tragverhalten statisch unbestimmter Systeme	247	18.2.4	Zwängungen	317
16.2.1	Übersicht	247	18.2.5	Verbund	318
16.2.2	Statisch bestimmtes System	248	18.2.6	Zusammenfassung	322
16.2.3	Einfach statisch unbestimmtes System	249	18.3	Schubträger	323
16.2.4	Zweifach statisch unbestimmtes System	251	18.3.1	Anwendungsbeispiele	323
16.2.5	Vertiefte Analyse des einfach statisch unbestimmten Systems	252	18.3.2	Berechnungsmodell	323
16.2.6	Vertiefte Analyse des zweifach statisch unbestimmten Systems	256	18.3.3	Stockwerkrahmen	323
16.3	Klassische Darstellung der Kraftmethode	256	18.3.4	VIERENDEEL-Träger	325
16.3.1	Allgemeines Vorgehen	256	18.3.5	Sandwichplatten	326
16.3.2	Bemerkungen	257	18.3.6	Zusammenfassung	328
16.3.3	Verformungen	259	18.4	Biegeträger	328
16.3.4	Einflusslinien	261	18.4.1	Allgemeines	328
16.4	Anwendungen	264	18.4.2	Berechnungsmodell	329
16.5	Zusammenfassung	274	18.4.3	Zwängungen	329
16.6	Aufgaben	276	18.4.4	Elastische Bettung	331
17	Verformungsmethode	279	18.4.5	Zusammenfassung	334
17.1	Unabhängige Stabendvariablen	279	18.5	Kombination von Schub- und Biegetragwirkung	335
17.1.1	Allgemeines	279	18.5.1	Allgemeines	335
17.1.2	Element-Steifigkeitsbeziehung	279	18.5.2	Schubwand-Rahmensysteme	336
17.1.3	Stabeinwirkungen	280	18.5.3	Schubwandverbindung	340
17.1.4	Algorithmus der Verformungsmethode	282	18.5.4	Verdübelte Balken	344
17.2	Vollständige Stabendvariablen	283	18.5.5	Zusammenfassung	346
17.2.1	Allgemeines	283	18.6	Bogen	347
17.2.2	Element-Steifigkeitsbeziehung	284	18.6.1	Allgemeines	347
17.2.3	Stabeinwirkungen	285	18.6.2	Berechnungsmodell	347
17.2.4	Lagerkraftgrößen	285	18.6.3	Anwendungen	348
17.3	Direkte Steifigkeitsmethode	286	18.6.4	Zusammenfassung	352
17.3.1	Inzidenztransformation	286	18.7	Ringförmige Konstruktionen	352
17.3.2	Drehtransformation	287	18.7.1	Allgemeines	352
17.3.3	Algorithmus der direkten Steifigkeitsmethode	288	18.7.2	Berechnungsmodell	353
17.4	Drehwinkelverfahren	292	18.7.3	Anwendungen	354
17.4.1	Allgemeines	292	18.7.4	Randstörungen bei Zylinderschalen	355
17.4.2	Grundzustände und Stabendmomente	294	18.7.5	Zusammenfassung	356
			18.8	Seile	356
			18.8.1	Allgemeines	356
			18.8.2	Berechnungsmodell	357
			18.8.3	Dehnstarre Seile	359
			18.8.4	Dehnsteife Seile	360
			18.8.5	Dehnsteifigkeit querbelasteter Seile	362
			18.8.6	Zusammenfassung	362

18.9	Kombination von Seil- und Biegetragwirkung	363	21.3	Statische und kinematische Methode	414
18.9.1	Berechnungsmodell	363	21.3.1	Allgemeines	414
18.9.2	Biegesteife Zugglieder	364	21.3.2	Einfeldträger	415
18.9.3	Hängedächer und Spannbänder	365	21.3.3	Durchlaufträger	417
18.9.4	Hängebrücken	370	21.3.4	Ebene Rahmen	418
18.9.5	Zusammenfassung	370	21.3.5	Querbelastete ebene Rahmen	423
18.10	Aufgaben	371	21.4	Plastische Festigkeitslehre	428
19	Diskontinua	373	21.4.1	Allgemeines	428
19.1	Allgemeines	373	21.4.2	Schiefe Biegung	428
19.2	Kraftmethode	374	21.4.3	Biegung und Normalkraft	430
19.2.1	Vollständige und globale Stabendkraftgrößen	374	21.4.4	Biegung und Torsion	434
19.2.2	Element-Nachgiebigkeitsbeziehung	374	21.4.5	Biegung und Querkraft	436
19.2.3	Stabeinwirkungen	376	21.5	Einspiellast und Traglast	437
19.2.4	Algorithmus der Kraftmethode	376	21.6	Bemessung auf minimale Eigenlast	439
19.2.5	Vergleich mit klassischer Kraftmethode	378	21.6.1	Allgemeines	439
19.2.6	Praktische Anwendung	378	21.6.2	Lineare Zielfunktion	440
19.2.7	Reduzierte Freiheitsgrade	378	21.6.3	FOULKES-Mechanismen	440
19.2.8	Ergänzende Bemerkungen	381	21.6.4	Bemerkungen	442
19.3	Einführung in die Methode der finiten Elemente	383	21.7	Numerische Verfahren	444
19.3.1	Grundlagen	383	21.7.1	Kraftmethode	444
19.3.2	Elementmatrizen	383	21.7.2	Traglastprogramm	445
19.3.3	Schubstarres Stabelement	383	21.7.3	Optimale Bemessung	446
19.3.4	Ansatzfunktionen	387	21.8	Zusammenfassung	448
19.3.5	Bemerkungen	388	21.9	Aufgaben	449
19.4	Zusammenfassung	388	22	Stabilitätsprobleme	451
19.5	Aufgaben	389	22.1	Allgemeines	451
IV NICHTLINEARE STATIK DER STABTRAGWERKE			22.2	Elastisches Knicken	451
20	Elastisch - plastische Systeme	391	22.2.1	Stützenbiegelinie	451
20.1	Allgemeines	391	22.2.2	Verzweigungsprobleme	455
20.2	Einfach statisch unbestimmtes Fachwerk	391	22.2.3	Näherungsverfahren	456
20.2.1	Einparametrische Belastung	391	22.2.4	Ergänzungen	462
20.2.2	Zweiparametrische Belastung und Verallgemeinerung	398	22.2.5	Drehwinkelverfahren	467
20.3	Balkenbiegung	400	22.2.6	Steifigkeitsmatrizen	471
20.3.1	Momenten-Krümmungsdiagramme	400	22.3	Elastisch - plastisches Knicken	473
20.3.2	Einfeldträger	402	22.3.1	Zentrisch beanspruchte Druckglieder	473
20.3.3	Durchlaufträger	405	22.3.2	Exzentrische beanspruchte Druckglieder	476
20.3.4	Rahmen	407	22.3.3	Traglast von Rahmen nach Theorie 2. Ordnung	479
20.3.5	Bemerkungen	408	22.4	Biegedrillknicken und Kippen	482
20.4	Zusammenfassung	408	22.4.1	Grundlage	482
20.5	Aufgaben	409	22.4.2	Zentrische Belastung	484
21	Traglastverfahren	411	22.4.3	Exzentrische Belastung in starker Ebene	485
21.1	Allgemeines	411	22.4.4	Allgemeine Belastung	487
21.2	Grenzwertsätze	412	22.5	Zusammenfassung	490
21.2.1	Grundlagen	412	22.6	Aufgaben	491
21.2.2	Unterer Grenzwertsatz	412	V FLÄCHENTRAGWERKE		
21.2.3	Oberer Grenzwertsatz	413	23	Scheiben	493
21.2.4	Verträglichkeitssatz	413	23.1	Allgemeines	493
21.2.5	Folgerungen aus den Grenzwertsätzen	413	23.2	Elastische Scheiben	493

23.3	Stahlbeton-Scheibenelemente	498
23.3.1	Orthogonale Bewehrung	498
23.3.2	Allgemeine Bewehrung	502
23.4	Statische Methode	503
23.4.1	Allgemeines	503
23.4.2	Fachwerkmodelle	503
23.4.3	Diskontinuierliche Spannungsfelder	507
23.4.4	Stringer-Tafelmodell	513
23.5	Kinematische Methode	514
23.5.1	Anwendungen im Stahlbetonbau	514
23.5.2	Anwendungen im Grundbau	519
23.6	Zusammenfassung	522
23.7	Aufgaben	524
24	Platten	527
24.1	Grundlagen	527
24.1.1	Allgemeines	527
24.1.2	Statische Beziehungen	527
24.1.3	Kinematische Beziehungen	533
24.2	Schubstarre linear elastische Platten mit kleinen Durchbiegungen	535
24.2.1	Grundlegende Beziehungen	535
24.2.2	Lösungsverfahren	537
24.2.3	Rotationssymmetrische Probleme	538
24.2.4	Rechteckplatten	541
24.2.5	Flachdecken	545
24.2.6	Energieverfahren	548
24.3	Fliessbedingungen	549
24.3.1	Fliessbedingungen von v. MISES und TRESCA	549
24.3.2	Stahlbetonplatten	552
24.4	Statische Methode	559
24.4.1	Rotationssymmetrische Probleme	559
24.4.2	Momentenansätze	562
24.4.3	Streifenmethode	565
24.5	Kinematische Methode	569
24.5.1	Einführendes Beispiel	569
24.5.2	Berechnung der Dissipationsarbeit	570
24.5.3	Anwendungen	571
24.6	Einfluss von Querkräften	574
24.6.1	Elastische Platten	574
24.6.2	Rotationssymmetrische v. MISES-Platten	576
24.6.3	Stahlbetonplatten	577
24.7	Membranwirkung	577
24.7.1	Elastische Platten	577
24.7.2	Ideal plastischer Plattenstreifen	579
24.7.3	Stahlbetonplatten	580
24.8	Zusammenfassung	583
24.9	Aufgaben	585
25	Faltwerke	589
25.1	Allgemeines	589
25.2	Prismatische Faltwerke	590
25.2.1	Zick-Zack-Dächer	590
25.2.2	Tonnendächer	591
25.2.3	Bemerkungen	595
25.3	Nicht prismatische Faltwerke	596
25.4	Zusammenfassung	596
25.5	Aufgaben	597
26	Schalen	599
26.1	Allgemeines	599
26.2	Membrantheorie der Rotationsschalen	600
26.2.1	Symmetrische Belastung	600
26.2.2	Unsymmetrische Belastung	604
26.3	Membrantheorie der Zylinderschalen	605
26.3.1	Allgemeine Beziehungen	605
26.3.2	Rohre und Tonnendächer	606
26.3.3	Polygonale Kuppeln	608
26.4	Membrankräfte in Schalen beliebiger Form	610
26.4.1	Gleichgewichtsbedingungen	610
26.4.2	Elliptische Probleme	611
26.4.3	Hyperbolische Probleme	612
26.5	Biegetheorie drehsymmetrischer Kreiszylinderschalen	617
26.6	Biegetheorie flacher Schalen	619
26.6.1	Grundlagen	619
26.6.2	Differentialgleichung für Durchbiegung	620
26.6.3	Kreiszylinderschalen unter asymmetrischer Belastung	621
26.7	Biegetheorie symmetrisch belasteter Rotationsschalen	624
26.7.1	Grundlagen	624
26.7.2	Differentialgleichung für Durchbiegung	624
26.7.3	Kugelschalen	625
26.7.4	Näherung für Schalen beliebiger Form	627
26.8	Stabilität	627
26.8.1	Allgemeines	627
26.8.2	Verzweigungslasten	628
26.8.3	Bemerkungen	630
26.9	Zusammenfassung	631
26.10	Aufgaben	632

ANHANG

A1	Fachausdrücke	635
A2	Bezeichnungen	641
A3	Werkstoffkennwerte	647
A4	Querschnittswerte	649
A5	Matrizenalgebra	653
A5.1	Grundbegriffe	653
A5.2	Rechenregeln	654
A5.3	Lineare Gleichungen	656
A5.4	Quadratische Formen	656
A5.5	Eigenwertaufgaben	657
A5.6	Matrixnormen und Konditionszahlen	658

A6	Tensorrechnung	..... 659
A6.1	Einleitung	..... 659
A6.2	Grundbegriffe	..... 659
A6.3	Vektoren und Tensoren	..... 660
A6.4	Hauptachsen symmetrischer Tensoren zweiter Stufe	..... 662
A6.5	Tensorfelder und Integralsätze	..... 662

A7	Variationsrechnung	..... 665
A7.1	Extremwerte stetiger Funktionen	..... 665
A7.2	Grundbegriffe	..... 665
A7.3	Das einfachste Problem der Variationsrechnung	..... 666
A7.4	Zweite Variation	..... 667
A7.5	Mehrere gesuchte Funktionen	..... 668
A7.6	Höhere Ableitungen	..... 668
A7.7	Mehrere unabhängige Variablen	..... 669
A7.8	Variationsprobleme mit Nebenbedingungen	..... 669
A7.9	Verfahren von RITZ	..... 670
A7.10	Natürliche Randbedingungen	..... 671

Literaturverzeichnis 673
-----------------------------	-----------

Namensverzeichnis 675
--------------------------	-----------

Sachverzeichnis 677
------------------------	-----------