

Peter Bindseil

Massivbau

Bemessung im Stahlbetonbau

Mit 291 Abbildungen und 22 Tabellen



Inhaltsverzeichnis

Teil A Grundlagen und Bemessung von Tragwerken

1 Grundlagen des Stahlbetons	1
1.1 Allgemeines.....	1
1.1.1 Zielsetzung.....	1
1.1.2 Historische Entwicklung und Stand der Technik.....	2
1.1.3 Zur Sonderstellung des Stahlbetons in Bezug auf Statik und Festigkeitslehre	4
1.2 Stahlbeton als Verbundbaustoff	4
1.2.1 Allgemeines	4
1.2.2 Beton.....	5
1.2.3 Betonstahl	10
1.2.4 Herstellen des Verbundes zwischen Stahl und Beton	11
1.2.5 Verhalten des Verbundbaustoffs.....	14
1.2.5.1 Einzelquerschnitte.....	14
1.2.5.2 Verhalten längerer Stababschnitte.....	15
1.2.5.3 Rißbreitenbeschränkung und Korrosionsschutz.....	18
1.3 Grundsätzliche Hinweise zur Bemessung von Stahlbetonbauteilen	21
2 Sicherheitskonzept	25
2.1 Allgemeines.....	25
2.2 Einwirkungen	27
2.2.1 Allgemeines	27
2.2.3 Einwirkungen.....	27
2.2.4 Einwirkungskombinationen	28
2.3 Baustoffe	30
2.3.1 Allgemeines	30
2.3.2 Beton.....	30
2.3.3 Betonstahl	30
3 Bemessungsschnittgrößen	31
3.1 Allgemeines.....	31
3.2 Festlegung zum statischen System	32
3.2.1 Allgemeines	32
3.2.2 Auflagerbedingungen.....	32
3.2.3 Stützweiten, Systemlinien.....	33
3.3 Anpassung der Schnittgrößen an tatsächliche lokale Gegebenheiten	34
3.3.1 Momentenausrundung	34
3.3.2 Ausschnittmomente	35
3.3.3 Mindestbemessungsmomente	35
3.3.4 Bemessungsmomente an Rahmenecken	35
3.3.5 Maßgebende Querkraft V_{sd}	36
3.4 Hinweise zu Verformungen und Zwangsschnittgrößen	37
3.4.1 Verformungen.....	37
3.4.2 Zwangsschnittgrößen	38

4	Bemessung bei überwiegender Biegung	39
4.1	Allgemeines	39
4.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit für die Querschnittsbemessung	40
4.3	Spannungs-Dehnungslinien.....	41
4.3.1	Allgemeines	41
4.3.2	Beton.....	41
4.3.3	Betonstahl	42
4.4	Herleitung der Bemessungsgleichungen	43
4.5	Bemessungsverfahren für Rechteckquerschnitte.....	47
4.5.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm für den Rechteckquerschnitt (Diagramm nach Rüsç, Bild 4.5-1).....	48
4.5.2	Bemessungsverfahren mit dimensionsgebundenen Beiwerten: „ k_d -Verfahren“	52
4.5.3	Bemessungsverfahren mit Druckbewehrung	57
4.6	Bemessungsbeispiele.....	62
4.6.1	Reine Biegung	62
4.6.2	Reine Biegung, Variation der Materialfestigkeiten	68
4.6.3	Reine Biegung, einfache Bewehrung.....	71
4.6.4	Biegung mit Längsdruck, doppelte Bewehrung.....	73
4.6.5	Biegung mit Längskraft, doppelte Bewehrung	75
4.6.6	Reine Biegung, nicht-rechteckiger Querschnitt	78
5	Bemessung bei überwiegender Längskraft	81
5.1	Allgemeines	81
5.2	Bemessungsverfahren bei bekannten Schnittgrößen	82
5.2.1	Allgemeines	82
5.2.2	Bemessungsverfahren für den Rechteckquerschnitt mit symmetrischer Bewehrung	83
5.2.3	Bemessungsverfahren für nicht-symmetrische Bewehrung bei vorgegebenem Bewehrungsverhältnis A_{s1}/A_{s2}	87
5.2.4	Bemessungsverfahren bei zentrischer Druckkraft	88
5.3	Bemessungsbeispiele.....	88
5.3.1	Rechteckquerschnitt mit doppelter Bewehrung (symmetrisch)	88
5.3.2	Rechteckquerschnitt mit doppelter Bewehrung	88
5.3.3	Bemessung mit zentrischer Druckkraft.....	92
6	Bemessung bei Querkraft	93
6.1	Allgemeines	93
6.2	Bemessungskonzept	96
6.3	Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Schubbewegung.....	97
6.4	Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Schubbewegung.....	99
6.4.1	Fachwerkmodell zur Herleitung der Bemessungsgleichungen	99
6.4.2	Das Standardverfahren.....	101
6.4.3	Das Verfahren mit veränderlicher Druckstrebenneigung	102
6.5	Sonderfälle der Schubbemessung	102
6.5.1	Einfluß einer Längsdruckkraft N_{sd}	102
6.5.2	Einfluß einer Längszugkraft N_{sd}	103
6.5.3	Einfluß einer auflagernahen Einzellast	104
6.5.4	Schubnachweise bei Querschnitten mit veränderlicher Höhe.....	104

6.5.5	Anschluß indirekt gelagerter Nebenträger an den als Auflager dienenden Hauptträger	106
6.6	Konstruktive Bedingungen nach EC 2, 5.4	107
6.6.1	Elemente zur Schubsicherung	107
6.6.2	Mindestschubbewehrung	108
6.6.3	Abstand der Schubbewehrung in Längsrichtung	109
6.6.4	Abstand der Schubbewehrung in Querrichtung	109
6.7	Beispiele zur Schubbemessung	109
6.7.1	Balken auf zwei Stützen mit Rechteckquerschnitt	110
6.7.2	Balken auf zwei Stützen mit Plattenbalkenquerschnitt und auflagernahen Einzellasten	113
6.7.3	Plattenbalken mit Strecken- und Einzellasten	118
7	Bemessung von Plattenbalken	123
7.1	Allgemeines	123
7.2	Ermittlung der mitwirkenden Plattenbreite	125
7.2.1	Allgemeines	125
7.2.2	Festlegung der effektiven Trägerspannweite	127
7.2.3	Näherungsweise Ermittlung der mitwirkenden Plattenbreite nach EC 2	127
7.2.4	Genauere Ermittlung der mitwirkenden Plattenbreite	127
7.2.5	Beispiele zur Ermittlung der mitwirkenden Plattenbreite	128
7.3	Biegebemessung von Plattenbalken	132
7.3.1	Allgemeines	132
7.3.2	„Direktes“ Bemessungsverfahren	134
7.3.3	Beispiele zur Biegebemessung von Plattenbalken	136
7.3.3.1	Unterzug POS 11 aus Abschnitt 7.2.4 mit positivem Moment	136
7.3.3.2	Plattenbalken (Teil der Rippendecke) mit positiven und negativen Momenten	137
7.4	Schubbemessung von Plattenbalken	139
7.4.1	Allgemeines	139
7.4.2	Nachweis im Steg	140
7.4.3	Anschluß an Flansche	140
8	Zugkraftdeckung und Grundlagen der Bewehrungsführung	145
8.1	Die Folgen des Schub- Fachwerkmodells für die Biegezug-Bewehrung	145
8.2	Ermittlung der Zugkraftlinie	146
8.3	Zugkraftdeckungslinie	147
8.4	Grundlagen der Bewehrungsführung	148
8.4.1	Allgemeines	148
8.4.2	Grundmaße der Verankerungslängen und Stababstände	149
8.4.3	Verankerungsformen	150
8.4.4	Erforderliche Verankerungslänge $l_{b, net}$	150
8.4.5	Verankerung an Endauflagern	150
8.4.6	Verankerung an Zwischenauflagern	151
8.4.7	Verankerung gestaffelter Stäbe außerhalb von Auflagern	151
8.4.8	Verankerung von Schubaufbiegung	151
8.4.9	Stöße	151
8.4.10	Verankerung von Bügeln und Schubzulagen	155
8.4.11	Zulässige Krümmungen von Bewehrungsstäben	156

9	Momentenumlagerung	157
9.1	Allgemeines	157
9.2	Theoretische Grundlagen	160
9.2.1	Allgemeines	160
9.2.2	Das Momentenkrümmungsdiagramm.....	161
9.2.3	Der aufnehmbare Rotationswinkel $\Theta_{pl, d}$	164
9.2.4	Ermittlung des erforderlichen plastischen Rotationswinkels Θ_{crf}	165
10	Nachweise der Gebrauchstauglichkeit	167
10.1	Allgemeines	167
10.2	Grenzzustände der Verformung	167
10.2.1	Allgemeines	167
10.2.2	Begrenzung der Biegeschlankheit	168
10.2.3	Beispiel zur Begrenzung der Biegeschlankheit	169
10.3	Rißbreitenbeschränkung.....	169
10.3.1	Allgemeines zur Rißbildung	169
10.3.2	Anmerkungen zum Rißmechanismus	170
10.3.3	Mindestbewehrung	171
10.3.4	Beschränkung der Rißbreiten.....	174
11	Berechnungs- und Konstruktionsbeispiele	177
11.1	Allgemeines	177
11.2	Einfeldriger Plattenbalken mit Kragarm	177
11.3	Einachsig gespannte Deckenplatte mit Momentenumlagerung.....	203
11.4	Beispiel zur Ermittlung des erforderlichen Rotationswinkels.....	218
11.5	Kelleraußenwand unter zentrischem Zwang (weiße Wanne).....	226
Teil B Grundlagen von Bauwerken und Bauteilen		
12	Räumliche Steifigkeit und Stabilität	229
12.1	Allgemeines	229
12.2	Stabilität	229
12.3	Steifigkeit.....	233
12.3.1	Tragwerke mit gesonderten Aussteifungssystemen.....	233
12.3.2	Rahmen ohne gesonderte Aussteifungssysteme	234
12.4	Lasten auf Aussteifungssysteme infolge von Imperfektionen.....	235
12.4.1	Allgemeines	235
12.4.2	Horizontale aussteifende Bauteile	235
12.4.3	Vertikale aussteifende Bauteile	236
12.5	Verteilung der H- Lasten auf vertikale aussteifende Bauteile.....	237
13	Druckglieder mit Einfluß der Verformungen	239
13.1	Grundlagen.....	239
13.1.1	Allgemeine Anmerkungen.....	239
13.1.2	Imperfektionen.....	242
13.1.3	Auswirkungen planmäßiger Ausmitten auf die Tragfähigkeit.....	242
13.2	Hilfsmittel zur Berechnung der Ersatzlänge $l_0 = \beta l_{col}$	244
13.2.1	Allgemeines	244
13.2.2	Verschiebliche zweistielige Rahmen	244

13.2.3	Über Gelenkriegel gekoppelte eingespannte Stützen.....	245
13.2.4	Eingespannte Aussteifungsstütze mit gelenkig angekoppelten Pendelstützen	246
13.2.5	Eingespannte Stütze mit Auflast und Eigenlast	246
13.2.6	Nomogramm für Stockwerkrahmen („Leiterdiagramm“)	247
13.3	Tragfähigkeit von in einer Ebene verformbaren Einzelstäben	248
13.3.1	Allgemeines	248
13.3.2	Kragstützen mit einachsiger Biegung	249
13.3.3	Rahmenstütze in unverschieblichem System mit einachsiger Biegung ..	253
13.3.4	Rahmenstützen in verschieblichem System mit einachsiger Biegung ..	255
13.3.5	Einfluß von Kriechverformungen	259
13.4	Bemessungsbeispiele.....	261
13.4.1	Innenstütze eines horizontal ausgesteiften Hochbau-Rahmens.....	261
13.4.2	Randstütze eines horizontal unverschieblichen Rahmens.....	266
13.4.3	Kragstütze als aussteifendes Bauteil eines verschieblichen Systems....	270
13.4.4	Hallenstütze	276
13.5	Tragfähigkeitsnachweis mit Nomogrammen.....	282
13.5.1	Allgemeines	282
13.5.2	Die „ μ -Nomogramme“ (Bild 13.5-1 bis 13.5-5)	283
13.5.3	Die „ e_1/h -Nomogramme (Bild 13.5-6 bis 13.5-9)	283
13.6	Nachrechnung der Beispiele aus Abschnitt 13.4	293
13.6.1	Innenstütze eines horizontal ausgesteiften Hochbaurahmens (13.4.1)	293
13.6.2	Randstütze eines horizontal unverschieblichen Rahmens (13.4.5.2)	293
13.6.3	Kragstütze als aussteifendes Bauteil eines verschieblichen Systems (13.4.3)	294
13.6.4	Hallenstütze (13.4.4)	295
13.7	Tragfähigkeit von räumlich verformbaren Einzelstäben	296
13.7.1	Allgemeines	296
13.7.2	Lösung über Entkopplung der Nachweise	296
13.8	Kippsicherheit schlanker Träger	298
13.8.1	Allgemeines	298
13.8.2	Abschätzung der Kippsicherheit nach EC 2.....	298
13.8.3	Näherungslösung nach Stiglat.....	299

Teil C Besondere Bauteile

14	Fundamente.....	301
14.1	Allgemeines.....	301
14.2	Gründungsarten	302
14.3	Bodenpressungsverteilung (die statisch unbestimmte Größe).....	306
14.3.1	Allgemeines	306
14.3.2	Bettungszahlverfahren	306
14.3.3	Steifezahlverfahren	307
14.3.4	Finite Elemente	308
14.3.5	Trageverhalten von elastisch gebetteten Gründungen	309
14.4	Streifenfundamente	311
14.4.1	Allgemeines	311
14.4.2	Unbewehrte Streifenfundamente.....	311
14.4.3	Bewehrte Streifenfundamente.....	313

14.5	Einzelfundamente mit zentrischer Belastung	316
14.5.1	Allgemeines	316
14.5.2	Biegebemessung	316
14.5.3	Nachweis der Sicherheit gegen Durchstanzen	320
14.5.4	Bemessungsbeispiel (Fundament ohne Durchstanzbewehrung)	324
14.5.5	Bemessungsbeispiel (Fundament mit Durchstanzbewehrung)	326
14.6	Einzelfundamente mit exzentrischer Belastung	329
14.6.1	Allgemeines	329
14.6.2	Nachweis der globalen Standsicherheit (Sicherheit gegen Kippen und Gleiten)	329
14.6.3	Biegebemessung	330
14.6.4	Nachweis der Sicherheit gegen Durchstanzen	332
14.6.5	Beispiel	332
14.7	Fundamentbalken auf elastischer Bettung	335
14.7.1	Allgemeines	335
14.7.2	Herleitung der Differentialgleichung	335
14.7.3	Lösung der Differentialgleichung für den Balken mit mittiger Einzellast	336
14.7.4	Anwendung von Zahlentafeln	337
14.7.5	Hinweise zur Ermittlung von Bettungszahlen	341
14.7.6	Beispiel: Balken auf elastischer Bettung mit zwei Einzellasten	342
14.7.7	Balken auf elastischer Bettung mit vier Einzellasten	346
15	Rahmen	349
15.1	Allgemeines	349
15.2	Bewehrungsführung allgemein	349
15.3	Bewehrungsführung in Rahmenecken	351
15.3.1	Allgemeines	351
15.3.2	Rahmenecke mit positivem Moment	353
15.3.3	Rahmenecke mit negativem Moment	353
15.4	Beispiel: Rahmenecke mit positivem Moment	354
16	Konsolen	357
16.1	Allgemeines	357
16.2	Tragverhalten von Konsolen	358
16.3	Konsolen mit einfacher Zugbandbewehrung	359
16.4	Konsolen mit kombinierter Zugbandbewehrung	361
16.5	Einfluß von Lastexzentrizitäten	362
16.5.1	Exzentrizitäten in Kragrichtung	362
16.5.2	Exzentrizitäten senkrecht zur Kragrichtung	362
16.6	Bewehrungsführung	363
16.6.1	Allgemeines	363
16.6.2	Verankerung der Zugbandbewehrung unter der Last	364
16.6.3	Verankerung der Zugbandbewehrung in der Stütze	365
16.6.4	Ergänzende Bügelbewehrung	365
17	Torsionsbeanspruchte Bauteile	367
17.1	Allgemeines	367
17.2	Wirkung der Torsion	369

17.2.1	Allgemeines	369
17.2.2	Hinweise zu Verformungen	370
17.3	Bemessung für Torsion	371
17.3.1	Allgemeines	371
17.3.2	Ersatzhohlkasten	372
17.3.3	Räumliches Fachwerkmodell	372
17.3.4	Bemessung bei reiner Torsion T_{sd}	373
17.3.5	Bemessung bei Torsion T_{sd} und Querkraft V_{sd}	373
17.3.6	Bemessung bei Torsion T_{sd} und Biegung mit/ohne Längskraft	374
17.4	Konstruktive Bedingungen	374
17.5	Bemessungsbeispiel	374
18	Zweiachsig gespannte Platten	387
18.1	Allgemeines	387
18.2	Tragverhalten	388
18.3	Schnittgrößenermittlung bei Einzelplatten	392
18.3.1	Allgemeines	392
18.3.2	Schnittgrößenermittlung nach der Elastizitätstheorie	392
18.3.2.1	Grundlagen	392
18.3.2.2	Schnittgrößenermittlung mit Zahlentafeln für Standardfälle	394
18.3.2.3	Schnittgrößenermittlung für Sonderfälle	397
18.3.2.4	Ermittlung der Auflagerkräfte	397
18.3.3	Schnittgrößenermittlung mit nichtlinearen Berechnungs-Verfahren	398
18.3.3.1	Allgemeines	398
18.3.3.2	Berechnung von Platten mit der Theorie der Fließgelenk- linien	399
18.3.4	Durchbiegungsbeschränkung	401
18.4	Bemessung	401
18.4.1	Allgemeines	401
18.4.2	Biegebemessung im Normalfall	402
18.4.3	Biegebemessung bei Abweichung von Bewehrungsrichtung und Hauptmomentenrichtung	402
18.4.4	Biegebemessung bei Berechnung mit der Fließgelenklinientheorie	404
18.4.5	Schubbemessung	404
18.5	Beispiele zu Einfeldplatten	405
18.5.1	Ermittlung von Auflagerkräften	405
18.5.2	Treppenpodest	406
18.5.3	Kellerschacht	418
18.5.4	Berechnung unter Ansatz von Fließgelenklinien	424
18.6	Durchlaufende Plattensysteme	426
18.6.1	Allgemeines	426
18.6.2	Das „Schachbrettverfahren“	427
18.6.3	Das Verfahren nach Pieper und Martens	430
18.6.4	Das Verfahren nach Hahn und Brunner	431
18.6.4.1	Allgemeines	431
18.6.4.2	Die Steifigkeitswerte ρ	432
18.6.4.3	Die Übertragungswerte γ	432
18.7	Berechnungsbeispiel eines Durchlaufsystems	434
18.7.1	Durchlaufplatte über drei Felder nach Hahn und Brunner	435

18.7.2	Durchlaufplatte über drei Felder nach Pieper und Martens	439
18.7.3	Ergebnisvergleich der Beispiele	440
18.8	Konstruktive Ausbildung von Platten	440
18.8.1	Allgemeines	440
18.8.2	Biegebewehrung	440
18.8.3	Schubbewehrung	441
18.8.4	Torsions-/Drillbewehrung.....	442
18.9	Deckengleiche Unterzüge	442
18.9.1	Allgemeines	442
18.9.2	Tragverhalten der Platte im Bereich unterbrochener Stützung	443
18.9.3	Näherungsverfahren zur Berechnung von deckengleichen Unterzügen	444
18.10	Öffnungen in Platten	446
18.10.1	Allgemeines	446
18.10.2	Kleine Öffnungen	447
18.10.3	Mittlere Öffnungen	447
18.10.4	Große Öffnungen	448
18.11	Platten auf elastischer Bettung	451
18.11.1	Allgemeines	451
18.11.2	Anmerkungen zum Ansatz von Einzellasten	451
18.11.3	Beispiel: Stahlbetonplatte eines Kellers mit Mauerwerks-Pfeilern.....	452
18.12	Schnittgrößenermittlung mit Finiten Elementen (FEM)	455
18.12.1	Allgemeines	455
18.12.3	Treppenpodest	457
18.12.3.1	Allgemeines	457
18.12.3.2	Eingabe des Systems, Elementnetz.....	457
18.12.3.3	Ergebnisse der FEM-Rechnung	458
18.12.3.4	Vergleich der Ergebnisse der FEM-Rechnung und der Handrechnung.....	460
18.12.4	Durchlaufplatte über drei Felder.....	460
18.12.4.1	Allgemeines	460
18.12.4.2	Eingabe des Systems, Elementnetz.....	460
18.12.4.3	Ergebnisse der FEM-Rechnung	461
18.12.4.4	Vergleich der Ergebnisse der FEM-Rechnung und der Handrechnung.....	463
18.13	Flachdecken	464
18.13.1	Allgemeines	464
18.13.2	Tragverhalten.....	464
18.13.3	Ermittlung der Biegemomente.....	467
18.13.3.1	Allgemeines	467
18.13.3.2	Näherungsverfahren auf der Basis der Plattentheorie	467
18.13.4	Nachweis der Sicherheit gegen Durchstanzen	470
18.13.4.1	Allgemeines	470
18.13.4.2	Das Bemessungsmodell für Platten ohne Stützenkopfverstärkung (Flachdecken)	470
18.13.4.3	Das Bemessungsmodell für Platten mit Stützenkopfverstärkung (Piltdecken)	475
18.13.5	Beispiel	476
18.13.5.1	Ermittlung der Biegemomente (Innenfeld)	476
18.13.5.2	Nachweis der Sicherheit gegen Durchstanzen für eine Innenstütze	480

19 Scheiben	483
19.1 Allgemeines.....	483
19.2 Tragverhalten von Scheiben.....	484
19.3 Ermittlung von Schnittgrößen bzw. Spannungen.....	486
19.3.1 Schnittgrößenermittlung allgemein.....	486
19.3.2 Schnittgrößenermittlung einfacher wandartiger Träger.....	487
19.4 Bemessung.....	489
19.4.1 Zugstrebenachweis.....	489
19.4.2 Druckstrebenachweis.....	489
19.4.3 Bewehrungsführung in Scheiben.....	490
19.5 Stabilitätsprobleme bei Scheiben.....	492
19.5.1 Allgemeines.....	492
19.5.2 Wandscheiben.....	493
19.5.3 Wandartige Träger.....	494
20 Teilflächenbelastung	495
20.1 Allgemeines.....	495
20.2 Lokale Teilflächenpressung.....	496
20.3 Querkzugspannungen.....	497
Literaturverzeichnis	499
Anhang	503
Sachwortverzeichnis	511
