

Grundlagen des Stahlbetonbaus

Einführung in die Bemessung
nach Eurocode 2

Von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. Gert König
Universität Leipzig
und Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue
Frankfurt am Main



B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig 1998

Inhalt

1	Bauwerke aus Stahlbeton	13
1.1	Gliederung der Bauwerkstypen	13
1.2	Überführung eines Bauwerks in ein Tragwerk	16
1.2.1	Planungsphasen	16
1.2.2	Bauwerk und Tragwerk	17
1.2.3	Tragelemente	18
1.2.4	Auflager	21
1.2.5	Tragsysteme	22
2	Ausgangsstoffe des Stahlbetons	28
2.1	Beton	28
2.1.1	Zusammensetzung des Betons	28
2.1.2	Betonfestigkeitsklassen	31
2.1.3	Eigenschaften des jungen Betons	33
2.1.4	Eigenschaften des erhärteten Betons	36
2.1.4.1	Druckfestigkeit	36
2.1.4.2	Zugfestigkeit	38
2.1.4.3	Elastizitätsmodul	40
2.1.4.4	Kriechen und Schwinden	40
2.1.4.5	Spannungs-Dehnungs-Linie unter einachsiger Druckbeanspruchung	42
2.1.4.6	Beton unter Zugbeanspruchung	47
2.2	Betonstahl	51
2.2.1	Allgemeines	51
2.2.2	Spannungs-Dehnungs-Linie und Duktilität des Betonstahls	52
2.2.3	Oberflächenbeschaffenheit des Betonstahls	54
2.3	Verbundgesetze und Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen	55
2.3.1	Begriffe und Einflußfaktoren	55
2.3.2	Versuche zur Bestimmung der Verbundgesetze	56
2.3.3	Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen	59
2.3.4	Verbundgesetze in der Bemessung von Stahlbetonbauteilen	61
3	Einwirkungen auf Bauwerke	63
3.1	Allgemeines	63
3.2	Lasteinwirkungen	64
3.3	Verformungseinwirkungen	66
3.3.1	Stützensenkungen	66

3.3.2	Temperatureinwirkungen	67
3.3.3	Einwirkungen durch Schwinden	67
3.3.4	Einwirkungen durch Kriechen	68
3.4	Mechanische Klassifikation der Einwirkungen	72
3.5	Lastannahmen in Deutschen und Europäischen Normen	74
4	Sicherheitskonzept und Nachweiskonzept	76
4.1	Definition der Grenzzustände	76
4.2	Sicherheitstheorie	78
4.2.1	Theoretische Zusammenhänge	78
4.2.2	Verteilungsfunktionen im Bauwesen	82
4.2.3	Versagenswahrscheinlichkeit und Sicherheitsindex	86
4.2.4	Sicherheitsfaktoren	89
4.2.5	Bestimmung der Versagenswahrscheinlichkeit und der Bemessungspunkte	92
4.2.6	Zweckmäßige Anwendung verschiedener Verteilungsfunktionen	99
4.2.7	Bestimmung der Teilsicherheitsbeiwerte	100
4.2.7.1	Allgemeines	100
4.2.7.2	Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände	101
4.2.7.3	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen	102
4.2.7.4	Kombinationswerte für veränderliche Einwirkungen	104
4.3	Nachweisformat entsprechend EC2	105
4.3.1	Allgemeines	105
4.3.2	Nachweisformat für den Grenzzustand der Tragfähigkeit	106
4.3.3	Nachweisformat für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	109
5	Schnittgrößenermittlung	111
5.1	Tragwerksidealisierung	111
5.1.1	Ermittlung der Stützweiten	111
5.1.2	Mitwirkende Plattenbreite bei Plattenbalken	112
5.2	Verfahren zur Ermittlung der Schnittgrößen	114
5.3	Definition der Schnittgrößenumlagerung	120
5.4	Ermittlung der Schnittgrößen nach EC2	125
5.4.1	Stabtragwerke	125
5.4.2	Flächentragwerke	134
6	Verhalten von Stahlbetonelementen	136
6.1	Allgemeines	136
6.2	Verhalten von Stahlbetonstäben	136

6.2.1	Verhalten unter Zugbeanspruchung	136
6.2.2	Verhalten unter zentrischem Druck	142
6.3	Verhalten von Stahlbetonbalken	144
6.3.1	Balken unter Biegung mit und ohne Normalkraft	144
6.3.1.1	Balken im Zustand I	144
6.3.1.2	Balken im Zustand II	146
6.3.2	Balken unter Biegung mit Querkraft	151
6.3.3	Balken unter Torsion	157
6.3.3.1	Torsionsbeanspruchung	157
6.3.3.2	St. Venantsche Torsion und Wölbkrafttorsion	159
6.3.3.3	Spannungen aus Torsionsbeanspruchung	161
7	Werkstoffgesetze und Annahmen zur Ermittlung des Querschnittswiderstandes	166
7.1	Allgemeines	166
7.2	Spannungs-Dehnungs-Linien des Betons nach EC2	166
7.2.1	Parabel-Rechteck-Diagramm	167
7.2.2	Bilineare Spannungs-Dehnungs-Linie	169
7.2.3	Rechteckige Spannungsverteilung (Spannungsblock)	170
7.3	Betonstahl	170
7.4	Annahmen	172
7.5	Zulässige Dehnungsverteilungen	172
8	Grenzzustand der Tragfähigkeit	174
8.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit infolge Biegung mit Normalkraft	174
8.1.1	Inneres Gleichgewicht bei Biegung mit Normalkraft für Querschnitte mit rechteckiger Druckzone	174
8.1.2	Einlegen von Druckbewehrung	179
8.1.3	Bemessungshilfen für Biegung mit und ohne Normalkraft	180
8.1.3.1	Allgemeines	180
8.1.3.2	Allgemeines Bemessungsdiagramm	180
8.1.3.3	k_d - Verfahren	183
8.1.3.4	ω - Verfahren	189
8.1.3.5	μ - ν - Interaktionsdiagramm	196
8.1.4	Rechnerischer Querschnittswiderstand gegen Biegung	199
8.1.4.1	Allgemeines	199
8.1.4.2	Querschnittswiderstand mit dem ω - Verfahren	199
8.1.4.3	Querschnittswiderstand mit dem iterativen Verfahren	200
8.1.5	Gegliederte Druckzone	202
8.1.5.1	Schlanke Plattenbalken	203

8.1.5.2	Gedrungener Plattenbalken	205
8.1.5.3	Bemessungshilfen für Plattenbalken	208
8.1.6	Ober- und Untergrenze der Bewehrungsmenge bei Bauteilen mit Biegung mit / ohne Längskraft	211
8.1.6.1	Untergrenze (Mindestbewehrung)	211
8.1.6.2	Obergrenze des Bewehrungsgrades	212
8.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit infolge Querkraft	212
8.2.1	Allgemeines	212
8.2.2	Querkraftbewehrungsarten	213
8.2.3	Bauteile ohne Querkraftbewehrung	215
8.2.3.1	Mechanismen der Kraftübertragung	215
8.2.3.2	Grundwert der Schubspannung nach EC2	219
8.2.4	Bauteile mit Querkraftbewehrung	219
8.2.4.1	Allgemeines	219
8.2.4.2	Klassische Fachwerkanalogie	220
8.2.4.3	Erweiterte Fachwerkanalogie	221
8.2.4.4	Fachwerk mit veränderlicher Druckstrebenneigung	222
8.2.5	Grenzzustand der Tragfähigkeit infolge Querkraft nach EC2	225
8.2.5.1	Vorgehensweise für die Querkraftbemessung	225
8.2.5.2	Bemessungswert der Querkraft	227
8.2.5.3	Querkrafttragfähigkeit der Bauteile ohne Querkraftbewehrung	228
8.2.5.4	Querkrafttragfähigkeit von Bauteilen mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung	228
8.2.5.5	Mindestquerkraftbewehrung	230
8.2.6	Sonderfälle	235
8.2.6.1	Bauteile mit veränderlicher Höhe	235
8.2.6.2	Schub im Flansch von T-Trägern	235
8.3	Grenzzustand der Tragfähigkeit infolge Torsion	237
8.3.1	Allgemeines	237
8.3.2	Ermittlung der Torsionstragfähigkeit anhand eines Fachwerkmodells	239
8.3.3	Bemessung der Torsion nach EC2 für reine Torsion	243
8.3.4	Bemessung der Torsion nach EC2 für kombinierte Beanspruchungen - Interaktionen	245
8.3.4.1	Torsion mit Biegung und / oder Normalkraft	245
8.3.4.2	Torsion mit Querkraft	246
8.4	Grenzzustände der Tragfähigkeit beeinflusst durch Tragwerks- verformung	247
8.4.1	Allgemeines	247
8.4.2	Momenten-Verkrümmungs-Beziehung	249
8.4.3	Tragverhalten einer Kragstütze	256

8.4.4	Grenzzustand der Tragfähigkeit beeinflusst durch Tragwerksverformung nach EC2	259
8.4.4.1	Allgemeines	259
8.4.4.2	Einteilung von Tragwerken bzw. Tragwerksteilen	260
8.4.5	Bemessung von Einzeldruckgliedern	263
8.4.5.1	Arten von Einzeldruckgliedern	263
8.4.5.2	Ermittlung der Ersatzlänge von Einzeldruckgliedern	264
8.4.5.3	Anwendungskriterium für die Theorie II. Ordnung	266
8.4.5.4	Modellstützenverfahren	267
8.4.6	Bemessungshilfen für einachsige Biegung mit Druckkraft	271
8.4.6.1	Allgemeines	271
8.4.6.2	μ - Nomogramme	272
8.4.6.3	e/h - Diagramme	273
8.4.7	Sonderfall: Zweiachsig knickgefährdetes Druckglied	278
8.4.8	Konstruktive Durchbildung und Mindestbewehrung von Druckgliedern	279
9	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	280
9.1	Allgemeines	280
9.2	Begrenzung der Stahl- und Betonspannung	280
9.2.1	Begrenzung der Stahlspannung	280
9.2.2	Begrenzung der Betonspannung	281
9.3	Begrenzung der Durchbiegung	282
9.3.1	Genaue Nachweise der Tragwerksverformung	282
9.3.2	Vereinfachter Nachweis der Tragwerksverformung nach EC2	292
9.4	Beschränkung der Rißbreiten	294
9.4.1	Ursachen der Rißbildung und Rißarten	294
9.4.2	Ermittlung der Rißbreiten	295
9.4.2.1	Rißbreite beim Einzelriß	295
9.4.2.2	Abgeschlossene Rißbildung	296
9.4.3	Formeln zur Ermittlung der Rißbreite	302
9.4.4	Beschränkung der Rißbreite nach EC2	304
9.5	Verformungseinwirkung im Gebrauchszustand	305
9.5.1	Allgemeines	305
9.5.2	Schnittgrößen bei vorwiegend Verformungseinwirkungen	307
9.5.3	Bodenplatten und Wände unter Verformungseinwirkung	310
9.5.4	Zwangkraft bei Bodenplatten	310
9.5.5	Zwangkraft bei Wänden auf Fundamenten	313

10	Diskontinuitätsbereiche	316
10.1	Allgemeines	316
10.2	Stabwerkmodelle	318
10.3	Öffnungen in Trägern	321
10.4	Lasteinleitungsbereiche	324
10.5	Konsolen	325
10.5.1	Kurze und mittlere Konsolen	326
10.5.2	Lange Konsolen	329
10.6	Indirekte Lagerungen	333
10.7	Ausklinkungen	334
10.8	Rahmenecken und Rahmenknoten	340
10.8.1	Rahmenecken mit positivem Moment	341
10.8.2	Rahmenecken mit negativem Moment	345
10.8.3	Rahmenknoten mit durchlaufendem Riegel	347
10.8.4	Rahmenknoten mit durchlaufender Stütze	349
10.8.5	Rahmenknoten als Kreuzung von Stütze und Riegel	350
10.9	Krümmungen	352
10.10	Höhenversprünge an Balken	353
11	Platten	355
11.1	Theorie	355
11.2	Abgrenzung von Platten	357
11.3	Einachsig gespannte Platten	360
11.3.1	Tragverhalten und Vordimensionierung	360
11.3.2	Schnittgrößen und Biegebemessung	361
11.3.3	Einzellasten	362
11.3.4	Querkraftbemessung	364
11.4	Schnittgrößenermittlung bei mehrachsig gespannten Platten	364
11.4.1	Allgemeines	364
11.4.2	Näherungsverfahren nach <i>Marcus</i>	365
11.4.3	Verfahren mit <i>Czerny</i> -Tafeln	367
11.5	Punktförmig gelagerte Platten	368
11.5.1	Allgemeines	368
11.5.2	Durchstanzen	369
11.6	Öffnungen in Platten	374
11.7	Unterbrochene Stützung	376
11.8	Bruchlinientheorie	377
11.9	Konstruktive Durchbildung von Platten	384

12	Scheiben und wandartige Träger	386
12.1	Allgemeines	386
12.2	Wandartiger Einfeldträger	387
12.2.1	Vertikale Gleichstreckenlast als Einwirkung	387
12.2.2	Einzellast als Einwirkung	391
12.3	Wandartige Mehrfeldträger	393
12.4	Scheibe unter horizontaler Belastung	395
13	Grundlagen der Bewehrungsführung	398
13.1	Allgemeines	398
13.2	Verankerungslängen	398
13.3	Stöße	402
13.4	Zugkraftdeckung	405
13.5	Querkraft- und Torsionsbewehrung	407
13.6	Sonstige Konstruktionsregeln	408
	Literatur	411
	Symbole	418
	Index	424

