

Stahlbetonbau in Beispielen

DIN 1045 und EUROPÄISCHE NORMUNG

Teil 1
Bemessung von Stabtragwerken

Prof. Dr.-Ing. Ralf Avak

4., neu bearbeitete
und erweiterte Auflage 2004

Werner Verlag

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	1
1.1	Geschichtliche Zusammenfassung	1
1.2	Eigenschaften von Stahlbeton	1
1.3	Eigenschaften des Verbundbaustoffes Stahlbeton	3
1.3.1	Tragverhalten unter zentrischem Druck	3
1.3.2	Tragverhalten unter zentrischem Zug	5
1.3.3	Tragverhalten unter Biegung	10
1.3.4	Schlussfolgerungen	12
2	Baustoffe des Stahlbetons	13
2.1	Beton	13
2.1.1	Einteilung und Begriffe	13
2.1.2	Bestandteile	15
2.2	Frischbeton	16
2.2.1	Wassermenge und Wasserzementwert	16
2.2.2	Nachbehandlung des Betons	18
2.3	Festbeton	20
2.3.1	Druckfestigkeit	20
2.3.2	Zugfestigkeit	22
2.3.3	Elastizitätsmodul	23
2.3.4	Werkstoffgesetze	23
2.4	Betonstahl	26
2.4.1	Werkstoffkennwerte für Druck- und Zugbeanspruchung	26
2.4.2	Werkstoffgesetze	29
2.5	Stahlbeton unter Umwelteinflüssen	30
2.5.1	Karbonatisierung	30
2.5.2	Betonkorrosion	33
2.5.3	Chlorideinwirkung	33
2.5.4	Dauerhafte Stahlbetonbauwerke	34
3	Betondeckung	35
3.1	Aufgabe	35
3.2	Maße der Betondeckung	35
3.3	Regelungen nach DIN 1045	36
3.3.1	Mindestmaß	36
3.3.2	Vorhaltemaß	37
3.4	Regelungen nach EC 2	39
3.4.1	Mindestmaß	39
3.4.2	Vorhaltemaß	39

3.5	Abstandhalter.....	41
3.5.1	Arten und Bezeichnungen	41
3.5.2	Anordnung der Abstandhalter	43
4	Bewehren mit Betonstabstahl	44
4.1	Betonstahlquerschnitte.....	44
4.2	Biegen von Betonstahl.....	46
4.2.1	Beanspruchungen infolge der Stabkrümmung.....	46
4.2.2	Mindestwerte des Biegerollendurchmessers nach DIN 1045	48
4.2.3	Mindestwerte des Biegerollendurchmessers nach EC 2.....	49
4.2.4	Hin- und Zurückbiegen von Bewehrungsstäben.....	50
4.2.5	Grenzabmaße von Bewehrungsstäben.....	53
4.3	Verankerung von Betonstählen.....	53
4.3.1	Tragwirkung	53
4.3.2	Grundmaß der Verankerungslänge	53
4.3.3	Allgemeine Bestimmungen der Verankerungslänge	56
4.3.4	Verankerungslänge an Auflagern	58
4.3.5	Ergänzende Regelungen für dicke Bewehrungsstäbe	62
4.3.6	Verankerung von Stabbündeln	62
4.3.7	Verankerungslänge nach EC 2.....	63
4.3.8	Ankerkörper.....	64
4.4	Stöße von Betonstahl	64
4.4.1	Erfordernis von Stößen.....	64
4.4.2	Übergreifungsstöße.....	66
4.4.3	Bestimmung der Übergreifungslänge	68
4.4.4	Bestimmung der Übergreifungslänge nach EC 2	71
4.5	Direkte Zug- und Druckstöße	71
4.5.1	Erfordernis, Stoßarten und Auswahlkriterien.....	71
4.5.2	Schweißverbindungen	75
4.5.3	Mechanische Verbindungen	75
4.6	Hinweise zur Bewehrungswahl	77
5	Tragwerke und deren Idealisierung.....	78
5.1	Tragwerke	78
5.2	Tragwerksidealisation.....	79
5.2.1	Systemfindung	79
5.2.2	Auflager und Stützweiten	81
5.2.3	Steifigkeiten.....	84
5.3	Mindestabmessungen.....	86
5.4	Verfahren zur Schnittgrößenermittlung.....	87
5.4.1	Allgemeines	87
5.4.2	Lineare Verfahren auf Basis der Elastizitätstheorie	87
5.4.3	Lineare Verfahren mit begrenzter Momentenumlagerung	88
5.4.4	Nichtlineare Verfahren	90
5.4.5	Verfahren auf Grundlage der Plastizitätstheorie.....	90
5.5	Mindestmomente	90

5.6	Gebäudeaussteifung.....	93
5.6.1	Lotrechte aussteifende Bauteile.....	93
5.6.2	Waagerechte aussteifende Bauteile.....	95
5.7	Näherungsverfahren zur Schnittgrößenermittlung für horizontal unverschiebliche Rahmen des Hochbaus.....	95
5.7.1	Anwendungsmöglichkeiten.....	95
5.7.2	Regeldurchführung des c_o - c_u -Verfahrens.....	97
5.7.3	Durchführung des c_o - c_u -Verfahrens bei Rippenplatten.....	98
5.7.4	Durchführung des c_o - c_u -Verfahrens bei in Stahlbetonwand einspannenden Balken.....	100
5.8	Bautechnische Unterlagen.....	102
6	Grundlagen der Bemessung.....	103
6.1	Allgemeines.....	103
6.2	Bemessungskonzepte.....	103
6.2.1	Grenzzustände.....	103
6.2.2	Bemessungskonzept im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	105
6.2.3	Schnittgrößenermittlung im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	106
6.2.4	Vereinfachte Schnittgrößenermittlung für Hochbauten.....	109
6.2.5	Bemessungskonzept im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	110
6.2.6	Schnittgrößenermittlung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	110
7	Nachweis für Biegung und Längskraft (Biegebemessung).....	111
7.1	Grundlagen des Nachweises.....	111
7.2	Bauteilhöhe und statische Höhe.....	113
7.3	Bemessungsmomente.....	114
7.4	Zulässige Stauchungen und Dehnungen.....	116
7.4.1	Grenzdehnungen.....	116
7.4.2	Dehnungsbereiche.....	118
7.4.3	Auswirkungen unterschiedlicher Grenzdehnungen.....	119
7.5	Biegebemessung von Querschnitten mit rechteckiger Druckzone für einachsige Biegung.....	121
7.5.1	Grundlegende Zusammenhänge für die Erstellung von Bemessungshilfen.....	121
7.5.2	Bemessung mit einem dimensionslosen Verfahren.....	125
7.5.3	Bemessung mit einem dimensionsgebundenen Verfahren.....	133
7.5.4	Bemessung mit einem grafischen Verfahren.....	135
7.5.5	Bemessung mit Druckbewehrung.....	137
7.6	Biegebemessung von Plattenbalken.....	142
7.6.1	Begriff.....	142
7.6.2	Mitwirkende Plattenbreite.....	143
7.6.3	Bemessung bei rechteckiger Druckzone.....	148
7.6.4	Bemessung bei gegliederter Druckzone.....	152
7.7	Grenzwerte der Biegezugbewehrung.....	159
7.7.1	Mindestbewehrung nach DIN 1045.....	159
7.7.2	Mindestbewehrung nach EC 2.....	160
7.7.3	Höchstwert der Biegezugbewehrung.....	160

7.8	Vorbemessung	161
7.8.1	Rechteckquerschnitte.....	161
7.8.2	Plattenbalken	162
7.9	Bemessung bei beliebiger Form der Druckzone.....	162
7.10	Bemessung vollständig gerissener Querschnitte	164
7.10.1	Grundlagen	164
7.10.2	Bemessung.....	165
7.11	Bemessung mit Interaktionsdiagrammen	167
7.11.1	Grundlagen	167
7.11.2	Anwendung bei einachsiger Biegung	168
7.11.3	Anwendung bei zweiachsiger Biegung.....	171
8	Bemessung für Querkräfte.....	175
8.1	Allgemeine Grundlagen.....	175
8.2	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft.....	177
8.2.1	Bauteile mit konstanter Bauteilhöhe.....	177
8.2.2	Bauteile mit variabler Bauteilhöhe	180
8.3	Bauteile ohne Querkraftbewehrung	182
8.3.1	Tragverhalten.....	182
8.3.2	Nachweisverfahren nach DIN 1045.....	184
8.3.3	Nachweisverfahren nach EC 2.....	189
8.4	Bauteile mit Querkraftbewehrung	191
8.4.1	Fachwerkmodell	191
8.4.2	Höchstabstände der Querkraftbewehrung.....	198
8.4.3	Mindestquerkraftbewehrung.....	199
8.4.4	Bemessung von Stegen nach DIN 1045	200
8.4.5	Bemessung von Stegen nach EC 2	203
8.5	Schubsicherung in den Gurten von Plattenbalken.....	208
8.5.1	Fachwerkmodell im Gurt.....	208
8.5.2	Bemessung von Gurten nach DIN 1045	210
8.5.3	Bemessung von Gurten nach EC 2	213
8.6	Schubkräfte in Arbeitsfugen.....	214
8.6.1	Anwendungsbereiche.....	214
8.6.2	Einwirkende Schubkraft	215
8.6.3	Bauteilwiderstand in der Kontaktfuge nach EC 2	216
8.6.4	Bauteilwiderstand in der Kontaktfuge nach DIN 1045	217
8.7	Querkraftdeckung	218
8.7.1	Allgemeines	218
8.7.2	Querkraftbewehrung aus senkrecht stehender Bewehrung.....	219
8.7.3	Querkraftbewehrung aus senkrecht und schräg stehender Bewehrung	223
8.8	Bewehrungsformen.....	228
8.9	Auf- und Einhängewehrung.....	229
8.9.1	Einhängewehrung	229
8.9.2	Aufhängewehrung.....	229

9	Bemessung für Torsionsmomente	231
9.1	Allgemeine Grundlagen.....	231
9.2	Querschnittswerte für Torsion.....	233
9.2.1	Schubmittelpunkt	233
9.2.2	Geschlossene Querschnitte.....	233
9.2.3	Offene Querschnitte.....	235
9.3	Bemessungsmodell bei alleiniger Wirkung von Torsionsmomenten.....	236
9.3.1	Isotropes Material.....	236
9.3.2	Räumliches Fachwerkmodell	236
9.3.3	Bemessung nach DIN 1045.....	239
9.3.4	Bemessung nach EC 2.....	239
9.3.5	Bewehrungsführung	239
9.4	Bemessungsmodell bei kombinierter Wirkung von Querkräften und Torsionsmomenten.....	240
9.4.1	Geringe Beanspruchung ohne Nachweis.....	240
9.4.2	Bemessung.....	241
9.4.3	Druckstrebenwinkel bei Bemessung nach DIN 1045.....	242
9.4.4	Druckstrebenwinkel bei Bemessung nach EC 2.....	246
10	Zugkraftdeckung	249
10.1	Grundlagen	249
10.2	Durchführung der Zugkraftdeckung.....	251
11	Begrenzung der Spannungen.....	256
11.1	Erfordernis.....	256
11.2	Nachweis der Spannungsbegrenzung	256
11.2.1	Voraussetzungen	256
11.2.2	Spannungsbegrenzungen im Beton	257
11.2.3	Spannungsbegrenzungen im Betonstahl.....	258
11.3	Entfall des Nachweises.....	262
12	Beschränkung der Rissbreite.....	263
12.1	Allgemeines.....	263
12.2	Grundlagen der Rissentwicklung	264
12.2.1	Rissarten und Rissursachen.....	264
12.2.2	Bauteile mit erhöhter Wahrscheinlichkeit einer Rissbildung.....	266
12.3	Grundlagen der Rissbreitenberechnung.....	267
12.3.1	Eintragungslänge und Rissabstand.....	267
12.3.2	Zugversteifung.....	269
12.3.3	Grundgleichung der Rissbreite	269
12.3.4	Wirksame Zugzone.....	270
12.3.5	Schnittgrößen aus Zwang und Lasten.....	271
12.3.6	Mindestbewehrung	271
12.4	Nachweis nach DIN 1045-1	275
12.4.1	Berechnung der Rissbreite.....	275
12.4.2	Beschränkung der Rissbildung ohne direkte Berechnung.....	279

12.5	Nachweis nach EC 2.....	281
12.5.1	Berechnung der Rissbreite.....	281
12.5.2	Beschränkung der Rissbildung ohne direkte Berechnung.....	284
12.6	Weitere Verfahren zum Nachweis der Beschränkung der Rissbreite.....	287
12.6.1	Überblick.....	287
12.6.2	Tafeln zur Rissbreitenbeschränkung nach Meyer.....	287
12.6.3	Grafische Rissbreitenermittlung für Zwang nach Windels.....	288
13	Begrenzung der Verformungen.....	291
13.1	Allgemeines.....	291
13.2	Verformungen von Stahlbetonbauteilen.....	292
13.3	Begrenzung der Biegeschlankheit.....	293
13.3.1	Allgemeines.....	293
13.3.2	Regelung nach DIN 1045.....	293
13.3.3	Regelung nach EC 2.....	297
13.4	Direkte Berechnung der Verformungen.....	300
13.4.1	Grundlagen der Berechnung.....	300
13.4.2	Durchführung der Berechnung.....	301
14	Nachweis gegen Ermüdung.....	306
14.1	Grundlagen.....	306
14.1.1	Wöhlerlinie.....	306
14.1.2	Baustoff Stahlbeton.....	308
14.1.3	Betriebsfestigkeitsnachweis.....	310
14.2	Entfall des Nachweises.....	310
14.3	Vereinfachter Nachweis.....	310
14.3.1	Möglichkeiten der Nachweisführung.....	310
14.3.2	Nachweis für Beton.....	311
14.3.3	Nachweis für Betonstahl.....	312
14.4	Genauer Betriebsfestigkeitsnachweis.....	315
14.4.1	Lineare Schadensakkumulation.....	315
14.4.2	Nachweis für Betonstahl.....	315
14.5	Vereinfachter Betriebsfestigkeitsnachweis.....	318
14.5.1	Nachweis für Betonstahl.....	318
14.5.2	Nachweis für Beton.....	319
15	Druckglieder und Stabilität.....	321
15.1	Einteilung der Druckglieder.....	321
15.2	Vorschriften zur konstruktiven Gestaltung.....	322
15.2.1	Stabförmige Druckglieder.....	322
15.2.2	Wände.....	325
15.3	Einfluss der Verformungen.....	326
15.3.1	Berücksichtigung von Tragwerksverformungen.....	326
15.3.2	Einflussgrößen auf die Verformung.....	327
15.3.3	Ersatzlänge.....	329
15.4	Statisches System.....	331
15.4.1	Horizontal verschiebliche und unverschiebliche Tragwerke.....	331
15.4.2	Modellstützenverfahren.....	334

15.4.3	Einzeldruckglieder und Rahmentragwerke	336
15.4.4	Schlanke und gedrungene Druckglieder.....	337
15.5	Durchführung des Stabilitätsnachweises am Einzelstab bei einachsiger Knickgefahr	338
15.5.1	Kriterien für den Entfall des Nachweises.....	338
15.5.2	Stabilitätsnachweis für den Einzelstab	342
15.5.3	Bemessungshilfsmittel.....	347
15.6	Durchführung des Stabilitätsnachweises am Einzelstab bei zweiachsiger Knickgefahr	349
15.6.1	Getrennte Nachweise in beiden Richtungen.....	349
15.6.2	Nachweis für schiefe Biegung.....	352
15.7	Kippen schlanker Balken.....	352
16	Literatur	353
16.1	Vorschriften, Richtlinien, Merkblätter	353
16.2	Bücher, Aufsätze, sonstiges Schrifttum	354
16.3	Prospektunterlagen von Bauproduktenanbietern.....	357
17	Bezeichnungen	358
17.1	Allgemeines.....	358
17.2	Allgemeine Bezeichnungen.....	358
17.3	Fachspezifische Abkürzungen.....	358
17.3.1	Geometrische Größen.....	358
17.3.2	Baustoffkenngrößen	362
17.3.3	Kraftbezogene Kenngrößen.....	363
17.3.4	Sonstige Größen	366
18	Stichwortverzeichnis	369