

Konrad Zilch · Gerhard Zehetmaier

Bemessung im konstruktiven Betonbau

Nach DIN 1045-1 und DIN EN 1992-1-1

Mit 382 Abbildungen

 Springer

Inhaltsverzeichnis

1	Betonbauteile - Grundlagen, Tragverhalten	1
1.1	Verbundbaustoff Stahlbeton	1
1.1.1	Kennzeichnende Eigenschaften des Verbundbaustoffs	1
1.1.2	Tragwerke und Tragelemente des Betonbaus	2
1.2	Verhalten eines Einfeldbalkens - Versuchsbeobachtungen	5
1.2.1	Trag- und Verformungsverhalten	5
1.2.2	Versagensformen	8
1.2.3	Prinzip der Vorspannung	10
1.2.4	Betrachtungsebenen - Querschnitt und System	12
1.3	Aufgaben der Bemessung - Struktur dieses Buchs	13
1.4	Historie	14
1.4.1	Geschichte des Betonbaus	14
1.4.2	Normung	20
1.5	Normenbezug	22
2	Konzepte und Grundlagen der Nachweise	23
2.1	Anforderungen an Bauten und deren Erfüllung	23
2.1.1	Hintergrund - Anforderungen an bauliche Anlagen	23
2.1.2	Grenzzustände und Dauerhaftigkeit	25
2.1.3	Nachweiskonzepte	27
2.2	Sicherheitskonzept	30
2.2.1	Grundlagen	30
2.2.2	Grundzüge der Zuverlässigkeitstheorie	34
2.2.3	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	42
2.2.4	Nachweiskonzept für den Grenzzustand der Tragfähigkeit	48
2.2.5	Nachweiskonzept für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	54
2.3	Bezugsachsen und Querschnittswerte	56
2.3.1	Koordinatensysteme und Bezugsachsen	56
2.3.2	Mitwirkende Breite von Plattenbalken	58
2.3.3	Kennwerte des ungerissenen Querschnitts	62
2.4	Idealisierungen des Tragsystems	64
2.4.1	Lagerungsbedingungen	64
2.4.2	Effektive Stützweite	66
2.4.3	Maßgebende Biegemomente an Innenauflagern	66
3	Werkstoffkennwerte und Verbundverhalten	69
3.1	Beton	69
3.1.1	Allgemeines	69
3.1.2	Tragverhalten und Kennwerte bei Druckbeanspruchung	70
3.1.3	Tragverhalten und Kennwerte bei Zugbeanspruchung	81
3.1.4	Mehrachsiale Festigkeit	84
3.1.5	Rissverzahnung	85

3.1.6	Zeitabhängiges Verhalten	87
3.1.7	Leichtbeton	104
3.2	Betonstahl	109
3.3	Spannstahl	114
3.4	Verbund	119
3.4.1	Verbundbaustoff Stahlbeton - Allgemeines	119
3.4.2	Mechanismen des Verbundes	119
3.4.3	Prüfung des Verbundverhaltens	122
3.4.4	Einflüsse auf das Verbundverhalten	123
3.4.5	Verbundkennwerte	125
3.4.6	Verbundverhalten von Spanngliedern	126
3.4.7	Differentialgleichung des Verbundes	127
4	Grundlagen der Berechnung von Spannbetonbauteilen	129
4.1	Arten und Ausführung der Vorspannung	129
4.1.1	Überblick	129
4.1.2	Vorspannung mit sofortigem Verbund	130
4.1.3	Vorspannung mit nachträglichem Verbund	131
4.1.4	Vorspannung ohne Verbund	132
4.2	Schnittgrößen aus Vorspannung bei statisch bestimmten Systemen ...	133
4.2.1	Allgemeines	133
4.2.2	Gleichgewicht am Querschnitt	134
4.2.3	Berechnung mit Anker- und Umlenkkräften	135
4.2.4	Kreisförmiger oder parabolischer Spanngliedverlauf - Sonderfall	137
4.2.5	Ermittlung von Spannungen infolge Vorspannung	141
4.3	Spannkraftverluste	142
4.3.1	Überblick	142
4.3.2	Spannkraftverluste während des Spannvorganges	143
4.3.3	Zeitabhängige Spannkraftverluste	155
4.4	Rechenwerte der Vorspannkraft	159
4.4.1	Zulässige Spannkräfte	160
4.4.2	Charakteristische Werte der Vorspannkraft	161
4.4.3	Bemessungswert der Vorspannkraft	162
4.4.4	Spannbettzustand	162
4.4.5	Anrechnung der Vorspannung bei Biegebeanspruchung	164
5	Biegung und Längskraft - Tragverhalten und Bemessung im GZT	165
5.1	Tragverhalten und Bemessungsgrundlagen	165
5.1.1	Schnittgrößen und Gleichgewichtsbedingungen	165
5.1.2	Tragverhalten des ungerissenen Balkens	167
5.1.3	Tragverhalten des gerissenen Balkens - Grundsätze der Bemessung	168
5.1.4	Versagensarten und Dehnungszustände	171
5.1.5	Verformungsverhalten und Duktilität	174
5.1.6	Äußere und innere Schnittgrößen	176
5.2	Bemessung für überwiegende Biegung	180
5.2.1	Querschnitte ohne Druckbewehrung	181
5.2.2	Querschnitte mit Druckbewehrung	188
5.2.3	Bemessungshilfsmittel	192
5.2.4	Vereinfachte Bemessung - Näherungsbeziehungen	195
5.3	Bemessung für überwiegende Längskraft	198
5.3.1	Mittige Zugkraft und Zugkraft mit geringer Ausmitte	198
5.3.2	Drucknormalkraft	199
5.3.3	Beliebige $M-N$ -Kombinationen - Interaktionsdiagramm	200
5.4	Querschnitte mit nicht rechteckiger Druckzone	204
5.4.1	Allgemeines	204
5.4.2	Plattenbalken	205

5.4.3	Kreis- und Kreisringquerschnitte	209
5.4.4	Allgemeine Querschnitte - Schiefe Biegung	211
5.5	Bemessung vorgespannter Querschnitte	211
5.5.1	Vorspannung mit Verbund	212
5.5.2	Vorspannung ohne Verbund	216
5.6	Sicherstellung ausreichender Duktilität - Mindestbewehrung	216
5.6.1	Mindestbewehrung bei Stahlbetonbauteilen	217
5.6.2	Mindestbewehrung bei vorgespannten Bauteilen	217
6	Querkraft - Tragverhalten und Bemessung im GZT	219
6.1	Grundlagen	219
6.2	Tragverhalten bei ungerissenem Trägersteg	221
6.3	Bemessung von Bauteilen ohne Querkraftbewehrung	224
6.3.1	Tragverhalten bei gerissenem, unbewehrtem Trägersteg	225
6.3.2	Tragmodelle und Tragmechanismen	227
6.3.3	Bemessung	231
6.3.4	Interaktion von Biegung und Querkraft	235
6.4	Bemessung von Bauteilen mit Querkraftbewehrung	237
6.4.1	Allgemeines	237
6.4.2	Tragverhalten bei gerissenem, bewehrtem Trägersteg	238
6.4.3	Tragmodell und Bemessungsgrundlagen - Fachwerkanalogie ..	240
6.4.4	Bemessung nach DIN 1045-1	249
6.4.5	Bemessung nach DIN EN 1992-1-1	254
6.4.6	Interaktion von Biegung und Querkraft - Versatzmaß	256
6.5	Mindestquerkraftbewehrung	256
6.6	Bemessungswert der Querkraft - Maßgebender Schnitt	258
6.6.1	Direkte Lagerung - Auflagernahe Lasten	259
6.6.2	Indirekte Lagerung	261
6.6.3	Auswirkungen geneigter Gurte und Spannglieder	262
6.7	Sonderfälle der Querkraftbemessung	267
6.7.1	Schub in Gurten gegliederter Querschnitte	267
7	Torsion - Tragverhalten und Bemessung im GZT	273
7.1	Grundlagen	273
7.2	Tragverhalten bei reiner Torsion	274
7.2.1	Spannungen in ungerissenen Bauteilen	275
7.2.2	Tragverhalten gerissener Stahlbetonbauteile	279
7.3	Torsionstragfähigkeit von Bauteilen mit prismatischem Querschnitt ..	282
7.3.1	Bemessungsgrundlagen - Strebenkräfte	282
7.3.2	Bemessung für reine Torsion	286
7.4	Kombinierte Beanspruchungen	288
8	Spannungen und Verformungen auf Gebrauchslastniveau	293
8.1	Allgemeines	293
8.1.1	Verformungen - Arten, Ursachen und Zweck der Berechnung ..	293
8.1.2	Grundlegende Annahmen	294
8.2	Längsdruckkraft	294
8.2.1	Kurzzeitig wirkende Druckbeanspruchungen	295
8.2.2	Auswirkungen zeitabhängigen Verhaltens	295
8.3	Längszugkraft	300
8.3.1	Tragverhalten bei kurzzeitiger Zugbeanspruchung	300
8.3.2	Kräfte und Verformungen des ungerissenen Zugstabes	304
8.3.3	Kräfte und Verformungen des gerissenen Zugstabes	304
8.3.4	Auswirkungen langandauernder Zugbeanspruchung	308
8.3.5	Vorgespannter Zugstab	309
8.4	Biegebeanspruchung	313
8.4.1	Allgemeines	313

8.4.2	Spannungen und Verformungen im Zustand I	314
8.4.3	Querschnittswerte und Spannungen im reinen Zustand II	316
8.4.4	Verformungsberechnung durch Integration der M - κ -Beziehung	321
8.4.5	Vereinfachte Berechnung	327
8.4.6	Auswirkungen zeitabhängigen Verhaltens	331
8.5	Querkraft und Torsion	336
9	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	339
9.1	Allgemeines	339
9.1.1	Nachweisumfang in DIN 1045-1 und DIN EN 1992-1-1	339
9.1.2	Nachweisgrundlagen	340
9.1.3	Vorspannung	340
9.2	Spannungsbegrenzungen	340
9.2.1	Nachweise	341
9.2.2	Anwendungsbereich - Maßgebender Grenzzustand	343
9.3	Begrenzung der Biegeverformung	344
9.3.1	Grenzwerte und Nachweisverfahren	344
9.3.2	Nachweis durch Berechnung der Verformungen	346
9.3.3	Nachweis durch Begrenzung der Biegeschlankheit bei überwiegender Biegebeanspruchung	347
9.4	Rissbreitenbegrenzung	350
9.4.1	Ursachen und Erscheinungsformen von Rissen	350
9.4.2	Allgemeines zu den Nachweisen	351
9.4.3	Berechnung der Rissbreite	353
9.4.4	Vereinfachte Nachweise - Konstruktionsregeln	357
9.4.5	Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite	360
9.4.6	Nachweise nach DIN 1045-1 und DIN EN 1992-1-1	363
9.4.7	Besonderheiten bei Spannbetonbauteilen	369
10	Statisch unbestimmte Systeme	375
10.1	Tragverhalten und Grundlagen	375
10.1.1	Tragverhalten	375
10.1.2	Folgerungen aus dem Tragverhalten	378
10.1.3	Rotation plastischer Gelenke	380
10.2	Schnittgrößenermittlung und Nachweis-konzepte im GZT	383
10.2.1	Allgemeines	383
10.2.2	Elastizitätstheorie	384
10.2.3	Plastizitätstheorie	385
10.2.4	Elastizitätstheorie mit Umlagerung	388
10.2.5	Nichtlineare Berechnung	390
10.2.6	Nachweis der Rotationsfähigkeit plastischer Gelenke	393
10.3	Indirekte Einwirkungen - Zwang	398
10.3.1	Grundlagen	398
10.3.2	Überlagerung von Last und Zwang	402
10.3.3	Berücksichtigung von Zwang in GZG und GZT	403
10.3.4	Auswirkungen zeitabhängigen Verhaltens	406
10.4	Vorgespannte, statisch unbestimmte Balken	412
10.4.1	Allgemeines	413
10.4.2	Berechnung der statisch unbestimmten Wirkung	413
10.4.3	Ansatz der statisch unbestimmten Wirkung in Nachweisen	418
10.5	Torsion in statisch unbestimmten Systemen	419

11 Dauerhaftigkeit	421
11.1 Allgemeines	421
11.2 Schädigungsmechanismen	422
11.2.1 Korrosion der Bewehrung	422
11.2.2 Betonangriff (Betonkorrosion)	426
11.3 Prinzipien zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit	427
11.3.1 Überblick	427
11.3.2 Expositionsklassen	428
11.3.3 Betondeckung	430
11.3.4 Normenregelung nach DIN 1045-1 und DIN EN 1992-1-1	430
12 Grundlagen des Bewehrens von Stahlbetonbauteilen	435
12.1 Allgemeines	435
12.2 Grundlegende Bewehrungsregeln	437
12.2.1 Anordnung der Bewehrung im Querschnitt	437
12.2.2 Umlenkungen - Biegen von Betonstahl	440
12.3 Verankerung von Bewehrung	442
12.3.1 Verbundverankerung gerader Stäbe	442
12.3.2 Weitere Möglichkeiten der Verankerung	448
12.4 Stoßverbindung von Bewehrungsstäben	448
12.4.1 Übergreifungsstöße	448
12.4.2 Direkte Stöße	452
12.5 Konstruktionsregeln für Balken	454
12.5.1 Biegung	454
12.5.2 Querkraft	458
12.5.3 Torsion	462
12.5.4 Ergänzende Regeln für Plattenbalken	463
12.6 Konstruktionsregeln für Stützen	464
12.7 Ausbildung indirekter Auflager	466
12.8 Bewehrungszeichnungen	467
12.8.1 Allgemeines	467
12.8.2 Elemente einer Bewehrungszeichnung	469
Normen und Richtlinien	473
Symbole und Bezeichnungen	476
Literatur	483
Index	495
Bemessungshilfsmittel	503