

Konrad Zilch · Gerhard Zehetmaier

# **Bemessung im konstruktiven Betonbau**

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

Mit 382 Abbildungen

 Springer

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Betonbauteile - Grundlagen, Tragverhalten</b>	<b>1</b>
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
<b>2</b>	<b>Konzepte und Grundlagen der Nachweise</b>	<b>23</b>
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
<b>3</b>	<b>Werkstoffkennwerte und Verbundverhalten</b>	<b>69</b>
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
<b>4</b>	<b>Grundlagen der Berechnung von Spannbetonbauteilen .....</b>	<b>129</b>
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 Spannkraft .....	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
<b>5</b>	<b>Biegung und Längskraft - Tragverhalten und Bemessung im GZT</b>	<b>165</b>
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
<b>6</b>	<b>Querkraft - Tragverhalten und Bemessung im GZT .....</b>	<b>219</b>
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
<b>7</b>	<b>Torsion - Tragverhalten und Bemessung im GZT .....</b>	<b>273</b>
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
<b>8</b>	<b>Spannungen und Verformungen auf Gebrauchslastniveau .....</b>	<b>293</b>
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 $M$ - $\kappa$ -Beziehung	321
8.4.5	Vereinfachte Berechnung	327
8.4.6	Auswirkungen zeitabhängigen Verhaltens	331
8.5	Querkraft und Torsion	336
<b>9</b>	<b>Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit</b>	<b>339</b>
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
<b>10</b>	<b>Statisch unbestimmte Systeme</b>	<b>375</b>
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

<b>11 Dauerhaftigkeit</b> .....	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
<b>12 Grundlagen des Bewehrens von Stahlbetonbauteilen</b> .....	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
<b>Normen und Richtlinien</b> .....	473
<b>Symbole und Bezeichnungen</b> .....	476
<b>Literatur</b> .....	483
<b>Index</b> .....	495
<b>Bemessungshilfsmittel</b> .....	503