

Klaus-Wolfgang Bieger  
Jürgen Lierse  
Jürgen Roth

# Stahlbeton- und Spannbetontragwerke

Berechnung, Bemessung und Konstruktion

Mit 348 Abbildungen und 19 Tabellen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo  
Hong Kong Barcelona Budapest

---

# Inhalt

## Teil I. Stahlbetonbau (J. Roth)

<b>1. Verbundbaustoff Stahlbeton</b> . . . . .	1
1.1 Beton . . . . .	1
1.1.1 Zement . . . . .	3
1.1.2 Betonzuschlag . . . . .	3
1.1.3 Zugabewasser . . . . .	3
1.1.4 Betonzusammensetzung . . . . .	3
1.1.5 Frischbetoneigenschaften . . . . .	4
1.1.6 Festbetoneigenschaften . . . . .	4
1.2 Betonstahl . . . . .	6
1.3 Zusammenwirken von Beton und Stahl . . . . .	7
<b>2. Bauelemente und Tragverhalten</b> . . . . .	9
2.1 Stahlbetonbalken . . . . .	9
2.2 Stahlbetonstützen . . . . .	12
2.3 Torsionsbeanspruchte Stahlbetonstäbe . . . . .	12
2.4 Stahlbetonplatten . . . . .	13
2.4.1 Einachsig gespannte Platten . . . . .	13
2.4.2 Vierseitig gelagerte Platten . . . . .	14
2.4.3 Sonstige Platten . . . . .	15
2.5 Stahlbetonscheiben . . . . .	16
2.6 faltwerke und Schalen . . . . .	16
2.7 Ermittlung der Schnittgrößen statisch unbestimmter Stahlbetontragwerke . . . . .	18
<b>3. Bemessung für Biegung und Normalkraft</b> . . . . .	18
3.1 Grundlagen der Biegebemessung . . . . .	19
3.1.1 Vorbemerkung . . . . .	19
3.1.2 Spannungs-Dehnungs-Linien von Beton und Stahl . . . . .	19
3.1.3 Dehnungen und Sicherheitsbeiwerte . . . . .	20
3.1.4 Äußere Schnittgrößen . . . . .	22
3.2 Rechteckquerschnitt unter einachsiger Biegung mit Normalkraft . . . . .	23
3.2.1 Innere Schnittgrößen . . . . .	23
3.2.2 Zusammenstellung einiger Hilfwerte . . . . .	24
3.2.2.1 Nulllinie innerhalb des Querschnittes (Zustand II) . . . . .	24
3.2.2.2 Nulllinie außerhalb des Querschnittes (Zustand I) . . . . .	26

3.2.2.3	Darstellung der Hilfswerte . . . . .	27
3.2.2.4	Bezeichnung der Bewehrungsgrade . . . . .	28
3.2.3	Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	28
3.2.3.1	Zustand II . . . . .	28
3.2.3.2	Zustand I . . . . .	28
3.2.4	Entwicklung von Bemessungshilfsmitteln . . . . .	29
3.2.4.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm für mittlere bis große Lastausmitte . . . . .	30
3.2.4.2	Zahlentafeln für mittlere bis große Lastausmitte . . . . .	35
3.2.4.3	„Dimensionsgebundene“ Zahlentafeln für mittlere bis große Lastausmitte ( $k_h$ -Verfahren) . . . . .	38
3.2.4.4	Bemessungsdiagramme für symmetrische Bewehrung bei Druckkraft mit kleiner Ausmitte (Interaktionsdiagramme) . . . . .	44
3.2.4.5	Diagramme für beliebiges Bewehrungsverhältnis $A_{s1}/A_{s2}$ für Längskraft mit kleiner, mittlerer und großer Ausmitte . . . . .	47
3.2.5	Mittige Druckkraft ohne Knickgefahr . . . . .	50
3.2.5.1	Nachweis der Tragfähigkeit . . . . .	50
3.2.5.2	Bemessung . . . . .	50
3.2.6	Näherungsverfahren bei gering ausmittiger Druckkraft . . . . .	51
3.2.7	Mittige und gering ausmittige Zugkraft . . . . .	51
3.3	Plattenbalkenquerschnitt . . . . .	52
3.3.1	Mitwirkende Plattenbreite . . . . .	52
3.3.2	Bemessung . . . . .	54
3.3.2.1	Bemessung mit Zahlentafeln . . . . .	55
3.3.2.2	Bemessung nach Näherungsverfahren . . . . .	58
3.3.2.2.1	Schlanke Plattenbalken . . . . .	59
3.3.2.2.2	Gedrungene Plattenbalken . . . . .	60
3.3.3	Plattenbalken mit schief verlaufender Nulllinie . . . . .	64
3.4	Beliebige Form der Betondruckzone. . . . .	66
3.5	Rechteckquerschnitt unter schiefer Biegung . . . . .	67
3.6	Umschnürte Druckglieder . . . . .	70
3.7	Unbewehrte Betonquerschnitte . . . . .	72
<b>4.</b>	<b>Bemessung für Querkraft . . . . .</b>	<b>73</b>
4.1	Grundlagen . . . . .	73
4.2	Maßgebende Querkraft . . . . .	75
4.3	Stabkräfte nach der Fachwerkanalogie . . . . .	77
4.4	Ermittlung der Schubspannungen . . . . .	79
4.4.1	Homogene Querschnitte . . . . .	79
4.4.2	Stahlbetonquerschnitte im Zustand II . . . . .	80
4.5	Grundwert der Schubspannung . . . . .	81
4.6	Schubbereiche und Bemessungswert der Schubspannungen . . . . .	82
4.7	Erforderliche Schubbewehrung . . . . .	84
4.7.1	Ermittlung aus der bezogenen Schubkraft. . . . .	84
4.7.2	Vereinfachter Nachweis der Schubbewehrung . . . . .	86
4.8	Sonderfälle der Schubbemessung . . . . .	87
4.8.1	Anschluß von Druck- und Zuggurten . . . . .	87
4.8.2	Durchstanzen von Platten . . . . .	90
4.8.3	Konsolen . . . . .	92

<b>5. Bemessung für Torsion</b> . . . . .	94
5.1 Grundlagen . . . . .	94
5.2 Schubspannungen unter Gebrauchslast . . . . .	96
5.3 Erforderlicher Bewehrungsquerschnitt . . . . .	96
5.4 Zusammengesetzte Querschnitte . . . . .	98
<b>6. Bemessung schlanker Druckglieder</b> . . . . .	98
6.1 Grundlagen . . . . .	98
6.1.1 Verhalten rein elastischer Stäbe . . . . .	99
6.1.2 Verhalten von Stahlbetonstäben . . . . .	100
6.1.3. Ermittlung der Knicklänge . . . . .	103
6.1.4 Abgrenzung zwischen verschieblichen und unverschieblichen Systemen . . . . .	106
6.1.5 Ungewollte Ausmitte . . . . .	107
6.1.6 Einfluß der Verteilung der Biegemomente . . . . .	108
6.1.7 Einfluß des Kriechens . . . . .	109
6.2 Durchführung des Knicksicherheitsnachweises nach dem Ersatzstabverfahren . . . . .	110
6.2.1 Kriterien für den Verzicht auf einen Knicksicherheitsnachweis . . . . .	110
6.2.2 Mäßig schlanke Stäbe mit Schlankheiten $20 < \lambda \leq 70$ . . . . .	111
6.2.3 Sehr schlanke Stäbe mit Schlankheiten $70 < \lambda \leq 200$ . . . . .	113
6.3 Direkter Stabilitätsnachweis . . . . .	117
6.3.1 Momenten-Krümmungs-Linien . . . . .	117
6.3.2 Iterative Ermittlung der Stabausbiegungen und Momente . . . . .	122
6.3.3 Ermittlung der Stabausbiegungen und Momente ohne Iteration für die Biegelinie . . . . .	127
6.4 Bemessung mit Hilfe von Traglastdiagrammen . . . . .	129
6.5 Nachweis am Gesamtsystem . . . . .	131
6.6 Knicken nach zwei Richtungen . . . . .	131
6.7 Sonderfälle des Knicksicherheitsnachweises . . . . .	135
6.7.1 Umschnürte Stützen . . . . .	135
6.7.2 Stahlbetonwände . . . . .	137
6.7.3 Druckglieder aus unbewehrtem Beton . . . . .	138
<b>7. Nachweise unter Gebrauchslast</b> . . . . .	139
7.1 Durchbiegung von Stahlbetonbauteilen . . . . .	139
7.1.1 Allgemeines . . . . .	139
7.1.2 Ermittlung von Durchbiegungen . . . . .	139
7.1.3 Begrenzung der Biegeschlankheit . . . . .	140
7.2 Beschränkung der Rißbreite . . . . .	140
7.2.1 Allgemeines . . . . .	140
7.2.2. Nachweis nach DIN 1045 . . . . .	144
7.2.2.1 Mindestbewehrung . . . . .	144
7.2.2.2 Regeln für die statisch erforderliche Bewehrung . . . . .	144
7.2.3 Wasserundurchlässige Betonkonstruktionen . . . . .	146
7.3 Stahlspannungen unter nicht vorwiegend ruhender Belastung . . . . .	147
Formelzeichen, Größen und Einheiten . . . . .	149
Literatur zu Teil I. Stahlbetonbau . . . . .	151

## Teil II. Spannbeton (K.-W. Bieger)

<b>1. Einführung</b> . . . . .	158
1.1 Vor- und Nachteile des Spannbetons . . . . .	158
1.2 Abgrenzung zum Stahlbeton . . . . .	159
<b>2. Die Erzeugung der Vorspannung</b> . . . . .	162
2.1 Spannbettvorspannung . . . . .	162
2.2 Vorspannung ohne Verbund . . . . .	163
2.3 Vorspannung mit nachträglichem Verbund . . . . .	165
2.4 Besondere Vorspannarten . . . . .	167
<b>3. Der Gebrauchszustand.</b> . . . . .	170
3.1 Lastfall Vorspannung . . . . .	170
3.1.1 Spannbettvorspannung . . . . .	170
3.1.2 Vorspannung ohne Verbund . . . . .	173
3.1.2.1 Statisch bestimmte Systeme . . . . .	173
3.1.2.2 Statisch unbestimmte Systeme . . . . .	176
3.1.3 Umlenkraftmethode . . . . .	181
3.1.4 Reibungsbehinderung . . . . .	186
3.2 Lastfälle Eigen- und Nutzlasten . . . . .	189
3.2.1 Vorspannung mit Verbund . . . . .	189
3.2.2 Vorspannung ohne Verbund . . . . .	190
3.2.3 Teilweise Vorspannung . . . . .	192
3.3 Lastfall Schwinden und Kriechen . . . . .	196
3.3.1 Grundlagen . . . . .	196
3.3.2 Einführung eines Relaxationskennwerts . . . . .	198
3.3.3 Spannkraftabfall bei Vorspannung ohne Verbund in statisch bestimmten Systemen . . . . .	199
3.3.4 Spannkraftabfall bei Vorspannung mit Verbund in statisch bestimmten Systemen . . . . .	200
3.3.5 Methode der Kriechintervalle . . . . .	203
3.3.6 Systemschwinden . . . . .	206
3.3.7 Zwängungen infolge Spannkraftabfall . . . . .	207
3.3.8 Stützensenkungen und Systemänderungen . . . . .	211
3.4 Hauptspannungen infolge Gebrauchslasten . . . . .	213
3.5 Querschnittswahl und Spanngliedführung . . . . .	215
3.6 Ermittlung der Spannwege . . . . .	217
3.7 Berechnung der Verformungen . . . . .	220
<b>4. Die Beschränkung der Rißbreite</b> . . . . .	221
4.1 Grundlagen . . . . .	221
4.2 Schnittgrößen und Stahlspannungen . . . . .	222
4.2 Spannglieder mit nachträglichem Verbund . . . . .	225

<b>5. Der rechnerische Bruchzustand</b> . . . . .	229
5.1 Versagen infolge Biegung mit Längskraft . . . . .	229
5.1.1 Grundlagen und Schnittgrößen . . . . .	229
5.1.2 Vorspannung mit Verbund . . . . .	231
5.1.2.1 Halbgraphisches Verfahren (Mörsch) . . . . .	231
5.1.2.2 Rechnerisches Verfahren (Rüsch) . . . . .	233
5.1.3 Vorspannung ohne Verbund . . . . .	233
5.2 Versagen infolge Querkraft und Torsion . . . . .	236
5.2.1 Hauptspannungen im rechnerischen Bruchzustand . . . . .	236
5.2.1.1 Grundlagen und Schnittgrößen . . . . .	236
5.2.1.2 Hauptspannungen in Zone a . . . . .	238
5.2.1.3 Rechenwert der Schubspannung in Zone b . . . . .	240
5.2.2 Nachweis der Schubbewehrung . . . . .	240
<b>6. Der Verbund zwischen Spannglied und Beton</b> . . . . .	243
<b>7. Die Einleitung der Vorspannkkräfte</b> . . . . .	245
7.1 Ankerkörper am Trägerende . . . . .	245
7.2 Verankerungen innerhalb des Trägers . . . . .	247
7.3 Verankerung durch Verbund . . . . .	248
<b>8. Einige Konstruktionshinweise</b> . . . . .	249
8.1 Spannglieder im Querschnitt . . . . .	249
8.2 Aufnahme der Umlenkkkräfte . . . . .	250
8.3 Zwischenverankerungen . . . . .	251
Formelzeichen, Größen und Einheiten . . . . .	252
Literatur zu Teil II. Spannbeton . . . . .	255

### Teil III. Anwendungen des Stahl- und Spannbetons (J. Lierse)

<b>1. Bewehren von Stahlbetonbauwerken</b> . . . . .	260
1.1 Vorbemerkungen . . . . .	260
1.2 Allgemeine Bewehrungsregeln . . . . .	261
1.3 Mindestbewehrung . . . . .	262
1.4 Verankerung der Bewehrung . . . . .	263
1.5 Bewehrungsstöße . . . . .	266
1.6 Verlegen der Bewehrung . . . . .	269
<b>2. Stahlbetonbauteile</b> . . . . .	273
2.1 Druck- oder zugkraftbeanspruchte Bauelemente . . . . .	273
2.1.1 Stahlbetonstützen . . . . .	274
2.1.2 Betonwände . . . . .	276
2.1.3 Zugglieder . . . . .	277

2.2	Stahlbetonbalken und -plattenbalken . . . . .	278
2.2.1	Allgemeines . . . . .	278
2.2.2	Biegezugbewehrung . . . . .	279
2.2.3	Schubbewehrung . . . . .	282
2.2.4	Torsionsbeanspruchte Balken . . . . .	284
2.2.5	Balkenauflagerung . . . . .	284
2.2.6	Rahmenecken und Rahmenknoten . . . . .	287
2.2.7	Balken und Plattenbalken aus Fertigteilen . . . . .	290
2.2.8	Stahlbetonrippendecken . . . . .	292
2.3	Konsolen . . . . .	293
2.4	Stahlbetonplatten . . . . .	296
2.4.1	Allgemeines . . . . .	296
2.4.2	Einachsig gespannte Platten . . . . .	297
2.4.3	Zweiachsig gespannte Platten . . . . .	301
2.4.4	Punktförmig gestützte Platten . . . . .	302
2.4.5	Platten aus Fertigteilen . . . . .	306
2.4.6	Sonderfälle . . . . .	308
2.5	Treppen . . . . .	308
2.6	Scheibentragwerke . . . . .	311
2.6.1	Allgemeines . . . . .	311
2.6.2	Wandartige Träger . . . . .	311
2.6.3	Decken- und Wandscheiben zur Gebäudeaussteifung . . . . .	314
<b>3.</b>	<b>Anwendungen des Stahl- und Spannbetons im Hoch und Industriebau . . . . .</b>	<b>315</b>
3.1	Einführung . . . . .	315
3.2	Stockwerkbauten . . . . .	315
3.2.1	Vorbemerkungen . . . . .	315
3.2.2	Einwirkungen, Lastannahmen . . . . .	316
3.2.2.1	Vertikale Lasten . . . . .	316
3.2.2.2	Horizontale Lasten . . . . .	317
3.2.2.3	Weitere Einwirkungen . . . . .	317
3.2.3	Wandbauten . . . . .	318
3.2.3.1	Mischbauweise . . . . .	318
3.2.3.2	Betonbauweise . . . . .	318
3.2.3.3	Tafelbauweise . . . . .	319
3.2.4	Stahlbetonskelettbauten . . . . .	322
3.2.4.1	Allgemeines . . . . .	322
3.2.4.2	Deckenkonstruktionen . . . . .	323
3.2.4.3	Gebäudeaussteifung . . . . .	323
3.2.4.4	Fertigteilbauweise . . . . .	324
3.2.4.5	Besondere Bauverfahren . . . . .	325
3.2.4.6	Dehnungsfugen . . . . .	327
3.2.5	Hochhäuser . . . . .	328
3.2.5.1	Allgemeines . . . . .	328
3.2.5.2	Hochhäuser mit durchgängigem Traggerüst . . . . .	329
3.2.5.3	Hochhäuser mit Abfangungen . . . . .	331
3.2.5.4	Hängehochhäuser . . . . .	333
3.2.5.5	Hochhäuser aus Fertigteilen . . . . .	334

3.3	Hallenbauten und weitgespannte Dachkonstruktionen	335
3.3.1	Allgemeines	335
3.3.2	Flachdachhallen	336
3.3.2.1	Klassische Bauweise	336
3.3.2.2	Hallen aus Großfertigteilen	338
3.3.2.3	Rahmenkonstruktionen	339
3.3.3	Hallen mit geneigten Dachflächen	340
3.3.3.1	Shedhallen	340
3.3.3.2	Faltwerkdächer	342
3.3.3.3	Weitgespannte Schalendächer	344
3.3.3.4	Hängedächer	346
3.4	Behälter und Türme	348
3.4.1	Allgemeines	348
3.4.2	Silobauwerke	348
3.4.3	Wasserbehälter	351
3.4.4	Faulbehälter	354
3.4.5	Sicherheitsbehälter	356
3.4.6	Kühltürme	357
3.4.7	Schornsteine und Fernmeldetürme	359
<b>4.</b>	<b>Brücken aus Stahl- und Spannbeton</b>	<b>361</b>
4.1	Einführung	361
4.1.1	Entwicklung des Massivbrückenbaus	361
4.1.2	Begriffsbestimmungen	362
4.1.3	Allgemeine Grundsätze für Entwurf und Gestaltung	362
4.1.4	Vorschriften, Normen und Richtlinien für den Brückenbau	363
4.1.5	Einwirkungen, Lastannahmen	364
4.2	Durchlässe und tunnelartige Unterführungen	365
4.3	Plattenbrücken	369
4.3.1	Allgemeines	369
4.3.2	Schlaff bewehrte Massivplattenbrücken	371
4.3.3	Vorgespannte Massivplattenbrücken	372
4.3.4	Schiefwinklige Plattenbrücken	374
4.3.5	Pilzbrücken	376
4.3.6	Plattenbrücken aus Fertigteilen	378
4.4	Balkenbrücken	379
4.4.1	Vorbemerkungen	379
4.4.2	Plattenbalkenbrücken	380
4.4.2.1	Allgemeines	380
4.4.2.2	Ermittlung der Schnittkräfte	381
4.4.2.3	Bewehrung von Plattenbalkenbrücken	382
4.4.2.4	Einstegige Plattenbalkenbrücken	383
4.4.2.5	Zweistegige, querträgerlose Plattenbalkenbrücken	385
4.4.2.6	Mehrstegige Plattenbalkenbrücken	387
4.4.2.7	Trogbrücken	392
4.4.3	Kastenträgerbrücken	392
4.4.3.1	Allgemeines	392
4.4.3.2	Zur Bemessung und Konstruktion	394
4.4.3.3	Feldweiser Vorbau mit Vorschubrüstung	395
4.4.3.4	Spannbetonbrücken im Freivorbau	398

4.4.3.5	Brückenbau im Taktschiebeverfahren . . . . .	404
4.4.3.6	Kastenträgerbrücken aus Fertigteilen . . . . .	408
4.5	Rahmenbrücken . . . . .	410
4.6	Bogenbrücken . . . . .	412
4.7	Seilabgespannte Brücken . . . . .	417
4.8	Brückenausbau . . . . .	419
4.8.1	Allgemeines . . . . .	419
4.8.2	Randausbildung bei Straßenbrücken . . . . .	419
4.8.3	Fahrbahnaufbau und Abdichtung . . . . .	421
4.8.4	Rand- und Längsfugenausbildung bei Eisenbahnbrücken . . . . .	422
4.8.5	Fahrbahnübergänge . . . . .	424
4.9	Brückenlager . . . . .	425
4.9.1	Allgemeines . . . . .	425
4.9.2	Betonlagerung . . . . .	426
4.9.3	Stählerne Lager . . . . .	426
4.9.4	Bewehrte Elastomerlager . . . . .	427
4.9.5	Topflager . . . . .	428
4.9.6	Kalottenlager . . . . .	428
4.10	Unterbauten . . . . .	429
4.10.1	Allgemeines . . . . .	429
4.10.2	Widerlager . . . . .	429
4.10.3	Stützen und Pfeiler . . . . .	430
	Literatur zu Teil III. Anwendungen des Stahl- und Spannbetons . . . . .	432
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	<b>447</b>