

# Inhalt

## Teil G. Stahlbau (J. Lindner)

<b>1. Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Vorbemerkung	1
1.2 Kennzeichnende Eigenschaften von Stahlbauten	2
1.3 Der Werkstoff Stahl	4
<b>2. Berechnung und Dimensionierung</b>	<b>5</b>
2.1 Allgemeines	5
2.1.1 Brauchbarkeitsnachweise	5
2.1.2 Konzept der zulässigen Spannungen	5
2.1.3 Untersuchung von Grenzzuständen	6
2.1.4 Beispiel 1.1-1. Seitlich unverschieblicher Rahmen	9
2.2 Elastische Beanspruchbarkeit	10
2.2.1 Allgemeines	10
2.2.2 Normalspannungen	11
2.2.3 Schubspannungen aus Querkraft	14
2.2.4 Spannung aus Torsion	16
2.2.5 Vergleichsspannungen	19
2.3 Vorbemessung	20
2.4 Ermüdungsfestigkeit	22
2.4.1 Dauerfestigkeit	22
2.4.2 Betriebsfestigkeit	23
2.4.3 Nachweise für Krane und Kranbahnen	25
2.5 Plastische Beanspruchbarkeit	26
2.5.1 Allgemeines	26
2.5.2 Plastisches Moment	28
2.5.3 Einfluß von Normalkräften	34
2.5.4 Einfluß von Querkraften	36
2.5.5 Mindestdicken	38
<b>3. Stabilitätsuntersuchungen</b>	<b>38</b>
3.1 Einführung	38
3.2 Planmäßig zentrisch gedrückte Stäbe	39
3.2.1 Begriffe	39
3.2.2 Verzweigungslasten $N_{K1}$	41
3.2.3 Verzweigungslasten $N_K$	43

3.2.4	Traglast $N_{kr}$ nach Jezek . . . . .	43
3.2.5	Elastizitätstheorie II. Ordnung . . . . .	44
3.2.6	Nachweis nach DIN 4114. . . . .	46
3.2.7	Europäische Knickspannungslinie . . . . .	50
3.2.8	Nachweis nach DIN 18 800 Teil 2 (11.90) . . . . .	51
3.3	Planmäßig einachsige Biegung mit Normalkraft . . . . .	57
3.3.1	Nachweis nach DIN 4114. . . . .	57
3.3.2	Nachweis nach DIN 18 800 Teil 2 (11.90) . . . . .	59
3.3.2.1	Nachweis der Tragsicherheit allgemein . . . . .	59
3.3.2.2	Imperfektionsannahmen . . . . .	59
3.3.2.3	Biegeknicken in der Lastebene . . . . .	61
3.4	Zweiachsige Biegung mit Normalkraft . . . . .	63
3.4.1	Nachweis nach DIN 4114. . . . .	63
3.4.2	Nachweis nach DIN 18 800 Teil 2 (11.90) . . . . .	63
3.5	Systemstabilität . . . . .	63
3.5.1	Allgemeines . . . . .	63
3.5.2	Nachweis nach DIN 4114. . . . .	63
3.5.3	Nachweis nach der Elastizitätstheorie II.Ordnung . . . . .	66
3.5.4	Nachweis nach DIN 18 800 Teil 2 (11.90) . . . . .	68
3.6	Elastisch gestützte Stäbe. . . . .	70
3.6.1	Statisch bestimmte Systeme . . . . .	70
3.6.2	Federnd gestützte Durchlaufträger. . . . .	71
3.6.3	Elastisch gebetteter Druckstab . . . . .	72
3.7	Biegedrillknicken . . . . .	72
3.7.1	Einleitung . . . . .	72
3.7.2	Ideale Verzweigungslasten . . . . .	73
3.7.2.1	Allgemeines . . . . .	73
3.7.2.2	Momenten- und Querlastbeanspruchung ohne Normalkräfte. . . . .	73
3.7.2.3	Normalkraftbeanspruchung . . . . .	77
3.7.2.4	Biegedrillknicken mit gebundener Drehachse . . . . .	79
3.7.3	Nachweis nach DIN 4114. . . . .	80
3.7.3.1	Normalkraftbeanspruchung . . . . .	80
3.7.3.2	Momenten- und Querlastbeanspruchung . . . . .	80
3.7.4	Nachweis nach DIN 18 800 Teil 2 (11.90) . . . . .	81
3.7.4.1	Normalkräfte allein . . . . .	81
3.7.4.2	Momente und Querlasten allein . . . . .	82
3.7.4.3	Momente und Normalkräfte . . . . .	83
3.7.4.4	Planmäßig zweiachsige Biegung und Normalkraft . . . . .	86
3.7.5	Konstruktive Maßnahmen . . . . .	88
3.7.5.1	Allgemeines . . . . .	88
3.7.5.2	Mindeststeifigkeiten . . . . .	89
3.8	Knicken von mehrteiligen Stäben . . . . .	90
3.8.1	Allgemeines . . . . .	90
3.8.2	Knicken rechtwinklig zur Stoffachse . . . . .	90
3.8.3	Knicken rechtwinklig zur stofffreien Achse . . . . .	90
3.8.3.1	Allgemeines . . . . .	90
3.8.3.2	Ideelle Schubsteifigkeit des Ersatzstabes. . . . .	92
3.8.3.3	Nachweis nach DIN 4114 . . . . .	94
3.8.3.4	Nachweis nach DIN 18 800 Teil 2 (11.90) . . . . .	95

3.9	Beulen von Platten . . . . .	96
3.9.1	Allgemeines . . . . .	96
3.9.2	Ideale kritische Beulspannung nach der Elastizitätstheorie . . . . .	97
3.9.3	Grenzbeulspannung bei einachsiger Beanspruchung . . . . .	99
3.9.3.1	Allgemeines . . . . .	99
3.9.3.2	Nachweis nach DAST-Richtlinie 012 . . . . .	99
3.9.3.3	Berechnung nach DIN 18 800 Teil 3 . . . . .	100
3.9.4	Mehrachsig Beanspruchungen . . . . .	101
3.9.4.1	Nachweis nach DAST-Richtlinie 012 . . . . .	101
3.9.4.2	Nachweis nach DIN 18 800 Teil 3 . . . . .	102
3.9.5	Sonderfragen . . . . .	104
3.9.5.1	Beulen ausgesteifter Platten . . . . .	104
3.9.5.2	Erforderliche Beulsicherheiten . . . . .	105
3.9.5.3	Knickstabähnliches Verhalten . . . . .	105
3.9.5.4	Wirksame Breite von versteiften Blechen . . . . .	106
3.9.5.5	Beulknicken . . . . .	107
3.9.5.6	Überkritisches Tragverhalten . . . . .	107
3.10	Schalenbeulen . . . . .	109
3.10.1	Allgemeines . . . . .	109
3.10.2	Nachweis nach DAST-Richtlinie 013 . . . . .	110
3.10.3	Beispiel 3.10-1. Untersuchung des Normalbereiches eines Kalksilos . . . . .	111
3.10.4	Nachweis nach DIN 18 800 Teil 4 . . . . .	112
<b>4.</b>	<b>Stabilisierungskräfte . . . . .</b>	<b>113</b>
4.1	Allgemeines . . . . .	113
4.2	Aussteifung eines Druckstabes mit konstanter Normalkraft . . . . .	113
4.3	Aussteifung eines Druckstabes mit veränderlicher Normalkraft . . . . .	116
4.4	Anschlußmomente bei der Aussteifung von Biegeträgern . . . . .	116
<b>5.</b>	<b>Abtragung von Horizontallasten . . . . .</b>	<b>117</b>
5.1	Allgemeines . . . . .	117
5.2	Art und Größe von Horizontallasten . . . . .	117
5.3	Konstruktionselemente zur Abtragung von Horizontallasten . . . . .	118
5.3.1	Grundsätze für die Anordnung von Aussteifungen . . . . .	118
5.3.2	Geschoßbauten . . . . .	119
5.3.3	Hallen . . . . .	121
5.3.4	Brücken . . . . .	122
5.4	Beanspruchung von Verbänden . . . . .	123
5.4.1	Beanspruchungen aus Querkraften . . . . .	123
5.4.2	Zusatzbeanspruchung aus elastischer Zusammendrückung . . . . .	124
<b>6.</b>	<b>Verbindungen . . . . .</b>	<b>126</b>
6.1	Allgemeines . . . . .	126
6.2	Allgemeine Angaben zu Verbindungen mit Schrauben . . . . .	127
6.2.1	Schrauben . . . . .	127
6.2.2	Ausführungsformen für Schraubenverbindungen . . . . .	128
6.2.3	Schraubenabstände . . . . .	128

6.3	Scher-Lochleibungsverbindungen. . . . .	129
6.3.1	Versagensarten und Tragfähigkeit einer einzelnen Schraube. . . . .	129
6.3.2	Tragwirkung bei mehreren Schrauben hintereinander. . . . .	133
6.3.3	Trägerstöße . . . . .	134
6.3.3.1	Anteilige Schnittgrößen . . . . .	134
6.3.3.2	Stegstoß . . . . .	135
6.3.3.3	Stegblechlängsstoß . . . . .	136
6.4	Zugverbindungen . . . . .	136
6.5	Gleitfeste planmäßig vorgespannte Verbindungen . . . . .	137
6.6	Biegesteife Kopfplattenanschlüsse . . . . .	139
6.7	Verbindungen mit Schweißnähten . . . . .	142
6.7.1	Schweißvorgang und Schweißverfahren . . . . .	142
6.7.2	Einfluß der Schweißwärme . . . . .	143
6.7.3	Prüfung von Schweißnähten. . . . .	145
6.7.4	Gestaltungsgrundsätze . . . . .	145
6.7.5	Maße und Querschnittswerte von Schweißnähten . . . . .	146
6.7.6	Schweißnahtspannungen . . . . .	147
6.8	Zusammenwirken verschiedener Verbindungsmittel . . . . .	148
	Literatur zu Teil G. Stahlbau . . . . .	148

## Teil H. Verbundbau *(J. Lindner)*

<b>1.</b>	<b>Einführung . . . . .</b>	<b>151</b>
1.1	Begriffsbestimmungen . . . . .	151
1.2	Brückenbau. . . . .	152
1.3	Hochbau . . . . .	153
<b>2.</b>	<b>Grenztragfähigkeit von Verbundträgern. . . . .</b>	<b>154</b>
2.1	Allgemeines . . . . .	154
2.2	Grenztragfähigkeit von Stahlteilen . . . . .	154
2.3	Grenztragfähigkeit von Betonquerschnitten. . . . .	156
2.4	Verbundträger . . . . .	157
2.5	Beispiel zur Berechnung der Grenztragfähigkeit. . . . .	161
<b>3.</b>	<b>Verbundsicherung. . . . .</b>	<b>164</b>
3.1	Verbundmittel . . . . .	164
3.2	Dübelkräfte. . . . .	164
3.3	Dübeltragfähigkeit . . . . .	166
3.4	Teilweise Verdübelung. . . . .	168

<b>4. Berücksichtigung des Verformungsverhaltens des Betons</b>	<b>171</b>
4.1 Allgemeines	171
4.2 Bezeichnungen	171
4.2.1 Materialkennwerte	171
4.2.2 Querschnittswerte	172
4.2.2.1 Betonquerschnitt	172
4.2.2.2 Stahlquerschnitt	172
4.2.2.3 Verbundquerschnitt	173
4.2.2.4 Querschnittskennwerte	173
4.2.3 Schnittgrößen	174
4.2.3.1 Gesamtschnittgrößen	174
4.2.3.2 Teilschnittgrößen	174
4.2.3.3 Hilfswerte	174
4.2.4 Spannungen	174
4.2.5 Verformungen	174
4.3 Formänderungen des Betons	174
4.3.1 Elastische Formänderungen	174
4.3.2 Plastische Formänderungen	175
4.3.3 Zeitintervall	175
4.3.4 Berücksichtigung der Gesamtverformungen über fiktive Elastizitätsmoduln	177
4.4 Verteilungsgrößen	178
4.4.1 Allgemeines	178
4.4.2 Verteilungsgrößen für kurzzeitige Belastung	178
4.4.3 Verteilungsgrößen für langzeitige Belastung	180
4.5 Verbundträgerberechnung über die Lösung von Differentialgleichungen	180
4.5.1 Umlagerungsgrößen	180
4.5.2 Umlagerungsgrößen für konstante Einwirkungen	180
4.5.2.1 Differentialgleichungen	180
4.5.2.2 Umlagerungsgrößen für den Sonderfall: nur Normalkräfte	182
4.5.2.3 Umlagerungsgrößen für ausschließliche Momentenbelastung bei doppelsymmetrischem Querschnitt	183
4.5.2.4 Umlagerungsgrößen bei gleichzeitiger Einwirkung von Normalkraft und Moment	183
4.5.2.5 Gesamtbeanspruchungen	183
4.5.2.6 Größe von Schwindspannungen	184
4.5.3 Umlagerungsgrößen aus Schnittgrößen, die sich affin zum Kriechen aufbauen	184
4.5.3.1 Allgemeines	184
4.5.3.2 Differentialgleichungen und ihre Lösungen	185
4.6 Verbundträgerberechnung mit Hilfe fiktiver Elastizitätsmoduln	185
4.6.1 Allgemeines	185
4.6.2 Zeitlich konstante Normalkraftbelastung	186
4.6.3 Zusammenstellung von Kriechbeiwerten für beliebige Belastungsfälle	187
4.6.4 Spannungen	190
4.7 Vorspannung	191
4.8 Beispiel einer Verbundbrücke, berechnet mit der Methode der fiktiven Elastizitätsmoduln	192

4.8.1	System, Abmessungen, Baustoffe . . . . .	192
4.8.2	Allgemeines . . . . .	193
4.8.2.1	Herstellung und Lastfälle . . . . .	193
4.8.2.2	Berechnung des statisch unbestimmten Systems für langzeitige Belastung . . . . .	193
4.8.3	Lastannahmen . . . . .	194
4.8.4	Querschnittswerte . . . . .	195
4.8.5	Spannungen über der Mittelstütze . . . . .	197
<b>5.</b>	<b>Verbundträger im Hochbau . . . . .</b>	<b>199</b>
5.1	Allgemeines . . . . .	199
5.2	Erläuterungen zu den Nachweisen . . . . .	201
5.2.1	Bauzustand . . . . .	201
5.2.2	Nachweis unter Grenzlasten . . . . .	201
5.2.2.1	Allgemeines . . . . .	201
5.2.2.2	Querschnittsmitwirkung . . . . .	201
5.2.2.3	Biegedrillknicken . . . . .	201
5.2.2.4	Plastische Grenzlast für Verbundträger . . . . .	203
5.2.2.5	Betongurt . . . . .	203
5.2.3	Nachweis unter Gebrauchslasten . . . . .	204
5.3	Beispiel eines Zweifeldträgers im Hochbau . . . . .	204
5.3.1	System und Abmessungen . . . . .	204
5.3.2	Belastungen . . . . .	204
5.3.3	Bemessung der Betonplatte . . . . .	205
5.3.4	Nachweis des Stahlträgers im Bauzustand . . . . .	206
5.3.5	Nachweis des Verbundträgers im Grenzzustand . . . . .	207
5.3.6	Verbundsicherung durch Dübel . . . . .	211
5.3.7	Nachweis der Schubdeckung in der Dübelumrißfläche . . . . .	213
5.3.8	Nachweis der Hauptzugspannungen und Schubdeckung im Betongurt . . . . .	214
5.3.9	Bewehrungsführung . . . . .	215
5.3.10	Abschätzung der Verformung . . . . .	215
<b>6.</b>	<b>Stahldecken mit Flächenverbund . . . . .</b>	<b>220</b>
6.1	Allgemeines . . . . .	220
6.2	Verbundwirkung beim Flächenverbund . . . . .	221
6.3	Verwendung von Versuchsergebnissen . . . . .	223
6.4	Montagezustand . . . . .	223
6.5	Biegetragfähigkeit für Feldmomente . . . . .	225
6.6	Biegetragfähigkeit für Stützenmomente . . . . .	226
6.7	Verbundsicherung . . . . .	227
6.8	Querkrafttragfähigkeit . . . . .	228
6.9	Verformungsberechnung . . . . .	229
6.10	Rissebeschränkung . . . . .	229
6.11	Querbewehrung . . . . .	229
6.12	Scheibenwirkung . . . . .	229
6.13	Beispiel: Verbunddecke über 4 Felder . . . . .	230

<b>7. Verbundstützen</b>	234
7.1 Allgemeines	234
7.2 Grenztragfähigkeit von Verbundstützen	235
7.2.1 Allgemeines, Werkstoffkennwerte	235
7.2.2 Normalkraft	236
7.2.3 Normalkraft und Biegemoment	236
7.2.3.1 Allgemeines	236
7.2.3.2 Einbetonierte I-Profile	237
7.2.3.3 Hohlprofile	241
7.2.3.4 Interaktionsgleichungen	241
7.2.4 Anwendungsgrenzen	243
7.3 Planmäßig mittiger Druck	244
7.4 Normalkraft und einachsige Biegung	245
7.4.1 Allgemeines	245
7.4.2 Näherungsverfahren nach DIN 18 806 Teil1	245
7.5 Verbundsicherung	247
7.5.1 Allgemeines	247
7.5.2 Schubkräfte zum Zeitpunkt $t = 0$	248
7.5.3 Schubkräfte zur Zeit $t \rightarrow \infty$	248
7.6 Beispiel	250
7.6.1 Allgemeines	250
7.6.2 Traglast um die $y$ -Achse	253
7.6.3 Traglast um die $z$ -Achse	256
7.6.4 Verbundsicherung	256
<b>8. Anschlußtechnik und Brandschutz</b>	261
8.1 Brandschutz	261
8.1.1 Allgemeines	261
8.1.2 Beispiel	262
8.2 Anschlüsse	264
Literatur zu Teil H. Verbundbau	265

## Teil I. Stahlbetonbau *(J. Roth)*

<b>1. Verbundbaustoff Stahlbeton</b>	268
1.1 Beton	268
1.1.1 Zement	269
1.1.2 Betonzuschlag	270
1.1.3 Zugabewasser	270
1.1.4 Betonzusammensetzung	270
1.1.5 Frischbetoneigenschaften	271
1.1.6 Festbetoneigenschaften	271

1.2	Betonstahl . . . . .	273
1.3	Zusammenwirken von Beton und Stahl. . . . .	274
<b>2.</b>	<b>Bauelemente und Tragverhalten . . . . .</b>	<b>276</b>
2.1	Stahlbetonbalken . . . . .	276
2.2	Stahlbetonstützen . . . . .	279
2.3	Torsionsbeanspruchte Stahlbetonstäbe . . . . .	280
2.4	Stahlbetonplatten . . . . .	280
2.4.1	Einachsig gespannte Platten. . . . .	280
2.4.2	Vierseitig gelagerte Platten . . . . .	281
2.4.3	Sonstige Platten . . . . .	282
2.5	Stahlbetonscheiben . . . . .	283
2.6	Faltwerke und Schalen . . . . .	284
2.7	Ermittlung der Schnittgrößen statisch unbestimmter Stahlbetontragwerke . . . . .	285
<b>3.</b>	<b>Bemessung für Biegung und Normalkraft. . . . .</b>	<b>285</b>
3.1	Grundlagen der Biegebemessung. . . . .	286
3.1.1	Vorbemerkung . . . . .	286
3.1.2	Spannungs-Dehnungs-Linien von Beton und Stahl . . . . .	286
3.1.3	Dehnungen und Sicherheitsbeiwerte . . . . .	287
3.1.4	Äußere Schnittgrößen. . . . .	289
3.2	Rechteckquerschnitt unter einachsiger Biegung mit Normalkraft. . . . .	290
3.2.1	Innere Schnittgrößen . . . . .	290
3.2.2	Zusammenstellung einiger Hilfswerte . . . . .	291
3.2.2.1	Nulllinie innerhalb des Querschnittes (Zustand II) . . . . .	291
3.2.2.2	Nulllinie außerhalb des Querschnittes (Zustand I) . . . . .	293
3.2.2.3	Darstellung der Hilfswerte . . . . .	294
3.2.2.4	Bezeichnung der Bewehrungsgrade . . . . .	295
3.2.3	Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	295
3.2.3.1	Zustand II . . . . .	295
3.2.3.2	Zustand I . . . . .	295
3.2.4	Entwicklung von Bemessungshilfsmitteln. . . . .	296
3.2.4.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm für mittlere bis große Lastausmitte . . . . .	297
3.2.4.2	Zahlentafeln für mittlere bis große Lastausmitte. . . . .	302
3.2.4.3	„Dimensionsgebundene“ Zahlentafeln für mittlere bis große Lastausmitte ( $k_h$ -Verfahren) . . . . .	306
3.2.4.4	Bemessungsdiagramme für symmetrische Bewehrung bei Druckkraft mit kleiner Ausmitte (Interaktionsdiagramme). . . . .	309
3.2.4.5	Diagramme für beliebiges Bewehrungsverhältnis $A_{s1}/A_{s2}$ für Längskraft mit kleiner, mittlerer und großer Ausmitte . . . . .	314
3.2.5	Mittige Druckkraft ohne Knickgefahr . . . . .	317
3.2.5.1	Nachweis der Tragfähigkeit . . . . .	317
3.2.5.2	Bemessung . . . . .	317
3.2.6	Näherungsverfahren bei gering ausmittiger Druckkraft . . . . .	318
3.2.7	Mittige und gering ausmittige Zugkraft . . . . .	318



3.3	Plattenbalkenquerschnitte . . . . .	319
3.3.1	Mitwirkende Plattenbreite. . . . .	319
3.3.2	Bemessung . . . . .	321
3.3.2.1	Bemessung mit Zahlentafeln . . . . .	322
3.3.2.2	Bemessung nach Näherungsverfahren. . . . .	323
3.3.2.2.1	Schlanke Plattenbalken . . . . .	326
3.3.2.2.2	Gedrungene Plattenbalken . . . . .	327
3.3.3	Plattenbalken mit schief verlaufender Nulllinie . . . . .	331
3.4	Beliebige Form der Betondruckzone . . . . .	333
3.5	Rechteckquerschnitt unter schiefer Biegung. . . . .	334
3.6	Umschnürte Druckglieder . . . . .	337
3.7	Unbewehrte Betonquerschnitte. . . . .	339
<b>4.</b>	<b>Bemessung für Querkraft . . . . .</b>	<b>340</b>
4.1	Grundlagen . . . . .	340
4.2	Maßgebende Querkraft . . . . .	342
4.3	Stabkräfte nach der Fachwerkanalogie . . . . .	344
4.4	Ermittlung der Schubspannungen . . . . .	346
4.4.1	Homogene Querschnitte . . . . .	346
4.4.2	Stahlbetonquerschnitte im Zustand II . . . . .	347
4.5	Grundwert der Schubspannung . . . . .	348
4.6	Schubbereiche und Bemessungswert der Schubspannungen . . . . .	349
4.7	Erforderliche Schubbewehrung. . . . .	351
4.7.1	Ermittlung aus der bezogenen Schubkraft . . . . .	351
4.7.2	Vereinfachter Nachweis der Schubbewehrung . . . . .	353
4.8	Sonderfälle der Schubbemessung. . . . .	354
4.8.1	Anschluß von Druck- und Zuggurten . . . . .	354
4.8.2	Durchstanzen von Platten. . . . .	357
4.8.3	Konsolen. . . . .	359
<b>5.</b>	<b>Bemessung für Torsion . . . . .</b>	<b>360</b>
5.1	Grundlagen . . . . .	360
5.2	Schubspannungen unter Gebrauchslast. . . . .	362
5.3	Erforderlicher Bewehrungsquerschnitt . . . . .	363
5.4	Zusammengesetzte Querschnitte . . . . .	365
<b>6.</b>	<b>Bemessung schlanker Druckglieder . . . . .</b>	<b>365</b>
6.1	Grundlagen . . . . .	365
6.1.1	Verhalten rein elastischer Stäbe . . . . .	366
6.1.2	Verhalten von Stahlbetonstäben . . . . .	367
6.1.3	Ermittlung der Knicklänge . . . . .	370
6.1.4	Abgrenzung zwischen verschieblichen und unverschieblichen Systemen . . . . .	373
6.1.5	Ungewollte Ausmitte . . . . .	374
6.1.6	Einfluß der Verteilung der Biegemomente . . . . .	375
6.1.7	Einfluß des Kriechens. . . . .	376

6.2	Durchführung des Knicksicherheitsnachweises nach dem Ersatzstabverfahren . . .	377
6.2.1	Kriterien für den Verzicht auf einen Knicksicherheitsnachweis . . . . .	377
6.2.2	Mäßig schlanke Stäbe mit Schlankheiten $20 < \lambda \leq 70$ . . . . .	378
6.2.3	Sehr schlanke Stäbe mit Schlankheiten $70 < \lambda \leq 200$ . . . . .	380
6.3	Direkter Stabilitätsnachweis . . . . .	384
6.3.1	Momenten-Krümmungs-Linien . . . . .	384
6.3.2	Iterative Ermittlung der Stabausbiegungen und Momente . . . . .	389
6.3.3	Ermittlung der Stabausbiegungen und Momente ohne Iteration für die Biegelinie . . . . .	394
6.4	Bemessung mit Hilfe von Traglastdiagrammen . . . . .	396
6.5	Nachweis am Gesamtsystem . . . . .	398
6.6	Knicken nach zwei Richtungen . . . . .	398
6.7	Sonderfälle des Knicksicherheitsnachweises . . . . .	402
6.7.1	Umschnürte Stützen . . . . .	402
6.7.2	Stahlbetonwände . . . . .	404
6.7.3	Druckglieder aus unbewehrtem Beton . . . . .	405
7.	<b>Nachweise unter Gebrauchslast</b> . . . . .	406
7.1	Durchbiegungen von Stahlbetonbauteilen . . . . .	406
7.1.1	Allgemeines . . . . .	406
7.1.2	Ermittlung von Durchbiegungen . . . . .	406
7.1.3	Begrenzung der Biegeschlankheit . . . . .	407
7.2	Beschränkung der Rißbreite . . . . .	407
7.2.1	Allgemeines . . . . .	407
7.2.2	Nachweis nach DIN 1045 . . . . .	411
7.2.2.1	Mindestbewehrung . . . . .	411
7.2.2.2	Regeln für die statisch erforderliche Bewehrung . . . . .	411
7.2.3	Wasserundurchlässige Betonkonstruktionen . . . . .	413
7.3	Stahlspannungen unter nicht vorwiegend ruhender Belastung . . . . .	414
	Formelzeichen, Größen und Einheiten . . . . .	416
	Literatur zu Teil I. Stahlbetonbau . . . . .	418

## **Teil J. Spannbeton** *(K.-W. Bieger)*

1.	<b>Einführung</b> . . . . .	425
1.1	Vor- und Nachteile des Spannbetons . . . . .	425
1.2	Abgrenzung zum Stahlbeton . . . . .	426
2.	<b>Die Erzeugung der Vorspannung</b> . . . . .	429
2.1	Spannbettvorspannung . . . . .	429
2.2	Vorspannung ohne Verbund . . . . .	430

2.3	Vorspannung mit nachträglichem Verbund . . . . .	432
2.4	Besondere Vorspannarten . . . . .	434
<b>3.</b>	<b>Der Gebrauchszustand.</b> . . . .	<b>437</b>
3.1	Lastfall Vorspannung . . . . .	437
3.1.1	Spannbettvorspannung . . . . .	437
3.1.2	Vorspannung ohne Verbund . . . . .	440
3.1.2.1	Statisch bestimmte Systeme . . . . .	440
3.1.2.2	Statisch unbestimmte Systeme . . . . .	443
3.1.3	Umlenkkraftmethode . . . . .	448
3.1.4	Reibungsbehinderung . . . . .	453
3.2	Lastfälle Eigen-und Nutzlasten. . . . .	456
3.2.1	Vorspannung mit Verbund . . . . .	456
3.2.2	Vorspannung ohne Verbund . . . . .	457
3.2.3	Teilweise Vorspannung . . . . .	459
3.3	Lastfall Schwinden und Kriechen . . . . .	463
3.3.1	Grundlagen . . . . .	463
3.3.2	Einführung eines Relaxationskennwerts . . . . .	465
3.3.3	Spannkraftabfall bei Vorspannung ohne Verbund in statisch bestimmten Systemen. . . . .	466
3.3.4	Spannkraftabfall bei Vorspannung mit Verbund in statisch bestimmten Systemen. . . . .	467
3.3.5	Methode der Kriechintervalle . . . . .	470
3.3.6	Systemschwinden . . . . .	473
3.3.7	Zwängungen infolge Spannkraftabfall . . . . .	474
3.3.8	Stützensenkungen und Systemänderungen . . . . .	478
3.4	Hauptspannungen infolge Gebrauchslasten . . . . .	480
3.5	Querschnittswahl und Spanngliedführung . . . . .	482
3.6	Ermittlung der Spannwege. . . . .	484
3.7	Berechnung der Verformungen. . . . .	487
<b>4.</b>	<b>Die Beschränkung der Rißbreite</b> . . . . .	<b>488</b>
4.1	Grundlagen . . . . .	488
4.2	Schnittgrößen und Stahlspannungen . . . . .	489
4.3	Spannglieder mit nachträglichem Verbund . . . . .	492
<b>5.</b>	<b>Der rechnerische Bruchzustand</b> . . . . .	<b>496</b>
5.1	Versagen infolge Biegung mit Längskraft . . . . .	496
5.1.1	Grundlagen und Schnittgrößen . . . . .	496
5.1.2	Vorspannung mit Verbund . . . . .	498
5.1.2.1	Halbgraphisches Verfahren (Mörsch) . . . . .	498
5.1.2.2	Rechnerisches Verfahren (Rüsch) . . . . .	500
5.1.3	Vorspannung ohne Verbund . . . . .	500
5.2	Versagen infolge Querkraft und Torsion . . . . .	503
5.2.1	Hauptspannungen im rechnerischen Bruchzustand . . . . .	503
5.2.1.1	Grundlagen und Schnittgrößen. . . . .	503

5.2.1.2 Hauptspannungen in Zone a . . . . .	505
5.2.1.3 Rechenwert der Schubspannung in Zone b . . . . .	507
5.2.2 Nachweis der Schubbewehrung . . . . .	507
<b>6. Der Verbund zwischen Spannglied und Beton.</b> . . . . .	<b>510</b>
<b>7. Die Einleitung der Vorspannkkräfte.</b> . . . . .	<b>512</b>
7.1 Ankerkörper am Trägerende . . . . .	512
7.2 Verankerungen innerhalb des Trägers . . . . .	514
7.3 Verankerung durch Verbund . . . . .	515
<b>8. Einige Konstruktionshinweise.</b> . . . . .	<b>516</b>
8.1 Spannglieder im Querschnitt . . . . .	516
8.2 Aufnahme der Umlenkkräfte . . . . .	517
8.3 Zwischenverankerungen . . . . .	518
Formelzeichen, Größen und Einheiten . . . . .	519
Literatur zu Teil J. Spannbeton . . . . .	522

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

<b>1. Bewehren von Stahlbetonbauwerken</b> . . . . .	<b>527</b>
1.1 Vorbemerkungen . . . . .	527
1.2 Allgemeine Bewehrungsregeln . . . . .	527
1.3 Mindestbewehrung . . . . .	529
1.4 Verankerung der Bewehrung . . . . .	530
1.5 Bewehrungsstöße . . . . .	533
1.6 Verlegen der Bewehrung . . . . .	536
<b>2. Stahlbetonbauteile</b> . . . . .	<b>540</b>
2.1 Druck- oder zugkraftbeanspruchte Bauelemente . . . . .	540
2.1.1 Stahlbetonstützen . . . . .	541
2.1.2 Betonwände . . . . .	543
2.1.3 Zugglieder . . . . .	544
2.2 Stahlbetonbalken und -plattenbalken . . . . .	545
2.2.1 Allgemeines . . . . .	545
2.2.2 Biegezugbewehrung . . . . .	546
2.2.3 Schubbewehrung . . . . .	549
2.2.4 Torsionsbeanspruchte Balken . . . . .	551
2.2.5 Balkenauflagerung . . . . .	551
2.2.6 Rahmenecken und Rahmenknoten . . . . .	554

2.2.7	Balken und Plattenbalken aus Fertigteilen . . . . .	557
2.2.8	Stahlbetonrippendecken . . . . .	559
2.3	Konsolen . . . . .	560
2.4	Stahlbetonplatten . . . . .	563
2.4.1	Allgemeines . . . . .	563
2.4.2	Einachsig gespannte Platten . . . . .	564
2.4.3	Zweiachsig gespannte Platten . . . . .	568
2.4.4	Punktförmig gestützte Platten . . . . .	569
2.4.5	Platten aus Fertigteilen . . . . .	573
2.4.6	Sonderfälle . . . . .	575
2.5	Treppen . . . . .	575
2.6	Scheibentragwerke . . . . .	578
2.6.1	Allgemeines . . . . .	578
2.6.2	Wandartige Träger . . . . .	578
2.6.3	Decken- und Wandscheiben zur Gebäudeaussteifung . . . . .	581
<b>3.</b>	<b>Anwendungen des Stahl- und Spannbetons im Hoch- und Industriebau . . . . .</b>	<b>582</b>
3.1	Einführung . . . . .	582
3.2	Stockwerkbauten . . . . .	582
3.2.1	Vorbemerkungen . . . . .	582
3.2.2	Einwirkungen, Lastannahmen . . . . .	583
3.2.2.1	Vertikale Lasten . . . . .	583
3.2.2.2	Horizontale Lasten . . . . .	584
3.2.2.3	Weitere Einwirkungen . . . . .	584
3.2.3	Wandbauten . . . . .	585
3.2.3.1	Mischbauweise . . . . .	585
3.2.3.2	Betonbauweise . . . . .	585
3.2.3.3	Tafelbauweise . . . . .	586
3.2.4	Stahlbetonskelettbauten . . . . .	589
3.2.4.1	Allgemeines . . . . .	589
3.2.4.2	Deckenkonstruktionen . . . . .	590
3.2.4.3	Gebäudeaussteifung . . . . .	590
3.2.4.4	Fertigteilbauweise . . . . .	591
3.2.4.5	Besondere Bauverfahren . . . . .	592
3.2.4.6	Dehnungsfugen . . . . .	594
3.2.5	Hochhäuser . . . . .	595
3.2.5.1	Allgemeines . . . . .	595
3.2.5.2	Hochhäuser mit durchgängigem Traggerüst . . . . .	596
3.2.5.3	Hochhäuser mit Abfangungen . . . . .	598
3.2.5.4	Hängehochhäuser . . . . .	600
3.2.5.5	Hochhäuser aus Fertigteilen . . . . .	601
3.3	Hallenbauten und weitgespannte Dachkonstruktionen . . . . .	602
3.3.1	Allgemeines . . . . .	602
3.3.2	Flachdachhallen . . . . .	603
3.3.2.1	Klassische Bauweise . . . . .	603
3.3.2.2	Hallen aus Großfertigteilen . . . . .	605
3.3.2.3	Rahmenkonstruktionen . . . . .	606

3.3.3	Hallen mit geneigten Dachflächen . . . . .	607
3.3.3.1	Shedhallen . . . . .	607
3.3.3.2	Faltwerkdächer . . . . .	609
3.3.3.3	Weitgespannte Schalendächer . . . . .	611
3.3.3.4	Hängedächer . . . . .	613
3.4	Behälter und Türme. . . . .	615
3.4.1	Allgemeines . . . . .	615
3.4.2	Silobauwerke. . . . .	615
3.4.3	Wasserbehälter . . . . .	618
3.4.4	Faulbehälter . . . . .	621
3.4.5	Sicherheitsbehälter . . . . .	623
3.4.6	Kühltürme . . . . .	624
3.4.7	Schornsteine und Fernmeldetürme. . . . .	626
<b>4.</b>	<b>Brücken aus Stahl- und Spannbeton . . . . .</b>	<b>628</b>
4.1	Einführung . . . . .	628
4.1.1	Entwicklung des Massivbrückenbaus . . . . .	628
4.1.2	Begriffsbestimmungen. . . . .	629
4.1.3	Allgemeine Grundsätze für Entwurf und Gestaltung . . . . .	629
4.1.4	Vorschriften, Normen und Richtlinien für den Brückenbau . . . . .	630
4.1.5	Einwirkungen, Lastannahmen . . . . .	631
4.2	Durchlässe und tunnelartige Unterführungen . . . . .	632
4.3	Plattenbrücken . . . . .	636
4.3.1	Allgemeines . . . . .	636
4.3.2	Schlaff bewehrte Massivplattenbrücken . . . . .	638
4.3.3	Vorgespannte Massivplattenbrücken. . . . .	639
4.3.4	Schiefwinklige Plattenbrücken. . . . .	641
4.3.5	Pilzbrücken . . . . .	643
4.3.6	Plattenbrücken aus Fertigteilen . . . . .	645
4.4	Balkenbrücken . . . . .	646
4.4.1	Vorbemerkungen . . . . .	646
4.4.2	Plattenbalkenbrücken. . . . .	647
4.4.2.1	Allgemeines . . . . .	647
4.4.2.2	Ermittlung der Schnittkräfte . . . . .	648
4.4.2.3	Bewehrung von Plattenbalkenbrücken . . . . .	649
4.4.2.4	Einstegige Plattenbalkenbrücken . . . . .	650
4.4.2.5	Zweistegige, querträgerlose Plattenbalkenbrücken . . . . .	652
4.4.2.6	Mehrstegige Plattenbalkenbrücken . . . . .	654
4.4.2.7	Trogbrücken . . . . .	659
4.4.3	Kastenträgerbrücken . . . . .	659
4.4.3.1	Allgemeines . . . . .	659
4.4.3.2	Zur Bemessung und Konstruktion . . . . .	661
4.4.3.3	Feldweiser Vorbau mit Vorschubrüstung . . . . .	662
4.4.3.4	Spannbetonbrücken im Freivorbau . . . . .	665
4.4.3.5	Brückenbau im Taktchiebeverfahren. . . . .	671
4.4.3.6	Kastenträgerbrücken aus Fertigteilen . . . . .	675
4.5	Rahmenbrücken. . . . .	677
4.6	Bogenbrücken . . . . .	679

4.7	Seilabgespannte Brücken . . . . .	684
4.8	Brückenausbau . . . . .	686
4.8.1	Allgemeines . . . . .	686
4.8.2	Randausbildung bei Straßenbrücken . . . . .	686
4.8.3	Fahrbahnaufbau und Abdichtung . . . . .	688
4.8.4	Rand- und Längsfugenausbildung bei Eisenbahnbrücken . . . . .	689
4.8.5	Fahrbahnübergänge . . . . .	691
4.9	Brückenlager . . . . .	692
4.9.1	Allgemeines . . . . .	692
4.9.2	Betonlagerung . . . . .	693
4.9.3	Stählerne Lager . . . . .	693
4.9.4	Bewehrte Elastomerlager . . . . .	694
4.9.5	Topflager. . . . .	695
4.9.6	Kalottenlager. . . . .	695
4.10	Unterbauten . . . . .	696
4.10.1	Allgemeines . . . . .	696
4.10.2	Widerlager . . . . .	696
4.10.3	Stützen und Pfeiler . . . . .	697
	Literatur zu Teil K. Anwendungen des Stahl- und Spannbetons. . . . .	699
	<b>Sachverzeichnis. . . . .</b>	<b>713</b>