

Fritz Leonhardt

---

# Vorlesungen über Massivbau

Teil 1  
Grundlagen zur Bemessung  
im Stahlbetonbau

---

Von F. Leonhardt und E. Mönning

Dritte, völlig neubearbeitete  
und erweiterte Auflage



Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York Tokyo 1984

# Inhaltsverzeichnis

Wichtigstes Schrifttum . . . . .	XV
Formelzeichen . . . . .	XXIII
<u>1. Einführung</u> . . . . .	1
<u>2. Beton</u> . . . . .	3
2.1 Zement. . . . .	4
2.1.1 Normzemente nach DIN 1164 . . . . .	4
2.1.2 Auswahl der Zemente . . . . .	5
2.1.3 Nicht genormte Zemente . . . . .	5
2.2 Betonzuschlag für Normalbeton . . . . .	5
2.2.1 Einteilung des Betonzuschlags . . . . .	6
2.2.2 Zusammensetzung der Zuschläge . . . . .	6
2.3 Anmachwasser. . . . .	6
2.4 Betonzusätze . . . . .	7
2.5 Frischbeton . . . . .	8
2.5.1 Zusammensetzung des Betons . . . . .	8
2.5.1.1 Zementgehalt, Zementgewicht . . . . .	9
2.5.1.2 Wassergehalt, Wassergewicht . . . . .	9
2.5.1.3 Mehlkorngelalt . . . . .	10
2.5.2 Eigenschaften des Frischbetons . . . . .	10
2.6 Einflüsse auf die Erhärtung des Betons . . . . .	11
2.6.1 Zementart . . . . .	11
2.6.2 Temperatur und Reifegrad . . . . .	11
2.6.3 Dampfhärtung . . . . .	12
2.6.4 Nachverdichtung . . . . .	13
2.6.5 Nachbehandlung . . . . .	13
2.6.6 Betonieren bei hohen und tiefen Temperaturen . . . . .	13
2.7 Ausschulfristen . . . . .	15
2.8 Festigkeiten des erhärteten Betons . . . . .	15
2.8.1 Druckfestigkeit . . . . .	16
2.8.1.1 Prüfkörper und Prüfmethuden . . . . .	16
2.8.1.2 Nennfestigkeit $\beta_{WN}$ nach DIN 1045 . . . . .	18
2.8.1.3 Betonprüfung in Zeitnot . . . . .	19
2.8.1.4 Schnellprüfung . . . . .	19
2.8.1.5 Druckfestigkeit bei langdauernder Belastung . . . . .	19
2.8.1.6 Druckfestigkeit unter schwellender oder schwingender Last . . . . .	20
2.8.1.7 Druckfestigkeit bei sehr hohen und sehr tiefen Temperaturen . . . . .	21

2.8.1.8	Druckfestigkeit im Bauwerk . . . . .	25
2.8.1.9	Streuung der Druckfestigkeiten des Normalbetons . . . . .	25
2.8.2	Zugfestigkeit . . . . .	25
2.8.2.1	Zentrische Zugfestigkeit . . . . .	25
2.8.2.2	Spaltzugfestigkeit . . . . .	26
2.8.2.3	Biegezugfestigkeit . . . . .	26
2.8.2.4	Zahlenwerte für die Zugfestigkeiten . . . . .	27
2.8.2.5	Streuung der Zugfestigkeit . . . . .	28
2.8.3	Festigkeiten bei mehrachsiger Beanspruchung . . . . .	28
2.8.4	Schub-, Scher-, Torsionsfestigkeit . . . . .	29
2.9	Formänderungen des Betons . . . . .	29
2.9.1	Elastische Formänderungen . . . . .	30
2.9.1.1	Elastizitätsmodul des Betons . . . . .	30
2.9.1.2	Temperaturdehnung . . . . .	31
2.9.1.3	Wärmeleitfähigkeit . . . . .	31
2.9.1.4	Querdehnung und Schubmodul . . . . .	32
2.9.2	Zeitunabhängige, plastische Verformungen . . . . .	32
2.9.3	Zeitabhängige Formänderungen . . . . .	34
2.9.3.1	Arten und Ursachen . . . . .	34
2.9.3.2	Verlauf und Abhängigkeiten des Schwindens . . . . .	36
2.9.3.3	Verlauf und Abhängigkeiten des Kriechens . . . . .	37
2.9.3.4	Behinderung des Schwindens und Kriechens . . . . .	43
2.9.3.5	Auswirkungen von Schwinden und Kriechen auf Bauwerke . . . . .	43
2.9.3.6	Rechnerische Behandlung von Schwinden und Kriechen . . . . .	44
2.10	Chemische Einwirkungen auf den Beton . . . . .	44
2.10.1	Betonkorrosion . . . . .	44
2.10.2	Karbonatisierung . . . . .	45
2.11	Dauerhaftigkeit des Betons . . . . .	47
2.12	Leichtbeton für Tragwerke . . . . .	48
2.12.1	Vorbemerkung - Leichtbetonarten . . . . .	48
2.12.2	Zuschläge und Zusammensetzung des Leichtbetons für Tragwerke . . . . .	50
2.12.2.1	Porige Zuschläge . . . . .	50
2.12.2.2	Zusammensetzung und Verarbeiten des Leichtbetons . . . . .	52
2.12.3	Kraftfluß im Leichtbeton . . . . .	52
2.12.4	Klassen des Leichtbetons . . . . .	53
2.12.5	Wesentliche Abweichungen der Leichtbeton-Eigenschaften vom Normalbeton . . . . .	54
2.12.5.1	Zugfestigkeit . . . . .	54
2.12.5.2	Festigkeit bei Teilflächenbelastung . . . . .	54
2.12.5.3	Verbundfestigkeit . . . . .	55
2.12.5.4	Dauerstandfestigkeit . . . . .	55
2.12.5.5	Dauerschwingfestigkeit . . . . .	56
2.12.5.6	Verformungen, $\sigma$ - $\epsilon$ -Linie, E-Modul bei Kurzzeitbelastung . . . . .	56
2.12.5.7	Quellen, Schwinden und Kriechen . . . . .	57
2.12.5.8	Wärmeverhalten des Leichtbetons . . . . .	60
2.12.5.9	Korrosionsschutz der Bewehrung . . . . .	61
2.12.6	Zur Wirtschaftlichkeit von Tragwerken aus Leichtbeton . . . . .	62
2.12.7	Anwendungen . . . . .	62

2.13	Betone für besondere Anwendungsbereiche . . . . .	62
2.13.1	Massenbeton . . . . .	62
2.13.2	Strahlenschutzbeton . . . . .	64
2.13.3	Faserbeton . . . . .	65
2.13.4	Ferrozement . . . . .	67
<u>3.</u>	<u>Betonstahl</u> . . . . .	69
3.1	Allgemeines . . . . .	69
3.2	Betonstahlsorten . . . . .	69
3.3	Herstellung der Betonstähle . . . . .	71
3.4	Kennzeichnung . . . . .	72
3.5	Eigenschaften der Betonstähle . . . . .	73
3.5.1	Allgemeines . . . . .	73
3.5.2	Abmessungsbereich . . . . .	73
3.5.3	Querschnitt . . . . .	73
3.5.4	Verhalten bei einaxialer Beanspruchung durch Zug oder Druck. . .	74
3.5.4.1	Zugbeanspruchung . . . . .	74
3.5.4.2	Druckbeanspruchung . . . . .	75
3.5.5	Biegen . . . . .	75
3.5.6	Dauerschwingfestigkeit . . . . .	76
3.5.7	Schweißen . . . . .	78
3.5.8	Oberflächengestalt der Betonstähle (Verbund) . . . . .	79
3.5.9	Korrosion . . . . .	81
3.6	Verhalten von Betonstählen unter speziellen Bedingungen . . . . .	81
3.6.1	Einfluß erhöhter Belastungsgeschwindigkeiten . . . . .	81
3.6.2	Verhalten bei tiefen Temperaturen . . . . .	83
3.6.3	Verhalten bei hohen Temperaturen . . . . .	83
3.7	Sonderfragen . . . . .	84
3.7.1	Abarbeiten von Bewehrungsstählen . . . . .	84
3.7.2	Mechanische Verletzungen . . . . .	84
3.8	Korrosionsgeschützte Stähle . . . . .	85
3.9	Lieferung von Betonstählen . . . . .	85
<u>4.</u>	<u>Verbundbaustoff Stahlbeton</u> . . . . .	87
4.1	Zusammenwirken von Stahl und Beton . . . . .	87
4.1.1	Verbund am Zugstab aus Stahlbeton . . . . .	87
4.1.2	Verbund am Stahlbetonbalken . . . . .	90
4.1.3	Ursachen von Verbundspannungen in Tragwerken . . . . .	92
4.2	Verbundwirkung . . . . .	92
4.2.1	Arten der Verbundwirkung . . . . .	92
4.2.1.1	Haftverbund . . . . .	92
4.2.1.2	Reibungsverbund . . . . .	92
4.2.1.3	Scherverbund . . . . .	93
4.2.2	Verformungsgesetz des Verbundes . . . . .	95
4.2.2.1	Qualitative Beschreibung der Verbund-Verformung . . .	95
4.2.2.2	Prüfkörper für Ausziehversuche . . . . .	96
4.2.3	Verbundsteifigkeit und -festigkeit . . . . .	97
4.2.3.1	Einfluß der Betongüte auf die Verbundfestigkeit . . . . .	98
4.2.3.2	Einfluß der Profilierung der Oberfläche und des Durchmessers der Stäbe . . . . .	98

4.2.3.3	Einfluß der Lage des Stabes beim Betonieren . . . . .	98
4.2.3.4	Einfluß der Betondeckung . . . . .	99
4.2.3.5	Einfluß der Betonzusammensetzung und der Konsistenz. . .	100
4.2.3.6	Einfluß von Dauerlasten, dynamischer Beanspruchung und Stoßbelastung . . . . .	100
4.3	Verbundgesetze an Verankerungselementen . . . . .	101
4.3.1	Ausziehversuche mit Haken . . . . .	101
4.3.2	Ausziehversuche an Stäben mit angeschweißten Querstäben . . . . .	102
4.4	Rechnerische Behandlung des Verbundes . . . . .	103
4.4.1	Allgemeines . . . . .	103
4.4.2	Bemessung des Verbundes nach DIN 1045 . . . . .	103
<b>5.</b>	<b>Tragverhalten von Stahlbetontragwerken . . . . .</b>	<b>105</b>
5.1	Einfeldrige Stahlbetonbalken unter Biegung und Querkraft . . . . .	105
5.1.1	Tragverhalten und Zustände . . . . .	105
5.1.1.1	Zustände I und II . . . . .	105
5.1.1.2	Beanspruchung von Bewehrung und Beton . . . . .	110
5.1.1.3	Biegesteifigkeit und Durchbiegung . . . . .	110
5.1.2	Tragverhalten bei reiner Biegung . . . . .	111
5.1.2.1	Tragfähigkeit und Gebrauchsfähigkeit. . . . .	111
5.1.2.2	Biegebrucharten . . . . .	112
5.1.3	Tragverhalten bei Biegung mit Querkraft . . . . .	112
5.1.3.1	Zustand I . . . . .	112
5.1.3.2	Zustand II . . . . .	114
5.1.3.3	Schubbrucharten . . . . .	116
5.2	Durchlaufende Stahlbetonbalken . . . . .	117
5.3	Torsionsbeanspruchte Balken oder Stäbe . . . . .	118
5.3.1	Reine Torsion . . . . .	118
5.3.2	Torsion mit Querkraft und Biegung . . . . .	119
5.4	Stützen und andere Druckglieder . . . . .	119
5.5	Stahlbetonplatten . . . . .	120
5.5.1	Einachsig gespannte Stahlbetonplatten . . . . .	120
5.5.2	Zweiachsig gespannte Stahlbetonplatten . . . . .	122
5.5.3	Punktförmig gestützte Stahlbetonplatten . . . . .	122
5.6	Scheiben und wandartige Träger . . . . .	124
5.7	Faltwerke . . . . .	126
5.8	Schalen . . . . .	126
5.9	Tragverhalten von Stahlbetontragwerken unter besonderen Beanspruchungen. . . . .	128
5.9.1	Einleitung von Lasten . . . . .	128
5.9.2	Einfluß der Temperatur . . . . .	128
5.9.3	Feuer, Brände . . . . .	130
5.9.4	Schwinden des Betons . . . . .	130
5.9.5	Kriechen des Betons . . . . .	130
5.9.6	Verhalten bei Schwingungen und Stößen . . . . .	131
5.9.7	Verhalten bei Erdbeben . . . . .	131
5.9.8	Verhalten von Stahlbetonbauteilen bei tiefen Temperaturen und bei Schlagbeanspruchung . . . . .	132

<u>6. Grundlagen für die Sicherheitsnachweise</u> . . . . .	133
6.1 Grundsätze . . . . .	133
6.1.1 Ziel . . . . .	133
6.1.2 Beanspruchungen . . . . .	133
6.1.3 Grenzen der Beanspruchbarkeit, Grenzzustände . . . . .	134
6.2 Berechnungsverfahren zur Gewährleistung der Sicherheit . . . . .	135
6.2.1 Das alte Verfahren mit zulässigen Spannungen . . . . .	135
6.2.2 Auf Grenzzustände bezogene Verfahren . . . . .	135
6.2.3 Auf der Wahrscheinlichkeitstheorie beruhende Verfahren . . . . .	136
6.3 Größe der Sicherheitsbeiwerte . . . . .	137
6.3.1 Sicherheit für die Tragfähigkeit und Standfestigkeit . . . . .	137
6.3.2 Sicherheit gegen Verlust der Gebrauchsfähigkeit . . . . .	139
6.4 Bemessung der Tragwerke . . . . .	139
6.4.1 Grundgedanke der Bemessung . . . . .	139
6.4.2 Vorgang des Bemessens . . . . .	139
6.4.3 Bemessen für verschiedene Arten von Schnittgrößen . . . . .	140
6.4.4 Einfluß der Steifigkeitsverhältnisse von Zustand I und II auf die Schnittgrößen bei statisch unbestimmten Tragwerken . . . . .	141
6.4.5 Bemerkungen zu den gebräuchlichen Bemessungsverfahren . . . . .	141
<u>7. Bemessung für Biegung mit Längskraft</u> . . . . .	143
7.1 Bemessungsgrundlagen . . . . .	143
7.1.1 Grundsätze zur Bemessung . . . . .	143
7.1.2 Rechenwerte der Baustoff-Festigkeiten und der Spannungs-Dehnungs- linien . . . . .	144
7.1.2.1 Rechenwerte des Betons . . . . .	144
7.1.2.2 Rechenwerte des Betonstahls . . . . .	147
7.1.3 Brucharten, Dehnungsverteilung und Größe des Sicherheitsbeiwertes 7.1.3.1 Brucharten . . . . .	147
7.1.3.2 Dehnungsverteilung und Größe des Sicherheitsbeiwertes . . . . .	148
7.1.4 Schnittgrößen und Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	151
7.1.4.1 Äußere Schnittgrößen . . . . .	151
7.1.4.2 Innere Schnittgrößen . . . . .	152
7.1.4.3 Größe und Lage der Betondruckkraft $D_b$ . . . . .	154
7.1.4.4 Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	157
7.2 Bemessung von Querschnitten mit rechteckiger Betondruckzone . . . . .	159
7.2.1 Vorbemerkungen . . . . .	159
7.2.2 Bemessung für Biegung mit Längskraft bei großer Ausmitte (hoch- liegende Nulllinie im Querschnitt) . . . . .	159
7.2.2.1 Gleichungen zur rechnerischen Lösung . . . . .	159
7.2.2.2 Dimensionsloses Bemessungsdiagramm (nach H. Rüschi) für Querschnitte ohne Druckbewehrung . . . . .	162
7.2.2.3 Benutzung des Bemessungsdiagramms (nach H. Rüschi) für Querschnitte mit Druckbewehrung . . . . .	165
7.2.2.4 Dimensionsgebundene Bemessungstabellen für Querschnitte ohne Druckbewehrung . . . . .	165
7.2.2.5 Benutzung der dimensionsgebundenen Bemessungstabellen für Querschnitte mit Druckbewehrung . . . . .	169
7.2.2.6 Herleitung eines dimensionslosen Bemessungsdiagramms für Querschnitte ohne Druckbewehrung bei reiner Biegung . . . . .	171
7.2.2.7 Faustformeln zur Bemessung von Querschnitten ohne Druck- bewehrung bei reiner Biegung . . . . .	173

7.2.3	Bemessung für Biegung mit Längskraft bei mittlerer und kleiner Ausmitte (tiefliegende Nulllinie und Nulllinie außerhalb des Querschnitts) . . . . .	174
7.2.3.1	Bemessungsdiagramme nach Mörsch-Pucher für unsymmetrische Bewehrung (tiefliegende Nulllinie im Querschnitt) . . . . .	174
7.2.3.2	Bemessungsdiagramme für Biegung mit Längsdruckkraft bei symmetrischer Bewehrung . . . . .	180
7.2.3.3	Bemessung für Längszugkraft mit kleiner Ausmitte . . . . .	183
7.2.4	Allgemeine Bemessungsdiagramme für Rechteckquerschnitte (Interaktionsdiagramme) . . . . .	184
7.3	Bemessung von Querschnitten mit nicht rechteckiger Betondruckzone . . . . .	186
7.3.1	Einführung . . . . .	186
7.3.2	Mitwirkende Breite beim Plattenbalken . . . . .	186
7.3.2.1	Problemstellung . . . . .	186
7.3.2.2	Berechnung der mitwirkenden Breite . . . . .	191
7.3.3	Bemessung von Plattenbalken . . . . .	192
7.3.3.1	Einteilung der Bemessungsverfahren . . . . .	192
7.3.3.2	Bemessung ohne Näherungen . . . . .	194
7.3.3.3	Näherungsverfahren für gedrungene Plattenbalken mit $b/b_0 \leq 5$ . . . . .	195
7.3.3.4	Näherungsverfahren für Plattenbalken mit dünnem Steg ( $b/b_0 > 5$ ) . . . . .	197
7.3.4	Bemessung bei beliebiger Form der Betondruckzone . . . . .	199
7.3.4.1	Allgemeines . . . . .	199
7.3.4.2	Richtung und Lage der Nulllinie . . . . .	199
7.3.4.3	Ermittlung der kritischen Schnittgrößen $M_u$ und $N_u$ nach dem zeichnerischen Verfahren von Mörsch . . . . .	203
7.3.4.4	Tragfähigkeitsnachweis bei Annahme konstanter Verteilung der Spannungen in der Betondruckzone . . . . .	206
7.3.4.5	Bemessung kreisförmiger Querschnitte . . . . .	208
7.4	Bemessung umschnürter Druckglieder ohne Knickgefahr . . . . .	210
7.5	Mindestzugbewehrung bei Biegung . . . . .	215
7.6	Bemessung unbewehrter Betonquerschnitte . . . . .	217
8.	<u>Bemessung für Querkräfte</u> . . . . .	219
8.1	Grundsätzliches zur Schubbemessung . . . . .	219
8.2	Hauptspannungen in homogenen Tragwerken (Zustand I) . . . . .	219
8.2.1	Ermittlung der Schubspannungen für homogene Querschnitte (Stahlbetonquerschnitte im Zustand I) . . . . .	219
8.2.2	Ermittlung der Hauptspannungen für homogene Querschnitte . . . . .	222
8.3	Kräfte und Spannungen in gerissenen Trägerstegen (Zustand II) . . . . .	224
8.3.1	Klassische Fachwerkanalogie nach E. Mörsch . . . . .	224
8.3.2	Berechnung der Kräfte und Spannungen in Mörsch'schen Fachwerken . . . . .	225
8.3.2.1	Klassisches Fachwerk mit Stegzugstreben unter einem beliebigen Winkel $\alpha$ . . . . .	225
8.3.2.2	Klassische Fachwerke mit Stegzugstreben unter $45^\circ$ oder $90^\circ$ . . . . .	228
8.3.2.3	Einfluß der Höhe des Lastangriffes auf die Kräfte in einem Fachwerk . . . . .	228
8.3.3	Rechenwert der Stegspannung $\tau_0$ im Zustand II . . . . .	229
8.4	Schubtragfähigkeit von Trägerstegen . . . . .	230
8.4.1	Schubbrucharten . . . . .	230

8.4.1.1	Schubbiegebruch . . . . .	230
8.4.1.2	Schubzugbruch . . . . .	231
8.4.1.3	Druckstrebenbruch . . . . .	231
8.4.1.4	Verankerungsbruch . . . . .	232
8.4.2	Einflüsse auf die Schubtragfähigkeit . . . . .	233
8.4.2.1	Aufzählung der Einflüsse . . . . .	233
8.4.2.2	Belastungsart und Laststellung . . . . .	234
8.4.2.3	Art der Lasteintragung . . . . .	236
8.4.2.4	Einfluß der Längsbewehrung . . . . .	237
8.4.2.5	Einfluß der Querschnittsform und Bewehrungsgrade . . . . .	238
8.4.2.6	Einfluß der absoluten Trägerhöhe . . . . .	242
8.4.3	Erweiterte Fachwerkanalogie . . . . .	242
8.5	Schubbemessung in Trägerstegen . . . . .	243
8.5.1	Grundlegendes und Begriffe . . . . .	243
8.5.2	Bemessung der Stegbewehrung mit voller Schubdeckung nach E. Mörsch . . . . .	245
8.5.3	Bemessung der Stegbewehrung mit verminderter Schubdeckung . . . . .	246
8.5.3.1	Grundlagen . . . . .	246
8.5.3.2	Abzugswert $\tau_{0D}$ . . . . .	247
8.5.3.3	Erforderlicher Schubdeckungsgrad $\eta$ . . . . .	248
8.5.3.4	Mindestschubbewehrung in Balkenstegen . . . . .	249
8.5.3.5	Zusätzliche Abminderung der erforderlichen Schubbewehrung bei auflagnernahen Lasten oder kurzen Balken . . . . .	249
8.5.3.6	Obere Begrenzung der Schubspannungen $\tau_0$ zur Verhütung eines Druckstrebenbruches . . . . .	250
8.5.3.7	Grenzwerte $\tau_0$ für Platten ohne Schubbewehrung . . . . .	251
8.5.4	Bemessung nach DIN 1045 . . . . .	252
8.5.4.1	Maßgebende Querkraft . . . . .	252
8.5.4.2	Rechenwerte $\tau_0$ . . . . .	252
8.5.4.3	Bereiche für die Schubbemessung . . . . .	253
8.6	Schubbemessung in Sonderfällen . . . . .	255
8.6.1	Anschlußbewehrung von Gurten . . . . .	255
8.6.2	Stahlbetonbalken mit veränderlicher Höhe . . . . .	260
8.6.3	Berücksichtigung von Längskräften bei der Schubbemessung . . . . .	263
8.6.3.1	Biegung mit Längskraft und Nulllinie im Querschnitt . . . . .	263
8.6.3.2	Biegung mit Längsdruckkraft und Nulllinie außerhalb des Querschnitts . . . . .	264
8.6.3.3	Biegung mit Längszugkraft und Nulllinie außerhalb des Querschnitts . . . . .	264
8.6.3.4	Einfluß von Längskräften bei Trägern mit geneigten Gurten . . . . .	265
9.	<u>Bemessung für Torsion</u> . . . . .	267
9.1	Grundsätzliches . . . . .	267
9.2	Hauptspannungen in homogenen Tragwerken bei reiner Torsion (Zustand I). . . . .	269
9.2.1	de St. Venant'sche Torsion . . . . .	269
9.2.2	Bemerkungen zur Torsion mit Wölbbehinderung des Querschnitts. . . . .	273
9.3	Kräfte und Spannungen in Stahlbetontragwerken bei reiner Torsion (Zustand II) . . . . .	275
9.3.1	Fachwerkanalogie bei reiner Torsion . . . . .	275
9.3.2	Kräfte und Spannungen in Fachwerk-Hohlkasten . . . . .	277
9.3.2.1	Fachwerk-Hohlkasten mit Zugstreben unter $45^\circ$ . . . . .	277
9.3.2.2	Fachwerk-Hohlkasten mit Längsstäben und senkrechten Bügeln . . . . .	279



9.3.3	Rechenwert der Torsionsschubspannung im Zustand II . . . . .	281
9.4	Tragverhalten von Stahlbetontragwerken bei reiner Torsion . . . . .	282
9.4.1	Klassische Torsionsversuche von E. Mörsch in den Jahren 1904 und 1921 . . . . .	282
9.4.2	Torsions-Zugbruch (Versagen der Bewehrung) . . . . .	284
9.4.3	Torsions-Druckbruch (Versagen der Beton-Druckstreben) . . . . .	285
9.4.4	Ausbrechen von Kanten . . . . .	286
9.4.5	Verankerungsbruch . . . . .	287
9.5	Bemessung von Stahlbetontragwerken bei reiner Torsion . . . . .	288
9.5.1	Bemessungsvorschlag für reine Torsion . . . . .	288
9.5.1.1	Torsions-Bewehrungsgrade und Spannungen . . . . .	288
9.5.1.2	Mindestbewehrung bei reiner Torsion . . . . .	288
9.5.1.3	Bemessung der Bewehrungen . . . . .	289
9.5.1.4	Obere Grenze der Torsionsbeanspruchung . . . . .	290
9.5.2	Bemessung nach DIN 1045 bei reiner Torsion . . . . .	290
9.6	Bemessung bei Torsion mit Querkraft und/oder Biegemoment . . . . .	291
9.6.1	Bruchmodelle und Versuchsergebnisse . . . . .	291
9.6.2	Vereinfachte Bemessung bei Torsion kombiniert mit anderen Beanspruchungen . . . . .	293
9.6.2.1	Mindestbewehrung . . . . .	293
9.6.2.2	Bemessung der Bewehrungen . . . . .	293
9.6.2.3	Obere Grenze für $(\tau_o + \tau_T)$ . . . . .	293
9.6.3	Bemessung bei Torsion und Querkraft nach DIN 1045 . . . . .	294
10.	<u>Bemessung von Stahlbeton-Druckgliedern</u> . . . . .	295
10.1	Zur Stabilität von Druckgliedern . . . . .	295
10.1.1	Einfluß der Verformungen, Theorie II. Ordnung . . . . .	295
10.1.2	Stabilitäts- und Spannungsprobleme . . . . .	
10.1.2.1	Tragfähigkeit bei mittiger Druckbelastung . . . . .	296
10.1.2.2	Tragfähigkeit bei ausmittiger Druckbelastung . . . . .	296
10.2	Tragfähigkeit von schlanken Stahlbeton-Druckgliedern . . . . .	298
10.2.1	Problemstellung bei schlanken Stahlbeton-Druckgliedern . . . . .	298
10.2.2	Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Stahlbeton-Druckgliedern . . . . .	299
10.2.2.1	Einfluß der Momentenverteilung . . . . .	299
10.2.2.2	Einfluß der Betongüte und der Stahlgüte . . . . .	300
10.2.2.3	Einfluß des Bewehrungsgrades . . . . .	303
10.2.2.4	Einfluß des Kriechens bei Dauerlast . . . . .	303
10.3	Tragfähigkeitsnachweis nach Theorie II. Ordnung bei schlanken Druckgliedern . . . . .	304
10.3.1	Einführung . . . . .	304
10.3.2	Überlegungen zur Größe des Sicherheitsbeiwertes . . . . .	304
10.3.3	Ableitung von Krümmungsbeziehungen an rechteckigen Stahlbetonquerschnitten . . . . .	305
10.3.4	Tragfähigkeitsnachweis nach Theorie II. Ordnung . . . . .	312
10.4	Ersatzstabverfahren und Ermittlung von zugehörigen Knicklängen . . . . .	316
10.4.1	Ersatzstabverfahren . . . . .	316
10.4.2	Knicklängen für das Ersatzstabverfahren . . . . .	316
10.4.2.1	Allgemeines . . . . .	316
10.4.2.2	Knicklänge von Stützen (Stielen) in unverschieblichen Rahmen . . . . .	317
10.4.2.3	Knicklänge von Stützen (Stielen) in verschieblichen Rahmen . . . . .	320

10.5	Knicksicherheitsnachweis nach DIN 1045 . . . . .	324
10.5.1	Übersicht . . . . .	324
10.5.2	Grundlegende Bestimmungen . . . . .	325
10.5.3	Vereinfachter Nachweis für Druckglieder mit mäßiger Schlankheit ( $20 \leq \lambda \leq 70$ ) und gleichbleibendem Querschnitt . . . . .	326
10.5.4	Vereinfachter Knicksicherheitsnachweis für schlanke Druckglieder ( $\lambda > 70$ ) . . . . .	328
10.5.4.1	Grundsätzliches . . . . .	328
10.5.4.2	Annahmen für M-N- $\kappa$ -Beziehungen . . . . .	328
10.5.4.3	Angenommene Stabverformung und zugehöriges Moment nach Theorie II. Ordnung . . . . .	330
10.5.4.4	Nomogramme . . . . .	331
10.5.4.5	Vereinfachte Ermittlung der Kriechverformungen $v_k$ . . . . .	331
10.5.4.6	Bemessungsbeispiel . . . . .	332
10.5.5	Hinweise auf konstruktive Regeln . . . . .	335
10.6	Knicksicherheitsnachweis in Sonderfällen . . . . .	336
10.6.1	Knicksicherheit bei zweiachsiger Ausmitte der Druckkraft . . . . .	336
10.6.1.1	Allgemeines . . . . .	336
10.6.1.2	Vereinfachter Knicksicherheitsnachweis bei Druckkraft mit schiefer Biegung . . . . .	336
10.6.2	Nachweis der Standsicherheit von rahmenartigen Gesamtsystemen . . . . .	341
10.6.3	Knicksicherheitsnachweis bei umschnürten Stützen . . . . .	344
10.7	Tragfähigkeit schlanker unbewehrter Betondruckglieder . . . . .	344
10.7.1	Zum Tragverhalten unbewehrter Betondruckglieder . . . . .	344
10.7.2	Bemessung unbewehrter, schlanker Druckglieder nach DIN 1045 . . . . .	345
<u>11.</u>	<u>Bemessung von Bauteilen aus Leichtbeton und Stahlleichtbeton . . . . .</u>	<u>347</u>
11.1	Gründe für die unterschiedliche rechnerische Behandlung von Leichtbeton und Normalbeton . . . . .	347
11.2	Bemessung für Biegung, Biegung mit Längskraft und Längskraft allein . . . . .	347
11.3	Bemessung für Querkraft und Torsion . . . . .	349
11.3.1	Grundwerte $\tau_0$ der Schubspannung . . . . .	349
11.3.2	Bemessung der Schubbewehrung . . . . .	350
11.4	Nachweis der Knicksicherheit . . . . .	351
11.5	Formänderungen . . . . .	351
11.6	Bewehrungsrichtlinien . . . . .	352
11.6.1	Betondeckung . . . . .	352
11.6.2	Besondere Bestimmungen bei dicken Bewehrungsstäben und Beweh- rungsstößen . . . . .	352
	Schrifttumsverzeichnis . . . . .	353