

MINISTERIALBLATT

FÜR DAS LAND NORDRHEIN-WESTFALEN

Ausgabe A

13. Jahrgang

Ausgegeben zu Düsseldorf am 5. April 1960

Nummer 34

Inhalt

I.

Veröffentlichungen, die in die Sammlung des bereinigten Ministerialblattes für das Land Nordrhein-Westfalen (SMBL. NW.) aufgenommen werden.

Glied.-Nr.	Datum	Titel	Seite
23234	14. 3. 1960	RdErl. d. Ministers für Wiederaufbau DIN 4224 — Bemessung im Stahlbetonbau	749

I.

23234

DIN 4224 — Bemessung im Stahlbetonbau

RdErl. d. Ministers für Wiederaufbau v. 14. 3. 1960 —
II A 4 — 2.750 Nr. 580/60

Für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen ist im Laufe der Zeit eine große Anzahl von Verfahren entwickelt worden, die zwar alle auf den gleichen Grundgleichungen beruhen, jedoch in ihrem Aufbau und hinsichtlich der Maßeinheiten und Hilfstafeln verschieden sind. Diese Uneinheitlichkeit erschwert die Aufstellung, insbesondere aber die Prüfung von statischen Berechnungen.

Im Interesse der Vereinfachung der Aufstellung und Prüfung häufig wiederkehrender Bemessungsvorgänge hat der Deutsche Ausschuß für Stahlbeton das Normblatt **DIN 4224** (Ausgabe Dezember 1959) — Bemessung im Stahlbetonbau — Anlage

aufgestellt, auf das die Bauaufsichtsbehörden des Landes Nordrhein-Westfalen unter Bezugnahme auf Nr. 1.5 meines RdErl. v. 20. 6. 1952 (MBl. NW. S. 801/SMBL. NW. 2323) hingewiesen werden. Das Normblatt wird als Anlage bekanntgemacht.

Im Normblatt DIN 4224 ist versucht worden, diejenigen Bemessungsverfahren auszuwählen, die einfach, übersichtlich, fehlerunempfindlich, leicht nachprüfbar und geeignet sind, die in der Praxis am häufigsten wiederkehrenden Aufgaben zu lösen. Zur Vereinfachung der Rechnung sind auch einige Näherungslösungen in das Normblatt aufgenommen worden, deren Anwendbarkeit im Rahmen der Stahlbetonbestimmungen damit bestätigt wurde.

Das Normblatt und dieser RdErl. sind in die Nachweisung B, Anlage 2 zum RdErl. v. 1. 9. 1959 (MBl. NW. S. 2333/SMBL. NW. 2323 — RdErl. v. 20. 6. 1952 i. d. F. v. 1. 9. 1959), unter III c 5 aufzunehmen.

An die Regierungspräsidenten,
den Minister für Wiederaufbau
— Außenstelle Essen —,
die Bauaufsichtsbehörden,
das Landesprüfamt für Baustatik,
die kommunalen Prüfämter für Baustatik,
Prüfingenieure für Baustatik,
staatlichen Bauverwaltungen,
Bauverwaltungen der Gemeinden und Gemeindeverbände.

Bemessung im Stahlbetonbau

DIN 4224

Inhalt**Vorbemerkung****1 Biegung und Längskraft**

- 1.1 Einteilung der Verfahren
- 1.2 Zustand I
 - 1.21 Mittige Druckkraft
 - 1.211 Druckglieder mit einfacher Bügelbewehrung
 - 1.212 Druckglieder mit Umschnürung
 - 1.213 Berücksichtigung des Knickens
 - 1.22 Druckkraft mit geringer Ausmittigkeit
- 1.3 Zustand II
 - 1.31 Berücksichtigung der Längskraft
 - 1.32 Rechteckquerschnitt bei einachsiger Biegung (mit und ohne Längskraft)
 - 1.321 Verfahren für unveränderliche Stahlzugspannung
 - 1.322 Verfahren für veränderliche Stahlzugspannung
 - 1.33 Rechteckquerschnitt bei zweiachsiger Biegung (mit und ohne Längskraft)
 - 1.34 Plattenbalken bei einachsiger Biegung (mit und ohne Längskraft)
 - 1.341 Ansatz für Querschnitte mit $b/b_0 \leq 5$
 - 1.342 Ansatz für Querschnitte mit $b/b_0 > 5$
 - 1.343 Plattenbalken mit Druckbewehrung
 - 1.35 Spannungsnachweis für Rechteck- und Plattenbalkenquerschnitte
 - 1.351 Spannungsnachweis bei reiner Biegung
 - 1.352 Spannungsnachweis bei Biegung mit Längskraft
 - 1.36 Bemessung und Spannungsnachweis bei beliebigem Querschnitt

2 Schub, Drillung, Haftung, Kraftumlenkung

- 2.1 Schub
 - 2.11 Spannungsnachweis
 - 2.12 Ansätze zur Bemessung
 - 2.121 Bestimmung von F_T für Trägerabschnitte von gleichbleibender Höhe
 - 2.122 Bestimmung von F_T für Trägerabschnitte von veränderlicher Höhe
 - 2.123 Schubbemessung des kurzen Kragarmes
- 2.2 Drillung (Torsion)
 - 2.21 Spannungsnachweis
 - 2.22 Ansätze zur Bemessung
- 2.3 Haftung
- 2.4 Kraftumlenkung

*) Frühere Ausgaben: 3. 58

Änderung Dezember 1959

Sachliche Änderungen in Spalten 757 bis 766, 777 und 802; redaktionell überarbeitet.

Vorbemerkung

Anwendungsbereich

Die vorliegende Fassung beschränkt sich auf die Bemessung nach den allgemeinen Bestimmungen für Stahlbeton (DIN 1045¹⁾).

Es ist vorgesehen, in einer späteren Fassung auch die Bestimmungen DIN 1075, 4225, 4227, 4234 zu berücksichtigen.

Vorzeichenregelung

In Übereinstimmung mit der Bemessung im Stahlbau ist die Zugkraft positiv und die Druckkraft negativ angesetzt. Im allgemeinen bedürfen die Ansätze in den statischen Berechnungen des Stahlbetonbaues jedoch keines Vorzeichens.

Wahl der Einheiten

Bis zur gesetzlichen Einführung der Krafteinheit „Kilopond“ und des Zeichens „kp“ für diese Einheit wird in dieser Norm weiter die Benennung „Kilogramm“ und das Zeichen „kg“ für die Krafteinheit verwendet, da in diesem Falle kein Zweifel an dem Sinn der Benennung möglich ist (siehe auch DIN 1301).

Manche Ansätze sind in der vorliegenden Fassung nicht einheitenrein, ihre Wahl erfolgte ausschließlich nach Zweckmäßigkeitserwägungen, um Ausdrücke von möglichst geringer Rechenfehler-Empfindlichkeit und von leichter Prüfbarkeit zu erhalten. Zur Vermeidung eines häufig vorkommenden Dezimalfehlers bei der Übernahme der an anderer Stelle errechneten Spannungsbeträge ist folgende Regelung getroffen:

„Werden Spannungen nicht in kg/cm² (Beton) oder in t/cm² (Stahl), sondern in t/m² ausgerechnet, so soll der Endwert stets auch auf cm² bezogen angeschrieben werden.“

Ableitung der Ansätze

Sowohl die Überlegungen, welche die Wahl der einzelnen Verfahren bestimmen, als auch die Entwicklung der Ansätze sind im Betonkalender (ab Jahrgang 1953) näher beschrieben.

1 Biegung und Längskraft

1.1 Einteilung der Verfahren

Nach den Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton, DIN 1045, richtet sich die Bemessung nach der Art der auftretenden Spannungen im Verbundquerschnitt. Wird dieser, wie z. B. bei mittig belasteten Säulen, ausschließlich auf Druck beansprucht, so wird die Tragfähigkeit beider Baustoffe, Beton und Stahl, nach der Plastizitätstheorie unabhängig voneinander mit einem Drittel ihrer Bruchfestigkeiten angesetzt. Treten infolge ausmittigen Druckes an beiden Rändern verschiedene Druckspannungen oder treten einseitige Zugspannungen von beschränktem Umfange auf (vgl. DIN 1045, § 27, Abschnitt 2d), so betrachtet man den Querschnitt zur Vereinfachung der Rechnung als homogen und berechnet ihn nach der Elastizitätstheorie. Man nimmt dann an, daß die Stahleinlagen je Flächeninhalt 15mal so große Spannungen aufnehmen als der Beton. Die Voraussetzung für den Ansatz eines homogenen Querschnittes besteht darin, daß im Beton keine Zugrisse auftreten. Dieser Fall wird als Spannungs-Zustand I bezeichnet, er ist für die Beanspruchung durch mittigen Druck und bei der Ermittlung der Zug- und der Biegezugspannung im Beton zugrunde zu legen. Ferner darf man zur Vereinfachung der Rechnung bei Beanspruchung durch Druck mit geringer Ausmittigkeit vom Zustand I ausgehen, solange das Verhältnis der rechnerischen Betonzugspannung zur Druckspannung bei einachsiger Ausmittigkeit den Wert 0,25 und im Falle zweiachsiger Ausmittigkeit den Wert 0,35 nicht überschreitet.

Wird ein Verbundquerschnitt derart beansprucht, daß Zugrisse im Beton auftreten können, so nimmt man bei der

Bemessung an, daß sich der Beton in der gesamten Zugzone nicht an der Aufnahme der Zugspannungen beteiligt. Diese Spannungsverteilung im Querschnitt bezeichnet man als Zustand II. Er wird der Bemessung auf Zug, auf Biegung und auf Druck mit größerer Ausmittigkeit zugrunde gelegt. Geht man von der Art der Beanspruchung aus, so ergibt sich die Einteilung der Verfahren aus nachstehender Zusammenstellung.

Art der Beanspruchung	Zu- stand	Lastangriff und Spannungs- verteilung im Betonquerschnitt	vgl. Ab- schnitt
Mittiger Druck	I		1.21
Ausmittiger Druck	I	a) $\frac{c}{d} < \approx 0,35$ $\sigma_e = n \sigma_b$ 	1.22
	II	b) $\frac{c}{d} \approx 0,35$ bis $\approx 0,7$ $\sigma_e < \sigma_{e \text{ zul}}$ 	1.322 (nur Recht- eck)
	II	c) $\frac{c}{d} > \approx 0,7$ $\sigma_e = \sigma_{e \text{ zul}}$ 	1.321 (nur Recht- eck)
Mittiger Zug	II		1.31
Ausmittiger Zug	II	a) $c < e$ 	1.31
	II	b) $c > e$ 	1.321
Reine Biegung	II		1.321

1.2 Zustand I

1.21 Mittige Druckkraft

1.211 Druckglieder mit einfacher Bügelbewehrung

Die zulässige Last P einer mittig belasteten Säule ist gleich einem Drittel der Säulenbruchlast, die sich nach DIN 1045, § 27, Abschnitt 2b und Tafel III aus der Prismenfestigkeit (K_b) des Betons und der Quetsch- bzw. Streckgrenze (σ_S bzw. σ_S') des Stahles ergibt.

Es ist also:

$$[1] \quad P \leq P_{zul} = \frac{1}{3} P_{Bruch} = \frac{1}{3} (F_b \cdot K_b + F_e \cdot \sigma_S)$$

Die Prismenfestigkeit K_b des Betons und die Quetschgrenze σ_S des Stahles sind aus Tabelle 1 zu entnehmen.

¹⁾ Ausgabe November 1959

Tabelle 1. Prismenfestigkeit (K_b) des Betons sowie Quetschgrenze (σ_S) und Streckgrenze (σ'_S) des Stahls.

Betongüte	K_b (kg/cm ²)	σ_S bei Stahl der Längsbewehrung (t/cm ²)			σ'_S bei Stahl der Umschnürung (t/cm ²)		
		I	II	III und IV	I	II	III und IV
B 120	108	2,4	2,4	2,4	—	—	—
B 160	144	2,4	3,6	3,6	—	—	—
B 225	195	2,4	3,6	4,2	2,4	3,6	4,2
B 300	240	2,4	3,6	4,2	2,4	3,6	4,2

Der Tragkraftanteil $F_e \cdot \sigma_S$ kann für verschiedene Rundstahlquerschnitte und verschiedene Betonstähle der Tabelle 2 entnommen werden.

Ferner ist auf die Einhaltung der Mindest- und Höchstwerte des Bewehrungsanteiles am Betonquerschnitt gemäß DIN 1045, § 27, Abschnitt 1 b, zu achten.

Tabelle 2. Tragkraftanteil $F_e \cdot \sigma_S$, für die Längsbewehrung F_e (in t)

Betonstahl (σ_S)	Stück	14 ϕ	16 ϕ	18 ϕ	20 ϕ	22 ϕ	24 ϕ	26 ϕ	30 ϕ
I (2,4 t/cm ²)	4	14,8	19,3	24,5	30,2	36,5	43,4	51,0	67,8
	6	22,2	29,0	36,7	45,0	54,7	65,1	76,5	101,8
	8	29,5	38,6	49,0	60,3	73,0	86,9	101,9	135,7
	10	37,0	48,2	61,0	75,4	91,2	108,6	127,4	169,6
II (3,6 t/cm ²)	12	44,4	57,8	73,3	90,5	109,5	130,3	152,9	203,6
	4	22,2	28,9	36,6	45,3	54,8	65,2	76,5	101,8
	6	33,3	43,4	54,9	67,8	82,1	97,7	114,7	152,7
	8	44,4	57,9	73,3	90,5	109,5	130,3	152,9	203,6
III und IV (4,2 t/cm ²)	10	55,4	72,4	91,6	113,1	136,8	162,9	191,1	254,4
	12	66,5	86,9	109,9	135,7	164,2	195,4	229,4	305,4
	4	26,5	33,8	42,8	52,8	63,9	76,0	89,2	118,7
	6	38,8	50,7	64,1	79,1	95,8	114,0	133,8	178,1
	8	51,7	67,5	85,5	105,6	127,7	152,0	178,4	237,5
	10	64,6	84,5	106,9	132,0	159,6	190,0	223,0	296,9
	12	77,6	101,3	128,3	158,3	191,6	228,0	267,6	365,2

Spannungsnachweis

Die unter der Last auftretenden Spannungen brauchen nicht nachgewiesen zu werden (vgl. DIN 1045, § 27, Abschnitt 2 b).

1.212 Druckglieder mit Umschnürung

Bei umschnürten Druckgliedern (Säulen) darf nur der von der Mittellinie der Umschnürungsbewehrung umschlossene Kernquerschnitt F_k des Betons in Rechnung gestellt werden. Man beachte ferner die Einschränkungen hinsichtlich der Art der Umschnürung und ihres zulässigen Tragkraftanteiles in DIN 1045, § 27, Abschnitt 1 c.

Der Rauminhalt der Umschnürungsbewehrung in der Längeneinheit der Säule beträgt

$$[2] \quad F_s = \frac{F_e s_p \cdot \pi d_k}{s}$$

hierin ist:

$F_e s_p$ der Querschnitt des Rundstahls der Umschnürung in cm²

d_k der Durchmesser der Schraubenlinie der Bewehrung in cm

s die Ganghöhe in cm.

Die zulässige Last einer mittig gedrückten umschnürten Säule ist ebenfalls gleich einem Drittel der Säulenbruchlast, die sich nach DIN 1045, § 27, Tafel III aus der Prismenfestigkeit des Betons, der Quetsch- und der Streckgrenze des Stahles errechnet.

Es ist also:

$$[3] \quad P \leq \frac{1}{3} (F_k \cdot K_b + F_e \cdot \sigma_S + 2,5 F_s \cdot \sigma'_S)$$

Der Tragkraftanteil $F_e \cdot \sigma_S$ ist ebenfalls der Tabelle 2 zu entnehmen.

1.213 Berücksichtigung des Knickens

Schlanke Druckglieder (vgl. DIN 1045, § 27, Abschnitt 2 c) knicken vor Erreichen der Bruchspannung beider Baustoffe. Um ausreichende Sicherheit hiergegen zu gewährleisten, sind schlanke Druckglieder (Säulen) für die ω -fache Last zu bemessen. Bei einfacher Bügelbewehrung hängt der Wert ω vom Verhältnis der kleinsten Seitenlänge d , bei Umschnürung vom Verhältnis des Kerndurchmessers d_k zur Knicklänge h_K ab. Wegen der in Rechnung zu stellenden Knicklänge h_K vgl. DIN 1045, § 27, Abschnitt 2 c.

$$[4] \quad \omega \cdot P \leq P_{zul}$$

Tabelle 3. Knickbeiwerte ω

a) Rechteckige Säulen mit Bügelbewehrung										
$\frac{h_K}{d}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ω									
10	—	—	—	—	—	1,00	1,02	1,03	1,05	1,06
20	1,08	1,13	1,18	1,22	1,27	1,32	1,40	1,48	1,56	1,64
30	1,72	1,83	1,94	2,06	2,17	2,28	2,42	2,57	2,71	2,86
40	3,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
b) Säulen von beliebigem Querschnitt mit Bügelbewehrung										
$\omega = \frac{\sigma_{bzul}}{\sigma_{Kzul}}; i = \sqrt{\frac{\min J}{F}}$										
(bei der Ermittlung von i bleiben die Stahleinlagen unberücksichtigt)										
$\lambda = \frac{h_K}{i}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ω									
50	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04
60	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08
70	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,16	1,18	1,19	1,21	1,22
80	1,24	1,26	1,27	1,29	1,30	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40
90	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,60
100	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,72	1,76	1,79	1,83	1,87
110	1,91	1,94	1,98	2,02	2,06	2,09	2,13	2,17	2,21	2,24
120	2,28	2,32	2,35	2,39	2,42	2,46	2,50	2,53	2,57	2,60
130	2,64	2,68	2,71	2,75	2,78	2,82	2,86	2,89	2,93	2,96
140	3,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
c) Säulen mit Umschnürung										
$\frac{h_K}{d_k}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ω									
10	1,00	1,03	1,07	1,10	1,14	1,17	1,24	1,30	1,37	1,43
20	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	—	—	—	—

1.22 Druckkraft mit geringer Ausmittigkeit

Vorbemerkung. Nach DIN 1045, § 27, Abschnitt 2d darf bei ausmittig belasteten Druckgliedern die größte Betonrandspannung σ_{bd} die in § 29, Tafel V unter C angegebenen Werte nicht überschreiten. Außerdem muß nachgewiesen werden, daß die Last P nicht größer ist, als sie sich nach Abschnitt 1.21 ergibt; die Sicherheit gegen Knicken ist dabei wie für eine mittig belastete Säule nachzuweisen.

Die nachfolgenden Ansätze gelten weiterhin nur unter der in DIN 1045 festgelegten Voraussetzung, daß das Verhältnis der Betonrandspannungen σ_{bz}/σ_{bd} bei einachsiger Ausmittigkeit kleiner als 0,25 und bei zweiachsiger Ausmittigkeit kleiner als 0,35 ist.

In Fällen, deren Untersuchung erhöhte Anforderungen an die Genauigkeit der Berechnung stellt, ist zu berücksichtigen, daß die Knicklast von ausmittig beanspruchten Querschnitten kleiner ist als von mittig belasteten Querschnitten 2) 3) 4).

Ansätze und Bemessungstabellen. Gegeben sind die auf die Hauptträgheitsachsen bezogenen Biegemomente sowie die mittige Längskraft. Ihre Wirkung läßt sich in einer ausmittigen Längskraft zusammenfassen, deren Abstände von den Hauptträgheitsachsen sind:

2) H a b e l: Die Tragfähigkeit der mittig — bzw. ausmittig — belasteten Stahlbetonsäulen. (Beton u. Stahlbeton 1953, S. 153 u. 182.)

3) R ü s c h: Erläuterungen zu DIN 4227, Berlin 1954, Wilh. Ernst & Sohn.

4) Wegen der Knicksicherheit der Bögen vgl. auch DIN 1075, Ausgabe 4.55, Abschnitt 5.32.

$$c_y = \frac{M_x}{N}; c_x = \frac{M_y}{N}$$

Die rechnerische Spannung eines beliebigen Verbundquerschnittes ist:

$$[5] \quad \sigma_b = \frac{N}{F_i} + \frac{M_x}{W_{ix}} + \frac{M_y}{W_{iy}}$$

Hierin bedeuten:

$F_i = F_b + 15 F_e$ die rechnungsmäßige Fläche,

W_{ix} und W_{iy} die rechnungsmäßigen Widerstandsmomente des Verbundquerschnittes, wobei der Stahlquerschnitt mit dem 15fachen Betrag einzusetzen ist.

Die Querschnittswerte für den Spannungsnachweis [5] lassen sich bei einachsiger Ausmittigkeit ($M_y = 0$) für symmetrische Rechteckquerschnitte ($F_e = F'_e$) wie folgt anschreiben:

Fläche:	Widerstandsmoment:
$F_b = b \cdot d$	$W_{xb} = F_b \cdot \frac{d}{6}$
$2 \cdot 15 F_e = 15 (F_e + F'_e)$	$15 \cdot W_{xe} = 15 (F_e + F'_e) \cdot \frac{2e^2}{d}$
$\Sigma = F_i$	$\Sigma = W_{ix}$

Die Ansätze zur Bemessung sind verwickelter, daher wird häufig der gesuchte Querschnitt durch Versuchsrechnungen ermittelt und an Stelle einer Bemessung der Spannungsnachweis gemäß Ansatz [5] geführt.

Zur Bemessung rechteckiger Querschnitte geben die Tabellen 4 bis 7 den erforderlichen Bewehrungsanteil für zwei Abstände e der Bewehrung F_e und F'_e von der Querschnittsmitte (vgl. Bild 1 und 2), und zwar:

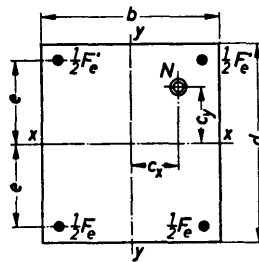


Bild 1.

		$\frac{\sigma_b}{\sigma_0}$	
		↓	
μ_0 μ'_0	←	γ	

Bild 2.

Tabelle 4 und 6 für $\frac{e}{d} = 0,4$

Tabelle 5 und 7 für $\frac{e}{d} = 0,45$.

Bei Verwendung der Zahlentabellen ist zunächst der Vorwert

$$\frac{\sigma_{b \text{ zul}}}{\sigma_0} = \sigma_{b \text{ zul}} \frac{b \cdot d}{N}$$

als Ausgangswert in der obersten waagerechten Zeile aufzusuchen. In der zu diesem Vorwert gehörigen lotrechten Spalte sucht man den Beiwert

$$\gamma = \frac{c_y}{d} + \frac{c_x}{b} \quad \text{für zweiachsige Ausmittigkeit, bzw.}$$

$$\gamma = \frac{c_y}{d} \quad \text{für einachsige Ausmittigkeit}$$

auf. Das erforderliche Bewehrungsverhältnis μ_0 bzw. μ'_0 ist in der Zeile von γ links in der ersten Spalte angeschrieben (vgl. Gebrauchschema Bild 2). Bei Verwendung der graphischen Tafeln können bei gegebenen Vorwerten $\sigma_{b \text{ zul}} \frac{b \cdot d}{N}$

und γ die zugehörigen Werte μ_0 und μ'_0 ebenfalls unmittelbar abgelesen werden.

Die Tabellen 4 und 5 gelten für symmetrische Bewehrung $\mu_0 = \mu'_0$; sie gelten auch bei zweiachsiger Ausmittigkeit, sofern in jeder Ecke des Rechteckquerschnittes ein Viertel der Gesamtbewehrung angeordnet wird. Bei einer Bewehrung nach Bild 3 dürfen somit bei einachsiger Biegung nur die im Abstand e liegenden Stäbe und bei zweiachsiger Biegung nur die Eckstäbe in Rechnung gestellt werden.

Die Tabellen 6 und 7 sind unter der Voraussetzung aufgestellt, daß die Zugbewehrung $\mu_0 = 0,4\%$ des Betonquerschnittes beträgt, d. h. den Vorschriften über die Mindestbewehrung DIN 1045, § 27, Abschnitt 2d entspricht. Diese Tabellen sind nur für einachsige Ausmittigkeit zu verwenden.

Gleichzeitig dienen die Tabellen 4 bis 7 zur Feststellung, welcher Zustand der Bemessung zugrunde zu legen ist. Nach Zustand I ist zu bemessen, wenn der Wert γ in den Tabellen 4 bis 7 oberhalb der Begrenzungslinien für $\sigma_{bz} = -0,25 \sigma_{db}$ bzw. $-0,35 \sigma_{db}$ liegt. Sonst ist nach Zustand II zu bemessen.

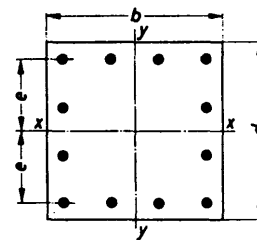


Bild 3.

Druck mit ein- oder zweiachsiger Ausmittigkeit, symmetrische Bewehrung: $F_e = F'_e = b \cdot d \cdot \mu_0$.

Ermittlung der Bewehrung: Vorwerte: $\sigma_{bzul} \frac{b \cdot d}{N}$; $\gamma = \frac{c_y}{d} + \frac{c_x}{b} = \frac{M_x}{N \cdot d} + \frac{M_y}{N \cdot b}$;

Einheiten: Beliebig, jedoch müssen die gewählten Einheiten einander entsprechen.

Tabelle 4. (numerisch) für $\frac{e}{d} = 0,40$

$\sigma_{bzul} \cdot \frac{b \cdot d}{N}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
$100\mu_0 = 100\mu'_0$	1000 γ																	
0,4		001	022	043	063	084	104	125	146	166	187	207	228	249	269	290	310	331
0,5		007	028	049	071	092	114	135	157	178	200	221	243	264	286	307	329	350
0,6		012	034	056	079	101	124	146	168	191	213	236	258	280	303	325	348	370
0,7		017	040	063	087	110	134	157	180	204	227	251	274	297	321	344	368	391
0,8		023	047	071	096	120	144	167	193	217	242	266	290	315	339	363	388	412
0,9	003	029	054	079	105	130	155	180	206	231	256	281	307	332	357	382	408	
1,0	007	034	060	086	113	139	165	191	218	244	270	296	323	349	375	401	428	
1,1	013	040	067	094	121	149	176	203	230	257	285	312	339	366	393	421		
1,2	018	046	074	102	130	158	187	215	243	271	299	327	355	383	412	440		
1,3	023	052	081	110	139	168	197	226	255	284	314	343	372	401	430			
1,4	029	059	089	119	149	179	209	239	269	299	329	359	389	419	449			
1,5	034	065	096	127	156	189	220	251	282	313	344	375	406	437				
1,6	039	071	103	135	167	199	231	263	295	327	359	391	423	455	Für größere γ -Werte Bemessung nach Zustand II			
1,7	045	078	111	144	177	210	242	275	308	341	374	407	440					
1,8	050	084	118	152	186	219	253	287	321	355	388	422	456					
1,9	057	091	126	161	195	230	265	300	334	369	404	439						
2,0	064	099	134	169	204	240	275	310	345	380	416	451						
2,1	068	104	141	178	214	251	288	324	361	398	434							
2,2	074	111	149	187	224	262	299	337	375	412	450							
2,3	080	118	157	196	234	273	311	350	388	427	465							
2,4	086	126	165	204	244	283	323	362	402	441								
2,5	092	133	173	213	254	294	335	375	416	456								

$\sigma_{bz} = 0$

$\sigma_{bz} = -0,25 \sigma_{bd}$

$\sigma_{bz} = -0,35 \sigma_{bd}$

Erläuterung: Die beiden treppenförmigen Begrenzungslinien unterstreichen die größten γ -Werte bei ein- und zweiachsiger Ausmittigkeit, welche für die Bemessung nach Zustand I zulässig sind.

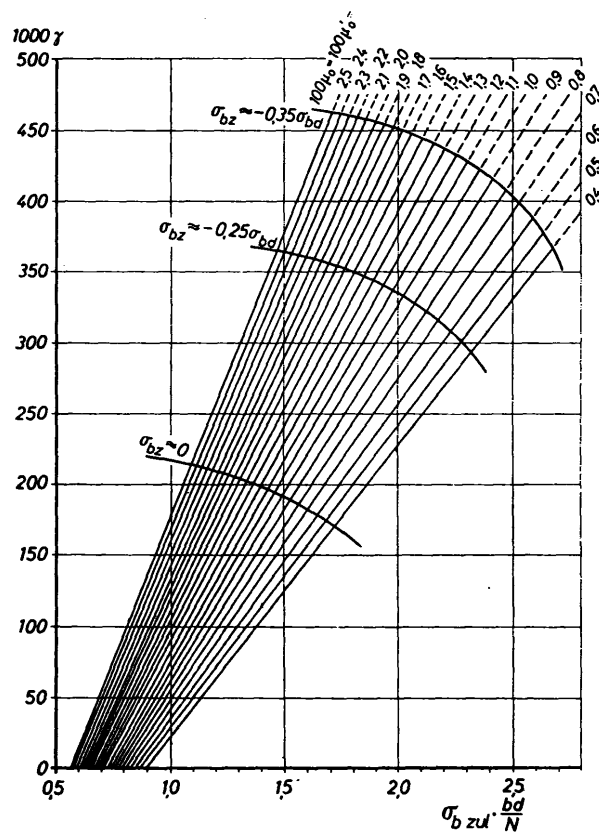
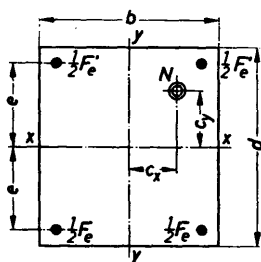


Tabelle 4. (graphisch) für $\frac{e}{d} = 0,40$

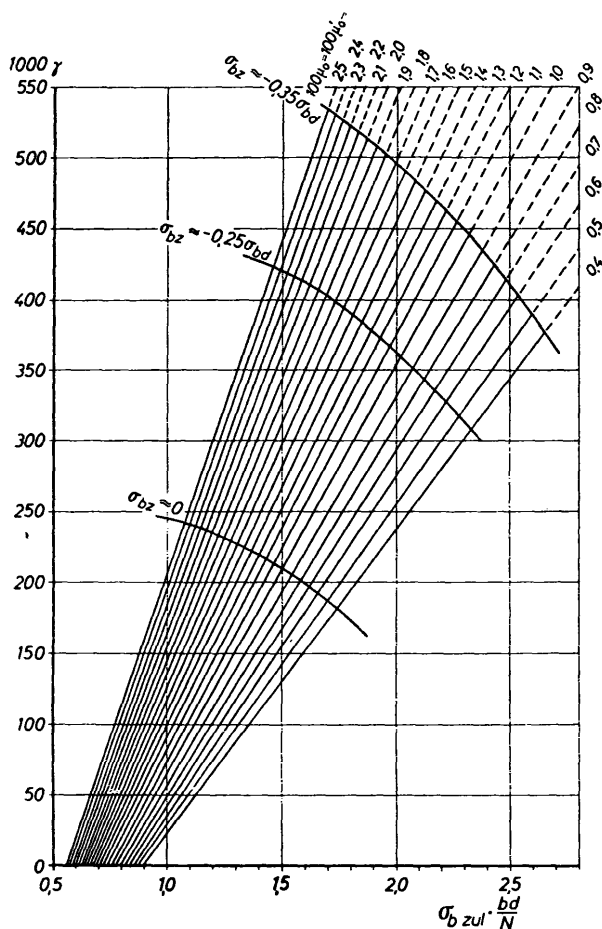
Tabelle 5. (numerisch) für $\frac{e}{d} = 0,45$

$\sigma_{bz} \cdot \frac{b \cdot d}{N}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
$100\mu_0 = 100\mu'_0$	1000 γ																	
0,4			023	045	066	088	109	131	152	174	195	217	238	260	282	303	325	346
0,5		008	030	052	073	097	118	142	164	187	209	232	254	276	299	321	344	366
0,6		014	037	061	085	109	133	157	181	205	229	249	277	301	325	349	373	397
0,7		019	044	069	094	120	145	170	195	220	246	271	296	321	346	372	397	422
0,8		025	051	077	104	130	157	183	209	236	262	289	315	341	368	394	421	
0,9	002	030	058	086	113	141	168	196	223	251	279	306	334	362	389	417	444	
1,0	008	037	066	095	124	152	181	210	239	268	296	325	354	383	412	440		
1,1	015	045	075	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	475		
1,2	021	052	083	114	145	177	208	239	270	301	333	364	395	426	458			
1,3	027	059	091	123	155	186	218	252	283	316	347	380	412	444	477			
1,4	033	067	100	133	166	201	234	268	301	335	369	402	436	470				
1,5	039	074	109	144	178	214	249	284	318	353	388	432	458	493	Für größere γ -Werte Bemessung nach Zustand II			
1,6	045	081	117	153	189	225	261	298	334	370	406	442	478					
1,7	052	089	126	163	200	238	275	313	350	387	424	462	499					
1,8	058	097	136	175	213	252	290	329	367	406	444	483						
1,9	065	105	145	185	225	264	304	344	384	424	463	503						
2,0	072	113	154	195	236	277	318	359	400	441	482	523						
2,1	080	122	164	206	248	290	333	375	417	460	502							
2,2	087	130	173	216	260	303	347	390	433	477	520							
2,3	093	138	183	228	272	317	361	406	450	495	540							
2,4	100	146	192	238	294	329	375	421	467	513								
2,5	107	154	201	248	295	342	389	436	483	530								

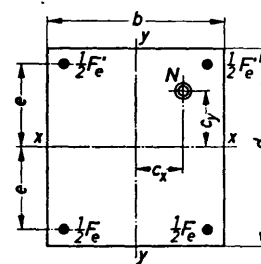
$$\sigma_{bz} = 0$$

$$\sigma_{bz} = -0,25 \sigma_{bd}$$

$$\sigma_{bz} = -0,35 \sigma_{bd}$$



Erläuterung: Die beiden treppenförmigen Begrenzungslinien unterstreichen die größten γ -Werte bei ein- und zweiachsiger Ausmittigkeit, welche für die Bemessung nach Zustand I zulässig sind.

Tabelle 5. (graphisch) für $\frac{e}{d} = 0,45$

Druck mit einachsiger Ausmittigkeit, unsymmetrische Bewehrung: $F_e = b \cdot d \cdot 0,004$; $F'_e = b \cdot d \cdot \mu'_0$

Ermittlung der Bewehrung. Vorwerte: $\sigma_{bzul} \cdot \frac{b \cdot d}{N}$; $\gamma = \frac{c_y}{d} = \frac{M_x}{N \cdot d}$

Einheiten: Beliebig, jedoch müssen die gewählten Einheiten einander entsprechen.

Tabelle 6. (numerisch) für $\frac{e}{d} = 0,40$

$\sigma_{bzul} \cdot \frac{b \cdot d}{N}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
100 μ'_0	1000 γ															
0,4		002	022	043	063	084	104	125	145	166	186	207	227	248	268	289
0,5		009	030	051	073	094	115	136	158	179	200	222	243	264	286	307
0,6		017	039	061	083	105	126	148	170	192	214	236	258	280	301	
0,7	002	024	047	070	092	115	137	160	183	205	228	250	273	296		
0,8	009	033	056	079	103	126	149	172	196	219	242	265	289	312		
0,9	016	040	064	088	112	136	160	184	208	232	256	280	304			
1,0	023	047	072	097	121	146	171	195	220	245	269	294	319			
1,1	029	055	080	105	131	156	182	207	232	258	283	309		Für größere γ -Werte Bemessung nach Zustand II		
1,2	037	063	089	115	141	167	193	219	245	271	297	323				
1,3	044	070	097	124	150	177	203	230	256	283	309					
1,4	050	078	105	132	160	187	215	242	269	297	324					
1,5	057	085	113	141	169	197	225	253	281	309						
1,6	064	092	121	150	178	207	236	265	293	322						
1,7	070	100	129	158	188	217	247	276	305							
1,8	077	107	137	167	197	227	257	287	317							
1,9	084	114	145	176	206	237	268	298	329							
2,0	090	122	153	184	216	247	278	310								
2,1	097	129	161	193	225	257	289	321								
2,2	104	136	169	202	234	267	299	332								
2,3	110	144	177	210	244	277	310									
2,4	116	150	184	218	252	286	320									
2,5	123	157	192	227	261	296	330									

$\sigma_{bz} = 0$

$\sigma_{bz} = -0,25 \sigma_{bd}$

Erläuterung: Die treppenförmige Begrenzungslinie unterstreicht die größten γ -Werte bei einachsiger Ausmittigkeit, welche für die Bemessung nach Zustand I zulässig sind.

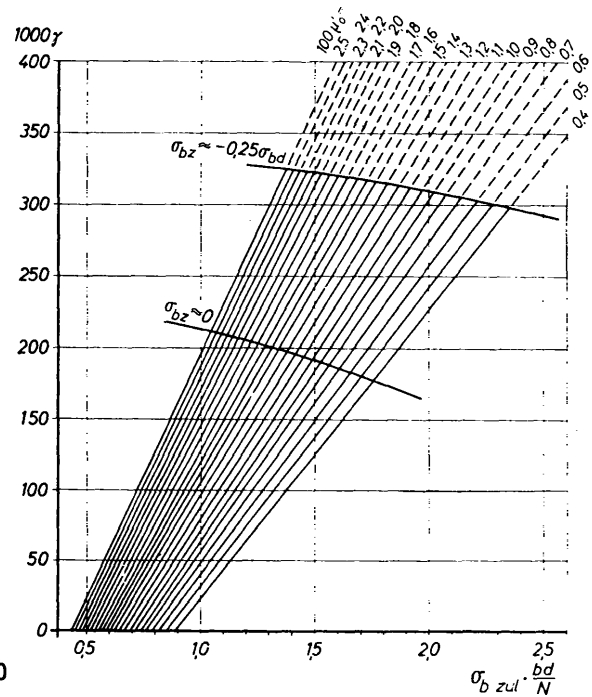
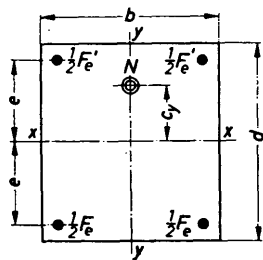


Tabelle 6. (graphisch) für $\frac{e}{d} = 0,40$

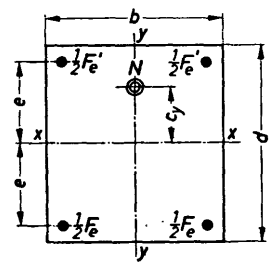
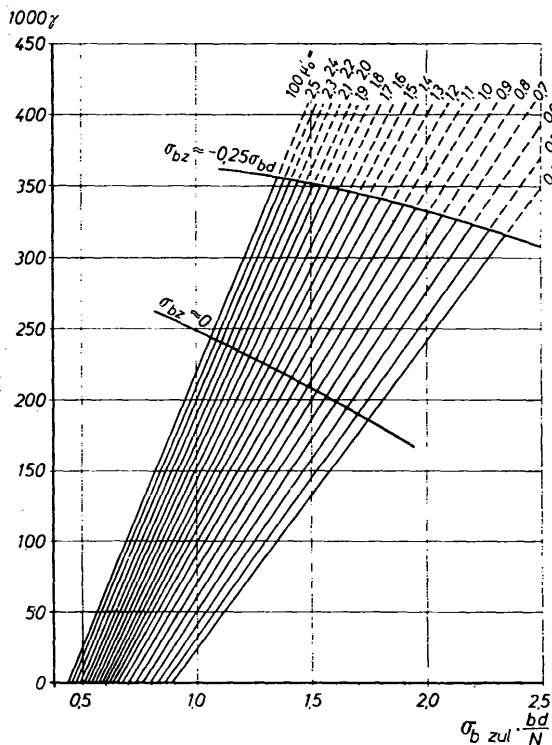
Tabelle 7. (numerisch) für $\frac{e}{d} = 0,45$

$\sigma_{b\text{zul}} \cdot \frac{b \cdot d}{N}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
$100 \mu'_0$	1000γ															
0,4		002	023	045	066	088	109	131	152	174	195	217	239	261	282	304
0,5		011	033	055	078	100	122	145	167	190	212	235	257	279	301	324
0,6		019	042	065	089	112	135	159	182	205	228	258	275	298	321	
0,7	001	026	051	076	100	124	148	172	196	220	244	269	293	317		
0,8	010	035	061	086	111	136	161	186	211	236	261	286	311	336		
0,9	018	044	070	096	122	148	173	199	225	251	277	302	328			
1,0	026	053	080	107	134	160	187	214	240	267	294	320				
1,1	033	061	089	117	144	172	200	227	255	282	310	334	Für größere γ -Werte Bemessung nach Zustand II			
1,2	041	070	099	127	156	184	212	241	269	298	326					
1,3	049	078	107	136	166	195	224	254	283	312	341					
1,4	057	087	117	147	177	208	236	268	298	328						
1,5	065	096	127	158	188	220	250	282	312	343						
1,6	072	104	136	168	199	231	263	295	326							
1,7	079	112	145	178	210	243	275	308	341							
1,8	086	120	154	188	221	255	288	322	355							
1,9	093	128	163	197	232	266	301	335								
2,0	100	136	172	207	243	277	313	348								
2,1	108	144	182	218	254	289	326	362								
2,2	116	153	191	228	264	301	338									
2,3	124	162	200	238	275	313	350									
2,4	132	171	209	247	286	324	362									
2,5	140	180	218	257	296	335	374									

$$\sigma_{bz} = 0$$

$$\sigma_{bz} = -0,25 \sigma_{bd}$$

Erläuterung: Die treppenförmige Begrenzungslinie unterstreicht die größten γ -Werte bei einachsiger Ausmittigkeit, welche für die Bemessung nach Zustand I zulässig sind.

Tabelle 7. (graphisch) für $\frac{e}{d} = 0,45$

1.3 Zustand II

Die zur Bemessung im Zustand II benutzten Verfahren lassen sich grundsätzlich nach der Aufgabestellung in zwei Gruppen einteilen. Entweder wird die zulässige Grenze der Stahlzugspannung voll ausgenutzt und ist somit ein Festwert — das ist beim Zustand II meist der Fall —, oder die Stahlspannung wird als Veränderliche eingeführt und zählt damit zu den Unbekannten.

1.31 Berücksichtigung der Längskraft

Es bedeutet zweifellos eine Vereinfachung, wenn sowohl für den Fall der reinen Biegung als auch für den Fall des Zusammenwirkens von Biegemoment und Längskraft der gleiche Ansatz und die gleichen Hilfstabellen verwendet werden können. Die Voraussetzungen hierfür sind gegeben. Da die Bemessungsansätze von der auf den Schwerpunkt der Zugbewehrung bezogenen Momentengleichung ausgehen, muß der Angriffspunkt der mittigen Längskraft in diesen Schwerpunkt verlegt werden. Hierdurch entsteht ein zusätzliches Moment $N \cdot e$, welches im Momentenansatz ausgeglichen werden muß. Man geht daher in der Bemessung von einer im Schwerpunkt der Zugbewehrung angreifenden Längskraft N und von einem hierauf bezogenen Moment M_e aus.

$$[6] \quad M_e = M - N \cdot e$$

Der Ansatz [6] gilt in gleicher Weise für N als Zug- und Druckkraft. N als Druckkraft ist negativ einzusetzen. Im Rechteckquerschnitt beträgt $e = h - \frac{d}{2}$. Für die Wahl des Verfahrens ist es belanglos, ob die Bemessung für ein Moment M aus reiner Biegung oder für den Wert M_e erfolgt, der mit $N = 0$ in den Ausdruck M übergeht.

Nur in einem Sonderfall erübrigt sich die oben beschriebene Umwandlung. Wenn N als Zugkraft (+) noch innerhalb der Bewehrung angreift, d. h. für $c < e$ (Bild 4), scheidet der Beton bei der Kraftverteilung ganz aus, und es übernehmen die Zugeinlagen unmittelbar ihren Anteil im umgekehrten Verhältnis zu ihrem Abstand von der Kraft.

$$F_{e1} = \frac{N}{\sigma_e} \cdot \frac{e + c}{2e}$$

[7]

$$F_{e2} = \frac{N}{\sigma_e} \cdot \frac{e - c}{2e}$$

Im Falle mittigen Zuges wird:

$$F_{e1} = F_{e2} = \frac{N}{2\sigma_e}$$

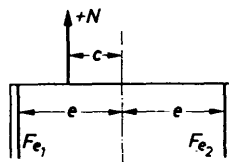


Bild 4.

1.32 Rechteckquerschnitt bei einachsiger Biegung (mit und ohne Längskraft), neutrale Faser gleichlaufend zu einer Querschnittshauptachse

Bezeichnungen:

$$m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b} ; \quad n = \frac{E_e}{E_b} = 15$$

$$x = k_x \cdot h ; \quad k_x = \frac{n}{n + m}$$

$$z = k_z \cdot h ; \quad h' = \beta \cdot h$$

$$\mu = \frac{F_e}{b \cdot h} ; \quad \mu' = \frac{F'_e}{b \cdot h}$$

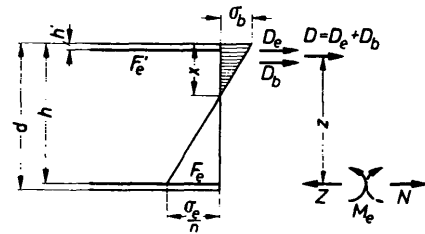


Bild 5.

1.321 Verfahren für unveränderliche Stahlzugspannung

1.3211 Ansätze mit einheitslosen Beiwerten ⁵⁾

Die einheitslosen Ansätze dieses Abschnittes haben gegenüber den einheitsgebundenen Ansätzen des Abschnittes 1.3212 den Vorteil, daß man nur zwei Tabellen braucht, jedoch den Nachteil der längeren Rechnung. In den Regelfällen empfiehlt es sich daher, gemäß Abschnitt 1.3212 zu verfahren. Die nachfolgenden Ansätze dieses Abschnittes eignen sich dagegen erstens zur Bemessung von Querschnitten, in denen das Spannungsverhältnis $m = \sigma_e : \sigma_b$ oder die Lage der Bewehrung vom Üblichen abweichen und an deren Untersuchung erhöhte Anforderungen gestellt werden; zweitens benötigt man sie in allen Fällen, in denen man gezwungen ist, fremde Einheiten-Systeme zugrunde zu legen.

Querschnitt ohne Druckbewehrung

Beim einseitig bewehrten Querschnitt nutzt man die zugelassene Spannungsgrenze der Zugeinlagen möglichst aus, es ist somit σ_e für die Bemessung ein Festwert. Zur Beurteilung des Widerstandsmomentes des gewählten Betonquerschnittes $b \cdot h$ benötigt man den Richtwert γ_h , der die Abhängigkeit der Betondruckspannung σ_b von dem Verhältnis des vorhandenen Widerstandsmomentes zum Moment M_e ausdrückt. γ_h nimmt mit steigender Betonrandspannung σ_b ab. Nutzt man die zulässige Spannungsgrenze von σ_b aus, so erhält man den Grenzwert von γ_h , der mit γ_h^* bezeichnet wird und anzeigt, welches Moment M_h^* der Nutzquerschnitt $b \cdot h$ ohne Druckeinlagen aufzunehmen vermag.

Tabelle 8. (nach Pucher)

Einheitlose Beiwerte für beliebige Spannungsverhältnisse m
In b, h, M_e, N und σ_e sind Längen und Kräfte in gleichen Einheiten einzusetzen.

$m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b}$	$1000 \cdot k_x$	$1000 \cdot k_z$	γ_h	$100 \cdot \mu$
10	600	800	6,46	3,00
11	577	808	6,87	2,62
12	556	815	7,28	2,32
13	536	821	7,69	2,062
14	517	828	8,09	1,845
15	500	834	8,49	1,667
16	484	839	8,88	1,512
17	469	844	9,27	1,380
18	455	848	9,66	1,264
19	442	853	10,04	1,160
20	429	857	10,43	1,072
21	417	861	10,82	0,992
22	405	865	11,20	0,921
23	395	868	11,58	0,858
24	385	872	11,97	0,803

⁵⁾ nach Pucher: Lehrbuch des Stahlbetonbaues, Wien 1949, Springer-Verlag.

Fortsetzung von Tabelle 8.

$m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b}$	$1000 \cdot k_x$	$1000 \cdot k_z$	γ_h	$100 \cdot \mu$
25	375	875	12,35	0,750
26	366	878	12,73	0,704
27	357	881	13,10	0,662
28	349	884	13,48	0,623
29	341	886	13,86	0,588
30	333	889	14,24	0,556
31	326	891	14,62	0,526
32	319	894	14,99	0,498
33	313	896	15,36	0,473
34	306	898	15,73	0,450
35	300	900	16,10	0,429
36	294	902	16,48	0,408
37	288	904	16,85	0,389
38	283	906	17,22	0,372
39	278	908	17,59	0,355
40	273	909	17,96	0,341
41	268	911	18,34	0,327
42	263	912	18,72	0,313
43	258	914	19,09	0,300
44	254	915	19,46	0,289
45	250	917	19,83	0,278
46	246	918	20,20	0,267
47	242	919	20,57	0,257
48	238	920	20,94	0,248
49	234	922	21,31	0,239
50	231	923	21,67	0,231
52	224	925	22,41	0,216
54	217	927	23,16	0,201
56	211	930	23,91	0,189
58	206	932	24,65	0,177
60	200	933	25,38	0,167
62	195	935	26,11	0,157
64	190	936	26,84	0,148
66	185	938	27,57	0,140
68	180	940	28,30	0,133
70	176	941	29,03	0,126
72	173	942	29,76	0,120
74	169	944	30,50	0,114
76	165	945	31,23	0,109
78	161	946	31,97	0,103
80	158	947	32,71	0,099
85	150	950	34,54	0,088
90	143	952	36,37	0,083
95	136	955	38,20	0,074
100	130	956	40,01	0,068

Den Richtwert γ_h ermittelt man aus der Gleichung

$$[8] \quad h = \gamma_h \sqrt{\frac{M}{b \cdot \sigma_e}}$$

Ist der daraus gewonnene γ_h -Wert gleich oder größer als der für $m^* = \frac{\sigma_{e \text{ zul}}}{\sigma_{b \text{ zul}}}$ geltende Grenzwert γ_h^* , der in Tabelle 9 angeschrieben ist, so sind keine Druckeinlagen erforderlich, und man kann aus Tabelle 8 den zu γ_h gehörigen σ_b -Wert ermitteln. Dann ist der Querschnitt der Zugbewehrung:

$$[9] \quad F_e = \frac{M_e}{h \cdot k_z \cdot \sigma_e} + \frac{N}{\sigma_e} = b \cdot h \cdot \mu + \frac{N}{\sigma_e}$$

Man entnimmt der Tabelle 8 die zum Richtwert γ_h gehörigen Werte k_z oder μ , ohne σ_b zu ermitteln. N als Druckkraft ist negativ einzusetzen. Bei reiner Biegung ist $N = 0$ und $M_e = M$.

Querschnitt mit Druckbewehrung

Ist der aus Gleichung [8] gewonnene γ_h -Wert kleiner als

der in Tabelle 9 für $m^* = \frac{\sigma_{e \text{ zul}}}{\sigma_{b \text{ zul}}}$ angeschriebene Grenz-

wert γ_h^* , so bedarf der gewählte Querschnitt einer zusätzlichen Druckbewehrung. Da die Ansätze für eine beliebige Lage der Druckbewehrung gelten sollen, ist es zweckmäßig, die Zugbewehrung in zwei Anteile aufzuspalten, um zwei getrennte Kräftepaare mit der Betondruckkraft D_b und der Druckkraft D_e der Druckeinlagen zu bilden.

Zunächst ermittelt man das Moment M_e^* , welches der Querschnitt ohne Druckbewehrung aufnehmen kann, sowie die hierfür erforderliche Zugeinlage F_e^* . Aus Tabelle 9 liest man den Grenzwert γ_h^* und den zugehörigen Beiwert k_z für die zulässigen Spannungen ab und bildet damit

$$[10] \quad M_e^* = \left(\frac{h}{\gamma_h^*} \right)^2 b \cdot \sigma_e$$

$$[11] \quad F_e^* = \frac{M_e^*}{h \cdot k_z \cdot \sigma_e} + \frac{N}{\sigma_e}$$

N als Druckkraft ist negativ einzusetzen. Bei reiner Biegung ist $N = 0$ und $M_e = M$. Dann ermittelt man das Restmoment, welches ausschließlich durch die zusätzliche beiderseitige Bewehrung aufgenommen werden muß.

$$[12] \quad \Delta M_e = M_e - M_e^*$$

Hieraus folgt:

$$[13] \quad \Delta F_e = \frac{\Delta M_e}{\sigma_e (h - h')}$$

$$[14] \quad F_e = F_e^* + \Delta F_e$$

$$[15] \quad F_e' = \Delta F_e \frac{\sigma_e}{\sigma_e'}$$

In Gleichung [15] ist der Wert $\frac{\sigma_e}{\sigma_e'}$ für $\beta = \frac{h'}{h}$ aus Tabelle 9 zu entnehmen.

1.3212 Ansätze mit einheitgebundenen Beiwerten

Für die Vielzahl der üblichen Bemessungsaufgaben im Hochbau, bei denen der Fall der reinen Biegung vorherrscht, ist mit der Wahl der Stahlsorte die zulässige Stahlsugspannung σ_e festgelegt. Um den Rechenumfang zu verkürzen, verwendet man für jede zulässige Stahlsugspannung besondere Tabellen. Dadurch werden zwar die Beiwerte der Bemessungsansätze einheitgebunden, andererseits lassen sich die Ansätze zur Berechnung von F_e und F_e' mit einer einzigen Rechenschieber- und zwei Läuferstellungen ausrechnen.

Querschnitt ohne Druckbewehrung

Ähnlich wie im Abschnitt 1.3211 näher ausgeführt, dient zur Beurteilung des Widerstandsmomentes des gewählten Betonquerschnittes $b \cdot h$ wiederum ein Richtwert k_b , der aus folgender Gleichung zu errechnen ist:

$$[16] \quad h = k_b \sqrt{\frac{M_e}{b}} \quad \begin{array}{l} h \text{ in cm} \\ M_e \text{ in tm} \\ b \text{ in m} \end{array}$$

Tabelle 9. Einheitlose Beiwerte für die Grenzspannungsverhältnisse $m^* = \frac{\sigma_{e\text{zul}}}{\sigma_{b\text{zul}}}$
(nach Löser, ergänzt durch die β -Werte)

In b , h , M_e , σ_b und σ_e sind Längen und Kräfte in gleichen Einheiten einzusetzen

σ_e							$m^* = \frac{\sigma_e}{\sigma_b}$	γ_h^*	γ_h^{*2}	$1000 \cdot k_z$	$100 \cdot \mu$	$\beta = h'/h$								
1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400						0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20
$\sigma_{b \text{ zul}}$												$\frac{\sigma_e}{\sigma'_e}$								
	120						11,67	7,15	51,07	812	2,411						1,04	1,08	1,21	
	110						12,73	7,58	57,40	820	2,125					1,00	1,09	1,15	1,19	
	100						14	8,09	65,41	828	1,847	1,01	1,06	1,08	1,10	1,16	1,22	1,28	1,35	
80			120				15	8,49	72,00	833	1,667	1,09	1,14	1,16	1,19	1,25	1,32	1,39	1,47	
	90						15,56	8,71	75,77	836	1,640	1,13	1,18	1,21	1,24	1,30	1,37	1,45	1,54	
		100					16	8,94	79,88	839	1,512	1,16	1,22	1,25	1,28	1,35	1,42	1,50	1,59	
			110				16,36	9,02	81,41	841	1,461	1,19	1,25	1,28	1,31	1,38	1,46	1,54	1,64	
				120			16,67	9,14	83,56	842	1,435	1,21	1,27	1,30	1,34	1,41	1,49	1,58	1,68	
	80						17,5	9,47	89,62	846	1,317	1,28	1,34	1,38	1,41	1,49	1,58	1,68	1,79	
		90					17,78	9,58	91,68	847	1,287	1,30	1,36	1,40	1,44	1,52	1,61	1,71	1,82	
			100				18	9,68	93,34	848	1,263	1,32	1,38	1,42	1,46	1,54	1,63	1,73	1,85	
				110			18,18	9,73	94,71	849	1,239	1,33	1,40	1,43	1,47	1,56	1,65	1,76	1,88	
60	70	80	90	100		120	20	10,44	108,89	857	1,071	1,47	1,55	1,59	1,64	1,74	1,85	1,98	2,13	
						110	21,82	11,13	123,94	864	0,934	1,61	1,71	1,76	1,81	1,93	2,06	2,22	2,40	
						90	22,22	11,29	127,40	866	0,907	1,65	1,74	1,79	1,82	1,97	2,11	2,27	2,46	
						80	22,5	11,40	130,22	867	0,889	1,67	1,77	1,82	1,88	2,00	2,14	2,31	2,50	
		70					22,86	11,53	132,93	868	0,867	1,70	1,80	1,85	1,91	2,04	2,19	2,36	2,56	
	60						23,33	11,71	137,15	870	0,839	1,73	1,84	1,89	1,96	2,09	2,22	2,42	2,63	
50							24	11,97	143,15	872	0,801	1,79	1,90	1,96	2,02	2,16	2,33	2,52	2,74	
				80			25	12,35	152,38	875	0,750	1,87	1,98	2,05	2,12	2,27	2,45	2,66	2,91	
			70				25,71	12,62	159,19	877	0,716	1,92	2,05	2,12	2,19	2,35	2,54	2,77	3,03	
		60				90	26,67	12,98	168,35	880	0,675	2,00	2,13	2,20	2,29	2,46	2,67	2,91	3,20	
					80		27,50	13,30	176,97	882	0,642	2,07	2,21	2,29	2,37	2,56	2,78	3,04	3,35	
	50						28	13,48	181,66	884	0,623	2,11	2,29	2,34	2,42	2,62	2,85	3,12	3,45	
				70			28,57	13,69	187,50	885	0,602	2,16	2,31	2,39	2,48	2,70	2,92	3,21	3,56	
40			60			80	30	14,23	202,50	889	0,556	2,27	2,44	2,53	2,63	2,86	3,13	3,45	3,85	
					70		31,43	14,76	217,98	892	0,514	2,39	2,57	2,68	2,79	3,04	3,33	3,70	4,15	
		50					32	14,98	224,41	894	0,499	2,44	2,63	2,73	2,85	3,11	3,42	3,80	4,28	
				60			33,33	15,48	239,60	897	0,466	2,55	2,76	2,87	2,99	3,28	3,62	4,05	4,59	
					70		34,29	16,48	250,77	899	0,444	2,63	2,85	2,97	3,10	3,40	3,77	4,23	4,82	
			50				36	16,48	271,41	902	0,408	2,78	3,02	3,15	3,30	3,64	4,05	4,58	5,26	
				60			36,67	16,72	279,66	903	0,396	2,84	3,08	3,22	3,37	3,73	4,17	4,72	5,45	
		40		50			40	17,96	322,67	909	0,341	3,13	3,42	3,59	3,77	4,21	4,76	5,48	6,45	
					50		44	19,45	378,18	915	0,289	3,48	3,84	4,05	4,28	4,84	5,56	6,63	7,91	

Ist der daraus gewonnene k_h -Wert gleich oder größer als der in den Tabellen 10 für $\sigma_{b\text{zul}}$ geltende Grenzwert k_h^* , so sind keine Druckeinlagen erforderlich. Man erhält

$$[17] \quad F_e = \frac{M_e}{h} k_e + \frac{N}{\sigma_e} \quad \begin{array}{l} F_e \text{ in cm}^2 \\ M_e \text{ in tm} \\ h \text{ in m} \\ N \text{ in t} \end{array}$$

Im Falle reiner Biegung wird

$$[17a] \quad F_e = \frac{M}{h} k_e \quad \begin{array}{l} \sigma_e \text{ in t/cm}^2 \\ M \text{ in tm} \end{array}$$

Man entnimmt den Tabellen 10 den k_e -Wert, der zu dem nächstkleineren Richtwert k_h gehört.

Querschnitt mit Druckbewehrung

Ist der aus Gleichung [16] gewonnene k_h -Wert kleiner als der in den Tabellen 10 für $\sigma_{b\text{zul}}$ geltende Grenzwert k_h^* , so ist eine Druckbewehrung erforderlich.

Der Querschnitt der Zugbewehrung errechnet sich aus den Gleichungen [17] bzw. [17a]. Den Beiwert k_e entnimmt man den Tabellen 11, indem man in der für die gewählte Betondruckspannung σ_b gültigen Spalte von dem errechneten Richtwert k_h ausgeht.

Den Querschnitt der Druckbewehrung erhält man aus

$$[18] \quad \begin{array}{ll} F'_e = \frac{M_e}{h} k'_e \text{ (für } \beta < 0,08) & F'_e \text{ in cm}^2 \\ F'_e = \frac{M_e}{h} k'_e \cdot \varrho' \text{ (für } \beta > 0,08) & M_e \text{ in tm} \\ & h \text{ in m} \end{array}$$

Den Beiwert k'_e entnimmt man in der gleichen Weise wie k_e den Tabellen 11, während ϱ' für $\beta = \frac{h'}{h}$ in den Tabellen 12 angeschrieben ist.

für $\sigma_e = 1,2 \text{ t/cm}^2$ Tabelle 10. Richtwerte k_h und k_h^* , Beiwerte k_e und k_z

σ_b in kg/cm ²	20	30	35	40	45	50
k_h und k_h^*	23,1	16,4	14,5	13,0	11,8	10,9
k_e	0,89	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96
k_z	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87

Tabelle 11. Beiwerte k_e und k_e'

σ_b						σ_b					
40			50			40			50		
k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %	
	k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e
13,0	—	94	11,0	—	96	10,9	67		8,9	59	
12,9	03		10,9	01		10,8	70		8,8	62	
12,8	07		10,8	04		10,7	73	92	8,7	64	93
12,7	10	94	10,7	07	95	10,6	76		8,6	67	
12,6	13		10,6	10		10,5	79		8,5	69	
12,5	17		10,5	13		10,4	82		8,4	72	
12,4	20		10,4	16		10,3	84		8,3	74	
12,3	24		10,3	19		10,2	87	92	8,2	77	93
12,2	27	93	10,2	22	95	10,1	89		8,1	79	
12,1	30		10,1	25		10,0	92		8,0	81	
12,0	33		10,0	28					7,9	84	
11,9	37		9,9	31					7,8	86	
11,8	40		9,8	34					7,7	88	93
11,7	43	93	9,7	37	94				7,6	90	
11,6	46		9,6	40					7,5	93	
11,5	49		9,5	43							
11,4	52		9,4	46							
11,3	55		9,3	48							
11,2	58	93	9,2	51	94						
11,1	61		9,1	54							
11,0	64		9,0	56							

Tabelle 12. Beiwerte q'

$\beta = \frac{h'}{h}$	σ_b	
	40	50
	q'	
0,08	1,05	1,04
0,09	1,11	1,09
0,10	1,17	1,14
0,11	1,23	1,20
0,12	1,30	1,26
0,14	1,47	1,39
0,16	1,68	1,53
0,20	2,30	1,98

für $\sigma_e = 1,4 \text{ t/cm}^2$ Tabelle 10. Richtwerte k_h und k_h^* , Beiwerte k_e und k_z

σ_b in kg/cm ²	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
k_h und k_h^*	17,3	13,6	11,4	9,9	8,8	8,0	7,4	6,8	6,4	6,0
k_e	0,78	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
k_z	0,92	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81

Tabelle 11. Beiwerte k_e und k'_e

σ_b																	
50			60			70			80			90			100		
k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %	
	k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e
11,5	—	81	10,0	—	82	9,0	—	83	8,0	—	84	7,5	—	85	7,0	—	86
11,4	—		9,9	—		8,9	—		7,9	03		7,4	—		6,9	—	
11,3	03		9,8	03		8,8	01		7,8	05		7,3	01		6,8	01	
11,2	06	81	9,7	06	82	8,7	03	83	7,7	08	84	7,2	04	85	6,7	03	86
11,1	09		9,6	09		8,6	06		7,6	10		7,1	06		6,6	06	
11,0	12		9,5	12		8,5	08		7,5	13		7,0	09		6,5	08	
10,9	15		9,4	14		8,4	11		7,4	15		6,9	11		6,4	10	
10,8	18		9,3	17		8,3	14		7,3	17		6,8	14		6,3	13	
10,7	21	80	9,2	20	81	8,2	17	82	7,2	20	83	6,7	16	84	6,2	15	85
10,6	24		9,1	23		8,1	20		7,1	22		6,6	18		6,1	17	
10,5	27		9,0	25		8,0	22		7,0	25		6,5	20		6,0	19	
10,4	30		8,9	28		7,9	24		6,9	27		6,4	23		5,9	21	
10,3	33		8,8	31		7,8	27		6,8	29		6,3	25		5,8	23	
10,2	36	80	8,7	33	81	7,7	29	82	6,7	32	82	6,2	27	83	5,7	25	83
10,1	38		8,6	36		7,6	32		6,6	34		6,1	29		5,6	27	
10,0	41		8,5	38		7,5	34		6,5	36		6,0	31		5,5	29	
9,9	44		8,4	41		7,4	36		6,4	38		5,9	33		5,4	31	
9,8	47		8,3	43		7,3	39		6,3	40		5,8	35		5,3	33	
9,7	49	80	8,2	46	80	7,2	41	81	6,2	42	82	5,7	37	82	5,2	35	82
9,6	52		8,1	48		7,1	43		6,1	44		5,6	39		5,1	37	
9,5	55		8,0	50		7,0	45		6,0	46		5,5	41		5,0	39	
9,4	57		7,9	53		6,9	48		5,9	48		5,4	43		4,9	40	
9,3	60		7,8	55		6,8	50		5,8	50		5,3	44		4,8	42	
9,2	62	79	7,7	57	80	6,7	52	81	5,7	52	81	5,2	47	81	4,7	44	81
9,1	65		7,6	60		6,6	54		5,6	54		5,1	48		4,6	45	
9,0	67		7,5	62		6,5	56		5,5	56		5,0	50		4,5	47	
8,9	70		7,4	64		6,4	58		5,4	58		4,9	52		4,4	49	
8,8	72		7,3	66		6,3	60		5,3	59		4,8	53		4,3	50	
8,7	75	79	7,2	69	80	6,2	62	80	5,2	61	80	4,7	55	80	4,2	52	80
8,6	77		7,1	71		6,1	64		5,1	63		4,6	57		4,1	53	
8,5	80		7,0	73		6,0	66		5,0	64		4,5	58		4,0	55	
			6,9	75		5,9	68		4,9	66		4,4	60		3,9	56	
			6,8	77		5,8	70		4,8	68		4,3	61		3,8	57	
			6,7	79	79	5,7	71	80	4,7	69	80	4,2	63	80	3,7	59	80
			6,6	81		5,6	73		4,6	71		4,1	64		3,6	60	
			6,5	83		5,5	75		4,5	72		4,0	65		3,5	61	
						5,4	77		4,4	74		3,9	67		3,4	62	
						5,3	78		4,3	75		3,8	68		3,3	64	
						5,2	80	79	4,2	77	79	3,7	69	79	3,2	65	79
						5,1	81		4,1	78		3,6	71		3,1	66	
						5,0	83		4,0	79		3,5	72		3,0	67	

Anmerkung: Für $\sigma_b > 100$ ist Druckbewehrung unzulässig, da $\sigma'_e > \sigma_{e\text{zul}}$ wird.

Tabelle 12. Beiwerte ϱ'

$\beta = \frac{h'}{h}$	σ_b					
	50	60	70	80	90	100
	ϱ'					
0,08	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03
0,09	1,10	1,09	1,08	1,08	1,07	1,07
0,10	1,16	1,14	1,13	1,12	1,11	1,11
0,11	1,22	1,19	1,18	1,16	1,15	1,15
0,12	1,29	1,25	1,23	1,21	1,20	1,19
0,14	1,44	1,38	1,34	1,32	1,30	1,28
0,16	1,64	1,54	1,46	1,42	1,41	1,37
0,20	2,18	1,95	1,82	1,74	1,68	1,64

Tabelle 10.

Richtwerte k_h und k_h^* , Beiwerte k_e und k_z für $\sigma_e = 1,6 \text{ t/cm}^2$

σ_b in kg/cm ²	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
k_h und k_h^*	18,1	14,2	11,9	10,3	9,1	8,3	7,6	7,0	6,5	6,1
k_e	0,67	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,75	0,76
k_z	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82

Tabelle 11. Beiwerte k_e und k_e'

σ_b																	
50			60			70			80			90			100		
k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %	
	k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e
12,0	—	70	10,5	—	71	9,0	03	72	8,5	—	73	7,5	02	74	7,0	01	74
11,9	—		10,4	—		8,9	06		8,4	—		7,4	04		6,9	03	
11,8	01		10,3	—		8,8	09		8,3	—		7,3	07		6,8	05	
11,7	05	70	10,2	02	71	8,7	11	72	8,2	01	73	7,2	09	73	6,7	07	74
11,6	08		10,1	05		8,6	14		8,1	04		7,1	11		6,6	10	
11,5	10		10,0	07		8,5	16		8,0	06		7,0	14		6,5	12	
11,4	14		9,9	10		8,4	19		7,9	09		6,9	16		6,4	14	
11,3	17		9,8	13		8,3	21		7,8	11		6,8	18		6,3	16	
11,2	20	70	9,7	16	71	8,2	24	71	7,7	14	72	6,7	20	72	6,2	18	73
11,1	22		9,6	18		8,1	26		7,6	16		6,6	23		6,1	21	
11,0	25		9,5	21		8,0	29		7,5	19		6,5	25		6,0	23	
10,9	28		9,4	24		7,9	31		7,4	21		6,4	27		5,9	25	
10,8	31		9,3	27		7,8	33		7,3	23		6,3	29		5,8	27	
10,7	34	69	9,2	29	70	7,7	36	71	7,2	26	72	6,2	31	72	5,7	29	72
10,6	37		9,1	32		7,6	38		7,1	28		6,1	33		5,6	31	
10,5	39		9,0	34		7,5	40		7,0	30		6,0	35		5,5	32	
10,4	42		8,9	37		7,4	42		6,9	32		5,9	37		5,4	34	
10,3	45		8,8	39		7,3	45		6,8	34		5,8	39		5,3	36	
10,2	48	69	8,7	42	70	7,2	47	70	6,7	37	71	5,7	41	71	5,2	38	71
10,1	50		8,6	44		7,1	49		6,6	39		5,6	43		5,1	40	
10,0	53		8,5	46		7,0	51		6,5	41		5,5	44		5,0	41	
9,9	55		8,4	49		6,9	53		6,4	43		5,4	46		4,9	43	
9,8	58		8,3	51		6,8	55		6,3	45		5,3	48		4,8	45	
9,7	61	69	8,2	54	70	6,7	57	70	6,2	47	70	5,2	50	70	4,7	46	70
9,6	63		8,1	56		6,6	59		6,1	49		5,1	51		4,6	48	
9,5	66		8,0	58		6,5	61		6,0	51		5,0	53		4,5	49	
			7,9	60		6,4	63		5,9	52		4,9	55		4,4	51	
			7,8	63		6,3	65		5,8	54		4,8	56		4,3	52	
			7,7	65	69	6,2	67	69	5,7	56	70	4,7	58	70	4,2	54	70
			7,6	67		6,1	69		5,6	58		4,6	59		4,1	55	
			7,5	69		6,0	71		5,5	60		4,5	61		4,0	57	
									5,4	61		4,4	62		3,9	58	
									5,3	63		4,3	64		3,8	59	
									5,2	65	69	4,2	65	69	3,7	61	69
									5,1	66		4,1	66		3,6	62	
									5,0	68		4,0	68		3,5	63	

Tabelle 12. Beiwerte q'

$\beta = \frac{h'}{h}$	σ_b						
	40	50	60	70	80	90	100
	q'						
0,08	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04
0,09	1,13	1,11	1,10	1,09	1,08	1,08	1,07
0,10	1,21	1,18	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11
0,11	1,30	1,24	1,21	1,20	1,18	1,16	1,15
0,12	1,40	1,32	1,27	1,26	1,23	1,21	1,20
0,14	1,65	1,51	1,43	1,38	1,34	1,33	1,31
0,16	1,99	1,74	1,60	1,52	1,48	1,43	1,41
0,20	3,24	2,45	2,12	1,95	1,82	1,76	1,70

Tabelle 12. Beiwerte ϱ'

$\beta = \frac{h'}{h}$	σ_b						
	50	60	70	80	90	100	110
	ϱ'						
0,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04
0,09	1,13	1,11	1,10	1,09	1,09	1,08	1,08
0,10	1,21	1,18	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12
0,11	1,30	1,25	1,22	1,20	1,19	1,18	1,17
0,12	1,40	1,33	1,29	1,26	1,24	1,23	1,22
0,14	1,65	1,53	1,45	1,40	1,37	1,34	1,33
0,16	1,99	1,77	1,65	1,57	1,50	1,48	1,44
0,20	3,24	2,53	2,21	2,03	1,91	1,82	1,76

Tabelle 10.

Richtwerte k_h und k_h^* , Beiwerte k_e und k_z für $\sigma_e = 2,2 \text{ t/cm}^2$

σ_b in kg/cm ²	30	40	50	60	70	80
k_h und k_h^*	20,4	15,9	13,1	11,3	10,0	9,0
k_e	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,52
k_z	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88

Tabelle 11. Beiwerte k_e und k'_e

σ_b											
50			60			70			80		
k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %	
	k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e
13,0	03	50	11,5	—	50	10,0	—	51	9,0	—	52
12,9	06	50	11,4	—	50	9,9	01	51	8,9	01	51
12,8	09		11,3	—		9,8	04		8,8	04	
12,7	12		11,2	02		9,7	07		8,7	06	
12,6	15		11,1	05		9,6	09		8,6	09	
12,5	18		11,0	08		9,5	12		8,5	11	
12,4	21	50	10,9	10	50	9,4	14	51	8,4	13	51
12,3	24		10,8	13		9,3	17		8,3	16	
12,2	27		10,7	16		9,2	19		8,2	18	
12,1	29		10,6	18		9,1	21		8,1	20	
12,0	32		10,5	21		9,0	24		8,0	23	
11,9	35	50	10,4	24	50	8,9	26	50	7,9	25	51
11,8	38		10,3	26		8,8	29		7,8	27	
11,7	40		10,2	29		8,7	31		7,7	29	
11,6	43		10,1	31		8,6	33		7,6	31	
11,5	46		10,0	34		8,5	34		7,5	33	
			9,9	36	50	8,4	38	50	7,4	35	51
			9,8	39		8,3	40		7,3	37	
			9,7	41		8,2	42		7,2	39	
			9,6	43		8,1	44		7,1	41	
			9,5	46		8,0	46		7,0	43	
									6,9	45	50
									6,8	47	
									6,7	49	
									6,6	51	
									6,5	53	

Tabelle 12. Beiwerte ϱ'

$\beta = \frac{h'}{h}$	σ_b			
	50	60	70	80
	ϱ'			
0,08	1,07	1,06	1,05	1,05
0,09	1,15	1,12	1,10	1,10
0,10	1,23	1,20	1,17	1,15
0,11	1,34	1,28	1,24	1,22
0,12	1,45	1,37	1,32	1,28
0,14	1,74	1,59	1,49	1,44
0,16	2,17	1,87	1,72	1,62
0,20	3,95	2,84	2,39	2,15

Tabelle 10.

für $\sigma_e = 2,4 \text{ t/cm}^2$ Richtwerte k_h und k_h^* , Beiwerte k_e und k_z

σ_b in kg/cm ²	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
k_h und k_h^*	21,2	16,4	13,5	11,6	10,2	9,2	8,4	7,7	7,2	6,7
k_e	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49
k_z	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86

Tabelle 11. Beiwerte k_e und k_e'

σ_b														
70			80			90			100			110		
k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %	
	k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e		k_e'	k_e
10,5	—	46	9,5	—	47	8,5	—	47	8,0	—	48	7,5	—	48
10,4	—		9,4	—		8,4	—		7,9	—		7,4	—	
10,3	—		9,3	—		8,3	02		7,8	—		7,3	—	
10,2	—	46	9,2	—	47	8,2	04	47	7,7	01	48	7,2	—	48
10,1	03		9,1	02		8,1	06		7,6	03		7,1	02	
10,0	06		9,0	05		8,0	09		7,5	05		7,0	04	
9,9	08		8,9	07		7,9	11		7,4	07		6,9	06	
9,8	11		8,8	09		7,8	13		7,3	09		6,8	08	
9,7	13	46	8,7	12	47	7,7	15	47	7,2	12	47	6,7	10	48
9,6	16		8,6	14		7,6	18		7,1	14		6,6	12	
9,5	18		8,5	16		7,5	20		7,0	16		6,5	14	
9,4	21		8,4	19		7,4	22		6,9	18		6,4	16	
9,3	23	46	8,3	21		7,3	24		6,8	20		6,3	18	
9,2	25		8,2	23	46	7,2	26	47	6,7	22	47	6,2	20	47
9,1	28		8,1	25		7,1	28		6,6	24		6,1	22	
9,0	30		8,0	27		7,0	30		6,5	26		6,0	24	
8,9	32		7,9	30		6,9	32		6,4	28		5,9	26	
8,8	34		7,8	32		6,8	34		6,3	29		5,8	27	
8,7	37	46	7,7	34	46	6,7	36	46	6,2	31	47	5,7	29	47
8,6	39		7,6	36		6,6	38		6,1	33		5,6	31	
8,5	41		7,5	38		6,5	39		6,0	35		5,5	33	
8,4	43		7,4	40		6,4	41		5,9	37		5,4	34	
8,3	45		7,3	42		6,3	43		5,8	38		5,3	36	
8,2	47	46	7,2	44	46	6,2	45	46	5,7	40	46	5,2	38	47
8,1	50		7,1	46		6,1	46		5,6	42		5,1	39	
8,0	52		7,0	48		6,0	48		5,5	43		5,0	41	

Tabelle 12. Beiwerte q'

$\beta = \frac{h'}{h}$	σ_b				
	70	80	90	100	110
	q'				
0,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04
0,09	1,12	1,11	1,10	1,09	1,09
0,10	1,18	1,17	1,15	1,14	1,14
0,11	1,26	1,23	1,21	1,20	1,19
0,12	1,34	1,30	1,28	1,26	1,25
0,14	1,54	1,47	1,42	1,39	1,37
0,16	1,80	1,68	1,60	1,53	1,49
0,20	2,61	2,30	2,10	1,98	1,90

Tabelle 10.

für $\sigma_e = 2,6 \text{ t/cm}^2$ Richtwerte k_h und k_h^* , Beiwerte k_e und k_z

σ_b in kg/cm ²	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
k_h und k_h^*	21,7	16,9	13,9	11,9	10,5	9,4	8,6	7,9	7,3	6,9
k_e	0,40	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45
k_z	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86

Tabelle 11. Beiwerte k_e und k'_e

σ_b														
70			80			90			100			110		
k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %		k_h	in %	
	k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e		k'_e	k_e
10,5	—	42	9,5	—	43	8,5	02	43	8,0	—	44	7,5	—	44
10,4	02		9,4	—		8,4	04		7,9	—		7,4	—	
10,3	05		9,3	03		8,3	06		7,8	02		7,3	01	
10,2	07	42	9,2	05	43	8,2	08	43	7,7	04	44	7,2	03	44
10,1	10		9,1	07		8,1	11		7,6	06		7,1	05	
10,0	12		9,0	10		8,0	13		7,5	09		7,0	07	
9,9	15		8,9	12		7,9	15		7,4	11		6,9	09	
9,8	17		8,8	14		7,8	17		7,3	13		6,8	11	
9,7	19	42	8,7	17	43	7,7	19	43	7,2	15	43	6,7	13	44
9,6	22		8,6	19		7,6	21		7,1	17		6,6	15	
9,5	24		8,5	21		7,5	23		7,0	19		6,5	17	
9,4	26		8,4	23		7,4	25		6,9	21		6,4	19	
9,3	29		8,3	25		7,3	27		6,8	23		6,3	21	
9,2	31	42	8,2	28	43	7,2	29	43	6,7	25	43	6,2	23	43
9,1	33		8,1	30		7,1	31		6,6	27		6,1	25	
9,0	35		8,0	32		7,0	33		6,5	29		6,0	26	
8,9	38		7,9	34		6,9	35		6,4	30		5,9	28	
8,8	40		7,8	36		6,8	37		6,3	32		5,8	30	
8,7	42	42	7,7	38	42	6,7	39	43	6,2	34	43	5,7	31	43
8,6	44		7,6	40		6,6	41		6,1	36		5,6	33	
8,5	46		7,5	42		6,5	42		6,0	37		5,5	35	
									5,9	39		5,4	36	
									5,8	41		5,3	38	
									5,7	42	43	5,2	40	43
									5,6	44		5,1	41	
									5,5	46		5,0	43	

Tabelle 12. Beiwerte q'

$\beta = \frac{h'}{h}$	σ_b				
	70	80	90	100	110
	q'				
0,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05
0,09	1,13	1,11	1,10	1,10	1,09
0,10	1,20	1,18	1,16	1,15	1,14
0,11	1,28	1,25	1,23	1,21	1,20
0,12	1,38	1,33	1,30	1,27	1,26
0,14	1,60	1,51	1,46	1,42	1,39
0,16	1,89	1,75	1,65	1,59	1,55
0,20	2,89	2,37	2,23	2,07	1,97

1.322 Verfahren für veränderliche Stahlzugspannung

Wird ein Querschnitt durch eine ausmittige Druckkraft beansprucht, deren Angriffspunkt in der Nähe des Querschnittsrandes liegt, so ist es wirtschaftlich, durch Herabsetzen der Stahlzugspannungen die Betondruckzone zu vergrößern. Daraus folgt zwar eine Vergrößerung der Zugbewehrung, der jedoch eine noch stärkere Verringerung der Druckbewehrung gegenübersteht, so daß die Gesamtbewehrung kleiner wird. Mit Hilfe der nachfolgenden Tabellen ist es möglich, das Spannungsverhältnis zugrunde zu legen, welches die geringste Gesamtbewehrung von Zug- und Druckeinlagen erfordert. Für den Fall, daß der Angriffs-

punkt der ausmittigen Druckkraft noch innerhalb des Betonquerschnittes liegt, wird dieses Spannungsverhältnis dadurch gekennzeichnet, daß die Zugbewehrung den geringstzulässigen Bewehrungssatz von $\mu = 0,004$ erhält. Dieses erkennt man aus den graphischen Tabellen 13 bis 15, in denen die Kurven für q' wesentlich steiler verlaufen als die Kurven für q . Es kann aber eine solche Querschnittsbemessung, welche zwar rechnerisch den geringsten Stahlverbrauch ergibt, nicht unbedingt empfohlen werden, weil die Sicherheit der Konstruktion gegenüber Schwankungen der Ausmittigkeit hauptsächlich von der Zugbewehrung abhängt.

Die Bemessung erfolgt nach der Kurventabelle von Mörsch.

Ermittelt man die bezogenen Momente

$$M_e = M - N \cdot e$$

$$M'_e = M + N \cdot e'$$

worin N als Druckkraft negativ einzusetzen ist, so können mit Hilfe der aufgezeichneten Parameter

$$\varrho = \frac{M_e}{\sigma_b \cdot b \cdot h^2} \text{ und } \varrho' = \frac{M'_e}{\sigma_b \cdot b \cdot h^2}$$

die Bewehrungsanteile μ' und μ unmittelbar abgelesen werden. Die wirtschaftlichsten bzw. jeweils zweckmäßigsten Bewehrungsanteile erhält man aus dem Koordinatensystem

mit $m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b}$ als Abszisse und μ, μ' als Ordinaten, indem

man für verschiedene Werte m die Bewehrungsanteile als Ordinaten der ϱ - und ϱ' -Kurve abgreift.

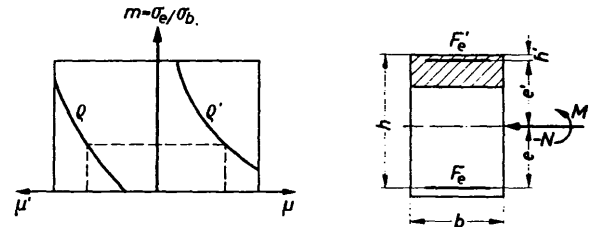
Unterhalb eines Spannungsverhältnisses $m = \frac{\sigma_e}{\sigma_b} = 2,86$ in

Tabelle 13 bzw. 2,36 in Tabelle 14 sowie 1,45 in Tabelle 15 kann die Bemessung nach Zustand I gemäß Abschnitt 1.22 erfolgen. In diesem Tabellenbereich sind daher die Kurven nur gestrichelt bzw. punktiert dargestellt. Folglich ist nur der Tabellenbereich zwischen den genannten Grenzlinien und dem Wert $m = m^*$ zu verwenden. Würde m größer als das Verhältnis m^* der zulässigen Spannungen gewählt, so würde die zulässige Stahlspannung überschritten. Gestrichelt bzw. punktiert gezeichnet sind weiterhin alle Kurventeile

in den Bereichen $\mu < 0,4\%$ bzw. $\mu' < 0,4\%$, da gemäß DIN 1045 in ausmittig beanspruchten Rechtecksäulen die Bewehrung am geringer beanspruchten Rande $0,004 F_b$ betragen muß.

Mit Rücksicht auf die verschiedene Lage der Druckbewehrung ist die graphische Tabelle von Mörsch für drei verschiedene Werte aufgestellt worden; Tabelle 13 gilt für $h' = 0,05 h$, Tabelle 14 für $h' = 0,08 h$ und Tabelle 15 für $h' = 0,14 h$.

Schlüssel zum Gebrauch der Tabellen 13, 14 und 15



$$M_e = M - N \cdot e; \quad \varrho = \frac{M_e}{\sigma_b \cdot b \cdot h^2}; \quad F'_e = \mu' \cdot b \cdot h$$

$$M'_e = M + N \cdot e'; \quad \varrho' = \frac{M'_e}{\sigma_b \cdot b \cdot h^2}; \quad F_e = \mu \cdot b \cdot h$$

(N positiv als Zug!)

Tabelle 13.

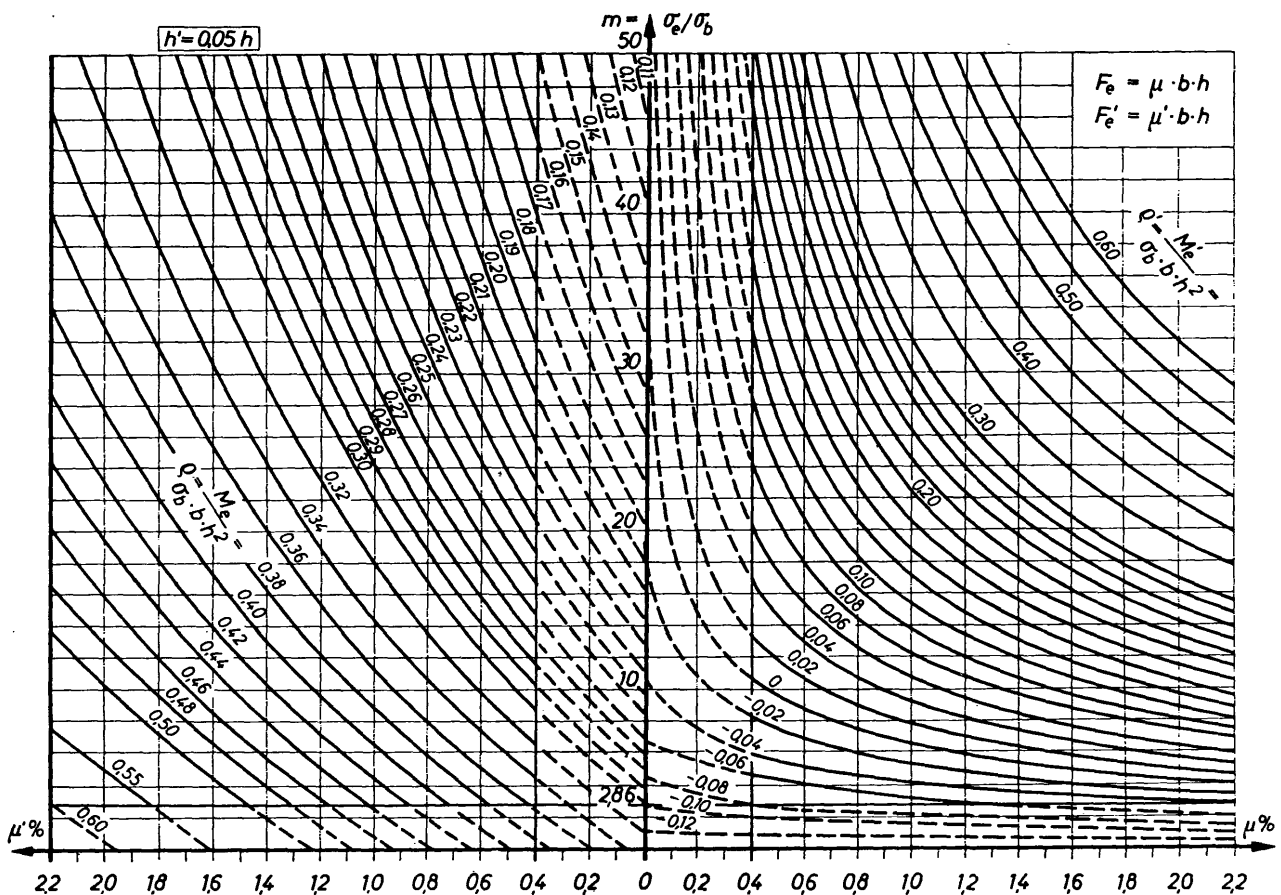


Tabelle 14.

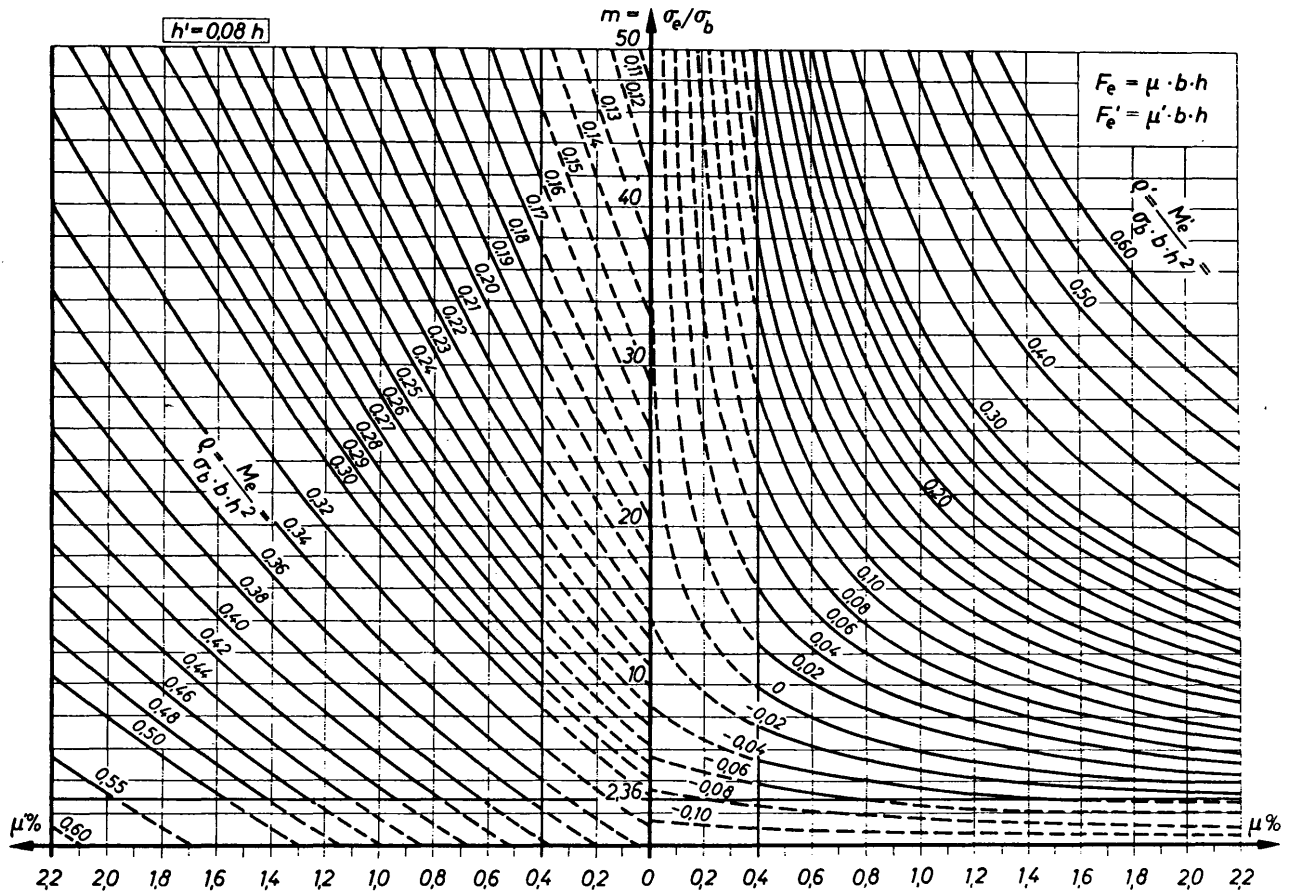
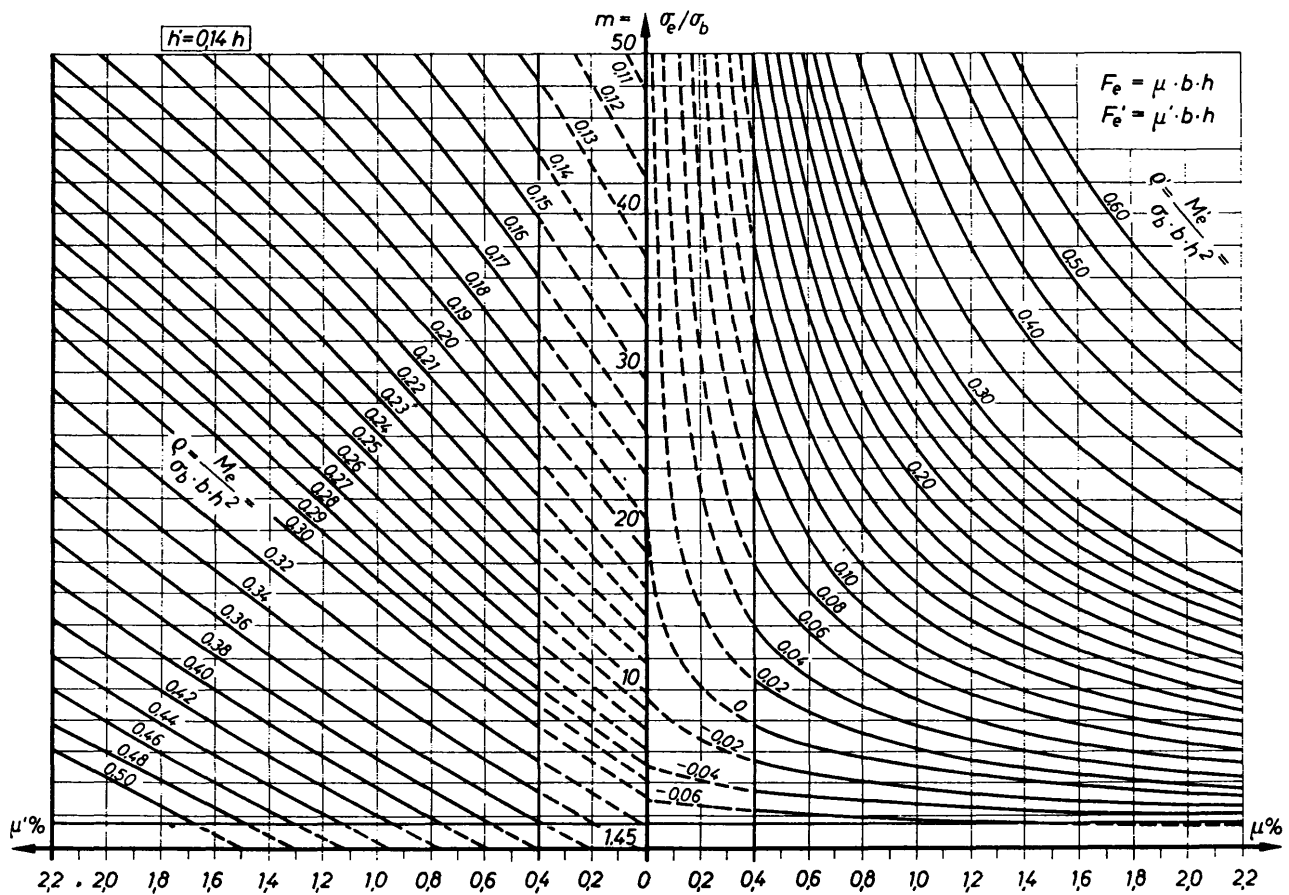


Tabelle 15.



1.33 Rechteckquerschnitt bei zweiachsiger Biegung (mit und ohne Längskraft)

Eine geschlossene allgemeine Lösung der Bemessung und des Spannungsnachweises ist in diesem Falle nicht möglich; bei beliebiger Querschnittsform und Bewehrungsanordnung ist daher nur das graphische Verfahren möglich, wie es z. B. in allgemeinsten Form von Mörsch⁶⁾ entwickelt worden ist. Für einige Querschnittsformen (z. B. Rechteck) und unter gewissen vereinfachenden Annahmen über die Verteilung der Bewehrung ist auch eine Reihe verkürzter Verfahren entwickelt worden, z. B. von Säger⁷⁾, Dischinger⁸⁾, Bittner⁹⁾, Pucher¹⁰⁾ und Löser¹¹⁾.

1.34 Plattenbalken bei einachsiger Biegung (mit und ohne Längskraft)

Die Bemessung eines Plattenbalkenquerschnittes unterscheidet sich im Zustand II nur dann von der eines Rechteckquerschnittes, wenn die Nulllinie in den Steg fällt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen gedungenen Querschnitten, bei denen das Verhältnis der Druckplattenbreite zur Stegbreite $b/b_0 \leq 5$ ist (vgl. Abschnitt 1.341) und zwischen schlanken Querschnitten, bei denen das Verhältnis $b/b_0 > 5$ ist (vgl. Abschnitt 1.342).

In der überwiegenden Mehrzahl aller anfallenden Bemessungsaufgaben wird die zulässige Betondruckspannung im Plattenbalken bei weitem nicht ausgenutzt. Da sich der Hebelarm der inneren Kräfte nur wenig mit der Betondruckspannung ändert, bedeutet eine genaue Ermittlung der Betonrandspannung einen unnötigen Rechenaufwand sofern mit Sicherheit zu erkennen ist, daß die zulässige Betondruckspannung nicht in Anspruch genommen wird. Aus diesem Grunde ist es angängig, die nachstehenden vereinfachten Ansätze zu verwenden.

1.341 Ansatz für Querschnitte mit $b/b_0 \leq 5$

Ein derartiger T-Querschnitt stellt einen in der Druckzone verbreiterten Träger ohne seitlich anschließende Platte

6) Mörsch: Bemessung im Stahlbetonbau, 5. Aufl., Stuttgart 1950, Verlag K. Wittwer.

7) Der Bauingenieur, 1941, Heft 6 ff.

8) Taschenbuch für Bauingenieure, 2. Aufl., 1955, Springer-Verlag.

9) Beton- und Stahlbetonbau, 1944, Heft 1.

10) Pucher: Lehrbuch des Stahlbetonbaues, 2. Aufl., Wien 1953, Springer-Verlag.

11) Löser: Bemessungsverfahren, 16. Aufl., Berlin 1957, Wilh. Ernst & Sohn.

dar, dessen Betonrandspannung häufig voll ausgenutzt wird.

Obleich der Druckteil des T-förmigen Querschnittes gegenüber demjenigen eines Rechteckquerschnittes unvollständig ist, empfiehlt es sich bei einem gedungenen Querschnitt, von einer genaueren Berechnung abzusehen und den Stahlquerschnitt wie für einen Rechteckquerschnitt zu ermitteln. Man verzichtet damit auf den günstigen Einfluß der Vergrößerung des inneren Hebelarmes, weil dies im allgemeinen am Ergebnis wenig ändert.

Der T-Querschnitt wird dann wie ein Rechteckquerschnitt von der Ersatzbreite

$$b_i = \lambda \cdot b$$

nach den Ansätzen des Abschnittes 1.32 bemessen.

Der Abminderungswert λ ist der Tabelle 16 zu entnehmen, der dabei benötigte Wert k_x ergibt sich für die zulässige Betonrandspannung aus der Tabelle 17. Die Nachprüfung, ob die zulässige Betonrandspannung nicht überschritten wird, beschränkt sich auf die Ausrechnung des Richtwertes

$$k_h = h \sqrt{\frac{b_i}{M_e}}$$

Dieser Wert k_h muß gleich oder größer als der Grenzwert k_h^* sein, der dem gewählten Wert k_x in der Tabelle 17 zugeordnet ist.

1.342 Ansatz für Querschnitte mit $b/b_0 > 5$

In derartigen Querschnitten ist die Mitwirkung des Steges an der Aufnahme der Druckspannungen unerheblich, die Resultierende der Betondruckspannungen ist daher nahezu unabhängig vom Verhältnis σ_e/σ_b und liegt ungefähr im Abstand $\frac{d}{2}$ vom Plattenrand.

Unter diesen Voraussetzungen ermittelt sich die Bewehrung gemäß nachstehendem Ansatz, dessen Genauigkeit in der Regel völlig ausreichend ist:

$$[19] \quad F_e = \frac{M_e}{\left(h - \frac{d}{2}\right) \sigma_e} + \frac{N}{\sigma_e}$$

$$\text{im Falle reiner Biegung: } F_e = \frac{M}{\left(h - \frac{d}{2}\right) \sigma_e}$$

Tabelle 16. Abminderungswerte 100λ

$\frac{b}{b_0}$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
$\frac{d}{h \cdot k_x}$	100λ						
1,0	100	100	100	100	100	100	100
0,9	100	100	99	99	99	99	99
0,8	99	98	98	97	97	97	97
0,7	97	96	95	94	94	93	93
0,6	95	92	90	89	89	88	87
0,5	92	88	85	83	82	81	80
0,4	88	82	78	76	74	73	71
0,3	84	76	70	67	65	63	61
0,2	79	68	62	57	54	52	49

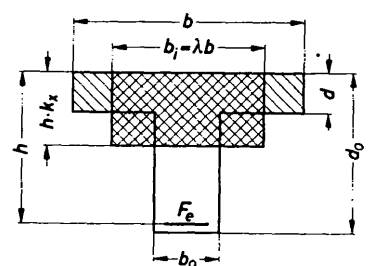


Bild 6.

Tabelle 17. Werte k_x und k_h^* für die Grenzspannungen σ_b und σ_e

σ_b	50		60		70		80		90		100	
σ_e	k_x	k_h^*	k_x	k_h^*	k_x	k_h^*	k_x	k_h^*	k_x	k_h^*	k_x	k_h^*
1,4	0,35	11,4	0,39	9,9	0,43	8,8	0,46	8,0	0,49	7,4	0,52	6,8
1,8	0,29	12,3	0,33	10,6	0,37	9,4	0,40	8,5	0,43	7,8	0,46	7,2
2,0	—	—	—	—	0,34	9,7	0,38	8,7	0,40	8,0	0,43	7,4

Die Notwendigkeit eines Nachweises der Betondruckspannung liegt erst dann vor, wenn der Richtwert $k_h = h \sqrt{\frac{b}{2M}}$ den zulässigen Grenzwert k_h gemäß Tabelle 10 unterschreitet.

Die Betondruckspannung ergibt sich sodann unter der Voraussetzung, daß der Anteil der Druckspannungen im Steg vernachlässigt wird zu:

$$[20] \quad \sigma_b = \frac{\sigma_e}{h - \frac{d}{2}} \left(\frac{F_e \cdot h}{b \cdot d} + \frac{d}{30} \right) - \frac{N}{b \cdot d \left(1 - \frac{d}{2h} \right)}$$

N als Druckkraft ist negativ einzusetzen.

Im Falle reiner Biegung wird:

$$[20a] \quad \sigma_b = \frac{\sigma_e}{h - \frac{d}{2}} \left(\frac{F_e \cdot h}{b \cdot d} + \frac{d}{30} \right)$$

1.343 Plattenbalken mit Druckbewehrung

In Plattenbalken beschränkt sich die Anwendungsmöglichkeit einer Druckbewehrung auf gedrungene Querschnitte. Bei schlanken Stegen kann meist nicht einmal die zulässige Betondruckspannung in der Platte ausgenutzt werden. Ein Moment, welches zusätzliche Druckeinlagen erfordern würde, führt im allgemeinen zu einer Überschreitung der zulässigen Schubspannungen, auch lassen sich dann die Zugeinlagen nur schwer unterbringen. Eine Druckbewehrung, welche nicht durch Bügel im Steg verankert wird, ist zwecklos, da sie den Bruch durch Ausknicken einleitet und den tragenden Betonquerschnitt schwächt.

Die Bemessung der Druckbewehrung ist die gleiche wie für den Rechteckquerschnitt. An Stelle der Breite b ist die verkleinerte Breite b_i einzusetzen (vgl. Tabellen 16 und 17).

1.35 Spannungsnachweis für Rechteck- und Plattenbalkenquerschnitte

Für alle Querschnitte, die nach den Ansätzen dieser Norm bemessen worden sind, erübrigt sich im allgemeinen ein besonderer Spannungsnachweis. Da die folgenden Ansätze für die Spannungsermittlung verhältnismäßig langwierig sind, empfiehlt es sich häufig, den Spannungsnachweis eines nach anderen Verfahren bemessenen Querschnittes durch eine Neubemessung nach den Ansätzen dieser Norm zu ersetzen.

1.351 Spannungsnachweis bei reiner Biegung

Einfach bewehrte Rechteckquerschnitte

$$[21] \quad x = \frac{15 F_e}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 b \cdot h}{15 F_e}} \right)$$

$$[22] \quad z = h - \frac{x}{3}$$

$$[23] \quad \sigma_b = \frac{2 M}{b \cdot x \cdot z}$$

$$[24] \quad \sigma_e = \frac{M}{z \cdot F_e}$$

Doppelt bewehrte Rechteckquerschnitte

Es sei $f_e = \frac{15(F_e + F'_e)}{b}$ die auf $b = 1$ bezogene Bewehrung, dann ist

$$[25] \quad x = -f_e + \sqrt{f_e^2 + \frac{30}{b} (F_e \cdot h + F'_e \cdot h')}$$

$$[26] \quad \sigma_b = M : \left[\frac{b x}{6} (3h - x) + \frac{15 F'_e \cdot (h - h')}{x} \cdot (x - h') \right]$$

$$[27] \quad \sigma_e = \sigma_b \frac{15(h - x)}{x}$$

Einfach bewehrte Plattenbalken

$$[28] \quad x = \frac{0,5 b \cdot d^2 + 15 F_e \cdot h}{b \cdot d + 15 F_e}$$

$$[29] \quad z = h - \frac{d}{3} \cdot \frac{3x - 2d}{2x - d} = h - \frac{d}{2} + \frac{d^2}{6(2x - d)}$$

Doppelt bewehrte Plattenbalken

$$[30] \quad x = \frac{0,5 b \cdot d^2 + 15 (F_e \cdot h + F'_e \cdot h')}{b \cdot d + 15 (F_e + F'_e)}$$

[31]

$$\sigma_e = M : \left[F_e (h - x) + F'_e \frac{(x - h')^2}{h - x} + \frac{b \cdot d (3x^2 - 3x d + d^2)}{45 (h - x)} \right]$$

$$\text{oder angenähert } \sigma_e = \frac{M}{\left(h - \frac{d}{2} \right) F_e}$$

$$[32] \quad \sigma_b = \sigma_e \cdot \frac{x}{15(h - x)}$$

1.352 Spannungsnachweis bei Biegung mit Längskraft

Wird ein Rechteck- oder Plattenbalkenquerschnitt durch Biegung mit Längskraft beansprucht, so ist die Bestimmung der Betondruckspannung nicht immer eindeutig, da die Gleichgewichtsbedingungen in manchen Fällen bei verschiedenen Stahlzugspannungen erfüllt werden können. Die Lage der Nulllinie folgt aus einer kubischen Gleichung¹²⁾, deren Auflösung umständlich ist.

An Stelle des geschlossenen Rechnungsganges läßt sich der Spannungsnachweis einfacher auf dem Wege der Iteration durchführen. Die Ansätze des Abschnittes 1.351 gelten auch für den Fall der Biegung mit Längskraft, wenn man statt des Wertes F_e den auf die reine Biegung entfallenden Anteil der Zugbewehrung

$$F_{eB} = F_e - \frac{N}{\sigma_e}$$

und statt des Wertes M das auf den Schwerpunkt der Zugbewehrung bezogene Moment M_e in den Gleichungen [21] bis [32] einsetzt. Man zieht also zu Beginn der Rechnung von der gegebenen Größe F_e den Anteil $\frac{N}{\sigma_e}$ ab und geht vom

Wert F_{eB} aus. Im Ansatz von F_{eB} ist die Stahlspannung σ_e vorerst unbekannt und muß im ersten Rechnungsgang geschätzt und später mit dem Ergebnis von σ_e verglichen werden. Dann ist σ_e in weiteren Rechnungsgängen solange im Ansatz von F_{eB} zu verbessern, bis er mit dem hiermit errechneten σ_e -Wert übereinstimmt.

1.36 Bemessung und Spannungsnachweis bei beliebigem Querschnitt

Die Lösung dieser Aufgabe wird zweckmäßig graphisch durchgeführt, wie dies im einschlägigen Schrifttum angegeben ist^{13) 14)}.

12) Vgl. Hütte, III., 28. Aufl., S. 278, Berlin 1956, Wilh. Ernst & Sohn.

13) Dischinger in „Taschenbuch für Bauingenieure“, 2. Aufl., Berlin 1955, Springer-Verlag.

14) Mörsch: Bemessung im Stahlbetonbau, 5. Aufl., Stuttgart 1950, Verlag K. Wittwer.

2 Schub, Drilling, Haftung, Kraftumlenkung

2.1 Schub

2.1.1 Spannungsnachweis

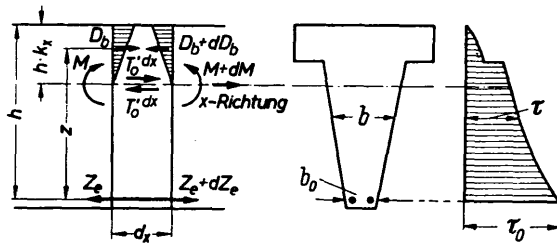


Bild 7.

Es bezeichne:

$$T_0 = \int_{x_1}^{x_2} \tau_0 \cdot b_0 \cdot dx = \frac{\Delta M}{z}$$

die gesamte im Zugbereich des Steges wirkende Schubkraft zwischen zwei beliebigen — rechts und links vom untersuchten Schnitt liegenden — Punkten x_1 und x_2 , und

$$T'_0 = b_0 \cdot \tau_0$$

den auf die Längeneinheit bezogenen Zuwachs T'_0 .

Bei gleichbleibender Trägerhöhe lautet der Ansatz für die Schubspannung im Zugbereich des Steges

$$[33] \quad \tau = \frac{Q}{b \cdot z}$$

Der GrößtWert τ_0 der Schubspannung τ ist der geringsten Stegbreite b_0 zugeordnet. Die auf die Längeneinheit bezogene Schubkraft ist

$$[34] \quad T'_0 = \frac{Q}{z}$$

Bei veränderlicher Trägerhöhe hängt die Schubspannung von der gegenseitigen Neigung α der beiden Ränder des betrachteten Stababschnittes ab. Dann lauten die obigen Ansätze:

$$[35] \quad \tau_0 = \frac{1}{b_0 \cdot z} \left(Q - \frac{M}{h} \tan \alpha \right)$$

$$[36] \quad T'_0 = \frac{1}{z} \left(Q - \frac{M}{h} \tan \alpha \right)$$

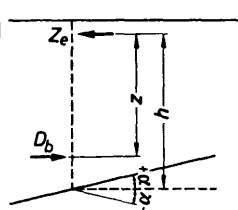


Bild 8.

Hierin ist der Neigungswinkel α positiv einzusetzen, wenn einer Momentenzunahme eine Vergrößerung der Querschnitte entspricht. Wird dagegen die Trägerhöhe mit wachsendem Moment kleiner, so wird $\tan \alpha$ negativ.

Bei einzelnen Querschnitten — z. B. bei Plattenbalken mit breitem Steg und geringer Plattendicke — kann die größte Schubspannung auch in einem anderen Schnitt als im Zugbereich des Steges auftreten (vgl. Bild 9).

Bezeichnet man den durch einen beliebigen Schnitt $a-a$ abgetrennten Teil der gesamten Biegedruckkraft $D_b(a)$ und die Schnittbreite mit b_a (in Bild 9 ist $b_a = d$), so ist:

$$[37] \quad T'_a = T_0 \frac{D_b(a)}{D_b}$$

$$[38] \quad \tau_a = \frac{T'_a}{b_a}$$

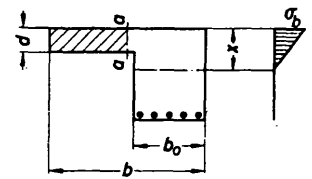


Bild 9.

2.1.2 Ansätze zur Bemessung

In den Stahlbetonbestimmungen DIN 1045, § 29, Tafel V sind einerseits Höchstwerte der zulässigen Schubspannungen angegeben, andererseits ist bei Überschreitung bestimmter Zwischenwerte ein Nachweis der Schubsicherung durch eine besondere Schubbewehrung vorgeschrieben. Folglich ist in jedem Fall ein Spannungsnachweis für τ_{\max} erforderlich. Hierzu dienen die Ansätze [33], [35] und [38], mit denen die kritischen Querschnitte zu untersuchen sind, in denen für Q der Betrag von Q_{\max} anzusetzen ist.

Ergibt der angenommene Betonquerschnitt eine Überschreitung des zugelassenen Schubspannungshöchstwertes, so müssen die Abmessungen h , b_0 oder b_a vergrößert werden. Liegt τ_{\max} im Spannungsbereich oberhalb der vorerwähnten Zwischenwerte, so sind auf der betreffenden Feldseite alle Schubspannungen bis zum Querkraftnullpunkt durch Schrägstäbe, Bügel oder möglichst durch beide Arten der Schubbewehrung aufzunehmen.

Bei der Bemessung faßt man Stababschnitte von der Abszisse x_1 bis zur Abszisse x_2 , also von der Länge $c = x_2 - x_1$ zusammen, welche ausschließlich Querkkräfte gleichen Vorzeichens haben. Die gesamte Schubkraft in einem derartigen Stababschnitt

$$T_0 = \int_{x_1}^{x_2} T'_0 dx = \frac{\Delta M}{z}$$

ersetzt man — entsprechend der Richtung der in der Nulllinie auftretenden Hauptspannungen — durch ein System von unter 45° geneigten Druck- und Zugstreben (vgl. die Kräftezerlegung in Bild 10). Die Druckkräfte in den Druckstreben werden vom Beton aufgenommen, ohne daß hierfür ein Spannungsnachweis verlangt wird, während die Aufnahme der auf die Zugstreben entfallenden Zugkräfte besonderen Stahleinlagen (Aufbiegungen bzw. Bügeln) zugewiesen wird, deren Richtung teilweise von der 45° -Richtung der Zugkräfte um den Winkel β abweicht.

Aus der Kräftezerlegung folgt eine von der Schubbewehrung F_τ aufzunehmende Zugkraft von

$$[39] \quad Z_\tau = \frac{F_\tau \cdot \sigma_e}{\sqrt{2} \cdot \cos \beta}$$

Im Ansatz [39] gilt F_τ sowohl für den Querschnitt der Schrägstäbe (Aufbiegungen) F_{eS} (mit $\beta = 0$ oder z. B. $\beta = +15^\circ$) als auch für den Bügelquerschnitt F_{eB} (mit $\beta = +45^\circ$). Der gesamte zur Aufnahme von T_0 heranzuziehende Betrag, in dem die verschiedene Neigung der Schrägstäbe und Bügel berücksichtigt ist, lautet somit:

Tabelle 18. Rundstahlquerschnitte $F_{eS} \cdot \sqrt{2}$ für Schrägstäbe unter 45°

ϕ mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	1,1	2,2	3,3	4,4	5,6	6,7	7,8	8,9	10,0	11,1
12	1,6	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6	11,2	12,8	14,4	16,0
14	2,2	4,4	6,5	8,7	10,9	13,1	15,2	17,4	19,6	21,8
16	2,8	5,7	8,5	11,4	14,2	17,1	19,9	22,8	25,6	28,4
18	3,6	7,2	10,8	14,4	18,0	21,6	25,2	28,8	32,4	36,0
20	4,4	8,9	13,3	17,8	22,2	26,7	31,1	35,5	40,0	44,4
22	5,4	10,8	16,1	21,5	26,9	32,3	37,6	43,0	48,4	53,8
24	6,4	12,8	19,2	25,6	32,0	38,4	44,8	51,2	57,6	64,0
26	7,5	15,0	22,5	30,0	37,5	45,6	52,6	60,1	67,6	75,1
28	8,7	17,4	26,1	34,8	43,5	52,3	61,0	69,7	78,4	87,1
30	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
36	14,4	28,8	43,2	57,6	72,0	86,4	100,8	115,2	129,6	144,0
40	17,8	35,5	53,3	71,1	88,9	106,6	124,4	142,2	159,9	177,7

Für anders geneigte Aufbiegungen sind die Tafelwerte nach mit $\cos \beta$ zu vervielfachen (z. B. bei 60° mit $\cos \beta = \cos 15^\circ = 0,966$).

Tabelle 19. Rundstahlquerschnitte F_{eB} für zweischnittige Bügel

ϕ mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	5,9
6	0,6	1,1	1,7	2,3	2,8	3,4	4,0	4,5	5,1	5,7	6,2	6,8	7,4	7,9	8,5
7	0,8	1,5	2,3	3,1	3,8	4,6	5,4	6,2	6,9	7,7	8,5	9,2	10,0	10,8	11,5
8	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,1	11,1	12,1	13,1	14,1	15,1
10	1,6	3,1	4,7	6,3	7,9	9,4	11,0	12,6	14,1	15,7	17,3	18,8	20,4	22,0	23,6
12	2,3	4,5	6,8	9,0	11,3	13,6	15,8	18,1	20,4	22,6	24,9	27,1	29,4	31,7	33,9
14	3,1	6,2	9,2	12,3	15,4	18,5	21,6	24,6	27,7	30,8	33,9	36,9	40,0	43,1	46,2
16	4,0	8,0	12,1	16,1	20,1	24,1	28,1	32,2	36,2	40,2	44,2	48,3	52,3	56,3	60,3

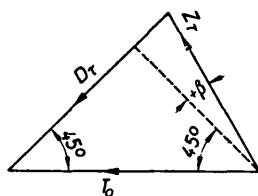


Bild 10.

$$[40] \quad F_\tau = F_{eS} \cdot \sqrt{2} \cdot \cos \beta + F_{eB} = \frac{T_0}{\sigma_e} = \frac{\Delta M}{\sigma_e \cdot z}$$

Die notwendigen Rundstahlquerschnitte lassen sich demnach bei Verwendung der Rundstahltabellen 18 und 19 anschreiben, wenn man T_0 kennt.

Es war früher üblich, T_0 aus dem Inhalt der Schubkraftfläche zu errechnen. Dieses Verfahren bedingt das Auftragen der Schubkraftfläche und ist somit verhältnismäßig zeitraubend. Andererseits ist die Kenntnis ihrer Form notwendig, um die richtige Lage der Schubbewehrung zu ermitteln. In schwierigen Fällen und stets bei beweglichen Lasten ist man daher genötigt, das Schubkraftdiagramm aufzutragen und T_0 als den mit b_0 erweiterten Flächeninhalt der Schubspannungsfläche auszurechnen.

In der Regel läßt sich indes die Form der Schubspannungsfläche auch ohne Auftragen übersehen. Dann gewinnt man $F_\tau = T_0 / \sigma_e$ unmittelbar aus der Momentendifferenz in dem betrachteten Stabschnitt.

2.121 Bestimmung von F_τ für Trägerabschnitte von gleichbleibender Höhe ¹⁵⁾

Meist kann man den gesamten Abschnitt eines Feldes, in welchem die Querkraft das gleiche Vorzeichen hat, von der Stütze bis zum Querkraftwechsel, d. h. von der Stelle des größten negativen bis zum größten positiven Moment, in einem Rechnungsgang untersuchen. Der zur Schubbewehrung erforderliche Querschnitt F_τ ist gleich der Summe der rechnerisch erforderlichen Querschnitte der Zugbewehrung im Felde und über der Stütze.

Die Schubbemessung eines Balkenabschnittes erhält dann folgende Fassung:

$$[41] \quad F_\tau = F_e \text{ über der Stütze} + F_e \text{ im Felde}$$

Es werden eingelegt:

..... unter 45° aufgebogene $\phi \dots = F_{eS} \cdot \sqrt{2}$ (aus Tabelle 18)

..... Bügel $\phi \dots, a = \dots \text{ cm}, = F_{eB}$ (aus Tabelle 19)
 $\Sigma > F_\tau$

Beim frei aufliegenden Träger auf zwei Stützen ohne Kragarme ist F_τ gleich F im Felde.

Der Ansatz [41] gilt streng genommen nur unter Zugrundelegung der Zugseisenquerschnitte F_e über der Stütze und F_e im Felde, welche sich aus dem für den Größtwert des Schubes gültigen Belastungsfall ergeben.

¹⁵⁾ Vgl. Betonkalender 1957, S. 420, Berlin 1957, Wilh. Ernst & Sohn.

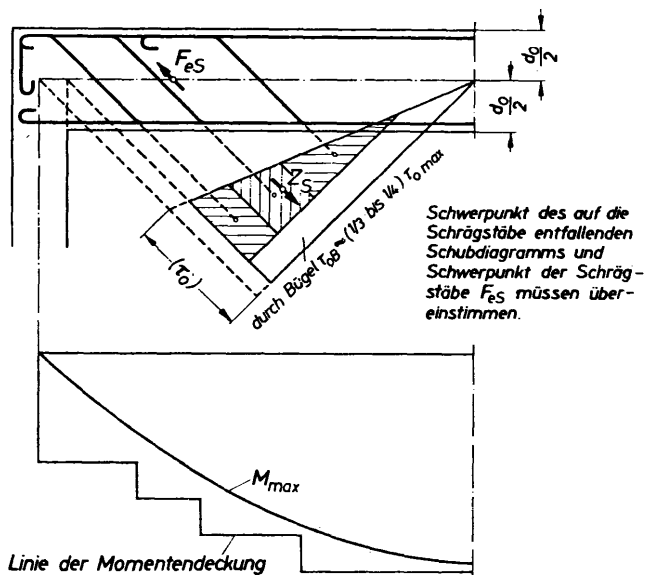


Bild 11.

Der Rechnungsgang verkürzt und vereinfacht sich aber wesentlich, wenn man die Querschnitte F_e benutzt, welche zur Bemessung der Zugsbewehrung aus den Größtmomenten über der Stütze und im Felde in der vorangehenden Berechnung ermittelt wurden. Werden dazu beim Durchlaufträger und Rahmentragwerk die aus der Bemessung für Biegung gewonnenen größten Werte F_e benutzt, so ergibt sich eine

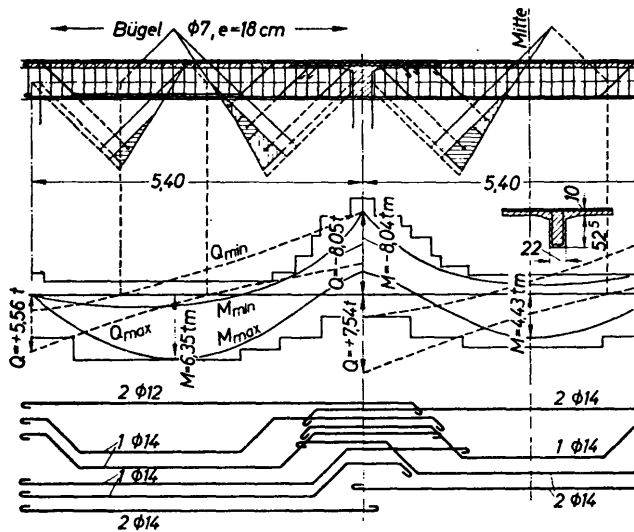


Tabelle 20. Beiwerte η

Kreis	$\eta =$	4							
Regelmäßiges n -Eck	$n =$	4	6	8					
	$\eta =$	4,81	4,61	4,48					
Rechteck	$\alpha =$	1	1,5	2	3	4	6	10	∞
	$\eta =$	4,81	4,33	4,07	3,74	3,55	3,35	3,25	3,00

2.2 Drillung (Torsion) ¹⁷⁾

Wird ein Stabquerschnitt durch ein Drillmoment M_D auf Verdrehung beansprucht, so entstehen nur Schubspannungen. Bei rechteckigem Querschnitt werden diese Spannungen in der Seitenmitte am größten und nehmen nach den Endpunkten zu ab. Wird das Drillmoment gesteigert, so geht der Zustand I in Zustand II über, d. h. die Hauptzugkräfte müssen allein durch die Bewehrung aufgenommen werden, während der Beton die Hauptdruckkräfte übernimmt. Bei der Bemessung muß zuerst geprüft werden, ob die Schubspannungen aus Biegung und Drillung nicht einzeln oder in ihrer Summe den zulässigen Wert überschreiten, vgl. DIN 1045, § 29, Tafel V. Die größte Gesamtschubspannung $\tau_0 + \tau_D$ tritt meist in der Nulllinie für Biegung auf.

2.2.1 Spannungsnachweis

Bedeutet d den Durchmesser des Kreisquerschnittes oder den Durchmesser des einbeschriebenen Kreises in regelmäßigen Vielecken, dann ist die größte, am Rande auftretende Drillspannung für zyklisch symmetrische Querschnitte

$$[44] \quad \tau_D = \frac{\eta \cdot M_D}{F \cdot d}$$

Beim Rechteckquerschnitt ist der gleiche Ansatz zu verwenden, nur bedeutet dann d entweder die kürzere Rechteckseite bei der Ermittlung der Drillspannung in der Längs- oder die längere Rechteckseite bei der Ermittlung der Drillspannung in der Kurzseite.

Für eine beliebige Querschnittsform empfiehlt Rausch a. a. O., die Spannung mit Hilfe einer eingeschriebenen Ellipse zu ermitteln. Die Gleichung [44] gilt mit dem Beiwert $\eta = 4$ auch für die Ellipse; für d ist, ähnlich wie beim Rechteck, die kleine oder große Achse einzusetzen.

Die Beiwerte η sind der Tabelle 20 zu entnehmen. Beim Rechteckquerschnitt bezeichne α das Verhältnis der größeren zur kleineren Seite.

2.2.2 Ansätze zur Bemessung

Beim Rechteckquerschnitt bezeichne

$F_k = b_k \cdot d_k$ den Kernquerschnitt und

a den jeweiligen Abstand der einzelnen Stäbe der Längs- oder Bügelbewehrung.

Der Wert a kann gemäß Bild 14 verschieden sowohl für die Unterteilung der Längseinlagen an den vier Seiten des Kernumfanges als auch für die Bügelteilung gewählt werden. Wechseln die Stababstände beiderseits des zu bemessenden Stabes, so ist für a deren arithmetisches Mittel einzusetzen.

Für den Einzelquerschnitt sowohl der Längs- als auch der Bügelbewehrung gilt dann der gleiche Ansatz

$$[45] \quad F_e = \frac{M_D \cdot a}{2 \sigma_e \cdot F_k}$$

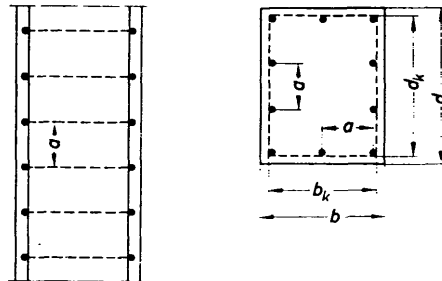


Bild 14.

Für beliebige Querschnitte ohne einspringende Ecken gilt Gleichung [45] in unveränderter Form.

Da bei Drillung die Bügel in derselben Weise wie die Längseinlagen wirken, müssen die Bügel mit Haftlänge geschlossen werden.

Beim zyklisch symmetrischen Querschnitt (Kreis oder regelmäßiges Vieleck) ist die Drillung durch eine Längsbewehrung mit geschlossenen Bügeln oder durch eine schraubenförmige Umfangsbewehrung mit einer Steigung von 45° aufzunehmen. Der Querschnitt der von der Umschnürung beschriebenen Schraubenlinie mit der Ganghöhe t ist

$$[46] \quad F_e = \frac{M_D \cdot t}{2 \sqrt{2} \cdot \sigma_e \cdot F_k}$$

2.3 Haftung

Bezeichnet man den Umfang sämtlicher Zugstäbe im betrachteten Querschnitt mit u und die am Umfang der Bewehrung auftretende Haftspannung mit τ_1 , so beträgt die Haftspannung

$$[47] \quad \tau_1 = \frac{Q}{u \cdot z}$$

Nach DIN 1045, § 21, Abschnitt 2 brauchen Haftspannungen nur für Stahleinlagen nachgewiesen zu werden, die dicker als 26 mm sind. Werden die Schubspannungen durch Bügel und Schrägeinlagen aufgenommen, so darf für die Berechnung der Haftspannung die halbe Querkraft eingesetzt werden. Dann wird

$$[47a] \quad \tau_1 = \frac{Q}{2 \cdot u \cdot z}$$

In DIN 1045, § 29, Tafel V, sind die zulässigen Haftspannungen für die verschiedenen Güteklassen des Betons angegeben. Bei Überschreitung dieser Werte muß man die Führung der Bewehrung ändern oder den gewählten Durchmesser verringern.

¹⁷⁾ Vgl. auch Hütte, III. Band, 27. Aufl. bearbeitet von Henn (S. 312).

2.4 Kraftumlenkung

Ist die Zugbewehrung in einer Krümmung verlegt, deren Halbmesser r ist, so fällt den Bügeln die zusätzliche Aufgabe zu, die Kraft $F_e \cdot \sigma_e$ umzuleiten und die Zugbewehrung in ihrer Lage festzuhalten.

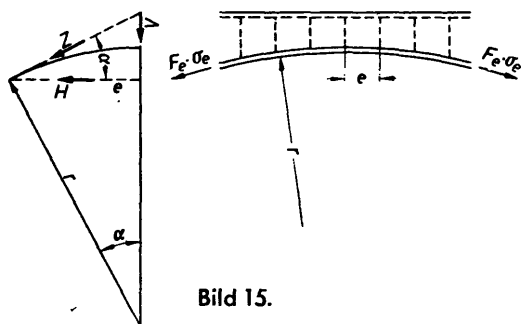


Bild 15.

Mit $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ wird gemäß Bild 15: $\frac{V}{Z} = \frac{e}{r}$

und die Zugkraft in einem Bügel $V = \frac{F_e \cdot \sigma_e \cdot e}{r} = F_B \cdot \sigma_{eB}$

Ist σ_e die Beanspruchung der Zugbewehrung und σ_{eB} diejenige der Bügel, so ist der erforderliche Bügelquerschnitt

$$[48] \quad F_B = \frac{F_e \cdot e}{r} \cdot \frac{\sigma_e}{\sigma_{eB}}$$

Ist die Form eines Tragwerkes so gewählt, daß an einer Stelle die inneren Druckkräfte D_b die Druckzone nach außen von der Zugzone abdrängen, wie es bei sattelförmigen Dachbindern und bei Eckausbildungen gemäß Bild 16, 17 und 18 vorkommt, so muß auch die hierdurch ausgelöste Zugkraft (Z) von besonderen Bügeln aufgenommen werden.

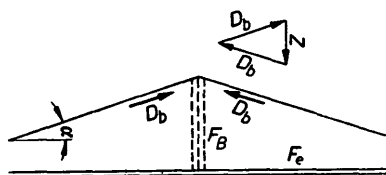


Bild 16.

Mit $D_b \approx F_e \cdot \sigma_e$ und $F_B = \frac{V}{\sigma_{eB}}$ wird $V = 2 D_b \sin \alpha$
 $= 2 F_e \cdot \sigma_e \sin \alpha$

Dann ist gemäß Bild 16 der Querschnitt der Bügel

$$[49] \quad F_B = F_e 2 \frac{\sigma_e}{\sigma_{eB}} \sin \alpha$$

Für die rechtwinklige Ecke mit $\alpha = 45^\circ$ wird gemäß Bild 17

$$[50] \quad F_B = F_e \frac{\sigma_e}{\sigma_{eB}} \sqrt{2}$$

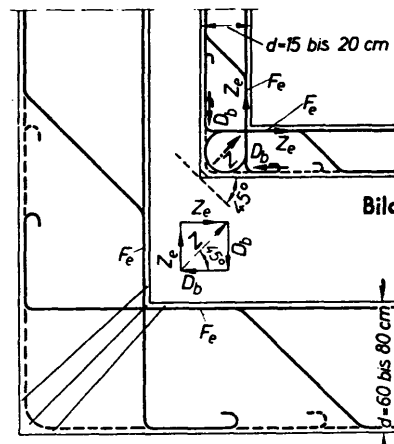


Bild 17.

Wird die Zugkraft durch Schlaufen gemäß Bild 18 aufgenommen, so ergibt sich der Querschnitt F_S der Schlaufen zu

$$[51] \quad F_S = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot F_e$$

— MBl. NW. 1960 S. 749/50.

Einzelpreis dieser Nummer 1,60 DM

Einzellieferungen nur durch den August Bagel Verlag, Düsseldorf, gegen Voreinsendung des Betrages zuzügl. Versandkosten (je Einzelheft 0,15 DM) auf das Postscheckkonto Köln 85 16 oder auf das Girokonto 35 415 bei der Rhein. Girozentrale und Provinzialbank Düsseldorf. (Der Verlag bittet, keine Postwertzeichen einzusenden.)

Herausgegeben von der Landesregierung Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Elisabethstraße 5. Druck: A Bagel, Düsseldorf; Vertrieb: August Bagel Verlag, Düsseldorf. Bezug der Ausgabe A (zweiseitiger Druck) und B (einseitiger Druck) durch die Post. Bezugspreis vierteljährlich Ausgabe A 6,— DM, Ausgabe B 7,20 DM.