Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 80 (1962)

Heft: 7

Artikel: Die Eisenbetondimensionierung mit dem Bruchlastverfahren des Comité Européen du Béton

Autor: Herzog, Max

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-66105

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

an den Hang herangestellt sind, daneben. Auf diese Weise ist das Haus im Berg verankert und öffnet es sich gleichsam von innen heraus gegen den See hin. Alle Räume sind nach hinten abgeschlossen, gewissermassen gesichert, und blicken nach aussen; sie sind alle auf die weite Aussicht orientiert. Es kommt so optimal zustande, was man für ein Wohnhaus fordert: eine sichere Geborgenheit, die aber nicht höhlenhaft eingeschlossen ist, sondern gegen die Landschaft hin offen steht.

J. Schilling

Adresse des Architekten: *H. Howald,* Zeltweg 8, Zürich 1/32

Die Eisenbetondimensionierung mit dem Bruchlastverfahren des Comité Européen du Béton

DK 624.043:624.012.4

Von Dr. **Max Herzog,** Zofingen

Das Comité Européen du Béton (CEB), das sich aus Vertretern von 19 europäischen Ländern (Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Grossbritannien, Italien, Jugoslawien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Oesterreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, Türkei) zusammensetzt, hat 1959 auf seiner Sitzung in Wien eine Resolution [1] angenommen, in der ein sehr einfaches Bruchlastverfahren zur Eisenbetondimensionierung bei *statischer* Belastung empfohlen wird. Da die S. I. A.-Norm Nr. 162 (1956) im Ausnahmeartikel Nr. 94 die Anwendung neuer Berechnungsverfahren gestattet, wenn sie wissenschaftlich durch Versuche begründet werden, soll im folgenden das auf der statistischen Auswertung von 1800 Bruchversuchen mit Balken und 400 Bruchversuchen mit exzentrisch gedrückten Säulen beruhende Bruchlastverfahren des CEB für die wichtigsten in der täglichen Konstruktionspraxis vorkommenden Fälle formuliert werden.

Verwendete Bezeichnungen

M	Biegungsmoment,
M_e	Biegungsmoment bezogen auf die Schwerlinie der Zugarmierung,
M_B	Biegungsmoment beim Bruch,
N	Normalkraft,
N_o	zentrisch wirkende Normalkraft,
N_e	exzentrisch wirkende Normalkraft,
N_B	Normalkraft beim Bruch,
Z	Zugkraft der Zugarmierung,
D, D_b	Druckkraft der Betondruckzone,
D_e	Druckkraft der Druckarmierung,
d	Höhe des Rechteckquerschnitts,
b	Breite des Rechteckquerschnitts,
h	nutzbare Höhe des Rechteckquerschnitts (= Abstand der Schwerlinie der Zugarmierung vom gedrückten Rand),
h'	Abstand der Schwerlinie der Druckarmierung vom gedrückten Rand des Querschnitts,
x	Abstand der neutralen Axe vom gedrückten Rand,
y	Höhe der ideellen Betondruckzone,
z	Hebelarm der inneren Kräfte,
F_e	Querschnittsfläche der Zugarmierung,
F_e'	Querschnittsfläche der Druckarmierung,
$\mu = \frac{F_e}{bh}$	Anteil der Zugarmierung,
$\mu' = \frac{F_e'}{bh}$	Anteil der Druckarmierung,
e	Exzentrizität der Normalkraft bezogen auf die Schwerlinie der Zugarmierung,
γ	Hilfswert,
σ_F	Fliessgrenze der Armierung,
$\sigma_{0,2}$	konventionelle Fliessgrenze kaltgereckter Armierungen (0,2 % bleibende Dehnung),
σ_B	Bruchspannung kaltgereckter Armierungen bei Ueberschreitung der konventionellen Fliessgrenze,
β	Betondruckfestigkeit gemessen an Zylindern mit 30 cm Höhe und 15 cm Durchmesser im Alter von 28 Tagen (= ungefähr gleich gross wie die Prismendruckfestigkeit),
β_{red}	im Verhältnis der Sicherheitskoeffizienten reduzierte Zylinderdruckfestigkeit des Betons,
${}_w\beta_d$	Würfeldruckfestigkeit des Betons im Alter von 28 Tagen,
ε_{bB}	Randbruchstauchung des Betons bei Biegung,
s_e	Sicherheitskoeffizient für den Armierungsstahl,
s_b	Sicherheitskoeffizient für den Beton,
$0{,}75 < \alpha < 1$	Reduktionsfaktor.

Grundlagen des Bruchlastverfahrens des CEB

Die wirkliche Verteilung der Betondruckspannungen wird in Anlehnung an den Vorschlag von *Suenson* aus dem Jahre 1912 [4] [6] durch einen ideellen rechteckigen Spannungsblock ersetzt, dessen Höhe y nur 75 % der wirklichen Höhe x der Betondruckzone beträgt. Die Betondruckspannung beim Bruch wird gleich gross angenommen wie die Zylinderdruckfestigkeit β.

Bei Benützung der *Bernoullischen* Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte kann die Bruchstauchung des Betons $\varepsilon_{bB} = 0{,}0035$ gesetzt werden.

Ist die Höhe y des ideellen Druckspannungsblockes grösser als $h/2$, so muss die Betondruckspannung beim Bruch so reduziert angenommen werden, dass das Moment der Betondruckkraft $D_b = \alpha\beta by$, bezogen auf die Schwerlinie der Zugarmierung den Wert

$$M_{eB} = 0{,}375\,\beta bh^2$$

nicht übersteigt. Damit wird ein stetiger Uebergang von der «reinen Biegung» zum «zentrischen Druck» erreicht, da die Betonbruchspannung unter zentrischem Druck in Uebereinstimmung mit der statischen Auswertung der Bruchversuche gleich 0,75 β zu setzen ist.

Ist die Höhe des ideellen Druckspannungsblockes kleiner als die halbe nutzbare Höhe des Rechteckquerschnitts

$$\frac{y}{h} < \frac{1}{2}$$

so darf die Bruchspannung kaltgereckter Armierungsstähle

$$\sigma_B = \sigma_{0,2}\left(1{,}28 - \frac{\sigma_{0,2}}{50\,000} - 0{,}45\,\frac{\sigma_{0,2}}{\beta}\,\mu\right)$$

gesetzt werden. Für $\sigma_{0,2} = 4000$ kg/cm² (Torstahl 40) vereinfacht sich dieser Ausdruck zu

$$\sigma_B = 4000\left(1{,}20 - \frac{1800\,\mu}{\beta}\right)$$

Formeln zur Eisenbetondimensionierung mit dem Bruchlastverfahren des CEB

Da das Bruchlastverfahren des CEB ein reines *Gleichgewichtsverfahren* [4] ist, können alle folgenden Formeln ohne Benützung der *Bernoulli*schen Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte abgeleitet werden. An die Stelle der Hypothese von *Bernouilli* tritt die bereits im vorangehenden Abschnitt genannte Einschränkung, dass das auf die Schwerlinie der Zugarmierung bezogene Moment der Betondruckkraft den Wert

$$M_{eB} = 0{,}375\,\beta bh^2$$

nicht übersteigen darf.

Einfach armierter Rechteckquerschnitt unter einaxiger Biegung (Bild 1)

Aus den beiden Gleichgewichtsbedingungen für die inneren Kräfte

(1a) $\quad D = Z$

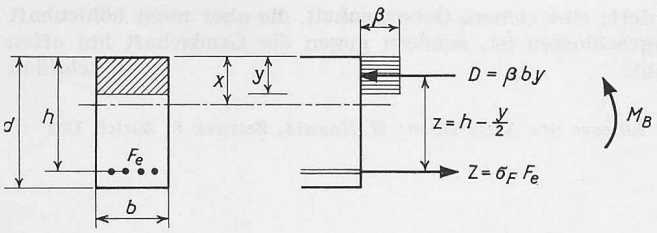

Bild 1. Einfach armierter Rechteckquerschnitt unter reiner Biegung

beziehungsweise

(1b) $\beta b y = \sigma_F F_e = \sigma_F \mu b h$

und das Moment

(2a) $M_B = D z = Z z$

Tabelle 1. Einfach armierter Rechteckquerschnitt unter reiner Biegung

$\frac{y}{h} = \mu \frac{\sigma_F}{\beta}$	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{\mu \frac{\sigma_F}{\beta}\left(1 - 0{,}5\,\mu \frac{\sigma_F}{\beta}\right)}}$	$\frac{z}{h} = 1 - 0{,}5 \frac{y}{h}$
0	∞	1,00
0,02	7,11	0,99
0,04	5,05	0,98
0,06	4,15	0,97
0,08	3,61	0,96
0,10	3,25	0,95
0,12	2,98	0,94
0,14	2,77	0,93
0,16	2,61	0,92
0,18	2,47	0,91
0,20	2,36	0,90
0,22	2,26	0,89
0,24	2,18	0,88
0,26	2,10	0,87
0,28	2,04	0,86
0,30	1,98	0,85
0,32	1,93	0,84
0,34	1,88	0,83
0,36	1,84	0,82
0,38	1,80	0,81
0,40	1,77	0,80
0,42	1,74	0,79
0,44	1,71	0,78
0,46	1,68	0,77
0,48	1,66	0,76
0,50	1,63	0,75

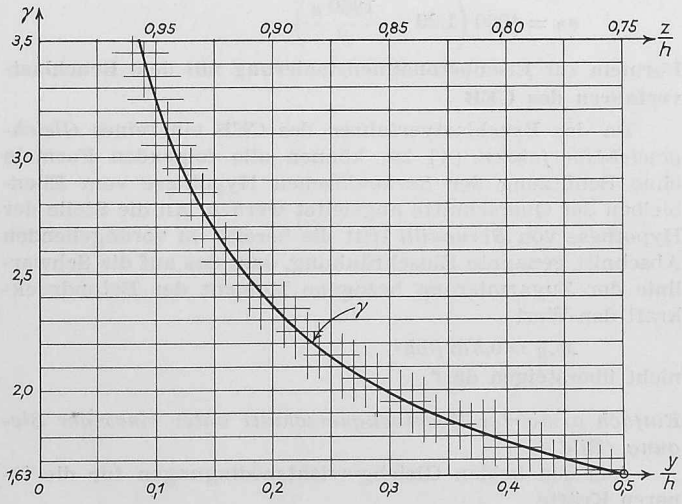

Bild 2. Einfach armierter Rechteckquerschnitt unter reiner Biegung

beziehungsweise

(2b) $M_B = \sigma_F F_e \left(h - \frac{y}{2}\right) = \sigma_F \mu b h \left(h - \frac{y}{2}\right)$

folgen die dimensionslosen Ausdrücke für die Höhe des ideellen Druckspannungsblockes

(1c) $\frac{y}{h} = \mu \frac{\sigma_F}{\beta}$

und für das Bruchmoment

(2c) $\frac{M_B}{\beta b h^2} = \mu \frac{\sigma_F}{\beta}\left(1 - 0{,}5\,\mu \frac{\sigma_F}{\beta}\right)$

Mit der Gleichung (2c) können wir auch die erforderliche nutzbare Höhe des Rechteckquerschnitts berechnen

(3a) $h = \gamma \sqrt{\frac{M_B}{\beta\, b}}$

Der dimensionslose Hilfswert

(3b) $\gamma = \frac{1}{\sqrt{\mu \frac{\sigma_F}{\beta}\left(1 - 0{,}5\,\mu \frac{\sigma_F}{\beta}\right)}}$

wurde bereits vor 26 Jahren von *Saliger* [5] eingeführt und kann der Tabelle 1 und dem Diagramm (Bild 2) entnommen werden.

Doppelt armierter Rechteckquerschnitt unter einaxiger Biegung (Bild 3)

Obwohl Druckarmierungen unwirtschaftlich sind, werden sie manchmal aus konstruktiven Gründen vorhanden sein.

Die Gleichgewichtsbedingungen lauten für die inneren Kräfte

(4a) $D_e + D_b = Z$

und für das Moment

(4b) $M_B = D_e(h - h') + D_b\left(h - \frac{y}{2}\right)$

Ist die *Festigkeit der Druckzone massgebend,* so betragen das Bruchmoment

(5a) $M_B = 0{,}375\,\beta b h^2 + \sigma_F F_e'(h - h')$

beziehungsweise dimensionslos

(5b) $\frac{M_B}{\beta b h^2} = 0{,}375 + \mu' \frac{\sigma_F}{\beta}\left(1 - \frac{h'}{h}\right)$

und die erforderliche Zugarmierung

(6a) $F_e = 0{,}5 \frac{\beta}{\sigma_F} b h + F_e'$

beziehungsweise dimensionslos

(6b) $\mu = 0{,}5 \frac{\beta}{\sigma_F} + \mu'$

Ist die *Festigkeit der Zugarmierung massgebend,* so beträgt das Bruchmoment

(7a) $M_B = \sigma_F (F_e - F_e')\left(h - \frac{y}{2}\right) + \sigma_F F_e'(h - h')$

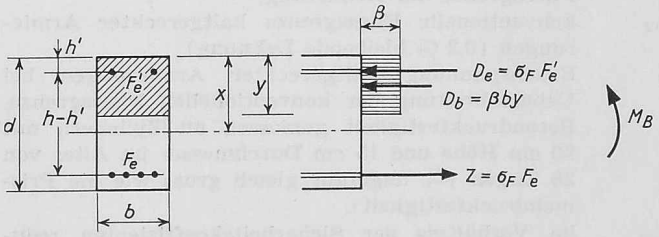

Bild 3. Doppelt armierter Rechteckquerschnitt unter reiner Biegung

beziehungsweise dimensionslos

$$\text{(7b)} \qquad \frac{M_B}{\beta b h^2} = (\mu - \mu') \frac{\sigma_F}{\beta} \left[1 - 0{,}5\,(\mu - \mu') \frac{\sigma_F}{\beta}\right] + \mu' \frac{\sigma_F}{\beta} \left(1 - \frac{h'}{h}\right)$$

Doppelt armierter Rechteckquerschnitt unter zentrischem Druck ohne Knickgefahr

Die Normalkraft beim Bruch beträgt

$$\text{(8a)} \qquad N_B = 0{,}75\,\beta b d + \sigma_F (F_e + F_e')$$

beziehungsweise dimensionslos

$$\text{(8b)} \qquad \frac{N_B}{\beta b h} = 0{,}75 \left(1 + \frac{h'}{h}\right) + \frac{\sigma_F}{\beta} (\mu + \mu')$$

Doppelt armierter Rechteckquerschnitt unter einaxig exzentrischem Druck (Bild 4)

Die Gleichgewichtsbedingungen lauten für die inneren Kräfte

$$\text{(9a)} \qquad N_B = D_e + D_b - Z$$

und für das Moment um die Schwerlinie der Zugarmierung

$$\text{(9b)} \qquad N_B\, e = D_e (h - h') + D_b \left(h - \frac{y}{2}\right)$$

Ist die *Festigkeit der Druckzone massgebend,* so betragen das Bruchmoment

$$\text{(10a)} \qquad N_B\, e = 0{,}375\,\beta b h^2 + \sigma_F F_e' (h - h')$$

beziehungsweise dimensionslos

$$\text{(10b)} \qquad \frac{N_B\, e}{\beta b h^2} = 0{,}375 + \mu' \frac{\sigma_F}{\beta} \left(1 - \frac{h'}{h}\right)$$

und die exzentrische Bruchnormalkraft in dimensionsloser Schreibweise

$$\text{(10c)} \qquad \frac{N_B}{\beta b h} = \left[0{,}375 + \mu' \frac{\sigma_F}{\beta} \left(1 - \frac{h'}{h}\right)\right] \frac{h}{e}$$

Die erforderliche Zugarmierung ist

$$\text{(11a)} \qquad F_e = 0{,}5 \frac{\beta}{\sigma_F} b h + F_e' - \frac{N_B}{\sigma_F}$$

beziehungsweise dimensionslos

$$\text{(11b)} \qquad \mu = 0{,}5 \frac{\beta}{\sigma_F} + \mu' - \frac{N_B}{\sigma_F\, b h}$$

Für symmetrische Armierung ($F_e = F_e'$) können wir die Bruchnormalkraft bei exzentrischem Druck auch in sehr einfacher Form auf die Bruchnormalkraft bei zentrischem Druck beziehen

$$\text{(12a)} \qquad \frac{N_{eB}}{N_{0B}} = \frac{0{,}375 + \mu' \frac{\sigma_F}{\beta} \left(1 - \frac{h'}{h}\right)}{0{,}75 \left(1 + \frac{h'}{h}\right) + 2\mu' \frac{\sigma_F}{\beta}} \frac{h}{e}$$

Mit Hilfe der Näherung

$$\text{(12b)} \qquad \frac{1}{1 + \frac{h'}{h}} \cong 1 - \frac{h'}{h}$$

erhalten wir eine sehr gute Näherung für die Gleichung (12a) zu

$$\text{(12c)} \qquad \frac{N_{eB}}{N_{0B}} \cong \frac{h}{2\,e} \left(1 - \frac{h'}{h}\right)$$

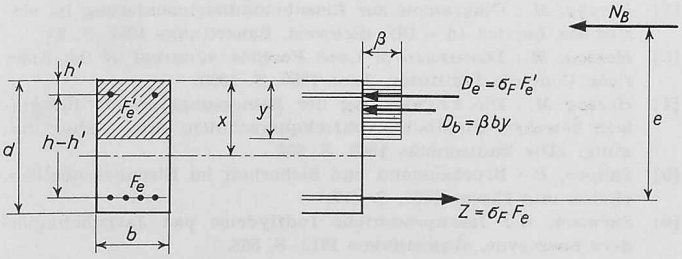

Bild 4. Doppelt armierter Rechteckquerschnitt unter exzentrischem Druck

Ist die *Festigkeit der Zugarmierung massgebend,* so lässt sich keine so einfache Bemessungsformel ableiten und wir vollziehen die Dimensionierung vorteilhaft in zwei Schritten. Dabei können wir zwei Fälle unterscheiden, je nachdem wir die Festigkeit der Betondruckzone ausnützen oder nicht.

Im ersten Fall berechnen wir zunächst die Zugarmierung für jenen Teil N_{B1} der exzentrischen Bruchnormalkraft, der ohne Druckarmierung aufgenommen werden kann.

$$\text{(13a)} \qquad N_{B1}\, e = 0{,}375\,\beta b h^2$$

und

$$\text{(13b)} \qquad F_{e1} = 0{,}5 \frac{\beta}{\sigma_F} b h - \frac{N_{B1}}{\sigma_F}$$

Dann berechnen wir die Zugarmierung für den Rest $N_{B2} = N_B - N_{B1}$ der exzentrischen Bruchnormalkraft, der mit Hilfe der Druckarmierung aufgenommen werden muss

$$\text{(13c)} \qquad N_{B2}\, e = \sigma_F F_e' (h - h')$$

und

$$\text{(13d)} \qquad F_{e2} = F_e' - \frac{N_{B2}}{\sigma_F}$$

Im zweiten Fall gehen wir in umgekehrter Reihenfolge vor. Eine symmetrische Armierung ($F_e = F_e'$) können wir ohne Benützung komplizierter Formeln nur durch Probieren ermitteln.

Sicherheitskoeffizienten

Ein Konstruktionselement versagt, wenn entweder die wirkliche Festigkeit des Konstruktionsmaterials so tief unter dem Berechnungswert und/oder die wirkliche Beanspruchung so hoch über dem Berechnungswert liegt, dass die wirkliche Festigkeit gleich der wirklichen Beanspruchung ist. Das Eintreten eines solchen Zustandes hängt von der *Wahrscheinlichkeit von Abweichungen* von den Berechnungswerten für die Festigkeit und für die Beanspruchung ab [3].

Da es aber in der Praxis umständlich wäre, die Wahrscheinlichkeit der obgenannten Abweichungen den vorhandenen Umständen gemäss in Rechnung zu stellen, behelfen wir uns mit *starren* Sicherheitskoeffizienten. So schreibt die S. I. A.-Norm Nr. 162 (1956) im Artikel 17 folgende Sicherheitskoeffizienten gegen Bruch vor:

a) Armierungsstahl Gruppe I
($\sigma_F \geqq 2400$ kg/cm²) $\quad s_e = 1{,}6$

b) Armierungsstahl Gruppe II
($\sigma_F \geqq 3500$ kg/cm²) $\quad s_e = 1{,}8$

c) Beton $\quad s_b = 3{,}0$

Um die Verwendung von zwei verschiedenen Sicherheitskoeffizienten bei der praktischen Eisenbetondimensionierung zu vermeiden, reduzieren wir zuerst die wirkliche Betondruckfestigkeit im Verhältnis der Sicherheitskoeffizienten für den Armierungsstahl und den Beton

$$\beta_{red} = \frac{s_e}{s_b} \beta$$

und stellen dann nur noch den Sicherheitskoeffizienten s_e für den Armierungsstahl in Rechnung.

Anwendungsbeispiele

Zur Erläuterung der Anwendung des Bruchlastverfahrens des CEB sollen die folgenden Zahlenbeispiele dienen. Zur Erleichterung des Vergleichs mit dem klassischen n-Verfahren werden wir die gleichen Beispiele durchrechnen, die ich bereits vor einigen Jahren zur Erläuterung meiner Diagramme zur Eisenbetondimensionierung im elastischen Bereich ($n = 10$) [2] verwendet habe.

Einfach armierter Rechteckquerschnitt unter einaxiger Biegung

Gegeben: $d = 50$ cm, $h = 46$ cm, $b = 25$ cm, $M = 8{,}0$ tm.

$\sigma_F = 3600$ kg/cm² $\quad s_e = 1{,}8$

$w\beta_d = 300$ kg/cm² $\quad s_b = 3{,}0$

Gesucht: $F_e = ?$

$$\beta_{red} = \frac{s_e}{s_b}\,\beta = \frac{1{,}8}{3{,}0}\,\frac{3}{4}\,300 = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma = \frac{h}{\sqrt{\dfrac{s_e\,M}{\beta_{red}\,b}}} = \frac{46}{\sqrt{\dfrac{1{,}8\,.\,8{,}0}{0{,}135\,.\,0{,}25}}} = 2{,}23$$

$$\frac{z}{h} = 0{,}886$$

$$F_e = \frac{s_e\,M}{\sigma_F\,z} = \frac{1{,}8\,.\,8{,}0}{3{,}6\,.\,0{,}886\,.\,0{,}46} = 9{,}8 \text{ cm}^2$$

Rechteckquerschnitt unter einaxig exzentrischem Druck (grosse Exzentrizität)

Gegeben: $d = 40$ cm $\quad h = 36$ cm

$h' = 4$ cm $\quad b = 25$ cm

$M = 6{,}0$ tm $\quad N = 11{,}0$ t

$\sigma_F = 3600$ kg/cm² $\quad s_e = 1{,}8$

$_w\beta_d = 300$ kg/cm² $\quad s_b = 3{,}0$

Gesucht: F_e und $F_e' = ?$

$$\beta_{red} = \frac{s_e}{s_b}\,\beta = \frac{1{,}8}{3{,}0}\,\frac{3}{4}\,300 = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_e = M + N\,\frac{h - h'}{2} = 6{,}0 + 11{,}0\,.\,0{,}16 = 7{,}76 \text{ tm}$$

$$\gamma = \frac{h}{\sqrt{\dfrac{s_e\,M_e}{\beta_{red}\,b}}} = \frac{36}{\sqrt{\dfrac{1{,}8\,.\,7{,}76}{0{,}135\,.\,0{,}25}}} = 1{,}77$$

$$F_e' = 0$$

$$\frac{z}{h} = 0{,}80$$

$$F_e = \frac{s_e\,M_e}{\sigma_F\,z} - \frac{s_e\,N}{\sigma_F} = \frac{1{,}8\,.\,7{,}76}{3{,}6\,.\,0{,}80\,.\,0{,}36} - \frac{1{,}8\,.\,11{,}0}{3{,}6} =$$

$$= 13{,}5 - 5{,}5 = 8{,}0 \text{ cm}^2$$

Gesucht: $F_e = F_e' = ?$

Annahme: $F_e' = 6{,}5$ cm²

$$e = \frac{M}{N} + \frac{h - h'}{2} = \frac{6{,}0}{11{,}0} + \frac{0{,}36 - 0{,}04}{2} =$$

$$= 0{,}55 + 0{,}16 = 0{,}71 \text{ m}$$

$$N_{B2} = \sigma_F F_e'\,\frac{h - h'}{e} = 3{,}6\,.\,6{,}5\,\frac{0{,}32}{0{,}71} = 10{,}5 \text{ t}$$

$$F_{e2} = F_e' - \frac{N_{B2}}{\sigma_F} = 6{,}5 - \frac{10{,}5}{3{,}6} = 3{,}7 \text{ cm}^2$$

$$N_{B1} = s_e\,N - N_{B2} = 1{,}8\,.\,11{,}0 - 10{,}5 = 9{,}3 \text{ t}$$

$$N_{B1}\,e = 9{,}3\,.\,0{,}71 = 6{,}60 \text{ tm}$$

$$\gamma = \frac{h}{\sqrt{\dfrac{N_{B1}\,e}{\beta_{red}\,b}}} = \frac{36}{\sqrt{\dfrac{6{,}60}{0{,}135\,.\,0{,}25}}} = 2{,}57 \qquad \frac{z}{h} = 0{,}917$$

$$F_{e1} = \frac{N_{B1}\,e}{\sigma_F\,z} - \frac{N_{B1}}{\sigma_F} = \frac{6{,}60}{3{,}6\,.\,0{,}917\,.\,0{,}36} - \frac{9{,}3}{3{,}6} =$$

$$= 5{,}5 - 2{,}6 = 2{,}9 \text{ cm}^2$$

$$F_e = F_{e1} + F_{e2} = 2{,}9 + 3{,}7 = 6{,}6 \text{ cm}^2 \cong F_e'$$

Symmetrisch armierter Rechteckquerschnitt unter einaxig exzentrischem Druck (kleine Exzentrizität)

Gegeben: $d = 25$ cm $\quad h = 21$ cm

$h' = 4$ cm $\quad b = 25$ cm

$M = 2{,}4$ tm $\quad N = 40{,}0$ t

$\sigma_F = 3600$ kg/cm² $\quad s_e = 1{,}8$

$_w\beta_d = 300$ kg/cm² $\quad s_b = 3{,}0$

Gesucht: $F_e = F_e' = ?$

$$\beta_{red} = \frac{s_e}{s_b}\,\beta = \frac{1{,}8}{3{,}0}\,\frac{3}{4}\,300 = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$e = \frac{M}{N} + \frac{h - h'}{2} = \frac{2{,}4}{40{,}0} + \frac{0{,}21 - 0{,}04}{2} =$$

$$= 0{,}06 + 0{,}085 = 0{,}145 \text{ m}$$

$$N_0 \cong N_e\,\frac{2e}{h - h'} = 40{,}0\,\frac{2\,.\,0{,}145}{0{,}21 - 0{,}04} = 68{,}2 \text{ t}$$

$$F_e = F_e' = \frac{s_e\,N_0 - 0{,}75\,\beta_{red}\,bd}{2\,\sigma_F} =$$

$$= \frac{1{,}8\,.\,68{,}2 - 0{,}75\,.\,1350\,.\,0{,}25^2}{2\,.\,3{,}6} =$$

$$= \frac{122{,}8 - 63{,}3}{7{,}2} = 8{,}3 \text{ cm}^2$$

Schlussbetrachtung

Ein Vergleich der Berechnungsgrundlagen des Bruchlastverfahrens des CEB mit denen des klassischen n-Verfahrens lehrt, dass die Festigkeit der Betondruckzone mit dem Bruchlastverfahren des CEB bei Biegung stärker und bei zentrischem Druck schwächer ausgenützt wird als mit dem klassischen n-Verfahren.

Der Vergleich der drei Zahlenbeispiele zeigt, dass sich die stärkere Ausnützung der Betondruckzone mit dem CEB-Verfahren

a) bei schwach zugarmierten Querschnitten unter reiner Biegung erwartungsgemäss nicht auswirkt (1. Beispiel: $F_e = 9{,}8$ cm² mit dem n-Verfahren und $F_e = 9{,}8$ cm² mit dem CEB-Verfahren),

b) bei stark zugarmierten Querschnitten unter reiner Biegung und bei exzentrisch gedrückten Querschnitten mit grosser Exzentrizität der Normalkraft dagegen spürbar auswirkt (2. Beispiel: $F_e = 9{,}3$ cm² und $F_e' = 0$ mit dem n-Verfahren und den zulässigen Spannungen $\sigma_b = 4/3 \cdot 110 = 147$ kg/cm² und $\sigma_e = 2000 - 10\,(147 - 110) = 1630$ kg/cm². $F_e = 8{,}0$ cm² und $F_e' = 0$ mit dem CEB-Verfahren. Differenz $\dfrac{9{,}3 - 8{,}0}{8{,}0} = 16\,\%$).

c) Stellen wir fest, dass die schwächere Ausnützung der Betondruckzone unter zentrischem Druck und unter exzentrischem Druck, mit kleiner Exzentrizität der Normalkraft bei der Berechnung mit dem CEB-Verfahren zu einer grösseren Armierung führt als mit dem n-Verfahren (3. Beispiel $F_e = F_e' = 3{,}1$ cm² mit dem n-Verfahren und $F_e = F_e' = 8{,}3$ cm² mit dem CEB-Verfahren).

Abschliessend sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Anwendung des Bruchlastverfahrens des CEB nur bei *statischer* Belastung (Hochbau) gerechtfertigt ist, nicht aber bei *dynamischer* Belastung (Eisenbahnbrücken, Turbomaschinenfundamente), weil die Ermüdungserscheinungen des Stahls und des Betons in der vorliegenden Form des CEB-Verfahrens noch keine Berücksichtigung finden.

Zusammenfassung

Das Bruchlastverfahren des CEB wird für die praktische Anwendung mit Formeln, einer Tabelle und einem Diagramm aufbereitet. Die Anwendung dieser Hilfsmittel wird in drei Zahlenbeispielen vorgeführt.

Literatur

[1] Comité Européen du Béton: Bulletin No. 19. Paris 1959, und *Levi, F.:* Work of the European Concrete Committee. «Journal of the American Concrete Institute», March 1961, S. 1041.

[2] *Herzog, M.:* Diagramme zur Eisenbetondimensionierung im elastischen Bereich (n = 10), «Schweiz. Bauzeitung» 1957, S. 93.

[3] *Herzog, M.:* Discussion of Load Factors. «Journal of the American Concrete Institute», June 1959, S. 1390.

[4] *Herzog M.:* Die Entwicklung der Bemessungsformeln für einfach bewehrte Stahlbetonrechteckquerschnitte unter reiner Biegung, «Die Bautechnik» 1960, S. 352.

[5] *Saliger, R.:* Bruchzustand und Sicherheit im Eisenbetonbalken. «Beton und Eisen» 1936, S. 317.

[6] *Suenson, E.:* Jaernprocentens Indflydelse paa Jaernbetonpladers Baereevne. «Ingeniören» 1912, S. 568.

Adresse des Verfassers: Dr. *M. Herzog,* Pomernhalde 2, Zofingen AG