

Stützen und Wände ohne Knickgefahr

1. Einleitung

Im Kapitel „Biegebemessung“ wurde die Bemessung eines Querschnitts infolge der Schnittgrößen M_{Ed} und N_{Ed} beschrieben. Druckglieder werden grundsätzlich genau so behandelt, wenn die Verformungen keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die Tragfähigkeit haben (ansonsten siehe Kapitel „Stabilität“).

Da Stützen/Wände ein sehr wichtiges Element in einer Tragkonstruktion darstellen, sollen sie hier separat insbes. hinsichtlich ihrer Konstruktion betrachtet werden. Druckglieder sind hauptsächlich durch hohe Drucknormalkräfte belastet, deshalb ist die Bemessung nur ein Sonderfall der allgemeinen Biegebemessung: Durch die hohen Normalkräfte sind sie **meist völlig überdrückt (vgl. Bild 1.1)**.

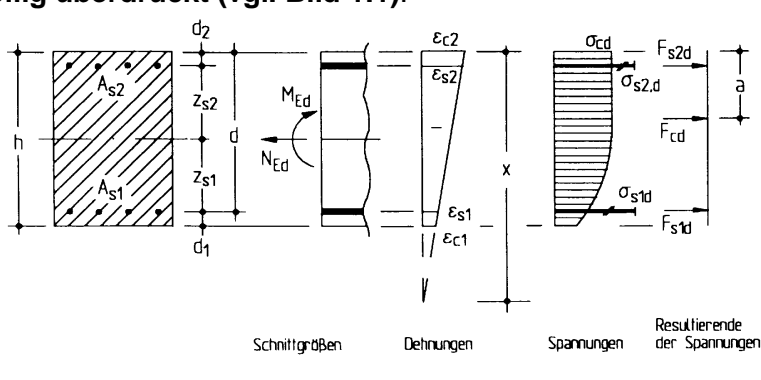


Bild 1.1: überdrückter Rechteckquerschnitt unter Biegung und Längskraft

Wenn **keine Knickgefahr** besteht, spricht man von gedrungenen Druckgliedern, was vereinfacht anhand der Schlankheit kontrolliert werden kann:

Schlankheit: $\lambda = l_0/i$ mit dem Trägheitsradius $i = \sqrt{I/A}$
 Sonderfall Rechteck $i = 0,289 \cdot h$

$$\lambda < \lambda_{lim} = 25 \text{ für } n \geq 0,41 \quad \text{und} \quad \lambda < \lambda_{lim} = 16/\sqrt{n} \text{ für } n < 0,41 \quad \text{mit } n = N_{Ed}/(A_c \cdot f_{cd})$$

Als Unterscheidungskriterium zwischen stabförmigen Druckgliedern und Wänden gilt die folgende Regel:

Stabförmige Druckglieder (Stützen, Säulen, usw.): $b \leq 4 \cdot h$

Wände: $b > 4 \cdot h$

Im Allgemeinen ist die Querkraftbelastung von Stützen relativ klein, trotzdem sind Bügel erforderlich: Sie verhindern ein Ausknicken der unter Druck stehenden Bewehrung und behindern die Querdehnung des Betons.

Die Querdehnung des Betons kann noch besser behindert werden, wenn das Druckglied umschnürt wird. Dies ist normalerweise nur bei runden Stützen durch eine Wendelbewehrung möglich. Dadurch erhöht sich die Traglast der Stütze noch etwas, was aber rechnerisch nicht mehr berücksichtigt wird.

Eine zusätzliche Belastung in Querrichtung kann dort entstehen, wo Last eingeleitet wird (unter Unterzügen oder Decken) oder wo ein Stoß ausgebildet wird. An diesen Stellen müssen dann die Bügel unter Umständen enger verlegt werden! Die Regeln für die Ausbildung eines Stoßes sind selbstverständlich unabhängig davon ebenfalls einzuhalten.

2 Konstruktion

2.1 Stützen

Das folgende Bild zeigt eine typische Stütze des Hochbaus: Meist wird an jedem Bauabschnitt ein **100%-Stoss** angeordnet (hier: über Fundament und Decke), wenn der Bewehrungsgehalt die max. zulässige Größe (9 %) nicht übersteigt. Außerdem werden Stützen **fast immer symmetrisch** bewehrt, da die Momente am Kopf und am Fuß häufig ein verschiedenes Vorzeichen besitzen, d.h. eine unsymmetrische Bewehrung ist auch nicht wirtschaftlicher. Zusätzlich soll die Gefahr eines um 180° verdrehten Einbaus auf der Baustelle ausgeschlossen werden.

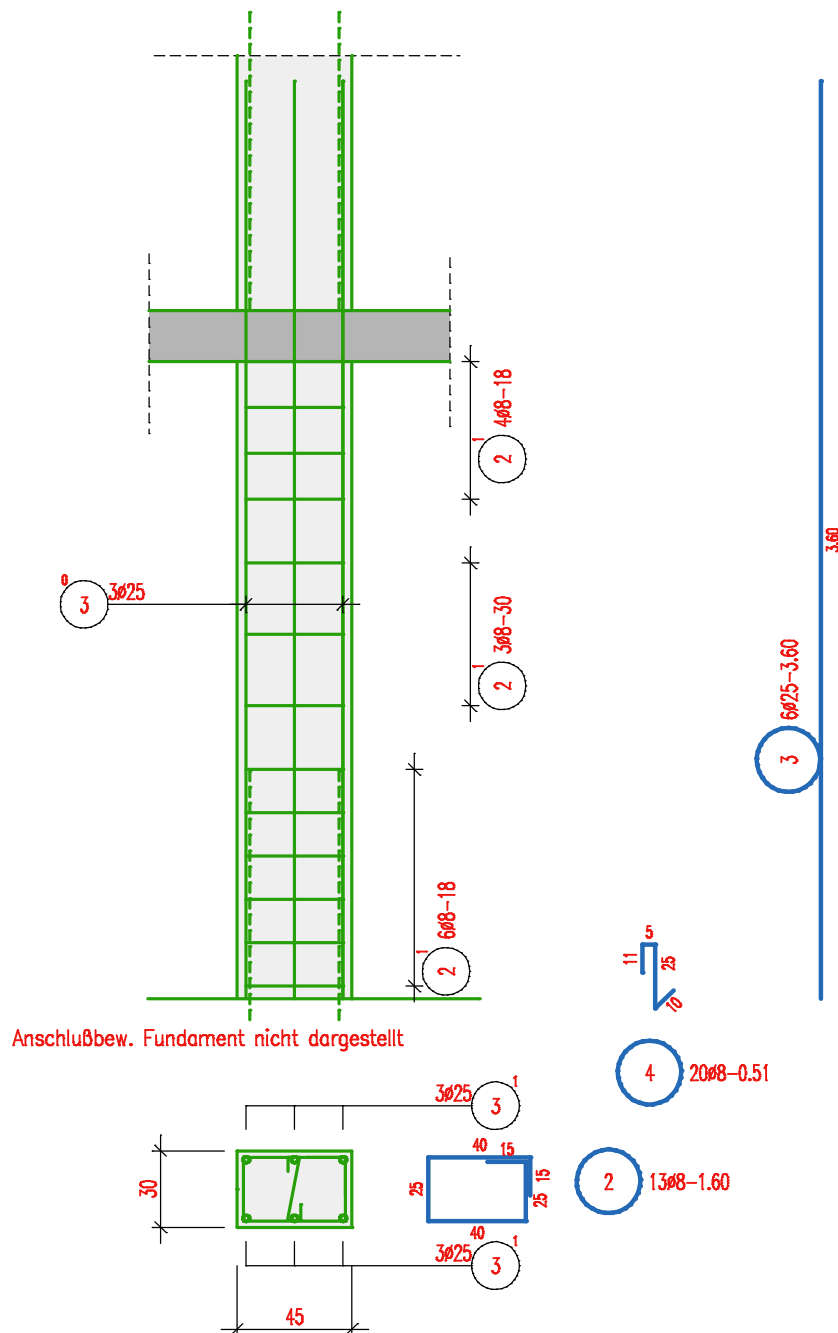
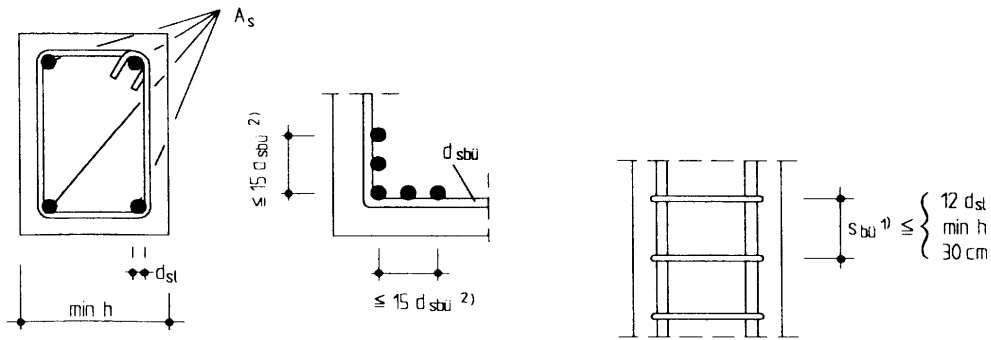
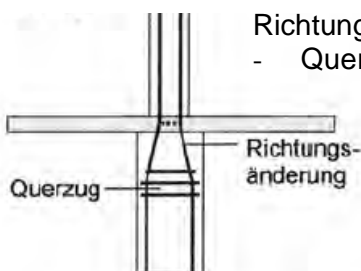


Bild: Hochbaustütze

Im Folgenden sind die wichtigsten Konstruktionsregeln für Stützen zusammengestellt:



- Abmessungen:** Ortbeton $b \geq h \geq 20\text{cm}$
 Fertigteile liegend betoniert $b \geq h \geq 12\text{cm}$
- Längsbewehrung:** Eckige Stützen je Ecke ein Längsstab
 Rundstützen mind. 6 Stäbe
 Durchmesser der Längsbewehrung $d_{sl} \geq 12\text{mm}$
 Abstand der Längsstäbe $s_l \leq 30\text{cm}$
 Bis $b/h=40/40$ reicht 1 Stab/Ecke
 Mindestbewehrung $A_{s,\text{min}} = 0,15 \cdot N_{Ed} / f_{yd}$
 Höchstbewehrung (auch bei Stoß!) $A_{s,\text{max}} = 0,09 \cdot A_c$
 Anordnung² max. 5 Stäbe je Ecke
 max. Abstand: $15 d_{sbü}$
- Querbewehrung:** Mindestbügeldurchmesser¹ $d_{sbü} \geq d_{sl} / 4$
 $d_{sbü} \geq 6\text{mm}$ Stabstahl
 $d_{sbü} \geq 5\text{mm}$ Matten
 $d_{sbü} \geq 12\text{mm}$ Stabbündel mit $d_{sv} > 28\text{mm}$
- Bügelabstand $s_{bü} \leq 12 \cdot \min d_{sl}$
 $s_{bü} \leq \min(b, h)$
 $s_{bü} \leq 30\text{cm}$
- vergrößerter Bügelabstand $s_{bü,\text{vergr}} = 2 \cdot s_{bü}$
 - Bei S-Haken oder Zwischenbügeln
- reduzierter Bügelabstand $s_{bü,\text{red}} = 0,6 \cdot s_{bü}$
 - Über/unter Balken/Platten im Bereich $\max(b, h)$
 - Bei Übergreifungsstößen, wenn $d_{sl} > 14\text{ mm}$; mind. 3 Bügel auf l_0 .
- Richtungsänderung der Stabkräfte $> 1/12$
 - Querbewehrung aus den Umlenkkraften (Querzug) berechnen.



Die Bügel sind im Normalfall mit 45°-Haken (vgl. Bild unten) zu schließen! Die Bügelschlösser sind entlang der Stütze zu versetzen.

Wenn eine der folgenden Maßnahmen getroffen wird, dürfen die Bügel auch mit 90°-Haken geschlossen werden, wodurch der Einbau der Längsbewehrung wesentlich einfacher wird:

- Erhöhung des Mindestbügeldurchmessers um eine Größe.
- Halbierung des Standardbügelabstands.
- Anordnung angeschweißter Querstäbe (Bügelmatte).
- Vergrößerung der Winkelhakenlänge von $10d_s$ auf $15d_s$.

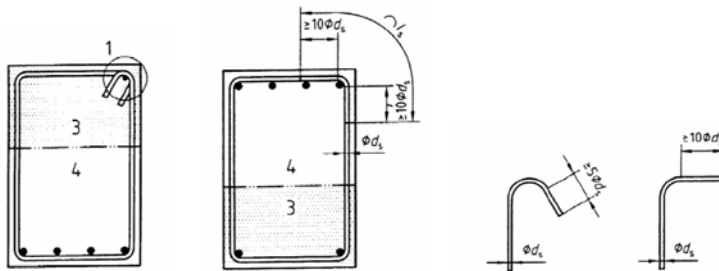


Bild: Schließen der Bügel bei Stützen

Wenn der max. Längsdurchmesser > 14 mm ist und der Stützenquerschnitt im Bereich eines Übergreifungsstoßes überwiegend biegebeansprucht ist, dann ist die Querbewehrung im Normalfall (Ausnahmen vgl. EC2) wie folgt anzuordnen:

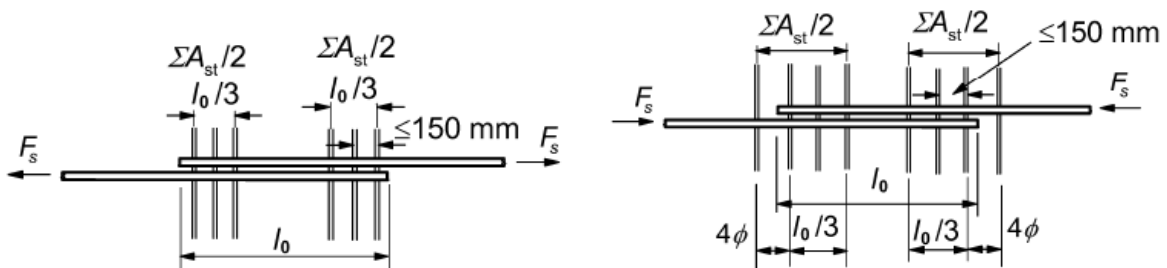


Bild: Querbewehrung für Übergreifungsstöße: a) Zugstoß b) Druckstoß
 A_{st} = Querschnittsfläche des max. vorkommenden Längsdurchmessers

EC2 8.7.2 (NA 5) Druckstäbe mit $d_{sl} \geq 20\text{mm}$ dürfen in Stützen durch **Kontaktstoß der Stabstirnflächen** gestoßen werden, wenn sie beim Betonieren lotrecht stehen, die Stützen an beiden Enden unverschieblich gehalten sind und die gestoßenen Stäbe auch unter Berücksichtigung einer Beanspruchung nach Abschnitt 5.8 (Theorie II. Ordnung) zwischen den gehaltenen Stützenenden nur Druck erhalten. Der zulässige Stoßanteil beträgt dabei maximal 50 % und ist gleichmäßig über den Querschnitt zu verteilen.

Die Querschnittsfläche der nicht gestoßenen Bewehrung muss mindestens 0,8% des statisch erforderlichen Betonquerschnitts betragen. Die Stöße sind in den äußeren Vierteln der Stützenlänge anzuordnen. Der Längsversatz der Stöße muss mindestens $1,3l_{b,reqd}$ betragen ($l_{b,reqd}$ nach Gleichung EC2(8.3) mit $\sigma_{Sd} = f_{yd}$).

Die Stabstirnflächen müssen rechtwinklig zur Längsachse hergestellt und entgratet sein. Ihr mittiger Sitz ist durch eine feste Führung zu sichern, die die Stoßfuge vor dem Betonieren teilweise sichtbar lässt.

2.2 Wände

Wände werden grundsätzlich **wie Stützen mit einer Breite von 1 m** behandelt, wenn die Belastung überwiegend aus Normalkräften besteht.

Für Wände sind Mindestwanddicken h_w in Tabelle NA 9.3 EC2 festgelegt:

Zeile	Spalte		1	2	3	4
	Mindestwanddicken in cm		Unbewehrte Wände		Stahlbetonwände	
			Decken nicht durchlaufend	Decken durchlaufend	Decken nicht durchlaufend	Decken durchlaufend
1	C 12/15	Ortbeton	20	14	-	-
2	Ab C	Ortbeton	14	12	12	10
3	16/20	Fertigteil	12	10	10	8

Folgende Konstruktionsregeln sind bei Wänden einzuhalten:

Längsbewehrung: soll im Normalfall innen liegen, 50 % auf jeder Seite

Allgemein (gilt immer) $A_{s,v \min} = 0,15 \cdot |N_{Ed}| / f_{yd} \geq 0,0015 \cdot A_c$

knickgefährdet **oder** $|N_{Ed}| \geq 0,3 \cdot f_{cd} \cdot A_c$ $A_{s,v \min} = 0,003 \cdot A_c$ (alternativ)

allgemein $A_{s,v \max} = 0,04 \cdot A_c$

im Bereich von Übergreifungsstößen $A_{s,v \max} = 0,08 \cdot A_c$

Stababstand $s_l \leq 30cm$ $s_l \leq 2 \cdot h_w$

Querbewehrung: soll im Normalfall außen liegen

Nicht knickgefährdet $A_{s,h \min} = 0,2 \cdot A_{sv}$

knickgefährdet **oder** $|N_{Ed}| \geq 0,3 \cdot f_{cd} \cdot A_c$ $A_{s,h \min} = 0,5 \cdot A_{sv}$

Durchmesser $d_{sq} \geq d_{sl} / 4$

Abstand $s_q \leq 35cm$

Die **außen liegenden Stäbe sind an 4 versetzt angeordneten Stellen je m² Wandfläche zu verankern**. Im Normalfall werden S-Haken benutzt, bei sehr dicken Wänden können Steckbügel mit $0,5l_{b,rqd}$ im Innern der Wand verankert werden.

Sonderfälle: WENN: $A_s \geq 0,02 \cdot A_c$

DANN: Umschließen der Bewehrung mit Bügeln analog Stützen erforderlich. Die Bügelabstände sind über/unter Balken/Platten auf einer Höhe von $4h_w$ zu vermindern.

WENN: $A_s \geq 0,003 \cdot A_c$ je Wandseite

DANN: Eckstäbe an freien Rändern sind durch Steckbügel (Länge mind. $2h_w$) zu sichern.

WENN: $c_v \geq 2d_{sl}$ **und** $d_{sl} \leq 16mm$

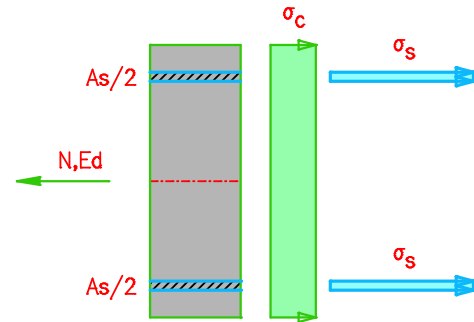
DANN: S-Haken können entfallen.

Querbewehrung darf innen liegen (**bei Matten immer**).

3 Traglast für zentrische Belastung

Für die Berechnung der Traglast im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist im EC2 die maximale **Stauchung** bei fast mittiger Belastung ($e_d/h \leq 0,1$) festgelegt mit $|\varepsilon| \leq |\varepsilon_{c2}| = 0,0022$. Das bedeutet, dass Beton und Stahl mit f_{cd} und f_{yd} voll ausgenutzt werden dürfen.

Bei einem Schnitt durch die Stütze ergibt sich aus dem Gleichgewicht in axialer Richtung (vgl. Bild) die aufnehmbare Drucknormalkraft einer zentrisch belasteten Stütze (alle negativen Vorzeichen sind ignoriert) aus der Summe der Stahl- und Betonkräfte. Näherungsweise kann mit der Bruttobetongfläche ohne Abzug der Stahlfläche gerechnet werden:



$$N_{Ed} = f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_s \quad (3.1)$$

Da die Abmessungen meistens (z.B. geschoßweise) im Voraus festgelegt werden, sollte die obige Gleichung besser nach A_s aufgelöst werden:

$$A_s = \frac{N_{Ed} - f_{cd} \cdot A_c}{f_{yd}} \quad (3.2)$$

Für die **Vordimensionierung** der Stützenabmessungen bietet sich eine weitere Umformung an, da weder der Beton- noch der Stahlquerschnitt bekannt sind:

Aus 3.1 folgt:

$$N_{Ed} = f_{cd} \cdot A_c \cdot \left(1 + \frac{f_{yd} \cdot A_s}{f_{cd} \cdot A_c}\right) \quad (3.3)$$

Geometrischer Bewehrungsgrad:

$$\rho = \frac{A_s}{A_c} \quad (3.4)$$

Erforderlicher Betonquerschnitt:

$$A_c = \frac{N_{Ed}}{f_{cd} + f_{yd} \cdot \rho_l} \quad (3.5)$$

Der geometrische Bewehrungsgrad kann meist geschätzt werden, z.B. zu 3 % = 0,03, womit dann sehr schnell eine Stützenabmessung zu ermitteln ist. Eine gewisse sinnvolle Reserve zur oben genannten Obergrenze von 9 % (bei einem 100%-Stoß von 4,5 %) sollte unbedingt einkalkuliert werden.

Da laut EC2 6.1.4 in der Regel bei einer planmäßig zentrischen Drucknormalkraft ohne Biegung nach Theorie 1. Ordnung mit einer Exzentrizität von $e_0 = \frac{h}{30} \geq 2cm$ zu rechnen ist, können die o.g. einfachen Berechnungen eigentlich nur für Überschlagsrechnungen benutzt werden.

4 Bemessung für 1-achsig exzentrische Belastung

Die Bemessung für 1-achsig exzentrische Belastung erfolgt normalerweise mit Hilfe des Interaktionsdiagramms für symmetrisch bewehrte Querschnitte. Die Herleitung und Anwendung eines solchen Diagramms wurde bereits im Kapitel „Biegebemessung“ besprochen.

Hier soll nur noch einmal ausdrücklich erwähnt werden, dass **eine steigende Drucknormalkraft nicht unbedingt auch mehr Bewehrung erfordert!** Dieser Fall tritt ein, wenn die **bezogene Drucknormalkraft unterhalb des Knickes der Bewehrungslinien** liegt (Balance Point, vgl. Bild). Das bedeutet, dass bei Stützen normalerweise nicht nur die **Lastfälle mit maximaler Normalkraft**, sondern auch die **mit minimaler Normalkraft** untersucht werden müssen.

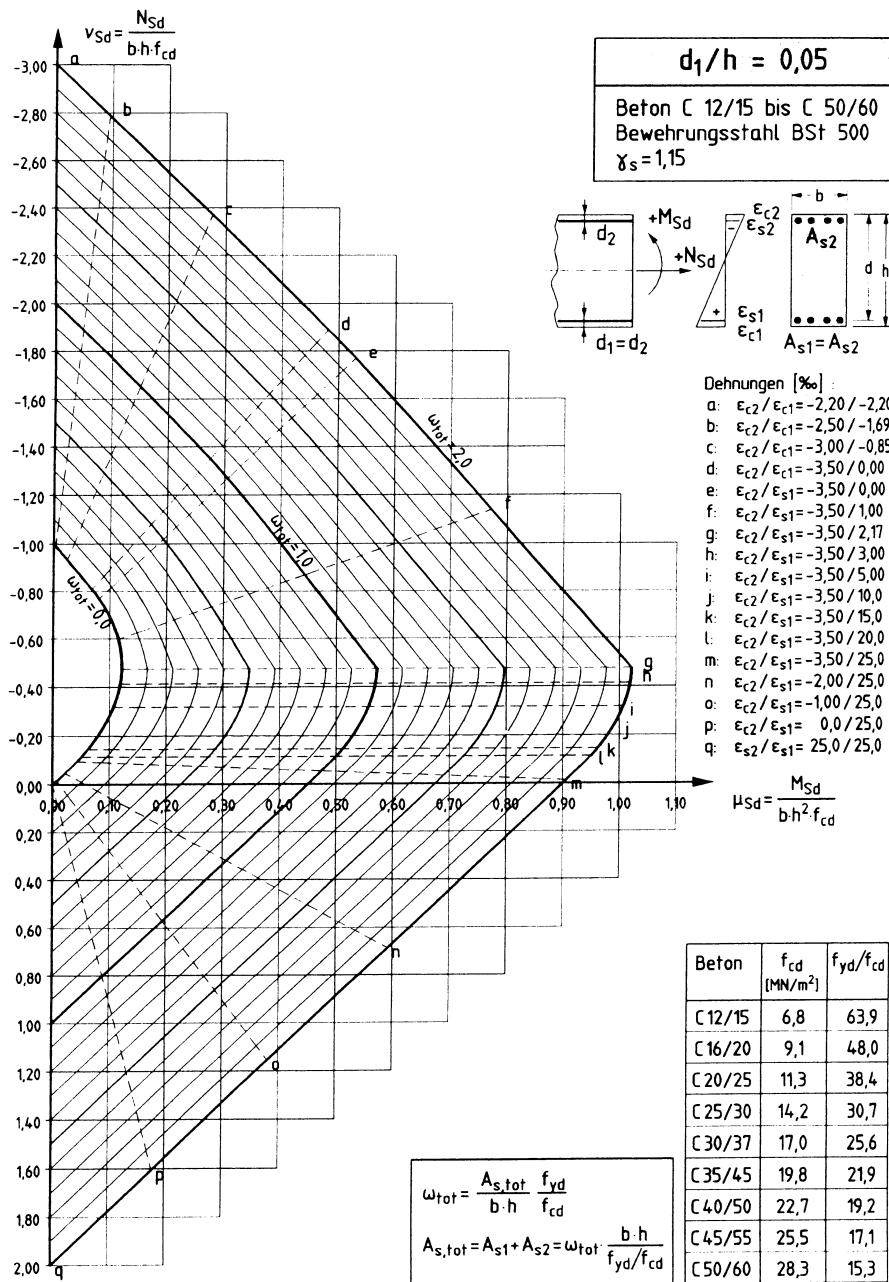


Bild: Interaktionsdiagramm für symmetrische Bewehrung

5 Bemessung für 2-achsig exzentrische Belastung

Eine Bemessung für 2-achsig exzentrische Belastung (Momente um die y- und z-Achse) ist ohne EDV-Hilfe nicht mehr zu machen, da die Druckzone viele verschiedene Formen annehmen kann (siehe Bild). Ihre Bestimmung erfordert umfangreiche Iterationen, insbes. bei komplizierten Querschnitten.

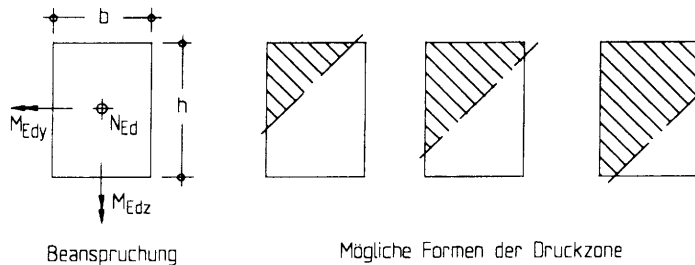


Bild: mögliche Biegedruckzonen bei Doppelbiegung

Für gängige Querschnitte wurden deshalb ebenfalls Bemessungsdiagramme entwickelt, die grundsätzlich 3 verschiedene Bewehrungsformen unterstützen:

- 1) Die Bewehrung wird in den Ecken konzentriert (z.B. kleine Stützen mit nur 4 Stäben).
- 2) Die Bewehrung wird gleichmäßig über den Umfang verteilt.
- 3) Die Bewehrung wird auf 2 Seiten konzentriert (doppelt symmetrische Bewehrung).
(z.B. große Biegebelastung fast ausschließlich in eine Richtung).

Bild: Bewehrungsverteilung nach 1) und 2)

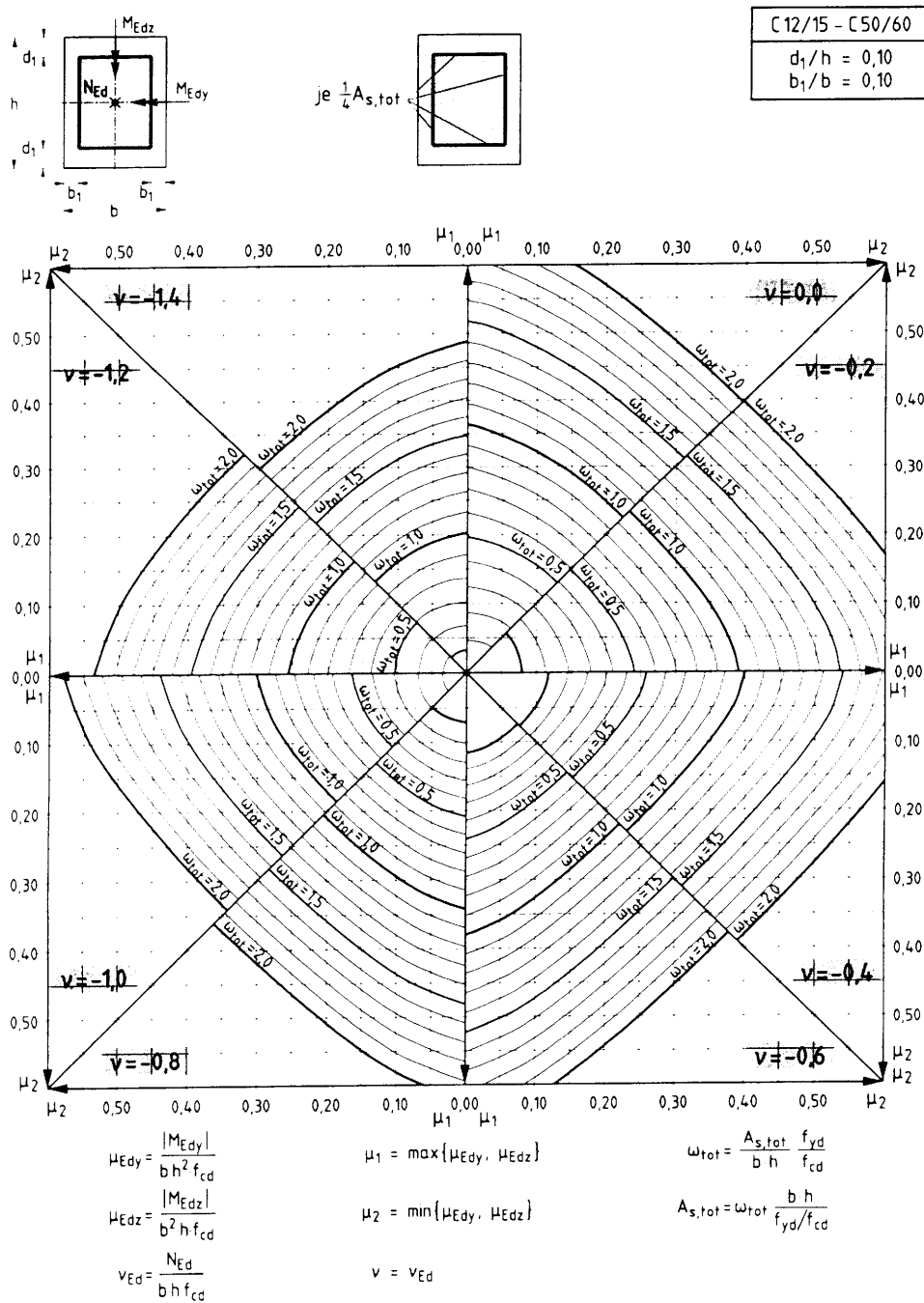


Bild: Diagramm für Doppelbiegung bei umlaufender Bewehrung

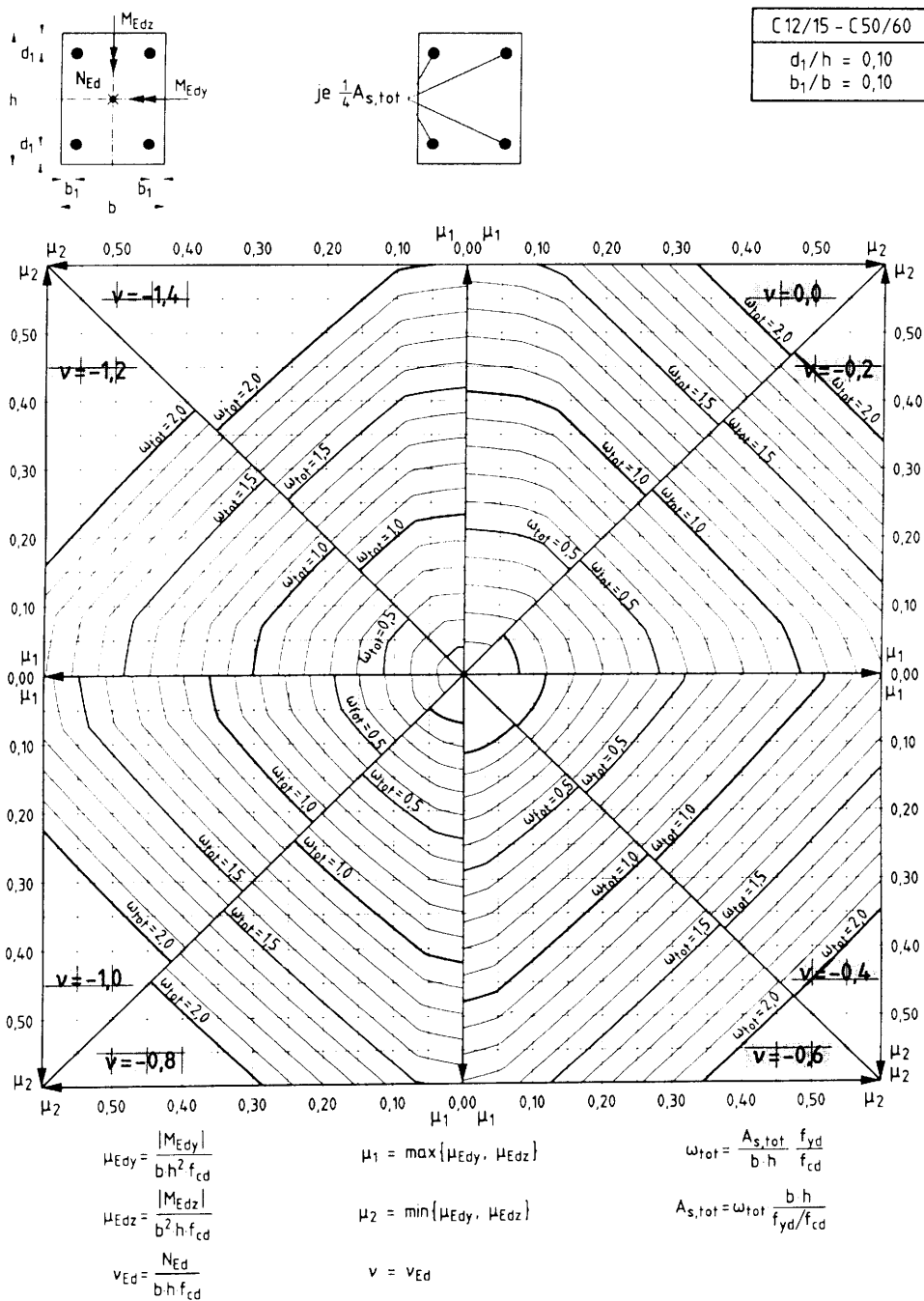


Bild: Diagramm für Doppelbiegung bei in den Ecken konzentrierter Bewehrung