

HANSER



Leseprobe

Hans-Hermann Prüser

Konstruieren im Stahlbetonbau 1

Grundlagen mit Anwendungen im Hochbau

ISBN: 978-3-446-41618-5

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-41618-5>

sowie im Buchhandel.

7 Bewehrungskonstruktion

7.1 Durchlaufträger mit Kragarm

7.1.1 Vereinfachte Systembeschreibung

In dem *Abschnitt 2.5* ist ein Stahlbetontragwerk gegeben und bearbeitet. Im Rahmen der Systemfindung wurden statische Teilsysteme definiert und deren Beanspruchung ermittelt. Die Schnittgrößenberechnung wurde vergleichend mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden durchgeführt.

In dem *Bild 2.21* sind die Bemessungsschnittgrößen (Biegemoment und Querkraft) im Grenzzustand der Tragfähigkeit für das Teilsystem **2-Feld-Unterzug mit Kragarm** dargestellt. Sie sind das Ergebnis eines vereinfachenden Handrechenverfahrens und sollen als Grundlage für die nachfolgend beschriebene Bewehrungskonstruktion verwendet werden. Es besteht keine Normalkraftbelastung. Die maßgebenden Schnittgrößen sind:

$$\begin{aligned} \text{Feldmoment: } M_{1,Ed} &= 822 \text{ kNm} \\ \text{Stützmoment: } M_{B,Ed} &= -933 \text{ kNm} \\ &\longrightarrow -874 \text{ kNm (Mom.ausrundung)} \\ \text{max. Querkraft: } V_{Bl,Ed} &= 677 \text{ kN (am Auflager B)} \end{aligned}$$

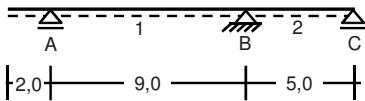


Bild 7.1: Bewehrungskonstruktion:
Statisches System

Das statische System ist im *Bild 7.1* dargestellt. Es hat eine rechnerische Gesamtlänge von 16,00 m. Die Auflager A, B und C haben jeweils eine Breite von 40 cm, sodass sich die einzuschalende Balkenlänge entsprechend vergrößert (Randaufbauter C $\rightarrow \Delta l = 40 \cdot 2/3 \approx 27$ cm).

Der Unterzug ist Teil eines Deckensystems und wird als Plattenbalken betrachtet (vgl. *Bild 7.2*). Die mitwirkende Breite variiert auf der Systemlänge und ist in dem *Bild 2.36* dargestellt. Danach sind die folgenden Querschnittsdaten anzusetzen:

$$\begin{aligned} \text{statische Höhe: } d &= 0,75 \text{ m (für Feld und Stütze)} \\ \text{Stegbreite: } b_w &= 0,40 \text{ m} \\ \text{Plattendicke: } h_f &= 0,30 \text{ m} \\ \text{Stützbereich: } b_{eff} &= 1,24 \text{ m} \\ \text{Feldbereich: } b_{eff} &= 2,90 / 2,10 \text{ m } \text{Feld 1 / Feld 2} \end{aligned}$$

7.1.2 Biegebewehrung mit Zugkraftdeckung

Die Längsbewehrung wird mit dem Verfahren der Zugkraftdeckung nach DIN 1045-1 13.2.2 konstruiert. Es ist ein graphisches Verfahren und ist in dem *Bild 7.5* dargestellt. Das Vorgehen wird schrittweise erläutert.

Zugkraftdeckung 1. Schritt: Im oberen Teil des Bildes wird das statische System mit den wirklichen Abmessungen von Querschnitt und Auflagerbreiten skizziert.

Für die Ermittlung der Bewehrung gelten sinngemäß alle Annahmen, die im Abschnitt 4.1 erläutert wurden. Die Bemessungsschnittgrößen M_{Ed} , N_{Ed} sind bezogen auf den Schwerpunkt des Querschnitts ermittelt und werden zur Nachweisführung auf die Lage der Zugbewehrung bezogen. Dieses Biegemoment M_{Eds} wird der Bemessung zugrunde gelegt. Es wird vom Querschnitt durch ein Kräftepaar, bestehend aus der Stahlzugkraft Z_{sd} und der Betondruckkraft D_{cd} , aufgenommen. Der Hebelarm der inneren Kräfte wird mit z bezeichnet (vgl. Bild 7.2).

$$\begin{aligned} M_{Eds} &= M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1} \\ Z_{sd} = D_{cd} &= M_{Eds}/z \end{aligned}$$

Ein Querschnitt versagt, wenn der Beton oder die Längsbewehrung den Beanspruchungen aus Biegung mit Normalkraft nicht standhält.

Die erforderliche Betongüte, der Hebelarm der inneren Kräfte z und das Grundmaß der Verankerungslänge l_b

Die erforderliche Betongüte errechnet sich nach Umstellung der Gleichung für den Bemessungsparameter μ_{Eds} :

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \longrightarrow \text{erf } f_{cd} = \frac{M_{Eds}}{\mu_{Eds} \cdot b \cdot d^2}$$

Mit der üblichen Begrenzung der Betondruckzone $\xi \leq 0,45$ ergibt sich für die maßgebende Auswertung am Stützquerschnitt:

$$\text{erf } f_{cd} = \frac{0,875}{0,296 \cdot 0,40 \cdot 0,75^2} = 13,1 \text{ MN/m}^2$$

zu wählen: C 25/30 oder besser

Der Hebelarm der inneren Kräfte z_{Re} darf bei Rechteckquerschnitten näherungsweise angenommen werden zu:

$$z_{Re} \approx 0,9 \cdot d = 67,5 \text{ cm}$$

Diese Näherung ist auch bei einem Plattenbalken anwendbar. Sie kann aber unwirtschaftlich sein. Für die Ermittlung der Feldbewehrung im stark belasteten Feld 1 wird deshalb der Hebelarm der inneren Kräfte z genauer ermittelt. Die mitwirkende Plattenbreite von $b_{eff} = 2,90$ m bewirkt, dass sich infolge des Feldmomentes eine geringe Höhe der Betondruckzone x einstellt. Sie liegt vollständig im Bereich der Platte;

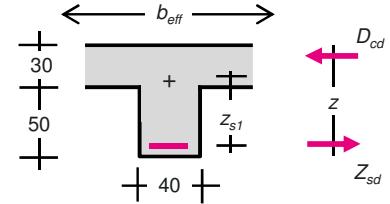


Bild 7.2: Bewehrungskonstruktion: Querschnitt

entsprechend vergrößert sich der Hebelarm der inneren Kräfte Z_{PlaBa} des Plattenbalkens. Man stellt eine Abweichung von 9 % fest:

$$\begin{aligned}\mu_{Eds} &= \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,822}{2,90 \cdot 0,75^2 \cdot 14,2} = 0,035 \\ \Rightarrow \xi &= 0,061 \quad x = 0,061 \cdot d = 4,5 \text{ cm} \\ \Rightarrow \zeta &= 0,978 \quad z_{PlaBa} = 0,978 \cdot d = 73,4 \text{ cm}\end{aligned}$$

Die Längsbewehrung wird entlang des Unterzuges gestaffelt. An jedem endenden Bewehrungsstab muss seine Zugkraft in den umgebenden Beton übertragen werden. Dafür ist die Länge $l_{b,net}$ erforderlich, die sich aus dem Grundmaß der Verankerungslänge l_b errechnet (vgl. Gl. (6.4) und Abschnitt 3.4.4).

Aufgrund der Querschnittshöhe ist für die obenliegende Bewehrung eine *mäßige Verbundbedingung (VB II)* anzusetzen; für die untenliegenden Bewehrung gilt die *gute Verbundbedingung (VB I)*. Für die in Frage kommenden Stabdurchmesser und Betongüten sind in der Tabelle 7.1 die l_b -Werte vergleichend zusammengestellt. Nachfolgend wird für die Bewehrungskonstruktion von einem Stabdurchmesser $\varnothing 20$ und einer Betongüte C 30/37 ausgegangen.

Tabelle 7.1: Vergleichswerte zum Grundmaß der Verankerungslänge l_b

	Ø16	Ø20	Ø25
C 20/25: VB I	75	94	117
	107	134	167
C 25/30: VB I	65	81	101
	92	115	144
C 30/37: VB I	57	71	89
	82	102	128

Die von der Bewehrung aufzunehmenden (Biege-)Zugkräfte

Die Auswertung entlang des 2-Feld-Unterzuges mit Kragarm erfolgt in Meterabschnitten und ist in der Tabelle 7.2 aufbereitet. Die aufzunehmenden Zugkräfte Z_{sd} ergeben sich nach Gl. (7.1) aus der im Bild 2.21 dargestellten Momentengrenzlinie. Positive Werte kennzeichnen untenliegende Bewehrung – negative Werte entsprechend obenliegende Bewehrung. Am Anfang und Ende des Balkens gilt $M_{Eds} = 0$, sodass hier rechnerisch keine Biegezugbewehrung erforderlich ist.

Tabelle 7.2: 2-Feld-Unterzug mit Kragarm: (Biege-)Zugkräfte und erforderliche Längsbewehrung für den GZT

$x[m] \longrightarrow$	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0
max M_{Eds}	-34	-124	260	585	775	821	745	541	185	-145	-408	-161	50	142	135
min M_{Eds}	-72	-263	1	169	274	309	283	190	29	-342	-874	-547	-274	-110	-23
$z [cm]$	67,5	67,5	67,5	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	67,5	67,5	67,5	67,6	67,5	67,5
A_s	$Z_{sd} = M_{Eds}/z \quad \text{erf } A_s = Z_{sd}/f_{yd} \quad f_{yd} = 43,5 \text{ kN/cm}^2 \quad \varnothing 20: A_s = 3,14 \text{ cm}^2$														
$Z_{sd}(\max M)$	-50	-184	354	798	1057	1119	1016	738	252	-215	-604	-239	74	210	200
$A_s [\text{cm}^2]$	1,2	4,2	8,1	18,3	24,3	25,7	23,3	17,0	5,8	4,9	13,9	5,5	1,7	4,8	4,6
$n \varnothing 20$	-0,4	-1,3	2,6	5,8	7,7	8,2	7,4	5,4	1,8	-1,6	-4,4	-1,7	0,5	1,5	1,5
$Z_{sd}(\min M)$	-107	-390	1	230	374	421	386	259	40	-507	-1295	-810	-406	-163	-34
$A_s [\text{cm}^2]$	2,5	9,0	0,0	5,3	8,6	9,7	8,9	6,0	0,9	11,6	29,8	18,6	9,3	3,7	0,8
$n \varnothing 20$	-0,8	-2,9	0,0	1,7	2,7	3,1	2,8	1,9	0,3	-3,7	-9,5	-5,9	-3,0	-1,2	-0,2

Zugkraftdeckung 2. Schritt: Im unteren Teil des Bildes wird ein Diagramm mit den tabellarisch ermittelten Zugkräften gezeichnet ($Z_{sd}(\min M_{Eds})$, $Z_{sd}(\max M_{Eds})$). Die einzelnen Punkte werden näherungsweise linear verbunden.

Der zur Aufnahme der Biegezugkräfte erforderliche Betonstahlquerschnitt A_s errechnet sich über den Bemessungswert der Streckgrenze f_{yd} . Der Stabdurchmesser der Längsbewehrung ist zu wählen. Im vorliegenden Beispiel soll ein Ø20 verwendet werden. In der Tabelle 7.3 sind in Abhängigkeit zur Stabanzahl die aufnehmbaren Zugkräfte Z_{sd} [kN] zusammengestellt.

Zugkraftdeckung 3. Schritt: Im Diagramm werden die von der gewählten Bewehrung aufnehmbaren Zugkräfte Z_{sd} als horizontale Linien eingetragen. Sofort wird erkennbar, wie viele Eisen an welchen Stellen des Unterzuges erforderlich sind.

Tabelle 7.3: Aufnehmbare Zugkräfte in der Längsbewehrung

Ø20	2 Ø20	3 Ø20	4 Ø20
Z_{sd}	273	410	547
n Ø20	6 Ø20	8 Ø20	10 Ø20
Z_{sd}	820	1093	1367

Das Versatzmaß

Bei der Konstruktion der Längsbewehrung ist zu beachten, dass neben den Schnittgrößen M_{Ed} und N_{Ed} auch die Querkraft V_{Ed} den Stahlbetonquerschnitt belastet. Zur Abschätzung dieses Einflusses wird die **Fachwerkanalogie** herangezogen.

In dem Bild 7.3 sind die Verhältnisse am Balken dargestellt. Als Querkraftbewehrung sind senkrechte Bügel A_{sw} eingebaut, die eine Zugkraft Z_{sw} aufnehmen. Bei jeder Schnittführung wird neben dem Kräftepaar D_{cd}, Z_{sd} auch die geneigte Betondruckstrebe D_{cw} freigeschnitten. Sie ist für die Aufnahme der Querkraft zuständig und ist mit dem Winkel Θ geneigt. Ihre Horizontalkomponente muss von der Zugbewehrung bis zum untenliegenden Knoten aufgenommen werden. Geometrisch ergibt sich damit ein **Versatzmaß a_1** . Es errechnet sich zu:

$$a_1 = z/2 \cdot (\cot \Theta - \cot \alpha) \geq 0 \quad (7.1)$$

α Neigung der Bügel A_{sw}

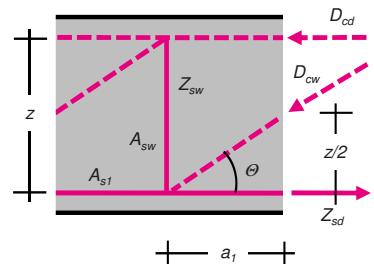


Bild 7.3: Plausibilisierung des Versatzmaßes a_1

Im Beispiel ergibt sich bei Verwendung senkrechter Bügel ($\alpha = 90^\circ$) mit einer Druckstrebeneigung $\cot \theta = 1,2$ (reine Biegung):

$$a_1 = 0,90 \cdot 0,75/2 \cdot (1,2 - 0) = 0,41 \text{ m}$$

auf sicherer Seite liegend gewählt: $a_1 = 0,50 \text{ m}$ (7.2)

Zugkraftdeckung 4. Schritt: Die Linien $Z_{sd}(\min M_{Eds})$ und $Z_{sd}(\max M_{Eds})$ werden um a_1 an allen Extremwerten nach außen versetzt. Es ergibt sich die **Zugkraftdeckungslinie**.

Die Staffelung der Längsbewehrung

Zugkraftdeckung 5. Schritt: Die erforderliche Länge der Bewehrungsseisen wird ermittelt, in dem an den Kreuzungspunkten *Zugkraftdeckungslinie/aufnehmbare Zugkraft* eine Treppenfunktion konstruiert und die erforderliche Verankerungslänge $l_{b,net}$ ergänzt wird.

Anmerkung: Mit den unten eingebauten durchlaufenden 2 Ø20 wird auch die konstruktive Forderung, wonach bei Durchlaufrägern mindestens 1/4 der Feldbewehrung über die Auflager zu führen ist, erfüllt.

Der Transport und Einbau langer Bewehrungsstäbe kann insbesondere bei Umbaumaßnahmen auf engen Baustellen problematisch werden.

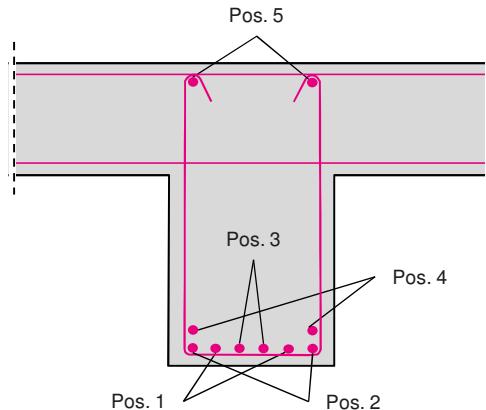
Im unteren Teil des Bildes 7.5 sind mit breiten farbigen Linien die erforderlichen Längen der Bewehrungseisen gekennzeichnet.

Zur Befestigung der Bügelbewehrung werden konstruktiv auf der gesamten Länge oben und unten je 2 Ø20 eingebaut (z.B. Pos. 5 und Pos. 2). Die mindestens aufnehmbare Zugkraft beträgt somit $Z_{sd} = 273 \text{ kN}$.

Für das Moment im Feld 1 wird eine geringfügige Überlastung toleriert.

Die Längsbewehrung kann jetzt im oberen Teil des Bildes angegeben werden. Die im Querschnitt oben eingebauten Bewehrungs-Positionen werden über dem Querschnitt in ihrer Länge dargestellt; für die unten eingebaute Bewehrung wird entsprechend verfahren. Es ist darauf zu achten, dass die üblichen Lieferlängen der Betonstähle nicht überschritten werden.

Feldquerschnitt: $x = 6,50 \text{ m}$



Stützquerschnitt: $x = 11,00 \text{ m}$

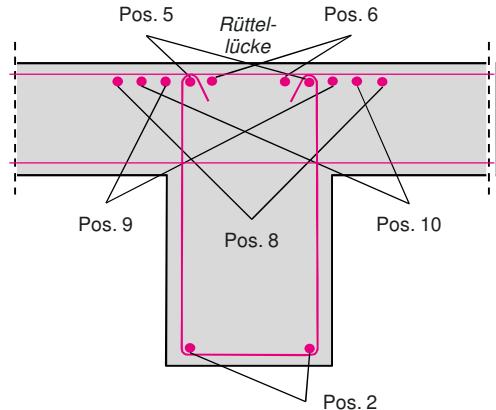


Bild 7.4: 2-Feld-Unterzug mit Kragarm: Längsbewehrung im Feld- und Stützquerschnitt

Aus dem Bild 7.5 können jetzt an jeder Stelle des Unterzuges Schnitte entwickelt werden, in die die Bewehrungs-Positionen einzutragen sind. Der Feldquerschnitt bei $x = 6,50 \text{ m}$ und der Stützquerschnitt bei $x = 11,00 \text{ m}$ sind in dem Bild 7.4 dargestellt.

Für die Aufnahme des maximalen Feldmomentes wird eine 2-lagige Bewehrungsführung vorgesehen (Pos. 4), obwohl in dem 40 cm breiten

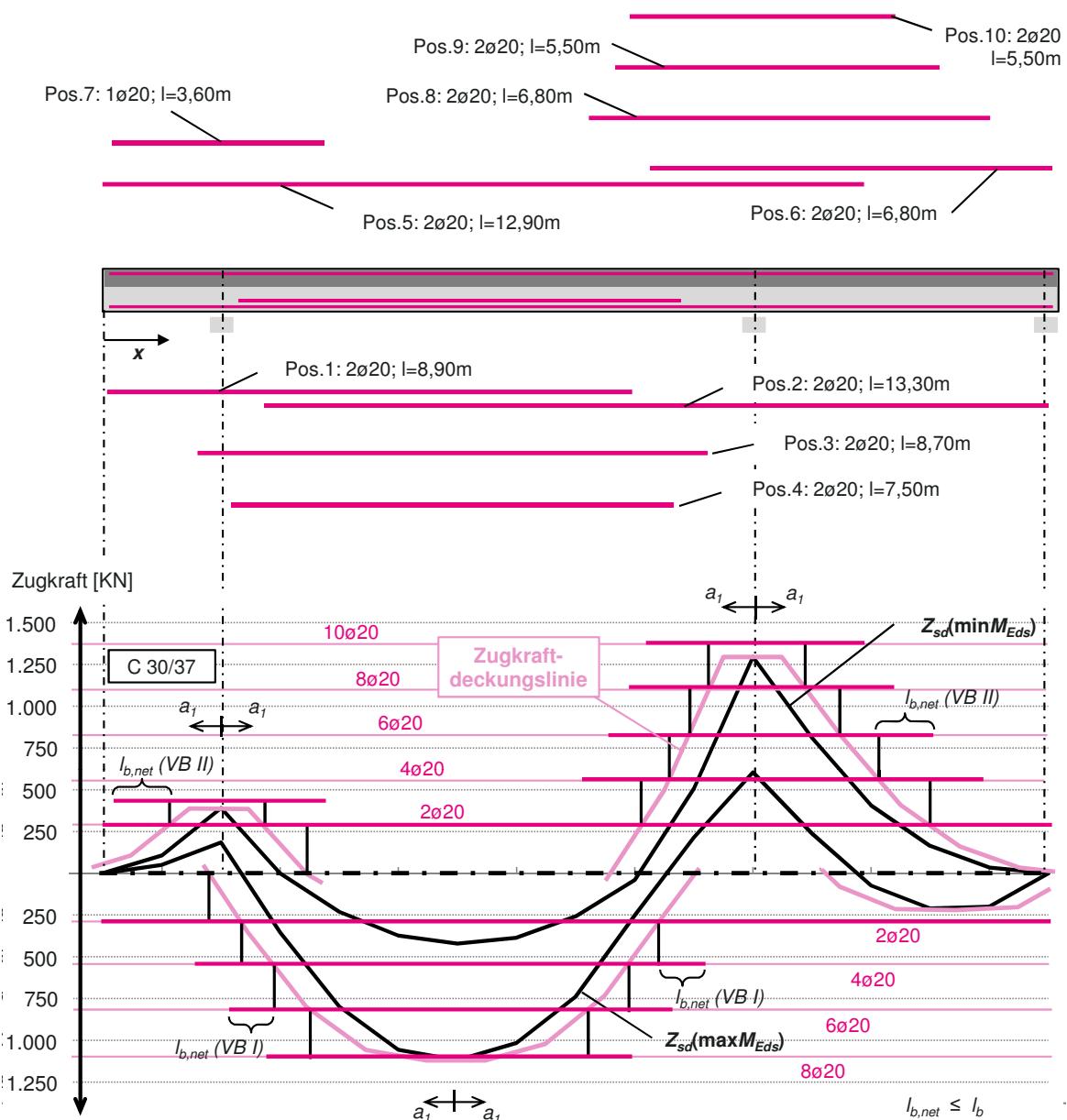


Bild 7.5: 2-Feld-Unterzug mit Kragarm: Ermittlung der Längsbewehrung mit der Zugkraftdeckungslinie (Zur Länge der Pos. 8-10 siehe Textanmerkung)

Die Zugbewehrung darf in der Platte bis zu einer Breite von
 $b^* \leq (b_{eff} - b)/2 = 41 \text{ cm}$
angeordnet werden.

Steg des Plattenbalkens ein einlagiger Einbau der 8 Stäbe Ø20 möglich ist (vgl. Tabelle 3.6). Die größeren Stababstände erleichtern den Einbau der Bewehrung und die Verdichtung des Betons auf der Baustelle.

Im Stützquerschnitt werden links und rechts je 3 Ø20 der Längsbewehrung in die Platte ausgelagert, um für die einfachere Verdichtung des Betons eine Rüttellücke zu erhalten.

Die in der Platte oben und unten liegende Bewehrung ist ebenfalls angegedeutet.

Anmerkung: Zugbewehrung, die außerhalb des Steges in der Platte angeordnet wird, ist mit einem vergrößerten Versatzmaß a_1 einzubauen. So liegt im Bild 7.4 die Pos. 8 in etwa $3 \cdot (2 + 3) = 15 \text{ cm}$ außerhalb des Steges. Das Versatzmaß ist entsprechend anzupassen, wodurch sich die Stablänge um $2 \cdot 15 = 30 \text{ cm}$ auf 7,10 m erhöht. Entsprechendes gilt für Pos. 9 und Pos. 10. Der Übersichtlichkeit halber sind diese Ergänzungen nicht in dem Bild 7.5 aufgenommen.

Zugkraftverankerung am Endauflager

Der theoretische Hintergrund zur **Zugkraftverankerung** am Endauflager C ist im Abschnitt 4.2.3 behandelt. Die zu verankernde Kraft F_{sd} ergibt sich nach Gl. (4.50):

$$\begin{aligned} F_{sd} &= \frac{V_{Ed}}{2} \cdot \cot \Theta + N_{Ed} \geq \frac{V_{Ed}}{2} \\ &= 203/2 \cdot 1,2 = 122 \text{ kN} \end{aligned}$$

F_{sd} ist über dem Auflager zu verankern. Die Verankerungslänge $l_{b,dir}$ ergibt sich nach Gl. (4.51):

$$\begin{aligned} l_{b,dir} &\geq \frac{2}{3} \cdot l_{b,net} = \frac{2}{3} \cdot \frac{F_{sd}}{A_{s1} \cdot f_{yd}} \cdot l_b \geq 6 \cdot d_s \\ &\geq \frac{2}{3} \cdot \frac{122}{2 \cdot 3,14 \cdot 43,5} \cdot 71 = 32 \text{ cm} \end{aligned}$$

Bei einer Auflagerbreite von 40 cm ist auch unter Beachtung der Betonüberdeckung die erforderliche Verankerungslänge $l_{b,dir}$ gegeben; der Nachweis ist erfüllt.

7.1.3 Bügelbewehrung mit Querkraftdeckungslinie

Querkraftversagen tritt auf, wenn der Beton oder die Bügelbewehrung den Beanspruchungen aus der Querkraft nicht standhalten kann. Die Bügelbewehrung wird mit dem Verfahren der **Querkraftdeckung** konstruiert. Es ist ein graphisches Verfahren und ist in dem Bild 7.7 dargestellt. Das Vorgehen wird schrittweise erläutert.

Querkraftdeckung 1. Schritt: Im oberen Teil des Bildes wird das statische System mit den wirklichen Abmessungen von Querschnitt und Auflagerbreiten skizziert.

Die erforderliche Betongüte

Die erforderliche Betongüte errechnet sich aus Gl. (4.43). Mit den einzusetzenden Parametern werden nur geringe Anforderungen an die Betonfestigkeit gestellt. Bereits die Betongüte C 12/15 ($f_{cd} = 6,8 \text{ MN/m}^2$) ist bei großen Reserven ausreichend. Es ergibt sich für senkrechte Bügel:

$$\begin{aligned} \text{erf } f_{cd} &\geq V_{Ed} \cdot \frac{\cot \Theta + \tan \Theta}{b_w \cdot z \cdot \alpha_c} \\ &\geq 0,677 \cdot \frac{1,2 + 1/1,2}{0,40 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot 0,75} = 1,74 \text{ MN/m}^2 \end{aligned}$$

Der Ausnutzungsgrad der Betonfestigkeit ist somit in jedem Fall weniger als 30 %. Das ist eine Randbedingung für die Festlegung der Bügelabstände (vgl. Tabelle 6.2).

Die Bemessungsquerkraft und die Staffelung der Bügelbewehrung

Die Querkraftbewehrung ist so anzuordnen, dass an jeder Stelle des Unterzuges die Bemessungsquerkraft abgedeckt wird.

Querkraftdeckung 2. Schritt: Im unteren Teil des Bildes wird ein Diagramm mit den Bemessungsquerkräften dargestellt. An den Auflagern ist die Querkraft im Abstand d vom Auflagerrand maßgebend. Die entsprechenden Zahlenwerte sind dem Bild 2.21 entnommen worden.

Die wirtschaftlichste Bügelbewehrung ist diejenige, die einfach und schnell einzubauen ist. Unterschiedliche Bügeldurchmesser sind nach Möglichkeit zu vermeiden. In den am wenigsten belasteten Bereichen des Unterzuges werden die Bügel mit maximalem Längsabstand s_w eingebaut. Diese Grundbewehrung wird entlang des gesamten Unterzuges verwendet und wird wie folgt gewählt:

Bügel zweiseitig $\varnothing 10$ $s_w = 30 \text{ cm}$ $A_{sw}/s_w = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$

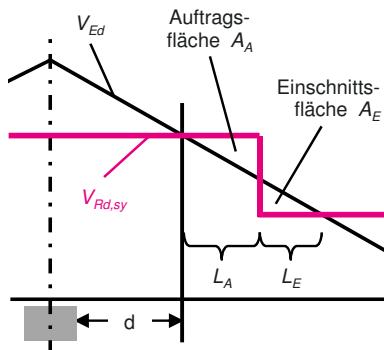
Entlang des gesamten Unterzuges kann damit bereits die folgende Querkraft $V_{Rd,sy}$ aufgenommen werden (vgl. Gl. (4.44))

$$\begin{aligned} V_{Rd,sy} &= \frac{A_{sw}}{s_w} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cot \Theta = 5,24 \cdot 43,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot 1,2 \\ &= 185 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabelle 7.4: Bügel $\varnothing 10$, zweiseitig:
 $V_{Rd,sy}$

s_w [cm]	A_{sw}/s_w [cm 2 /m]	$V_{Rd,sy}$ [kN]
30	5,24	185
15	10,47	367
10	15,71	554
7,5	20,94	738

Dort, wo die Grundbewehrung nicht ausreichend ist, werden zwischen den bereits im Abstand von 30 cm verlegten Bügeln weitere Bügel verlegt. Die dann jeweils aufnehmbaren Querkräfte $V_{Rd,sy}$ sind in der Tabelle 7.4 zusammengestellt.



Querkraftdeckung 3. Schritt: Im unteren Teil des Bildes wird Querkrafttragfähigkeit für die gewählten Bügelbewehrungen eingetragen. Sofort wird erkennbar, in welchen Bereichen die Grundbewehrung ausreichend ist. Über den Auflagern A und B sind die Bügel entsprechend dichter zu verlegen. Im oberen Teil des Bildes wird die Verteilung der Bügel entwickelt.

An den Stellen, wo sich der Bügelabstand ändert, ergibt sich ein Sprung in der aufnehmbaren Querkraft $V_{RD,sy}$. Die Querkraftlinie V_{Ed} kann entsprechend *Bild 7.6* abgestuft werden. Dabei ist einzuhalten:

$$L_A \leq L_E \leq d/3 \quad A_E \leq A_A \quad (7.3)$$

Bild 7.6: Abstufung der Querkraftabdeckung

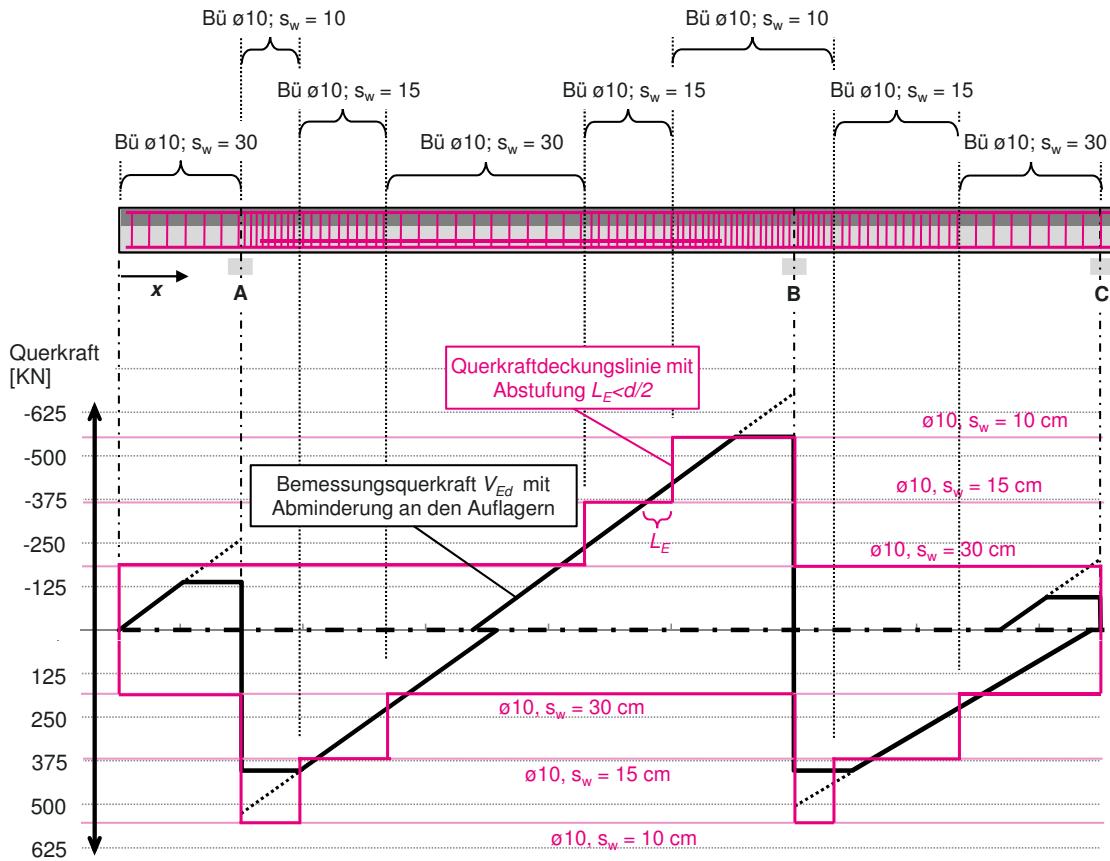


Bild 7.7: 2-Feld-Unterzug mit Kragarm: Ermittlung der Bügelbewehrung mit der Querkraftdeckungslinie

7.2 Durchlaufende, 2-achsig gespannte Platte

Vereinfachte Systembeschreibung

In dem Abschnitt 2.5 ist ein Stahlbetontragwerk gegeben und bearbeitet. Die Geschossdecken 2. OG und 3. OG sollen mit dem Verfahren der Zugkraftdeckung bewehrt werden.

Die Bemessungsmomente der Deckenplatten wurden mit unterschiedlichen Detailierungsgraden bestimmt. Zugrunde gelegt wird das Ergebnis einer Handrechnung nach Pieper-Martens für eine drillsteife Platte. Es ist in dem Bild 2.26 dargestellt. Nach der vereinfachten Momentendarstellung nach Czerny können die Feldmomente je Plattenfeld durch 2 Werte (m_{fx}, m_{fy}) beschrieben werden. In dem Bild 7.8 sind diese rechteckigen Bereiche grau hinterlegt.

Über den innen liegenden Stützungen ist die Bemessung für ein Stützmoment (m_{sx} bzw. m_{sy}) durchzuführen.

Das statische System ist symmetrisch und besteht aus 4 Plattenfeldern. Die Plattendicke ist $h = 25$ cm bei einer angenommenen Überdeckung von $d_1 = 2,5$ cm. Die Lagerung der Ränder der Plattenfelder ist überall starr; die Auflagerbreite wird mit 40 cm angenommen (Unterzugbreite).

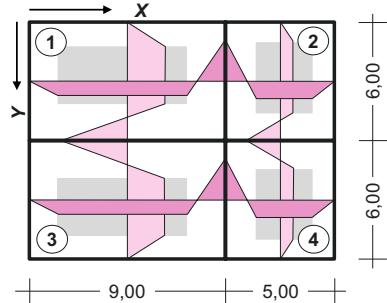


Bild 7.8: Durchlaufende, 2-achsig gespannte Deckenplatte: Qualitativer Momentenverlauf

$$d = 25 - 2,5 = 22,5 \text{ cm}$$

Die erforderliche Betongüte, der Hebelarm der inneren Kräfte z und das Grundmaß der Verankerungslänge l_b

Die Deckenplatte soll ohne Querkraftbewehrung konstruiert werden. Die maßgebende Bemessungsquerkraft V_{Ed} ergibt sich nach Bild 2.27 über den Innenaufgängen und ist im Abstand d vom Auflagerrand zu bestimmen.

$$V_{Ed} = \left(\frac{7,61}{2} - 0,425 \right) \cdot (1,35 \cdot 7,57 + 1,50 \cdot 4,00) = 54,8 \text{ kN}$$

Die Querkrafttragfähigkeit des nur längsbewehrten Stahlbetonquerschnittes $V_{Rd,ct}$ wird über die Gl. (4.35) nachgewiesen. Mit den vorliegenden Systemparametern ergibt sich:

$$\begin{aligned} V_{Ed} &\leq V_{Rd,ct} = 0,1 \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d \\ V_{Ed} &\leq V_{Rd,ct} \leq 0,1 \cdot (1 + \sqrt{\frac{200}{225}}) \cdot (\frac{100 \cdot 1,88}{22,5 \cdot 100} \cdot 25)^{1/3} \cdot 1,00 \cdot 22,5 \\ 0,0548 &\leq 0,0559 \quad \text{erfüllt} \end{aligned}$$

Für die Biegetragfähigkeit der Platte soll $\xi \leq 0,45$ eingehalten werden. Das minimale Stützmoment wird über der 40 cm breiten Stützung nach Bild 2.13 ausgerundet. Der Nachweis ist am 1,00 m breiten Ersatzbalken zu führen, dabei ergibt sich außerdem rechnerisch der minimale

Annahmen:

Grundbewehrung Q 188
Betongüte C 25/30

Hebelarm der inneren Kräfte $z = \zeta \cdot d$:

$$\begin{aligned} M_{Eds} &= 60,8 - (54,8 + 54,8) \cdot 0,40/8 = 55,3 \text{ kNm/m} \\ \mu_{Eds} &= \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,0553}{1,00 \cdot 0,225^2 \cdot 14,2} \\ &= 0,077 \longrightarrow \xi = 0,10 \text{ und } \zeta = 0,96 \end{aligned}$$

Das Grundmaß der Verankerungslänge l_b ergibt sich aus den Stabdurchmessern der Betonstahlmatten (vgl. Tabelle 3.7) und der Betongüte. Für die in Frage kommenden Matten und Betongüten sind die Werte in der Tabelle 7.5 zusammengestellt.

Wenn in den Randbereichen der Matten Querstäbe angeschweißt sind (bei Lagermatten gegeben), so errechnet sich die erforderliche Verankerungslänge zu $l_{b,net} = 0,7 \cdot l_b$. Bei einer Plattendicke von $h = 25 \text{ cm}$ gilt für die oben- und untenliegende Bewehrung die gute Verbundbedingung (VB I).

Tabelle 7.5: Grundmaß der Verankerungslänge l_b : Vergleichswerte

	Ø 6	Ø 7	Ø 8
C 20/25: VB I	28	33	37
	VB II	40	47
C 25/30: VB I	24	26	32
	VB II	35	41
C 30/37: VB I	21	25	29
	VB II	31	36

Auf die Ausrundung der Stützmomente $m_{sx,1-2}$ und $m_{sx,2-4}$ wird verzichtet.

Die von den Betonstahlmatten aufzunehmenden (Biege-)Zugkräfte

Die Berechnung der aufzunehmenden Zugkräfte und der erforderlichen Bewehrung ist in der Tabelle 7.6 ausgeführt. In den Feldern ist als Grundbewehrung eine Betonstahlmatte Q 188 vorgesehen; sie wird örtlich durch eine 2. Lage verstärkt.

Die Stützmomente werden durch R-Matten abgedeckt. Als Grundbewehrung ist eine R 257 vorgesehen, die durch R 257 verstärkt wird.

Tabelle 7.6: 2-achsrig gespannte Durchlaufplatte: Zugkraftdeckung und Biegebewehrung

	Platte 1 = 3		Platte 2 = 4		Stützmomente			kNm/m
	m_{fx}	m_{fy}	m_{fx}	m_{fy}	$m_{sx,1-2}$	$m_{sy,1-3}$	$m_{s,2-4}$	
M_{Eds}	13,9	34,5	17,4	11,4	-41,2	-55,3	-31,0	
z	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	
$Z_{sd} = M_{Eds}/z \quad \text{erf}A_s = Z_{sd}/F_{yd} \quad f_{yd} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$								
Z_{sd}	65,0	161,2	81,3	55,1	-192,5	-256,0	-144,9	kNm/m
A_s	1,49	3,71	1,87	1,22	-4,43	-5,88	-3,33	cm^2/m
gewählt:	Q 188	Q 188	Q 188	Q 188	R 335	R 335	R 335	1. Lage
	—	R 188	—	—	R 257	R 257	—	2. Lage

Q-Matten tragen 2-achsrig; R-Matten tragen 1-achsrig und müssen entsprechend ihrer Tragrichtung eingebaut werden.

Die Konstruktion und Darstellung der Deckenbewehrung

Die Geschossdecken wurden so bemessen, dass eine Querkraftbewehrung statisch nicht erforderlich ist. Anders als bei Balken ist eine konstruktive Mindestquerkraftbewehrung bei Platten nicht erforderlich. So mit beschränkt sich die Darstellung auf die Biegebewehrung.

Die Konstruktion der Biegebewehrung erfolgt mit dem Verfahren der Zugkraftdeckung, das im *Abschnitt 7.1.2* schrittweise erläutert wurde. Die Vorgehensweise ist identisch, allerdings gilt für das **Versatzmaß bei Platten** ohne Querkraftbewehrung:

$$a_1 = 1,0 \cdot d = 22,5 \text{ cm} \quad (7.4)$$

Die *Bilder 7.11* und *7.12* sind Draufsichten der Geschossdecke, in denen die untenliegende bzw. die obenliegende Bewehrung eingezeichnet sind. Es handelt es sich um **Bewehrungsskizzen**, die dem statisch/konstruktiven Verständnis dienen. Die Bewehrung erfolgt mit Betonstahlmatten, die positionsweise entsprechend dem *Bild 7.10* angegeben werden.

- Eine Position deckt eine Fläche ab, die als Rechteck mit Diagonale gekennzeichnet ist. Die Diagonale ist mit der Positionsnummer (im Quadrat) und dem Mattentyp beschriftet.
- Das Kürzel n^* bedeutet, dass die Fläche dieser Position aus n Matten gleichen Typs zusammengesetzt wird. Einzelne Matten mit ihren gegenseitigen Übergreifungen sind nicht dargestellt.

Von den Skizzen ausgehend können Bewehrungspläne zur Bauausführung entwickelt werden. Für die konkrete Umsetzung sind jedoch ergänzende Angaben konstruktiver und herstellungstechnischer Art notwendig, die über den inhaltlichen Rahmen dieses Buches hinausgehen. Auf entsprechendes Schrifttum (z.B. [2]) wird verwiesen.

Betrachtet wird zunächst das *Bild 7.11*, in dem die untenliegende Feldbewehrung mit 3 Positionen dargestellt ist:

Pos. 1: Als Grundbewehrung werden Matten Q 188 über die gesamte Deckenfläche eingebaut. An den Endauflagern überschreiten sie die rechnerische Auflagerlinie; die seitliche Betonüberdeckung ist einzuhalten!

Pos. 2: In den großen Deckenfeldern 1 und 3 erfolgt eine verstärkte Lastabtragung über die kurze Seite. Eine 1-achsige Zulagebewehrung ist erforderlich. Eingebaut werden Matten R 188. Die Fläche berücksichtigt den Bereich der maßgeblichen Momentenbelastung zzgl. Versatzmaß a_1 und der erforderlichen Verankerungslänge $l_{b,\text{net}}$ (vgl. *Bild 7.9*). Mindestens 50 % der maximalen Feldbewehrung sind an den Auflagern zu verankern. Bei 2 unterschiedlichen Matten ist es immer die stärkere.

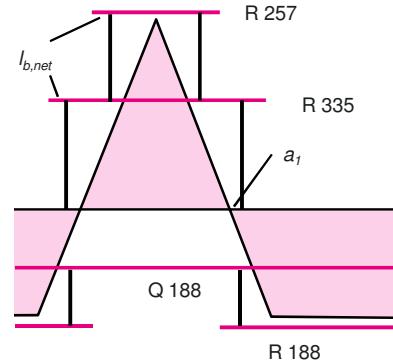


Bild 7.9: Darstellung der Zugkraftdeckung bei Platten

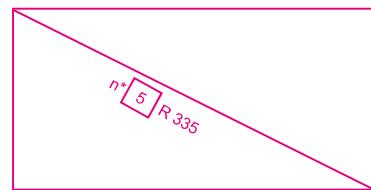


Bild 7.10: Bezeichnungen in den Bewehrungsskizzen

Pos. 3: In einem **drillsteif gelagerten** Plattsystem ist in den Ecken zusätzliche Bewehrung erforderlich. Gemäß *Bild 6.7* ist die Position 3 ein Teil der Drillbewehrung. Sie deckt ein Quadrat der Seitenlänge $l_{min}/3 = 2,00 \text{ m}$ ab. Es liegen 2 Matten Q 188 übereinander, was der maximalen Feldbewehrung entspricht.

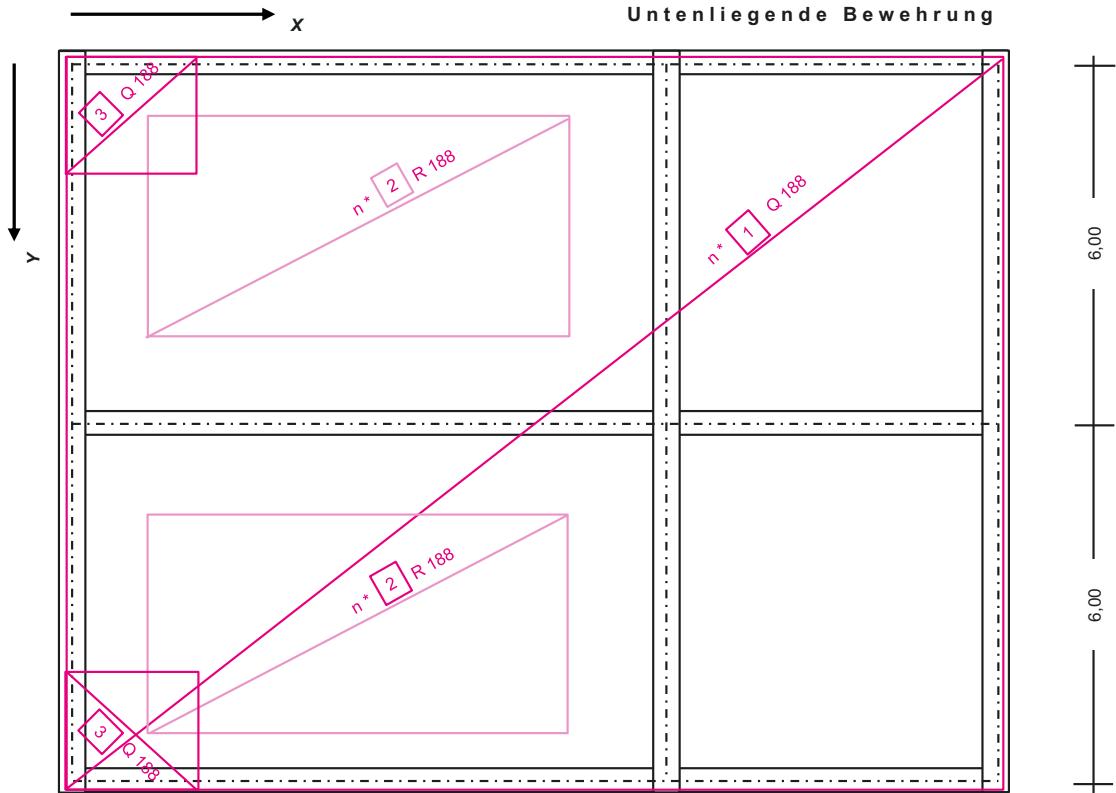


Bild 7.11: Durchlaufende, 2-achsig gespannte Deckenplatte: Untenliegende Bewehrung

Betrachtet wird jetzt das *Bild 7.12*, in dem die obenliegende Stützbewehrung mit 6 Positionen (Nummern 3-8) dargestellt ist:

Pos. 3: Drillbewehrung in den Ecken der kleinen Plattenfelder 2 und 4. Die Matte Q 188 entspricht der eingebauten Feldbewehrung. Um Verwechslungen auf der Baustelle zu vermeiden, wird die gleiche Fläche ($2,00/2,00 \text{ m}$) wie bei der untenliegenden Bewehrung abgedeckt.

Pos. 4 und 5: Die 1-achsige Biegebeanspruchung über den innenliegenden Stützungen wird durch R-Matten abgedeckt. Als Grundbewehrung ist nach *Tabelle 7.6* eine Matte R 335 vorgesehen. Unter der Position 4 kreuzen sich zwei Auflagerlinien, sodass hier 2-achsig wirkende Stützmomente mit einer Matte Q 335 aufgenommen werden.

Pos. 6: Matte R 257 als Zulagebewehrung zur Aufnahme der großen Stützmomente.

Pos. 7: Drillbewehrung in den Ecken der Plattenfelder 1 und 3. Die Bewehrungsmaße müssen mindestens der statisch erforderlichen Feldbewehrung entsprechen. Das ist mit einer Matte Q 424 gegeben. Alternativ können auch 2 Matten Q 188 übereinander gelegt werden.

Pos. 8: Nach Bild 6.7 ist an den Plattenrändern eine obenliegende konstruktive Bewehrung einzulegen. Mit ihr werden *ungewollte Einspannungen* konstruktiv berücksichtigt, die in der statischen Berechnung nicht erfasst werden. Die erforderliche Bewehrungsmaße ist 25 % der Feldbewehrung und wird mit einer Länge von 25 % der minimalen Stützweite des Plattenfeldes eingebaut. Hier werden i.d.R. Schnittreste von Matten verwendet. Meistens reichen die schwächsten Mattenquerschnitte R 188 bzw. Q 188 aus.

Die Einspannwirkung ergibt sich z.B. aus der Verdrehung (=Torsion) der Unterzüge.

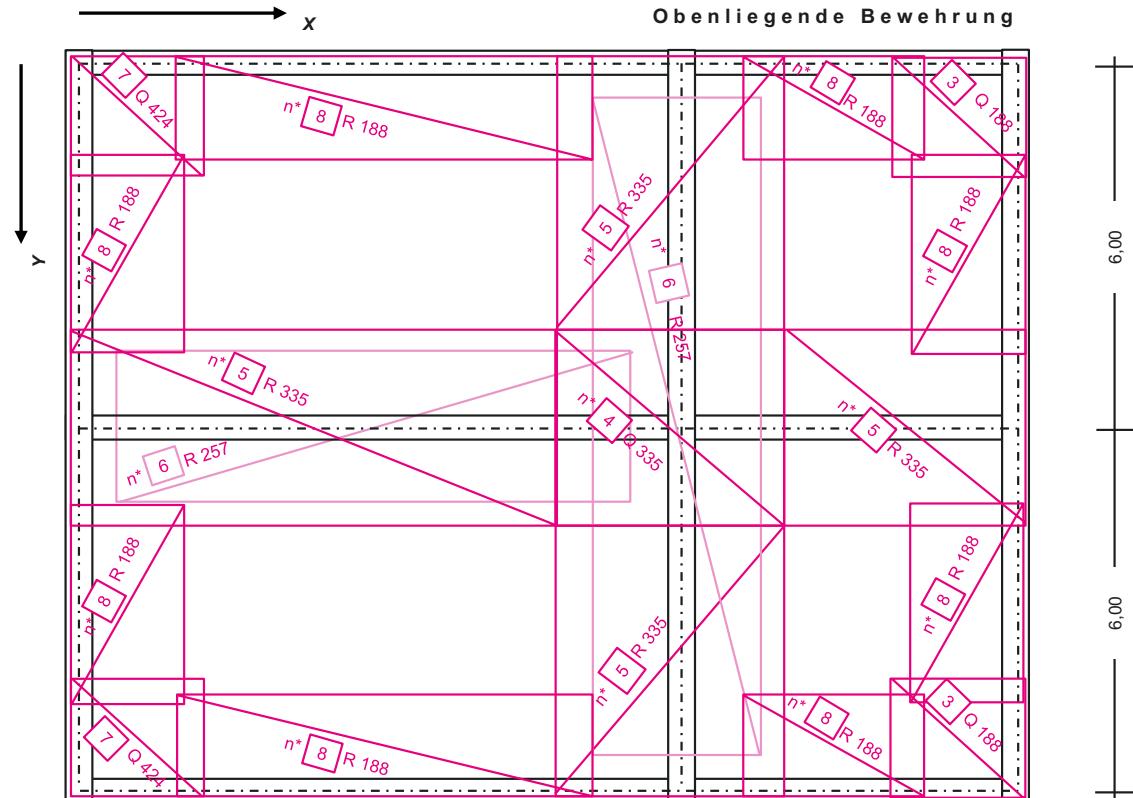


Bild 7.12: Durchlaufende, 2-achsrig gespannte Deckenplatte: Obenliegende Bewehrung