

Inhalt

1 WAS IST DAS?	3
1.1 Definition	3
1.2 DIN 1045 - 23	6
DIN 1045 - 17.2	7
DIN 1045 - 18.7.4	11
1.3 DAfSTB Heft 240 – Abschnitt 4	13
2 SPANNUNGSVERTEILUNG IN WANDARTIGEN TRÄGERN	28
2.1 Spannungen in einfeldrigen Wandträgern	28
2.1.1 Gleichmäßig verteilte Lasten	28
2.1.2 Einzellasten	32
2.2 Spannungen in mehrfeldrigen Wandträgern	36
2.2.1 Gleichlast	36
2.2.2 Einzellasten	40
2.2.3 Einfluss von Auflagerverstärkungen	41
3 BERECHNUNGS METHODEN	43
3.1 Finite Element Methode	43
3.2 Stabwerkmodelle	45
3.3 Vertafelte Lösungen	50
3.3.1 Ermittlung der Längszugkräfte	50
3.3.2 Besonderheiten der Bewehrungsführung	56
4 BEMESSUNG WANDARTIGER TRÄGER	59
4.1 Bemessungsgrundlagen	59
4.1.1 Nachweis der Hauptdruckspannungen	59
4.1.2 Abdeckung der Hauptzugspannungen	61
4.1.3 Aussparungen	64
4.2 Einfeldrige wandartige Träger	65
4.3 Mehrfeldrige wandartige Träger	67
4.4 Wandartige Träger mit unten angehängter Last	70
4.5 Mittelbar gestützte wandartige Träger	73

5 BEISPIELE	78
5.1 Beispiel 1 - Zweifeldträger mit oben angreifender Streckenlast.....	78
5.2 Beispiel 2 - Zweifeldträger mit oben angreifender Streckenlast.....	86
5.3 Beispiel 3 - Einfeldträger mit Kragarm, oben angreifender Streckenlast und Einzellast unter Kragarm.....	91
5.4 Beispiel 4 - Durchlaufträger (Fünffeldträger) mit oben angreifender Streckenlast und Einzellast in Feldmitte.....	99
5.5 Beispiel 5 - Mittelbar gelagerter Zweifeldträger mit oben angreifender Streckenlast.....	111
5.6 Beispiel 6 Kellerwand als Durchlaufträger (Fünffeldträger) mit oben angreifenden Einzellasten aus Stützen.....	119
6 ANHANG	127
6.1 Literaturverzeichnis.....	127
6.2 Formeln & Begriffe.....	129
6.2.1 Begriffe	129
6.2.2 Formeln.....	130
6.3 credits	131

1 Was ist das?

1.1 Definition

Wandartige Träger sind ebene Flächentragwerke, die wie Scheiben parallel zu ihrer Mittelfläche belastet werden, die aber, da sie wie Balken nahezu „punktförmig“ gelagert sind, überwiegend auf Biegung beansprucht werden. Angewandt werden sie z.B. bei folgenden Konstruktionen: Abfangträger für Geschossbauten, Silowände, Kellerwände unter Einzelstützen, Pfeilerscheiben mit Einzellasten.

Wandartige Träger liegen bei einem Abmessungsverhältnis $l/d < 2,0$ vor.

Nach DIN 1045, Abschnitte 17.1.2 und 23.3 wurden die in Bild 1.1.1 gezeigten Schlankheiten als Bereiche der wandartigen Träger vereinbart.

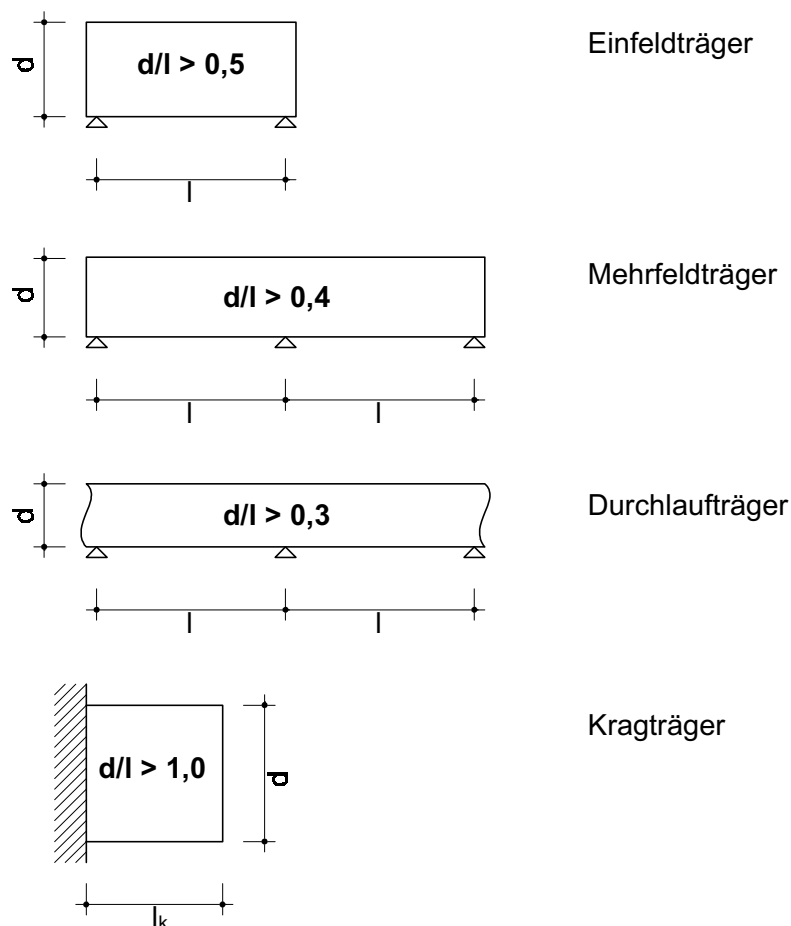


Bild 1.1.1: Grenزشlankheiten wandartiger Träger

Bei diesem Verhältnis weicht die Spannungsverteilung vom geradlinigen Verlauf nach der klassischen Biegetheorie (Bernoulli: Ebenbleiben der Querschnitte; Navier: geradliniger Spannungsverlauf) ab, die Grundlage der Bemessung nach dem üblichen Verfahren war (siehe Bild 1.1.2).

Die Querschnitte bleiben infolge der Schubverformungen nicht mehr eben und es entsteht eine krummlinige Spannungsverteilung. Ab etwa $l_{eff}/d = 2$ ist die Abweichung schon so groß, dass sie nicht mehr vernachlässigt werden kann.

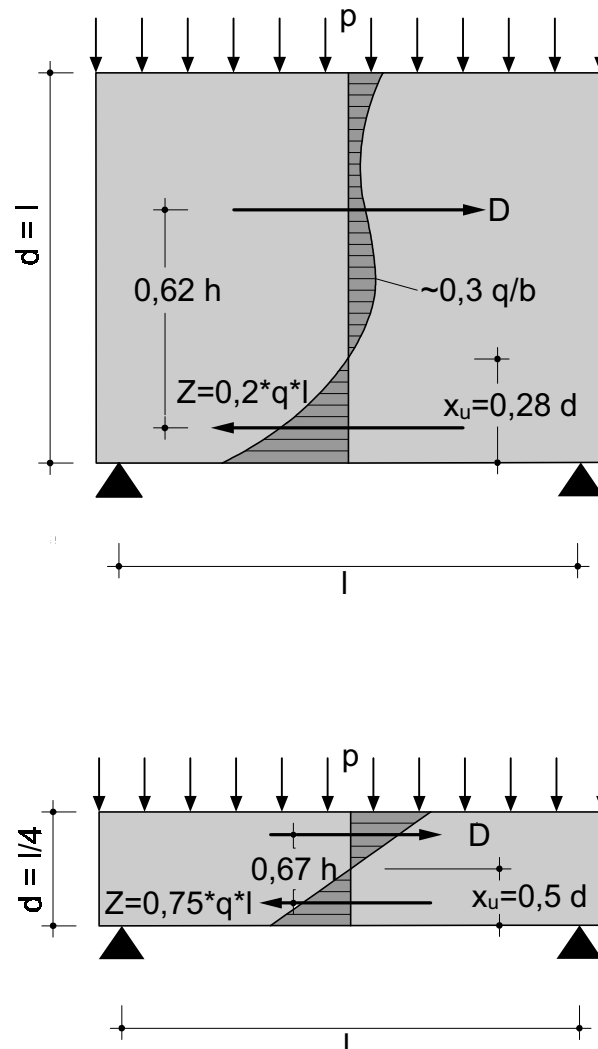


Bild 1.1.2: Verlauf der Spannung im Zustand I in Feldmitte bei einer Scheibe ($l/d = 1$) und bei einem Balken ($l/d = 4$).

Für praktische Zwecke genügt zur Bemessung von Scheiben aus Stahlbeton ein näherungsweise Kenntnis der Spannungen im Zustand I, insbesondere Richtung und Größe der Hauptspannungen. Für die Bemessung der Bewehrung genügen sogar Faustformeln und Regeln für ihre Verteilung, die aus umfangreichen Versuchen an Stahlbetonkörpern mit Belastung bis zum Bruch gewonnen wurden.

Die Schnittgrößen werden für wandartige Träger in gleicher Weise berechnet wie für andere Tragwerke. Bei statisch unbestimmt gelagerten Trägern ist zu beachten, dass schon sehr geringe lotrechte Verformungen (auch elastische!) der Lager die Stützkräfte infolge der großen Steifigkeit der Wandträger stark verändern können, so dass bei der Bemessung Zuschläge zu den errechneten Schnittgrößen zu empfehlen sind. Auch ist zu beachten, dass die Feldmomente größer, die Stützmomente kleiner werden als bei schlanken Balken konstanter Biegesteifigkeit.

Der Ort der Lastangriffes und die Art der Lagerung haben erheblichen Einfluss auf die Spannungen, so dass z.B. Last von oben, angehängte Last, unmittelbare oder mittelbare Lagerung usw. für die Bemessung und Bewehrungsführung unterschieden werden müssen.

1.2 DIN 1045 - 23

Wandartige Träger

Begriff

Wandartige Träger sind in Richtung Ihrer Mittelfläche belastete ebene Flächentragwerke, für die Voraussetzungen des Abschnitts 172.1 nicht mehr zutreffen, sie sind deshalb nach der Scheibentheorie zu behandeln, DAfStb-Heft 240 enthält entsprechende Angaben für einfache Fälle.

Bemessung

- (1) Der Sicherheitsabstand zwischen Gebrauchslast und Bruchlast ist ausreichend, wenn unter Gebrauchslast die Hauptdruckspannung im Beton den Wert $\beta_R/2,1$ und die Zugspannungen im Stahl den Wert $\beta_S/1,75$ nicht überschreiten (siehe Abschnitt 17.2).
- (2) Die Hauptzugspannungen sind voll durch Bewehrung aufzunehmen. Die Spannungsbegrenzung nach Abschnitt 17.5.3 gilt hier nicht.

Bauliche Durchbildung

- (1) Wandartige Träger müssen mindestens 10cm dick sein.
- (2) Bei der Bewehrungsführung ist zu beachten, dass durchlaufende wandartige Träger wegen ihrer großen Stetigkeit besonders empfindlich gegen ungleiche Stützensenkungen sind.
- (3) Die im Feld erforderliche Längsbewehrung soll nicht vor den Auflagern enden, ein Teil der Feldbewehrung darf jedoch aufgebogen werden. Auf die Verankerung der Bewehrung an den Endauflagern ist besonders zu achten (siehe Abschnitt 18.7.4).
- (4) Wandartige Träger müssen stets beidseitig eine waagerechte und lotrechte Bewehrung (Netzbewehrung) erhalten, die auch zur Abdeckung der Hauptzugspannungen nach Abschnitt 23.2 herangezogen werden darf. Ihr Gesamtquerschnitt je Netz und Bewehrungsrichtung darf $1,5 \text{ cm}^2/\text{mbzw. } 0,05\%$ des Betonquerschnitts nicht unterschreiten.
- (5) Die Maschenweite des Bewehrungsnetzes darf nicht größer als die doppelte Wanddicke und nicht größer als etwa 30cm sein.

DIN 1045 - 17.2

17.2 Bemessung für Biegung, Biegung mit Längskraft und Längskraft allein

17.2.1 Grundlagen, Ermittlung der Bruchschnittgrößen

- (1) Die folgenden Bestimmungen gelten für Tragwerke, mit Biegung, Biegung mit Längskraft allein, bei denen vorausgesetzt werden kann, dass sich die Dehnungen der einzelnen Fasern des Querschnitts wie ihre Abstände von der Nulllinie verhalten (siehe Abschnitt 17.1.2).
- (2) Der für die Bemessung nach Abschnitt 17.1.1 maßgebende Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung ist für Beton in Bild 11, für Betonstahl in Bild 12 dargestellt. Wie weit diese Spannungsdehnungslinien im einzelnen ausgenutzt werden dürfen, zeigen die Dehnungsdiagramme in Bild 13. Diese Bemessungsgrundlagen gelten für alle Querschnittsformen.
- (3) Zur Vereinfachung darf für die Bemessung auch die Spannungsdehnungslinie des Betons nach Abschnitt 16.3, Bild 10, oder das in DAfStb Heft 220 beschriebene Verfahren mit einer rechteckigen Spannungsverteilung verwendet werden.

Tabelle 12: Rechenwerte f_{Rd} der Betondruckfestigkeit in N/mm²

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Nennfestigkeit f_{WN} des Betons (siehe Tabelle 1)	5,0	10	15	25	35	45	55
2	Rechenwert f_{Rd}	3,5	7,0	10,5	17,5	23	27	30

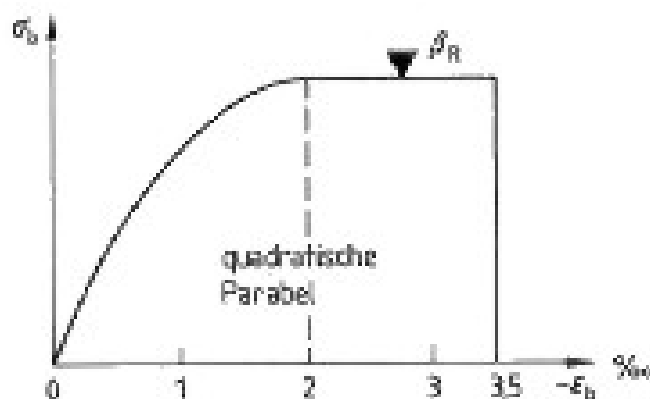


Bild 11: Rechenwerte für die Spannungsdehnungslinie des Betons (f_{Rd} siehe Tabelle 12)

- (4) Ein Mitwirken des Betons auf Zug darf nicht berücksichtigt werden.
- (5) Als Bewehrung dürfen im gleichen Querschnitt gleichzeitig alle in Tabelle 6 genannten Stahlsorten mit den dort angegebenen Festigkeitswerten und mit den zugeordneten Spannungsdehnungslinien nach Bild 12 in Rechnung gestellt werden.
- (6) Bei Bauteilen mit Nutzhöhe $h < 7\text{cm}$ sind für die Bemessung die Schnittgrößen (M,N) im Verhältnis $15/h + 8$ vergrößert in Rechnung zu stellen. Bei werkmäßig hergestellten flächentragwerkartigen Bauteilen (z.B. Platten und Wänden) für eingeschossige untergeordnete Bauten (z.B. freistehende Einzel- oder Reihengaragen) brauchen die Schnittgrößen nicht vergrößert zu werden.
- (7) Im DASTb- Heft 220 sind Hilfsmittel für die Bemessung angegeben, die von den vorstehenden Grundlagen ausgehen.

17.2.2 Sicherheitsbeiwerte

- (1) Bei Lastschnittgrößen betragen die Sicherheitsbeiwerte für Stahlbeton.
 $\gamma = 1,75$ bei Versagen des Querschnitts mit Vorankündigung,
 $\gamma = 2,10$ bei Versagen des Querschnitts ohne Vorankündigung.
- (2) Zwangsschnittgrößen brauchen nur mit einem Sicherheitswert $\gamma = 1,0$ in Rechnung gestellt zu werden.
- (3) Als Vorankündigung gilt die Rissbildung, welche von der Dehnung der Zugbewehrung ausgelöst wird. Mit Vorankündigung kann gerechnet werden, wenn die rechnerische Dehnung der Bewehrung nach Bild 13 $\epsilon_s \geq 3 \text{ ‰}$ ist, mit Bruch ohne Vorankündigung, wenn $\epsilon_s \leq 0 \text{ ‰}$ ist. Zwischen diesen beiden Grenzen ist der Sicherheitsbeiwert linear zu interpolieren (siehe Bild 13).

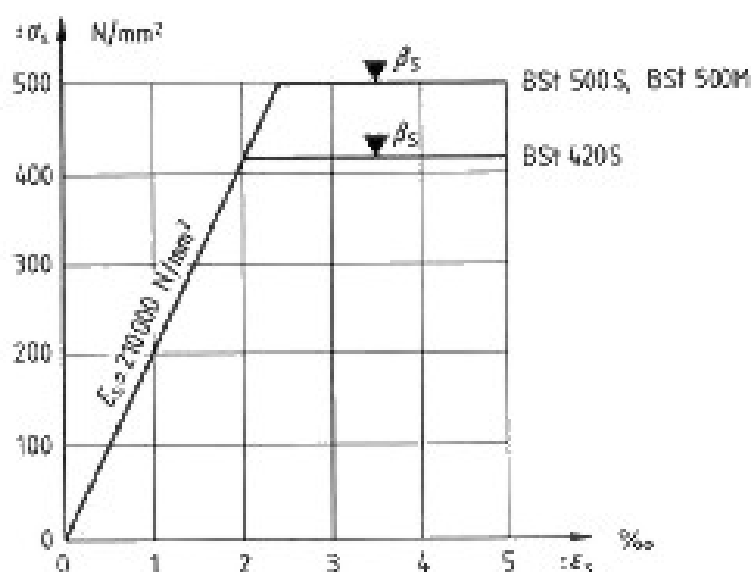


Bild 12: Rechenwerte für die Spannungsdehnungslinien der Betonstähle

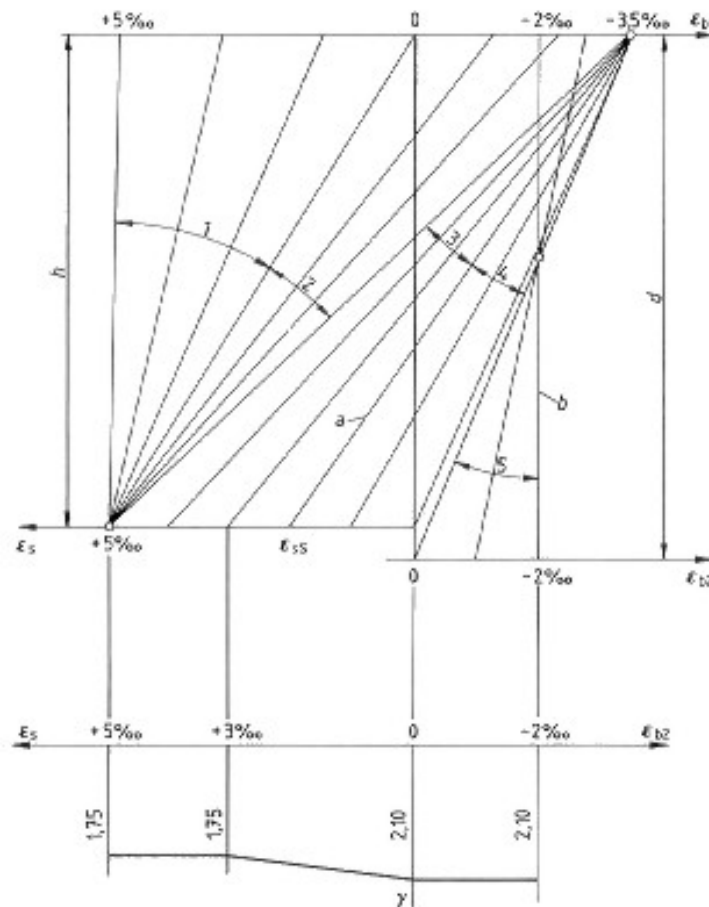


Bild 13: Dehnungsdiagramme und Sicherheitswerte (Angabe der Bereiche 1 bis 5 siehe unten).

- Bereich 1: Mittige Zugkraft und Zugkraft mit geringer Ausmitte.
- Bereich 2: Biegung oder Biegung mit Längskraft bis zur Ausnutzung der Betondruckfestigkeit ($|\epsilon_{b1}| \leq 3,5 \text{ ‰}$) und unter Ausnutzung der Stahlstreckgrenze ($\epsilon_s = \epsilon_{ss}$).
- Bereich 3: Biegung oder Biegung mit Längskraft bei Ausnutzung der Betonfestigkeit und der Stahlstreckgrenze. Linie a: Grenze der Ausnutzung der Stahlstreckgrenze ($\epsilon_s = \epsilon_{ss}$).
- Bereich 4: Biegung mit Längskraft ohne Ausnutzung der Stahlstreckgrenze ($\epsilon_s < \epsilon_{ss}$) bei Ausnutzung der Betondruckfestigkeit.
- Bereich 5: Druckkraft mit geringer Ausmitte und mittige Druckkraft. Innerhalb dieses Bereiches ist $\epsilon_{b1} = -3,5 \text{ ‰} - 0,75 \epsilon_{b2}$ in Rechnung zu stellen, für mittigen Druck (Linie b) ist somit $\epsilon_{b1} = \epsilon_{b2} = -2,0 \text{ ‰}$.

(4) Wegen des Sicherheitsbeiwertes bei unbewehrtem Beton siehe Abschnitt 17.9, beim Befördern und Einbau von Fertigteilen Abschnitt 19.2.

17.2.3 Höchstwerte der Längsbewehrung

- (1) Die Bewehrung eines Querschnitts, auch im Bereich von Übergreifungsstößen, darf höchstens 9% von A_b , bei B 15 jedoch nur 5% von A_b betragen. Die Höchstwerte der Längsbewehrung sind aber in jedem Fall so zu begrenzen, dass das einwandfreie Einbringen und Verdichten des Betons sichergestellt bleibt.
- (2) Eine Druckbewehrung A'_s darf bei der Ermittlung der Tragfähigkeit höchstens mit dem Querschnitt A_b der am gezogenen bzw. am weniger gedrückten Rand liegenden Bewehrung in Rechnung gestellt werden. Im Bereich überwiegender Biegung soll die Druckbewehrung jedoch nicht mit mehr als 1% von A_b in Rechnung gestellt werden.
- (3) Wegen der Mindestbewehrung in Bauteilen siehe Abschnitte 17.6 und 18 bis 25.

DIN 1045 - 18.7.4

18.7.4 Verankerung an Endauflagern

- (1) An frei drehbaren oder nur schwach eingespannten Endauflagern ist eine Bewehrung zur Aufnahme der Zugkraft F_{sR} nach Gleichung (26) erforderlich, es muss jedoch mindestens ein Drittel der größten Feldbewehrung vorhanden sein. Für Platten ohne Schubbewehrung ist zusätzlich Abschnitt 20.1.6.2 zu beachten.

$$F_{sR} = Q_R \cdot v/h + N \quad (26)$$

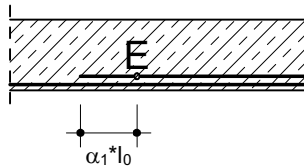
- (2) Diese Bewehrung ist hinter der Auflagervorderkante bei direkter Auflagerung mit der Verankerungslänge l_2 nach Gleichung (27)

$$l_2 = 2/3 l_1 \geq 6 d_s, \quad (27)$$

bei indirekter Lagerung mit der Verankerungslänge l_3 nach Gleichung (28) zu verankern, in allen Fällen jedoch mindestens über die rechnerische Auflagerlinie zu führen.

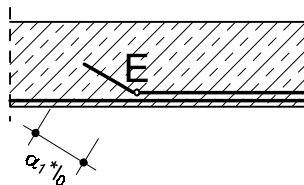
$$l_3 = l_1 \geq 10 d_s, \quad (28)$$

- (3) Dabei ist l_1 die Verankerungslänge nach Abschnitt 18.5.2.2; ist bei Betonstahlmatten aus Doppelstäben auf den Durchmesser des Einzelstabes zu beziehen.
- (4) Ergibt sich bei Betonstahlmatten $\text{erf } A_s / \text{vorh } A_s \leq 1/3$, so genügt zur Verankerung mindestens ein Querstab hinter der rechnerischen Auflagerlinie.
- a) Gestaffelte Stäbe
 - b) Aufbiegung, die nicht zur Schubdeckung herangezogen werden
 - c) Schubabbiegung, verankert im Bereich von Betonzugspannungen
 - d) Schubaufbiegung, verankert im Bereich von Betondruckspannungen

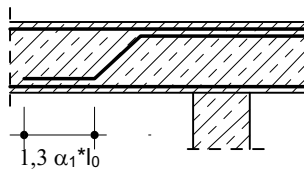


bzw. l_1 bei Platten mit $d_s < 16\text{mm}$

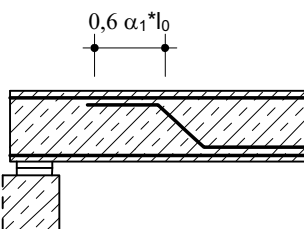
a) Gestaffelte Stäbe



b) Aufbiegungen die nicht zur Schubdeckung herangezogen werden



c) Schubabbiegung, verankert im Bereich von Betonzugspannungen



d) Schubabbiegung, verankert im Bereich von Betondruckspannungen

Beispiel 23:

Beispiele für Verankerungen außerhalb von Auflagern

1.3 DAfSTB Heft 240 – Abschnitt 4

4. Schnittgrößen in wandartigen Trägern

4.1 Übersicht

Wandartige Träger sind in Richtung ihrer Mittelfläche belastete, ebene Flächentragwerke, für die die Voraussetzungen von DIN 1045, Abschnitt 17.2.1 (Ebenbleiben der Querschnitte), nicht mehr zutreffen.

Die Abgrenzung zwischen schlanken und wandartigen Trägern ist in DIN 1045, Abschnitt 17.1.2, geregelt. Hiernach sind Träger mit $l/h \geq 2$ und Kragträger mit $l_k/h \geq 1$ nach den üblichen Bemessungsregeln für schlanke Bauteile zu behandeln. Dabei ist l der Abstand der nach der Stabstatik ermittelten Momentennullpunkte, die Kraglänge und h die Nutzhöhe.

Sinngemäß ergeben sich daraus folgende Definitionen für wandartige Träger:

Einfeldträger	$d/l > 0,5$
Zweifeldträger und Endfelder von Durchlaufträgern	$d/l > 0,4$
Innenfelder von Durchlaufträgern	$d/l > 0,3$
Kragträger	$d/l_k > 1,0$

Hierbei ist d die Bauhöhe und l die Stützweite bzw. l_k die Kraglänge. Konsolen mit üblichen Abmessungen ($d < 100$ cm, wobei d die Bauhöhe der Konsole am Anschnitt ist) fallen nicht unter die hier angegebenen Definitionen für wandartige Kragträger. Sie können entsprechend Heft 220 des DAfStb, Abschnitt 2.6, berechnet und bemessen werden.

Wandartige Träger sind entsprechend DIN 1045, Abschnitt 231, nach der Scheibentheorie zu berechnen. Der Sicherheitsabstand zwischen Gebrauchslast und rechnerischer Bruchlast ist ausreichend, wenn unter Gebrauchslast die Hauptdruckspannungen im Beton den Wert $\beta_R/2,1$, nicht überschreiten und die aus den Hauptzugspannungen resultierenden Zugkräfte voll durch Bewehrung aufgenommen werden, wobei die Spannungen im Stahl den Wert $\beta_S/1,75$ nicht überschreiten dürfen.

Die Berechnung der aus den *Hauptzugspannungen* resultierenden Zugkräfte und die Bemessung der erforderlichen Bewehrung kann näherungsweise wie folgt vorgenommen werden.

Die für die Bemessung der Hauptbewehrung in Längsrichtung maßgeblichen Zugkräfte sind als Resultierende der entsprechenden σ_x -Spannungen im Feld bzw. über der Stütze zu ermitteln. Dazu sind Hilfsmittel in Abschnitt 4.2.1 zusammengestellt.

Bei wandartigen Trägern mit unmittelbarer Stützung und Belastung am oberen Rand verlaufen die Hauptzugspannungen auch in Auflagernähe sehr flach. Wegen der gemäß DIN 1045, Abschnitt 23.3, einzulegenden MindestNetzbewehrung erübrigt sich in diesem Falle ein gesonderter Nachweis der Deckung der Hauptzugspannungsergebnisse im Auflagerbereich oberhalb der Hauptbewehrung.

Bei mittelbarer Stützung oder bei Belastung am unteren Rand ergibt sich über dem Auflagerbereich eine steile Neigung der Hauptzugspannungen. Die daraus resultierenden Zugkräfte sind durch eine entsprechend bemessene Netzbewehrung, gegebenenfalls in Verbindung mit einer Schrägbewehrung (Schrägbügel oder Aufbiegungen) aufzunehmen. Der Nachweis der Deckung der aus den Hauptzugspannungen über dem Auflagerbereich resultierenden Zugkräfte wird in diesem Falle durch die Ermittlung einer zusätzlichen Netz oder Schrägbewehrung nach den Abschnitten 4.2.2 und 4.2.3 erbracht.

Die *Hauptdruckspannungen* im Beton müssen entsprechend DIN 1045, Abschnitt 23.2, nachgewiesen werden. Dieser Nachweis kann näherungsweise nach Abschnitt 4.3 geführt werden.

Ein gesonderter Nachweis Schubspannungen ist nicht erforderlich. Durch Anordnung der berechneten Hauptbewehrungen sowie der konstruktiven Netzbewehrung (vgl. Abschnitt 4.4) zusammen mit der Dimensionierung der Wanddicke ist der Tatsache, dass die Richtung der eingelegten Bewehrungen von den Hauptspannungsrichtungen abweicht, ausreichend Rechnung getragen.

Angaben zur Anordnung der Hauptbewehrung und Hinweise auf Besonderheiten der Bewehrungsführung sind in Abschnitt 4.4 zusammengestellt.

Auf zusätzliche Bestimmung für bewehrte Wände entsprechend DIN 1045, Abschnitt 25.5, wird hingewiesen.

Die *Auflagerkräfte* können auch für mehrfeldrige wandartige Träger näherungsweise nach der Stabstatik ermittelt werden. Die sich daraus ergebenden Auflagerkräfte an Endauflagern von mehrfeldrigen wandartigen Trägern müssen dann jedoch mit den folgenden Erhöhungsfaktoren multipliziert werden.

d/l	0,3	0,4	0,7	$\geq 1,0$
Erhöhungsfaktor	1,0	1,08	1,13	1,15

Die nach der Balkenstatik ermittelten Auflagerkräfte der ersten Innenstützen dürfen jedoch höchstens um den halben Betrag der Erhöhung der Auflagerkraft an der Endstütze reduziert werden.

Bei der Bemessung für die ermittelten Schnittgrößen ist zu beachten, dass diese für starre Lagerung gelten. Es wird darauf hingewiesen, dass wegen der hohen Biegesteifigkeit von wandartigen Trägern schon geringe Unterschiede in der Nachgiebigkeit der Stützungen (Federsteifigkeit der unterstützenden Bauteile, Setzungen) zu erheblichen Umlagerungen der Schnittgrößen und Auflagerreaktion führen können.

4.2 Nachweis der Hauptzugspannungen

4.2.1 Resultierende der Hauptzugspannungen in Längsrichtung

4.2.1.1 Längszugkräfte auf der Grundlage der Scheibentheorie

In den Tafeln 4.1 bzw. 4.4 werden die Resultierenden der sich aus der Elastizitätstheorie ergebenden Längszugspannungen von wandartigen Trägern für die in Bild 4.1 angegebenen statischen Systeme und Lastbilder zusammengestellt. Dabei werden getrennt die maximalen Längszugkräfte Z_F im Feld, die größten Längszugkräfte Z_S über der Stütze von durchlaufenden oder auskragenden wandartigen Trägern und bei Einzellasten in durchlaufenden wandartigen Trägern die Spaltzugkraft Z'_S und gegebenenfalls die Randzugkraft Z_R angegeben.

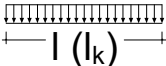
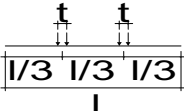
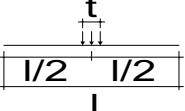
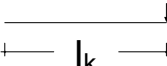
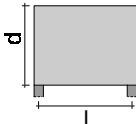
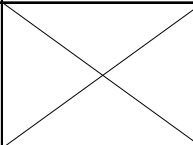
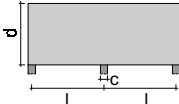
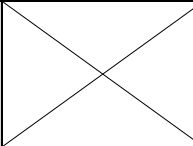
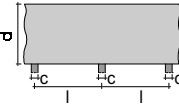
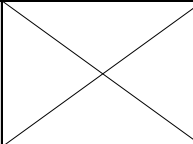
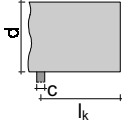
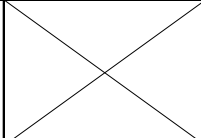
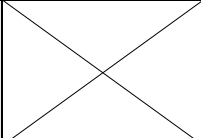
<div><div>System $c/l < 0,2$</div><div><div>Lastbild $t/l = 0,1$ bzw. $0,2$</div><div><div></div><div><div></div><div><div></div><div><div></div></div></div></div></div></div></div>	<div><div></div></div>	Tafel 4.1		<div></div>
<div><div></div></div>	Tafel 4.2		<div></div>	
<div><div></div></div>	Tafel 4.3		<div></div>	
<div><div></div></div>	Tafel 4.4	<div></div>	<div></div>	Tafel 4.4

Bild 4.1: Bezeichnung und Übersicht über die in den Tafeln 4.1 bis 4.4 behandelten statischen Systeme und Belastungsbilder von wandartigen Trägern

Diese resultierenden Längszugkräfte gelten für unmittelbar gestützte wandartige Träger ohne Randverstärkung. Näherungsweise können sie auch bei wandartigen Trägern mit Randverstärkung (Lisenen) und bei mittelbar gestützten wandartigen Trägern angewandt werden. Auf die Notwendigkeit, in solchen Fällen eine sorgfältig verankerte Netzbewehrung entsprechend Abschnitt 4.2.3 anzuordnen, wird hingewiesen.

Bei nicht dargestellten Lastbildern kann die Größe der resultierenden Zugkräfte in wandartigen Trägern durch Interpolation zwischen den Lastbildern von Bild 4.1 abgeschätzt werden.

Näherungsweise können die in den Tafeln angegebenen resultierenden Längszugkräfte auch bei größeren Auflagerlängen c angewendet werden, wenn die Hauptbewehrung über den Stützen entsprechend Abschnitt 4.4 angeordnet wird. Auf die Berücksichtigung einer eventuellen Einspannung bei großen Auflagerlängen an Endauflagern wird hingewiesen.

Der günstige Einfluss der Vergrößerung des inneren Hebelarmes beim Übergang in den Zustand II ist bei den in den Tafeln angegebenen resultierenden Längszugkräften nicht berücksichtigt, um die Gebrauchsfähigkeit (Risse) und die Tragfähigkeit (Überbeanspruchung des Verbundes) nicht zu beeinträchtigen.

Die resultierenden Längszugkräfte für die Endfelder von Durchlaufträgern (Zugkraft im Endfeld und über der ersten Innenstütze) können näherungsweise wie für einen Zweifeldträger ermittelt werden.

4.2.1.2 Näherungsverfahren zur Ermittlung der Längszugkräfte

Näherungsweise dürfen die resultierenden Längszugkräfte Z im Feld und Z_s über der Stütze von durchlaufenden oder auskragenden wandartigen Trägern auch aus den für schlanke Träger ermittelten Schnittmomenten (M bzw. M_s) mit Hilfe der in den Gleichungen (4.3) bis (4.6) angegebenen, entsprechend angepassten Hebelarme der inneren Kräfte (z_F bzw. z_s) ermittelt werden.

Die Gleichungen gelten für beliebige Laststellungen. Um den Übergang zum schlanken Balken herzustellen, wird im Bereich $d/l < 1$ die Zunahme des Hebelarmes der inneren Kräfte beim Übergang des Tragwerks in den Zustand II näherungsweise erfasst.

Resultierende Zugkräfte im Feld:	$Z_F = M_F / z_F$ (4.1)
Resultierende Zugkräfte über der Stütze von Durchlaufträgern bzw. bei Kragträgern:	$Z_s = M_s / z_s$ (4.2)

Hierbei ist:

M_F	Feldmoment eines entsprechenden schlanken Trägers
M_S	Stützmoment bzw. Kragmoment eines entsprechenden schlanken Trägers
z_F	Rechnerischer Hebelarm der inneren Kräfte im Feld
z_S	Rechnerischer Hebelarm der inneren Kräfte über der Stütze

Bei den Hebelarm z_F und z_S sind folgende Fälle zu unterscheiden:

Einfeldträger:

$$z_F = 0,3 d \quad (3-d/l) \quad 0,5 < d/l < 1,0 \quad (4.3a)$$

$$z_F = 0,6 l \quad d/l \geq 1,0 \quad (4.3b).$$

Zweifeldträger und Endfelder von Durchlaufträgern:

$$z_F = z_S = 0,5 d \quad (1,9-d/l) \quad 0,4 < d/l < 1,0 \quad (4.4a)$$

$$z_F = z_S = 0,45 l \quad d/l \geq 1,0 \quad (4.4b)$$

Innenfelder von Durchlaufträgern:

$$z_F = z_S = 0,5 d \quad (1,8-d/l) \quad 0,3 < d/l < 1,0 \quad (4.5a)$$

$$z_F = z_S = 0,4 l \quad d/l \geq 1,0 \quad (4.5b).$$

Kragträger:

$$z_S = 0,65 l_k + 0,10 d \quad 1,0 < d/l_k < 2,0 \quad (4.6a)$$

$$z_S = 0,85 l_k \quad d/l_k \geq 2,0 \quad (4.6b)$$

In den Gleichungen (4.3) bis (4.6) bedeutet d die Bauhöhe und l die Stützweite bzw. l_k die Kraglänge des wandartigen Trägers (vgl. hierzu Bild 4.1).

4.2.2 Aufhängebewehrung für unten angreifende Lasten

Unten angreifende Lasten sind voll durch eine Aufhängebewehrung aufzunehmen. Als unten angreifend gelten dabei näherungsweise alle Lasten einschließlich Eigenlast, die in einem zwischen den Auflagern gedachten Halbkreis mit dem Radius $0,5 l$ ($\leq d$) angreifen.

Bei mittelbarer Lagerung von wandartigen Trägern durch Querscheiben ist in letzteren für die gesamte Auflagerkraft des wandartigen Trägers eine Aufhängebewehrung im Anschlussbereich vorzusehen.

Bei unten angreifenden Einzellasten empfiehlt es sich, Schrägstäbe (Schrägbügel oder Aufbiegungen) oder ein Bewehrungsnetz vorzusehen. Für die Bemessung der

Schrägstäbe bzw. des Bewehrungsnetzes ist die Neigung der Resultierenden der Hauptzugspannungen entsprechend dem Angriffspunkt der Einzelkraft sinnvoll abzuschätzen. Hier ist die Aufhängebewehrung auf eine Höhe gleich der Spannweite $\leq d$ zu führen. Auf eine eventuell erforderliche Verstärkung der Querbewehrung im Verankerungsbereich der Aufhängebewehrung entsprechend DIN 1045, Abschnitt 18.5.2.3, wird hingewiesen. Die Mindestnetzbewehrung kann auf die Aufhängebewehrung voll angerechnet werden.

Unten angreifende gleichmäßig verteilte Lasten sind voll durch Vertikalstäbe auf eine Höhe gleich der Spannweite $\leq d$ hoch zuhängen, wobei bei Anordnung von Haken keine zusätzliche Verankerungslänge berücksichtigt werden muss.

4.2.3 Mittelbare Stützung und Auflagerverstärkungen

Wird der wandartige Träger mittelbar über Querscheiben oder Lisenen gestützt, muss am Auflager ein quadratischer Bereich mit den Seitenabmessungen $0,35 d$ bzw. $0,35 l$ verstärkt bewehrt werden, wobei der kleinere Wert maßgebend ist. Bei mäßiger Beanspruchung ($Q < 0,5 \cdot \text{zul } Q$, mit $\text{zul } Q$ nach Gleichung (4.8)) ist dieser Bereich mit Bügeln oder mit beidseitigen orthogonalen Bewehrungsnetzen zu versehen, die sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung die Netze beider Scheibenaußenflächen zusammengefasst für jeweils 80% der Querkraft am Auflager zu bemessen sind. Auf eine sorgfältige Verankerung der waagerechten Netzbewehrung in der Querscheibe wird hingewiesen. Bei hoher Beanspruchung ($Q > 0,5 \cdot \text{zul } Q$) sind neben einem orthogonalen Bewehrungsnetz unter 45° geneigte Schrägbügel oder Schrägstäbe im Auflagerbereich vorzusehen. Jede der drei Bewehrungsrichtungen ist dabei für jeweils 50% der Querkraft zu bemessen.

Die bei Mehrfeldträgern erforderliche Hauptbewehrung über den Stützen sowie die Mindestnetzbewehrung nach DIN 1045, Abschnitt 23.3, dürfen auf das verstärkte Bewehrungsnetz angerechnet werden.

4.3 Begrenzung der Hauptdruckspannung im Beton

Nach DIN 1045, Abschnitt 23.2, dürfen die unter Gebrauchslast ermittelten Hauptdruckspannungen den Wert $\beta_R/2,1$ nicht überschreiten. Maßgebend sind dabei die auflagnahen Hauptdruckspannungen im Zustand II. Näherungsweise darf der Nachweis dieser Hauptdruckspannungen im Beton wie folgegeführt werden.

Bei unmittelbar gestützten wandartigen Trägern ohne Randverstärkung darf die Auflagerpressung folgende Werte nicht überschreiten:

Bei Innenauflagern:

$$\text{zul } F = 1/\gamma (0,9 \beta_R A_b + \beta_S A_s) \quad (4.7a)$$

bei Endauflagern:

$$\text{zul } F = 1/\gamma (0,8 \beta_R A_b + \beta_S A_s) \quad (4.7b)$$

mit $\gamma = 2,1$ nach DIN 1045, Abschnitt 17.2.2, für Versagen ohne Vorankündigung.

In Auflagerbereichen von wandartigen Trägern kann die Betondruckfestigkeit durch den Einfluß kreuzender Bewehrungsstäbe und quengerichteter Zugspannungen herabgesetzt sein. Diesem Umstand wird durch die Abminderung der Betondruckfestigkeit mit dem Faktor 0,9 bei Innenauflagern bzw. 0,8 bei Endauflagern Rechnung getragen. Für den Bewehrungsquerschnitt A_s dürfen nur solche Bewehrungsstäbe in Ansatz gebracht werden, die den Kräfteinleitungsbereich in Richtung der Auflagerkraft ohne Übergreifungsstoß durchdringen und außerhalb des Störbereiches verankert sind. In jedem Fall sind die Auflagerbereiche hinsichtlich Bewehrungsführung (Verankerung der Scheibenbewehrung, Aufnahme von Spaltzugkräften, gute Verdichtungsmöglichkeit des Betons) konstruktiv sorgfältig durchzubilden.

Bei der Ermittlung der Auflagerpressung darf die Auflagerlänge c in Richtung der Stützweite nicht größer als 20% der am Auflager anschließenden kleinsten Stützweite l angenommen werden.

Bei wandartigen Trägern mit Randverstärkung (Lisenen) und bei mittelbar über Querscheiben gestützten wandartigen Trägern darf die Querkraft am Auflager den folgenden Wert nicht überschreiten

$$\text{zul } Q = 0,10 l b \beta_R \quad (4.8)$$

Dabei darf die Stützweite höchstens mit dem Wert der Trägerhöhe d in Rechnung gestellt werden. Bei Auflagern unter durchlaufenden wandartigen Trägern ist der Nachweis der Begrenzung der Hauptdruckspannung im Beton nach Gleichung (4.8) für beide am Auflager gestützte Felder getrennt zu führen.

Ein gesonderter Nachweis der Biegedruckspannungen erübrigt sich bei wandartigen Trägern.

Bei wandartigen Trägern mit geringer Dicke und nicht gehaltenem oberem Rand ist ggf. die Gefahr des Kippens zu beachten.

4.4 Besonderheiten der Bewehrungsführung

Nach DIN 1045, Abschnitt 23.3, müssen wandartige Träger mindestens 10 cm dick sein. Sie müssen stets beidseitig eine waagerechte und lotrechte Bewehrung (Netzbewehrung) erhalten. Der Querschnitt dieser Mindestnetzbewehrung darf auf jeder Seite und in jeder Richtung $1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ bzw. 0,05% des Betonquerschnittes nicht unterschreiten.

Die Maschenweite des Bewehrungsnetzes darf nicht größer als die doppelte Wanddicke und nicht größer als etwa 30cm sein.

Die Hauptbewehrung im Feld (Feldbewehrung) ist vollständig bis über die Auflager durchzuführen und dort auch im Falle mittelbarer Lagerung für die Zugkraft zu $0,8 z$ verankern. Dabei sind stehende Haken möglichst zu vermeiden; an Innenauflagern mehrfeldriger Träger sind nur gerade Stabenden mit entsprechender Übergreifung zu verwenden. Sie ist über eine Höhe von $0,1 d$ bzw. $0,1 l$ zu verteilen, wobei der kleinere Wert maßgebend ist.

Die Hauptbewehrung über den Innenstützen von mehrfeldrigen wandartigen Trägern ist gemäß Bild 4.2 über die Höhe der Zugzone zu verteilen. Sie ist zur Hälfte über die gesamte Stützweite durchzuführen, der Rest beidseitig bis auf eine Länge von je $l/3$, gerechnet vom Rand des Auflagers, wobei eine zusätzliche Verankerungslänge nicht berücksichtigt werden muss.

Die erforderliche Bewehrung zur Aufnahme der Spaltzugkräfte (z_s') und Randzugkräfte (z_R), die durch am oberen Rand angreifende Einzellasten hervorgerufen werden, ist gemäß Bild 4.3 anzuordnen.

Die Hauptbewehrung für die Zugkraft über der Stützung von auskragenden wandartigen Trägern ist gemäß Bild 4.4 zu verteilen. Zusätzlich wird die Anordnung einer konstruktiven Bewehrung im oberen Bereich der Kragplatte empfohlen.

Die in den Bereich der vorzusehenden Hauptbewehrung vorhandene Mindestnetzbewehrung darf auf die erforderliche Hauptbewehrung angerechnet werden.

Als weiter konstruktive Maßnahmen bei der Bewehrung durchlaufender wandartiger Träger, die gegenüber ungleichmäßigen Verformungen bzw. Setzungen der Auflager besonders empfindlich sind, wird die Anordnung einer zusätzlichen durchgehenden Bewehrung am oberen Rand empfohlen.

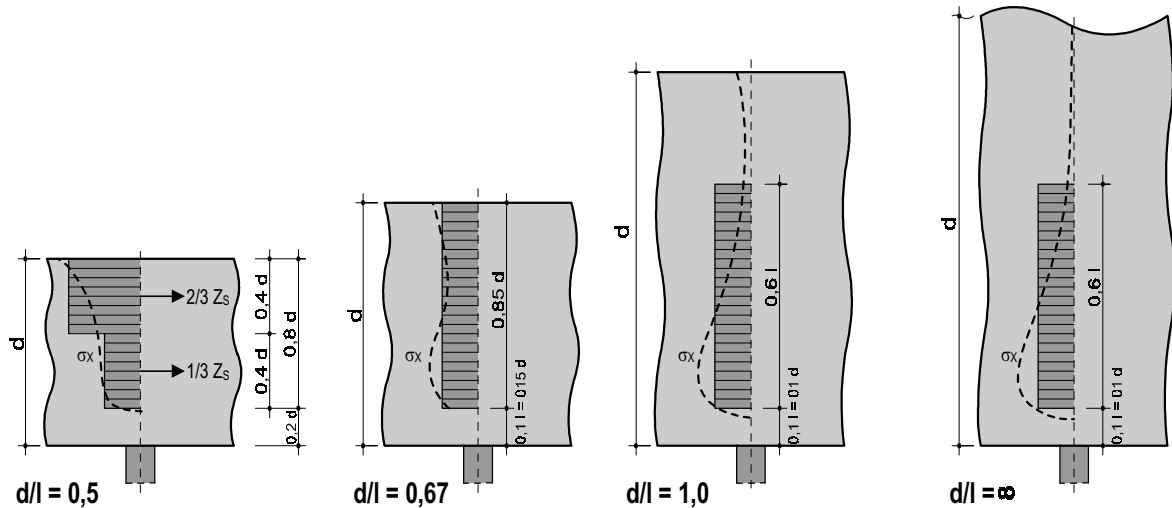


Bild 4.2: Verteilung der Hauptbewehrung für die Zugkraft Z über den Stützen mehrfeldriger wandartiger Träger

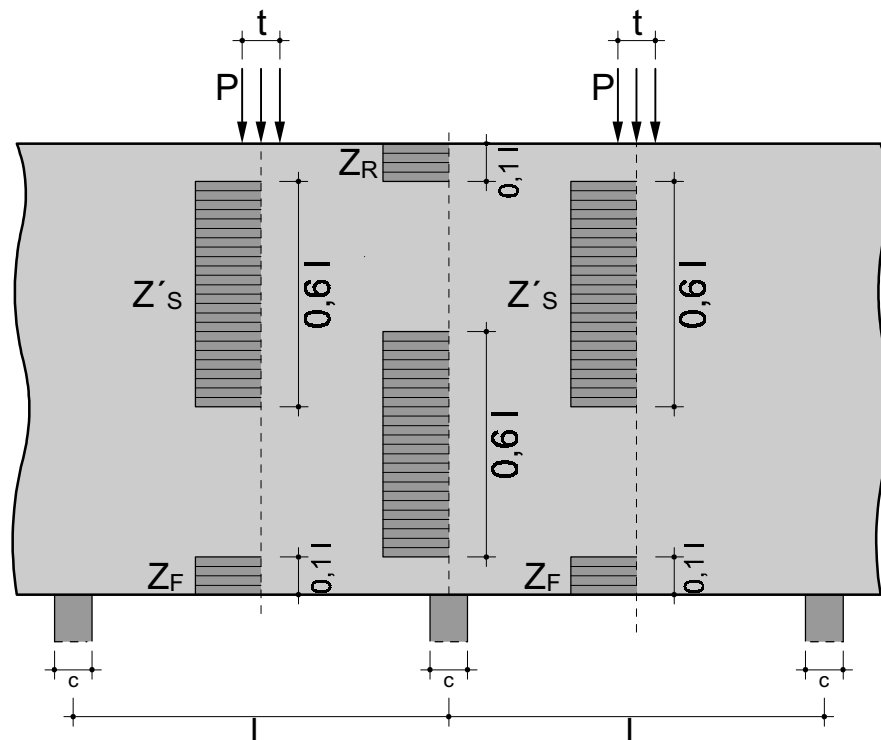


Bild 4.3: Verteilung der Hauptbewehrung für die Zugkräfte Z , Z_s , Z'_s und Z_R bei durchlaufenden wandartigen Trägern unter Einzellasten am oberen Rand (gezeigt für das Beispiel $d/l = 2$)

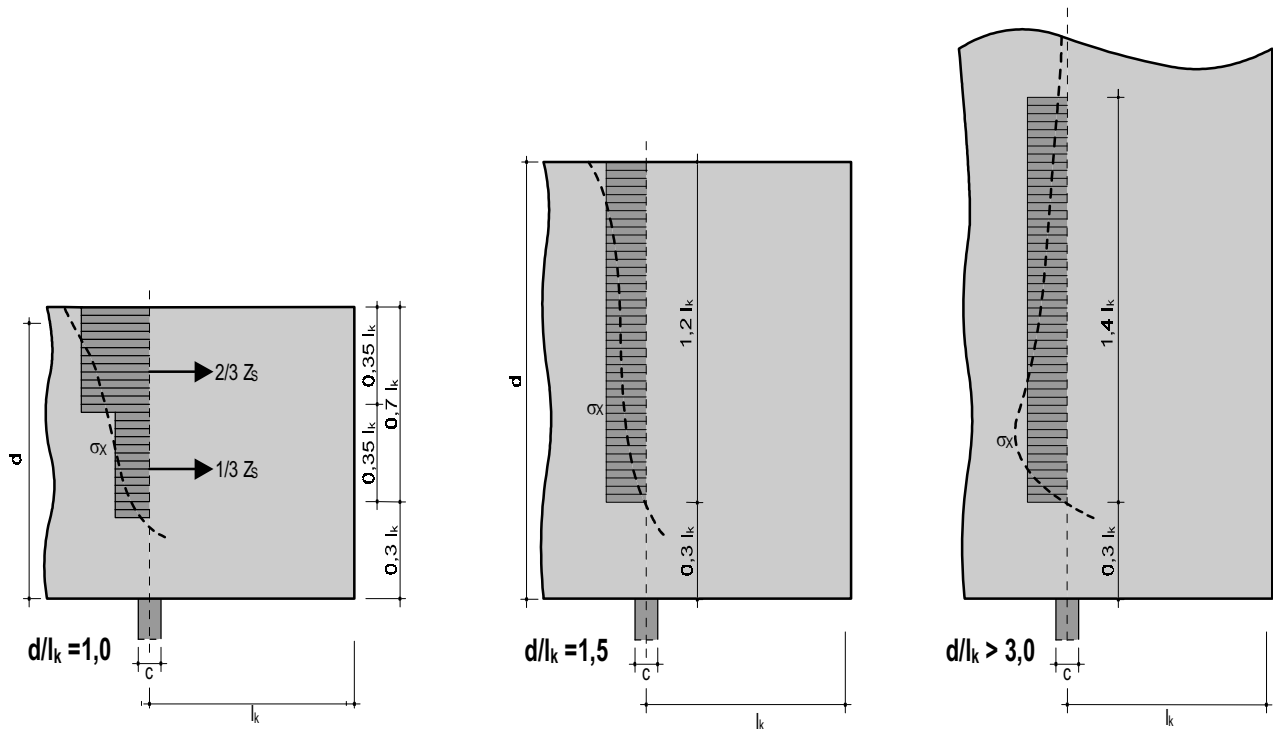


Bild 4.4: Verteilung der Hauptbewehrung für die Zugkraft Z_s über dem Auflager einer Krägscheibe

Diplomarbeit
Entwicklung eines multimedialen Lehr- und Lernmoduls
über wandartige Träger im Stahlbetonbau

Erst-/Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / Prof. Dr.-Ing. H.- D. Quitmann
 Bearbeitet von: Georg Reimer Matr. Nr. 109794



Tafel 4.1: Resultierende Zugkräfte in einfeldrigen wandartigen Trägern

		$c/l = t/l$		d/l		$0,1$		$>0,2$		$0,1$		$>0,2$	
$0,5$		0,37	0,33	0,66	0,64	0,50	0,50	0,66	0,65	0,50	0,50	Z_F/P	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P	
$0,6$		0,21	0,27	0,55	0,53	0,41	0,40	0,53	0,52	0,42	0,41	Z_F/P	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P	
$0,7$		0,27	0,23	0,45	0,44	0,35	0,34	0,46	0,45	0,36	0,35	Z_F/P	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P	
$0,8$		0,24	0,20	0,38	0,36	0,30	0,29	0,42	0,41	0,32	0,30	Z_F/P	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P	
$0,9$		0,22	0,18	0,32	0,29	0,26	0,25	0,41	0,39	0,30	0,28	Z_F/P	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P	
$1,0$		0,21	0,18	0,27	0,25	0,23	0,21	0,40	0,37	0,29	0,27	Z_F/P	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P	
$1,1$		0,21	0,17	0,24	0,23	0,22	0,20	0,40	0,36	0,29	0,27	Z_F/P	
		-	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P	
$1,2$		0,20	0,17	0,22	0,20	0,20	0,18	0,40	0,36	0,28	0,26	Z_F/P	
		-	-	0,09	0,04	-	-	-	-	-	-	Z_S/P	
$1,5$		0,20	0,17	0,20	0,16	0,19	0,16	0,40	0,36	0,28	0,26	Z_F/P	
		-	-	0,12	0,10	0,02	0,02	-	-	-	-	Z_S/P	
$>2,0$		0,20	0,17	0,20	0,15	0,19	0,16	0,40	0,36	0,28	0,26	Z_F/P	
		-	-	0,25	0,17	0,07	0,07	-	-	-	-	Z_S/P	

Diplomarbeit

Entwicklung eines multimedialen Lehr- und Lernmoduls über wandartige Träger im Stahlbetonbau

Erst-/Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / Prof. Dr.-Ing. H.- D. Quitmann
Bearbeitet von: Georg Reimer Matr. Nr. 109794



Tafel 4.2: Resultierende Zugkräfte in zweifeldrigen bzw. in Randfeldern von mehrfeldrigen wandartigen Trägern

$\frac{c}{l} = \frac{t}{l}$ $\frac{d}{l}$	>0,1	>0,1	>0,1	>0,1	>0,1	
0,4	0,26 0,27 - -	0,55 0,44 - -	0,39 0,37 - -	0,55 0,44 - -	0,39 0,39 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
0,5	0,22 0,24 - -	0,47 0,31 - -	0,35 0,29 - -	0,47 0,32 - -	0,35 0,32 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
0,6	0,19 0,22 - -	0,41 0,25 - -	0,31 0,24 - -	0,43 0,27 - -	0,32 0,28 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
0,7	0,18 0,21 - -	0,36 0,23 - -	0,29 0,22 - -	0,40 0,27 - -	0,30 0,27 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
0,8	0,17 0,20 - -	0,33 0,24 - 0,01	0,27 0,22 - 0,01	0,38 0,30 - -	0,29 0,28 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
0,9	0,16 0,19 - -	0,30 0,25 - 0,02	0,25 0,22 - 0,02	0,37 0,32 - -	0,28 0,30 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
1,0	0,15 0,19 - -	0,28 0,26 0,01 0,02	0,23 0,23 - 0,02	0,36 0,34 - -	0,27 0,31 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
1,5	0,14 0,19 - -	0,20 0,27 0,10 0,03	0,19 0,24 0,01 0,03	0,36 0,34 - -	0,25 0,32 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
>2,0	0,14 0,19 - -	0,18 0,27 0,15 0,05	0,17 0,24 0,04 0,05	0,36 0,34 - -	0,25 0,32 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z'_S/P

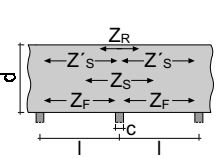
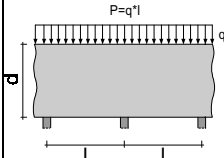
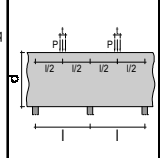
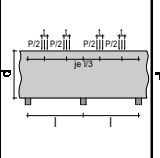
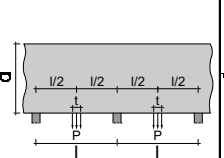
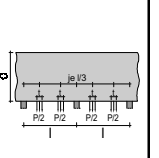
Diplomarbeit

Entwicklung eines multimedialen Lehr- und Lernmoduls über wandartige Träger im Stahlbetonbau

Erst-/Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / Prof. Dr.-Ing. H.- D. Quitmann
Bearbeitet von: Georg Reimer Matr. Nr. 109794



Tafel 4.3: Resultierende Zugkräfte in inneenfeldern von durchlaufenden wandartigen Trägern

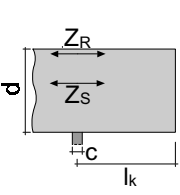
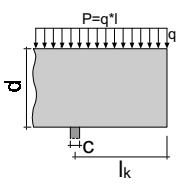
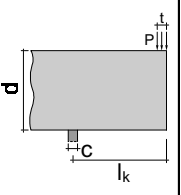
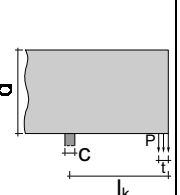
													
d/l		$c/l = t/l$											
		0,05	0,1	>0,2	>0,1	>0,1	0,05	0,1	>0,2	>0,1			
0,3	Z_F/P	0,21	0,21	0,21	0,56	0,28	0,59	0,56	0,50	0,28	Z_F/P		
	Z'_S/P	0,38	0,35	0,29	0,56	0,49	0,59	0,56	0,50	0,49	Z'_S/P		
	Z_S/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P		
	Z'_F/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z'_F/P		
0,4	Z_F/P	0,16	0,16	0,16	0,37	0,17	0,44	0,42	0,37	0,17	Z_F/P		
	Z'_S/P	0,29	0,27	0,22	0,37	0,29	0,44	0,42	0,37	0,30	Z'_S/P		
	Z_S/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P		
	Z'_F/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z'_F/P		
0,5	Z_F/P	0,12	0,12	0,12	0,30	0,14	0,33	0,32	0,29	0,13	Z_F/P		
	Z'_S/P	0,26	0,23	0,19	0,30	0,24	0,33	0,32	0,29	0,26	Z'_S/P		
	Z_S/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P		
	Z'_F/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z'_F/P		
0,6	Z_F/P	0,10	0,10	0,10	0,26	0,12	0,31	0,29	0,26	0,12	Z_F/P		
	Z'_S/P	0,25	0,22	0,18	0,26	0,20	0,31	0,29	0,26	0,25	Z'_S/P		
	Z_S/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P		
	Z'_F/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z'_F/P		
0,7	Z_F/P	0,09	0,09	0,09	0,23	0,11	0,30	0,28	0,24	0,11	Z_F/P		
	Z'_S/P	0,25	0,21	0,17	0,23	0,18	0,30	0,28	0,24	0,25	Z'_S/P		
	Z_S/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P		
	Z'_F/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z'_F/P		
0,8	Z_F/P	0,09	0,09	0,09	0,21	0,10	0,30	0,28	0,24	0,10	Z_F/P		
	Z'_S/P	0,25	0,21	0,16	0,21	0,10	0,30	0,28	0,24	0,25	Z'_S/P		
	Z_S/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_S/P		
	Z'_F/P	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	Z'_F/P		
1,0	Z_F/P	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,30	0,28	0,24	0,10	Z_F/P		
	Z'_S/P	0,25	0,21	0,16	0,11	0,14	0,30	0,28	0,24	0,25	Z'_S/P		
	Z_S/P	-	-	-	0,11	0,02	-	-	-	-	Z_S/P		
	Z'_F/P	-	-	-	0,10	0,07	-	-	-	-	Z'_F/P		
1,5	Z_F/P	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,30	0,28	0,24	0,10	Z_F/P		
	Z'_S/P	0,25	0,21	0,16	0,19	0,19	0,30	0,28	0,24	0,25	Z'_S/P		
	Z_S/P	-	-	-	0,19	0,02	-	-	-	-	Z_S/P		
	Z'_F/P	-	-	-	0,09	0,06	-	-	-	-	Z'_F/P		
>2,0	Z_F/P	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,30	0,28	0,24	0,10	Z_F/P		
	Z'_S/P	0,25	0,21	0,16	0,20	0,20	0,30	0,28	0,24	0,25	Z'_S/P		
	Z_S/P	-	-	-	0,20	0,02	-	-	-	-	Z_S/P		
	Z'_F/P	-	-	-	0,09	0,06	-	-	-	-	Z'_F/P		

Diplomarbeit
Entwicklung eines multimedialen Lehr- und Lernmoduls
über wandartige Träger im Stahlbetonbau

Erst-/Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / Prof. Dr.-Ing. H.- D. Quitmann
 Bearbeitet von: Georg Reimer Matr. Nr. 109794



Tafel 4.4: Resultierende Zugkräfte in auskragenden wandartigen Trägern

							
$c/l = t/l$		$>0,2$		$>0,2$		$>0,2$	
d/l							
1,0	0,63 -	- 1,16	1,16 -	Z_F/P Z'_S/P			
1,1	0,58 -	- 1,04	1,05 -	Z_F/P Z'_S/P			
1,2	0,56 -	- 0,94	0,98 -	Z_F/P Z'_S/P			
1,5	0,55 -	- 0,71	0,87 -	Z_F/P Z'_S/P			
2,0	0,54 -	0,13 0,48	0,86 -	Z_F/P Z'_S/P			
3,0	0,54 -	0,35 0,38	0,86 -	Z_F/P Z'_S/P			
$>4,0$	0,54 -	0,48 0,38	0,86 -	Z_F/P Z'_S/P			

2 Spannungsverteilung in wandartigen Trägern

2.1 Spannungen in einfeldrigen Wandträgern

Von den Spannungen in wandartigen Trägern und damit von inneren Kräfteverlauf und der Tragwirkung bekommt man am besten anhand von Beispielen eine Vorstellung. Dabei werden sowohl Spannungscomponenten σ_x , σ_y und τ_{xy} , Trajektorien der Hauptspannungen σ_I und σ_{II} und resultierende Zugkräfte dargestellt.

2.1.1 Gleichmäßig verteilte Lasten

Die Abhängigkeit des Verlaufes der Spannungscomponente von der Schlankheit l/d unmittelbar gelagerter Wandträger zeigt Bild 2.1.1 Die resultierenden Zug- und Druckkraft-Componenten in x-Richtung Z_x und D_x , kurz Z und D genannt, sind nach Größe und Lage eingezeichnet. Die Abweichungen für den Hebelarm z beginnen spürbar bei $l/d = 2$. Für $l/d \leq 1$ ändern sich trotz weiter abnehmendem Hebelarm die Werte von Z nur noch wenig, d.h. nur der untere Teil der Wand mit einer Höhe l trägt, der darüber liegende Teil wirkt wie eine gleichmäßig verteilte Last.

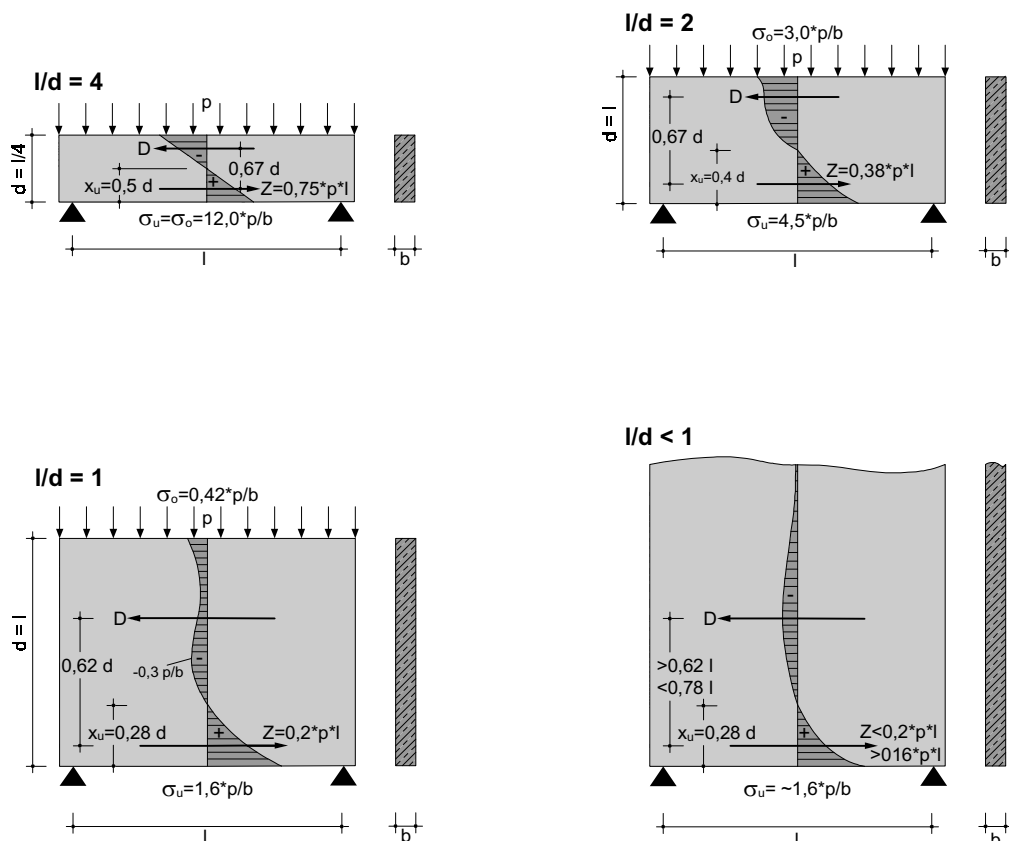


Bild 2.1.1: Spannung σ_x , Größe und Lage der daraus resultierenden Kräfte in Feldmitte von einfeldrigen, von oben gleichmäßig belasteten Trägern im Zustand I bei verschiedenem l/d und $c/l = 0,1$ (c = Auflagerbreite)

Für den Wandträger mit $l/d = 1$ zeigt Bild 2.1.2 den Einfluss unterschiedlicher Lasteintragung auf die Spannungen und die Spannungstrajektorien. Die σ_x und τ_{xy} bleiben bei beiden Lastarten gleich, lediglich die σ_y sind verschieden und sie verändern den Verlauf der σ_I und σ_{II} und damit das Tragverhalten grundlegend.

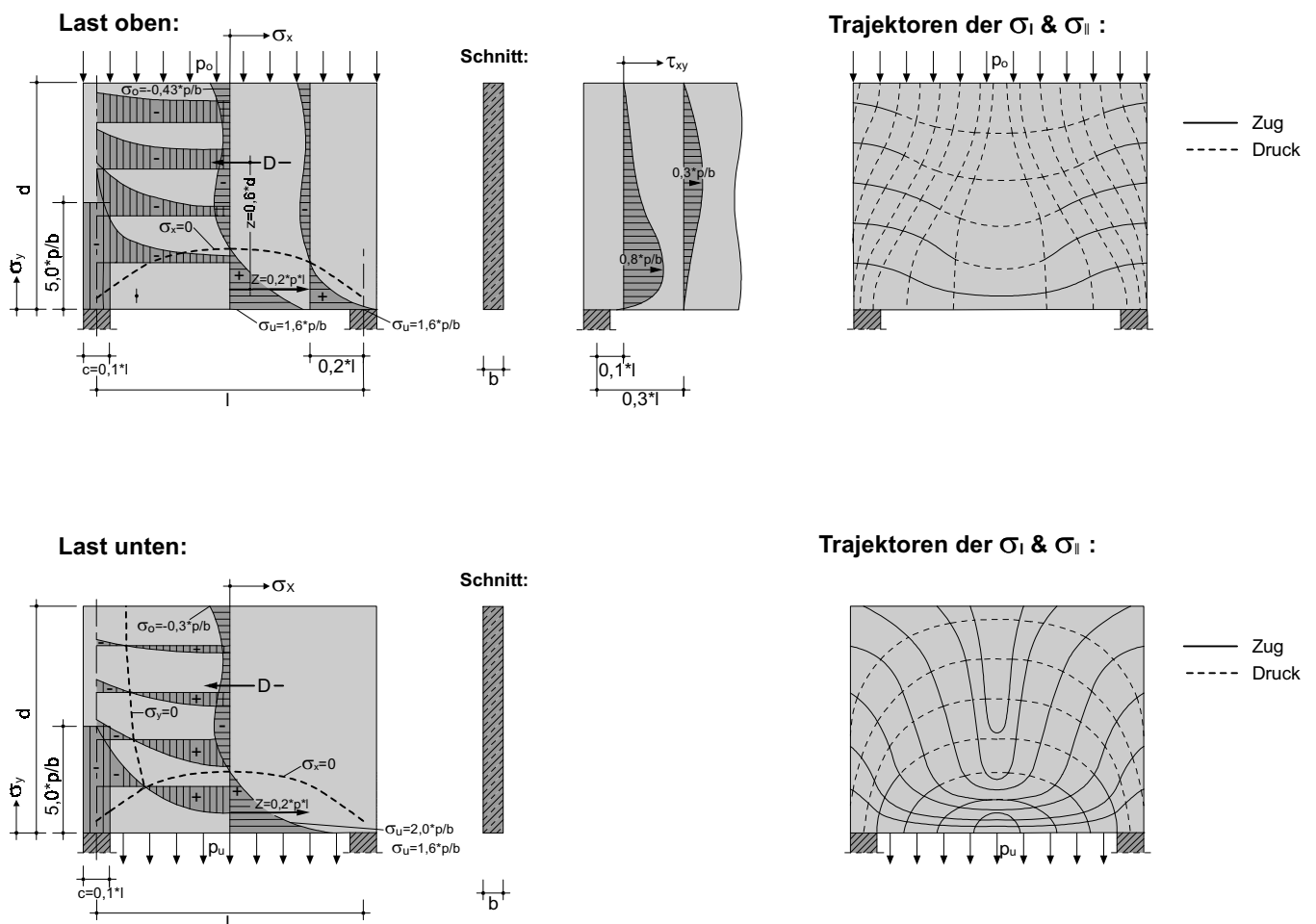


Bild 2.1.2: Verlauf der Spannungskomponenten σ_x , σ_y , τ_{xy} und Hauptspannungstrajektorien beim einfeldrigen wandartigen Trägern mit $l/d = 1$ und $c/l = 0,1$ unter Last von oben bzw. Last von unten.

Die Rissbilder (Bild 2.1.3) bestätigen den Verlauf der Hauptspannungen. Bei Last von oben sind Zugspannungen nur unten und sehr flach geneigt. Bei angehängter Last sind die Zugspannungen steil und reichen fast über die ganze Wandhöhe. Die Last muss mit lotrechter Bewehrung in die Druckgewölbe eingehängt werden, wie dies für alle unten an Trägern hängenden Lasten gilt.

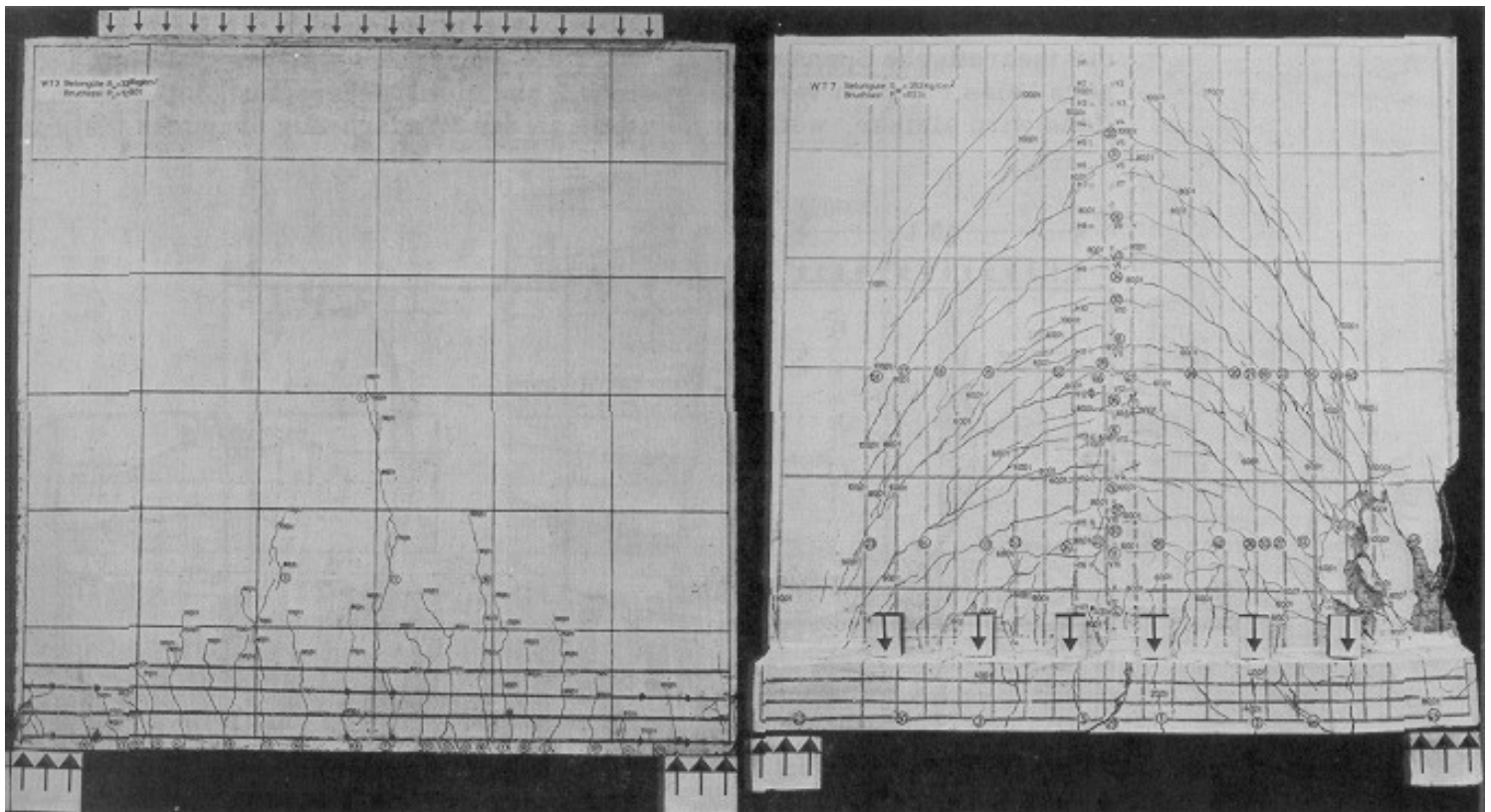


Bild 2.1.3: Die Rissbilder kurz vor dem Bruch bestätigen die Aussagekraft der Hauptspannungstrajektorien für das Tragverhalten

Das Eigengewicht der Wand führt zu einem Spannungsverlauf, der zwischen den beiden Fällen des Bildes 2.1.2 liegt, d.h. dass im untern Bereich lotrecht positive σ_y Zug erzeugen. Der Wandteil etwa unterhalb einer Parabel durch die Auflagerpunkte mit dem Stich $y = 1,5 x_u$ ($1,5 \cdot$ Nulllinienhöhe von unten) muss daher angehängt werden, so dass eine leichte lotrechte Bewehrung stets nötig ist (Bild 2.1.4).

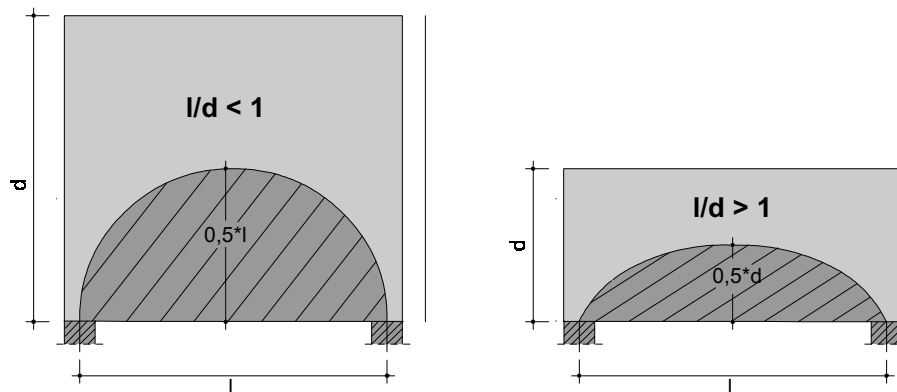


Bild 2.1.4: Das Eigengewicht der Scheibe unterhalb des Halbkreises bzw. der Parabel muss an den oberen Scheibenteil angehängt werden

Bei den Darstellungen in Bild 2.1.1 und Bild 2.1.2 erstreckte sich die Last p auf die theoretische Spannweite l . Wird die ganze Länge L des Wandträgers belastet, dann vergrößert sich Z und die Druckspannung am oberen Rand wird kleiner, weil die Lastteile an den Rändern Zug erzeugen (Bild 2.1.5).

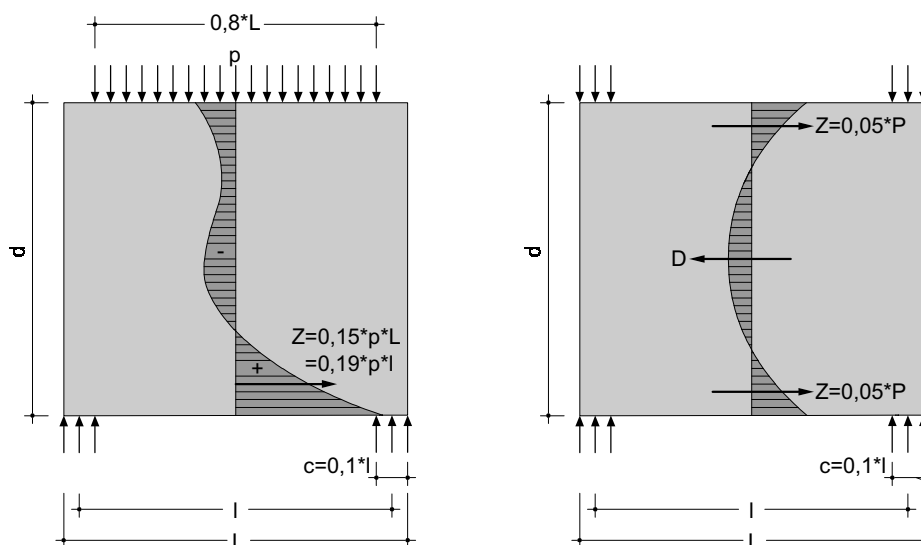


Bild 2.1.5: Einfluss von Lasten p unmittelbar über den Stützen auf die Schnittkräfte in Feldmitte (bei $l/d = 1$ und $c/l = 0,1$)

2.1.2 Einzellasten

Für eine Einzellast am oberen Trägerrand erhalten wir für den Schnitt in Feldmitte bei $l/d = 1$ eine Verteilung der σ_x –Spannungen nach Bild 2.1.6. Unter der Last entstehen Spaltspannungen. Bei $l/d > 1,2$ wird die Spaltspannung mit zunehmender Schlankheit mehr und mehr von den Biegedruckspannungen σ_x überdrückt. Bei sehr hohen Wandträgern, z.B. $l/d = 0,5$, bildet sich nach der Einleitung der Einzellast eine Zone gleichmäßiger Lastverteilung mit konstantem σ_y . Ab $d = l$ gleicht sich dann das Spannungsbild an dem beim oben gleichmäßig belasteten Wandträger an.

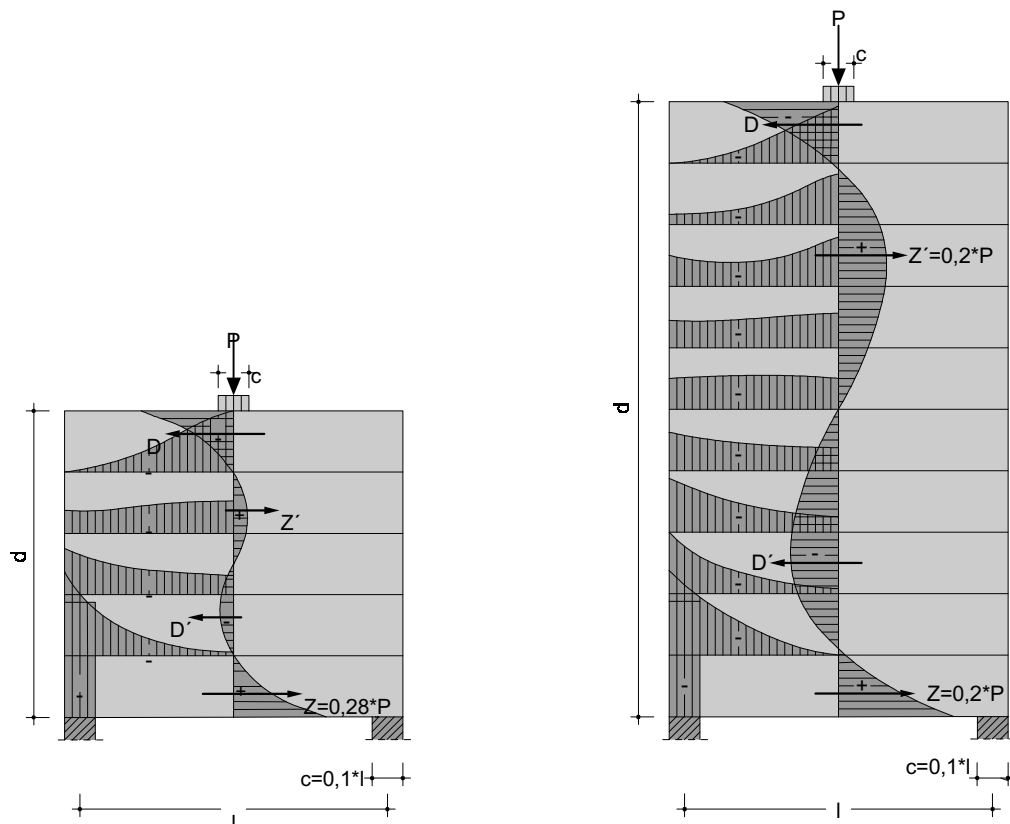


Bild 2.1.6: Verlauf der Spannungen σ_x in Feldmitte und in σ_y verschiedenen waagerechten Schnitten bei oben angreifender Einzellast auf Scheiben mit $l/d = 1$ und $l/d = 0,5$ ($c/l = 0,1$)

Für eine Einzellast im Mittelpunkt der Scheibe ergibt sich in Bild 2.1.7a dargestellte Verlauf der Hauptspannungsrichtung. Unterhalb der Last bilden sich zunächst steile Druckstreben aus, die sich dann zum Auflager hin krümmen. Über der Last entsteht ein radiales Hängewerk, das in Druckgewölben hängt. Die σ_y sind in der Lastlinie unmittelbar über der Last (Zug) fast so groß wie unter der Last (Druck) (Bild 2.1.7b). Die σ_x zeigen in der Lastlinie unter der Last die typischen Spaltzugspannungen (Bild 2.1.7c).

Hier ist aber erneut zu beachten, dass dieses Spannungsbild nur gilt, wenn die Dehnsteifigkeit und Festigkeit der Scheiben nach allen Richtungen für Zug und Druck gleich groß ist, was ja bei Beton nicht der Fall ist. Nach dem ersten Querriss hinter der Last hängt die Aufteilung in den nach unten gehenden Druckstrebenanteil und den Anteil des Hängewerkes ganz von der Steifigkeit des Hängewerks ab, die in der Regel auch bei reichlicher Aufhängebewehrung kleiner sind wird als die Steifigkeit des Druckstreben-Sprengwerkes. Für Stahlbetonträger müssen diese Steifigkeitsverhältnisse, die durch die Bemessung beeinflusst werden können, beachtet werden.

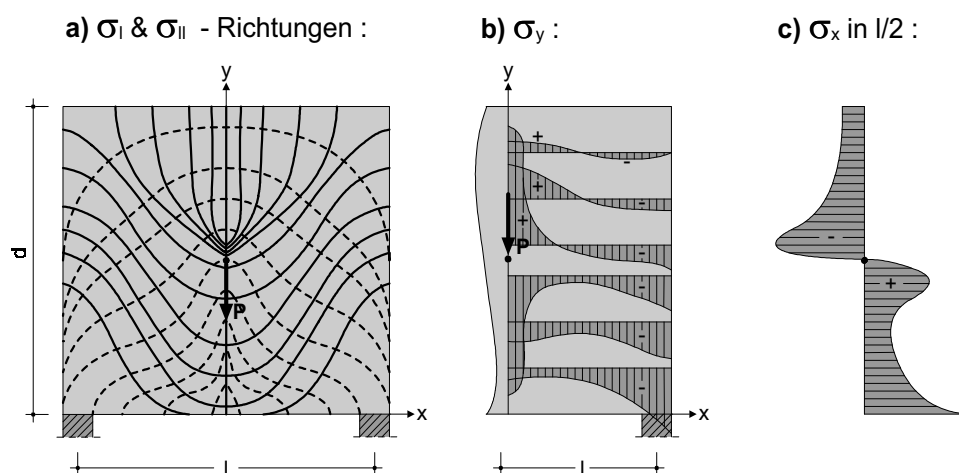


Bild 2.1.7: Hauptspannungstrajektorien und Spannungskomponenten σ_y und σ_x bei einer quadratischen Scheibe mit im Innern angreifender Einzellast.

2.1.3 Einfluss von Auflagerverstärkungen

Auflagerverstärkungen, Randstützen oder Lisenen, wie sie bestehen, wenn ein Wandträger an stützen oder an Querwänden angeschlossen wird, beeinflussen je nach ihrer Steifigkeit den Spannungsverlauf stark, indem die Wandträger innerhalb ihrer Höhe Last an die Randstützen abgeben. Bild 2.1.8 zeigt den Verlauf der Spannungen und resultierende Zugkräfte für mittelstarke Randstützen bei $l/d = 1$ für Belastungen von oben und von unten. Die Nulllinie in $x = l/2$ liegt wesentlich höher, die Zuggurtrkräfte verteilen sich auf eine größere Höhe, zum Ausgleich werden die maximalen Zugspannungen kleiner. In Auflagernähe ($x = 0,1 l$) sind die Schubspannungen unten kleiner als ohne Randstütze, sie erstrecken sich aber auch hier weiter nach oben, d.h. die Hauptspannungen bleiben am Rand auf größere Höhe geneigt, weil die Randstütze schon im oberen Bereich Lasten von der Wand abnehmen muss.

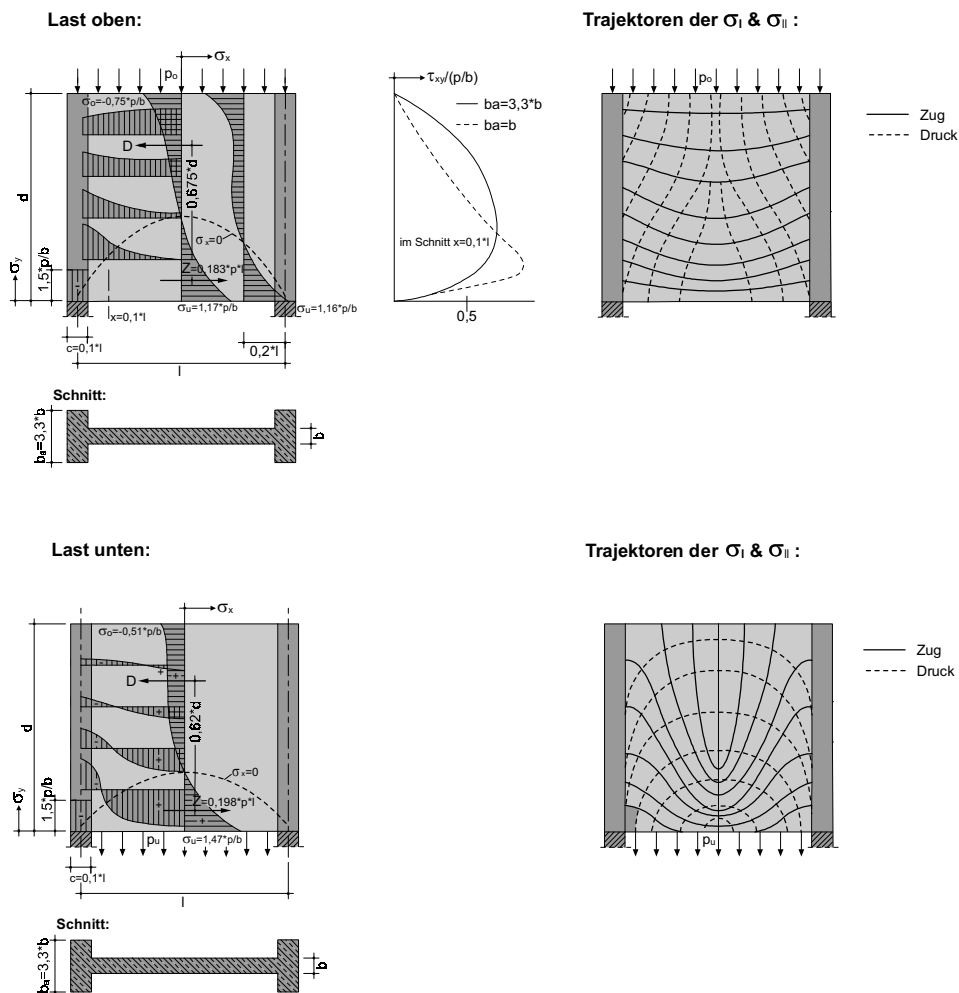


Bild 2.1.8: Verlauf der Spannungskomponenten σ_x , σ_y , und τ_{xy} und Hauptspannungstrajektorien bei einfeldrigen durch Randstützen mit $b = 3,3 b$ verstärkten wandartigen Trägern mit $l/d = 1$ und $c/l = 0,1$ unter Last von oben bzw. Last von unten (vgl. Bild 2.1.2).

Bild 2.1.9 zeigt das Gleiche für kräftige Randstützen und $l/d = 0,67$. Die Zugzone der σ_x wird noch höher, die resultierende Zugkraft wird aber nur wenig kleiner. Auf die ganze Höhe ist mit Querkzug zwischen Wand und Randstütze zu rechnen. Bei unten angehängter Last bewirken die Randstützen eine Verlagerung der Druckgewölbe nach oben, die positiven σ_y reichen höher hinauf.

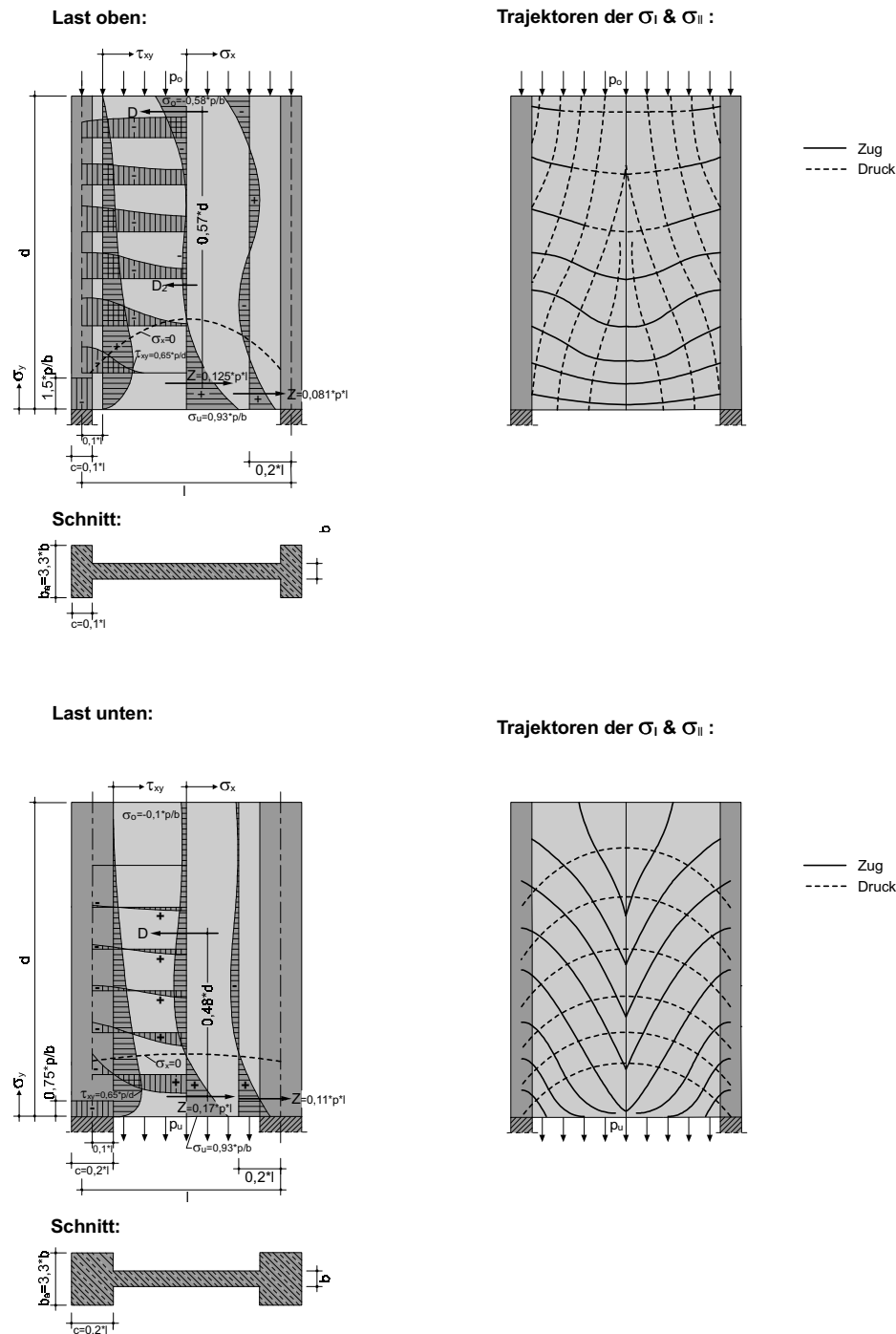


Bild 2.1.9: Spannungen und Hauptspannungstrajektorien wie Bild 2.1.8 jedoch an Trägern mit $l/d = 0,67$ und Randstützen mit $b_s = 3,3 b$ und $c/l = 0,1$ und $0,2$.

2.2 Spannungen in mehrfeldrigen Wandträgern

2.2.1 Gleichlast

Bei mehrfeldrigen Wandträgern (starre Auflager vorausgesetzt) haben wir im Feld, je in $l/2$, ähnliche Spannungsbilder wie beim einfeldrigen Träger. Über der Stütze zeigt sich eine mit abnehmender Schlankheit zunehmende Konzentration der Biegedruckzone mit hohen Druckspannungen σ_x und σ_y . Auch die Schubspannungen drängen sich in der Auflagerzone zusammen, so dass die Hauptspannungen nur dort größere Neigung (bei Last von oben $\alpha_{\text{Zug}} \approx 30^\circ$) haben. Bild 2.2.1 zeigt für ein Innenfeld eines vielfeldrigen Trägers der Reihen nach die σ_x , τ_{xy} , σ_y und die resultierenden Z_x und D_x -Kräfte mit den inneren Hebelarmen für verschiedene l/d .

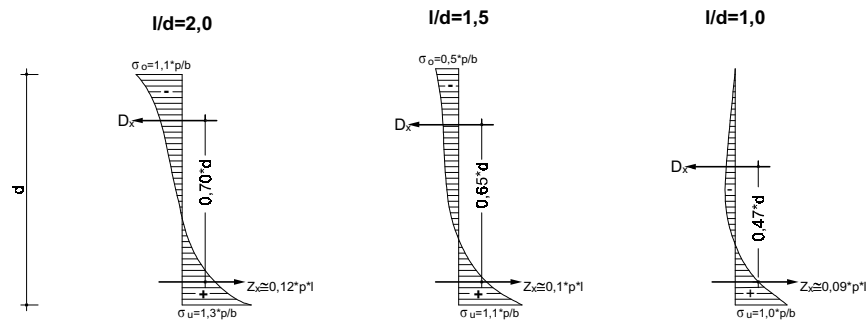
Diplomarbeit

Entwicklung eines multimedialen Lehr- und Lernmoduls über wandartige Träger im Stahlbetonbau

Erst-/Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / Prof. Dr.-Ing. H.- D. Quitmann
Bearbeitet von: Georg Reimer Matr. Nr. 109794

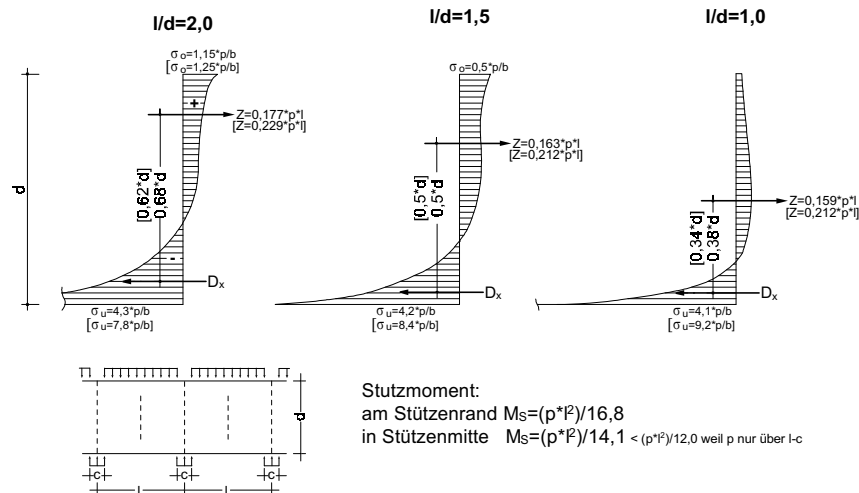


Schnitte in Feldmitte:



Feldmoment $M_F = (p \cdot l^2)/24$

Schnitte am Stützenrand (Werte in [] gelten für Stützenmitte):



Stutzmoment:
am Stützenrand $M_S = (p \cdot l^2)/16,8$
in Stützenmitte $M_S = (p \cdot l^2)/14,1 < (p \cdot l^2)/12,0$ weil p nur über $l-c$

τ_{xy} für Schnitte am Stützenrand:

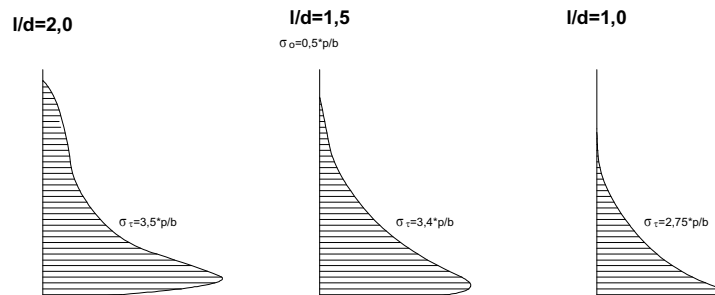
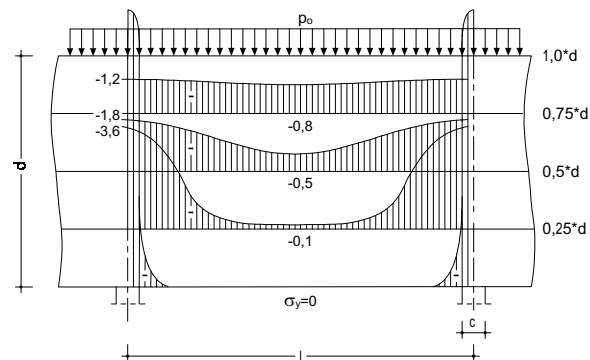


Bild 2.2.1a: Spannungscomponenten σ_x und τ_{xy} sowie Größe und Lage der inneren Kräfte in Feldmitte und am Stützenrand im Innenfeld von durchlaufenden wandartigen Trägern unter gleichmäßiger Last von oben für verschiedene Schlankheiten l/d ($c/l = 0,1$).

σ_y bei Last oben:



σ_y bei Last unten:

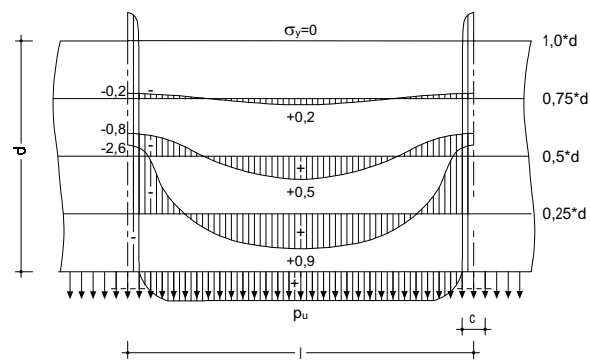
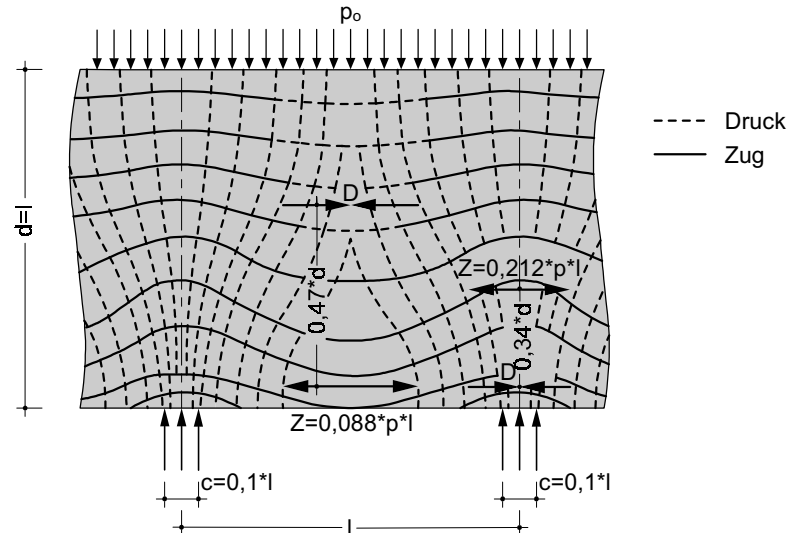


Bild 2.2.1b: Spannung σ_y zu Bild 2.12a von durchlaufenden wandartigen Trägern für $l/d = 1,5$ mit Last von oben bzw. Last von unten.

Bild 2.2.2 veranschaulicht den Verlauf der Hauptspannungen für $l/d = 1$ bei Gleichlast von oben und unten.

Last oben:



Last unten:

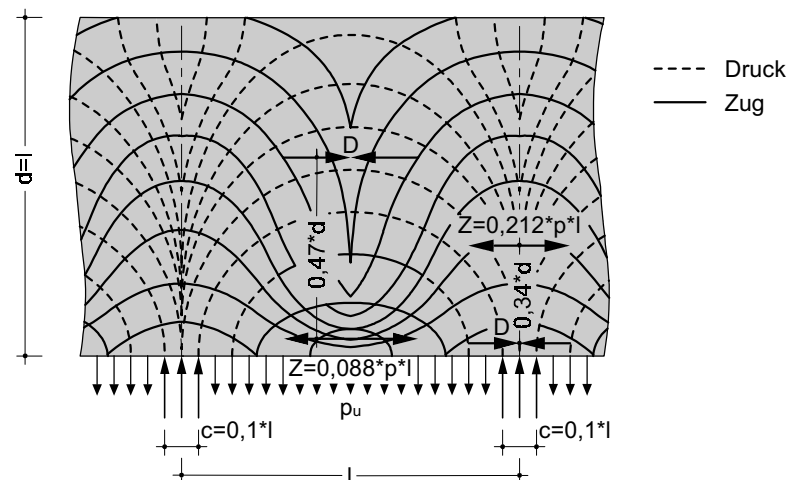


Bild 2.2.2: Hauptspannungstrajektorien im Innenfeld eines durchlaufenden wandartigen Trägers mit $l/d = 1$ und $c/l = 0,1$ für Gleichlast von oben bzw. von unten.

An Zwischenauflagern mehrfeldriger Scheibenträger kommt es also auf die max. Druckspannungen am Auflager an, die in Stützenachse mit $\max_{\sigma_{II}} \approx \sigma_y = l \cdot p / c \cdot b$ ihren Größtwert erreichen. Die Länge c des Auflagers und die Scheibendicke b müssen also so gewählt werden, dass dort der Beton auf Druck genügend Sicherheit hat. Die Zugzone über der Stütze erstreckt sich auf einen großen Teil der Trägerhöhe, die hat ihre maximale Zugspannung unterhalb $d/2$, wenn $l/d \leq 1,5$ ist. Dies muß bei der Verteilung der Biegebewehrung beachtet werden.

2.2.2 Einzellasten

Für Einzellasten in Feldmitte ermittelte F. Dischinger die in Bild 2.2.3 dargestellten σ_x -Diagramme für die Feldmitte bei verschiedenen l/d . Sie gelten mit umgekehrten Vorzeichen für den Schritt in der Stützenachse, wenn $c = c'$ ist.

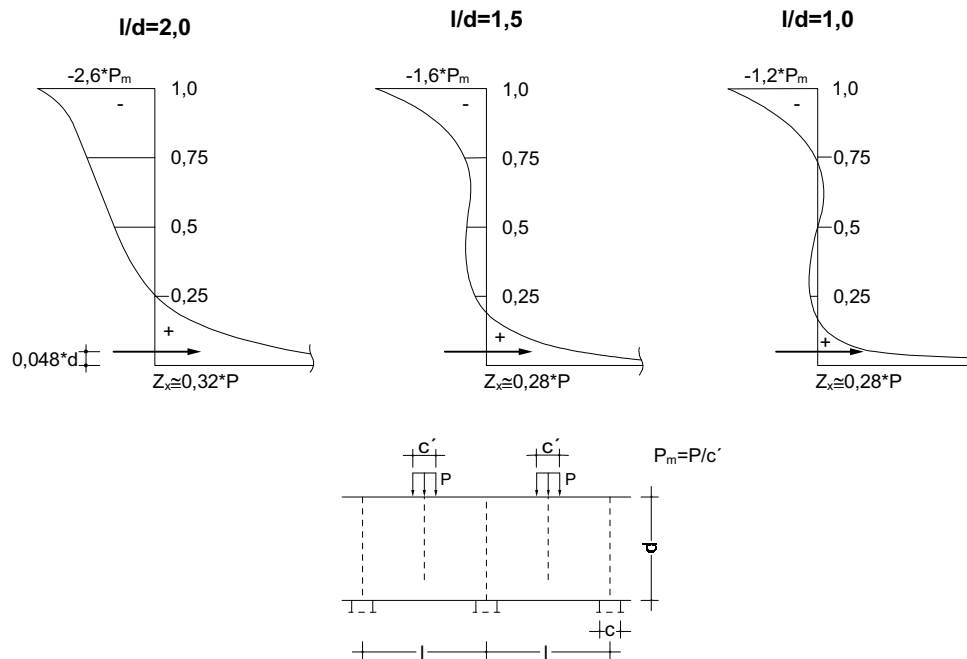
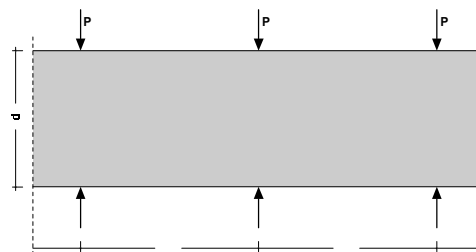


Bild 2.2.3: Spannungskomponenten σ_x sowie Lage und Größe der Zugkräfte Z_x in Feldmitte von durchlaufenden wandartigen Trägern mit verschiedenem Verhältnis l/d unter Einzellasten oben in Feldmitte. (Für den Spannungsverlauf in der Stützenachse sind die Diagramme umzukehren)

Eine Belastung durch gegenüberliegende Einzelkräfte kommt vor, wenn Stützenlasten durch Wände hindurchgeführt werden sollen.



Dabei entstehen Querkzugkräfte, die als Spaltkräfte aus Einleitung von Kräften nach Abschnitt 3 ermittelt werden können. F. Dischinger gibt den Verlauf der Querkzugspannungen σ_x für $c/l = 0,05$ für verschiedene l/d an. Daraus kann Größe und Lage der erforderlichen Querbewehrung ermittelt werden (Bild und Tabelle 2.2.4).

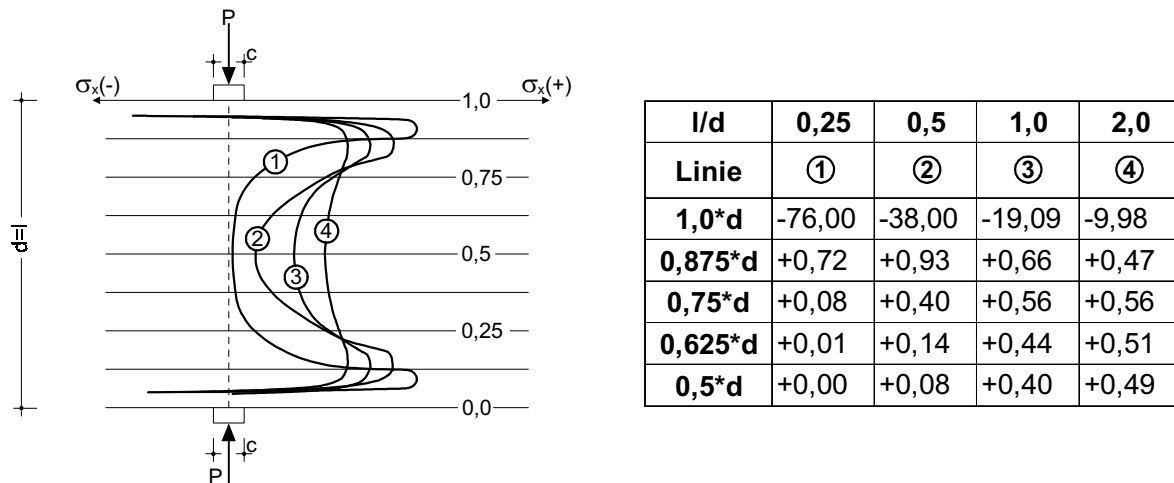


Bild 2.2.4: Verlauf der Querzugspannungen σ_x in wandartigen Trägern mit gegenüberliegenden Einzellasten bei verschiedenen Verhältnissen l/d und $c/l = 0,0,5$.

2.2.3 Einfluss von Auflagerverstärkungen

Auflagerverstärkungen mit durchgehenden Stützen oder Lisenen nehmen auch bei mehrfeldrigen Wandträgern der Wand schon innerhalb der Trägerhöhe umso mehr Last ab, je größer der relative Stützenquerschnitt ist. G. Pfeiffer gibt hierzu nützliche Kurven an, die den Verlauf des Anteils der Stützenlast P_L von der Gesamtlast $P = pl$ über die Trägerhöhe bei verschiedenen d/l ablesen lassen (Bild 2.2.5). Aus diesen Werten kann man die Reduktion der schiefen Hauptdruckspannung in der Scheibe am unteren Rand herleiten, die ohne solche Lisenen leicht kritisch wird. Bei unten angehängter Last erstreckt sich die Lastübernahme auf einen kürzeren Bereich.

Bild 2.2.6 zeigt an den Trajektorien der Hauptspannungen anschaulich den großen Einfluss des relativen Stützenquerschnittes.

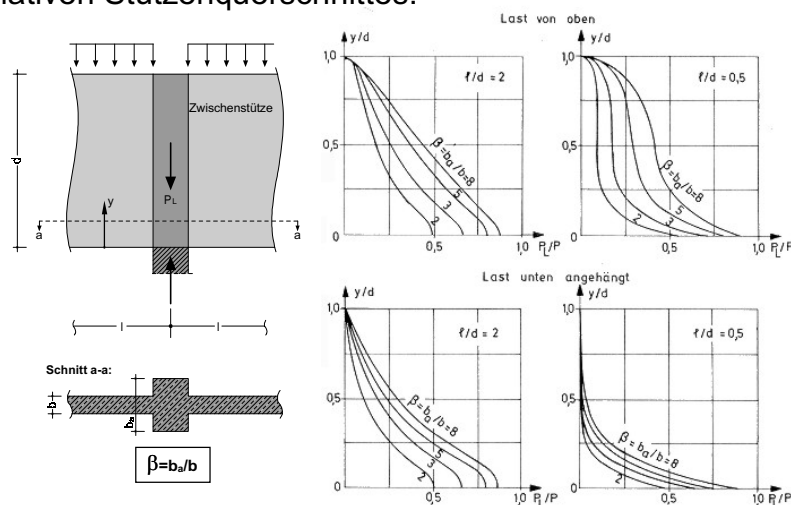


Bild 2.2.5: Lastanteil P_L , den die Lisenen von Gesamtlast $P = p \cdot l$ in Abhängigkeit von der Schlankheit l/d und dem Verhältnis $\beta = b_s/b$ der Lisenendicke zur Scheibendicke aufnehmen.

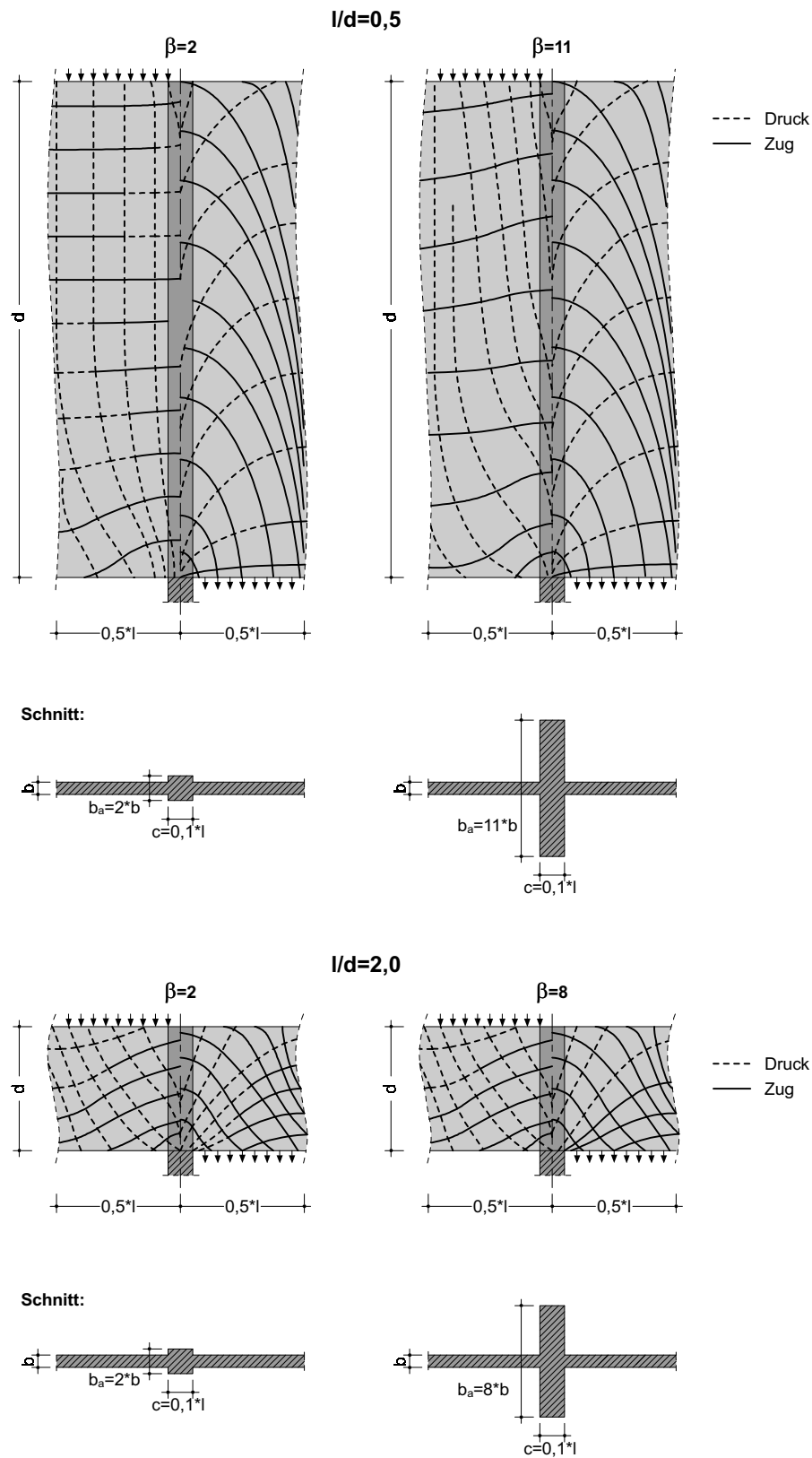
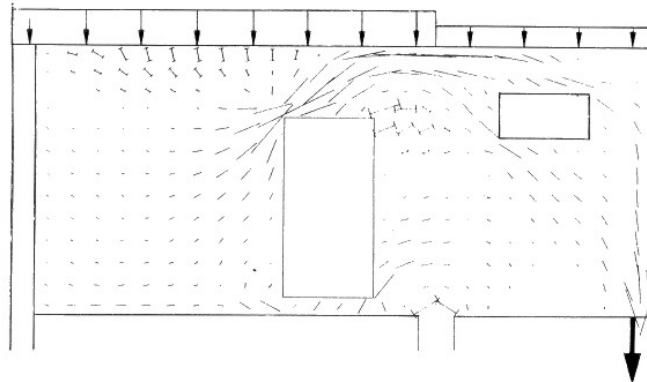


Bild 2.2.6: Hauptspannungstrajektorien in durchlaufenden wandartigen Trägern mit $l/d = 0,5$ und $l/d = 2$ und verschiedenem $\beta = b_a/b$ für oben bzw. unten angreifende gleichmäßig verteilte Last.

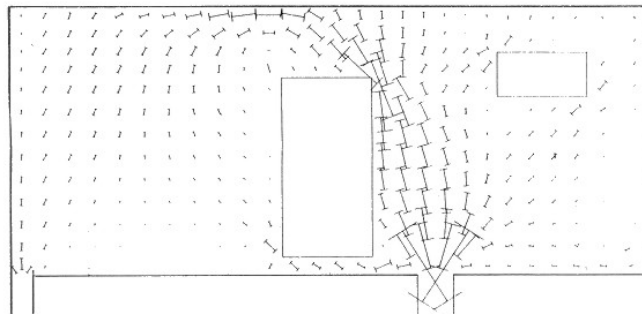
3 Berechnungs Methoden

3.1 Finite Element Methode

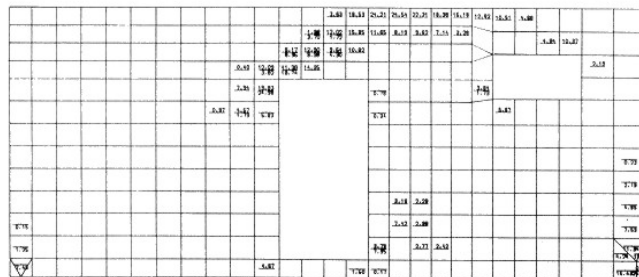
Bei einer FEM- Berechnung wird das Tragwerk in eine Vielzahl kleiner Elemente (z.B. Aufteilung einer Scheibe in kleine vier oder dreieckige Scheiben) aufgeteilt. Die Computerberechnung liefert zunächst nun z.B. für die Mitte dieser Elemente Normal und Schubspannungen bzw. die Hauptspannungen. Aus den Spannungen werden dann vom Rechner entsprechend dem gewählten Bewehrungsnetz die erforderlichen Bewehrungen berechnet. Da die Datenmengen bei FEM Berechnungen meist unüberschaubar groß werden, sollten für den praktischen Einsatz nur Programme mit graphischer Ein- und Ausgabe angewandt werden. Bei vielen Scheibentragwerken empfiehlt sich eine FEM- Berechnung mit unterschiedlichen Elementen, also Kombinationen von Scheiben- und Stabelementen; die Stabelemente werden z.B. in den balkenartigen Bereichen zwischen Öffnungen eingesetzt. Die Scheibenelemente liefern dann die Hauptspannungen und die Netzbewehrung, die Stabelemente liefern Momente, Normalkräfte und Querkkräfte bzw. die daraus resultierenden Biege- und Schubbewehrungen.



Hauptspannungen ($\max \sigma = 6,28 \text{ MN/m}^2$)



Hauptdruckspannungen ($\min \sigma = -13,83 \text{ MN/m}^2$)



Bewehrung [cm^2/m](Grundbewehrung 2 x Q513 ist berücksichtigt)

Bild 3.1.1: Hauptspannungen und Bewehrung Ergebnisse einer Berechnung mit ALLFEM

Das Modell gibt die wesentlichen Ströme des Kraftflusses wieder und verdeutlicht das Tragverhalten. Dabei repräsentieren die Einzelstäbe gekrümmte, ebene oder räumliche „Spannungsfelder“ mit der hauptsächlichen Tragwirkung in Richtung der Stabachse. Die Knotenpunkte der Stäbe sind natürlich keine Gelenke sondern in Wirklichkeit ganze Bereiche, in denen innere Kräfte (Spannungen) umgelenkt oder eingeleitet (verankert) werden. Die Kenntnis von (linear elastisch berechneten) Spannungsverteilungen oder zumindest eine zutreffende Vorstellung davon ist nötig, um die Vielfalt möglicher Modelle auf solche einzuschränken, die ein befriedigendes Verhalten des Tragwerks im Gebrauchszustand erwarten lassen. Deshalb ist es zweckmäßig, die Modelle für die Bemessung am Kraftfuß nach der Elastizitätstheorie zu orientieren. Darunter ist aber nicht ein möglichst genaues Abbilden eines linear elastischen Spannungsverlaufs (Trajektorienbildes) zu verstehen, denn ein so entwickeltes Bewehrungsmuster wäre gar nicht ausführbar. Vielmehr soll das Modell an die Hauptströme des Kraftflusses nach der Elastizitätstheorie angepasst werden, unter besonderer Berücksichtigung der Eigenheiten der Stahlbetonbauweise.

Prinzipien:

1. Das Modell muss einen möglichen Gleichgewichtszustand (unter vielen denkbaren Gleichgewichtszuständen) darstellen. Hierbei muss sowohl das äußere Gleichgewicht als auch das Gleichgewicht innerhalb des wandartigen Trägers möglich sein.
2. Modelle mit möglichst vielen Druckstäben sind zu bevorzugen. Druckspannungen können vom Beton übertragen werden. Zugspannungen können dagegen nur vom Betonstahl aufgenommen werden. Diese Aufnahme ist erst nach einer Dehnung und Rissbildung innerhalb des Bauteils möglich. Eine Bemessung mit einem Modell, welches viele Zugstäbe enthält, würde somit zu größeren Verformungen des Tragwerks führen als bei Anwendung eines Modells mit vielen Druckstäben. Die Lage der Druckstäbe sollte denen des wirklichen Tragwerks nahe kommen. Sofern die Lage der Druckstäbe nicht aus der Erfahrung vorgesehen werden kann, helfen grobe Untersuchungen auf Basis der Elastizitätstheorie (z.B.:FEM).

Hinweise:

1. Die Bewehrung muss baupraktisch einfach sein: das heißt, möglichst einfache Stabmodelle mit wenigen Stäben und geraden Bewehrungssträngen sind zu bevorzugen. Im Hinblick auf eine Bewehrung mit Betonstahlmatten ist die Wahl von orthogonalen Zugstäben sinnvoll.
2. Bei der Stabmodellierung sollen die Stäbe nicht in einem zu spitzen Winkel aufeinanderstoßen, da in diesem Fall bereits geringe Ungenauigkeit zu großen Änderungen in den Stabkräften führen; Winkel $> 45^\circ$ sind anzustreben.
3. Die Bauteilränder und Oberflächen sind im Hinblick auf die Rissverteilung mit oberflächennaher Bewehrung zu versehen. Nicht erfasste Einflüsse werden durch diese netzförmige Oberflächenbewehrung „konstruktiv“ abgedeckt.
4. Die Bewehrungsführung soll sich auch für andere Lastfälle eignen. Eine reine Trajektorienbewehrung ist schon deshalb nicht sinnvoll, weil die Trajektorienbilder sich mit den verschiedenen Lastfällen verändern.
5. Sofern komplizierte statisch unbestimmte wandartige Träger auftreten, bei denen die Modellbildung schwierig ist, können mehrere (sinnvolle) statisch bestimmte Teilsysteme gebildet werden. Für jedes Teilsystem wird jeweils getrennt ein Gleichgewichtszustand ermittelt. Sofern Lasten gleichzeitig auf alle Teilsysteme wirken, können sie entsprechend der Steifigkeit der Teilsysteme aufgeteilt werden. Die bei der Bildung der Teilsysteme verletzten Kontinuitätsbedingungen werden durch zusätzliche Bewehrung konstruktiv abgedeckt.

Es werden hier einige fertig ausgearbeitete Stabwerksmodelle für wandartige Träger dargestellt, die sich beim Modellieren immer wieder einsetzen lassen und in leicht abgewandelter Form auch für andere Abmessungsverhältnisse Verwendung finden. Bei allen Modellen werden konstante Beanspruchungen über die Elementdicke vorausgesetzt (ebenes Problem).

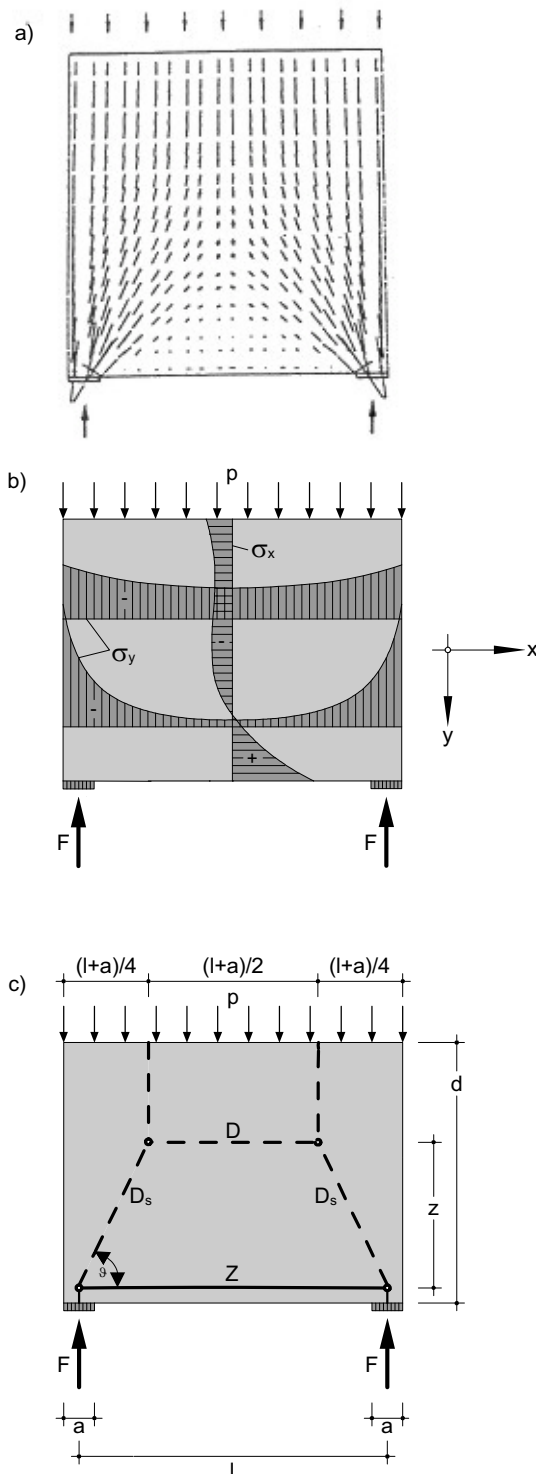


Bild 3.2.2: a) Spannungsbild aus linear elastischer Finite-Element-Berechnung
b) Spannungsverläufe
c) Stabwerksmodell

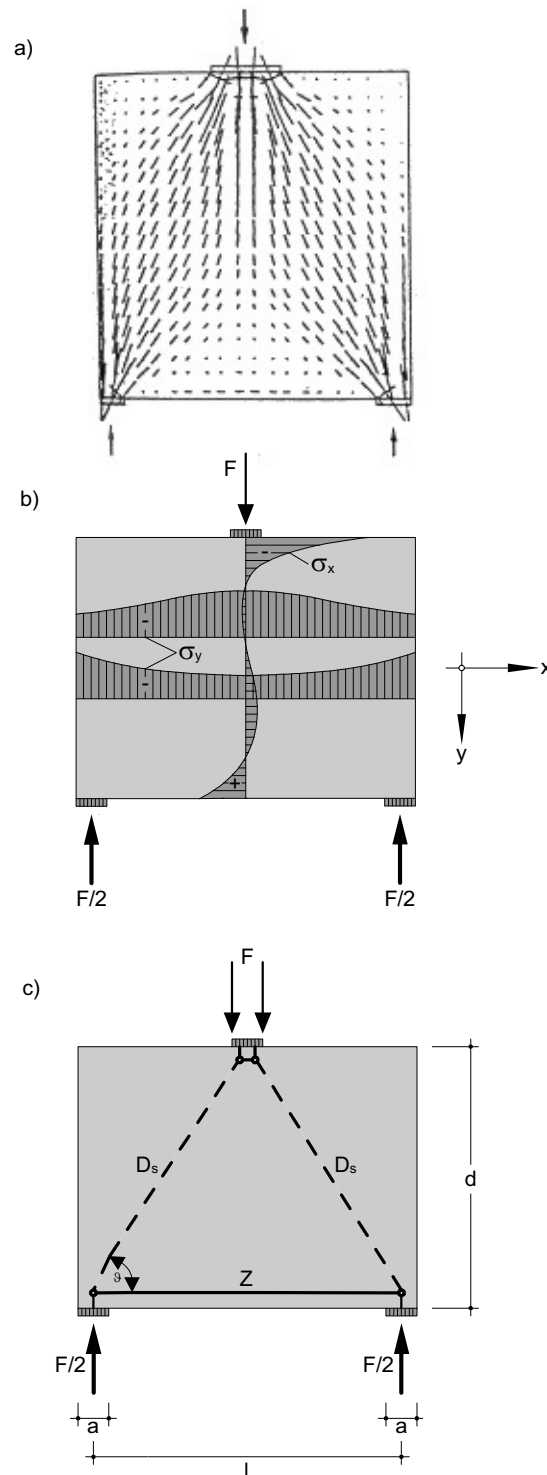


Bild 3.2.3: a) Hauptspannungsbild
b) Spannungsverläufe
c) Stabwerksmodell

3.3 Vertafelte Lösungen

3.3.1 Ermittlung der Längszugkräfte

In den Tafeln 3.3.1 bis 3.3.4 werden die Resultierenden der sich aus der Elastizitätstheorie ergebenden Längszugspannungen von wandartigen Trägern für die in Bild 3.3.1 angegebenen statischen Systeme und Lastbilder zusammengestellt. Dabei werden getrennt die maximalen Längszugkräfte Z_F im Feld, die größten Längszugkräfte Z_S über der Stütze von durchlaufenden oder auskragenden wandartigen Trägern und bei Einzellasten in durchlaufenden wandartigen Trägern die Spaltzugkraft Z'_S und gegebenenfalls die Randzugkraft Z_R angegeben.

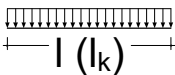
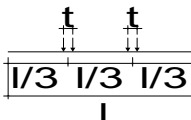
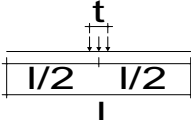
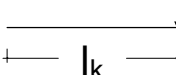
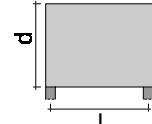
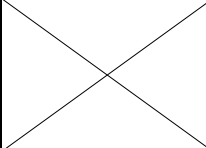
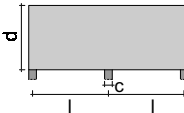
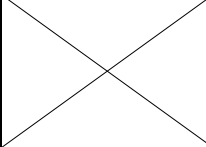
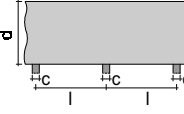
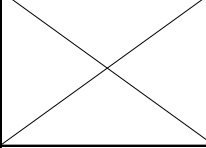
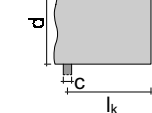
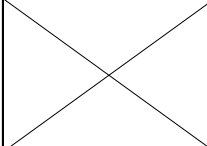
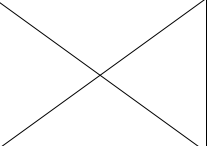
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">System $c/l < 0,2$</div> <div style="margin-left: 10px;"> Lastbild $t/l = 0,1$ bzw. $0,2$ </div> </div>				
	Tafel 3.3.1			
	Tafel 3.3.2			
	Tafel 3.3.3			
	Tafel 3.3.4			Tafel 3.3.4

Bild 3.3.1: Bezeichnung und Übersicht über die in den Tafeln 4.1 bis 4.4 behandelten statischen Systeme und Belastungsbilder von wandartigen Trägern

Diese resultierenden Längszugkräfte gelten für unmittelbar gestützte wandartige Träger ohne Randverstärkung bzw. Auflagerverstärkungen (Lisenen). Näherungsweise können sie auch bei wandartigen Trägern mit Randverstärkung und bei mittelbar gestützten wandartigen Trägern angewandt werden. Auf die Notwendigkeit, in solchen Fällen eine sorgfältig verankerte Netzbewehrung anzuordnen, wird im DafStb Heft 240 Abschnitt 4.2.3 hingewiesen.

Bei nicht dargestellten Lastbildern kann die Größe der resultierenden Zugkräfte in wandartigen Trägern durch Interpolation zwischen den Lastbildern abgeschätzt werden.

Näherungsweise können die in den Tafeln angegebenen resultierenden Längszugkräfte auch bei größeren Auflagerlängen c angewendet werden, wenn die Hauptbewehrung über den Stützen entsprechend Abschnitt 3.3.2 angeordnet wird. Auf die Berücksichtigung einer eventuellen Einspannung bei großen Auflagerlängen an Endauflagern wird hingewiesen.

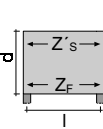
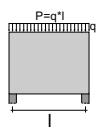
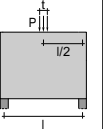
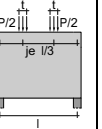
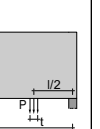
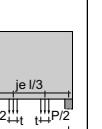
Der günstige Einfluss der Vergrößerung des inneren Hebelarmes beim Übergang in den Zustand II ist bei den in den Tafeln angegebenen resultierenden Längszugkräften nicht berücksichtigt, um die Gebrauchsfähigkeit (Risse) und die Tragfähigkeit (Überbeanspruchung des Verbundes) nicht zu beeinträchtigen.

Die resultierenden Längszugkräfte für die Endfelder von Durchlaufträgern (Zugkraft im Endfeld und über der ersten Innenstütze) können näherungsweise wie für einen Zweifeldträger ermittelt werden.

Diplomarbeit
Entwicklung eines multimedialen Lehr- und Lernmoduls
über wandartige Träger im Stahlbetonbau

Erst-/Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / Prof. Dr.-Ing. H.- D. Quitmann
 Bearbeitet von: Georg Reimer Matr. Nr. 109794



												
d/l	$c/l = t/l$	0,1	>0,2	0,1	>0,2	0,1	>0,2	0,1	>0,2	0,1	>0,2	
0,5		0,37 -	0,33 -	0,66 -	0,64 -	0,50 -	0,50 -	0,66 -	0,65 -	0,50 -	0,50 -	Z_F/P Z_S/P
0,6		0,21 -	0,27 -	0,55 -	0,53 -	0,41 -	0,40 -	0,53 -	0,52 -	0,42 -	0,41 -	Z_F/P Z_S/P
0,7		0,27 -	0,23 -	0,45 -	0,44 -	0,35 -	0,34 -	0,46 -	0,45 -	0,36 -	0,35 -	Z_F/P Z_S/P
0,8		0,24 -	0,20 -	0,38 -	0,36 -	0,30 -	0,29 -	0,42 -	0,41 -	0,32 -	0,30 -	Z_F/P Z_S/P
0,9		0,22 -	0,18 -	0,32 -	0,29 -	0,26 -	0,25 -	0,41 -	0,39 -	0,30 -	0,28 -	Z_F/P Z_S/P
1,0		0,21 -	0,18 -	0,27 -	0,25 -	0,23 -	0,21 -	0,40 -	0,37 -	0,29 -	0,27 -	Z_F/P Z_S/P
1,1		0,21 -	0,17 -	0,24 0,04	0,23 -	0,22 -	0,20 -	0,40 -	0,36 -	0,29 -	0,27 -	Z_F/P Z_S/P
1,2		0,20 -	0,17 -	0,22 0,09	0,20 0,04	0,20 -	0,18 -	0,40 -	0,36 -	0,28 -	0,26 -	Z_F/P Z_S/P
1,5		0,20 -	0,17 -	0,20 0,12	0,16 0,10	0,19 0,02	0,16 0,02	0,40 -	0,36 -	0,28 -	0,26 -	Z_F/P Z_S/P
>2,0		0,20 -	0,17 -	0,20 0,25	0,15 0,17	0,19 0,07	0,16 0,07	0,40 -	0,36 -	0,28 -	0,26 -	Z_F/P Z_S/P

Tafel 3.3.1: Resultierende Zugkräfte in einfeldrigen wandartigen Trägern

Diplomarbeit
Entwicklung eines multimedialen Lehr- und Lernmoduls
über wandartige Träger im Stahlbetonbau

Erst-/Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / Prof. Dr.-Ing. H.- D. Quitmann
 Bearbeitet von: Georg Reimer Matr. Nr. 109794



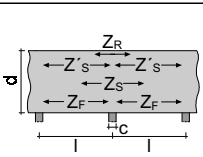
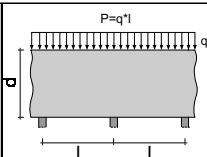
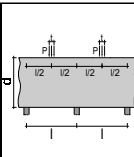
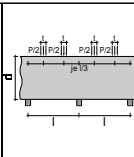
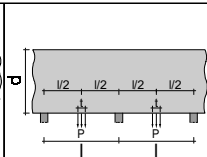
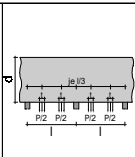
$\frac{c}{l} = \frac{t}{l}$ $\frac{d}{l}$	>0,1	>0,1	>0,1	>0,1	>0,1	
0,4	0,26 0,27 - -	0,55 0,44 - -	0,39 0,37 - -	0,55 0,44 - -	0,39 0,39 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
0,5	0,22 0,24 - -	0,47 0,31 - -	0,35 0,29 - -	0,47 0,32 - -	0,35 0,32 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
0,6	0,19 0,22 - -	0,41 0,25 - -	0,31 0,24 - -	0,43 0,27 - -	0,32 0,28 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
0,7	0,18 0,21 - -	0,36 0,23 - -	0,29 0,22 - -	0,40 0,27 - -	0,30 0,27 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
0,8	0,17 0,20 - -	0,33 0,24 - 0,01	0,27 0,22 - 0,01	0,38 0,30 - -	0,29 0,28 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
0,9	0,16 0,19 - -	0,30 0,25 - 0,02	0,25 0,22 - 0,02	0,37 0,32 - -	0,28 0,30 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
1,0	0,15 0,19 - -	0,28 0,26 0,01 0,02	0,23 0,23 - 0,02	0,36 0,34 - -	0,27 0,31 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
1,5	0,14 0,19 - -	0,20 0,27 0,10 0,03	0,19 0,24 0,01 0,03	0,36 0,34 - -	0,25 0,32 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z_R/P
>2,0	0,14 0,19 - -	0,18 0,27 0,15 0,05	0,17 0,24 0,04 0,05	0,36 0,34 - -	0,25 0,32 - -	Z_F/P Z_S/P Z'_S/P Z'_S/P

Tafel 3.3.2: Resultierende Zugkräfte in zweifeldigen bzw. in Randfeldern von mehrfeldrigen wandartigen Trägern

Diplomarbeit
Entwicklung eines multimedialen Lehr- und Lernmoduls
über wandartige Träger im Stahlbetonbau

Erst-/Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / Prof. Dr.-Ing. H.- D. Quitmann
 Bearbeitet von: Georg Reimer Matr. Nr. 109794

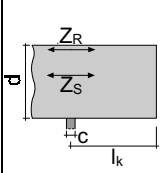
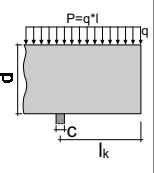
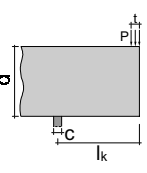
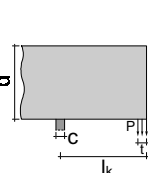


											
d/l		$c/l = t/l$									
0,3		0,05	0,1	>0,2	>0,1	>0,1	0,05	0,1	>0,2	>0,1	Z_F/P
		0,21	0,21	0,21	0,56	0,28	0,59	0,56	0,50	0,28	Z_S/P
		0,38	0,35	0,29	0,56	0,49	0,59	0,56	0,50	0,49	Z'_S/P
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_R/P
0,4		0,16	0,16	0,16	0,37	0,17	0,44	0,42	0,37	0,17	Z_F/P
		0,29	0,27	0,22	0,37	0,29	0,44	0,42	0,37	0,30	Z_S/P
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z'_S/P
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_R/P
0,5		0,12	0,12	0,12	0,30	0,14	0,33	0,32	0,29	0,13	Z_F/P
		0,26	0,23	0,19	0,30	0,24	0,33	0,32	0,29	0,26	Z_S/P
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z'_S/P
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_R/P
0,6		0,10	0,10	0,10	0,26	0,12	0,31	0,29	0,26	0,12	Z_F/P
		0,25	0,22	0,18	0,26	0,20	0,31	0,29	0,26	0,25	Z_S/P
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z'_S/P
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_R/P
0,7		0,09	0,09	0,09	0,23	0,11	0,30	0,28	0,24	0,11	Z_F/P
		0,25	0,21	0,17	0,23	0,18	0,30	0,28	0,24	0,25	Z_S/P
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z'_S/P
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z_R/P
0,8		0,09	0,09	0,09	0,21	0,10	0,30	0,28	0,24	0,10	Z_F/P
		0,25	0,21	0,16	0,21	0,10	0,30	0,28	0,24	0,25	Z_S/P
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Z'_S/P
		-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	Z_R/P
1,0		0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,30	0,28	0,24	0,10	Z_F/P
		0,25	0,21	0,16	0,11	0,14	0,30	0,28	0,24	0,25	Z_S/P
		-	-	-	0,11	0,02	-	-	-	-	Z'_S/P
		-	-	-	0,10	0,07	-	-	-	-	Z_R/P
1,5		0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,30	0,28	0,24	0,10	Z_F/P
		0,25	0,21	0,16	0,19	0,19	0,30	0,28	0,24	0,25	Z_S/P
		-	-	-	0,19	0,02	-	-	-	-	Z'_S/P
		-	-	-	0,09	0,06	-	-	-	-	Z_R/P
>2,0		0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,30	0,28	0,24	0,10	Z_F/P
		0,25	0,21	0,16	0,20	0,20	0,30	0,28	0,24	0,25	Z_S/P
		-	-	-	0,20	0,02	-	-	-	-	Z'_S/P
		-	-	-	0,09	0,06	-	-	-	-	Z_R/P

Tafel 3.3.3: Resultierende Zugkräfte in Innenfeldern von durchlaufenden wandartigen Trägern

Diplomarbeit
Entwicklung eines multimedialen Lehr- und Lernmoduls
über wandartige Träger im Stahlbetonbau

Erst-/Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / Prof. Dr.-Ing. H.- D. Quitmann
 Bearbeitet von: Georg Reimer Matr. Nr. 109794

				
$c/l = t/l$	$>0,2$	$>0,2$	$>0,2$	
d/l				
1,0	0,63 -	- 1,16	1,16 -	Z_F/P Z'_S/P
1,1	0,58 -	- 1,04	1,05 -	Z_F/P Z'_S/P
1,2	0,56 -	- 0,94	0,98 -	Z_F/P Z'_S/P
1,5	0,55 -	- 0,71	0,87 -	Z_F/P Z'_S/P
2,0	0,54 -	0,13 0,48	0,86 -	Z_F/P Z'_S/P
3,0	0,54 -	0,35 0,38	0,86 -	Z_F/P Z'_S/P
$>4,0$	0,54 -	0,48 0,38	0,86 -	Z_F/P Z'_S/P

Tafel 3.3.4: Resultierende Zugkräfte in auskragenden wandartigen Trägern

3.3.2 Besonderheiten der Bewehrungsführung

Nach DIN 1045, Abschnitt 23.3, müssen wandartige Träger mindestens 10 cm dick sein. Sie müssen stets beidseitig eine waagerechte und lotrechte Bewehrung (Netzbewehrung) erhalten. Der Querschnitt dieser Mindestnetzbewehrung darf auf jeder Seite und in jeder Richtung $1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ bzw. 0,05% des Betonquerschnittes nicht unterschreiten.

Die Maschenweite des Bewehrungsnetzes darf nicht größer als die doppelte Wanddicke und nicht größer als etwa 30cm sein.

Die Hauptbewehrung im Feld (Feldbewehrung) ist vollständig bis über die Auflager durchzuführen und dort auch im Falle mittelbarer Lagerung für die Zugkraft zu $0,8 z$ verankern. Dabei sind stehende Haken möglichst zu vermeiden; an Innenauflagern mehrfeldriger Träger sind nur gerade Stabenden mit entsprechender Übergreifung zu verwenden. Sie ist über eine Höhe von $0,1 d$ bzw. $0,1 l$ zu verteilen, wobei der kleinere Wert maßgebend ist.

Die Hauptbewehrung über den Innenstützen von mehrfeldrigen wandartigen Trägern ist gemäß Bild 3.3.2 über die Höhe der Zugzone zu verteilen. Sie ist zur Hälfte über die gesamte Stützweite durchzuführen, der Rest beidseitig bis auf eine Länge von je $l/3$, gerechnet vom Rand des Auflagers, wobei eine zusätzliche Verankerungslänge nicht berücksichtigt werden muss.

Die erforderliche Bewehrung zur Aufnahme der Spaltzugkräfte (z_s') und Randzugkräfte (z_R), die durch am oberen Rand angreifende Einzellasten hervorgerufen werden, ist gemäß Bild 3.3.3 anzuordnen.

Die Hauptbewehrung für die Zugkraft über der Stützung von auskragenden wandartigen Trägern ist gemäß Bild 3.3.4 zu verteilen. Zusätzlich wird die Anordnung einer konstruktiven Bewehrung im oberen Bereich der Kragplatte empfohlen.

Die in den Bereich der vorzusehenden Hauptbewehrung vorhandene Mindestnetzbewehrung darf auf die erforderliche Hauptbewehrung angerechnet werden.

Als weiter konstruktive Maßnahmen bei der Bewehrung durchlaufender wandartiger Träger, die gegenüber ungleichmäßigen Verformungen bzw. Setzungen der Auflager besonders empfindlich sind, wird die Anordnung einer zusätzlichen durchgehenden Bewehrung am oberen Rand empfohlen.

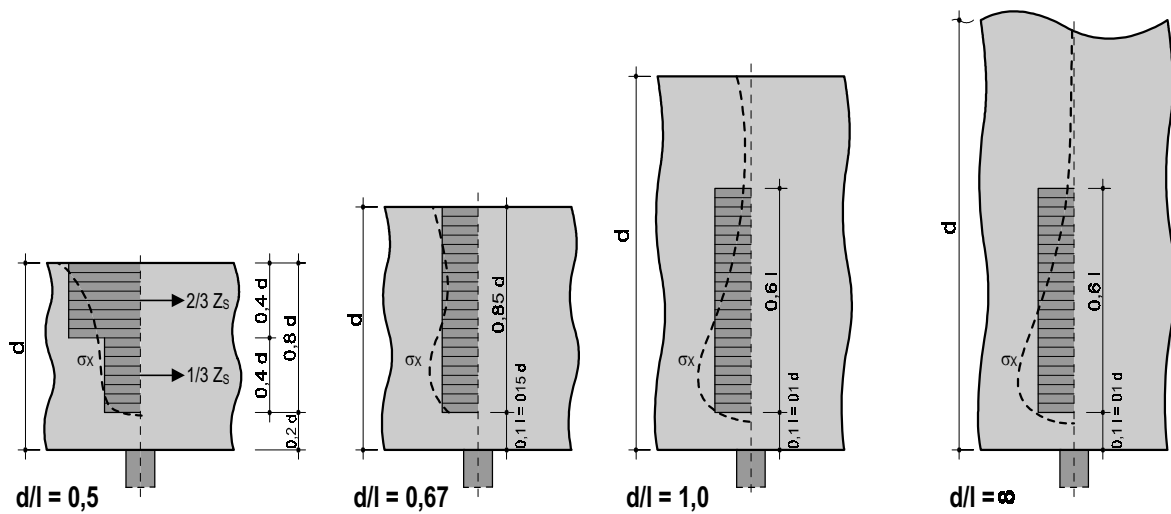


Bild 3.3.2: Verteilung der Hauptbewehrung für die Zugkraft Z über den Stützen mehrfeldriger wandartiger Träger

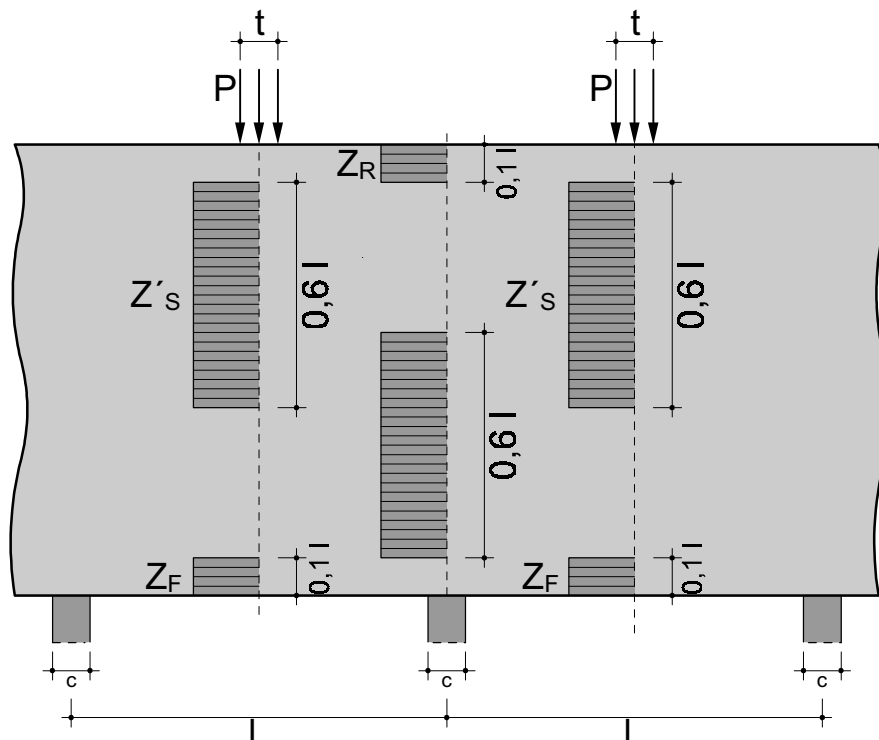


Bild 3.3.3: Verteilung der Hauptbewehrung für die Zugkräfte Z , Z_s , Z_s' und Z_R bei durchlaufenden wandartigen Trägern unter Einzellasten am oberen Rand (gezeigt für das Beispiel $d/l = 2$)

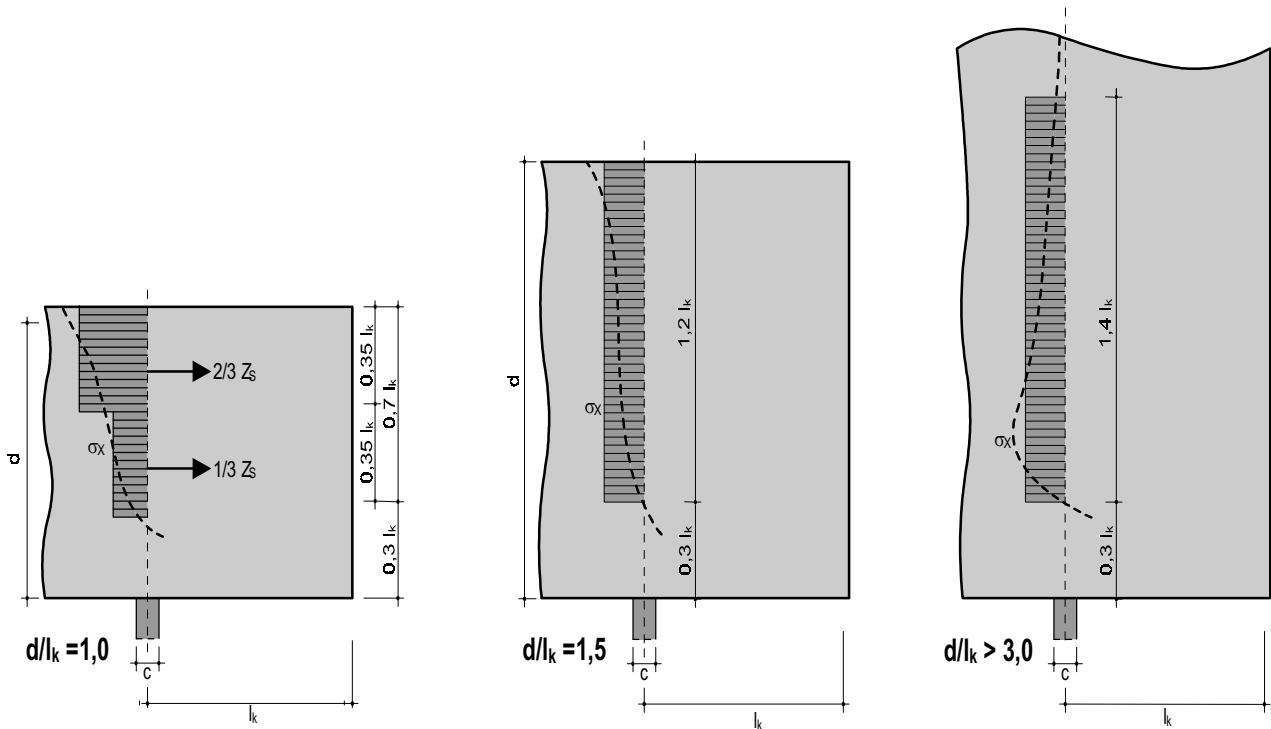


Bild 3.3.4: Verteilung der Hauptbewehrung für die Zugkraft Z_s über dem Auflager einer Krägscheibe

4 Bemessung wandartiger Träger

4.1 Bemessungsgrundlagen

Die Bewehrungsführung in wandartigen Trägern hängt stark von der Art der Lasteintragung (oben drückend unten angehängt) und von der Art der Auflagerung (unten gestützt oder über die Höhe verteilt an andere Träger angeschlossen) ab. Besonderes Augenmerk verdient die Bewehrung in den Auflagerbereichen, da dort die Beanspruchungen am ungünstigsten sind.

Als Mindestdicke schreibt DIN 1045 10cm vor. Bei der Bemessung ist nach DIN 1045 23.2 nachzuweisen, dass im Gebrauchzustand die Hauptdruckspannungen $\leq \beta_R/2,1$ sind und alle Hauptzugspannungen durch Bewehrung mit $\sigma_s = \beta_s / 1,75 = 286 \text{ MN/m}^2$ bei BSt 500 aufgenommen werden.

Geht man hierbei von den Lösungen im Zustand I aus, bleibt man auf der sicheren Seite. Im Heft 240 sind für ein- und mehrfeldrige Träger und für Kragstischen Lösungen bei verschiedenen Belastungen angegeben. Ein paar dieser Lösungen werden in den folgenden Ausführungen auszugsweise wiedergegeben.

4.1.1 Nachweis der Hauptdruckspannungen

Bei direkter Lagerung tritt die größte Hauptdruckspannung am Auflager auf. Es genügt hier der Nachweis der Auflagerpressung:

$$\sigma_A = A/c \cdot b \leq \beta_R/2,1 \quad (\text{bzw. } \leq 0,85 \cdot \beta_R/2,1 \text{ bei Endauflagern; vgl. H. 2404.3})$$

A = Auflagerkraft

b = Wanddicke

c = Lager- bzw. Stützenbreite in Richtung der Spannweite $\leq 0,2l$. (Ist zwischen Stütze und Scheibe eine Decke vorhanden, so darf in dieser zur Vergrößerung von c eine Lastausbreitung unter 45° in Richtung der Scheibe angenommen werden.)

Ist $\sigma_A > \beta_R/2,1$, so ist die Stützenbewehrung auf die gesamte Trägerhöhe in den wandartigen Träger hineinzuführen. Durch diese Bewehrung wird der Auflagerbereich verstärkt. Es sind dann die Angaben für Auflagerverstärkungen zu beachten.

Bei durchlaufenden Trägern ist zu beachten, dass sich kleinere Stützenmomente als beim schlanken Balken einstellen. Man bleibt auf der sicheren Seite, wenn man für die Randstütze die Durchlaufwirkung vernachlässigt und bei den Innenstützen die volle Durchlaufwirkung ansetzt. Genauere Angaben siehe DafStb Heft 240 4.1.

Bei Auflagerverstärkungen (Lisenen oder kräftige Bewehrung) müssen 2 Nachweise geführt werden: Nachweis der Auflagerverstärkung als Stütze und Nachweis der schiefen Hauptdruckspannungen im Träger. Die zulässigen Hauptdruckspannungen sind eingehalten, wenn die Querkraft Q am Auflager $\leq \text{zul}Q$ ist (Bild 4.1.1).

$$\text{zul}Q = 0,10 \cdot l \cdot b \cdot R_R \quad (\text{mit } l \leq d)$$

Bei indirekter Lagerung an Querwänden gilt die gleiche Bedingung.

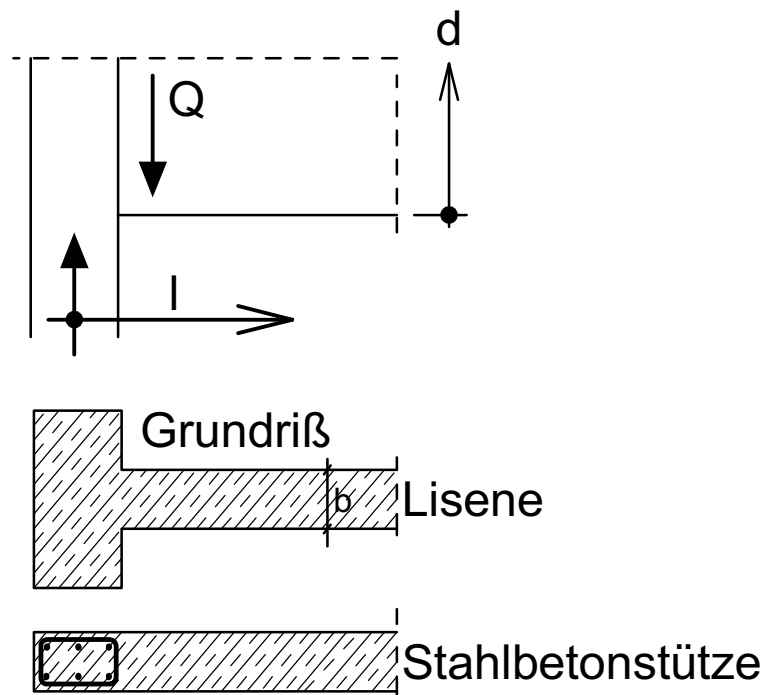


Bild 4.1.1: Auflagerverstärkung

4.1.2 Abdeckung der Hauptzugspannungen- Ermittlung der Bewehrung

Es sind hier 3 Bereiche zu unterscheiden:

- **Längsbewehrung**
Abdeckung der etwa horizontal verlaufenden Zugspannungen im Feld und über den Stützen.
- **Schubbewehrung**
Abdeckung der schräg verlaufenden Zugspannungen in den Auflagerbereichen.
- **Aufhängebewehrung**
Abdeckung der etwa vertikal verlaufenden Zugspannungen im Bereich von angehängten Lasten und bei indirekter (mittelbarer) Auflagerung.

4.1.2.1 Längsbewehrung:

Die Längsbewehrung ergibt sich zu: $A_s = Z / \sigma_s$ mit $\sigma_s = f_{ts} / 1,75 = 286 \text{ MN/m}^2$ (BSt 500).

4.1.2.1.1 Anordnung der Feldbewehrung

Da wandartige Mehrfeldträger gegen unterschiedliche Stützensenkungen sehr empfindlich sind, empfiehlt es sich, einen möglichst großen Anteil der Feldbewehrung ganz durchzuführen bzw. zu stoßen. Bei empfindlichem Baugrund sollte man nur Einfeldträger anordnen. Die Verteilung und Verankerung der Feldbewehrung ist wie beim Einfeldträger durchzuführen.

4.1.2.1.2 Anordnung der Stützbewehrung:

Von der Stützbewehrung sind wenigstens 50% über die ganze Trägerlänge durchzuführen. Der Rest ist durch Zulagen $\geq c + 2 \cdot l / 3$ abzudecken. Wegen der Empfindlichkeit gegen Stützensetzung sind etwa 30% der Stützenbewehrung am oberen Rand des Trägers zusätzlich einzulegen. Eine besondere Spaltzugbewehrung über den Stützen ist nicht erforderlich.

Die Verteilung der Stützenbewehrung in der Höhe ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen.

4.1.2.2 Schubbewehrung :

Bei direkter Lagerung ist kein besonderer Nachweis erforderlich, sofern die nach DIN 1045-23.3 geforderte waagerechte und lotrechte Mindestbewehrung (Netzbewehrung) vorhanden ist.

Mindestbewehrung pro Seite und Richtung:

$1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ bzw. $0,05\%$ von A_b

Abstände $\leq 2 \cdot \text{Wanddicke} \leq 30\text{cm}$

Bei indirekter Lagerung und bei Auflagerverstärkungen (Lisenen oder Bewehrung wie in Bild 4.1.1) muss am Auflager ein quadratischer Bereich mit den Seitenlängen $0,35 d$ bzw. $0,35 l$ (der kleinere Wert ist maßgebend) verstärkt werden.

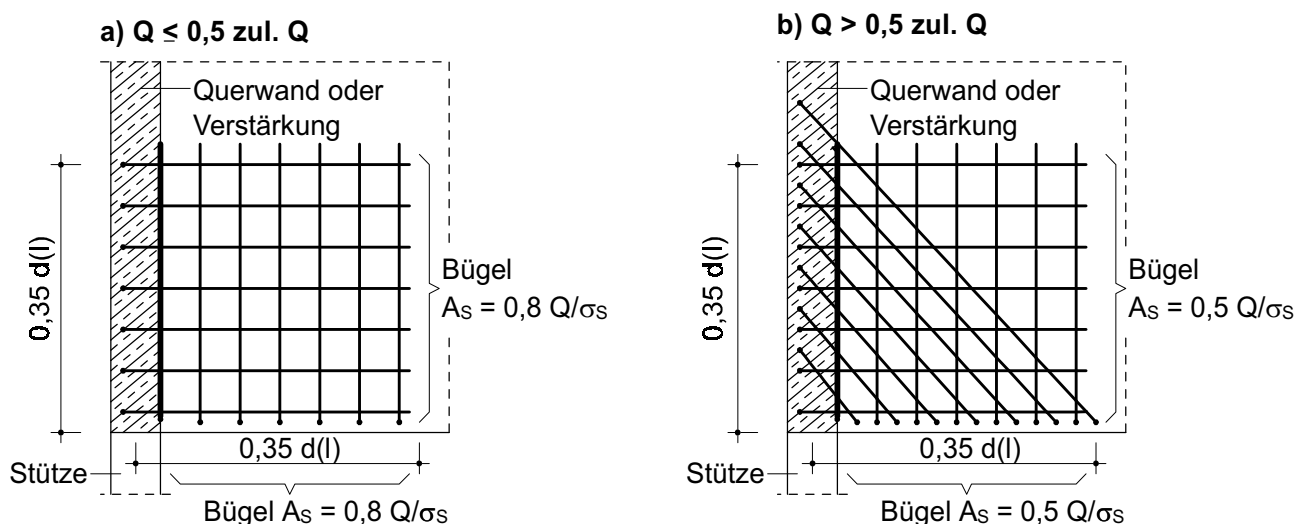
Je nach Höhe der Beanspruchung (vgl. Nachweis der Hauptdruckspannungen) wird ein Bewehrungsnetz mit 2 oder 3 Bewehrungsrichtungen angeordnet.

Für $Q \leq 0,5 \text{ zul}Q$: 2 Bewehrungsrichtungen, Bemessung in jeder Richtung für 80% der Querkraft (Bild 4.1.2 a).

Für $Q > 0,5 \text{ zul}Q$: 3 Bewehrungsrichtungen, Bemessung in jeder Richtung für 50% der Querkraft (Bild 4.1.2 b).

Diese zusätzliche Bewehrung muss im Auflagerbereich gut verankert werden, sie wird deshalb am Endauflager oft bügelförmig ausgeführt.

Die Mindestbewehrung und auch die im Auflagerbereich liegende Hauptbewehrung darf auf das verstärkte Bewehrungsnetz angerechnet werden.



$$\sigma_s = \beta_s / 1,75 \leq 286 \text{ MN/m}^2 \text{ (BSt 500)}$$

Bild 4.1.2: Zusatzbewehrung bei indirekter Lagerung bzw. bei Auflagerverstärkungen

4.1.2.3 Aufhängebewehrung

Angehängte Lasten sind durch eine Aufhängebewehrung in den oberen Bereich des Trägers einzuleiten. Als angehängte Lasten gelten dabei alle Lasten, die im unteren Bereich des Trägers (begrenzt durch die Unterkante und einem Halbkreis mit dem Radius $0,5 l$ zwischen den Auflagern) angreifen, ebenso die Auflagerkräfte aus mittelbarer Lagerung in Querscheiben.

Bei Gleichlasten werden vertikale Stäbe (im unteren Bereich zusätzlich auch eine horizontale Bewehrung), bei Einzellasten Schrägstäbe oder Bewehrungsnetze vorgesehen, welche die gesamte Last aufnehmen und auf eine Höhe gleich der Spannweite $l \leq d$ führen können.

Bei indirekter Lagerung ist im lastabnehmenden Trägern eine Aufhängebewehrung für 80% der hier abgegebenen Auflagerkraft vorzusehen. Diese Bewehrung ist im Übertragungsbereich zu konzentrieren.

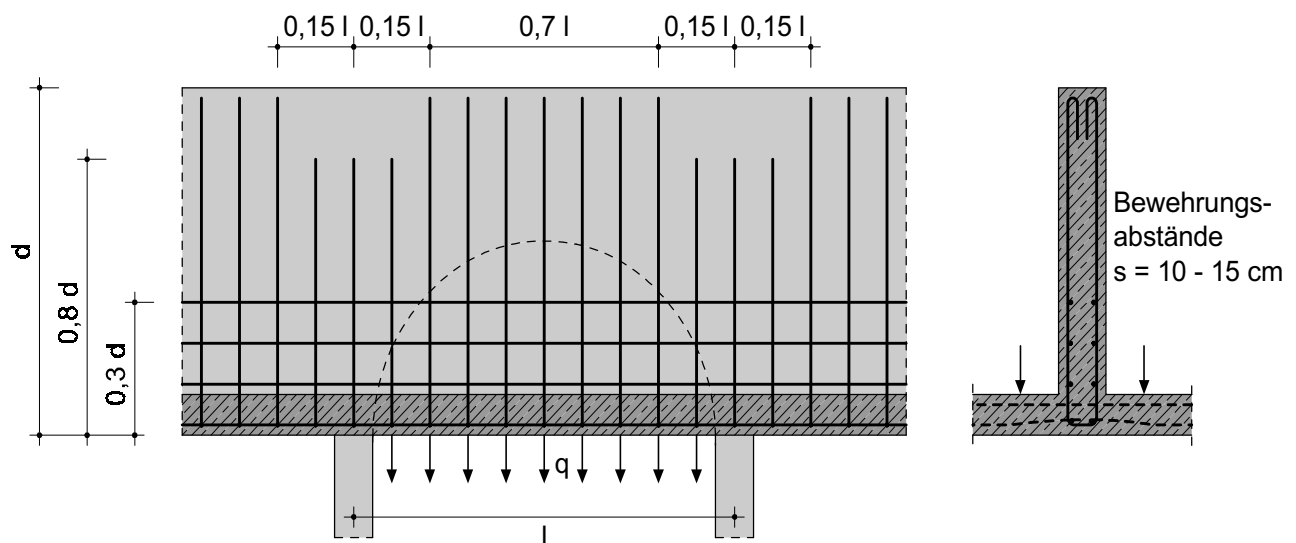


Bild 4.1.3: Aufhängebewehrung

4.1.3 Aussparungen

Aussparungen im Feldbereich stören die Tragwirkung des wandartigen Trägers kaum, sofern die Feldbewehrung ungehindert durchgeführt werden kann (vergl. Bild 4.1.4: Tragwirkung wie Bogen mit Zugband).

Aussparungen im Auflagerbereich stören die Tragwirkung erheblich. Hier sind immer genauere Untersuchungen erforderlich.

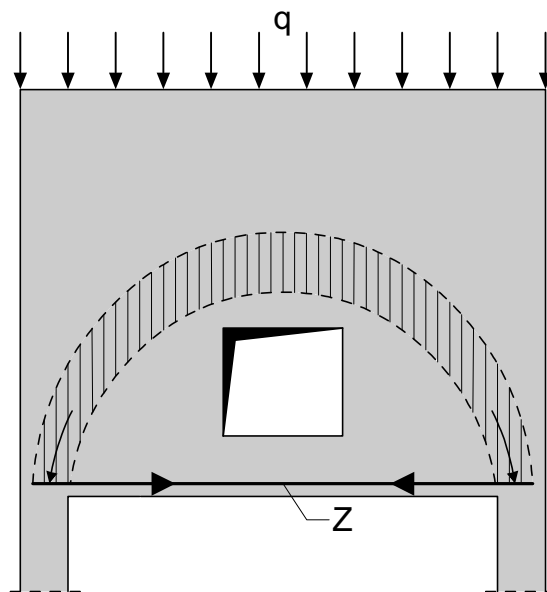


Bild 4.1.4: Tragwirkung bei Aussparungen im Feldbereich

4.2 Einfeldrige wandartige Träger

Wesentlich ist, dass bei von oben belasteten wandartigen Trägern die Zugtrajektorien sehr flach verlaufen (Bild 4.2.1) und deshalb die Hauptbewehrung im wesentlichen waagerecht geführt werden muss. Bügel werden nur konstruktiv zum Umfassen der Gurtbewehrung und zum Binden der waagerechten Bewehrung gebraucht. Aufgebogene Stäbe sind schädlich.

Die Gurtbewehrung für die maximale Gurtkraft Z ist ohne Abstufung von Auflager zu Auflager durchzuführen und im Auflagerbereich für die Kraft $0,8 Z$ zu verankern, bei kurzer Ankerlänge mit liegenden Haken oder Ankerplatten bzw. Ankerwinkeln aus Stahl. Die Gurtbewehrung ist auf eine Höhe von etwa $0,15$ bis $0,20 d$ zu verteilen (Bild 4.2.1). Für $l/d \leq 1$ ist für d die Spannweite l anzusetzen. Der übrige Wandbereich erhält eine Netzbewehrung beidseitig mit den in Bild 4.2.1 angegebenen Stababständen.

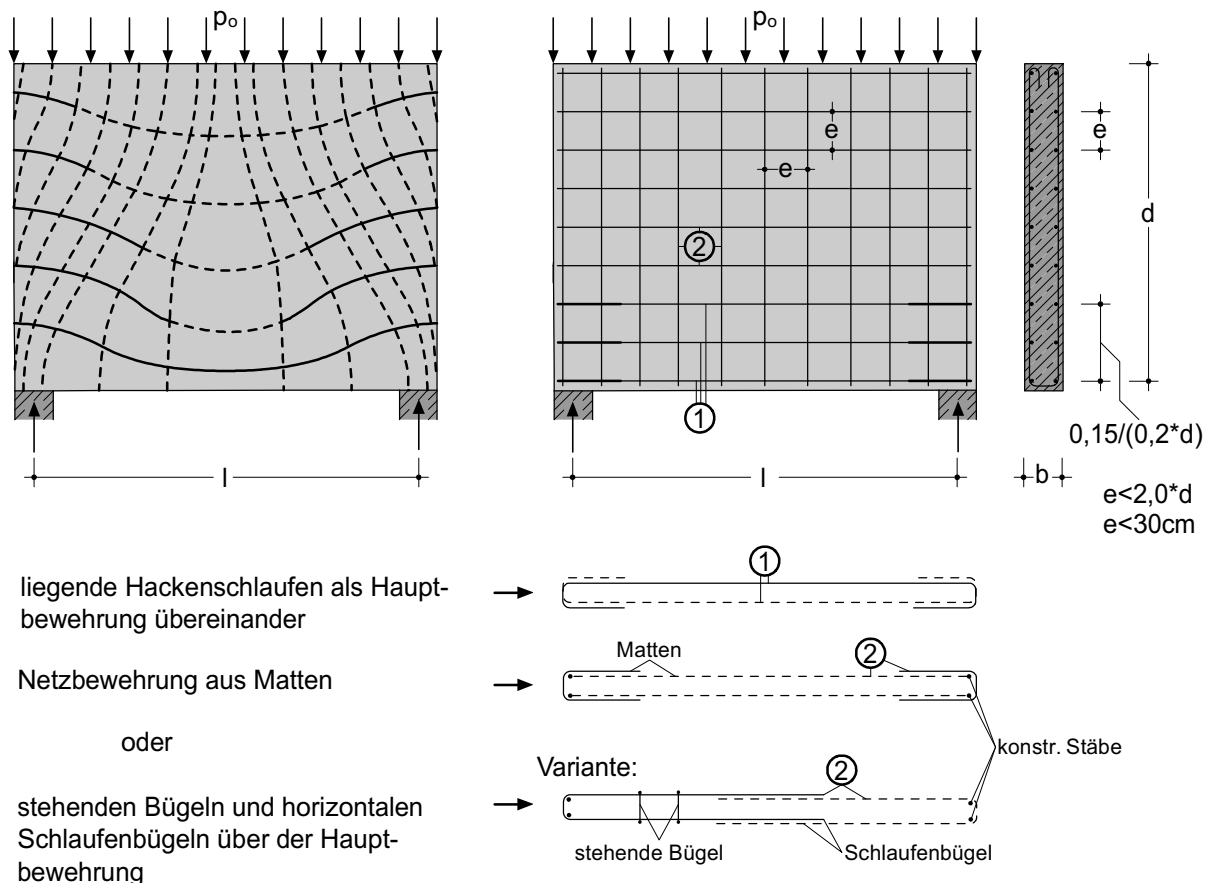
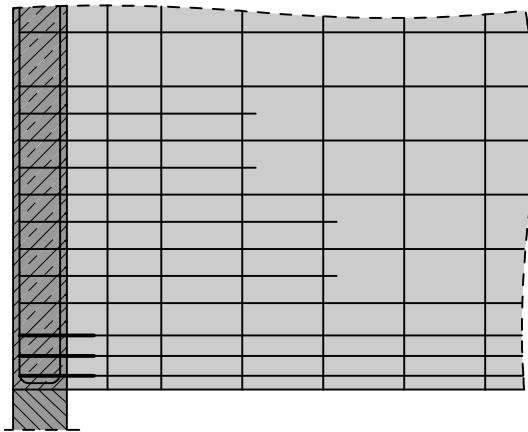


Bild 4.2.1: Verlauf der Hauptspannungstrajektorien und Bewehrung eines unmittelbar gestützten und von oben belasteten Wandträgers

Die lotrechten Ränder und Randstäbe müssen mit horizontalen bügelartigen Stäbe umschlossen sein, die nahe am Auflager, besonders bei Auflagerlisenen oder Stützen, enger gelegt werden als im übrigen Bereich (Bild 4.2.2).

Ansicht:



Grundriß:

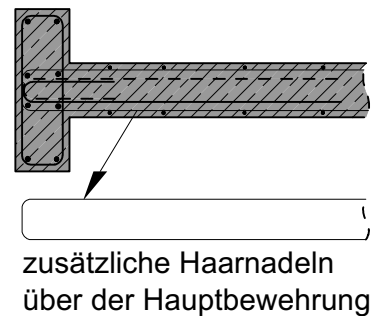


Bild 4.2.2: Ausbildung der Bewehrung in der Lastübertragungszone eines Trägers nach Bild 12.1, dessen Auflager durch Stützen oder Lisenen verstärkt ist.

4.3 Mehrfeldrige wandartige Träger

Auch bei mehrfeldrigen wandartigen Trägern verlaufen die Zugtrajektorien sehr flach (Bild 4.3.1). Die untere Gurtbewehrung wird zweckmäßig ohne Abstufung über die ganze Wandlänge durchgeführt; sie kann über den Zwischenstützen durch Übergreifung gestoßen werden; Endanker und Verteilung auf die Zugzone wie im vorigen Abschnitt.

$l/d=1,5$

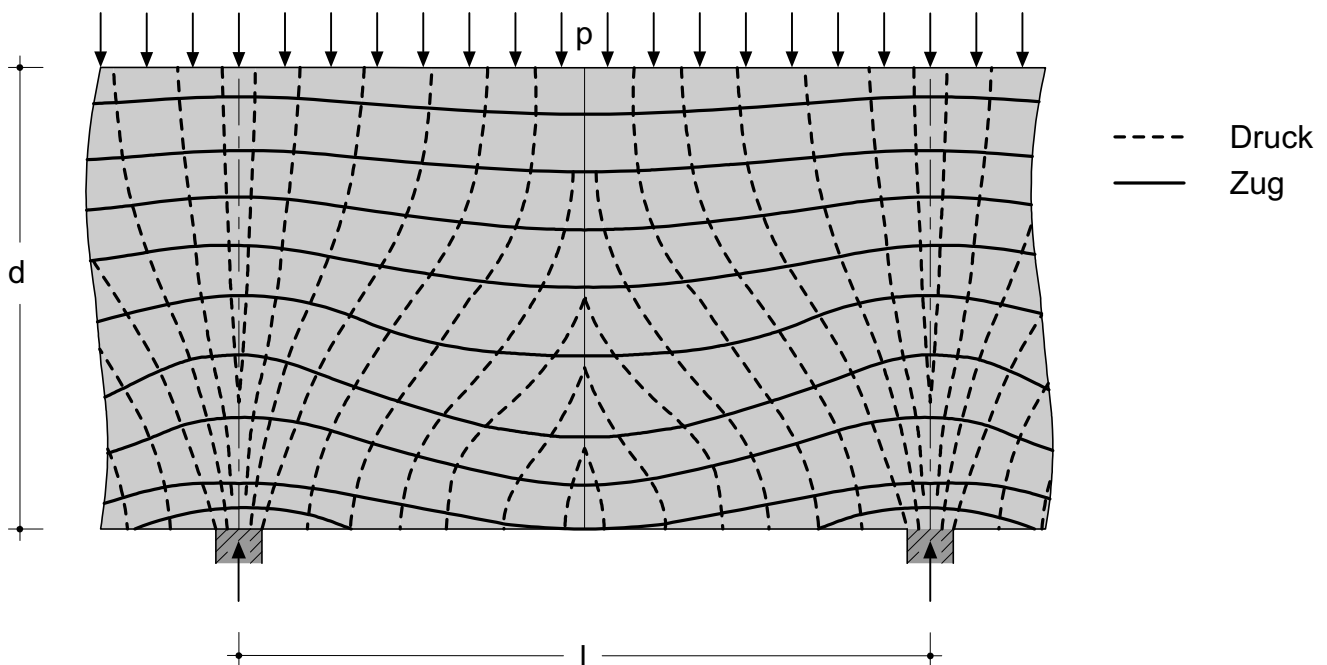
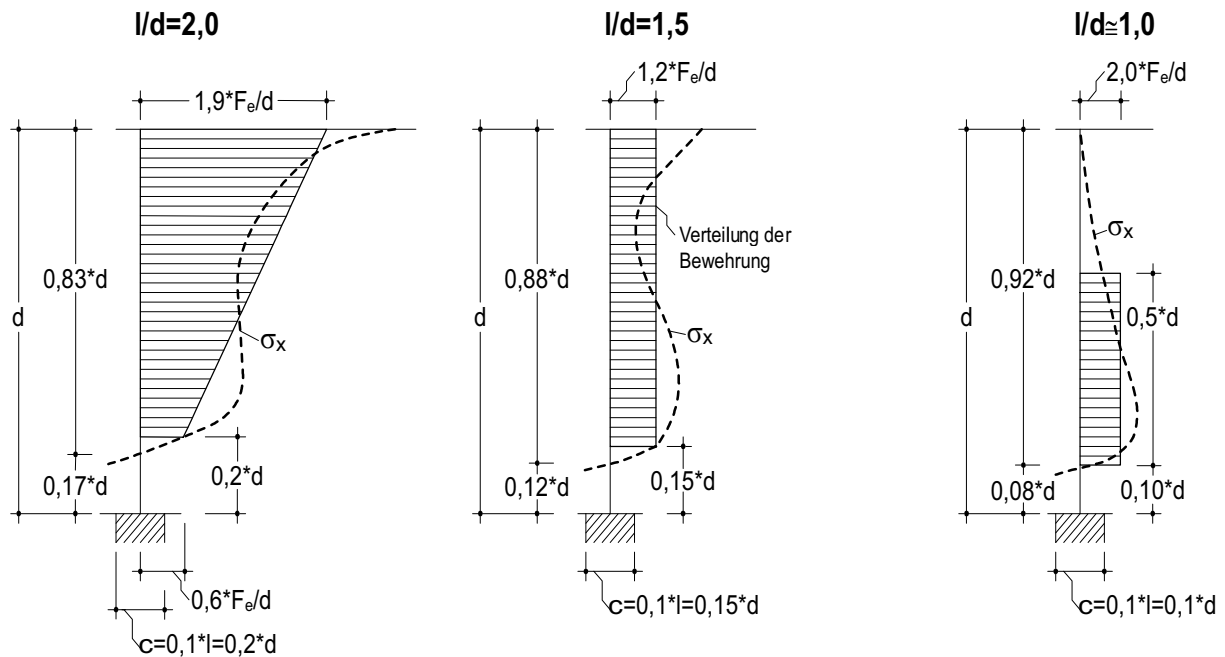


Bild 4.3.1: Verlauf der Hauptspannungstrajektorien in mehrfeldrigem wandartigen Träger im Zustand I bei oben angreifender Last

Die Bewehrung zur Deckung der Stützmomente ist abhängig von l/d gemäß Bild 4.3.2 auf die hohe Zugzone zu verteilen, sie ist wenigstens zur Hälfte über die ganze Scheibenlänge als Teil der Netzbewehrung durchzuführen. Die andere Hälfte kann mit Stablängen von etwa $0,8 d$ bzw. $0,7$ bis $0,8 l$ (wenn $l/d < 1$) und Stababständen von 10 bis 15 cm zugelegt werden (Bild 4.3.3). Die so verteilte Stützbewehrung deckt auch die Zugkräfte infolge Einleitung der Auflagerkraft, es ist also keine zusätzliche Spaltzugbewehrung erforderlich. Auch in Trägern mit $l/d \leq 1$, bei denen theoretisch am oberen Rand keine Zugspannungen σ_x über der Stütze auftreten, ist eine obere Randlängsbewehrung durchzuführen. Aufgebogene Stäbe sind nur bei hängender Last oder mittelbarer Lasteintragung sinnvoll (vgl. Abschn. 4.4).



F_e = erf. Stützbewehrung für Z_e in $[\text{cm}^2]$

Bild 4.3.2: Anhalt für die Verteilung der Zuggurtbewehrung über Stützen mehrfeldrigen Träger

Die Empfindlichkeit der mehrfeldrigen Wandträger gegen ungleiche lotrechte Auflagerverschiebungen, auch gegen elastische Zusammenrückung der Stützen und der anschließenden Wandbereiche, ist zu beachten.
 Im Bereich von Auflagerlisenen sind zusätzliche Bewehrungen nach Bild 4.2.2 anzuordnen.

Diplomarbeit
Entwicklung eines multimedialen Lehr- und Lernmoduls
über wandartige Träger im Stahlbetonbau

Erst-/Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / Prof. Dr.-Ing. H.- D. Quitmann
 Bearbeitet von: Georg Reimer Matr. Nr. 109794

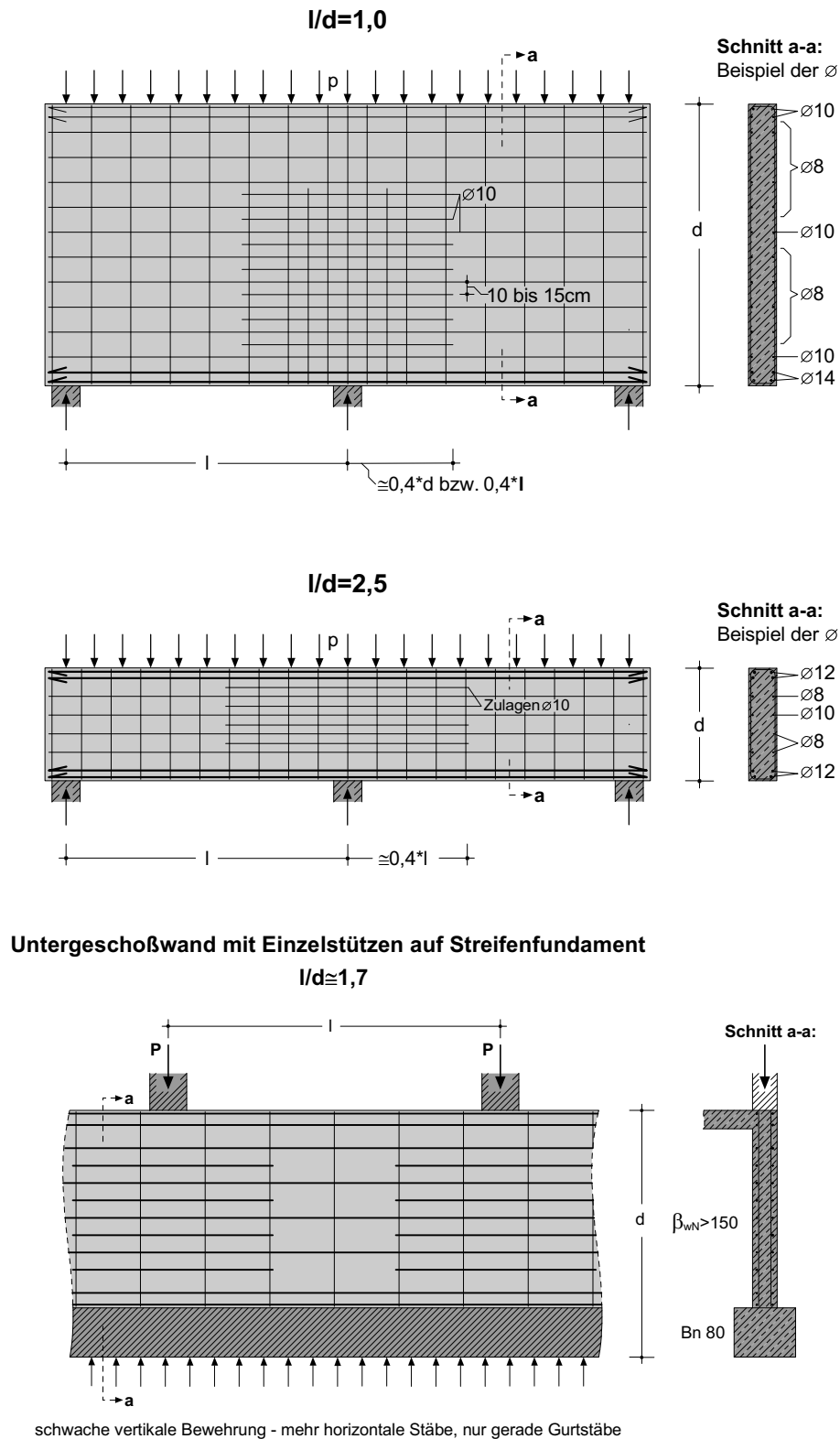


Bild 4.3.3: Beispiele für die Bewehrung mehrfeldriger Wandträger.

4.4 Wandartige Träger mit unten angehängter Last

Bei unten angehängter Last verlaufen die Trajektorien nach Bild 4.4.1.

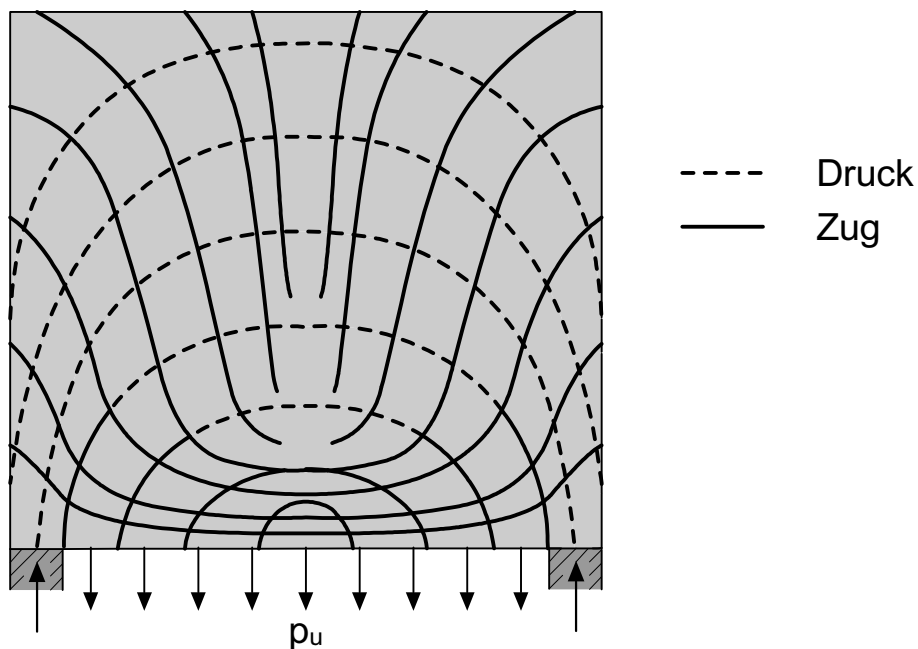


Bild 4.4.1: Verlauf der Hauptspannungstrajektorien in wandartigen Trägern bei angehängter Last ($l/d = 1$)

Entsprechend ist außer der Gurtbewehrung nach Abschn. 4.2 (vgl. Bild 4.2.1) für die Lasten im schraffierten Bereich der Scheibe nach Bild 4.4.2 eine enge lotrechte Aufhängebewehrung in Form von Bügeln oder Bügelmatten (Stababstand 10 bis 15cm) einzubauen, die bei $l/d > 1,2$ am oberen Rand, bei $l/d \leq 1,2$ etwa entlang eines Halbkreises mit Scheitelhöhe $y = l$ verankert werden (Bild 4.4.3).

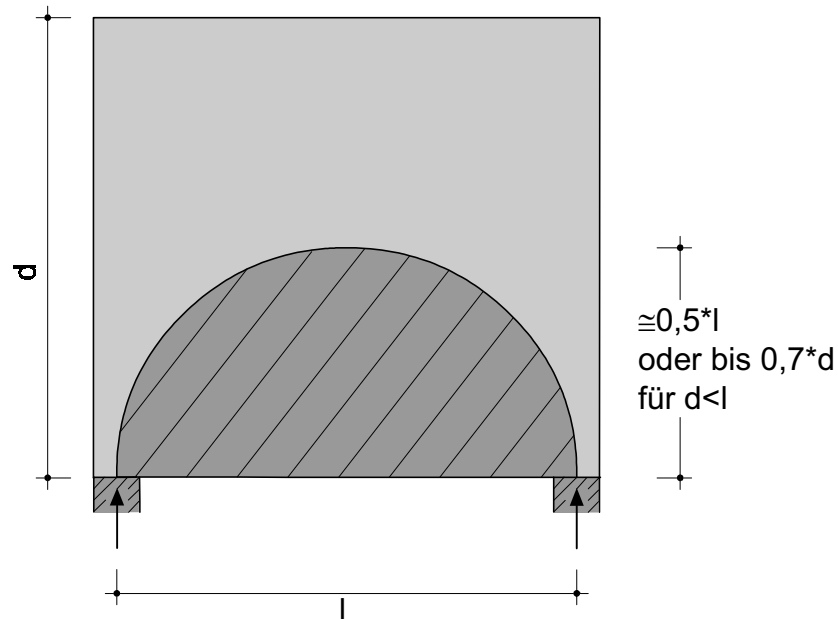


Bild 4.4.2: Einflussbereich anzuhängender Lasten (Eigengewicht und unten angreifende Lasten)

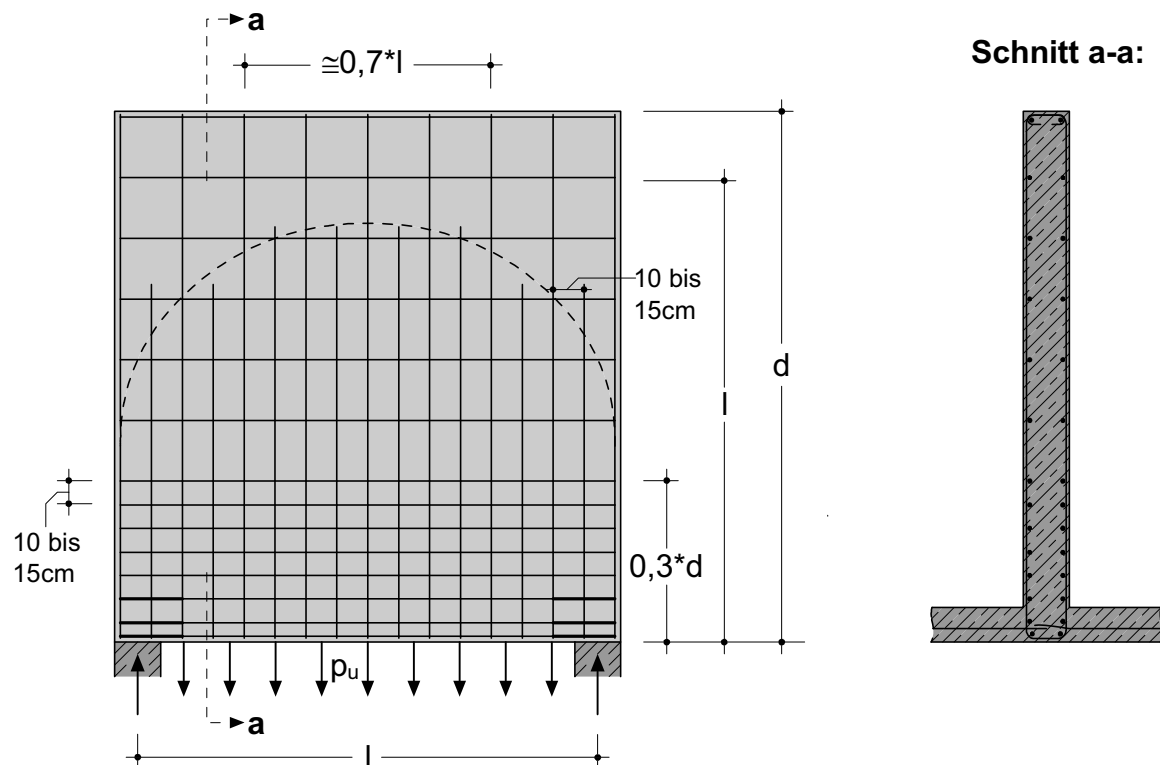


Bild 4.4.3: Bewehrung eines unmittelbar gelagerten Wandträgers mit angehängter Last ($l/d \leq 1$)

Diese Aufhängebewehrung muss den Auflagerbereich des lasteintragenden Bauglieds bündelartig umschließen. Entsprechend muss die untere Bewehrung einer am Wandträger hängenden Deckenplatte auf der untersten Lage der Gurtbewehrung des Wandträgers aufliegen, damit die dort geneigt ankommenden Druckgurtkräfte erfasst werden können (Bild 4.4.3)

4.5 Mittelbar gestützte wandartige Träger

Die Gurtbewehrung ist wie bei unmittelbar gestützten wandartigen Trägern anzuordnen (s. Abschnitt 4.2)

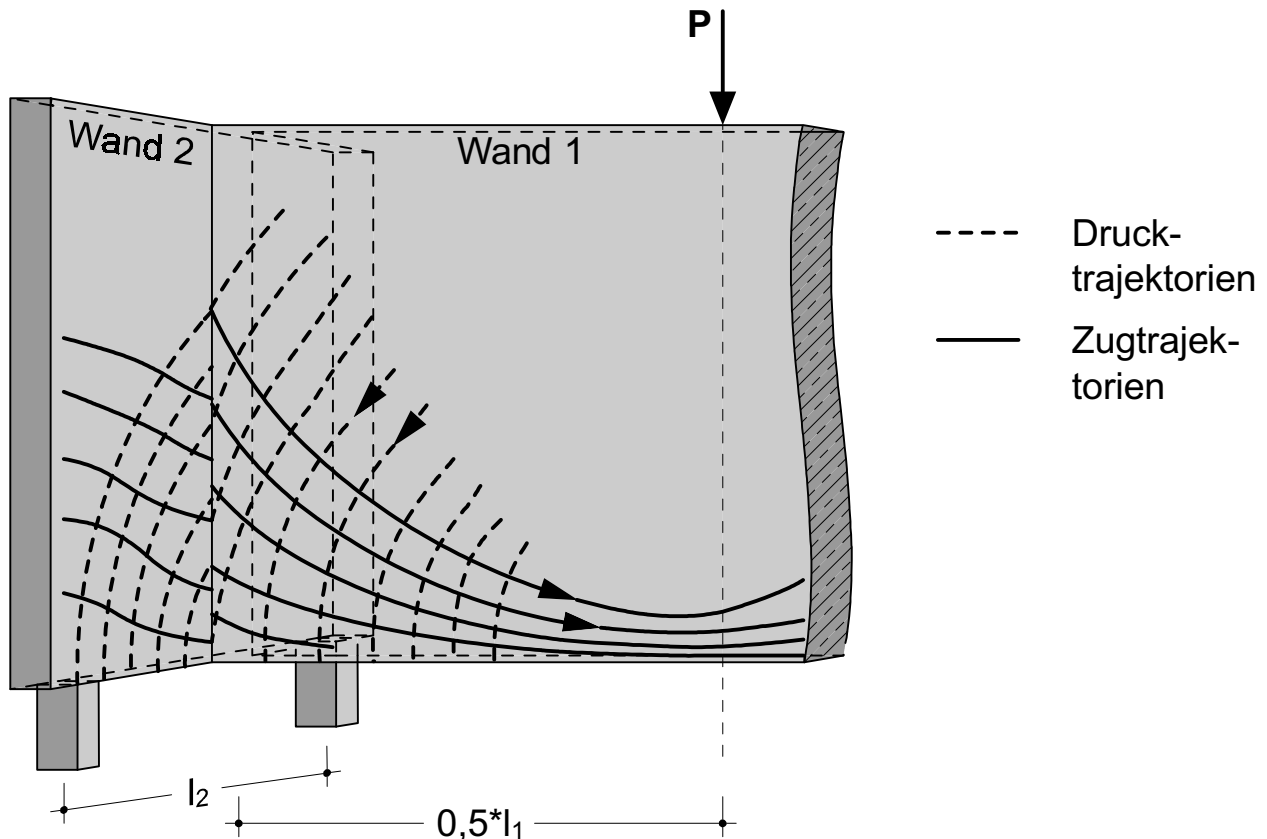


Bild 4.5.1: Spannungstrajektorien im Auflagerbereich einer mittelbar gelagerten Wand

Die lastbringende Wand I gibt ihre Last vorwiegend über Druckstreben im unteren Drittel ihrer Höhe an die Wand II ab (Bild 4.5.1), die damit unten belastet wird und mit Aufhängebügeln für die volle Auflagerkraft aus Wand I bewehrt werden muss (Bild 4.5.2).

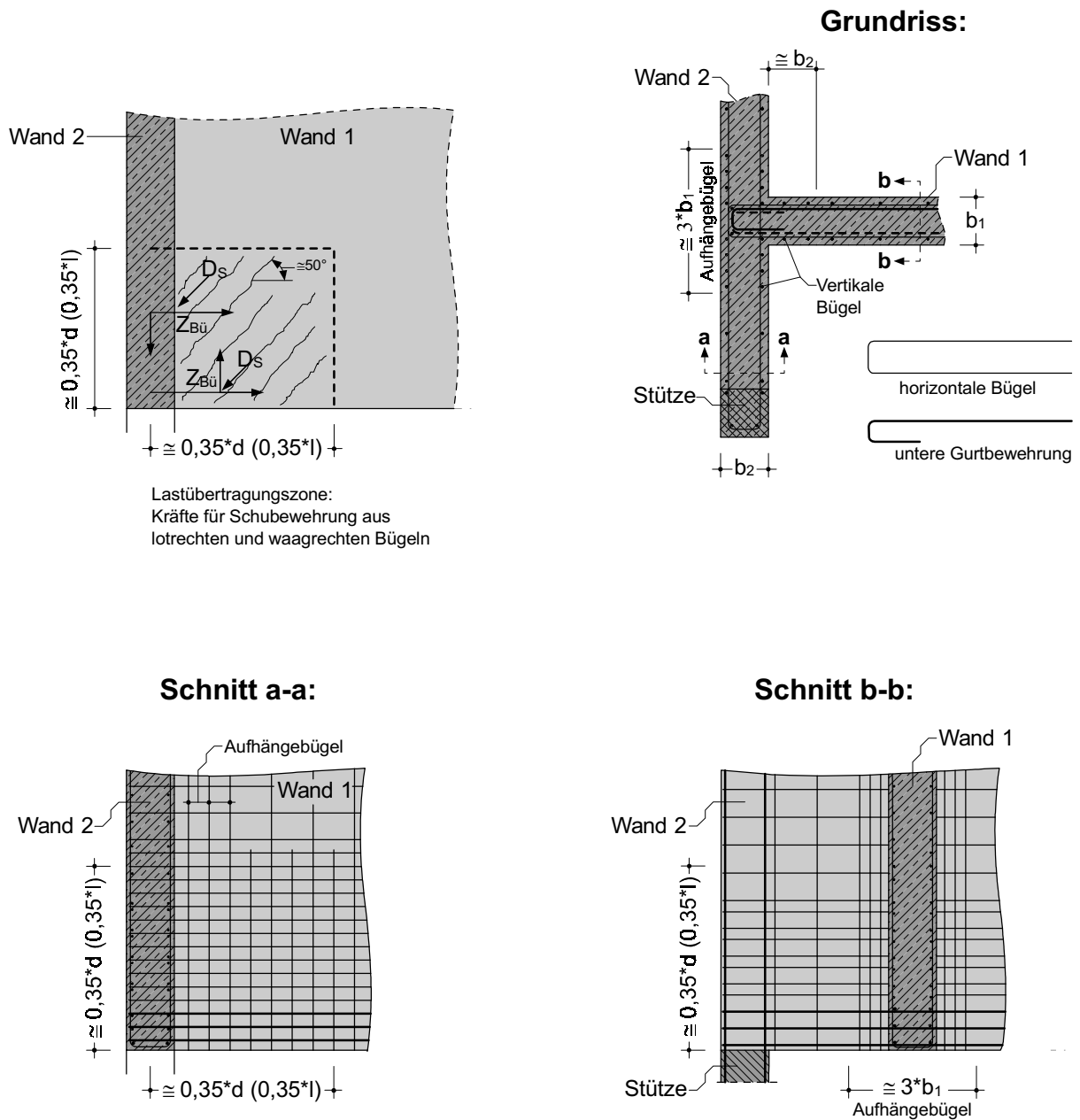


Bild 4.5.2: Bewehrung in der Lastübertragungszone der mittelbar gelagerten Wand I und in der lastabnehmenden Wand II mit lotrechten und waagerechten Bügeln bei mäßiger Beanspruchung

Die in Bild 4.5.2 gekennzeichnete Lastübertragungszone ($0,35 d \times 0,35 d$) des Wandträgers I ist bei mäßiger Beanspruchung ($Q \approx \frac{1}{2} \text{zul}Q$ mit $\text{zul}Q = 0,09 d \cdot b \cdot f_{Rk}$) orthogonal zu bewehren mit engen vertikalen und horizontalen Bügeln, die jeweils für $Z_{Bü} = 0,8 Q$ zu bemessen sind. Die in Wand I angeordnete Aufhängebügel dürfen angerechnet werden. Bei hoher Beanspruchung ($Q > \frac{1}{2} \text{zul}Q$) sind in das orthogonale Bewehrungsnetz der Scheibe Bügel mit 45° bis 55° Neigung gegen die Horizontale schräg einzulegen und mindestens für den Anteil $0,5 Q$ zu bemessen (Bild 4.5.3).

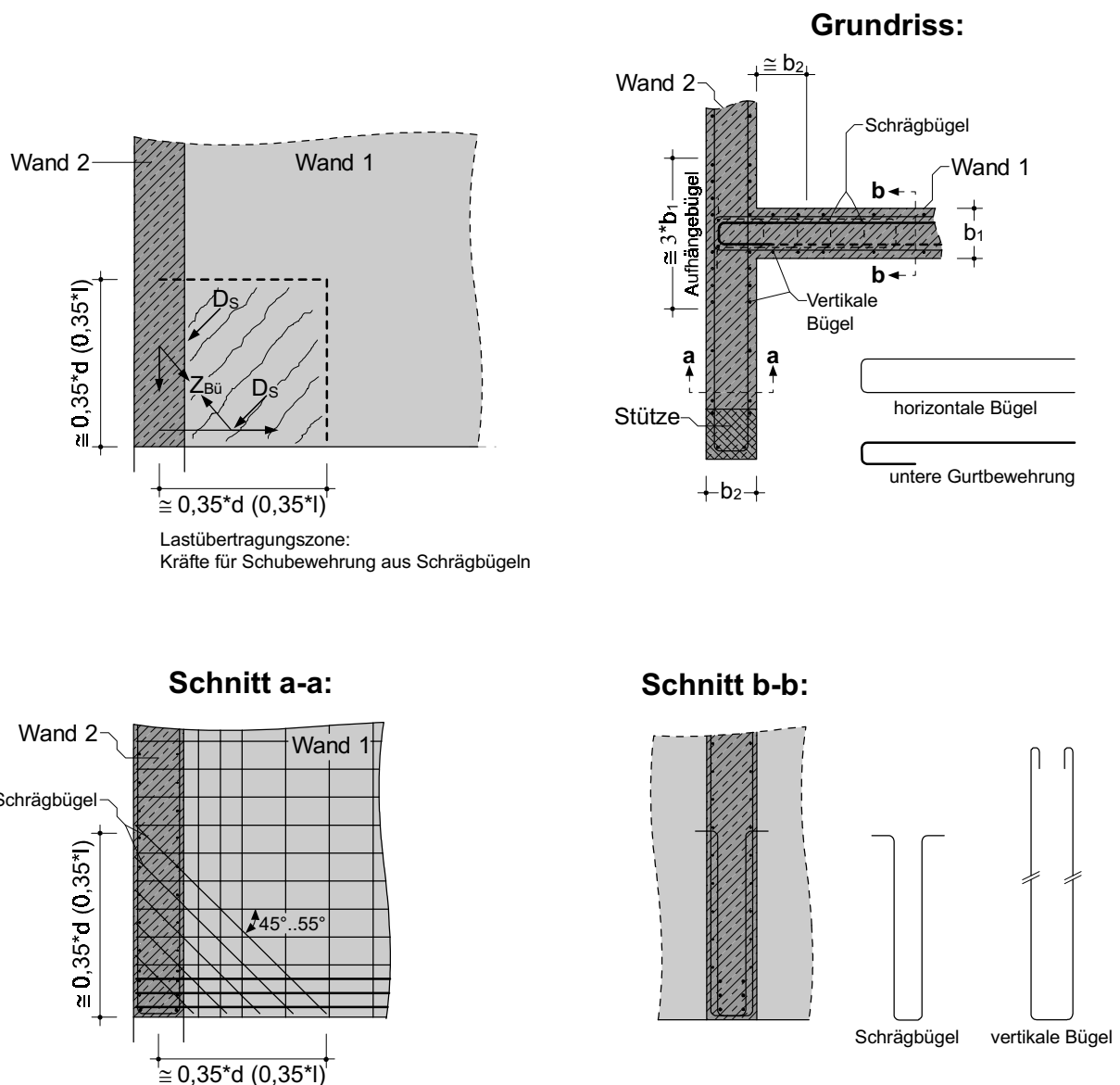
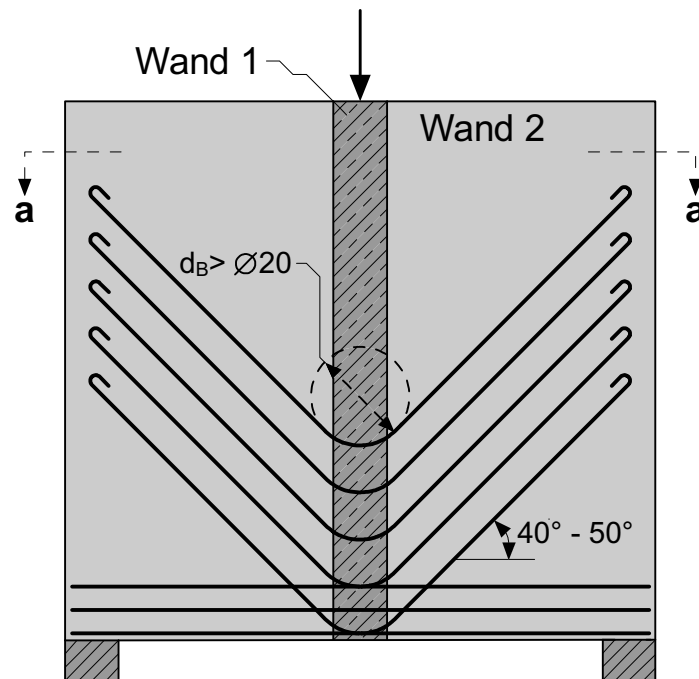


Bild 4.5.3: Bewehrung bei hoher Beanspruchung in der Lastübertragungszone der mittelbar gelagerten Wand I mit Schrägbügeln.

Die Aufhängebügel der lastabnehmenden Wand II können bei hoher Beanspruchung zur Rissbreitenbeschränkung zur Hälfte durch Schrägbügel oder aufgebogene Stäbe mit großem Biegeradius ersetzt werden (Bild 4.5.4).



Schnitt a-a:

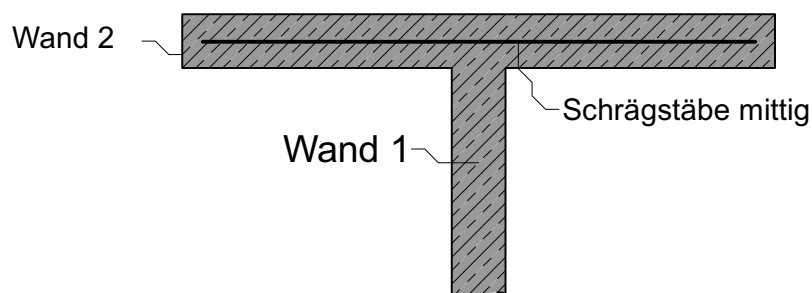
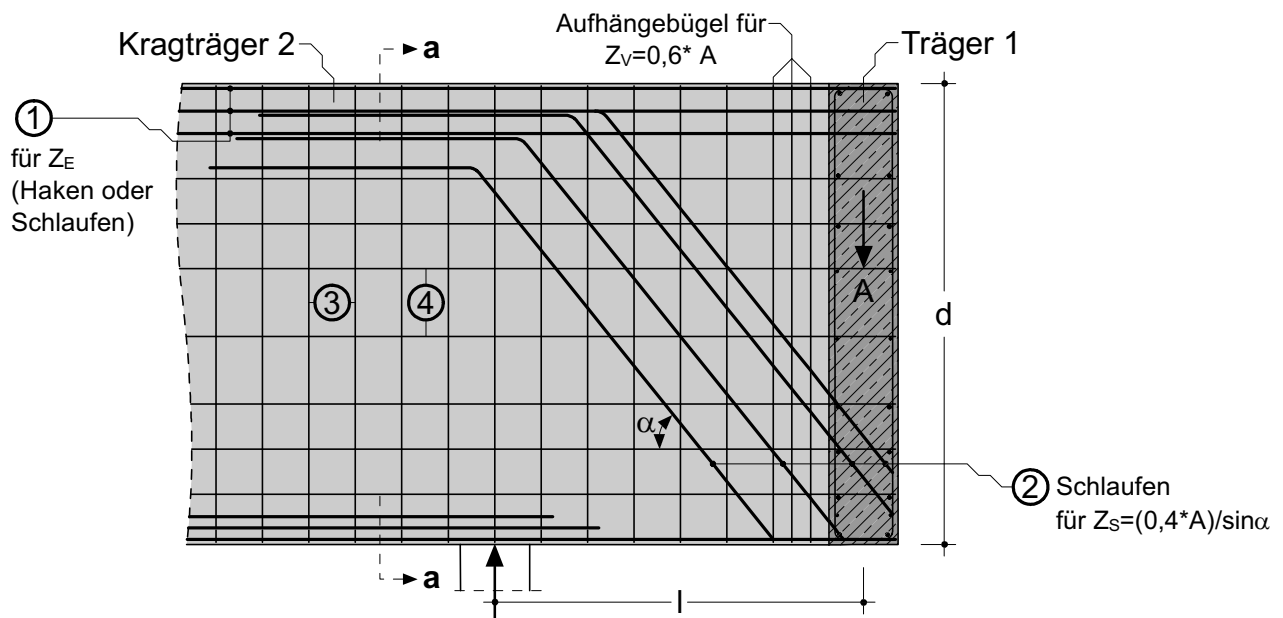


Bild 4.5.4: Bewehrung zur Aufhängung der Last in der lastabnehmenden Wand II bei hoher Beanspruchung mit Schrägstäben und (nicht dargestellter) ermäßigter Orthogonalbewehrung.

Bei mittelbar hoch belasteten Krag­scheiben ist die Schrägbewehrung nach Bild 4.5.5 unten schlaufenförmig in dem Wandträger I zu verankern und oben an die Kragbewehrung anzuschließen.



Schnitt a-a:

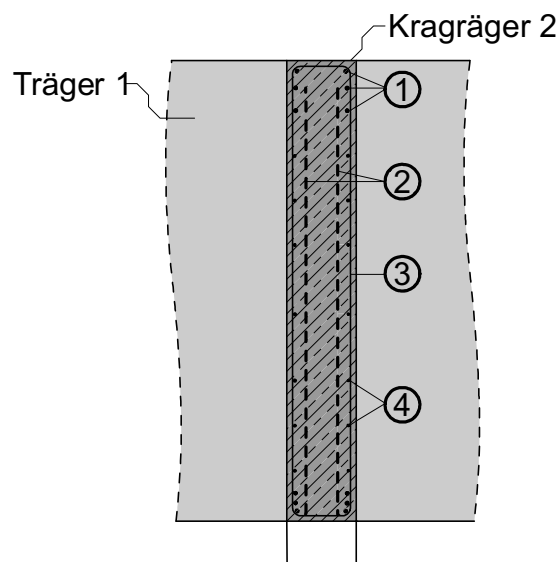


Bild 4.5.5: Bewehrung einer durch Träger I mittelbar belasteten Kragplatte II bei hoher Beanspruchung.

5 Beispiele

5.1 Beispiel 1 – Zweifeldträger mit oben angreifender Streckenlast (Berechnung mit Hilfe der Erstellung eines Stabwerksmodells)

In den Beispielen 2 bis 6 wird nach den vertafelten Lösungen (DAfStb Heft 240) bemessen. Diese Tafeln können für die am häufigsten auftretenden Lastfälle angewandt werden. Die Berechnung ist mit Hilfe der Tafeln sehr einfach und schnell. Es wird empfohlen diese Tafeln bei der Berechnung wandartiger Träger zu nutzen. Auf die Berechnung mit Stabwerksmodellen soll jedoch zur Verdeutlichung in folgenden Beispiel eingegangen werden.

Aus Gründen der Anschaulichkeit wird die Netzbewährung in den folgenden Beispielen mit Vertikalbügeln und Horizontalstäben hergestellt. Selbstverständlich können hier auch Lagermatten verwendet werden.

5.1.1 Aufgabenstellung

gegeben:

- wandartiger Träger lt. Bild 5.1.1
- B 55 ; BSt 500

gesucht:

- Bemessung des Bauteils

Beispiel 1

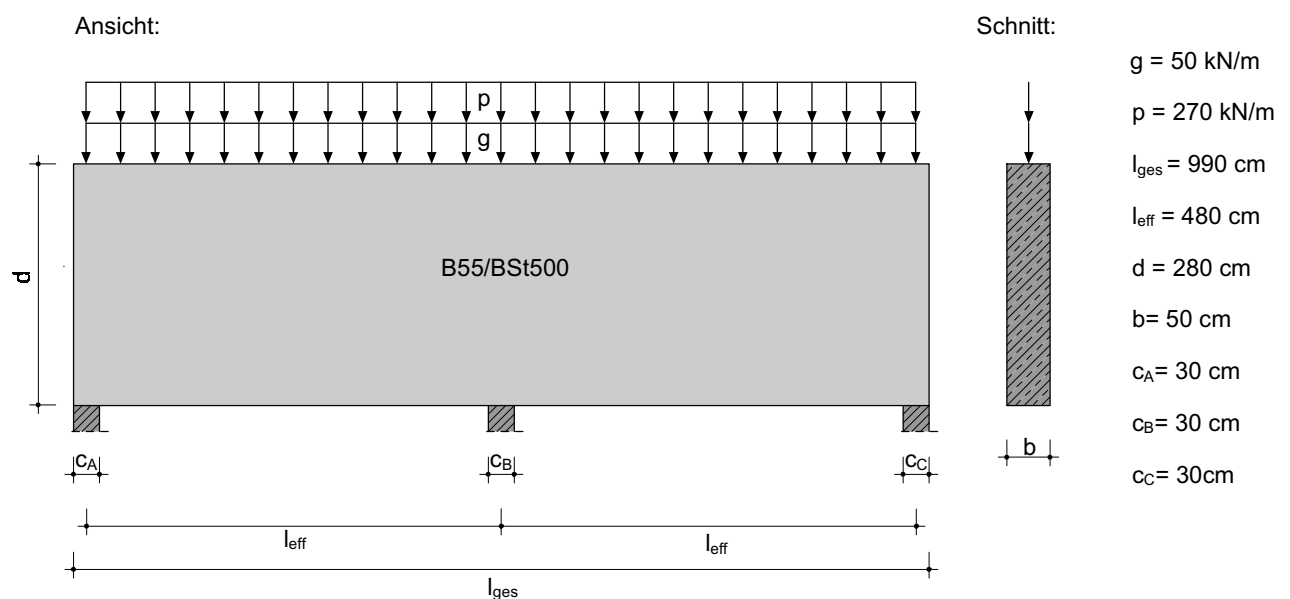
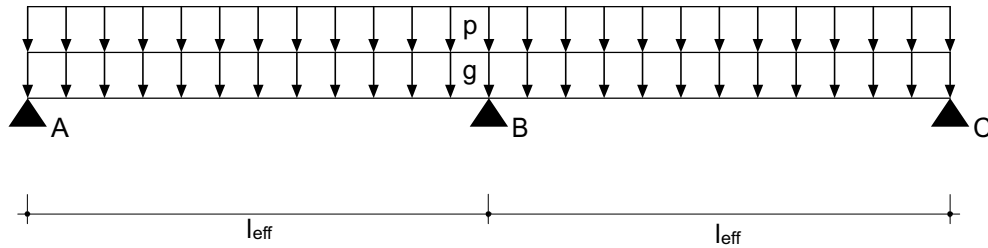


Bild 5.1.1: Zweifeldträger mit oben angreifender Streckenlast

5.1.2 Festlegen des statischen Systems für das Gesamttragwerk

- Es handelt sich um einen Zweifeldträger
- statisches System:



$$b = \underline{\underline{0,50m}} \geq 0,10m$$

Zweifeldträger:

$$\frac{d}{l_{eff}} > 0,4 \Rightarrow \frac{2,80m}{4,80m} = \underline{\underline{0,6}} > 0,4 \quad \Rightarrow \quad \text{wandartiger Träger liegt vor}$$

5.1.3 Ermittlung der Auflagerkräfte am gewählten System

Zur Sicherung der Summe der Vertikalkräfte wird die äußere Last auf die Länge zwischen den äußeren Lagerachsen verteilt

$$q = (p + g) * \frac{l_{ges}}{2 * l_{eff}} = \left(270 \frac{kN}{m} + 50 \frac{kN}{m} \right) * \frac{9,90m}{2 * 4,80m} = \underline{\underline{330 \frac{kN}{m}}}$$

Für einen Zweifeldträger ist:

$$A = C = 0,375 * q * l_{eff} = 0,375 * 330 \frac{kN}{m} * 4,80m = \underline{\underline{594kN}} = \underline{\underline{0,594MN}}$$

$$B = 1,250 * q * l_{eff} = 1,250 * 330 \frac{kN}{m} * 4,80m = \underline{\underline{1980kN}} = \underline{\underline{1,980MN}}$$

Die **Auflagerkräfte** können auch für mehrfeldrige wandartige Träger näherungsweise nach der **Stabstatik** ermittelt werden. Die sich daraus ergebenden Auflagerkräfte an Endauflagern von mehrfeldrigen wandartigen Trägern müssen dann jedoch mit den folgenden Erhöhungsfaktoren multipliziert werden.

d/l	0,3	0,4	0,7	≥ 1,0
Erhöhungsfaktor	1,0	1,08	1,13	1,15

Die nach der Balkenstatik ermittelten Auflagerkräfte der ersten Innenstützen dürfen jedoch höchstens um den halben Betrag der Erhöhung der Auflagerkraft an der Endstütze reduziert werden.

$$A' = C' = 1,13 * 594 \text{ kN} = \underline{\underline{671 \text{ kN}}} = \underline{\underline{0,671 \text{ MN}}}$$

$$\frac{d}{l_{\text{eff}}} = \underline{\underline{0,6}}$$

$$B' = 1980 \text{ kN} - 2 * (671 - 594) = \underline{\underline{1826 \text{ kN}}} = \underline{\underline{1,826 \text{ MN}}}$$

5.1.4 Zusammenfassen der Einwirkungen zu resultierenden Einzellasten

Die Lage der resultierenden Kräfte an der Scheibenoberseite muß so festgelegt werden, dass

$$F_1 = A' \quad \text{und} \quad F_2 = \frac{B'}{2}$$

$$x_{F_1} = \frac{A'}{2 * (g + p)} = \frac{671 \text{ kN}}{2 * \left(270 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 50 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right)} = 1,05 \text{ m}$$

$$x_{F_2} = \frac{B'}{4 * (g + p)} = \frac{1826 \text{ kN}}{4 * \left(270 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 50 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right)} = 1,43 \text{ m}$$

Der Abstand zwischen Ober- und Untergurt wird entsprechend den Formeln für vertafelte Lösungen abgeschätzt.

$$0,4 \leq \frac{h}{l_{eff}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,4 \leq \frac{2,80m}{4,80m} = 0,6 \leq 1,0$$

$$z_F = z_S = 0,5 * h * \left(1,9 - \frac{h}{l_{eff}}\right) = 0,5 * 2,80m * \left(1,9 - \frac{2,80m}{4,80m}\right) = 1,85m$$

Überprüfung, ob ein zusätzliches Fachwerkmodell erforderlich ist ($\beta \leq 55^\circ$)

$$\theta_1 = \arctan \frac{1,85m}{1,05m - 0,15m} = 64^\circ \geq 55^\circ$$

\Rightarrow Streben- Zugband -Stabwerk reicht aus

$$\theta_2 = \arctan \frac{2 * 1,85m}{2,86m} = 53^\circ \approx 55^\circ$$

5.1.5 Stabkräfte

Die Stabkräfte können mit einem beliebigem Verfahren der Stabstatik bestimmt werden. Die Stabkräfte für dieses Beispiel wurden mit Hilfe von RStab ermittelt. (siehe Bild 5.1.2)

Stab	Kraft in kN
1;2	383
3;4	-383
5;6	-774
7;8	-1161
9	327

Beispiel 1 - resultierendes Stabwerksmodell

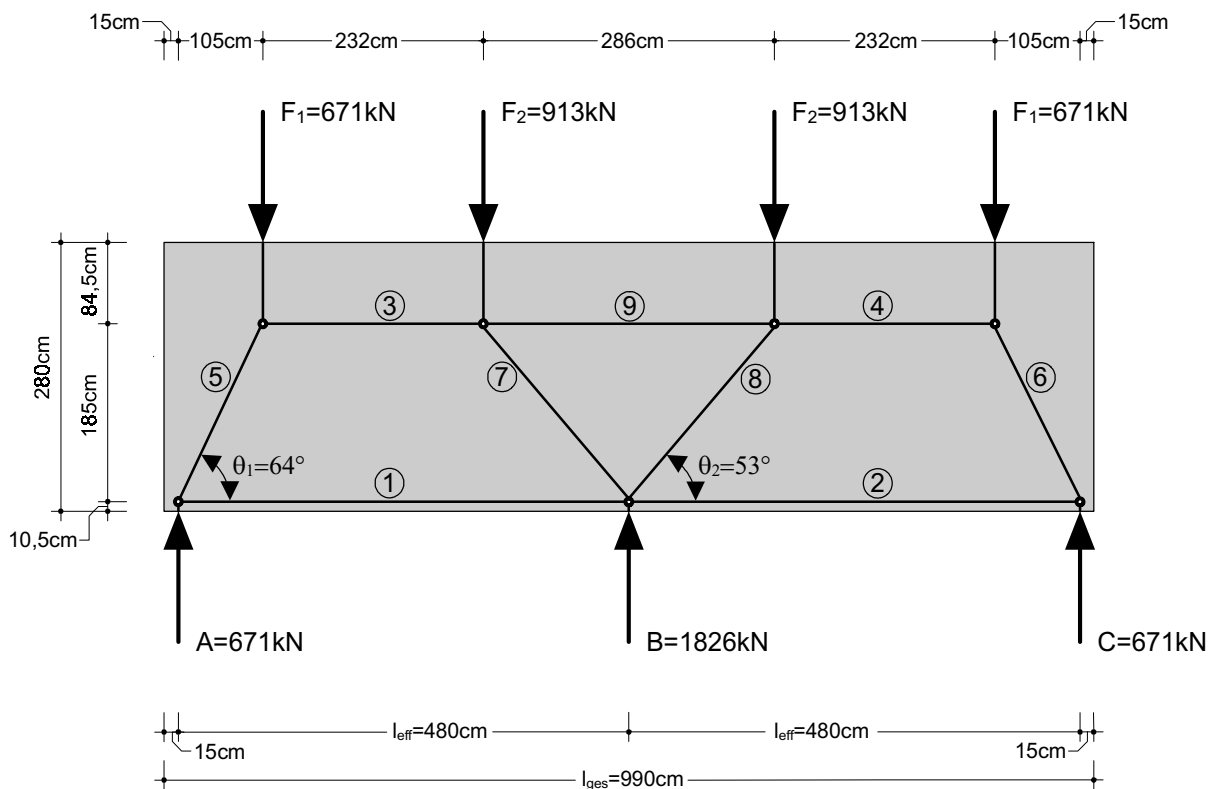


Bild 5.1.2: Resultierendes Stabwerksmodell

5.1.6 Nachweis der Hauptdruckspannungen

Bei direkter Lagerung tritt die größte Hauptdruckspannung am Auflager auf. Es genügt hier der Nachweis der Auflagerpressung.

$$\sigma_A = \frac{A}{b * c} \leq 0,85 * \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Endauflager}$$

$$\sigma_A = \frac{0,594 MN}{0,50m * 0,30m} = \underline{\underline{4,0 \frac{MN}{m^2}}} \leq 0,85 * \frac{30 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 12,1 \frac{MN}{m^2}$$

$$\sigma_B = \frac{B}{b * c} \leq \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Zwischenauflager}$$

$$\sigma_B = \frac{1,980 MN}{0,50m * 0,30m} = \underline{\underline{13,2 \frac{MN}{m^2}}} \leq \frac{30 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 14,3 \frac{MN}{m^2}$$

Damit sind auch die schwächer beanspruchten Druckstreben 5, 6, 7 und 8 nachgewiesen.

5.1.7 Schubbewehrung

Bei direkter Lagerung ist kein besonderer Nachweis erforderlich, sofern die nach DIN 1045 - 23.3 geforderte waagerechte und lotrechte Mindestbewehrung (Netzbewehrung) vorhanden ist.

- Mindestbewehrung pro Seite und Richtung:

1,5 cm²/m bzw. 0,05% von b

Abstände $\leq 2 \cdot$ Wanddicke ≤ 30 cm

$$0,05 \cdot b = 0,05 \cdot 50\text{cm} = 2,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \geq 1,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

gewählte Längsbewehrung:	Bügel Ø8 ; s = 20cm
gewählte Querbewehrung:	auf jeder Seite Ø8 ; s = 20cm

entspricht **5,0cm²/m** in beide Richtungen > 2,5 cm²

5.1.8 Längsbewehrung

Die Längsbewehrung ergibt sich zu:

$$A_s = Z_x / \sigma_s \quad \text{mit} \quad \sigma_s = \frac{\beta_s}{1,75} = 286 \frac{MN}{m^2} = 28,6 \frac{kN}{cm^2} \quad (\text{BSt 500}).$$

Die resultierenden Zugkräfte Z_F und Z_S Wurden anhand der Tafel 3.3.2 für vertafelte Lösungen ermittelt.

Feldbewehrung:

$$Z_F = \underline{\underline{383kN}} \quad (\text{Stab 1 \& 2})$$

$$A_{s_{Feld}} = \frac{383kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{13,4cm^2}}$$

gewählt: **4 * Ø25** entspricht **19,6 cm²** > 13,4cm²

Stützbewehrung:

Die Verteilung der Stützbewehrung in der Höhe ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen (Bild 4.2).

$$Z_S = \underline{\underline{327kN}} \quad (\text{Stab 9})$$

$$A_{s_{Stütz1}} = \frac{327kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{11,4cm^2}}$$

gewählt: wird durch die Netzbewehrung (Schubbewehrung) innerhalb des Bereichs $0,85 * d$ (DAfStb Heft 240 Bild 4.2) abgedeckt:

0,85*2,80m*5cm²/m entspricht **11,9 cm²** > 11,4cm²

Wegen der Empfindlichkeit gegen Stützensetzung sind etwa 30% der Stützbewehrung am oberen Rand des Trägers zusätzlich einzulegen.

$$A_{S_{Stütz2}} = 0,3 * 11,4 \text{ cm}^2 = \underline{\underline{3,4 \text{ cm}^2}}$$

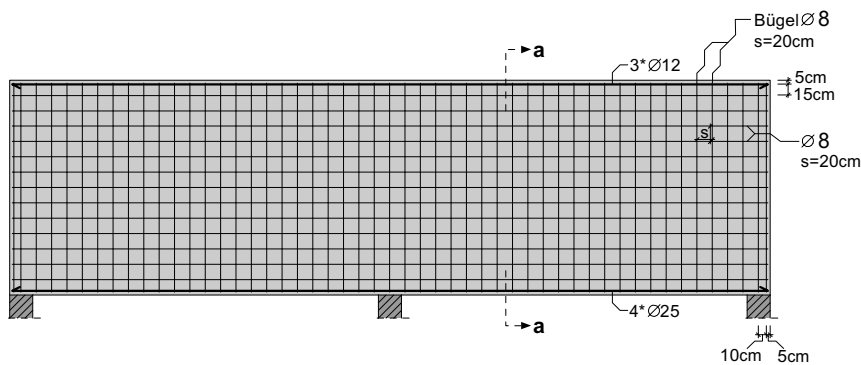
gewählt: **3 * Ø12** entspricht **3,4 cm²** > 3,4 cm²

Eine besondere Spaltzugbewehrung über den Stützen ist nicht erforderlich.

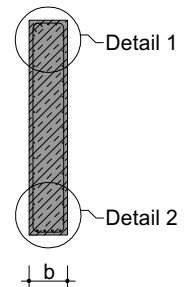
5.1.9 Bewehrungszeichnung

Beispiel 1 - Bewehrungsanordnung

Ansicht:

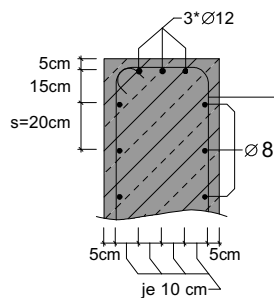


Schnitt a-a:

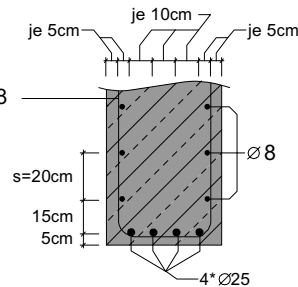


Beispiel 1 - Bewehrungsanordnung - Details

Detail 1:



Detail 2:



5.2 Beispiel 2 – Zweifeldträger mit oben angreifender Streckenlast (Berechnung mit Hilfe der vertafelten Lösungen)

5.2.1 Aufgabenstellung

gegeben:

- wandartiger Träger lt. Bild 5.1.1
- B 25 ; BSt 500

gesucht:

- Bemessung des Bauteils

Beispiel 2

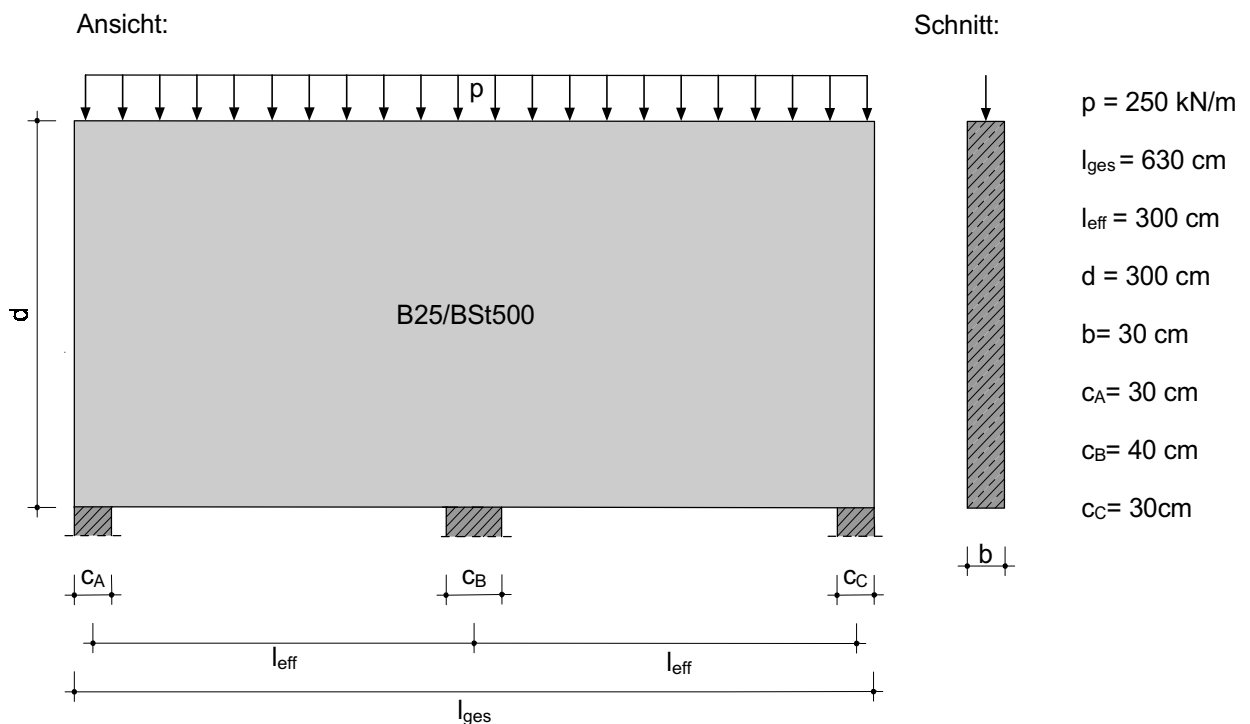
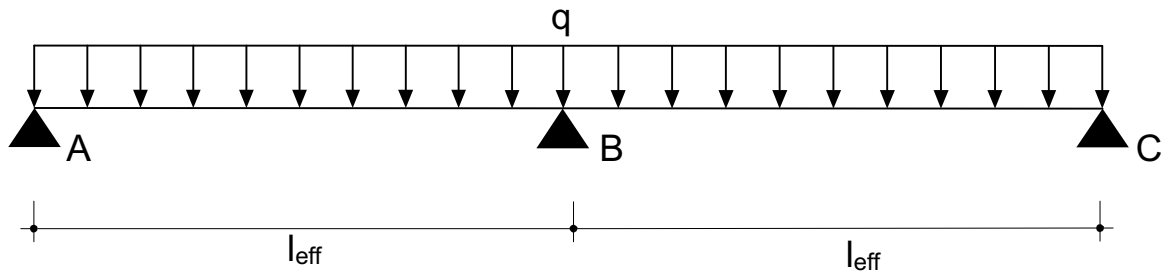


Bild 5.2.1: Zweifeldträger mit oben angreifender Streckenlast

5.2.2 Festlegen des statischen Systems für das Gesamttragwerk

- Es handelt sich um einen Zweifeldträger
- statisches System:



$$b = \underline{\underline{0,30m}} \geq 0,10m$$

Zweifeldträger:

$$\frac{d}{l_{eff}} > 0,4 \Rightarrow \frac{3,00m}{3,00m} = \underline{\underline{1,0}} > 0,4 \quad \Rightarrow \quad \text{wandartiger Träger liegt vor}$$

5.2.3 Ermittlung der Auflagerkräfte am gewählten System

Zur Sicherung der Summe der Vertikalkräfte wird die äußere Last auf die Länge zwischen den äußeren Lagerachsen verteilt

$$q = (p + g) * \frac{l_{ges}}{2 * l_{eff}} = 250 \frac{kN}{m} * \frac{6,30m}{2 * 3,00m} = \underline{\underline{263 \frac{kN}{m}}}$$

Für einen Zweifeldträger ist:

$$A = C = 0,375 * q * l_{eff} = 0,375 * 263 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{296kN}} = \underline{\underline{0,296MN}}$$

$$B = 1,250 * q * l_{eff} = 1,250 * 263 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{986kN}} = \underline{\underline{0,986MN}}$$

5.2.4 Nachweis der Hauptdruckspannungen

Bei direkter Lagerung tritt die größte Hauptdruckspannung am Auflager auf. Es genügt hier der Nachweis der Auflagerpressung.

$$\sigma_A = \frac{A}{b * c} \leq 0,85 * \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Endauflager}$$

$$\sigma_A = \frac{0,296 MN}{0,30m * 0,30m} = \underline{\underline{3,3 \frac{MN}{m^2}}} \leq 0,85 * \frac{17,5 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 7,1 \frac{MN}{m^2}$$

$$\sigma_B = \frac{B}{b * c} \leq \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Zwischenaufleger}$$

$$\sigma_B = \frac{0,986 MN}{0,30m * 0,40m} = \underline{\underline{8,2 \frac{MN}{m^2}}} \leq \frac{17,5 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 8,3 \frac{MN}{m^2}$$

5.2.5 Schubbewehrung

Bei direkter Lagerung ist kein besonderer Nachweis erforderlich, sofern die nach DIN 1045 - 23.3 geforderte waagerechte und lotrechte Mindestbewehrung (Netzbewehrung) vorhanden ist.

- Mindestbewehrung pro Seite und Richtung:

1,5 cm²/m bzw. 0,05% von b

Abstände ≤ 2 * Wanddicke ≤ 30cm

$$0,05 * b = 0,05 * 30cm = 1,5 \frac{cm^2}{m} \geq 1,5 \frac{cm^2}{m}$$

gewählte Längsbewehrung:

Bügel Ø8 ; s = 20cm

gewählte Querbewehrung:

auf jeder Seite Ø8 ; s = 20cm

entspricht **5,0cm²/m** in beide Richtungen > 1,5 cm²

5.2.6 Längsbewehrung

Die Längsbewehrung ergibt sich zu:

$$A_s = Z_x / \sigma_s \quad \text{mit} \quad \sigma_s = \frac{\beta_s}{1,75} = 286 \frac{MN}{m^2} = 28,6 \frac{kN}{cm^2} \quad (\text{BSt 500}).$$

Die resultierenden Zugkräfte Z_F und Z_S Wurden anhand der Tafel 3.3.2 für vertafelte Lösungen ermittelt.

Feldbewehrung:

$$Z_F = 0,15 * q * l_{eff} = 0,15 * 263 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{119kN}}$$

$$A_{s_{Feld}} = \frac{119kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{4,2cm^2}}$$

gewählt: **3 * Ø14** entspricht **4,6 cm²** > 4,2 cm²

Stützbewehrung:

Die Verteilung der Stützbewehrung in der Höhe ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen (Bild 4.2).

$$Z_S = 0,19 * q * l_{eff} = 0,19 * 263 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{150kN}}$$

$$A_{s_{Stütz1}} = \frac{150kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{5,3cm^2}}$$

gewählt: wird durch die Netzbewehrung (Schubbewehrung) innerhalb des Bereichs $0,6 * l_{eff}$ (DAfStb Heft 240 Bild 4.2) abgedeckt:

$0,6 * 3,00m * 5cm^2/m$ entspricht **9,0 cm²** > 5,3 cm²

Wegen der Empfindlichkeit gegen Stützensetzung sind etwa 30% der Stützbewehrung am oberen Rand des Trägers zusätzlich einzulegen.

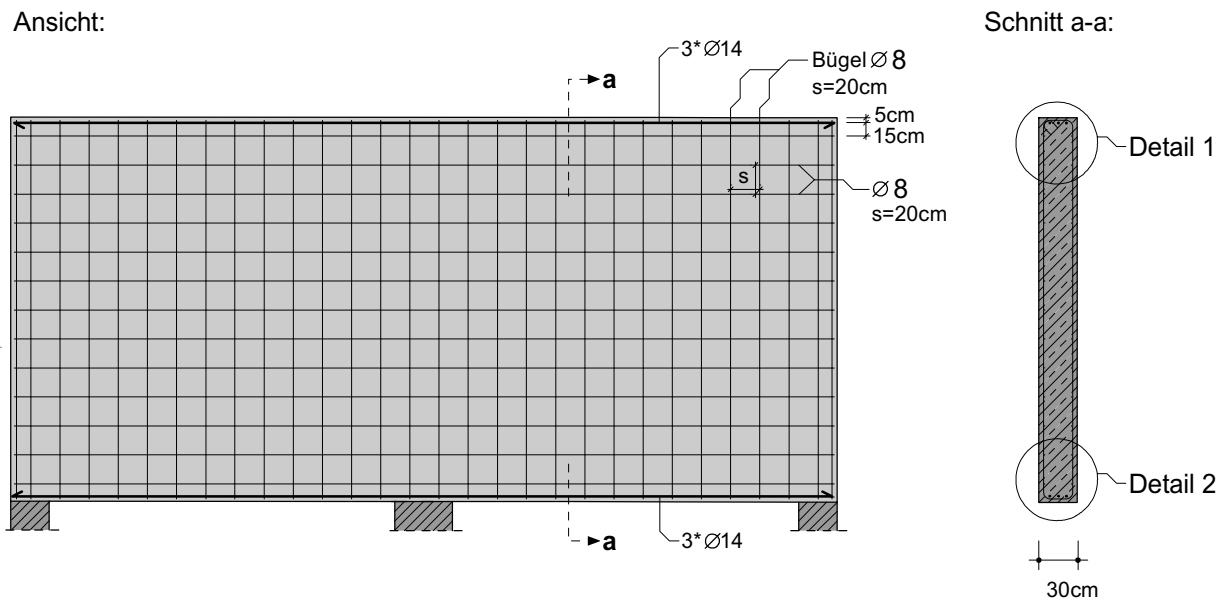
$$A_{S_{Stütz_2}} = 0,3 * 5,3 \text{ cm}^2 = \underline{\underline{1,6 \text{ cm}^2}}$$

gewählt: **2 * Ø14** entspricht **3,1 cm²** > 1,6 cm²

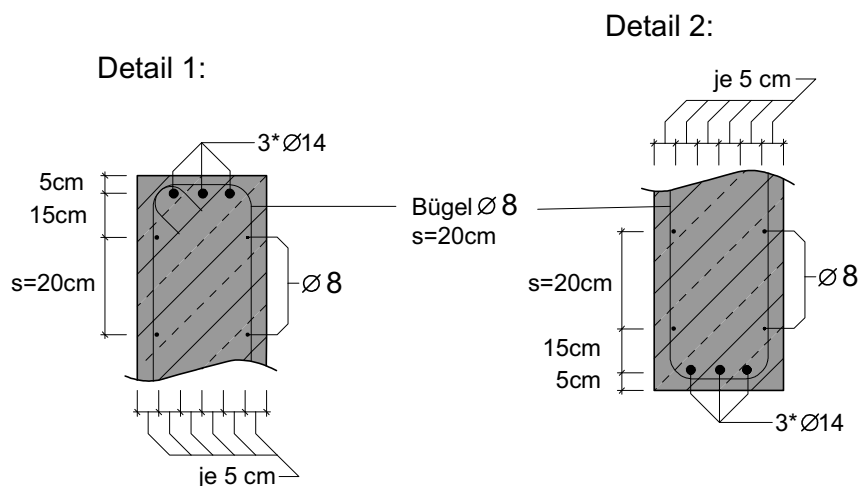
Eine besondere Spaltzugbewehrung über den Stützen ist nicht erforderlich.

5.2.7 Bewehrungszeichnung

Beispiel 2 - Bewehrungsanordnung



Beispiel 2 - Bewehrungsanordnung - Details



5.3 Beispiel 3 - Einfeldträger mit Kragarm, oben angreifender Streckenlast und Einzellast unter Kragarm (Berechnung mit Hilfe der vertafelten Lösungen)

5.3.1 Aufgabenstellung

gegeben:

- wandartiger Träger lt. Bild 5.2.1
- B 35 ; BSt 500

gesucht:

- Bemessung des Bauteils

Beispiel 3

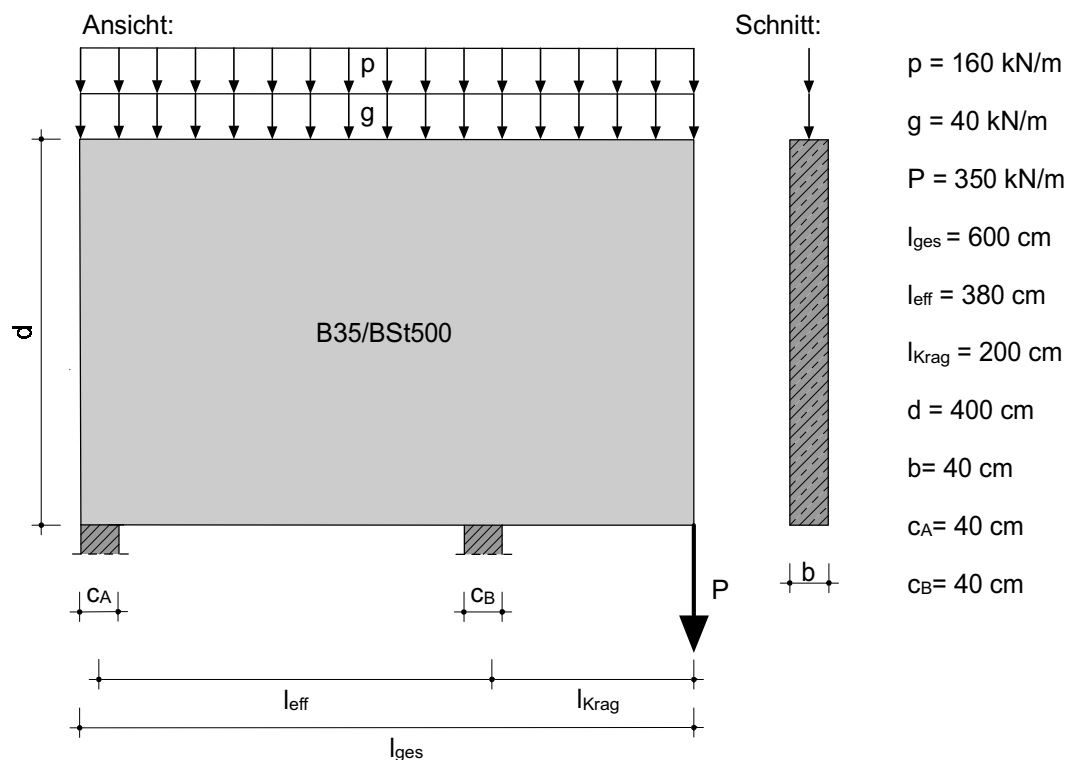
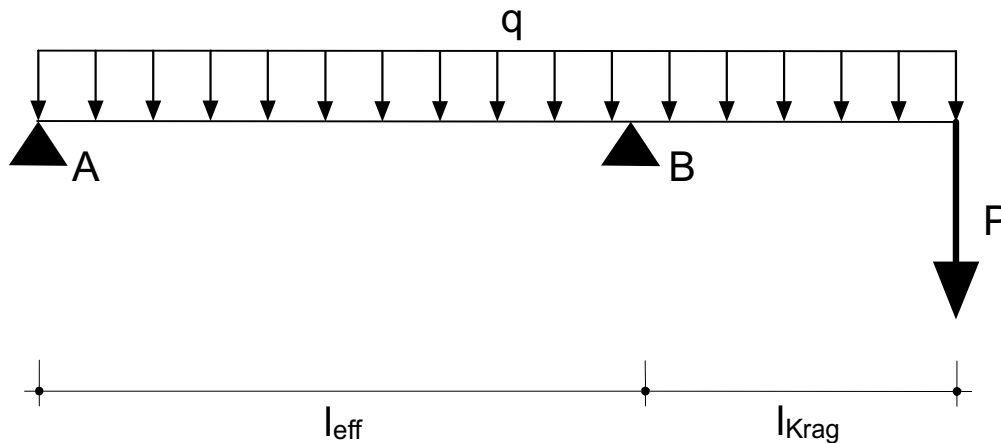


Bild 5.3.1: Einfeldträger mit Kragarm, oben angreifender Streckenlast und Einzellast unter Kragarm

5.3.2 Festlegen des statischen Systems für das Gesamttragwerk

- Es handelt sich um einen Einfeldträger mit Kragarm
- statisches System:



$$b = \underline{\underline{0,40m}} \geq 0,10m$$

Einfeldträger:

$$\frac{d}{l_{\text{eff}}} > 0,5 \Rightarrow \frac{4,00m}{3,80m} \cong \underline{\underline{1,0}} > 0,5 \Rightarrow \text{wandartiger Träger liegt vor}$$

Kragträger:

$$\frac{d}{l_{\text{eff}}} > 1,0 \Rightarrow \frac{4,00m}{2,00m} = \underline{\underline{2,0}} > 1,0 \Rightarrow \text{wandartiger Träger liegt vor}$$

5.3.3 Ermittlung der Auflagerkräfte am gewählten System

Zur Sicherung der Summe der Vertikalkräfte wird die äußere Last auf die Länge zwischen den äußeren Lagerachsen verteilt

$$q = (p + g) * \frac{l_{ges}}{l_{krag} + l_{eff}} = \left(160 \frac{kN}{m} + 40 \frac{kN}{m} \right) * \frac{6,00m}{2,00 + 3,80m} = \underline{\underline{207 \frac{kN}{m}}}$$

Für die Streckenlast q ergibt sich:

$$A_{Streckenlast} = (l_{eff}^2 - l_{Krag}^2) * \frac{q}{2 * l_{eff}} = (3,80^2 - 2,00^2) m^2 * \frac{207 \frac{kN}{m}}{2 * 3,80m} = \underline{\underline{284kN}} = \underline{\underline{0,284MN}}$$

$$B_{Streckenlast} = (l_{eff} + l_{Krag})^2 * \frac{q}{2 * l_{eff}} = (3,80m + 2,00m)^2 * \frac{207 \frac{kN}{m}}{2 * 3,80m} = \underline{\underline{916kN}} = \underline{\underline{0,916MN}}$$

Für die Einzellast P ergibt sich:

$$A_{Einzellast} = - \frac{P * l_{Krag}}{l_{eff}} = - \frac{350kN * 2,00m}{3,80m} = \underline{\underline{-184kN}} = \underline{\underline{-0,184MN}}$$

$$B_{Einzellast} = \left(1 + \frac{l_{Krag}}{l_{eff}} \right) * P = \left(1 + \frac{2,00m}{3,80m} \right) * 350kN = \underline{\underline{534kN}} = \underline{\underline{0,534MN}}$$

Als Auflagerreaktion für das gewählte statische System ergibt sich:

$$A_{ges} = A_{Streckenlast} + A_{Einzellast} = 284kN - 184kN = \underline{\underline{100kN}} = \underline{\underline{0,100MN}}$$

$$B_{ges} = B_{Streckenlast} + B_{Einzellast} = 916kN + 534kN = \underline{\underline{1450kN}} = \underline{\underline{1,450MN}}$$

5.3.4 Nachweis der Hauptdruckspannungen

Bei direkter Lagerung tritt die größte Hauptdruckspannung am Auflager auf. Es genügt hier der Nachweis der Auflagerpressung.

$$\sigma_A = \frac{A_{ges}}{b * c} \leq 0,85 * \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Endauflager A}$$

$$\sigma_A = \frac{0,100MN}{0,40m * 0,40m} = \underline{\underline{0,6 \frac{MN}{m^2}}} \leq 0,85 * \frac{23 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 9,3 \frac{MN}{m^2}$$

$$\sigma_B = \frac{B_{ges}}{b * c} \leq 0,85 * \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Endauflager B}$$

$$\sigma_B = \frac{1,450MN}{0,40m * 0,40m} = \underline{\underline{9,1 \frac{MN}{m^2}}} \leq 0,85 * \frac{23 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 9,3 \frac{MN}{m^2}$$

5.3.5 Schubbewehrung

Bei direkter Lagerung ist kein besonderer Nachweis erforderlich, sofern die nach DIN 1045 - 23.3 geforderte waagerechte und lotrechte Mindestbewehrung (Netzbewehrung) vorhanden ist.

- Mindestbewehrung pro Seite und Richtung:

1,5 cm²/m bzw. 0,05% von b

Abstände $\leq 2 \cdot \text{Wanddicke} \leq 30\text{cm}$

$$0,05 \cdot b = 0,05 \cdot 40\text{cm} = 2,0 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \geq 1,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

gewählte Längsbewehrung:	Bügel Ø8 ; s = 20cm
gewählte Querbewehrung:	auf jeder Seite Ø8 ; s = 20cm

entspricht **5,0cm²/m** in beide Richtungen > 2,0 cm²

5.3.6 Längsbewehrung

Die Längsbewehrung ergibt sich zu:

$$A_s = Z_x / \sigma_s \quad \text{mit} \quad \sigma_s = \frac{\beta_s}{1,75} = 286 \frac{MN}{m^2} = 28,6 \frac{kN}{cm^2} \quad (\text{BSt 500}).$$

Die resultierenden Zugkräfte Z_F und Z_S wurden anhand der Tafel 3.3.1 und Tafel 3.3.4 für vertafelte Lösungen ermittelt.

Feldbewehrung:

$$Z_F = 0,21 * q * l_{eff} = 0,21 * 207 \frac{kN}{m} * 3,80m = \underline{\underline{165kN}}$$

$$A_{s_{Feld}} = \frac{165kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{5,8cm^2}}$$

gewählt: **4 * Ø14** entspricht **6,1 cm²** > 5,8 cm²

Stützbewehrung:

Die Verteilung der Stützbewehrung in der Höhe ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen (Bild 4.4).

$$Z_S = 0,54 * q * l_{Krag} + 0,86 * P = 0,54 * 207 \frac{kN}{m} * 2,00m + 0,86 * 350 \\ = 224kN + 301kN = \underline{\underline{525kN}}$$

$$A_{s_{Stütz1}} = \frac{525kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{18,4cm^2}}$$

Von der Stützbewehrung sind wenigstens 50% über die ganze Trägerlänge durchzuführen. Der Rest ist durch Zulagen $\geq c + 2 * l / 3$ abzudecken.

gewählt: 14,0cm² werden durch die Netzbewehrung (Schubbewehrung) innerhalb des Bereichs 1,4 * l_{Krag} (DAfStb Heft 240 Bild 4.4) abgedeckt. Zusätzlich werden über die Höhe von 1,4 * l_{Krag} 7 * Ø10 angeordnet.

$$\begin{array}{ll} 5\text{cm}^2/\text{m} * 1,4 * 2,00\text{m} & \text{entspricht } \mathbf{14,0 \text{ cm}^2} \\ 7 * \text{Ø}10 & \text{entspricht } \mathbf{+ 5,5 \text{ cm}^2} \\ & \mathbf{\underline{19,5 \text{ cm}^2}} > 18,4 \text{ cm}^2 \end{array}$$

$$\frac{14\text{cm}^2}{19,5\text{cm}^2} = 0,71 \approx 70\% \quad \Rightarrow \quad 70\% \text{ der Stützbewehrung laufen durch}$$

$$l = c + 2 * \frac{l_{Krag}}{3} = 40\text{cm} + 2 * \frac{200\text{cm}}{3} = 173\text{cm} \quad \Rightarrow \quad \text{gewählt } \mathbf{l=180\text{cm}}$$

Wegen der Empfindlichkeit gegen Stützensetzung sind etwa 30% der Stützbewehrung am oberen Rand des Trägers zusätzlich einzulegen.

$$A_{S_{Stütz2}} = 0,3 * 20,3\text{cm}^2 = \underline{\underline{6,1\text{cm}^2}}$$

gewählt: **4 * Ø14** entspricht **6,1 cm²** > 6,1 cm²

Eine besondere Spaltzugbewehrung über den Stützen ist nicht erforderlich.

5.3.7 Aufhängebewehrung

Die Last P wird durch die Aufhängebewehrung in den Kragträger geleitet.

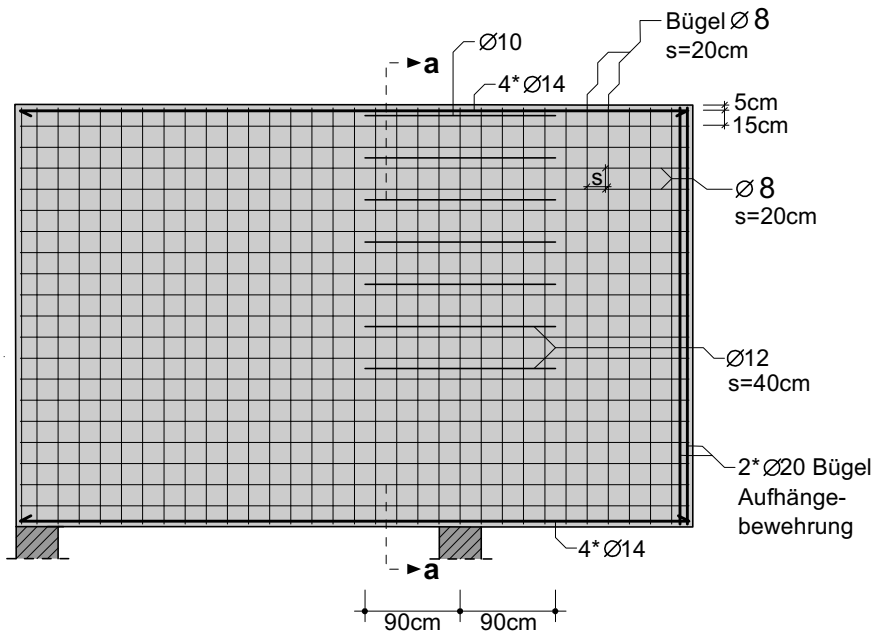
$$A_{S_{\text{Aufhängebewehrung}}} = \frac{350\text{kN}}{28,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \underline{\underline{12,2\text{cm}^2}}$$

gewählt: Bügel **2 * Ø20** entspricht **12,6 cm²** > 12,2 cm²

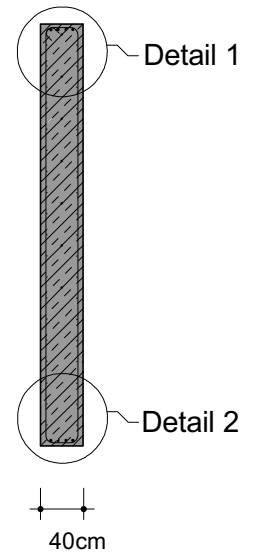
5.3.8 Bewehrungszeichnung

Beispiel 3 - Bewehrungsanordnung

Ansicht:

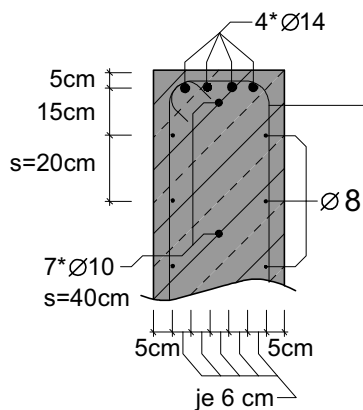


Schnitt a-a:

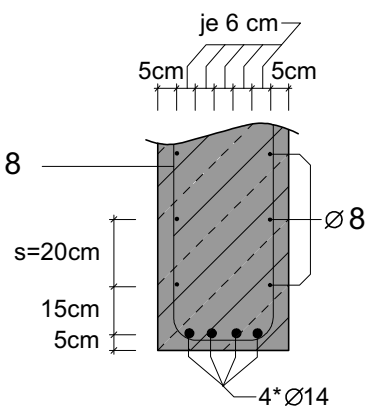


Beispiel 3 - Bewehrungsanordnung - Details

Detail 1:



Detail 2:



5.4 Beispiel 4 - Durchlaufträger (Fünffeldträger) mit oben angreifender Streckenlast und Einzellast in Feldmitte (Berechnung mit Hilfe der vertafelten Lösungen)

5.4.1 Aufgabenstellung

gegeben:

- wandartiger Träger lt. Bild 5.3.1
- B 25 ; BSt 500

gesucht:

- Bemessung des Bauteils

Beispiel 4

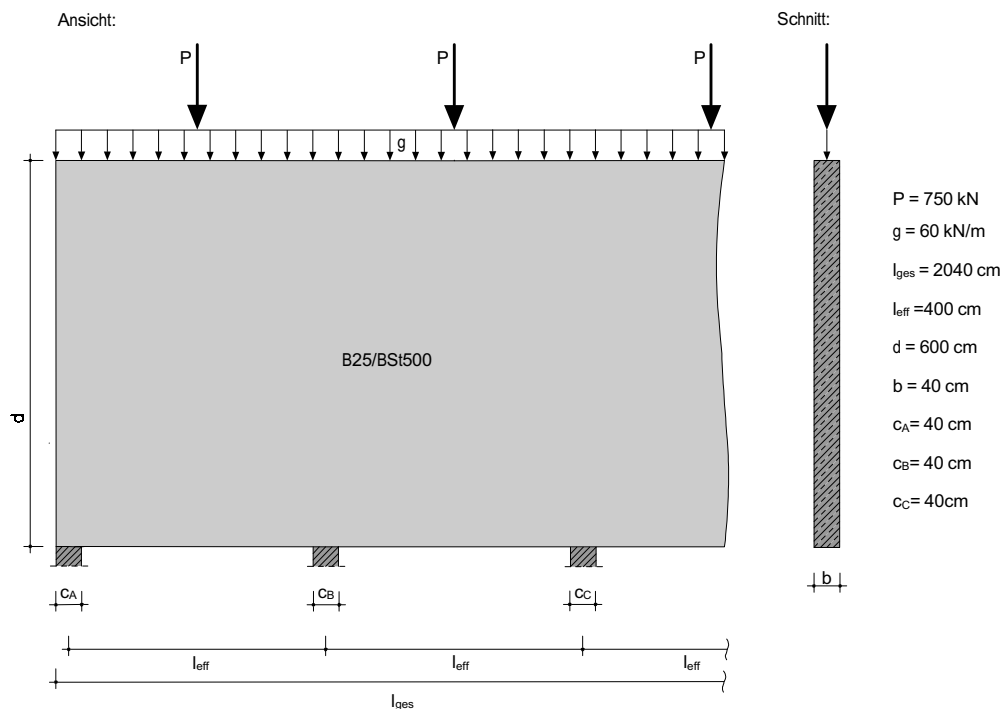
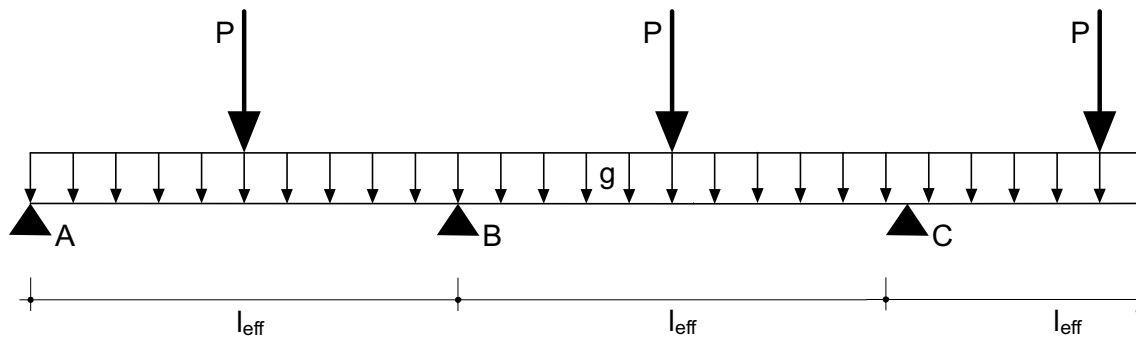


Bild 5.4.1: Durchlaufträger (Fünffeldträger) mit oben angreifender Streckenlast und Einzellast in Feldmitte

5.4.2 Festlegen des statischen Systems für das Gesamttragwerk

- Es handelt sich um einen Fünffeldträger
- statisches System:



$$b = \underline{\underline{0,40m}} \geq 0,10m$$

Durchlaufträger:

$$\frac{d}{l_{eff}} > 0,3 \Rightarrow \frac{6,00m}{4,00m} \cong \underline{\underline{1,5}} > 0,3 \Rightarrow \text{wandartiger Träger liegt vor}$$

5.4.3 Ermittlung der Auflagerkräfte am gewählten System

Zur Sicherung der Summe der Vertikalkräfte wird die äußere Last auf die Länge zwischen den äußeren Lagerachsen verteilt

$$q = g * \frac{l}{l_{eff}} = 60 \frac{kN}{m} * \frac{4,20m}{4,00m} = \underline{\underline{63 \frac{kN}{m}}}$$

Für die Streckenlast q ergibt sich:

$$A_{\text{Streckenlast}} = 0,395 * q * l_{\text{eff}} = 0,395 * 63 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 4,00\text{m} = \underline{\underline{100\text{kN}}} = \underline{\underline{0,100\text{MN}}}$$

$$B_{\text{Streckenlast}} = 1,132 * q * l_{\text{eff}} = 1,132 * 63 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 4,00\text{m} = \underline{\underline{285\text{kN}}} = \underline{\underline{0,285\text{MN}}}$$

$$C_{\text{Streckenlast}} = 0,974 * q * l_{\text{eff}} = 0,974 * 63 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 4,00\text{m} = \underline{\underline{245\text{kN}}} = \underline{\underline{0,245\text{MN}}}$$

Für die Einzellasten P ergeben sich:

$$A_{\text{Einzellast}} = 0,342 * P = 0,342 * 750\text{kN} = \underline{\underline{257\text{kN}}} = \underline{\underline{0,257\text{MN}}}$$

$$B_{\text{Einzellast}} = 1,132 * P = 1,132 * 750\text{kN} = \underline{\underline{849\text{kN}}} = \underline{\underline{0,849\text{MN}}}$$

$$C_{\text{Einzellast}} = 0,974 * P = 0,974 * 750\text{kN} = \underline{\underline{731\text{kN}}} = \underline{\underline{0,731\text{MN}}}$$

Als Auflagerreaktion für das gewählte statische System ergibt sich:

$$A_{\text{ges}} = A_{\text{Streckenlast}} + A_{\text{Einzellast}} = 100\text{kN} + 257\text{kN} = \underline{\underline{357\text{kN}}} = \underline{\underline{0,357\text{MN}}}$$

$$B_{\text{ges}} = B_{\text{Streckenlast}} + B_{\text{Einzellast}} = 285\text{kN} + 849\text{kN} = \underline{\underline{1134\text{kN}}} = \underline{\underline{1,134\text{MN}}}$$

$$C_{\text{ges}} = C_{\text{Streckenlast}} + C_{\text{Einzellast}} = 245\text{kN} + 731\text{kN} = \underline{\underline{976\text{kN}}} = \underline{\underline{0,976\text{MN}}}$$

5.4.4 Nachweis der Hauptdruckspannungen

Bei direkter Lagerung tritt die größte Hauptdruckspannung am Auflager auf. Es genügt hier der Nachweis der Auflagerpressung.

$$\sigma_A = \frac{A_{ges}}{b * c} \leq 0,85 * \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Endauflager A}$$

$$\sigma_A = \frac{0,357 MN}{0,40m * 0,40m} = \underline{\underline{2,2 \frac{MN}{m^2}}} \leq 0,85 * \frac{17,5 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 7,1 \frac{MN}{m^2}$$

$$\sigma_B = \frac{B_{ges}}{b * c} \leq \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Zwischenaufleger B}$$

$$\sigma_B = \frac{1,134 MN}{0,40m * 0,40m} = \underline{\underline{7,1 \frac{MN}{m^2}}} \leq \frac{17,5 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 8,3 \frac{MN}{m^2}$$

$$\sigma_C = \frac{C_{ges}}{b * c} \leq \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Zwischenaufleger C}$$

$$\sigma_C = \frac{0,976 MN}{0,40m * 0,40m} = \underline{\underline{6,1 \frac{MN}{m^2}}} \leq \frac{17,5 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 8,3 \frac{MN}{m^2}$$

5.4.5 Schubbewehrung

Bei direkter Lagerung ist kein besonderer Nachweis erforderlich, sofern die nach DIN 1045 - 23.3 geforderte waagerechte und lotrechte Mindestbewehrung (Netzbewehrung) vorhanden ist.

- Mindestbewehrung pro Seite und Richtung:

1,5 cm²/m bzw. 0,05% von b

Abstände $\leq 2 \cdot$ Wanddicke ≤ 30 cm

$$0,05 \cdot b = 0,05 \cdot 40\text{cm} = 2,0 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \geq 1,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

gewählte Längsbewehrung:	Bügel Ø8 ; s = 20cm
gewählte Querbewehrung:	auf jeder Seite Ø8 ; s = 20cm

entspricht **5,0cm²/m** in beide Richtungen > 2,0 cm²

5.4.6 Längsbewehrung für Mittelfelder

Die Längsbewehrung ergibt sich zu:

$$A_s = Z_x / \sigma_s \quad \text{mit} \quad \sigma_s = \frac{\beta_s}{1,75} = 286 \frac{MN}{m^2} = 28,6 \frac{kN}{cm^2} \quad (\text{BSt 500}).$$

Die resultierenden Zugkräfte Z_F , Z_S , Z'_S und Z_R wurden anhand der Tafel 3.3.3 für vertafelte Lösungen ermittelt.

Feldbewehrung Z_F :

$$Z_{F_{\text{Streckenlast}}} = 0,09 * q * l_{\text{eff}} = 0,09 * 63 \frac{kN}{m} * 4,00m = \underline{\underline{23kN}}$$

$$Z_{F_{\text{Einzellast}}} = 0,09 * P = 0,09 * 750kN = \underline{\underline{68kN}}$$

$$Z_{F_{\text{gest}}} = 23kN + 68kN = \underline{\underline{91kN}}$$

$$A_{s_{\text{Feld}}} = \frac{91kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{3,2cm^2}}$$

gewählt: **3 * Ø12** entspricht **3,4 cm²** > 3,2 cm²

Stützbewehrung Z_S :

Die Verteilung der Stützbewehrung ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen (Bild 4.3).

$$Z_{S_{\text{Streckenlast}}} = 0,21 * q * l_{\text{eff}} = 0,21 * 63 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 4,00\text{m} = \underline{\underline{53\text{kN}}}$$

$$Z_{S_{\text{Einzellast}}} = 0,19 * P = 0,19 * 750\text{kN} = \underline{\underline{143\text{kN}}}$$

$$Z_{F_{\text{gest}}} = 53\text{kN} + 143\text{kN} = \underline{\underline{196\text{kN}}}$$

$$A_{S_{\text{Stütz}}} = \frac{196\text{kN}}{28,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \underline{\underline{6,9\text{cm}^2}}$$

gewählt: wird durch die Netzbewehrung (Schubbewehrung) innerhalb des Bereichs $0,6 * l_{\text{eff}}$ (DAfStb Heft 240 Bild 4.3) abgedeckt:

$$0,6 * 4,00\text{m} * 5\text{cm}^2/\text{m} \text{ entspricht } \underline{\underline{12,0 \text{ cm}^2}} > 6,9 \text{ cm}^2$$

Spaltzugbewehrung Z'_S :

Die Verteilung der Spaltzugbewehrung ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen (Bild 4.3).

$$Z'_S = 0,19 * P = 0,19 * 750\text{kN} = 143\text{kN}$$

$$A_{S_{\text{Spaltzug}}} = \frac{143\text{kN}}{28,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \underline{\underline{5,0\text{cm}^2}}$$

gewählt: wird durch die Netzbewehrung (Schubbewehrung) innerhalb des Bereichs $0,6 * l_{\text{eff}}$ (DAfStb Heft 240 Bild 4.3) abgedeckt:

$$0,6 * 4,00\text{m} * 5\text{cm}^2/\text{m} \text{ entspricht } \underline{\underline{12,0 \text{ cm}^2}} > 5,0 \text{ cm}^2$$

Randzugkraftbewehrung Z_R :

$$Z_R = 0,09 * P = 0,09 * 750kN = 68kN$$

$$A_{S_{Randzug}} = \frac{68kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{2,4cm^2}}$$

gewählt: **2 * Ø12** entspricht **~2,4 cm²** > 2,4 cm²

5.4.7 Längsbewehrung für Randfelder

Feldbewehrung Z_F :

$$Z_{F_{\text{Streckenlast}}} = 0,14 * q * l_{\text{eff}} = 0,14 * 63 \frac{kN}{m} * 4,00m = \underline{\underline{35kN}}$$

$$Z_{F_{\text{Einzellast}}} = 0,20 * P = 0,20 * 750 kN = \underline{\underline{150 kN}}$$

$$Z_{F_{\text{gest}}} = 35kN + 150kN = \underline{\underline{185kN}}$$

$$A_{S_{\text{Feld}}} = \frac{185kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{6,5cm^2}}$$

gewählt: **3 * Ø12** aus durchlaufender Feldbewehrung der Innenfelder.
Zusätzlich **3 * Ø12** entspricht zusammen **6,8 cm²** > 6,5cm²

Stützbewehrung Z_S :

Die Verteilung der Stützbewehrung in den Randfeldern ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen (Bild 4.2).

$$Z_{S_{\text{Streckenlast}}} = 0,19 * q * l_{\text{eff}} = 0,19 * 63 \frac{kN}{m} * 4,00m = \underline{\underline{48kN}}$$

$$Z_{S_{\text{Einzellast}}} = 0,27 * P = 0,27 * 750kN = \underline{\underline{203kN}}$$

$$Z_{F_{\text{gest}}} = 48 kN + 203 kN = \underline{\underline{251 kN}}$$

$$A_{S_{\text{Stütz1}}} = \frac{251kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{8,8cm^2}}$$

gewählt: wird durch die Netzbewehrung (Schubbewehrung) innerhalb des Bereichs $0,6 * l_{\text{eff}}$ (DAfStb Heft 240 Bild 4.2) abgedeckt:

$$0,6 * 4,00m * 5cm^2/m \text{ entspricht } \underline{\underline{12,0 cm^2}} > 8,8cm^2$$

Spaltzugbewehrung Z'_s :

Die Verteilung der Spaltzugbewehrung ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen (Bild 4.2).

$$Z'_s = 0,10 * P = 0,10 * 750kN = 75kN$$

$$A_{S_{Spaltzug}} = \frac{75kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{2,6cm^2}}$$

gewählt: wird durch die Netzbewehrung (Schubbewehrung) innerhalb des Bereichs $0,6 * l_{eff}$ (DAfStb Heft 240 Bild 4.3) abgedeckt:

$$0,6 * 4,00m * 5cm^2/m \text{ entspricht } \underline{\underline{12,0 cm^2}} > 2,6cm^2$$

Randzugkraftbewehrung Z_R :

$$Z_R = 0,03 * P = 0,03 * 750kN = 23kN$$

$$A_{S_{Randzug}} = \frac{23kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{0,8cm^2}}$$

gewählt: **1 * Ø12** entspricht **1,2 cm²** > 0,8 cm²

Wegen der Empfindlichkeit gegen Stützensetzung sind etwa 30% der Stützbewehrung am oberen Rand des Trägers zusätzlich einzulegen.

$$A_{S_{\text{Stütz}2}} = 0,3 * 8,8 \text{ cm}^2 = \underline{\underline{2,7 \text{ cm}^2}}$$

gewählt: **3 * Ø12** entspricht **3,4 cm²**

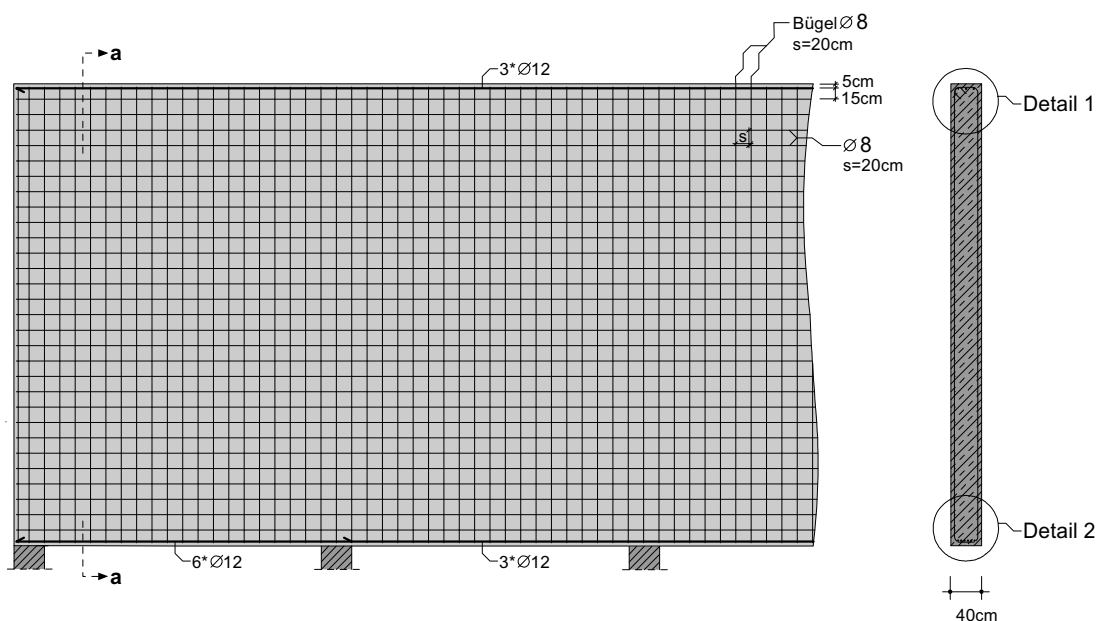
Diese zusätzliche Bewehrung wird auf die maximale Randzugkraftbewehrung von 2,4 cm² angerechnet.

5.4.8 Bewehrungszeichnung

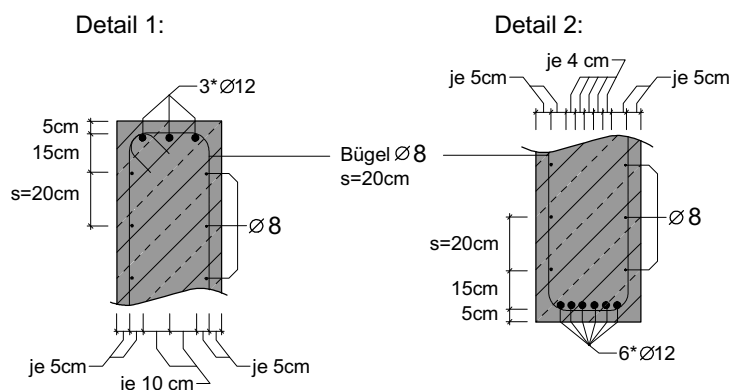
Beispiel 4 - Bewehrungsanordnung

Ansicht:

Schnitt a-a:



Beispiel 4 - Bewehrungsanordnung - Details



5.5 Beispiel 5 - Mittelbar gelagerter Zweifeldträger mit oben angreifender Streckenlast

(Berechnung mit Hilfe der vertafelten Lösungen)

5.5.1 Aufgabenstellung

gegeben:

- wandartiger Träger lt. Bild 5.3.1
- B 35 ; BSt 500

gesucht:

- Bemessung des Bauteils

Beispiel 5

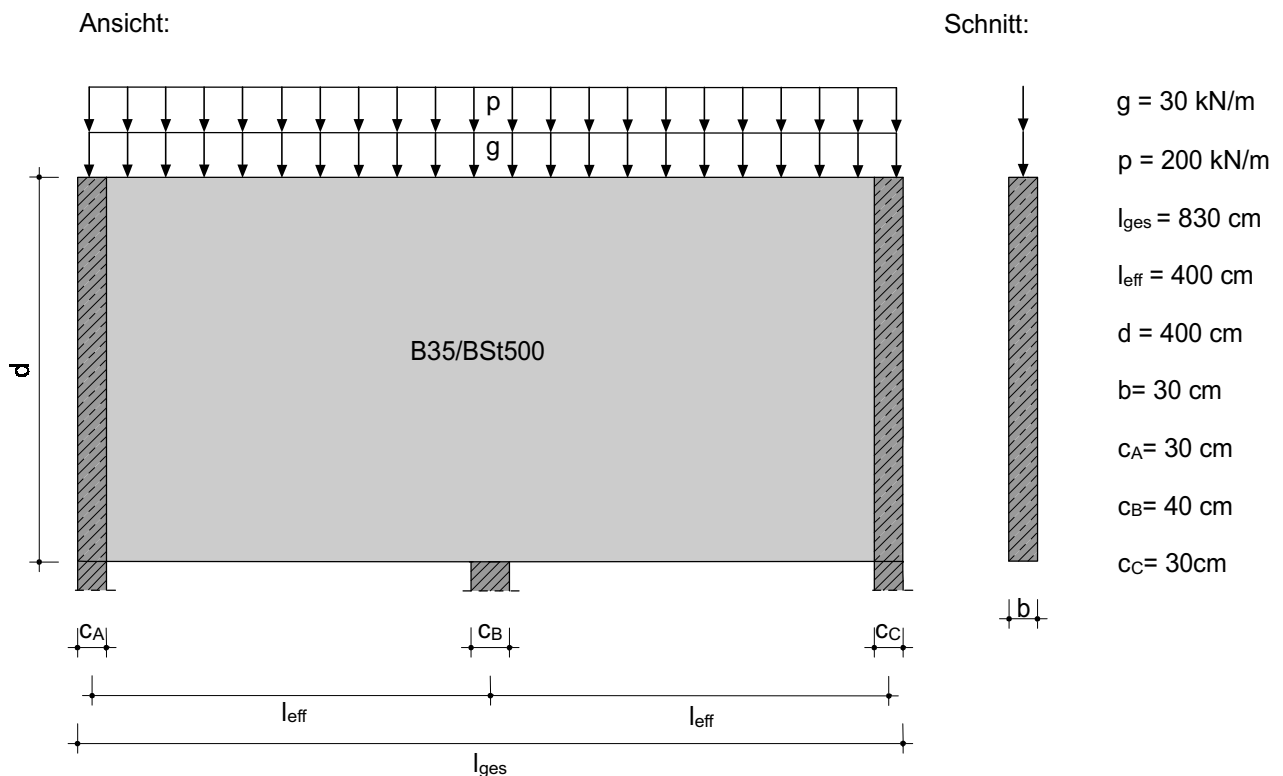
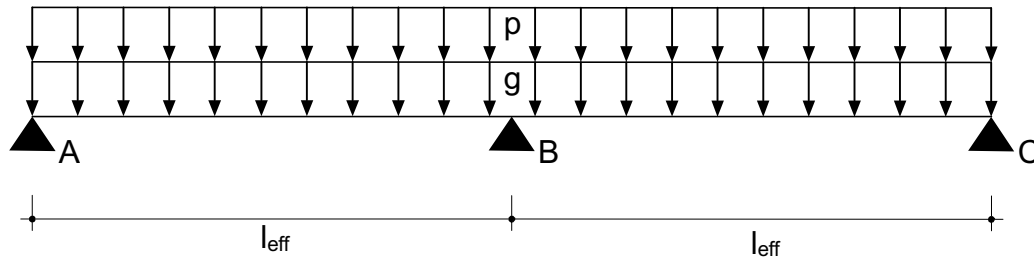


Bild 5.5.1: Mittelbar gelagerter Zweifeldträger mit oben angreifender Streckenlast

5.5.2 Festlegen des statischen Systems für das Gesamttragwerk

- Es handelt sich um einen Zweifeldträger
- statisches System:



$$b = \underline{\underline{0,30m}} \geq 0,10m$$

Zweifeldträger:

$$\frac{d}{l_{eff}} > 0,4 \Rightarrow \frac{4,00m}{4,00m} = \underline{\underline{1,0}} > 0,4 \Rightarrow \text{wandartiger Träger liegt vor}$$

5.5.3 Ermittlung der Auflagerkräfte am gewählten System

Zur Sicherung der Summe der Vertikalkräfte wird die äußere Last auf die Länge zwischen den äußeren Lagerachsen verteilt

$$q = (g + p) * \frac{l}{2 * l_{eff}} = \left(30 \frac{kN}{m} + 200 \frac{kN}{m} \right) * \frac{8,60m}{2 * 4,00m} = \underline{\underline{247 \frac{kN}{m}}}$$

Für die Streckenlast q ergibt sich:

$$A = C = 0,375 * q * l_{eff} = 0,375 * 247 \frac{kN}{m} * 4,00m = \underline{\underline{370kN}} = \underline{\underline{0,370MN}}$$

$$B = 1,250 * q * l_{eff} = 1,250 * 247 \frac{kN}{m} * 4,00m = \underline{\underline{1235kN}} = \underline{\underline{1,235MN}}$$

5.5.4 Nachweis der Hauptdruckspannungen

Bei direkter Lagerung tritt die größte Hauptdruckspannung am Auflager auf. Es genügt hier der Nachweis der Auflagerpressung.

$$\sigma_A = \frac{A_{ges}}{b * c} \leq 0,85 * \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Endauflager A}$$

$$\sigma_A = \frac{0,370 MN}{0,30 m * 0,30 m} = 4,1 \frac{MN}{m^2} \leq 0,85 * \frac{23 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 9,3 \frac{MN}{m^2}$$

$$\sigma_B = \frac{B_{ges}}{b * c} \leq \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Zwischenaflager B}$$

$$\sigma_B = \frac{1,235 MN}{0,30 m * 0,40 m} = 10,3 \frac{MN}{m^2} \leq \frac{23 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 10,9 \frac{MN}{m^2}$$

Bei wandartigen Trägern mit Randverstärkung (Lisenen) und bei **mittelbar** über Querscheiben **gestützten wandartigen Trägern** darf die Querkraft am Auflager den folgenden Wert nicht überschreiten

$$_{zul} Q = 0,10 * l * b * \beta_R \quad (\text{mit } l \leq d)$$

Die zulässigen Hauptdruckspannungen sind eingehalten, wenn die Querkraft Q am Auflager \leq $_{zul} Q$ ist.

$$_{zul} Q = 0,10 * l * b * \beta_R = 0,10 * 4,00 m * 0,30 m * 23 \frac{MN}{m^2} = 2,76 MN = \underline{\underline{2760 kN}}$$

$$Q_A = A = \underline{\underline{370 kN}} \leq \frac{1}{2} * 2760 kN = 1380 kN$$

Die $0,35 d \times 0,35 d$ des Wandträgers ist bei **mäßiger Beanspruchung** ($Q < \frac{1}{2} \text{zul} Q$) orthogonal zu bewehren mit engen vertikalen und horizontalen Bügeln, die jeweils für $Z_{Bü} = 0,8 \cdot Q$ zu bemessen sind.

$$Z_{Bü} = 0,8 \cdot Q = 0,8 \cdot 370 \text{ kN} = \underline{\underline{296 \text{ kN}}}$$

$$A_{S_{Bü}} = Z_{Bü} / \sigma_s \quad \text{mit} \quad \sigma_s = \frac{\beta_s}{1,75} = 286 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} = 28,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{S_{Bü}} = \frac{296 \text{ kN}}{28,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \underline{\underline{10,3 \text{ cm}^2}}$$

gewählte Längsbewehrung:	Bügel $\varnothing 8$; s = 20cm
gewählte Querbewehrung:	auf jeder Seite $\varnothing 8$; s = 20cm
+Mindestbewehrung (siehe unten)	5,0cm²/m in beide Richtungen

entspricht **10,0cm²/m** in beide Richtungen

Auf eine Höhe (bzw. Breite) von $0,35 \cdot d$ ergibt sich:

$$10,0 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot 0,35 \cdot 4,00 \text{ m} = \underline{\underline{14,0 \text{ cm}^2}} \geq 10,3 \text{ cm}^2$$

5.5.5 Schubbewehrung

Nach DIN 1045 - 23.3 geforderte waagerechte und lotrechte Mindestbewehrung (Netzbewehrung):

- Mindestbewehrung pro Seite und Richtung:

1,5 cm²/m bzw. 0,05% von b

Abstände $\leq 2 \cdot$ Wanddicke ≤ 30 cm

$$0,05 \cdot b = 0,05 \cdot 30\text{cm} = 1,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \geq 1,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

gewählte Längsbewehrung: Bügel Ø8 ; s = 20cm
gewählte Querbewehrung: auf jeder Seite Ø8 ; s = 20cm

entspricht **5,0cm²/m** in beide Richtungen > 1,5 cm²

5.5.6 Längsbewehrung

Die Längsbewehrung ergibt sich zu:

$$A_s = Z_x / \sigma_s \quad \text{mit} \quad \sigma_s = \frac{\beta_s}{1,75} = 286 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} = 28,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{BSt 500}).$$

Die resultierenden Zugkräfte Z_F , Z_S , Z'_S und Z_R Wurden anhand der Tafel 3.3.2 für vertafelte Lösungen ermittelt.

Feldbewehrung Z_F :

$$Z_F = 0,09 \cdot q \cdot l_{\text{eff}} = 0,15 \cdot 247 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 4,00\text{m} = \underline{\underline{149\text{kN}}}$$

$$A_{s_{\text{Feld}}} = \frac{149\text{kN}}{28,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \underline{\underline{5,2\text{cm}^2}}$$

gewählt: **3 * Ø16** entspricht **6,0 cm²** > 5,2cm²

Stützbewehrung Z_s :

Die Verteilung der Stützbewehrung ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen (Bild 4.3).

$$Z_s = 0,19 * q * l_{eff} = 0,19 * 247 \frac{kN}{m} * 4,00m = \underline{\underline{188kN}}$$

$$A_{S_{Stütz1}} = \frac{188kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{6,6cm^2}}$$

gewählt: wird durch die Netzbewehrung (Schubbewehrung) innerhalb des Bereichs $0,6 * l_{eff}$ (DAfStb Heft 240 Bild 4.2) abgedeckt:

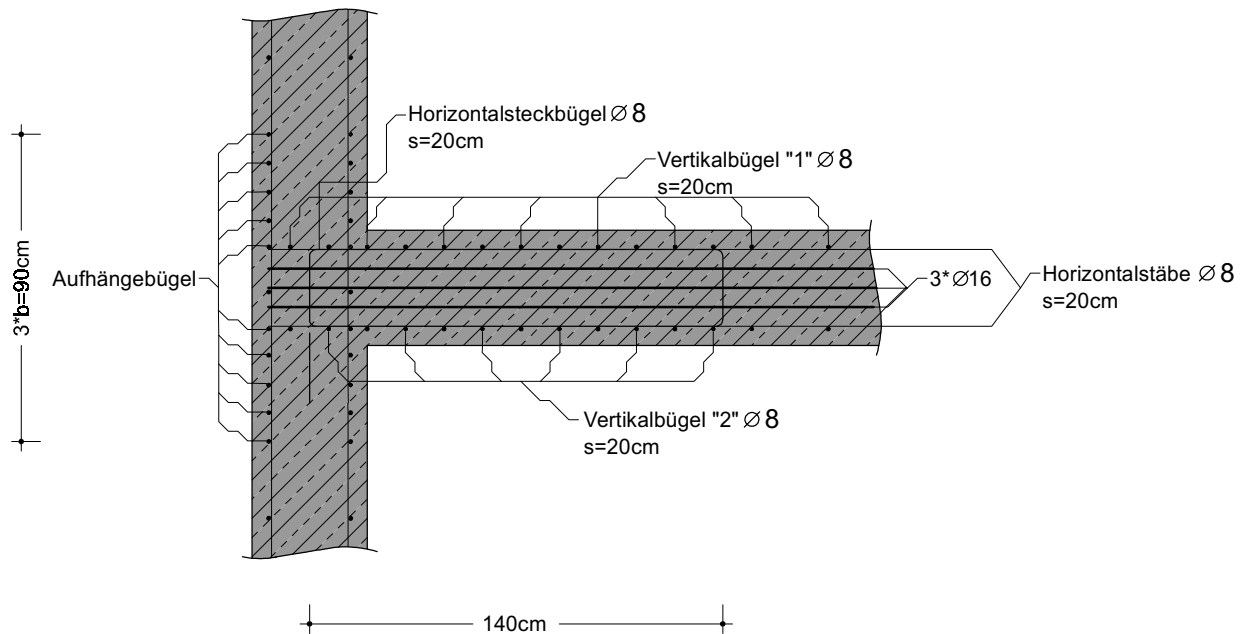
$$\mathbf{0,6 * 4,00m * 5cm^2/m \text{ entspricht } \underline{\underline{12,0 cm^2}} > 6,6cm^2}$$

Wegen der Empfindlichkeit gegen Stützensetzung sind etwa 30% der Stützbewehrung am oberen Rand des Trägers zusätzlich einzulegen.

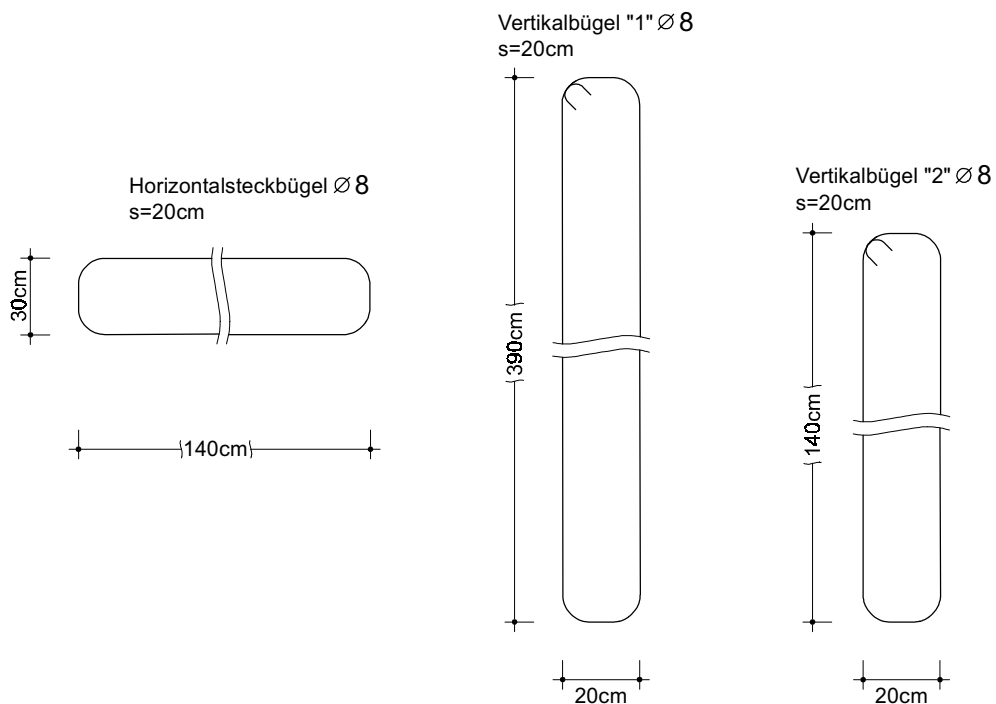
$$A_{S_{Stütz2}} = 0,3 * 6,6cm^2 = \underline{\underline{2,0cm^2}}$$

gewählt: **1 * Ø16** entspricht **2,0 cm²** > 2,0cm²

Beispiel 5 - Bewehrungsanordnung - Schnitt b-b



Beispiel 5 - Bewehrungsanordnung - Bügel



5.6 Beispiel 6 Kellerwand als Durchlaufträger (Fünffeldträger) mit oben angreifenden Einzellasten aus Stützen (Berechnung mit Hilfe der vertafelten Lösungen)

5.6.1 Aufgabenstellung

gegeben:

- wandartiger Träger lt. Bild 5.6.1
- B 25 ; BSt 500

gesucht:

- Bemessung des Bauteils

Beispiel 6

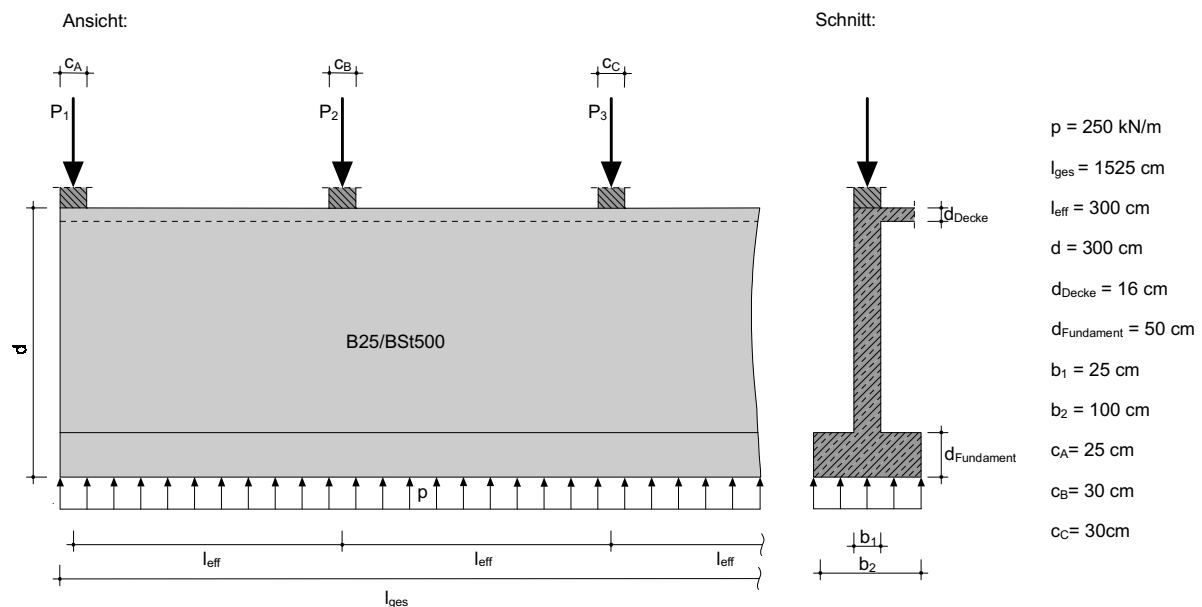
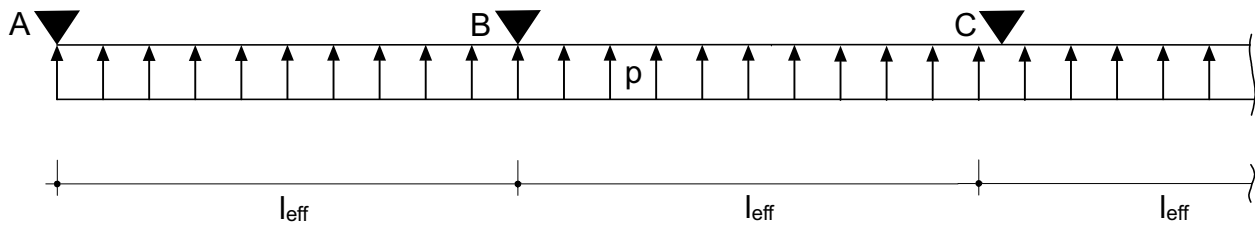


Bild 5.6.1:

Kellerwand als Durchlaufträger (Fünffeldträger) mit oben angreifenden Einzellasten aus Stützen

5.6.2 Festlegen des statischen Systems für das Gesamttragwerk

- Es handelt sich um einen Fünffeldträger
- statisches System:



$$b = \underline{\underline{0,25m}} \geq 0,10m$$

Durchlaufträger:

$$\frac{d}{l_{eff}} > 0,3 \Rightarrow \frac{3,00m}{3,00m} = \underline{\underline{1,0}} > 0,3 \Rightarrow \text{wandartiger Träger liegt vor}$$

5.6.3 Ermittlung der Auflagerkräfte (Stützenlasten P_1 , P_2 & P_3) am gewählten System

Zur Sicherung der Summe der Vertikalkräfte wird die äußere Streckenlast auf die Länge zwischen den äußeren Stützenachsenverteilt

$$q = p * \frac{l}{l_{eff}} = 250 \frac{kN}{m} * \frac{3,25m}{3,00m} = \underline{\underline{271 \frac{kN}{m}}}$$

Aus der Streckenlast q ergibt sich:

$$P_1 = 0,395 * q * l_{eff} = 0,395 * 271 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{321kN}} = \underline{\underline{0,321MN}}$$

$$P_2 = 1,132 * q * l_{eff} = 1,132 * 271 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{920kN}} = \underline{\underline{0,920MN}}$$

$$P_3 = 0,974 * q * l_{eff} = 0,974 * 271 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{792kN}} = \underline{\underline{0,792MN}}$$

5.6.4 Nachweis der Hauptdruckspannungen

Bei direkter Lagerung tritt die größte Hauptdruckspannung am Auflager auf. Es genügt hier der Nachweis der Auflagerpressung. Da zwischen Stütze und Scheibe eine Decke vorhanden ist, darf in dieser zur Vergrößerung von c eine Lastausbreitung unter 45° in Richtung der Scheibe angenommen werden.

$$\sigma_{P_1} = \frac{P_1}{b * (c + d_{Decke})} \leq 0,85 * \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Endauflager A}$$

$$\sigma_{P_1} = \frac{0,321 MN}{0,25 m * (0,25 m + 0,16 m)} = \underline{\underline{0,8 \frac{MN}{m^2}}} \leq 0,85 * \frac{17,5 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 7,1 \frac{MN}{m^2}$$

$$\sigma_{P_2} = \frac{P_2}{b * (c + 2 * d_{Decke})} \leq \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Zwischenaufleger B}$$

$$\sigma_{P_2} = \frac{0,920 MN}{0,25 m * (0,30 m + 2 * 0,16 m)} = \underline{\underline{5,9 \frac{MN}{m^2}}} \leq \frac{17,5 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 8,3 \frac{MN}{m^2}$$

$$\sigma_{P_3} = \frac{P_3}{b * (c + 2 * d_{Decke})} \leq \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Zwischenaufleger C}$$

$$\sigma_{P_3} = \frac{0,792 MN}{0,25 m * (0,30 m + 2 * 0,16 m)} = \underline{\underline{5,1 \frac{MN}{m^2}}} \leq \frac{17,5 \frac{MN}{m^2}}{2,1} = 8,3 \frac{MN}{m^2}$$

5.6.5 Schubbewehrung

Bei direkter Lagerung ist kein besonderer Nachweis erforderlich, sofern die nach DIN 1045 - 23.3 geforderte waagerechte und lotrechte Mindestbewehrung (Netzbewehrung) vorhanden ist.

- Mindestbewehrung pro Seite und Richtung:

$$1,5 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ bzw. } 0,05\% \text{ von } b$$

$$\text{Abstände} \leq 2 \cdot \text{Wanddicke} \leq 30 \text{ cm}$$

$$0,05 \cdot b = 0,05 \cdot 25 \text{ cm} = 1,25 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \leq 1,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

gewählte Längsbewehrung:	Bügel Ø8 ; s = 20cm
gewählte Querbewehrung:	auf jeder Seite Ø8 ; s = 20cm

entspricht **5,0cm²/m** in beide Richtungen > 1,5cm²/m

5.6.6 Längsbewehrung für Mittelfelder

Die Längsbewehrung ergibt sich zu:

$$A_s = Z_x / \sigma_s \quad \text{mit} \quad \sigma_s = \frac{\beta_s}{1,75} = 286 \frac{MN}{m^2} = 28,6 \frac{kN}{cm^2} \quad (\text{BSt 500}).$$

Die resultierenden Zugkräfte Z_F und Z_S wurden anhand der Tafel 3.3.3 und der Tafel 3.3.2 für vertafelte Lösungen ermittelt.

Feldbewehrung Z_F :

$$Z_F = 0,09 * q * l_{eff} = 0,09 * 271 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{73kN}}$$

$$A_{s_{Feld}} = \frac{73kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{2,6cm^2}}$$

gewählt: **3 * Ø12** entspricht **3,4cm²** > 2,6cm²

Stützbewehrung Z_S :

Die Verteilung der Stützbewehrung ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen (Bild 4.3).

$$Z_S = 0,21 * q * l_{eff} = 0,21 * 271 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{171kN}}$$

$$A_{s_{Stütz1}} = \frac{171kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{6,0cm^2}}$$

gewählt: wird durch die Netzbewehrung (Schubbewehrung) innerhalb des Bereichs $0,6 * l_{eff}$ (DAfStb Heft 240 Bild 4.3) abgedeckt:

$$0,6 * 3,00m * 5cm^2/m \text{ entspricht } \underline{\underline{9,0cm^2}} > 6,0cm^2$$

5.6.7 Längsbewehrung für Randfelder

Feldbewehrung Z_F :

$$Z_F = 0,15 * q * l_{eff} = 0,15 * 271 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{122kN}}$$

$$A_{S_{Feld}} = \frac{122kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{4,3cm^2}}$$

gewählt: **3 * Ø12** aus durchlaufender Feldbewehrung der Innenfelder. Zusätzlich **1 * Ø12** entspricht zusammen **4,5 cm²** > 4,3cm²

Stützbewehrung Z_S :

Die Verteilung der Stützbewehrung in den Randfeldern ist nach DAfStb Heft 240 vorzunehmen (Bild 4.2).

$$Z_S = 0,19 * q * l_{eff} = 0,19 * 271 \frac{kN}{m} * 3,00m = \underline{\underline{155kN}}$$

$$A_{S_{Stütz}} = \frac{155kN}{28,6 \frac{kN}{cm^2}} = \underline{\underline{5,4cm^2}}$$

gewählt: wird durch die Netzbewehrung (Schubbewehrung) innerhalb des Bereichs $0,6 * l_{eff}$ (DAfStb Heft 240 Bild 4.2) abgedeckt:

$$0,6 * 3,00m * 5cm^2/m \text{ entspricht } \underline{\underline{9,0 cm^2}} > 5,4cm^2$$

Wegen der Empfindlichkeit gegen Stützensetzung sind etwa 30% der Stützbewehrung am oberen Rand des Trägers zusätzlich einzulegen.

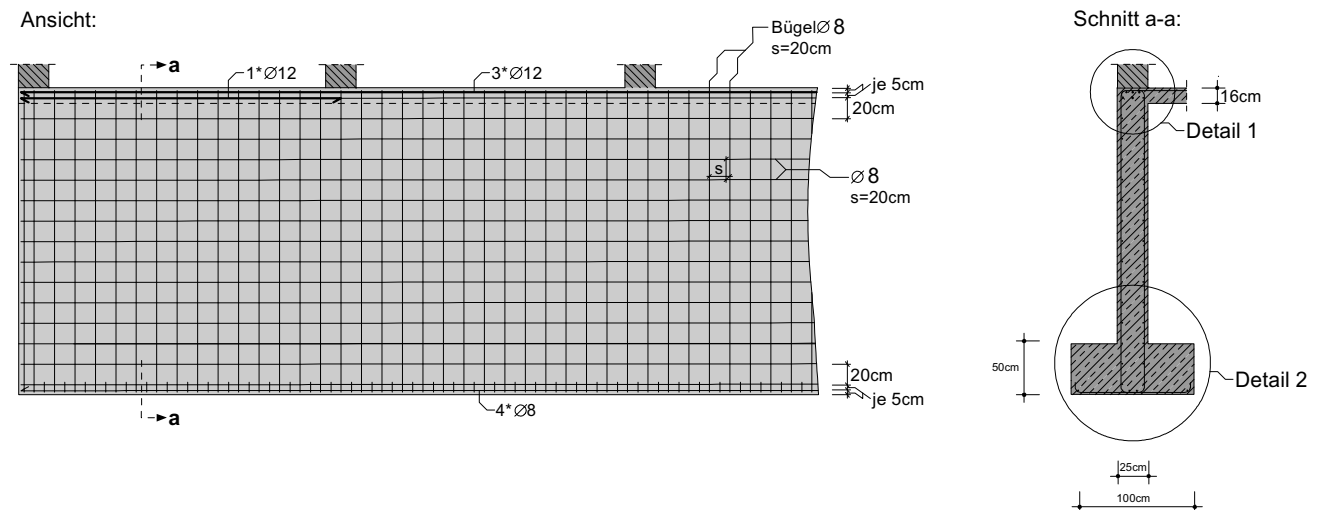
$$A_{S_{Stütz2}} = 0,3 * 6,0 \text{ cm}^2 = \underline{\underline{1,8 \text{ cm}^2}}$$

gewählt: **4 * Ø8** entspricht **2,0 cm²** > 1,8 cm²

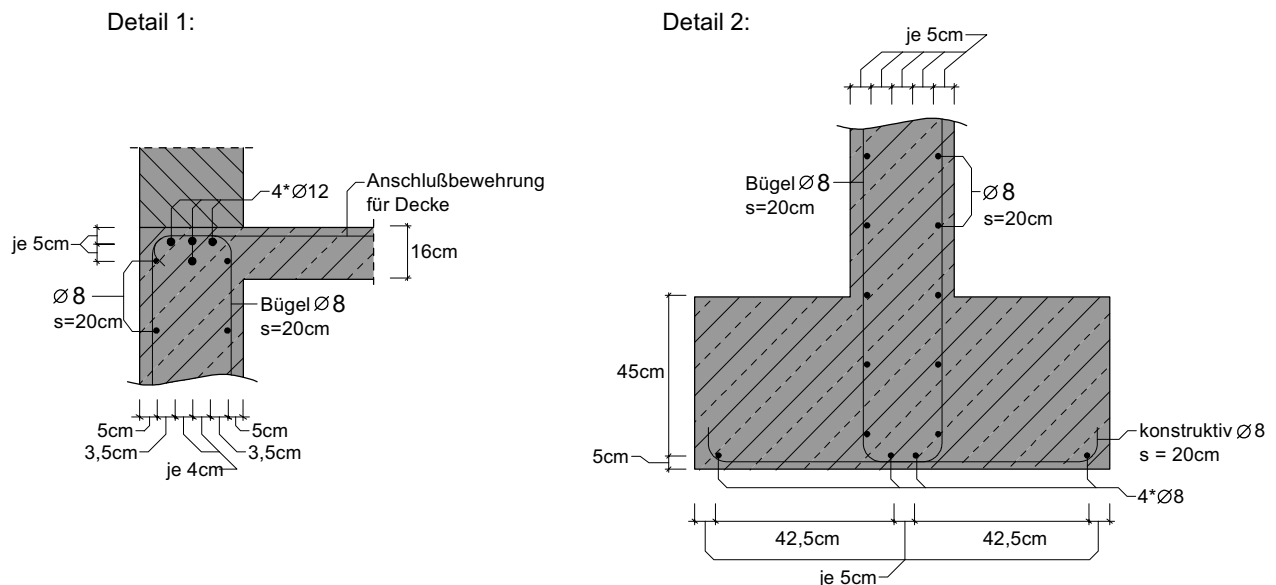
Diese zusätzliche Bewehrung wird auf die maximale Randzugkraftbewehrung von 2,4 cm² angerechnet.

5.6.8 Bewehrungszeichnung

Beispiel 6 - Bewehrungsanordnung



Beispiel 6 - Bewehrungsanordnung - Details



6 Anhang

6.1 Literaturverzeichnis:

- Bautechnische Zahlentafeln / R. Wendehorst 26. Auflage / B.G.Teubner Verlag
- Bautabellen für Ingenieure / K.-J. Schneider 13. Auflage / Werner Verlag
- Vorlesungsskript Stahlbetonbau von Prof. Dr.-Ing. J. Götsche / FH NON - Buxtehude
- Vorlesungsskript Stahlbetonbau von Prof. Dr.-Ing. T. Bauer, Prof. Dr.-Ing. D. Berg, Prof. Dr.-Ing. H. Kleinlein, Prof. Dr.-Ing. H. Kruschke Prof. Dr.-Ing. J. Matheiß, Prof. Dr.-Ing. K. Schneider und Prof. Dr.-Ing. A. Treitwein FH München
- Stahlbetonbau - Bemessung und Konstruktion- Teil 1 / O. Wommelsdorff 5. Auflage / Werner Verlag
- Stahlbetonbau - Bemessung und Konstruktion- Teil 2 / O. Wommelsdorff 5. Auflage / Werner Verlag
- Euro-Stahlbetonbau in Beispielen– Teil 2 / R. Avak / Werner Verlag
- Betonkalender 1998 - Teil 1 / Ernst & Sohn Verlag
- Betonkalender 1998 - Teil 2 / Ernst & Sohn Verlag
- Vorlesungen über Massivbau– Zweiter Teil / F. Leonhardt und E. Mönning / Springer Verlag
- Vorlesungen über Massivbau– Dritter Teil / F. Leonhardt und E. Mönning / Springer Verlag
- DIN 1045 – Beton und Stahlbetonbau / Beuth Verlag
- DAfStb Heft 178 – Wandartige Träger / F. Leonhardt und R. Walther / Ernst & Sohn Verlag
- DAfStb Heft 240 – Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderung von Stahlbetontragwerken / E. Grasser und G. Thielen 3. Auflage / Ernst & Sohn Verlag

- DAfStb Heft 388 – Wandartige Träger mit Auflagerverstärkungen und vertikalen Arbeitsfugen / J. Götsche und H. Twelmeier / Ernst & Sohn Verlag
- Designing Information Technology in the Postmodern Age / R. Coyne / The MIT Press
- Multimedia in Action / J. E. Shuman / ITP- International Thomson Publishing

6.2 Formeln & Begriffe

6.2.1 Begriffe

- d = Höhe des wandartigen Trägers
- b = Breite des wandartigen Trägers
- l_{ges} = gesamte Länge des wandartigen Trägers
- l_{eff} = Feldlänge des wandartigen Trägers von Stützenachse zu Stützenachse
- l_{ges} = Länge des Kragarms von Stützenachse bis Kragarmende
- c = Auflager- bzw. Stützenbreite
- g = Eigengewicht (Streckenlast)
- p = Belastung (Streckenlast)
- P = Belastung (Punktförmig angreifende Last)
- q = Summe aus g+p

6.2.2 Formeln

- Ermittlung der Auflagerkräfte am gewählten System (Zur Sicherung der Summe der Vertikalkräfte wird die äußere Last auf die Länge zwischen den äußeren Lagerachsen verteilt)

$$q = (p + g) * \frac{l_{ges}}{2 * l_{eff}} = 250 \frac{kN}{m} * \frac{6,30m}{2 * 3,00m} = \underline{\underline{263 \frac{kN}{m}}}$$

- Hauptdruckspannung am Auflager

$$\sigma_A = \frac{A}{b * c} \leq 0,85 * \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Endauflager}$$

$$\sigma_B = \frac{B}{b * c} \leq \frac{\beta_R}{2,1} \quad \Rightarrow \quad \text{Zwischenaufleger}$$

- Längsbewehrung

$$A_s = Z_x / \sigma_s \quad \text{mit} \quad \sigma_s = \frac{\beta_s}{1,75} = 286 \frac{MN}{m^2} = 28,6 \frac{kN}{cm^2}$$

- Mindestbewehrung (Netzbewehrung) pro Seite und Richtung

$$\text{Abstände} \leq 2 * \text{Wanddicke} \leq 30cm$$

$$0,05 * b \geq 1,5 \frac{cm^2}{m}$$

6.3 credits

Dieses multimediale Lehr- & Lernmodul über wandartige Träger ist im Zuge der Diplomarbeit von Herrn Georg H. Reimer, unter der Aufsicht von Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Götsche und Herrn Prof. Dr.-Ing. H. - D. Quitmann, an der Fachhochschule Nordostniedersachsen – Fachbereich Bauingenieurwesen entstanden.