

Plattentragwerke

1. Allgemeines

Platten sind Flächentragwerke, die im Normalfall senkrecht zu ihrer Mittelebene belastet sind. Zur Abgrenzung von Balken ist pauschal festgelegt:

Kleinste Stützweite: $\min l \geq 5h$ und Querschnittsbreite b : $\min b \geq 5h$

Die Stützung einer Platte kann sehr unterschiedlich sein: Normalerweise liegt eine kontinuierliche Stützung z.B. durch Wände oder Unterzüge vor, sie kann aber auch unterbrochen sein, was oft durch einen deckengleichen Unterzug in der Rechnung berücksichtigt wird. Letztlich sind auch nur punktförmige Lager (Stützen) möglich, man spricht dann von Flachdecken.

Hinsichtlich der Tragwirkung wird traditionell aufgrund der unterschiedlichen theoretischen Berechnungsmethode unterschieden in

- einachsig gespannte Platten (Berechnung wie ein Balken nach der Balkentheorie)
- zweiachsig gespannte Platten (Berechnung nach der Plattentheorie)

Ein Abgrenzungskriterium ist bei umlaufend kontinuierlicher Stützung das Verhältnis der Stützweiten in x- und y-Richtung:

- $l_y/l_x \geq 2$: einachsig gespannte Platte
- $l_y/l_x < 2$: zweiachsig gespannte Platte

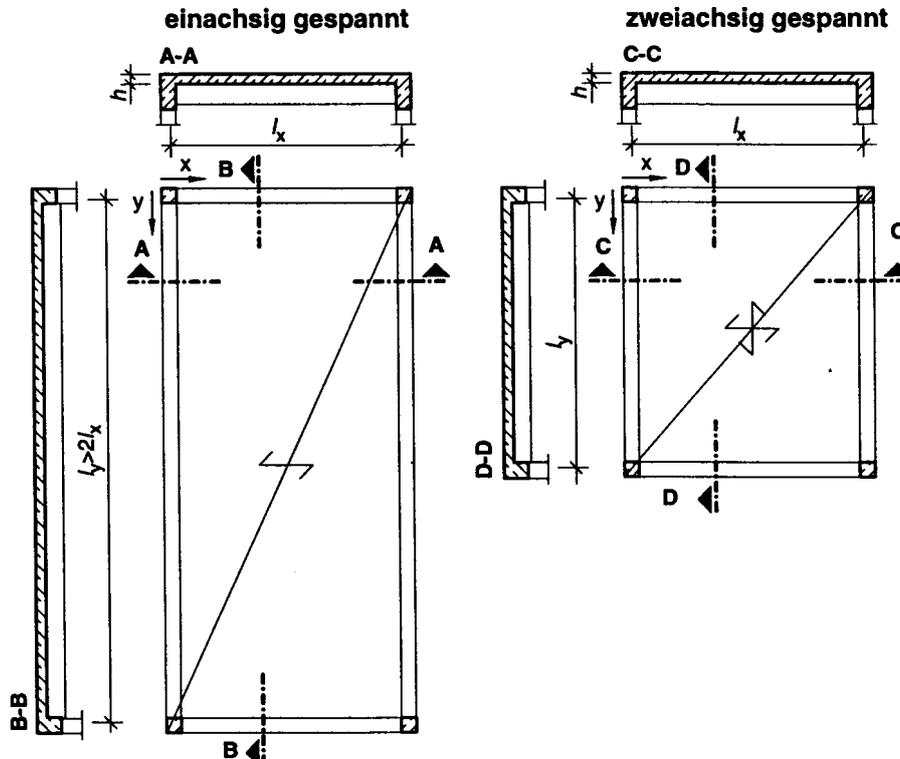


Bild: Einachsig und zweiachsig gespannte Platten mit kontinuierlicher Stützung

Realistisch betrachtet muss man sehen, dass auch bei einem Verhältnis $l_y/l_x > 2$ **nur im mittleren Bereich und bei Gleichflächenlast reine einachsige Lastabtragung** vorliegt. Bei Einzellasten und in der Nähe der kürzeren Stützungen liegt immer eine zweiachsige Lastabtragung gemäß Plattentheorie vor.

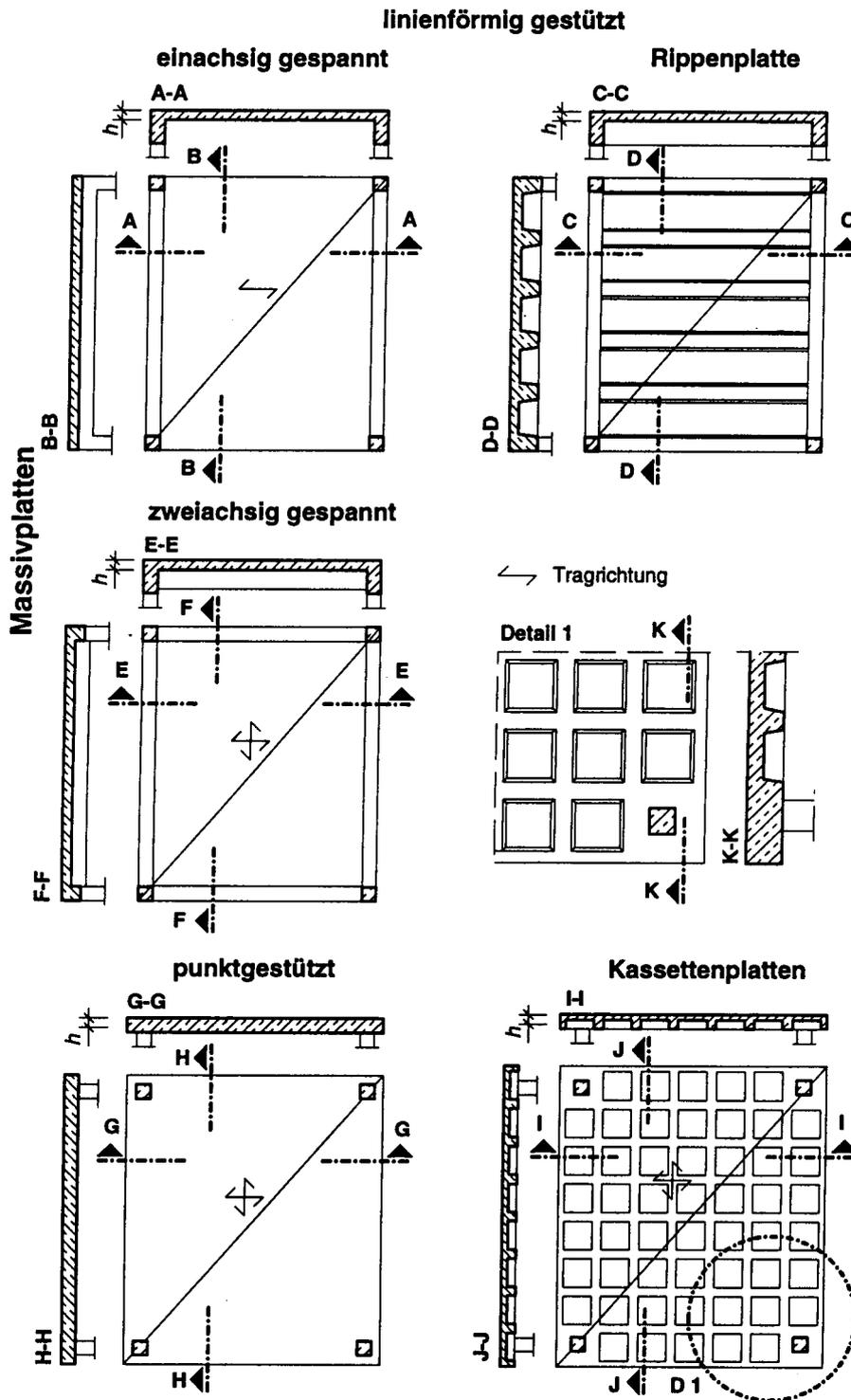


Bild: Verschiedene Plattentypen

1.1 Konstruktionsregeln

Mindestplattenhöhe:	allgemein	7 cm
	Platten mit aufgebogener Querkraftbewehrung	16 cm
	Platten mit Bügeln oder Durchstanzbewehrung	20 cm

Bei Bauteilen mit einer statischen Höhe $d < 10$ cm sind für die Bemessung die Schnittgrößen im Verhältnis $15/(d + 5)$ mit d in [cm] zu vergrößern.

Mindestauflagertiefe:	Mauerwerk:	7 cm
	Beton:	5 cm
	Stahl:	5 cm

Mindestdurchmesser:	$\varnothing = 5$ mm
Querbewehrung:	mind. 20% der Hauptbewehrung

Bei der Dimensionierung der Plattenhöhe h ist oft nicht die Tragfähigkeit maßgebend, sondern die Gebrauchstauglichkeit in Form einer **Verformungsbegrenzung**. Diese kann im üblichen Hochbau vereinfacht über einen **Nachweis der Biegeschlankheit** erfolgen (vgl. Kapitel 1.2).

Außerdem können andere Kriterien wie z.B. Schall- oder Brandschutz die Deckendimensionierung beeinflussen.

Die Regeln für die **Mindestbiegezugbewehrung von Balken gelten auch für Platten**. Für die Stababstände gelten die folgenden Festlegungen:

Längsbewehrung:	$h \leq 15$ cm	$s_{\max} = 15$ cm
	$15 \text{ cm} < h < 25$ cm	$s_{\max} = h$
	$h \geq 25$ cm	$s_{\max} = 25$ cm

Querbewehrung:	$s_{\max} = 25$ cm
-----------------------	--------------------

Eine **Staffelung von bis zu 50 % der Biegezugbewehrung ist zwar zulässig**, wird aber nur selten ausgeführt, z.B. wegen geringerer Querkrafttragfähigkeit am Auflager.

Im Normalfall wird angestrebt, Platten **ohne Querkraftbewehrung** auszuführen. In diesem Fall ist das **Versatzmaß auf $a_1 = 1,0d$** festgelegt.

Für den häufig vorkommenden Fall eines freien Plattenrandes muss gemäß EC2 (außer bei Fundamenten und innenliegenden Bauteilen des üblichen Hochbaus) mindestens folgende konstruktive Bewehrung vorhanden sein:

$h \leq 30 \text{ cm}$	$a_{sy} = 1,25 \text{ cm}^2/\text{m}$
$h \geq 80 \text{ cm}$	$a_{sy} = 3,5 \text{ cm}^2/\text{m}$

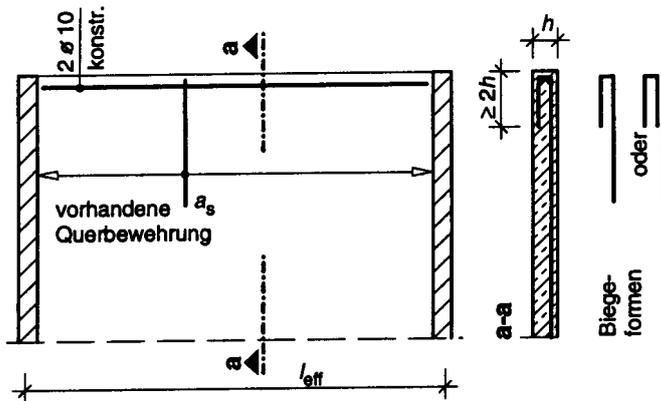


Bild: Bewehrung eines freien Plattenrandes

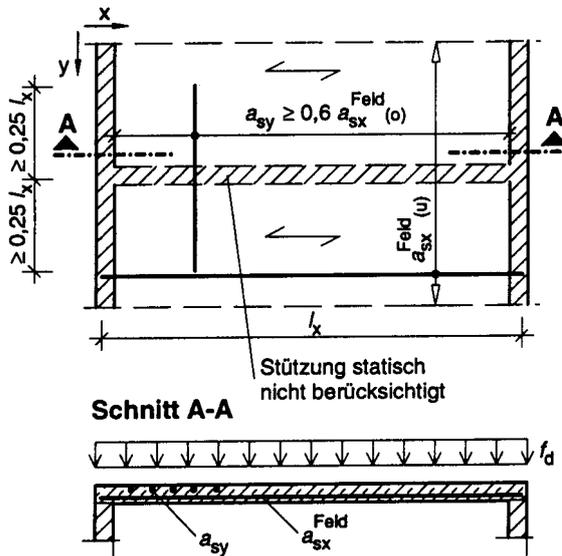


Bild: Abreißbewehrung oben bei unbeabsichtigter Einspannung

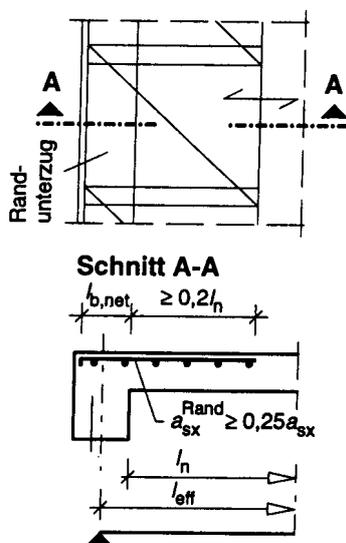


Bild: Konstruktive Einspannbewehrung

1.2 Begrenzung der Verformungen

1.2.1 Allgemeine Regelungen

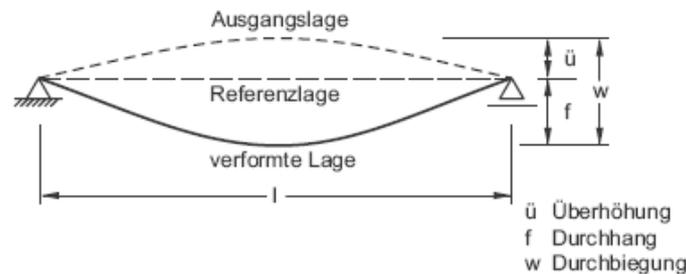


Bild: Biegeverformung eines Bauteils – Definition der Komponenten

Entsprechend der oben gezeigten Abbildung muss im Hinblick auf die Biegeverformung eines Bauteils unterschieden werden zwischen:

- **Durchbiegung w**
Die Durchbiegung bzw. die Biegelinie entspricht der Differenz zwischen der verformten Lage und der unverformten Ausgangslage.
- **Durchhang f**
Der Durchhang entspricht der Abweichung der verformten Lage von einer Referenzlage, i. d.R. der geraden Verbindung zwischen den Auflagern.

Da Biegeverformungen visuell nur auf Referenzlinien bezogen wahrgenommen werden (Durchhang), kann dieser – im Gegensatz zur Durchbiegung – durch eine Überhöhung \ddot{u} der Schalung bei der Herstellung reduziert werden. Nach EC 2 sollte die **Überhöhung allerdings $l/250$ nicht überschreiten**.

Zum Nachweis von Verformungen stehen im EC 2 zwei alternative Wege zur Verfügung:

- Explizite Berechnung der Verformung und Vergleich mit Grenzwerten.
- Vereinfachter Nachweis durch Begrenzung der Biegeschlankheit.

Die zweite Alternative ist generell auf vorwiegend biegebeanspruchte, nicht vorgespannte Bauteile beschränkt. Im NA erfolgt zudem – bedingt durch die weitgehend empirische Ableitung der Biegeschlankheitsgrenzen – eine weitere Einschränkung auf Deckenplatten des üblichen Hochbaus.

Die Norm legt folgende Grenzwerte fest, die allerdings nur Richtwerte für übliche Wohn-, Büro und Industriebauten darstellen:

- Erhalt eines ansprechenden Erscheinungsbilds: Durchhang $f \leq l/250$
- Vermeidung von Schäden in angrenzenden Bauteilen: Durchbiegung $w \leq l/500$

Die Nachweise sind für die **quasi-ständige Belastung** zu führen. Bei Kragträgern ist 2,5l anzusetzen, also Durchhang $f \leq l/100$.

Eine Überschreitung der genannten Grenzen ist nicht automatisch als Mangel zu sehen, während deren Einhaltung nicht in allen Fällen die Gebrauchstauglichkeit garantiert. Im Zweifelsfall sind mit dem Bauherrn davon abweichende Grenzwerte zu vereinbaren.

1.2.2 Vereinfachter Nachweis durch Begrenzung der Biegeschlankheit

Im EC 2 werden **Grenzen für die Schlankheit l/d** angegeben, die auf einer genauen Berechnung basieren. Die Ausdehnung des auf Gebrauchslastniveau gerissenen Bereichs und der Einfluss des Bewehrungsgrades auf die Biegesteifigkeit im Zustand II werden durch eine Unterscheidung zwischen gering- und hochbeanspruchten Bauteilen erfasst.

Gering beanspruchte Bauteile (v. a. **Platten**) weisen im Allgemeinen niedrige Bewehrungsgrade auf ($< 0,5\%$); der gerissene Bereich erstreckt sich unter Gebrauchslasten nur über einen begrenzten Bereich der Spannweite.

Im Unterschied dazu besitzen **hoch beanspruchte Bauteile (vorwiegend Balken)** Bewehrungsgrade $> 0,5\%$. Die Rissbildung ist im Allgemeinen bereits unter Gebrauchslasten weit fortgeschritten, die größere Ausdehnung des gerissenen Bereichs führt damit im Vergleich zu gering beanspruchten Bauteilen zu größeren Verformungen. Für hochbeanspruchte Bauteile werden daher strengere Grenzwerte, d. h. größere statische Nutzhöhen bei gleicher Stützweite erforderlich.

$$\frac{l}{d} = K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \leq K \cdot 35 \leq K^2 \cdot 150/l \quad \text{für } \rho \leq \rho_0 \quad (7.16a)$$

$$\frac{l}{d} = K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \leq K \cdot 35 \leq K^2 \cdot 150/l \quad \text{für } \rho > \rho_0 \quad (7.16b)$$

l/d der Grenzwert der Biegeschlankheit (Verhältnis von Stützweite zu Nutzhöhe);

K der Beiwert zur Berücksichtigung der verschiedenen statischen Systeme;

ρ_0 der Referenzbewehrungsgrad $\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot f_{ck}$ in MN/m^2

ρ, ρ' der erforderliche Zug(Druck)bewehrungsgrad in Feldmitte, um das Bemessungsmoment aufzunehmen (am Einspannquerschnitt für Kragträger);

Die 2. Obergrenze $K^2 \cdot 150/l$ gilt für Bauteile, die verformungsempfindliche Ausbauelemente beeinträchtigen können.

Die Gleichungen (7.16a) und (7.16b) sind unter der Voraussetzung hergeleitet worden, dass die Stahlspannung unter der entsprechenden Bemessungslast im GZG in einem gerissenen Querschnitt in Feldmitte eines Balkens bzw. einer Platte oder am Einspannquerschnitt eines Kragträgers 310 N/mm^2 beträgt (entspricht ungefähr $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$). Werden andere Spannungsniveaus verwendet, sind in der Regel die nach Gleichung (7.16) ermittelten Werte mit $310 / \sigma_s$ zu multiplizieren. Im Allgemeinen befindet man sich mit der Annahme nach Gleichung (7.17) auf der sicheren Seite:

$$310 / \sigma_s = 500 / (f_{yk} \cdot A_{s,req} / A_{s,prov}) = A_{s,prov} / A_{s,req} \quad (7.17)$$

σ_s Stahzugspannung in Feldmitte (am Einspannquerschnitt eines Kragträgers) unter der Bemessungslast im GZG;

$A_{s,prov}$ vorhandene Querschnittsfläche der Zugbewehrung im vorgegebenen Querschnitt;

$A_{s,req}$ erforderliche Querschnittsfläche der Zugbewehrung im vorgegebenen Querschnitt im GZT.

Statisches System	K	Beton hoch beansprucht	Beton gering beansprucht
		$\rho = 1,5\%$	$\rho = 0,5\%$
frei drehbar gelagerter Einfeldträger; gelenkig gelagerte einachsig oder zweiachsig gespannte Platte	1,0	14	20
Endfeld eines Durchlaufträgers oder einer einachsig gespannten durchlaufenden Platte; Endfeld einer zweiachsig gespannten Platte, die kontinuierlich über einer längere Seite durchläuft	1,3	18	26
Mittelfeld eines Balkens oder einer einachsig oder zweiachsig gespannten Platte	1,5	20	30
Platte, die ohne Unterzüge auf Stützen gelagert ist (Flachdecke) (auf Grundlage der größeren Spannweite)	1,2	17	24
Kragträger	0,4	6	8

ANMERKUNG 1 Die angegebenen Werte befinden sich im Allgemeinen auf der sicheren Seite. Genauere rechnerische Nachweise führen häufig zu dünneren Bauteilen.

ANMERKUNG 2 Für zweiachsig gespannte Platten ist in der Regel der Nachweis mit der kürzeren Stützweite zu führen. Bei Flachdecken ist in der Regel die größere Stützweite zugrunde zu legen.

ANMERKUNG 3 Die für Flachdecken angegebenen Grenzen sind weniger streng als der zulässige Durchhang von 1/250 der Stützweite. Erfahrungsgemäß ist dies ausreichend.

EC2 Tabelle 7.4N: Grundwerte der Biegeschlankheit von Stahlbetonbauteilen ohne Drucknormalkraft; Beispiele für 0,5% und 1,5% mit C30/37 und $\sigma_s = 310 \text{ MN/m}^2$

Bei gegliederten Querschnitten, bei denen das Verhältnis von Gurtbreite zu Stegbreite den Wert 3 übersteigt, sind in der Regel die Werte von l/d nach Gleichung (7.16) mit 0,8 zu multiplizieren.

Bei Balken und Platten (außer Flachdecken) mit Stützweiten über 7 m, die leichte Trennwände tragen, die durch übermäßige Durchbiegung beschädigt werden könnten, sind in der Regel die Werte l/d nach Gleichung (7.16) mit dem Faktor $7/l_{\text{eff}}$ (l_{eff} in m) zu multiplizieren.

Bei Flachdecken mit Stützweiten über 8,5 m, die leichte Trennwände tragen, die durch übermäßige Durchbiegung beschädigt werden könnten, sind in der Regel die Werte l/d nach Gleichung (7.16) mit dem Faktor $8,5/l_{\text{eff}}$ (l_{eff} in m) zu multiplizieren.

2 Einachsig gespannte Platten

Vergleicht man die Verformung eines Balkens mit der einer einachsig gespannten Platte unter Gleichstreckenlast, so verhalten sich beide in Tragrichtung gleich. Deshalb kann man eine **Platte unter Gleichlast wie einen Balken der Breite 1 m berechnen** und bemessen.

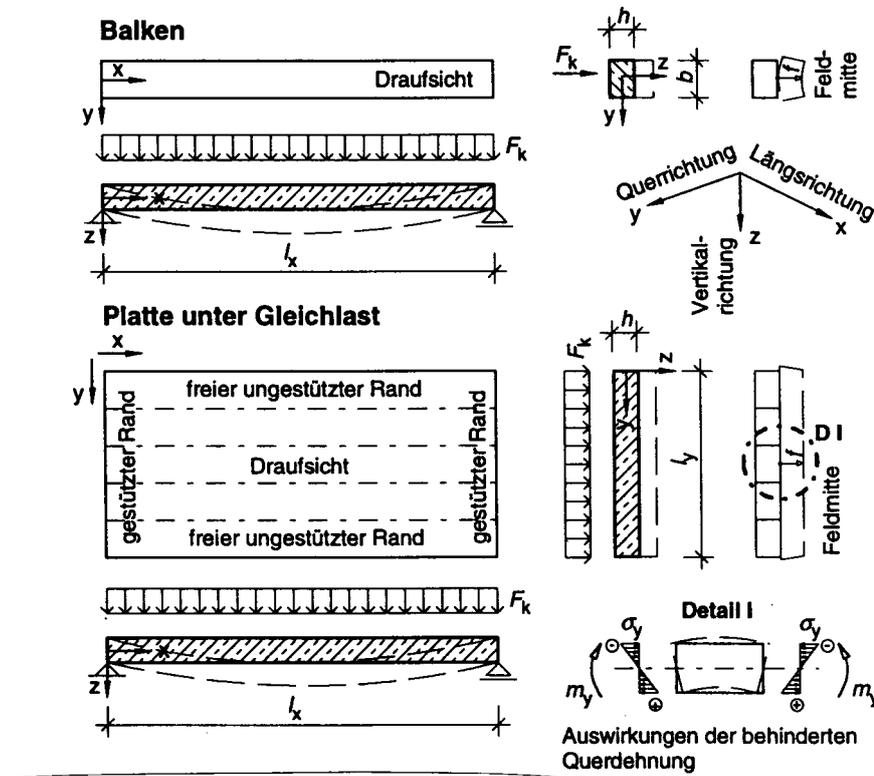


Bild: Vergleich Balken und Platte unter Gleichlast

Im Gegensatz zum Balken ist bei der **Platte die Querdehnung in Querrichtung behindert**, wodurch auch in Querrichtung Spannungen und somit Schnittgrößen entstehen. Gemäß der Elastizitätstheorie ergeben sich diese über die Querdehnzahl μ zu

$$\sigma_y = \mu \cdot \sigma_x \quad m_y = \mu \cdot m_x$$

Im Stahlbetonbau beträgt die **Querdehnzahl $\mu = 0,2$** . Wenn Rissbildung unter Zug zulässig ist (z.B. bei den **Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit**), dann gilt näherungsweise **$\mu = 0,0$** .

Eine Berechnung in Querrichtung für einachsig gespannte Platten unter Gleichflächenlast erübrigt sich deshalb, wenn man näherungsweise 20% der erforderlichen Tragbewehrung in Querrichtung vorsieht. Dies äußert sich z.B. in den weit verbreiteten R-Lagermatten, bei denen immer 20 % der Längsbewehrung in Querrichtung vorliegt.

Liegen allerdings Einzel- oder Teilflächenlasten vor, so ergibt sich auch in Querrichtung eine größere Verformung, so dass dann auch in Querrichtung mehr als 20 % erforderlich werden.

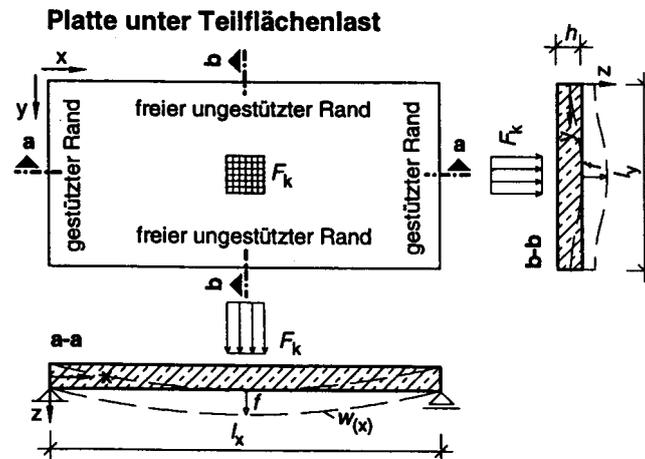


Bild: Platte unter Teilflächenbelastung

Eine genaue Berechnung der Schnittgrößenverteilung ist aufwändig und wird heute fast ausschließlich mit Hilfe der FEM-Methode durchgeführt. Um eine Handbemessung (z.B. zur Kontrolle) zu ermöglichen, wurden durch Vergleichsrechnungen mitwirkende Lastverteilungsbreiten für Punkt-, Linien- und Teilflächenlasten ermittelt. Hierzu benötigt man zunächst die rechnerische Lastaufstandsweite, die **unter einem Ausbreitungswinkel von 45° in der Mitte der Stahlbetonplatte gemessen** wird: $t_y = b_0 + 2 \cdot h_1 + h$

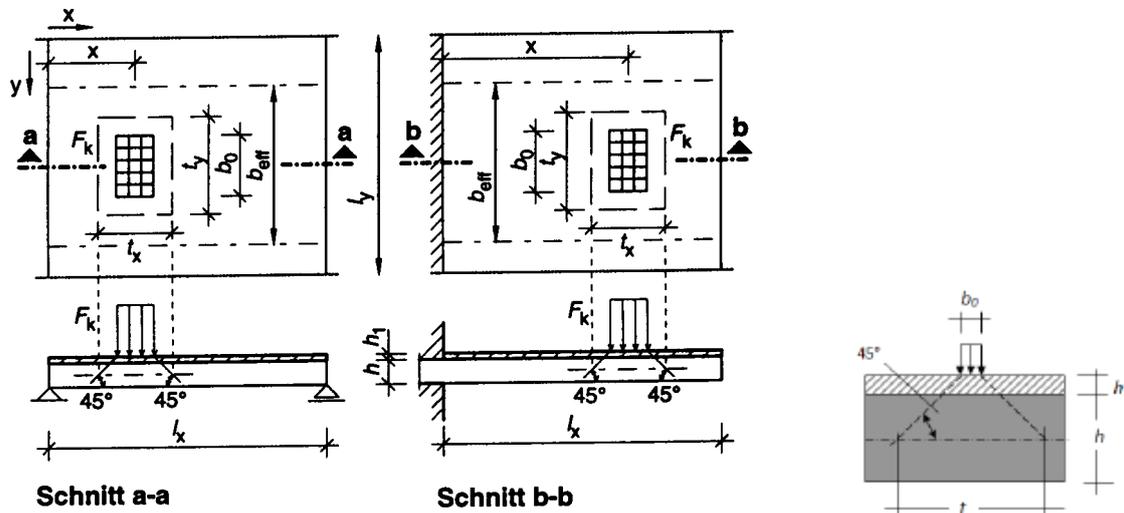


Bild: Mitwirkende Lastverteilungsbreiten unter Teilflächenbelastung

Mit der rechnerischen Lastaufstandsweite kann dann mit Hilfe der folgenden Tabelle die **mitwirkende Lastverteilungsbreite** b_{eff} ermittelt werden. Sie wird symmetrisch zum Lastschwerpunkt und rechtwinklig zur Tragrichtung angenommen. Wenn die Last randnah ist, so dass b_{eff} teilweise außerhalb der Platte liegt, dann muss b_{eff} selbstverständlich entsprechend verkleinert werden.

Stat. System Schnittgröße	Mitwirkende Breite (rechn. Lastverteilungsbreite) b_{eff}	Gültigkeitsgrenzen			Breite b_{eff} für durchgehende Linienlast ($t_x=l$) $t_y=0,05l$ $t_y=0,10l$	
1 	$b_{\text{eff}} = t_y + 2,5 \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$	$0 < x < l$	$t_y \leq 0,8l$	$t_x \leq l$	$b_{\text{eff}} = 1,36l$	
2 	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,5 \cdot x$	$0 < x < l$	$t_y \leq 0,8l$	$t_x \leq l$	$b_{\text{eff}} = 0,25l$	$b_{\text{eff}} = 0,30l$
3 	$b_{\text{eff}} = t_y + 1,5 \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$	$0 < x < l$	$t_y \leq 0,8l$	$t_x \leq l$	$b_{\text{eff}} = 1,01l$	
4 	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,5 \cdot x \cdot \left(2 - \frac{x}{l}\right)$	$0 < x < l$	$t_y \leq 0,8l$	$t_x \leq l$	$b_{\text{eff}} = 0,67l$	
5 	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,3 \cdot x$	$0,2l < x < l$	$t_y \leq 0,4l$	$t_x \leq 0,2l$	$b_{\text{eff}} = 0,25l$	$b_{\text{eff}} = 0,30l$
6 	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,4 \cdot (l - x)$	$0 < x < 0,8l$	$t_y \leq 0,4l$	$t_x \leq 0,2l$	$b_{\text{eff}} = 0,17l$	$b_{\text{eff}} = 0,21l$
7 	$b_{\text{eff}} = t_y + 1,0 \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$	$0 < x < l$	$t_y \leq 0,8l$	$t_x \leq l$	$b_{\text{eff}} = 0,86l$	
8 	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,5 \cdot x \cdot \left(2 - \frac{x}{l}\right)$	$0 < x < l$	$t_y \leq 0,4l$	$t_x \leq l$	$b_{\text{eff}} = 0,52l$	
9 	$b_{\text{eff}} = t_y + 0,3 \cdot x$	$0,2l < x < l$	$t_y \leq 0,4l$	$t_x \leq 0,2l$	$b_{\text{eff}} = 0,21l$	$b_{\text{eff}} = 0,25l$
10 	$b_{\text{eff}} = 0,2l_k + 1,5 \cdot x$ $b_{\text{eff}} = t_y + 1,5 \cdot x$	$0 < x < l_k$ $0 < x < l_k$	$t_y < 0,2l_k$ $0,2l_k \leq t_y \leq 0,8l_k$	$t_x \leq l_k$ $t_x \leq l_k$	$b_{\text{eff}} = 1,35l_k$	
11 	$b_{\text{eff}} = 0,2l_k + 0,3 \cdot x$ $b_{\text{eff}} = t_y + 0,3 \cdot x$	$0,2l_k < x < l_k$ $0,2l_k < x < l_k$	$t_y < 0,2l_k$ $0,2l_k \leq t_y \leq 0,4l_k$	$t_x \leq 0,2l_k$ $t_x \leq 0,2l_k$	$b_{\text{eff}} = 0,36l_k$	$b_{\text{eff}} = 0,43l_k$

Tabelle: Mitwirkende Lastverteilungsbreiten bei einachsrig gespannten Platten

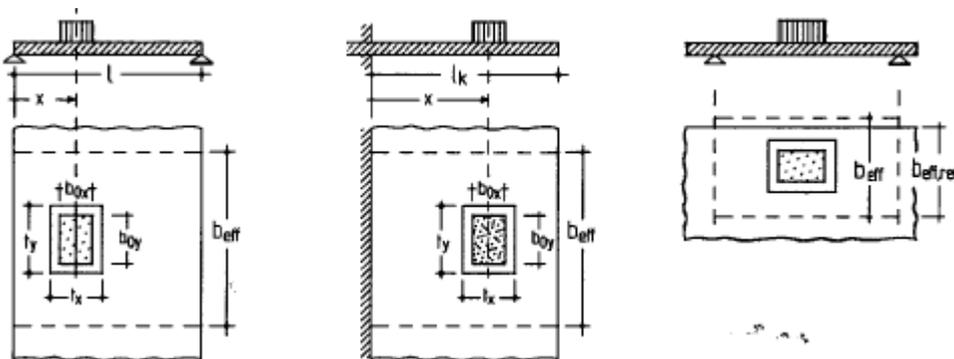


Bild: Lastverteilungsbreiten im Feld, beim Kragarm, randnah.

Daraus ergibt sich die folgende Vorgehensweise für die Bemessung auf Biegung (Bemessung auf Querkraft erfolgt analog):

- Unterteilung der Platte in einen **Regelbereich** und einen **gestörten Bereich mit der Breite b_{eff}** .
- Bemessung des Regelbereiches wie einen Balken mit der Breite $b = 1\text{m}$ ergibt das Bemessungsmoment $m_{\text{Ed,R}}$ und die erforderliche Bewehrung $\text{erf } a_{\text{s,R}}$ in cm^2/m .
- Berechnung der maßgebenden Balkenschnittgröße $M_{\text{Ed,P}}$ für die Teilflächenlast P . Verteilung dieser auf die Breite b_{eff} : $m_{\text{Ed,P}} = M_{\text{Ed,P}}/b_{\text{eff}}$ in kNm/m
- Bemessung des gestörten Bereiches für $m_{\text{Ed}} = m_{\text{Ed,R}} + m_{\text{Ed,P}}$ ergibt $\text{erf } a_{\text{s}}$ in cm^2/m
- **Bewehrung in Tragrichtung:** überall wie für den Regelbereich ermittelt + Zulagen im gestörten Bereich aus $\Delta a_{\text{s}} = \text{erf } a_{\text{s}} - \text{erf } a_{\text{s,R}}$ **Verteilungsbreite der Zulagen: $b_{\text{eff}}/2 \geq t_y$** , Feldbewehrung durchgehend, Stützbewehrung nach Momentenlinie.
- **Zulagebewehrung in Querrichtung im Störbereich:** $\text{erf } a_{\text{s,quer}} = 0,6\Delta a_{\text{s}}$ **Verteilungsbreite der Zulagen: $b_{\text{eff}}/2 \geq t_x$** Länge der Zulagen: $l = b_{\text{eff}} + 2l_{\text{b,net}}$ Ein Längsversatz um $b_{\text{eff}}/4$ wird empfohlen.

Achtung: Die Maximalschnittgrößen in beiden Berechnungen sind oft nicht an der gleichen Stelle!

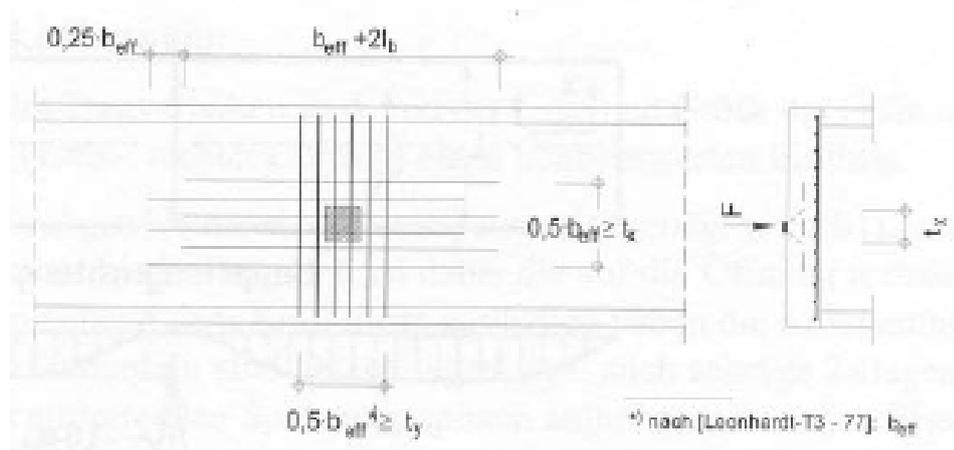


Bild: Anordnung der Zulagebewehrung

3 Zweiachsig gespannte Platten

Zweiachsig gespannte Platten tragen ihre Last planmäßig in Längs- und Querrichtung ab. Dadurch erhöht sich die Tragfähigkeit gegenüber einachsig gespannten Platten beträchtlich.

Platten werden oft hinsichtlich ihrer Tragwirkung eingeteilt: Im **Normalfall** liegt eine **isotrope** (gleiche Plattensteifigkeit in jeder Richtung, Gegenteil: orthotrop) **drillsteife** (Drillmomente m_{xy} sind vorhanden, Gegenteil: drillweich) Platte vor.

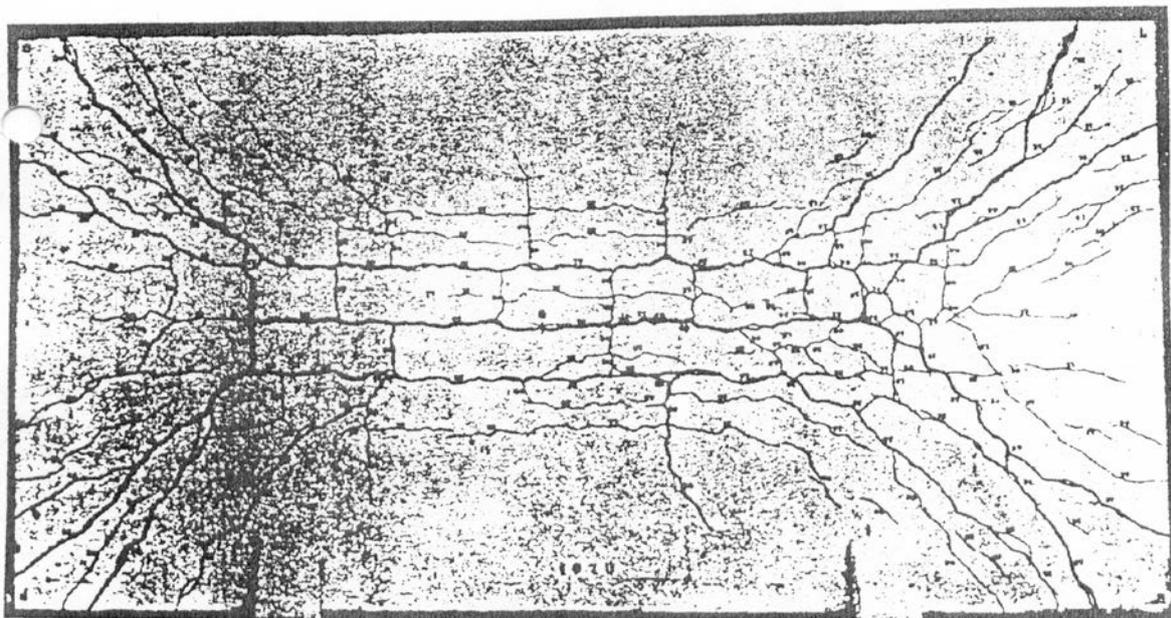
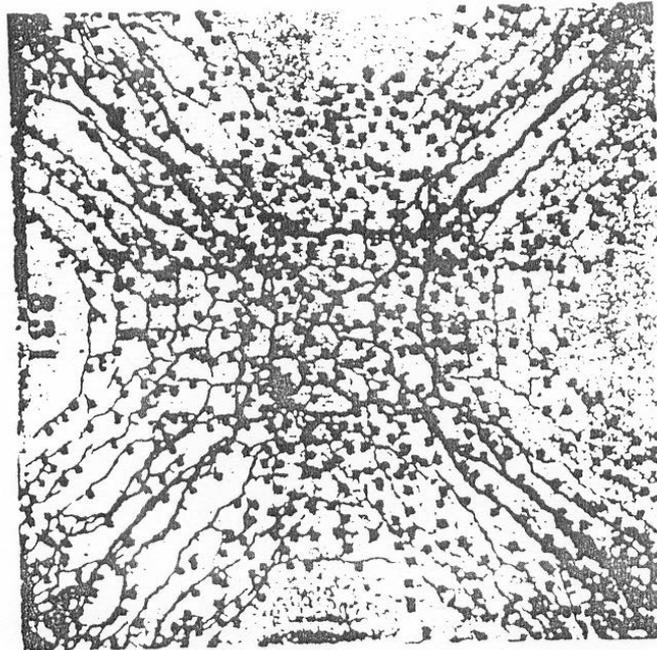


Bild: Rissbilder auf der Plattenunterseite

3.1 Vereinfachtes Tragverhalten nach Marcus

Das von Marcus entwickelte Verfahren wird auch **Streifenkreuzverfahren** genannt, weil der Grundgedanke darin liegt, dass 2 sich kreuzende Plattenstreifen gemeinsam die Flächenlast der Platte abtragen. Die Lastaufteilung auf beide Streifen ergibt sich aus der Bedingung, dass die Durchbiegung für beide Streifen an einem Punkt (z.B. in Feldmitte) gleich sein muss:

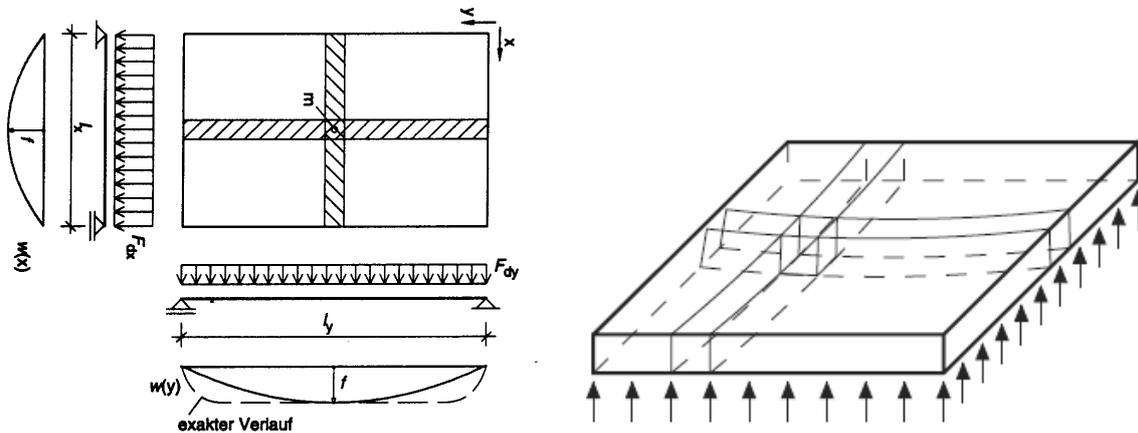


Bild: Streifen für das Streifenkreuzverfahren

Am Beispiel einer rundum gelenkig gelagerten Einfeldplatte wird das Verfahren erläutert:

- Die Belastung der Platte F_d wird in 2 Richtungen aufgeteilt: $F_d = F_{dx} + F_{dy}$
- Die Durchbiegungen werden wie für einen Balken getrennt je Richtung ermittelt:

$$f_x = \frac{5}{384} \cdot \frac{F_{dx} \cdot l_x^4}{EI_x} \quad f_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{F_{dy} \cdot l_y^4}{EI_y}$$

- Mit $f = f_x = f_y$ und $F_{dx} = F_d - F_{dy}$ und $EI_x = EI_y$ folgt:

$$F_{dy} = \frac{l_x^4}{l_x^4 + l_y^4} \cdot F_d = k_y \cdot F_d \quad \text{und analog dazu} \quad F_{dx} = \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} \cdot F_d = k_x \cdot F_d$$

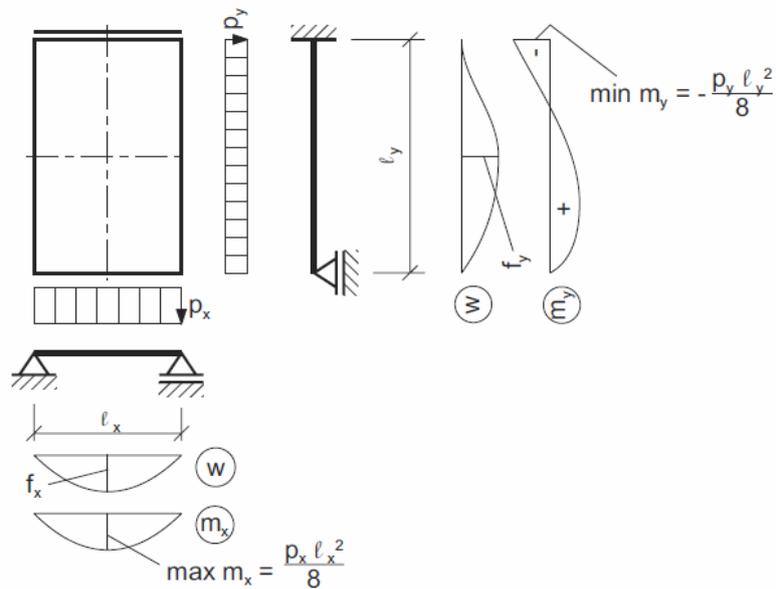
- Logischerweise muss gelten: $k_x + k_y = 1$
- Die zugehörigen Momente ergeben sich somit zu

$$m_x = F_{dx} \cdot l_x^2 / 8 = F_d \cdot k_x \cdot l_x^2 / 8 \quad \text{und} \quad m_y = F_{dy} \cdot l_y^2 / 8 = F_d \cdot k_y \cdot l_y^2 / 8$$

Die Faktoren k_x und k_y sind nur von der Geometrie abhängige **Lastverteilungszahlen**, die für verschiedene Lagerungsbedingungen in den sog. **Marcus-Tafeln** tabelliert wurden.

Zum Beispiel ergibt sich für eine quadratische, allseits gelenkig gelagerte Platte $k_y = k_x = 0,5$ und somit für die Maximalmomente in beiden Richtungen: $m_x = m_y = F_d \cdot l^2 / 16$

Der Vorteil bzw. die Einfachheit des Streifenkreuzverfahrens liegt darin, dass man damit eine Platte getrennt je Richtung betrachten kann:



Wenn man für alle Randbedingungen die oben gezeigte Rechnung wiederholt, dann ergeben sich die folgenden Lastverteilungszahlen mit $\epsilon = l_y/l_x$:

Stüt- zungsart						
κ	$\frac{\epsilon^4}{1+\epsilon^4}$	$\frac{2\epsilon^4}{5+2\epsilon^4}$	$\frac{\epsilon^4}{5+\epsilon^4}$	$\frac{\epsilon^4}{1+\epsilon^4}$	$\frac{2\epsilon^4}{1+2\epsilon^4}$	$\frac{\epsilon^4}{1+\epsilon^4}$

Bild: Lastverteilungszahlen 4-seitig gelagerter Rechteckplatten nach Marcus

Damit teilt sich die Plattenlast wie folgt auf: $p_x = p \cdot \kappa$ $p_y = p \cdot (1 - \kappa)$

3.2 Tatsächliches Tragverhalten nach der Plattentheorie

Gemäß Plattentheorie treten in Platten nicht nur Biegemomente m_x und m_y (kNm/m) auf, sondern auch sog. **Drillmomente m_{xy}** . Die Querkräfte werden mit v_x und v_y (kN/m) bezeichnet. Hierbei ist bei der Indizierung darauf zu achten, dass Momente m_x aus Spannungen σ_x entstehen!

Das folgende Bild verdeutlicht die Verformungen mit (Plattentheorie) und ohne (Streifenkreuzverfahren nach Marcus) Drillmomente. Die **Drillmomente treten in den Ecken der Platten auf**, da dort eine Verformung in x- und y-Richtung nur funktioniert, wenn gleichzeitig eine Verwindung der Platte stattfindet.

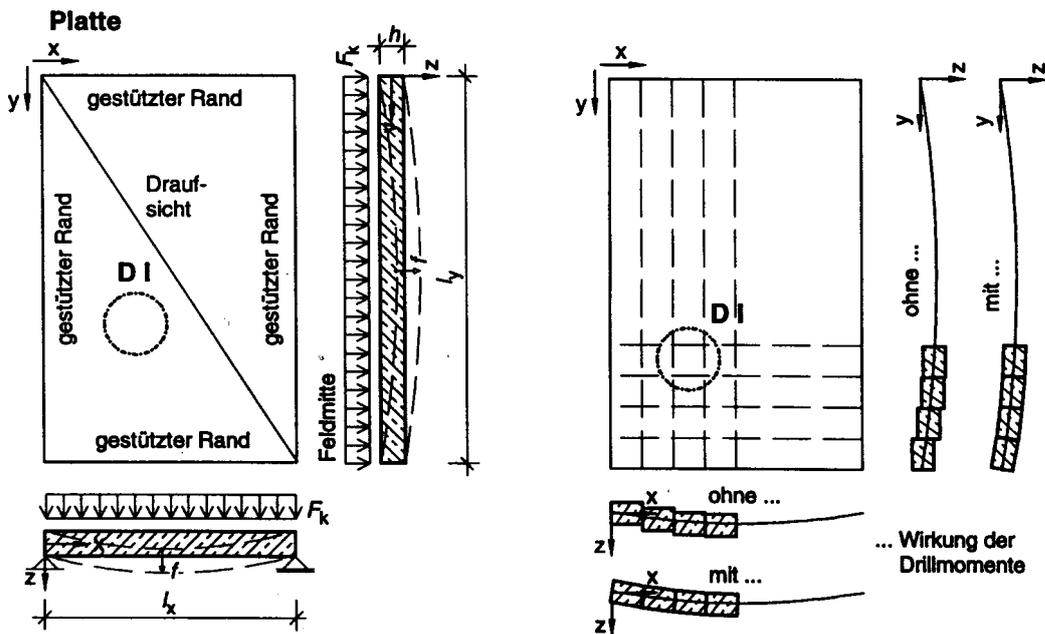


Bild: 2-achsig gespannte kontinuierlich gestützte Platte unter Gleichflächenlast

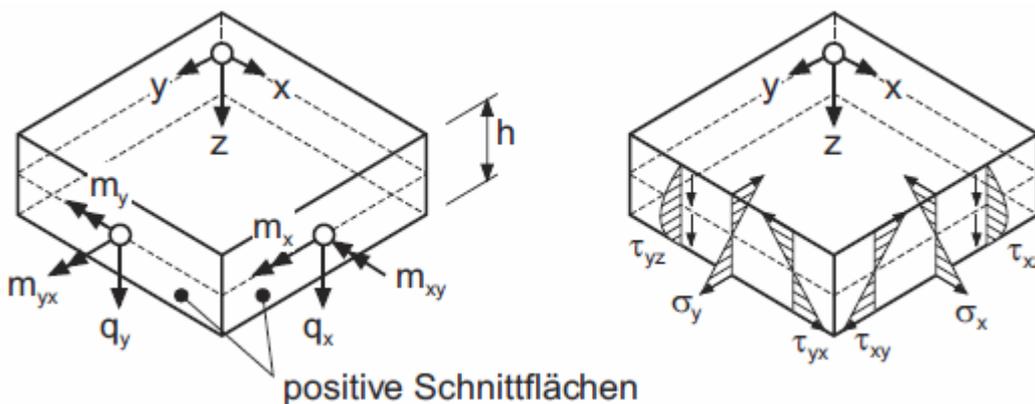


Bild: Schnittgrößen einer Platte und zugehörige Spannungen

Aus den Drillmomenten resultiert eine **Verwölbung der Plattenecken, die nach oben abheben**. Dies kann nur durch genügend Auflast oder Verankerung nach unten verhindert werden.

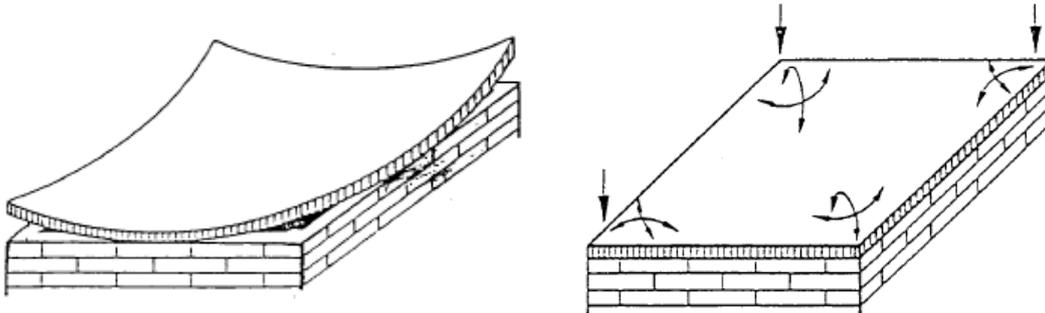


Bild: Drillsteife Platte

Wie unschwer zu erkennen ist, wird durch **Herunterdrücken/halten der Plattenecken** die Durchbiegung im Feld verkleinert (**weniger Bewehrung im Feld** erforderlich), was aber Zug in Richtung Ecke an der Plattenoberseite und senkrecht dazu an der Plattenunterseite zur Folge hat. Hierfür ist spezielle Bewehrung = **Drillbewehrung** erforderlich.

Der theoretische Zusammenhang zwischen der Belastung einer Platte und ihrer Verformung wird durch eine **partielle Differentialgleichung** beschrieben:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{F_k(x, y)}{N} \quad \text{mit der Plattensteifigkeit} \quad N = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}$$

$F_k(x, y)$ Belastungsfunktion, meist $F_k = \text{const.}$

$$m_x = -N \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad m_y = -N \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad m_{xy} = -N \cdot (1 - \mu) \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

Da für alle biegebeanspruchten Bauteile im **Grenzzustand der Tragfähigkeit** im Zustand II gerechnet wird, sollte die Querdehnzahl $\mu = 0$ gesetzt werden. Für Nachweise im **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit** kann mit $\mu = 0,2$ gerechnet werden.

Wie man unschwer aus der Differentialgleichung erkennen kann, setzt sich die Plattentragwirkung aus 3 Anteilen zusammen: Der Balkentragwirkung in x- und y-Richtung (vgl. DGL für den Balken) und der Drilltragfähigkeit, die die Verwindung der Plattenstreifen beschreibt.

Lösungen der o.g. partiellen Differentialgleichung für verschiedene Lagerungsbedingungen wurden von Czerny veröffentlicht. Diese **Czerny-Tafeln** sind somit **Grundlage für drillsteife Platten**, die **Marcus-Tafeln** für **drillweiche Platten**.

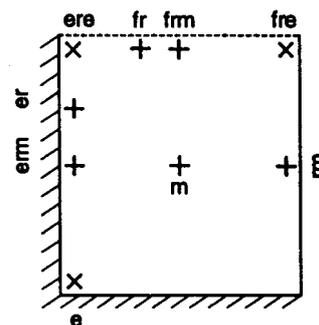
Die Czerny-Tafeln wurden für eine **Querdehnzahl $\mu = 0$** erstellt, vorwiegend für eine konstante Bauteilhöhe h und eine Gleichflächenlast. Sollte es erforderlich werden, mit $\mu = 0,2$ zu rechnen, dann kann näherungsweise die folgende Umrechnung erfolgen:

$$m_{x,\mu} = m_{x,\mu=0} + \mu \cdot m_{y,\mu=0} \quad m_{y,\mu} = m_{y,\mu=0} + \mu \cdot m_{x,\mu=0} \quad m_{xy,\mu} = (1 - \mu) \cdot m_{xy,\mu=0}$$

Die Bezeichnungen wurden von Czerny wie folgt festgelegt:

- F Flächenlast auf der Platte in kN/m²
- TW Tafelwert

- m Plattenmitte
- max Ort des **Maximalwertes**
- min Ort des **Minimalwertes**
- e Plattenecke
- er eingespannter Rand
- erm eingespannter Rand **Mitte**
- ere eingespannter und freier Rand **Ecke**
- fre freier und gelenkiger Rand **Ecke**
- rm Rand **Mitte**
- frm freier Rand **Mitte**
- fr freier Rand



l_y/l_x	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30
$m_{x,m} = F \cdot l_x^2 / TW$	27,2	24,5	22,4	20,7	19,1	17,8	16,8
$m_{y,max} = F \cdot l_x^2 / TW$	27,2	27,5	27,9	28,4	29,1	29,9	30,9
$m_{xye} = \pm F \cdot l_x^2 / TW$	21,6	20,6	19,7	19,0	18,4	17,9	17,5
$R_e = F \cdot l_x^2 / TW$	10,8	10,3	9,85	9,50	9,20	8,95	8,75
$v_{x,rm} = \pm F \cdot l_x / TW$	2,96	2,87	2,78	2,71	2,64	2,58	2,52
$\bar{v}_{x,rm} = F \cdot l_x / TW$	2,19	2,15	2,11	2,07	2,04	2,02	2,00
$v_{y,rm} = \pm F \cdot l_x / TW$	2,96	2,92	2,89	2,86	2,84	2,82	2,80
$\bar{v}_{y,rm} = F \cdot l_x / TW$	2,19	2,14	2,09	2,05	2,02	1,99	1,96
$f_m = [(F \cdot l_x^4) / (E \cdot h^3)] \cdot TW$	0,0487	0,0536	0,0584	0,0631	0,0678	0,0728	0,0767
l_y/l_x	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65
$m_{x,m} = F \cdot l_x^2 / TW$	15,8	15,0	14,3	13,7	13,2	12,7	12,3
$m_{y,max} = F \cdot l_x^2 / TW$	31,8	32,8	33,8	34,7	35,4	36,1	36,7
$m_{xye} = \pm F \cdot l_x^2 / TW$	17,1	16,8	16,5	16,3	16,1	15,9	15,7
$R_e = F \cdot l_x^2 / TW$	8,55	8,40	8,25	8,15	8,05	7,95	7,85
$v_{x,rm} = \pm F \cdot l_x / TW$	2,47	2,43	2,39	2,36	2,33	2,30	2,27
$\bar{v}_{x,rm} = F \cdot l_x / TW$	1,98	1,97	1,96	1,95	1,94	1,93	1,92
$v_{y,rm} = \pm F \cdot l_x / TW$	2,78	2,76	2,75	2,75	2,74	2,73	2,73
$\bar{v}_{y,rm} = F \cdot l_x / TW$	1,94	1,92	1,90	1,89	1,88	1,87	1,86
$f_m = [(F \cdot l_x^4) / (E \cdot h^3)] \cdot TW$	0,0809	0,0850	0,0890	0,0927	0,0963	0,0997	0,1029
l_y/l_x	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x,m} = F \cdot l_x^2 / TW$	11,9	11,5	11,3	11,0	10,8	10,6	10,4
$m_{y,max} = F \cdot l_x^2 / TW$	37,3	37,9	38,5	38,9	39,4	39,8	40,3
$m_{xye} = \pm F \cdot l_x^2 / TW$	15,6	15,5	15,4	15,3	15,3	15,2	15,1
$R_e = F \cdot l_x^2 / TW$	7,80	7,75	7,70	7,65	7,65	7,60	7,55
$v_{x,rm} = \pm F \cdot l_x / TW$	2,25	2,23	2,21	2,19	2,18	2,16	2,15
$\bar{v}_{x,rm} = F \cdot l_x / TW$	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92
$v_{y,rm} = \pm F \cdot l_x / TW$	2,73	2,72	2,72	2,71	2,71	2,70	2,70
$\bar{v}_{y,rm} = F \cdot l_x / TW$	1,85	1,84	1,83	1,82	1,82	1,82	1,82
$f_m = [(F \cdot l_x^4) / (E \cdot h^3)] \cdot TW$	0,1060	0,1093	0,1118	0,1145	0,1169	0,1195	0,1215

Bild: Czerny-Tafel für gelenkige Lagerung aller 4 Ränder

3.3 Querkräfte und Auflagerkräfte der Platten

Das folgende Bild zeigt Schnittkraftlinien einer rundum gelenkig gelagerten Platte nach der Plattentheorie. Wie man unschwer erkennen kann, wäre eine genaue Ermittlung der Auflagerkräfte für die Lastweiterleitung sehr aufwändig.

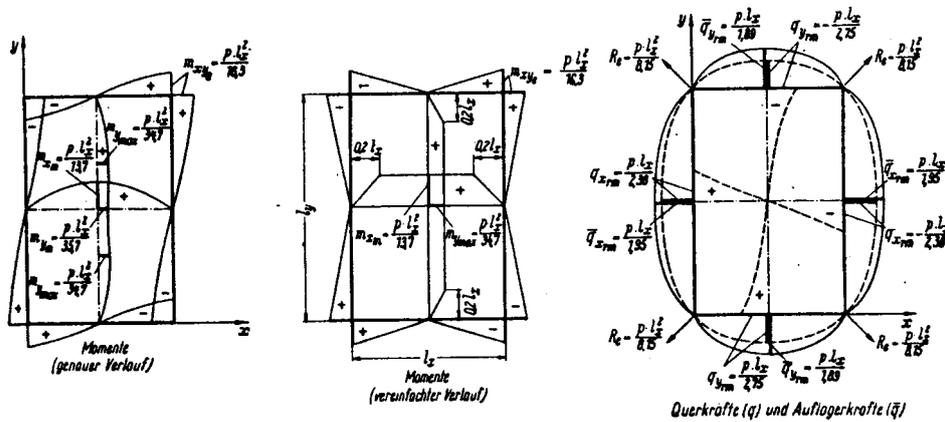


Bild: Schnittkraftverläufe nach der Plattentheorie für allseits gelenkige Lagerung

Deshalb können die **Auflagerkräfte** näherungsweise mit Hilfe von **Lasteinzugsflächen** ermittelt werden. Dabei wird je nach Stützungsart eine Aufteilung der Plattenlast auf die jeweilige Unterstüzung im Winkel zwischen 45° und 60° vorgenommen.

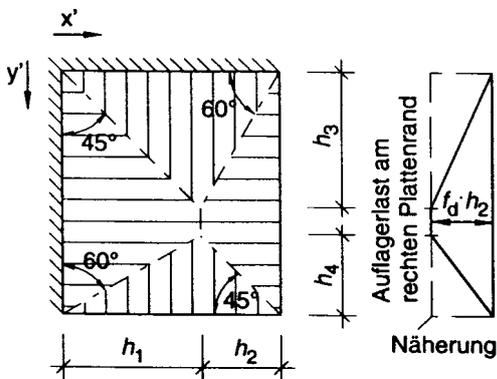


Bild: Lastverteilung durch Lasteinzugsflächen

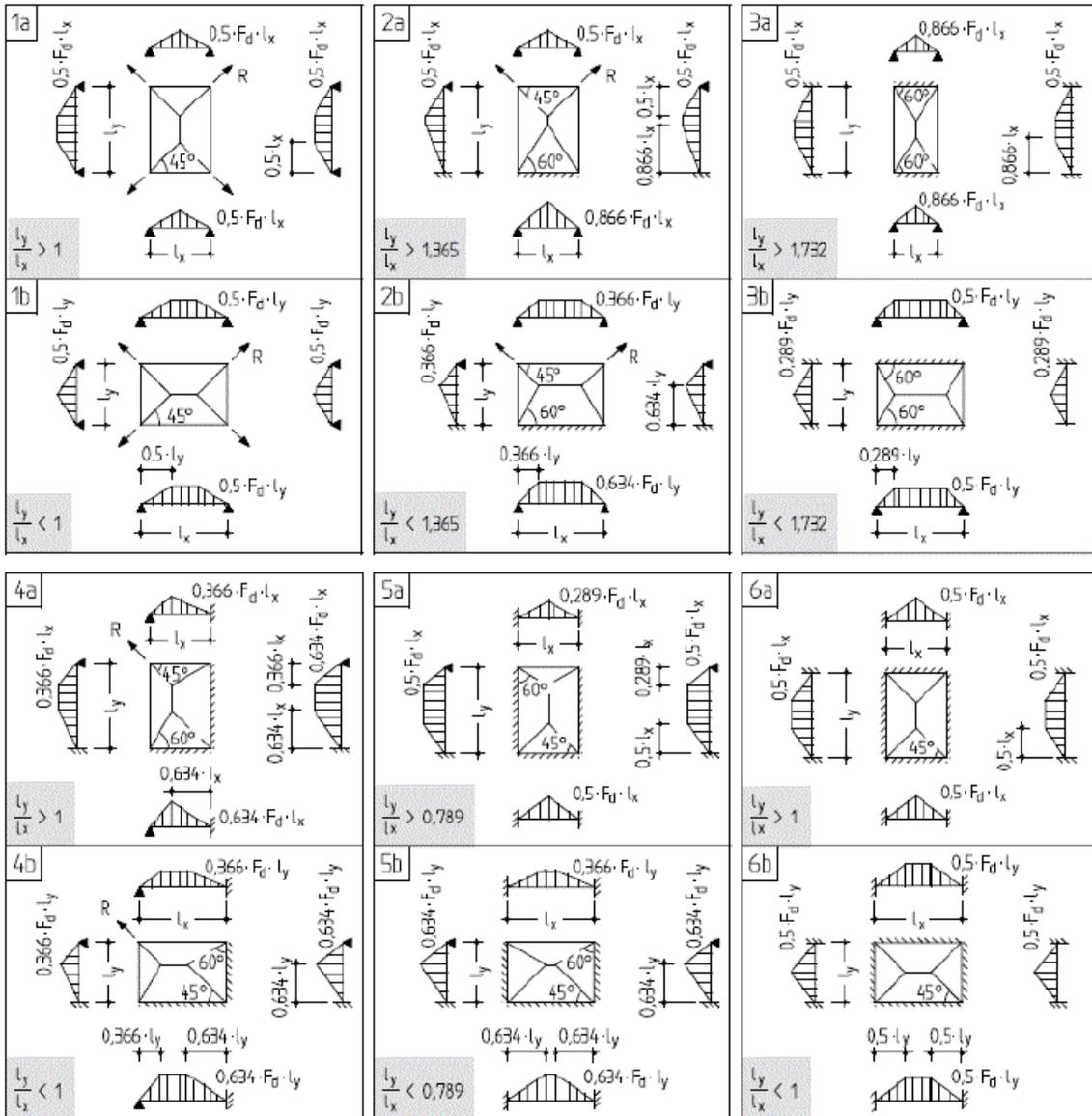


Bild: Auflagerkräfte bei vierseitig gelagerten Rechteckplatten mit Lastezugsflächen

$$R = F_d \cdot l_x^2 / \kappa \quad (\kappa \text{ nach Tafel})$$

Stützung \ $\varepsilon = l_y / l_x$	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
1	10,8	9,85	9,20	8,75	8,40	8,15	7,95	7,80	7,70	7,65	7,55
2.1	13,1	11,6	10,5	9,70	9,10	8,70	8,40	8,10	7,90	7,80	7,70
2.2	13,1	12,4	12,0	11,7	11,5	11,4	11,3	11,2	11,2	11,2	11,2
4	13,9	13,0	12,4	12,0	11,7	11,5	11,4	11,3	11,2	11,2	11,2

Bild: Eckabhebkräfte bei vierseitig gelagerten Platten bei Gleichflächenlast

3.4 Bewehrung der Platten

Da Platten in 2 Richtungen (x/y beliebig festgelegt) durch Biegung belastet sind, wird die Bemessung eines Bewehrungsnetzes erforderlich. Voraussetzung für die Dimensionierung ist die Kenntnis der Hauptmomente, die wie Hauptspannungen ermittelt werden:

$$m_{I,II} = \frac{m_x + m_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{m_x - m_y}{2}\right)^2 + m_{xy}^2} \quad \tan(2\varphi) = \frac{2 \cdot m_{xy}}{m_x - m_y}$$

Da die Hauptmomente die Integration der Spannungen über die Querschnittshöhe darstellen, entsprechen sie der realen Querschnittsbelastung. Eine Bewehrung senkrecht zu den Hauptmomenten wäre daher optimal, ist aber praktisch unmöglich.

Die Bemessung der Platten erfolgt ähnlich wie für Scheiben, da man Zug- und Druckzone jeweils als Scheibe betrachten kann, deren Hauptnormalkräfte m/z bzw. $m_{II/z}$ sind (vgl. Baumann, Kuyt). Da die Bewehrungsrichtungen im Normalfall nicht mit den Hauptrichtungen übereinstimmen, muss eine Transformation in die jeweilige Bewehrungsrichtung erfolgen.

Achtung: Bei verschiedenen Lastfällen ist keine einfache Superposition der Momente möglich, da je nach Lastfall am gleichen Plattenpunkt eine andere Hauptrichtung vorliegt!

Im Allgemeinen ist es ausreichend, die **Bewehrung für die Maximalmomente** zu ermitteln und z.B. in Form einer Q-Matte in das gesamte Plattenfeld einzulegen, wenn an der Maximum-Stelle die Hauptrichtung in etwa mit der Bewehrungsrichtung übereinstimmt. Die Zugkräfte infolge der Drillmomente sind dann ebenfalls ausreichend abgedeckt.

Eine auf der sicheren Seite liegende Abschätzung der Bemessungsmomente für Bereiche, in denen m_x und m_y **nicht Hauptmomente** sind, kann wie folgt gemacht werden:

$$m_{x,d} = \text{sign}(m_x) \cdot (|m_x| + |m_{xy}|) \quad m_{y,d} = \text{sign}(m_y) \cdot (|m_y| + |m_{xy}|)$$

Ein genauerer Ansatz ist im EC2 Anhang F beschrieben.

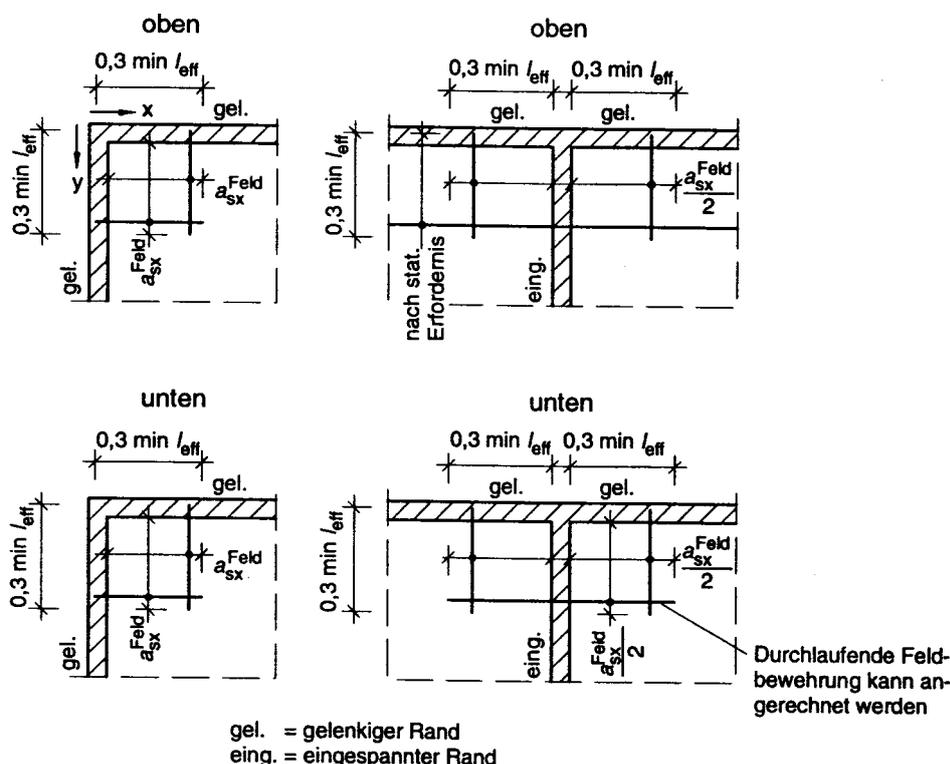


Bild: Anordnung von Drillbewehrung im Eckbereich von Platten

3.5 Nachträglich mit Ortbeton ergänzte Platten

Aus Rationalisierungsgründen (keine Schalung erforderlich) werden immer häufiger nachträglich mit Ortbeton ergänzte Fertigteilplatten eingesetzt. Bei **einachsig gespannten Platten** wird die **Trag- und Querbewehrung in der Fertigteilplatte** angeordnet, über den Fugen wird die Querbewehrung gestoßen. Dabei kann der Abstand zur Querbewehrung in der Fertigteilplatte rechnerisch unberücksichtigt bleiben.

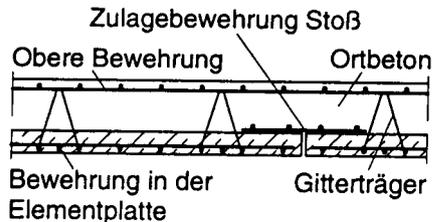


Bild: Stoßausbildung bei 1-achsig gespannten Teilfertigplatten

Bei **zweiachsig gespannten Platten** wird die Feldbewehrung der Haupttragrichtung in der Fertigteilplatte verlegt, die Querbewehrung meist darauf (kleinere statische Höhe!). Alternativ kann die Querbewehrung in der Fertigteilplatte verlegt werden, wenn ein Vollstoß gemäß dem folgenden Bild ausgeführt wird.

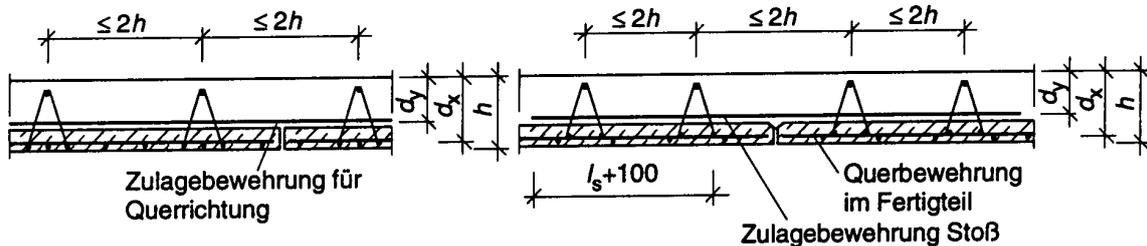


Bild: Stoßausbildung bei 2-achsig gespannten Teilfertigplatten

Weitere Voraussetzungen für die Berücksichtigung der Querbewehrung für 2-achsig gespannte Platten sind: $d_s \leq 14 \text{ mm}$, $a_s \leq 10 \text{ cm}^2/\text{m}$, $V_{Ed} \leq 0,5V_{Rd,max}$

Der Verbund zwischen Ortbeton und Fertigteil erfolgt durch Gitterträger, die auch als Schubbewehrung herangezogen werden können.

Die günstige Wirkung der Drillsteifigkeit darf nur dann angesetzt werden, wenn sich innerhalb des Drillbereichs von 0,3 l keine Stoßfuge befindet. Die Aufnahme der Drillmomente in den Plattenecken ohne Verbindung zum Nachbarfeld ist nachzuweisen.

Die Bewehrung in der Ortbetonschicht muss eine Betondeckung von 10 mm einhalten, was bis jetzt in der Praxis nicht gemacht wird! Eine Schnittgrößenermittlung mit in beiden Richtungen gleicher Steifigkeit ist nur zulässig, wenn der Abstand der Bewehrungslagen in Ortbeton und Fertigteil max. 50 mm beträgt.

3.6 Ermittlung der maximalen Momente durchlaufender Platten

Da Platten fast immer in 2 Richtungen durchlaufen, müssen die Laststellungen der Verkehrslasten auch in 2 Richtungen variiert werden, um die max./min. Plattenmomente zu finden. Das folgende Bild zeigt die Anordnung der Lasten zur Bestimmung der max. und min. Biegemomente in der Platte:

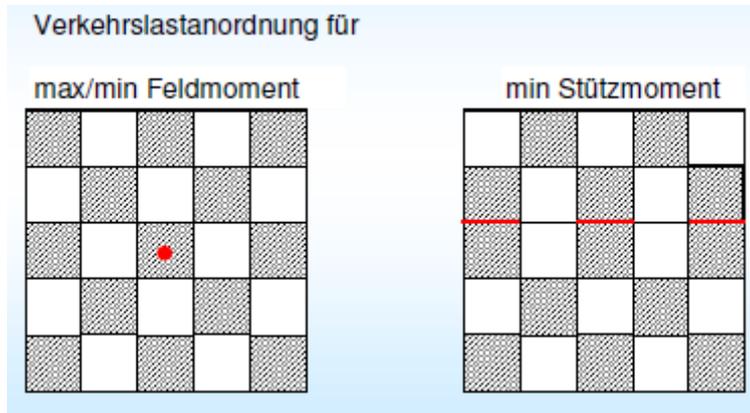


Bild: Schachbrettanordnung der Verkehrslasten in durchlaufenden Plattensystemen

Eine Handrechnung zur Ermittlung der Plattenmomente wird heute nicht mehr durchgeführt, allerdings muss man häufig die Laststellungen bzw. die unabhängig belasteten Bereiche in den FEM-Programmen „per Hand“ festlegen, weswegen die Vorgehensweise schon bekannt sein sollte. Die Programme kombinieren dann alle Laststellungen zur Berechnung der ungünstigsten Schnittgrößen.

3.7 Czerny-Tafeln

F Tafeln für Rechteckplatten

1 Erläuterung der Bezeichnungen

In den, den Tafeln beige-schlossenen Rechteckplattenskizzen, ist ein frei drehbarer Plattenrand durch eine volle Linie, ein starr eingespannter Plattenrand durch Schraffur und ein freier Plattenrand durch eine unterbrochene Linie gekennzeichnet.

x, y Koordinaten des Achsenkreuzes für die Rechteckplatte, der Ursprung des Achsenkreuzes liegt einheitlich in der linken unteren Ecke der Rechteckplattenmittlebene

l_x, l_y Seitenlängen der Rechteckplatte

E Elastizitätsmodul des Plattenwerkstoffes (im Stahlbetonbau $E = E_p$)

μ Querdehnungszahl

d Plattendicke

d_1, d_2 beim 6. Lagerungsfall der vierseitig und dreiseitig gelagerten Rechteckplatte sind in diesem Beitrag für gleichmäßige Vollbelastung Tafeln für eine linear veränderliche Plattendicke und zwar für das Dickenverhältnis $d_2 : d_1 = 1,5$ und $d_2 : d_1 = 2,0$ enthalten

p gleichmäßige Vollbelastung

p_1 Dreiecklastordinate

f_m Durchbiegungen unter Voraussetzung eines homogenen Plattenquerschnittes in Plattenmitte, d. h. im Stahlbetonbau die Durchbiegung im Zustand I

m_{xerm}, m_{yerm} Einspannmoment m_x bzw. m_y im Randmittelpunkt des starr eingespannten Plattenrandes

m_{xermin}, m_{yermin} größtes Einspannmoment m_x bzw. m_y

m_{xere} Einspannmoment m_x im Platteneck, wo ein starr eingespannter Plattenrand und ein freier Plattenrand zusammentreffen

m_{xm}, m_{ym} Feldmoment m_x bzw. m_y in Plattenmitte

m_{xmax}, m_{ymax} größtes Feldmoment m_x bzw. m_y im Plattenmittenschnitt

m_{xmin}, m_{ymin} kleinstes Feldmoment m_x bzw. m_y im Plattenmittenschnitt

m_{xfrm} Feldmoment m_x in der Mitte des freien Plattenrandes

m_{xye} Drillmoment m_{xy} im Platteneck, wo zwei frei drehbar gelagerte Plattenränder zusammentreffen

m_{xyfre} Drillmoment m_{xy} im Platteneck, wo ein frei drehbar gelagerter Plattenrand und ein freier Plattenrand zusammentreffen

m_{xym} Drillmoment m_{xy} in Randmitte eines frei drehbar gelagerten Plattenrandes

$m_{xy\max}$ größtes Drillmoment m_{xy}

R_c Einzelkraft im Platteneck, wo zwei frei drehbar gelagerte Plattenränder zusammentreffen ($R_c = 2 \cdot m_{xye}$). Zugkraft +, Druckkraft -

R_{fre} Einzelkraft im Platteneck, wo ein frei drehbar gelagerter Plattenrand und ein freier Plattenrand zusammentreffen ($R_{fre} = 2 \cdot m_{xyfre}$). Zugkraft +, Druckkraft -

q_{xrm}, q_{yrm} Querkraft q_x bzw. q_y in Randmitte eines frei drehbar gelagerten Plattenrandes

$q_{xer\max}, q_{yer\max}$ größte Querkraft q_x bzw. q_y an einem starr eingespannten Plattenrand

q_{xerm}, q_{yerm} Querkraft q_x bzw. q_y in Randmitte eines starr eingespannten Plattenrandes

$q_{xer\max}, q_{yer\max}$ größte Querkraft q_x bzw. q_y an einem starr eingespannten Plattenrand

q_{xe}, q_{ye} Querkraft q_x bzw. q_y im Platteneck, wo ein frei drehbar gelagerter und ein starr eingespannter Plattenrand zusammentreffen (q_{xe} und q_{ye} sind übersichtshalber nur in den den Tafeln beige-schlossenen Schnittgrößenverlaufskizzen angegeben)

q_{xre} Querkraft q_x im Platteneck, wo ein frei drehbar gelagerter Platten-

	rand und ein freier Plattenrand zusammentreffen
$\bar{q}_{xrm}, \bar{q}_{yrm}$	Stützkraft \bar{q}_x bzw. \bar{q}_y in Randmitte eines frei drehbar gelagerten Plattenrandes
$\bar{q}_{xrm\max}, \bar{q}_{yrm\max}$	größte Stützkraft \bar{q}_x bzw. \bar{q}_y an einem frei drehbar gelagerten Plattenrand
$\bar{q}_{xerm}, \bar{q}_{yerm}$	Stützkraft \bar{q}_x bzw. \bar{q}_y in Randmitte eines starr eingespannten Plattenrandes
$\bar{q}_{xerm\max}, \bar{q}_{yerm\max}$	größte Stützkraft \bar{q}_x bzw. \bar{q}_y an einem starr eingespannten Plattenrand (an einem starr eingespannten Plattenrand ist die Querkraft = Stützkraft, d. h. $\bar{q}_{xerm} = q_{xerm} $ und $\bar{q}_{yerm} = q_{yerm} $ bzw. $\bar{q}_{xerm\max} = q_{xerm\max} $ und $\bar{q}_{yerm\max} = q_{yerm\max} $)
$\bar{q}_{xe}, \bar{q}_{ye}$	Stützkraft \bar{q}_x bzw. \bar{q}_y im Platteneck, wo ein frei drehbar gelagerter und ein starr eingespannter Plattenrand zusammentreffen (eine negative Stützkraft \bar{q}_{xe} und \bar{q}_{ye} ist übersichtshalber nur in den den Tafeln beigeschlossenen Schnittgrößenverlaufsskizzen angegeben)
\bar{q}_{xre}	Stützkraft \bar{q}_x im Platteneck, wo ein frei drehbar gelagerter und ein freier Plattenrand zusammentreffen, $\bar{q}_{xre} = q_{xre} $
\bar{q}_{xre}	Stützkraft \bar{q}_x im Platteneck, wo ein starr eingespannter und ein freier Plattenrand zusammentreffen

Zur größeren Anschaulichkeit und für die leichtere Handhabung der Tafeln ist jedem Lagerungsfall der vierseitig gelagerten Rechteckplatten der Verlauf der Schnittgrößen ($m_x, m_y, m_{xy}, q_x, q_y, \bar{q}_x$ und \bar{q}_y) für das Seitenverhältnis $l_y : l_x = 1,5$ beigeschlossen; analog befinden sich bei jedem Lagerungsfall der Tafeln für dreiseitig gelagerte Rechteckplatten Skizzen mit dem Verlauf der Biege- und Drillmomente (m_x, m_y und m_{xy}) für die Seitenverhältnisse $l_y : l_x = 0,5$ und $1,0$, welche auch den Verlauf der Randquerkräfte q_x und q_y sowie der Stützkkräfte \bar{q}_x und \bar{q}_y enthalten.

2 Vierseitig gelagerte Rechteckplatten

2.1 Vorbemerkungen

In diesem Kapitel werden die bereits bekannten „Tafeln für gleichmäßig vollbelastete Rechteckplatten“ und die „Tafeln für Rechteckplatten mit Dreieckvollbelastung“ für alle sechs Lagerungsfälle (Bild 1) in der schon in den letzten Auflagen des

Beton-Kalenders gewählten Form wieder abgedruckt. Sie sind aus Veröffentlichungen [1], [2] entnommen, welche der Untersuchung von Rechteckplatten konstanter Dicke unter gleichmäßiger Vollbelastung und Dreieckvollbelastung mit Berücksichtigung der Querdehnungszahl im Rahmen der Kirchhoffschen Theorie gewidmet waren. Im Stahlbetonbau bildet diese Theorie die Grundlage für die Bemessung der kreuzweise bewehrten Rechteckplatten, sofern der Einfluß der Orthotropie vernachlässigt werden darf, für die Aufnahme der Drillmomente Sorge getragen wird und die Plattenecken gegen Abheben gesichert sind. In der DIN 1045 (Ausgabe 1988) Pkt. 15.1.2 ist allgemein für die Ermittlung der Schnittgrößen die Querdehnungszahl $\mu = 0,2$ angegeben; es wird aber auch zur Vereinfachung die Berechnung mit $\mu = 0$ gestattet. Die in den nachstehenden Tafeln enthaltenen Zahlenwerte gelten für die Annahme:

Querdehnungszahl $\mu = 0$,

Lagerungsfälle

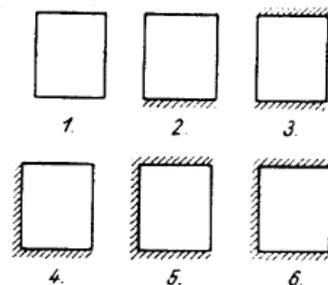


Bild 1

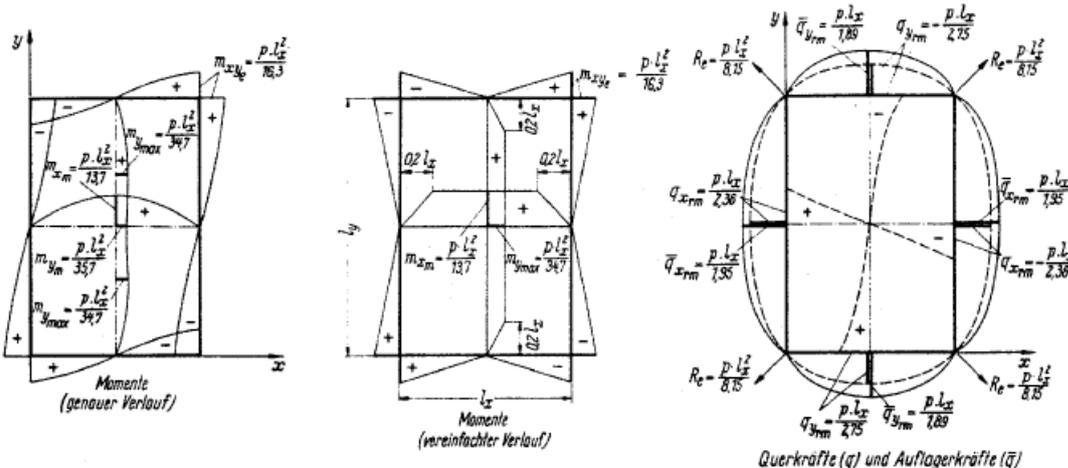
1. Lagerungsfall: Einspannungsfreie Lagerung der vier Ränder,
2. Lagerungsfall: Starre Einspannung eines Randes und einspannungsfreie Lagerung der drei anderen Ränder,
3. Lagerungsfall: Starre Einspannung von zwei gegenüberliegenden Rändern und einspannungsfreie Lagerung der beiden anderen Ränder,
4. Lagerungsfall: Starre Einspannung von zwei benachbarten Rändern und einspannungsfreie Lagerung der beiden anderen Ränder,
5. Lagerungsfall: Starre Einspannung von drei Rändern und einspannungsfreie Lagerung des vierten Randes,
6. Lagerungsfall: Starre Einspannung aller vier Ränder.

2.2 Tafeln für gleichmäßig vollbelastete vierseitig gelagerte Rechteckplatten

2.2.1 Einspannungsfreie Lagerung der vier Ränder

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x\min} =$	27,2	24,5	22,4	20,7	19,1	17,8	16,8	15,8	15,0	14,3	13,7
$m_{y\max} =$	27,2	27,5	27,9	28,4	29,1	29,9	30,9	31,8	32,8	33,8	34,7
$m_{xye} = \pm$	21,6	20,6	19,7	19,0	18,4	17,9	17,5	17,1	16,8	16,5	16,3
$R_e =$	10,8	10,3	9,85	9,5	9,2	8,95	8,75	8,55	8,4	8,25	8,15
$q_{x\text{rm}} = \pm$	2,96	2,87	2,78	2,71	2,64	2,58	2,52	2,47	2,43	2,39	2,36
$\bar{q}_{x\text{rm}} =$	2,19	2,15	2,11	2,07	2,04	2,02	2,00	1,98	1,97	1,96	1,95
$q_{y\text{rm}} = \pm$	2,96	2,92	2,89	2,86	2,84	2,82	2,80	2,78	2,76	2,75	2,75
$\bar{q}_{y\text{rm}} =$	2,19	2,14	2,09	2,05	2,02	1,99	1,96	1,94	1,92	1,90	1,89
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0487	0,0536	0,0584	0,0631	0,0678	0,0728	0,0767	0,0809	0,0850	0,0890	0,0927

$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x\min} =$	13,7	13,2	12,7	12,3	11,9	11,5	11,3	11,0	10,8	10,6	10,4
$m_{y\max} =$	34,7	35,4	36,1	36,7	37,3	37,9	38,5	38,9	39,4	39,8	40,3
$m_{xye} = \pm$	16,3	16,1	15,9	15,7	15,6	15,5	15,4	15,3	15,3	15,2	15,1
$R_e =$	8,15	8,05	7,95	7,85	7,8	7,75	7,7	7,65	7,65	7,6	7,55
$q_{x\text{rm}} = \pm$	2,36	2,33	2,30	2,27	2,25	2,23	2,21	2,19	2,18	2,16	2,15
$\bar{q}_{x\text{rm}} =$	1,95	1,94	1,93	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92
$q_{y\text{rm}} = \pm$	2,75	2,74	2,73	2,73	2,73	2,72	2,72	2,71	2,71	2,70	2,70
$\bar{q}_{y\text{rm}} =$	1,89	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,83	1,82	1,82	1,82	1,82
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0927	0,0963	0,0997	0,1029	0,1060	0,1093	0,1118	0,1145	0,1169	0,1195	0,1215

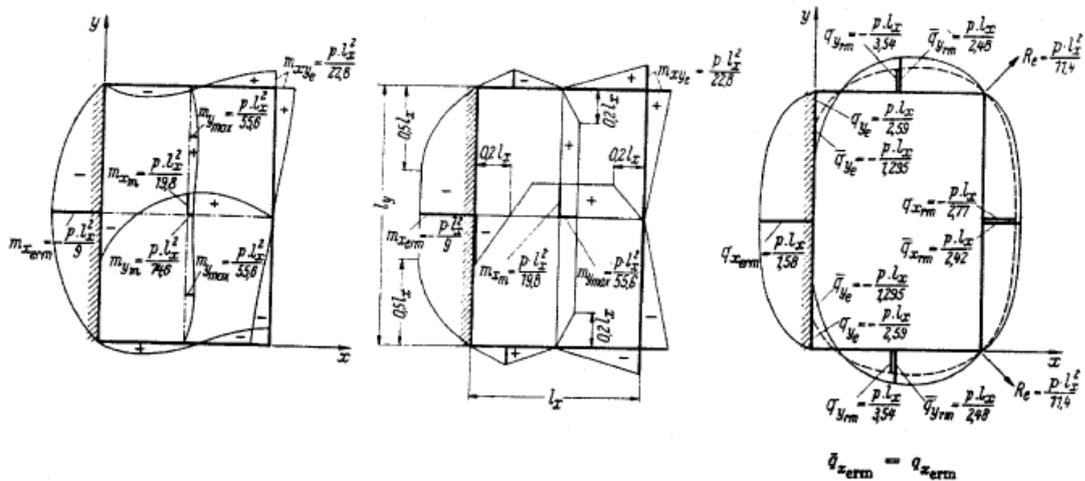


Verlauf der Schnittgrößen für das Seitenverhältnis $l_y:l_x = 1,5$

Czerny-Tafel für rundum gelenkige Lagerung (**Plattentyp 1**)

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{xerm} = -$	11,9	11,3	10,9	10,5	10,2	9,9	9,7	9,4	9,3	9,1	9,0
$m_{xrm} =$	31,4	29,2	27,3	25,8	24,5	23,4	22,4	21,6	21,0	20,3	19,8
$m_{y_{max}} =$	41,2	43,2	45,1	47,1	48,8	50,3	51,8	53,2	54,3	55,0	55,6
$m_{xye} = \pm$	26,2	25,4	24,9	24,4	24,0	23,7	23,5	23,2	23,0	22,9	22,8
$R_e =$	13,1	12,7	12,4	12,2	12,0	11,8	11,7	11,6	11,5	11,4	11,4
$q_{xerm} =$	1,72	1,89	1,87	1,85	1,83	1,82	1,81	1,80	1,59	1,58	1,58
$q_{xrm} = -$	3,18	3,11	3,05	2,99	2,94	2,90	2,87	2,84	2,81	2,79	2,77
$\bar{q}_{xrm} =$	2,47	2,44	2,42	2,41	2,41	2,40	2,40	2,40	2,41	2,41	2,42
$q_{yrm} = \pm$	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,54
$\bar{q}_{yrm} =$	2,59	2,56	2,54	2,52	2,51	2,50	2,50	2,49	2,49	2,48	2,48
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0334	0,0357	0,0380	0,0401	0,0420	0,0438	0,0455	0,0472	0,0485	0,0498	0,0510

$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{xerm} = -$	9,0	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,3	8,3	8,3	8,3
$m_{xrm} =$	19,8	19,4	19,0	18,6	18,3	18,0	17,8	17,5	17,4	17,2	17,1
$m_{y_{max}} =$	55,6	56,2	56,8	57,3	57,8	58,2	58,6	58,8	59,0	59,1	59,2
$m_{xye} = \pm$	22,8	22,7	22,6	22,5	22,5	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4
$R_e =$	11,4	11,3	11,3	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
$q_{xerm} =$	1,58	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
$q_{xrm} = -$	2,77	2,75	2,73	2,72	2,71	2,70	2,69	2,68	2,68	2,67	2,67
$\bar{q}_{xrm} =$	2,42	2,42	2,43	2,43	2,44	2,45	2,46	2,47	2,49	2,49	2,50
$q_{yrm} = \pm$	3,54	3,54	3,54	3,54	3,55	3,55	3,55	3,55	3,55	3,55	3,56
$\bar{q}_{yrm} =$	2,48	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0510	0,0521	0,0531	0,0541	0,0549	0,0556	0,0562	0,0569	0,0575	0,0580	0,0585



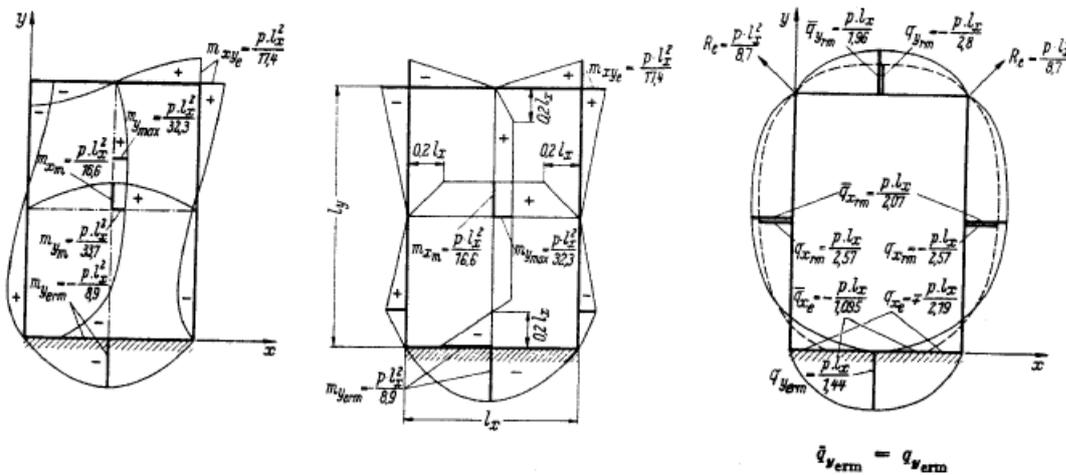
Verlauf der Schnittgrößen für das Seitenverhältnis $l_y:l_x = 1,5$

Czerny-Tafel mit Einspannung einer langen Seite (Plattentyp 2a)

2.2.2 Starre Einspannung eines Randes und einspannungsfreie Lagerung der drei anderen Ränder

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x\min} =$	41,2	36,5	31,9	28,3	25,9	23,4	21,7	20,1	18,8	17,5	16,6
$m_{y\text{erm}} = -$	11,9	11,3	10,9	10,4	10,1	9,8	9,6	9,3	9,2	9,0	8,9
$m_{y\text{max}} =$	29,4	29,0	28,8	28,8	28,9	29,2	29,7	30,2	30,8	31,6	32,3
$m_{xye} = \pm$	26,2	24,5	23,2	21,9	21,0	20,1	19,4	18,7	18,3	17,7	17,4
$R_e =$	13,1	12,2	11,6	10,9	10,5	10,0	9,7	9,3	9,1	8,8	8,7
$q_{x\text{rm}} = \pm$	3,54	3,39	3,25	3,13	3,02	2,92	2,83	2,76	2,69	2,63	2,57
$\bar{q}_{x\text{rm}} =$	2,59	2,49	2,42	2,34	2,29	2,23	2,19	2,15	2,12	2,09	2,07
$q_{y\text{erm}} =$	1,72	1,67	1,63	1,59	1,56	1,53	1,51	1,49	1,47	1,45	1,44
$q_{y\text{rm}} = -$	3,18	3,11	3,05	3,00	2,95	2,92	2,89	2,86	2,84	2,82	2,80
$\bar{q}_{y\text{rm}} =$	2,47	2,38	2,29	2,23	2,17	2,12	2,08	2,04	2,01	1,98	1,96
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0834	0,0378	0,0422	0,0467	0,0512	0,0557	0,0602	0,0645	0,0689	0,0731	0,0778

$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x\min} =$	16,6	15,7	15,0	14,3	13,8	13,2	12,8	12,3	12,0	11,6	11,4
$m_{y\text{erm}} = -$	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,45	8,4	8,35	8,3	8,25	8,2
$m_{y\text{max}} =$	32,3	33,0	33,6	34,3	34,9	35,6	36,2	36,9	37,5	38,2	38,8
$m_{xye} = \pm$	17,4	17,0	16,8	16,5	16,3	16,1	15,9	15,7	15,6	15,5	15,4
$R_e =$	8,7	8,5	8,4	8,2	8,1	8,0	7,9	7,8	7,8	7,7	7,7
$q_{x\text{rm}} = \pm$	2,57	2,52	2,47	2,43	2,39	2,36	2,33	2,30	2,28	2,25	2,23
$\bar{q}_{x\text{rm}} =$	2,07	2,05	2,03	2,01	1,99	1,98	1,97	1,96	1,96	1,95	1,95
$q_{y\text{erm}} =$	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,39	1,39	1,38	1,38	1,37	1,37
$q_{y\text{rm}} = -$	2,80	2,78	2,77	2,76	2,75	2,74	2,73	2,72	2,72	2,71	2,71
$\bar{q}_{y\text{rm}} =$	1,96	1,94	1,92	1,90	1,89	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,84
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0773	0,0815	0,0852	0,0892	0,0926	0,0962	0,0994	0,1027	0,1056	0,1085	0,1112

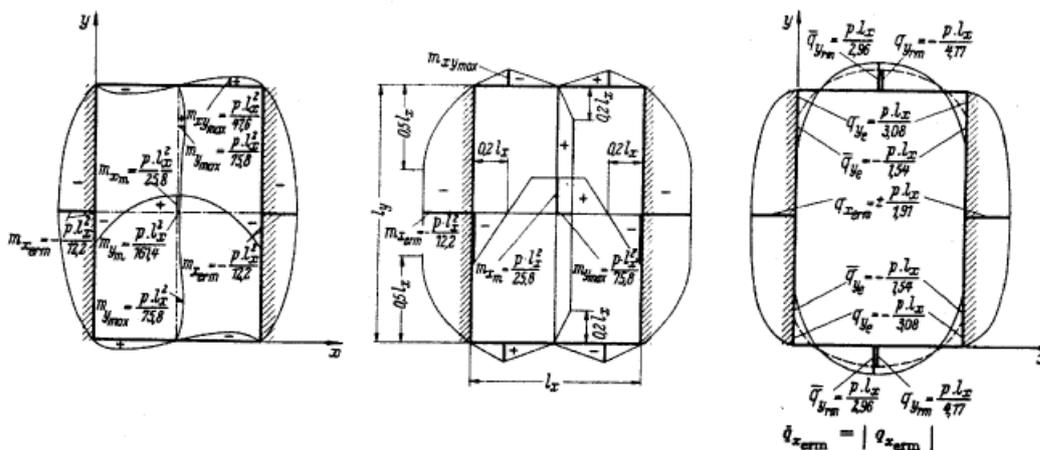


Verlauf der Schnittgrößen für das Seitenverhältnis $l_y:l_x = 1,5$

Czerny-Tafel mit Einspannung einer kurzen Seite (Plattentyp 2b)

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	
$m_{xerm} = -$	14,3	13,8	13,5	13,2	13,0	12,7	12,6	12,4	12,3	12,2	12,2	
$m_{xm} =$	} $p \cdot l_x^3:$	35,1	33,0	31,7	30,4	29,4	28,5	27,8	27,1	26,6	25,8	
$m_{ymax} =$		61,7	64,5	67,2	69,6	71,5	72,8	73,5	74,1	74,6	75,3	75,8
$q_{xerm} = \pm$		1,94	1,92	1,91	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,91
$q_{yrm} = \pm$	} $p \cdot l_x:$	4,09	4,10	4,11	4,12	4,13	4,14	4,15	4,15	4,16	4,16	4,17
$\bar{q}_{yrm} =$		2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,96
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$		0,0230	0,0241	0,0251	0,0260	0,0267	0,0275	0,0280	0,0285	0,0289	0,0293	0,0297

$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	
$m_{xerm} = -$	12,2	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	
$m_{xm} =$	} $p \cdot l_x^3:$	25,8	25,4	25,2	24,9	24,7	24,5	24,4	24,3	24,3	24,2	24,1
$m_{ymax} =$		75,8	76,5	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0
$q_{xerm} = \pm$		1,91	1,91	1,92	1,92	1,93	1,93	1,94	1,94	1,95	1,95	1,95
$q_{yrm} = \pm$	} $p \cdot l_x:$	4,17	4,17	4,18	4,18	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19
$\bar{q}_{yrm} =$		2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$		0,0297	0,0300	0,0302	0,0305	0,0307	0,0308	0,0309	0,0310	0,0311	0,0312	0,0313



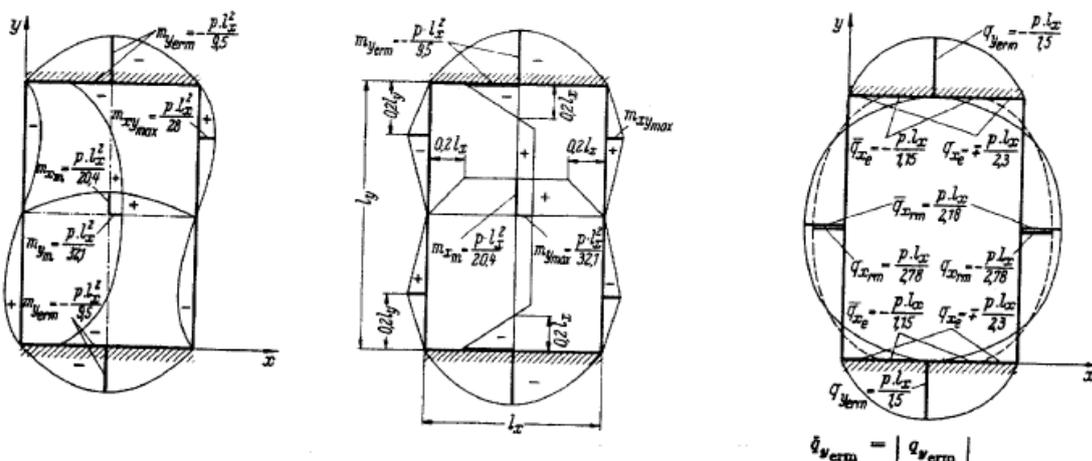
Verlauf der Schnittgrößen für das Seitenverhältnis $l_y:l_x = 1,5$

Czerny-Tafel mit Einspannung von 2 gegenüber liegenden langen Seiten (**Plattentyp 3a**)

2.2.3 Starre Einspannung von zwei gegenüberliegenden Rändern und einspannungsfreie Lagerung der beiden anderen Ränder

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x\text{m}} =$	68,8	52,2	46,1	39,8	35,5	31,5	28,5	25,8	23,7	22,0	20,4
$m_{y\text{erm}} = -$	$p \cdot l_x^2$	14,3	13,4	12,7	12,0	11,5	11,1	10,7	10,3	10,0	9,5
$m_{y\text{max}} =$	35,1	33,7	32,9	32,2	31,7	31,3	31,2	31,2	31,4	31,7	32,1
$q_{x\text{rm}} = \pm$	$p \cdot l_x$	4,09	3,87	3,70	3,54	3,39	3,27	3,15	3,05	2,95	2,78
$\bar{q}_{x\text{rm}} =$	$p \cdot l_x$	2,95	2,82	2,71	2,60	2,52	2,44	2,38	2,32	2,27	2,18
$q_{y\text{erm}} = \pm$	1,94	1,86	1,80	1,74	1,69	1,65	1,61	1,58	1,55	1,52	1,50
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0230	0,0266	0,0303	0,0343	0,0383	0,0425	0,0467	0,0510	0,0553	0,0596	0,0639

$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x\text{m}} =$	20,4	19,0	17,9	16,9	16,0	15,2	14,6	13,9	13,4	12,9	12,5
$m_{y\text{erm}} = -$	$p \cdot l_x^2$	9,5	9,3	9,2	9,05	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4
$m_{y\text{max}} =$	32,1	32,7	33,3	34,0	34,9	35,9	37,1	38,3	39,7	41,1	42,4
$q_{x\text{rm}} = \pm$	$p \cdot l_x$	2,78	2,71	2,65	2,59	2,54	2,49	2,45	2,41	2,38	2,32
$\bar{q}_{x\text{rm}} =$	$p \cdot l_x$	2,18	2,14	2,11	2,09	2,07	2,05	2,03	2,01	2,00	1,98
$q_{y\text{erm}} = \pm$	1,50	1,47	1,46	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,40	1,39	1,39
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0639	0,0681	0,0722	0,0762	0,0802	0,0840	0,0878	0,0914	0,0949	0,0982	0,1013



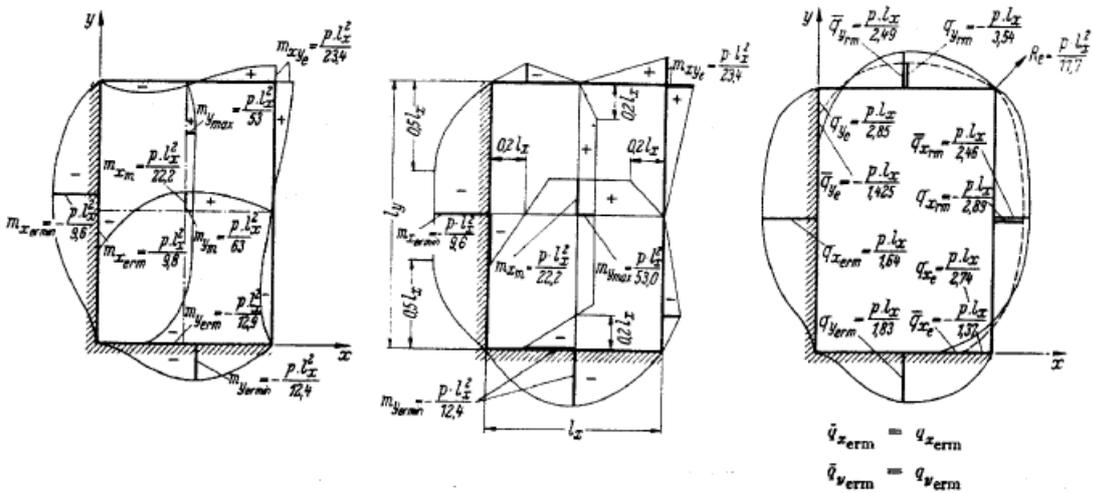
Verlauf der Schnittgrößen für das Seitenverhältnis $l_y:l_x = 1,5$

Czerny-Tafel mit Einspannung von 2 gegenüber liegenden kurzen Seiten (Plattentyp 3b)

2.2.4 Starre Einspannung von zwei benachbarten Rändern und einspannungsfreie Lagerung der beiden anderen Ränder

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x\text{ermin}} = -$	14,3	13,3	12,7	12,0	11,5	11,1	10,7	10,3	10,0	9,8	9,6
$m_{x\text{in}} =$	42,7	38,0	35,1	32,2	30,0	28,0	26,5	25,2	24,1	23,1	22,2
$m_{y\text{ermin}} = -$	14,3	13,8	13,6	13,3	13,1	12,9	12,8	12,7	12,6	12,5	12,4
$m_{y\text{max}} =$	40,2	41,0	42,0	42,9	44,0	45,6	47,6	49,6	51,0	52,1	53,0
$q_{x\text{erm}} =$	1,96	1,89	1,83	1,78	1,75	1,72	1,69	1,67	1,65	1,64	1,64
$q_{x\text{rm}} = -$	3,64	3,51	3,40	3,30	3,22	3,14	3,08	3,01	2,97	2,93	2,89
$\bar{q}_{x\text{rm}} =$	2,76	2,69	2,64	2,58	2,55	2,53	2,51	2,49	2,47	2,46	2,46
$q_{y\text{erm}} =$	1,96	1,93	1,90	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,84	1,83	1,83
$q_{y\text{rm}} = -$	3,64	3,61	3,59	3,57	3,55	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54
$\bar{q}_{y\text{rm}} =$	2,76	2,69	2,65	2,61	2,59	2,56	2,54	2,52	2,51	2,50	2,49
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0252	0,0281	0,0302	0,0329	0,0348	0,0369	0,0389	0,0408	0,0426	0,0443	0,0459

$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x\text{ermin}} = -$	9,6	9,4	9,2	9,1	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,4
$m_{x\text{in}} =$	22,2	21,6	21,0	20,4	19,9	19,5	19,1	18,7	18,4	18,1	17,9
$m_{y\text{ermin}} = -$	12,4	12,3	12,3	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
$m_{y\text{max}} =$	53,0	54,1	54,8	55,6	56,3	57,0	57,7	58,3	59,0	59,6	60,2
$q_{x\text{erm}} =$	1,64	1,63	1,63	1,62	1,62	1,61	1,60	1,60	1,59	1,59	1,58
$q_{x\text{rm}} = -$	2,89	2,87	2,83	2,80	2,78	2,76	2,75	2,74	2,73	2,72	2,71
$\bar{q}_{x\text{rm}} =$	2,46	2,46	2,46	2,47	2,47	2,47	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49
$q_{y\text{erm}} =$	1,83	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82
$q_{y\text{rm}} = -$	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,55
$\bar{q}_{y\text{rm}} =$	2,49	2,49	2,49	2,49	2,48	2,48	2,48	2,48	2,47	2,47	2,47
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0459	0,0472	0,0484	0,0496	0,0508	0,0519	0,0529	0,0538	0,0547	0,0554	0,0562

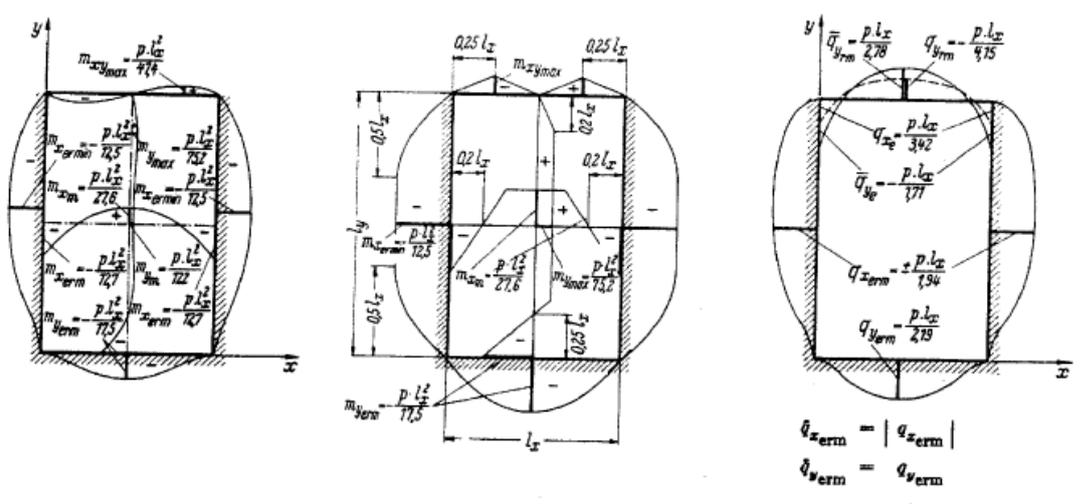


Verlauf der Schnittgrößen für das Seitenverhältnis $l_y:l_x = 1,5$

Czerny-Tafel mit Einspannung von 2 benachbarten Seiten (Plattentyp 4)

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x\text{ermin}} = -$	16,2	15,3	14,8	14,2	13,9	13,5	13,2	12,9	12,7	12,6	12,5
$m_{xm} =$	44,1	40,5	37,9	35,5	33,8	32,3	31,0	29,9	29,0	28,2	27,6
$m_{y\text{erm}} = -$	18,8	17,9	17,7	17,6	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{y\text{max}} =$	55,9	57,5	60,3	64,2	66,2	67,7	69,0	70,5	72,0	73,4	75,2
$q_{x\text{erm}} = \pm$	2,11	2,05	2,01	1,97	1,96	1,94	1,93	1,92	1,92	1,93	1,94
$q_{y\text{erm}} =$	2,21	2,14	2,10	2,09	2,09	2,10	2,11	2,12	2,13	2,16	2,19
$q_{y\text{rm}} = -$	4,11	4,10	4,10	4,10	4,11	4,12	4,13	4,14	4,15	4,15	4,15
$\bar{q}_{y\text{rm}} =$	3,04	2,93	2,87	2,83	2,81	2,79	2,79	2,78	2,78	2,78	2,78
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0188	0,0202	0,0214	0,0226	0,0236	0,0245	0,0253	0,0261	0,0268	0,0274	0,0280

$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x\text{ermin}} = -$	12,5	12,4	12,3	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0
$m_{xm} =$	27,6	27,0	26,5	26,1	25,7	25,3	25,1	24,9	24,7	24,6	24,5
$m_{y\text{erm}} = -$	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{y\text{max}} =$	75,2	76,9	78,7	80,5	82,5	84,6	86,8	89,2	91,7	94,3	97,0
$q_{x\text{erm}} = \pm$	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,95	1,95	1,95
$q_{y\text{erm}} =$	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,20	2,20	2,20	2,21	2,21	2,21
$q_{y\text{rm}} = -$	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15
$\bar{q}_{y\text{rm}} =$	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0280	0,0285	0,0289	0,0294	0,0298	0,0301	0,0303	0,0305	0,0307	0,0308	0,0309



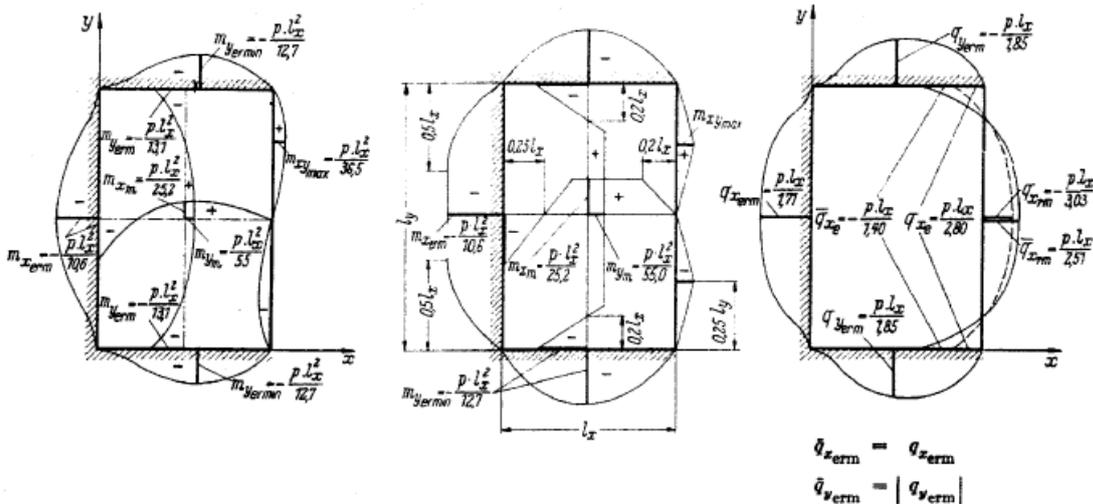
Verlauf der Schnittgrößen für das Seitenverhältnis $l_y:l_x = 1,5$

Czerny-Tafel mit Einspannung von 3 Seiten, kurze Seite gelenkig (**Plattentyp 5a**)

2.2.5 Starre Einspannung von drei Rändern und einspannungsfreie Lagerung des vierten Randes

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{xerm} = -$	18,3	16,6	15,4	14,4	13,5	12,7	12,2	11,6	11,2	10,9	10,6
$m_{xrm} =$	59,5	51,6	46,1	41,4	37,5	34,2	31,8	29,6	28,0	26,4	25,2
$m_{yermmin} = -$	16,2	15,4	14,8	14,3	13,9	13,5	13,3	13,1	13,0	12,8	12,7
$m_{yrm} =$	44,1	43,6	43,7	44,2	44,8	45,8	46,9	48,6	50,3	52,3	55,0
$q_{xerm} =$	2,21	2,10	2,01	1,95	1,89	1,85	1,81	1,78	1,76	1,73	1,71
$q_{xrm} = -$	4,11	3,94	3,77	3,63	3,50	3,40	3,30	3,22	3,14	3,08	3,03
$\bar{q}_{xrm} =$	3,04	2,92	2,84	2,77	2,70	2,65	2,61	2,57	2,54	2,52	2,51
$q_{yerm} = \pm$	2,11	2,05	2,00	1,97	1,94	1,91	1,89	1,87	1,86	1,85	1,85
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0188	0,0212	0,0236	0,0260	0,0284	0,0308	0,0329	0,0351	0,0371	0,0391	0,0409

$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{xerm} = -$	10,6	10,3	10,1	9,9	9,7	9,5	9,4	9,2	9,0	8,9	8,8
$m_{xrm} =$	25,2	24,2	23,3	22,5	21,7	21,1	20,5	20,0	19,5	19,1	18,7
$m_{yermmin} = -$	12,7	12,6	12,6	12,5	12,5	12,4	12,4	12,3	12,3	12,3	12,3
$m_{yrm} =$	55,0	58,2	61,6	65,6	70,4	75,0	79,6	84,7	89,8	95,4	101,0
$q_{xerm} =$	1,71	1,70	1,69	1,68	1,67	1,66	1,65	1,64	1,63	1,62	1,61
$q_{xrm} = -$	3,03	2,99	2,95	2,91	2,88	2,85	2,83	2,80	2,77	2,76	2,75
$\bar{q}_{xrm} =$	2,51	2,50	2,50	2,49	2,49	2,48	2,48	2,48	2,47	2,47	2,47
$q_{yerm} = \pm$	1,85	1,84	1,84	1,84	1,84	1,83	1,83	1,83	1,83	1,82	1,82
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0409	0,0426	0,0442	0,0457	0,0471	0,0484	0,0495	0,0507	0,0518	0,0529	0,0539



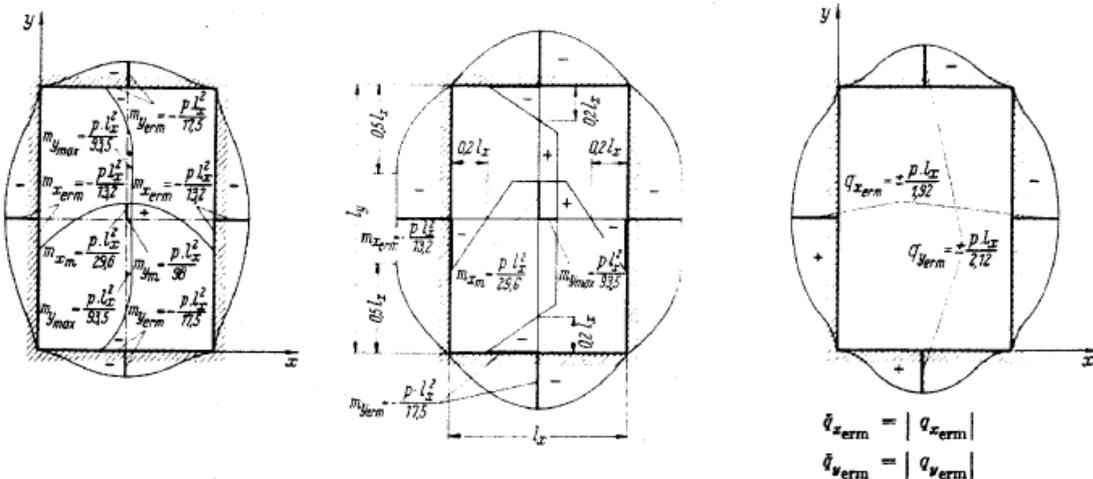
Verlauf der Schnittgrößen für das Seitenverhältnis $l_y:l_x = 1,5$

Czerny-Tafel mit Einspannung von 3 Seiten, lange Seite gelenkig (**Plattentyp 5b**)

2.2.6.1 Starre Einspannung der vier Ränder

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x\text{erm}} = -$	19,4	18,2	17,1	16,3	15,5	14,9	14,5	14,0	13,7	13,4	13,2
$m_{xm} =$	56,8	50,6	46,1	42,4	39,4	37,0	34,8	33,3	31,9	30,6	29,6
$m_{y\text{erm}} = -$	19,4	18,8	18,4	18,1	17,9	17,7	17,6	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{y\text{max}} =$	56,8	58,2	60,3	62,6	65,8	69,4	73,6	78,4	83,4	89,4	93,5
$q_{x\text{erm}} = \pm$	2,24	2,17	2,10	2,05	2,01	1,98	1,96	1,94	1,92	1,92	1,92
$q_{y\text{erm}} = \pm$	2,24	2,20	2,16	2,14	2,12	2,11	2,10	2,09	2,09	2,10	2,12
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0152	0,0167	0,0181	0,0195	0,0207	0,0219	0,0230	0,0240	0,0248	0,0257	0,0264

$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,0
$m_{x\text{erm}} = -$	13,2	13,0	12,8	12,7	12,5	12,4	12,3	12,2	12,1	12,0	12,0
$m_{xm} =$	29,6	28,8	28,1	27,5	26,9	26,4	26,0	25,7	25,4	25,2	25,0
$m_{y\text{erm}} = -$	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{y\text{max}} =$	93,5	96,1	98,1	99,9	101,3	102,4	103,3	104,0	104,6	104,9	105,0
$q_{x\text{erm}} = \pm$	1,92	1,92	1,92	1,92	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
$q_{y\text{erm}} = \pm$	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,13	2,13	2,13
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0264	0,0271	0,0277	0,0282	0,0287	0,0291	0,0294	0,0297	0,0300	0,0302	0,0304



Verlauf der Schnittgrößen für das Seitenverhältnis $l_y : l_x = 1,5$

Czerny-Tafel mit Einspannung von allen 4 Seiten (Plattentyp 6)

1.3 Zweiachsig gespannte durchlaufende Platten nach Pieper/Martens

Tabellen, Grafiken und Anwendung siehe Schneider Bautabellen