

## Stahlbeton I+II – Sessionsprüfung

(101-0126-01J)

# Beispiel-Prüfung 4

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Studierenden-Nr.: \_\_\_\_\_

### Bemerkungen

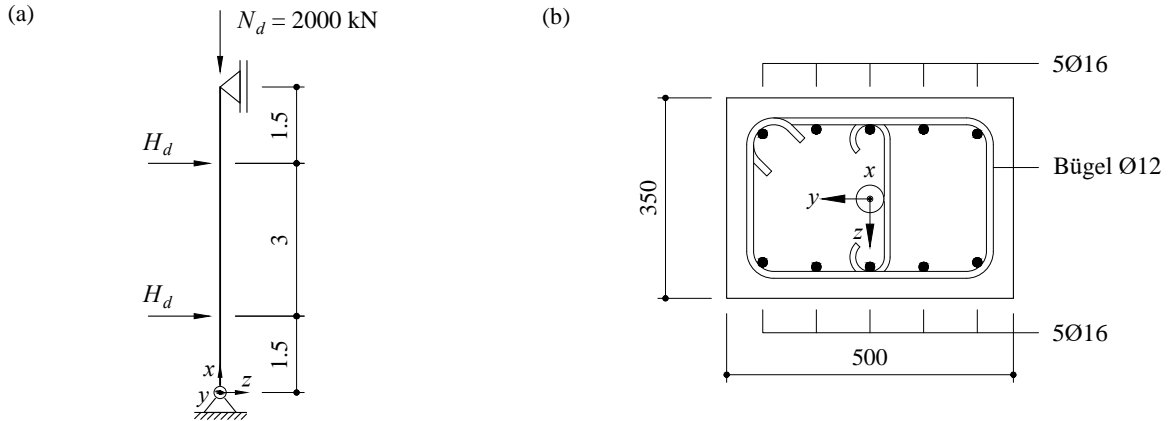
1. Sofern nichts anderes angegeben ist, wird von Beton C30/37 ( $D_{max} = 32$  mm,  $E_c = 33$  GPa), Betonstahl B500B und einer Bewehrungsüberdeckung  $c_{nom} = 35$  mm ausgegangen.
2. Der Abbiegeradius der Bügel und die Rippen der Bewehrungsstäbe dürfen für die Ermittlung der statisch wirksamen Höhe  $d$  vernachlässigt werden.
3. Für jede Aufgabe soll ein separater Papierbogen A3 verwendet werden.
4. Sämtliche Unterlagen (Aufgabenstellung, Lösungsblätter) sind nach Prüfungsende mit Namen zu versehen und abzugeben.

### Hilftabellen

$\emptyset$ [mm]	8	10	12	14	16	18	20	22	26	30	
$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	50	79	113	154	201	254	314	380	531	707	
$\alpha_s$ [mm <sup>2</sup> /m]	$s = 100$ mm	503	785	1130	1540	2010	2544	3141	3801	5309	7069
	$s = 125$ mm	402	628	904	1232	1608	2036	2513	3041	4247	5655
	$s = 150$ mm	335	523	753	1027	1340	1696	2094	2534	3539	4712
	$s = 200$ mm	251	393	565	770	1005	1272	1571	1901	2655	3534

## Aufgabe 1

Die in Bild 1 (a) dargestellte Fassadenstütze ist am Stützenkopf und -fuss gelenkig gelagert. Im Abstand von  $l/4$  zu den Lagern greifen jeweils horizontale Einzellasten mit dem Betrag  $H_d$  an. Am Stützenkopf wirkt eine Drucknormalkraft  $N_d = 2000$  kN. Das Eigengewicht der Stütze kann vernachlässigt werden. Die Abmessungen sowie die Bewehrung der Stütze sind in Bild 1 (b) ersichtlich.



**Bild 1:** (a) Statisches System und Belastung; (b) Querschnitt mit Bewehrung (Abmessungen in mm)

- a) Ermitteln Sie ein idealisiertes  $M_{y,Rd}-N_{Rd}$ -Interaktionsdiagramm des Stützenquerschnitts. Bestimmen Sie zwei Punkte auf der  $N_{Rd}$ -Achse sowie drei Punktepaare von  $M_{y,Rd}$  und  $N_{Rd}$ , wo die Betondruckzonenhöhe folgende Werte annimmt:

$$x = d; \quad x = h/2; \quad x = 0$$

Berücksichtigen Sie beide Bewehrungslagen; die Stahldehnungen sollen auf die positive Fließdehnung begrenzt werden (fließende Druckbewehrung ist zulässig).

- b) Bestimmen Sie die maximale Horizontalkraft  $H_d$ , welche von der Stütze unter der gegebenen Normalkraft  $N_d$  aufgenommen werden kann. Beachten Sie die Effekte 2. Ordnung und benutzen Sie das in Teilaufgabe a) hergeleitete  $M-N$ -Interaktionsdiagramm. Vereinfachend darf  $c = \pi^2$  angesetzt werden (SIA 262 Formel 80). Berechnen Sie die zu den Schnittgrößen zugehörige Krümmung  $\chi_d$  mithilfe einer Querschnittsanalyse.
- c) Ist die Vereinfachung von  $c$  in Teilaufgabe b) eine konservative Annahme? Ermitteln Sie zur Begründung die effektive Integrationskonstante unter den gegebenen Einwirkungen.

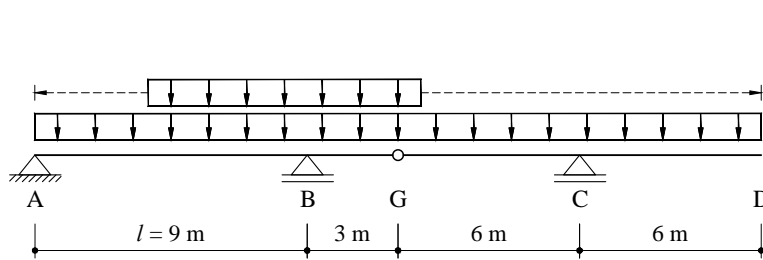
*Hinweis:* Nehmen Sie an, dass die massgebende Biegesteifigkeit  $EI_d$  über den ganzen Stab konstant ist.

- Hinweise:**
- Die Querkrafttragsicherheit der Stütze kann als genügend vorausgesetzt werden.
  - Die Einflüsse von Kriechen und Schwinden können vernachlässigt werden.

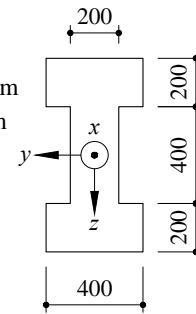
## Aufgabe 2

In Bild 2 (a) ist ein Gerberträger mit Auskragung aus Stahlbeton dargestellt. Die Abmessungen des Querschnitts sind in Bild 2 (b) ersichtlich. Der Träger wird durch eine ständig wirkende Last  $g_d = 8 \text{ kN/m}$  (inkl. Eigengewicht) und durch eine veränderliche Last  $q_d = 33 \text{ kN/m}$  belastet (Bemessungsniveau; die Unterscheidung von günstig und ungünstig wirkender Eigenlast darf vernachlässigt werden; die veränderliche Last wirkt jeweils feldweise zwischen zwei Auflagern bzw. dem Trägerende).

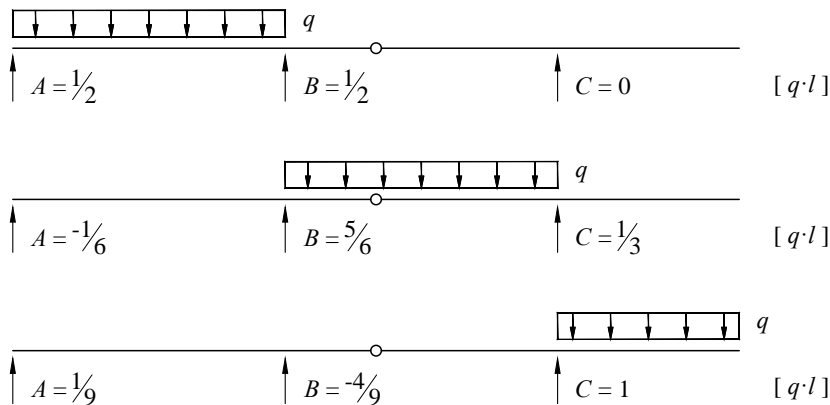
(a) Statisches System



(b) Querschnitt



(c) Lagerreaktionen



**Bild 2:** (a) Statisches System und Einwirkungen; (b) Trägerquerschnitt (Abmessungen in mm); (c) Lagerreaktionen infolge feldweiser Belastung

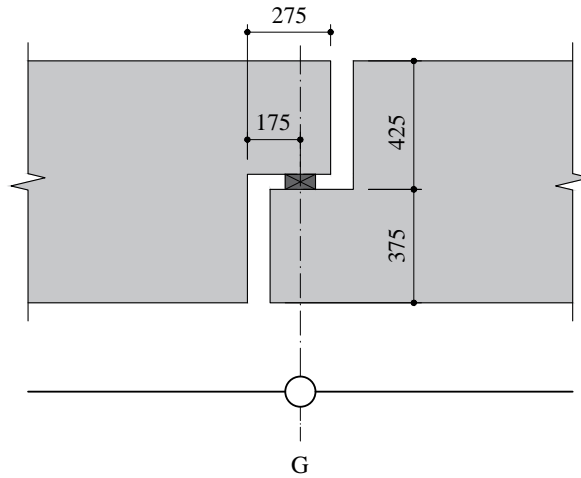
### Teil A

- a) Die veränderliche Last greift nun zwischen A und B sowie C und D an. Ermitteln Sie das maximale positive Feldmoment, das maximale negative Stützenmoment sowie die maximale Querkraft.

*Hinweis:* Die Auflagerreaktionen infolge feldweiser Belastung sind in Bild 1 (c) ersichtlich.

- b) Bemessen Sie die erforderliche Biegebewehrung für das betragsmässig massgebende Moment (positives oder negatives Moment) sowie die Bügelbewehrung für die massgebende Querkraft im nach Norm SIA 262 massgebenden Schnitt und führen Sie den Nachweis der Tragsicherheit.

**Teil B**



**Bild 3:** Geometrie Gerbergelenk (Abmessungen in mm)

Das Gerbergelenk im Punkt G wird mithilfe zweier ausgeklinkter Träger gem. Bild 3 realisiert. Druckkräfte werden über eine Auflagerplatte und Zugkräfte über zwei durchgehende Bewehrungsstäbe übertragen.

- c) Bestimmen Sie die minimale Querkraft, welche über die Verbindung übertragen werden muss. Ermitteln Sie dafür zuerst die dafür massgebenden Lastanordnungen der Nutzlast.

*Hinweis:* Mithilfe der Einflusslinie können die massgebenden Querkräfte ohne Ermittlung des Schnittkraftverlaufs hergeleitet werden.

- d) Stellen Sie für diesen Lastfall den Kraftfluss mithilfe eines Fachwerkmodells zwischen dem Gerbergelenk und dem Punkt B dar und geben Sie die für die Tragsicherheitsnachweise massgebenden Kräfte im Steg und in den Gurten an. Benutzen Sie die massstäbliche Vorlage auf dem Lösungsblatt

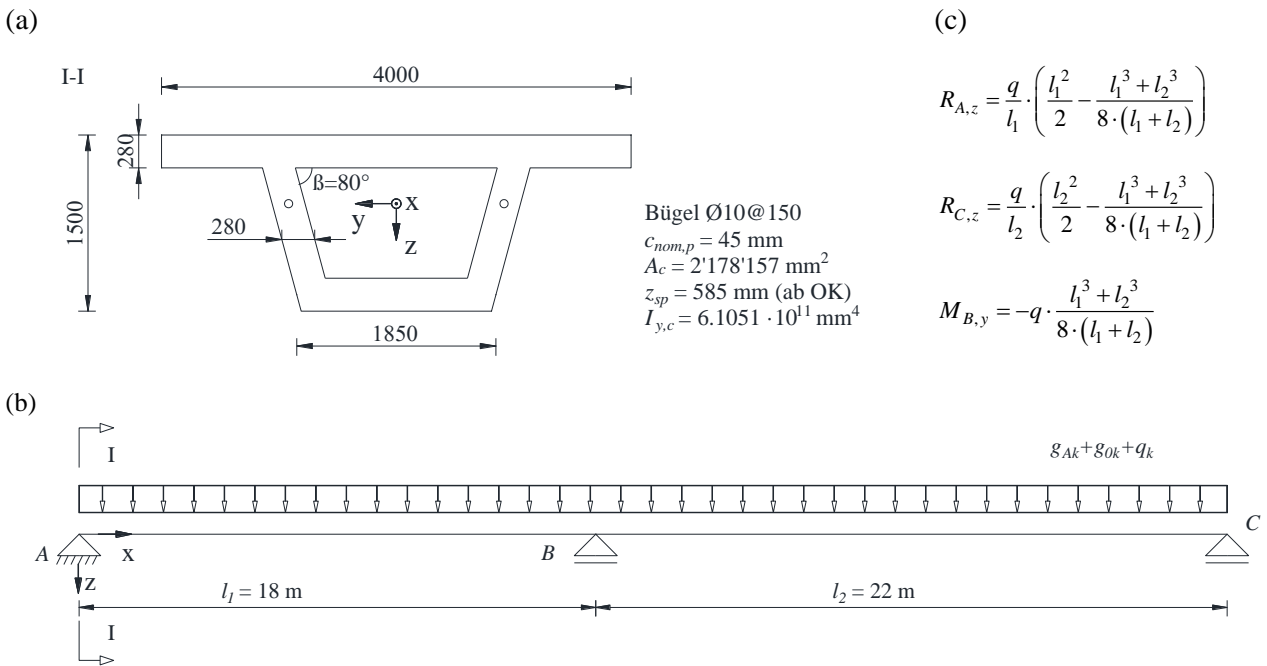
(Annahme:  $z = 0.6$  m; nehmen Sie vereinfacht an, dass die Knoten des Fachwerksmodells einen Mindestabstand von 0.1 m zum Querschnittsrand aufweisen).

- e) Bemessen Sie die erforderliche verteilte und konzentrierte Bewehrung im Steg infolge des betrachteten Lastfalls. Die Gurtbewehrung muss nicht bemessen werden.

- Hinweise:**
- Die Schubanschlussbewehrung des Steges an die Flansche muss in dieser Aufgabe nicht bemessen werden.
  - Es ist keine Abstufung der Bewehrung notwendig.

### Aufgabe 3

Der in Bild 4 abgebildete Zweifeldträger sei durch eine Auflast  $g_{Ak} = 30.55 \text{ kN/m}$  sowie durch eine Nutzlast  $q_k = 30 \text{ kN/m}$  belastet. Er weist über die gesamte Länge einen Querschnitt gem. Schnitt I-I auf, wobei die Lage der Spannglieder sowie die schlaffe Biegebewehrung über die Trägerlänge variieren. Bild 4 gibt die elastischen vertikalen Auflagerreaktionen in A und C, das Biegemoment in B sowie Querschnittswerte an. Ein Spannglied vom Typ Y1860 VSL 6-15 mit 14 Litzen à  $150 \text{ mm}^2$  ist pro Steg eingelegt (total 2 Spannglieder). Die Angaben zu der Spanngliedeinheit sind Tabelle 2 zu entnehmen. Die Spanngliedgeometrie im rechten Randfeld ist gem. Bild 5 und Tabelle 1 definiert.



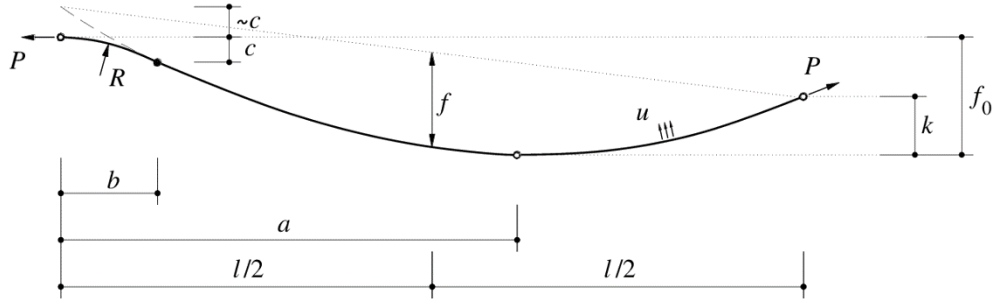
**Bild 4:** (a) Statisches System, Belastung; (b) Querschnitt am Balkenende mit Vorspannkabel im Schwerpunkt (Abmessungen in mm) und mit Querschnittswerten; (c) Schnittkräfte (Auflagerreaktionen und Biegemoment).

- a) Zeigen Sie, dass im rechten Randfeld die Umlenkräfte für  $t \rightarrow \infty$  die Eigen- und Auflast gerade kompensieren. Ermitteln Sie für das linke Randfeld im Anschluss die Parameter gem. Bild 5 derart, dass die Umlenkräfte gleich gross sind wie im rechten Randfeld und bei  $x = 0 \text{ m}$  die Exzentrizität ebenfalls null ist (d.h.  $f_0$  und  $k$  gem. Bild 5 sind nicht zwingend maximal).

*Hinweis:* Der minimale Spannglied-Radius soll eigenhalten werden:  $R_{\min} = 3 \text{ m} \cdot \sqrt{\frac{P_{pk}}{\text{MN}}}$

- b) Bestimmen Sie (i) die elastischen Schnittgrößen infolge der äusseren charakteristischen Lasten ( $q_k + g_{0k} + g_{Ak}$ ) (Hilfestellung in Bild 4) sowie (ii) die Zwangsschnittgrößen infolge Vorspannung für  $t \rightarrow \infty$ . Die Ausrundung über dem mittleren Auflager soll für diese Teilaufgabe vernachlässigt werden. Die Schnittkraftverläufe aus (i) und (ii) müssen nicht superponiert werden.
- c) Betrachten Sie das Zwischenaufleger B für  $t \rightarrow \infty$ . Dekomprimiert der Querschnitt unter der Einwirkung der Eigenlast, Auflast und der Nutzlast? Sie dürfen mit Bruttoquerschnittswerten rechnen. Wenn Sie b) nicht gelöst haben, so rechnen Sie mit einem Zwangsmoment infolge Vorspannung von  $M_{ps} = 1.5 \text{ MNm}$ .
- d) Weisen Sie die Biegetragsicherheit des Trägers beim Auflager B nach. Bestimmen Sie die dafür zusätzlich erforderliche schlaffe Bewehrung.

- Hinweise:**
- Rechnen Sie mit einer mittleren Breite des Unterflansches von 1.89 m.
  - Für die initiale Dehnung des Spannglieds nach dem Vorspannen darf näherungsweise mit  $\Delta\varepsilon = 6.0 \cdot 10^{-3}$  gerechnet werden.



$$a = \frac{f_0}{f_0 - k} \cdot \left[ l - \sqrt{\frac{k}{f_0} \cdot (l^2 + 2 \cdot R \cdot k)} - 2 \cdot R \cdot k \right] \quad b = \frac{2 \cdot R \cdot f_0}{a} \quad c = \frac{2 \cdot R \cdot f_0^2}{a^2}$$

$$u = \frac{2 \cdot P \cdot k}{(l - a)^2} = \frac{2 \cdot P \cdot f_0}{(a^2 - 2 \cdot R \cdot f_0)} = \frac{8 \cdot P \cdot f}{l^2} \quad f = \frac{k \cdot l^2}{4 \cdot (l - a)^2} = \frac{f_0 \cdot l^2}{4 \cdot (a^2 - 2 \cdot R \cdot f_0)}$$

**Bild 5:** Parabelförmige Spanngliedgeometrie im Randfeld.

**Tabelle 1:** Spanngliedgeometrie im rechten Randfeld.

k [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	f [mm]	f <sub>0</sub> [mm]
815.2	12'558	1'229	127.3	1'106.5	1'301

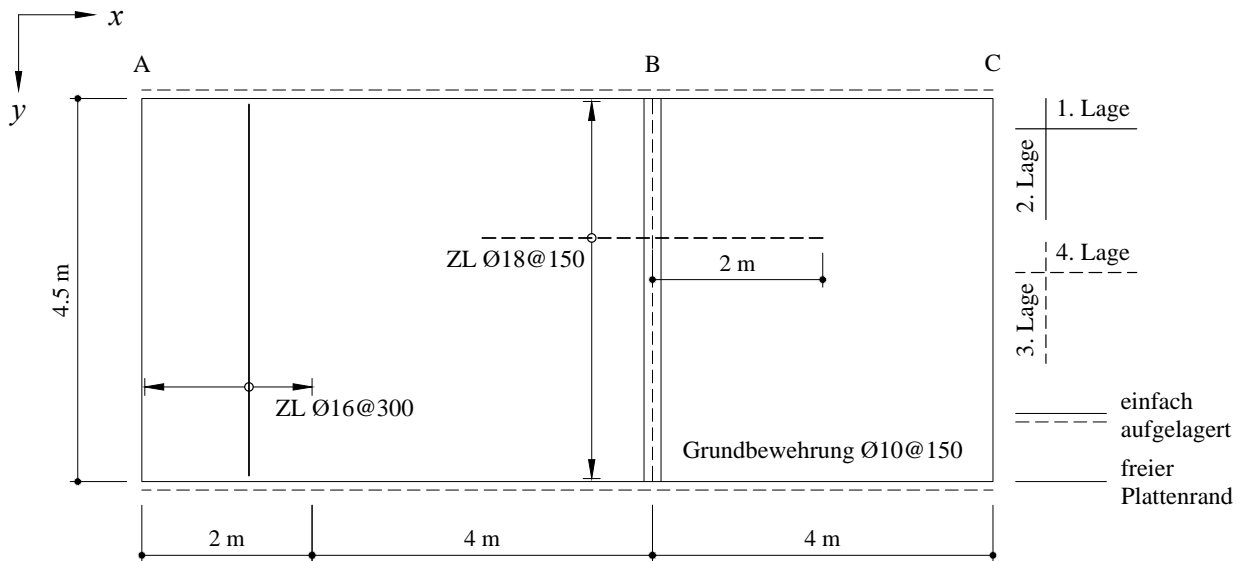
**Tabelle 2:** Spanngliedeinheiten VSL Y 1860 S7-15.7.

Bruchkraft	Stahlhüllrohr		Stahlquerschnitt	Anzahl Litzen	Spannglied-Einheit
	P <sub>pk</sub> [kN]	Ø <sub>i</sub> /Ø <sub>a</sub> [mm]	Exzentrizität e <sub>p</sub> [mm]		
3'906	80/87	11	2100	14	6-15

- Hinweise:**
- Die Spannung im Spannstahl ist über die gesamte Trägerlänge als konstant anzunehmen. Verluste aus Reibungseffekten und Verankerungsschlupf können Sie vernachlässigen.
  - Rechnen Sie mit einer initialen Vorspannkraft  $P_0 = 0.7 \cdot P_{pk}$ .
  - Die Langzeitverluste der Vorspannkraft dürfen als 15% der initialen Vorspannkraft und als über die Trägerlänge konstant angenommen werden.
  - Die Steifigkeit des Trägers kann als über die gesamte Länge konstant angenommen werden.

## Aufgabe 4

Die in Bild 6 dargestellte 0.3 m dicke Stahlbetonplatte wird neben ihrer Eigenlast durch eine gleichmässig über die ganze Plattenfläche verteilte Auflast  $g_{AK} = 15 \text{ kN/m}^2$  und Nutzlast  $q_k = 12 \text{ kN/m}^2$  (charakteristisches Niveau) belastet. Die Bewehrung der Platte besteht grundsätzlich aus einem unten- und obenliegenden orthogonalen Netz aus  $\text{Ø}10 \text{ mm}$  Stäben im Abstand von 150 mm. Zusätzlich zu dieser Grundbewehrung sind Zulagen gem. Bild 6 angeordnet. Die Platte ist an ihren Längsseiten einfach gelagert; die Zwischenwand ist ebenfalls als einfache Linienlagerung zu betrachten.



**Bild 6:** Grundriss der Platte und Bewehrungslayout

### Teil A

- Ist die eingelegte Grundbewehrung ( $\text{Ø}10@150 \text{ mm}$ ) genügend zur Verhinderung eines spröden Biegeversagens?
- Ermitteln Sie die Biegewiderstände unter Berücksichtigung der Zulagebewehrung.
- Führen Sie den Nachweis der Biege- und Querkrafttragsicherheit mithilfe der Streifenmethode. Wählen Sie unter Berücksichtigung der gegebenen Bewehrung eine sinnvolle Lastabtragung.

### Teil B

Betrachten Sie nun ausschliesslich den rechten Teil der Platte von der Zwischenwand B bis zum freien Plattenrand C. Der Biegewiderstand infolge der Grundbewehrung sei  $m_u = 60 \text{ kNm/m}$ . Der Biegewiderstand in  $x$ -Richtung über der Zwischenwand sei  $m'_u = 4 \cdot m_u$ .

- Infolge einer Nutzungsänderung erhöht sich die totale Last auf  $q_d = 90 \text{ kN/m}^2$  (Bemessungsniveau). Zeigen Sie mithilfe eines Fließgelenklinienmechanismus, dass die Tragsicherheit nicht erfüllt ist.

- Hinweise:**
- Die Druckbewehrung darf vernachlässigt werden.
  - Vereinfacht dürfen Sie für alle Biegewiderstände die mittlere statische Höhe der Grundbewehrung annehmen.