

## Stahlbeton I+II – Sessionsprüfung

(101-0126-01J)

# Beispiel-Prüfung 3

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

Studenten-Nr.: \_\_\_\_\_

### Bemerkungen

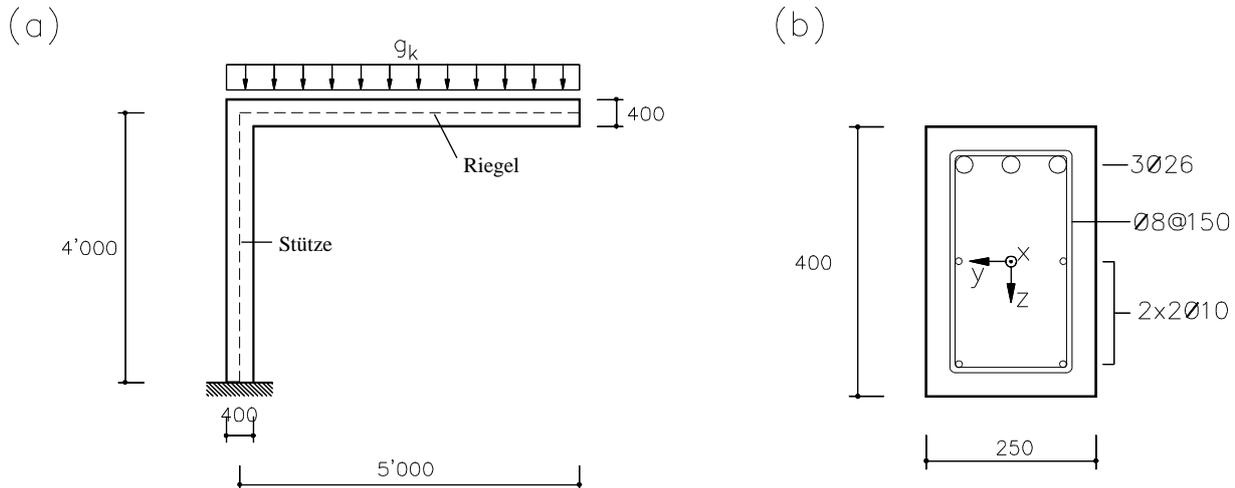
1. Sofern nichts anderes angegeben ist, wird von Beton C30/37 ( $D_{max} = 32$  mm,  $E_c = 33$  GPa), Betonstahl B500B und einer Bewehrungsüberdeckung  $c_{nom} = 35$  mm ausgegangen.
2. Der Abbiegeradius der Bügel und die Rippen der Bewehrungsstäbe dürfen für die Ermittlung der statisch wirksamen Höhe  $d$  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.

### Hilfstabellen

$\emptyset$ [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

In Bild 1 (a) ist eine schlaff bewehrte 4 m hohe Abfangkonstruktion aus Stahlbeton dargestellt. Sie weist einen rechteckigen Querschnitt 0.4 m x 0.25 m gemäss Bild 1 (b) auf. Ihr 5 m langer Riegel wird durch eine gleichmässig verteilte, noch nicht definierte Auflast  $g_k$  [kN/m] belastet. Das Eigengewicht der Konstruktion kann vernachlässigt werden.



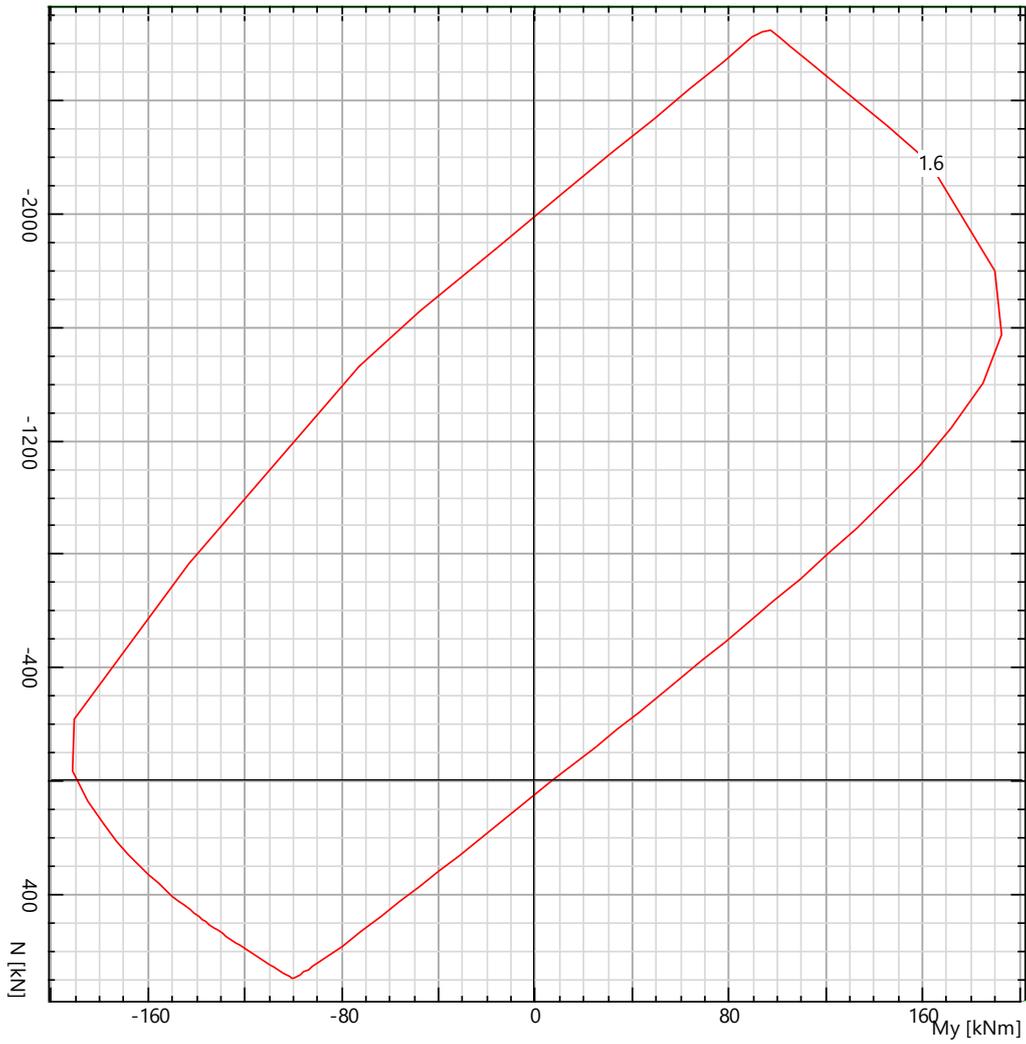
**Bild 1:** (a) Abfangkonstruktion und Belastung; (b) Querschnitt mit Bewehrung (Abmessungen in mm).

- Die Last  $g_k$  wird monoton gesteigert. Berechnen Sie den Wert von  $g_k$ , bei dem die ersten Risse im Riegel zu erwarten sind. Bei welchem Wert von  $g_k$  treten die ersten Risse in der Stütze auf?  
Hinweise: Berücksichtigen Sie den Einfluss der Normalkraft auf das Rissmoment. Effekte zweiter Ordnung können in diesem Aufgabenteil vernachlässigt werden. Es darf der reine Betonquerschnitt (Bruttoquerschnitt) betrachtet werden.
- Schätzen Sie die Traglast  $g_{u,d}$  der Stütze ab. Berücksichtigen Sie dazu die  $M-N$ -Interaktion und Effekte zweiter Ordnung. Es dürfen konservative Vereinfachungen gemäss SIA 262 Ziff. 4.3.7 gemacht werden.  
*Hinweis:* In Bild 2 ist das  $M_{Rd,y}-N_{Rd}$ -Interaktionsdiagramm des Bauteilquerschnitts aufgezeigt.
- Schätzen Sie die Traglast  $g_{u,d}$  der Stütze ab. Führen Sie in diesem Aufgabenteil eine Berechnung erster Ordnung durch ohne die  $M-N$ -Interaktion zu berücksichtigen (d.h. für reine Biegung) und ohne die Stahldehnungen zu begrenzen. Wie beurteilen Sie das Resultat hinsichtlich des Ergebnisses in Teilaufgabe b)?

Im Folgenden dürfen Effekte zweiter Ordnung und die  $M-N$ -Interaktion vernachlässigt werden.

- Ermitteln Sie die gerissene Biegesteifigkeit des Stützenquerschnitts.
- Welchen Rissabstand und welche Rissbreiten (auf der Höhe der Bewehrung) erwarten Sie entlang der Stütze unter einer Last von  $g_k = 8$  kN/m? Wenden Sie das Zuggurtmodell mit einem äquivalenten Bewehrungsgehalt an.

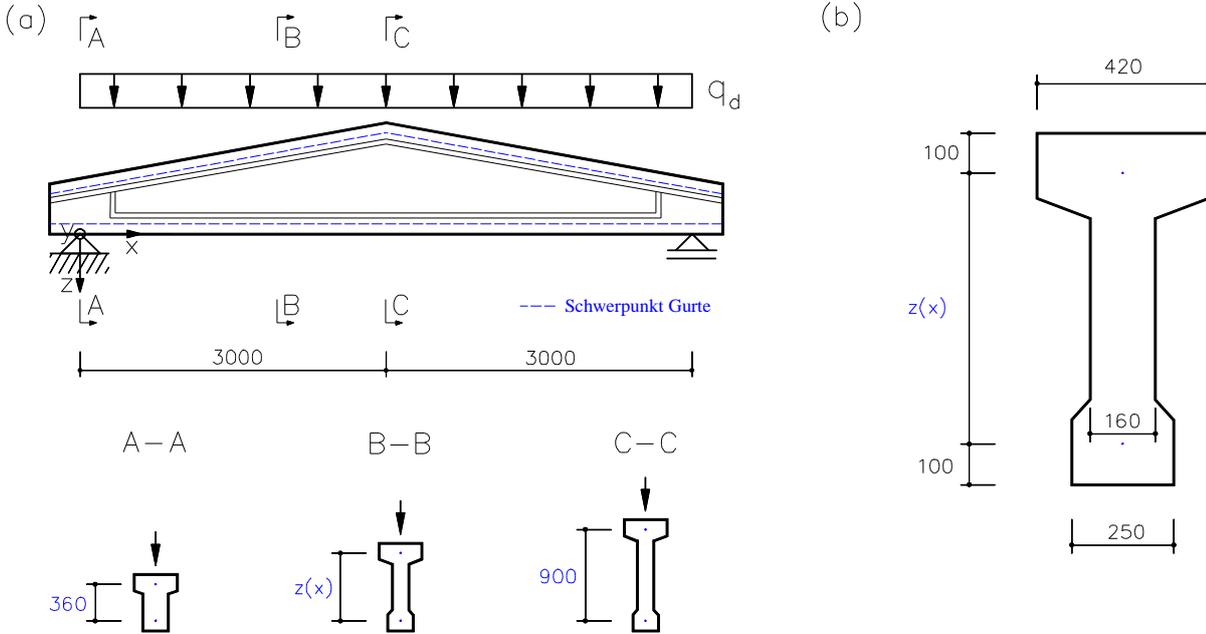
- Hinweise:**
- Der Tragsicherheit des Riegels kann als genügend vorausgesetzt werden.
  - Rechnen Sie mit dem Mittelwert der Betonzugfestigkeit  $f_{cm}$ .
  - Der Beitrag der konstruktiven Bewehrung ( $\text{Ø}10$ ) kann vernachlässigt werden.
  - Die Einflüsse von Kriechen und Schwinden können vernachlässigt werden.



**Bild 2:**  $M_{Rd}$ - $N_{Rd}$ -Interaktionsdiagramm (erzeugt mit FE-Programm *FAGUS 7* der *cupus AG*)

## Aufgabe 2

In Bild 3 (a) ist ein Satteldachbinder aus Stahlbeton dargestellt. Der insgesamt 6 m lange Träger ist einfach gelagert und weist eine variable Höhe auf, die linear von 0.56 m über dem Auflager auf 1.1 m in Feldmitte steigt. Der Querschnitt des Trägers ist in Bild 3 (b) ersichtlich. Der Träger wird durch eine Linienlast  $q_d = 150 \text{ kN/m}$  (Bemessungswert, inkl. Eigengewicht) belastet.



**Bild 3:** (a) Statisches System und Einwirkungen; (b) Trägerquerschnitt (Abmessungen in mm).

- a) Zeigen Sie, dass der Steg in einem Abstand von 2 m vom Auflager unbeanspruch ist, d.h. keine Querkraft vom Steg aufgenommen werden muss.

*Hinweis:* Die vertikale Komponente der Druckflanschkraft wirkt der Querkraft entgegen.

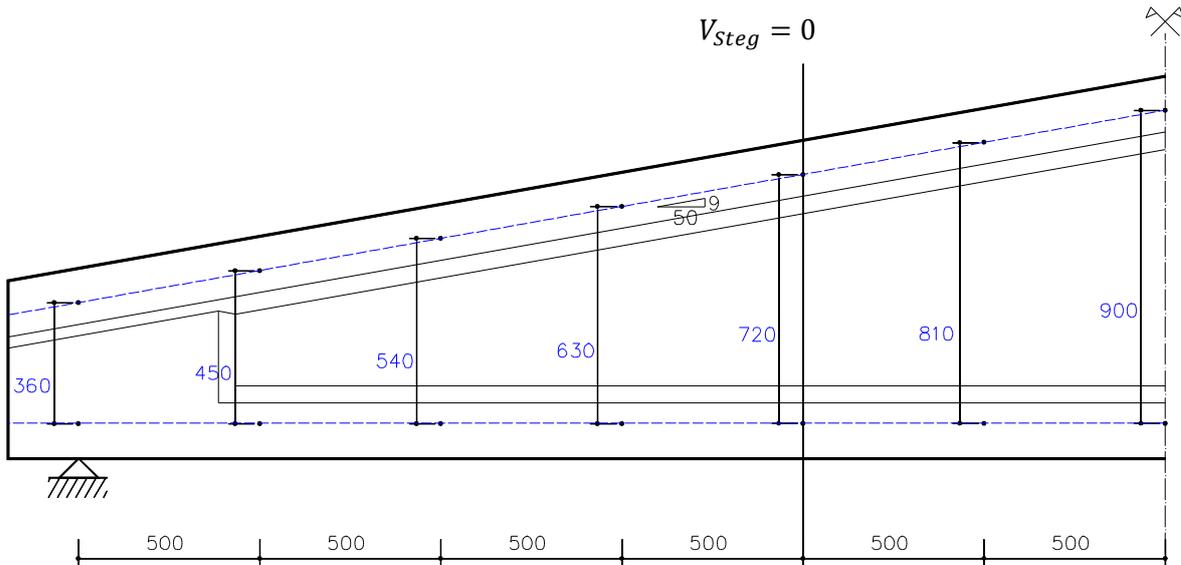
- b) Entwickeln Sie ein Spannungsfeld und das dazugehörige Fachwerkmodell für die Abtragung der gegebenen Belastung. Benützen Sie zur Darstellung des Spannungsfeldes und des Fachwerkmodells die Vorlagen in Bild 4 (b) und 4 (c) auf der folgenden Seite. Die Knoten des Spannungsfeldes bzw. des Fachwerkmodells sollen auf dem vordefinierten und mit Punkten dargestellten Raster zu liegen kommen.

*Hinweis:* Am Knick des Druckflansches ergibt sich eine Umlenkkraft, die zurückgehalten werden muss.

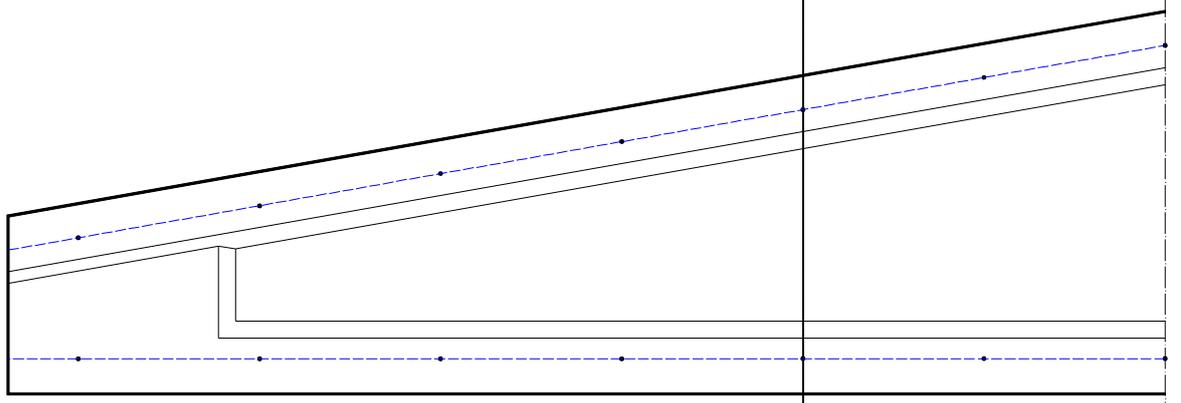
- c) Bemessen Sie die Biege- und Querkraftbewehrung des Trägers anhand des Fachwerkmodells.  
d) Der Bauherr möchte eine rechteckige Aussparung  $0.5 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$  in den Träger einlegen. Wo würden Sie als Ingenieur die Aussparung anordnen? Begründen Sie Ihre Antwort.

- Hinweise:**
- Die Resultierende der Gurtkräfte kann in allen Teilaufgaben im Schwerpunkt der Gurte wirkend angenommen werden. Der Schwerpunkt der Gurte ist jeweils 0.1 m vom oberen bzw. unteren Querschnittsrand entfernt (siehe Bild 3 (b)).
  - Die Schubanschlussbewehrung des Steges an die Flansche muss in dieser Aufgabe nicht bemessen werden.

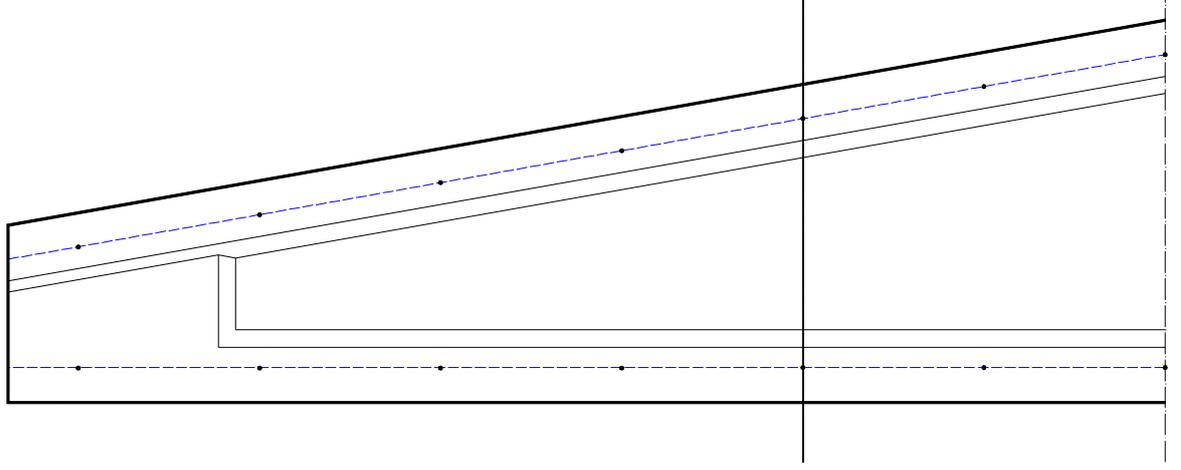
(a)



(b)



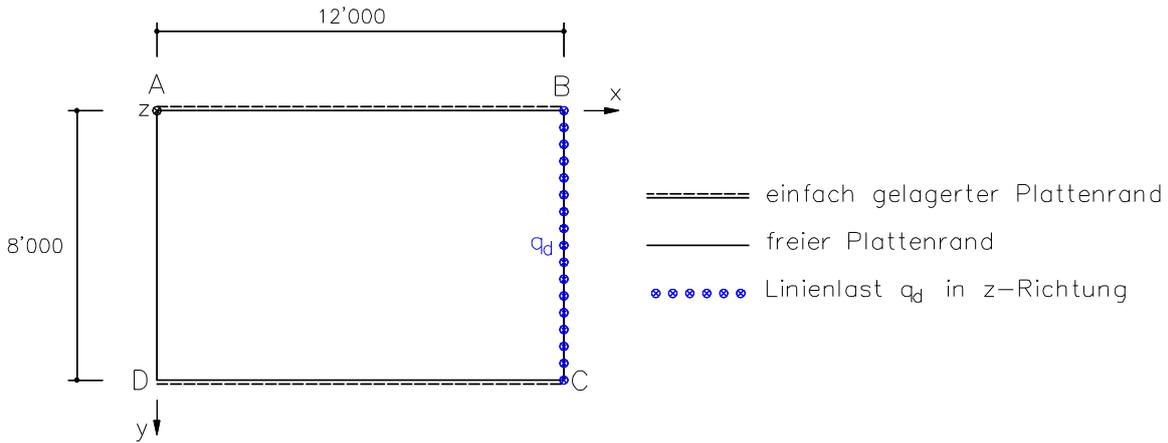
(c)



**Bild 4:** (a) Geometrische Hilfsgrößen (Abmessungen in mm); (b) Vorlage für Spannungsfeld; (c) Vorlage für Fachwerkmodell

**Aufgabe 3 (10 Punkte)**

Die in Bild 5 dargestellte rechteckige, schlaff bewehrte Stahlbetonplatte ABCD ist entlang AB und DC einfach gelagert. Die Platte weist eine Dicke von 0.2 m auf und wird entlang dem freien Rand BC durch eine Linienlast  $q_d = 15 \text{ kN/m}$  (Bemessungswert) belastet. Das Eigengewicht der Platte kann vernachlässigt werden. Die Betonüberdeckung beträgt  $c_{nom} = 20 \text{ mm}$ , der verwendete Beton C30/37 weist ein Grösstkorn von  $D_{max} = 16 \text{ mm}$  auf.



**Bild 5:** Grundriss der Platte und Belastung (Abmessungen in mm).

a) Bestimmen Sie die Mindestbewehrung der Platte.

Im Folgenden gehen Sie von einer zur  $x$ - und  $y$ -Achse parallelen oberen und unteren Netzbewehrung  $\text{Ø}10 @ 150 \text{ mm}$  aus. Es darf mit einer mittleren statischen Höhe für beide Richtungen gerechnet werden:  $d = 0.5 (d_x + d_y)$ .

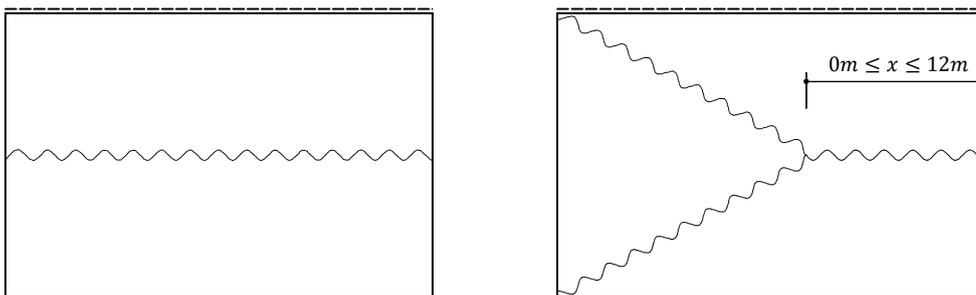
b) Erarbeiten Sie unter Verwendung der Streifenmethode eine Lastabtragung, bei welcher die Platte die gegebene Belastung abträgt. Zeigen Sie, dass die gegebene Bewehrung ausreichend ist und dass keine Querkraftbewehrung erforderlich ist.

*Hinweis:* Aktivieren Sie die ganze Platte: Tragen Sie die Belastung zuerst in  $x$ - und danach in  $y$ -Richtung ab.

c) Zeigen Sie mit Hilfe der Fliessgelenklinienmethode, dass die Traglast auf Bemessungsniveau  $q_{u,d}$  der Platte kleiner als  $55 \text{ kN/m}$  ist.

*Hinweis:* Die in Bild 6 dargestellten Fliessgelenklinienmechanismen führen zu einer Traglast grösser als  $55 \text{ kN/m}$  und sind somit nicht massgebend.

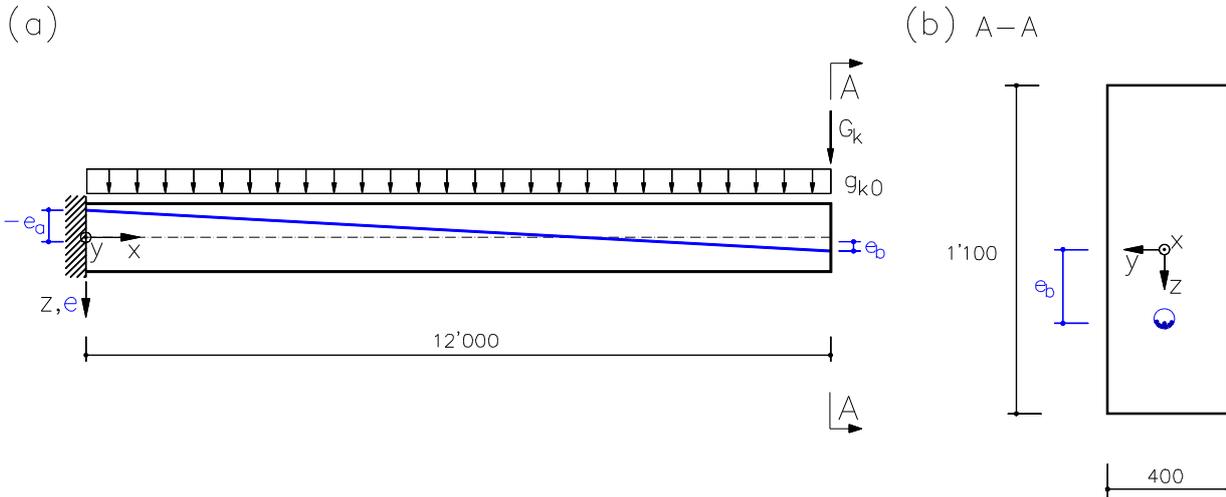
**Hinweise:** - Die Druckbewehrung darf vernachlässigt werden.



**Bild 6:** Fliessgelenklinienmechanismen, die zu einer Traglast grösser als  $55 \text{ kN/m}$  führen.

## Aufgabe 4

Der in Bild 7 (a) dargestellte Kragträger aus Spannbeton besitzt eine Länge von 12 m und weist einen Rechteckquerschnitt mit  $h \times b = 1.1 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$  auf. Neben des Eigengewichts wirkt am Balkenende eine ständig wirkende Einzellast  $G_k = 100 \text{ kN}$  (charakteristischer Wert).



**Bild 7:** (a) Statisches System, Belastung und Spanngliedgeometrie; (b) Querschnitt am Balkenende mit Vorspannkabel (Abmessungen in mm).

### TEIL A

Der Bauherr möchte, dass langfristig keine vertikalen Deformationen am Balkenende infolge der ständig wirkenden Einzellast ( $G_k$ ) entstehen. Als projektierender Ingenieur wählen Sie eine lineare Spanngliedführung mit der am Einspannquerschnitt maximalen Exzentrizität des Spannglied Schwerpunktes von der Querschnittsneutralachse von  $e_a = -445 \text{ mm}$ . Im Folgenden untersuchen Sie die optimale Lage zur Verankerung am Balkenende.

- a) Bestimmen Sie die erforderliche Vorspannkraft  $P_{\infty}$ , um die Deformationsbedingung des Bauherrn für jede der drei folgende Varianten einzuhalten:
  - i. Verankerung in der Neutralachse ( $e_b = 0$ )
  - ii. Verankerung am unteren Rand des Kerns ( $e_b = k_{inf}$ )
  - iii. Verankerung am oberen Rand des Kerns ( $e_b = -k_{sup}$ )

Welche der Varianten ist die effizienteste bezüglich Vorspannkraft?

Für die Berechnung der Durchbiegung kann von einem entlang der gesamten Trägerlänge ungerissenen, reinen Betonquerschnitt (Bruttoquerschnitt) ausgegangen werden.

- b) Skizzieren Sie qualitativ die Biegelinie des Trägers infolge der Vorspannung und  $G_k$  für alle drei in a) untersuchten Varianten.

### TEIL B

Im Folgenden wird der Einspannquerschnitt betrachtet. Das Vorspannkabel ist vom Typ VSL 6-16 mit 16 Litzen à  $150 \text{ mm}^2$  aus Spannstahl Y1860 und wird auf eine Spannung von  $\sigma_{p0} = 0.7 f_{pk}$  vorgespannt. Die Exzentrizitäten des Vorspannkabels am Einspannquerschnitt und am Balkenende betragen  $e_a = -445 \text{ mm}$  bzw.  $e_b = 0$ .

- c) Bestimmen Sie die Zwängungsschnittgrößen.
- d) Sind Risse im Einspannquerschnitt für  $t \rightarrow \infty$  im Gebrauchszustand zu erwarten? Rechnen Sie mit den Einwirkungen auf charakteristischem Niveau, dem Mittelwert der Betonzugfestigkeit  $f_{ctm}$  und dem Brutto-Betonquerschnitt.

- e) Weisen Sie die Tragsicherheit des Trägers im Einspannquerschnitt nach. Bestimmen Sie die dafür zusätzlich erforderliche schlaffe Bewehrung.

- Hinweise:**
- Die Spannung im Spannstahl ist über die gesamte Trägerlänge als konstant anzunehmen. Verluste aus Reibungseffekten und Verankerungsschlupf können Sie vernachlässigen.
  - Die Langzeitverluste der Vorspannkraft dürfen als 15% der initialen Vorspannkraft und als über die Trägerlänge konstant angenommen werden.
  - Die Kriechzahl des Betons darf als  $\rho = 2$  angenommen werden. Schwindefeffekte können vernachlässigt werden.