

## Stahlbeton I+II – Sessionsprüfung

(101-0126-01J)

# Beispiel-Prüfung 1

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

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

### Bemerkungen

1. Sofern nichts anderes angegeben ist, wird von Beton C30/37 ( $D_{\max} = 32$  mm) und Betonstahl B500B ausgegangen.
2. Für jede Aufgabe soll ein separater Papierbogen A3 verwendet werden.
3. Notizen auf der Aufgabenstellung werden nicht bewertet. Ausnahme bilden die Zeichnungen in der Vorlage für die Aufgabe 3 auf Seite 4 der Aufgabenstellung.
4. Sämtliche Unterlagen (Aufgabenstellung, Lösungsblätter) sind nach Prüfungsende mit Namen zu versehen und abzugeben.
5. Alle Abmessungen sind in [m] angegeben.

### 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	
$a_s$ [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

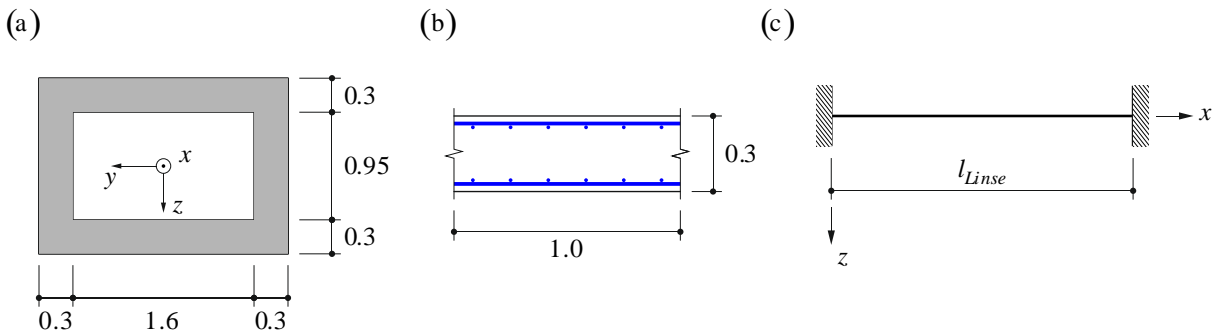
Vorspannung	$A$ [mm <sup>2</sup> ]	$f_{pk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\emptyset_{ext}$ [mm]	$e$ [mm]
CONA 7-06 Y1860	1050	1860	60	10

## Aufgabe 1

Sie bauen einen 200 m langen fugenlosen Abwasserkanal aus Ortbeton. Der Abwasserkanal wird mit einer Wand-, Deckenplatten- und Bodenplattenstärke von 0.3 m ausgeführt und hat eine Innenbreite von 1.6 m und eine Innenhöhe von 0.95 m (siehe Bild 1 (a)). Die Betonüberdeckung beträgt  $c_{nom} = 40$  mm. Es wird Beton vom Typ C35/45 verwendet.

Der Abwasserkanal wird nach dessen Erstellung mit 3.5 m Erdreich überfüllt ( $\gamma_{Boden} = 20$  kN/m<sup>3</sup>) und der Deckel zusätzlich durch eine verteilte Nutzlast von  $q_k = 22$  kN/m<sup>2</sup> (charakteristischer Wert) belastet.

Der Abwasserkanal fundiert mehrheitlich auf einer sehr steifen Moräne (starres Lager). Ungefähr in Kanalmitte in Längsrichtung ist eine Linse aus schlecht tragfähigem Boden mit noch nicht bestimmter Ausdehnung zu erwarten.



**Bild 1:** (a) Geometrie Kanalquerschnitt; (b) Bewehrungslayout pro m<sup>2</sup> Kanalquerschnitt (1./4. Lage quer, 2./3. Lage längs); (c) Statisches System in Längsrichtung zum Überspannen der Linse.

- Bemessen Sie die einzulegende Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten unter behinderten Verformungen für hohe Anforderungen gemäss SIA 262.
- Infolge Schwinden wird der Beton reißen. Welche Rissbreiten und welche Rissabstände erwarten Sie mit der gewählten Bewehrung in Längsrichtung?
- Bestimmen Sie die maximale Ausdehnung der Linse ( $l_{Linse}$ ) aus schlecht tragfähigem Boden, so dass die Biegetragsicherheit in Längsrichtung mit der in a) gewählten Bewehrung erfüllt ist.

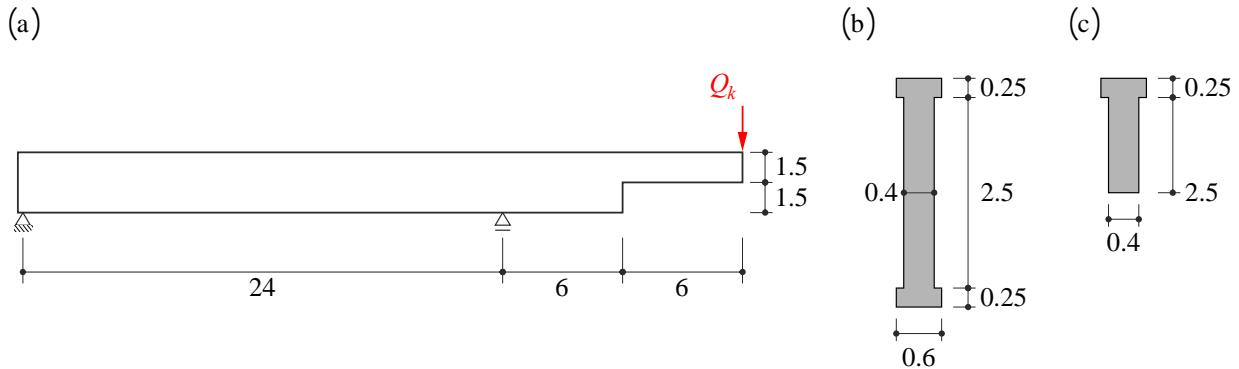
Es muss nur die Zugbewehrung im Flansch (Deckenplatte resp. Bodenplatte) berücksichtigt werden. Gehen Sie von einem Bewehrungslayout gem. Bild 1 (b) aus, welches Sie auf die ganze Kanalbreite extrapolieren können. Sie dürfen vereinfachend davon ausgehen, dass der Kanal am Rand der Linse auf der Moräne starr gelagert ist und die Linse keine Tragfähigkeit aufweist (statisches System gem. Bild 1 (c)).

- Schätzen Sie die zu erwartende Durchbiegung des Kanals auf Gebrauchsniveau (quasi-ständiger Lastfall,  $\psi_{2i} = 0$ ) im über die ganze Länge gerissenen Zustand bei einer Ausdehnung der Linse von 12 m und einer Längsbewehrung von  $\varnothing 14$ ,  $s = 150$  mm (Bewehrungslayout gemäss Bild 1 (b)) ab.

Für die gerissene Steifigkeitsberechnung muss nur die Zugbewehrung im Flansch (Deckenplatte resp. Bodenplatte) berücksichtigt werden. Kriechen soll mit einer Kriechzahl von  $\phi = 2$  berücksichtigt werden.

## Aufgabe 2

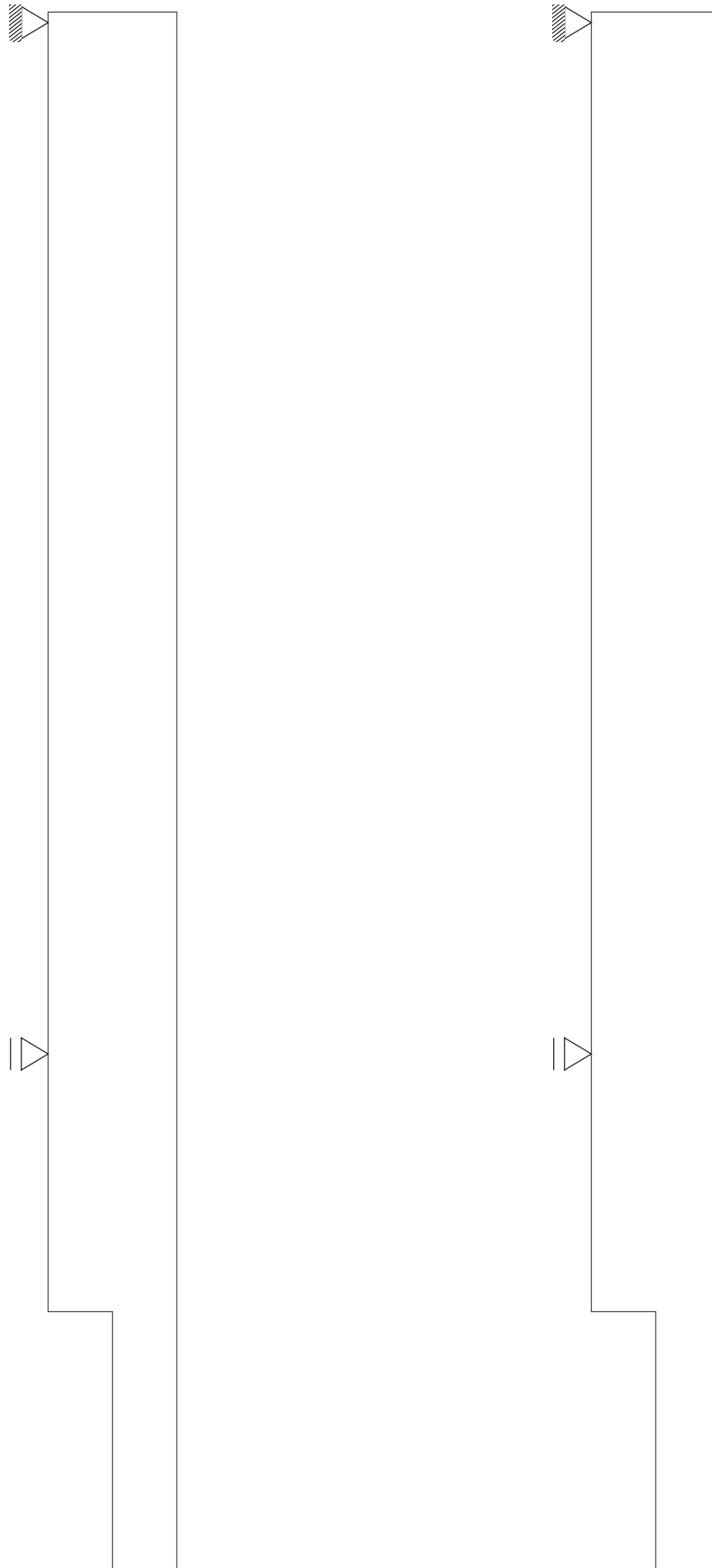
Der in Bild 2 dargestellte Träger hat eine Gesamtlänge von 36 m. Der Querschnitt des Trägers wird an der Stelle  $x = 30$  m auf die halbe Höhe verjüngt und der Druckflansch entfällt. Es wirkt an der in Bild 2a) gekennzeichneten Stelle eine Einzellast  $Q_k = 300$  kN (Nutzlast, charakteristischer Wert). Die Betonüberdeckung beträgt  $c_{nom} = 30$  mm. Es wird Beton vom Typ C 35/45 verwendet.



**Bild 2:** (a) Längsschnitt durch Träger; (b) Querschnitt 1 im Schnitt A-A; (c) Querschnitt 2 im Schnitt B-B.

- Bestimmen Sie die Auflagerkräfte und Schnittkraftverläufe (quantitativ) des Trägers.
- Bemessen Sie die Längsbewehrung über dem rechten Auflager (Querschnitt aus Bild 1 (b)).
- Berechnen Sie den Hebelarm der inneren Kräfte im Bruchzustand  $z$  des Querschnitts aus Bild 1 (c) an der Stelle unmittelbar rechts der Verjüngung ( $x = 30$  m). Nehmen Sie dabei an, dass an dieser Stelle die gleiche Längsbewehrung verwendet wird, wie Sie in Teilaufgabe b) für den Querschnitt über dem rechten Auflager bestimmt haben.
- Zeichnen Sie ein Spannungsfeld und entwickeln Sie daraus ein Fachwerkmodell des Trägers. Verwenden Sie dazu die Pläne in Bild 3 (a) und 3 (b) auf der folgenden Seite.
- Führen Sie die nötigen Tragsicherheitsnachweise für den Träger.

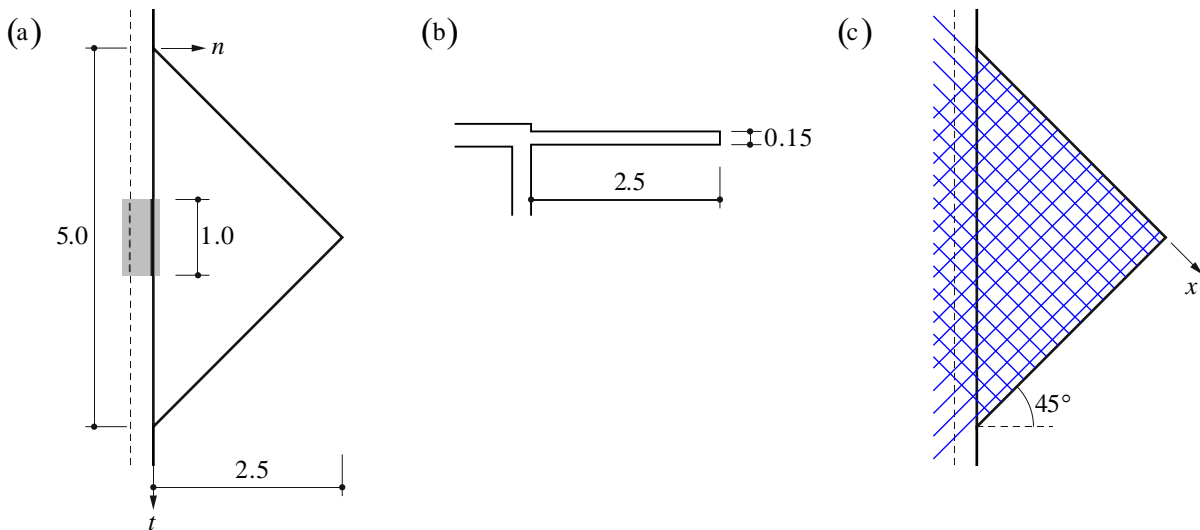
- Hinweise:**
- Es muss nur die Zugbewehrung im Flansch berücksichtigt werden (Wandbewehrung und Druckbewehrung vernachlässigen).
  - Es ist keine Abstufung der Bewehrung notwendig.

**Bild 3:** (a) Vorlage für Spannungsfeld im Massstab 1:200; (b) Vorlage für Fachwerkmodell im Massstab 1:200.

### Aufgabe 3

Sie planen einen dreieckigen Deckenvorsprung gem. Bild 4a) und 4b). Auf dem Deckenvorsprung befindet sich ein grosses Bücherregal, welches mit einer Flächenlast (Nutzlast) von  $q_k = 7 \text{ kN/m}^2$  (charakteristischer Wert) berücksichtigt werden muss. Ausserdem befindet sich auf der Decke ein Bodenaufbau (Auflast) mit  $g_{k1} = 2 \text{ kN/m}^2$ . Das Eigengewicht der Fassade können Sie vernachlässigen.

Der Deckenvorsprung hat eine Stärke von  $h = 0.15 \text{ m}$ . Die Decke wird im Grundriss gemäss Bild 3c) (Darstellung schematisch) bewehrt. Die Betonüberdeckung beträgt  $c_{nom} = 20 \text{ mm}$ , der verwendete Beton C30/37 weist ein Grösstkorn von  $D_{max} = 16 \text{ mm}$  auf.



**Bild 4:** (a) Geometrie Grundriss; (b) Geometrie Schnitt A-A 1:100; (c) Bewehrungslayout (schematisch) Grundriss.

- a) Bestimmen Sie die mittlere Biegemomenten- und die mittlere Querkraftbeanspruchung am Einspannquerschnitt beim grau schraffierten Bereich in Bild 4 (a) (max. Beanspruchung auf 1m verteilt, Biegebeanspruchung in Hauptmomentenrichtung).

*Hinweis:* Nehmen Sie für die Schnittkraftermittlung an, dass die Platte nur in  $n$ -Richtung trägt.

- b) Transformieren Sie die Momentenbeanspruchung am Einspannquerschnitt in die Richtung der Bewehrungslagen gemäss Bild 4 (c). Stellen Sie die Transformation in einem Mohr'schen Kreis dar.
- c) Bemessen Sie die Biegebewehrung aller vier Lagen des auskragenden Vordachs am Einspannquerschnitt gemäss dem Bewehrungslayout in Bild 4 (c).
- d) Führen Sie einen Querkraftnachweis des auskragenden Vordachs am Einspannquerschnitt nach SIA 262.
- e) Welche Vor- und Nachteile sehen Sie, wenn Sie die Bewehrung um  $45^\circ$  drehen würden?
- f) Schätzen Sie die Traglast auf Bemessungsniveau  $q_{u,d}$  des Vordachs mit der gewählten Bewehrung ab.

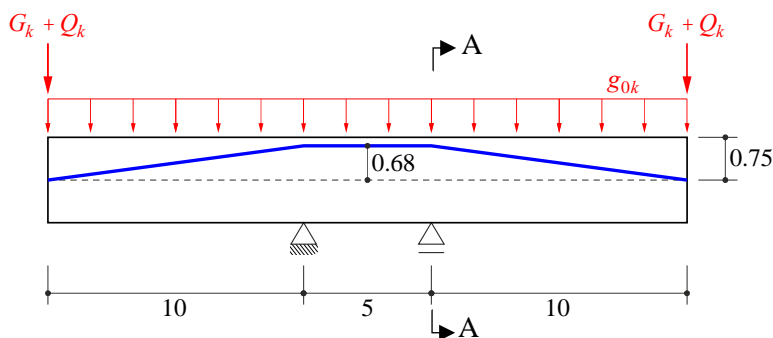
**Hinweise:** - Verwenden Sie zur Ermittlung des Biege widerstands vereinfachend jeweils eine mittlere statische Höhe  $d = 0.5 \cdot (d_x + d_y)$ .

## Aufgabe 4

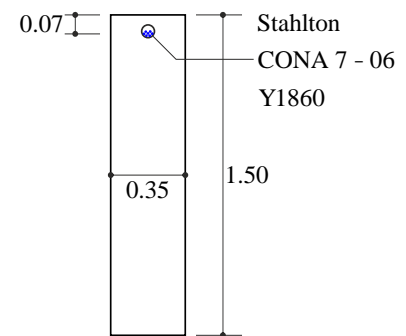
Der in Bild 5a) dargestellte vorfabrizierte Abfangträger aus Spannbeton hat eine Länge von 25 m. Er ist symmetrisch und einfach gelagert, wobei der Abstand zwischen den Auflagern 5 m beträgt und der Träger beidseitig um je 10 m auskragt. Neben seinem Eigengewicht wird er durch eine Einzellast an beiden Kragarmenden belastet. Die Einzellast setzt sich aus einem ständigen Anteil  $G_k = 80$  kN und einem noch unbekanntem veränderlichen Anteil  $Q_k$  zusammen (charakteristische Werte).

Der Querschnitt des Trägers ist aus Bild 5b) ersichtlich. Es handelt sich um einen Rechteckquerschnitt mit  $h \times b = 1.5$  m  $\times$  0.35 m. Die Bewehrungsüberdeckung  $c_{nom}$  beträgt 20 mm. Der Träger ist mit einem Vorspannkabel des Typs Stahlton CONA 7-06 mit 7 Litzen  $\dot{\text{a}}$  150 mm<sup>2</sup> aus Y1860 in einem Stahlhüllrohr auf eine Spannung von  $\sigma_{p0} = 0.7 \cdot f_{pk}$  vorgespannt (Vorspannung mit nachträglichem Verbund). Der Schwerpunktverlauf des Spannglieds ist linear und in Bild 5a) dargestellt. Die erforderliche schlaffe Bewehrung ist noch zu bestimmen.

(a)



(b)



**Bild 5:** (a) Statisches System, Belastung und Spanngliedgeometrie; (b) Querschnitt A-A (Abmessungen in m).

- Ist die gewählte Vorspannung ausreichend, um den ständigen Anteil der Einzellast  $G_k$  zu kompensieren (d. h. keine Verformung nach unten am Kragarmende unter  $G_k$ )?
- Bestimmen Sie die Spannungsverteilung im Querschnitt A-A für  $t \rightarrow \infty$  unter ständigen Lasten ( $g_k$  und  $G_k$  wirksam). Ist der Querschnitt unter der Annahme einer Zugfestigkeit des Betons von  $f_{ctm}$  gerissen?
- Bestimmen Sie unter der Annahme, dass der Träger für sämtliche Lasten voll vorgespannt ist, die maximal aufnehmbare Nutzlast  $Q_k$ , so dass die Durchbiegung  $w_{max}(Q_k) < 10$  mm.
- Weisen Sie die Tragsicherheit im Querschnitt A-A nach. Bestimmen Sie die dafür zusätzlich erforderliche schlaffe Bewehrung, mit  $Q_k$  gemäss Teilaufgabe c).
- Zeichnen Sie eine massstäbliche Bewehrungsskizze des Schnitts A-A.

- 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 über die Trägerlänge konstant angenommen werden.
  - Der Minimalradius über den Auflagern beträgt näherungsweise  $R_{min} = 0$ .
  - Sie können mit Bruttoquerschnittswerten des reinen Betons rechnen.