

In dieser Fallstudie analysieren wir das PAT Center von Architekt Richard Rogers und den Tragwerksplanern Ove Arups & Partners.

Das PAT Center in Princeton, NJ, USA ist ein eingeschossiges Gebäude mit einer Grundfläche von 3'700 m<sup>2</sup>. Die Firma PA Technology LTD, die auf Design und Telekommunikation spezialisiert ist, wollte einen möglichst flexiblen und erweiterbaren Raum als technologisches Zentrum, der an unvorhersehbare Raumanforderungen angepasst werden kann. Darum besteht das Gebäude aus einem einzigen grossen Raum, der beliebig unterteilbar ist. Entlang der Mittelachse sind seriell verteilte Pylonen angeordnet, von denen das Dach abgehängt wird.



### Aufgabe 1 Lastenberechnung

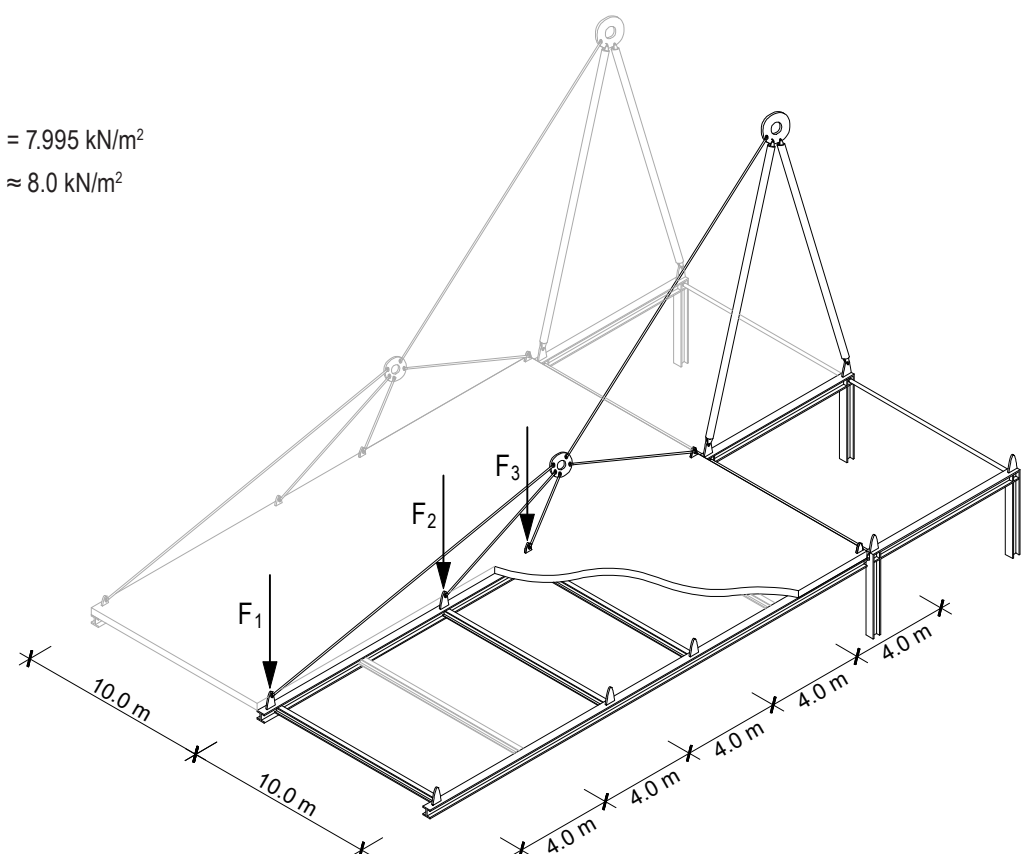
Die primären Längsbalken tragen zusammen mit den sekundären Querbalken eine Decke aus vorgefertigten Betonelementen mit einer Dicke von 12 cm. Beton hat eine Raumlast  $\gamma_k$  von 20 kN/m<sup>3</sup>. Darauf kommt das fertige Dach (Aufbau: Isolation, Kies, Abdeckungen) mit einer Flächenlast von  $\bar{g}_k = 1.3$  kN/m<sup>2</sup> zu liegen. Ebenso kann es in Princeton im Winter schneien, daher muss noch eine Schneelast von  $\bar{q}_k = 2$  kN/m<sup>2</sup> berücksichtigt werden.

- Berechnen Sie die gesamte Flächenlast für die Betonelemente sowie den Dachaufbau inklusive Schnee auf Bemessungsniveau und geben Sie den Wert gerundet auf ganze kN/m<sup>2</sup> an.
- Berechnen Sie mit dem gerundeten Wert aus 1a) die auf den Primärträger wirkenden Punktlasten  $F_{1-3}$ . In der axonometrischen Darstellung sind die jeweiligen Abmessungen der Lasteinflusszonen zu erkennen. Wichtig: Jeweils zwei Querbalken werden hierbei vernachlässigt, da ihr Gewicht nicht direkt von einem Seil abgetragen wird.

$$1a) \quad \bar{s}_{k \text{ beton}} = \gamma_k \cdot d = 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.12 \text{ m} = 2.4 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \bar{s}_d &= (\bar{s}_{k \text{ beton}} + \bar{g}_k) \cdot 1.35 + \bar{q}_k \cdot 1.5 \\ \bar{s}_d &= (2.4 \text{ kN/m}^2 + 1.3 \text{ kN/m}^2) \cdot 1.35 + 2 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.5 = 7.995 \text{ kN/m}^2 \\ \bar{s}_d &\approx 8.0 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

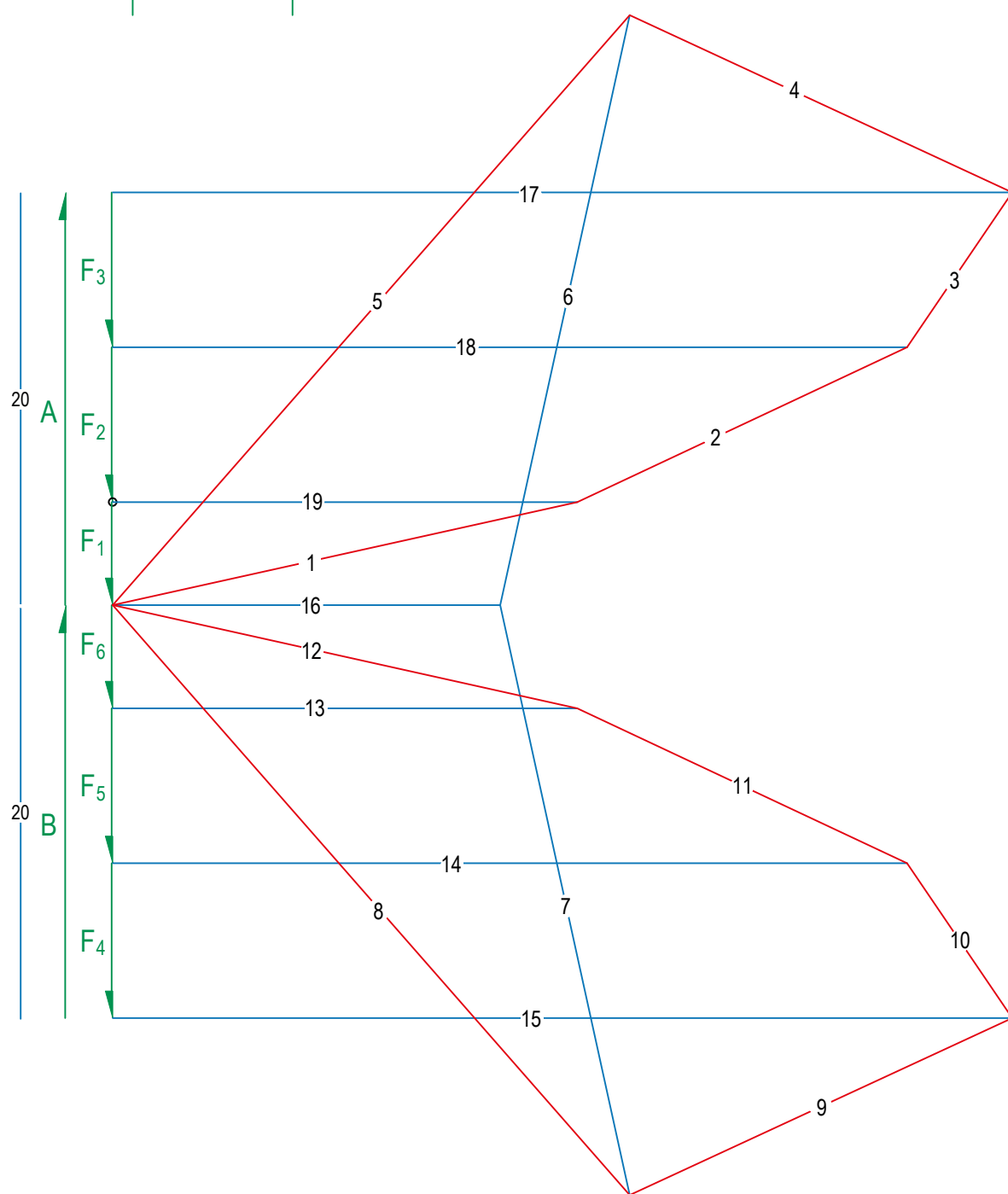
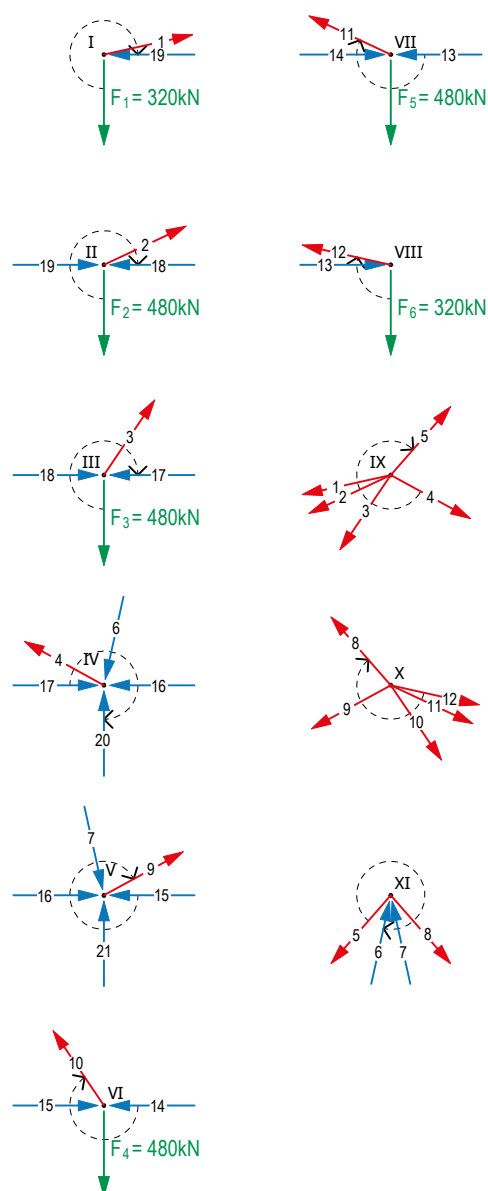
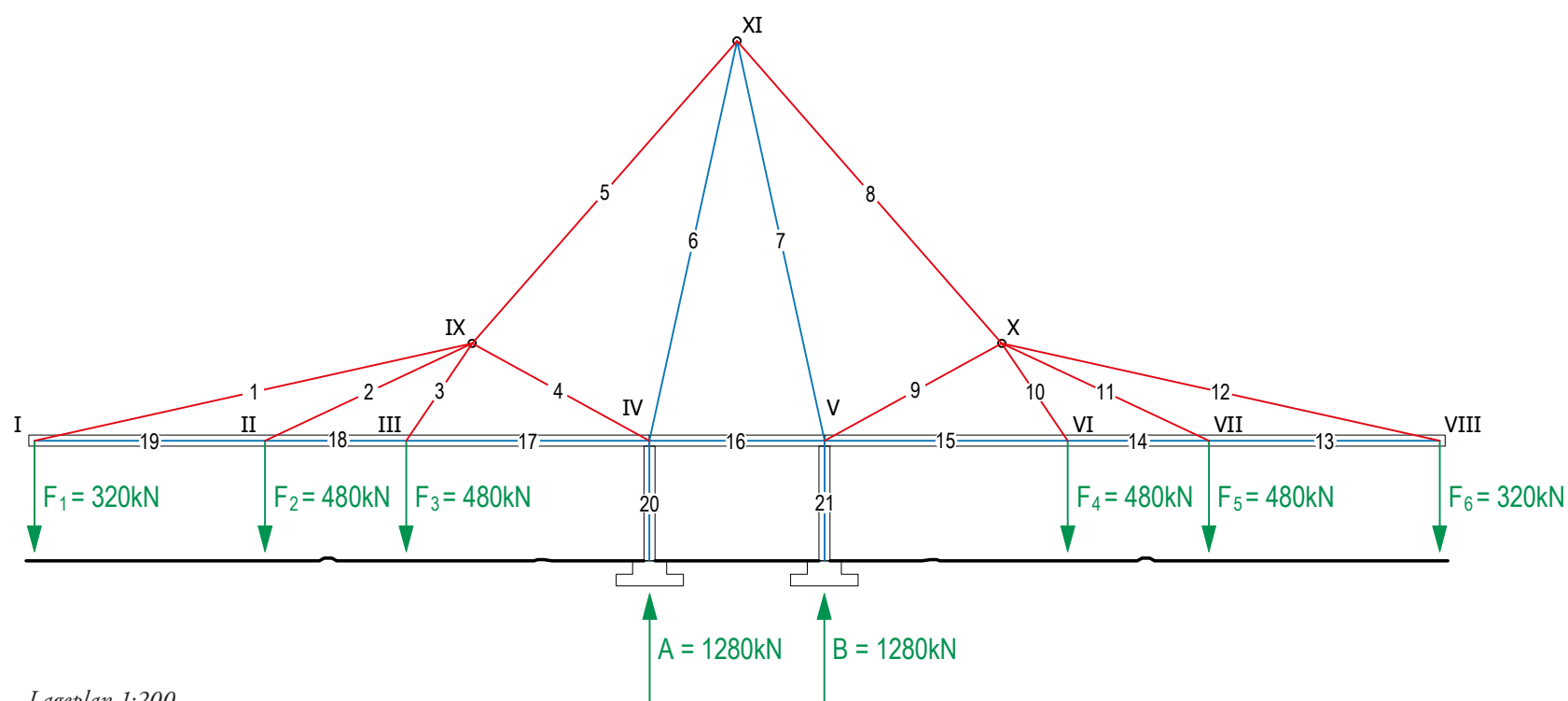
$$\begin{aligned} 1b) \quad F_{1,6} &= \bar{s}_d \cdot b \cdot t_1 = 8.0 \text{ kN/m}^2 \cdot 10 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} = 320 \text{ kN} \\ F_{2,3,4,5} &= \bar{s}_d \cdot b \cdot t_2 = 8.0 \text{ kN/m}^2 \cdot 10 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 480 \text{ kN} \end{aligned}$$



## Aufgabe 2 Kräfte im Querschnitt

Die Primärkonstruktion besteht aus Stahlseilen, Stahlrohren für die Pylone und Doppel-T-Trägern für die restlichen Druckelemente.

- Nachfolgend ist der Querschnitt des Gebäudes als Lageplan dargestellt. Zeichnen Sie den dazugehörigen Kräfteplan. Verwenden Sie die Punktlasten  $F_{1-3}$  aus 1b). Färben Sie im Lage- und im Kräfteplan Zugelemente rot und Druckelemente blau.
- Geben Sie für die Tragelemente Seil, Deck und Pylon, jeweils von dem massgebenden Segment die Lage und Beanspruchung an.



	Segment	Beanspruchung
Seil	5 / 8	2431.2 kN
Deck	15 / 17	2790.4 kN
Pylon	6 / 7	1872.2 kN

## Aufgabe 3 Dimensionieren der Hauptelemente

- a) Prüfen Sie, ob das Seil  $D=100\text{mm}$  aus Stahl S355 die maximale Zugbeanspruchung aus Aufg. 2 aushält.
- b) Der Pylon soll als rundes Hohlprofil aus Stahl S355 mit einem äusseren Durchmesser  $D_1=160\text{ mm}$  und einem inneren Durchmesser  $D_2=116\text{ mm}$  ausgeführt werden. Überprüfen Sie anhand des vorliegenden Diagramms, ob dieser Querschnitt unter der maximalen Druckbeanspruchung aus Aufg. 2 knicken würde. (Die jeweiligen Linien im Diagramm markieren die kritische Grenze des Knickens. Liegt ein Punkt darunter, so wird das Segment unter der gegebenen Belastung nicht einknicken.  $l_{cr}$  bedeutet dabei die Länge des Segments.) Wie könnte ein allfälliges Knicken verhindert werden?
- c) Der Hauptträger soll mit dem gezeigten Stahlprofil aus Stahl S500 ausgeführt werden. Die Flanschdicke entspricht derjenigen des Stegs und beträgt  $35\text{ mm}$ . Überprüfen Sie, ob diese Querschnittsfläche ausreicht, um die in Aufg. 2 ermittelte maximale Druckbeanspruchung des Decks aufzunehmen.

$$\begin{aligned}
 3a) \quad N_d / A_{ef} &\leq f_{cd} \\
 N_{d \text{ Seil}} &= 2431.2 \text{ kN} \\
 A_{ef} &= (50 \text{ mm})^2 \cdot \pi = 7853.98 \text{ mm}^2 \\
 f_{cd} &= 355 \text{ N/mm}^2 / 1.05 = 338.1 \text{ N/mm}^2 \\
 N_d / A_{ef} &= 309.55 \text{ N/mm}^2 \leq f_{cd} \\
 309.55 \text{ N/mm}^2 &\leq 338.1 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3b) \quad A &= r_1^2 \cdot \pi - r_2^2 \cdot \pi = 20106.19 \text{ mm}^2 - 10568.32 \text{ mm}^2 = 9537.87 \text{ mm}^2 \\
 N_d / (A \cdot f_{cd}) &= 1872.2 \text{ kN} / (9537.87 \text{ mm}^2 \cdot 338.1 \text{ N/mm}^2) = 0.581 \\
 l_{cr} / \sqrt{A} &= 11.6 \text{ m} / 97.662 \text{ mm} = 118.78
 \end{aligned}$$

Der ermittelte Punkt liegt oberhalb der kritischen Grenze für das vorgeschlagene Rundprofil. Dieses würde unter der Belastung einknicken. Es wäre aber möglich ein Doppel-T-Profil zu wählen, das in Stegrichtung belastet wird.

$$\begin{aligned}
 3c) \quad A_{\text{Steg}} &= 35 \text{ mm} \cdot 165 \text{ mm} = 5775 \text{ mm}^2 \\
 A_{\text{Flansche}} &= 35 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 2 = 14000 \text{ mm}^2 \\
 A_{ef} &= 19775 \text{ mm}^2 \\
 N_d / A_{ef} &\leq f_{cd} \\
 N_{d \text{ Deck}} &= 2790.4 \text{ kN} \\
 f_{cd} &= 500 \text{ N/mm}^2 / 1.05 = 476.2 \text{ N/mm}^2 \\
 N_d / A_{ef} &= 141.11 \text{ N/mm}^2 \leq f_{cd} \\
 141.11 \text{ N/mm}^2 &\leq 476.2 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

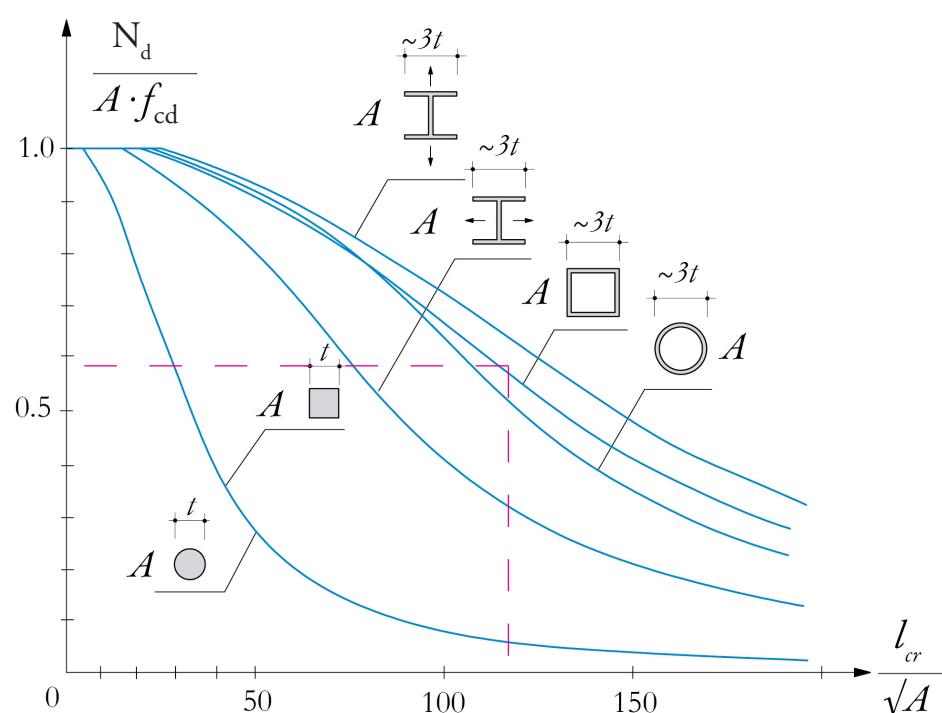
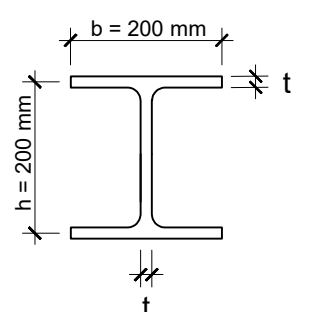


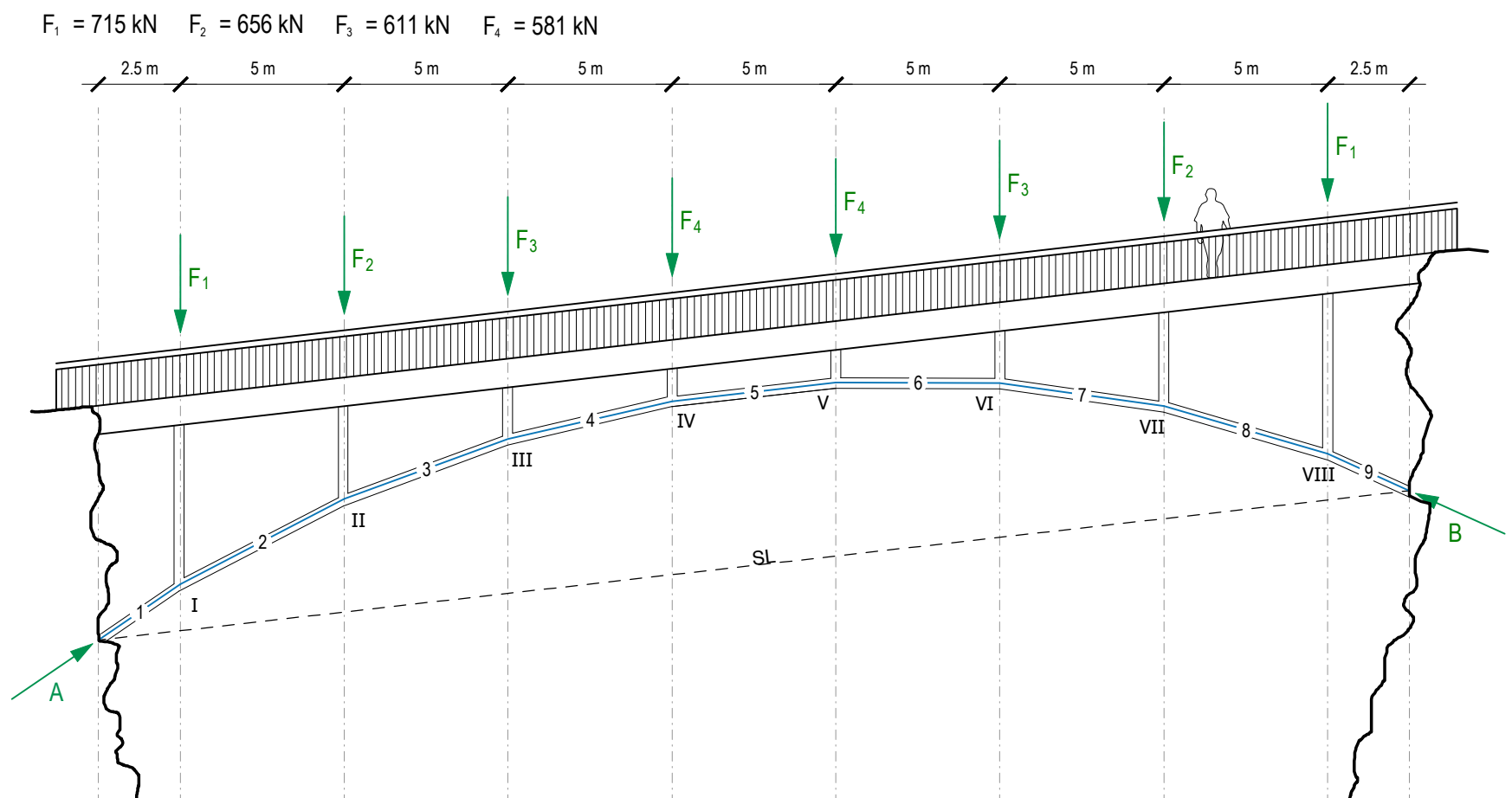
Diagram Knicken



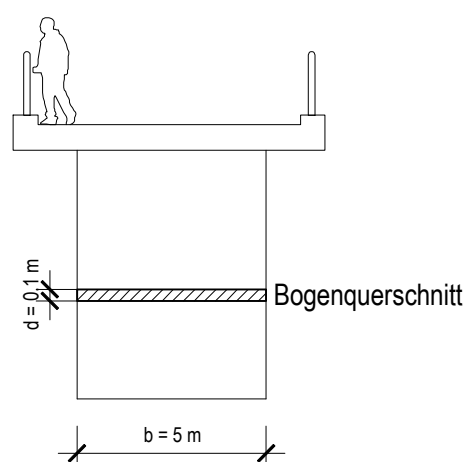
Querschnitt Hauptträger

### Zusatzaufgabe 1 Bogenbrücke aus Beton

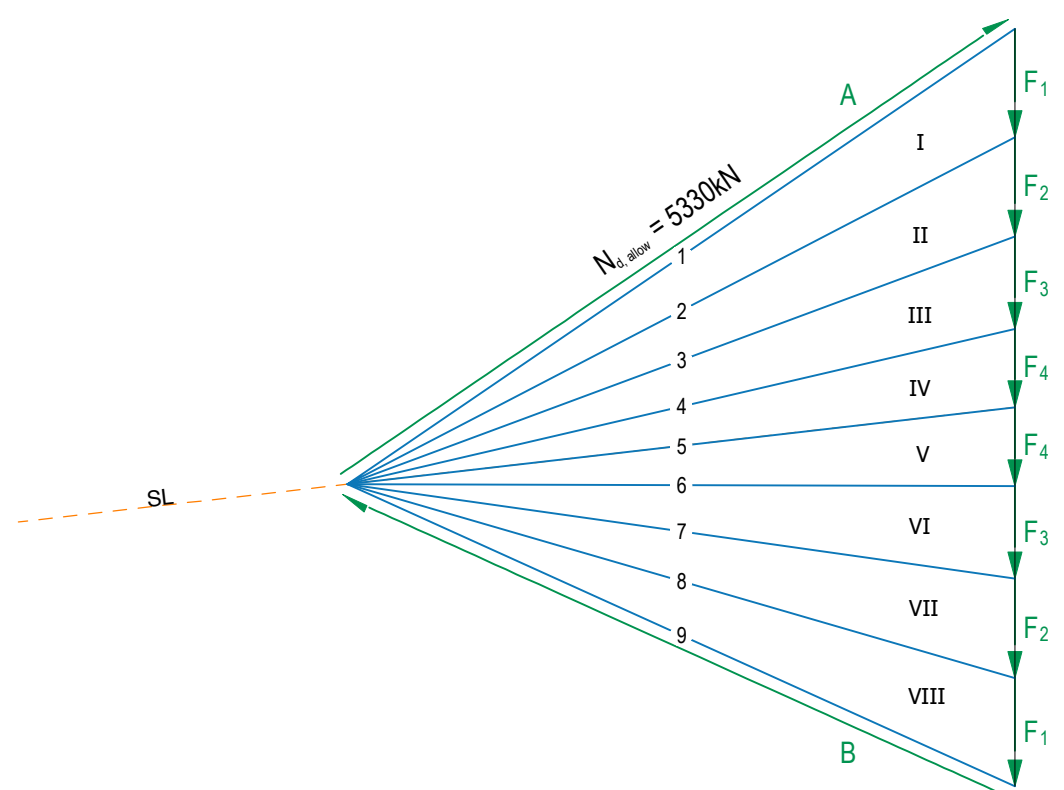
- Berechnen Sie zuerst die maximal erlaubte Normalkraft  $N_{d,allow}$  im Bogen mit Hilfe der vorgegebenen maximalen Druckfestigkeit des Betons C16/20 von  $f_{ck}=16 \text{ N/mm}^2$  und dem Widerstandsbeiwert  $\gamma_m = 1.5$ . Die Abmessungen des Bogenquerschnitts sind  $d=0.1\text{m}$  und  $b=5.0\text{m}$ .
- Bestimmen Sie nun die Form des Betonbogens. Das mittlere Segment des Bogens soll parallel zum Deck sein. Zeichnen Sie den Kräfteplan und Lageplan und geben Sie die Größe, Lage und die Richtung der Auflagerkräfte an.



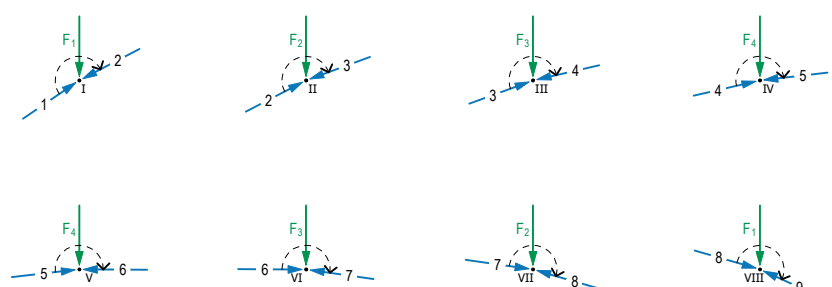
Lageplan 1:200



Querschnitt 1:200


Kräfteplan 1cm  $\hat{=}$  500kN

$$\begin{aligned}
 a) \quad A_{eff} &= b \cdot d = 5000 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} = 500'000 \text{ mm}^2 \\
 f_{cd} &= f_{ck} / \gamma_m = 16 \text{ N/mm}^2 / 1.5 = 10.66 \text{ N/mm}^2 \\
 N_{d,allow} &= f_{cd} \cdot A_{eff} = 10.66 \text{ N/mm}^2 \cdot 500'000 \text{ mm}^2 = 5330 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



## Zusatzaufgabe 2 Estádio Municipal de Braga von Eduardo Souto de Moura

- Über den beiden 55m breiten Tribünen sind Betonfertigplatten an den Hängeseilen aufgelagert und befestigt. Jede Betonplatte mit einer Breite  $b = 3.7 \text{ m}$  und einer Materialstärke  $d = 240 \text{ mm}$  ist an zwei Hängeseilen befestigt. Berechnen Sie die konstante Linienlast  $g_d$  pro Seil auf Bemessungsniveau und geben Sie den Wert in  $\text{kN/m}$  an. Raumlaster Stahlbeton  $\gamma_k = 25 \text{ kN/m}^3$
- Nach starkem Schneefall ist der Schnee auf der Nordseite des Dachs liegen geblieben, während er auf der Südseite geschmolzen ist. Dadurch entsteht eine asymmetrische Belastung. Berechnen Sie die Nutzlast  $q_k$ . Flächenlast Schnee  $\bar{q}_k = 5.4 \text{ kN/m}^2$
- Finden Sie die statische Form dieses hängenden Seiles, welches zwischen den Auflagern A und B spannt. Die maximale Seilkraft beträgt  $2'454 \text{ kN}$ . Zeichnen Sie den Lage- und Kräfteplan. Wie gross sind die Auflagerkräfte A und B?
- Dimensionieren Sie das Seil aus Stahl S500. Geben Sie den Durchmesser  $D$  gerundet auf ganze  $\text{mm}$  an.

$$\begin{aligned} \text{a) } A &= l \cdot b = 3.7 \text{ m} \cdot 0.24 \text{ m} = 0.89 \text{ m}^2 \\ g_k &= A \cdot \gamma_k = 0.89 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 22.2 \text{ kN/m} \\ g_d &= g_k \cdot \gamma_G = 22.2 \text{ kN/m} \cdot 1.35 = 30.0 \text{ kN/m} \\ g_d \text{ pro Seil: } &30.0 \text{ kN/m} / 2 = 15 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } R_L &= g_d \cdot l = 15 \text{ kN/m} \cdot 55 \text{ m} = 825 \text{ kN} \\ R_R &= g_d \cdot q_d \cdot l = 2 \cdot 15 \text{ kN/m} \cdot 55 \text{ m} = 1'650 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } q_k &= \bar{q}_k \cdot l = 5.4 \text{ kN/m}^2 \cdot 3.7 \text{ m} = 20 \text{ kN/m} \\ q_d &= q_k \cdot \gamma_Q = 20 \text{ kN/m} \cdot 1.5 = 30 \text{ kN/m} \\ q_d \text{ pro Seil: } &30.0 \text{ kN/m} / 2 = 15 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } N_d &= 2'454 \text{ kN} \\ f_{td} &= f_{tk} / \gamma_M = 500 \text{ N/mm}^2 / 1.05 = 476.2 \text{ N/mm}^2 \\ A_{req} &= N_d / f_{td} = 2'454 \text{ kN} / 476.2 \text{ N/mm}^2 = 5'153 \text{ mm}^2 \\ D &= \sqrt{4 \cdot A / \pi} = \sqrt{4 \cdot 5'153 \text{ mm}^2 / \pi} = 82 \text{ mm} \end{aligned}$$

