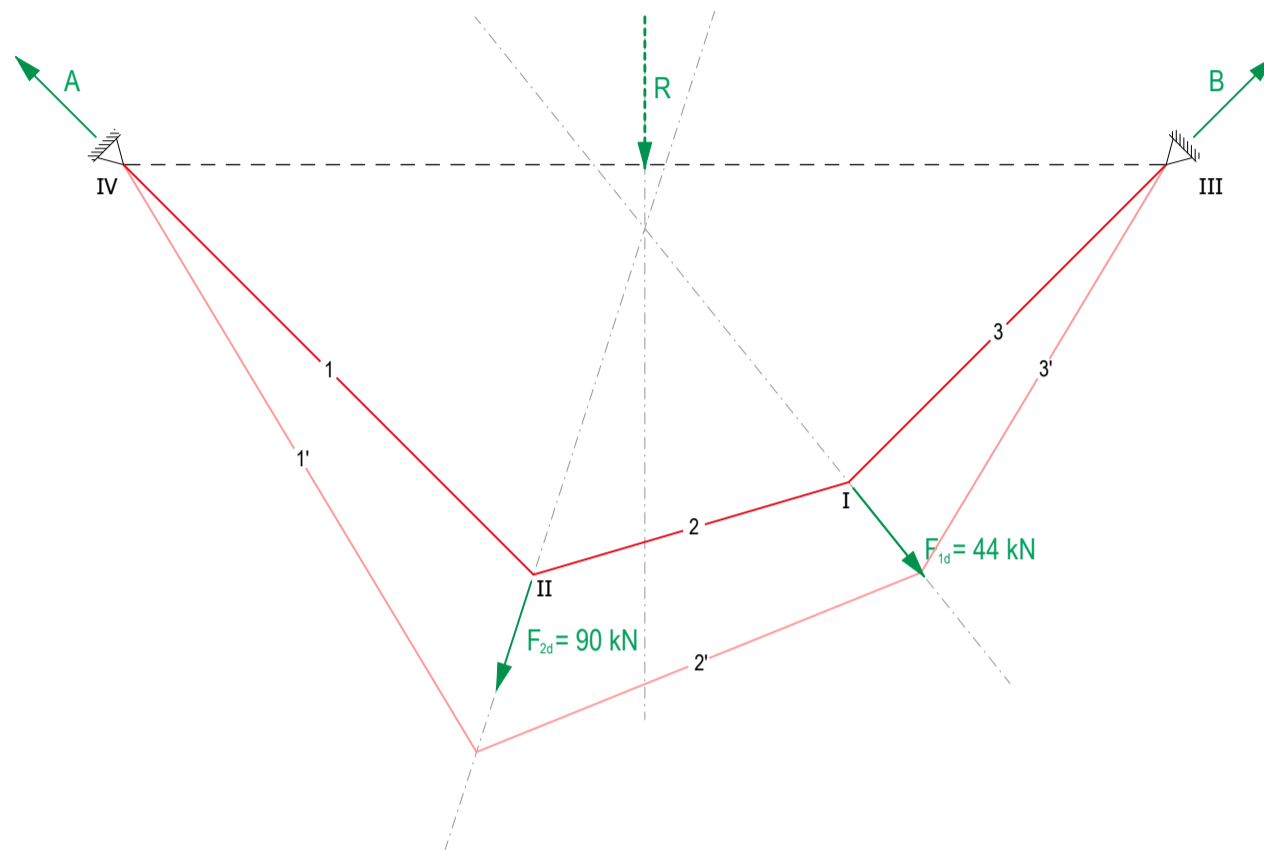
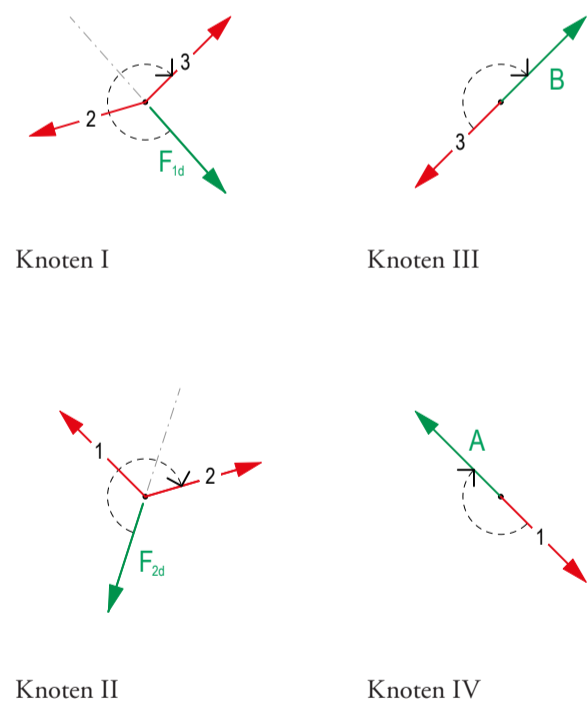


Aufgabe 1 Seil mit mehreren Belastungen

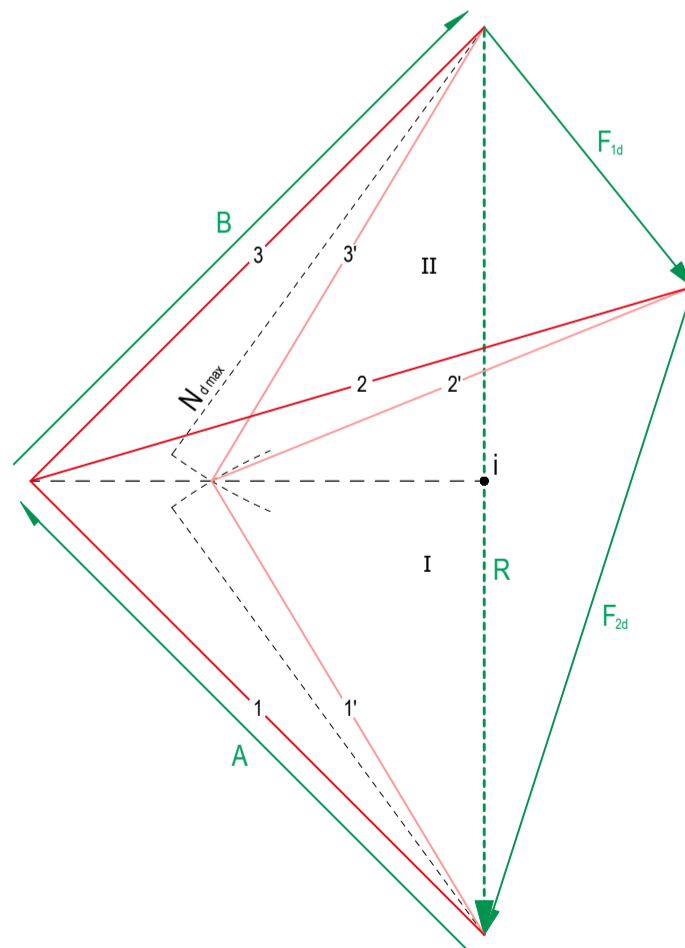
- a) Zeichnen Sie für die gegebene Situation die dazugehörigen Subsysteme und den Kräfteplan. Geben Sie die Grösse der Auflagerkräfte sowie die der maximalen Beanspruchung in der Tabelle an. Markieren Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.
- b) Das Seil kann eine maximale Beanspruchung $N_{d,max} = 70\text{kN}$ aufnehmen. Finden Sie mit Hilfe des Kräfteplans die daraus resultierende Form des Seils und zeichnen Sie diese in den bestehenden Lageplan.



Lageplan 1:50



Subsystem



A [kN]	B [kN]	$N_{d,max}$ [kN]
85	85	92.2

Aufgabe 2 Materialeigenschaften

Um ein Gefühl dafür zu erhalten, wie sich verschiedene Materialien bei Zug- und Druckbelastungen verhalten, vergleichen wir in der Folge Holz (Fichte), Stahl (S235) und Beton (C20/25).

- Vervollständigen Sie die Tabelle mit Werten aus der Formelsammlung und ihren eigenen Berechnungen.
- Gegeben ist eine Zugbeanspruchung von $N_d = 12 \text{ kN}$. Berechnen Sie für die drei Materialien die benötigte Querschnittsfläche A_{req} die zur Aufnahme von N_d erforderlich ist. Die Querschnittsfläche entspricht einem quadratischen Vollprofil. Berechnen Sie die Seitenlänge a des Profils für jedes der drei Materialien und vergleichen Sie diese. ($A_{\text{req}} = a^2$)
- Wiederholen Sie b) nun jedoch mit einer Druckbeanspruchung von $N_d = 12 \text{ kN}$.
- Was fällt Ihnen beim Vergleich der verschiedenen Querschnitte auf?
- Welches Material verhält sich am sprödesten, und welches am duktilsten bei einer Belastung auf Zug? Konsultieren Sie dazu die Spannungs-Dehnungs-Diagramme der Vorlesung zum Thema «Material und Dimensionierung».

a)

	Holz Fichte	Stahl S235	Beton C20/25
γ_M	1.7	1.05	1.5
f_{tk}	14 N/mm ²	235 N/mm ²	1.5 N/mm ²
f_{td}	8.2 N/mm²	223.8 N/mm²	1 N/mm²
f_{ck}	20 N/mm ²	235 N/mm ²	20 N/mm ²
f_{cd}	11.8 N/mm²	223.8 N/mm²	13.3 N/mm²

b)

Holz
 $N_d = 12'000 \text{ N}$
 $f_{td} = 8.2 \text{ N/mm}^2$
 $A_{\text{req}} = N_d / f_{td} = 1'464 \text{ mm}^2$
 $a = 39 \text{ mm}$

Stahl
 $N_d = 12'000 \text{ N}$
 $f_{td} = 223.8 \text{ N/mm}^2$
 $A_{\text{req}} = N_d / f_{td} = 54 \text{ mm}^2$
 $a = 8 \text{ mm}$

Beton
 $N_d = 12'000 \text{ N}$
 $f_{td} = 1 \text{ N/mm}^2$
 $A_{\text{req}} = N_d / f_{td} = 12'000 \text{ mm}^2$
 $a = 110 \text{ mm}$

c)

Holz
 $N_d = 12'000 \text{ N}$
 $f_{cd} = 11.8 \text{ N/mm}^2$
 $A_{\text{req}} = N_d / f_{cd} = 1'017 \text{ mm}^2$
 $a = 32 \text{ mm}$

Stahl
 $N_d = 12'000 \text{ N}$
 $f_{cd} = 223.8 \text{ N/mm}^2$
 $A_{\text{req}} = N_d / f_{cd} = 54 \text{ mm}^2$
 $a = 8 \text{ mm}$

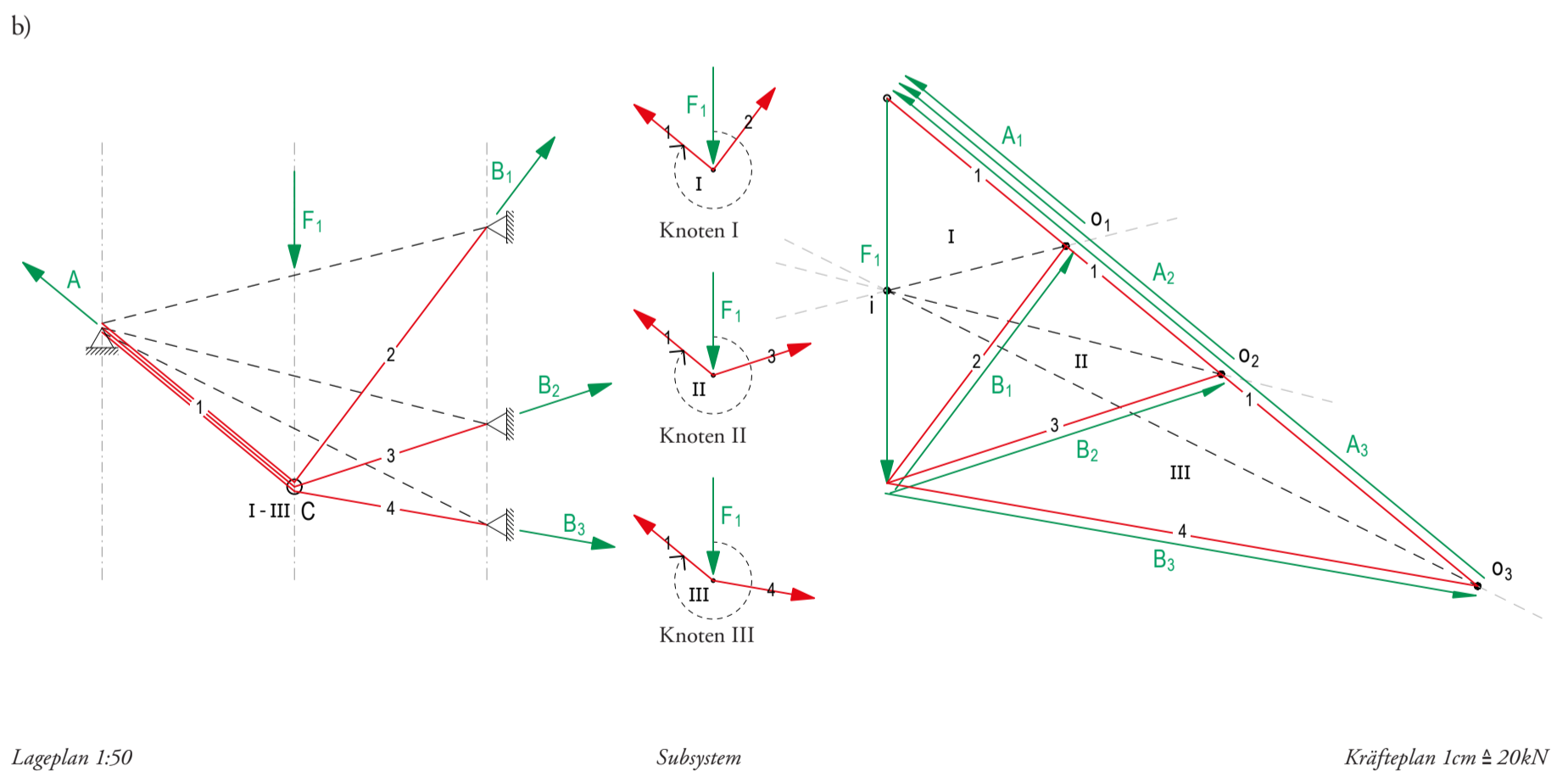
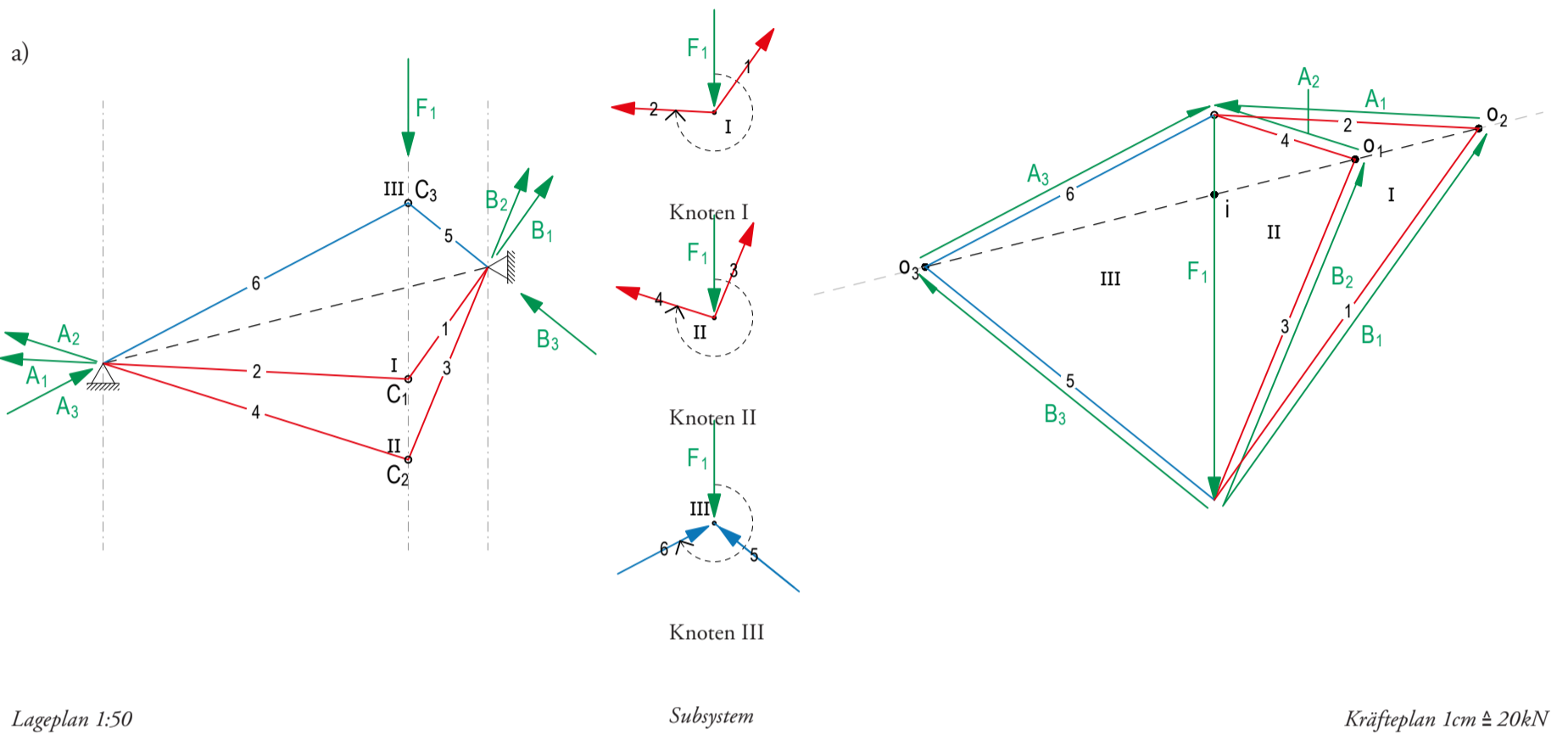
Beton
 $N_d = 12'000 \text{ N}$
 $f_{cd} = 13.3 \text{ N/mm}^2$
 $A_{\text{req}} = N_d / f_{cd} = 903 \text{ mm}^2$
 $a = 30 \text{ mm}$

d) Bei gleicher Zugbelastung benötigt Beton den grössten Querschnitt. Das Material kann Zugkräfte also nur schlecht aufnehmen und sollte daher eher auf Druck belastet werden. Stahl hingegen kann Zug auch bei kleinen Querschnitten gut aufnehmen. Daher wird im Hochbau oft eine Kombination aus beiden Materialien, der sogenannte Stahlbeton verwendet.

e) Beton ist sehr spröde; Das Material verformt sich nur wenig sondern bricht resp. reisst schon bei einer geringen Zugbelastung. Stahl hat eine lange plastische Phase, d.h. das Material verformt sich erst stark, bevor es bricht – Stahl ist also ein duktileres Material.

Aufgabe 3 Schlusslinie

- Die erste Situation zeigt drei Tragwerke mit unterschiedlicher statischer Höhe. Zeichnen Sie den entsprechenden Kräfteplan für die drei Tragwerke. Vervollständigen Sie den Lage- und Kräfteplan mit der Schlusslinie und finden Sie den Schlusslinienschnittpunkt i sowie den jeweiligen Pol o . Markieren Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.
- In der zweiten Situation verändert sich das Auflager B und damit die Schlusslinie. Gehen Sie gleich vor wie in a).
- Was stellen Sie beim Vergleich der unterschiedlichen Tragwerkssysteme im Bezug auf die Schlusslinie, den Schnittpunkt i und den Pol o fest?

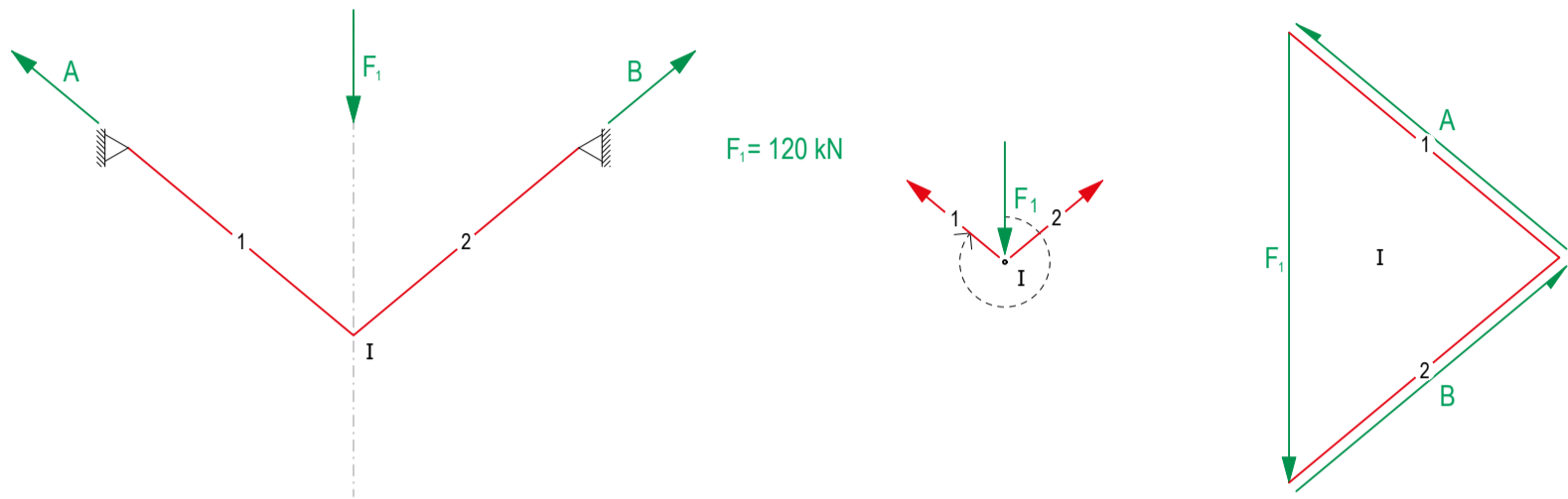


- c) Situation b) zeigt, dass solange die Belastung gleich bleibt, sich alle Schlusslinien im Punkt i auf der Belastungslinie schneiden. Situation a) zeigt, dass alle Pole o auf der jeweiligen Schlusslinie zu liegen kommen.

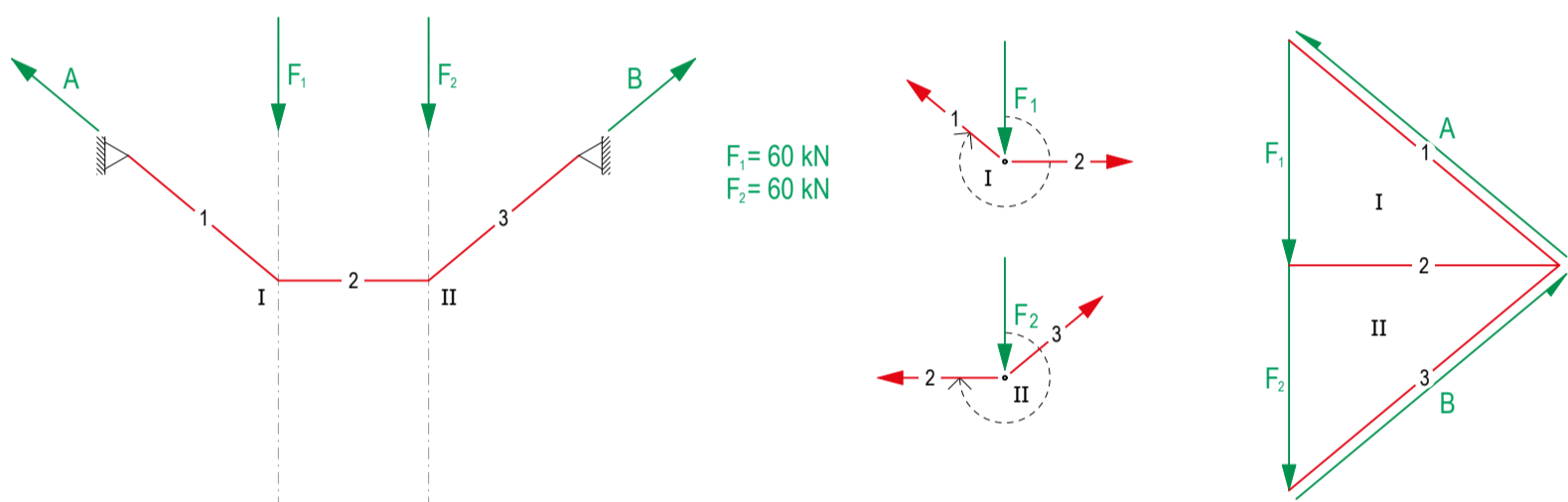
Aufgabe 4 Seilform

Entwerfen Sie in a) bis d) eine mögliche Seilform für den gegebenen Belastungsfall. Verwenden Sie dazu den Kräfteplan. Geben Sie die Richtung der Auflagerkräfte an und färben Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.

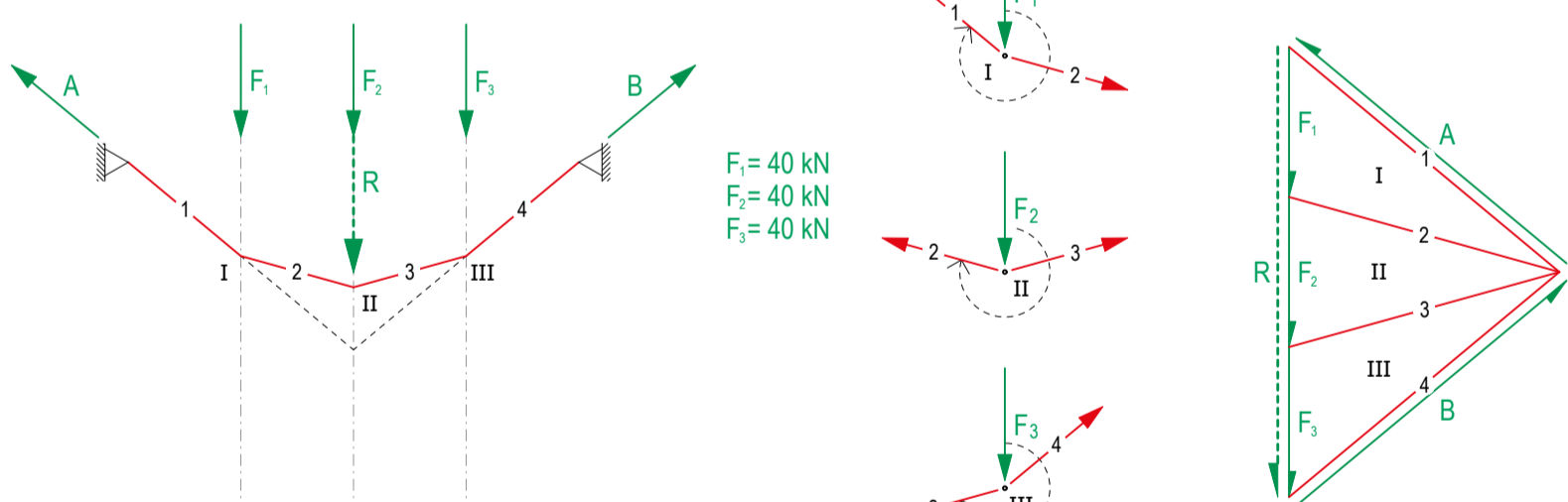
a)



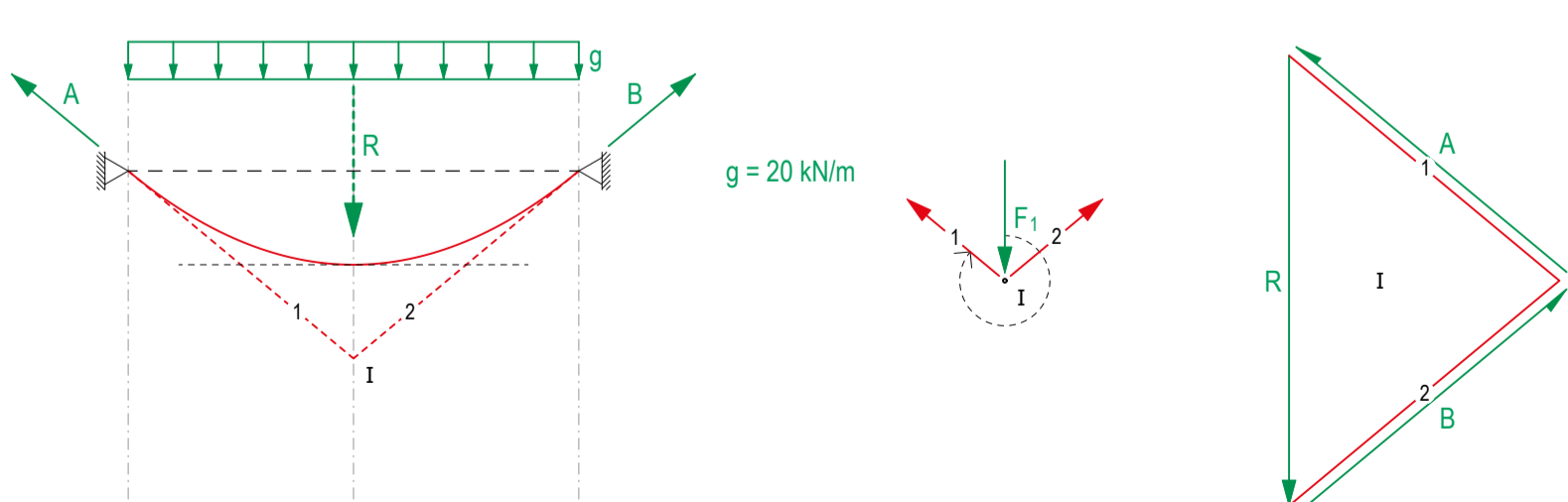
b)



c)

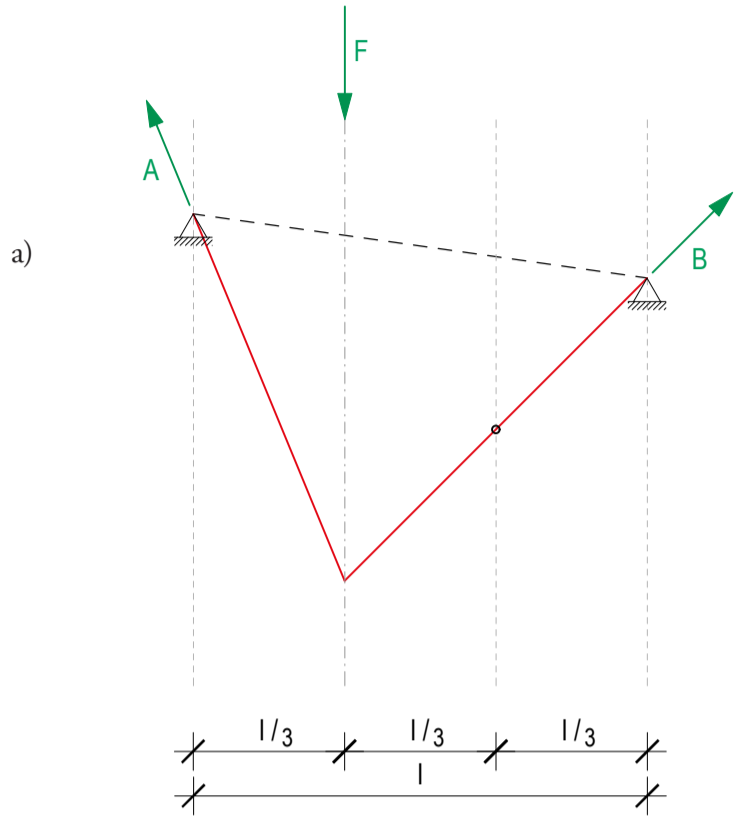


d)

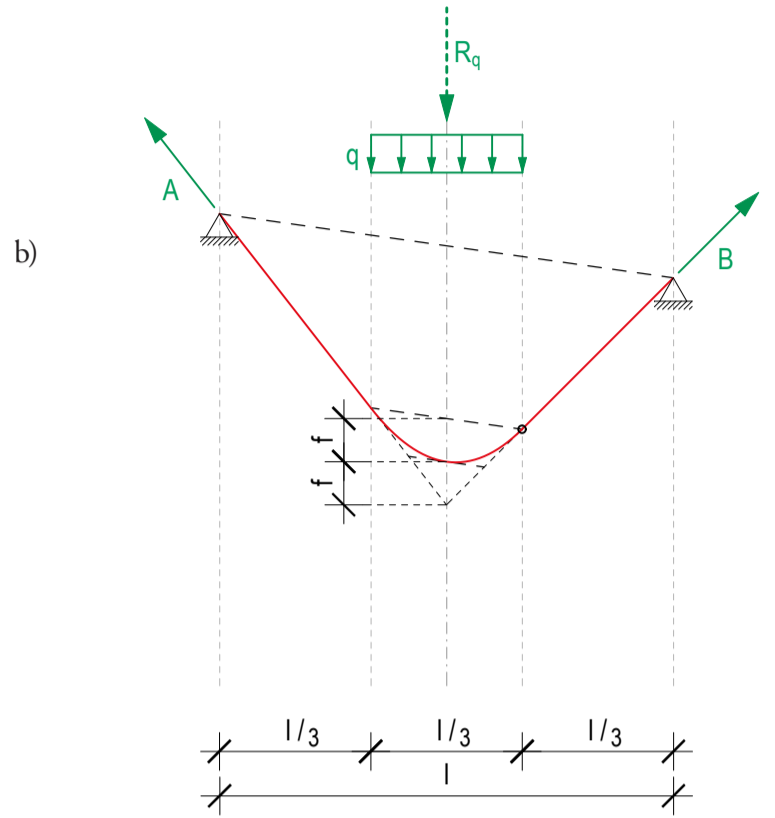


Aufgabe 5 Seilform

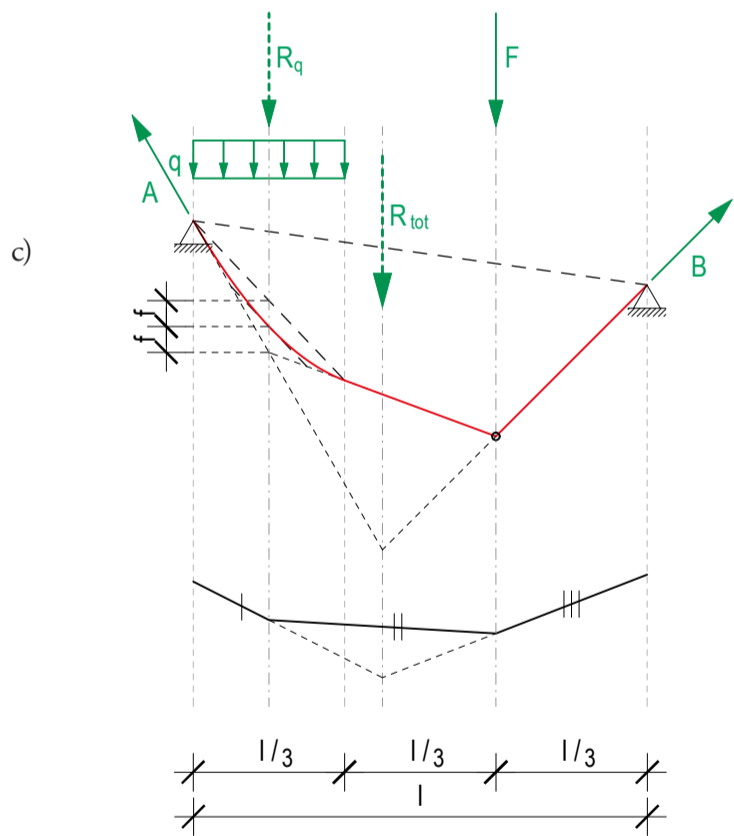
Finden und zeichnen Sie in den Situationen a) bis d) die Seilform, welche durch den gegebenen Punkt verläuft. Verwenden sie dazu in c) und d) den Kräfteplan. Geben Sie die Richtung der Auflagerkräfte an und färben Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.



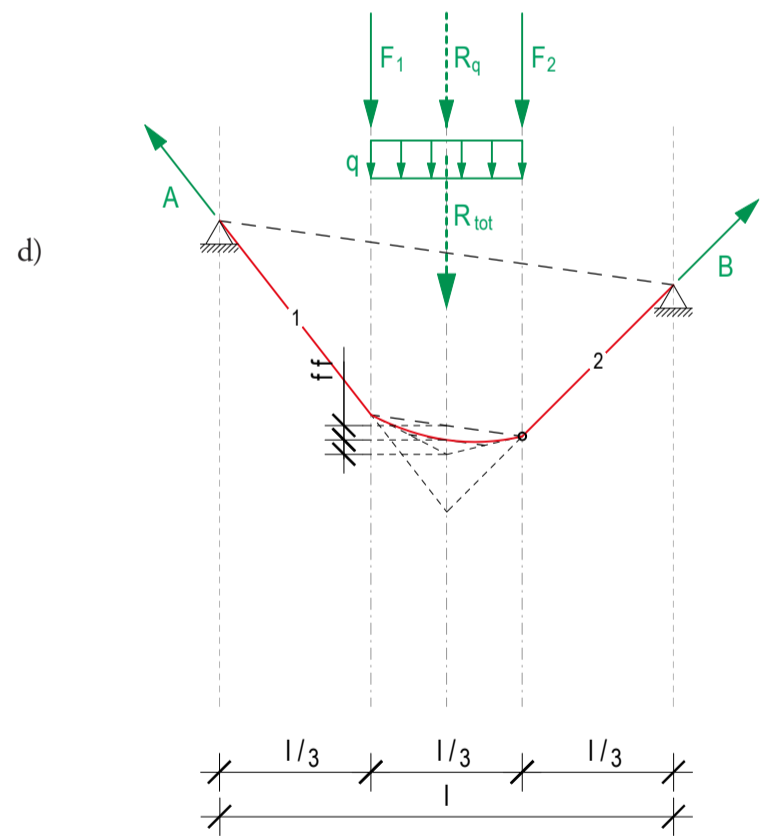
Lageplan



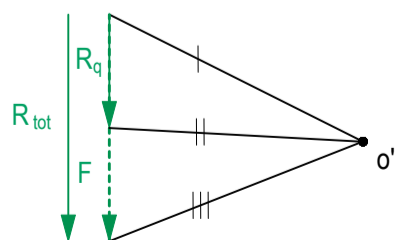
Lageplan



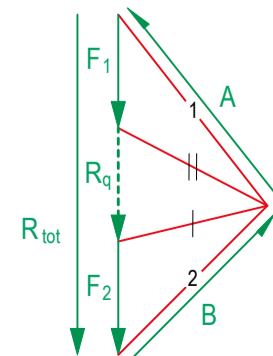
Lageplan



Lageplan



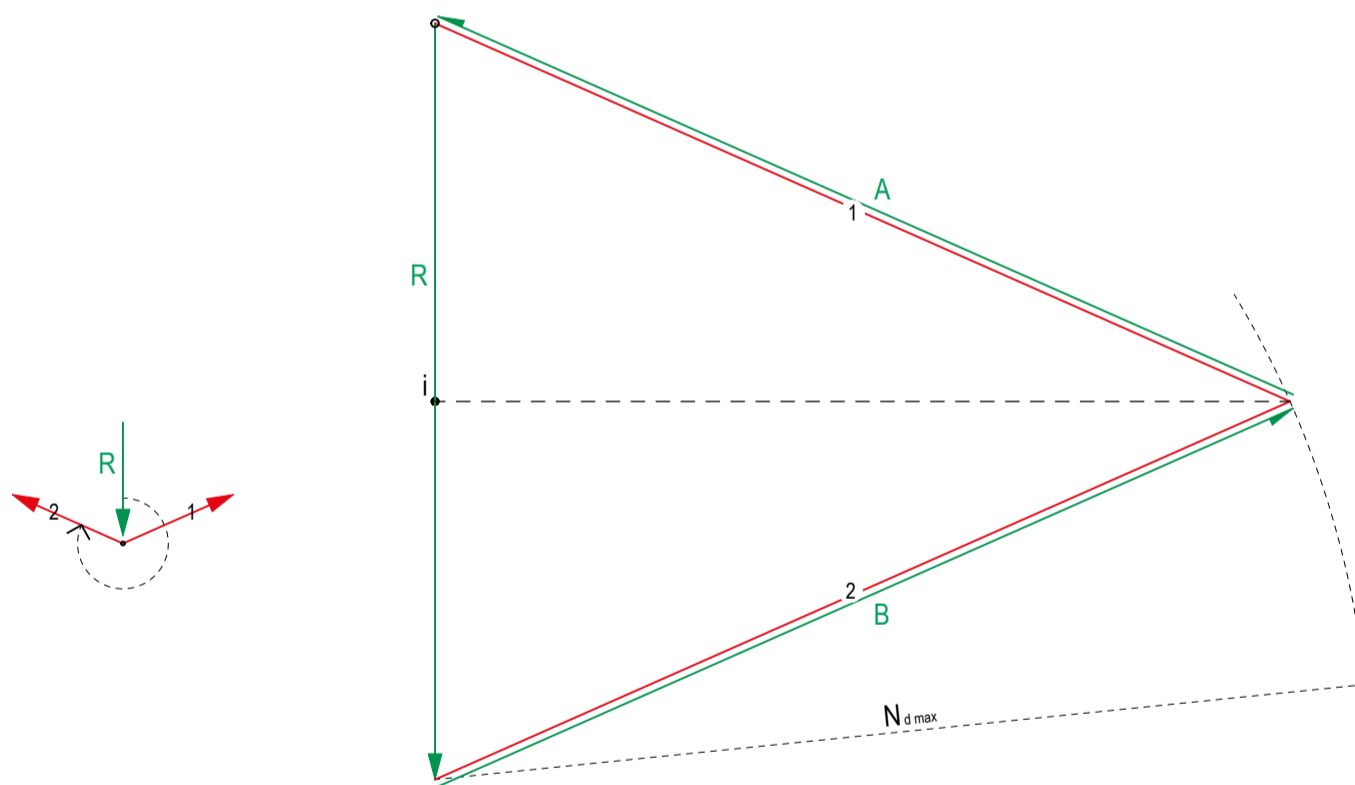
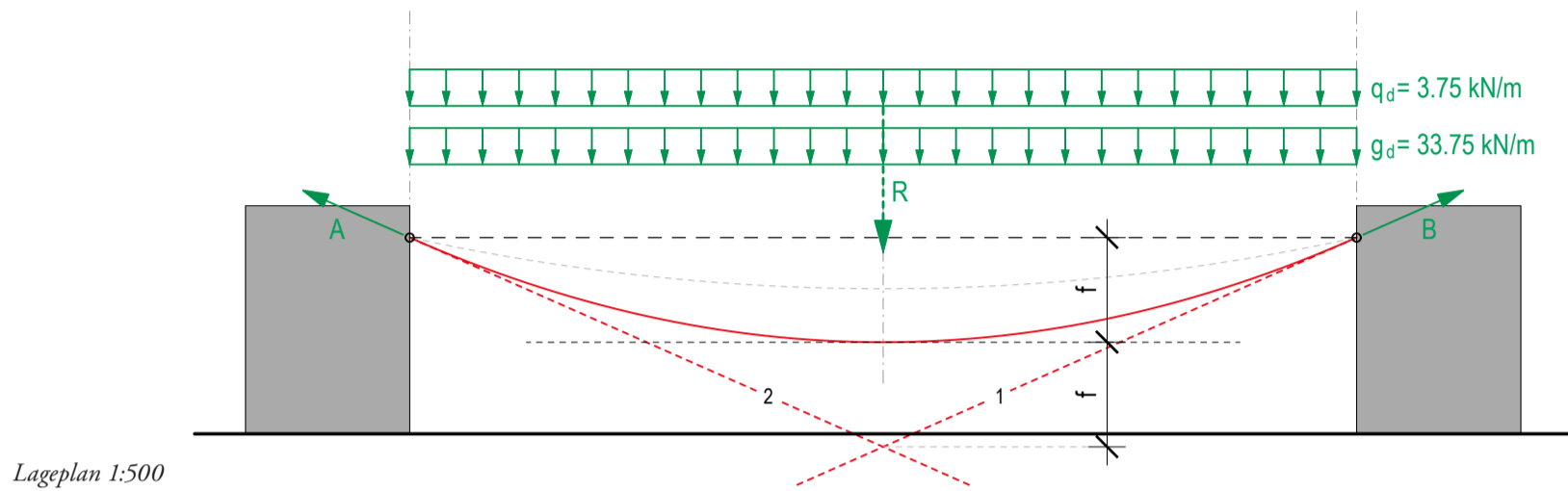
Kräfteplan



Kräfteplan

Aufgabe 6 Dachform einer Hängekonstruktion

- a) Für die nachfolgende Situation wird die Dachform gesucht. Das Dach wird zwischen den Auflagern A und B befestigt. Es handelt sich um eine Hängekonstruktion. Die maximale Seilkraft beträgt $N_{d,max} = 3000$ kN. Zeichnen Sie den dazugehörigen Lage- und Kräfteplan. Geben Sie die Grösse und Richtung der Auflagerkräfte an und markieren Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.
- b) Berechnen Sie den notwendigen Durchmesser für ein Seil aus Stahl S235 aufgrund der maximalen Beanspruchung.



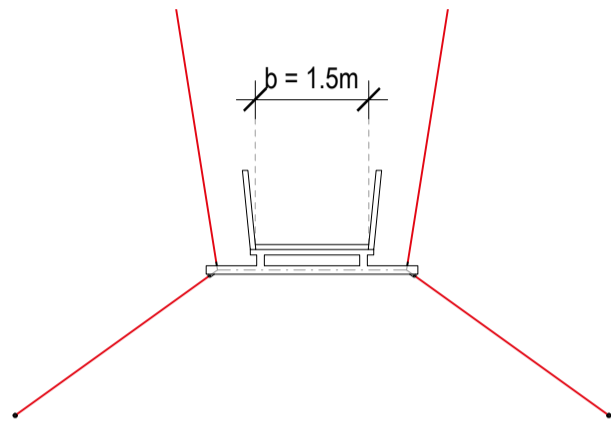
A [kN]	B [kN]
3'000	3'000

b) $N_{d,max} = 3'000'000$ N
 $f_{td} = 223.8$ N/mm²

$A_{req} = \frac{N_d}{f_{td}} = 13'404.8$ mm²
 $D = \sqrt{4 \cdot A / \pi} = 131$ mm

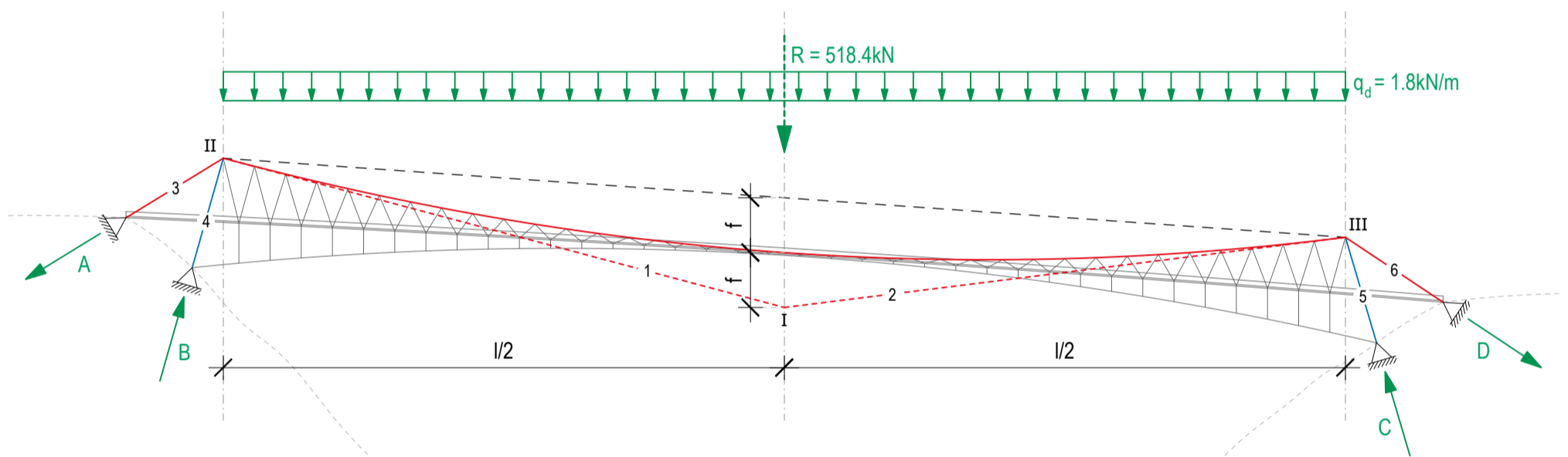
Aufgabe 7 Hängeseilbrücke Sigriswil

- Berechnen Sie die insgesamt anzunehmende Linienlast s_d auf Bemessungsniveau für eines der beiden Haupttragseile der Brücke unter Berücksichtigung der Sicherheitsbeiwerte. Berechnen Sie die Gesamtresultierende Punktlast R . Es wirkt eine ständige Flächenlast von $\bar{g}_k = 1.0 \text{ kN/m}^2$, während die veränderliche Flächenlast $\bar{q}_k = 0.7 \text{ kN/m}^2$ beträgt.
- Finden Sie, unter der Annahme, dass das Tragseil (oberes Seil) eine Parabel darstellt, die maximale Belastung im Seil, die Lage und Grösse der Auflagerreaktionen, sowie die Beanspruchungen in den Pylonen (Element 4 und 5) und Rückverankerungen (Element 3 und 6). Markieren Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.

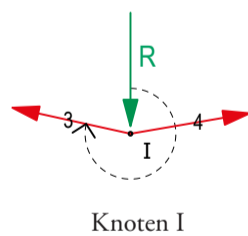


Querschnitt 1:100

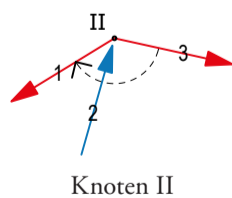
$$\begin{aligned} \bar{s}_d &= \bar{g}_k \cdot \gamma_G + \bar{q}_k \cdot \gamma_Q \\ \bar{s}_d &= 1.0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.35 + 0.7 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.5 = 2.4 \text{ kN/m}^2 \\ s_d &= \bar{s}_d \cdot b = 2.4 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.75 \text{ m} = 1.8 \text{ kN/m} \\ R &= s_d \cdot l = 1.8 \text{ kN/m} \cdot 288.2 \text{ m} = 518.4 \text{ kN} \end{aligned}$$



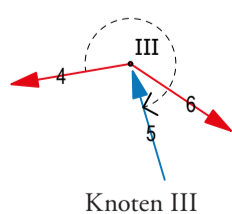
Lageplan 1:1500



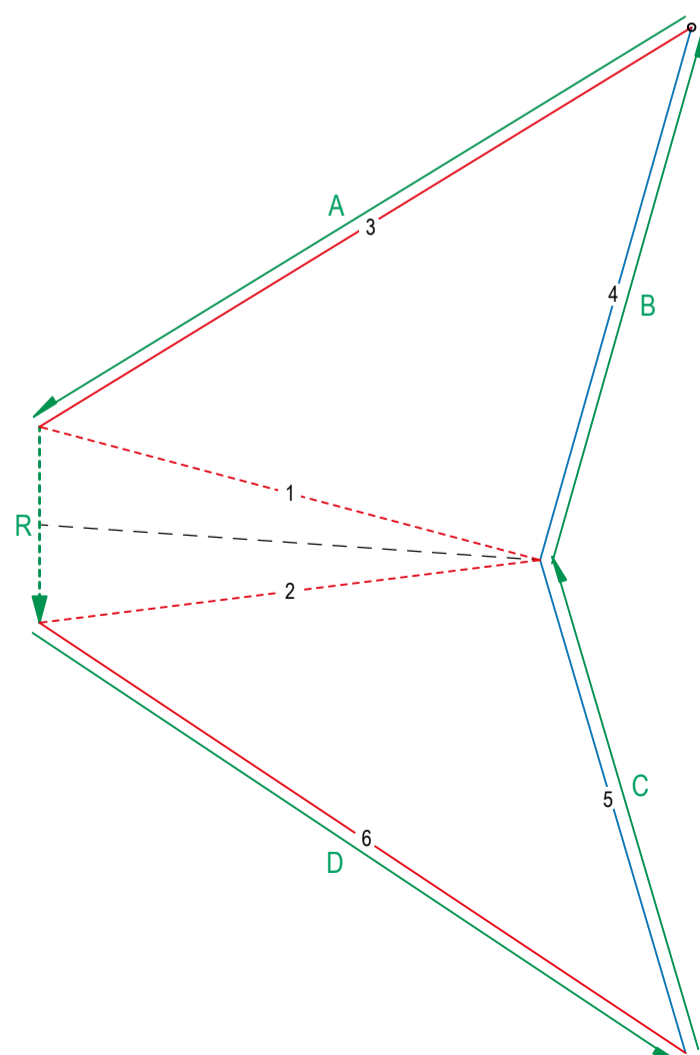
Knoten I



Knoten II



Knoten III



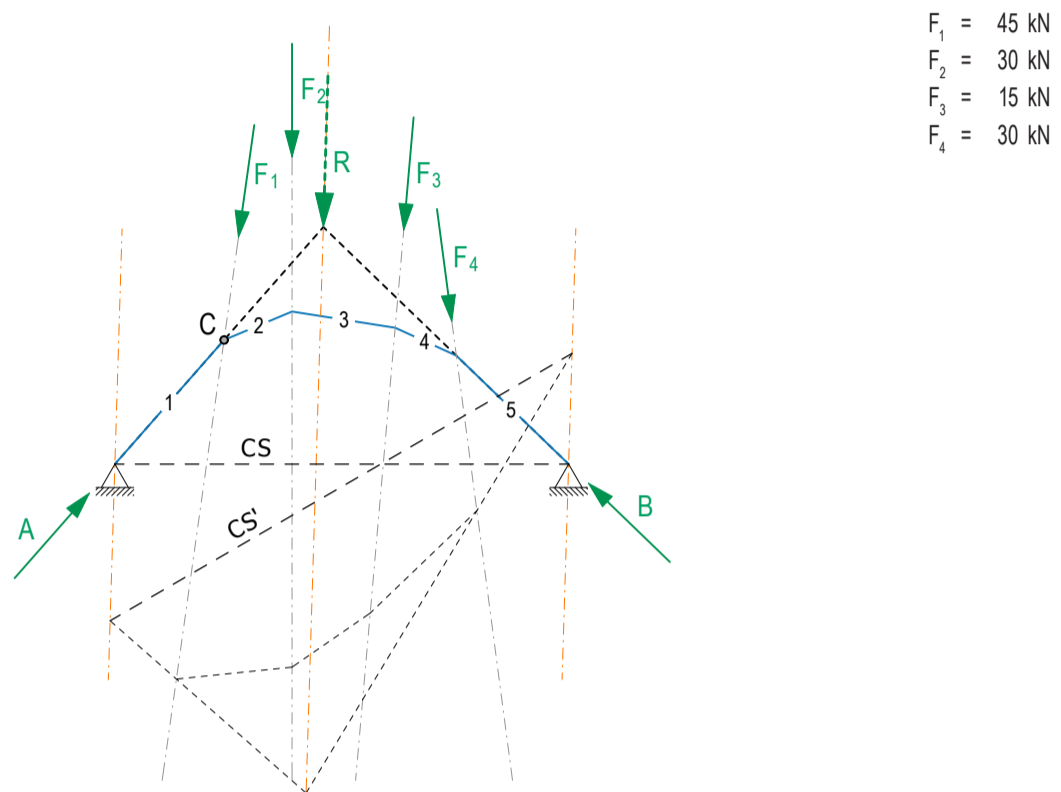
Subsystem

Kräfteplan 1cm ≙ 200kN

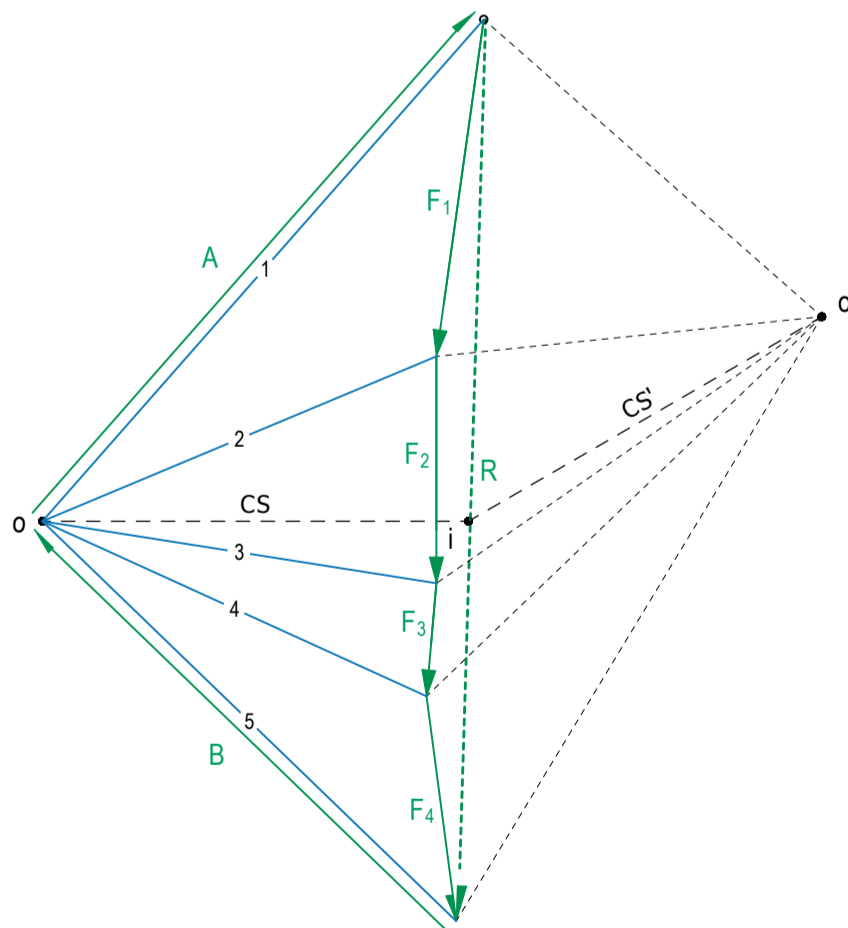
Aufgabe 8 Stützlinie mit Hilfskonstruktion finden

- a) Gegeben sind vier ungleichmässig verteilte Punktlasten sowie die beiden Auflager A und B. Gesucht ist das Tragwerk, das unter der gegebenen Belastung im Gleichgewicht ist und durch den Punkt C verläuft.

Finden Sie zuerst die Grösse der Resultierenden R im Kräfteplan. Zeichnen Sie anschliessend die Lage der Resultierenden im Lageplan ein. Arbeiten Sie dafür mit dem Hilfsseilpolygon. Finden Sie dann die Auflagerkräfte sowie die Bogenform durch den Punkt C. Markieren Sie zum Schluss Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.



Lageplan 1:250

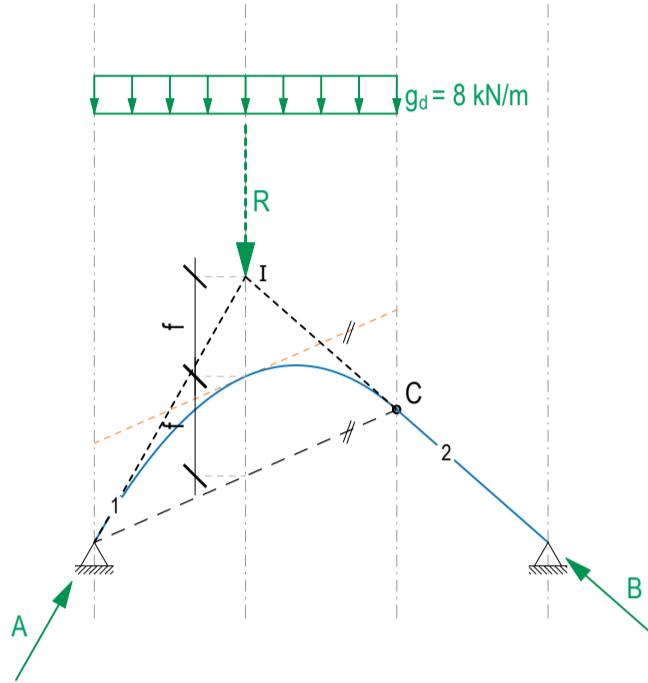


Kräfteplan 1cm $\hat{=}$ 10kN

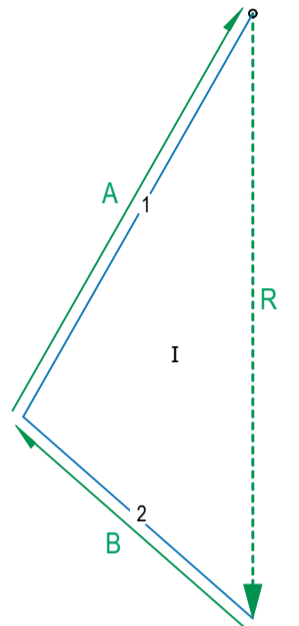
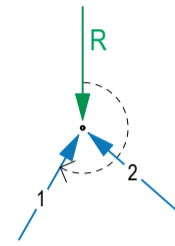
Aufgabe 9 Stützlinie finden

Bei a) und b) ist jeweils die Stützlinie, welche durch die Punkte A, B und C verläuft, gesucht. Zeichnen Sie für beide Situationen den dazugehörigen Kräfteplan. Markieren Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.

a)

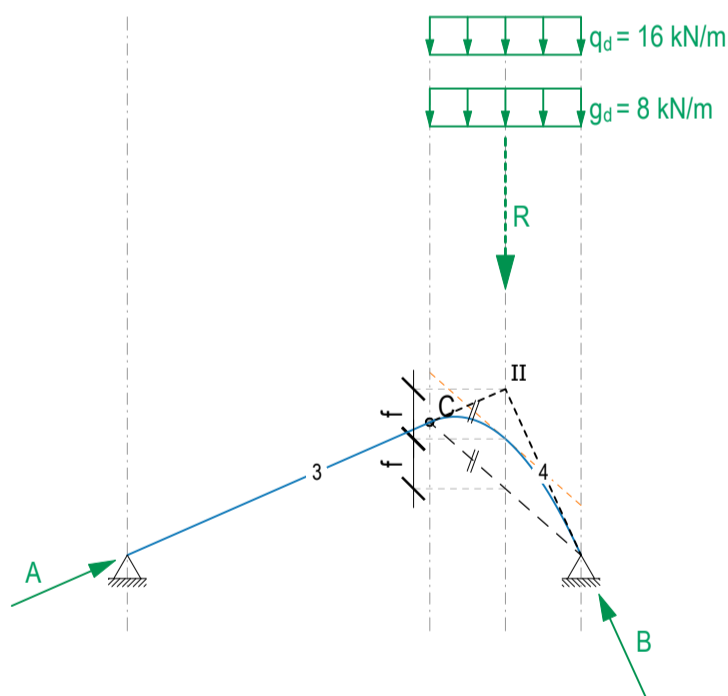


Lageplan 1:250

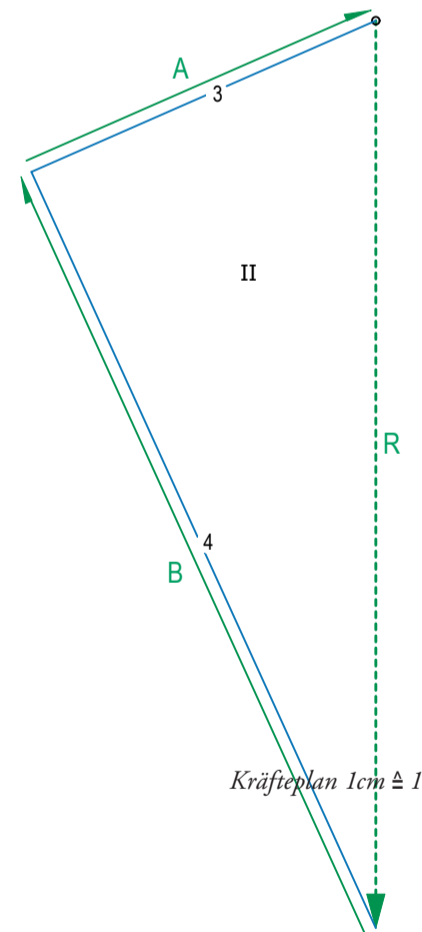
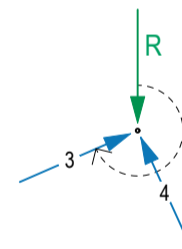


Kräfteplan 1cm ≙ 10kN

b)



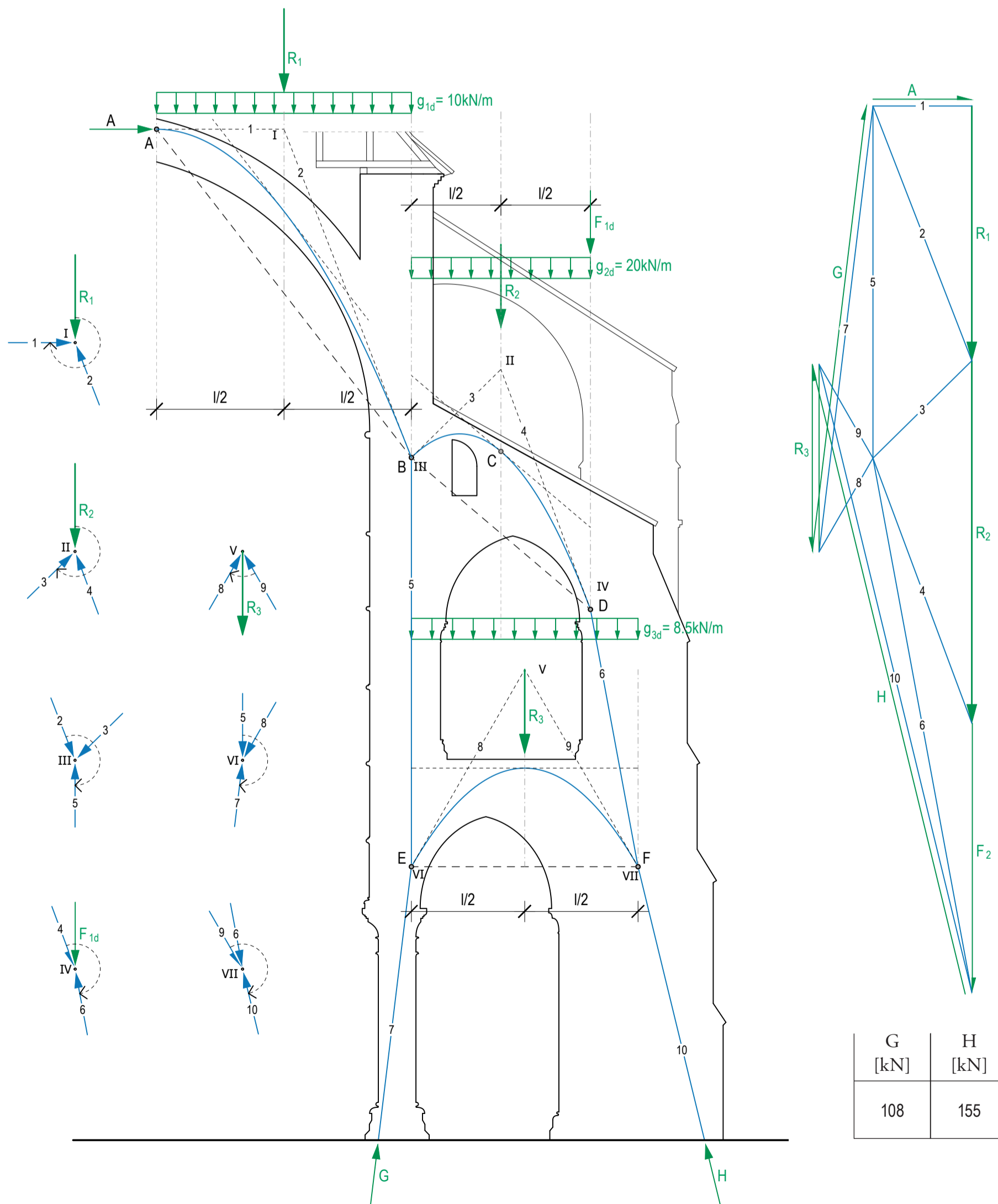
Lageplan 1:250



Kräfteplan 1cm ≙ 10kN

Aufgabe 10 Kathedrale von Laon, Frankreich

- Konstruieren Sie eine Parabel durch die Punkte A und B, welche innerhalb der Struktur liegt und die Linienlast g_{1d} aufnimmt. Berücksichtigen Sie dabei, dass die angreifende Kraft A aus dem Hauptschiff horizontal wirkt.
- Konstruieren Sie danach die Parabel durch B, C und D. Finden Sie g_{2d} so, dass die Stützlinie vom Punkt B senkrecht in den Punkt E verläuft.
- In D wirkt zusätzlich eine Punktlast F_{1d} aufgrund des Gewichts des Strebepfeilers. Bestimmen Sie F_{1d} so, dass die Stützlinie ab Punkt D in den Punkt F geführt wird.
- Finden Sie die Parabel durch die Punkte E und F so, dass die Stützlinie inklusive der Lasten aus den oberen Bögen innerhalb der Struktur in den Boden abgeleitet werden kann. Schliessen Sie dadurch auf die Grösse der Linienlast g_{3d} . Zeichnen Sie den entsprechenden Kräfteplan und geben Sie die Grössen der Auflagerkräfte G und H an. Markieren Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.

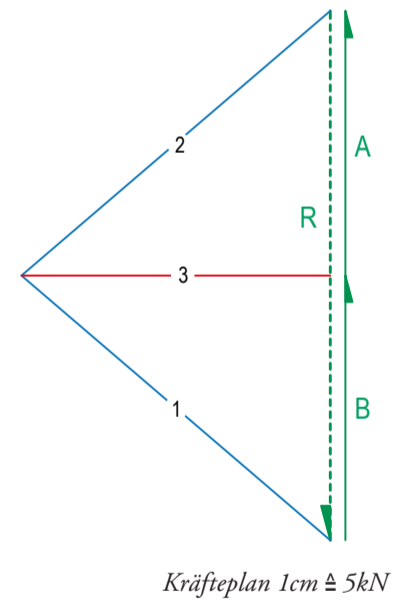
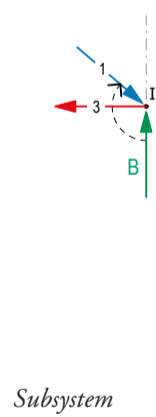
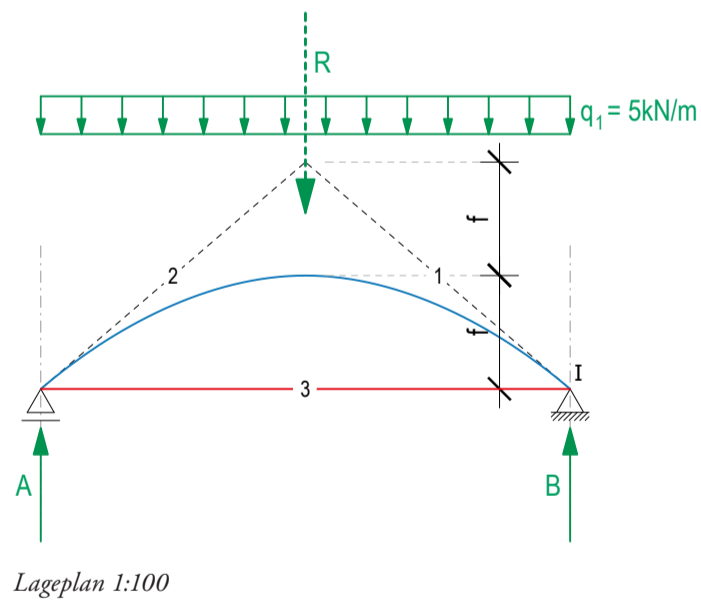
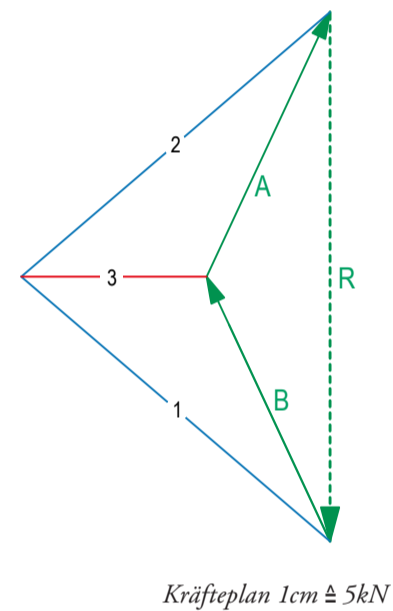
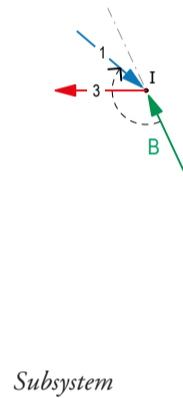
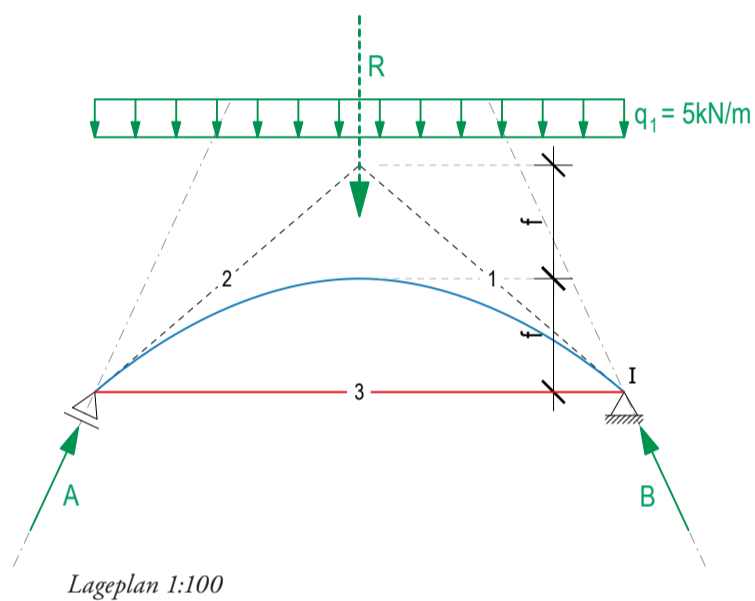
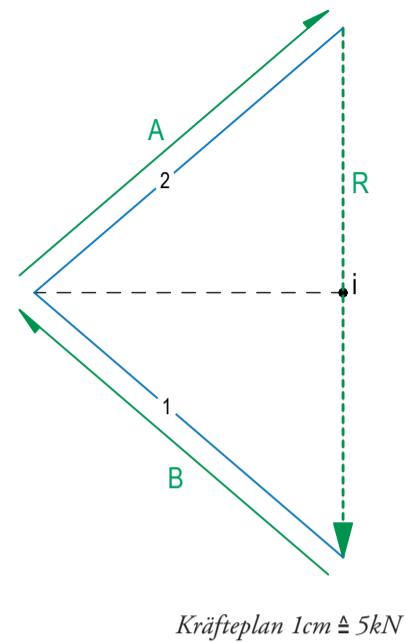
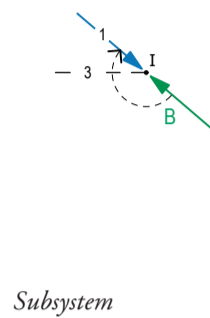
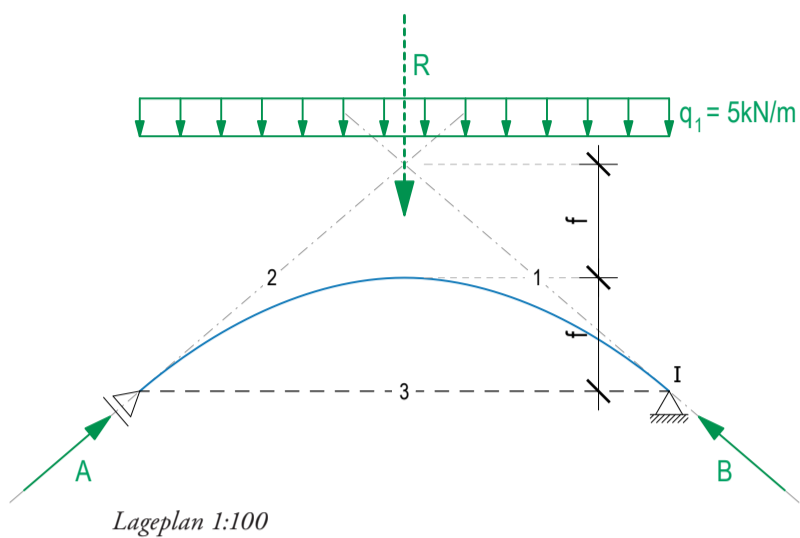


Lageplan 1:100

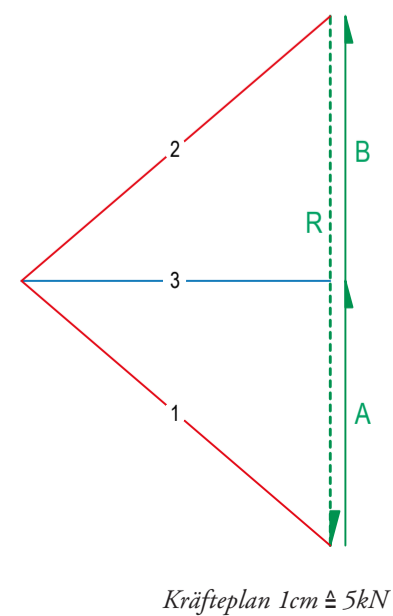
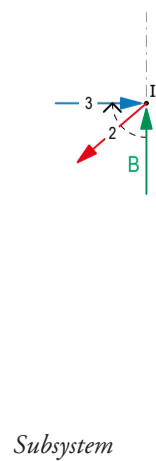
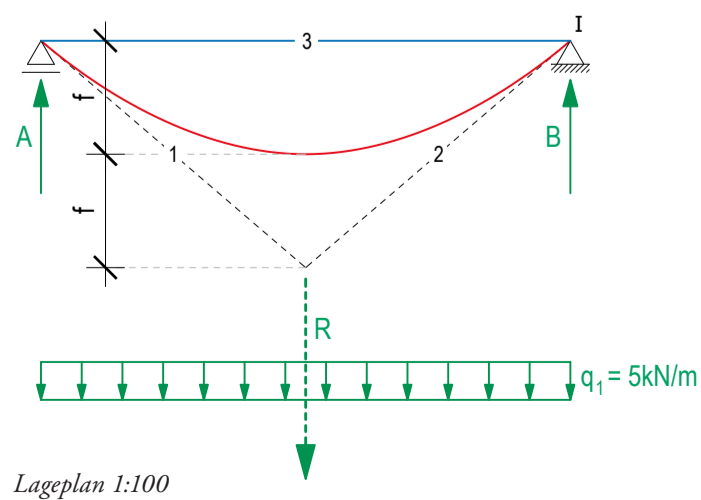
Kräfteplan 1cm $\hat{=}$ 10 kN

Aufgabe 11 Bogen-Seil-Tragwerke mit verschiedenen Auflagerbedingungen

Zeichnen Sie für die gegebenen Situationen den entsprechenden Kräfteplan. Achten Sie dabei auf die Auflagersituation. Finden Sie die Grösse der Auflagerkräfte A und B. Markieren Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.

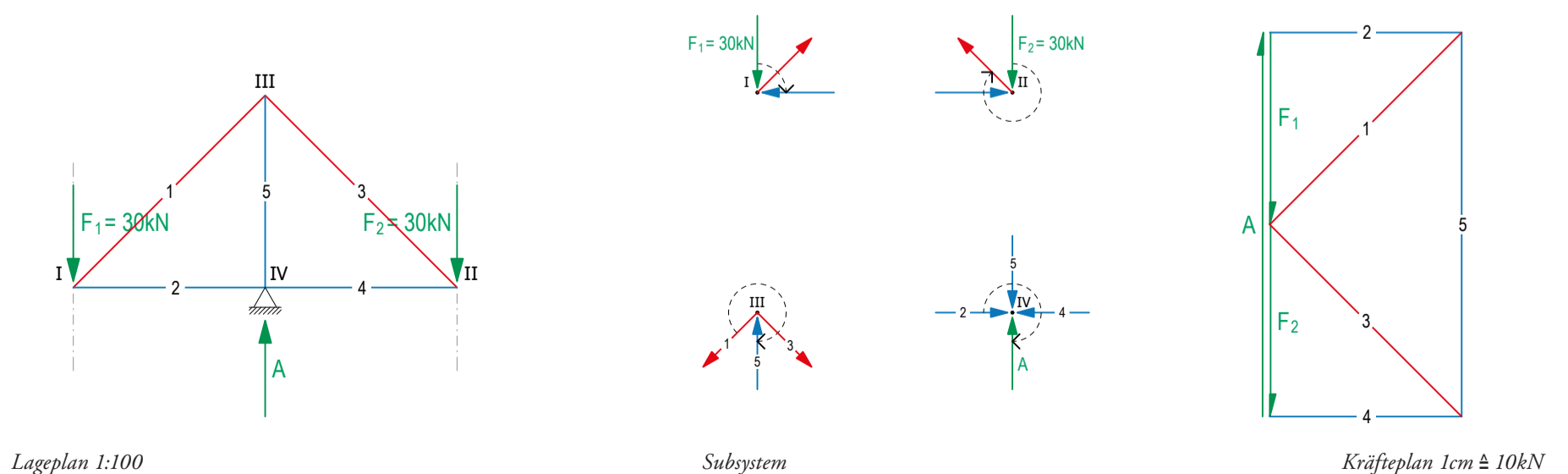
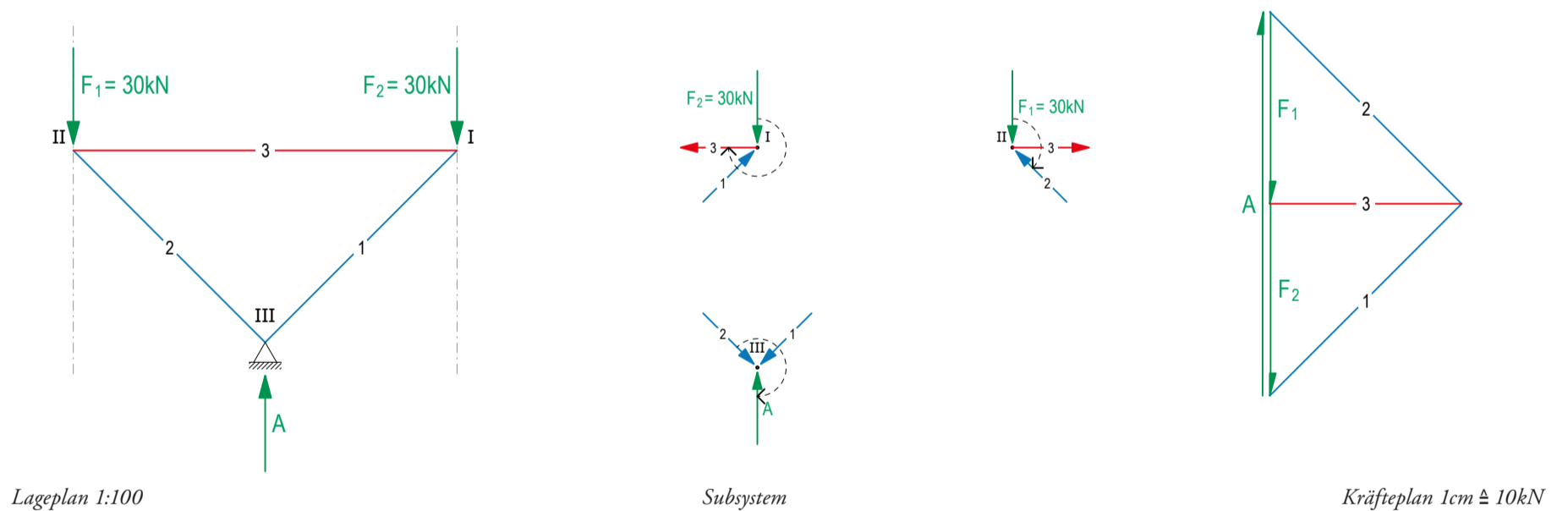
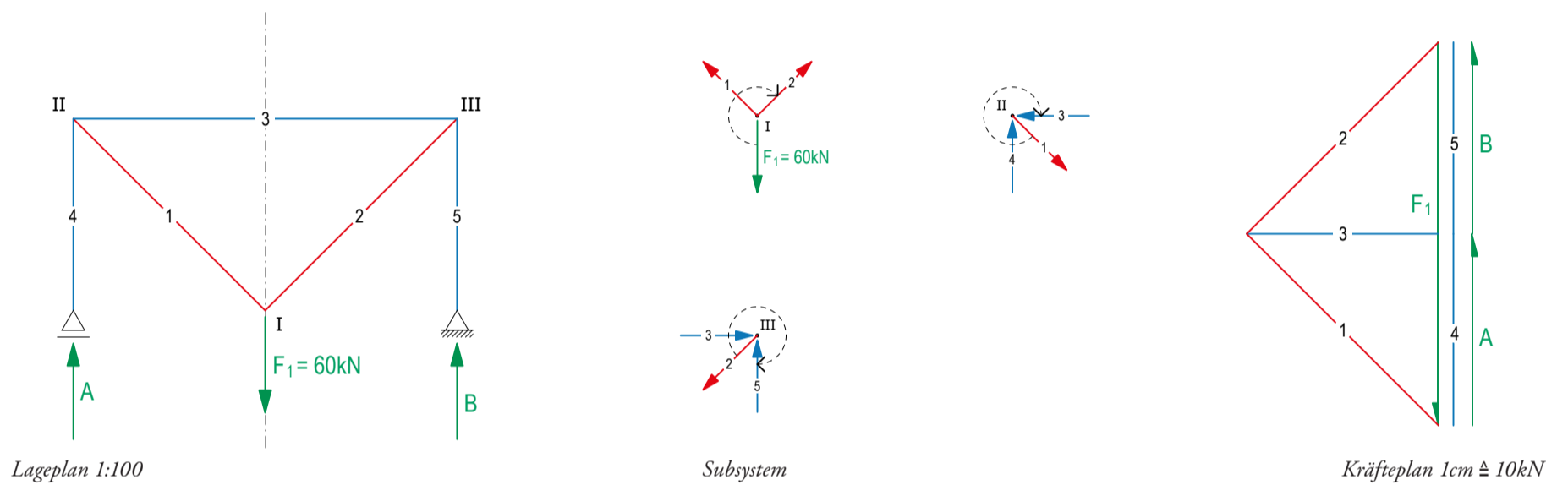
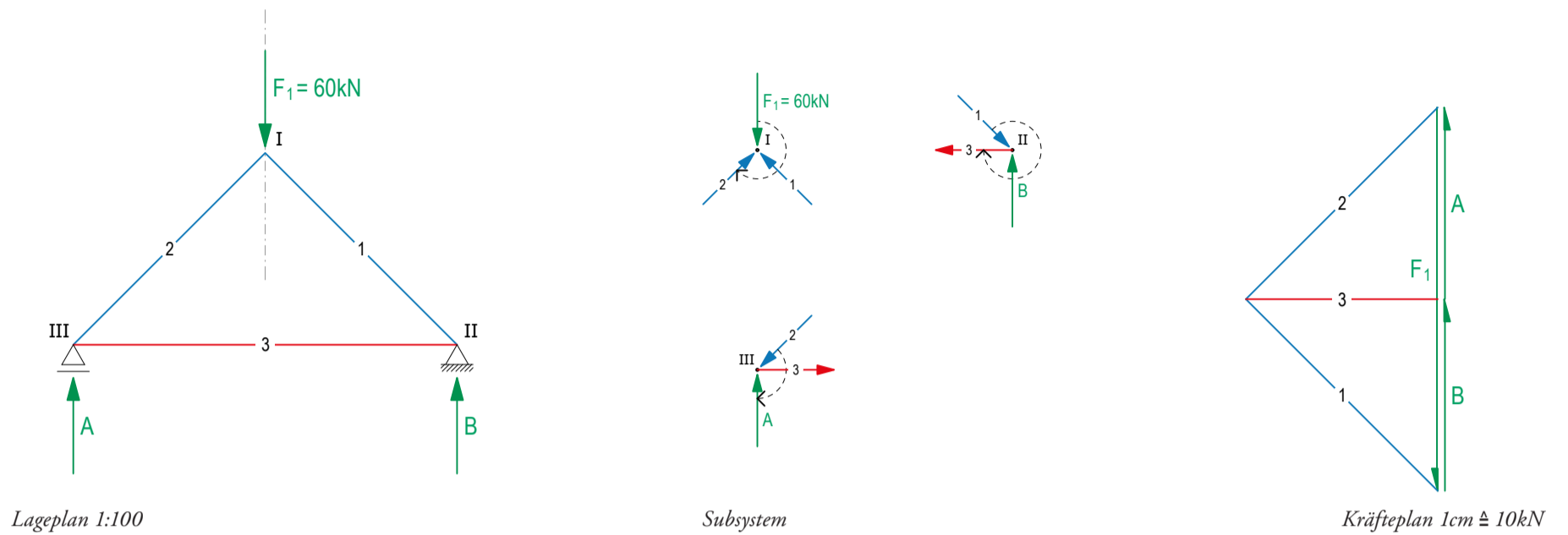


d) Entwerfen Sie hier eine Variante bei der das Tragwerk ausschliesslich unterhalb der Schlusslinie verläuft.



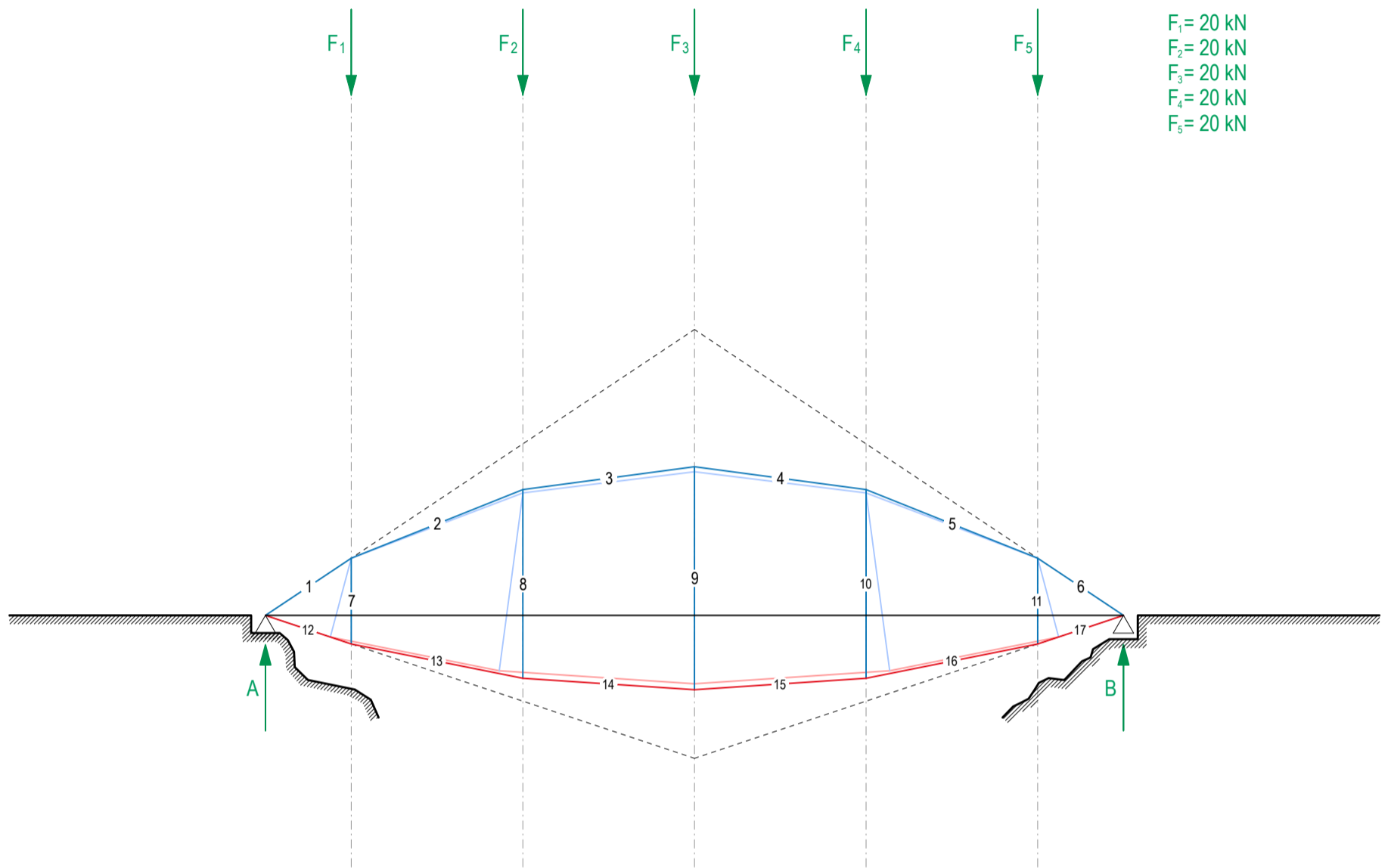
Aufgabe 12 Vom Bogen-Seil zum Fachwerk

Zeichnen Sie für die gegebenen Situationen den entsprechenden Kräfteplan. Markieren Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.

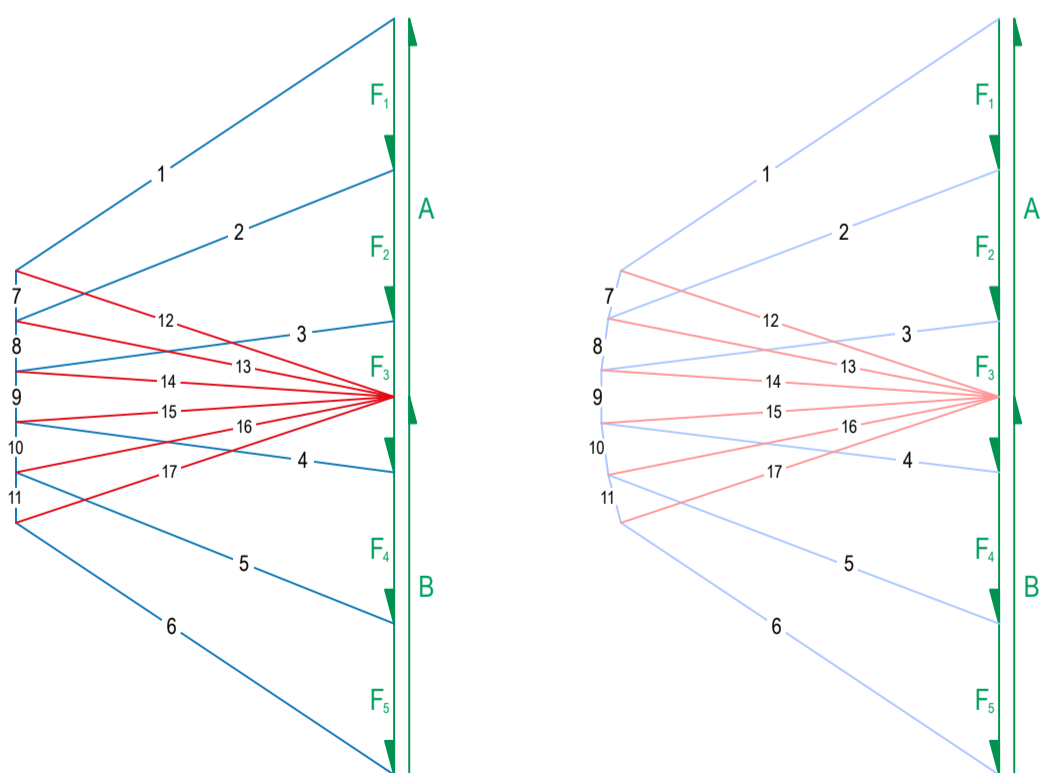


Aufgabe 13 Brücke

- Die Form des Obergurts eines Bogen-Seil-Tragwerks für eine Brücke ist gegeben. Finden Sie mit Hilfe des Kräfteplans die Form des Untergurts für den gegebenen Belastungsfall. Beachten Sie, dass es sich beim Auflager B um ein Rolllager handelt. Markieren Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.
- Das Tragwerk soll so modifiziert werden, dass die Kraft im Untergurt konstant ist. Beschreiben Sie in Worten, wie sich die Form des Tragwerks verändern würde. Skizzen im Lage- und Kräfteplan können helfen.



Lageplan 1:100



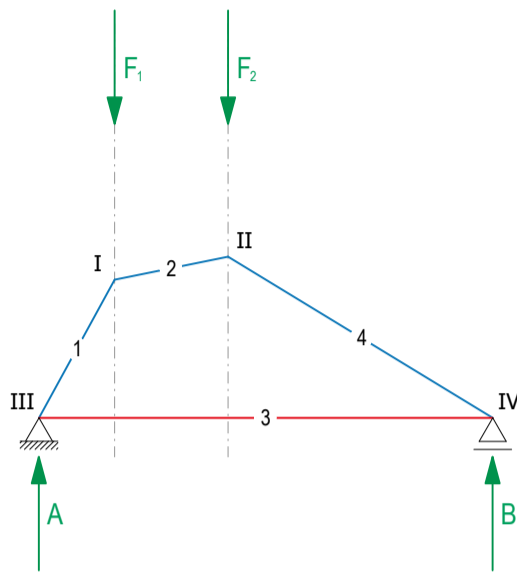
Kräfteplan 1cm $\hat{=}$ 10kN

- Wenn die Zugkraft im Untergurt konstant ist, werden die Streben zwischen Ober- und Untergurt sich neigen, also nicht mehr vertikal sein.

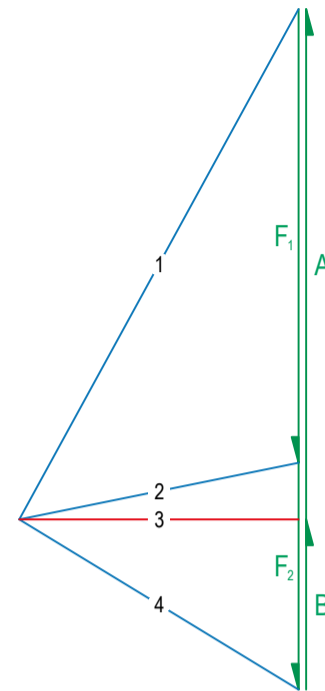
Aufgabe 14.1 Spannen und Auskragen

Entwerfen Sie ein mögliches Bogen-Seil-Tragwerk für den gegebenen Belastungsfall. Geben Sie die Richtung der Auflagerkräfte an und färben Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.

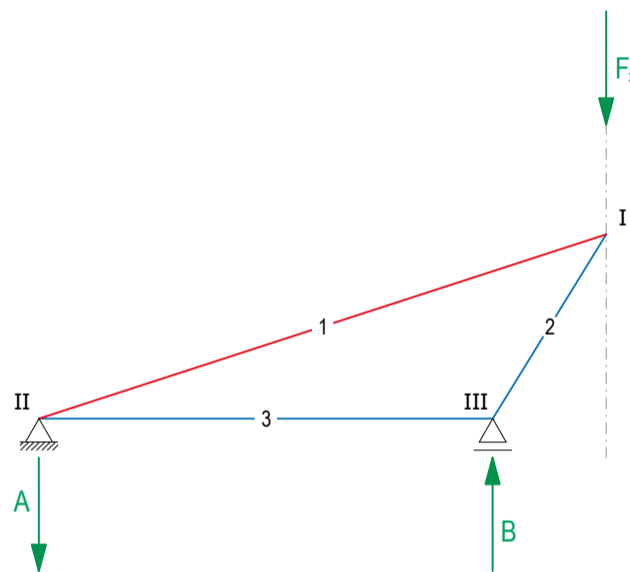
a)



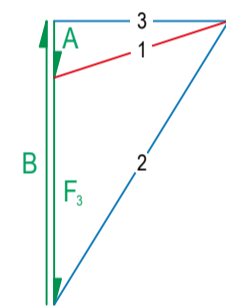
$F_1 = 60 \text{ kN}$
 $F_2 = 30 \text{ kN}$



b)

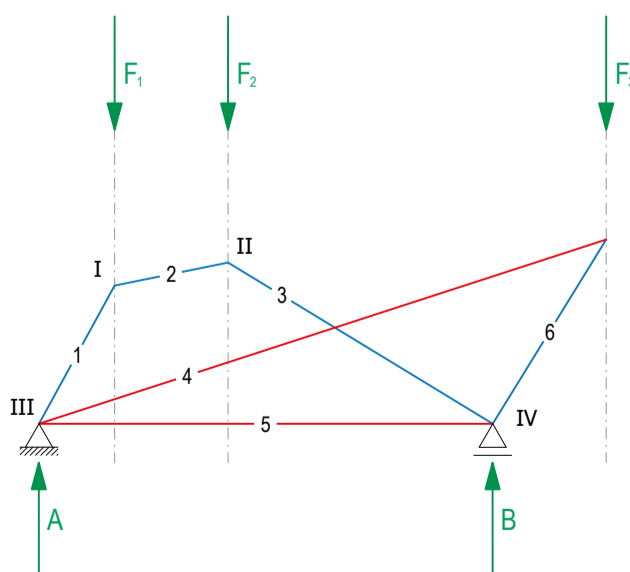


$F_3 = 30 \text{ kN}$

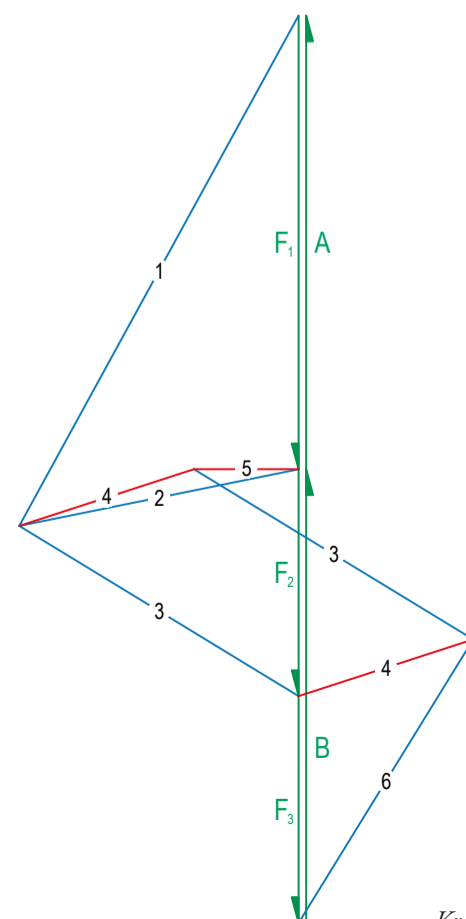


Aufgabe 14.2 Kombination von zwei Bogen-Seil-Tragwerken

Übernehmen Sie die Geometrie ihrer Tragwerke aus Aufgabe 14.1 und überlagern Sie die Lagepläne von a) und b) zu einem einzigen Bogen-Seil-Tragwerk. Zeichnen Sie den dazugehörigen Kräfteplan. Geben Sie die Richtung der Auflagerkräfte an und färben Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.

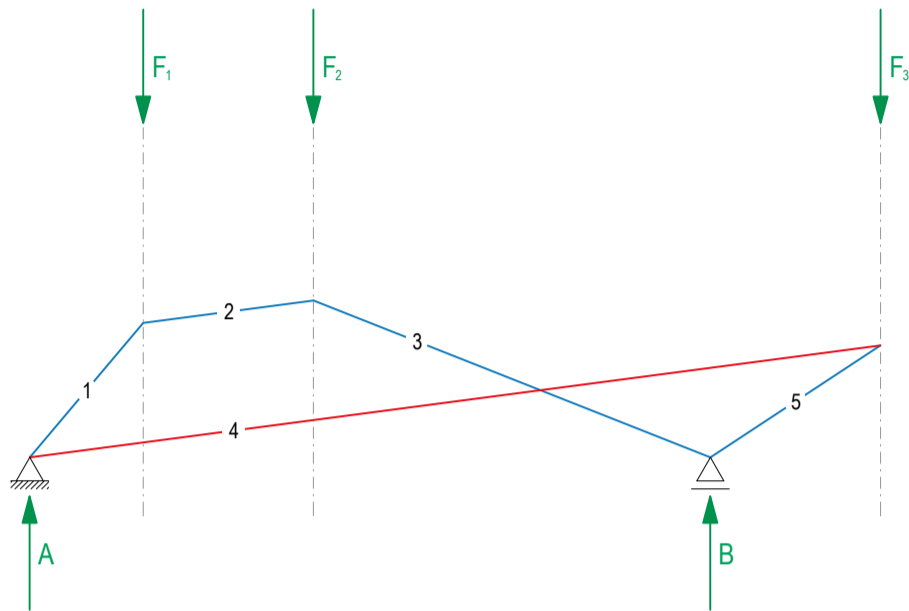


$F_1 = 60 \text{ kN}$
 $F_2 = 30 \text{ kN}$
 $F_3 = 30 \text{ kN}$



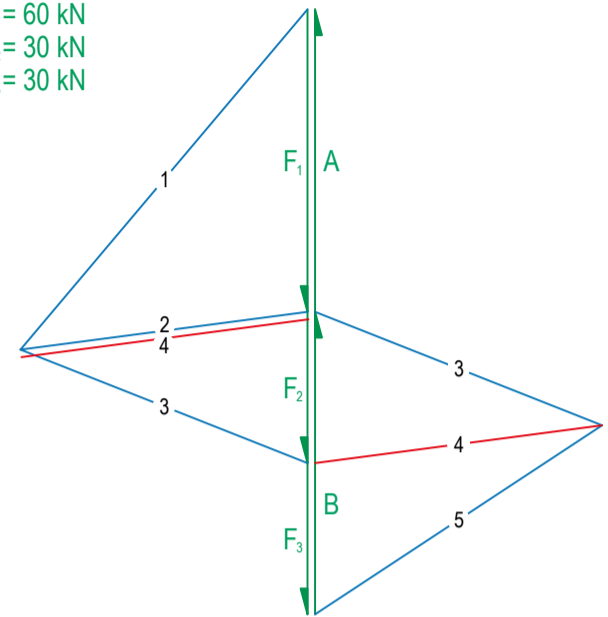
Aufgabe 15.1 Auskrägung eines Bogen-Seil-Tragwerkes

Wählen Sie die Auskrägung so, dass die horizontale Komponente der Auskrägung am Rolllager B die des vorgegebenen Bogens aufhebt. Nutzen Sie dazu den Kräfteplan. Geben Sie die Richtung der Auflagerkräfte an und färben Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.



Lageplan 1:100

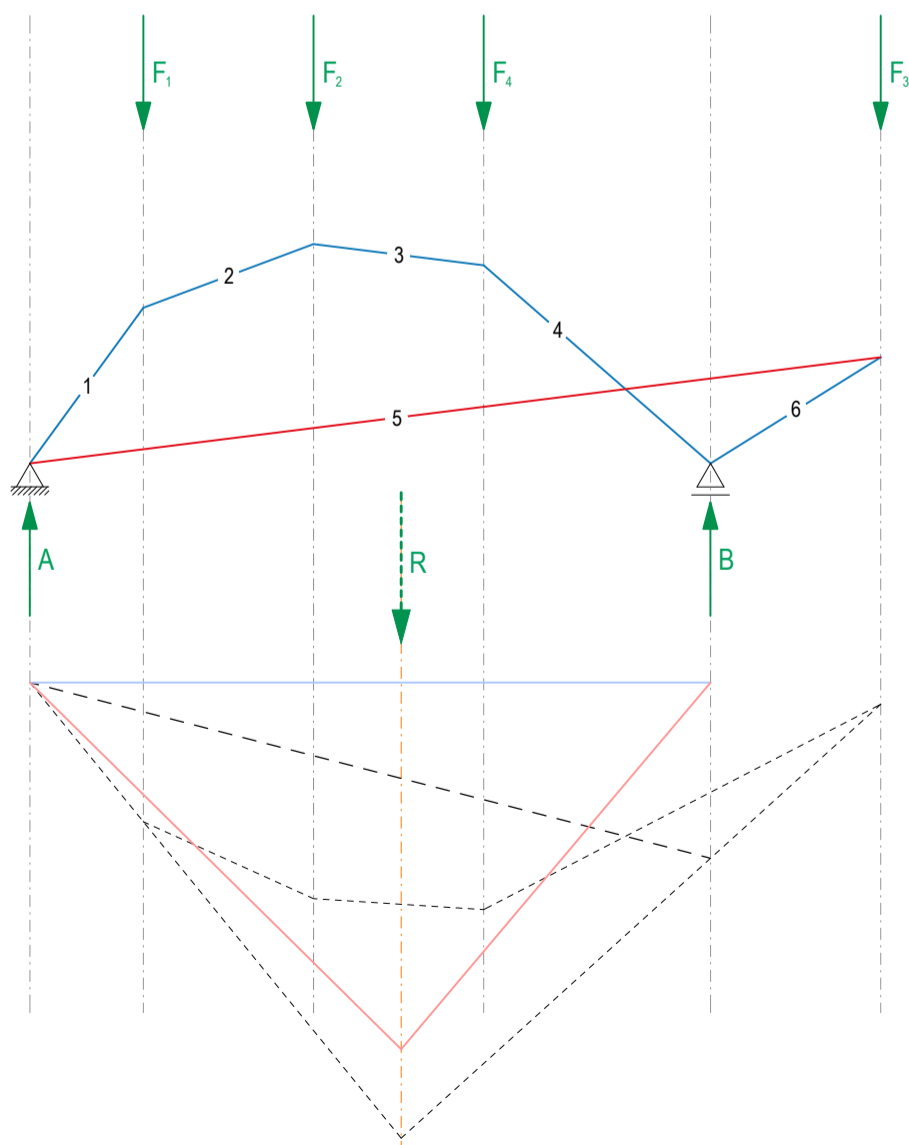
$F_1 = 60 \text{ kN}$
 $F_2 = 30 \text{ kN}$
 $F_3 = 30 \text{ kN}$



Kräfteplan 1cm ≙ 15kN

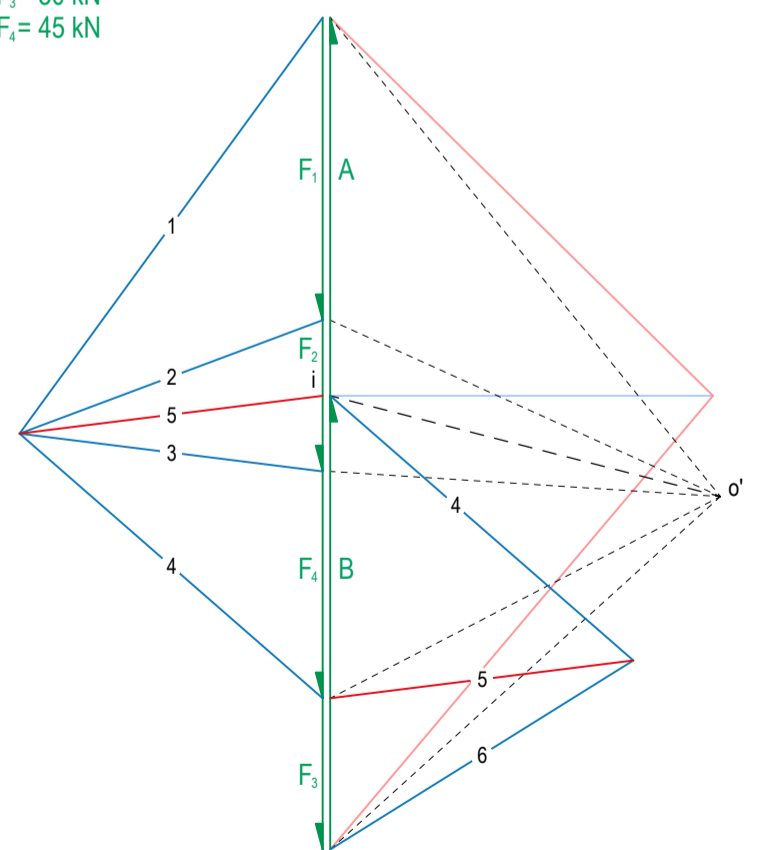
Aufgabe 15.2 Bogen-Seil-Tragwerk

Zum Belastungsfall in Aufgabe 15.1 kommt eine vierte Kraft hinzu. Entwerfen Sie ein mögliches Bogen-Seil-Tragwerk für den gegebenen Belastungsfall. Achten Sie darauf, dass sich die horizontale Komponente am Rolllager B vom Bogen auf der linken Seite und von der Auskrägung auf der rechten Seite aufgehoben werden muss. Geben Sie die Richtung der Auflagerkräfte an und färben Sie Zugkräfte rot, Druckkräfte blau und äussere Kräfte grün.



Lageplan 1:100

$F_1 = 60 \text{ kN}$
 $F_2 = 30 \text{ kN}$
 $F_3 = 30 \text{ kN}$
 $F_4 = 45 \text{ kN}$



Kräfteplan 1cm ≙ 15kN