

Tragwerksentwurf I und II

Structural Design I and II

Philippe Block - Joseph Schwartz

Inhaltsübersicht
Content overview

Allgemeine Fragen:		
Aufgabe 1	Stützlinie (ca. 5 Minuten)	Seite 03
Aufgabe 2	Materialeigenschaften (ca. 5 Minuten)	Seite 04
Aufgabe 3	Statische Bestimmtheit (ca. 5 Minute)	Seite 05
Aufgabe 4	Knickverhalten (ca. 5 Minuten)	Seite 06
Zeichnungen und Berechnungen:		
Aufgabe 5	Lasten berechnen (ca. 10 Minuten)	Seite 07
Aufgabe 6	Seil mit gleichmäßig verteilter Last (ca. 10 Minuten)	Seite 08
Aufgabe 7	Seil mit ungleichmäßig verteilter Last (ca. 30 Minuten)	Seite 09
Aufgabe 8	Bogen mit ungleichmäßig verteilter Last (ca. 30 Minuten)	Seite 10
Aufgabe 9	Kräfte im Fachwerk (ca. 10 Minuten)	Seite 11
Aufgabe 10	Auskragendes Fachwerk (ca. 30 Minuten)	Seite 12
Aufgabe 11	Kräfteverlauf im Rahmen (ca. 10 Minuten)	Seite 13
Aufgabe 12	Kräfteverlauf in Balken und Scheibe (ca. 30 Minuten)	Seite 14
General questions:		
Task 1	Thrust line (approx. 5 minutes)	page 03
Task 2	Material properties (approx. 5 minutes)	page 04
Task 3	Statical determinacy (approx. 5 minutes)	page 05
Task 4	Buckling behavior (approx. 5 minutes)	page 06
Drawings and calculations:		
Task 5	Calculating loads (approx. 10 minutes)	page 07
Task 6	Cable with uniform loading (approx. 10 minutes)	page 08
Task 7	Cable with non- uniform loading (approx. 30 minutes)	page 09
Task 8	Arch with non- uniform loading (approx. 30 minutes)	page 10
Task 9	Forces in trusses (approx. 10 minutes)	page 11
Task 10	Cantilevering truss (approx. 30 minutes)	page 12
Task 11	Force flow in frames (approx. 10 minutes)	page 13
Task 12	Force flow in beam and shear wall (approx. 30 minutes)	page 14

Aufgabe 1
Task 1

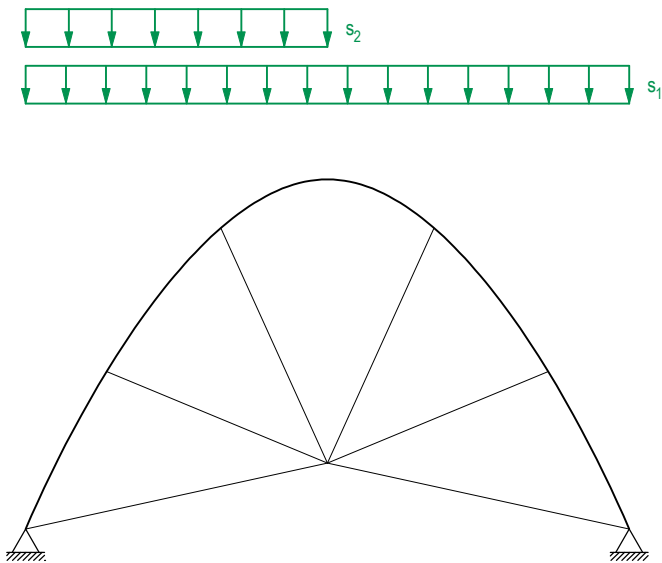
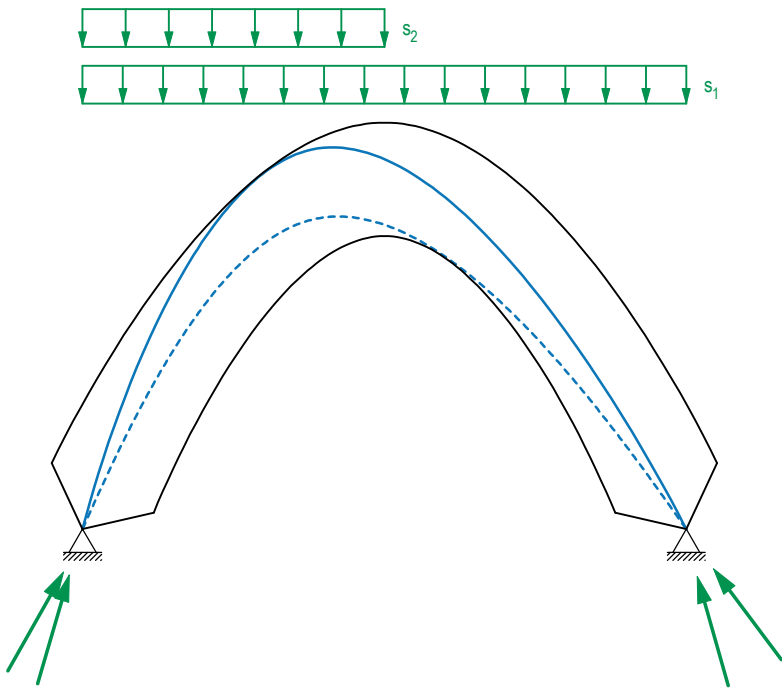
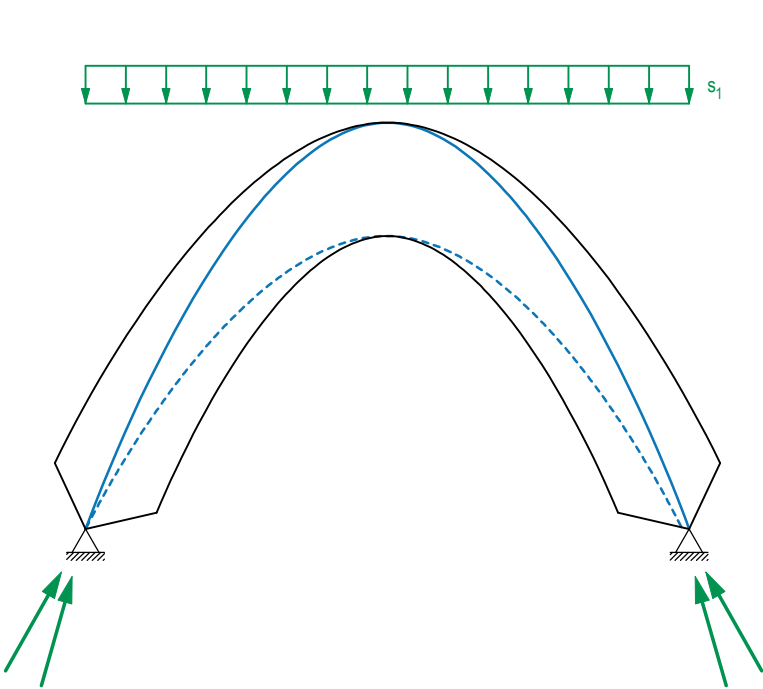
Stützlinie und Stabilisierung
Thrust line and stabilization

ca. 5 Minuten
approx. 5 minutes

- Skizzieren Sie für die gegebene Belastung s_1 in den folgenden Bogen qualitativ die Stützlinie und die dazugehörigen Auflagerkräfte mit
 - minimaler Horizontalkraft an den Auflagern (mit blau).
 - maximaler Horizontalkraft an den Auflagern (mit blau, gestrichelt).
 - For the given load s_1 , qualitatively sketch in the following arch the thrust line and the corresponding support reactions with
 - minimal horizontal force at the support (in blue).
 - maximum horizontal force at the support (in blue, dashed line).
- Skizzieren Sie für die gegebene Belastung s_1 und s_2 in den folgenden Bogen qualitativ die Stützlinie und die dazugehörigen Auflagerkräfte mit
 - minimaler Horizontalkraft an den Auflagern (mit blau).
 - maximaler Horizontalkraft an den Auflagern (mit blau, gestrichelt).
 - For the given load s_1 and s_2 , qualitatively sketch in the following arch the thrust line and the corresponding support reactions with
 - minimal horizontal force at the support (in blue).
 - maximum horizontal force at the support (in blue, dashed line).
- Skizzieren Sie für die gegebene Belastung s_1 und s_2 in den folgenden Bogen qualitativ eine Möglichkeit zur Stabilisierung des Bogens mit Seilen.
 - For the given load s_1 and s_2 , qualitatively sketch in the following arch one possibility for a stabilization of the arch with cables.

vgl.
TEI
Vorlesung 07
Seite 56 - 66

compare
SDI
Lecture 07
Page 56 - 66



Aufgabe 2
Task 2

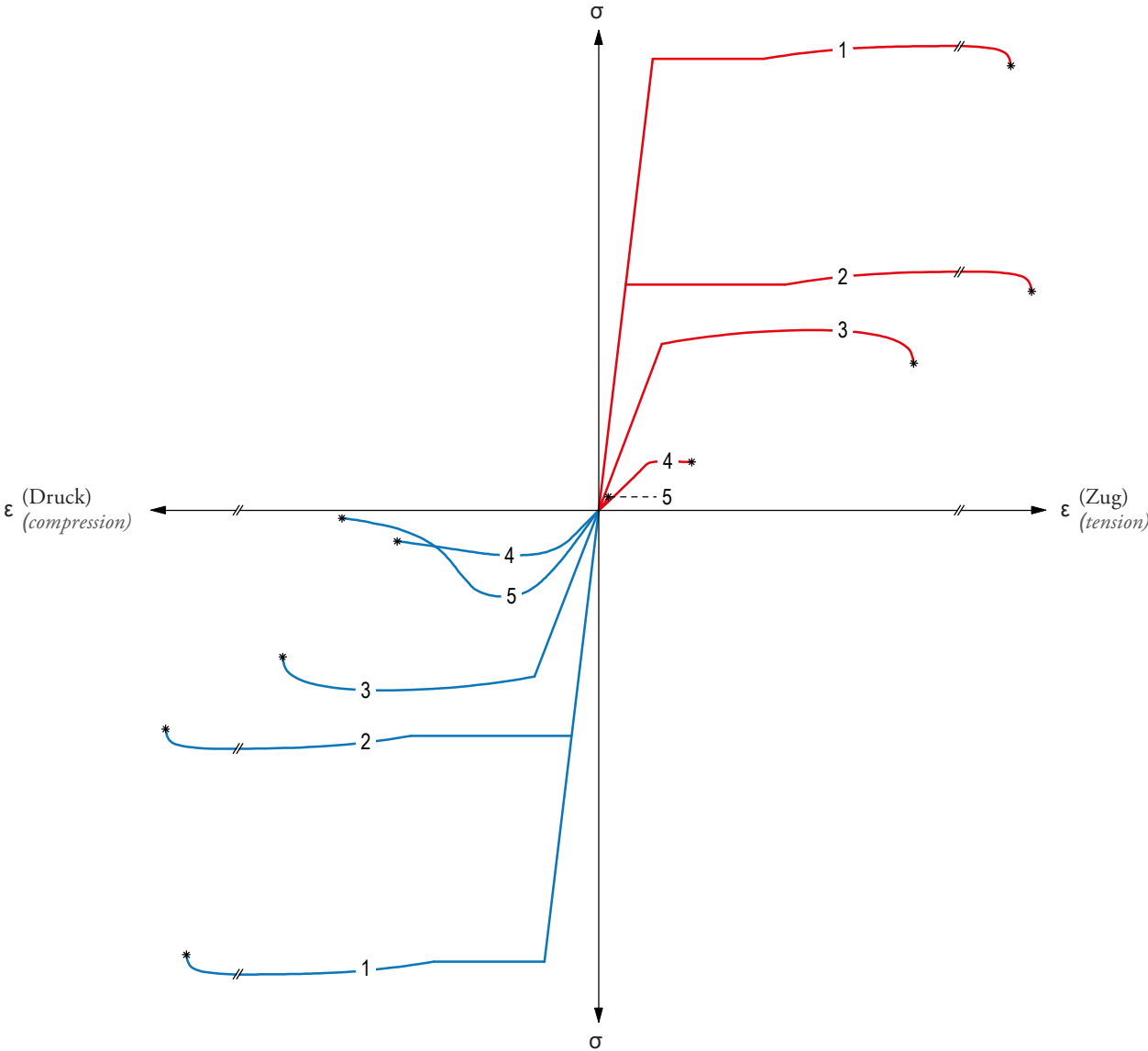
Materialeigenschaften
Material properties

ca. 5 Minuten
approx. 5 minutes

Ordnen Sie die Graphen aus dem gegebenen, nicht massstäblichen Spannungs- Dehnungs- Diagramm den Materialien aus der folgender Tabelle zu.

Assign the curves from the given, not to scale stress-strain diagram to the materials of the following chart.

Material Material	Stahl S235 Steel S235	Stahl S500 Steel S500	Beton C55/65 Concrete C55/65	Buche Beech	Aluminium Aluminum
Graph Nummer Graph number	2	1	5	4	3



vgl.
TEI
Vorlesung 06
Seite 34 - 50

compare
SDI
Lecture 06
Page 34 - 50

Aufgabe 3
Task 3

Statische Bestimmtheit
Statical determinacy

ca. 5 Minuten
approx. 5 minutes

Markieren Sie mit einem Kreuz, ob das jeweils dargestellte System äußerlich statisch bestimmt und / oder innerlich statisch bestimmt ist. Hierbei können Sie die folgenden Formeln anwenden:

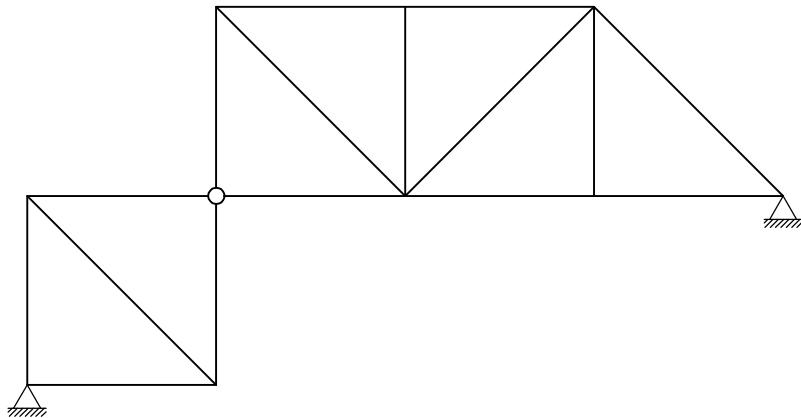
- Grad der äußerlichen statischen Bestimmtheit = Anzahl der Auflagerreaktionen - 3 - Anzahl der Gelenke
- Grad der innerlichen statischen Bestimmtheit = Anzahl der Auflagerreaktionen + Anzahl der Stäbe - (2 · Anzahl der Knoten)

Mark with a cross if the respective system is externally statically determinate and / or internally statically determinate. Hereby you can use the following formulas:

- Degree of external statical determinacy = Number of support reactions - 3 - Number of joints
- Degree of internal statical determinacy = Number of support reactions + Number of members - (2 · Number of nodes)

vgl.
TEII
UE1, Aufg. 1

compare
SDII
EX1, Task 1

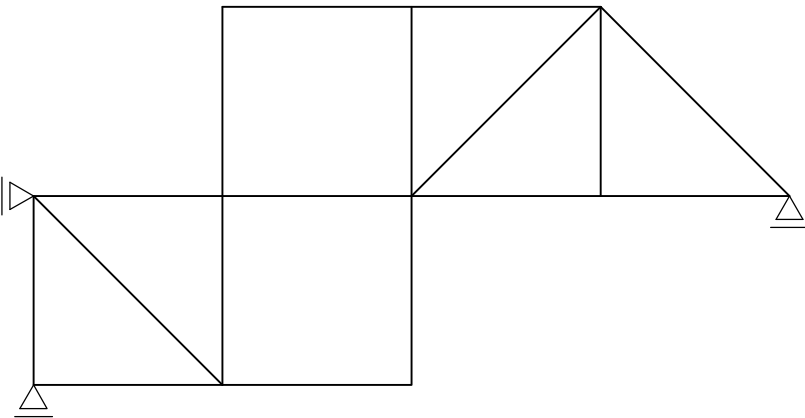


☒ Äußerlich statisch bestimmt
Externally statically determinate

$4 A - 3 - 1 G = 0$

☒ Innerlich statisch bestimmt
Internally statically determinate

$4 A + 16 S - (2 \cdot 10 K) = 0$



☒ Äußerlich statisch bestimmt
Externally statically determinate

$3 A - 3 - 0 G = 0$

☐ Innerlich statisch bestimmt
Internally statically determinate

$3 A + 17 S - (2 \cdot 11 K) = -2$

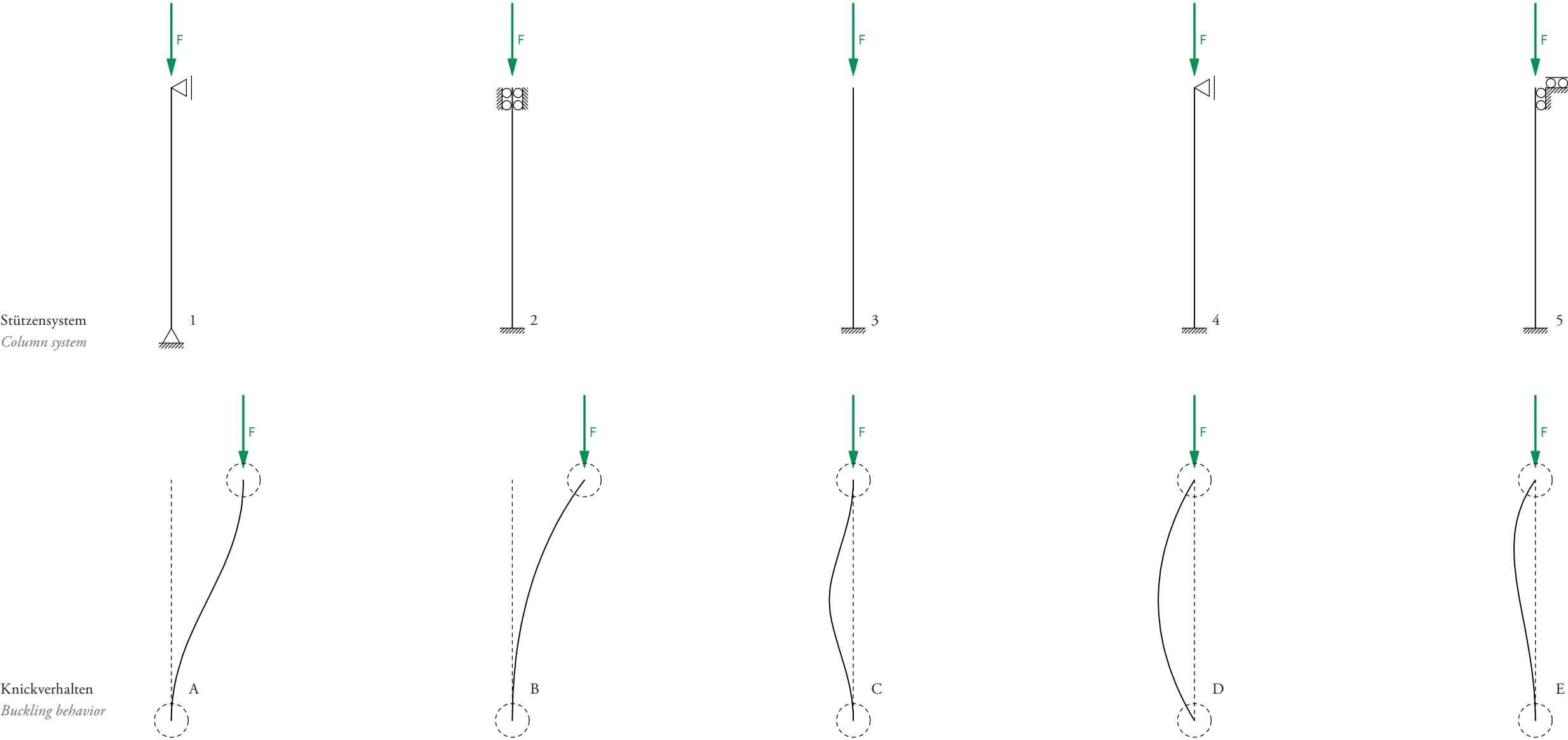
Aufgabe 4
Task 4

Knickverhalten
Buckling behavior

ca. 5 Minuten
approx. 5 minutes

Ordnen Sie in der Tabelle dem jeweiligen Stützensystem (1 bis 5) das zugehörigen Knickverhalten (A bis E) zu.
In the following table, assign to each column system (1 to 5) the respective buckling behavior (A to E).

Stützensystem Column system	1	2	3	4	5
Knickverhalten Buckling behavior	D	C	B	E	A



vgl.
TEII
Vorlesung 9,
Seite 26

compare
SDII
Lecture 9,
page 26

Aufgabe 5
Task 5

Lasten berechnen
Calculating loads

ca. 10 Minuten
approx. 10 minutes

Für den Entwurf einer Markthalle wollen Sie ein Grundstück von 20 x 40 Metern überdachen. Eine der ersten Entscheidungen bzgl. des Tragwerks sieht vor, alle 5 Meter einen Hauptträger zu platzieren, der 20 Meter überspannt (siehe Bild unten). Die Art des Hauptträgers ist noch unbekannt.

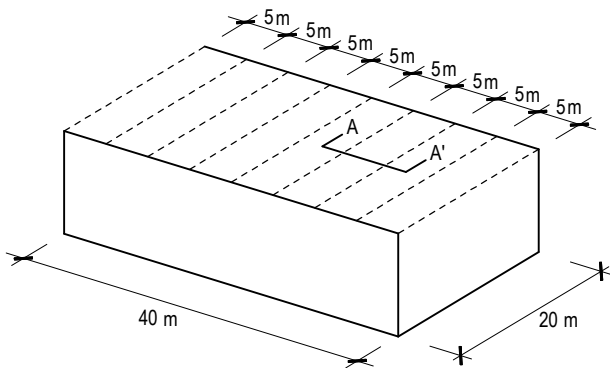
- Geben Sie die Linienlast auf Bemessungsniveau s_d in kN/m auf einem der mittleren Hauptträgern an.

Das Eigengewicht des Hauptträgers können Sie hierbei vernachlässigen. Ein vereinfachter Schnitt durch den begrünten Dachaufbau ist gegeben. Der Lösungsweg muss nachvollziehbar sein. Lösungsweg, Zwischenschritte und Endresultat werden bewertet.

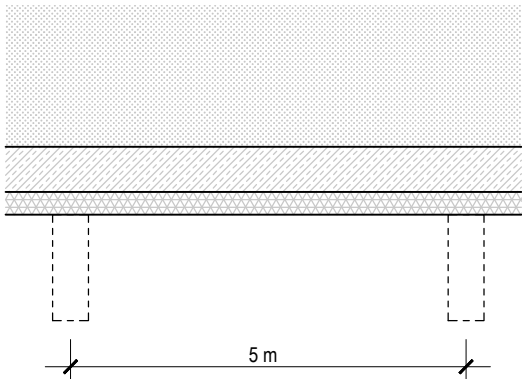
For the design of a market hall you want to roof a plot of 20 x 40 meters. One of the first decisions regarding the structure includes to have a main supporting section every 5 meters, each spanning 20 meters (see image below). The type of supporting section is still unknown.

- Indicate the design line load s_d in kN/m on one of the middle main structures.

The self weight of the main structure can be ignored. A simplified section through the roof is given. The solving process needs to be comprehensible. Approach, intermediate steps and final result are part of the valuation.



Markthalle mit Trägern alle 5m
Market hall with structure every 5m



Vereinfachter, nicht massstäblicher Schnitt AA' durch Dachaufbau
Simplified, not to scale section AA' through roof

Aus Formelsammlung: $V_G = 1,35$
From equation sheet: $V_Q = 1,5$

$$s_d = g_d + q_d = 67,875 \text{ kN/m}$$

$$g_d = g_k \cdot 1,35 = 30,375 \text{ kN/m}$$
$$g_k = (25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 5 \text{ m}) + (10 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 5 \text{ m}) = 12,5 \text{ kN/m} + 10 \text{ kN/m} = 22,5 \text{ kN/m}$$

$$q_d = q_k \cdot 1,5 = 37,5 \text{ kN/m}$$
$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m} = 25 \text{ kN/m}$$

Aufgabe 6
Task 6

Seil mit gleichmäßig verteilter Last
Cable with uniform loading

ca. 10 Minuten
approx. 10 minutes

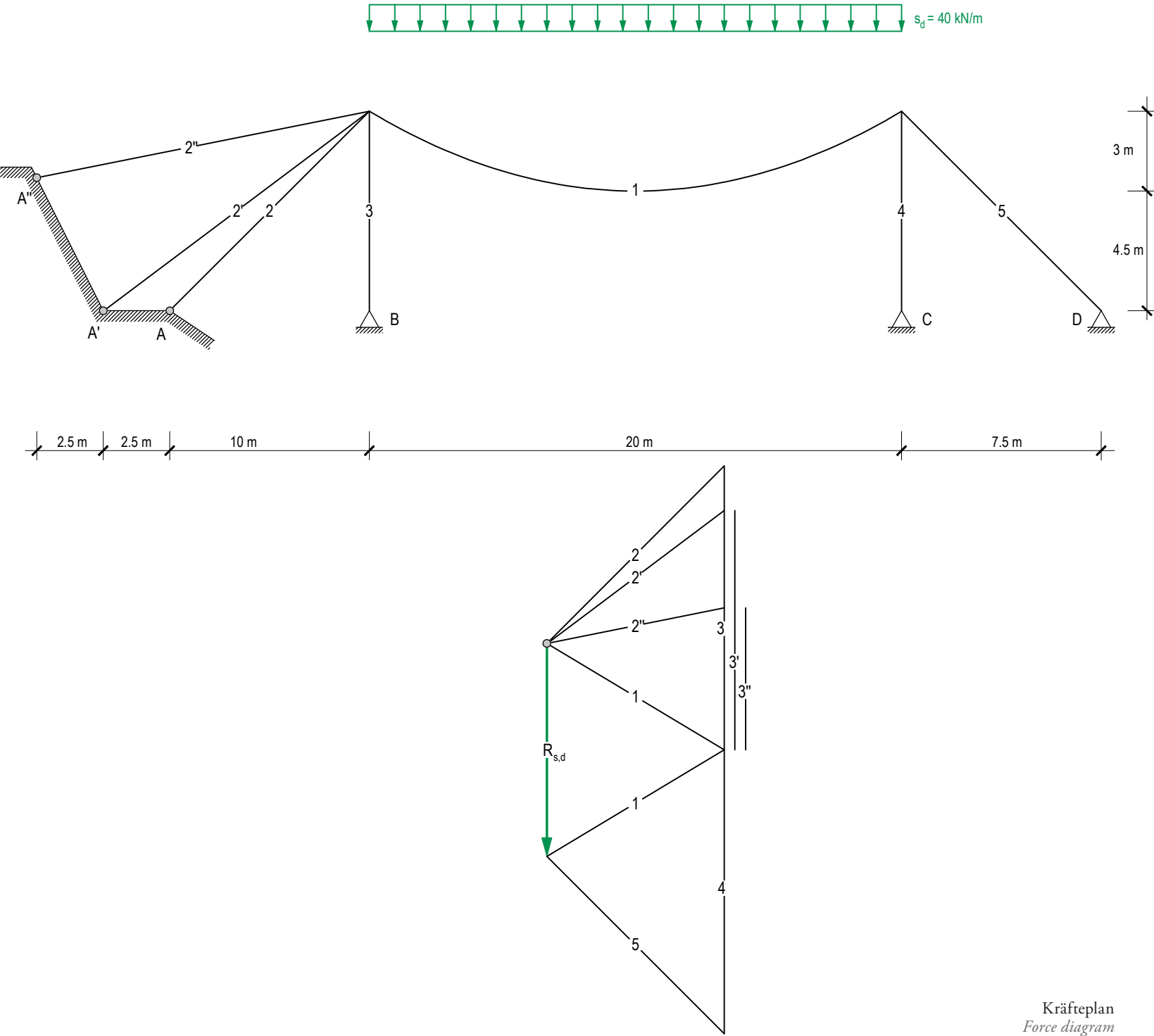
Lageplan
Form diagram
1cm ≙ 2m

Für den Hauptträger der Markthalle wird eine Seilkonstruktion untersucht. Gegeben ist eine Ansicht des Haupttragwerks mit einer gleichmäßig verteilten Last s_d und dem zugehörigen Kräfteplan. Seil 2 könnte, anstelle des derzeit verwendeten Auflagers A, auch an Auflager A' oder A'' befestigt werden.

- Bestimmen Sie, welches Auflager (A oder A' oder A'') aus Sicht der auftretenden inneren Kräfte am geeignetsten wäre. Begründen Sie Ihre Auswahl sowohl zeichnerisch im Lage- und Kräfteplan als auch schriftlich (stichpunktartig) auf den unten dargestellten Linien.

A cable structure as main load-bearing structure is to be analyzed. Given is the elevation of the structure with a uniform loading s_d and the respective force diagram. Cable 2 could, instead of the current support A, also be fixed at A' or A''.

- Determine which support (A or A' or A'') is the most suitable regarding the involved inner forces. Justify your decision by drawings in the form- and force diagram as well as by writing (key points) at the below given lines.



Auswahl A'' ist am besten, weil:

- Kräfte in Element 2'' kleiner als 2' und 2
- Kräfte in Element 3'' kleiner als 3' und 3

Kräfteplan
Force diagram
1cm ≙ 200 kN
1cm ≙ 200 kN

Aufgabe 7
Task 7

Seil mit ungleichmäßig verteilter Last
Cable with non-uniform loading

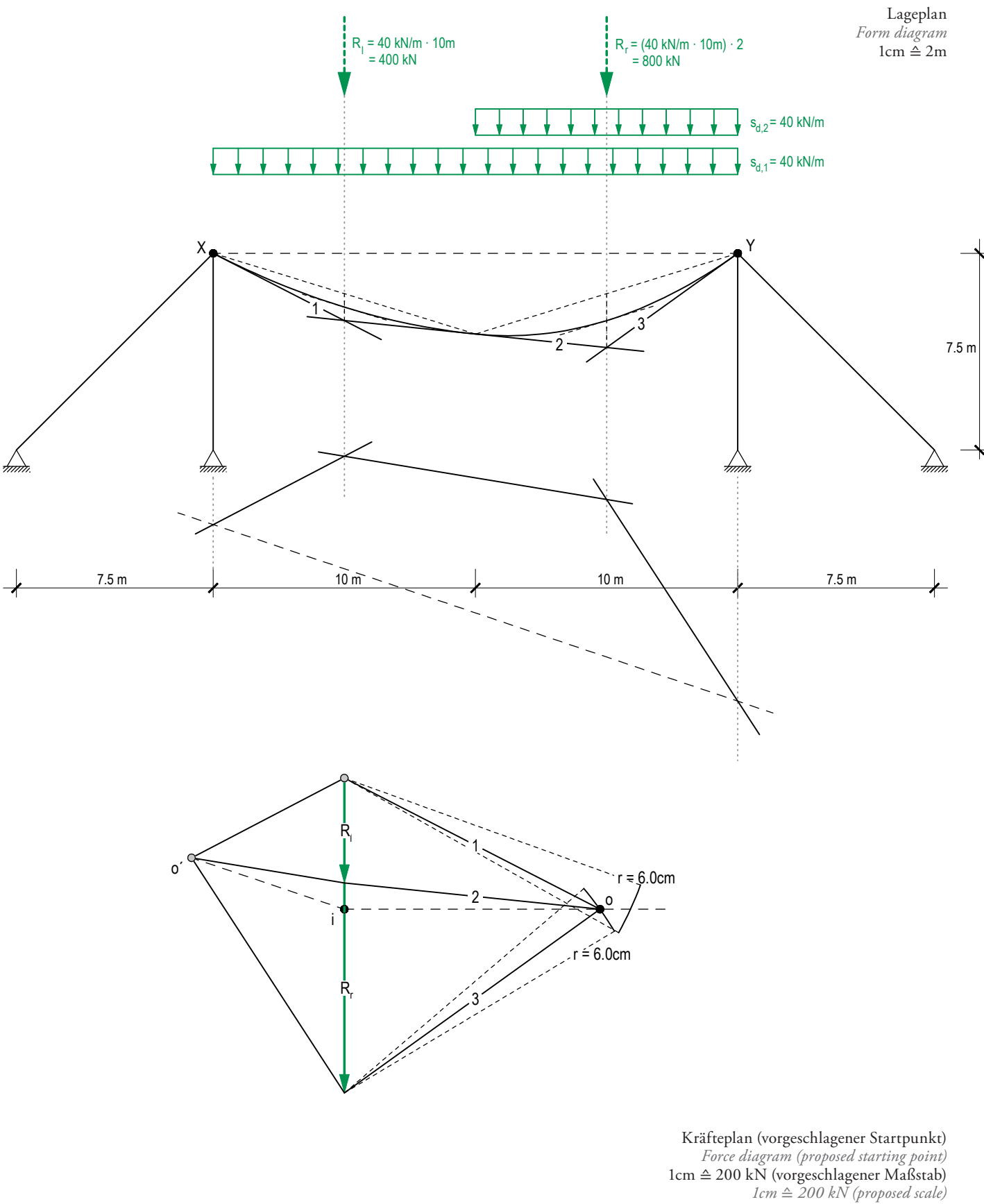
ca. 30 Minuten
approx. 30 minutes

Für den Hauptträger der Markthalle wird eine Seilkonstruktion untersucht. Gegeben ist eine nicht vollständige Ansicht des Haupttragwerks. Neben einer gleichmäßig verteilten Last $s_{d,1}$ tritt zusätzlich auf der rechten Seite des Tragwerks eine zweite Belastung $s_{d,2}$ auf.

- Finden Sie die statische Form eines hängenden Stahlseils für die gegebene Belastungssituation zwischen den Auflagern X und Y, wobei das Seil eine Querschnittsfläche $A = 1200 \text{ mm}^2$ und eine Zugfestigkeit auf Bemessungsniveau $f_{td} = 1000 \text{ N/mm}^2$ aufweist.
- Zeichnen Sie die Form in den Lageplan.
- Zeichnen und beschriften Sie den zugehörigen Kräfteplan.

A cable structure as main load-bearing structure for the market hall is to be analyzed. Given is a non-complete elevation of the structure. Next to the uniform loading $s_{d,1}$ along the whole structure, a second loading $s_{d,2}$ only on the right side of the structure applies.

- Find the funicular shape of the hanging steel cable for the given loading condition that spans between the support X and Y while assuming that the cable has a cross-sectional area of $A = 1200 \text{ mm}^2$ and an allowable tensile stress (design value) $f_{td} = 1000 \text{ N/mm}^2$.
- Draw this shape in the form diagram.
- Draw and label the respective force diagram.



vgl.
TEI
Fallstudie 03
Aufgabe 04

compare
SDI
Case study 03
Task 04

Aus Formelsammlung: $f_{td} = N_d / A$
From equation sheet:

$N_d = f_{td} \cdot A = 1000 \text{ N/mm}^2 \cdot 1200 \text{ mm}^2 = 1200.000 \text{ N} = 1200 \text{ kN}$

Aufgabe 8
Task 8

Bogen mit ungleichmäßig verteilter Last
Arch with non-uniform loading

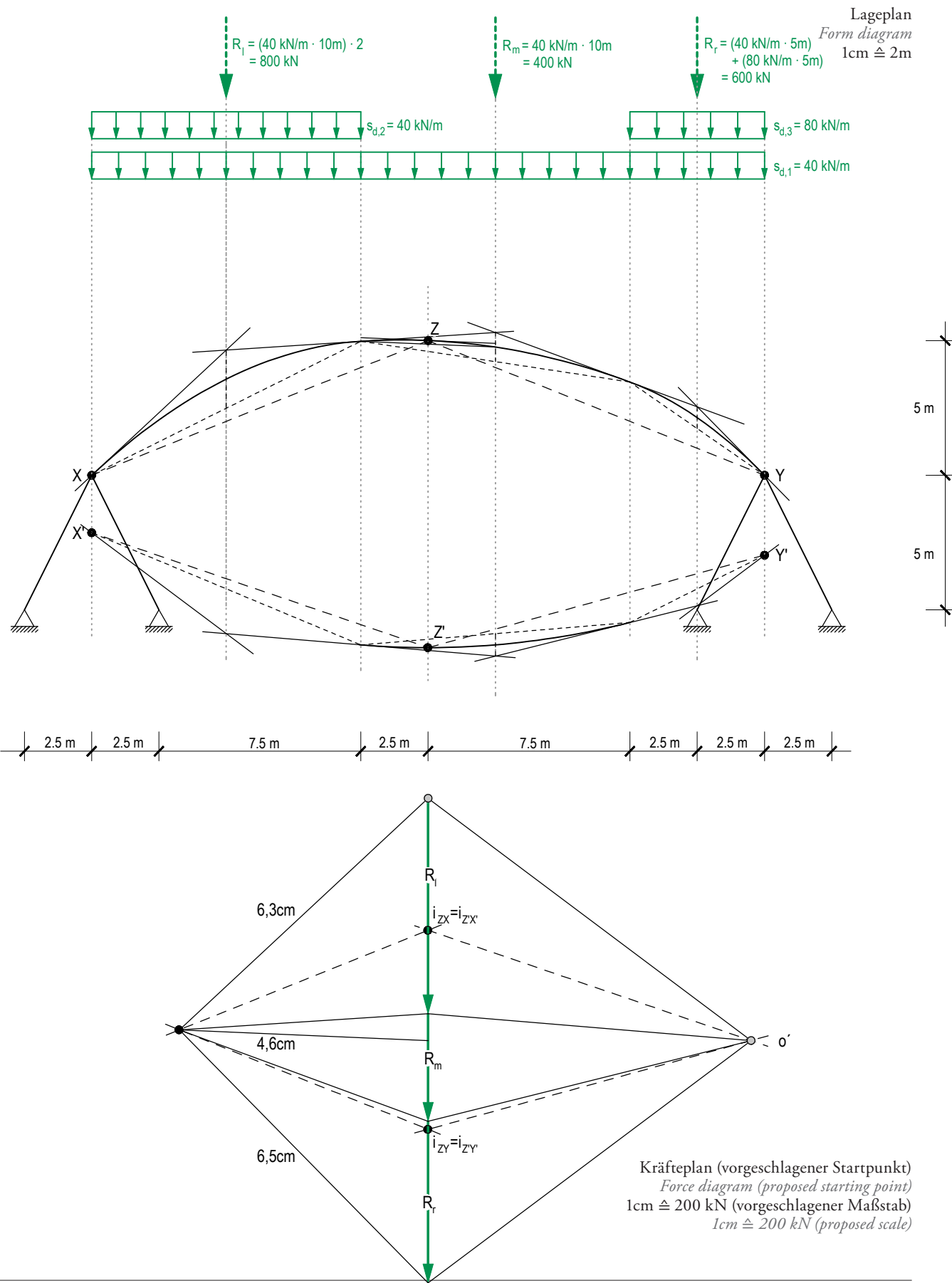
ca. 30 Minuten
approx. 30 minutes

Für den Hauptträger der Markthalle wird eine Bogen- Konstruktion untersucht. Gegeben ist eine nicht vollständige Ansicht des Haupttragwerks. Neben einer gleichmäßig verteilten Last $s_{d,1}$ tritt zusätzlich auf der linken Seite eine Belastung $s_{d,2}$ und auf der rechten Seite auf eine Belastung $s_{d,3}$ (Achtung: $s_{d,3} = 80 \text{ kN/m}$) auf.

- Finden Sie die statische Form eines Bogens für die gegebene Belastungssituation durch die Punkte X, Y und Z.
- Zeichnen Sie diese Form in den Lageplan.
- Zeichnen und beschriften Sie den zugehörigen Kräfteplan.
- Geben Sie die Kräfte im Bogen an den Punkten X, Y und Z in der dargestellten Tabelle an.

An arch-structure as main load-bearing structure for the market hall is to be analyzed. Given is a non-complete elevation of the structure. Next to the uniform loading $s_{d,1}$ along the whole structure, a second loading $s_{d,2}$ on the left side and a third loading $s_{d,3}$ (Attention: $s_{d,3} = 80 \text{ kN/m}$) on the right side of the structure applies.

- Find the funicular shape of an arch for the given loading condition through the points X, Y and Z.
- Draw this shape in the form diagram.
- Draw and label the respective force diagram.
- Indicate the forces in the arch at the points X, Y and Z in the given chart.



Punkt	X	Y	Z
Kraft [kN] Force [kN]	1260	1300	920

Aufgabe 9
Task 9

Kräfte im Fachwerk
Forces in trusses

ca. 10 Minuten
approx. 10 minutes

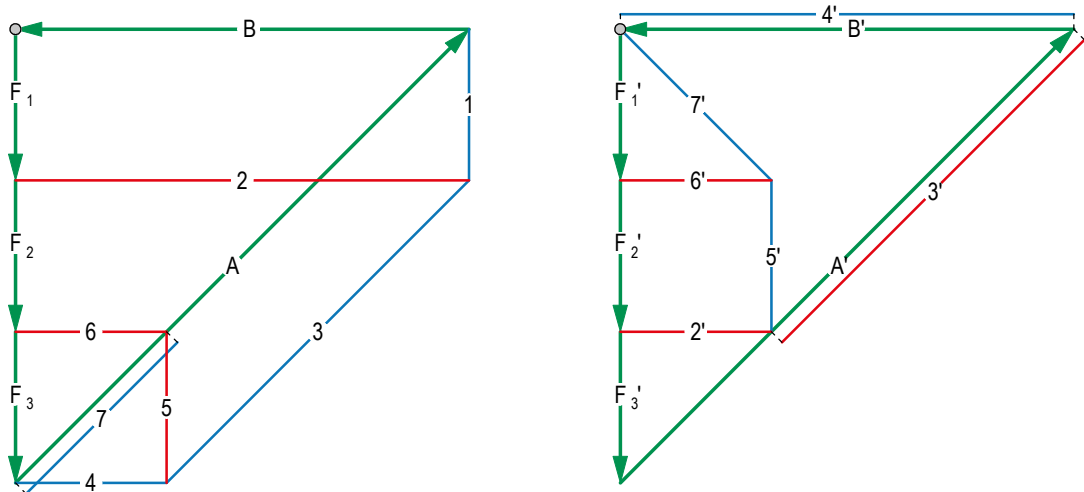
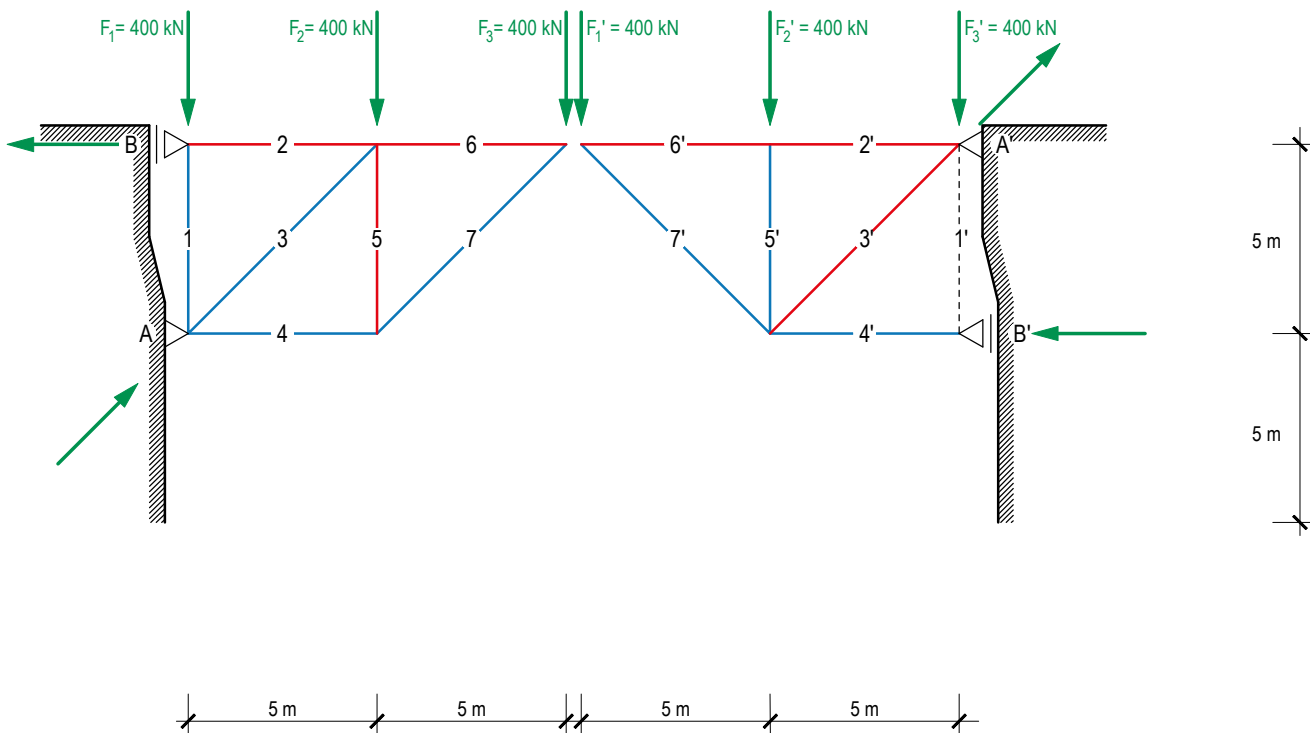
Lageplan
Form diagram
1cm ≙ 2m

Für den Hauptträger der Markthalle werden zwei Fachwerke an bereits bestehenden Strukturen mit den Belastungen F_1 bis F_3 bzw. F_1' bis F_3' untersucht. Gegeben ist eine Ansicht der Tragwerke und die zugehörigen Kräftepläne.

- Beschriften Sie die Kräftepläne mit den entsprechenden Elementen, markieren Sie auftretende Nullstäbe im Lageplan mit einem Kreis und markieren Sie sowohl im Kräfte- als auch im Lageplan Zugelemente mit rot und Druckelemente mit blau.
- Bestimmen Sie, welche Seite des Fachwerks (links: Stäbe 1 bis 7 oder rechts: Stäbe 1' bis 7') zur Materialsparenden Lastabtragung besser geeignet ist. Begründen Sie Ihre Auswahl schriftlich (stichpunktartig) auf den unten dargestellten Linien.

Two trusses on an existing structure with loads F_1 to F_3 resp. F_1' to F_3' as main load-bearing structure are to be analyzed. Given is the elevation of the structure and the respective force diagrams.

- Label the force diagrams with the respective elements, mark occurring zero-force members in the form diagram with a circle, and mark in form- and force diagram tension elements with red and compression elements with blue.
- Determine which side of the truss (left: elements 1 to 7 or right: elements 1' to 7') is the most suitable regarding a material-saving transport of loads. Justify your decision by writing (key points) at the below given lines.



Rechts (Stäbe 1' bis 7') ist besser, weil:

- Kräfte ungefähr gleich wie links.

- Ein Stab ist Nullstab.

Kräfteplan
Force diagram
1cm ≙ 200 kN
1cm ≙ 200 kN

Aufgabe 10
Task 10

Auskragendes Fachwerk
Cantilevering truss

ca. 30 Minuten
approx. 30 minutes

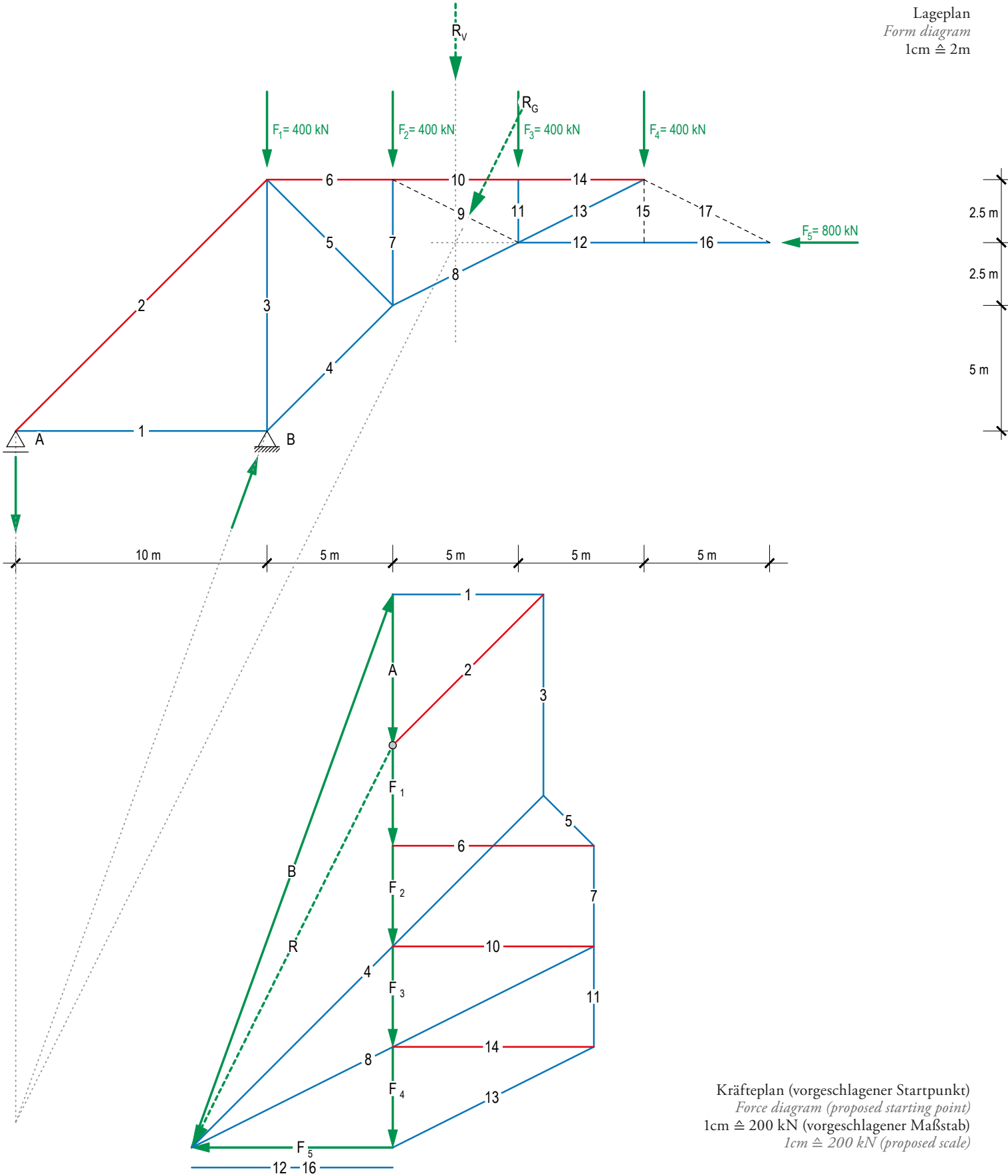
Lageplan
Form diagram
1cm \cong 2m

Für den Hauptträger der Markthalle wird ein auskragendes Fachwerk untersucht. Gegeben ist eine Ansicht des Haupttragwerks mit den vertikalen Belastungen F_1 bis F_4 und der horizontalen Belastung F_5 (Achtung: $F_5 = 800\text{kN}$).

- Bestimmen Sie die Resultierende in Lage- und Kräfteplan.
- Bestimmen Sie die Auflagerkräfte im Kräfteplan und zeichnen Sie deren Richtung im Lageplan ein.
- Zeichnen und beschriften Sie den Kräfteplan für alle Elemente des Fachwerks.
- Markieren Sie sowohl im Kräfte- als auch im Lageplan Zugelemente mit rot, Druckelemente mit blau und externe Kräfte mit grün.

A cantilevering truss as main load-bearing structure is to be analyzed. Given is the elevation of the structure with the vertical loadings F_1 to F_4 and the horizontal loading F_5 (Attention: $F_5 = 800\text{kN}$).

- Determine the resultant in form- and force diagram.
- Determine the support reactions in the force diagram and draw their direction in the form diagram.
- Draw and label the force diagram for all elements of the truss.
- Mark in form- and force diagram tension elements with red, compression elements with blue and external forces with green.



Kräfteplan (vorgeschlagener Startpunkt)
Force diagram (proposed starting point)
1cm \cong 200 kN (vorgeschlagener Maßstab)
1cm \cong 200 kN (proposed scale)

vgl.
TEII
UE1, Aufg. 3;
UE2, Aufg. 1

compare
SDII
EX1, Task 3;
EX2, Task 1

Aufgabe 11
Task 11

Kräfteverlauf im Rahmen
Force flow in frames

ca. 10 Minuten
approx. 10 minutes

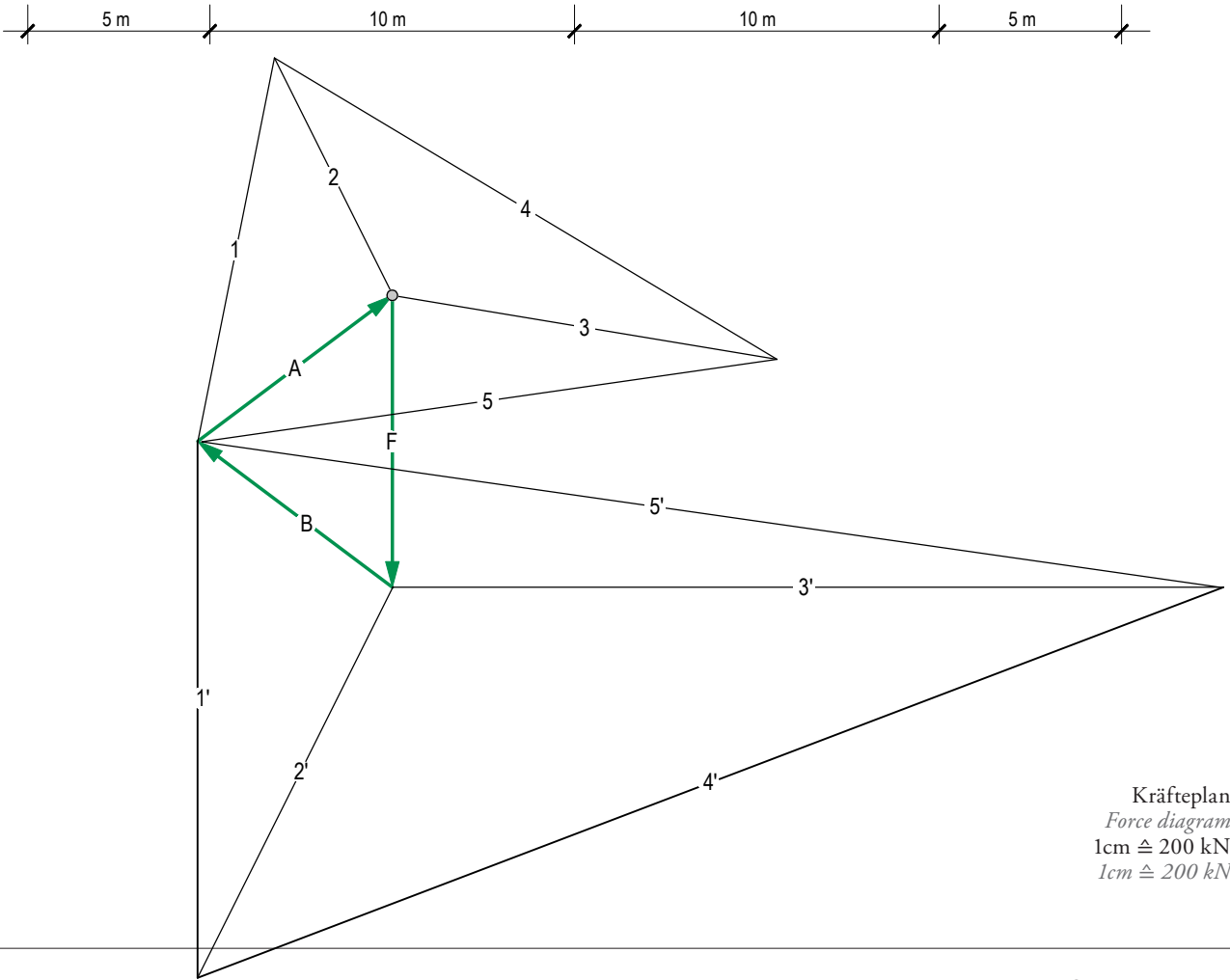
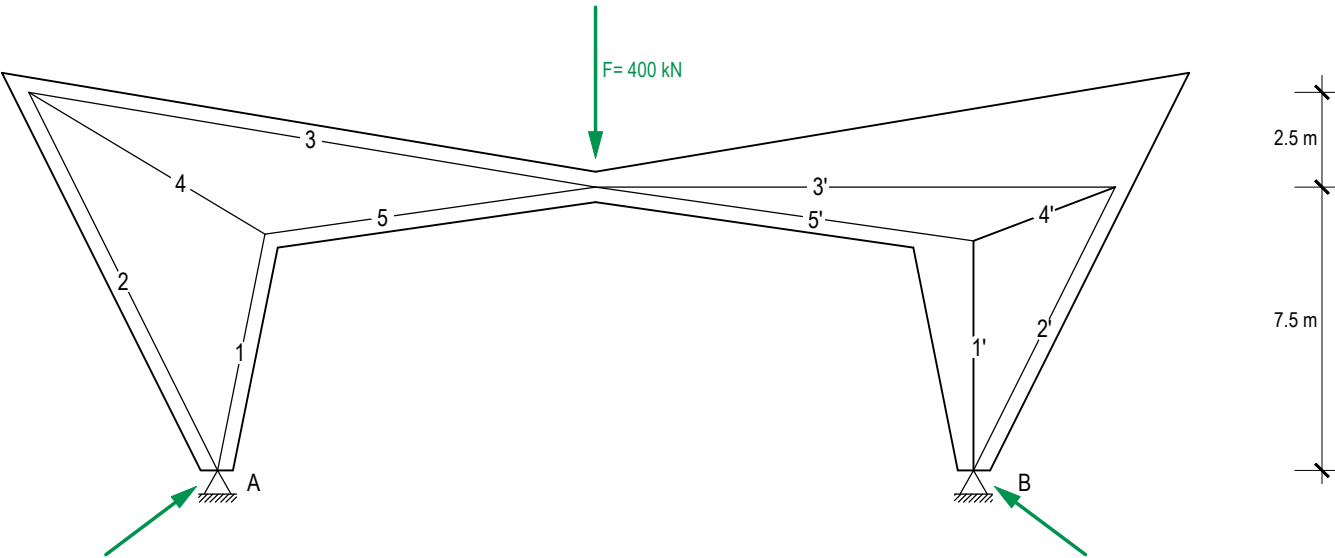
Lageplan
Form diagram
1cm ≙ 2m

Für den Hauptträger der Markthalle wird ein symmetrischer Rahmen aus Stahlbeton mit der Belastung F untersucht. Gegeben ist eine Ansicht des Haupttragwerks, zwei mögliche innere Kräfteverläufe (1 bis 5 und 1' bis 5') sowie die externen Kräfte und Auflagerreaktionen in Lage- und Kräfteplan.

- Bestimmen Sie, welcher innerer Kräfteverlauf (1 bis 5 oder 1' bis 5') aus Sicht der auftretenden inneren Kräfte besser geeignet wäre. Begründen Sie Ihre Auswahl sowohl zeichnerisch durch Vervollständigung des Kräfteplans mit beiden inneren Kräfteverläufen als auch schriftlich (stichpunktartig) auf den unten dargestellten Linien.

A symmetrical frame out of reinforced concrete with load F as main load-bearing structure is to be analyzed. Given is the elevation of the structure, two possible inner force flows (1 to 5 and 1' to 5') as well as the external loads and the support reactions in form- and force diagram.

- Determine which inner force flow (1 to 5 or 1' to 5') is more suitable regarding the involved inner forces. Justify your decision by completing the force diagram with the two inner force flows as well as by writing (key points) at the below given lines.



vgl.
TEII
UE4, Aufg. 4

compare
SDII
EX4, Task 4

1 bis 5 ist besser, weil:

- Kräfte sind kleiner als bei 1' bis 5'
- Querschnitt wird voll ausgenutzt

Kräfteplan
Force diagram
1cm ≙ 200 kN
1cm ≙ 200 kN

Aufgabe 12
Task 12

Kräfteverlauf in Balken und Scheibe
Force flow in beam and shear wall

ca. 30 Minuten
approx. 30 minutes

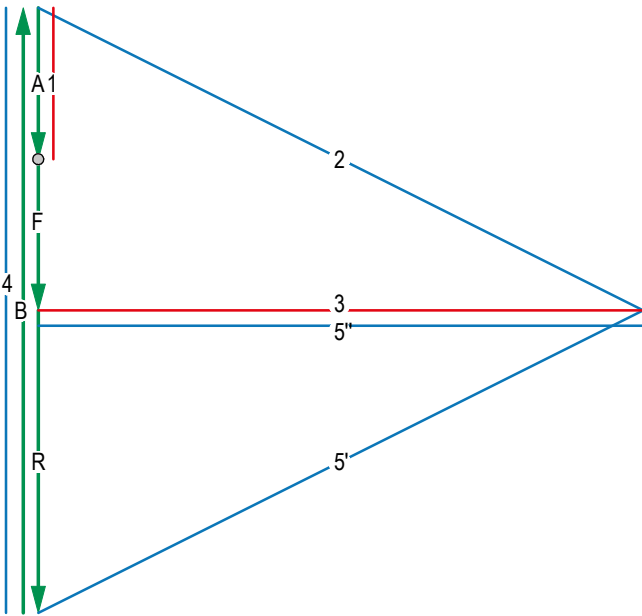
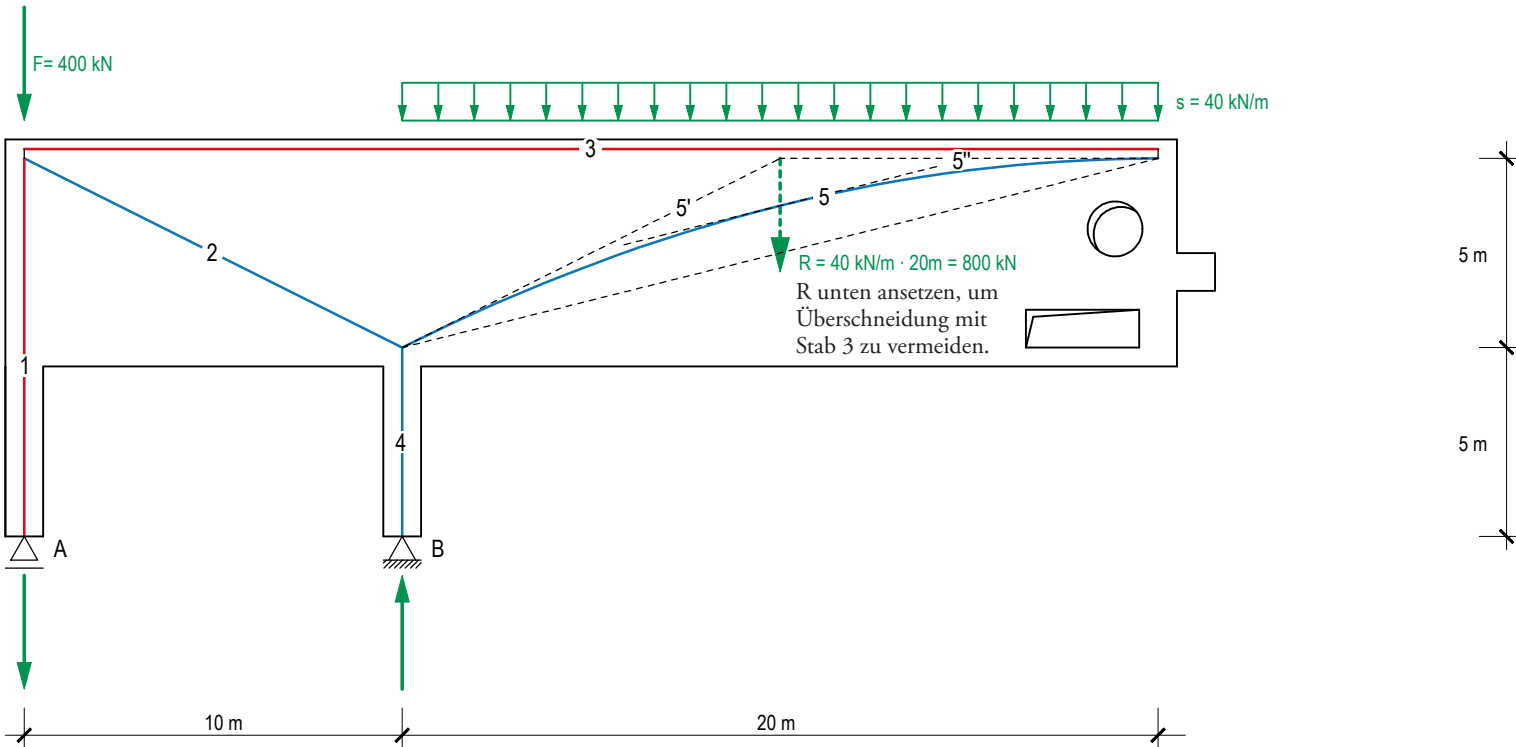
Lageplan
Form diagram
1cm ≙ 2m

Für den Hauptträger der Markthalle wird eine auskragende Scheibe auf zwei Stützen untersucht. Neben einer gleichmäßig verteilten Last s tritt am linken Ende des Tragwerks eine zweite Belastung F auf. Gegeben ist eine Ansicht des Haupttragwerks sowie die externen Kräfte und Auflagerkräfte im Lage- und Kräfteplan.

- Bestimmen Sie einen möglichen qualitativen Kräfteverlauf innerhalb der Scheibe und der Stützen.
- Zeichnen und beschriften Sie den Kräfte- und Lageplan für diesen möglichen qualitativen Kräfteverlauf.
- Markieren Sie sowohl im Kräfte- als auch im Lageplan alle Zügelemente mit rot und Druckelemente mit blau.

A cantilevering shear wall on two columns as main load-bearing structure is to be analyzed. Next to the uniform loading s , a second loading F at the left end of the structure applies. Given is the elevation of the structure as well as the external loads and support reactions in form- and force diagram.

- Determine a possible qualitative force flow within the shear wall and columns.
- Draw and label the force and form diagram for this possible qualitative force flow.
- Mark in form- and force diagram all tension elements with red and compression elements with blue.



Kräfteplan
Force diagram
1cm ≙ 200 kN
1cm ≙ 200 kN

vgl.
TEII
UE5, Aufg. 1

compare
SDII
EX5, Task 1