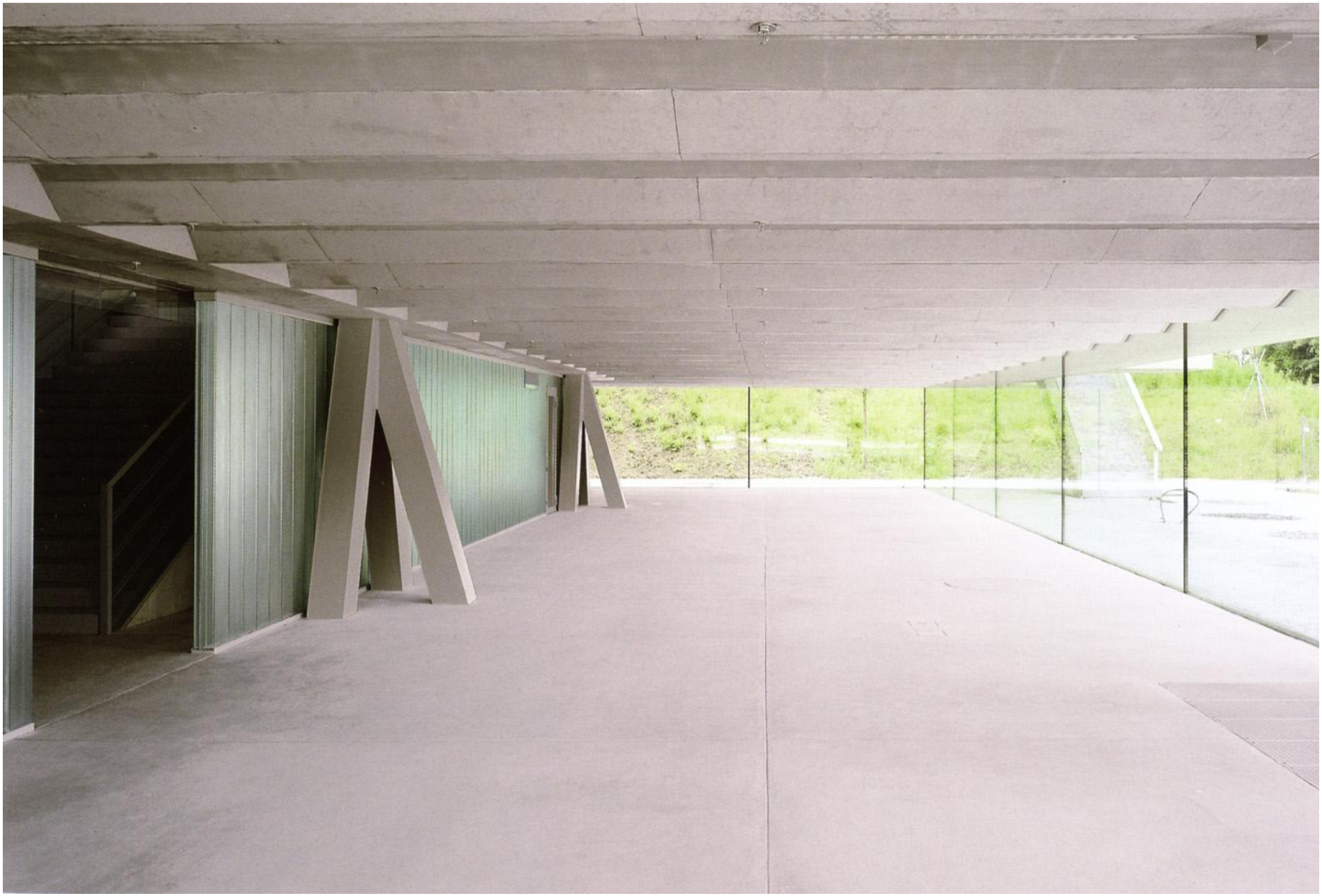
# Einführung Tragwerksentwurf

Schulanlage Leutschenbach

Tragwerksmodell, Schulanlage Leutschenbach

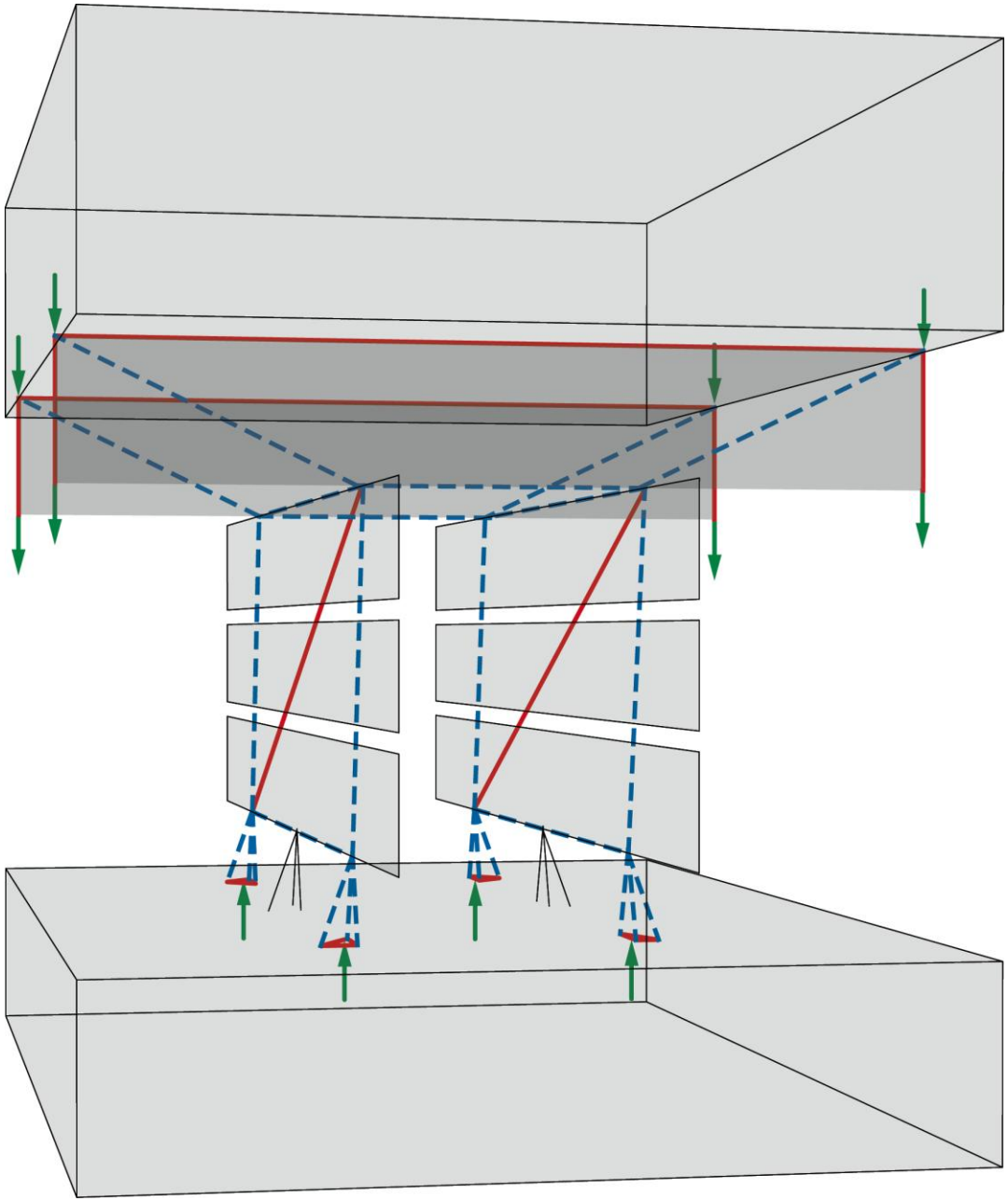
Schulanlage Leutschenbach

Schulanlage Leutschenbach



Schulanlage Leutschenbach

Schulanlage Leutschenbach



3D Tragwerksmodell, Schulanlage Leutschenbach

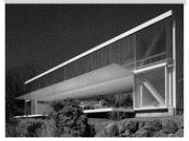
# Herbstsemester - Was?

**Direkte Anwendung**

**4a** Livio Vacchini
Studio Vaccini

**4b** Livio Vacchini
Studio Vaccini

**5** Shigeru Ban
Picture Window
House

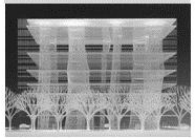


**Tragwerke als architektonischer Raum**

**6a** Christian Kerez
Forsterstrasse

**6a** Christian Kerez
One-Wall-House

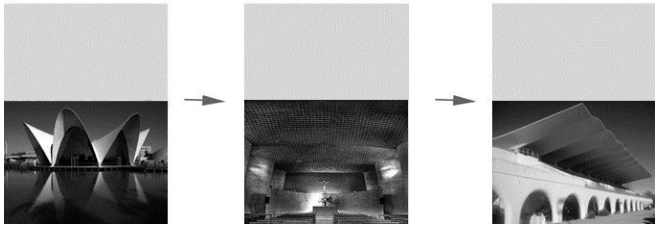
**7a** Toyo Ito
Sendai



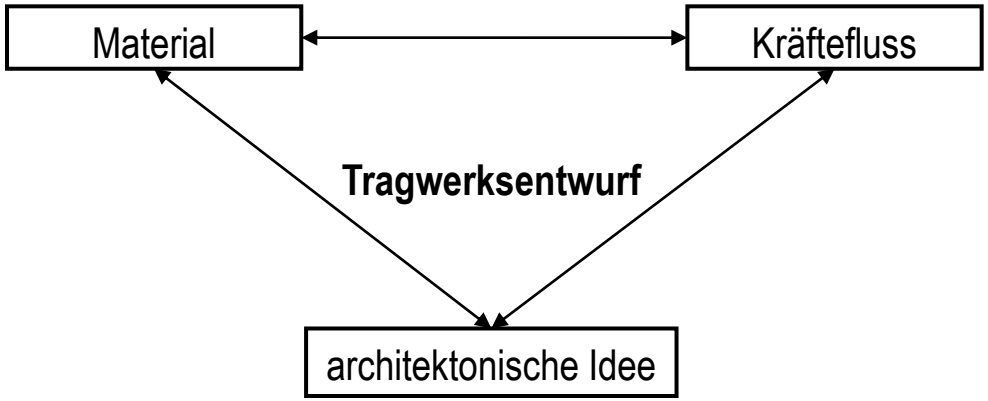
**7b** Toyo Ito
Serpentine
Tama Art Library

# Frühjahrssemester - Wie?

**Variation**



**Methodik**



# Inhalt

Die grafische Statik

Die Kraft als vektorielle Grösse

Gleichgewichtsbedingungen

Innere Kräfte in Tragwerken

Carl Culmann, 1821 - 1881

## Carl Culmann

Der Öffentlichkeit als Ingenieur bekannt wurde Culmann zunächst durch seine England- und Amerika-Reise 1850, von der er seine "Fachwerktheorie" mitbrachte.

Sein Hauptwerk, Die graphische Statik, erschien 1866. Es behandelt zeichnerische Methoden, um die Kräfte in Stahlbauten wie Dachstühlen und Stahlbrücken zu berechnen.

"Das Zeichnen ist die Sprache des Ingenieurs", war Culmanns Credo. Seine grafischen Verfahren erlebten einen rasanten Aufstieg an den technischen Hochschulen und Gymnasien.

Fig. 1.

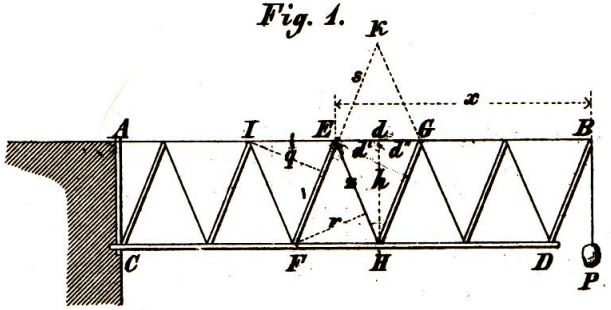



Fig. 2.

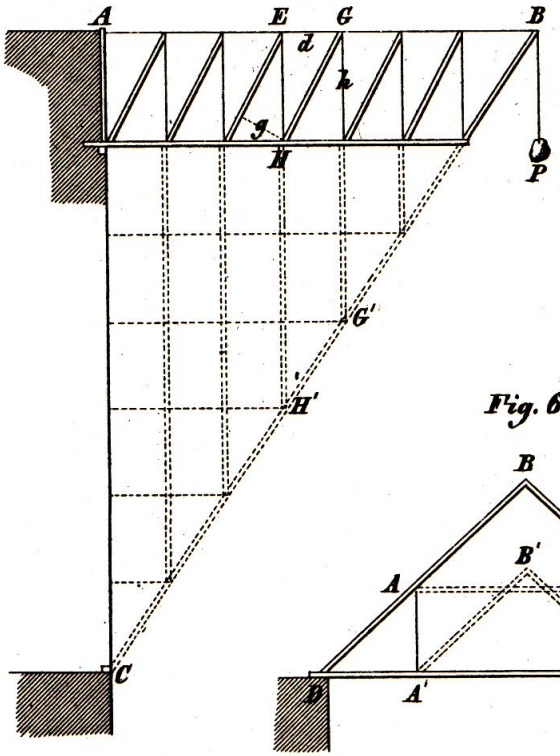



Fig. 3.

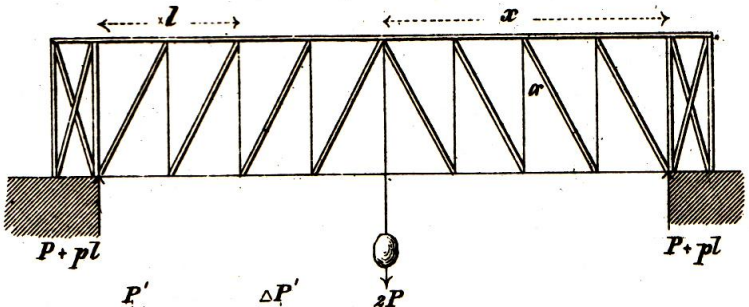



Fig. 4.

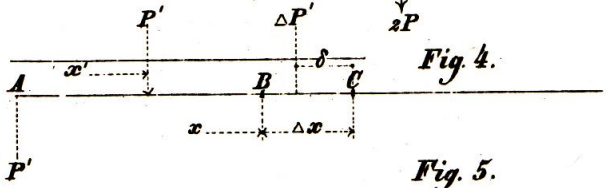



Fig. 5.

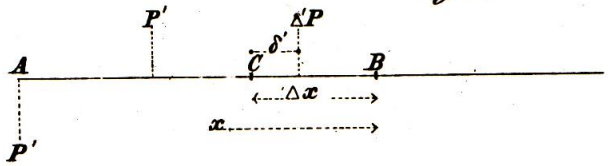



Fig. 6.

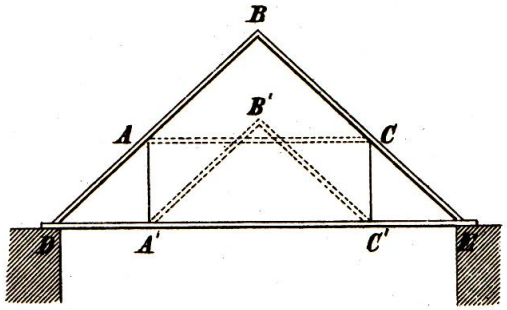



Fig. 7.

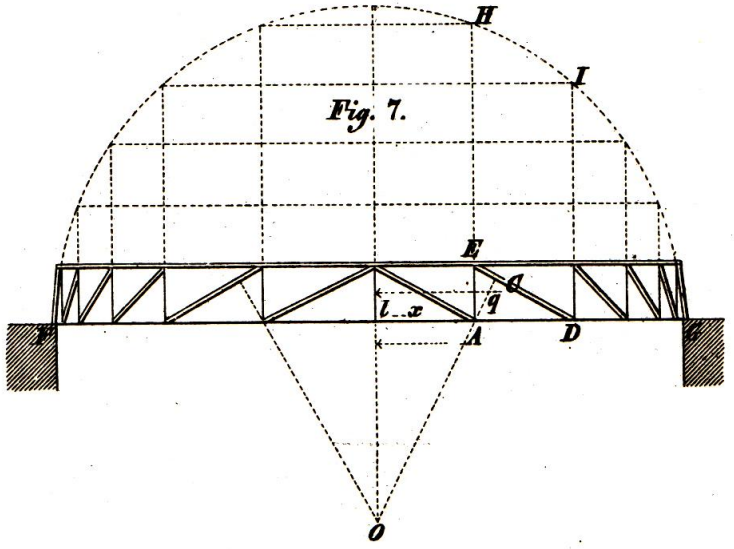
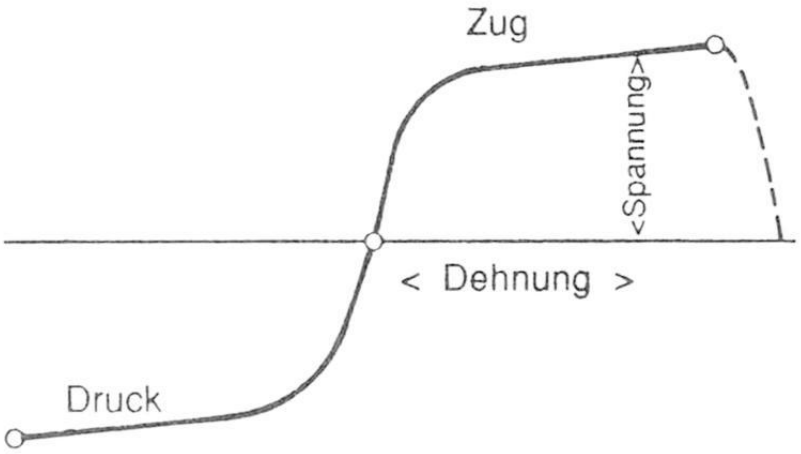


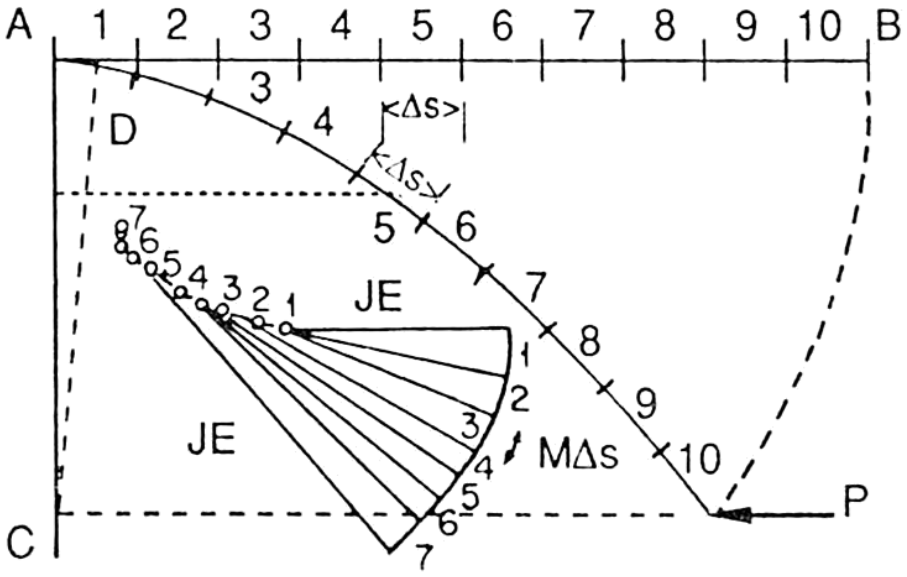

Fig. 8.

Karl Wilhelm Ritter, 1847 - 1906

## Karl Wilhelm Ritter

Karl Wilhelm Ritter war Schweizer Professor am Polytechnikum Zürich.


Zug
<Spannung>
< Dehnung >
Druck


A
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
B
D
<Δs>
<<Δs>>
JE
JE
MΔs
P
C

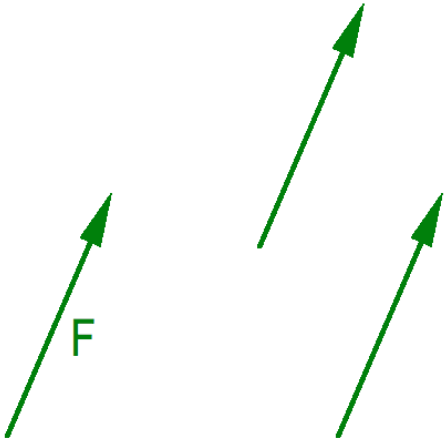
# Inhalt

Die grafische Statik

Die Kraft als vektorielle Grösse

Gleichgewichtsbedingungen

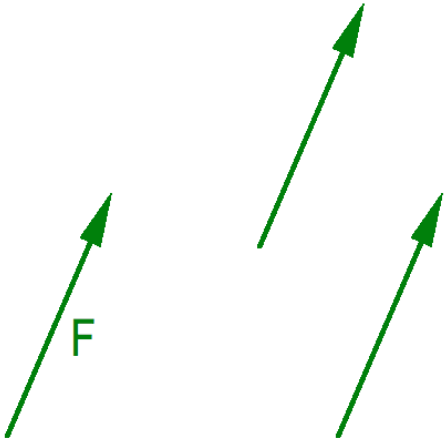
Innere Kräfte in Tragwerken




## Die Kraft als vektorielle Grösse

freier Vektor:

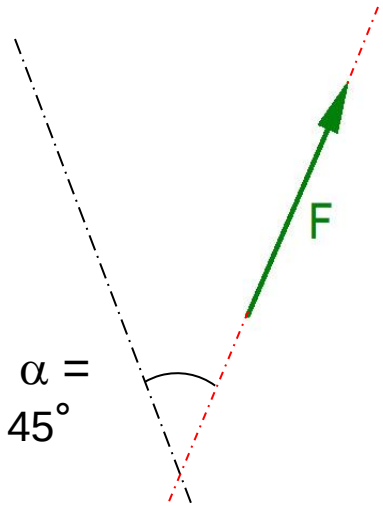
- **Richtung** gegeben
- **Intensität** gegeben
- Lage frei verschiebbar



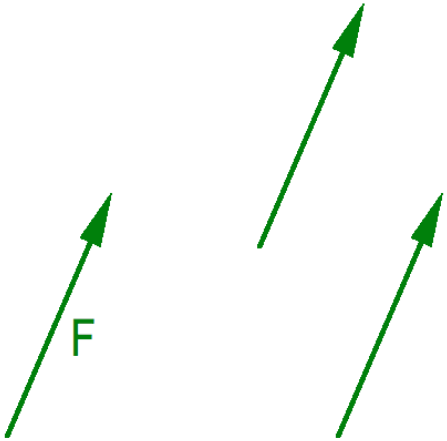

## Die Kraft als vektorielle Grösse

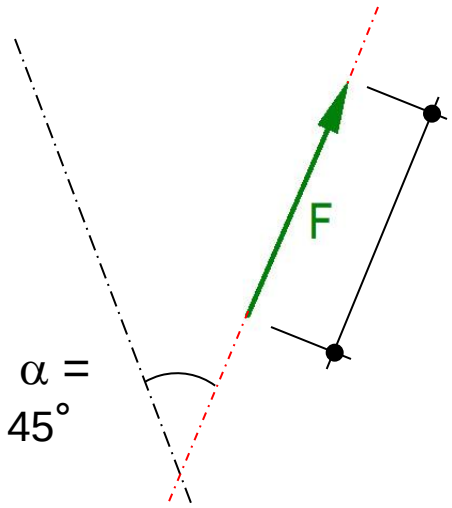
freier Vektor:

- **Richtung** gegeben
- **Intensität** gegeben
- Lage frei verschiebbar




Die Richtung wird definiert durch einen Winkel zwischen 0 und 360° ab einer Referenzachse.



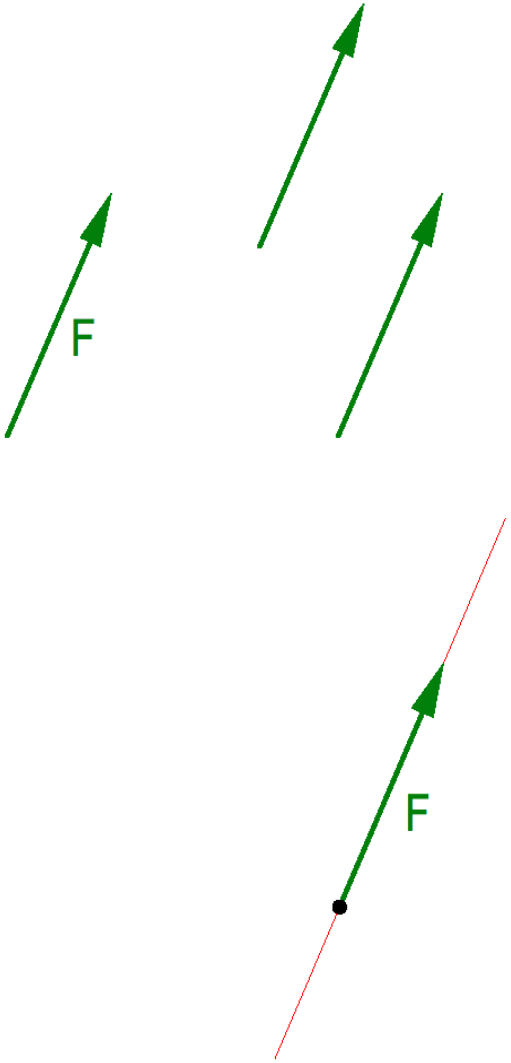

## Die Kraft als vektorielle Grösse

freier Vektor:

- **Richtung** gegeben
- **Intensität** gegeben
- Lage frei verschiebbar

Die Richtung wird definiert durch einen Winkel zwischen 0 und 360° ab einer Referenzachse.

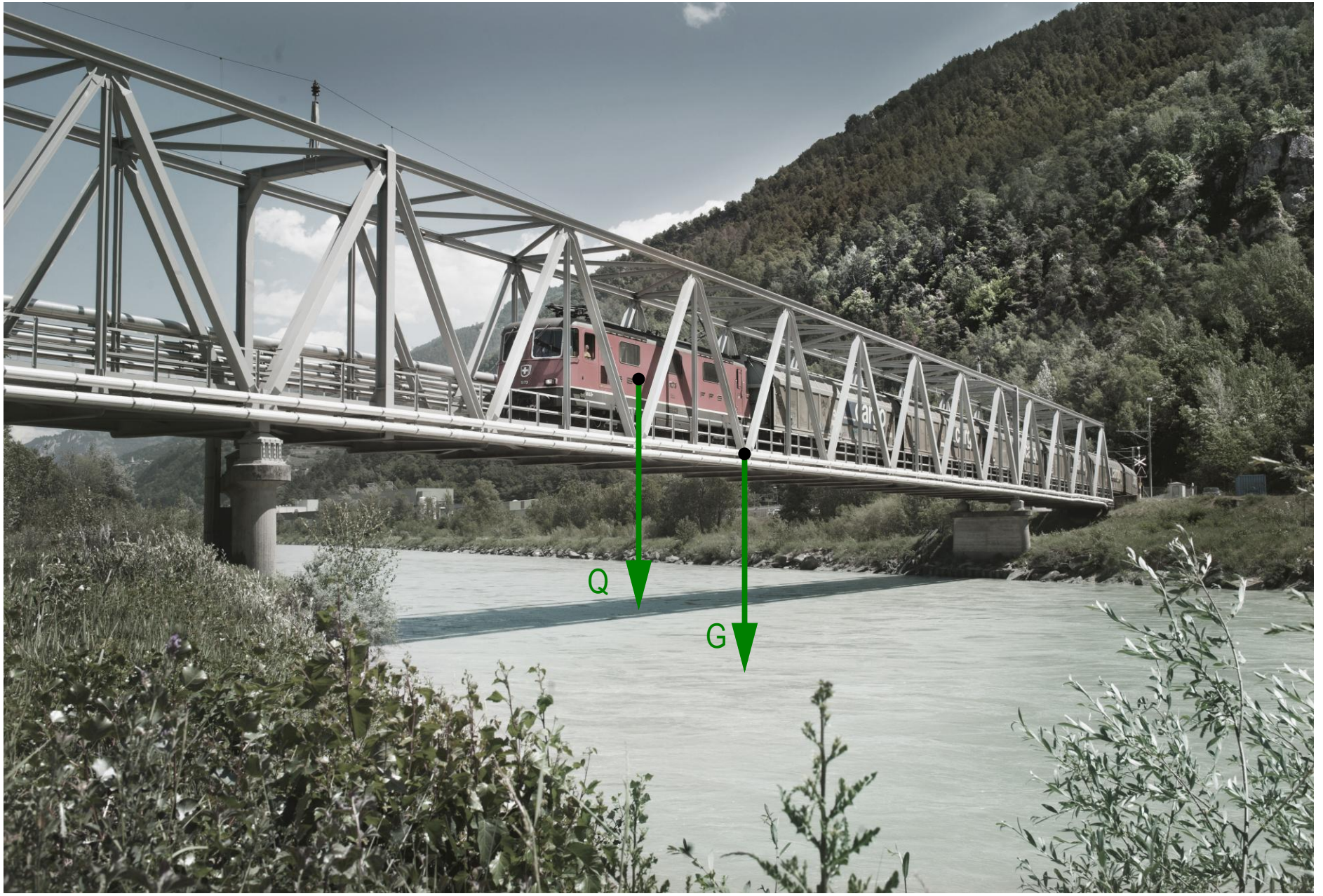
Die Intensität wird mit der Länge des Vektors ausgedrückt




## Die Kraft als vektorielle Grösse

gebundener Vektor:

- **Richtung** gegeben
- **Intensität** gegeben
- Lage durch den **Angriffspunkt** gegeben




Veränderliche Last Q und ständige Last G

Windkraft W

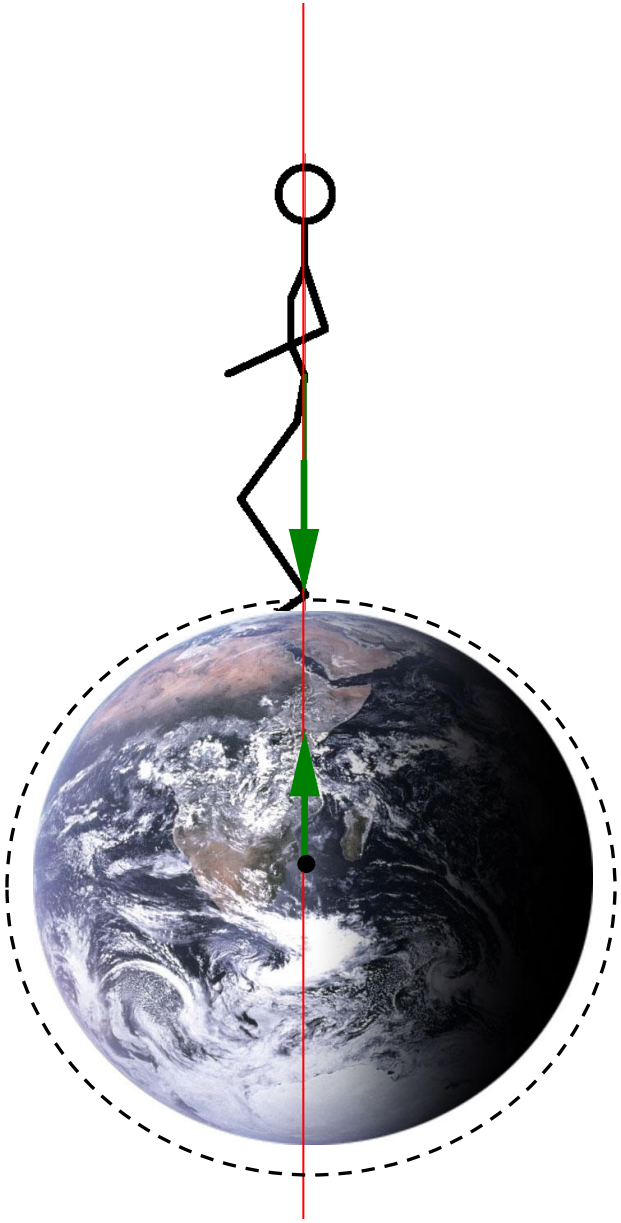
# Inhalt

Die grafische Statik

Die Kraft als vektorielle Grösse

Gleichgewichtsbedingungen

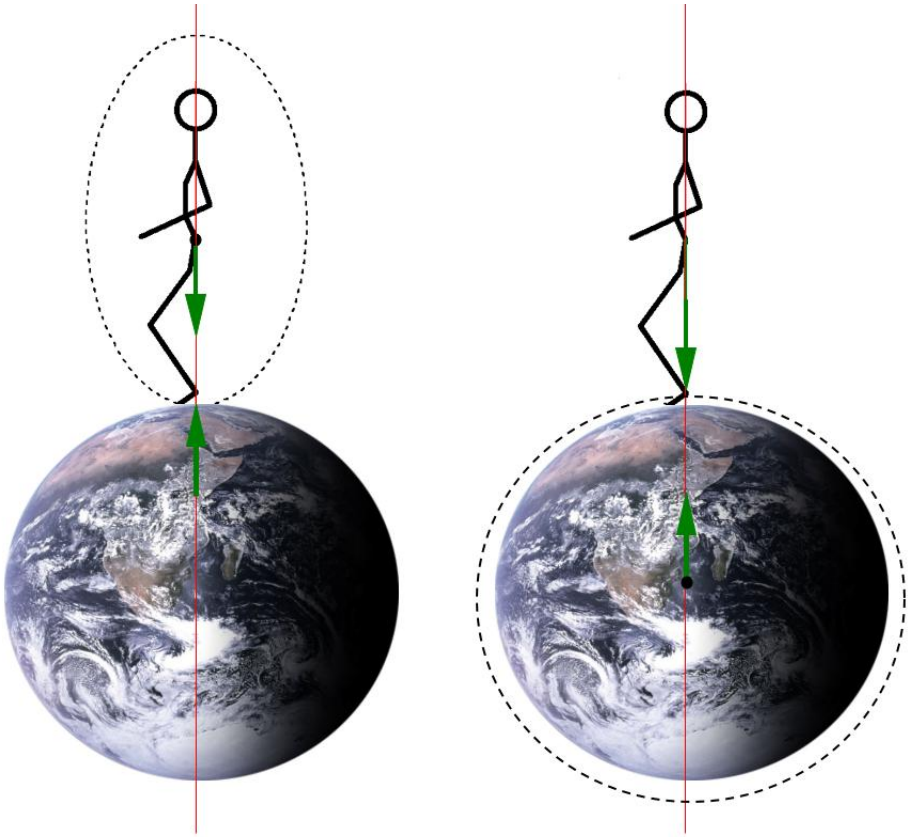
Innere Kräfte in Tragwerken



## Gleichgewichtsbedingungen zweier Kräfte

### Subsystem Erde

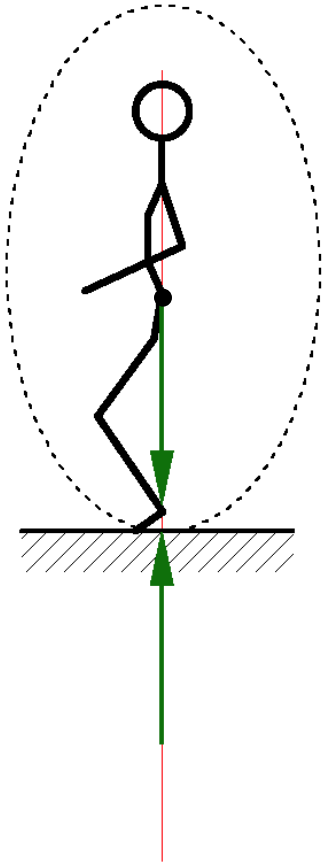
Ein Subsystem (free body) trennt, bei der Betrachtung von Kräften, eine gegebene Situation in kleinere Einheiten auf



**Gleichgewichtsbedingungen zweier Kräfte**

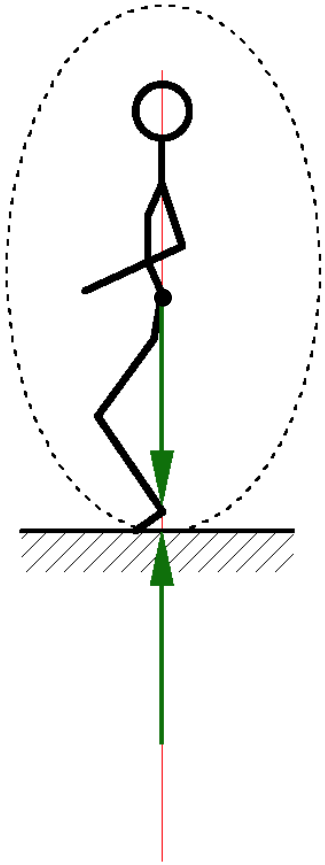
Isaac Newton (1643 – 1727)

**Actio = Reactio**



## Gleichgewichtsbedingungen zweier Kräfte

Die beiden an der Person angreifenden Kräfte sind miteinander im Gleichgewicht wenn:



Lageplan

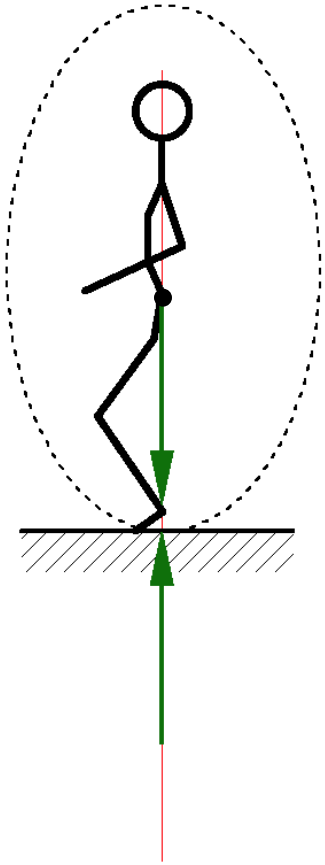
Kräfteplan

## Gleichgewichtsbedingungen zweier Kräfte

Die beiden an der Person angreifenden Kräfte sind miteinander im Gleichgewicht wenn:

1. ... die Kräfte die gleiche Intensität und entgegengesetzte Richtung haben, d.h. wenn sie sich im **Kräfteplan** vektoriell aufheben.

Im **Kräfteplan** werden die Kräfte unabhängig ihres Angriffspunktes zeichnerisch unter Berücksichtigung ihrer Richtung vektoriell aneinandergereiht.



Lageplan

Kräfteplan

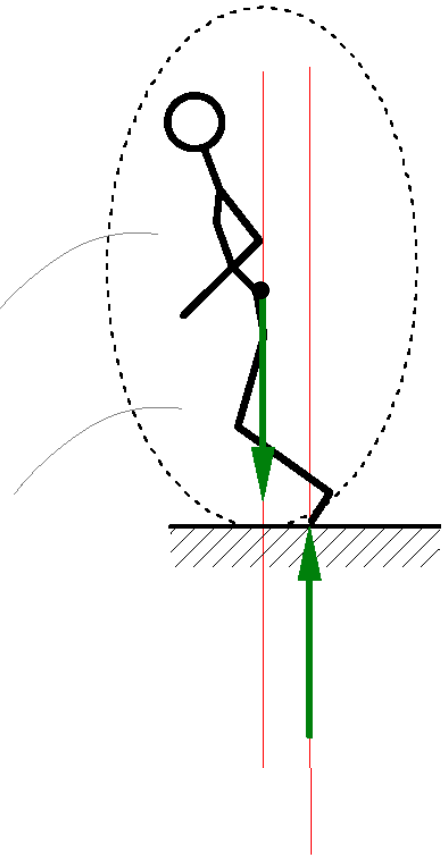
## Gleichgewichtsbedingungen zweier Kräfte

Die beiden an der Person angreifenden Kräfte sind miteinander im Gleichgewicht wenn:

1. ... die Kräfte die gleiche Intensität und entgegengesetzte Richtung haben, d.h. wenn sie sich im **Kräfteplan** vektoriell aufheben.

2. … sich die Kräfte im Lageplan auf **einer Wirkungslinie** befinden.

Im **Kräfteplan** werden die Kräfte unabhängig ihres Angriffspunktes zeichnerisch unter Berücksichtigung ihrer Richtung vektoriell aneinandergereiht.



Lageplan

Kräfteplan

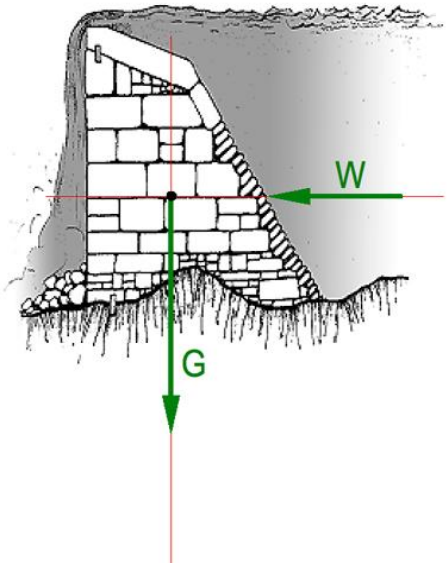
## Gleichgewichtsbedingungen zweier Kräfte

Die beiden an der Person angreifenden Kräfte sind miteinander im Gleichgewicht wenn:

1. ... die Kräfte die gleiche Intensität und entgegengesetzte Richtung haben, d.h. wenn sie sich im **Kräfteplan** vektoriell aufheben.

2. … sich die Kräfte im Lageplan auf **einer Wirkungslinie** befinden.

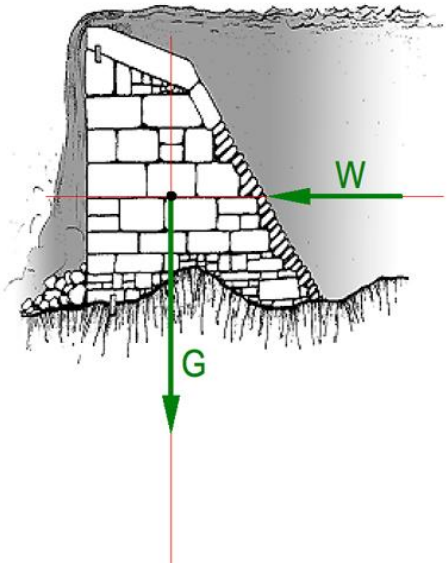
Wird eine der beiden Bedingungen verletzt, resultiert eine **Bewegung** des Systems.

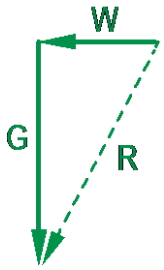



Lageplan

## Gleichgewichtsbedingungen von drei Kräften

Gegeben sind zwei Kräfte, die nicht im Gleichgewicht sind.



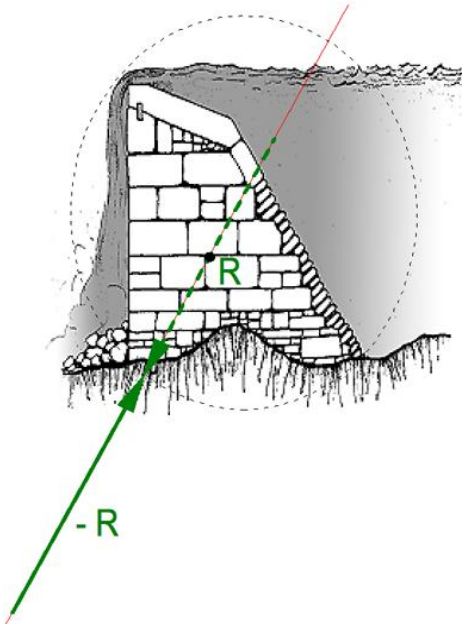

Lageplan

Kräfteplan

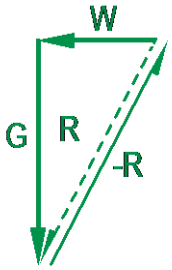
## Gleichgewichtsbedingungen von drei Kräften

Gegeben sind zwei Kräfte, die nicht im Gleichgewicht sind.

1. Die zwei Kräfte werden im Kräfteplan zu einer Resultierenden zusammengefasst. Die Resultierende greift im Lageplan im Schnittpunkt der zwei gegebenen Kräfte an.




Lageplan



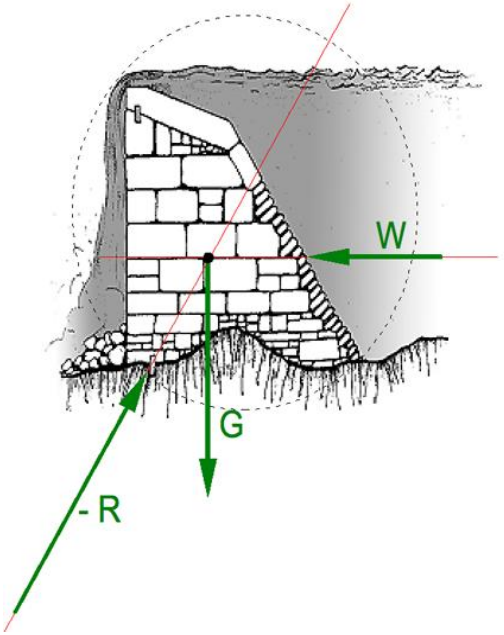

Kräfteplan

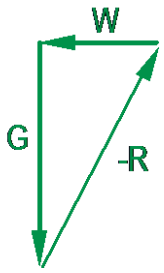
## Gleichgewichtsbedingungen von drei Kräften

Gegeben sind zwei Kräfte, die nicht im Gleichgewicht sind.

1. Die zwei Kräfte werden im Kräfteplan zu einer Resultierenden zusammengefasst. Die Resultierende greift im Lageplan im Schnittpunkt der zwei gegebenen Kräfte an.

2. Die dritte, gesuchte Kraft entspricht nun im Lage- und Kräfteplan derjenigen, welche mit der Resultierenden im Gleichgewicht steht.




Lageplan

Kräfteplan

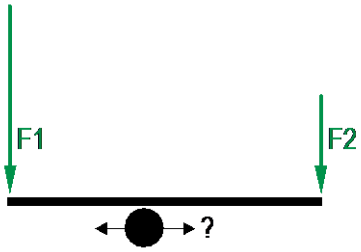
## Gleichgewichtsbedingungen von drei Kräften

Gegeben sind zwei Kräfte, die nicht im Gleichgewicht sind.

Die dritte, gesuchte Kraft entspricht im Lage- und Kräfteplan derjenigen, welche mit den beiden ursprünglichen Kräften im Gleichgewicht steht.

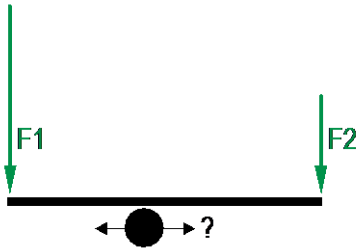
## Gleichgewichtsbedingungen von drei parallelen Kräften

Gegeben sind zwei parallele Kräfte, die nicht im Gleichgewicht sind.




Lageplan

# Gleichgewichtsbedingungen von drei parallelen Kräften



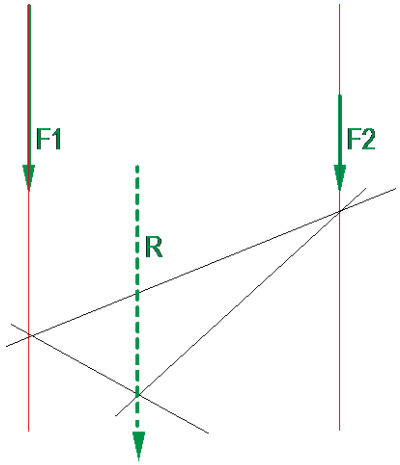

Lageplan

Kräfteplan

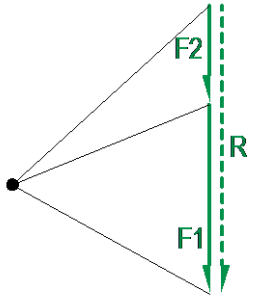
Gegeben sind zwei parallele Kräfte, die nicht im Gleichgewicht sind.

1. Die Kräfte werden im Kräfteplan zu einer Resultierenden zusammengefasst.

## Gleichgewichtsbedingungen von drei parallelen Kräften




Lageplan



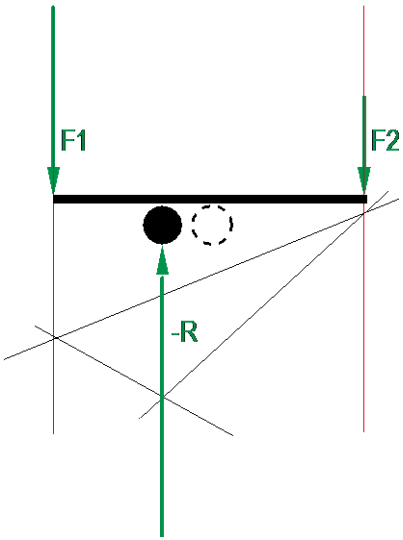

Kräfteplan

Gegeben sind zwei parallele Kräfte, die nicht im Gleichgewicht sind.

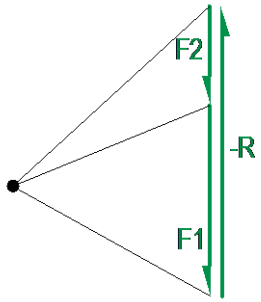
1. Die Kräfte werden im Kräfteplan zu einer Resultierenden zusammengefasst.

2. Mittels der Seilpolygon-Konstruktion wird die Lage der Resultierenden im Lageplan gefunden.

## Gleichgewichtsbedingungen von drei parallelen Kräften




Lageplan




Kräfteplan

Gegeben sind zwei parallele Kräfte, die nicht im Gleichgewicht sind.

1. Die Kräfte werden im Kräfteplan zu einer Resultierenden zusammengefasst.

2. Mittels der Seilpolygon-Konstruktion wird die Lage der Resultierenden im Lageplan gefunden.

3. Die dritte, gesuchte Kraft entspricht nun im Lage- und Kräfteplan derjenigen, welche mit der Resultierenden im Gleichgewicht steht.

# Inhalt

Die grafische Statik

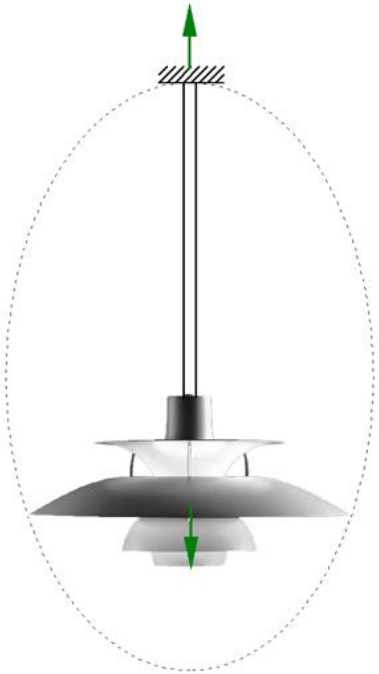
Die Kraft als vektorielle Grösse

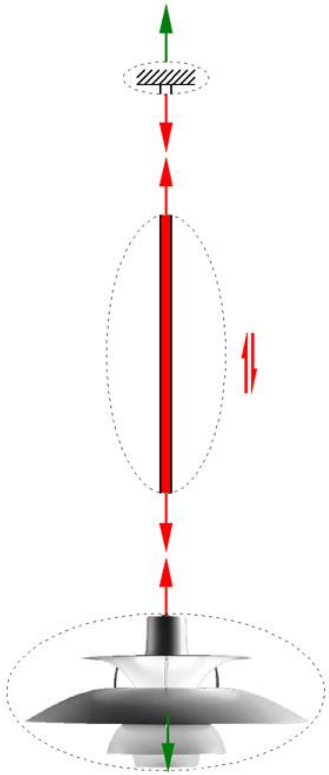
Gleichgewichtsbedingungen

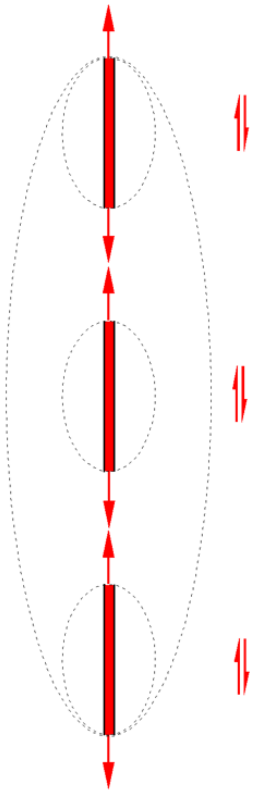
Innere Kräfte in Tragwerken

## Innere Kräfte in Tragwerken

Jedes Tragwerk kann in Subsysteme unterteilt werden, wodurch die inneren Kräfte bestimmt werden können. Die Gleichgewichtsbedingungen gelten sowohl für jedes Subsystem als auch für das gesamte Tragwerk.

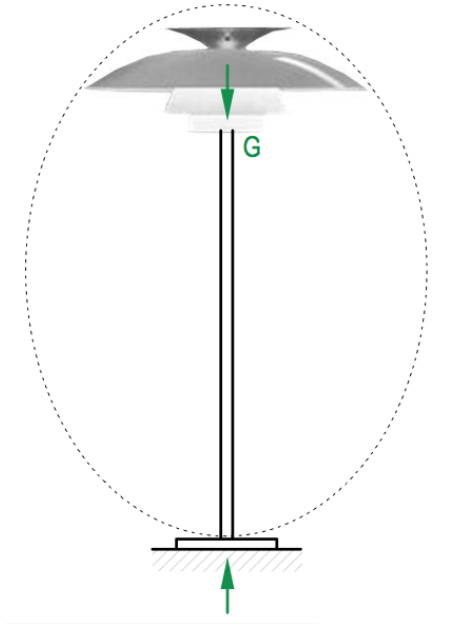


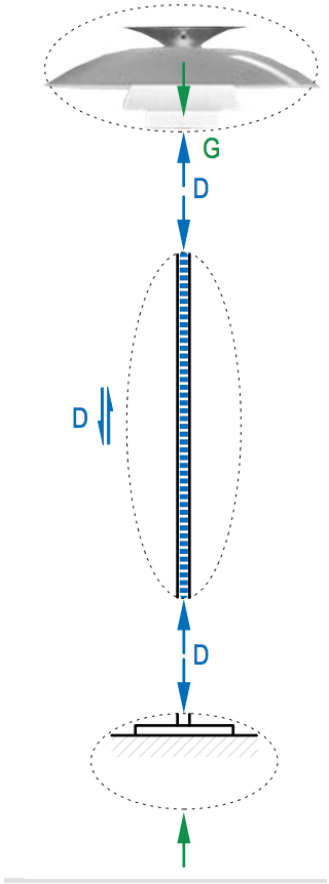


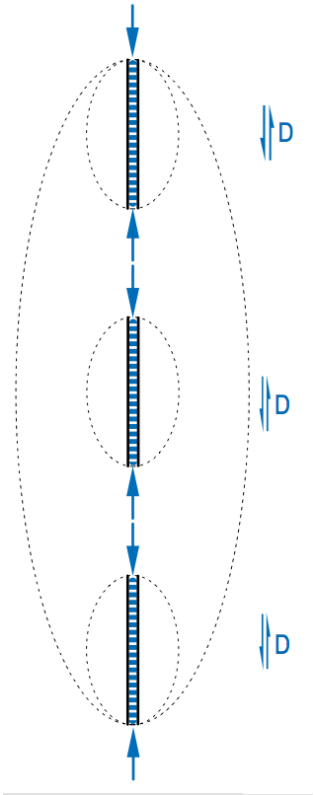


# Innere Kräfte in Tragwerken

Jedes Tragwerk kann in Subsysteme unterteilt werden, wodurch die inneren Kräfte bestimmt werden können. Die Gleichgewichtsbedingungen gelten sowohl für jedes Subsystem als auch für das gesamte Tragwerk.



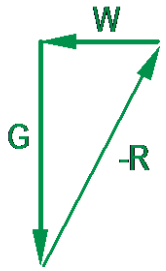



## Vergleich: analytische und grafische Statik:

Bei jedem Tragwerk sollen die inneren als auch die äusseren Kräfte im Gleichgewicht sein.

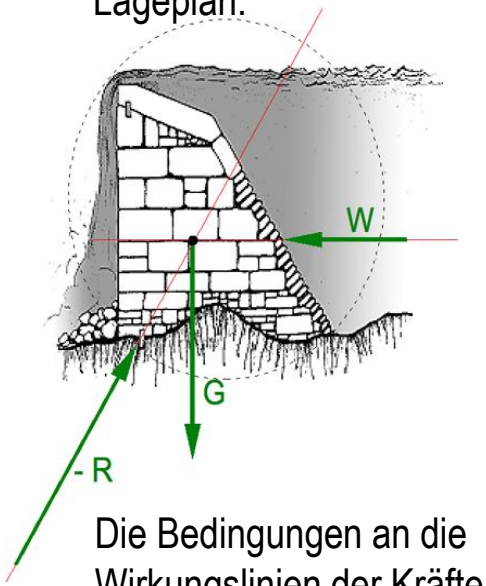
analytisch: $\Sigma F_H = 0$ $\Sigma F_V = 0$ $\Sigma M = 0$

grafisch: Kräfteplan:




Der Kräfteplan muss geschlossen sein

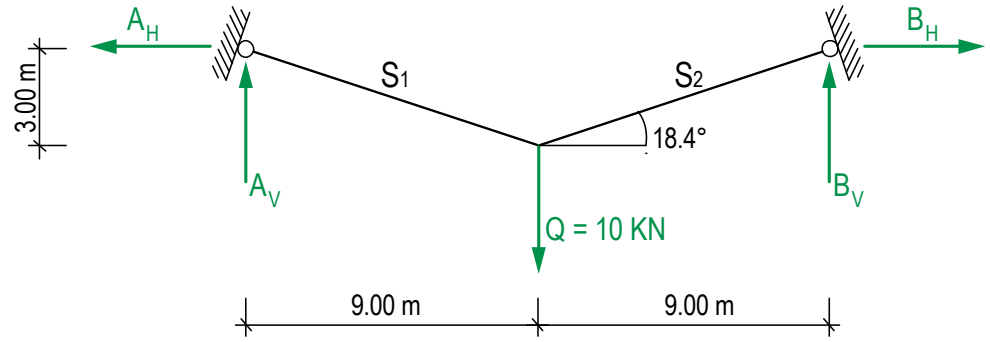
Lageplan:




Die Bedingungen an die Wirkungslinien der Kräfte müssen erfüllt sein.

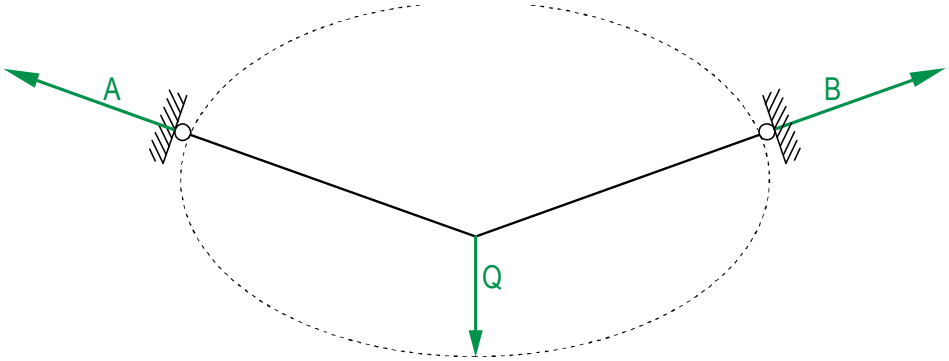
## Innere Kräfte in Tragwerken:

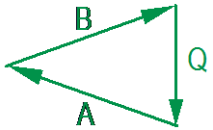
# Innere Kräfte in Tragwerken:
# Analytische Lösung

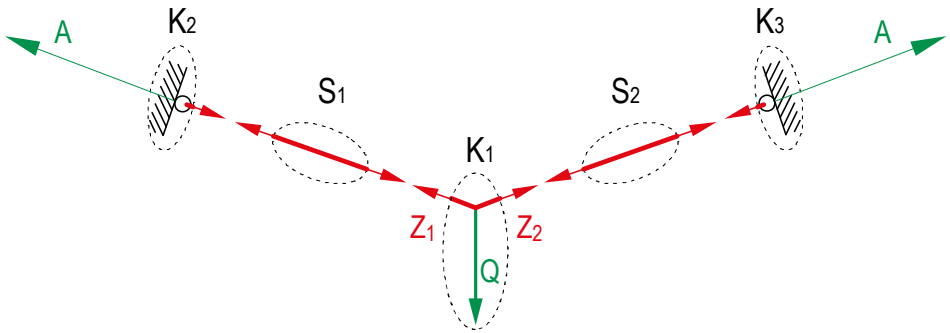



$A_v = B_v = 5$ kN
$A_h = B_h = 15$ kN
$S_1 = S_2 = 15.8$ kN

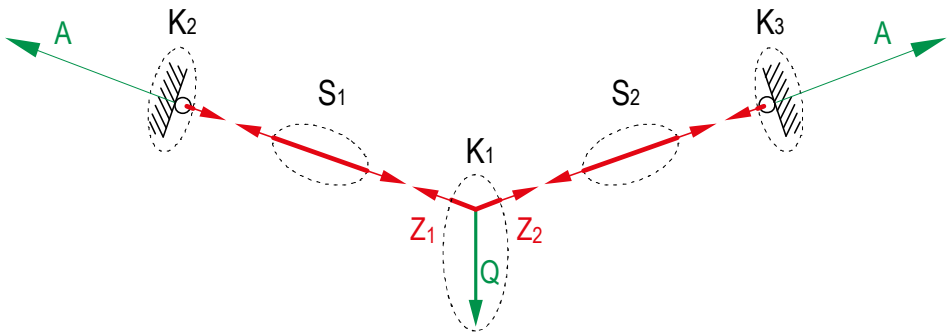
# Innere Kräfte in Tragwerken:
# Grafische Lösung mit Hilfe von Subsystemen

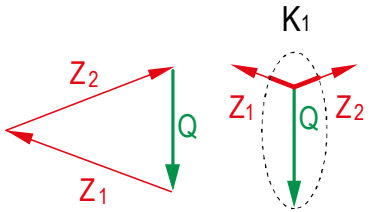


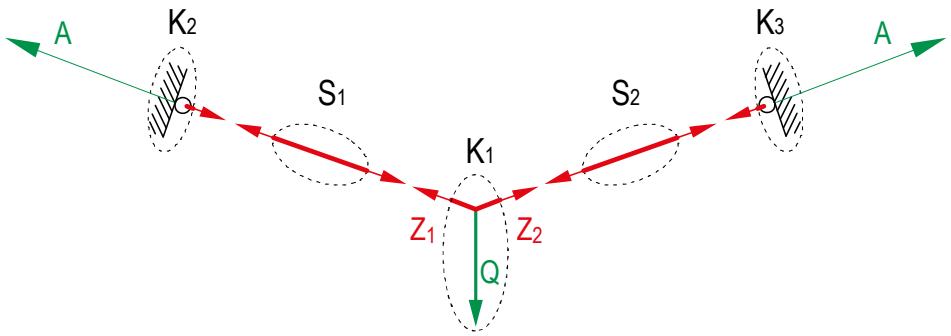



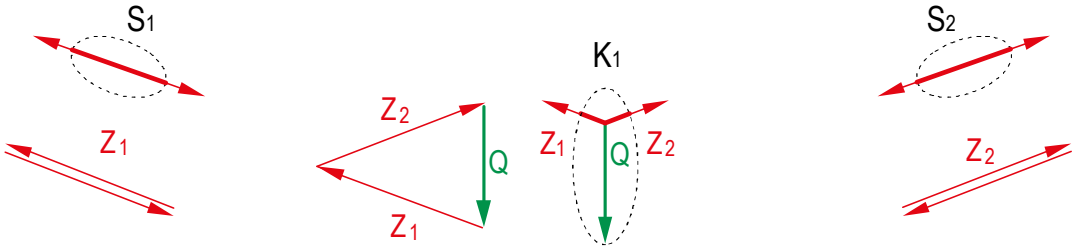
# Innere Kräfte in Tragwerken:
# Grafische Lösung mit Hilfe von Subsystemen



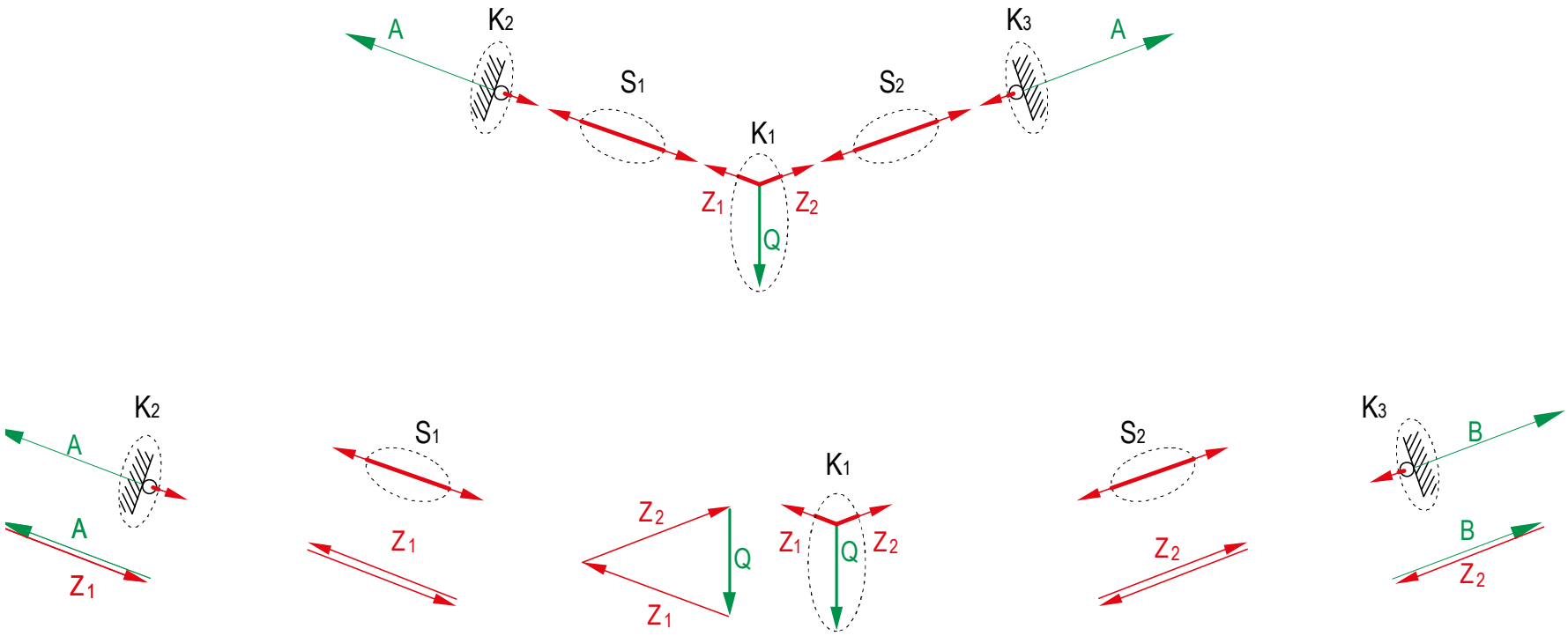



# Innere Kräfte in Tragwerken:
# Grafische Lösung mit Hilfe von Subsystemen

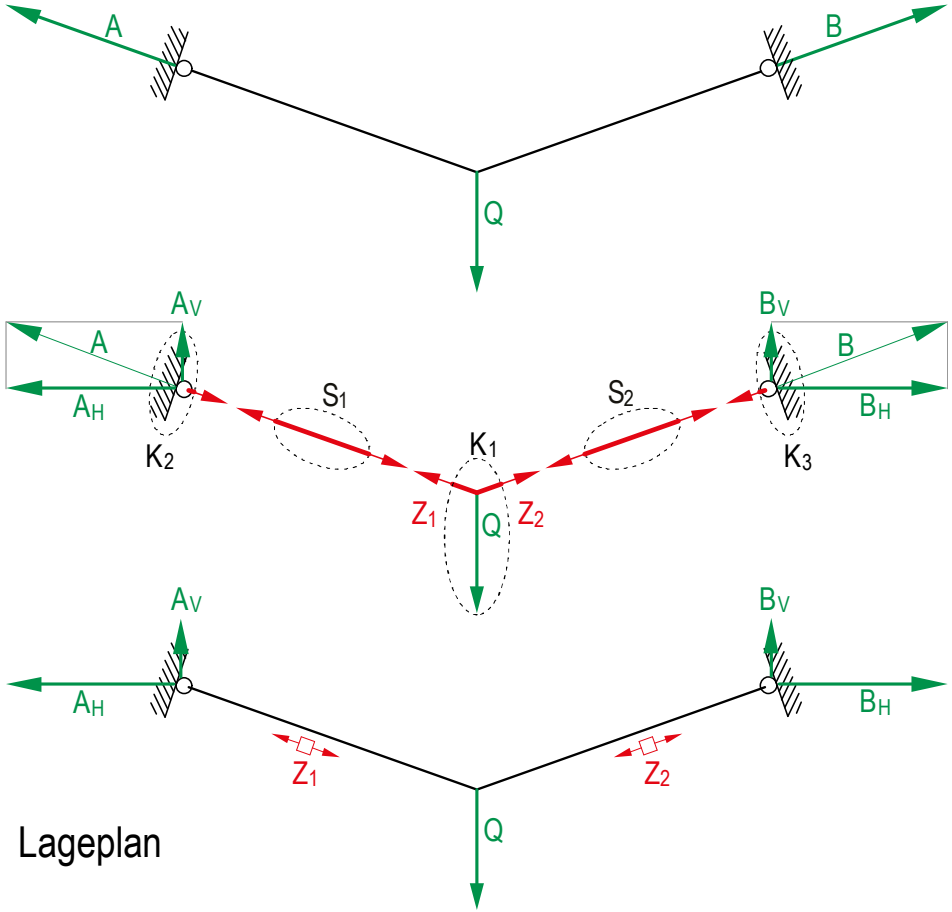


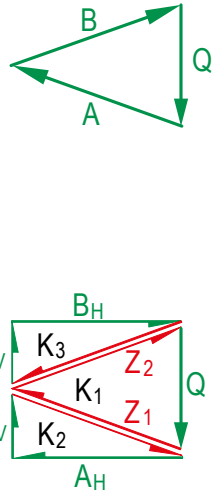
# Innere Kräfte in Tragwerken:
# Grafische Lösung mit Hilfe von Subsystemen



# Innere Kräfte in Tragwerken:
# Grafische Lösung mit Hilfe von Subsystemen

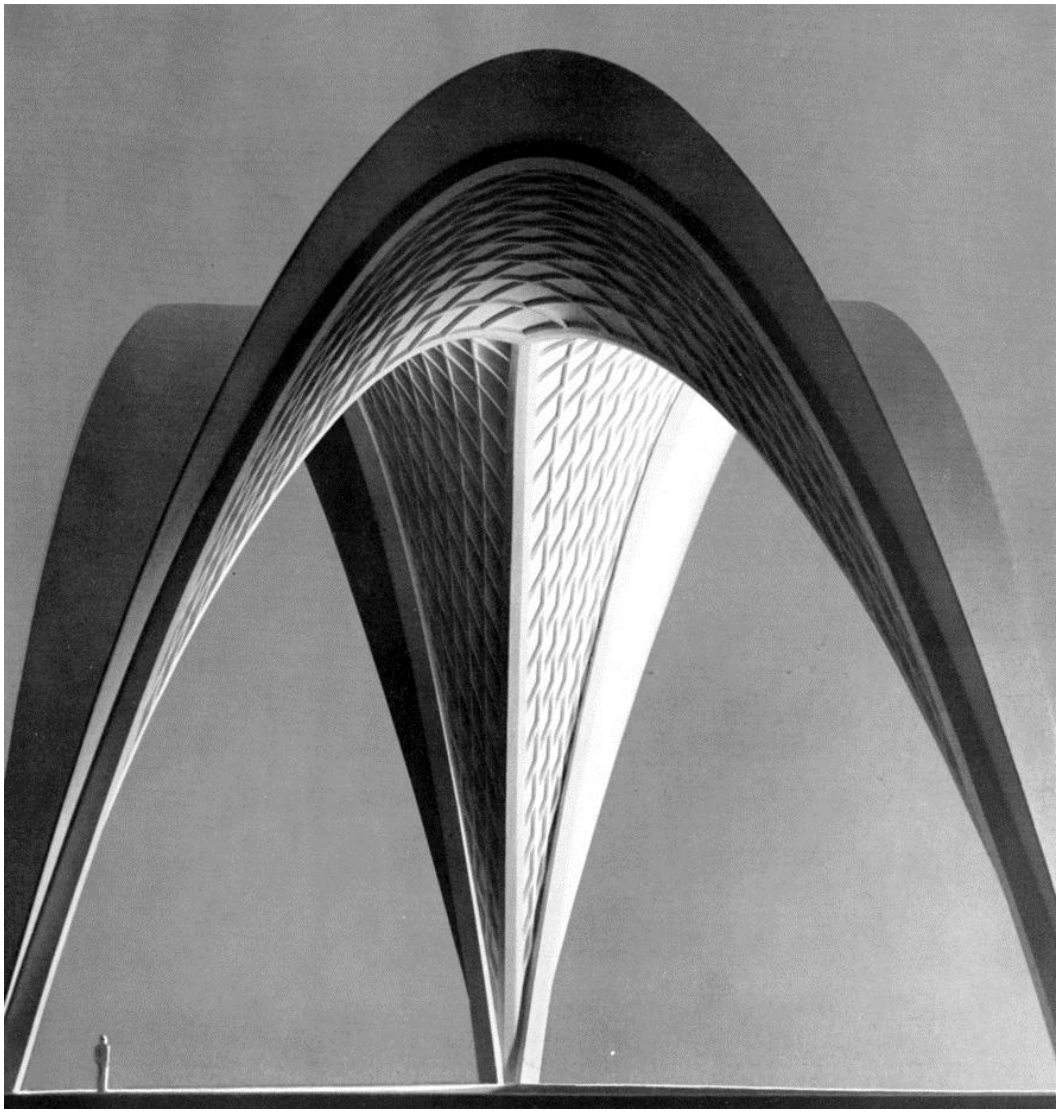



Lageplan



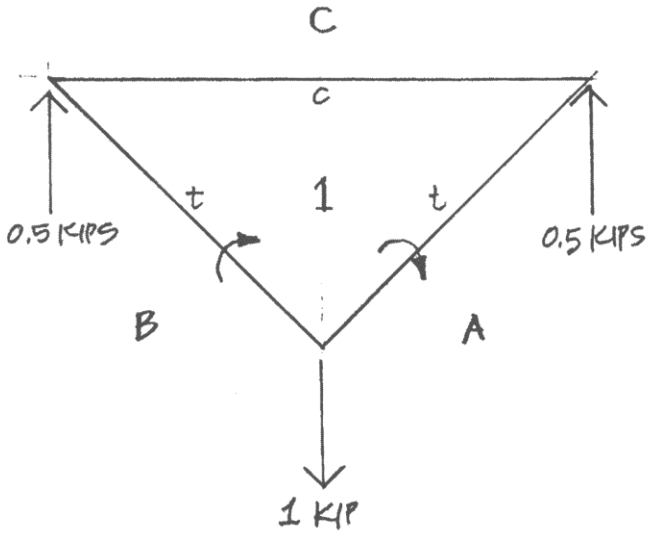

Kräfteplan

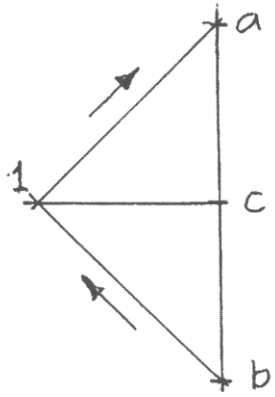
Expo-Pavillon Lissabon, Architekt Alvaro Siza, Ingenieur Cecil Balmond, 1998



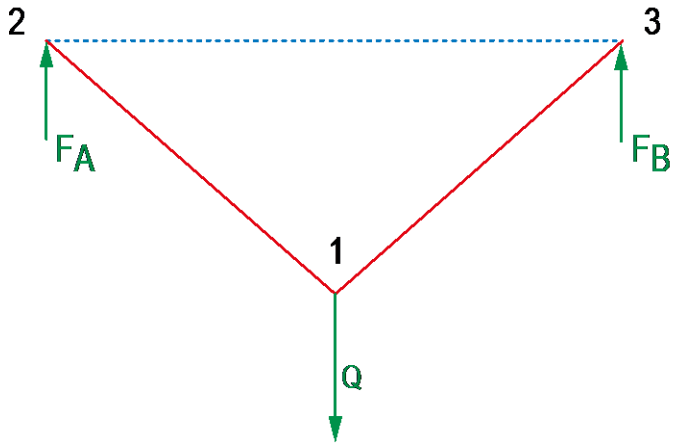
Entwurf für eine Kathedrale in Perth, Pier Luigi Nervi

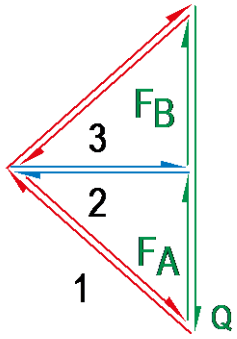
# Innere Kräfte in Tragwerken
# Vergleich mit der Spaces-Methode:




FORCE POLYGON
SCALE 1" = 0,5 KIPS



## Assistenten

Lehrstuhl für Tragwerksentwurf
Prof. Dr. Joseph Schwartz

Juliana Felkner

Juan Jose Castellon

Lukas Blank

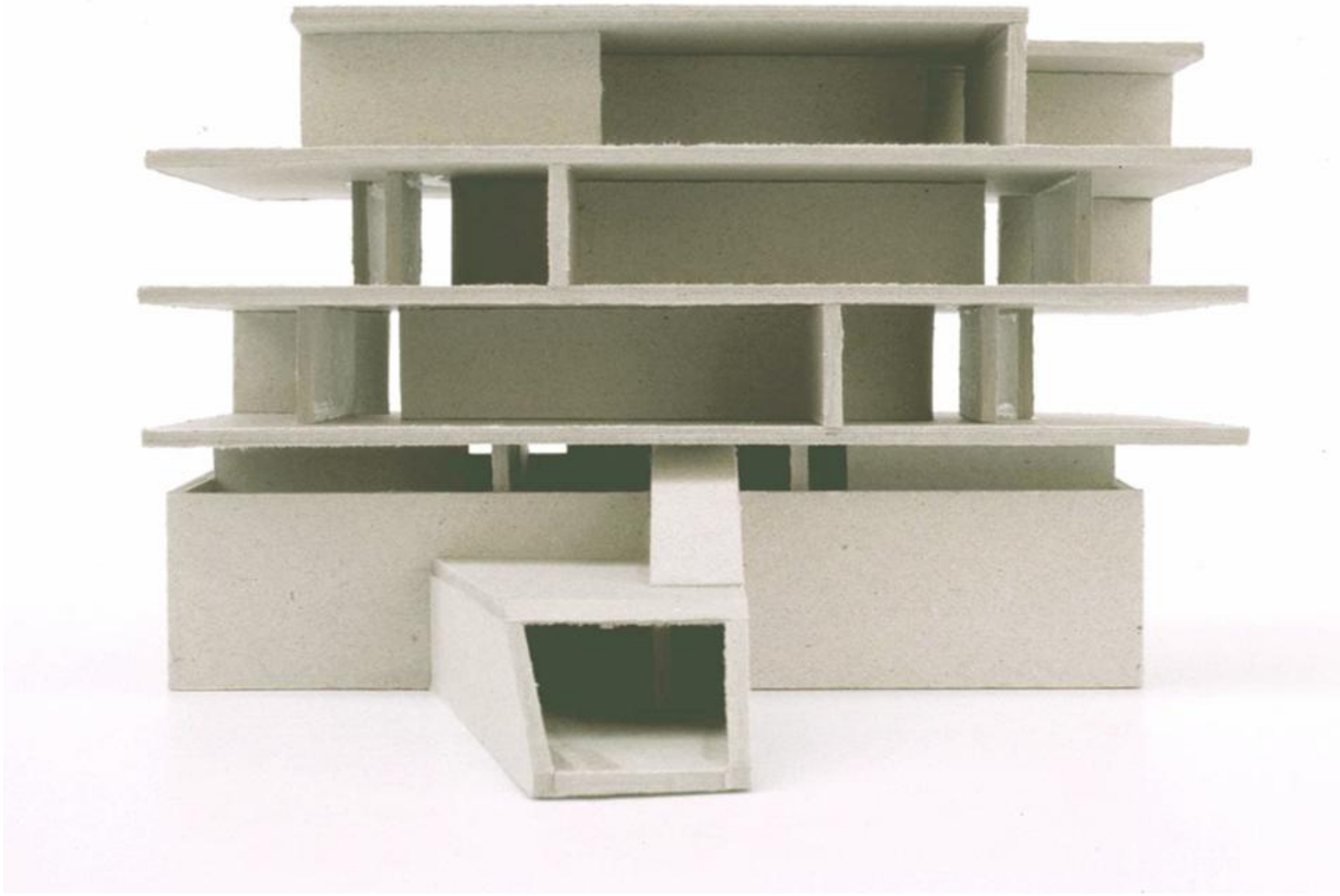
Lluis Enrique

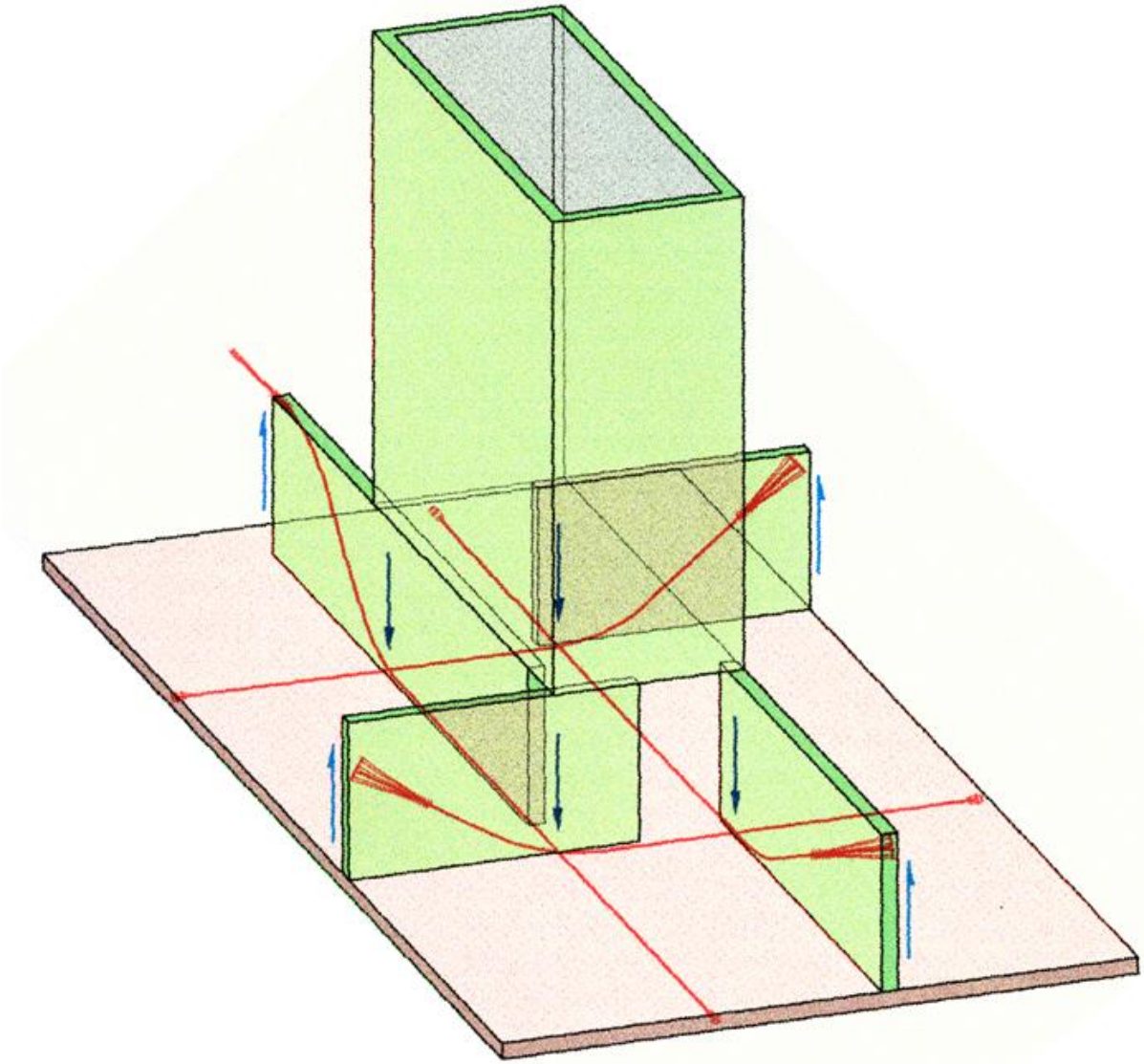
Özgür Keles

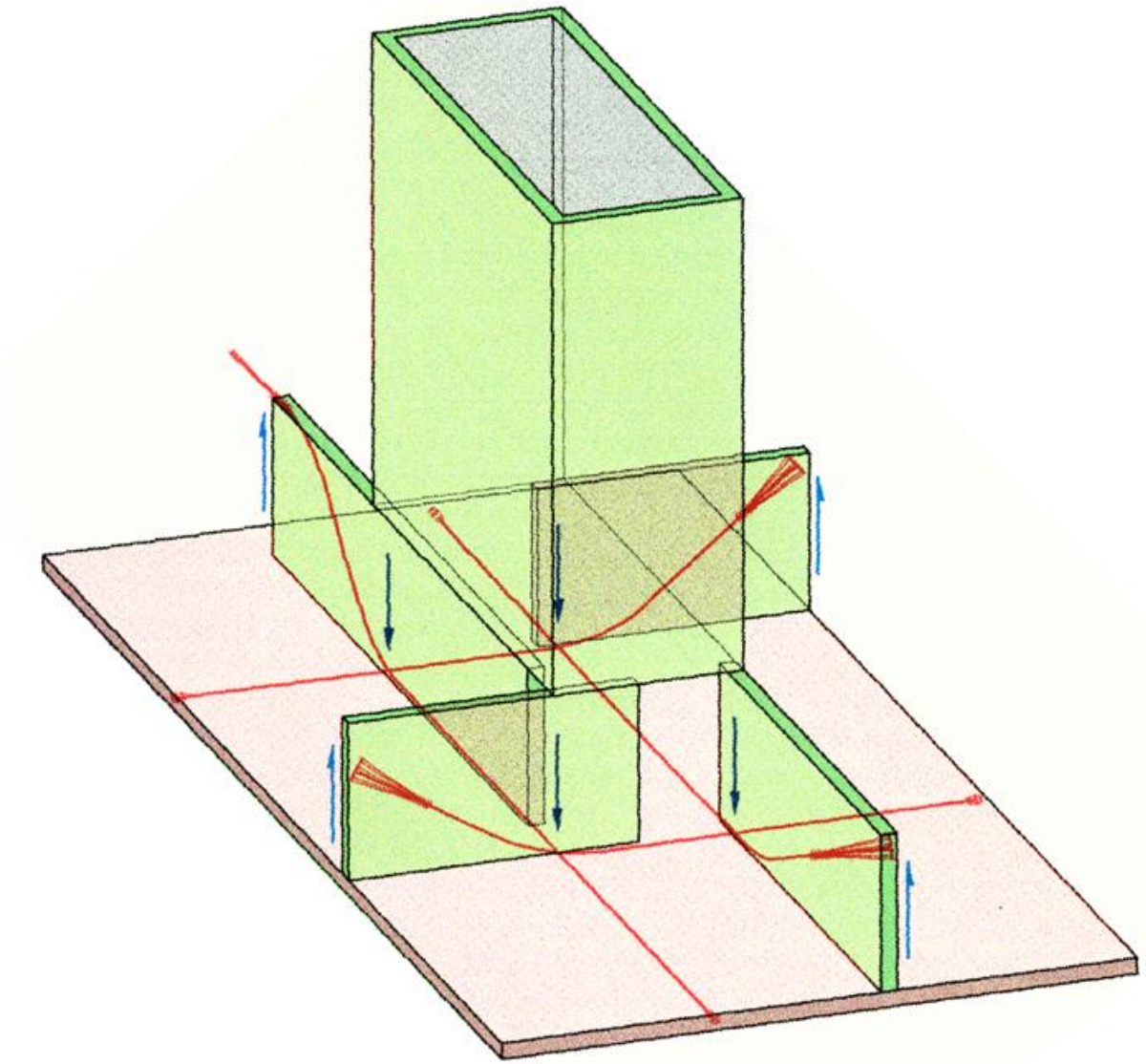
Lorenz Lachauer

# MFH Forsterstrasse Zürich, 2003

Architekt: Christian Kerez
Bauingenieur: Dr. Joseph Schwartz



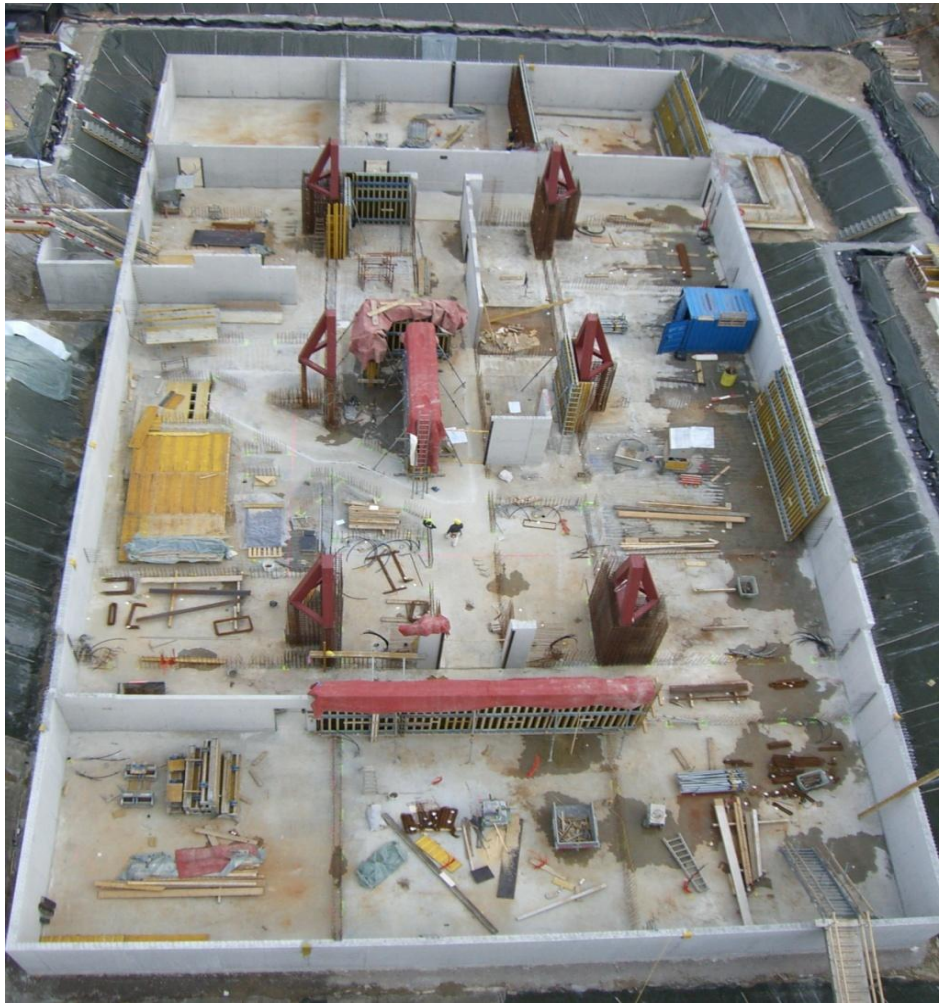


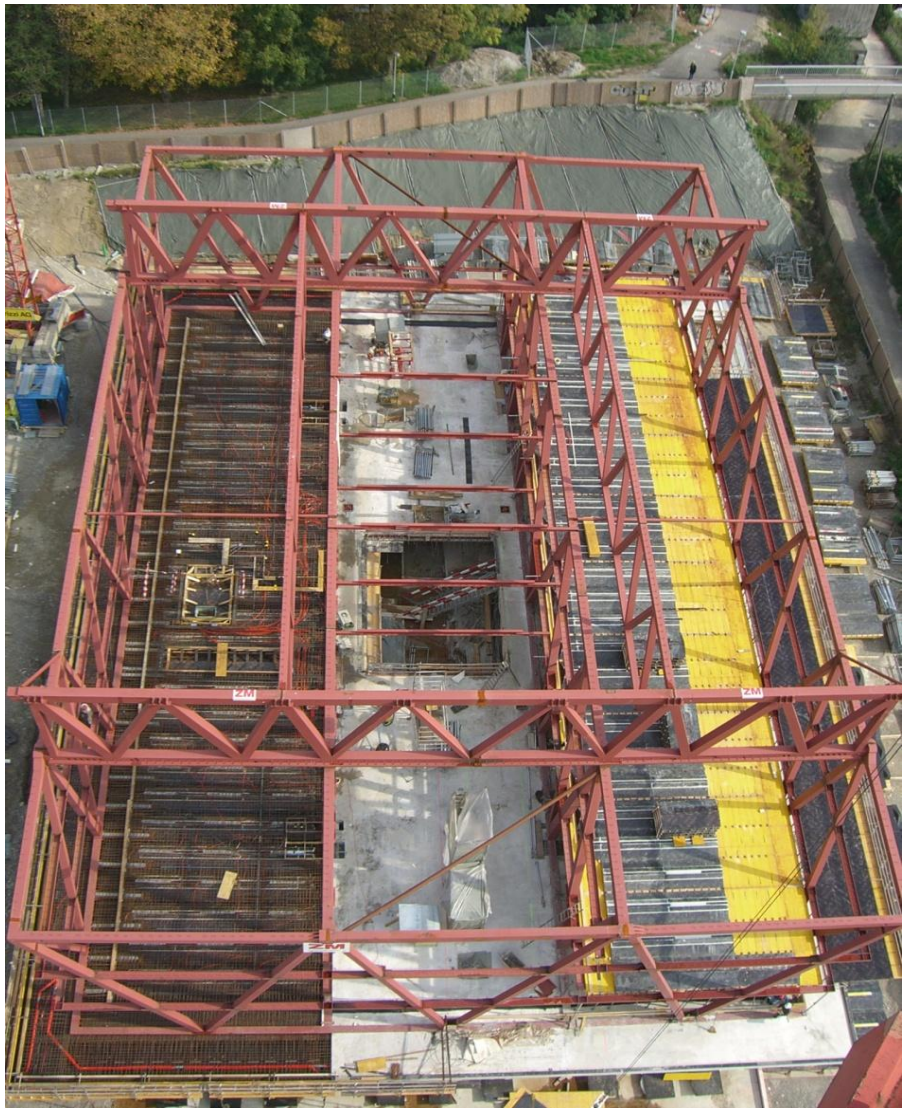


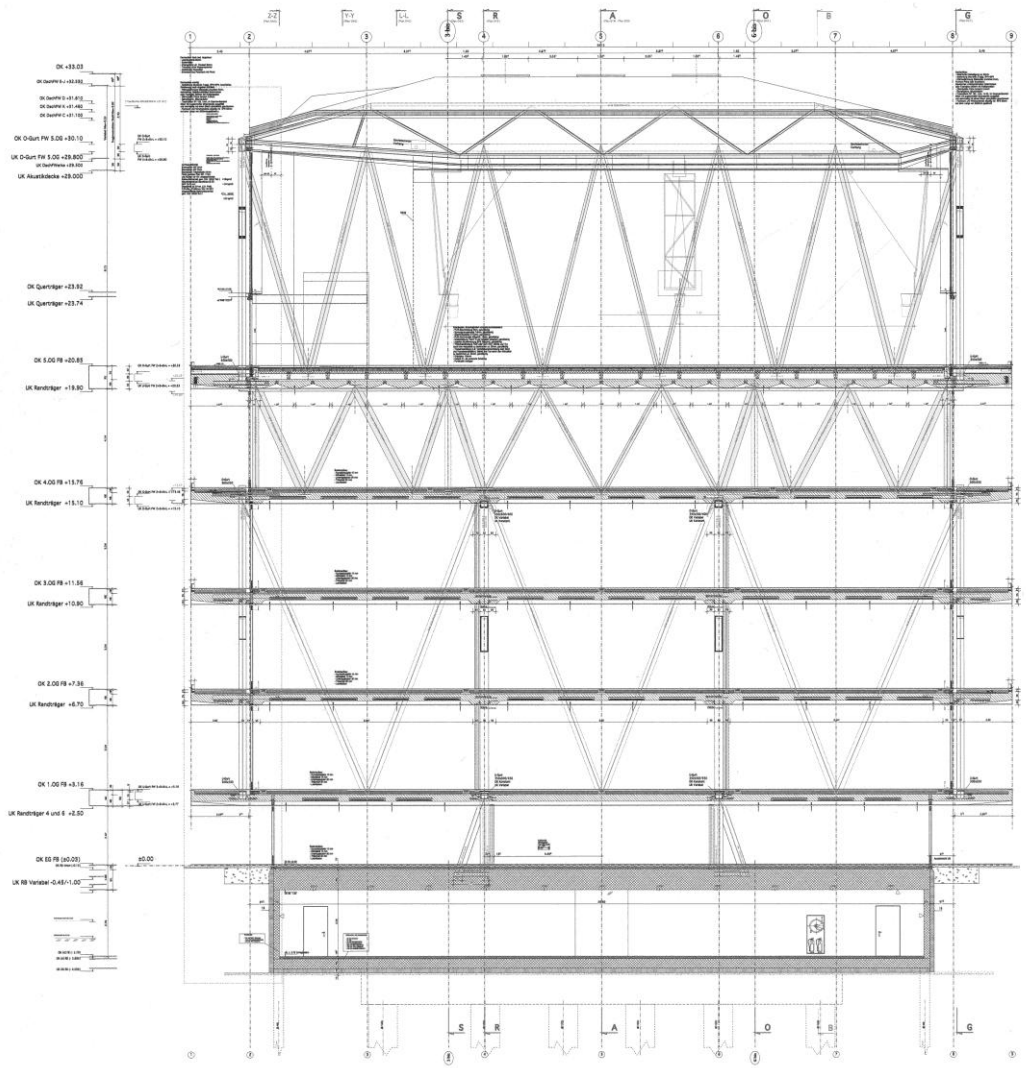
Aufgabe 1

# Schulhaus Leutschenbach Zürich, 2009

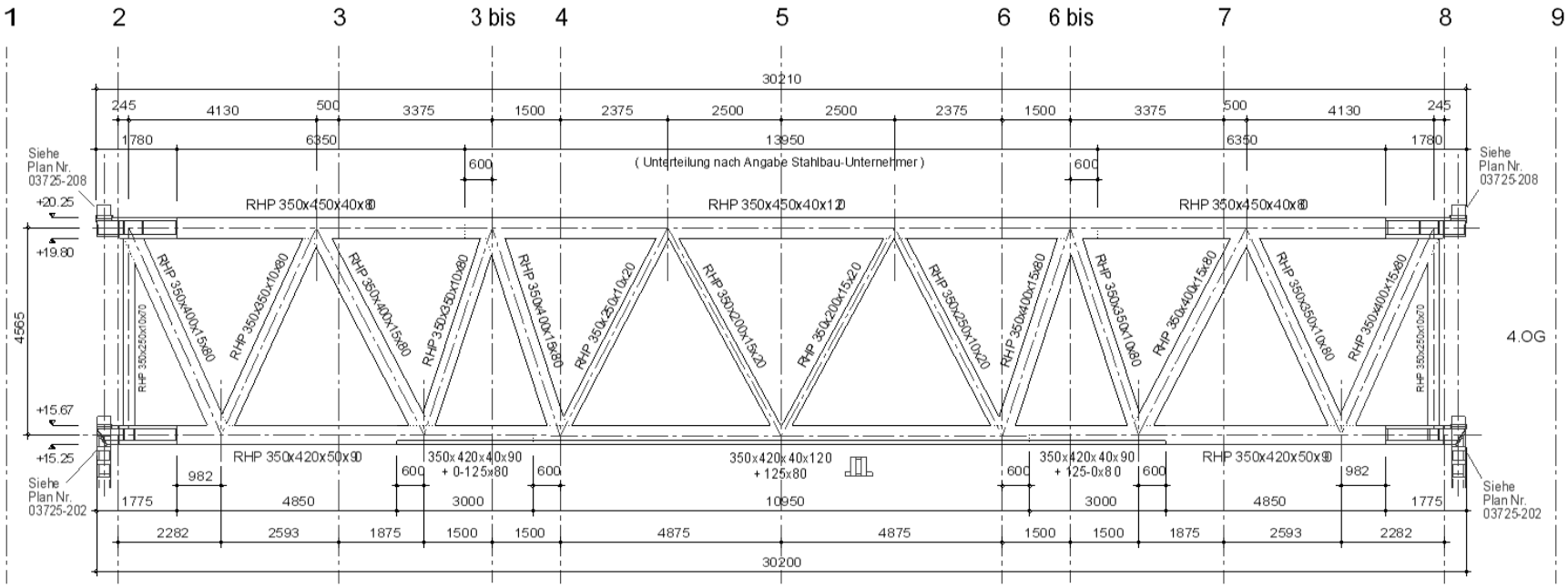
Architekt: Christian Kerez
Bauingenieur: Dr. Joseph Schwartz
DSP Greifensee



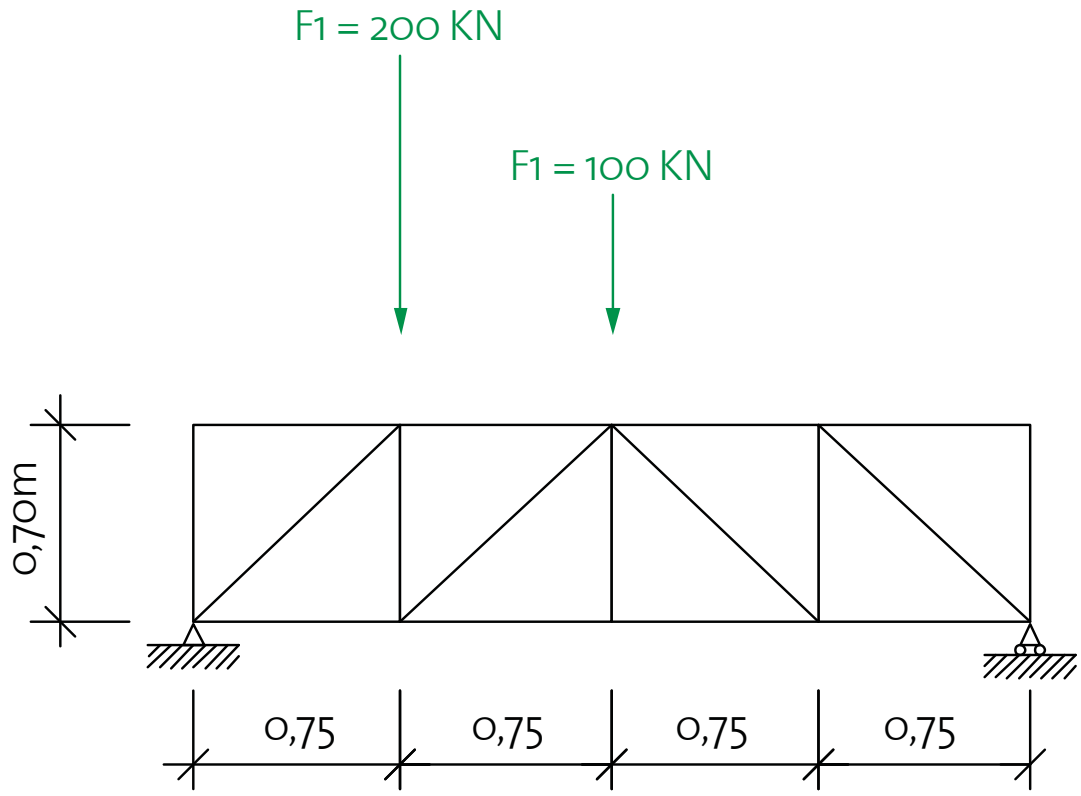




Aufgabe 2


1
2
3
3 bis
4
5
6
6 bis
7
8
9
30210
245
4130
500
3375
1500
2375
2500
2500
2375
1500
3375
500
4130
245
1780
6350
13950
6350
1780
( Unterteilung nach Angabe Stahlbau-Unternehmer )
600
600
Siehe Plan Nr. 03725-208
Siehe Plan Nr. 03725-208
+20.25
+19.80
+15.67
+15.25
RHP 350x450x40x80
RHP 350x450x40x120
RHP 350x450x40x80
RHP 350x400x15x80
RHP 350x350x10x80
RHP 350x400x15x80
RHP 350x350x10x80
RHP 350x400x15x80
RHP 350x250x10x20
RHP 350x200x15x20
RHP 350x200x15x20
RHP 350x250x10x20
RHP 350x400x15x80
RHP 350x350x10x80
RHP 350x400x15x80
RHP 350x350x10x80
RHP 350x400x15x80
RHP 350x250x10x70
RHP 350x250x10x70
4565
4.OG
RHP 350x420x50x90
350x420x40x90 + 0-125x80
350x420x40x120 + 125x80
350x420x40x90 + 125-0x80
RHP 350x420x50x90
982
600
600
600
600
982
Siehe Plan Nr. 03725-202
Siehe Plan Nr. 03725-202
1775
4850
3000
10950
3000
4850
1775
2282
2593
1875
1500
1500
4875
4875
1500
1500
1875
2593
2282
30200

Aufgabe 2




Aufgabe 3

## Assistenten

Lehrstuhl für Tragwerksentwurf
Prof. Dr. Joseph Schwartz

Juliana Felkner

Juan Jose Castellon

Lukas Blank

Lluis Enrique

Özgür Keles

Lorenz Lachauer