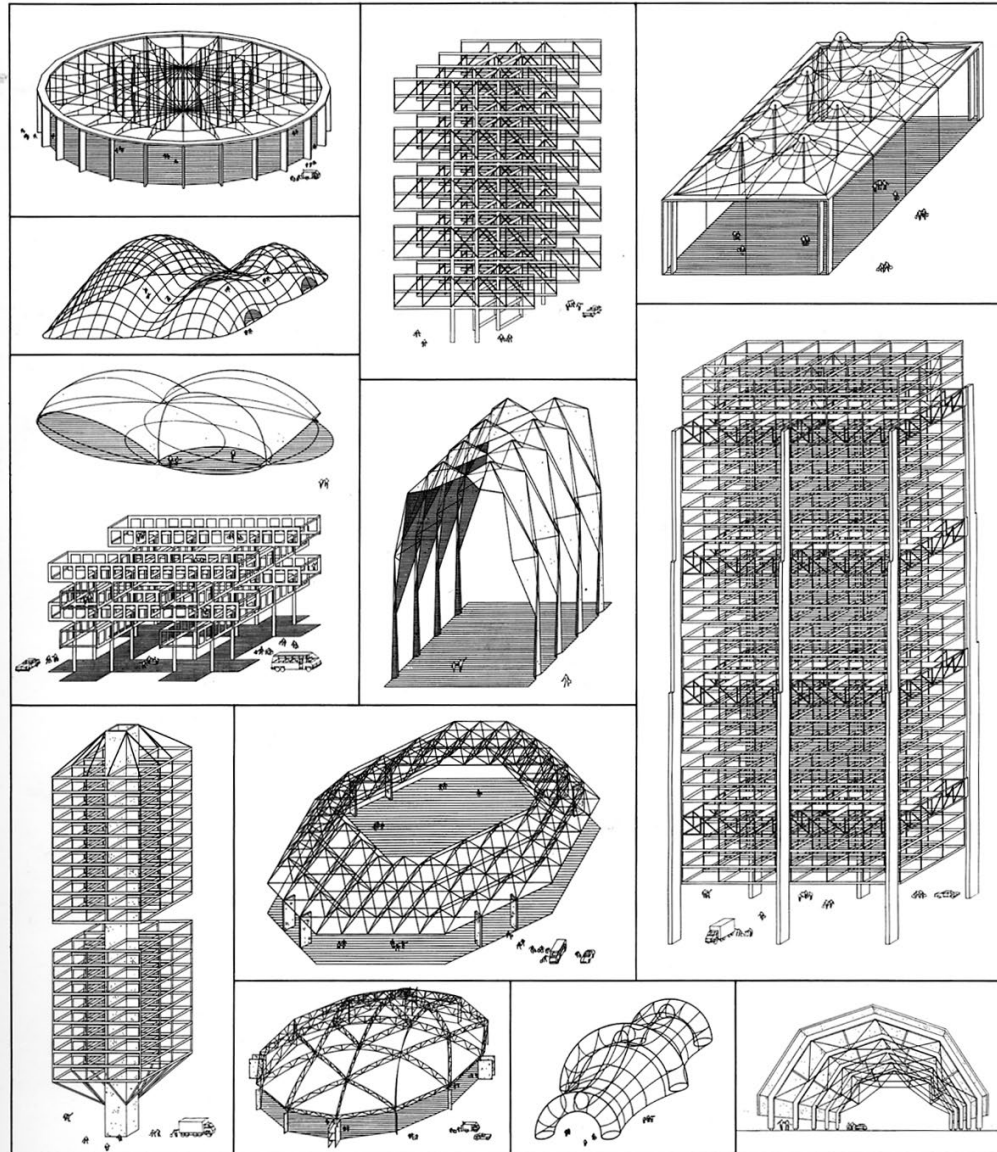




**Balken och ramen**





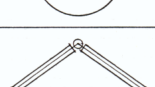
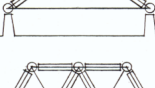
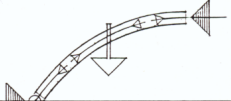
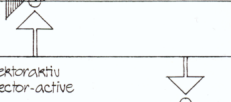
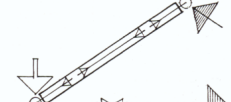
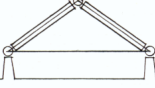
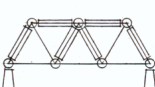
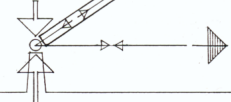
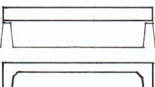
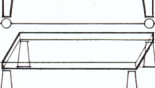
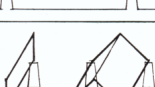
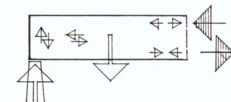
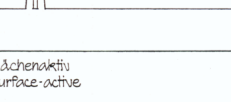
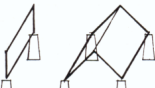
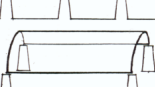
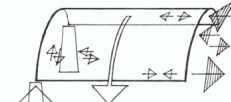
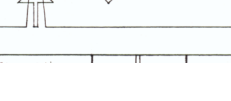
## Strukturer sorterade efter hur form möter last

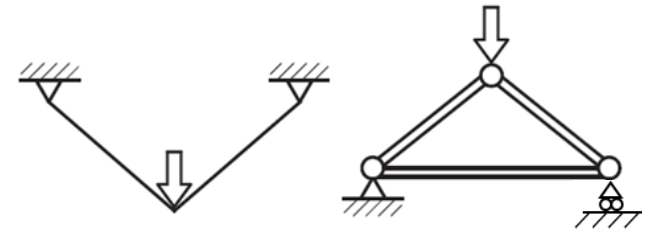
Heino Engel  
*Structural Systems*

Formaktiva strukturer  
(linan, bågen)  
Vektoraktiva strukturer  
(fackverket)  
Snittaktiva strukturer  
(balken, ramen)  
Ytaktiva strukturer  
(skivan)

Einteilung der Tragsysteme im Bauen

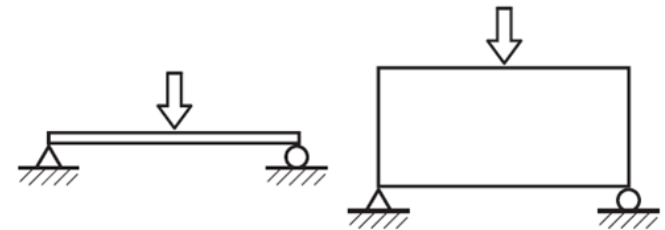
Classification of structure systems in building

| Kriterium<br>Criterion                    | Prototyp<br>prototype                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Kräfte<br>forces                                          | Merkmal<br>feature                                                              | Mechanik der Kraftumlenkung<br>mechanics of redirection of forces                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1<br>FORM                                 |  Stützboogen<br>funicular arch<br> Hängeseil<br>suspension cable<br> Kreisring<br>circular ring<br> Ballon<br>balloon | Druck<br>oder<br>Zug<br><br>compression<br>or<br>tension  | Stützlinie<br>thrust line<br><br>Kettenlinie<br>catenary<br><br>Kreis<br>circle | Formaktiv<br>form-active<br><br><br><br> |
| 2<br>VEKTOR<br>VECTOR                     |  Dreiecksträger<br>triangular truss<br> Fachwerkträger<br>truss beam                                                                                                                                                                                                                    | Druck<br>und<br>Zug<br><br>compression<br>and<br>tension  | Dreieck-<br>verband<br><br>triangu-<br>lation                                   | vektoraktiv<br>vector-active<br><br><br>                                                                                  |
| 3<br>QUER-<br>SCHNITT<br>CROSS<br>SECTION |  Balken<br>beam<br> Rahmen<br>frame<br> Platte<br>flat slab                                                                                                                                         | Biegung<br>Schnittkräfte<br><br>bending<br>section forces | Querschnitt-<br>profil<br><br>sectional<br>profile                              | schnittaktiv<br>section-active<br><br><br>                                                                               |
| 4<br>FLÄCHE<br>SURFACE                    |  Schale<br>plate<br> gefaltete Platte<br>folded slab<br> Zylinderschale<br>cylindrical shell                                                                                                     | Membran-<br>kräfte<br><br>membrane<br>stresses            | Flächen-<br>form<br><br>surface<br>shape                                        | flächenaktiv<br>surface-active<br><br><br>                                                                            |



Formaktiv

Vektoraktiv



Snittaktiv

Ytaktiv

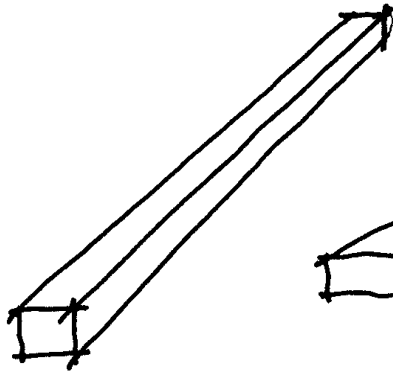


Partikeljämvikt

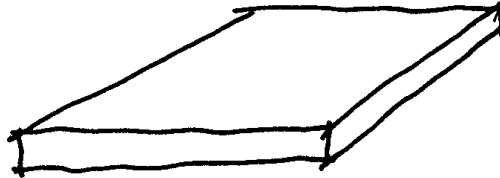
Stelkroppsjämvikt

Kontinuumjämvikt

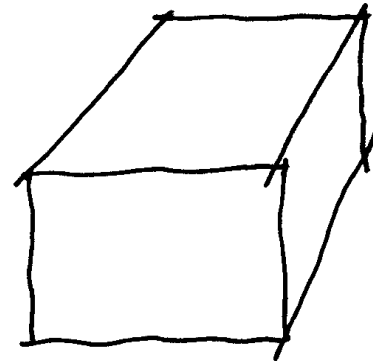
# Strukturdelar sorterade efter kroppens dimensioner



1-dim  
Stång  
Balk



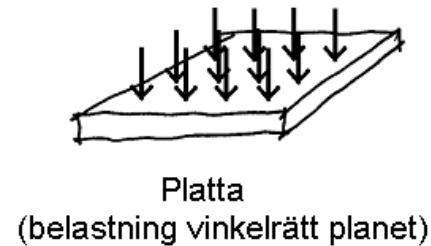
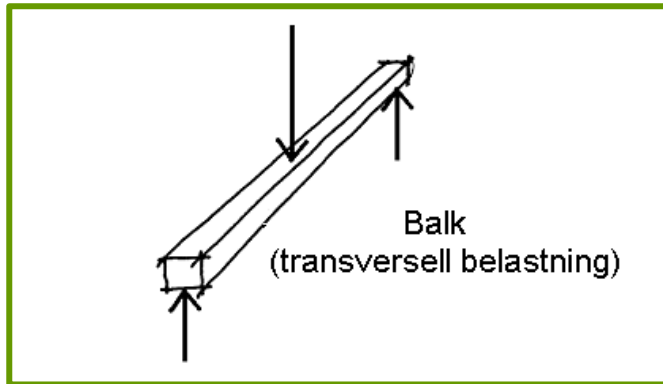
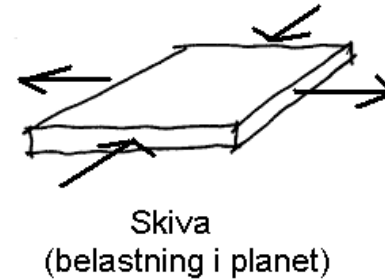
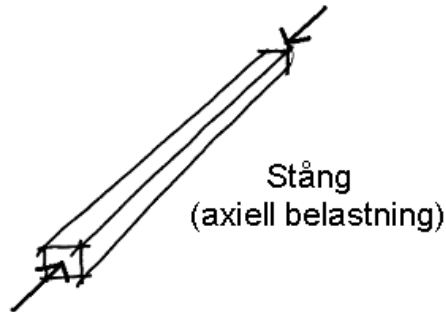
2-dim  
Skiva  
Platta



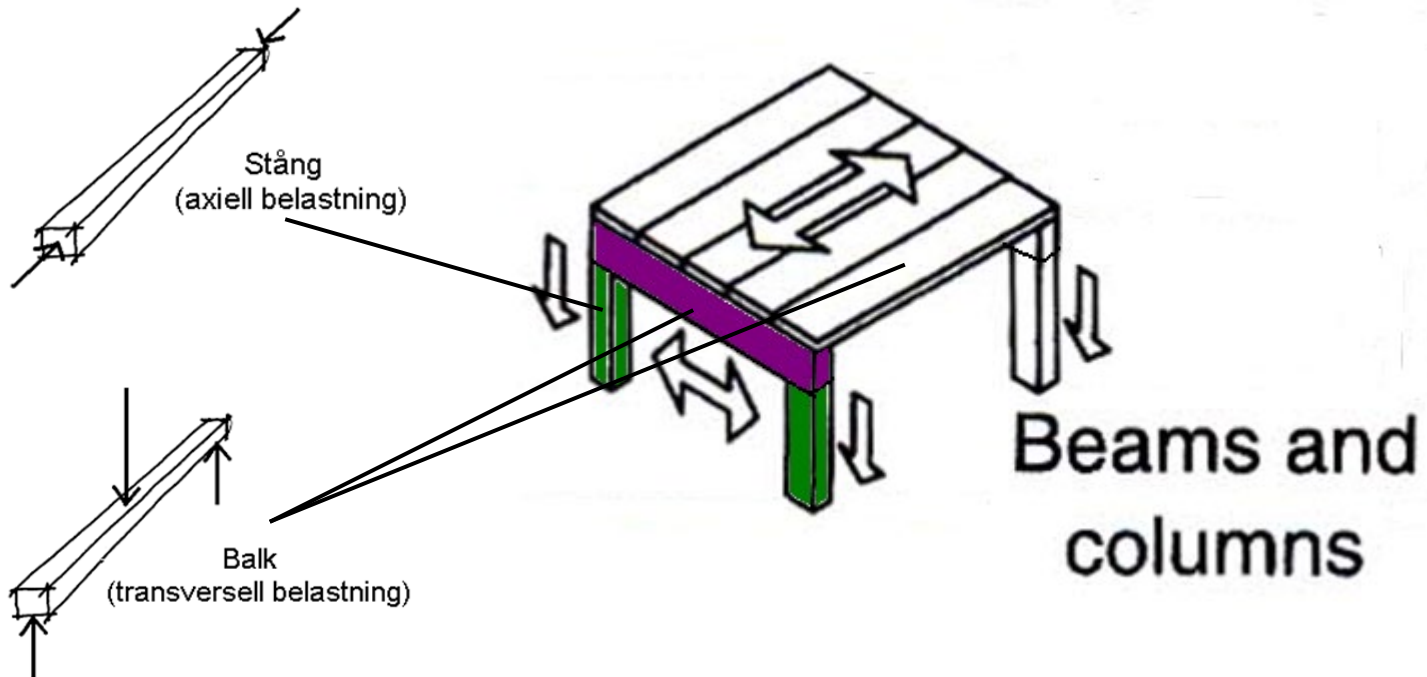
3-dim  
Solid



# Konstruktionselementens verkningssätt (form + belastning)

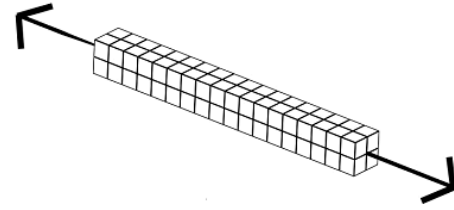


# 1-dim element – tre verkningssätt

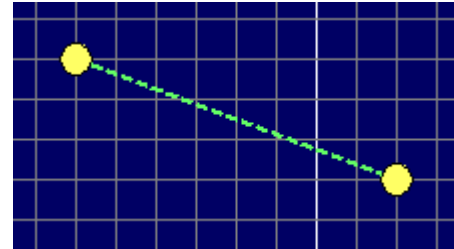




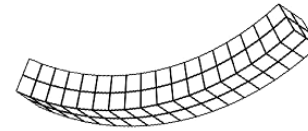
# Tryck och drag



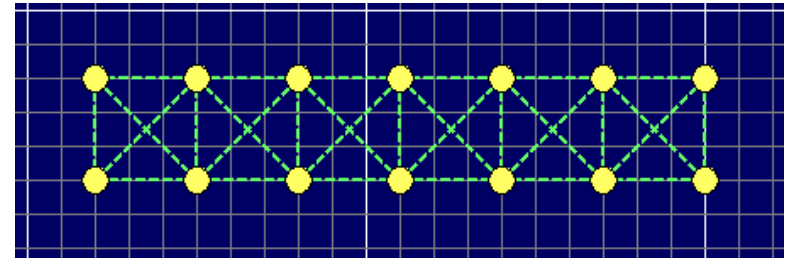
Stångverkan  
en linje



## Böjning



Balkverkan  
byggs av kvadrater  
med kryss  
(klarar också stångverkan)



# **Balkar och ramverk**

**Uppbyggnad**

**Grundtyper**

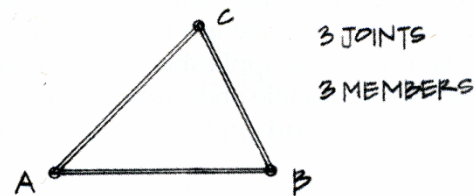
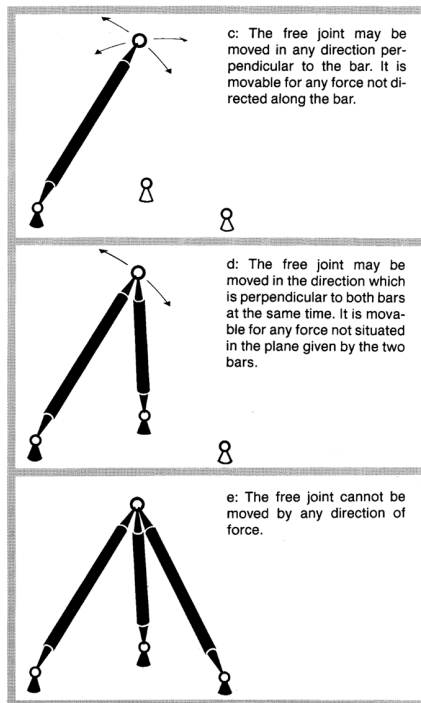
**Beståndsdelar**

# Jämför med Stänger och fackverk

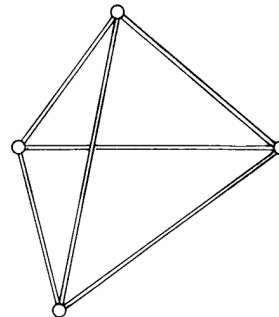
## Uppbyggnad

## Stabila grundformer

## Beståndsdelar



SIMPLE ONE PANEL TRUSS



Stång  
(styvhet  $EA/L$ )

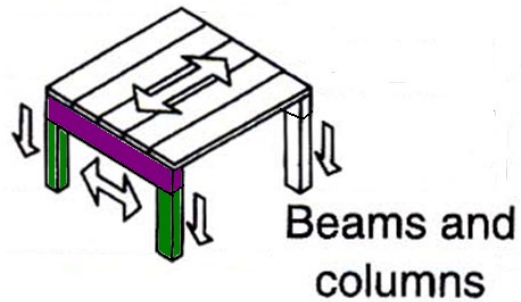
Knutpunkt  
(friktionsfri led)

Systemlinje

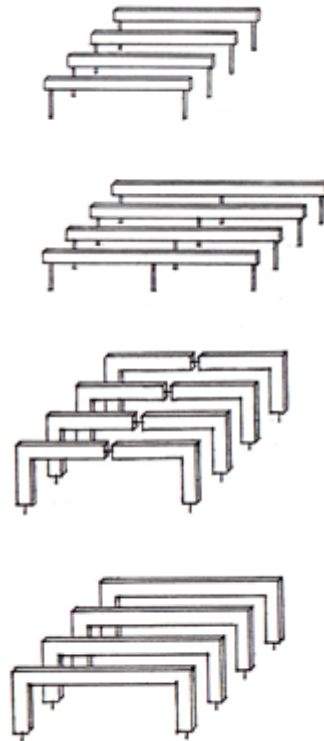




## Uppbyggnad



## Grundtyper



## Beståndsdelar

Balk  
(styvhet  $EI/L^3$ )

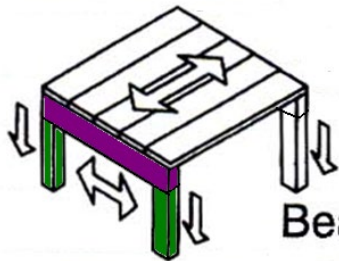
Knutpunkt  
(från stel koppling  
till friktionsfri led)

Systemlinje



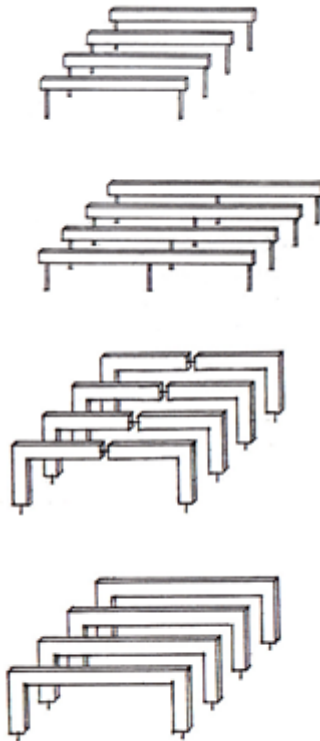
# Uppbyggnad

Logisk ordning



Beams and  
columns

# Grundtyper



# Beståndsdelar

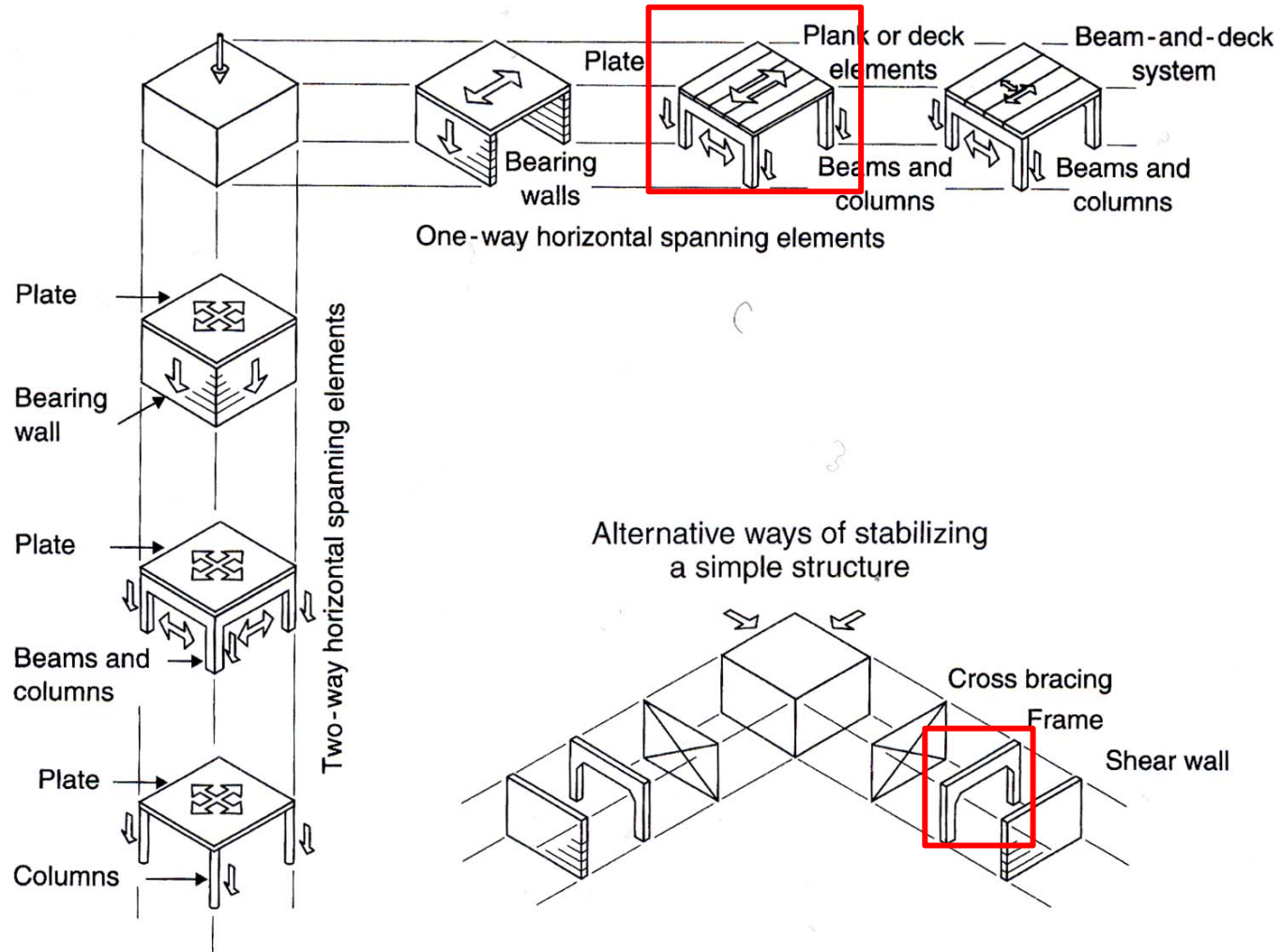
Balk  
(styvhet  $EI/L^3$ )

Knutpunkt  
(från stel koppling  
till friktionsfri led)

Systemlinje

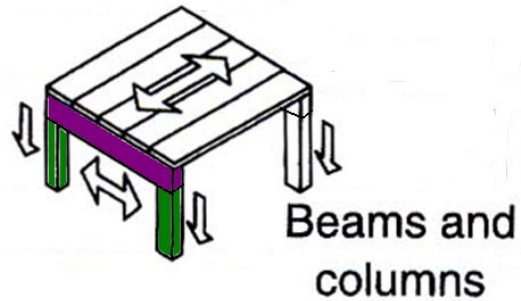


# Logisk ordning – vertikal och horisontell last

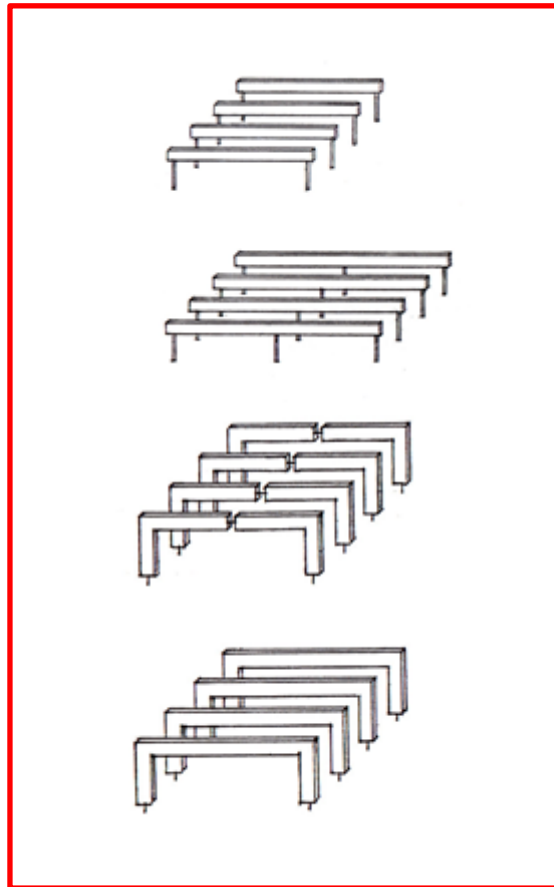


**Figure 1.7** Common structural options for a typical volumetric unit.

# Uppbyggnad



# Grundtyper



# Beståndsdelar

Balk  
(styvhet  $EI/L^3$ )

Knutpunkt  
(från stel koppling  
till friktionsfri led)

Systemlinje

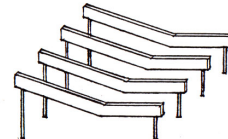
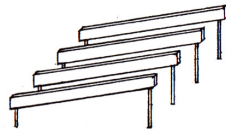
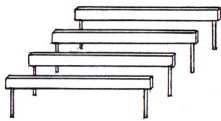




# Balktyper

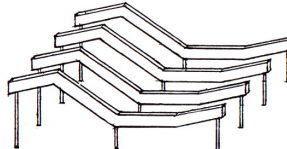
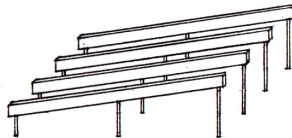
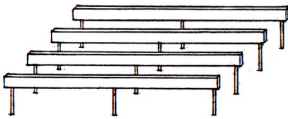
## 3.1 Balken-Systeme / Beam systems

Einfeldbalken  
One-bay beam



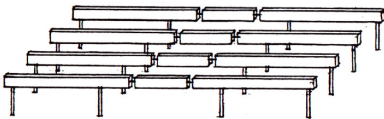
Fritt upplagd balk

Durchlaufbalken  
Continuous beam



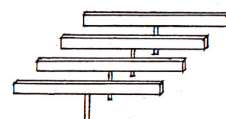
Kontinuerlig balk

Gelenkbalken  
Pin-jointed beam



Gerber-balk

Kragbalken  
Cantilever beam



Konsolbalk

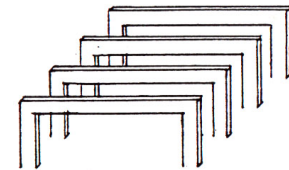
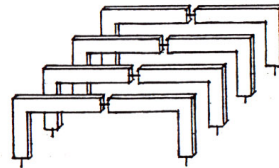
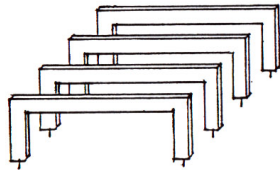
# Ramtyper

3.2 Rahmen-Tragwerke / Frame structures

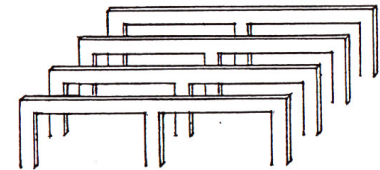
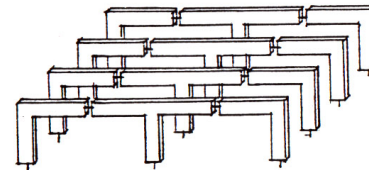
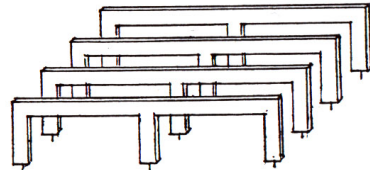
Två-ledsram

Tre-ledsram

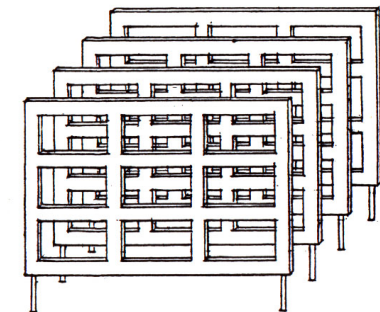
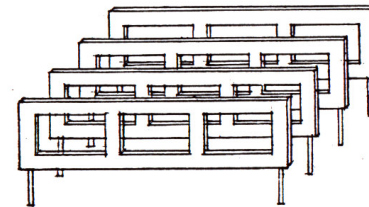
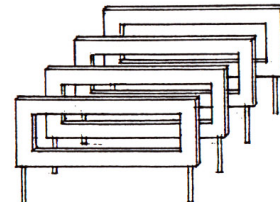
Einfeldrahmen  
One-bay frames



Mehrfeldrahmen  
Multipanel frames



Geschoßrahmen  
Story frames



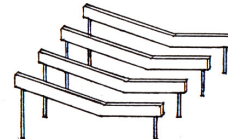
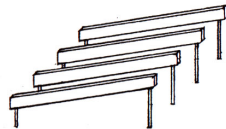
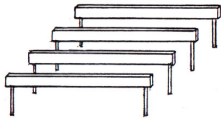
Virendelbalk



# Balktyper

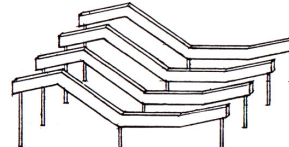
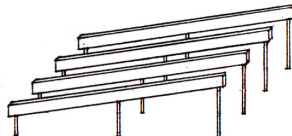
## 3.1 Balken-Systeme / Beam systems

Einfeldbalken  
One-bay beam



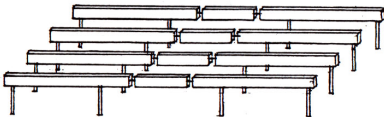
Fritt upplagd balk

Durchlaufbalken  
Continuous beam



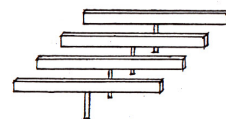
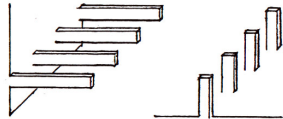
Kontinuerlig balk

Ogelenkbalken  
Pin-jointed beam



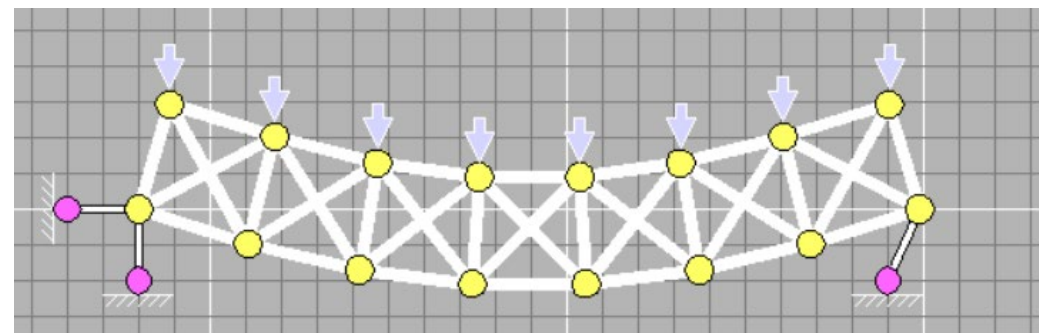
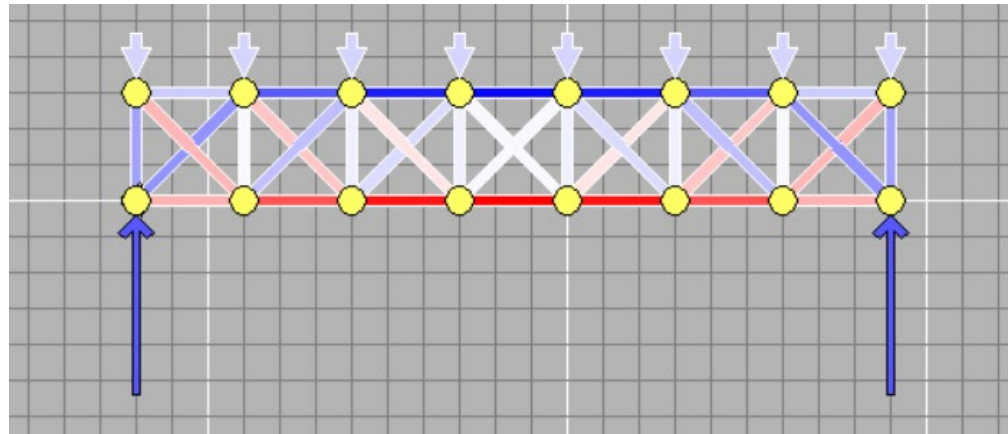
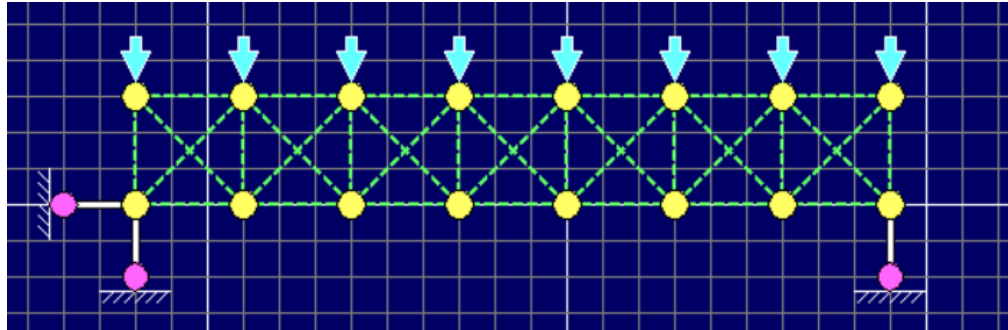
Gerber-balk

Kragbalken  
Cantilever beam

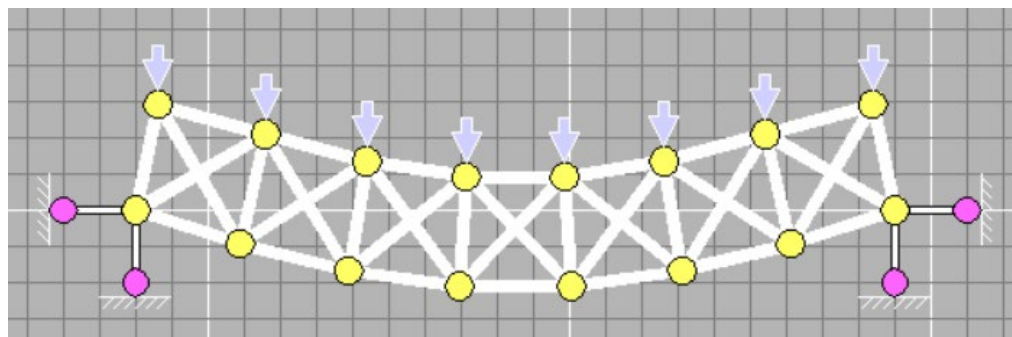
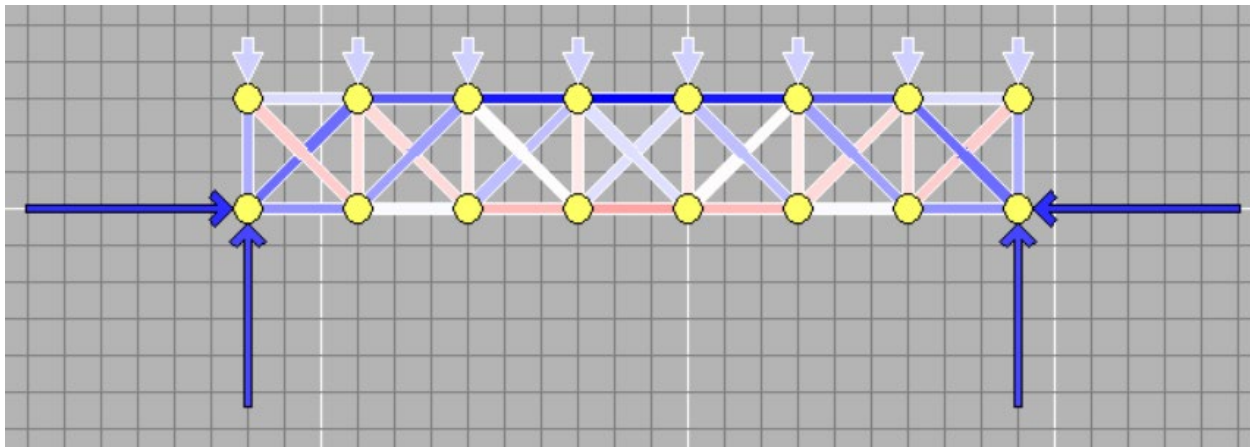
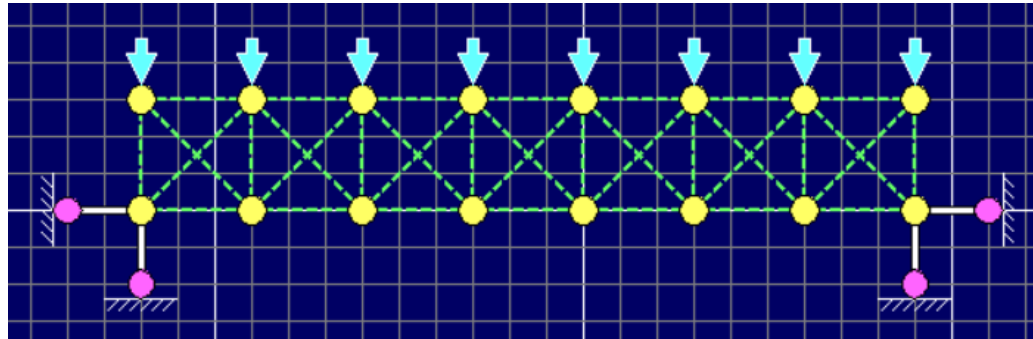


Konsolbalk

# Fritt upplagd balk

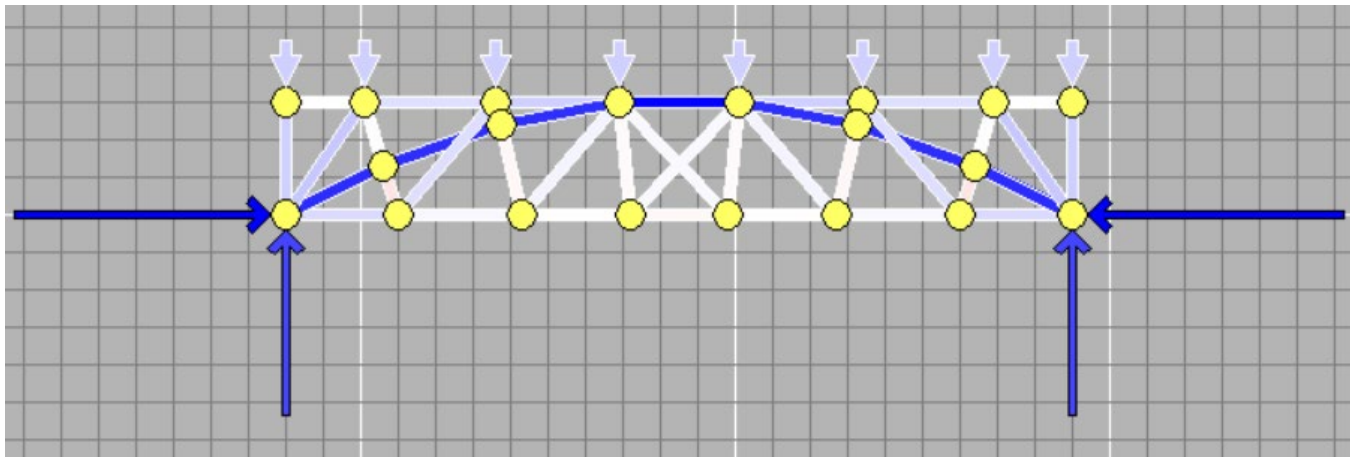
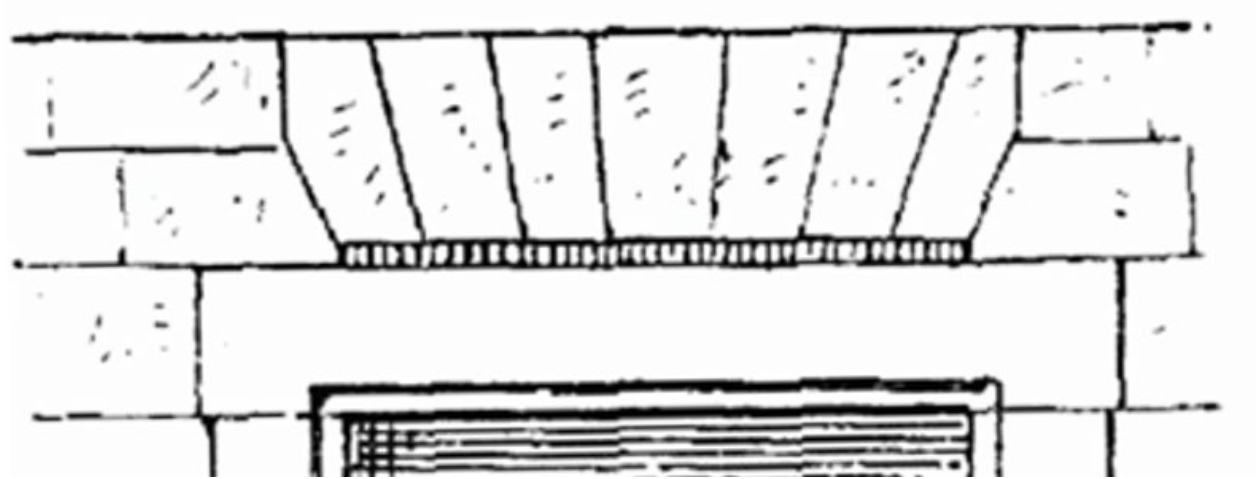


# ~~Fritt upplagd~~ balk

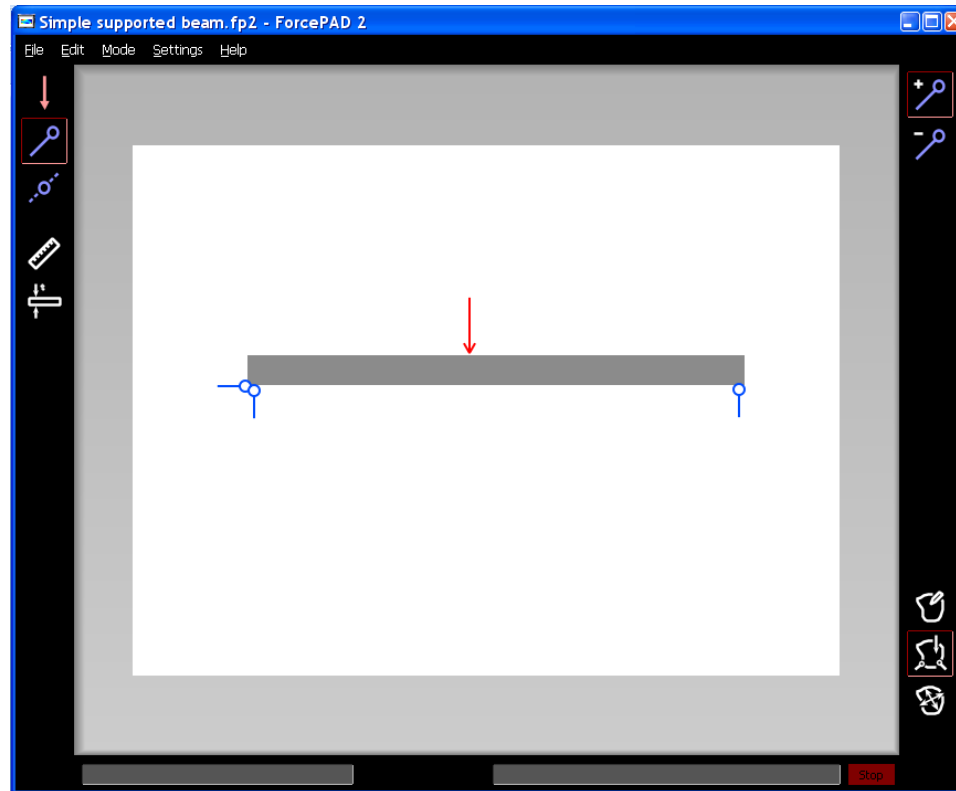




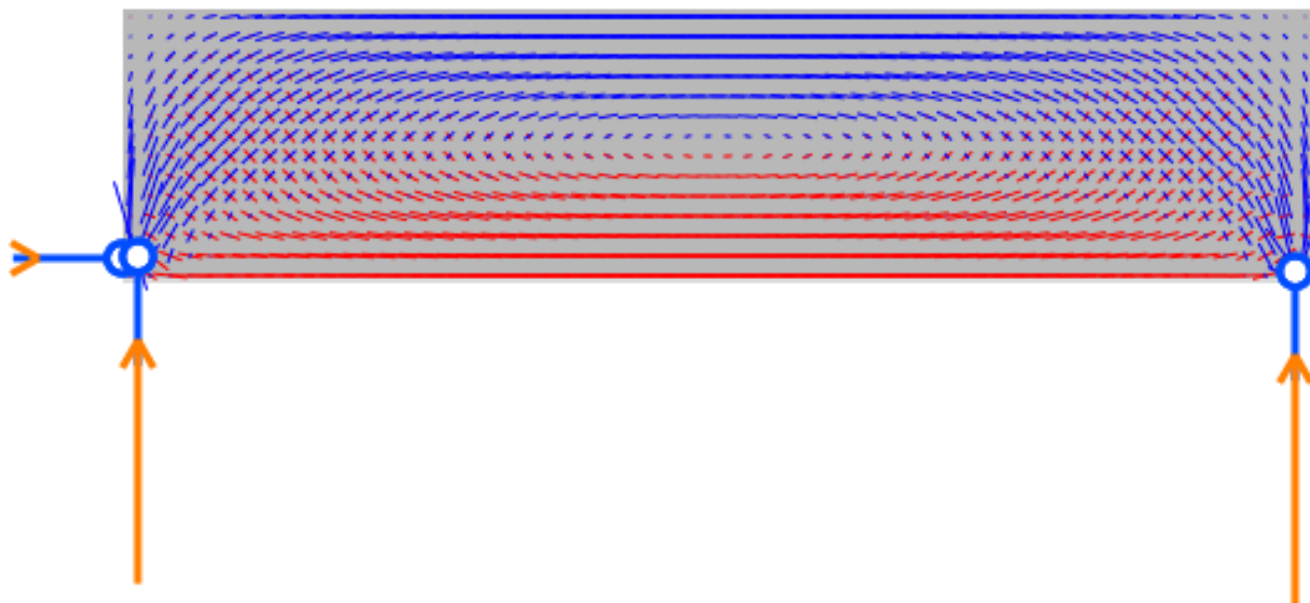
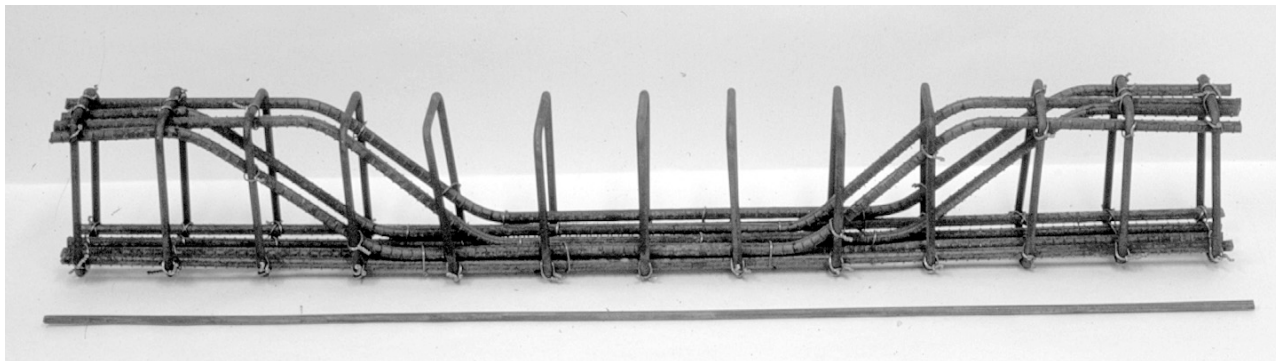
# Rakt valv



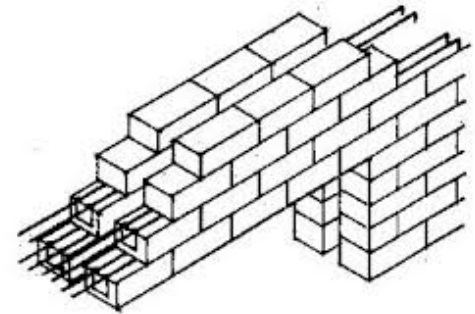
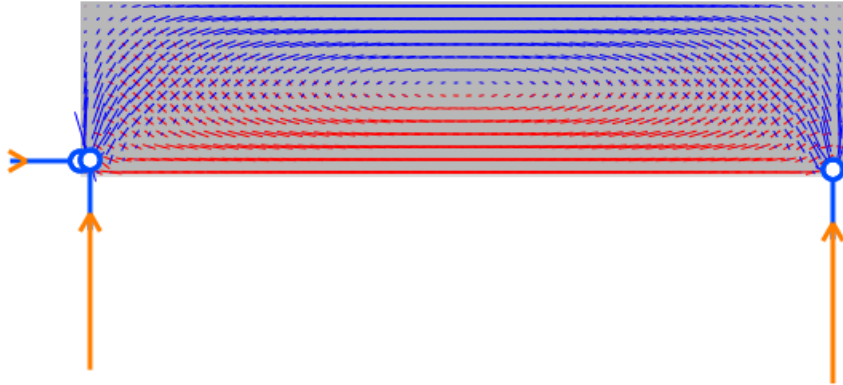
# ForcePAD



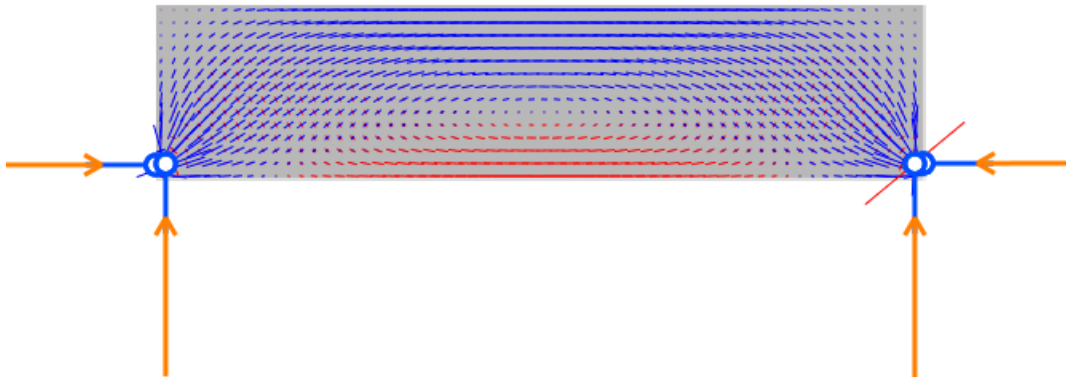
# Fritt upplagd betongbalk



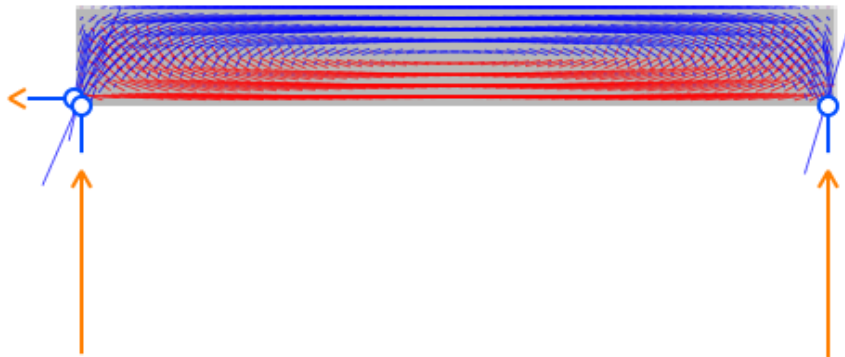
# Fritt upplagd tegelbalk



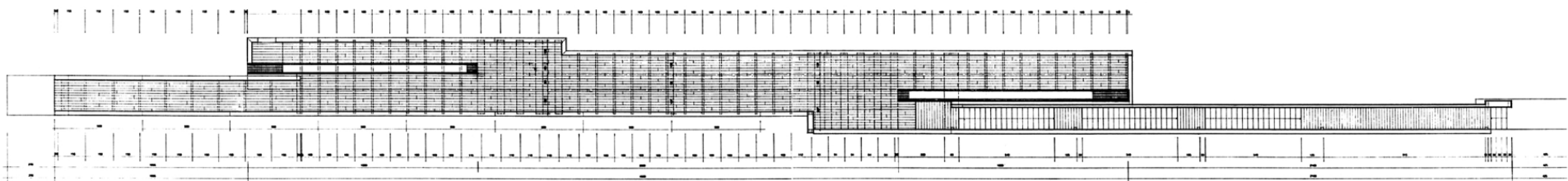
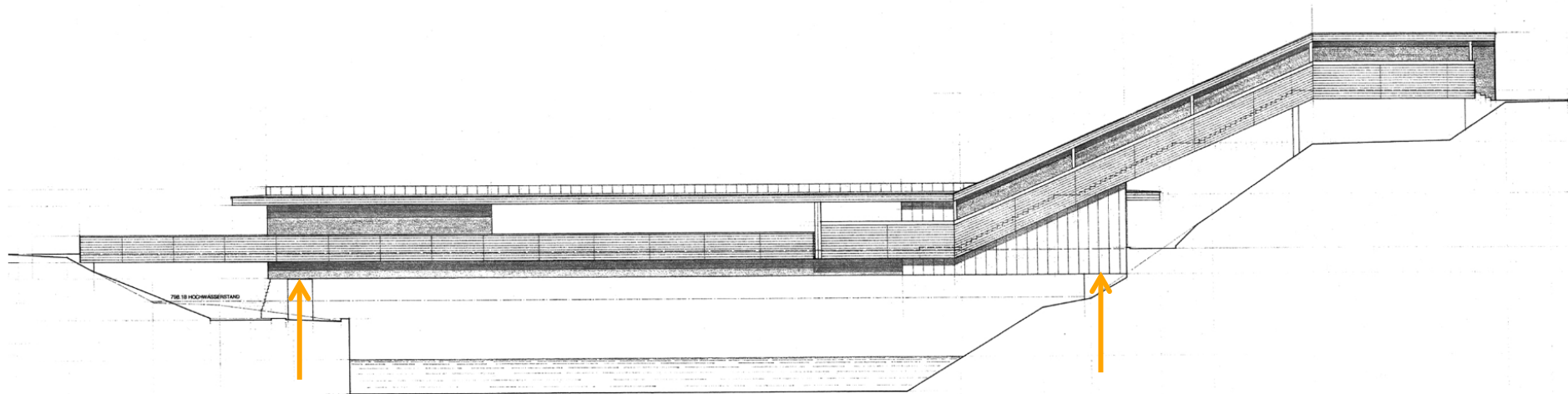
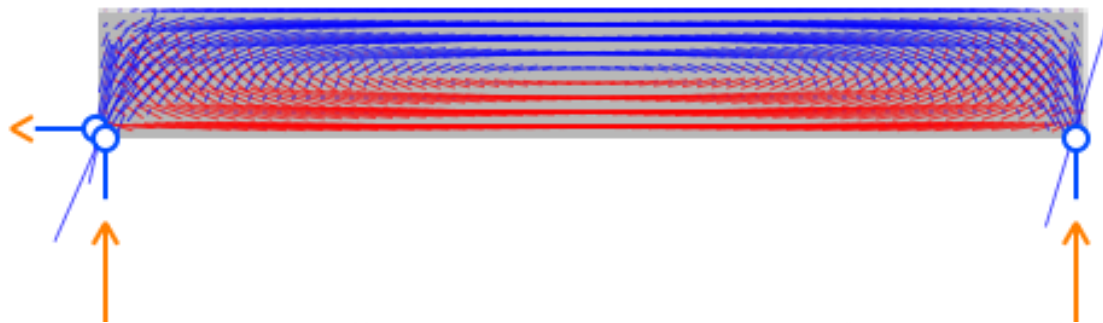
# Rakt valv



**Murau, Österreich, 1992**  
**Meili & Peter**  
**Jürg Conzett**



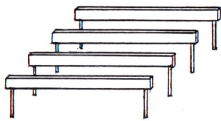




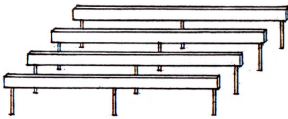
# Balktyper

## 3.1 Balken-Systeme / Beam systems

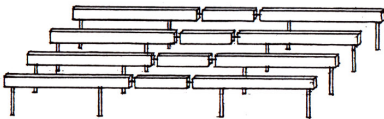
Einfeldbalken  
One-bay beam



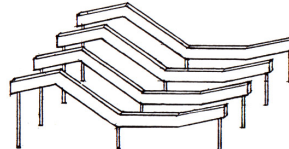
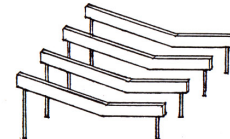
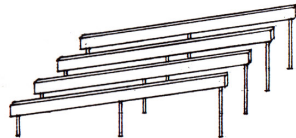
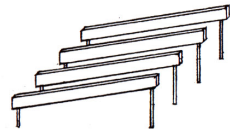
Durchlaufbalken  
Continuous beam



Gelenkbalken  
Pin-jointed beam



Kragbalken  
Cantilever beam



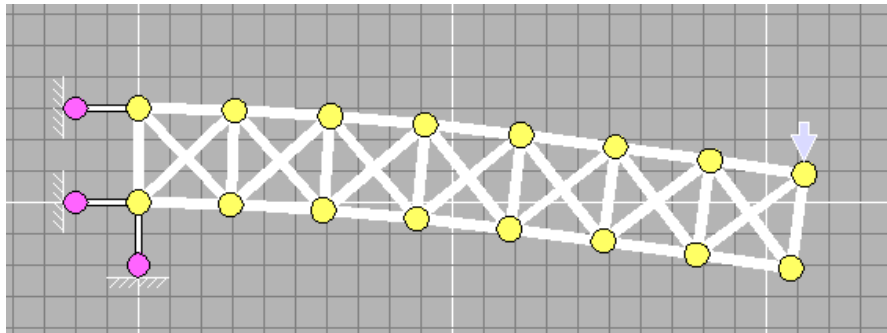
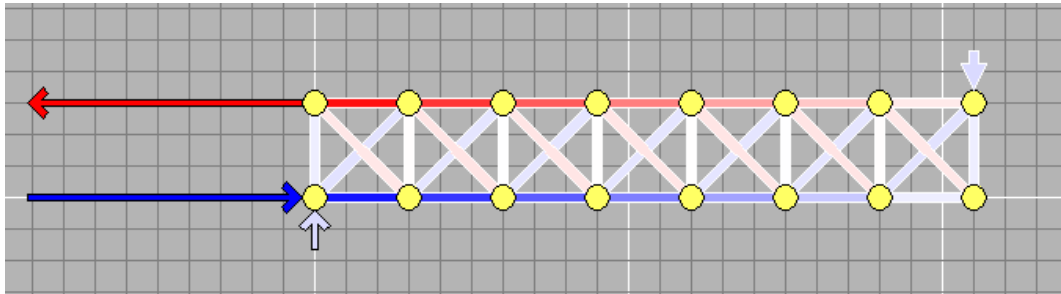
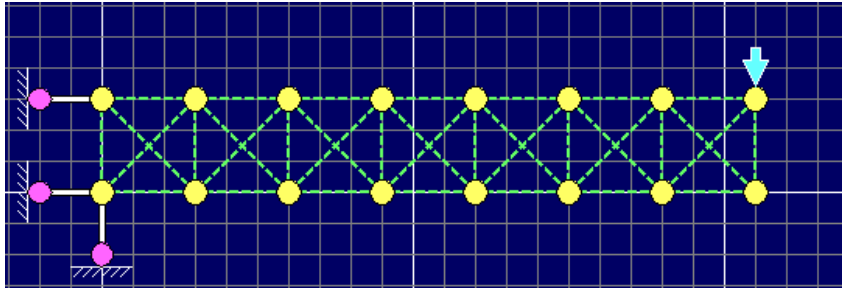
Fritt upplagd balk

Kontinuerlig balk

Gerber-balk

Konsolbalk

# Konsolbalk



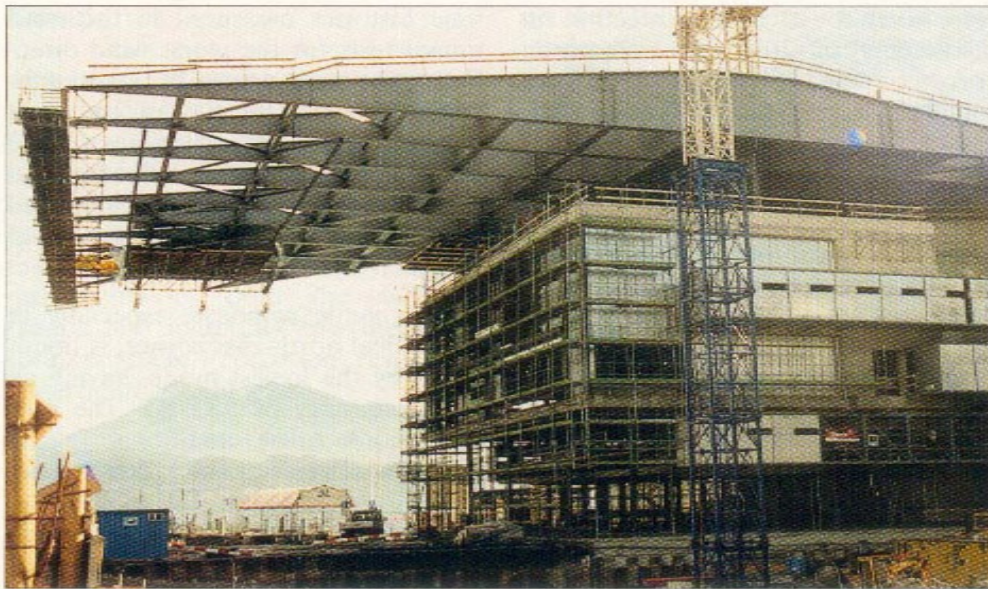


**MDRDV, Amsterdam**

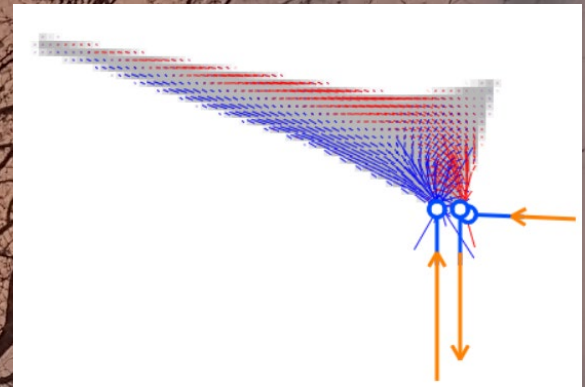


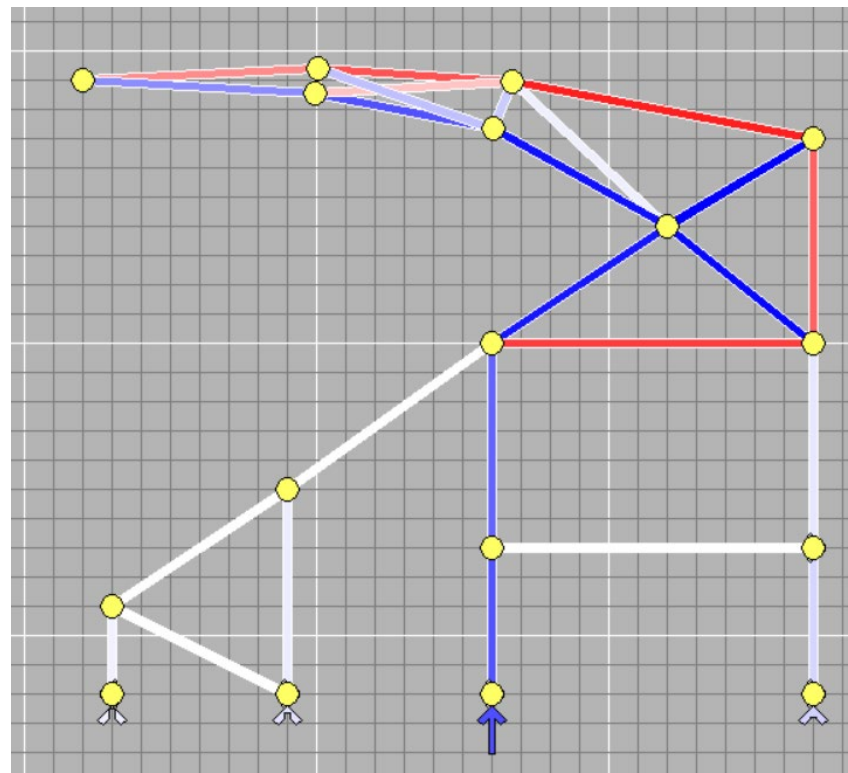


**Kongreshalle  
Luzern  
Jean Novel**









**Piero Luigi Nervi**  
Florence Municipal Stadium  
1930-32 and 1950-51





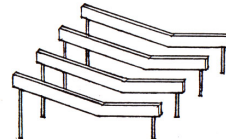
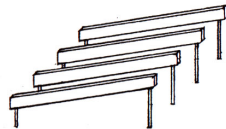
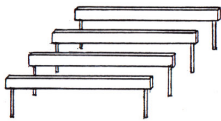
**Falling Water**  
**Frank Lloyd Wright**



# Balktyper

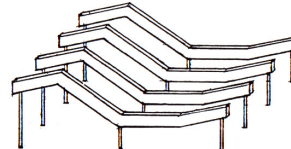
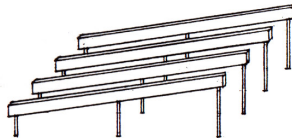
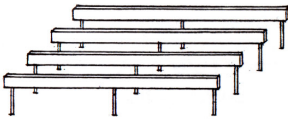
## 3.1 Balken-Systeme / Beam systems

Einfeldbalken  
One-bay beam



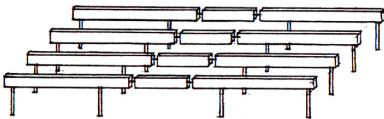
Fritt upplagd balk

Durchlaufbalken  
Continuous beam

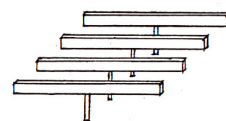
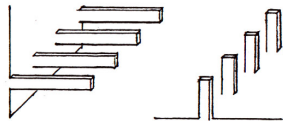


Kontinuerlig balk

Ogelenkbalken  
Pin-jointed beam



Kragbalken  
Cantilever beam

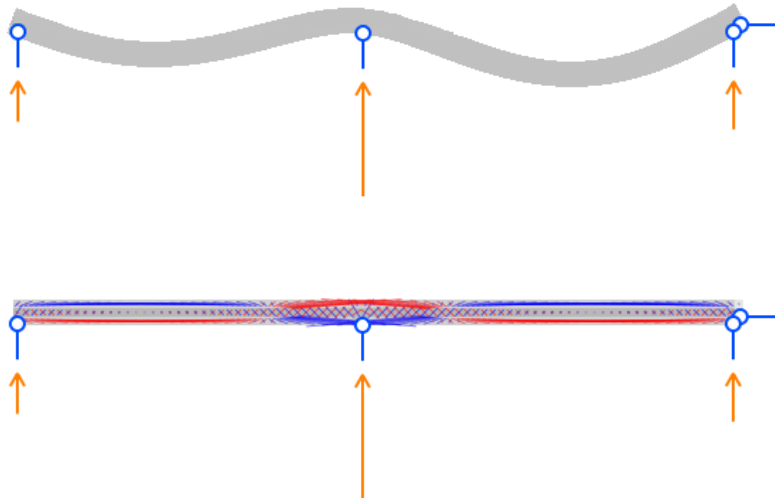


Gerber-balk

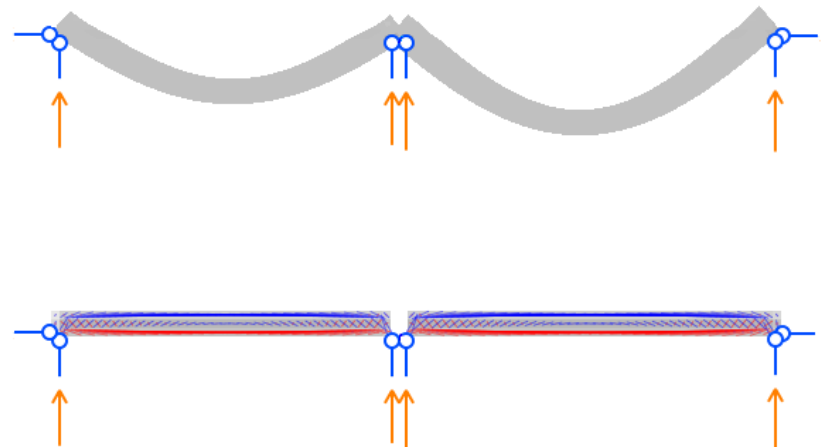
Konsolbalk



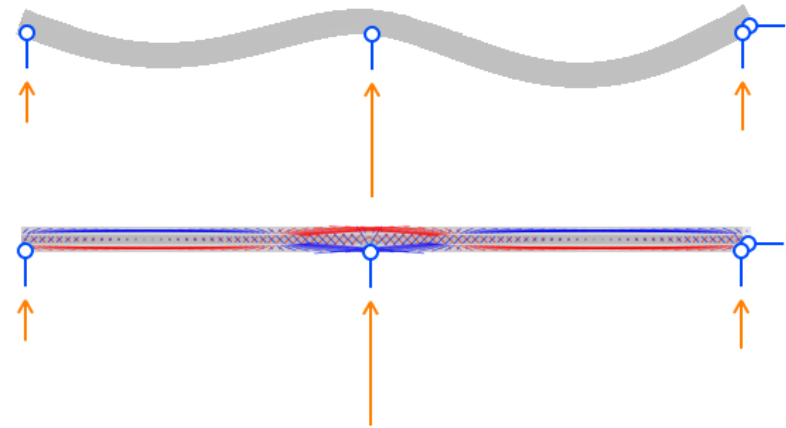
## Kontinuerlig balk



## Fritt upplagda balkar



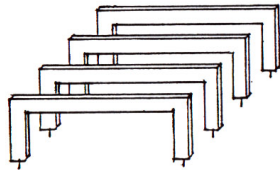
Skarv där krökningen  
(momentet) är noll  
*inflexionspunkt*



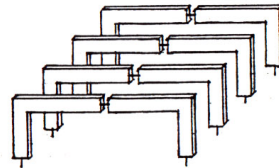
# Ramtyper

## 3.2 Rahmen-Tragwerke / Frame structures

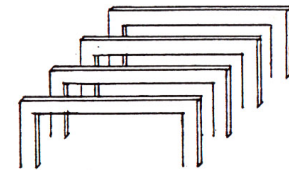
**Tvåledsram**



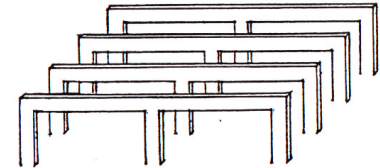
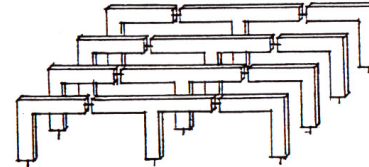
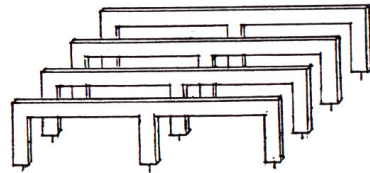
**Treledsram**



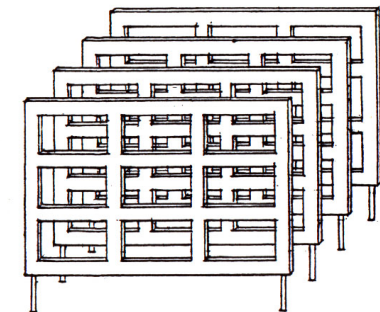
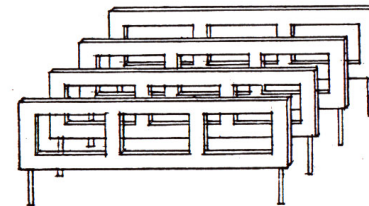
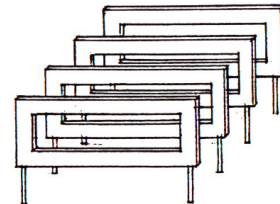
Einfeldrahmen  
One-bay frames



Mehrfeldrahmen  
Multipanel frames

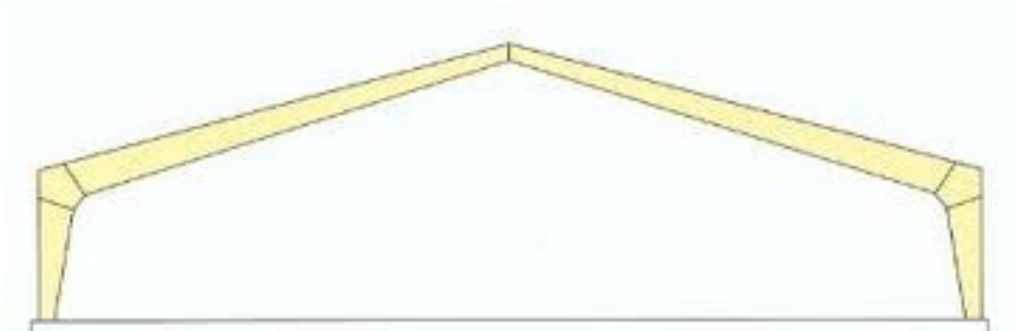
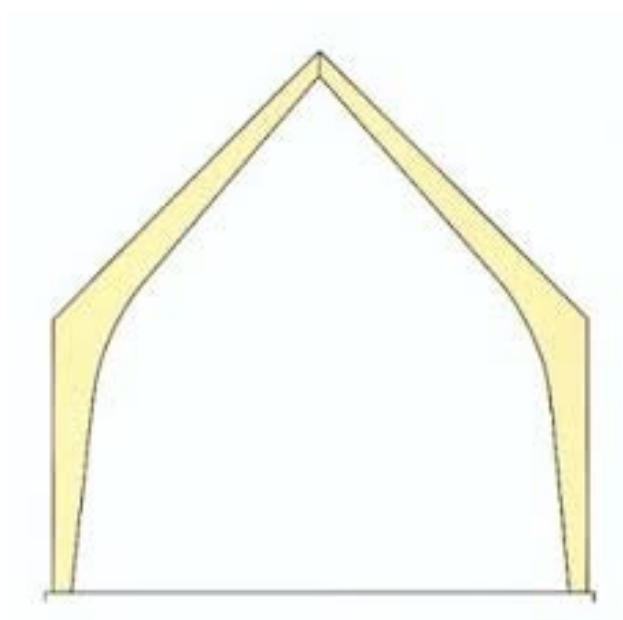


Geschoßrahmen  
Story frames



Virendelbalk







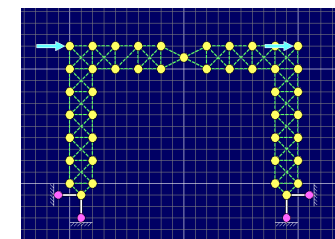
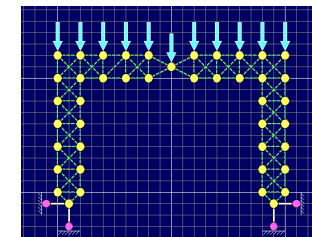
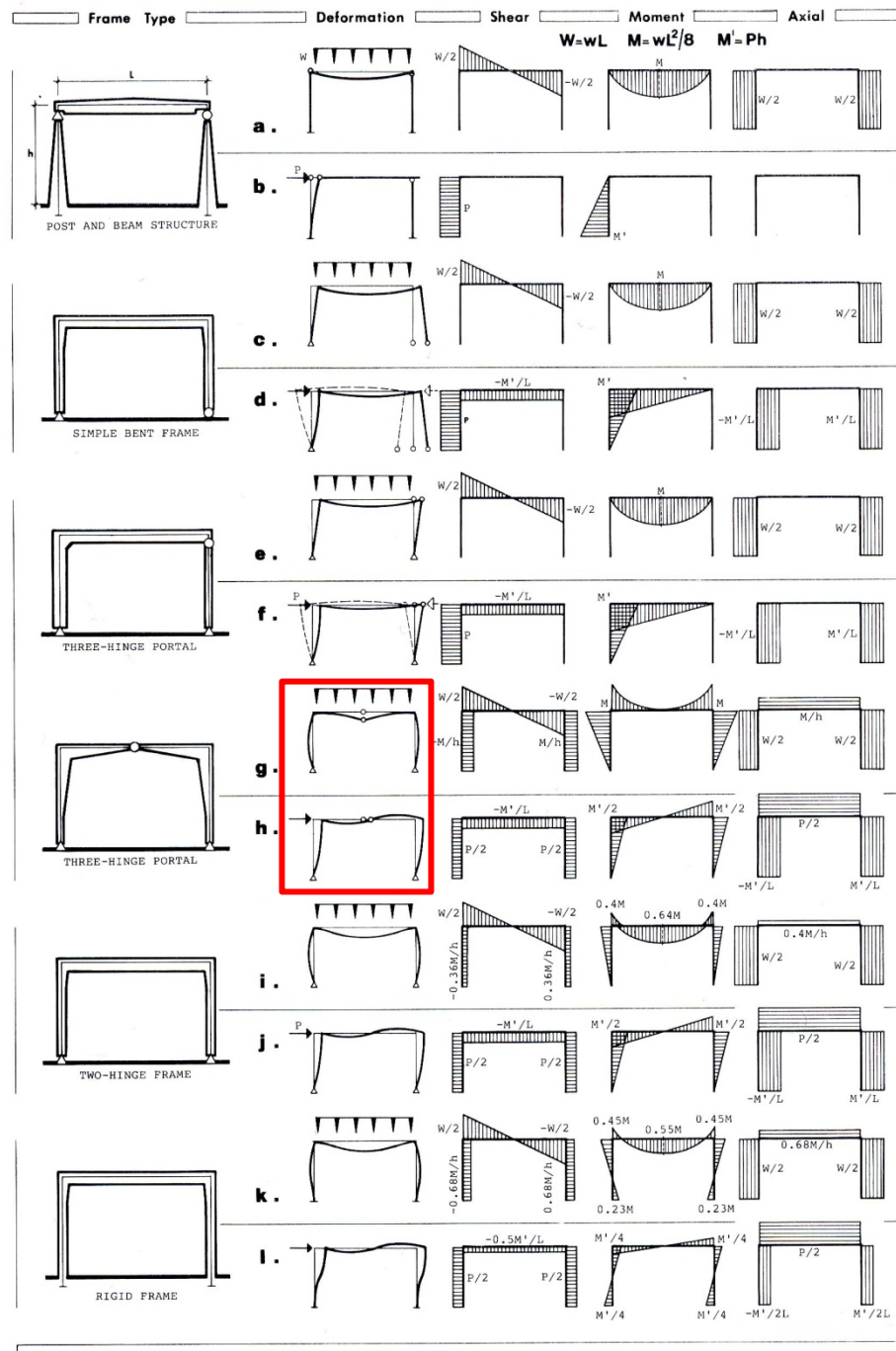
# Olika ramverk och formgivning av knutpunkter

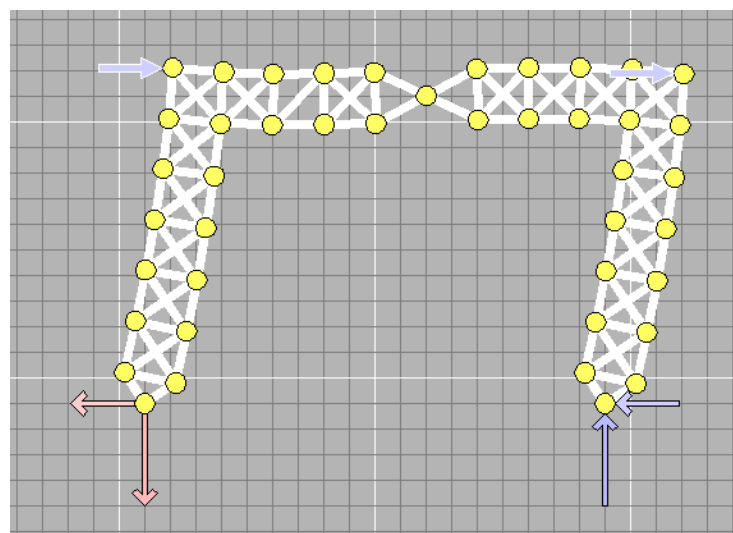
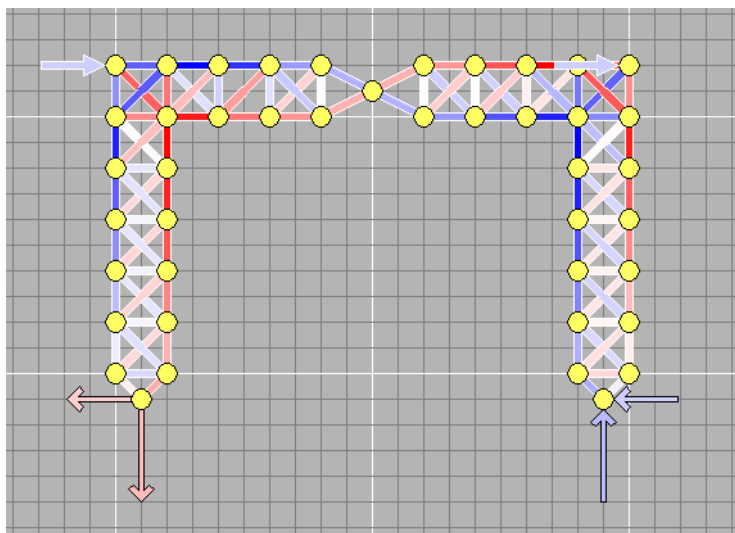
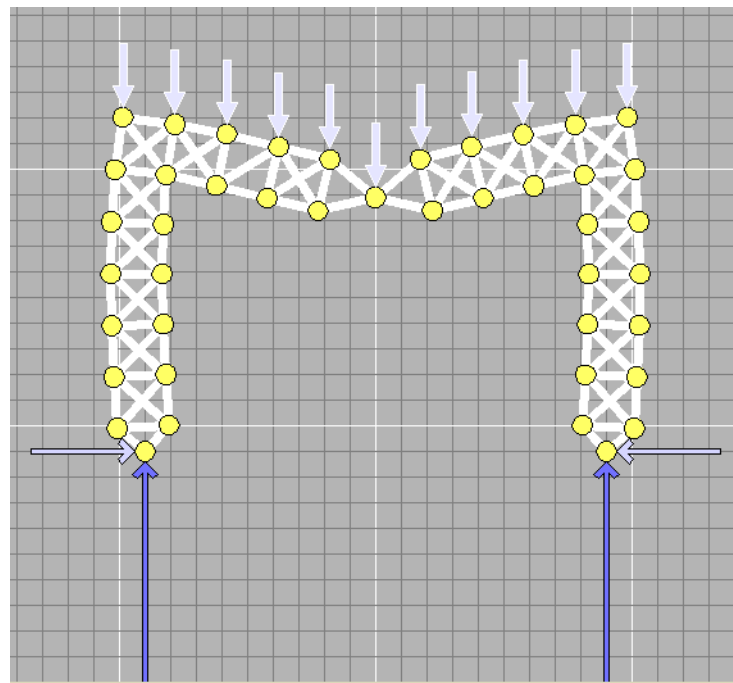
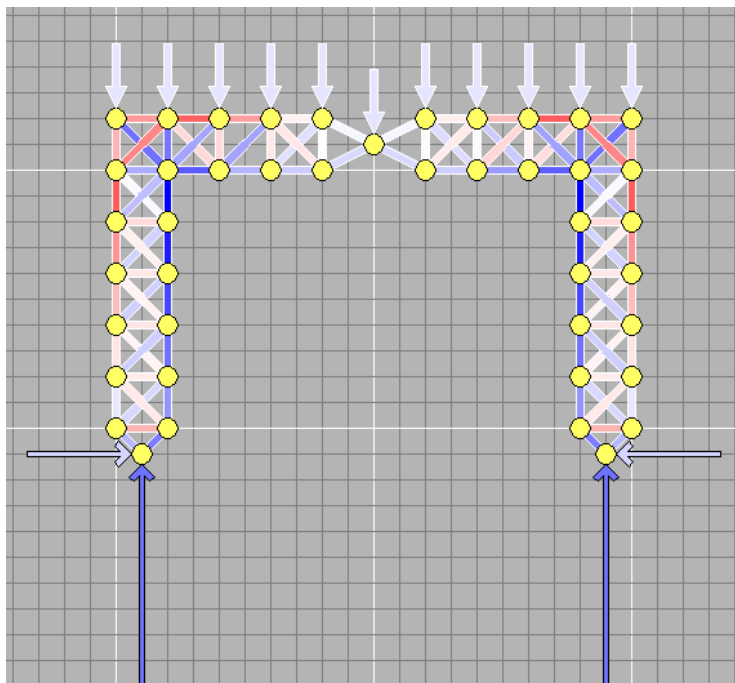
Deformationsfigurer

Tvärkrafts-diagram

Moment-diagram

Normalkrafts-diagram





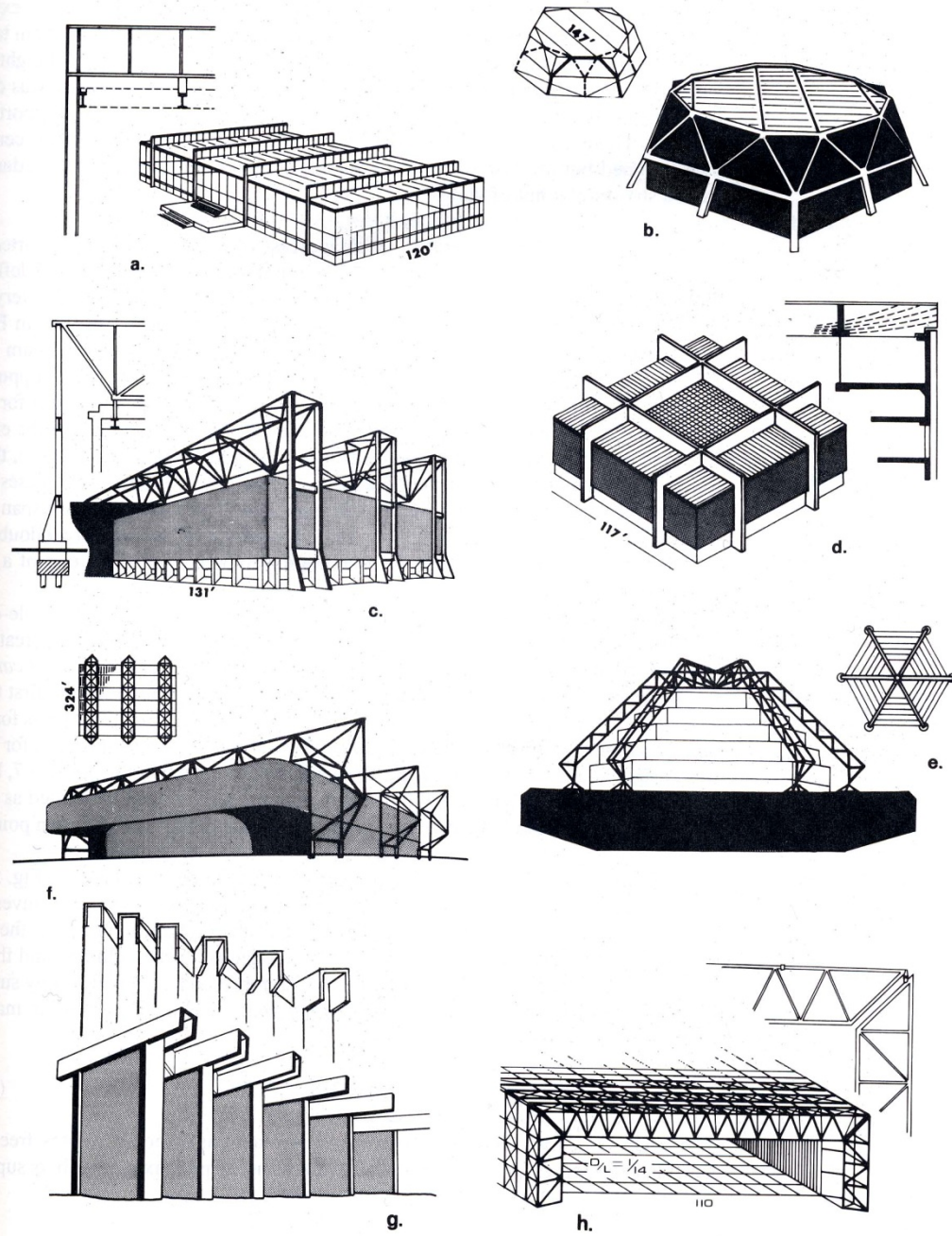
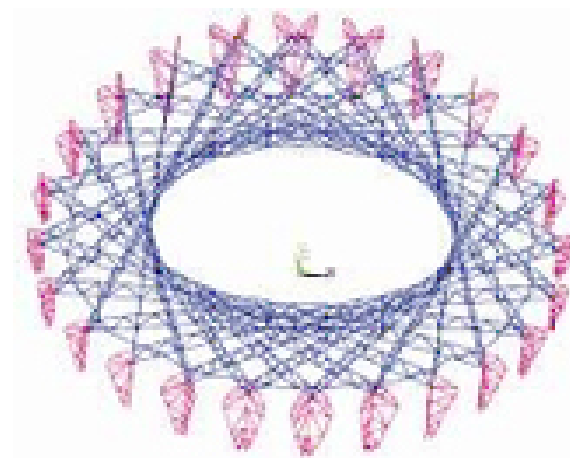
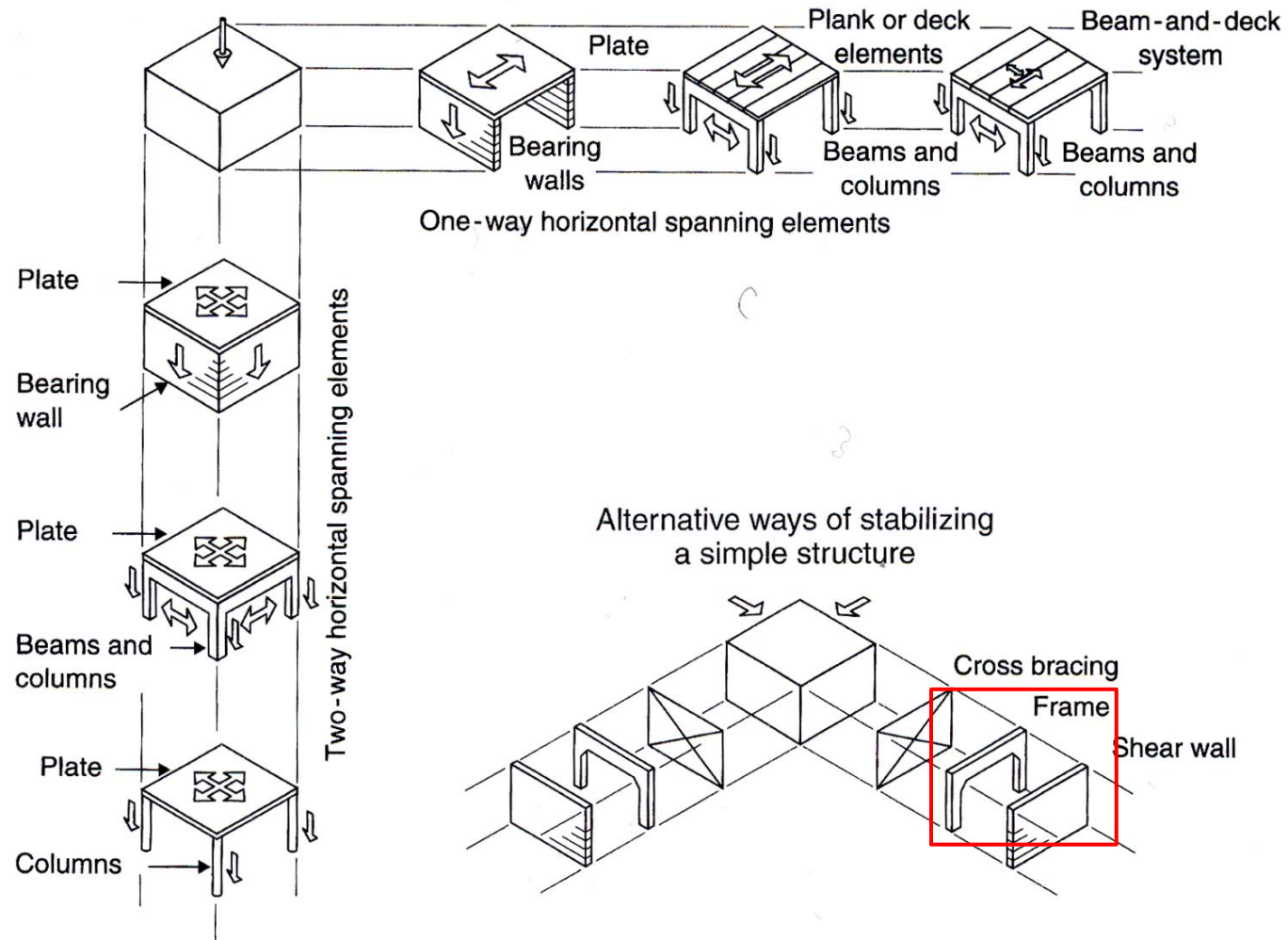


Figure 5.6 Single-bay portal frames.



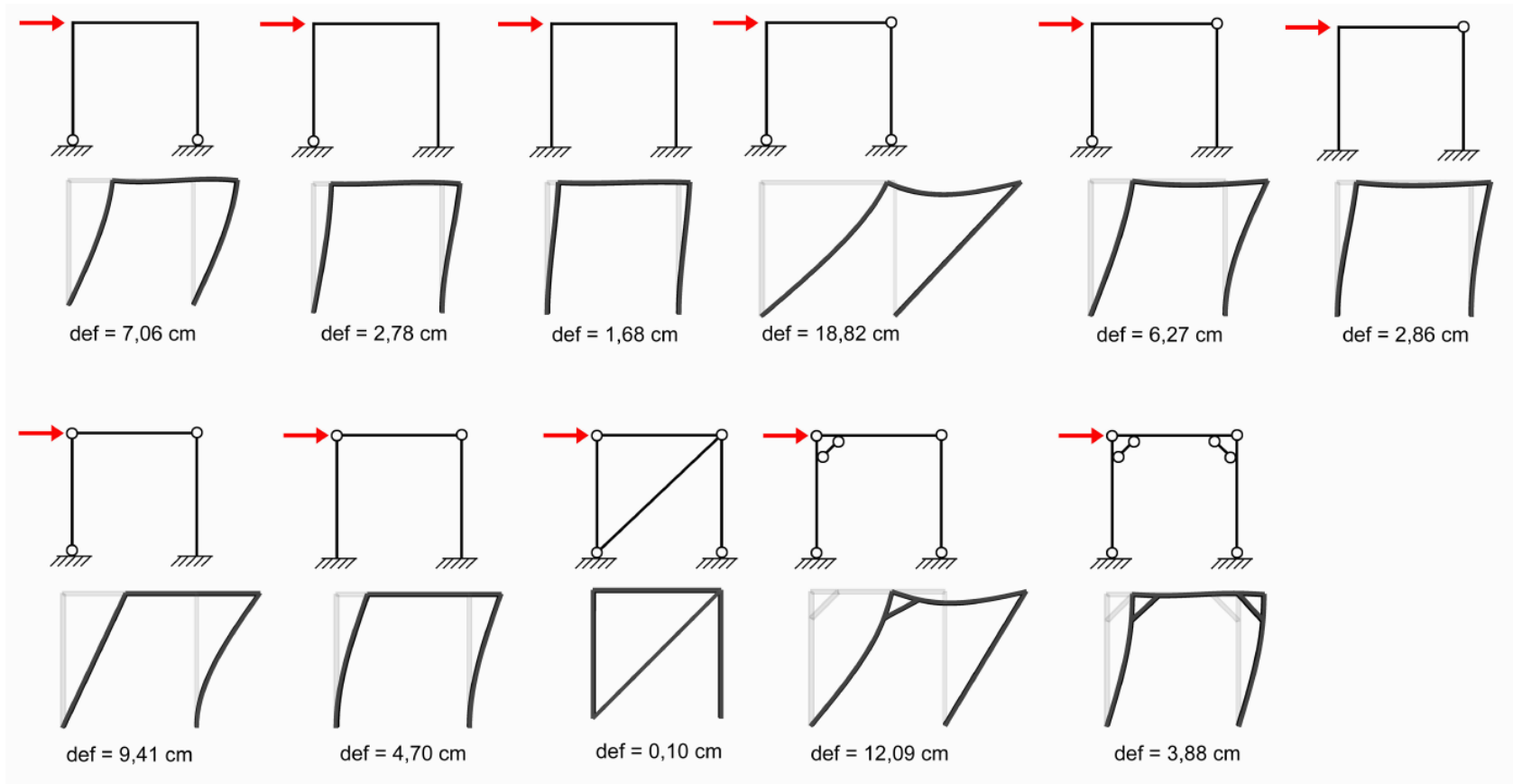


# Horisontell stabilisering med ramar



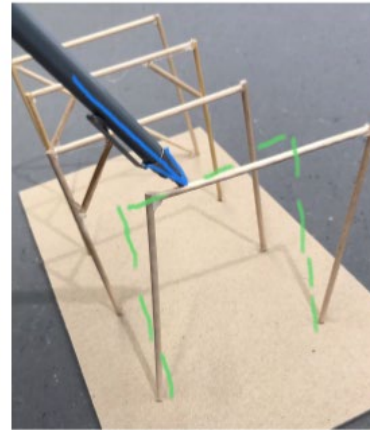
**Figure 1.7** Common structural options for a typical volumetric unit.

# Ramars effektivitet vid horisontell last



## Deformation & styvhet

Övning i att mäta styvheten hos olika ramar. Bilderna visar hur ramarna deformeras och ger exempel på hur inre stöd kan användas för att förhindra deformation.





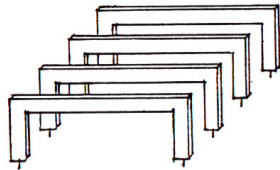


# Ramtyper

## 3.2 Rahmen-Tragwerke / Frame structures

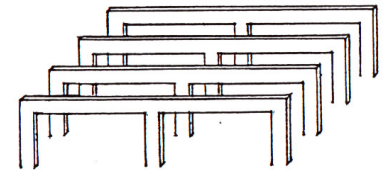
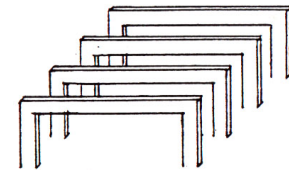
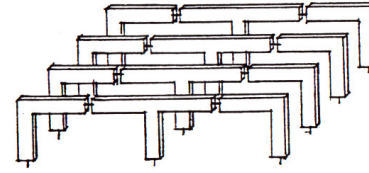
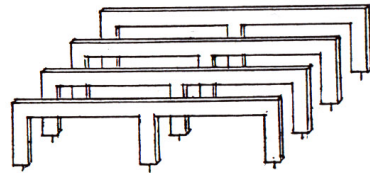
### Tvåledsram

Einfeldrahmen  
One-bay frames

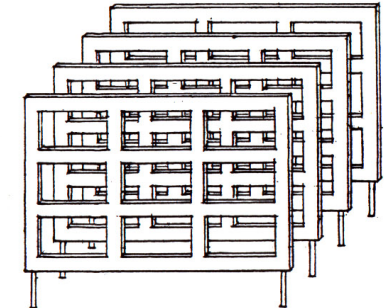
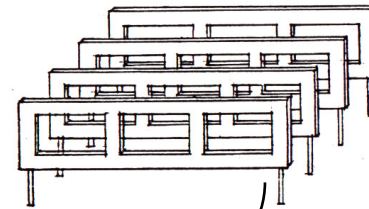
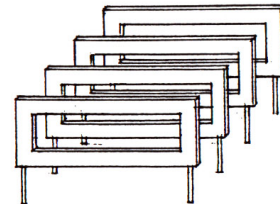


### Treledsram

Mehrfeldrahmen  
Multipanel frames



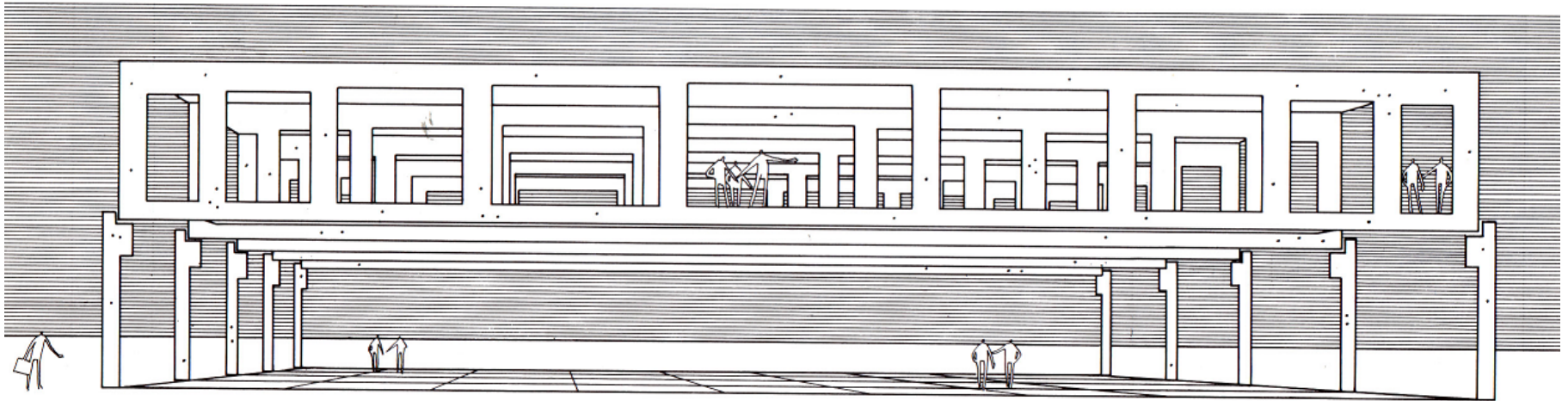
Geschoßrahmen  
Story frames



Virendelbalk

Weitgespannte Tragsysteme aus Mehrfeld-Rahmen

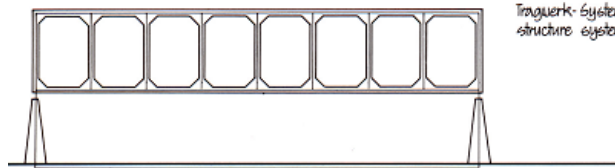
longspan structure systems composed of multi-panel frames



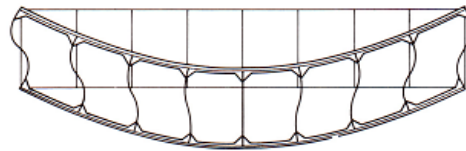
Eingeschossiger Mehrfeldrahmen auf zwei Stützen

single-story multi-panel frame supported at both ends

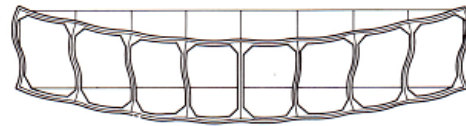
Beziehung zwischen Rahmenteilung und Mechanismus des Mehrfeld-Rahmens / relationship between panel design and mechanism of multi-panel frame



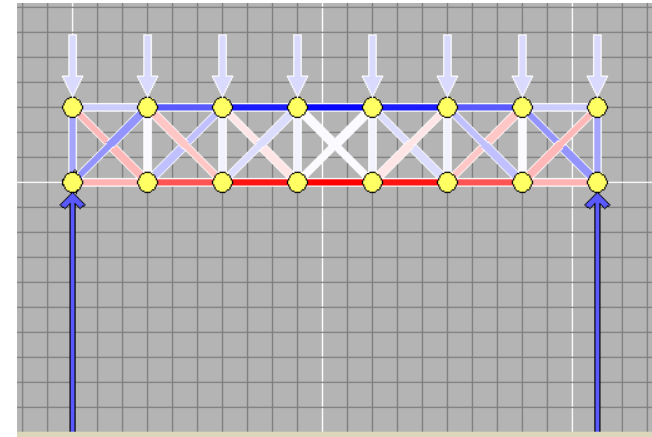
Mehrfeld-Rahmen auf zwei Stützen / multi-panel frame supported at both ends



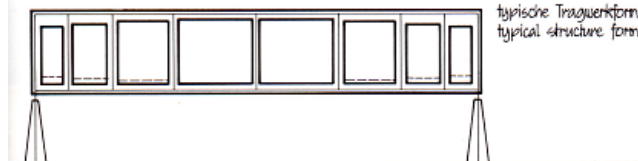
System mit Stielen ohne Biegesteifigkeit



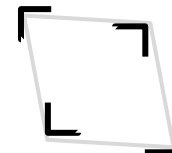
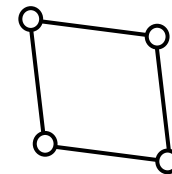
System mit biegesteifen Stielen



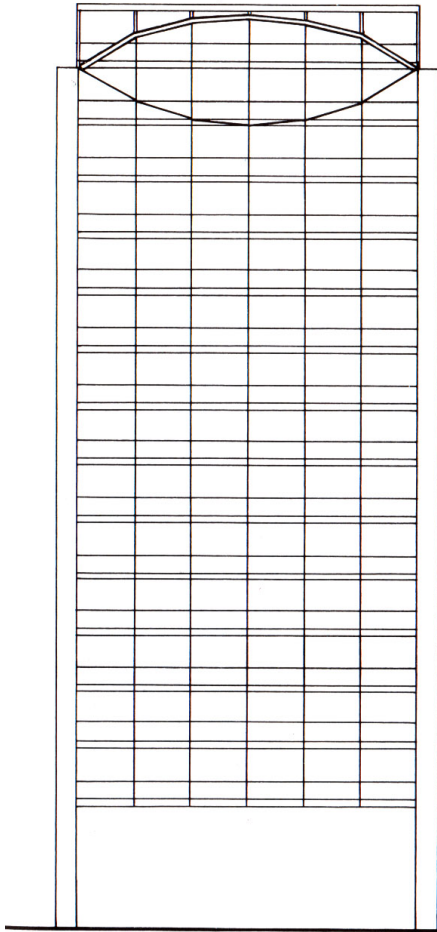
Verbreiterung der Stiele nach den Auflagern zu bei gleichgroßen Feldbreiten



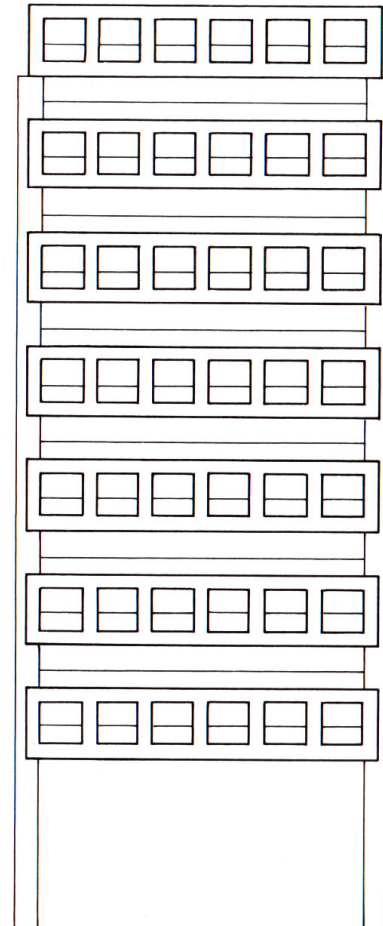
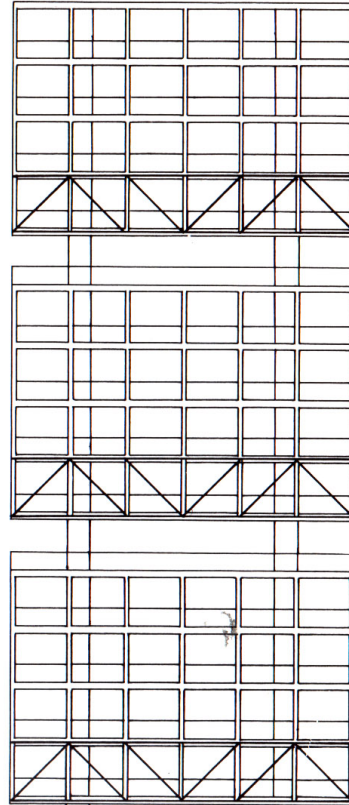
Verkleinerung der Felder nach den Auflagern zu bei gleichbleibenden Stielen



Vollgeschoß-Trägersysteme in Brücken-Hochwerken

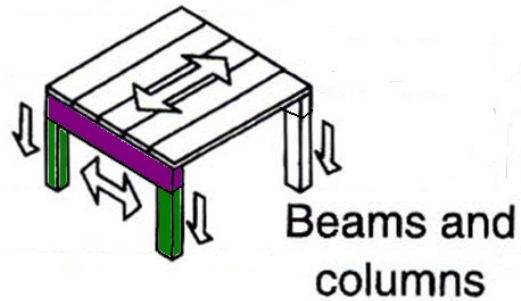


full-story girder systems in bridge highrises

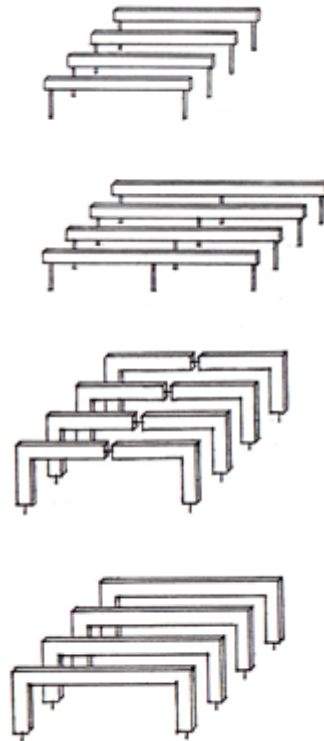




## Uppbyggnad



## Grundtyper



## Beståndsdelar

Balk  
(styvhet  $EI/L^3$ )

Knutpunkt  
(från stel koppling  
till friktionsfri led)

Systemlinje

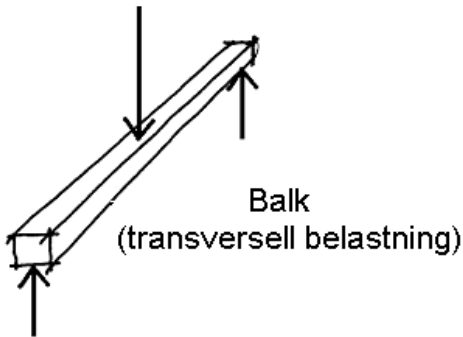
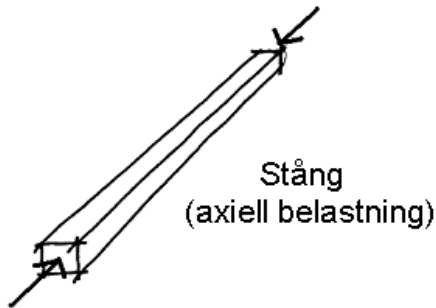


# Balk

## Representation

Systemlinje

Tvärsnitt



## Kraftbegrepp

transversell belastning

moment

normalspänning

tvärkraft

skjuvspänning

## Styvhet

$EI/L^3$  = styvhet

(motstånd)

$E$  = elasticitetsmodul

(materialets motstånd)

$I$  = tröghetsmoment

(tvärsnittsformens motstånd)

$L$  = längd



## Knutpunkt

Från fiktionsfri led till

stel koppling

Systemlinjer möts

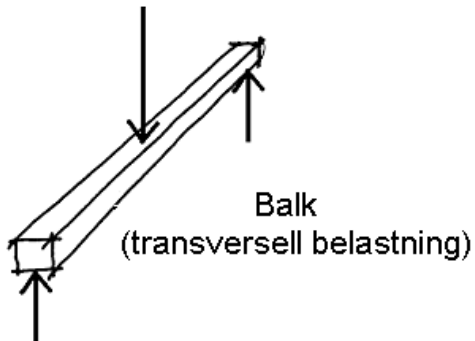
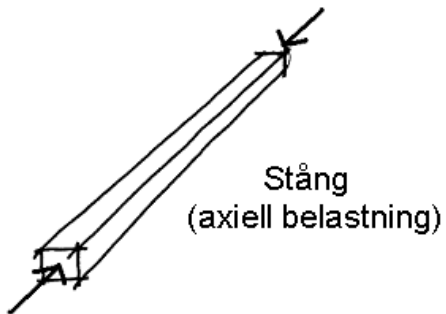
Stelkroppsjämvikt

# Balk

## Representation

Systemlinje

Tvärsnitt



## Kraftbegrepp

Transversell belastning

Moment

Normalspänning

Tvärkraft

Skjuvspänning

## Styvhet

$EI/L^3$  = styvhet  
(motstånd)

$E$  = elasticitetsmodul  
(materialets motstånd)

$I$  = tröghetsmoment  
(tvärsnittsformens motstånd)

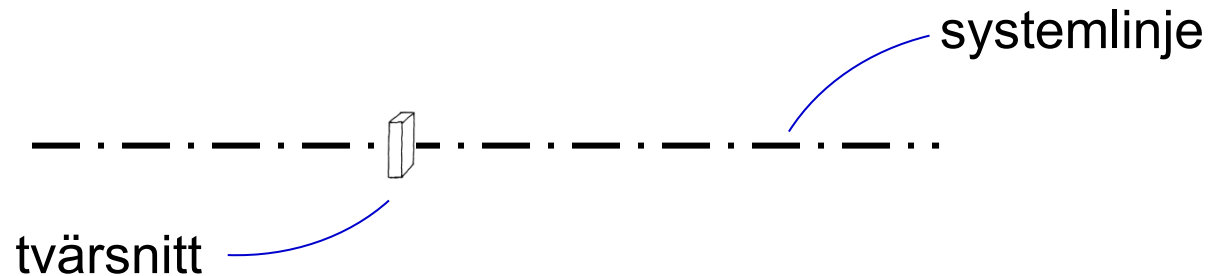
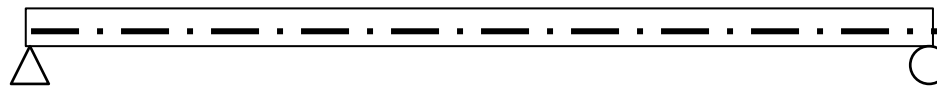
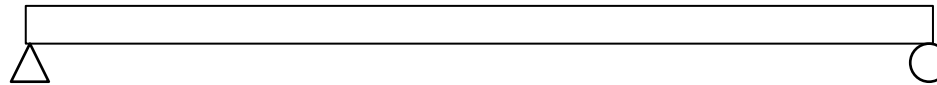
$L$  = längd



## Knutpunkt

Från fiktionsfri led till  
stel koppling  
Systemlinjer möts  
Stelkroppsjämvikt

# Den förenklade ingenjörsmodellen BALK



utgår från **systemlinje** och **tvärsnitt**



# Balk

## Representation

Systemlinje

Tvärsnitt

## Kraftbegrepp

Transversell belastning

Moment

Normalspänning

Tvärkraft

Skjuvspänning

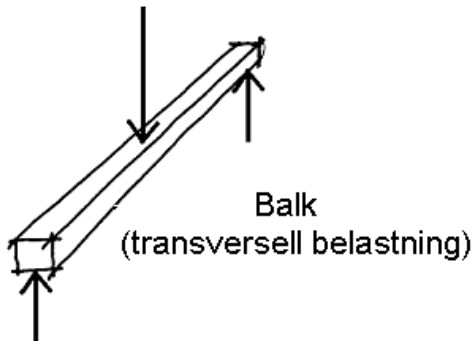
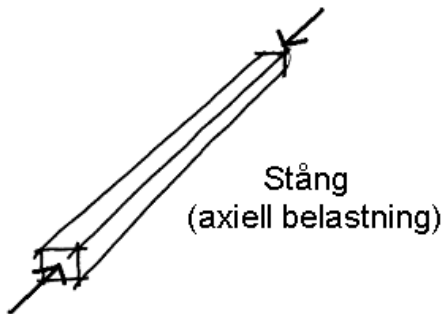
## Styvhet

$EI/L^3$  = styvhet  
(motstånd)

$E$  = elasticitetsmodul  
(materialets motstånd)

$I$  = tröghetsmoment  
(tvärsnittsformens motstånd)

$L$  = längd

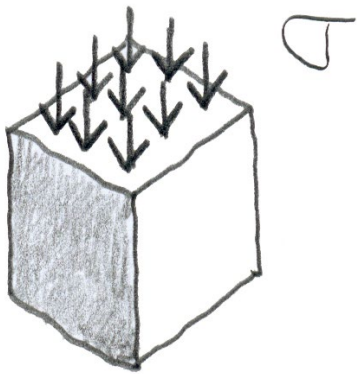


## Knutpunkt

Från fiktionsfri led till  
stel koppling  
Systemlinjer möts  
Stelkroppsjämvikt

# Ytkrafter

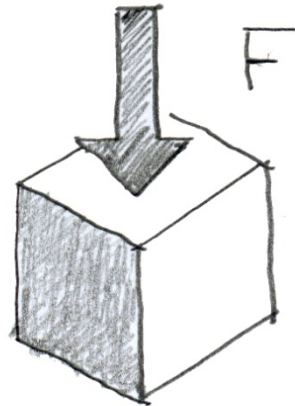
(genererade av elektromagnetism)



Normalspänning

Kraft per ytenhet

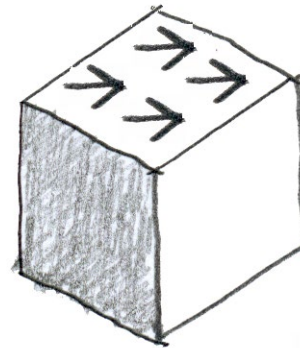
$[\text{N}/\text{m}^2]$



Normalkraft

Kraft

$[\text{N}]$

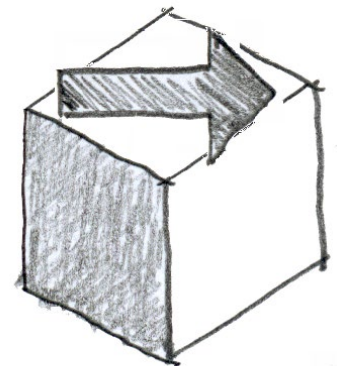


Skjuvspänning

Friktion

Kraft per ytenhet

$[\text{N}/\text{m}^2]$



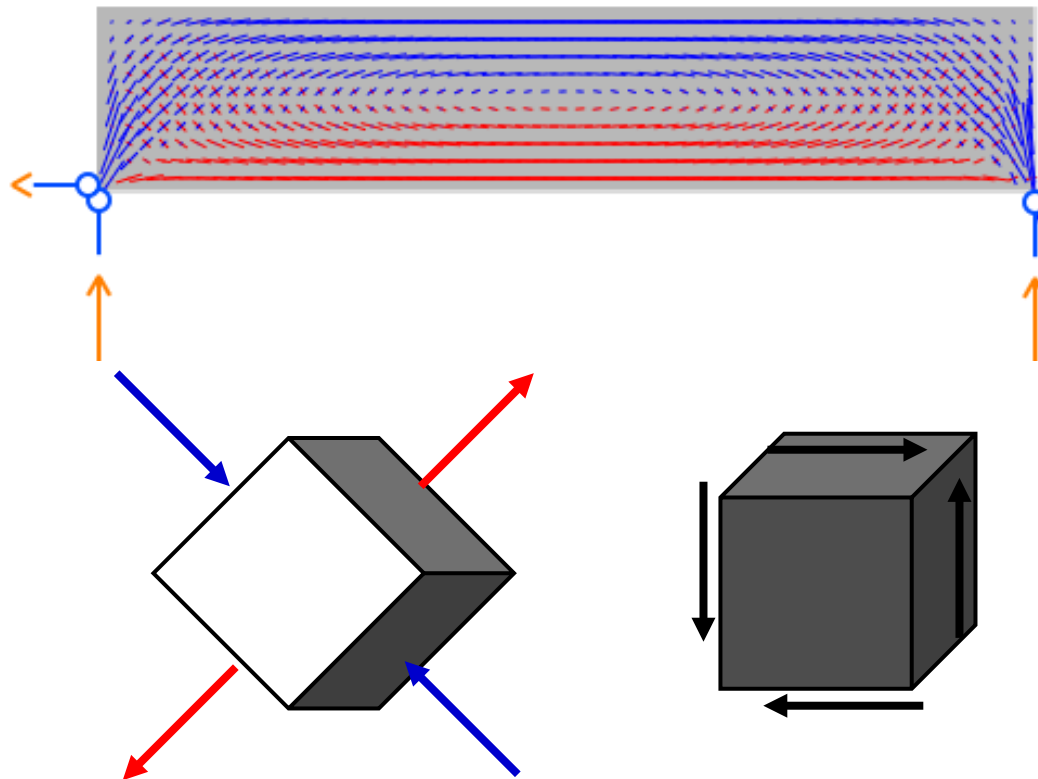
Tvärkraft

Friktionskraft

Kraft

$[\text{N}]$

# Olika sätt att uttrycka samma spänning



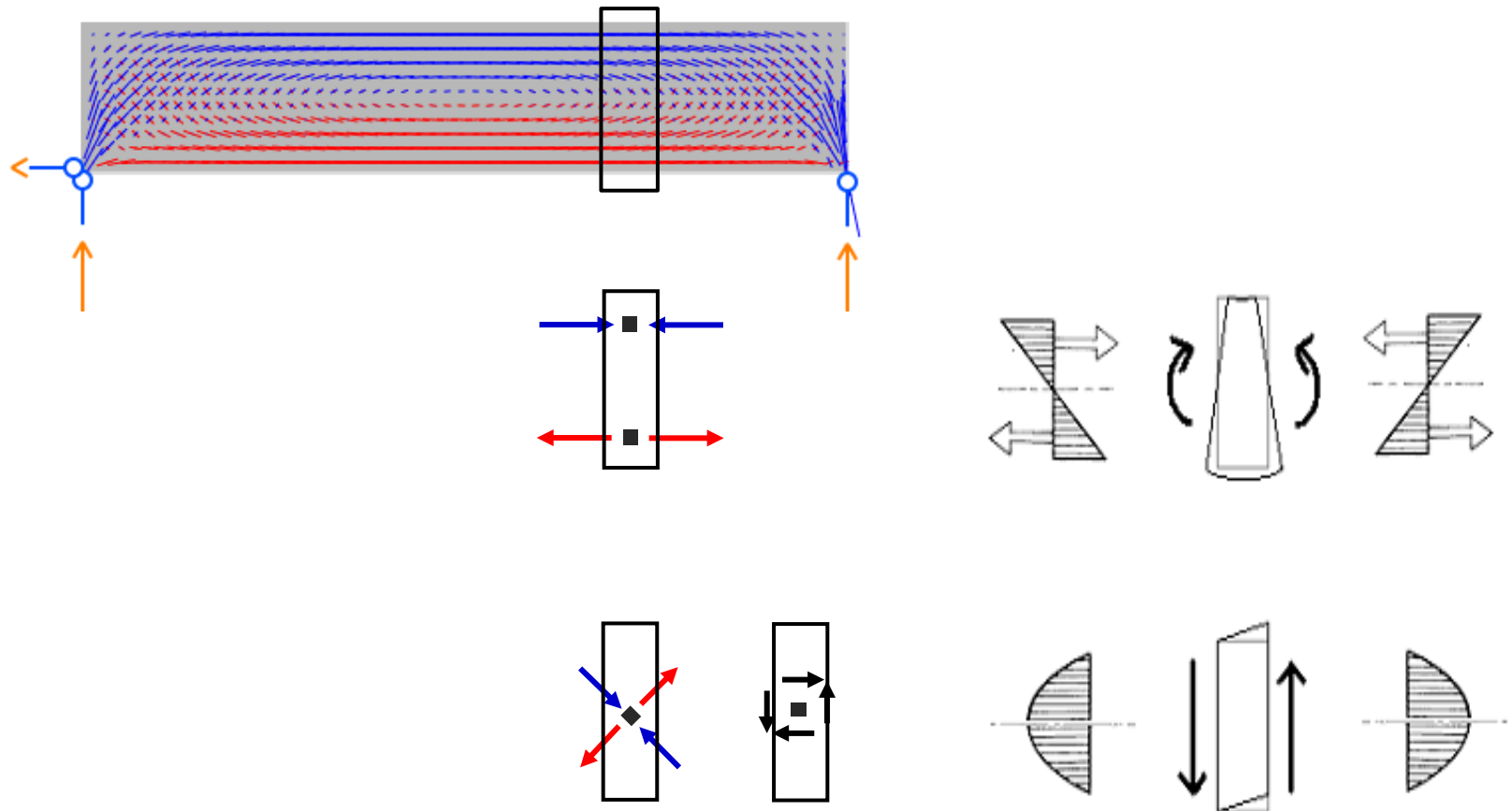
**Normalspänningar**

(materialpunktens huvudspänningar)

**Skjuvspänningar**

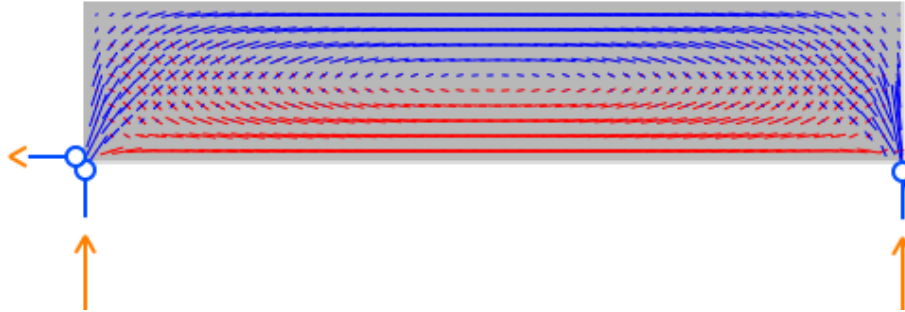
(i riktningar som sammanfaller med en kropps yttre form)

# Spänningar i ForcePAD jämfört med spänningar i en traditionell ingenjörsanalys



# Moment- och tvärkraftsdiagram

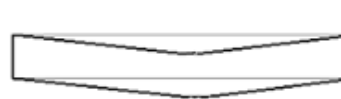
Normalspänningar



Böjmoment

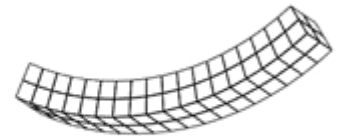


Böjdeformation



Skjuvdeformation  
(oftast försumbar)

Tvärkraft



Balk-verkan

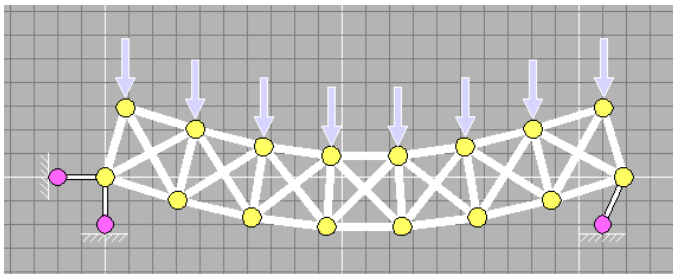
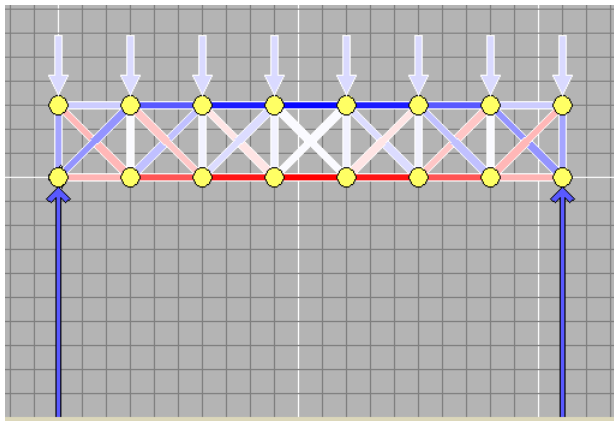
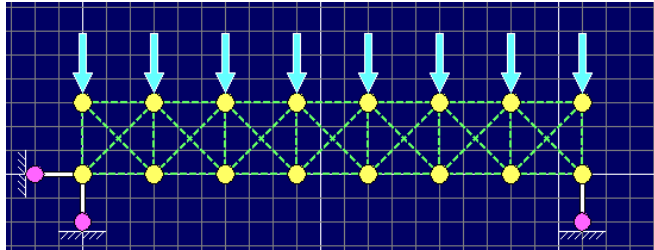
Moment- och  
tvärkrafts-diagram



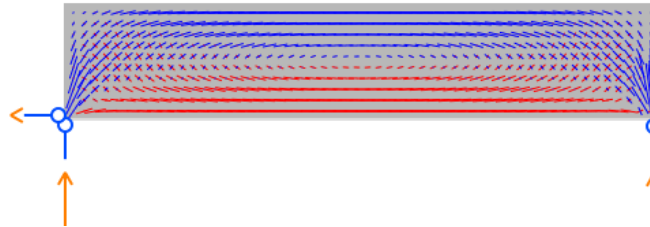


# Olika representationer av *inre krafter* i en balk

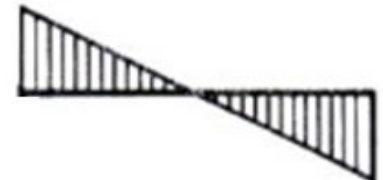
PointSKETCH



ForcePAD

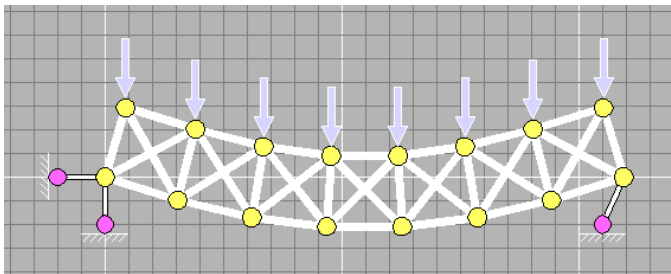
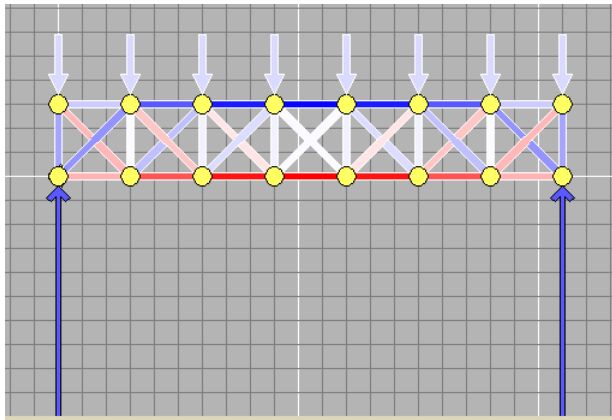
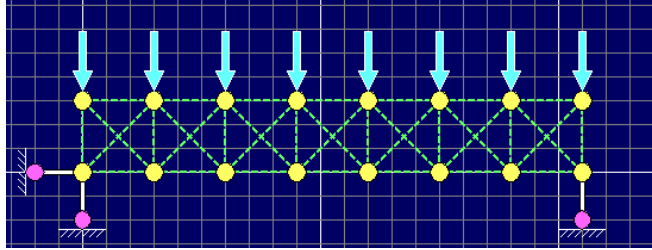


Tvärkrafts- och  
momentdiagram

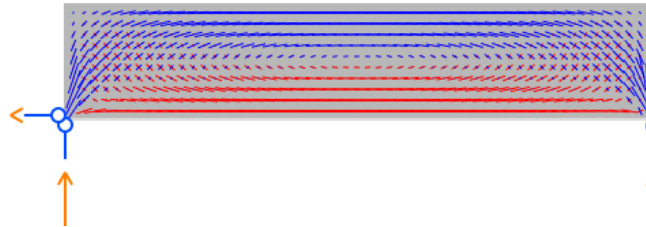


# Olika representationer av *inre krafter* i en balk

## PointSKETCH

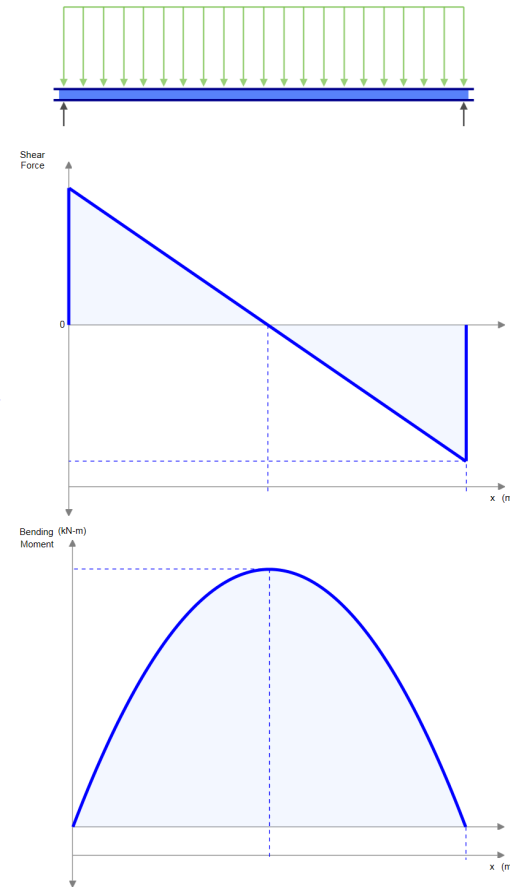


## ForcePAD



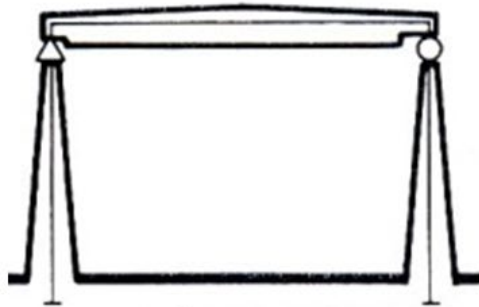
## Moment och tvärkraftsdiagram

(US/UK teckenregel - Engels)

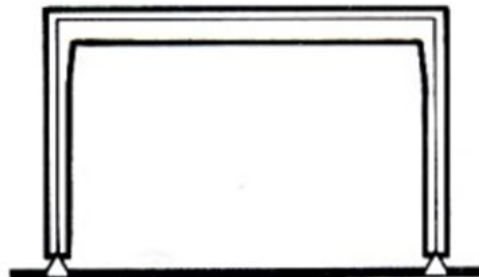


US/UK - tryckbåge  
Sverige/betong - kedjekurva

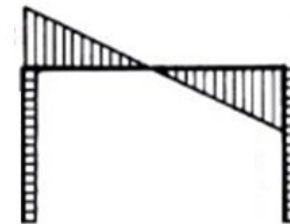
# Skillnad mellan *fritt upplag balk* (1D) och *ram* (2D)



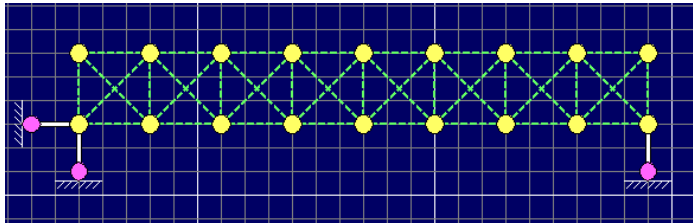
POST AND BEAM STRUCTURE



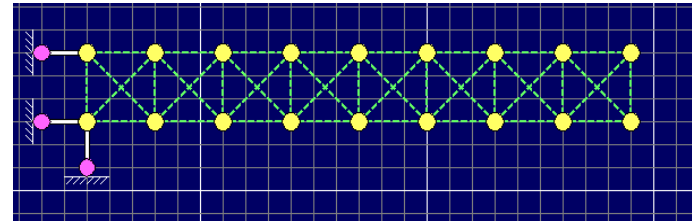
TWO-HINGE FRAME



# 1. Fritt upplagd balk och konsolbalk



*fritt upplagd balk*



*konsolbalk*

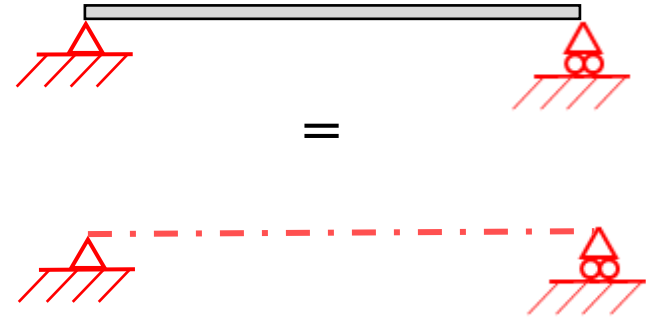
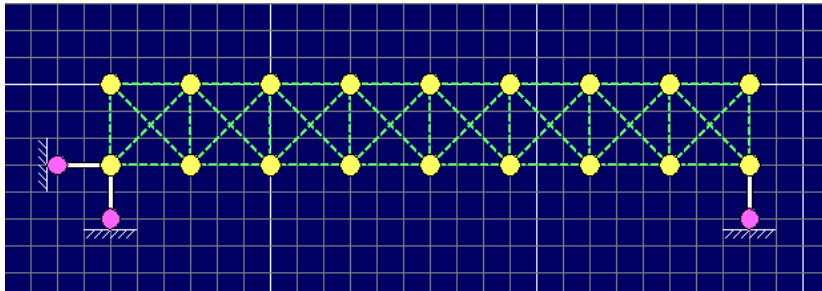
Jämför och diskutera hur programmen **pointSketch** och **ForcePAD** genom olika *representationer* av kroppar och krafter beskriver en *fritt upplagd balk* och en *konsolbalk*.

Jämför också med ingenjörers *tvärkrafts-* och *moment-diagram*.

Med vilka kraftmått beskrivs/representeras de inre krafterna?

Hur beskrivs/representeras yttre laster och stöd?

## Från seminarium 2 - Systemlinjen och ingenjörssymboler



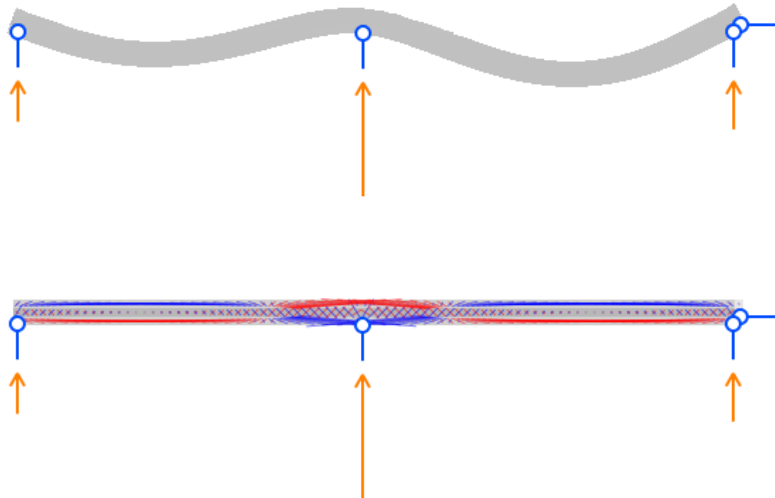
Överst till höger visas en typisk ingenjörsskiss av en fritt upplagd balk.  
Under den visas ingenjörens beräkningsmodell.

Bygg i pointSketch upp en 2D representation av en balk.  
Skapa därefter sju olika balktyper genom att för denna balk välja olika kombinationer av nycklar (i olika riktningar och i olika lägen).

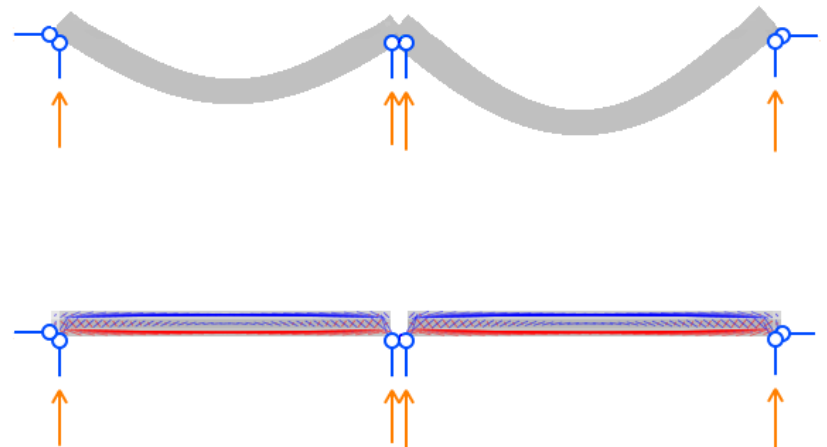
Visa för samma sju balktyper hur dessa beskrivs i en ingenjörsskiss (motsvarande figuren överst till höger).  
Namnge balktyperna där det går.



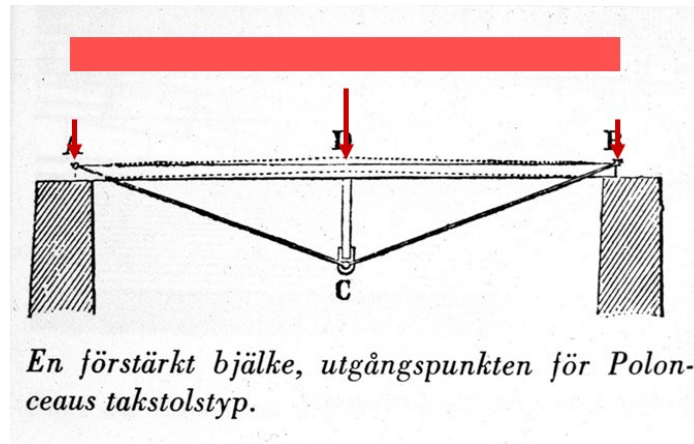
## Kontinuerlig balk



## Fritt upplagda balkar



## 2. Inre krafter och deformationer hos en *kontinuerlig balk*



Använd programmen **pointSketch** och **ForcePAD** för att beskriva hur en *kontinuerlig balk i två fack*, och belastad av sin egentyngd, fungerar.

Studera *kraft*- och *deformationsmönster* och försök att rita upp balkens *momentdiagram* (se t.ex. Engels).

Visa var *inflexionspunkterna* finns.

Jämför momentdiagrammet med en kedjekurvas utseende.

# Balk

## Representation

Systemlinje

Tvärsnitt

## Kraftbegrepp

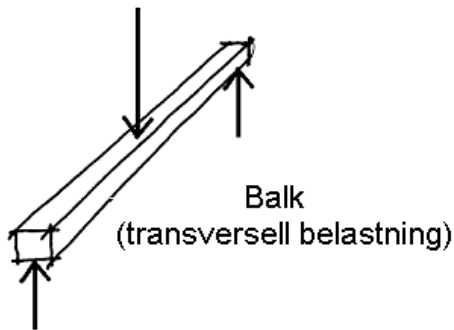
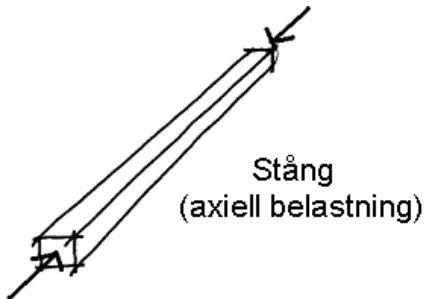
Transversell belastning

Moment

Normalspänning

Tvärkraft

Skjuvspänning



## Knutpunkt

Från fiktionsfri led till  
stel koppling  
Systemlinjer möts  
Stelkroppsjämvikt

## Styvhet

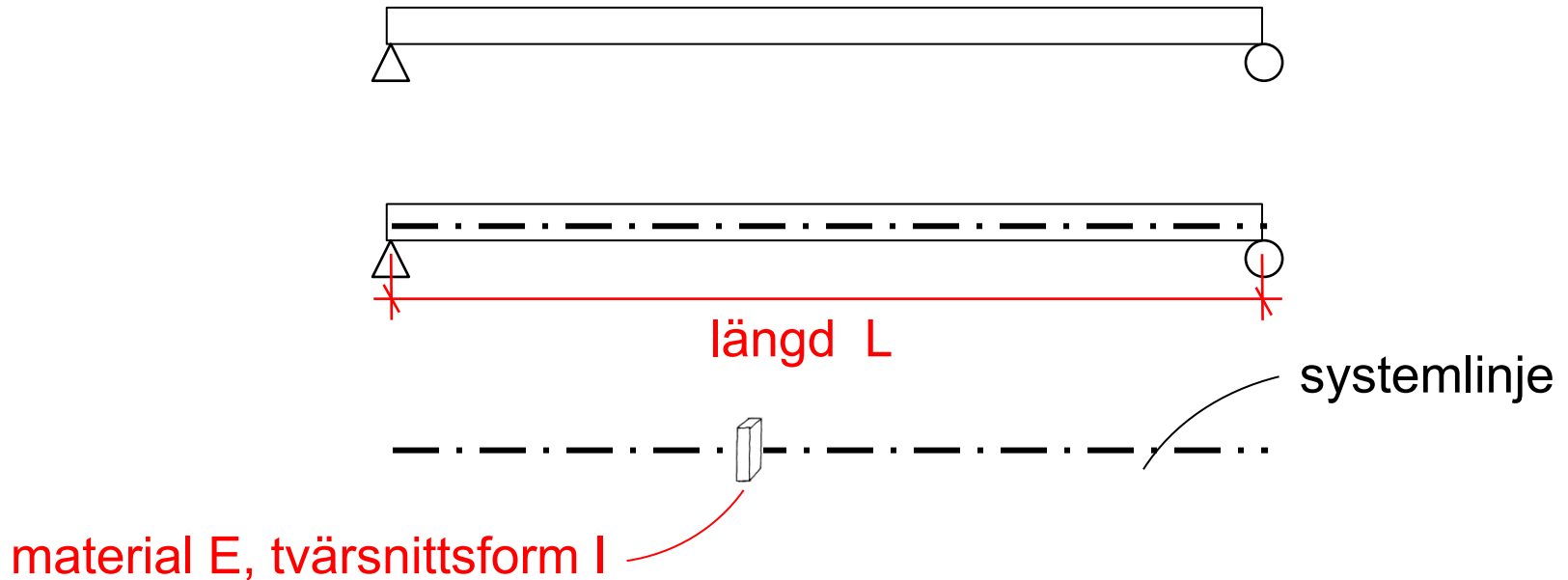
$EI/L^3$  = styvhet  
(motstånd)

$E$  = elasticitetsmodul  
(materialets motstånd)

$I$  = tröghetsmoment  
(tvärsnittsformens motstånd)

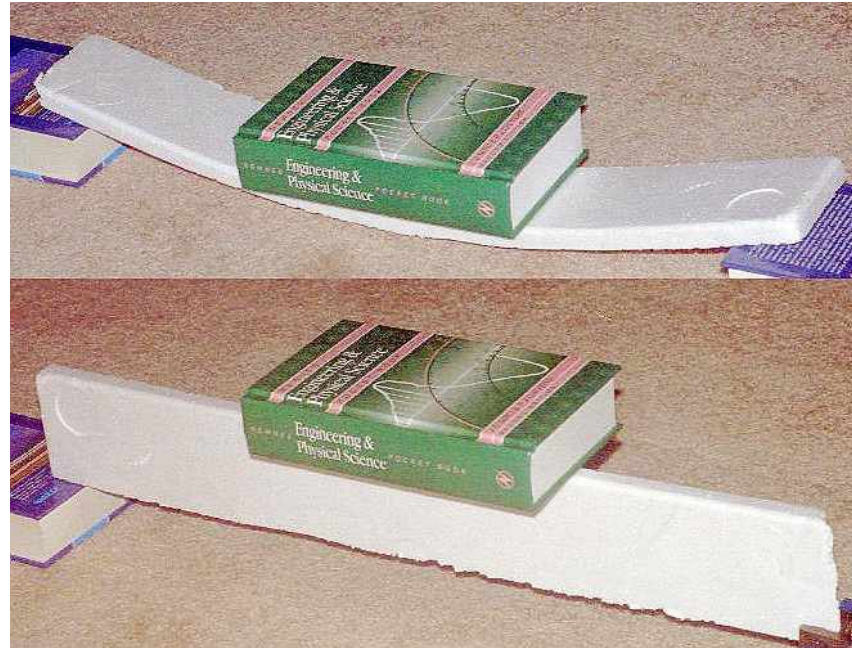
$L$  = längd

# Den förenklade ingenjörsmodellen BALK



utgår från systemlinje och tvärsnitt

# Böjstyvheten $EI/L^3$ och balkars effektivitet



$E$  = materialets elasticitetsmodul

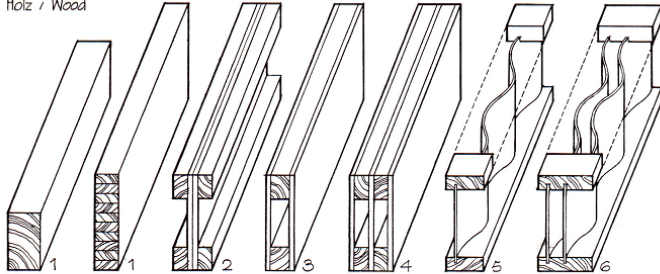
$I$  = tvärsnittets tröghetsmoment

$L$  = längd



# Tvärsnittsformen

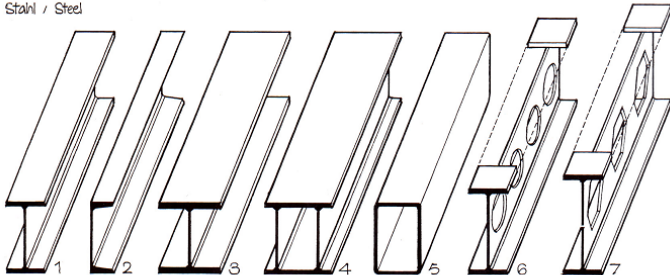
Holz / Wood



- 1 Rechteck-Träger
- 2 I-Träger
- 3 Kasten-Träger
- 4 Doppelkasten-Träger
- 5 Wellsteg-Träger
- 6 Doppelwellsteg-Träger

- 1 Rectangular beam
- 2 I-beam
- 3 Box beam
- 4 Double-box beam
- 5 Corrugated web beam
- 6 Corrug. two-web beam

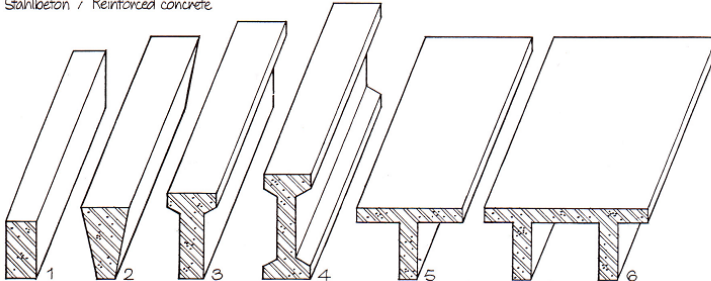
Stahl / Steel



- 1 I-Träger
- 2 U-Profil-Träger
- 3 Breitflansch-Träger
- 4 Kasten-Träger
- 5 Hohlprofil-Träger
- 6 Lochsteg-Träger
- 7 Waben-Träger

- 1 I beam
- 2 Channel (profile) beam
- 3 Wide flange b., H beam
- 4 Box beam
- 5 Hollow section beam
- 6 Perforated web beam
- 7 Honeycomb web beam

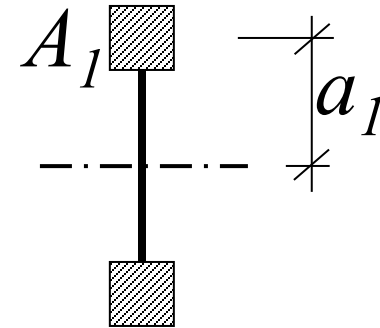
Stahlbeton / Reinforced concrete



- 1 Rechteck-Träger
- 2 Trapez-Träger
- 3 T-Träger
- 4 I-Träger
- 5 Plattenbalken
- 6 Doppelsteg-Plattenbalken

- 1 Rectangular beam
- 2 Trapezoid beam
- 3 Top-beaded beam
- 4 I beam
- 5 T beam
- 6 Double-T beam

## Tröghetsmoment $I$



$$I = A_1 a_1^2 + \dots$$

### 3. Stång- och balkverkans styvhet



Balkverkans styvhetsmått är *böjstyvhet*  $EI/L^3$   
(Stångverkans styvhetsmått är *normalstyvhet*  $EA/L$ )

Pröva begreppet böjstyvhet genom att belasta en linjal på olika sätt så som figuren visar. Här är det *tvärsnittsformen* (*tröghetsmomentet*) som ger styvhet. Fotografera (eller skissa) tre verkliga balkar och diskutera hur deras respektive tvärsnittsform påverkar styvheten.

## 4. Höjd/längdförhållande



En grov tumregel är att balkhöjden är  $1/20$  av spännvidden  
för en fritt upplagd balk  
och  $1/10$  av längden hos en konsolbalk.

Mät höjd/längdförhållandet på tre fritt upplagda balkar  
och tre konsolbalkar och testa hur väl tumregeln stämmer.  
När den inte stämmer – fundera på varför.

# Balk

## Representation

Systemlinje

Tvärsnitt

## Kraftbegrepp

Transversell belastning

Moment

Normalspänning

Tvärkraft

Skjuvspänning

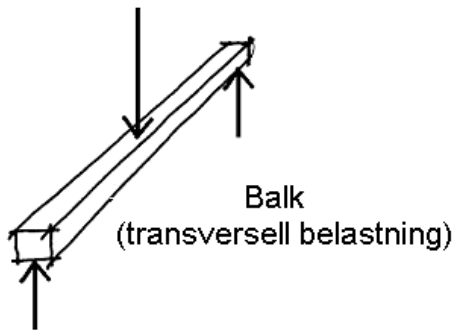
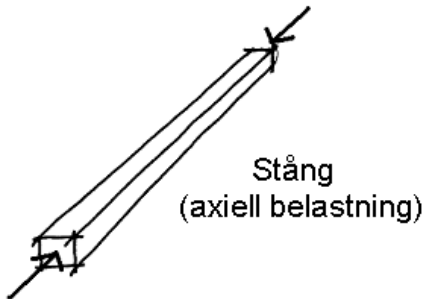
## Styvhet

$EI/L^3$  = styvhet  
(motstånd)

$E$  = elasticitetsmodul  
(materialets motstånd)

$I$  = tröghetsmoment  
(tvärsnittsformens motstånd)

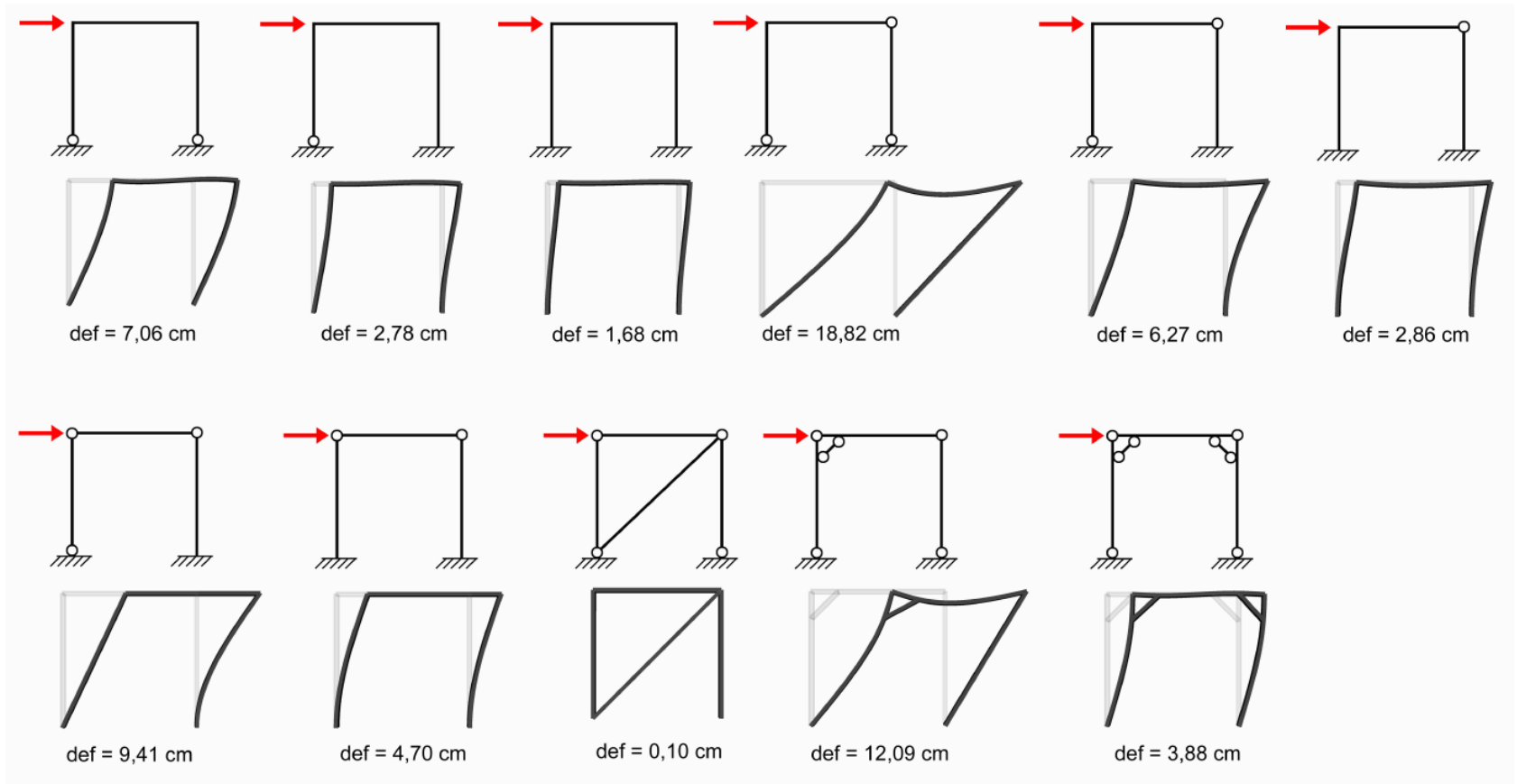
$L$  = längd



## Knutpunkt

Från fiktionsfri led till  
stel koppling  
Systemlinjer möts  
Stelkroppsjämvikt

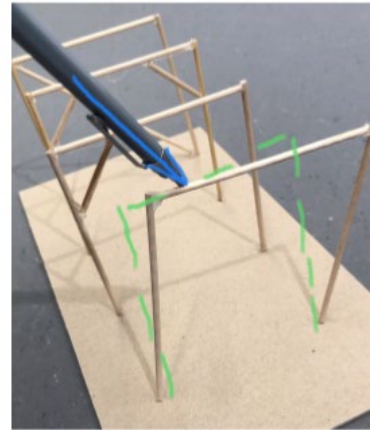
# Knutpunkternas betydelse



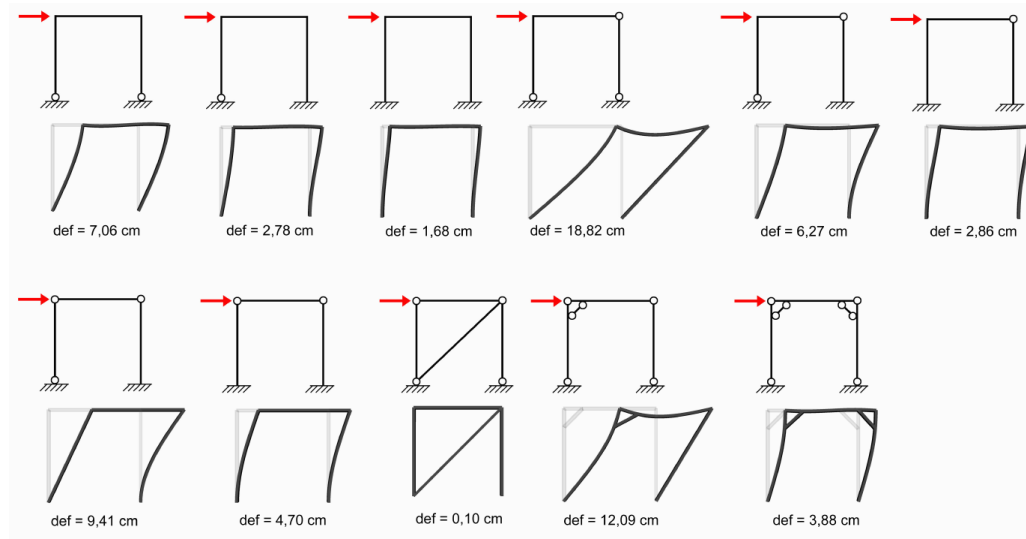


## Deformation & styvhet

Övning i att mäta styvheten hos olika ramar. Bilderna visar hur ramarna deformeras och ger exempel på hur inre stöd kan användas för att förhindra deformation.



## 5. Ramars styvhet



Bygg med grillpinnar och limstift fyra olika 2D ramar (ca 1,0 x 1,0 dm<sup>2</sup>). Fäst ramarna på en styv platta, genom att hål borras där de kan passas in eller genom att de limmas fast med limstift. Vilken av dessa infästningar är närmast en ”fast inspänning” och vilken är närmast en ”led”?

Tryck från sidan på ramarna och jämför den upplevda vekheten med siffrorna i figuren ovan.

# Balkar och ramverk

Effektiva balkar

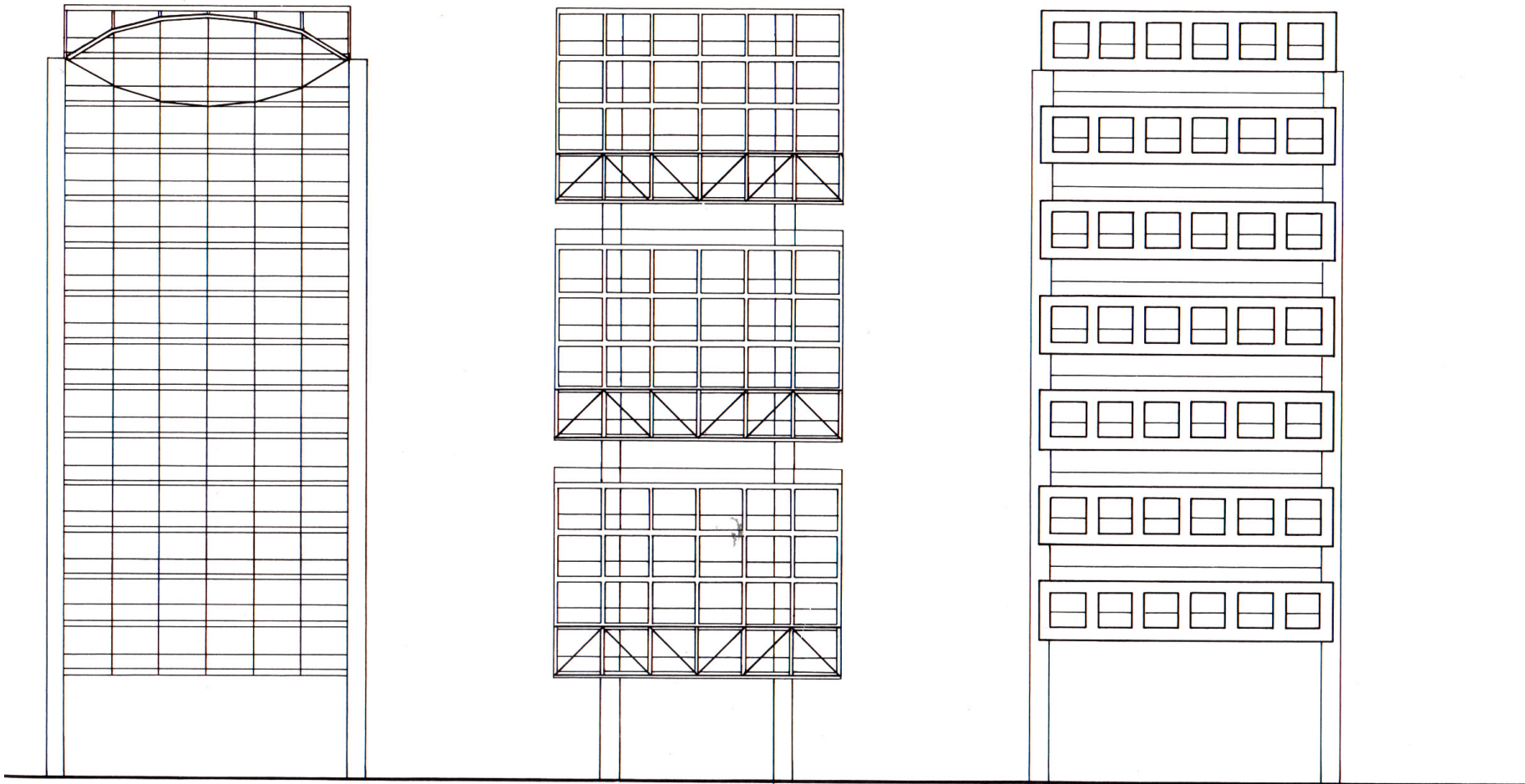
Takstolar

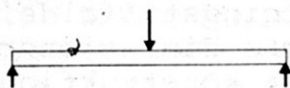
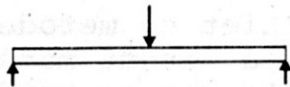
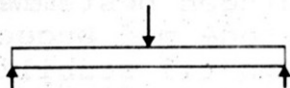
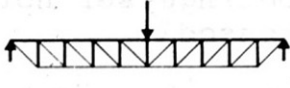
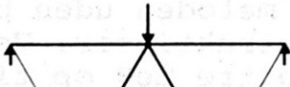
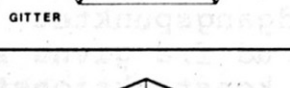
~~A1 Structural Design Contest~~

# Effektiva "balkar" för transversell last

Vollgeschoß-Trägersysteme in Brücken-Hochwerken

full-story girder systems in bridge highrises



| KONSTRUKTIONSFORM                                                                                | TVÆRSNIT                                                                              | VÆGT I KG |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <br>MASSIVBJÆLKE |    | 920       |
| <br>HE 260 B    |    | 465       |
| <br>INP 380     |    | 380       |
| <br>GITTER      |    | 140       |
| <br>GITTER      |    | 60        |
| <br>GITTER      |    | 50        |
| <br>GITTER    |  | 43        |



## 6. Variationer på temat balk (välj minst ~~en~~ två uppgifter)

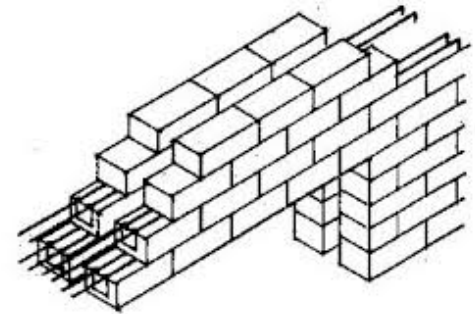
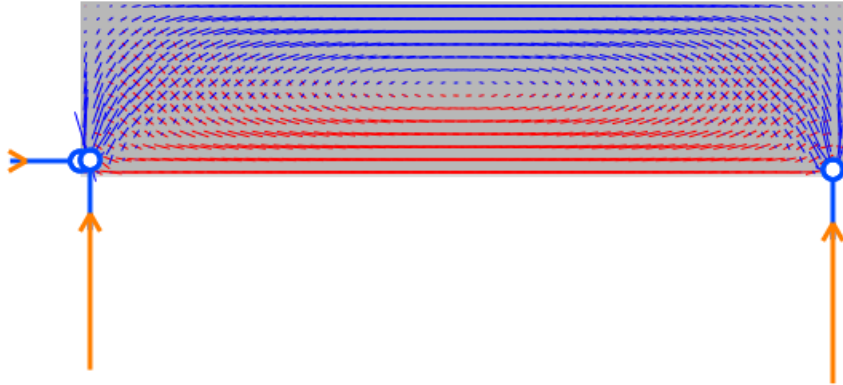
6a. *Yttre tvång*. Minsta antalet låsta rörelsefrihetsgrader för att en balk ska vara yttre stabil är tre. En fritt upplagd balk har två vertikala och en horisontell frihetsgrad låsta. Vilken blir skillnaden om två horisontella frihetsgrader låses (en i var balkände)? Visa skillnaden med hjälp av pointSketch eller ForcePAD. Varför försöker man ofta undvika att ha två låsta horisontella frihetsgrader?

6b. *Optimering av balkars form*. I Heino Engels visas på sid 184-185 hur balkarnas form följer momentdiagrammets utseende. Visa någon verklig balk som också är ett exempel på detta. Ge fler konkreta exempel på hur balkar kan optimeras med avseende på materialutnyttjande. Notera att Engels ritar momentdiagrammen tvärtom jämfört med svensk konvention.

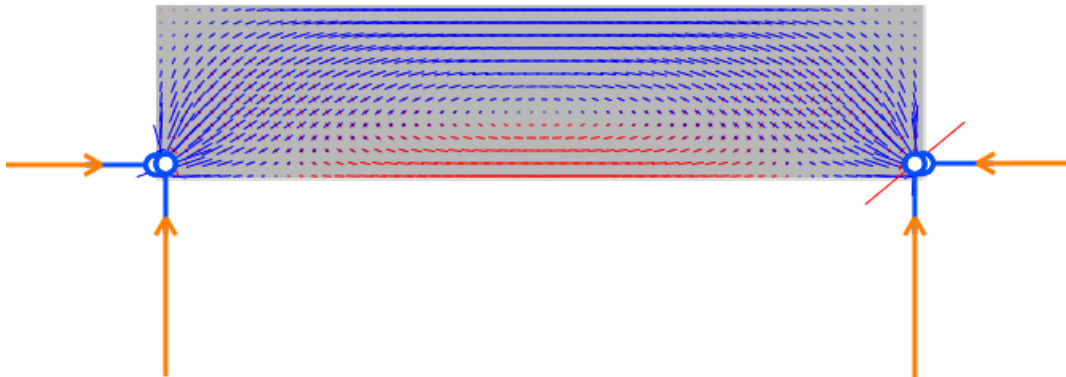
6c. *Balken och materialen*. När balkar utformas av olika material kommer materialegenskaperna att vara avgörande för hur balkarna fungerar. Ge exempel på hur balkar av olika material bär sina inre krafter.

6d. *Förespänning och efterspänning*. Ett vanligt sätt att förstärka balkar är att före- eller efterspanna dem. Tag reda på vad före- respektive efterspänning innebär. Använd pointSketch eller ForcePAD för att beskriva vad som händer balken.

# Fritt upplagd tegelbalk



# Rak balk



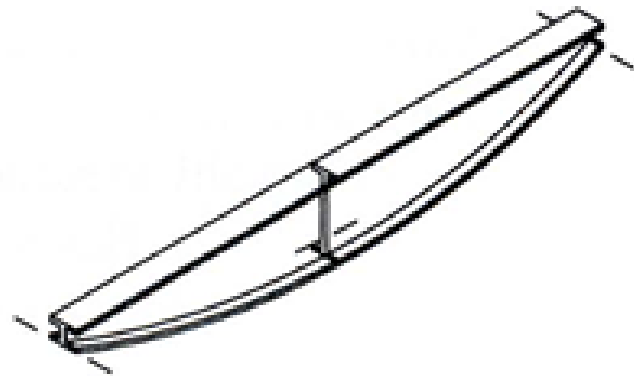
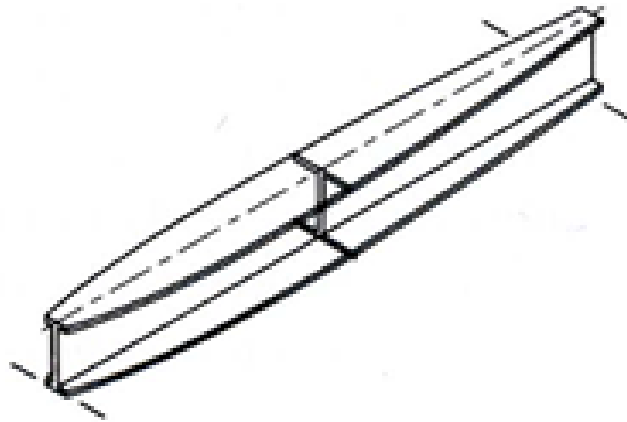
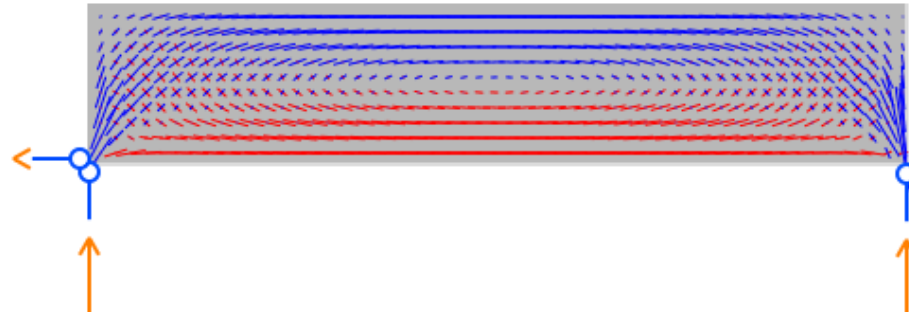
## 6. Variationer på temat balk (välj minst en uppgift)

6a. *Yttre tvång.* Minsta antalet låsta rörelsefrihetsgrader för att en balk ska vara yttre stabil är tre. En fritt upplagd balk har två vertikala och en horisontell frihetsgrad låsta. Vilken blir skillnaden om två horisontella frihetsgrader låses (en i var balkände)? Visa skillnaden med hjälp av pointSketch eller ForcePAD. Varför försöker man ofta undvika att ha två låsta horisontella frihetsgrader?

6b. *Optimering av balkars form.* I Heino Engels visas på sid 184-185 hur balkarnas form följer momentdiagrammets utseende. Visa någon verklig balk som också är ett exempel på detta. Ge fler konkreta exempel på hur balkar kan optimeras med avseende på materialutnyttjande. Notera att Engels ritar momentdiagrammen tvärtom jämfört med svensk konvention.

6c. *Balken och materialen.* När balkar utformas av olika material kommer materialegenskaperna att vara avgörande för hur balkarna fungerar. Ge exempel på hur balkar av olika material bär sina inre krafter.

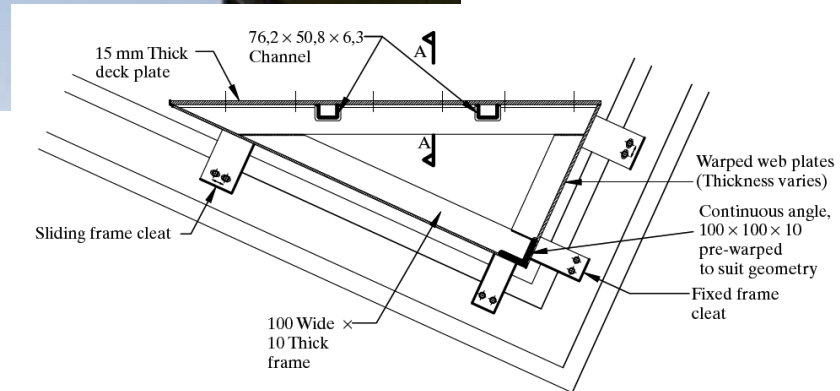
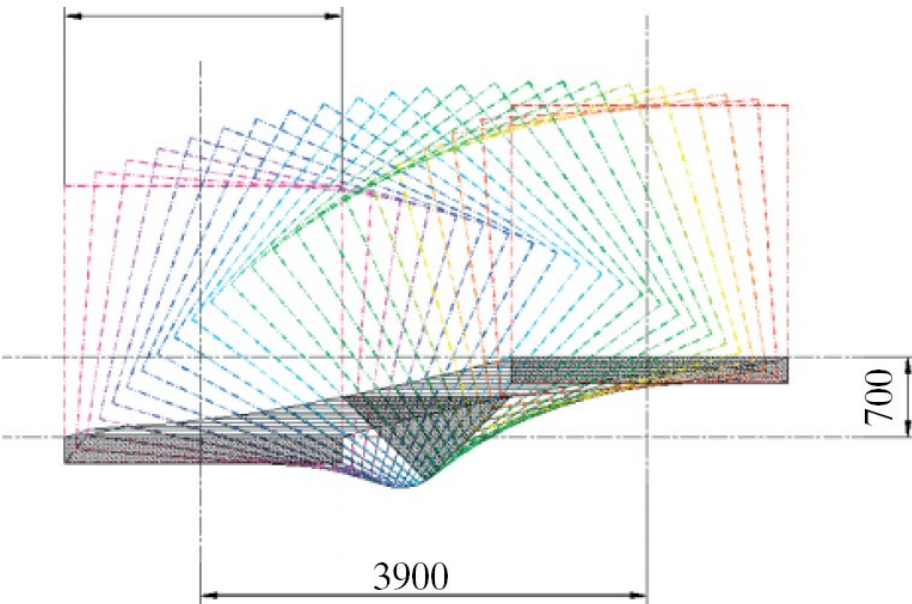
6d. *Förespänning och efterspänning.* Ett vanligt sätt att förstärka balkar är att före- eller efterspanna dem. Tag reda på vad före- respektive efterspänning innebär. Använd pointSketch eller ForcePAD för att beskriva vad som händer balken.







Internal square  
dimension = 2500



Typical section

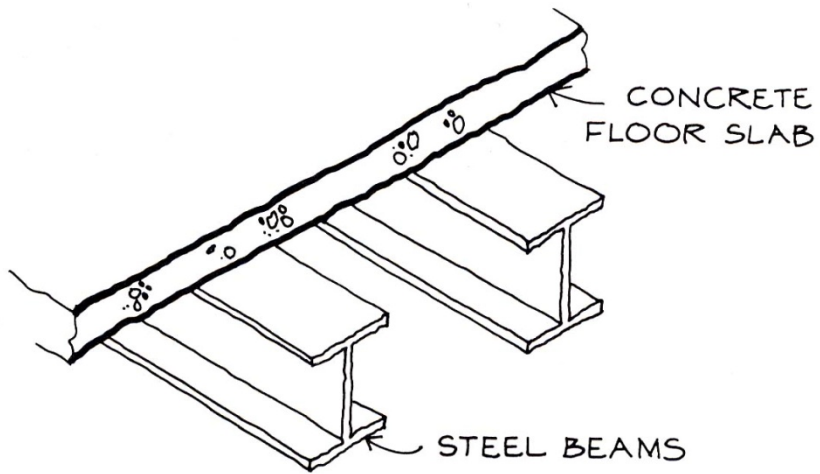
## 6. Variationer på temat balk (välj minst en uppgift)

6a. *Yttre tvång.* Minsta antalet låsta rörelsefrihetsgrader för att en balk ska vara yttre stabil är tre. En fritt upplagd balk har två vertikala och en horisontell frihetsgrad låsta. Vilken blir skillnaden om två horisontella frihetsgrader låses (en i var balkände)? Visa skillnaden med hjälp av pointSketch eller ForcePAD. Varför försöker man ofta undvika att ha två låsta horisontella frihetsgrader?

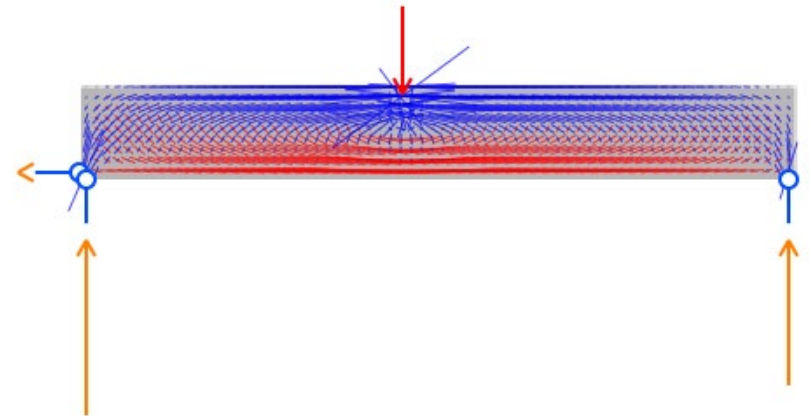
6b. *Optimering av balkars form.* I Heino Engels visas på sid 184-185 hur balkarnas form följer momentdiagrammets utseende. Visa någon verklig balk som också är ett exempel på detta. Ge fler konkreta exempel på hur balkar kan optimeras med avseende på materialutnyttjande. Notera att Engels ritar momentdiagrammen tvärtom jämfört med svensk konvention.

6c. *Balken och materialen.* När balkar utformas av olika material kommer materialegenskaperna att vara avgörande för hur balkarna fungerar. Ge exempel på hur balkar av olika material bär sina inre krafter.

6d. *Förespänning och efterspänning.* Ett vanligt sätt att förstärka balkar är att före- eller efterspanna dem. Tag reda på vad före- respektive efterspänning innebär. Använd pointSketch eller ForcePAD för att beskriva vad som händer balken.



# Smarta material- kombinationer



## 6. Variationer på temat balk (välj minst en uppgift)

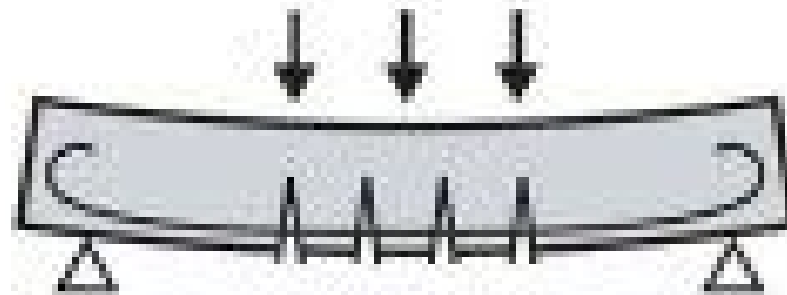
6a. *Yttre tvång.* Minsta antalet låsta rörelsefrihetsgrader för att en balk ska vara yttre stabil är tre. En fritt upplagd balk har två vertikala och en horisontell frihetsgrad låsta. Vilken blir skillnaden om två horisontella frihetsgrader låses (en i var balkände)? Visa skillnaden med hjälp av pointSketch eller ForcePAD. Varför försöker man ofta undvika att ha två låsta horisontella frihetsgrader?

6b. *Optimering av balkars form.* I Heino Engels visas på sid 184-185 hur balkarnas form följer momentdiagrammets utseende. Visa någon verklig balk som också är ett exempel på detta. Ge fler konkreta exempel på hur balkar kan optimeras med avseende på materialutnyttjande. Notera att Engels ritar momentdiagrammen tvärtom jämfört med svensk konvention.

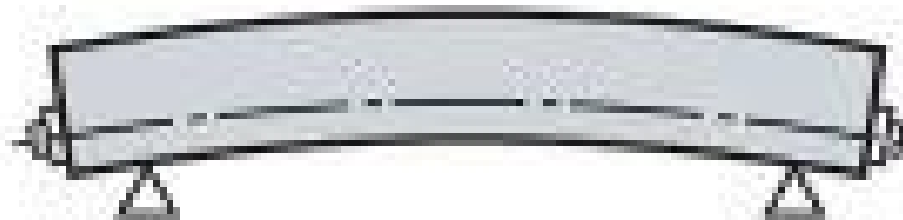
6c. *Balken och materialen.* När balkar utformas av olika material kommer materialegenskaperna att vara avgörande för hur balkarna fungerar. Ge exempel på hur balkar av olika material bär sina inre krafter.

6d. *Förespänning och efterspänning.* Ett vanligt sätt att förstärka balkar är att före- eller efterspanna dem. Tag reda på vad före- respektive efterspänning innebär. Använd pointSketch eller ForcePAD för att beskriva vad som händer balken.

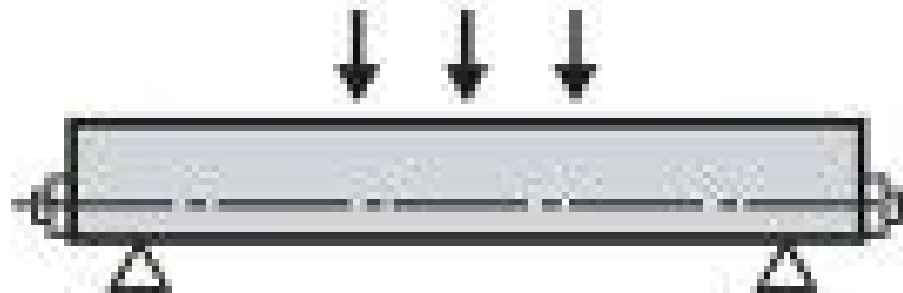
(a) Reinforced concrete  
cracked under load.



(b) Post-tensioned  
concrete before loading.

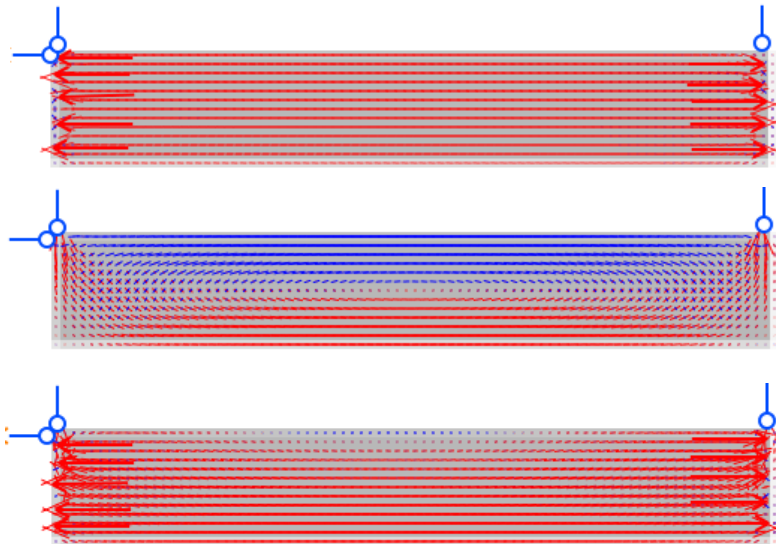


(c) Post-tensioned  
concrete after loading.



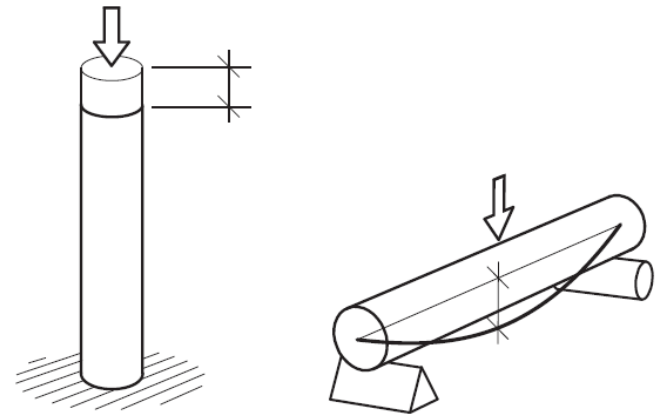


# Förspända balkar

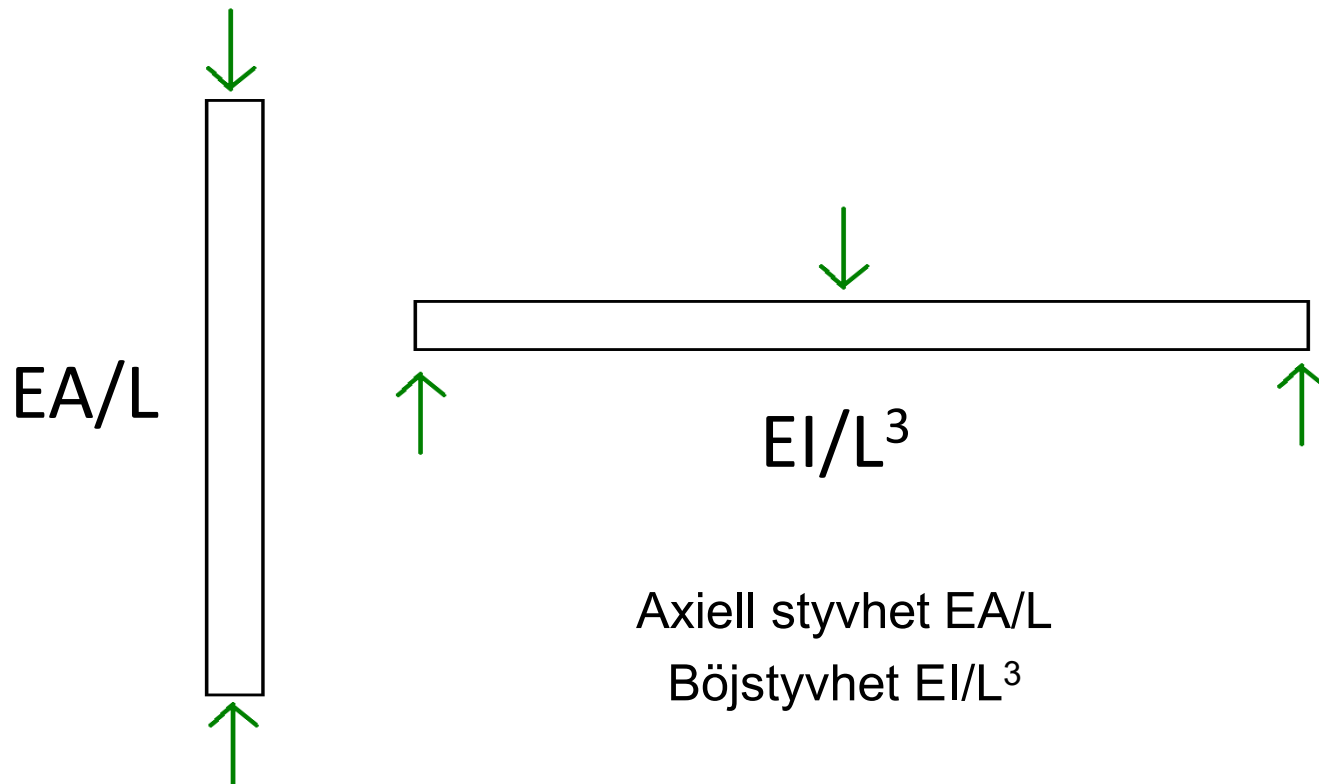


# Takstolen

om konsten att byta (reducera) böjning  
mot tryck och drag



# Konstruktioners effektivitet



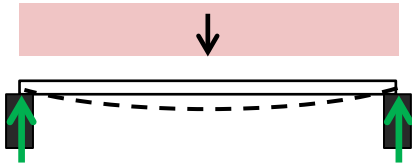


# Takstolar

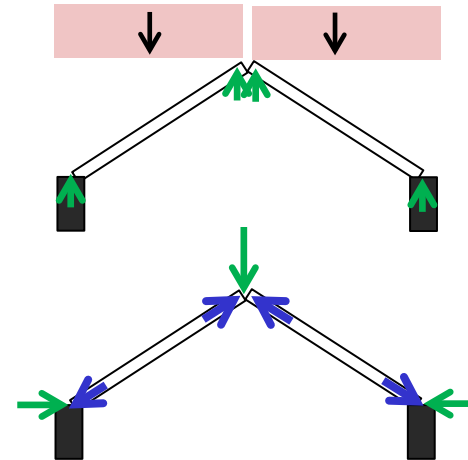
En berättelse om smarta trick för att spänna över stora rum



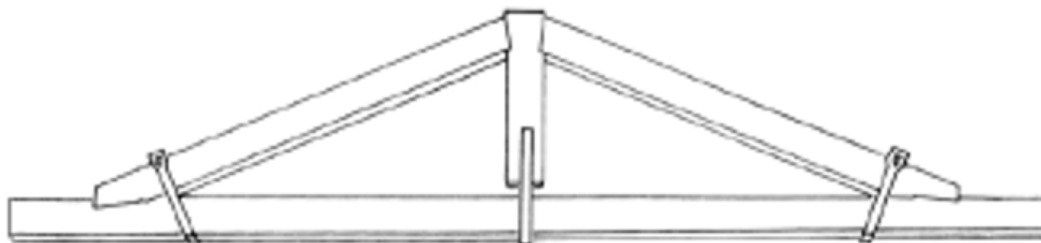
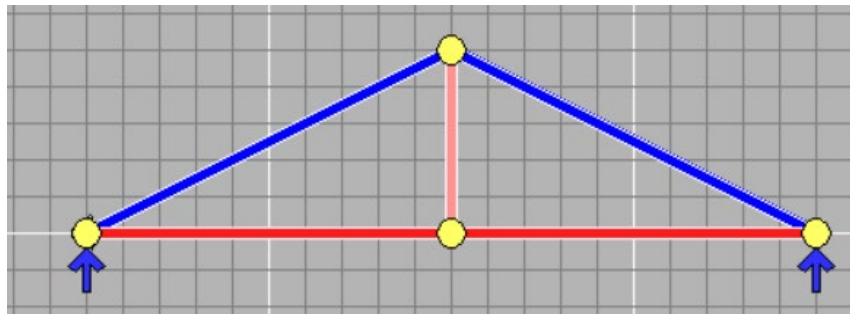
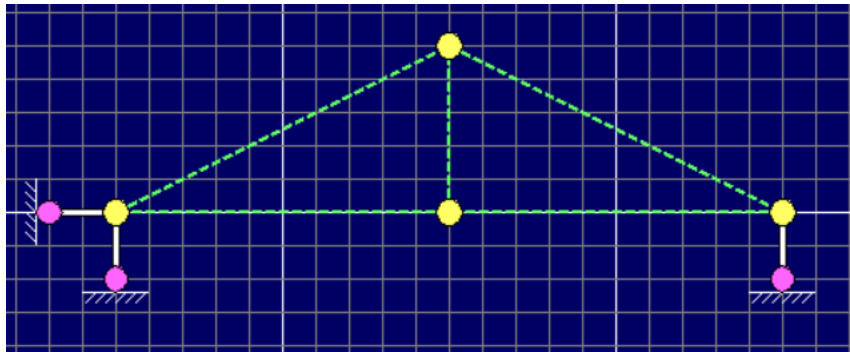
## Balkverkans ineffektivitet begränsar balkens längd



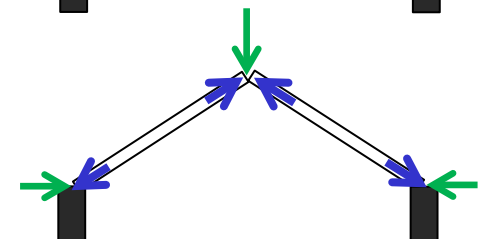
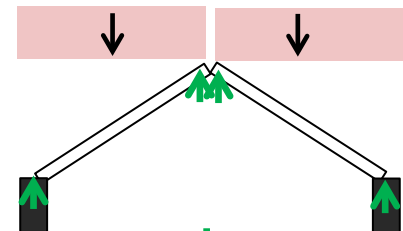
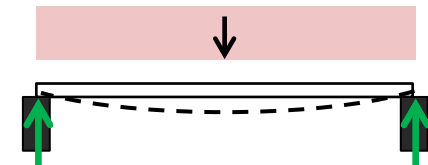
## Hur förlänga en balk?





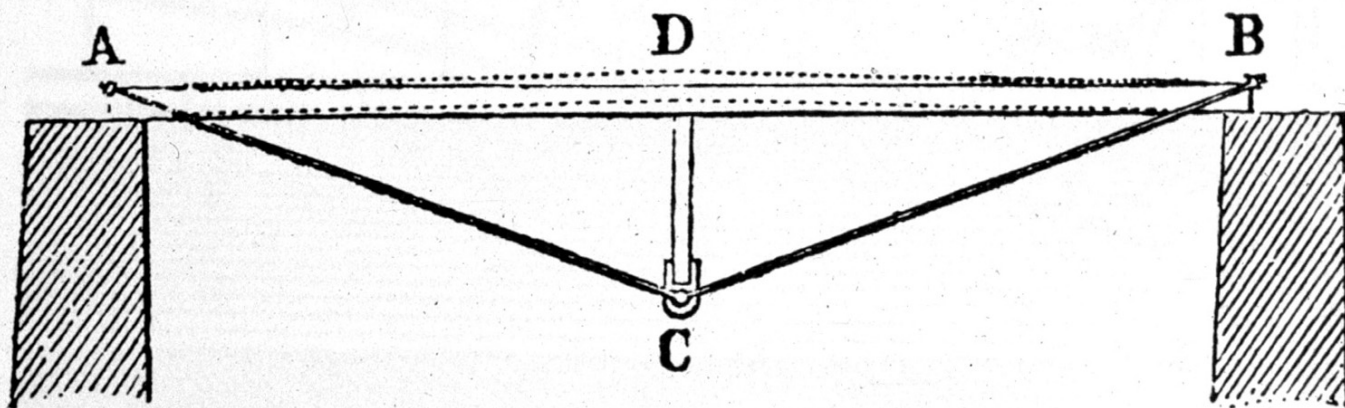


## Hur förlänga en balk?





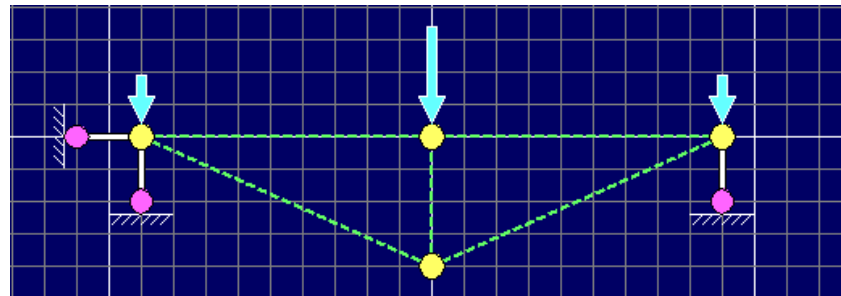
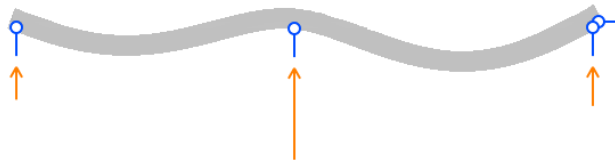
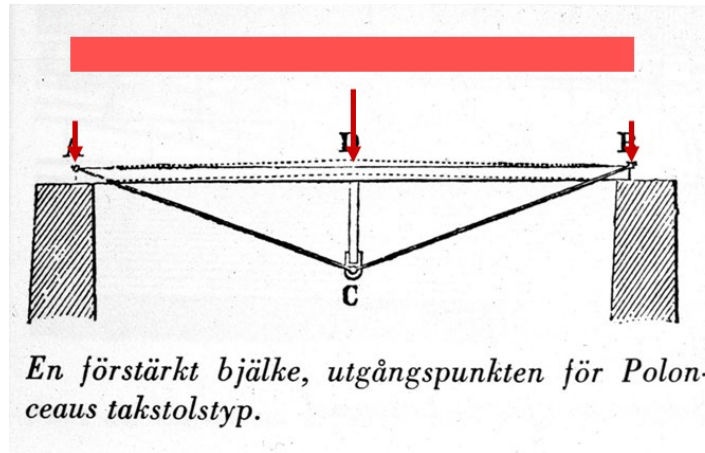
# Hur förlänga en balk?

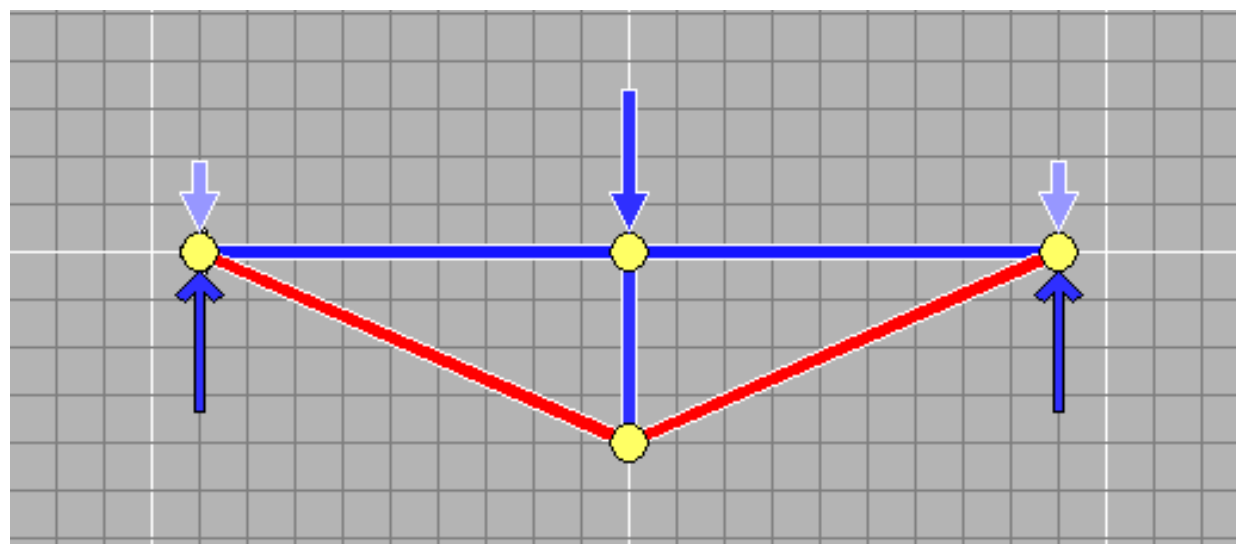
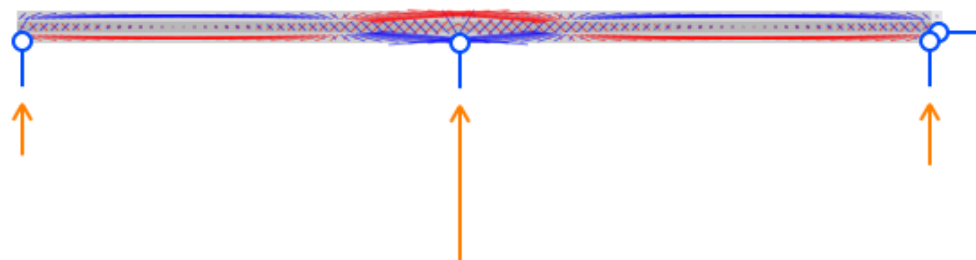


*En förstärkt bjälke, utgångspunkten för Polon-  
ceaus takstolstyp.*

# Statiskt koncept

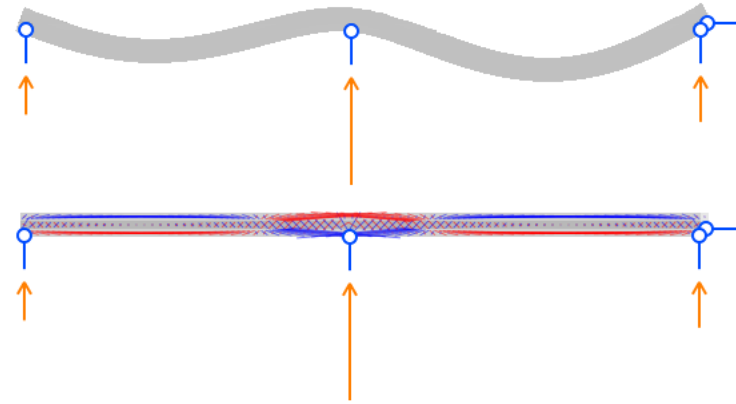
att byta (reducera) böjning mot tryck och drag

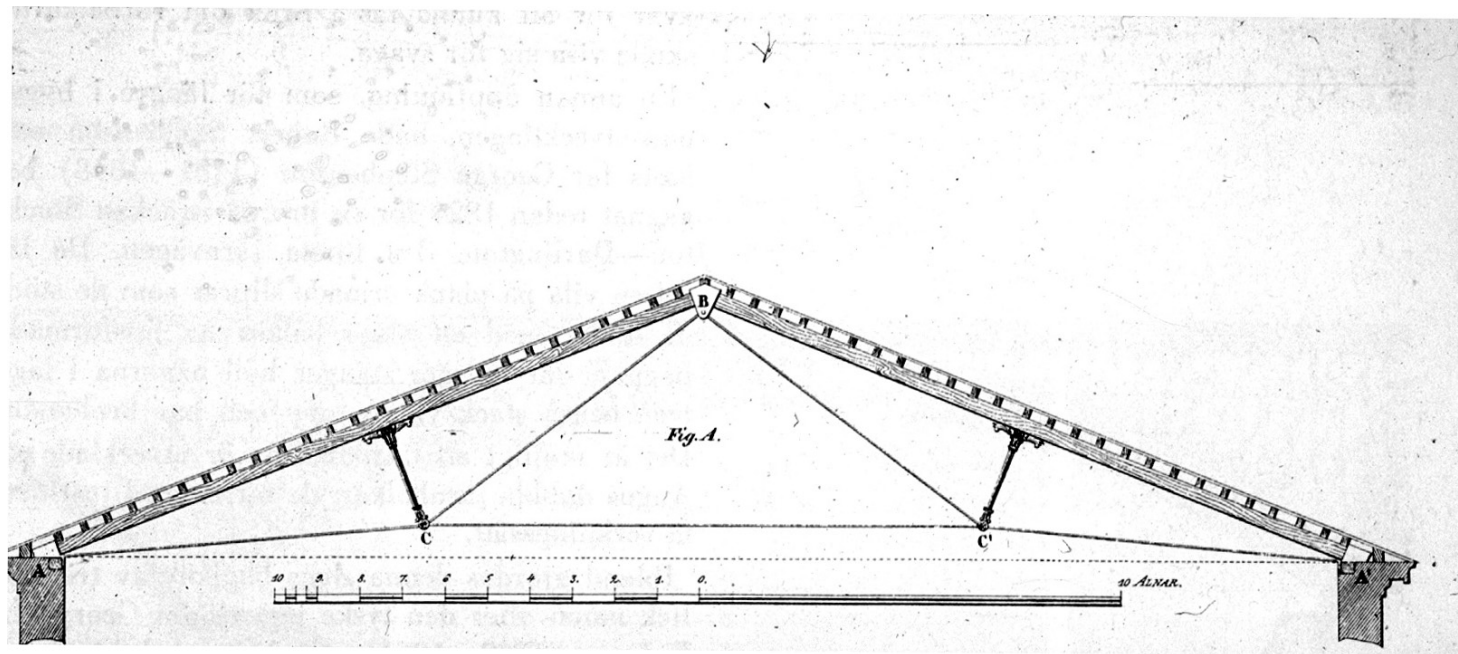


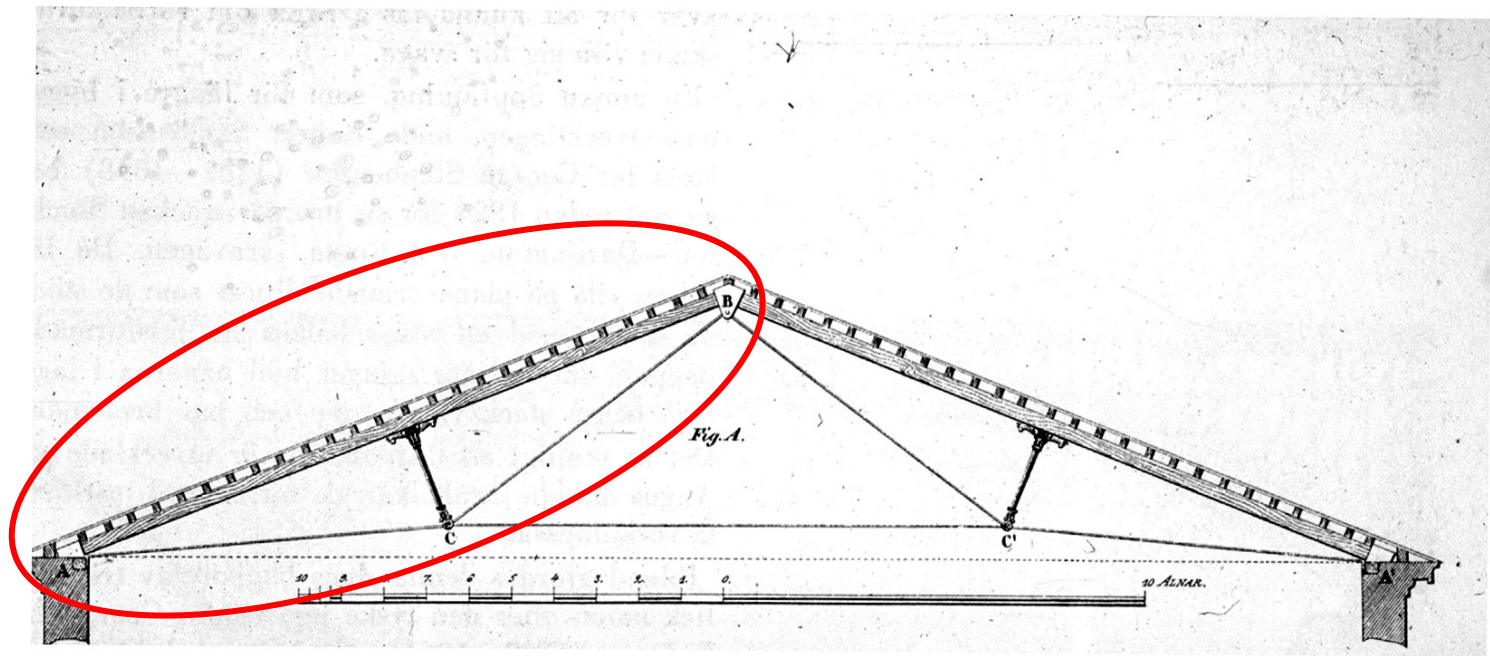




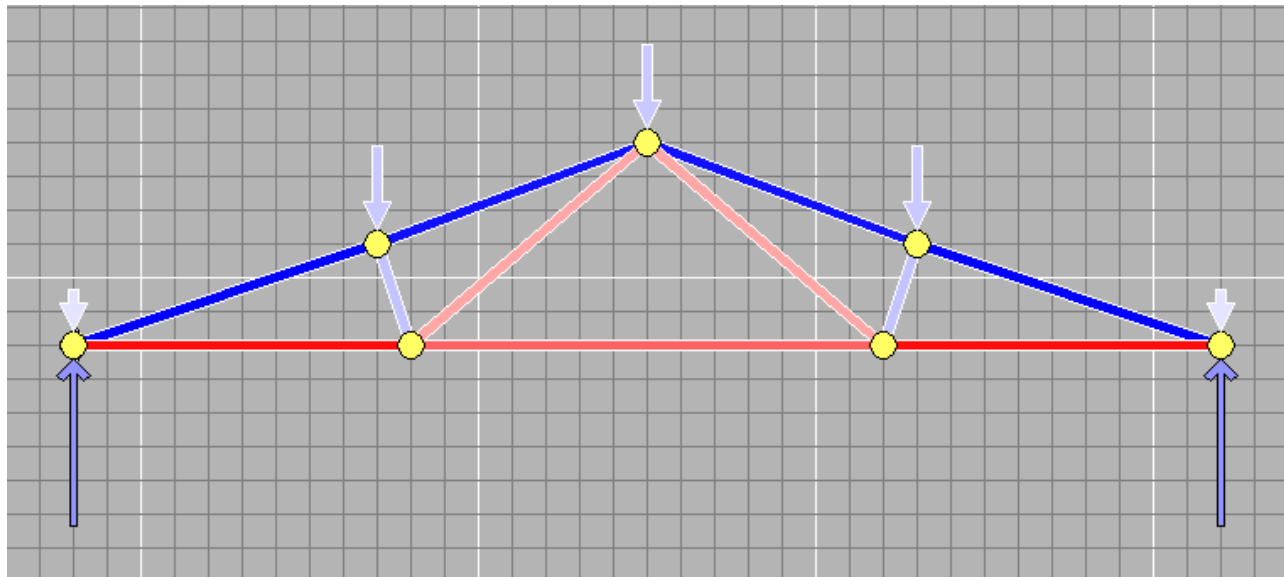
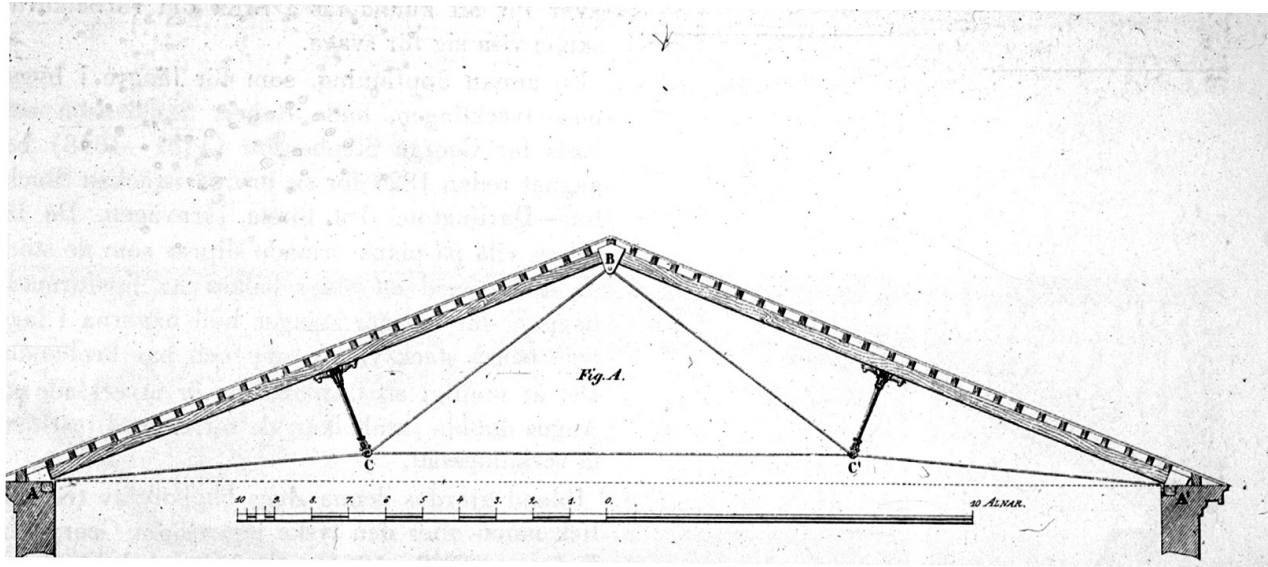
**Skarv där krökningen  
(momentet) är noll**



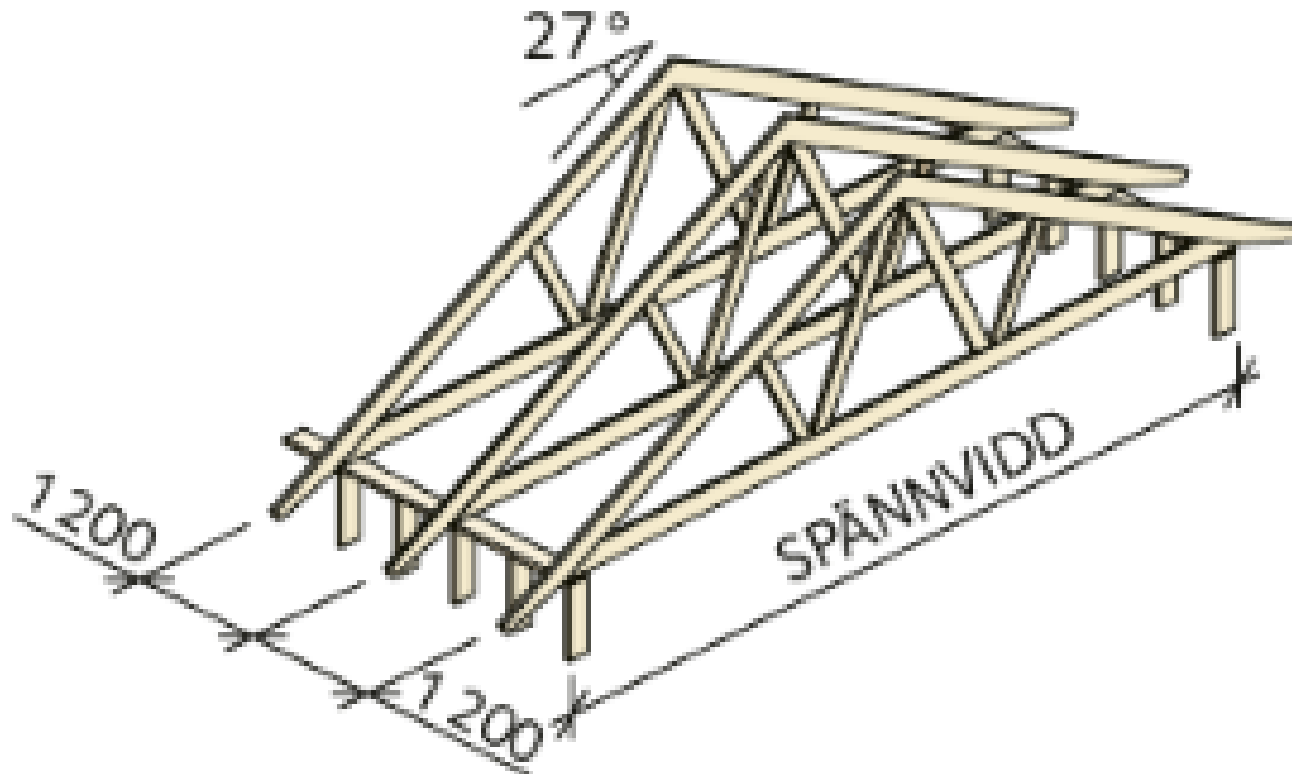




**Polonceau-takstol**



# W - takstol



ur Träguiden



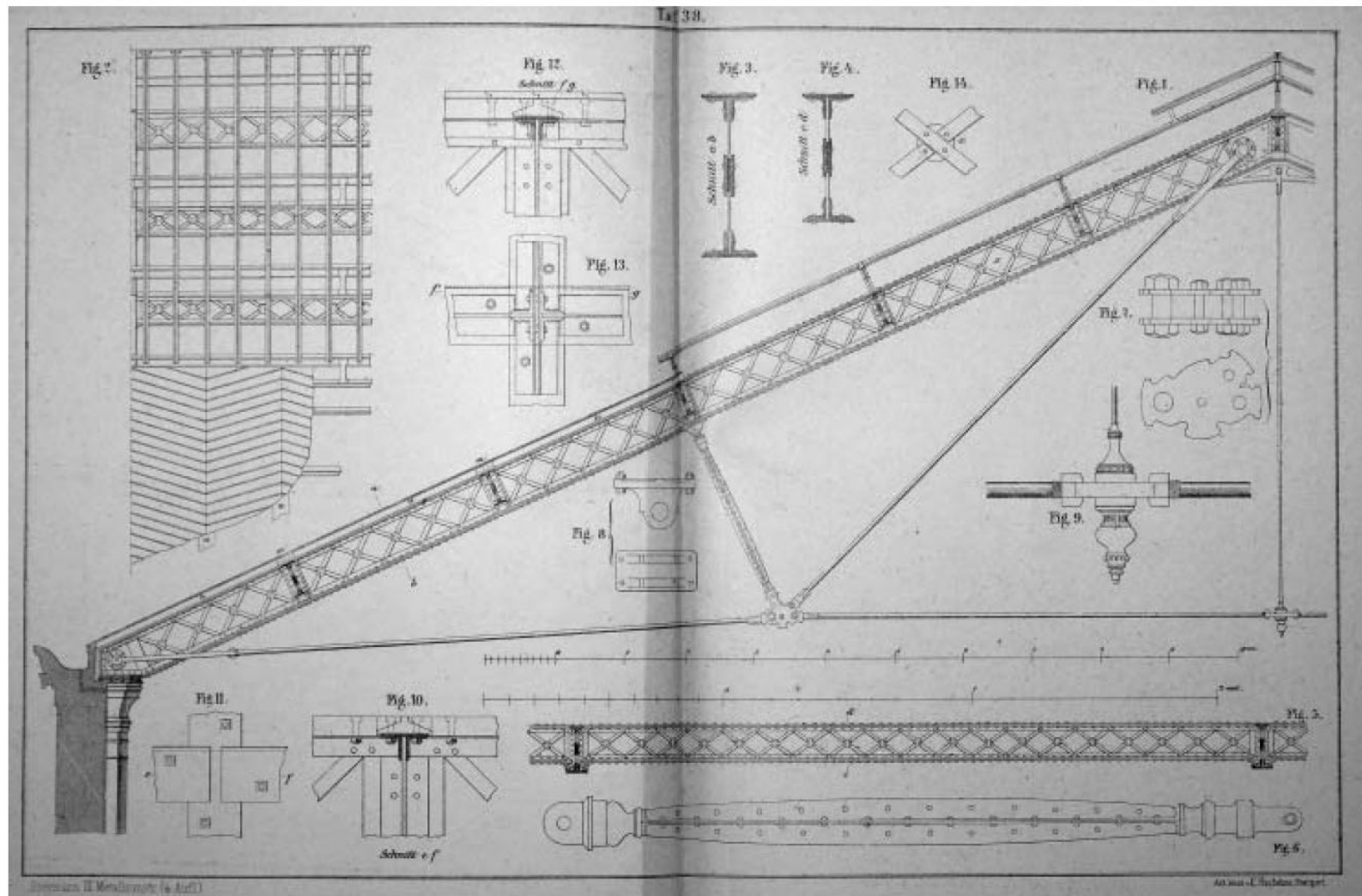


FIGURE 15 Lyon-Perrache, roof of the railway station (completed in 1855). From Breymann 1877, plate 38.

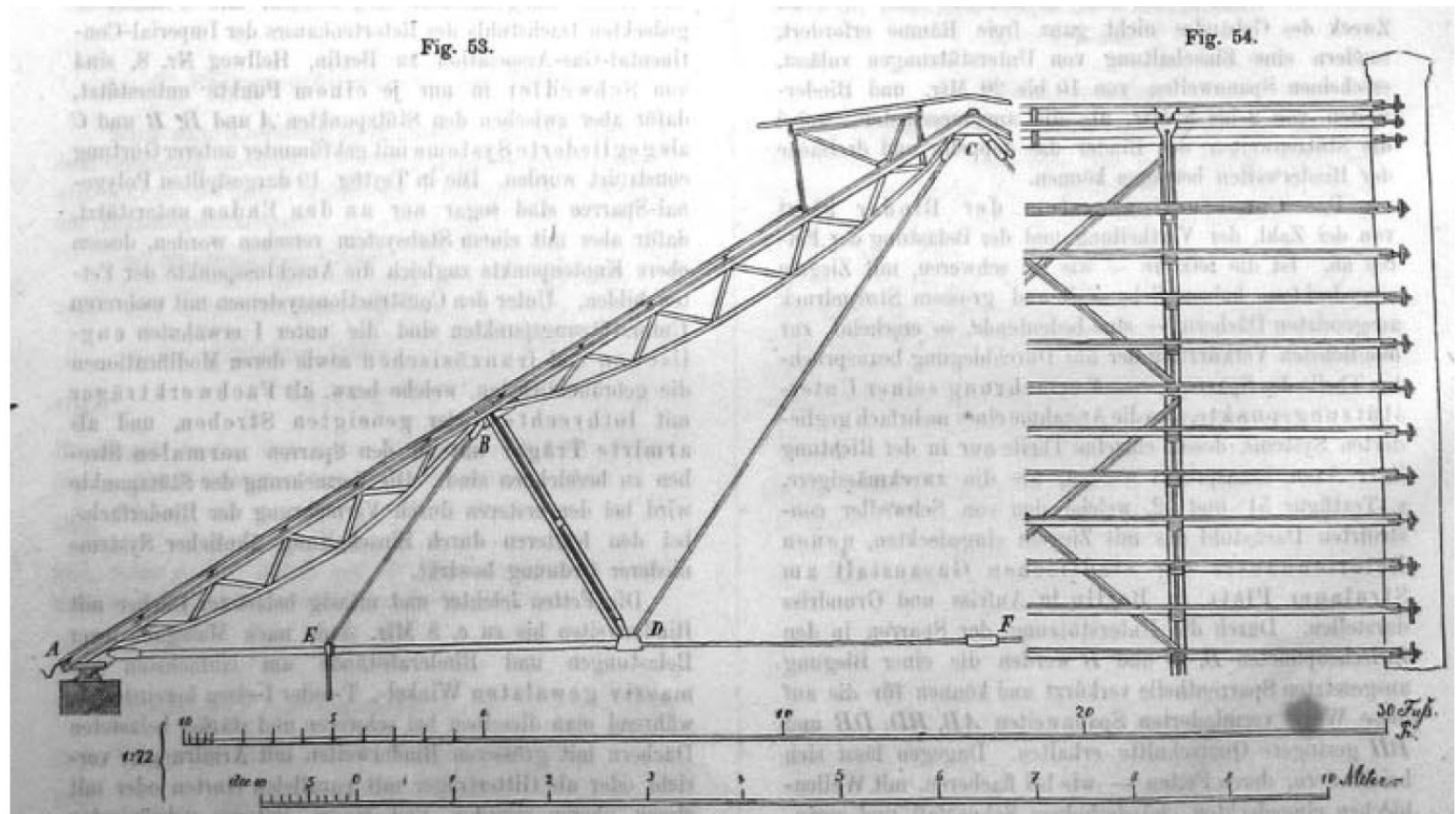


FIGURE 17 Berlin, roof of a workshop of the Imperial Gas Association (designed by J. W. Schwedler). Transverse section (left) and ground plan (right). From Heinzerling 1876, p. 20.

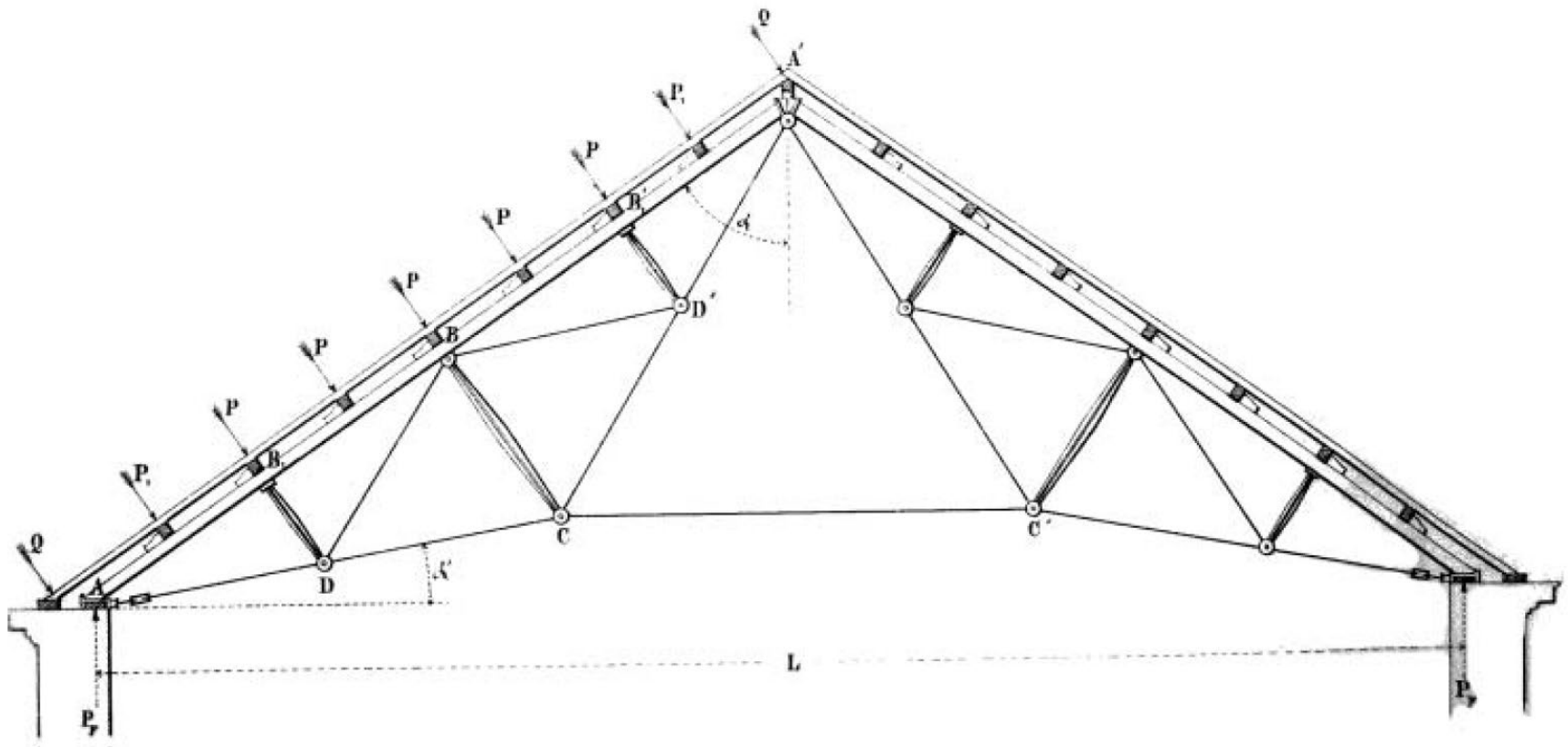
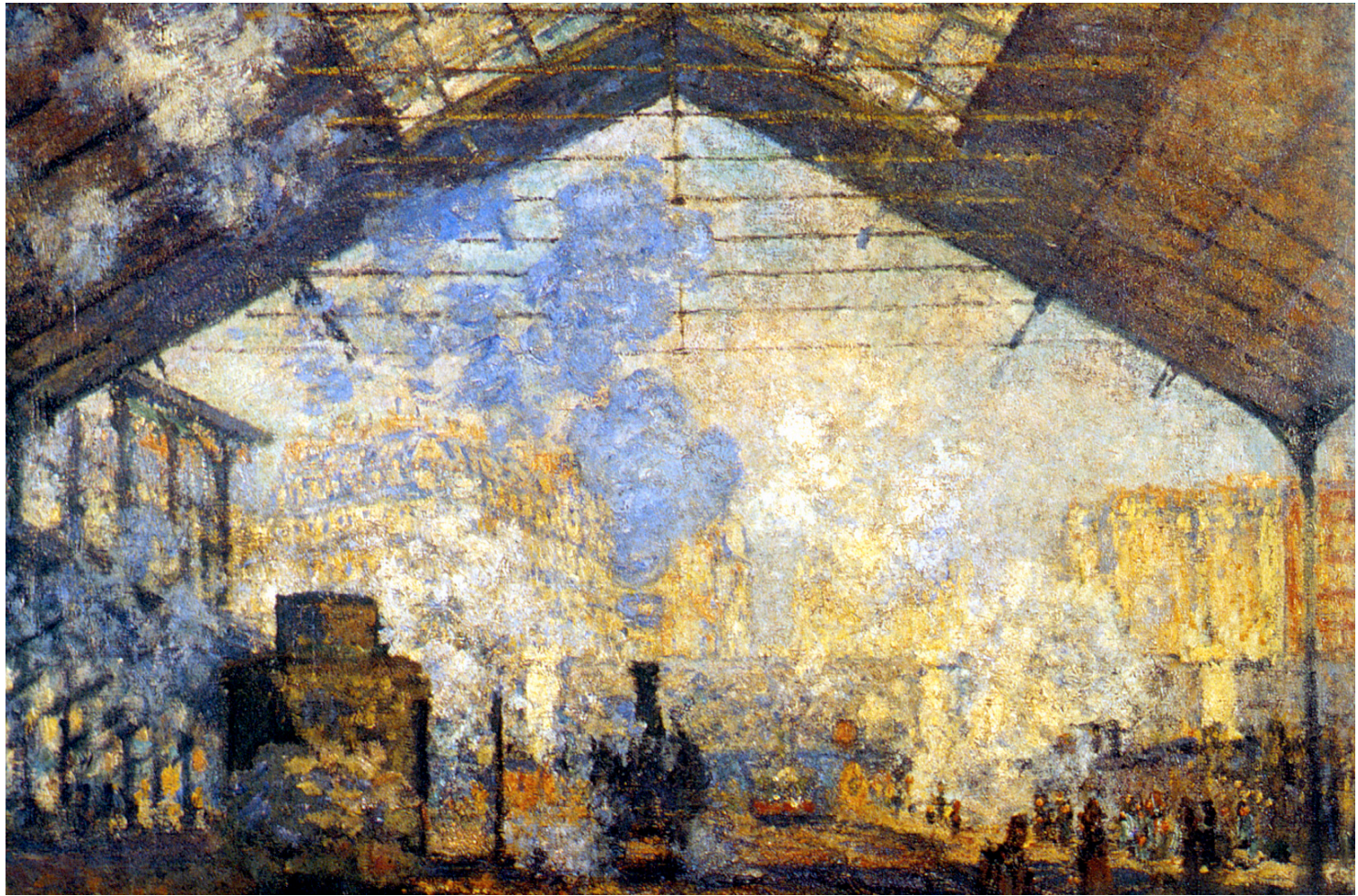
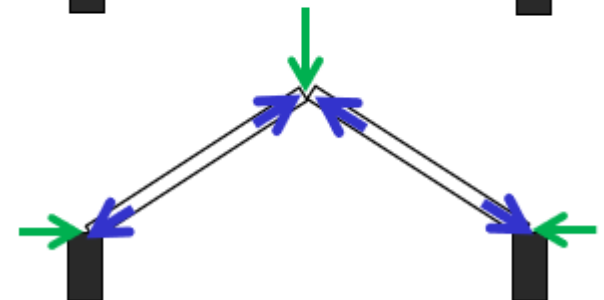
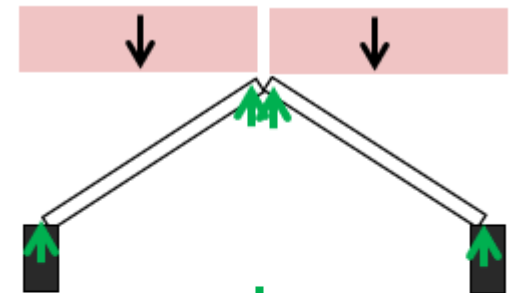
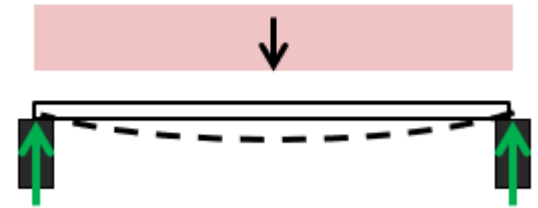
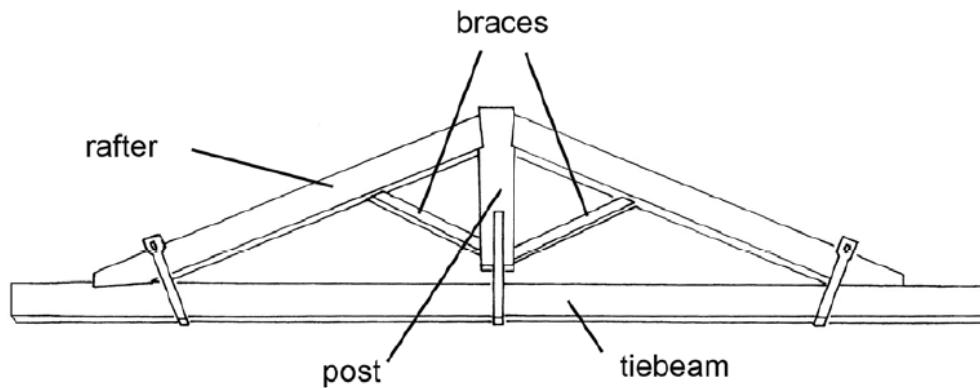
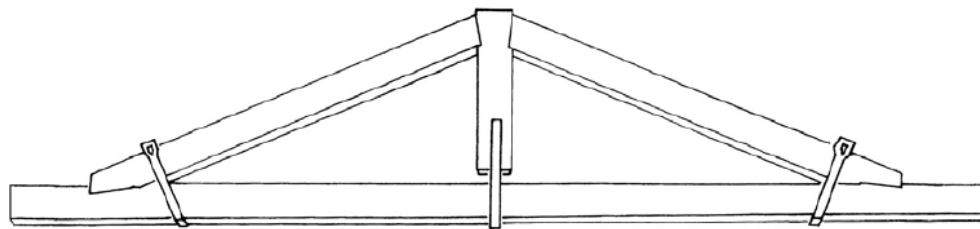


FIGURE 20 Polonceau roof with triply braced principal rafters. From Michon 1848, p. 290.



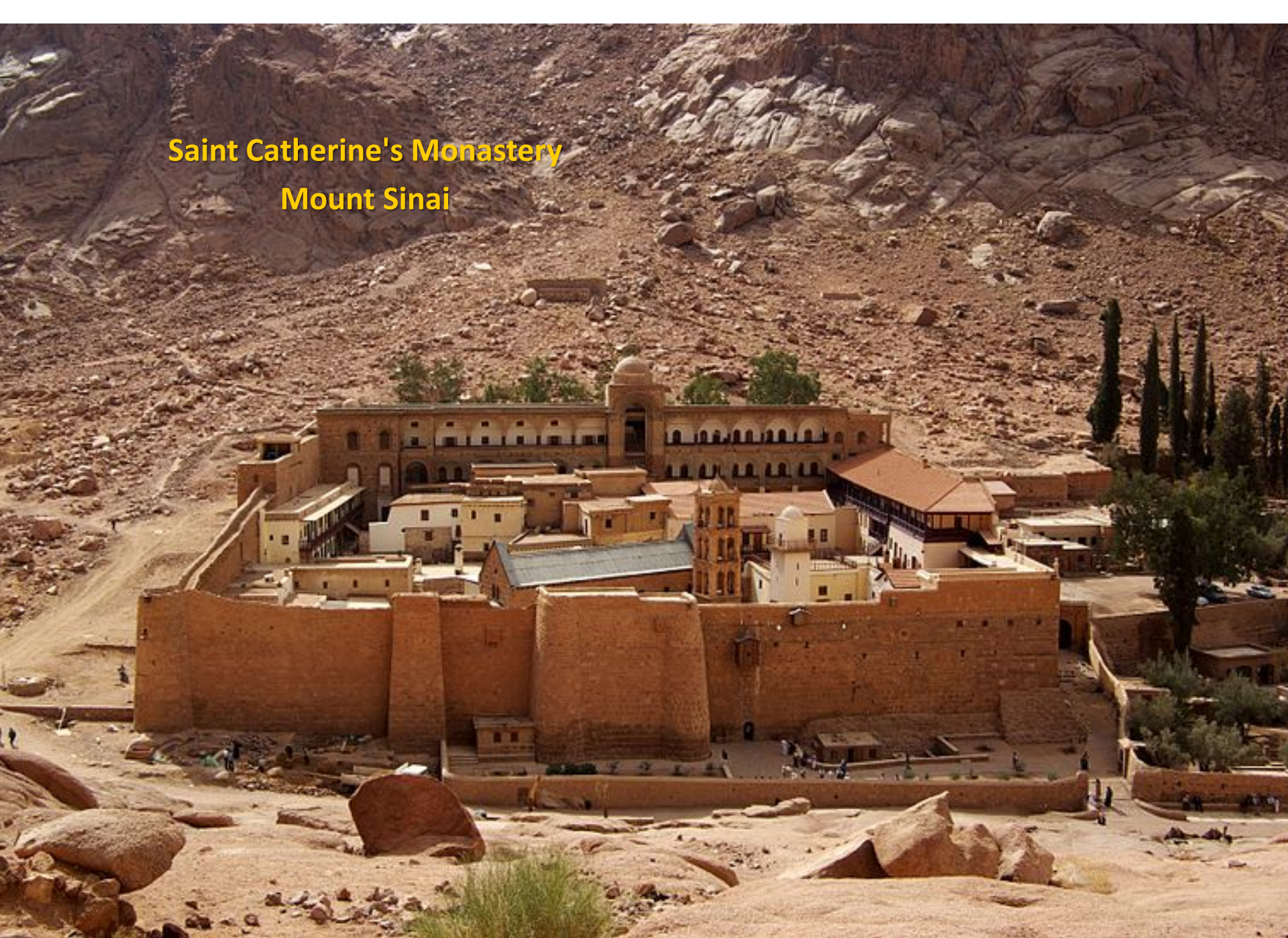


# Hur förlänga en balk?





**Saint Catherine's Monastery**  
**Mount Sinai**









Palazzo Vecchio  
Florence





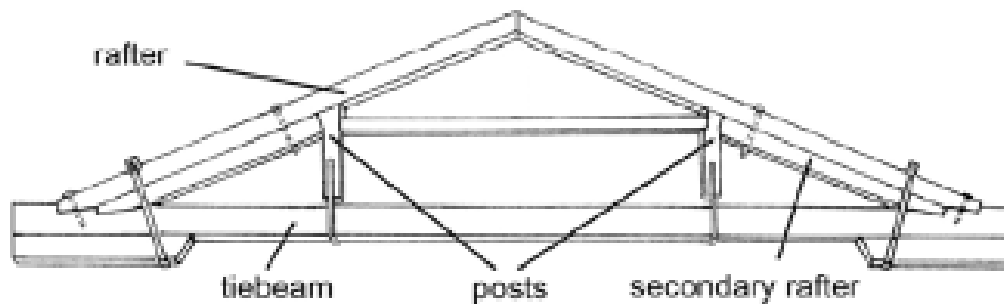
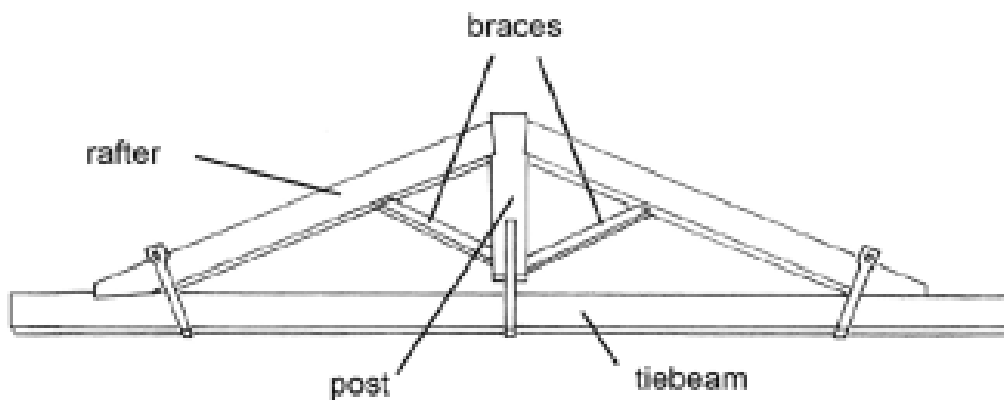
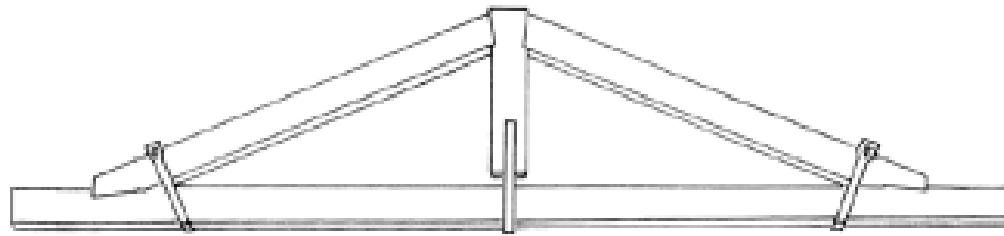




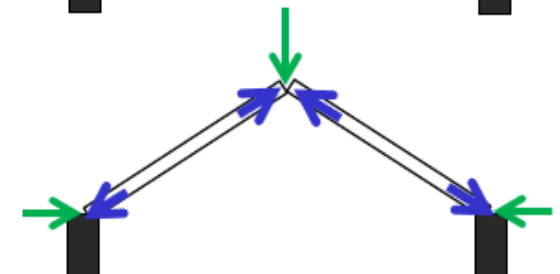
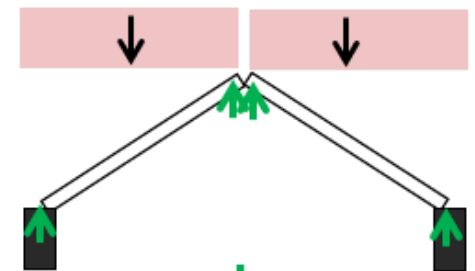
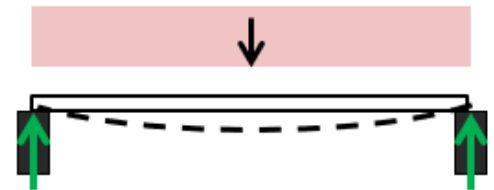








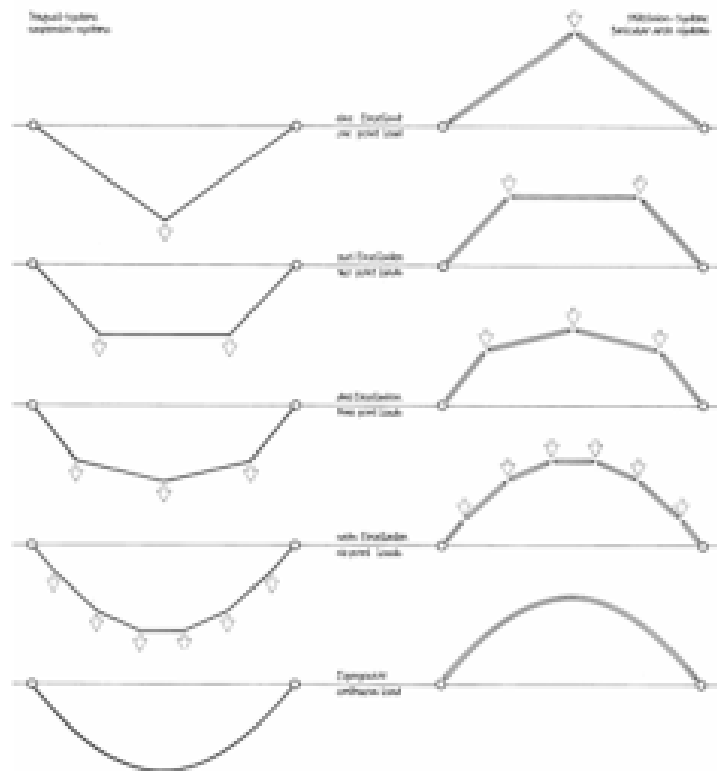
## Hur förlänga en balk?



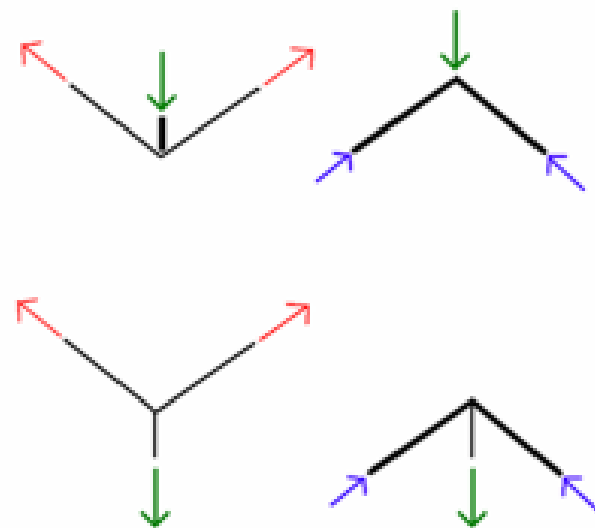
# Linan och bågen (kedjekurvan och trycklinjen)

Beziehung zwischen Trossen- und Bogenbau

relationship between suspension cable and arch



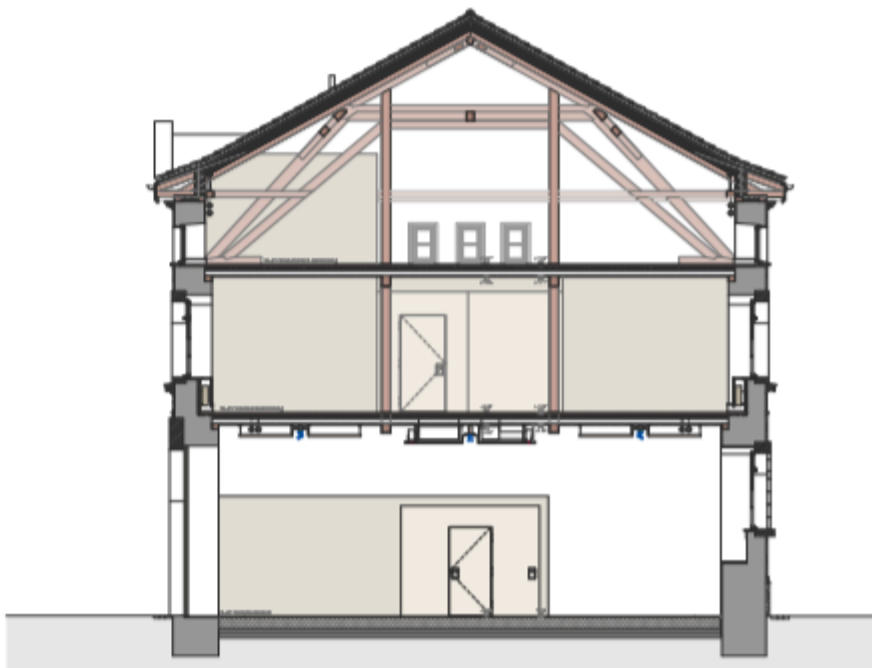
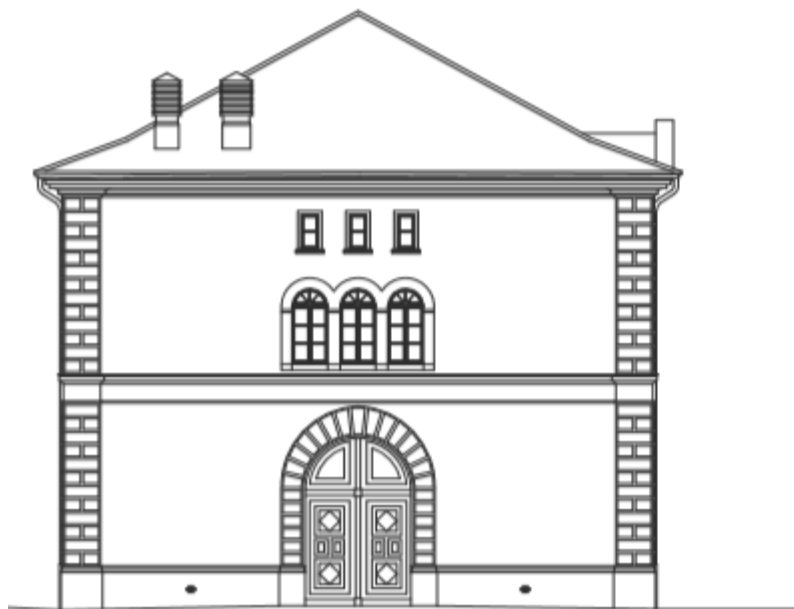
## Grundläggande mekanism



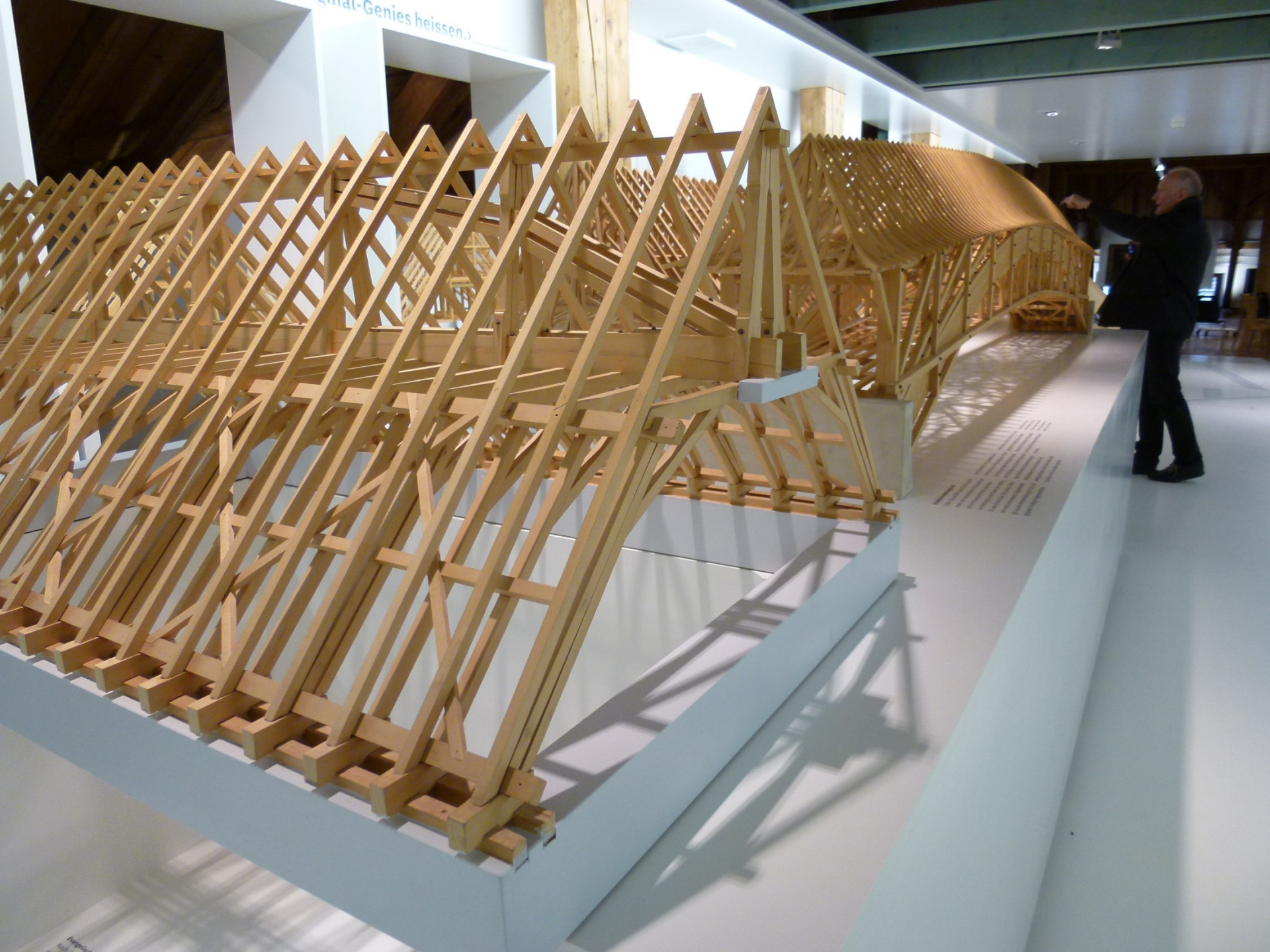
## Partikeljämvikt

Strukturen bär den yttre kraften genom rent drag eller rent tryck







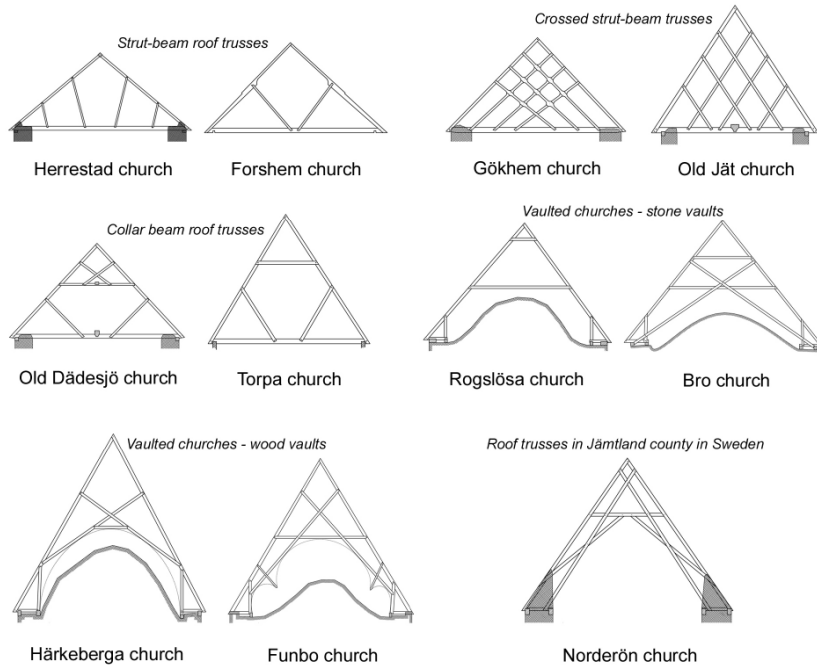


...at-Genies heißen. >

Das Modell zeigt die Konstruktion eines traditionellen japanischen Daches. Die diagonale Struktur ist typisch für die Verstärkung der Dachstuhlkonstruktion. Die Materialien sind aus hochwertigem Kieferholz gefertigt.

Angabe  
nach...

# Mechanical patterns and structural form







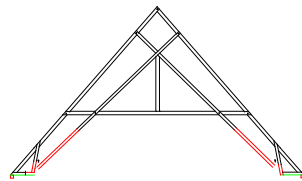
**Hidden behind ceilings  
Sweden have an extensive heritage  
of old timber structures**

**There are today 120 known  
still standing timber roof structures  
dated as medieval**

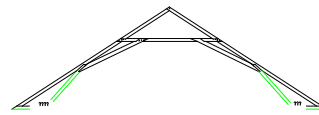
**17 of them from before 1150 a.D.**



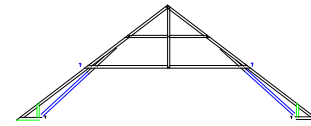
**Old Jät Church**



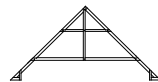
ALMUNDSRYDS KYRKA, 1828 - 31



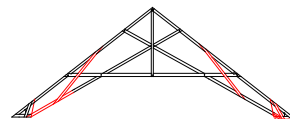
BERGA KYRKA, 1819 - 21



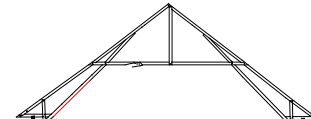
HJORTSBERGA KYRKA, 1838 - 40



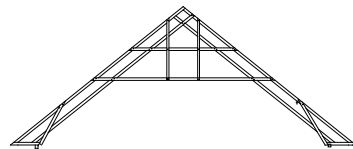
HÅRLUNDA KYRKA, 1822 (ombyggt)



RYSSBY KYRKA, 1844



TINGSÅS KYRKA, 1853

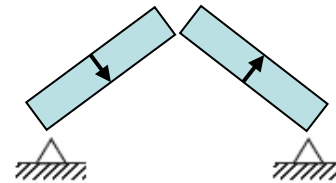
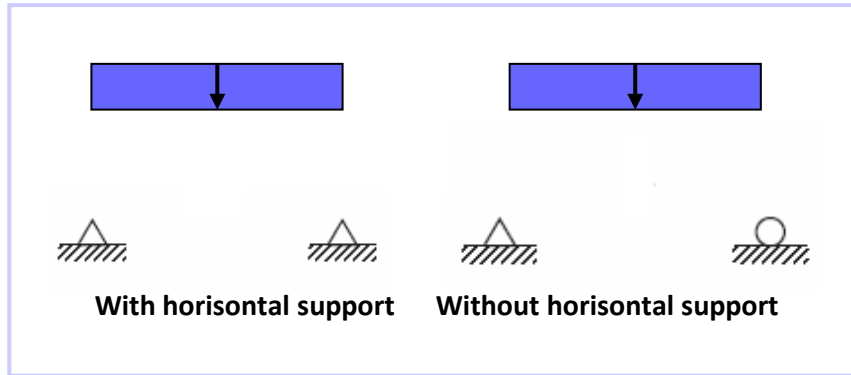


URSHULTS KYRKA, 1808 - 10

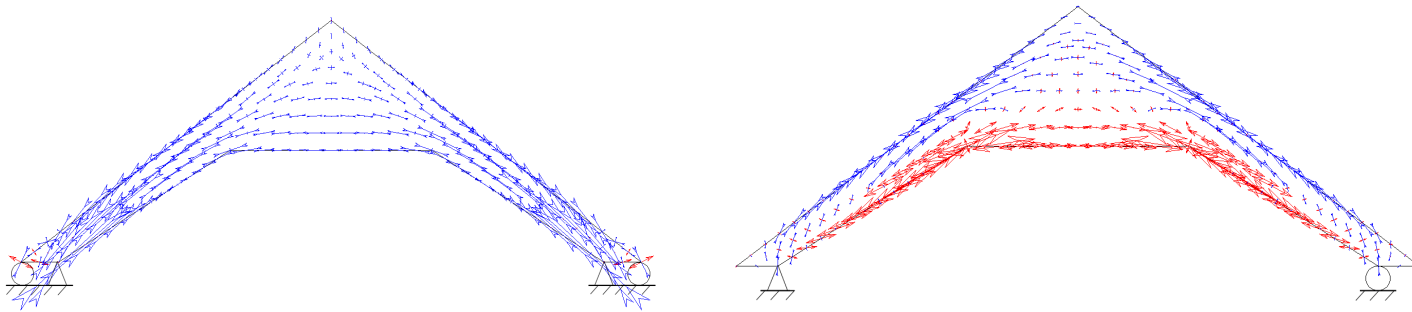


In this environment **Ylva Sandin**

analyses how the inner form  
respond to a redistribution of internal forces  
due to lack of horizontal support

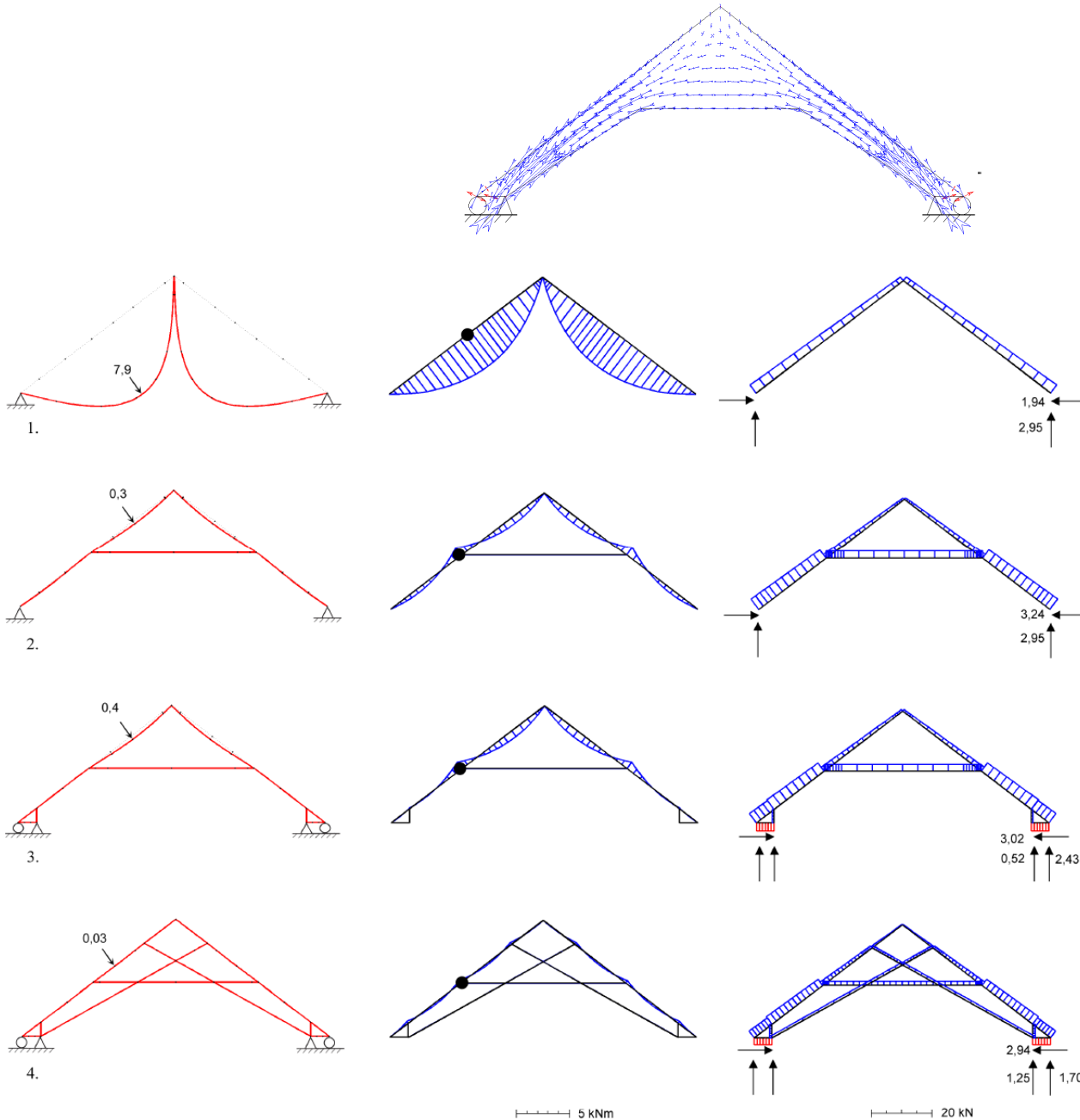


**Structural tasks**



**Patterns of  
load paths**

**A successive redistribution of stress pattern**



The presence  
of an inner structure  
enables  
a redistribution

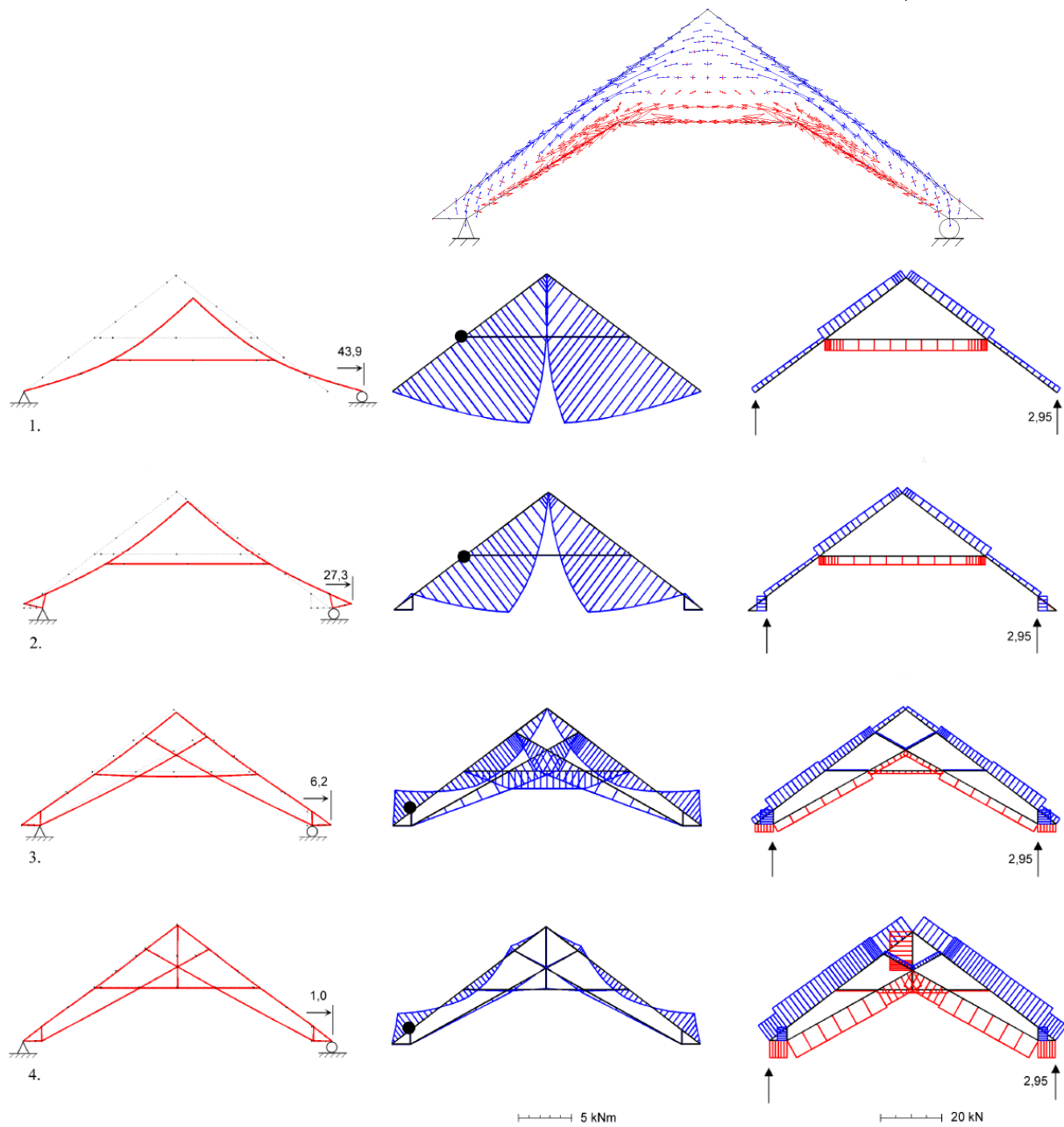
from less efficient  
bending action

to more efficient  
axial action

A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter



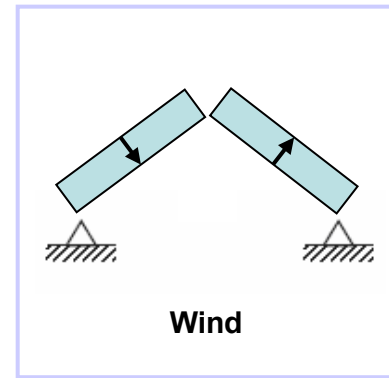
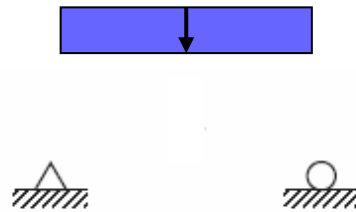
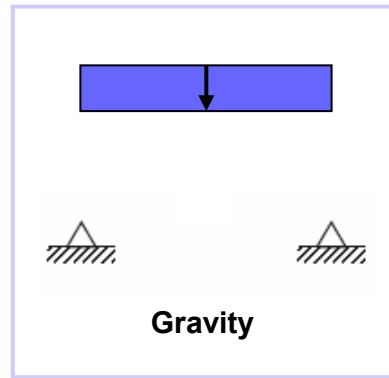
A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

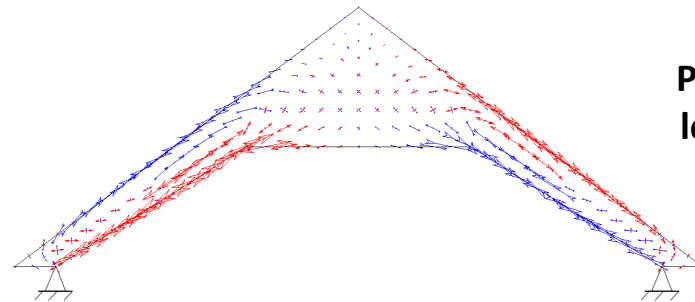
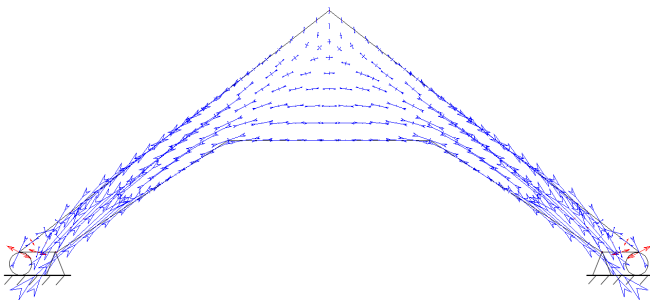
C. Normalkrafter och stödkrafter

# Ylva Sandin

analyses the efficiency of the inner structure  
for different structural tasks

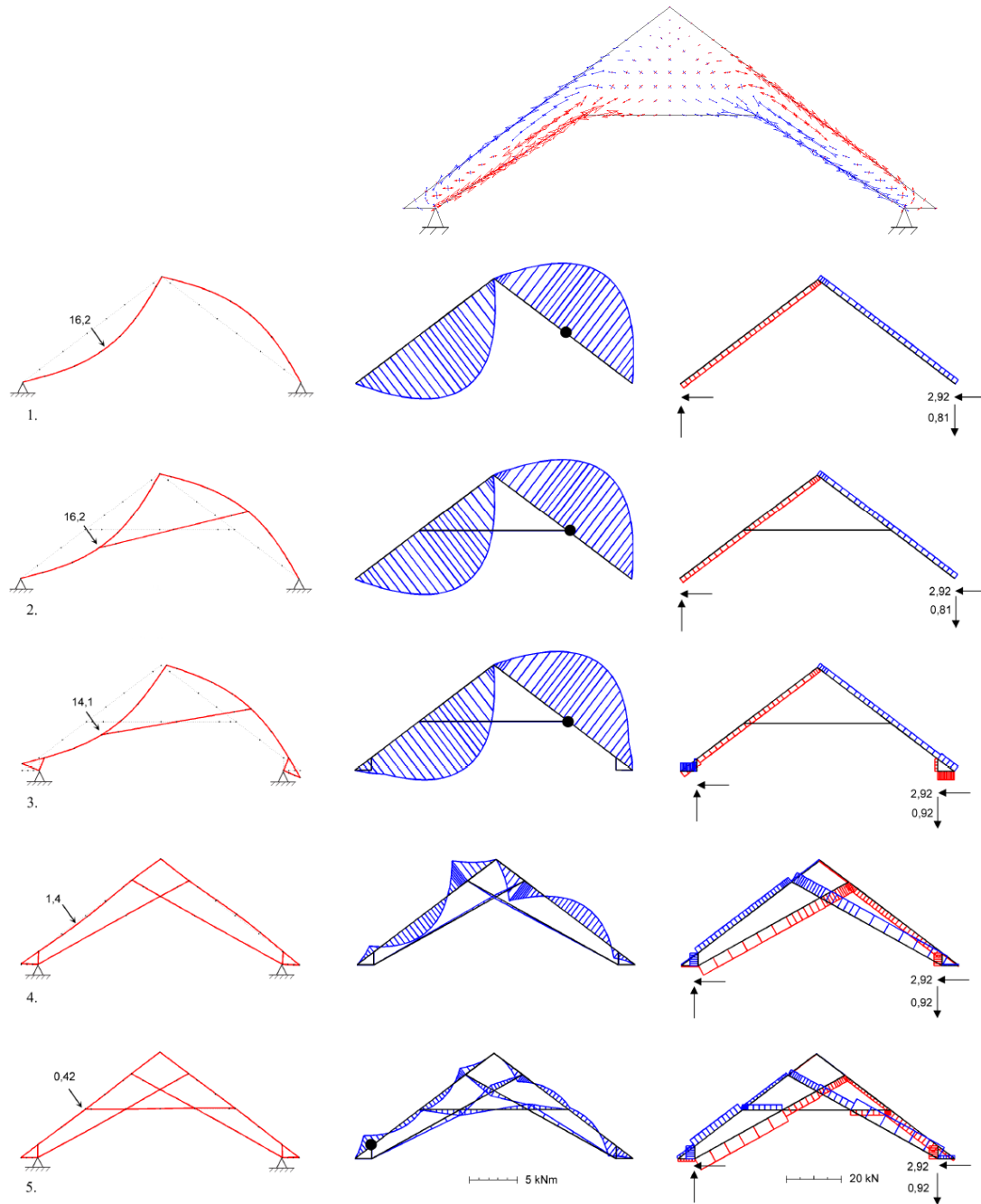


**Structural tasks**



**Patterns of  
load paths**



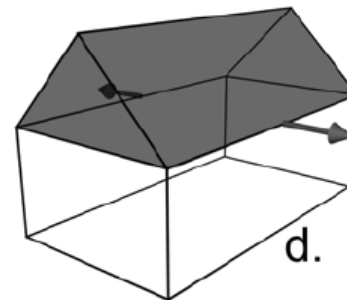
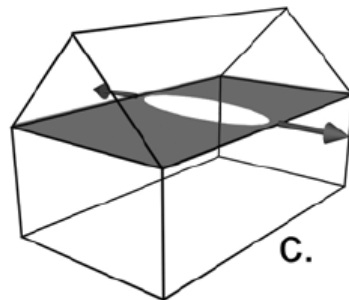
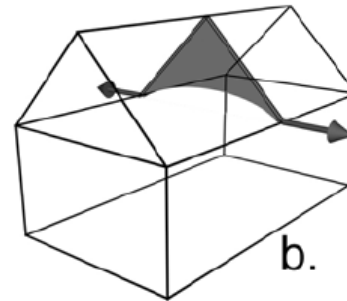
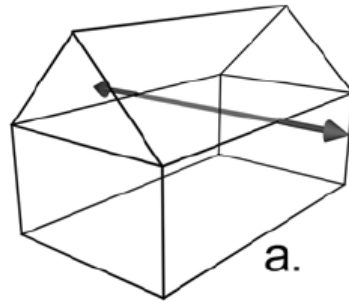


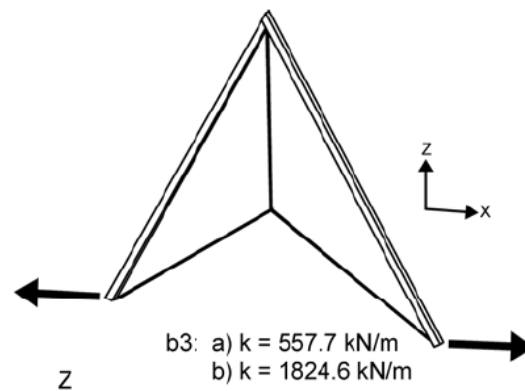
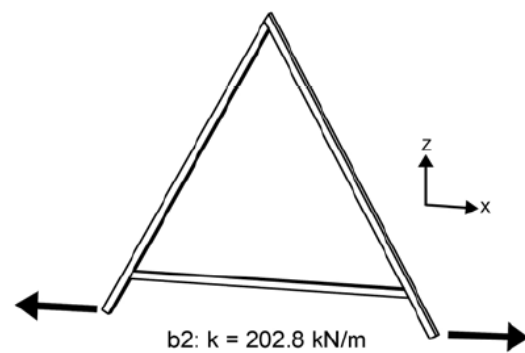
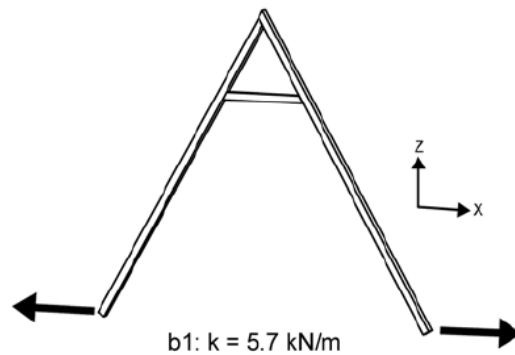
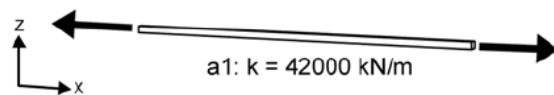
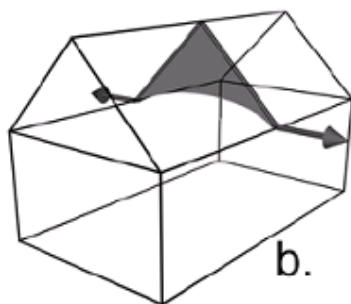
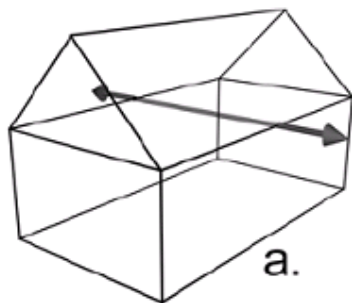
A. Deformationsfigur

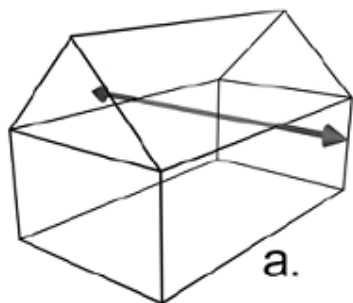
B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stöd krafter

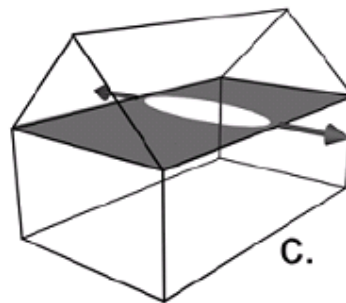
In this environment **Carl Thelin**  
computes and compares efficiency  
in terms of stiffness  
for different internal load paths



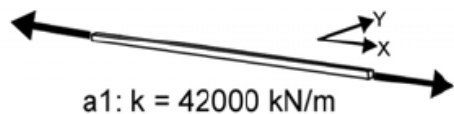




a.



c.



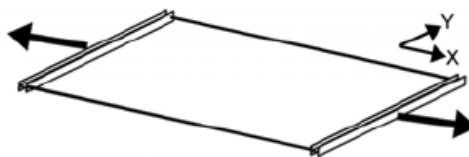
a1:  $k = 42000 \text{ kN/m}$



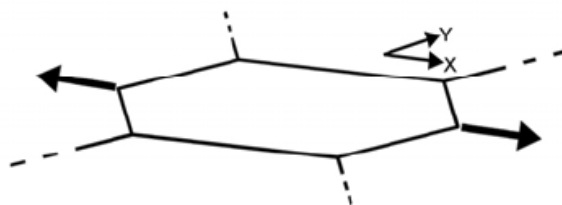
c1:  $k = 400 \text{ kN/m}$



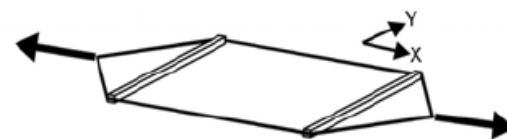
c2:  $k = 65.6 \text{ kN/m}$



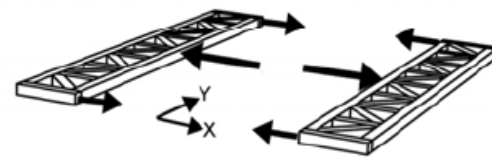
c3: a)  $k = 511.9 \text{ kN/m}$   
b)  $k = 1009 \text{ kN/m}$



c5: a)  $k = 1163.1 \text{ kN/m}$   
b)  $k = 4652.5 \text{ kN/m}$

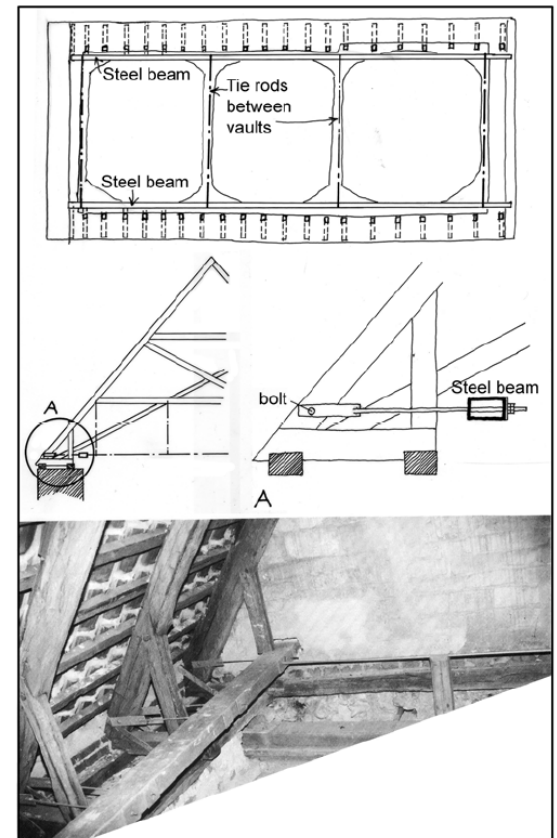
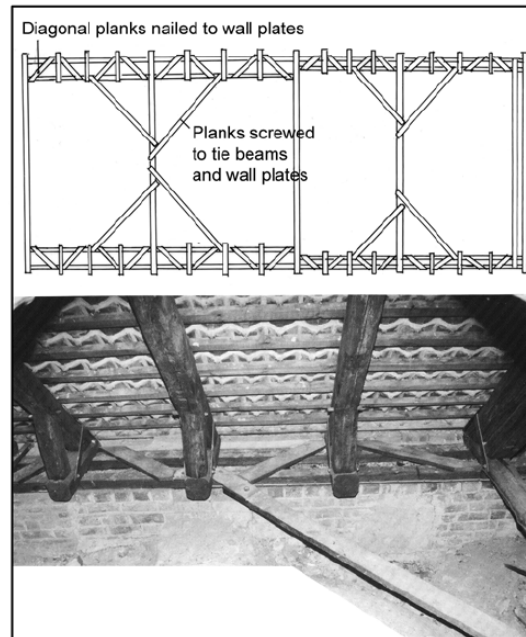
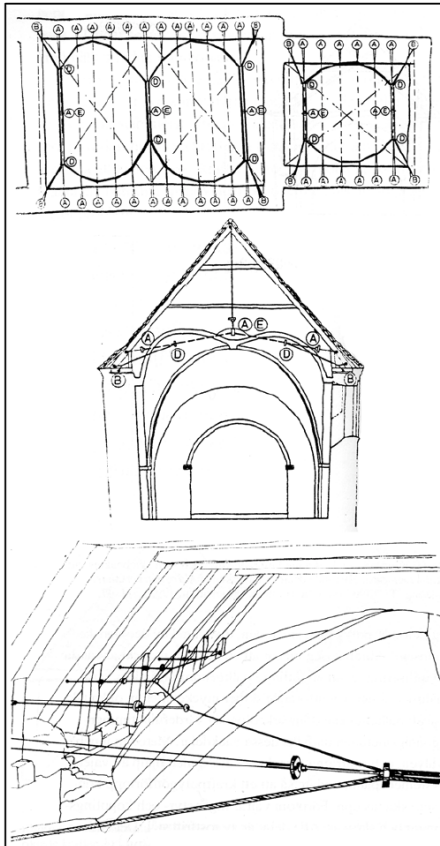


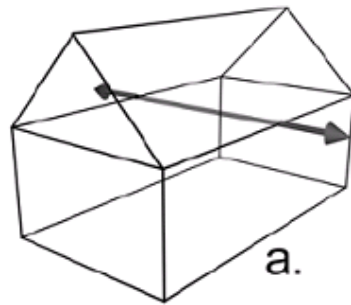
c4: a)  $k = 2366.8 \text{ kN/m}$   
b)  $k = 7451.7 \text{ kN/m}$



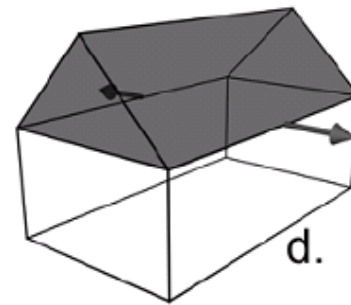
c6:  $k = 10703.7 \text{ kN/m}$



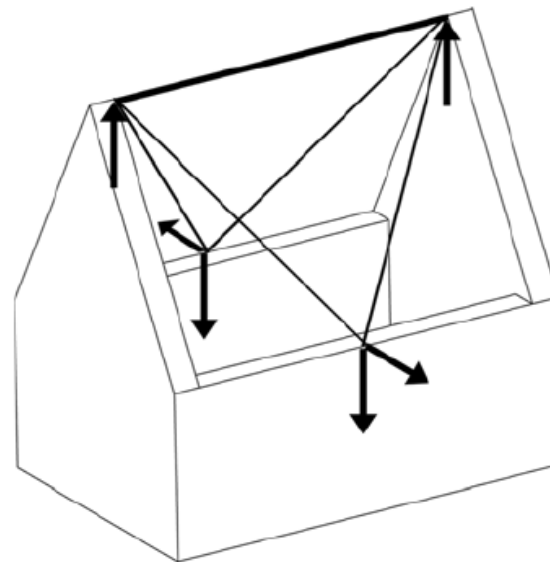
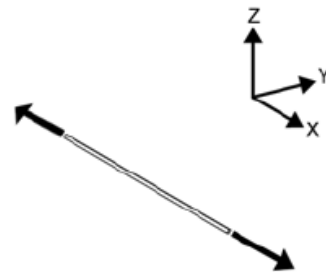




a.



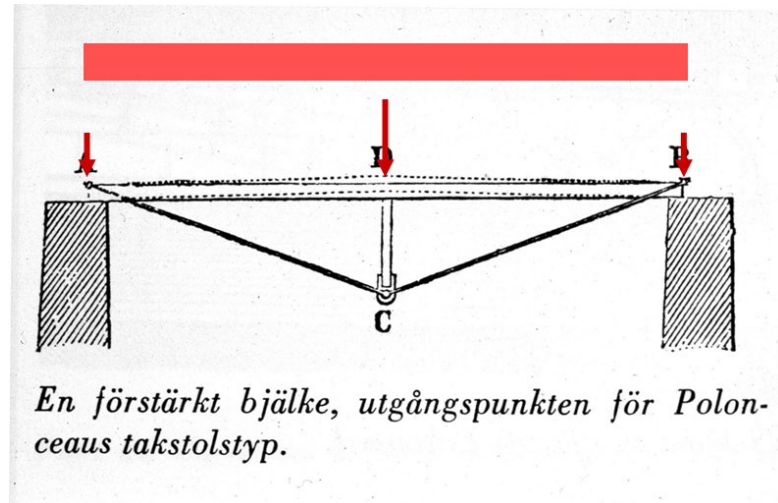
d.



a1:  $k = 42000 \text{ kN/m}$

d1: a)  $k = 731.8 \text{ kN/m}$   
b)  $k = 2789 \text{ kN/m}$

## 7. Takstolen



Analysera en *Poloceau-takstol* som fackverk.

Beskriv med hjälp av pointSketch hur den fungerar i termer av inre tryck och drag.

Analysera på motsvarande sätt *S:a Catharina-takstolen* som ett fackverk. Den kommer då visa sig vara en mekanism. Ge exempel på belastning som denna takstol är känslig för (se mekanismens deformationsmönster).

Föreslå en förändring som gör takstolen mer effektiv.

# **A1 Structural Design Contest**





## 8. ~~Konsten att bära en punktlast.~~

Uppgiften är att med trä, tråd och lim formge och bygga en konstruktion avsedd att bära en punktlast mitt på.

Konstruktionen ska spänna över en 90 cm bred öppning. Provbelastrning sker genom att en last hängs underifrån i en lina som ska kunna fästas vid konstruktionen.

Tänk på att konstruktionen måste klara upphängningen av linan, både vad gäller form och lokal hållfasthet.

Strukturen får väga max 130 gram.

Två konstruktioner per ritsal.  
Redovisning torsdag den 14/3.





