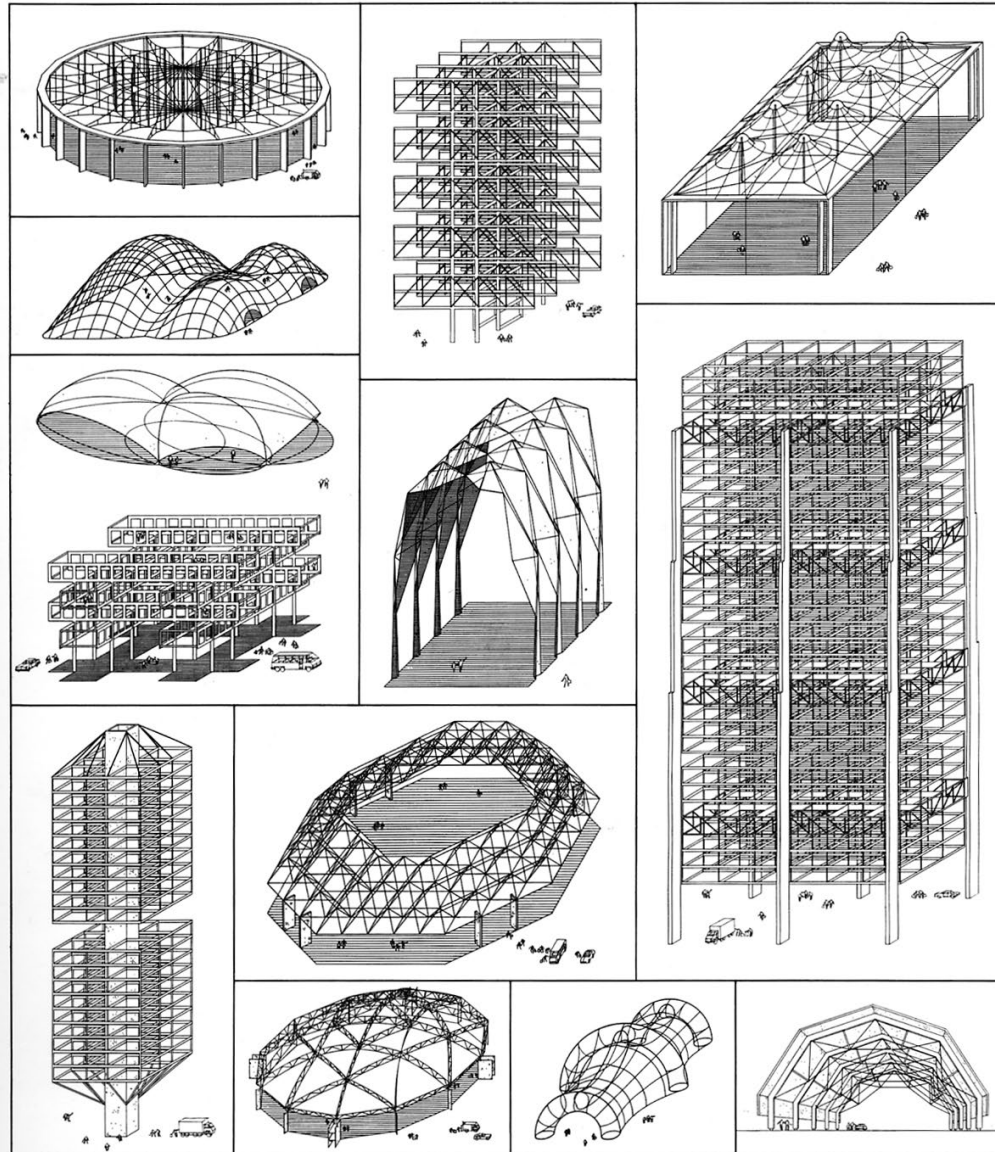




Balken och ramen



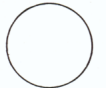
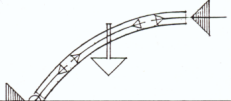
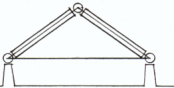
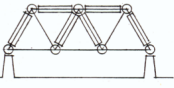
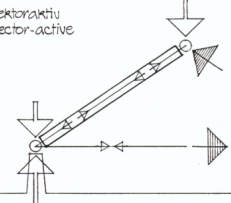
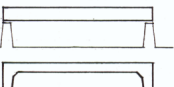
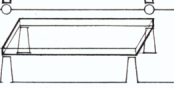
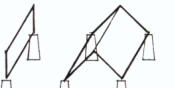
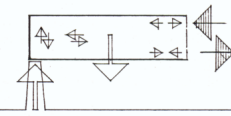
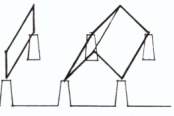
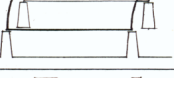
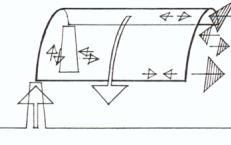
Strukturer sorterade efter hur form möter last

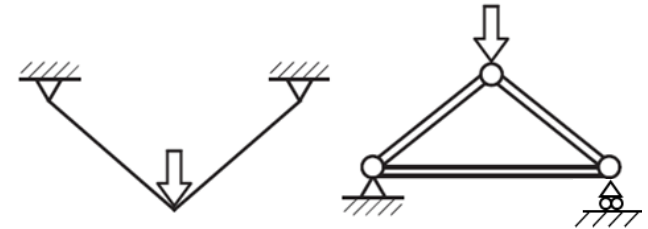
Heino Engel
Structural Systems

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

Einteilung der Tragsysteme im Bauen

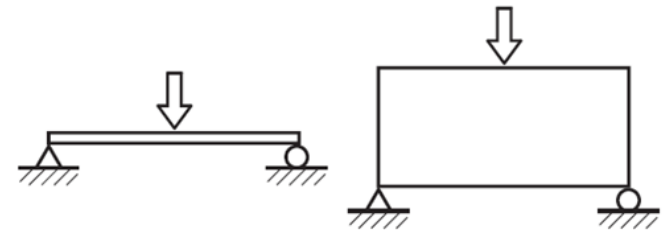
Classification of structure systems in building

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



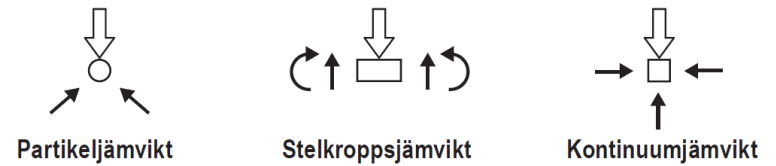
Formaktiv

Vektoraktiv



Snittaktiv

Ytaktiv

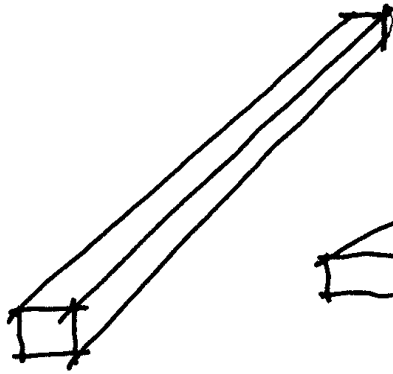


Partikeljämvikt

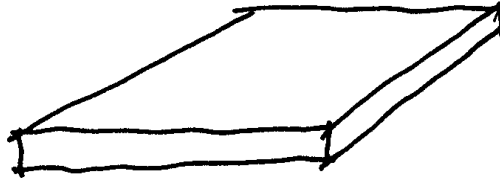
Stelkroppsjämvikt

Kontinuumjämvikt

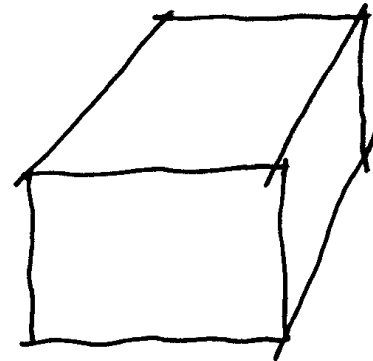
Strukturdelar sorterade efter kroppens dimensioner



1-dim
Stång
Balk

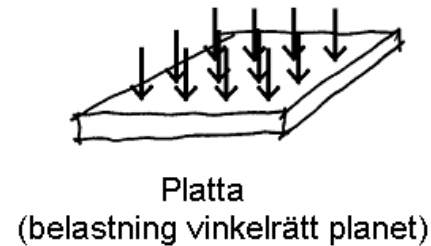
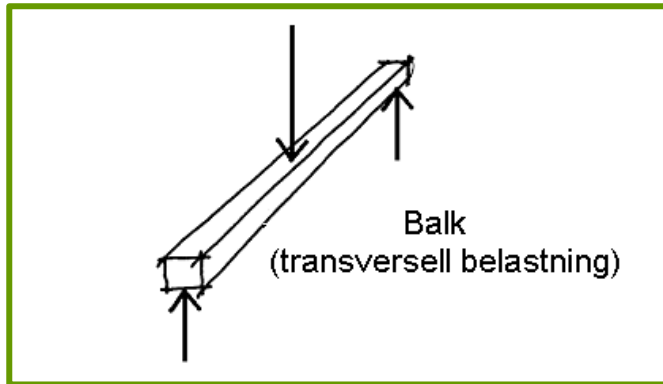
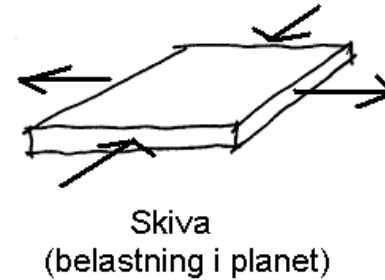
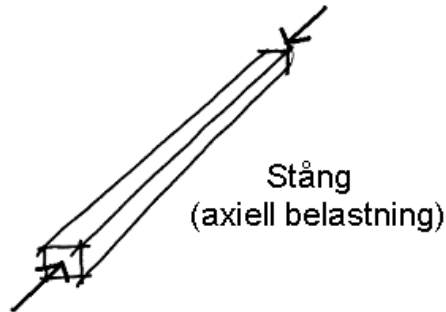


2-dim
Skiva
Platta

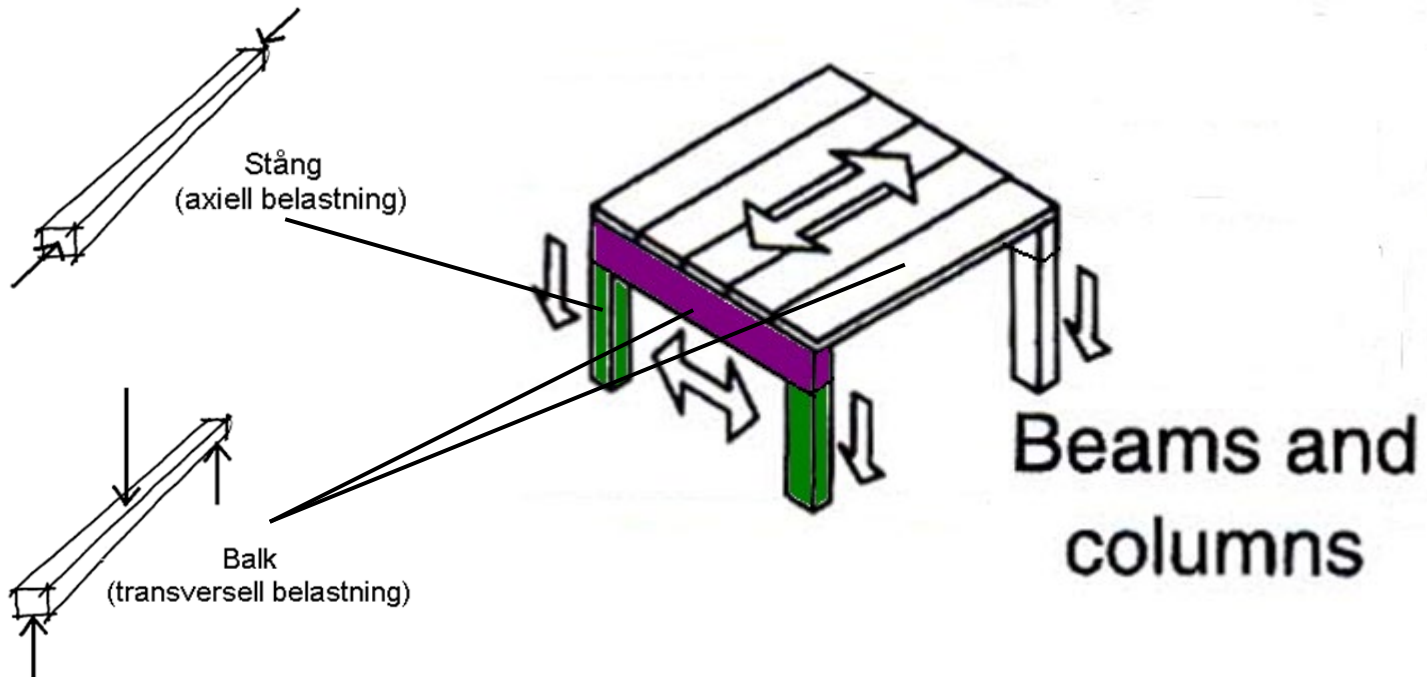


3-dim
Solid

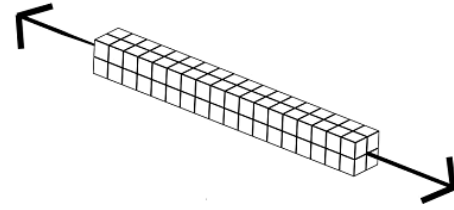
Konstruktionselementens verkningssätt (form + belastning)



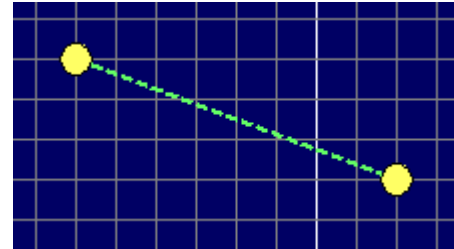
1-dim element – tre verkningssätt



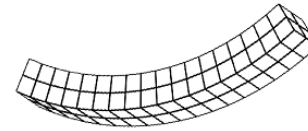
Tryck och drag



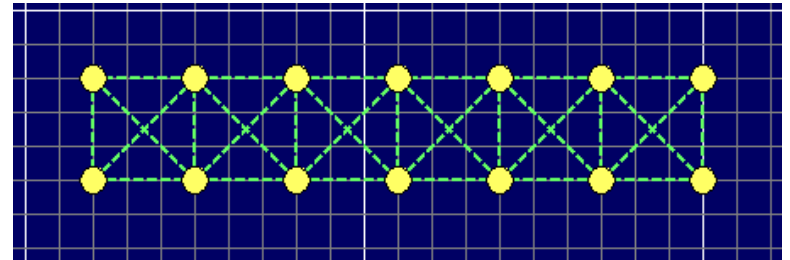
Stångverkan
en linje



Böjning



Balkverkan
byggs av kvadrater
med kryss
(klarar också stångverkan)



Balkar och ramverk

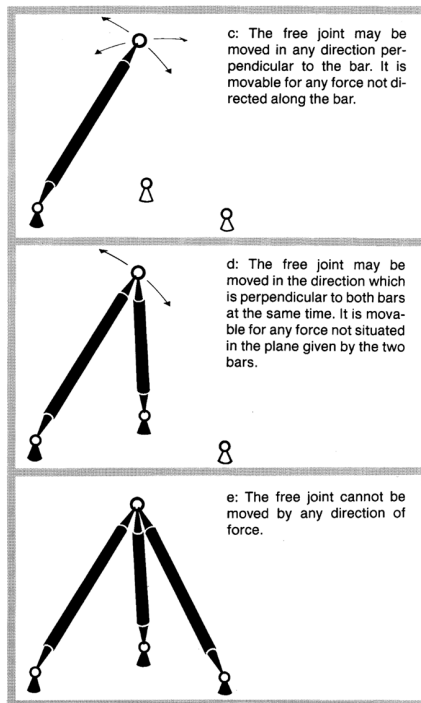
Uppbyggnad

Grundtyper

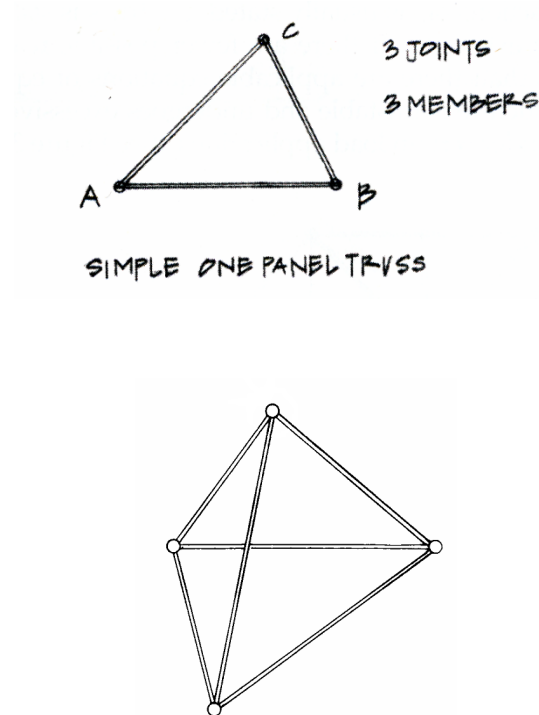
Beståndsdelar

Jämför med Stänger och fackverk

Uppbyggnad



Stabila grundformer



Beståndsdelar

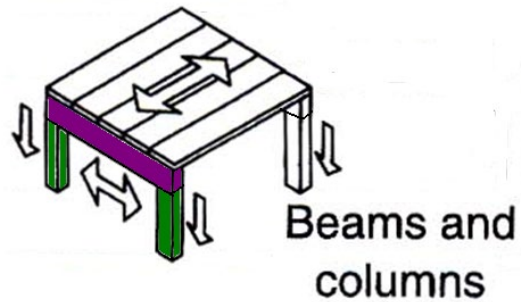
Stång
(styvhet EA/L)

Knutpunkt
(friktionsfri led)

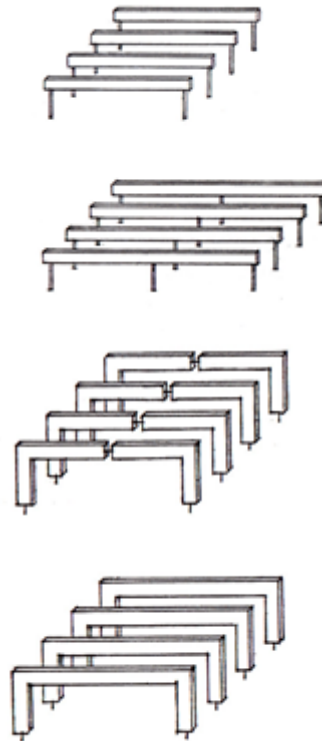
Systemlinje



Uppbyggnad



Grundtyper



Beståndsdelar

Balk
(styvhet EI/L^3)

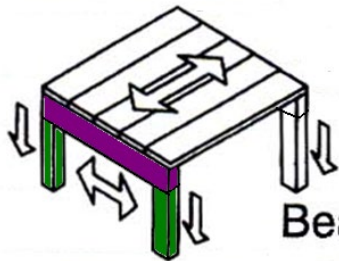
Knutpunkt
(från stel koppling
till friktionsfri led)

Systemlinje



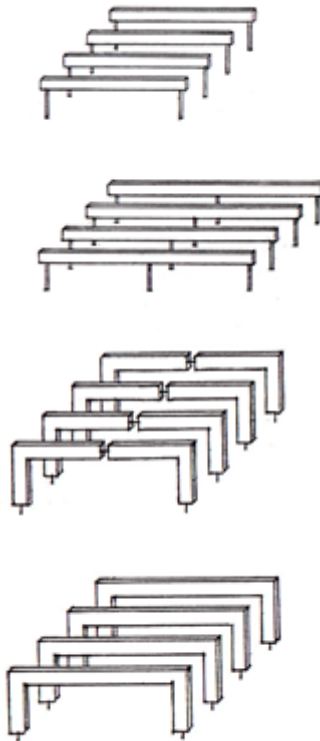
Uppbyggnad

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

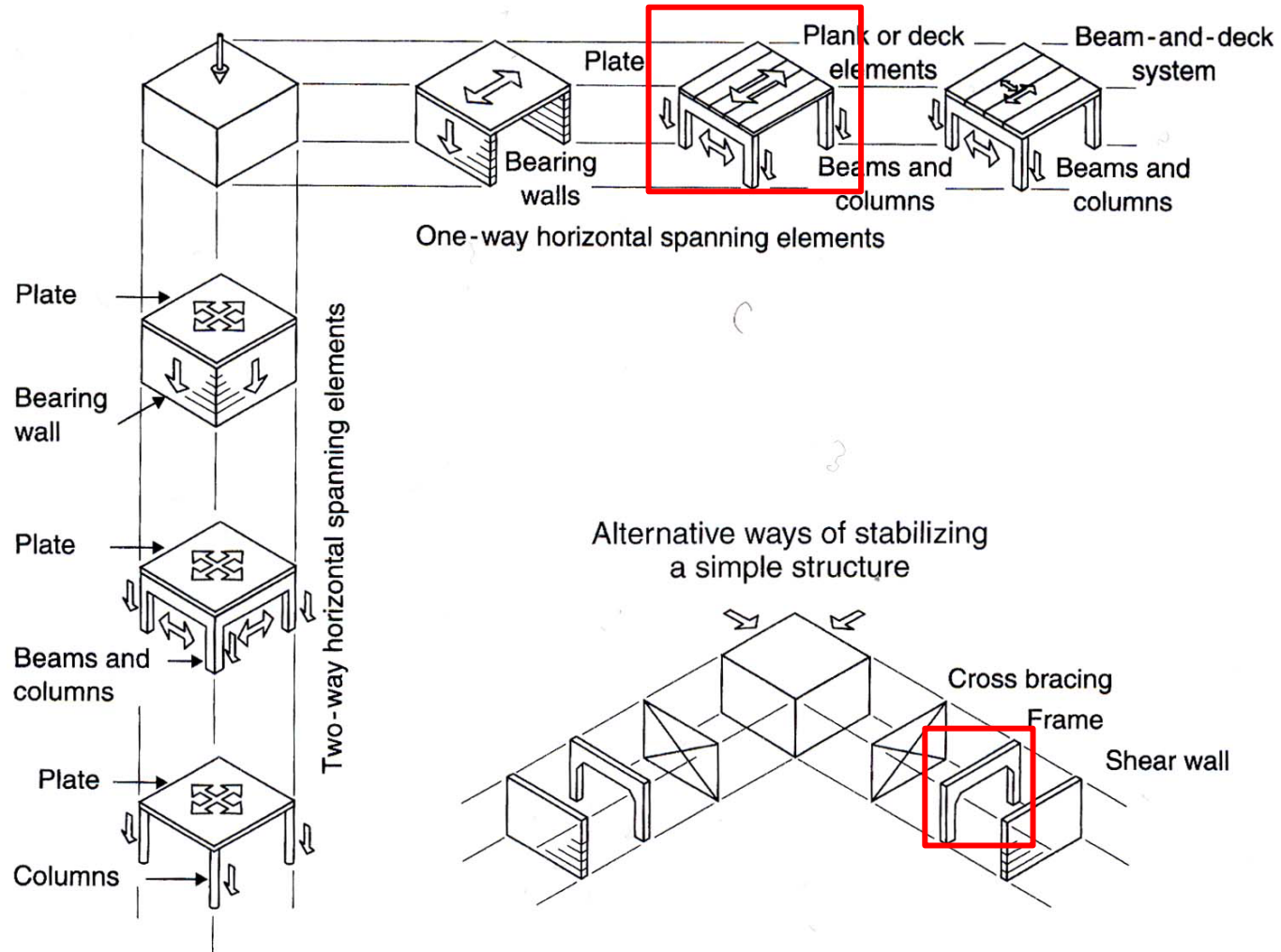
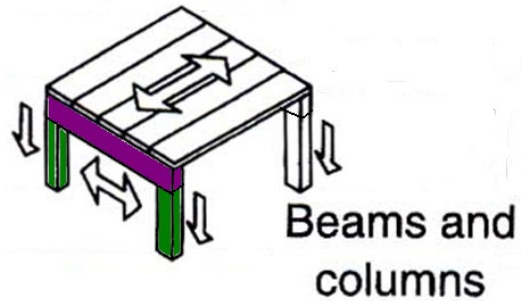
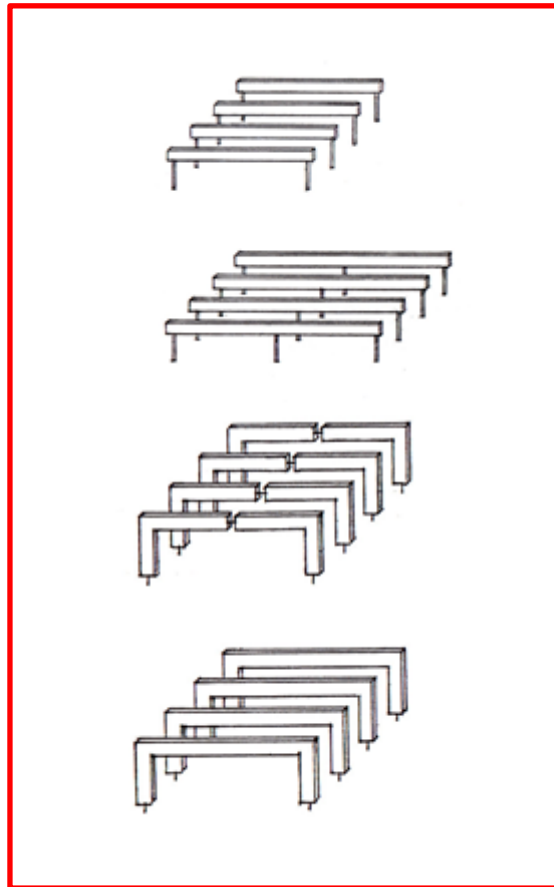


Figure 1.7 Common structural options for a typical volumetric unit.

Uppbyggnad



Grundtyper



Beståndsdelar

Balk
(styvhet EI/L^3)

Knutpunkt
(från stel koppling
till friktionsfri led)

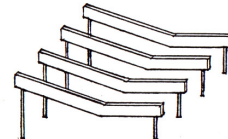
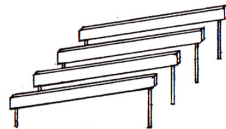
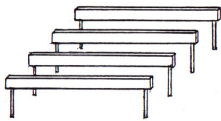
Systemlinje



Balktyper

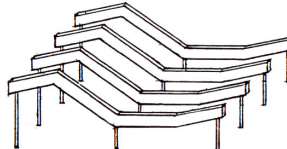
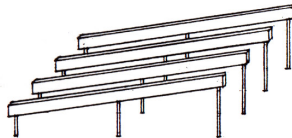
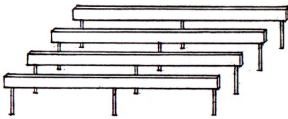
3.1 Balken-Systeme / Beam systems

Einfeldbalken
One-bay beam



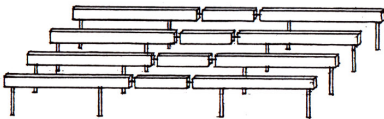
Fritt upplagd balk

Durchlaufbalken
Continuous beam



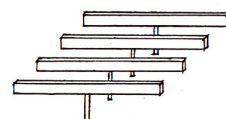
Kontinuerlig balk

Gelenkbalken
Pin-jointed beam



Gerber-balk

Kragbalken
Cantilever beam



Konsolbalk

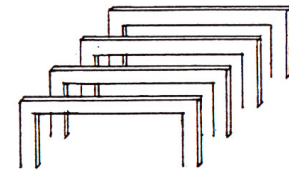
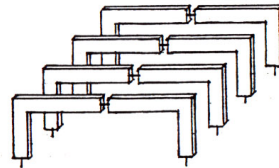
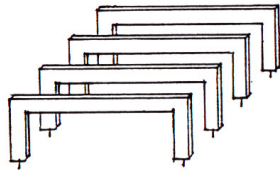
Ramtyper

3.2 Rahmen-Tragwerke / Frame structures

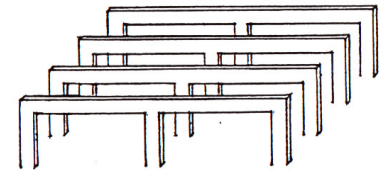
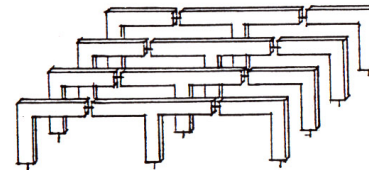
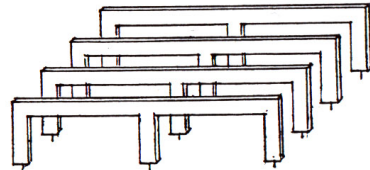
Två-ledsram

Tre-ledsram

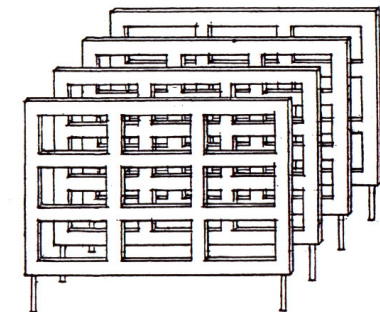
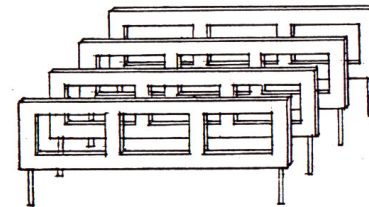
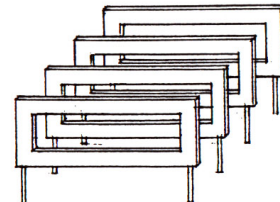
Einfeldrahmen
One-bay frames



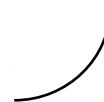
Mehrfeldrahmen
Multipanel frames



Geschoßrahmen
Story frames



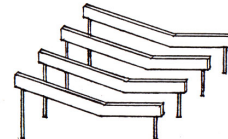
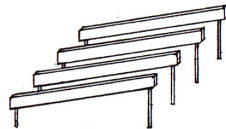
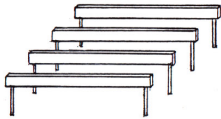
Virendelbalk



Balktyper

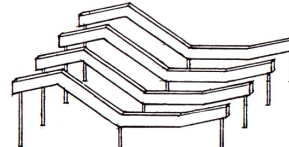
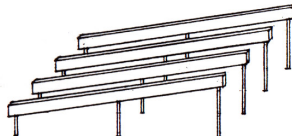
3.1 Balken-Systeme / Beam systems

Einfeldbalken
One-bay beam



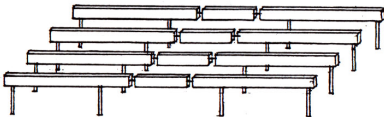
Fritt upplagd balk

Durchlaufbalken
Continuous beam



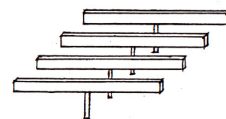
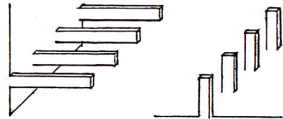
Kontinuerlig balk

Gelenkbalken
Pin-jointed beam



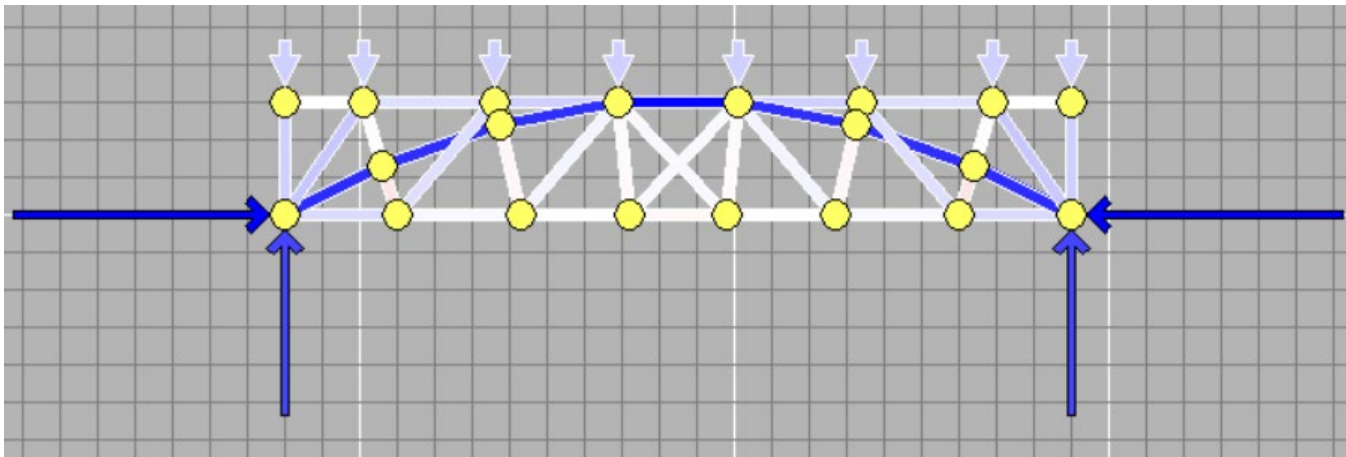
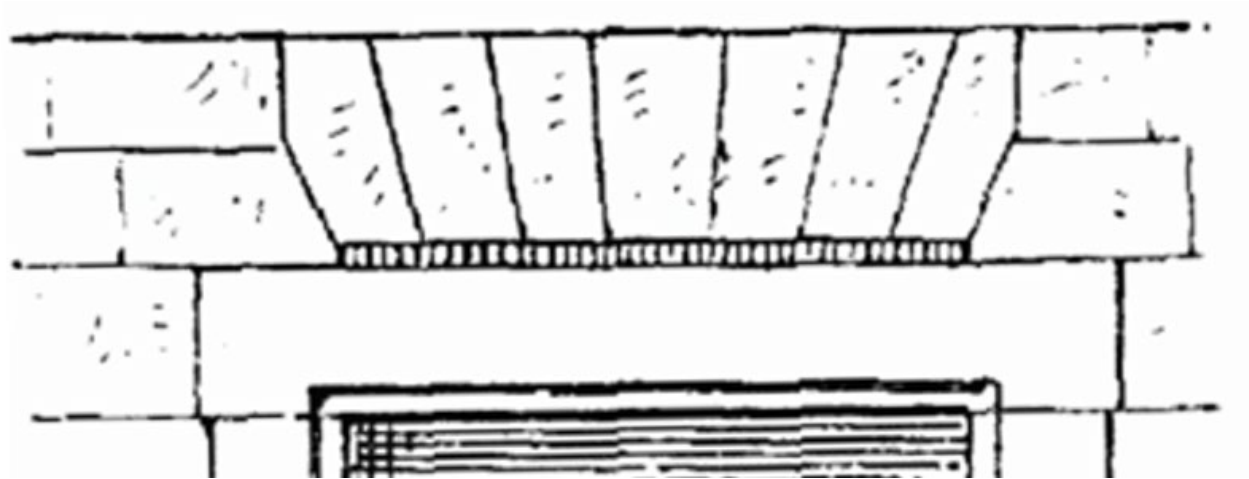
Gerber-balk

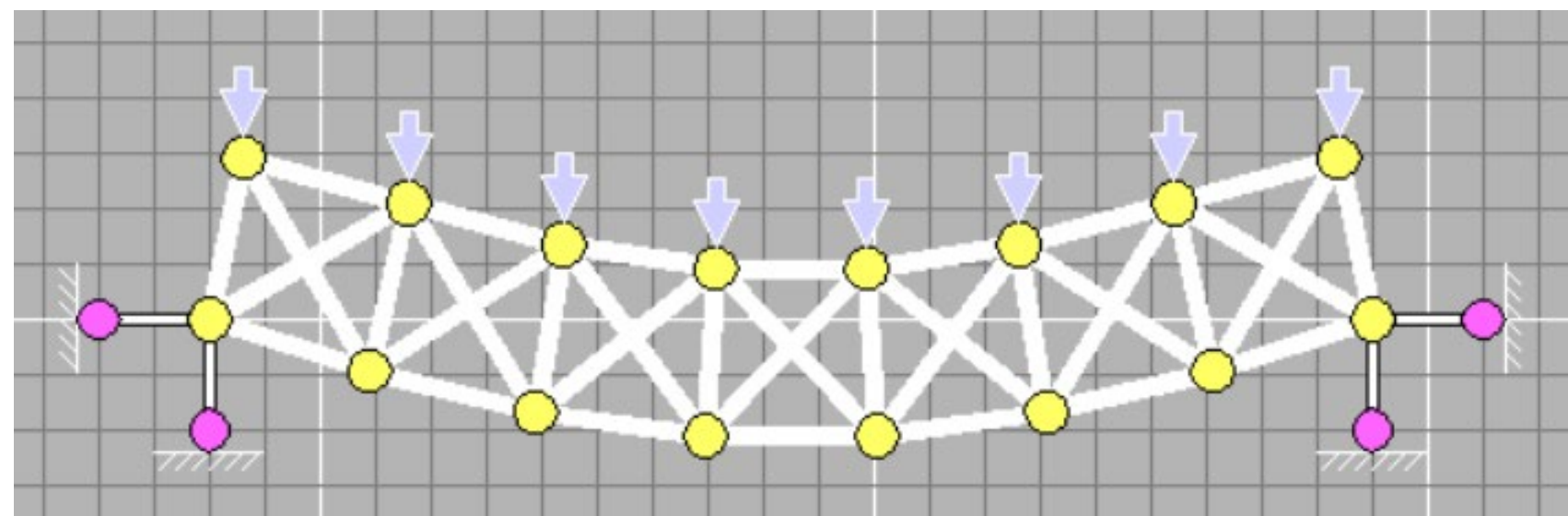
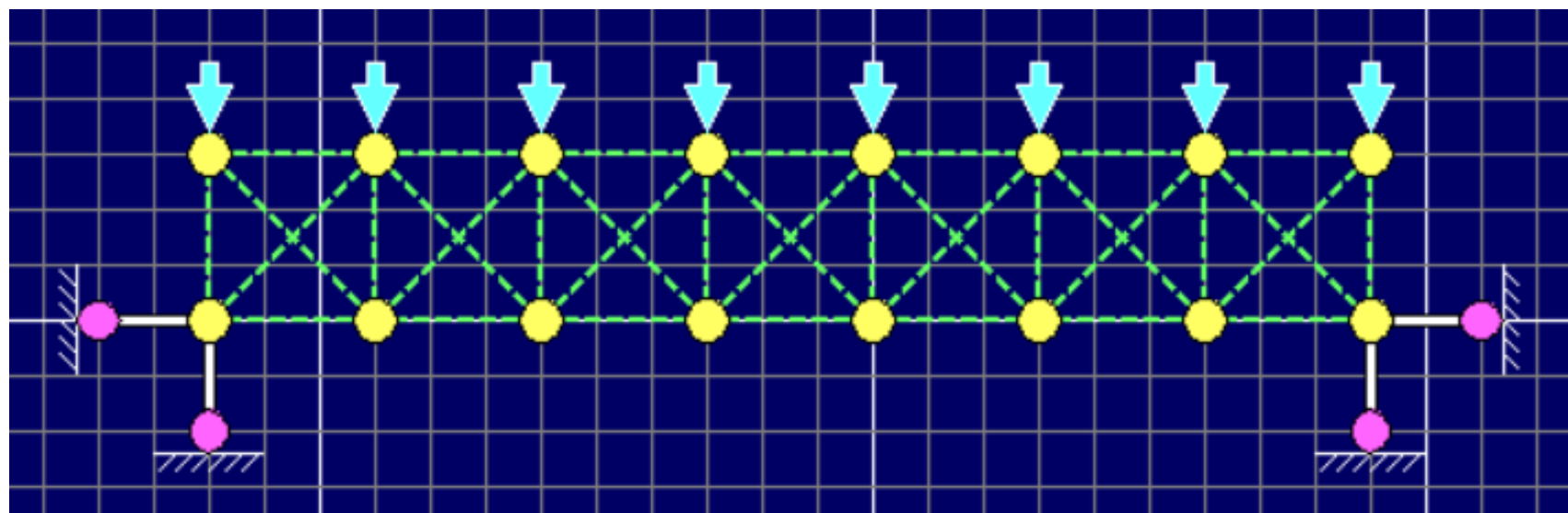
Kragbalken
Cantilever beam

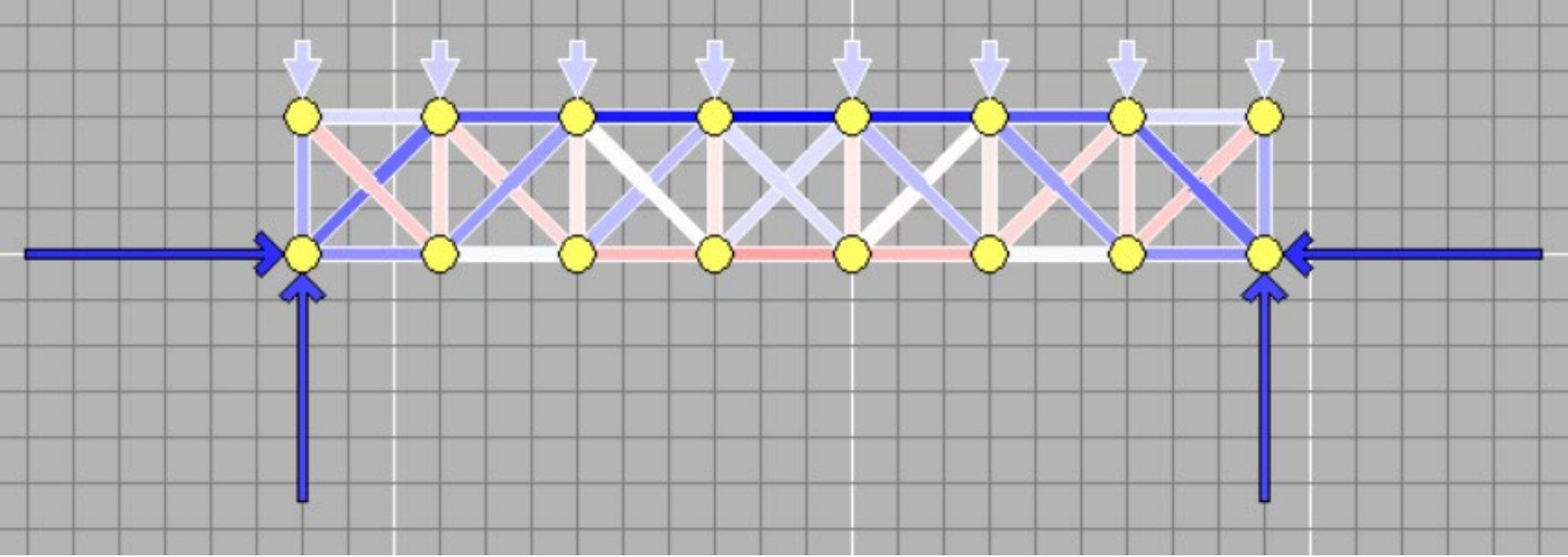


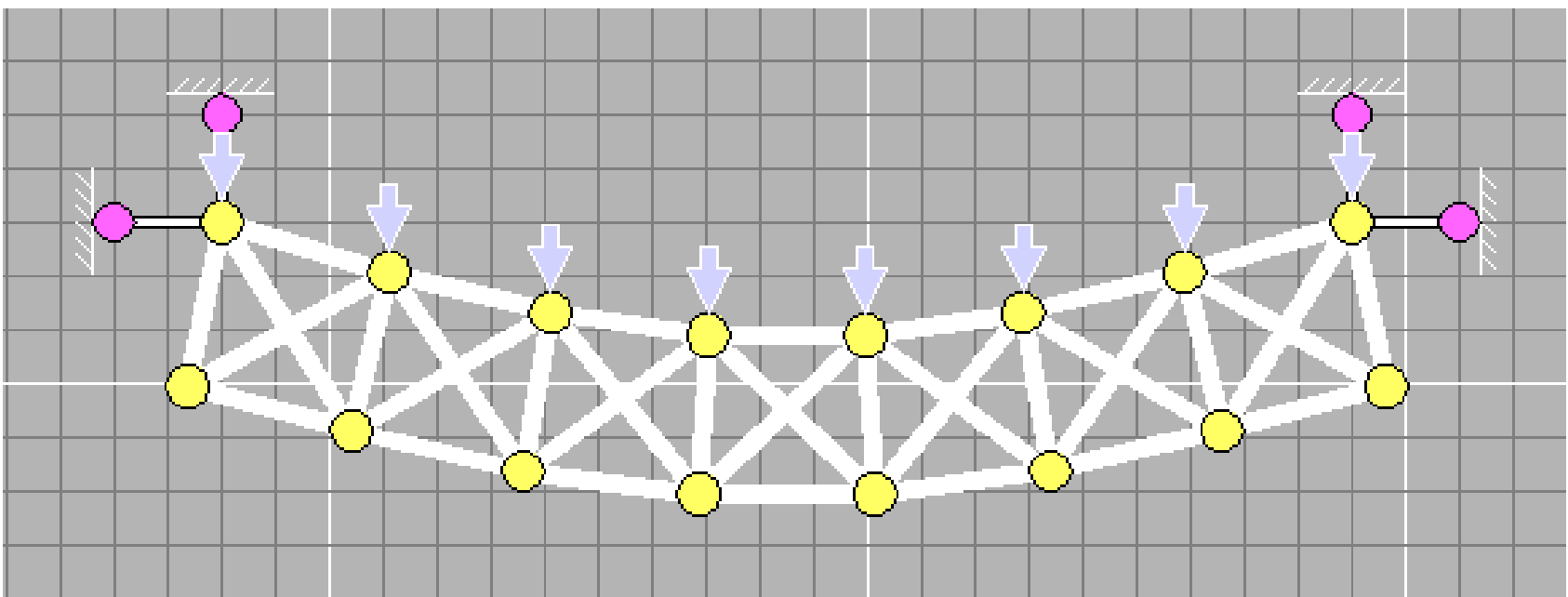
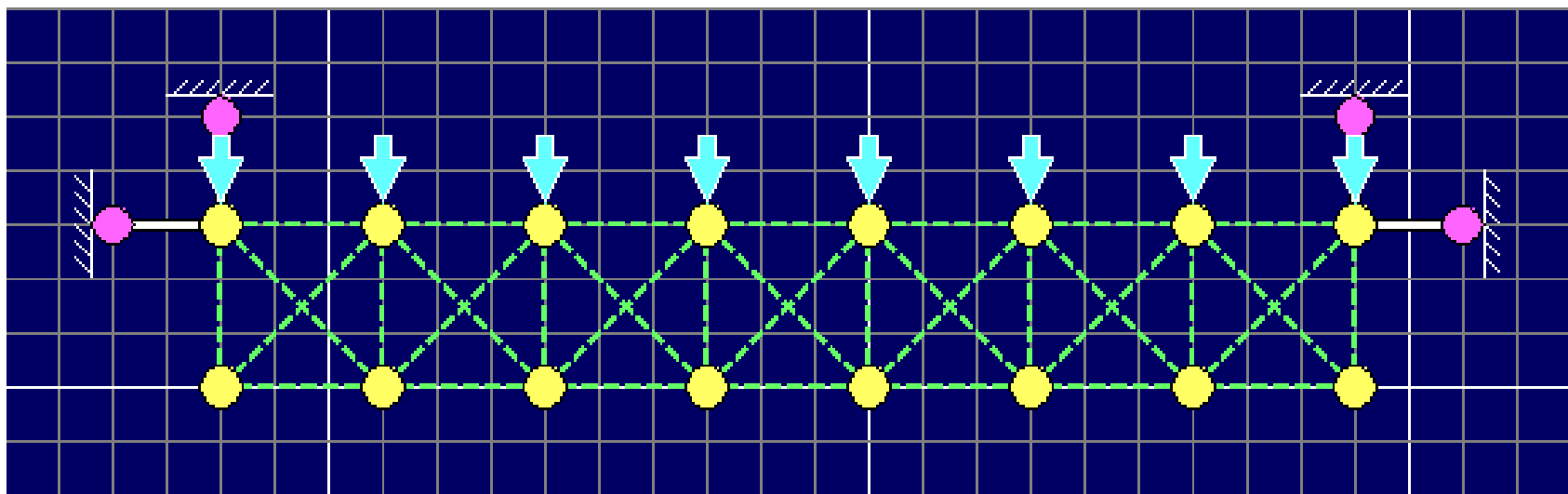
Konsolbalk

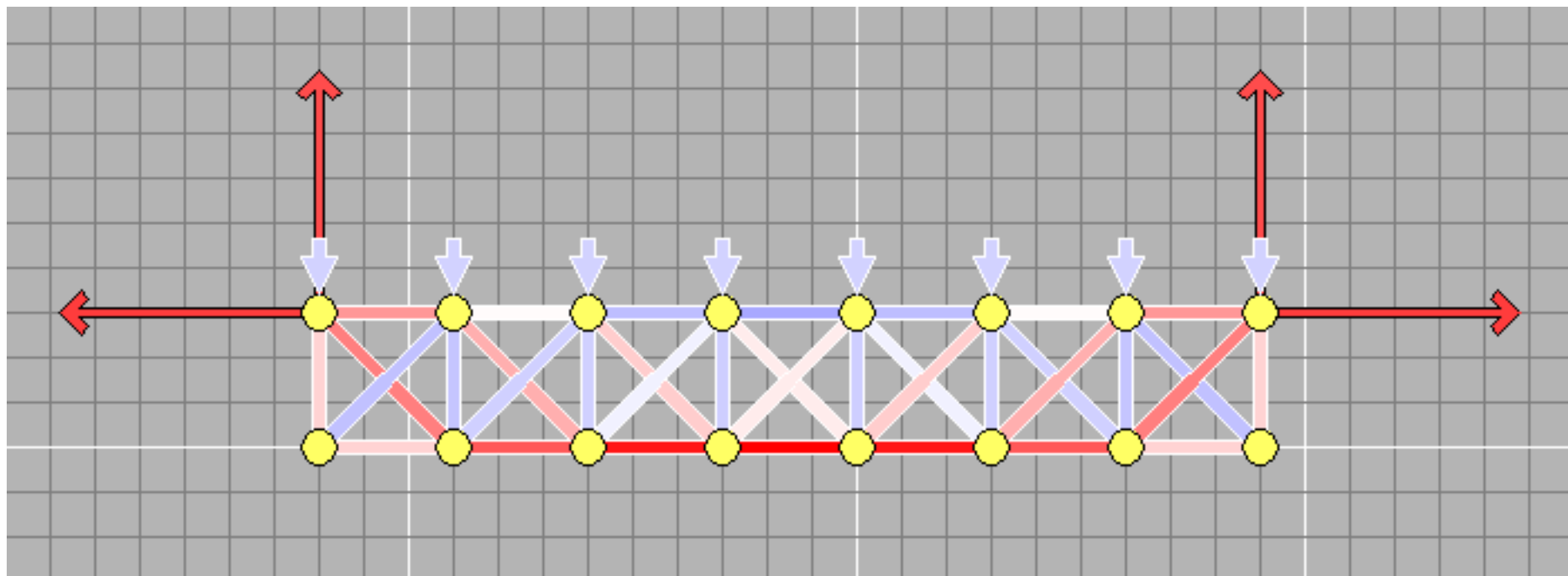
Rakt valv



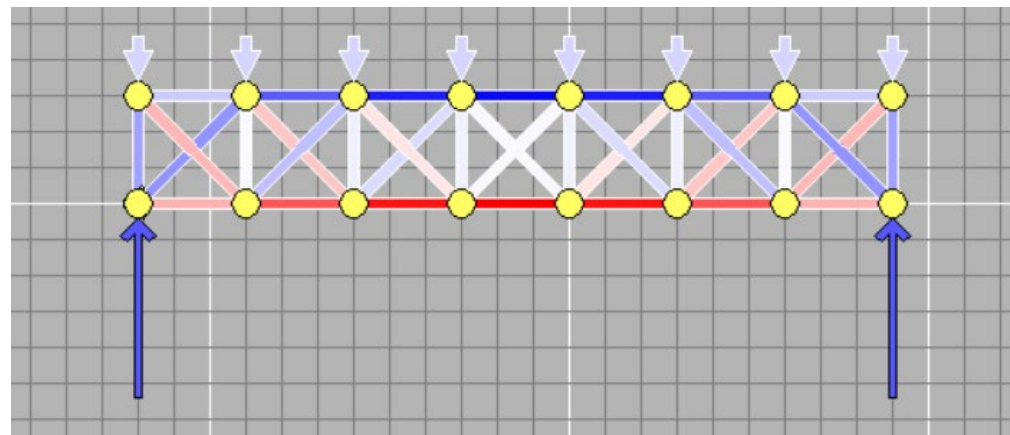
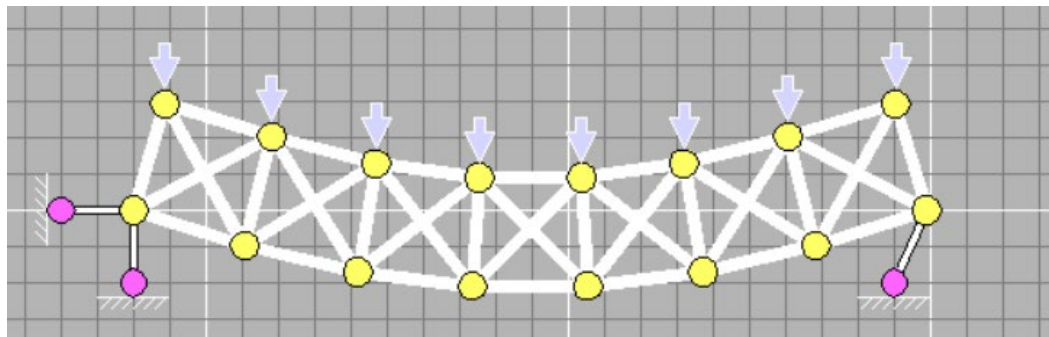
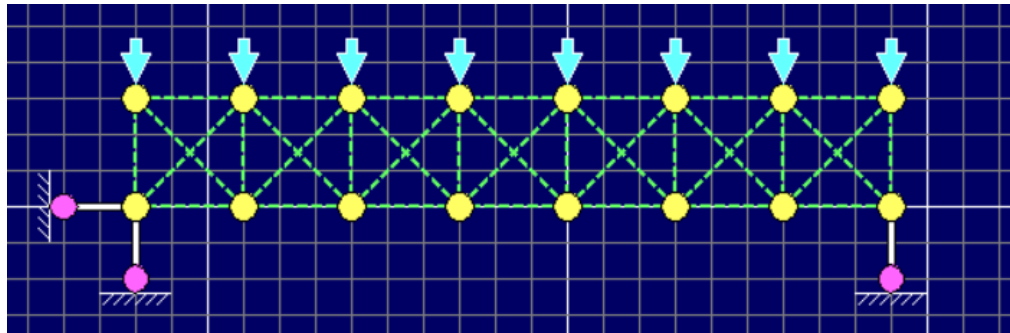


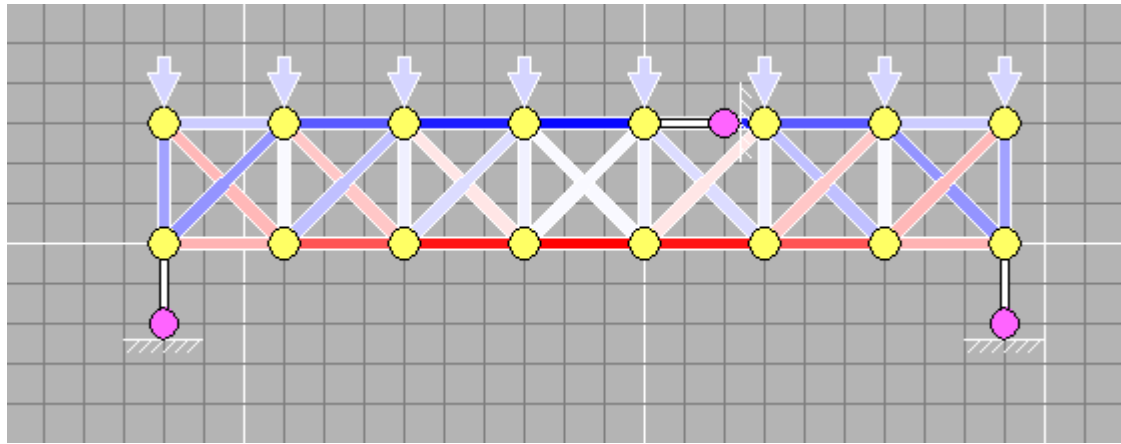
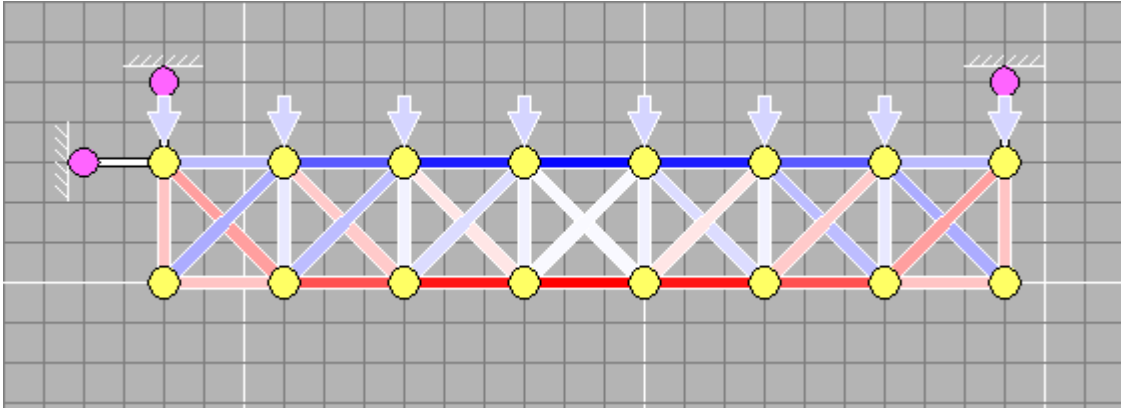
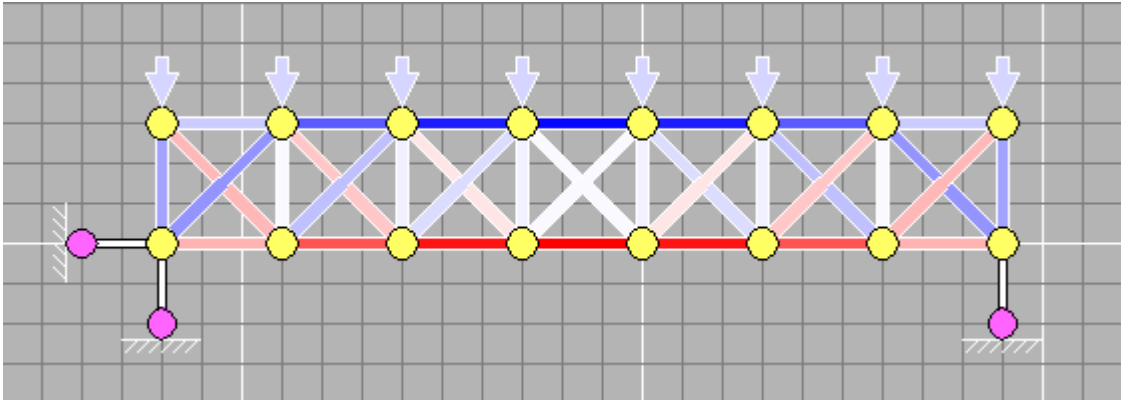




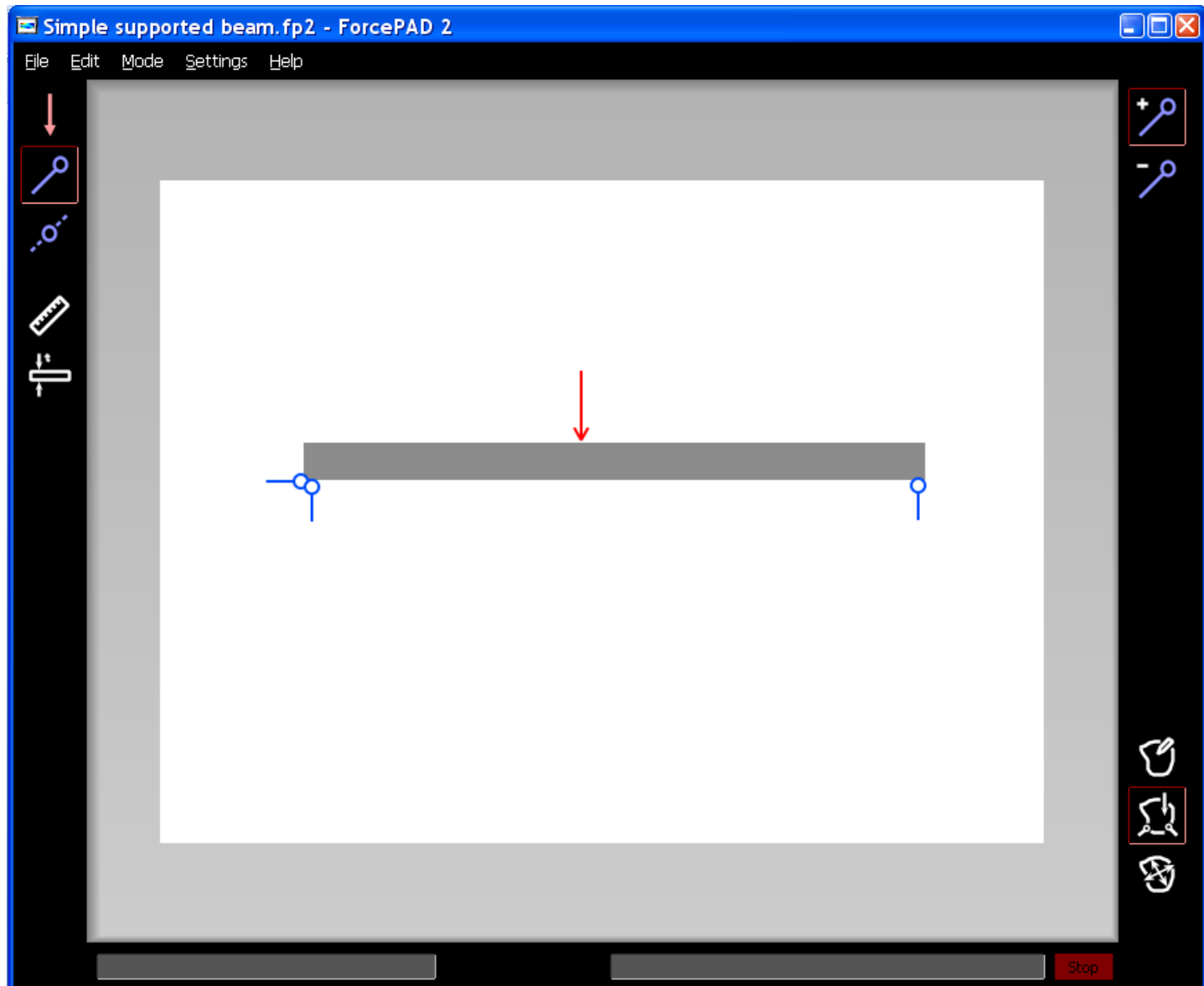


Fritt upplagd balk

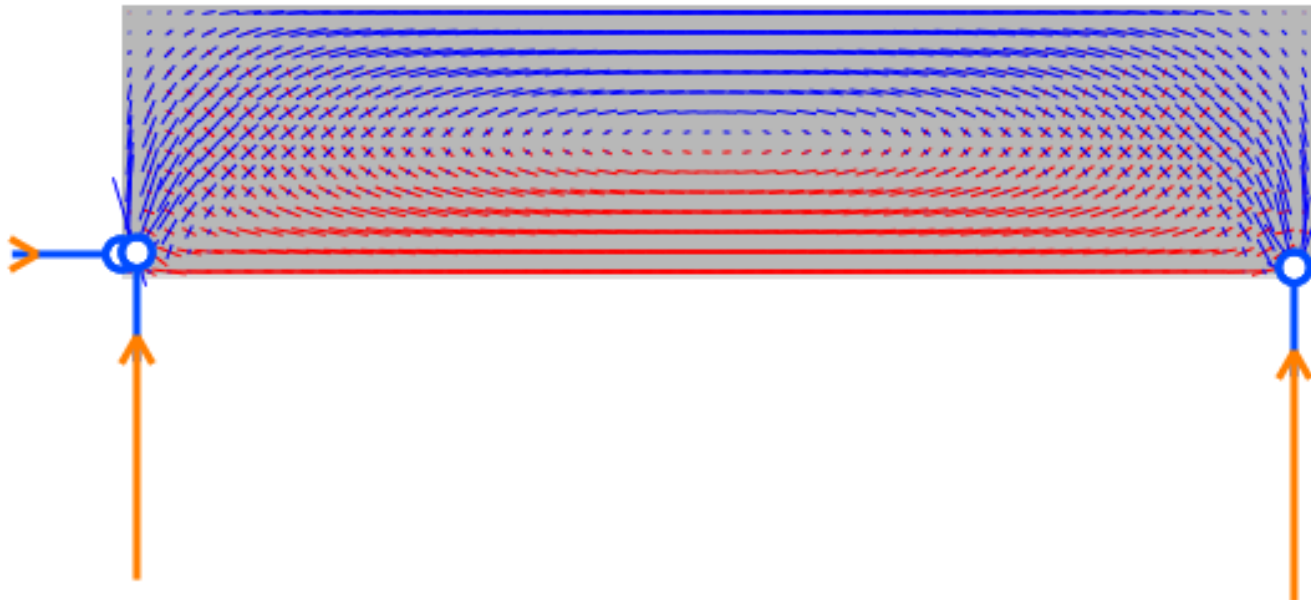
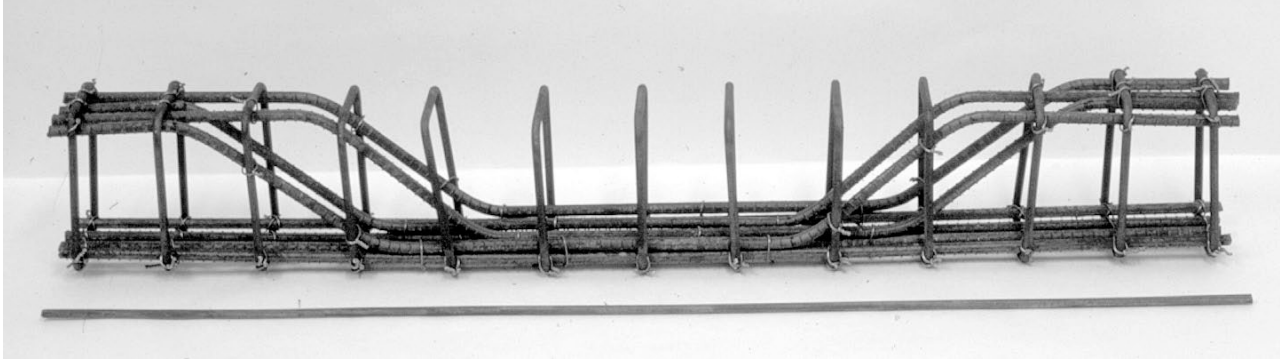




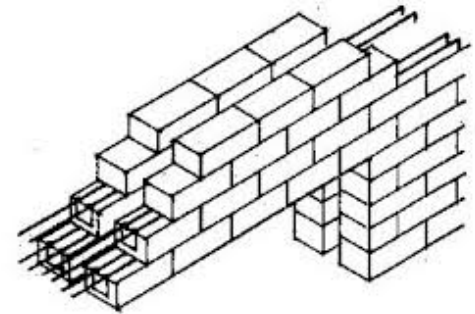
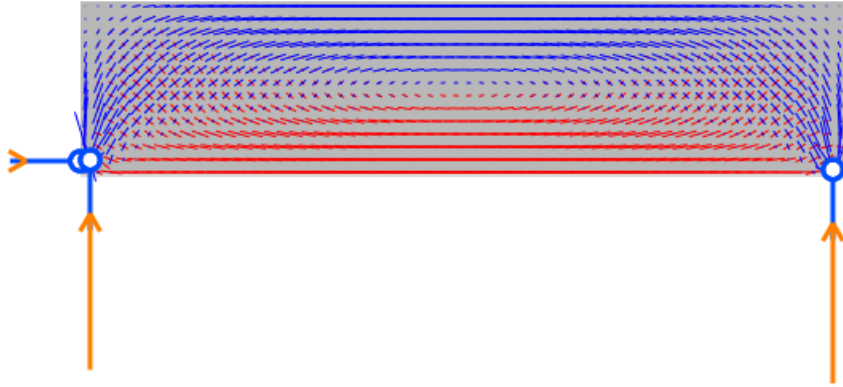
ForcePAD



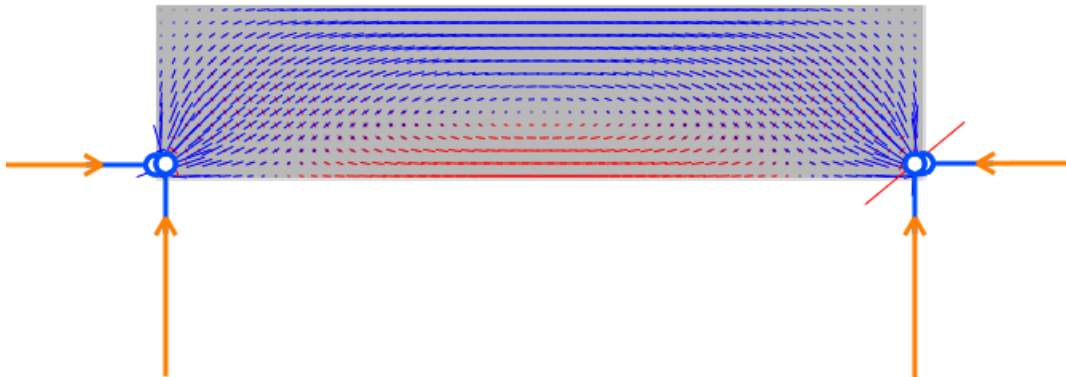
Fritt upplagd betongbalk



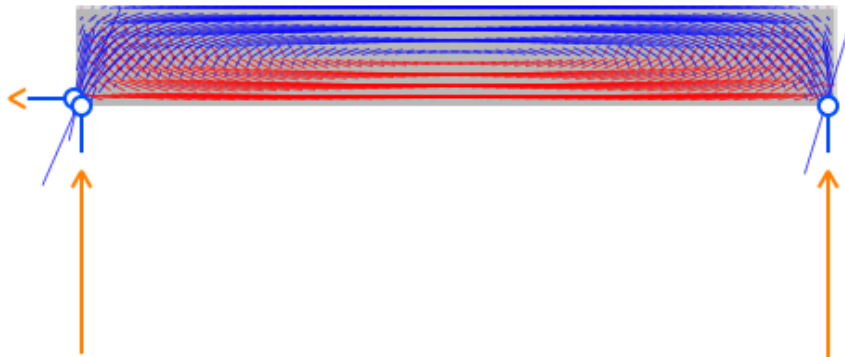
Fritt upplagd tegelbalk

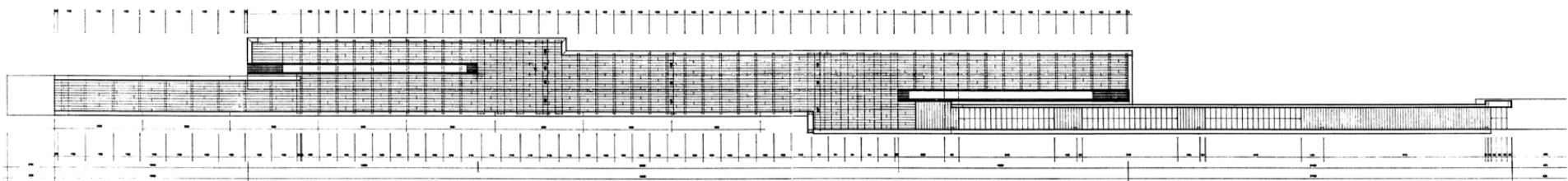
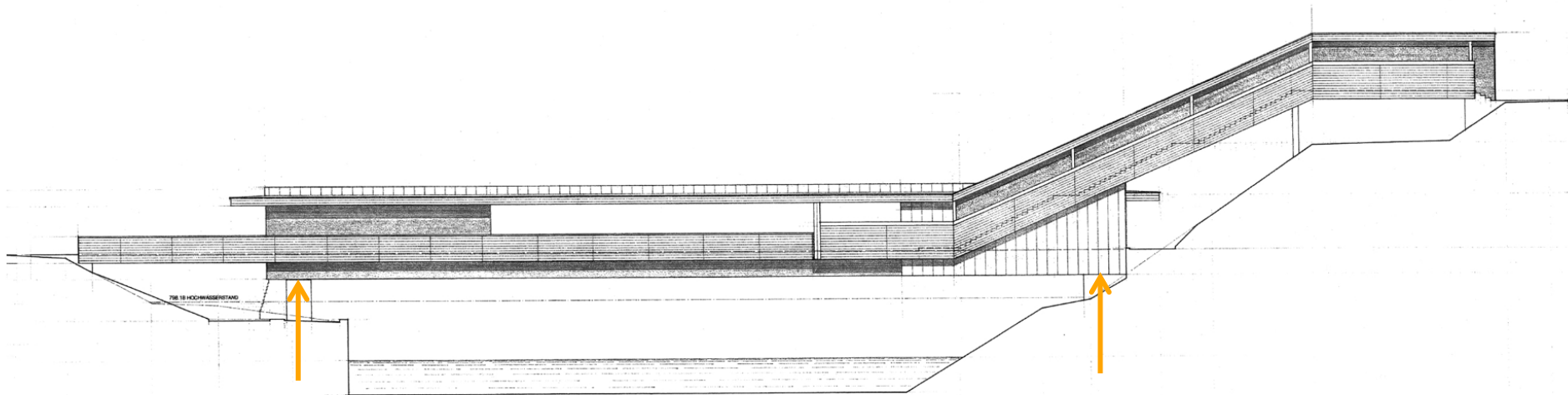
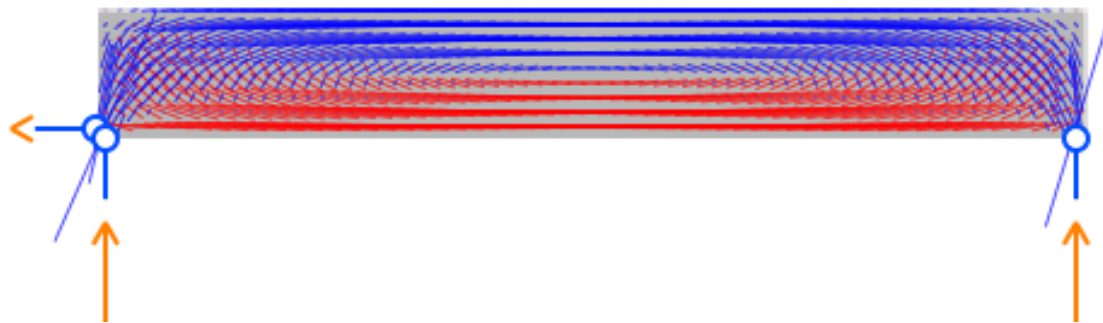


Rakt valv



Murau, Österreich, 1992
Meili & Peter
Jürg Conzett

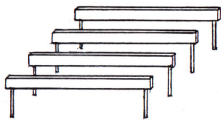




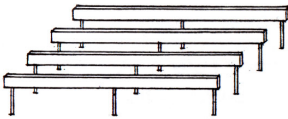
Balktyper

3.1 Balken-Systeme / Beam systems

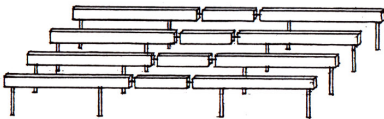
Einfeldbalken
One-bay beam



Durchlaufbalken
Continuous beam



Gelenkbalken
Pin-jointed beam



Kragbalken
Cantilever beam



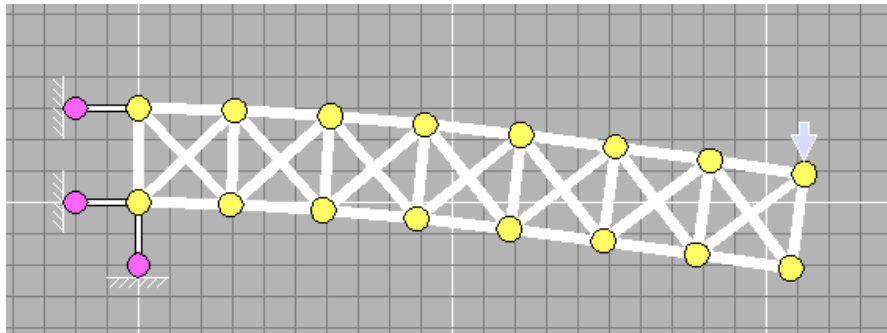
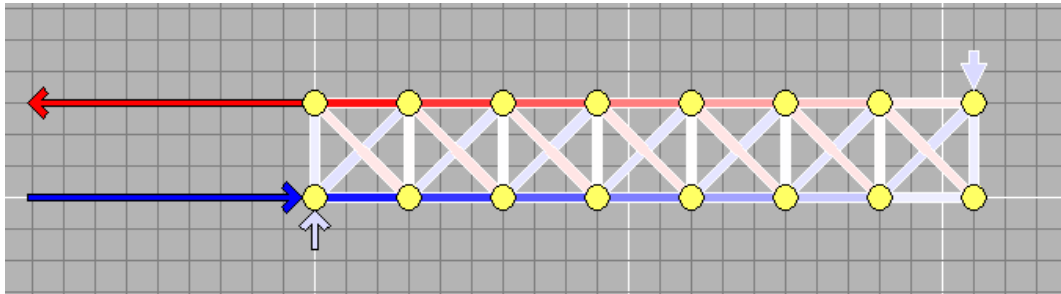
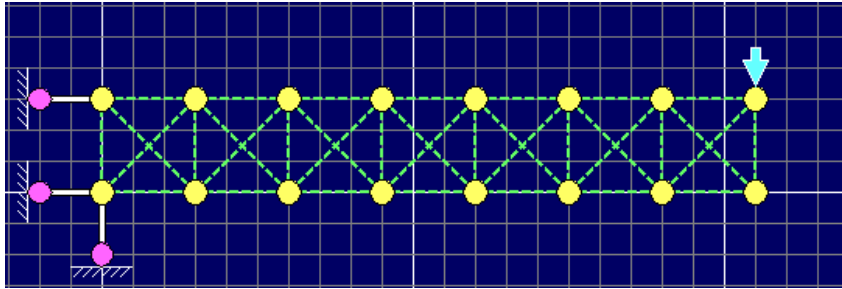
Fritt upplagd balk

Kontinuerlig balk

Gerber-balk

Konsolbalk

Konsolbalk

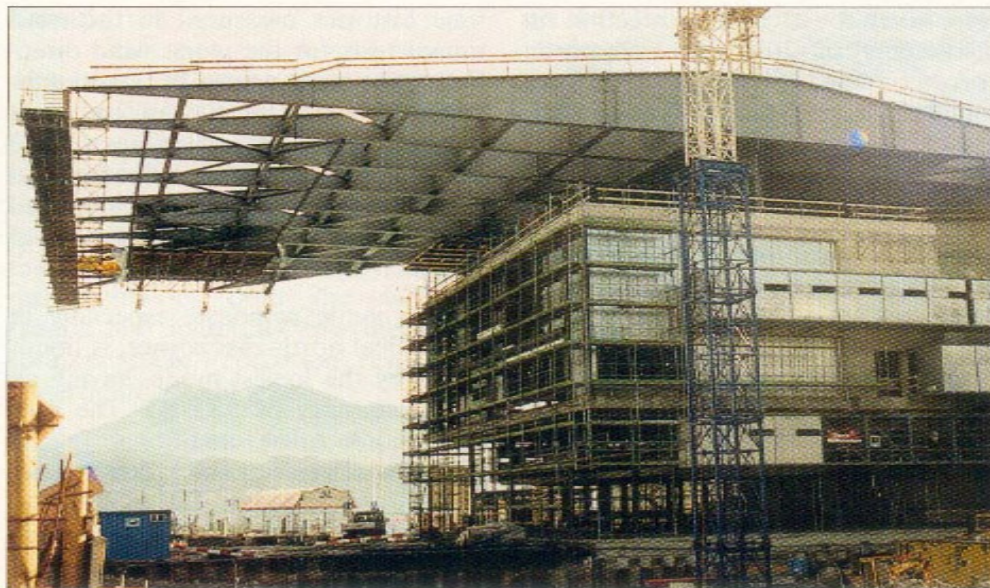


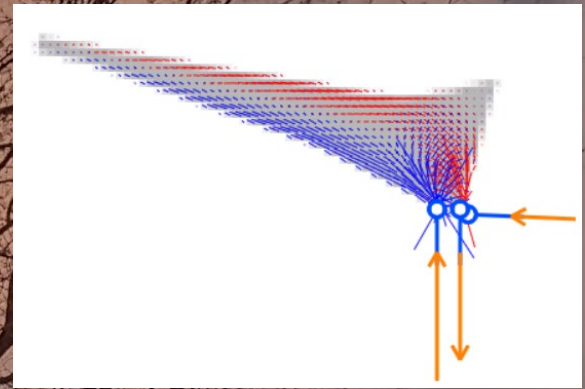


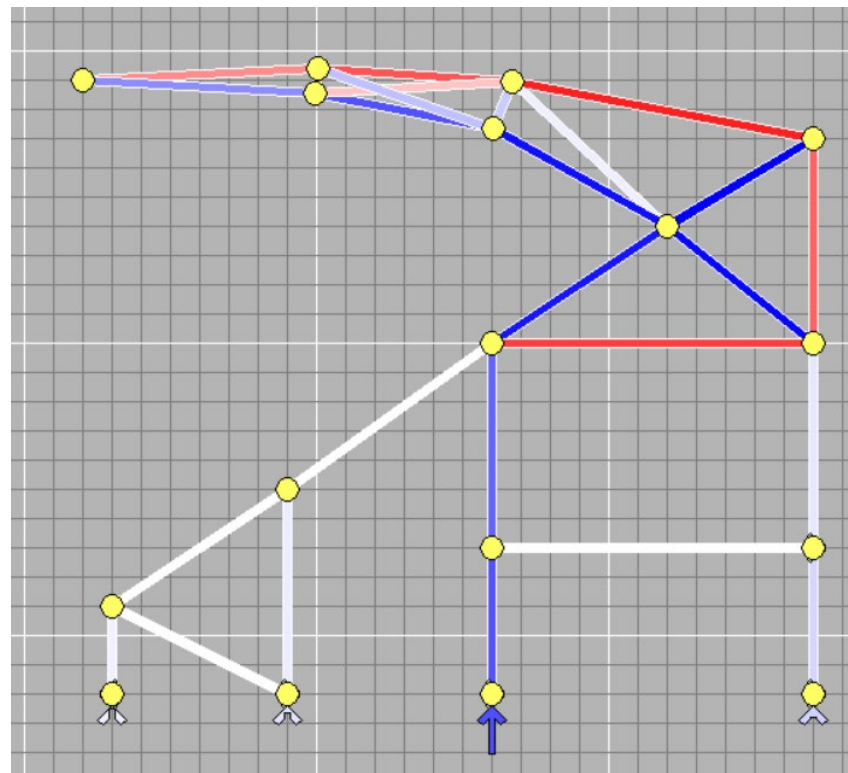
MDRDV, Amsterdam



**Kongreshalle
Luzern
Jean Novel**







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

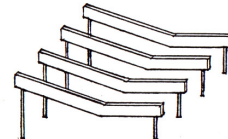
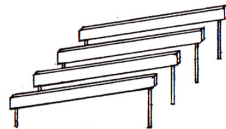
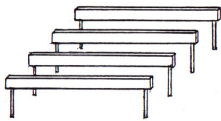


Falling Water
Frank Lloyd Wright

Balktyper

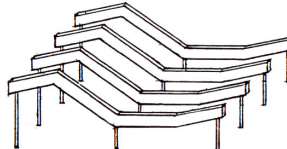
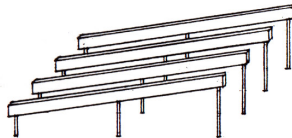
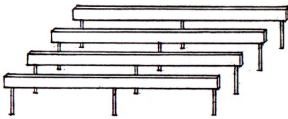
3.1 Balken-Systeme / Beam systems

Einfeldbalken
One-bay beam



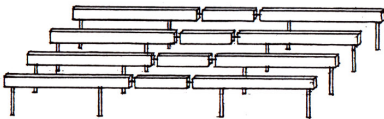
Fritt upplagd balk

Durchlaufbalken
Continuous beam



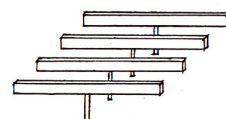
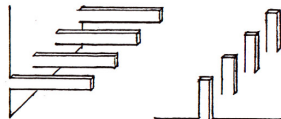
Kontinuerlig balk

Ogelenkbalken
Pin-jointed beam



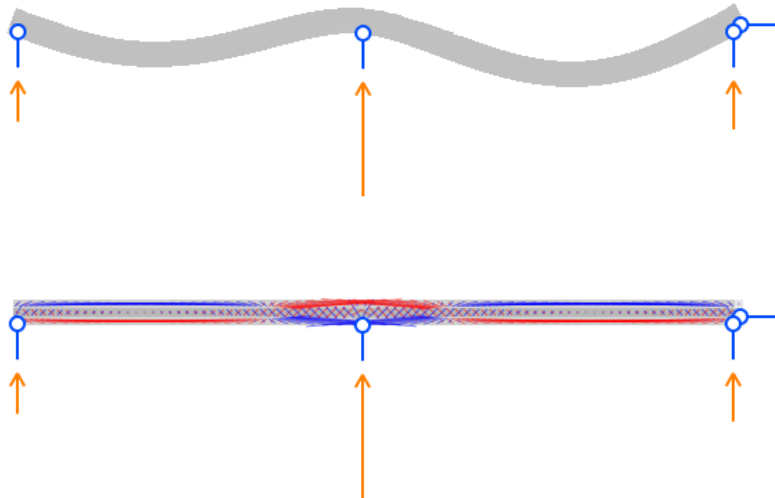
Gerber-balk

Kragbalken
Cantilever beam

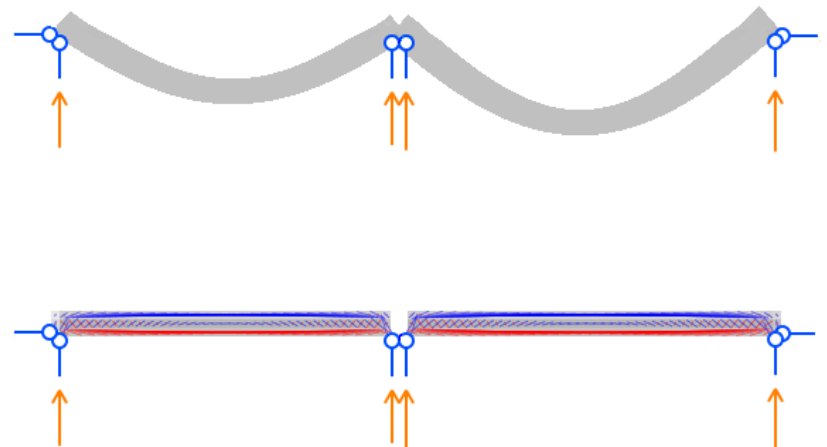


Konsolbalk

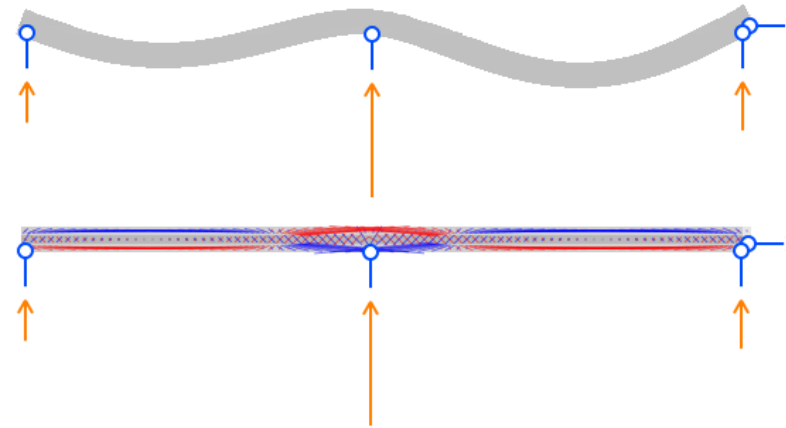
Kontinuerlig balk



Fritt upplagda balkar



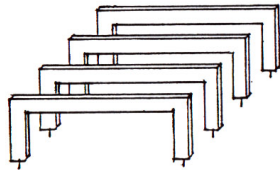
Skarv där krökningen
(momentet) är noll
inflexionspunkt



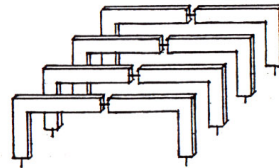
Ramtyper

3.2 Rahmen-Tragwerke / Frame structures

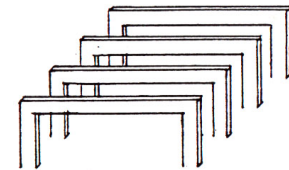
Tvåledsram



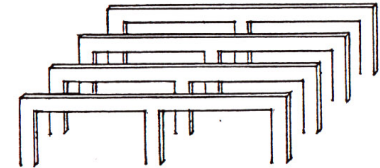
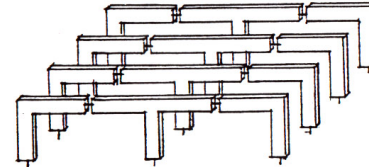
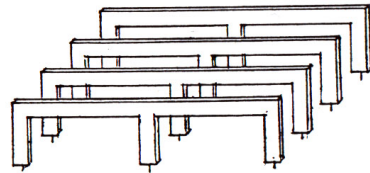
Treledsram



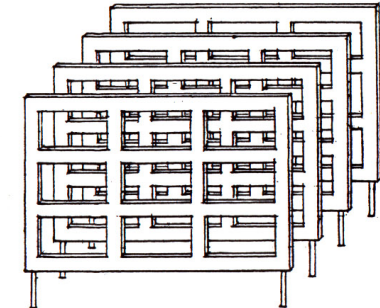
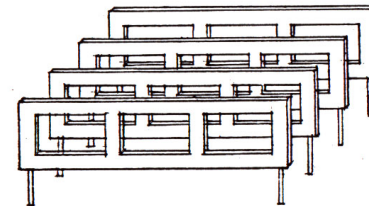
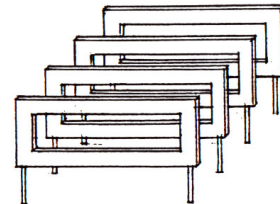
Einfeldrahmen
One-bay frames



Mehrfeldrahmen
Multipanel frames

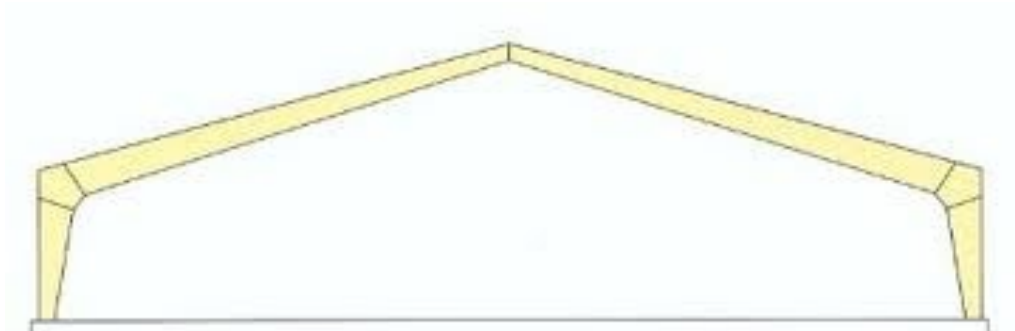
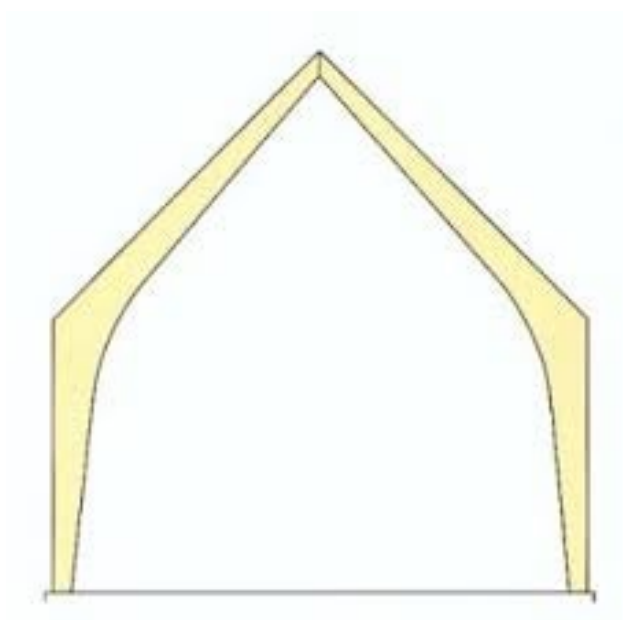


Geschoßrahmen
Story frames



Virendelbalk





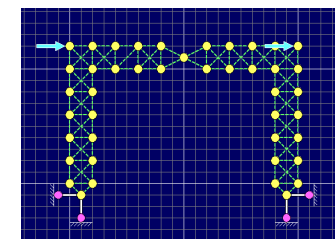
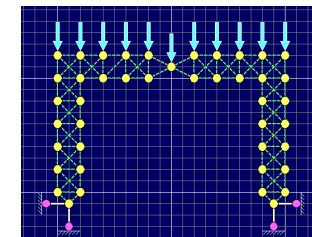
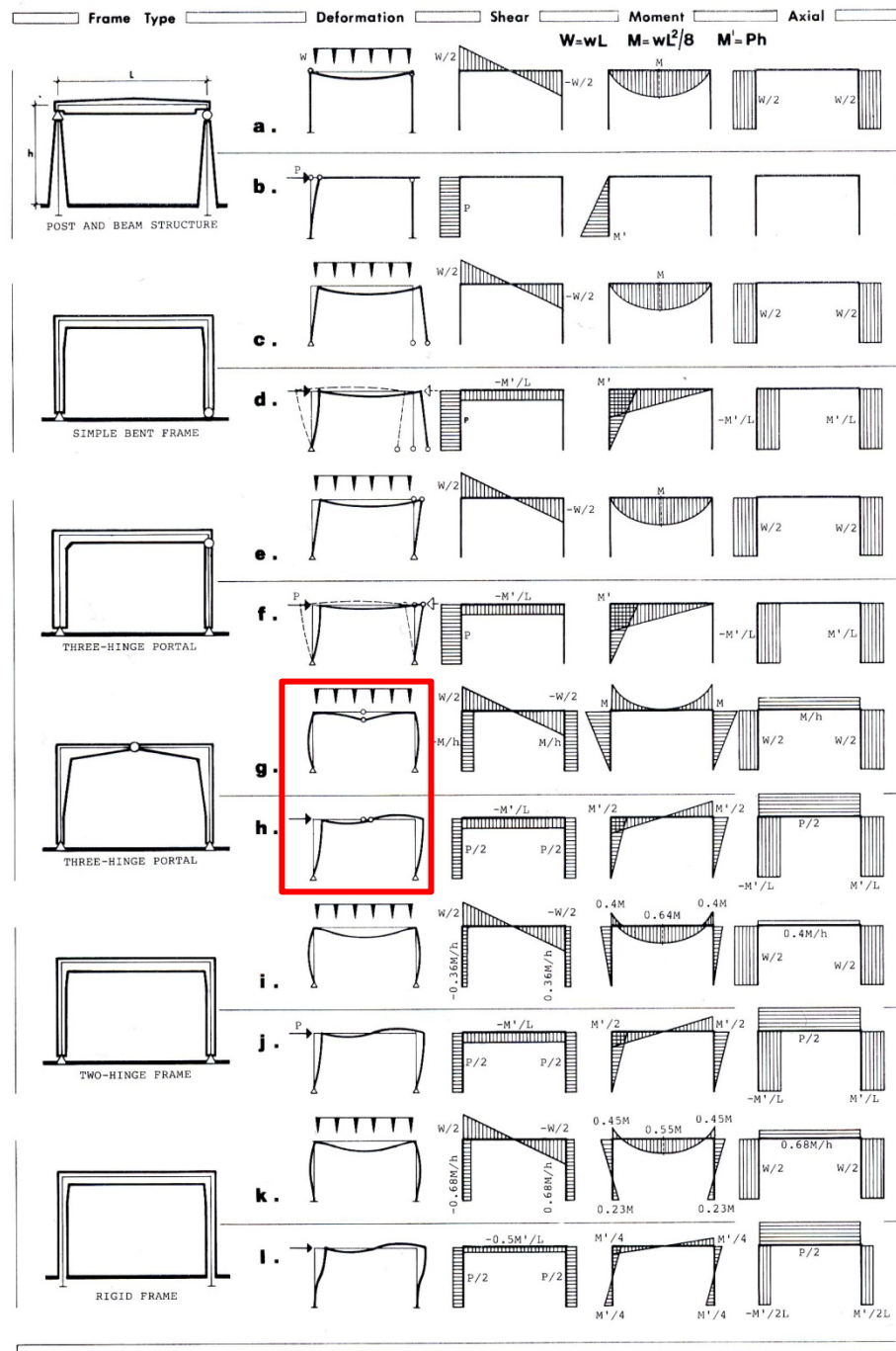
Olika ramverk och formgivning av knutpunkter

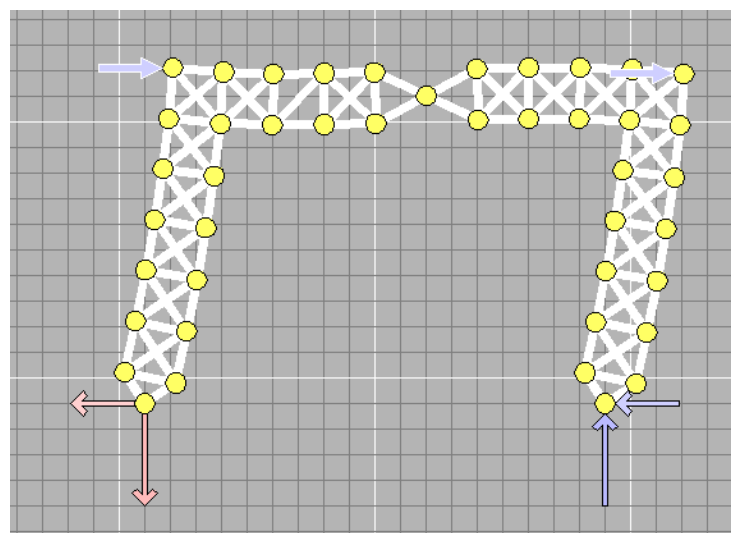
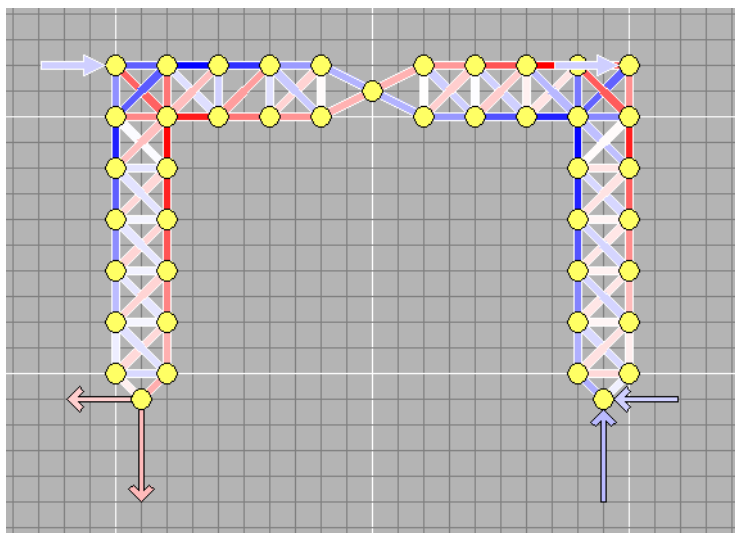
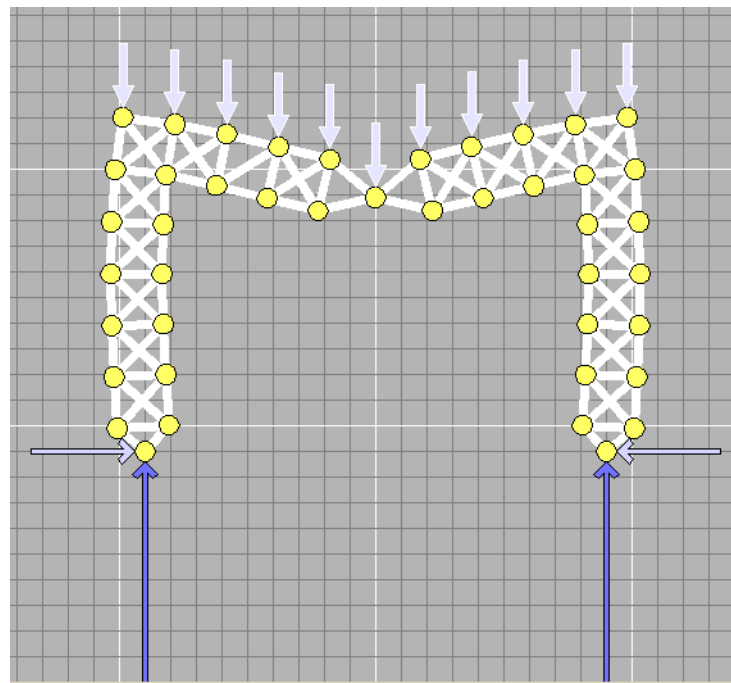
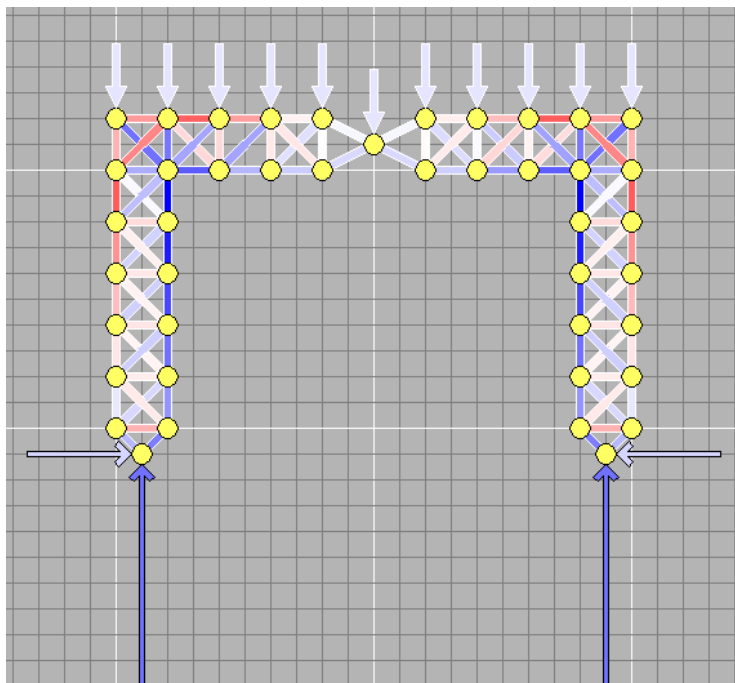
Deformationsfigurer

Tvärkrafts-diagram

Moment-diagram

Normalkrafts-diagram





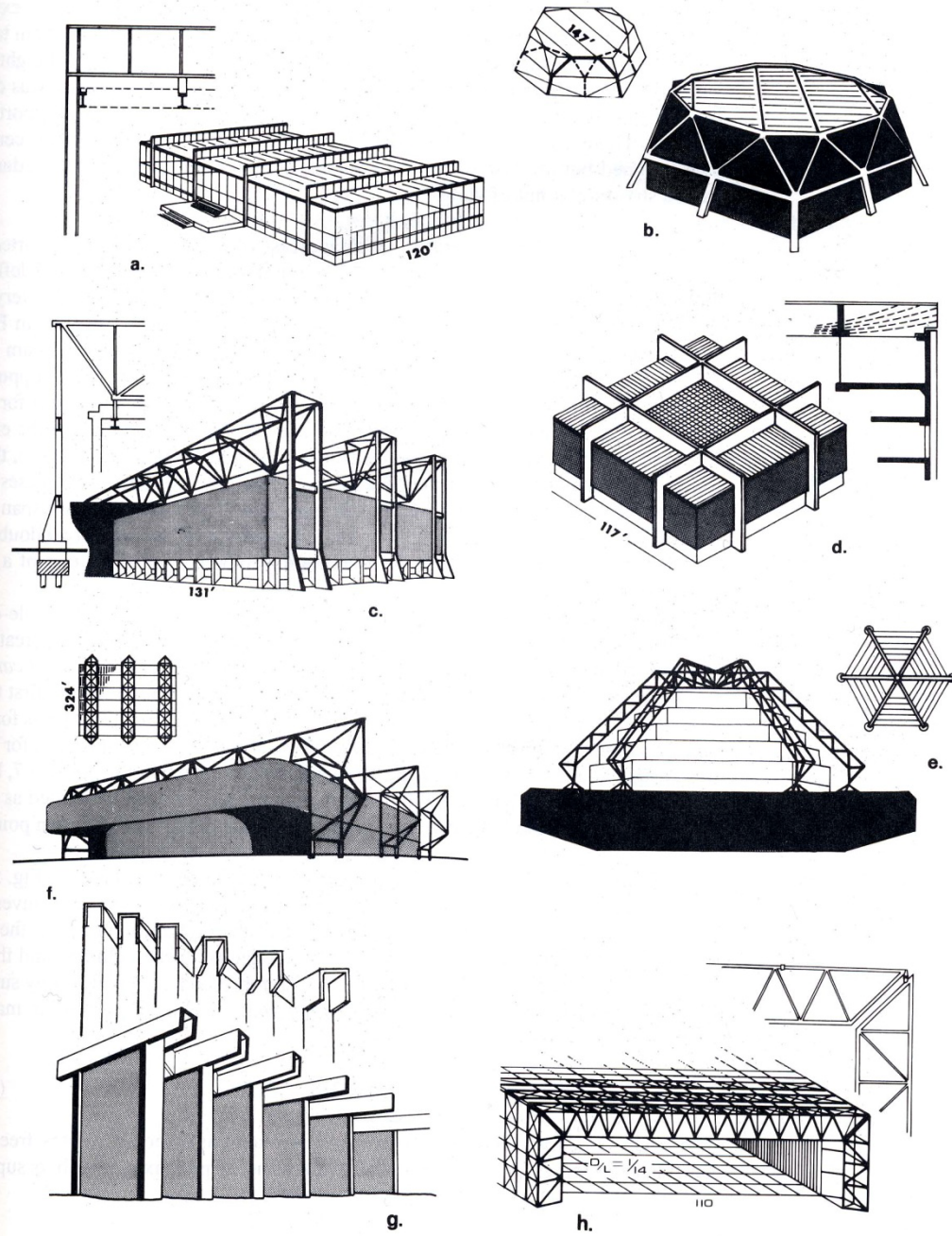
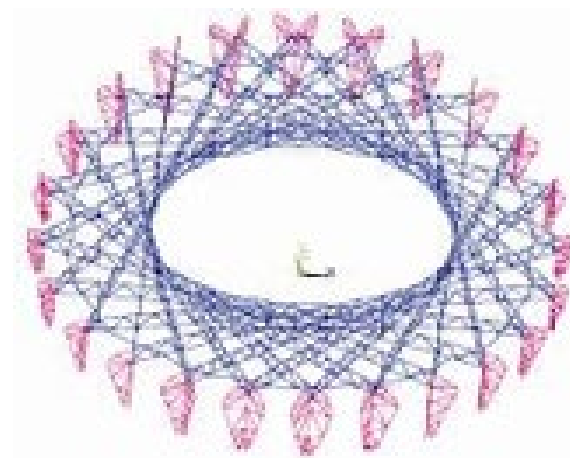


Figure 5.6 Single-bay portal frames.



Horisontell stabilisering med ramar

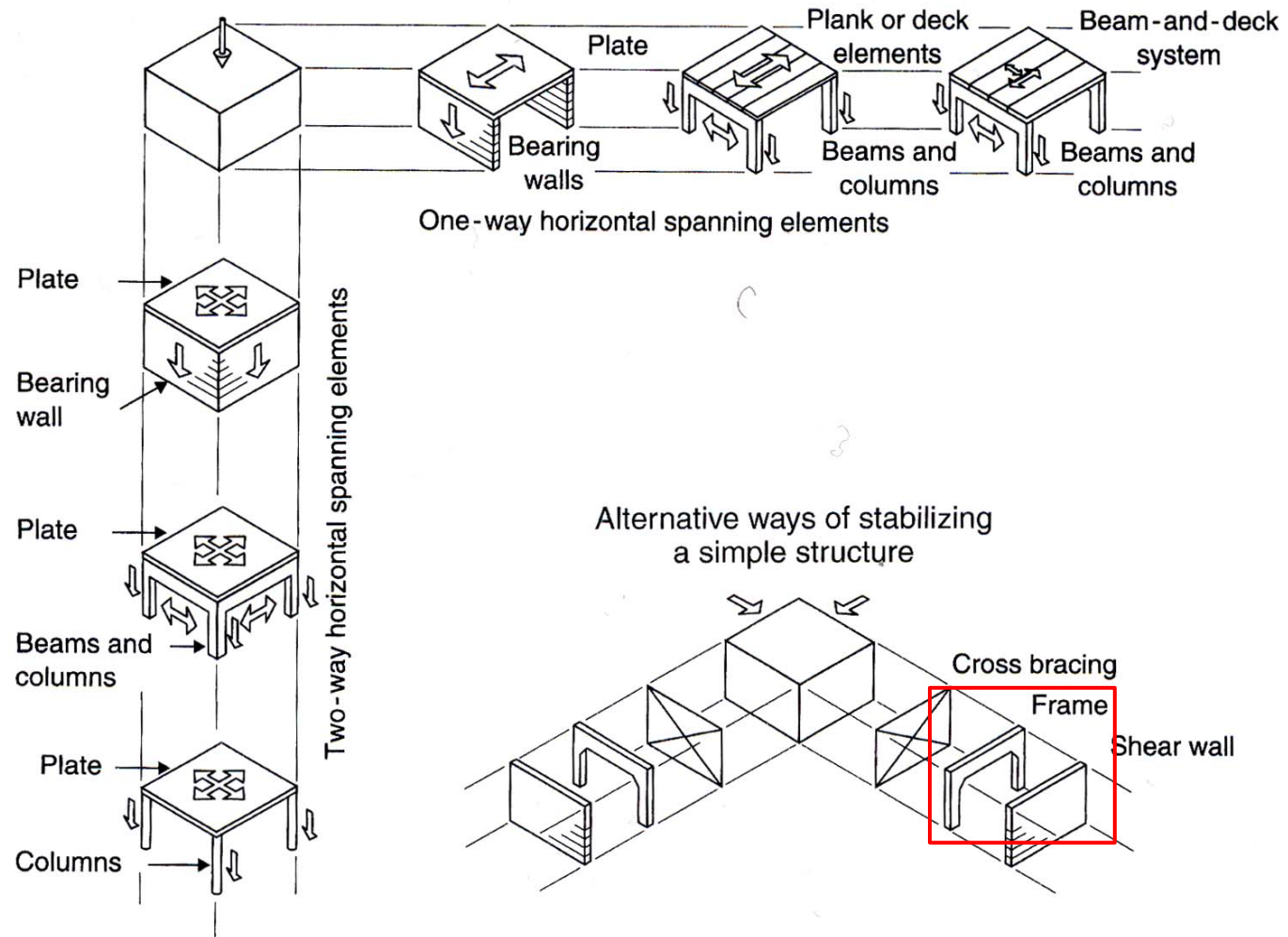
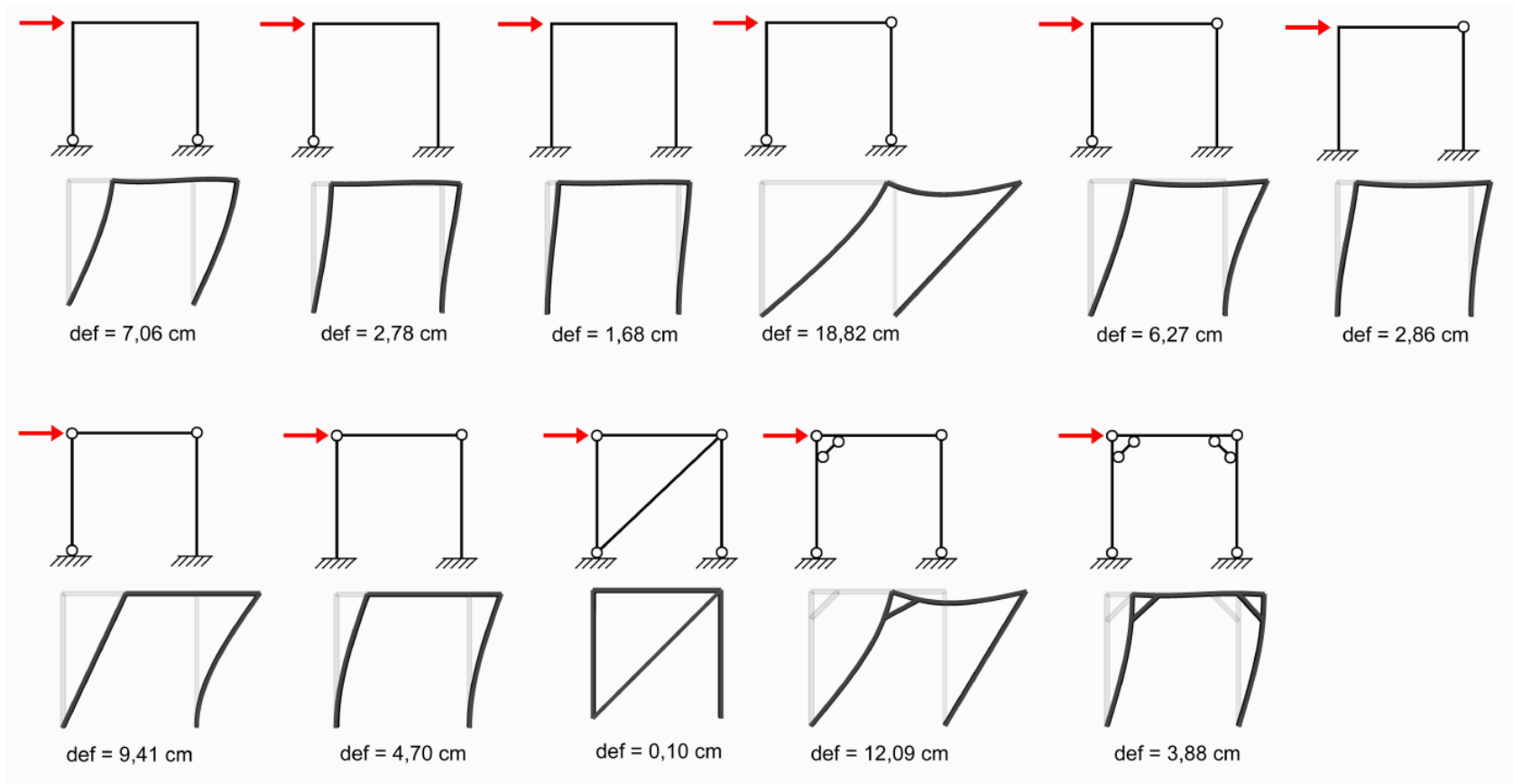


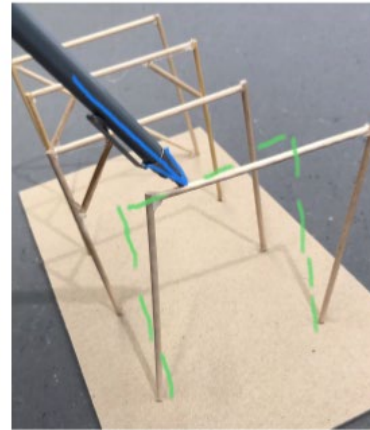
Figure 1.7 Common structural options for a typical volumetric unit.

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.



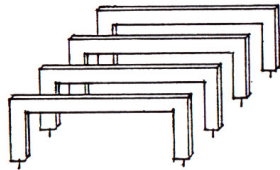


Ramtyper

3.2 Rahmen-Tragwerke / Frame structures

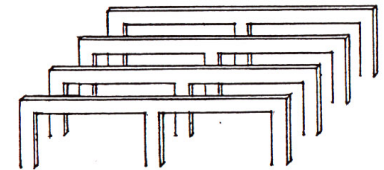
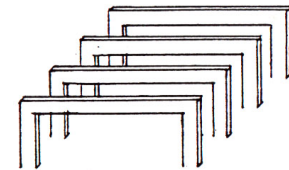
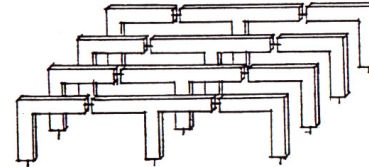
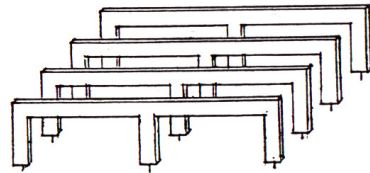
Tvåledsram

Einfeldrahmen
One-bay frames

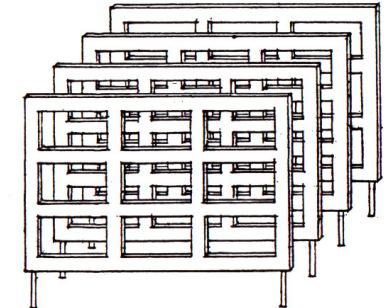
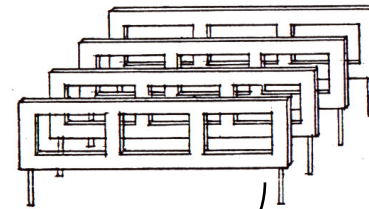
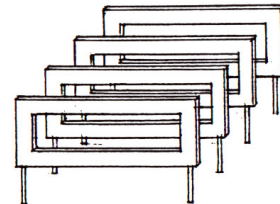


Treledsram

Mehrfeldrahmen
Multipanel frames



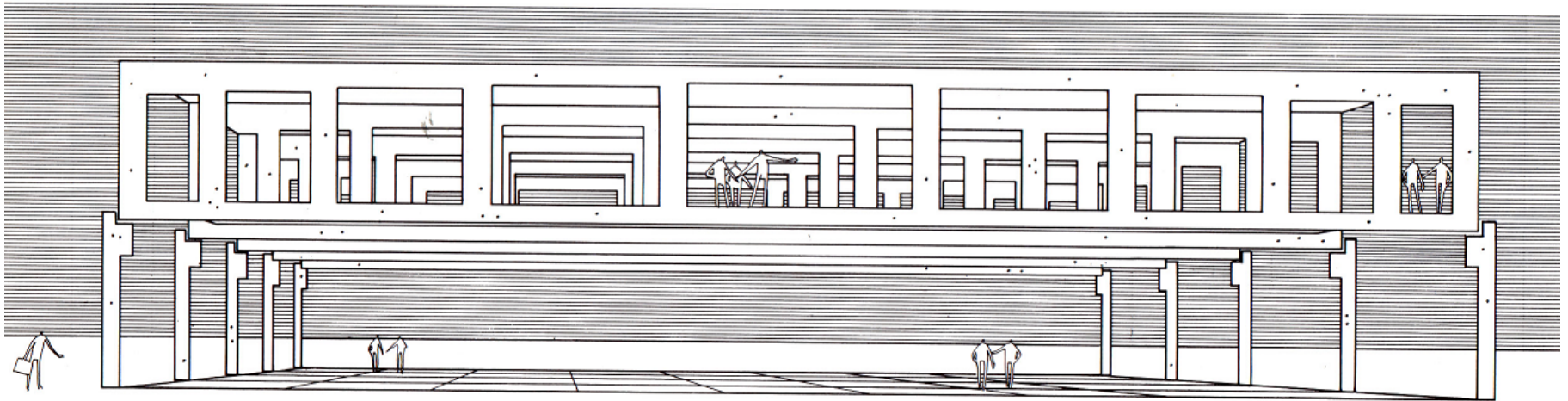
Geschoßrahmen
Story frames



Virendelbalk

Weitgespannte Tragsysteme aus Mehrfeld-Rahmen

longspan structure systems composed of multi-panel frames



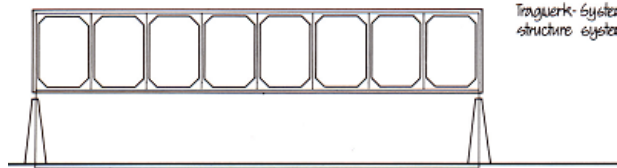
Eingeschossiger Mehrfeldrahmen auf zwei Stützen

single-story multi-panel frame supported at both ends

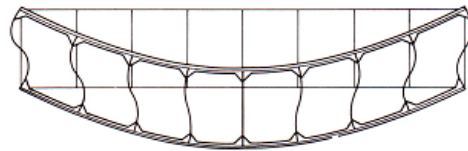
Trumpf Smart Factory Chicago



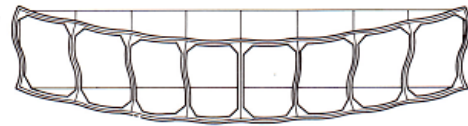
Beziehung zwischen Rahmenteilung und Mechanismus des Mehrfeld-Rahmens / relationship between panel design and mechanism of multi-panel frame



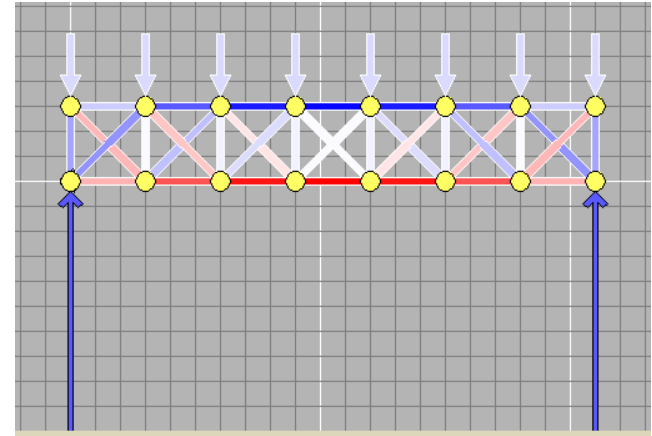
Mehrfeld-Rahmen auf zwei Stützen / multi-panel frame supported at both ends



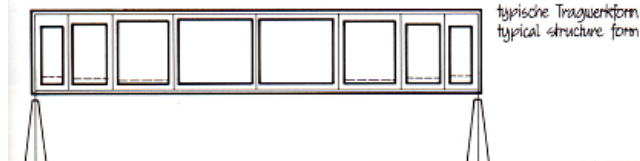
System mit Stielen ohne Biegesteifigkeit



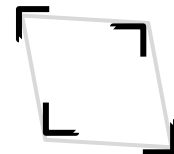
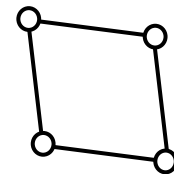
System mit biegesteifen Stielen



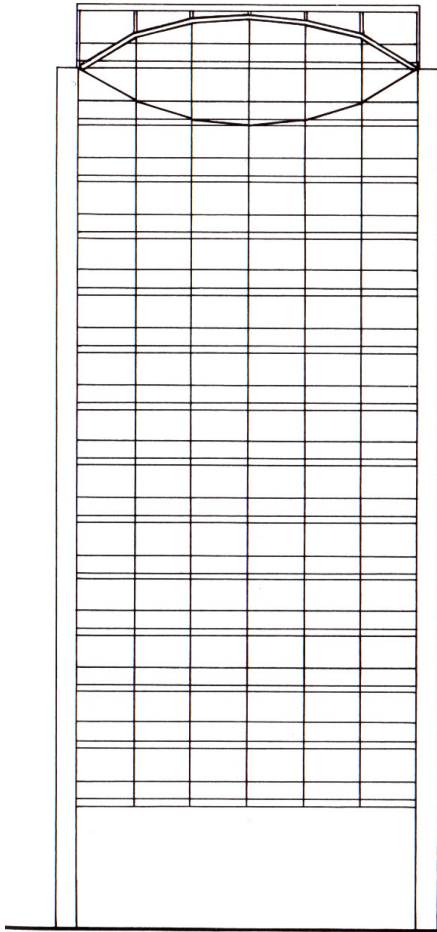
Verbreiterung der Stiele nach den Auflagern zu bei gleichgroßen Feldbreiten



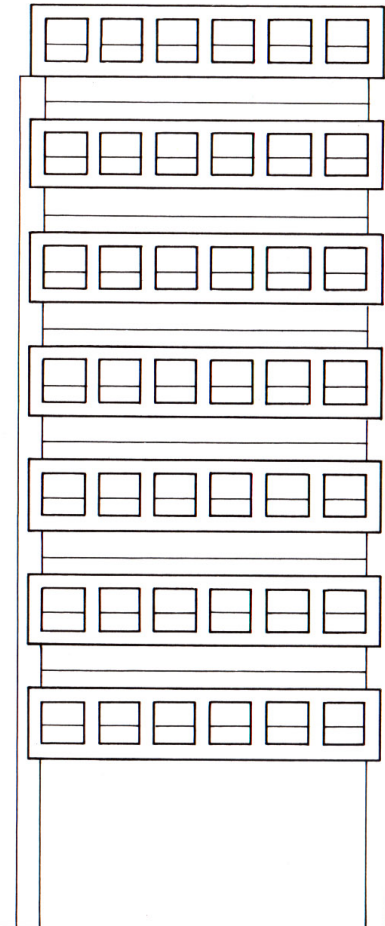
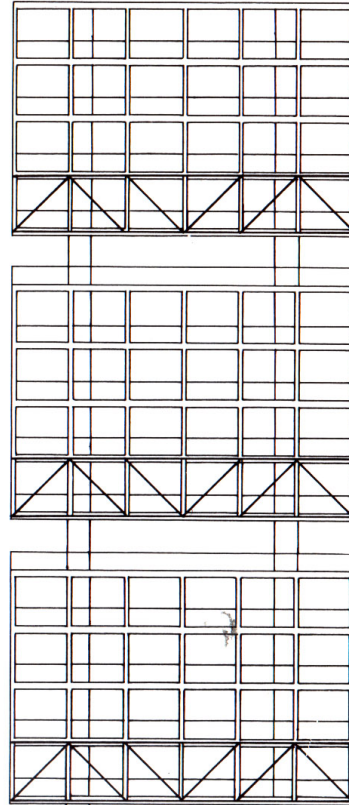
Verkleinerung der Felder nach den Auflagern zu bei gleichbleibenden Stielen



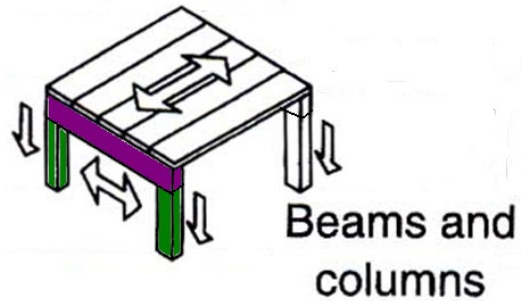
Vollgeschoß-Trägersysteme in Brücken-Hochwerken



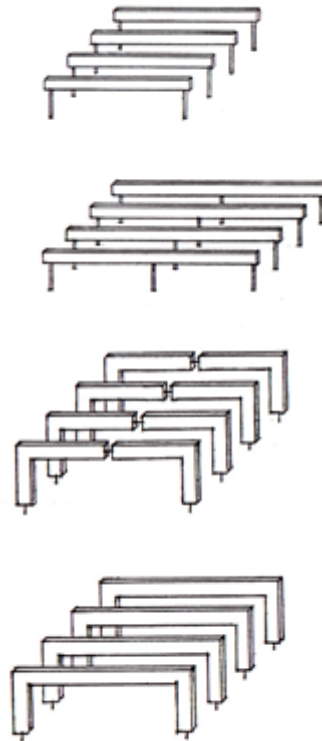
full-story girder systems in bridge highrises



Uppbyggnad



Grundtyper



Beståndsdelar

Balk
(styvhet EI/L^3)

Knutpunkt
(från stel koppling
till friktionsfri led)

Systemlinje

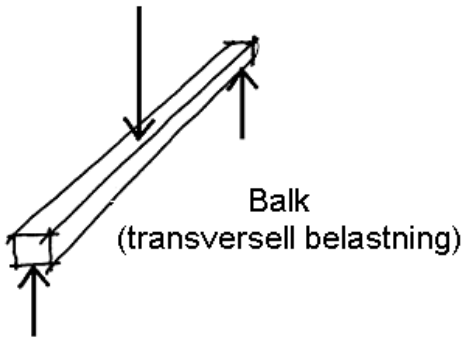
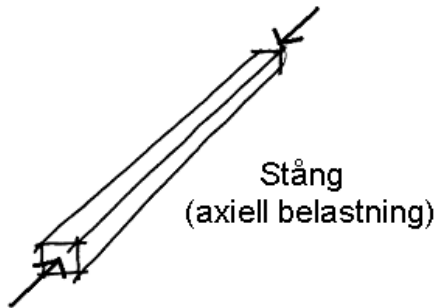


Balk

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

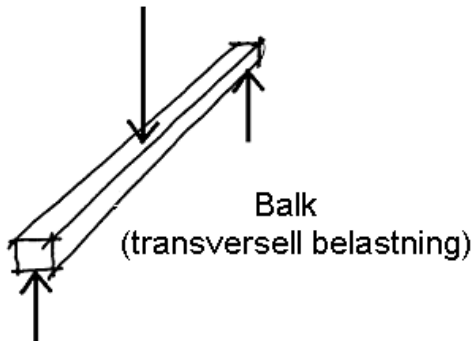
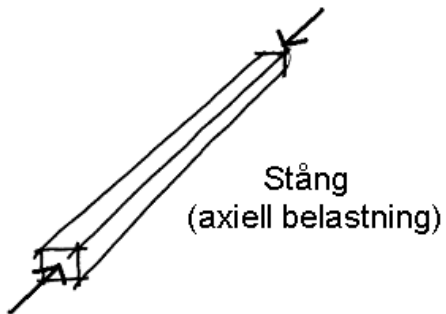
Stelkroppsjämvikt

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)

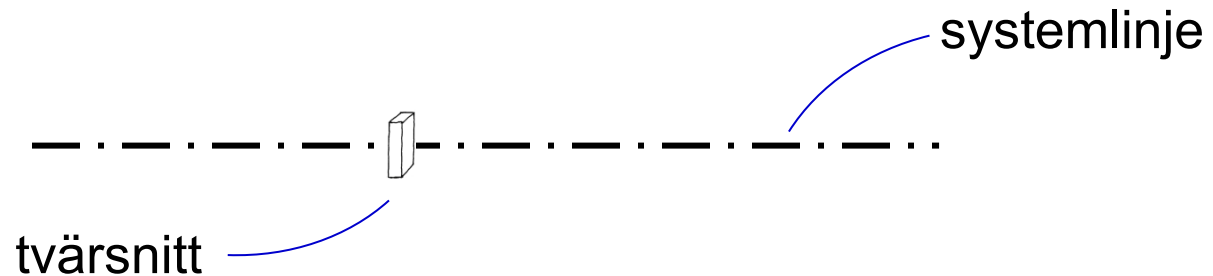
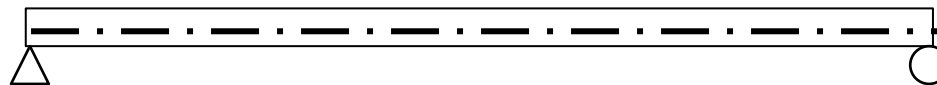
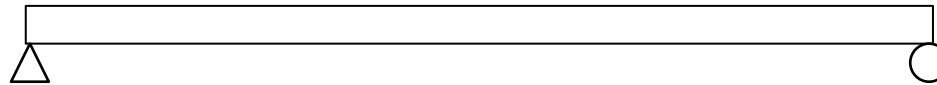
L = längd



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

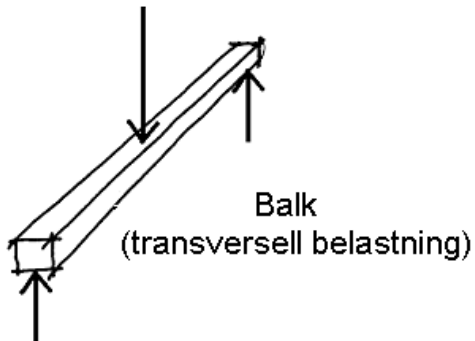
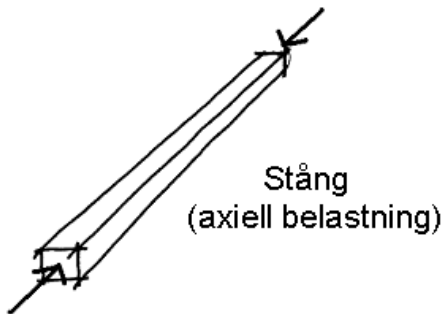
Styvhet

EI/L^3 = styvhet
(motstånd)

E = elasticitetsmodul
(materialets motstånd)

I = tröghetsmoment
(tvärsnittsformens motstånd)

L = längd

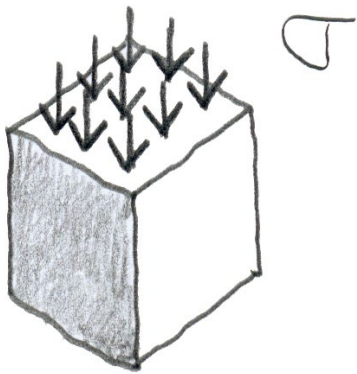


Knutpunkt

Från fiktionsfri led till
stel koppling
Systemlinjer möts
Stelkroppsjämvikt

Ytkrafter

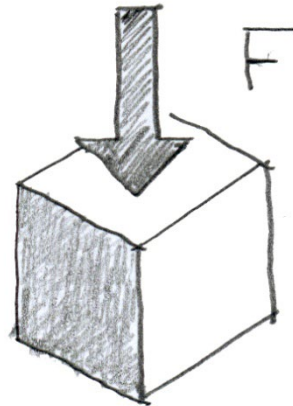
(genererade av elektromagnetism)



Normalspänning

Kraft per ytenhet

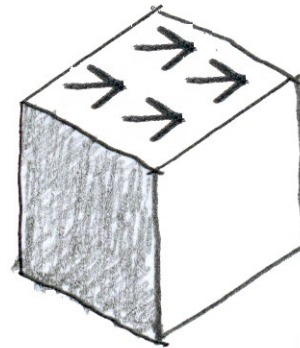
$[N/m^2]$



Normalkraft

Kraft

$[N]$

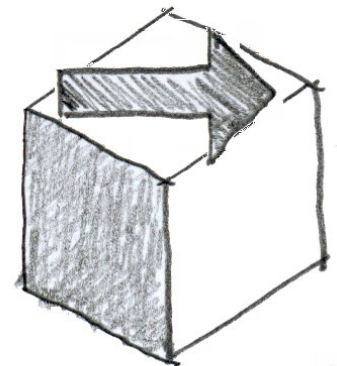


Skjuvspänning

Friktion

Kraft per ytenhet

$[N/m^2]$



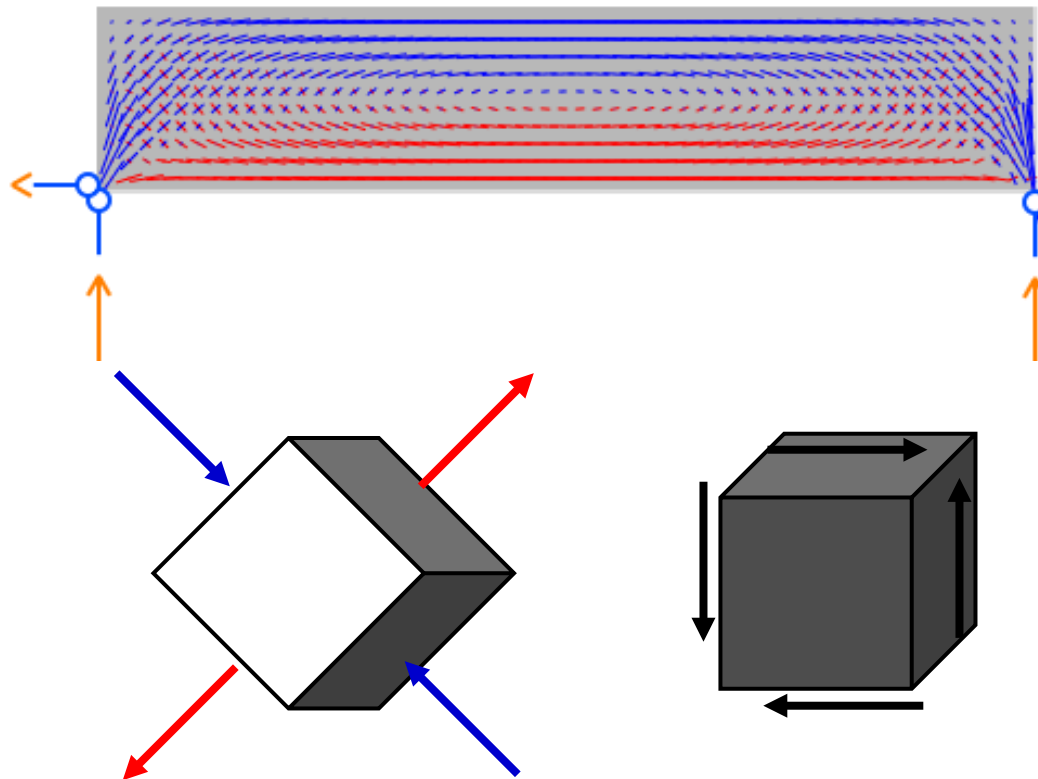
Tvärkraft

Friktionskraft

Kraft

$[N]$

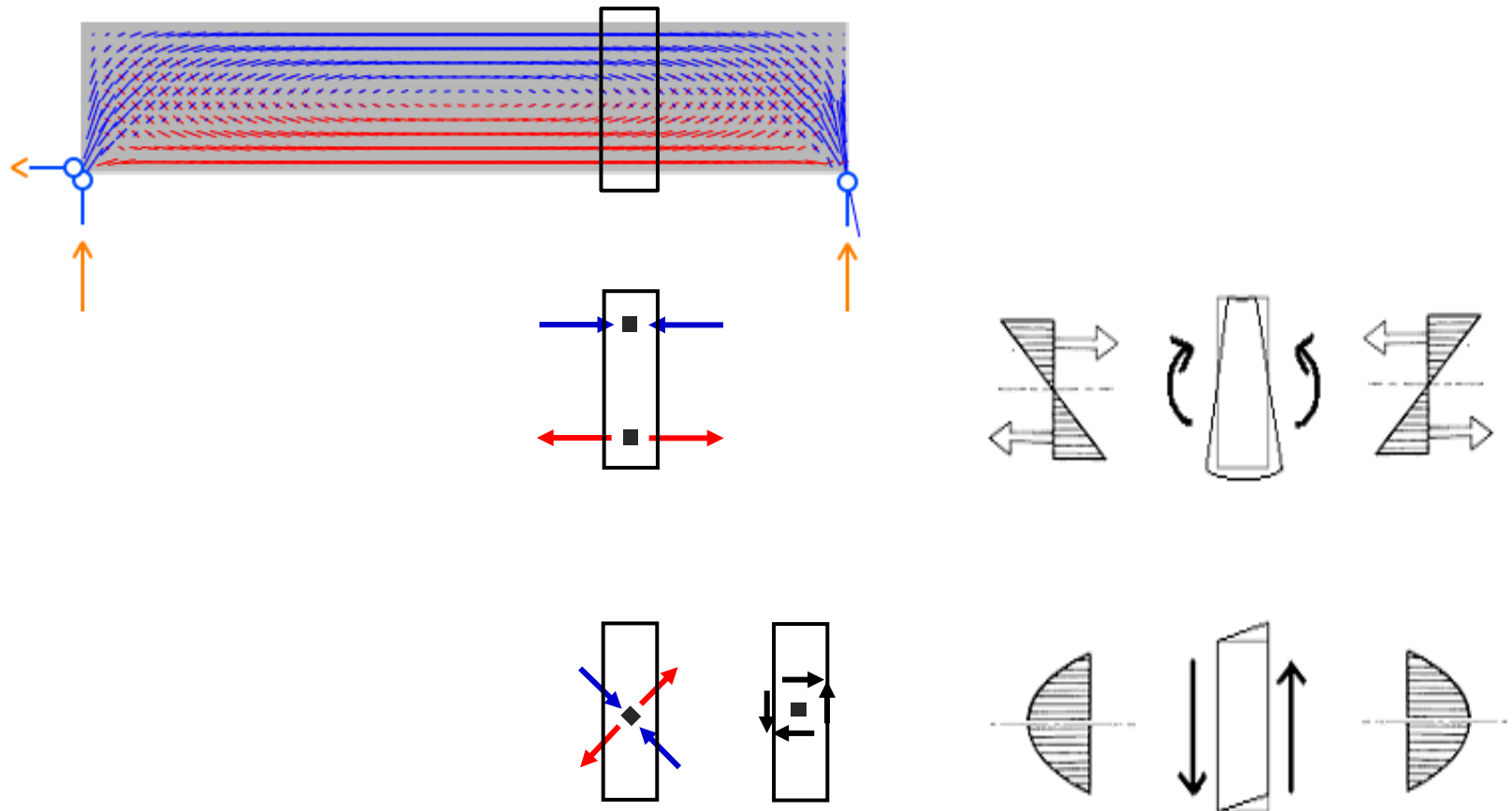
Olika sätt att uttrycka samma spänning



Normalspänningar
(materialpunktens huvudspänningar)

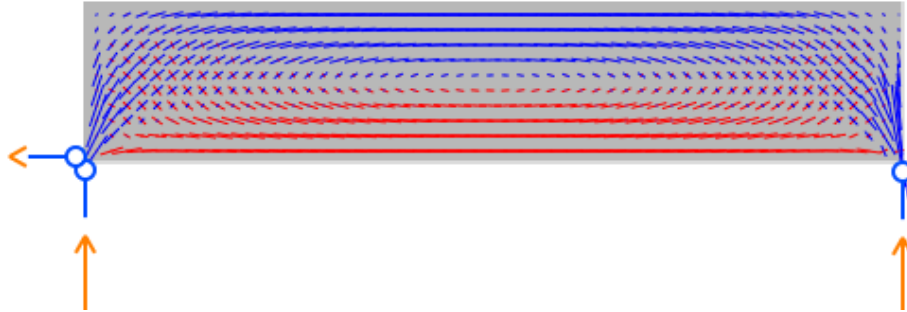
Skjuvspänningar
(i riktningar som sammanfaller med en kropps yttre form)

Spänningar i ForcePAD jämfört med spänningar i en traditionell ingenjörsanalys



Moment- och tvärkraftsdiagram

Normalspänningar

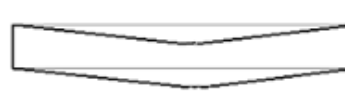


Böjmoment



Böjdeformation

Tvärkraft



Skjuvdeformation
(oftast försumbar)



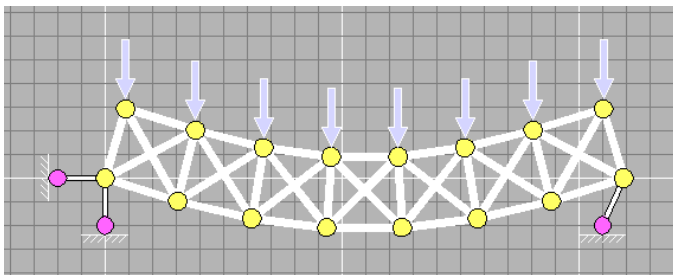
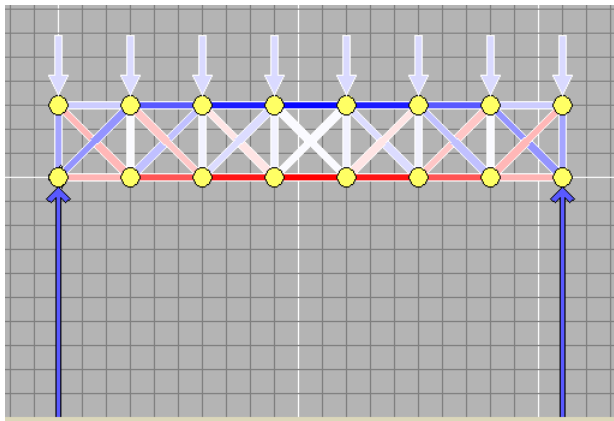
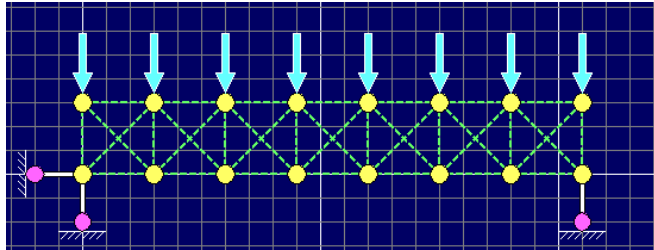
Balk-verkan

Moment- och
tvärkrafts-diagram

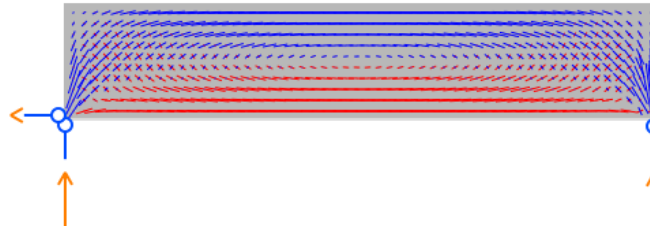


Olika representationer av *inre krafter* i en balk

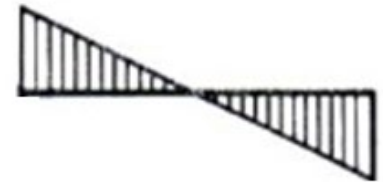
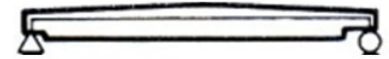
PointSKETCH



ForcePAD

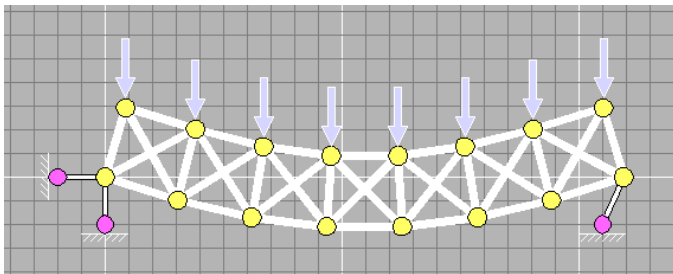
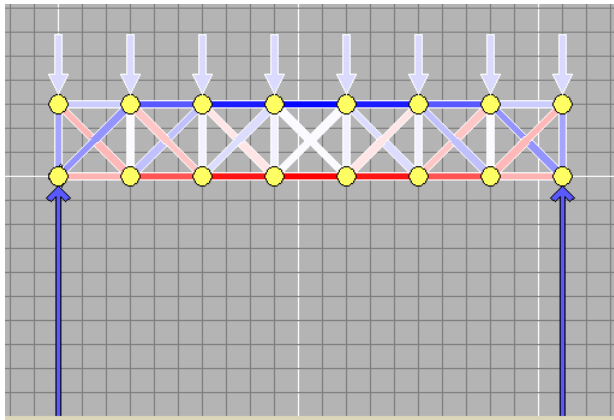
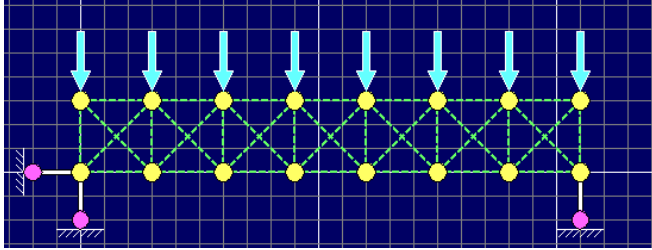


Tvärkrafts- och
momentdiagram

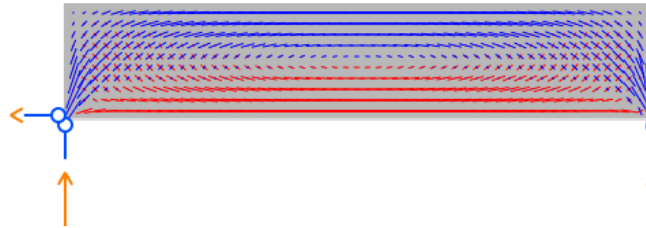


Olika representationer av *inre krafter* i en balk

PointSKETCH

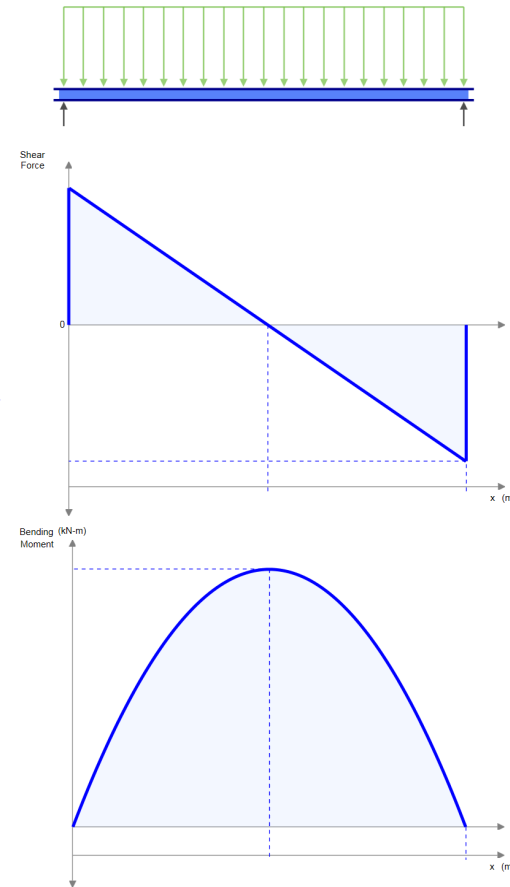


ForcePAD



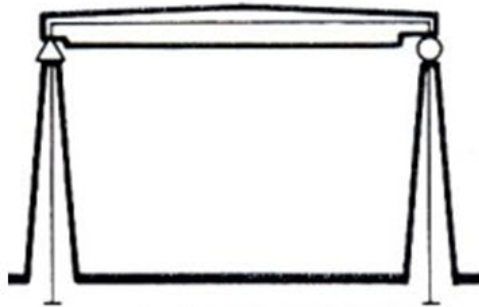
Moment och tvärkraftsdiagram

(US/UK teckenregel - Engels)

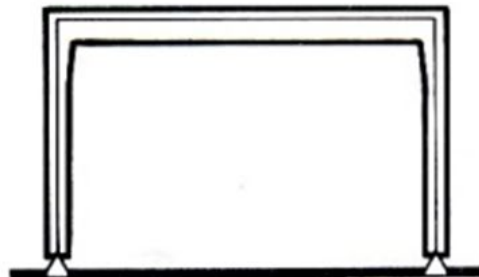
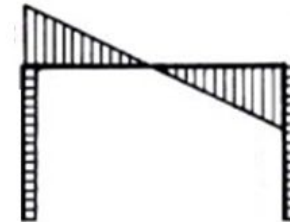


US/UK - tryckbåge
Sverige/betong - kedjekurva

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

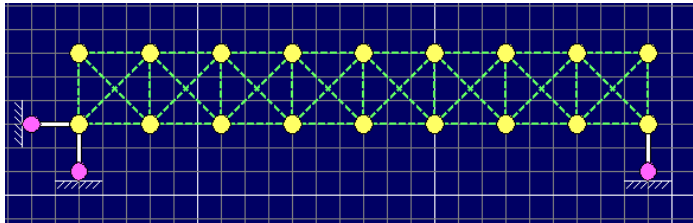


POST AND BEAM STRUCTURE

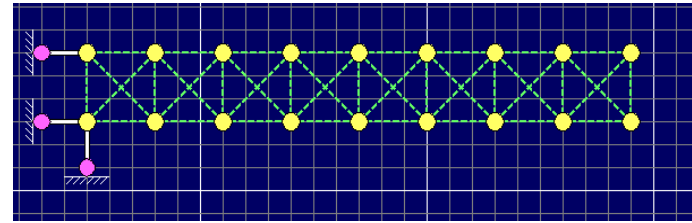


TWO-HINGE FRAME

1. Fritt upplagd balk och konsolbalk



fritt upplagd balk



konsolbalk

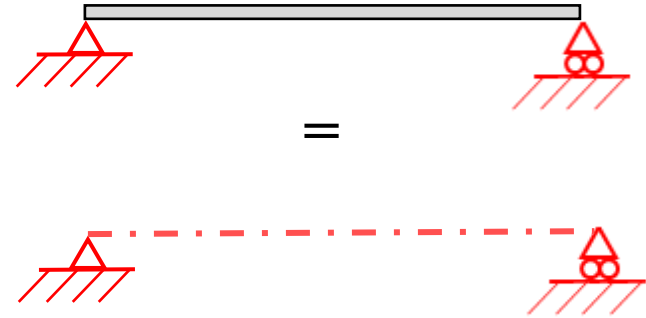
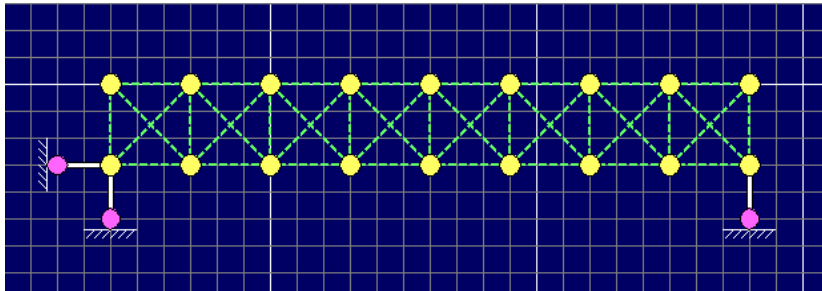
Jämför och diskutera hur programmen **pointSketch** och **ForcePAD** genom olika *representationer* av kroppar och krafter beskriver en *fritt upplagd balk* och en *konsolbalk*.

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

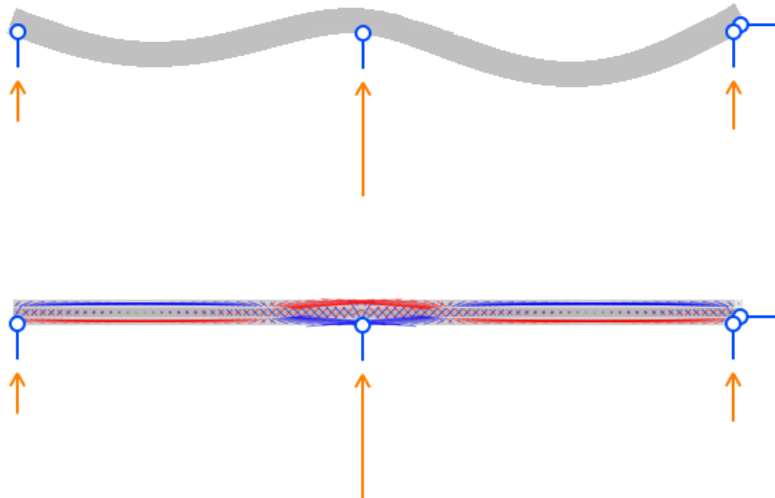


Överst till höger visas en typisk ingenjörsskiss av en fritt upplagd balk.
Under den visas ingenjörens beräkningsmodell.

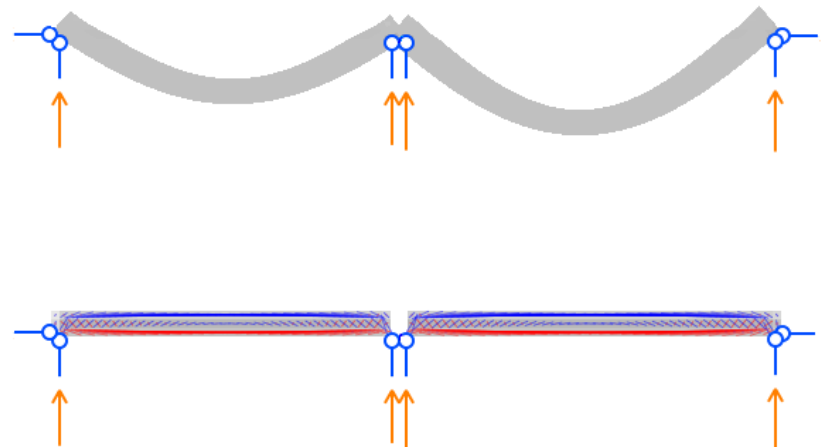
Bygg i pointSketch upp en 2D representation av en balk.
Skapa därefter sju olika balktyper genom att för denna balk välja olika kombinationer av nycklar (i olika riktningar och i olika lägen).

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

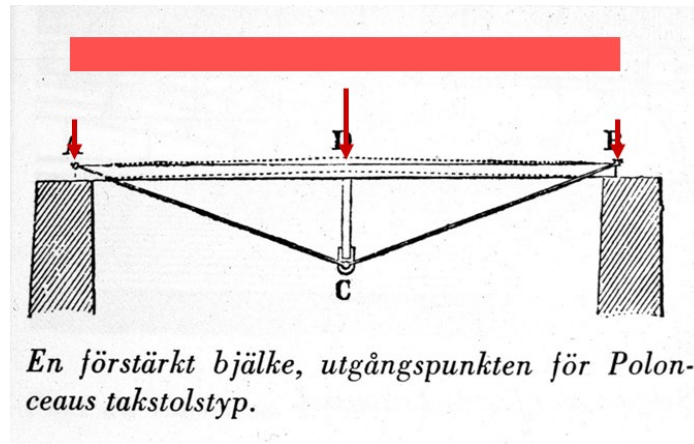
Kontinuerlig balk



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

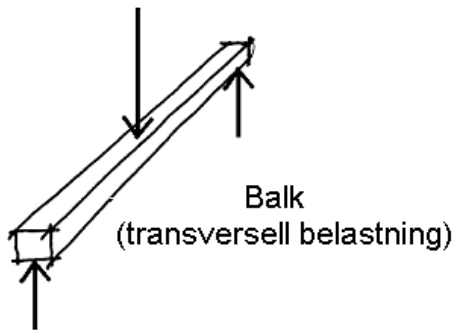
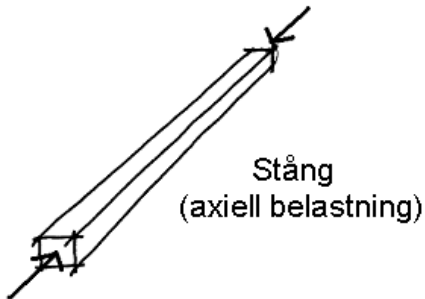
Transversell belastning

Moment

Normalspänning

Tvärkraft

Skjuvspänning



Knutpunkt

Från fiktionsfri led till
stel koppling
Systemlinjer möts
Stelkroppsjämvikt

Styvhet

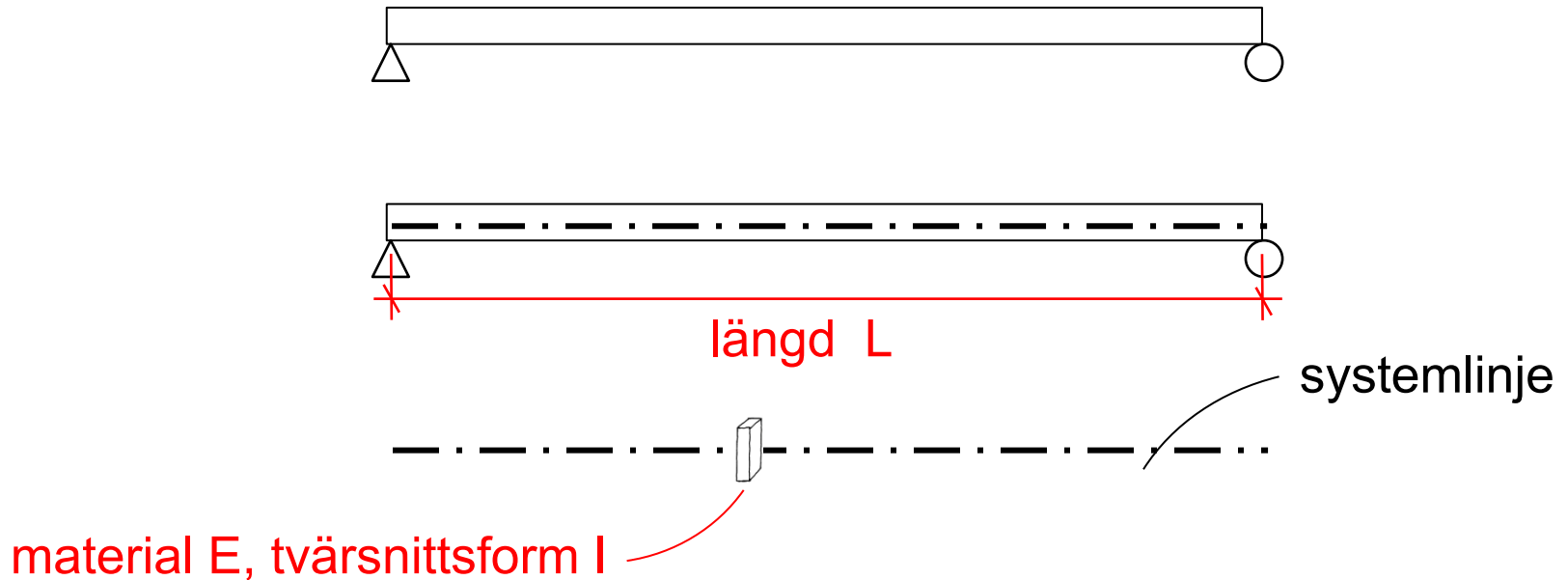
EI/L^3 = styvhet
(motstånd)

E = elasticitetsmodul
(materialets motstånd)

I = tröghetsmoment
(tvärsnittsformens motstånd)

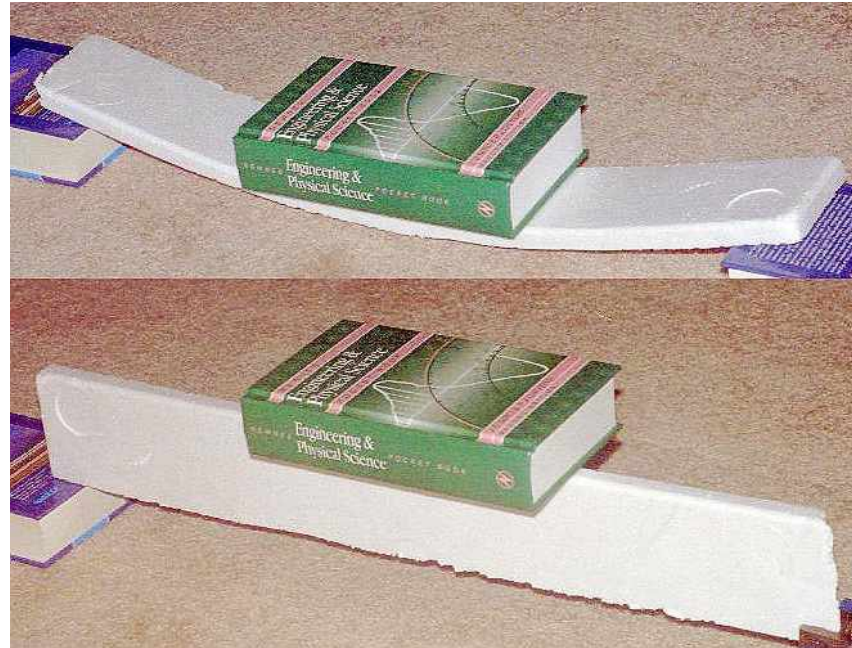
L = längd

Den förenklade ingenjörsmodellen BALK



utgår från systemlinje och tvärsnitt

Böjstyvheten EI/L^3 och balkars effektivitet



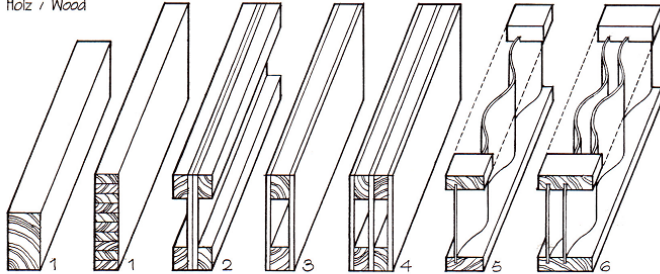
E = materialets elasticitetsmodul

I = tvärsnittets tröghetsmoment

L = längd

Tvärsnittsformen

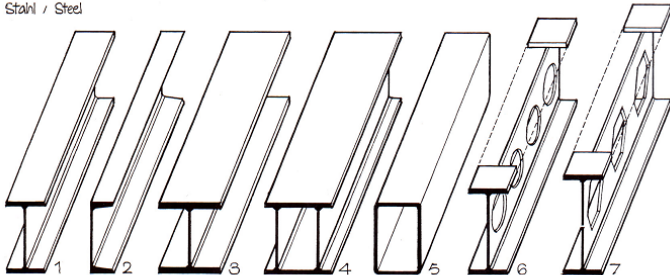
Holz / Wood



- 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

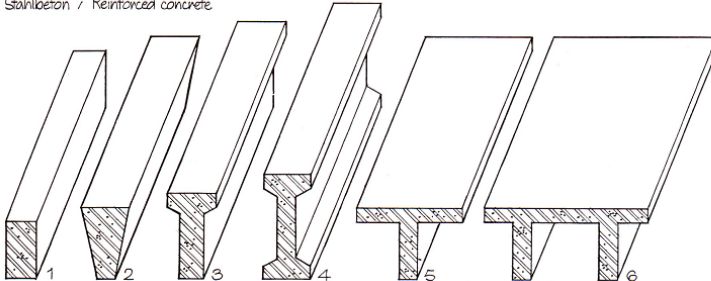
Stahl / Steel



- 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

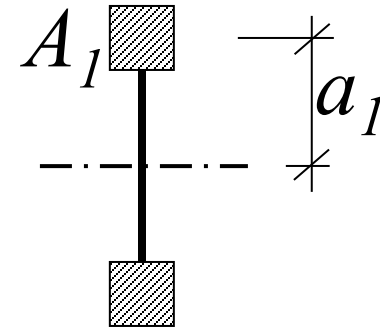
Stahlbeton / Reinforced concrete



- 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

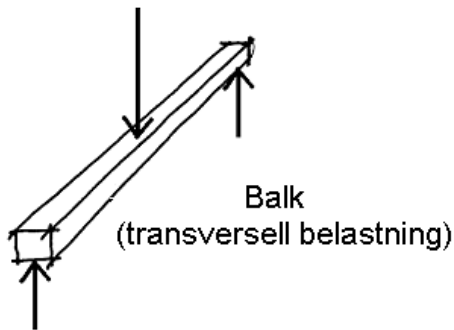
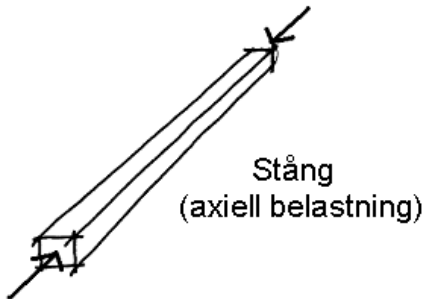
Styvhet

EI/L^3 = styvhet
(motstånd)

E = elasticitetsmodul
(materialets motstånd)

I = tröghetsmoment
(tvärsnittsformens motstånd)

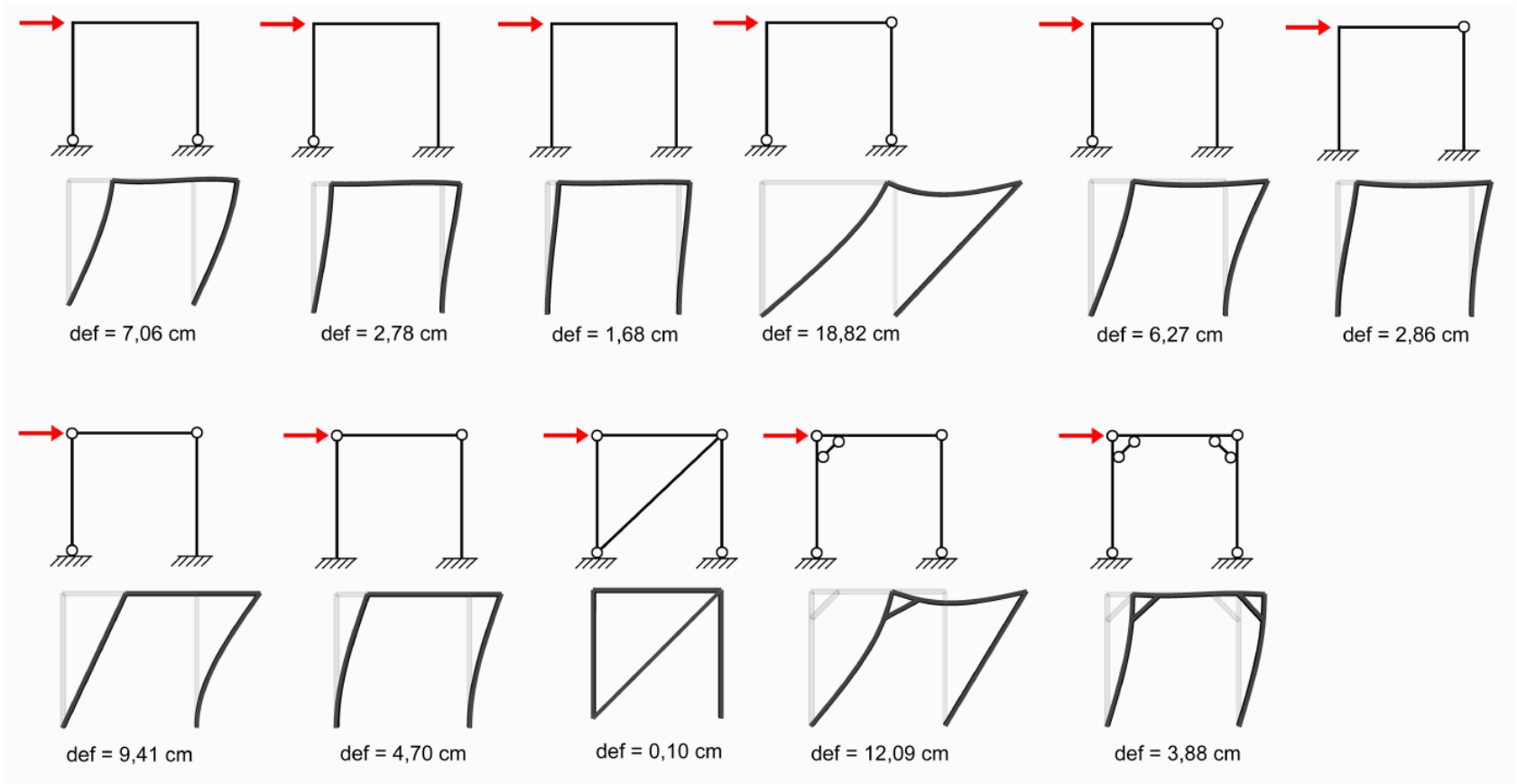
L = längd



Knutpunkt

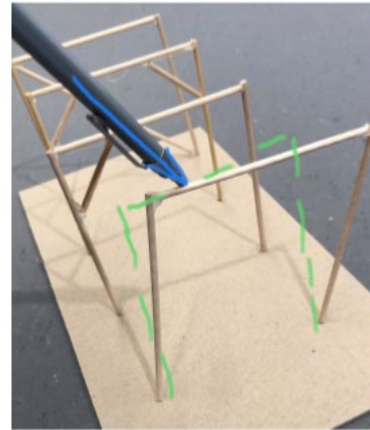
Från fiktionsfri led till
stel koppling
Systemlinjer möts
Stelkroppsjämvikt

Knutpunkternas betydelse

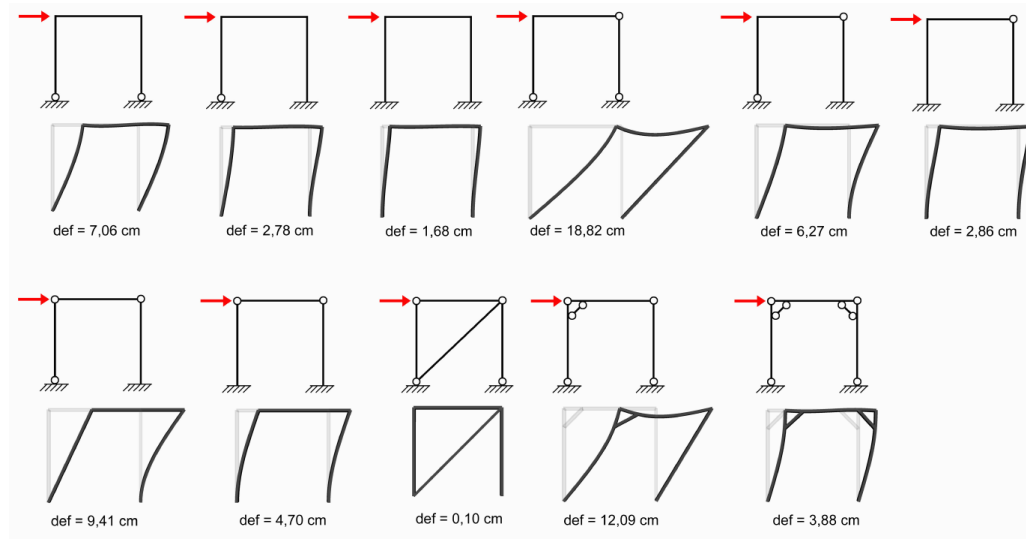


Deformation & styvhet

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 dm²). 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

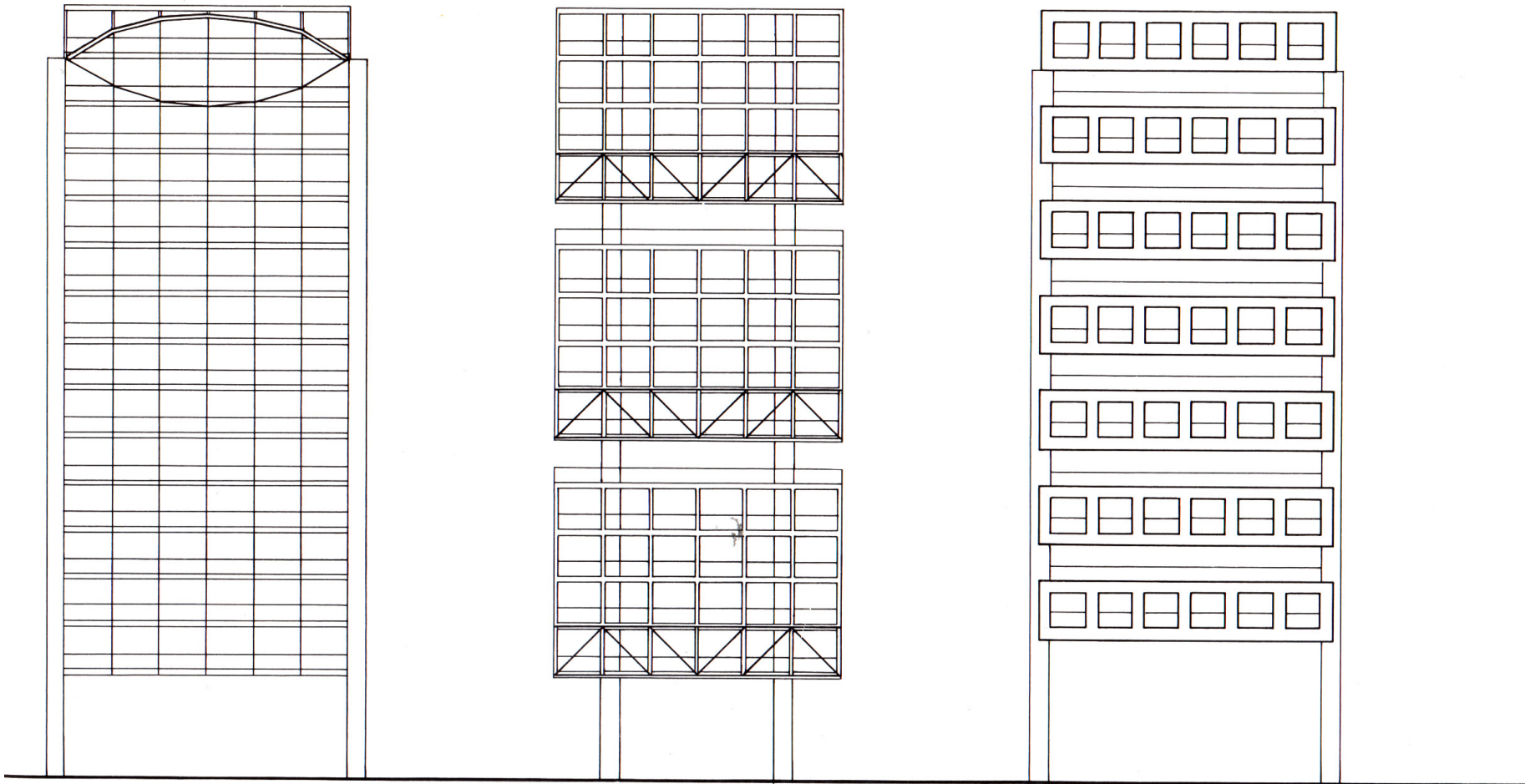
Takstolar

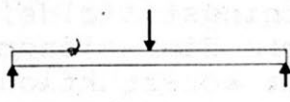
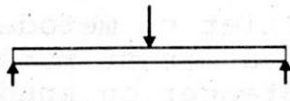
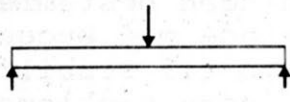
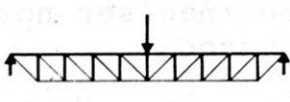
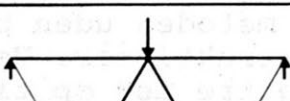
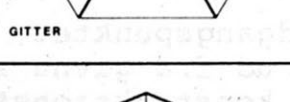
A1 Structural Design Contest

Effektiva "balkar" för transversell last

Vollgeschoß-Trägersysteme in Brücken-Hochwerken

full-story girder systems in bridge highrises



KONSTRUKTIONSFORM	TVÆRSNIT	VÆGT I KG
 MASSIVBJÆLKE		920
 HE 260 B		465
 INP 380		380
 GITTER		140
 GITTER		60
 GITTER		50
 GITTER		43

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

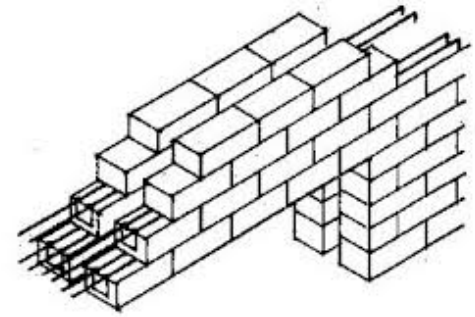
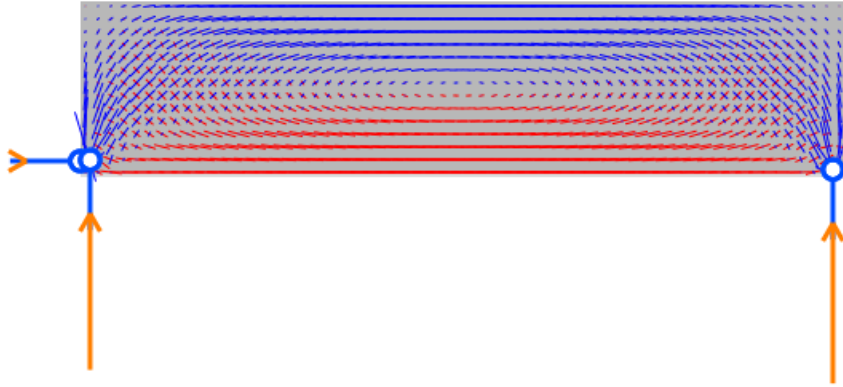
6a. *Yttre tvång*. Minsta antalet låsta rörelsefrihetsgrader för att en balk ska vara yttre stabil är tre. En fritt upplagd balk har två vertikala och en horisontell frihetsgrad låsta. Vilken blir skillnaden om två horisontella frihetsgrader låses (en i var balkände)? Visa skillnaden med hjälp av pointSketch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

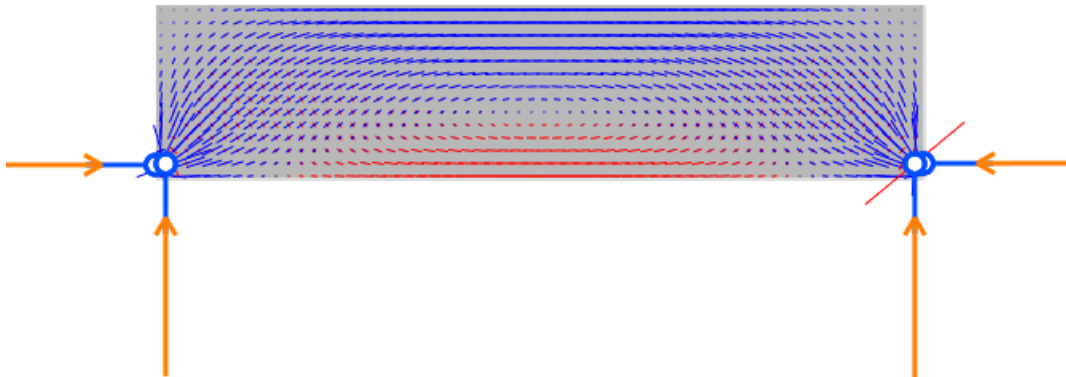
6c. *Balken och materialen*. När balkar utformas av olika material kommer materialegenskaperna att vara avgörande för hur balkarna fungerar. Ge exempel på hur balkar av olika material bär sina inre krafter.

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



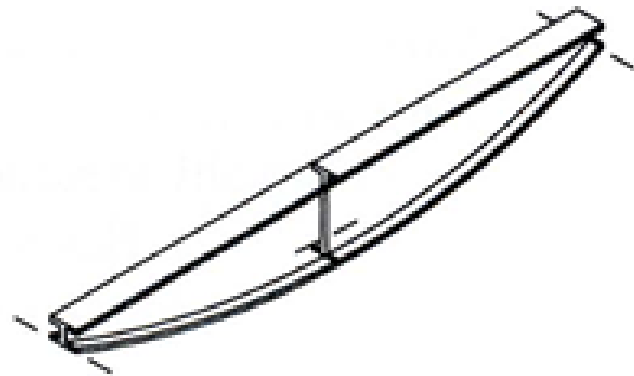
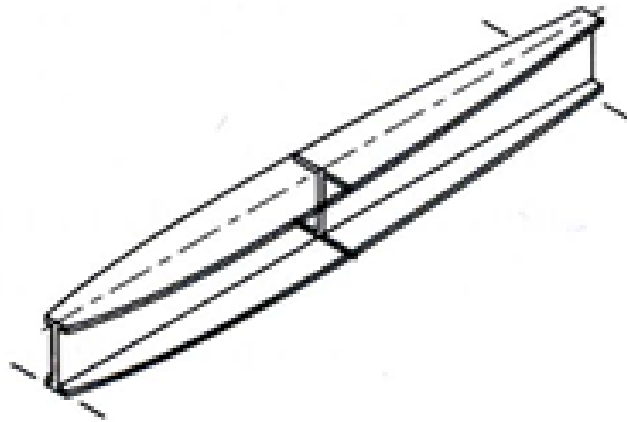
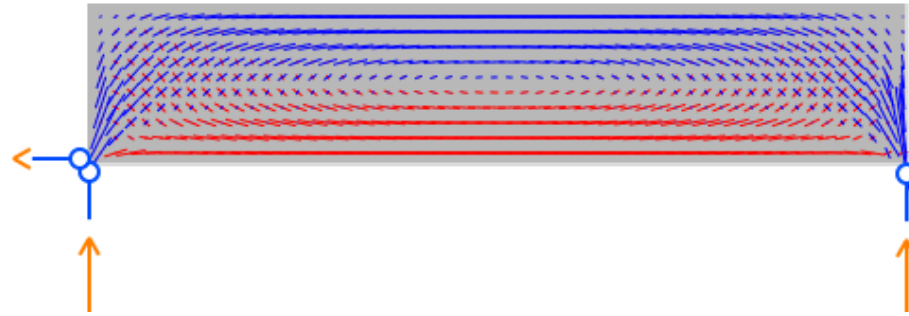
6. Variationer på temat balk (välj minst en uppgift)

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.

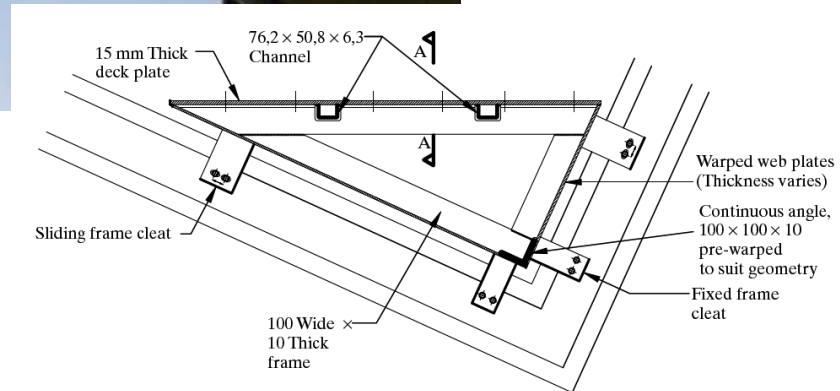
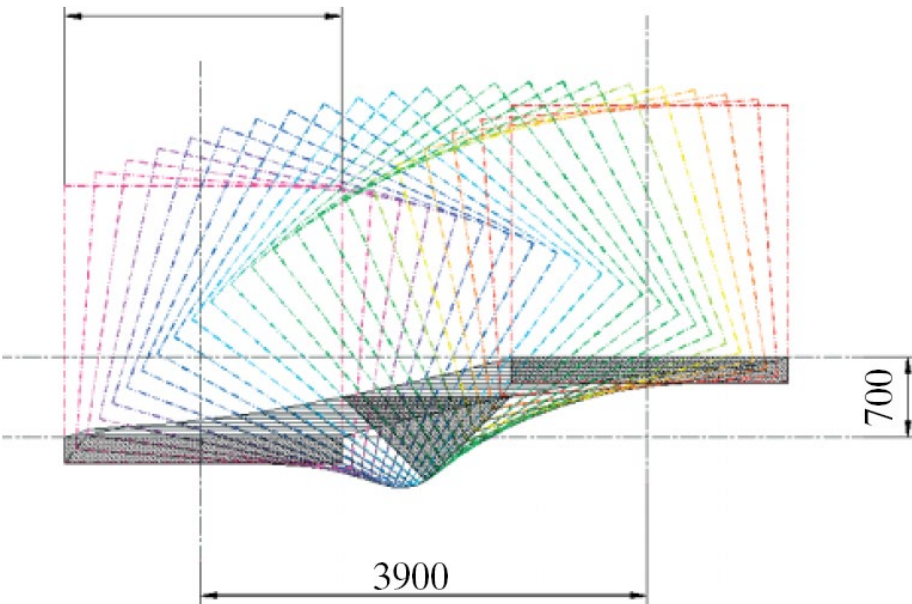
6c. *Balken och materialen.* När balkar utformas av olika material kommer materialegenskaperna att vara avgörande för hur balkarna fungerar. Ge exempel på hur balkar av olika material bär sina inre krafter.

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

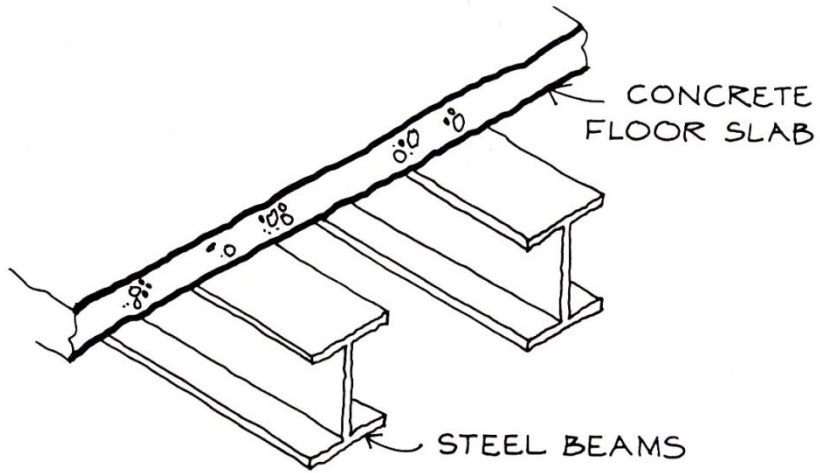
6. Variationer på temat balk (välj minst en uppgift)

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?

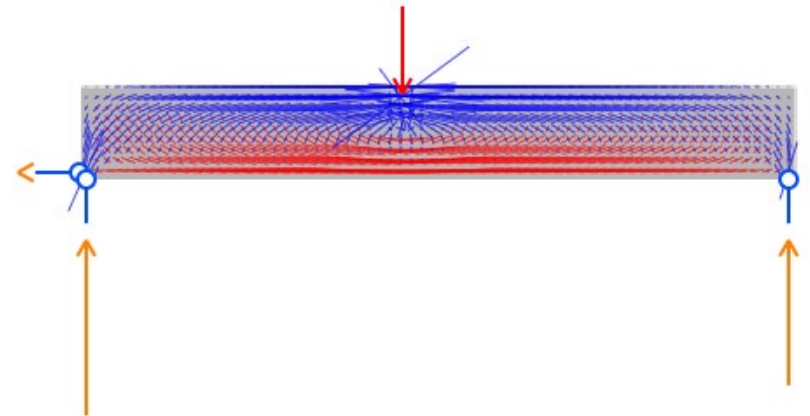
6b. *Optimering av balkars form.* I Heino Engels visas på sid 184-185 hur balkarnas form följer momentdiagrammets utseende. Visa någon verklig balk som också är ett exempel på detta. Ge fler konkreta exempel på hur balkar kan optimeras med avseende på materialutnyttjande. Notera att Engels ritar momentdiagrammen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

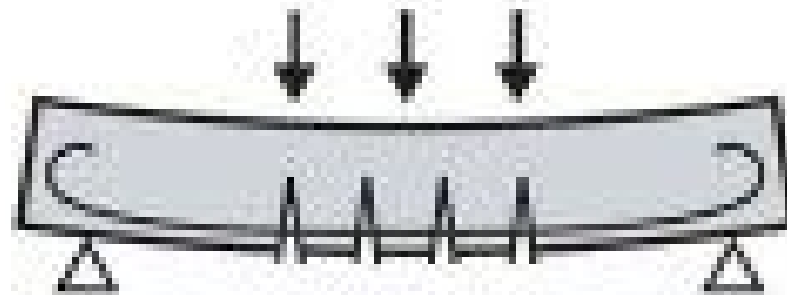
6a. *Yttre tvång.* Minsta antalet låsta rörelsefrihetsgrader för att en balk ska vara yttre stabil är tre. En fritt upplagd balk har två vertikala och en horisontell frihetsgrad låsta. Vilken blir skillnaden om två horisontella frihetsgrader låses (en i var balkände)? Visa skillnaden med hjälp av pointSketch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

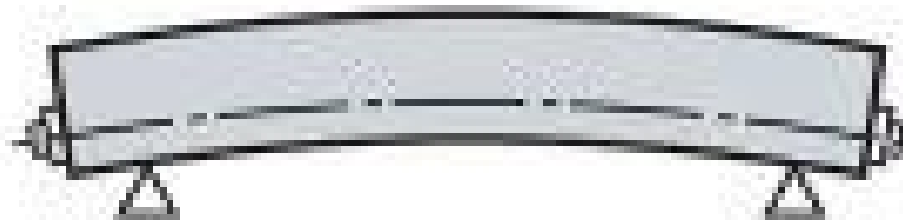
6c. *Balken och materialen.* När balkar utformas av olika material kommer materialegenskaperna att vara avgörande för hur balkarna fungerar. Ge exempel på hur balkar av olika material bär sina inre krafter.

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.

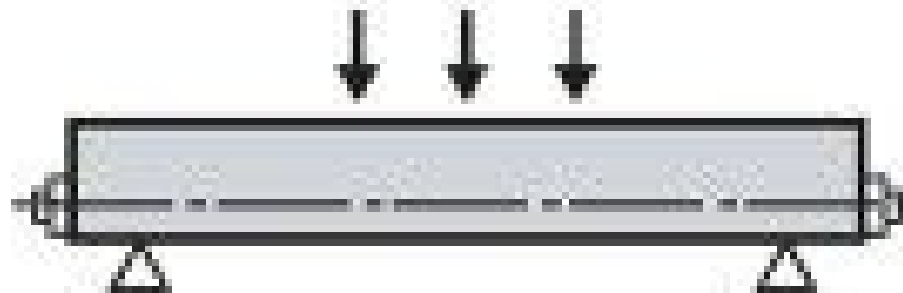
(a) Reinforced concrete
cracked under load.



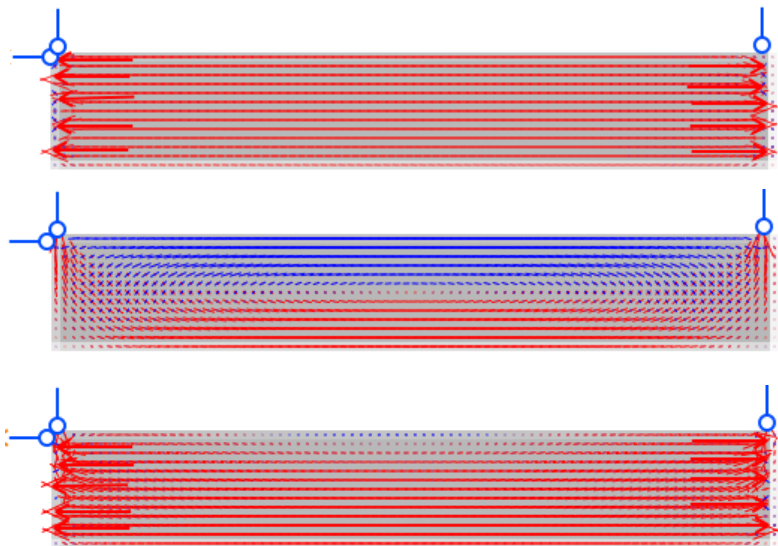
(b) Post-tensioned
concrete before loading.



(c) Post-tensioned
concrete after loading.

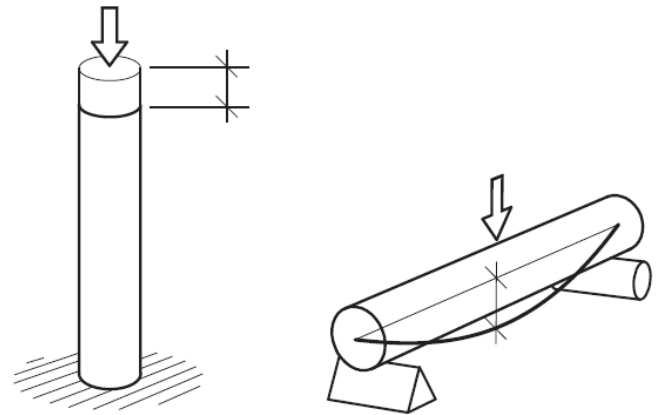


Förspända balkar

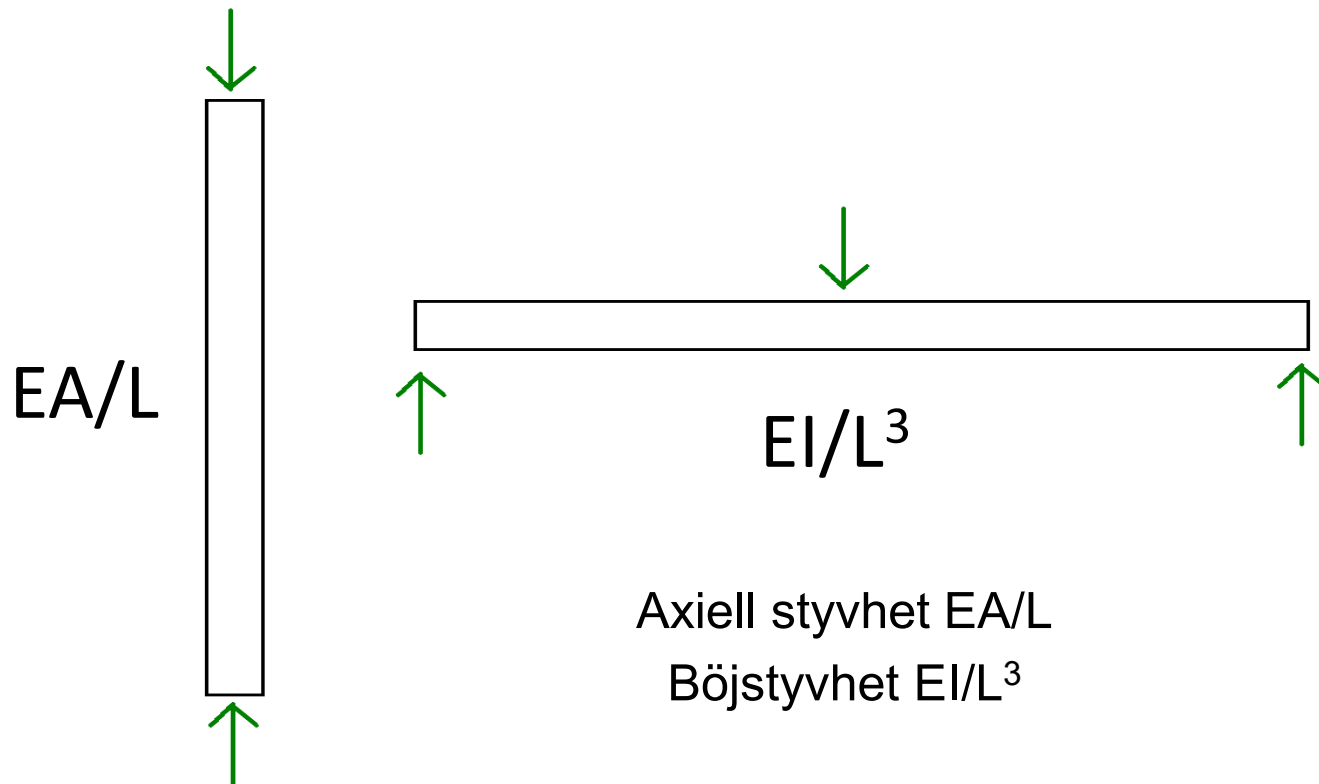


Takstolen

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

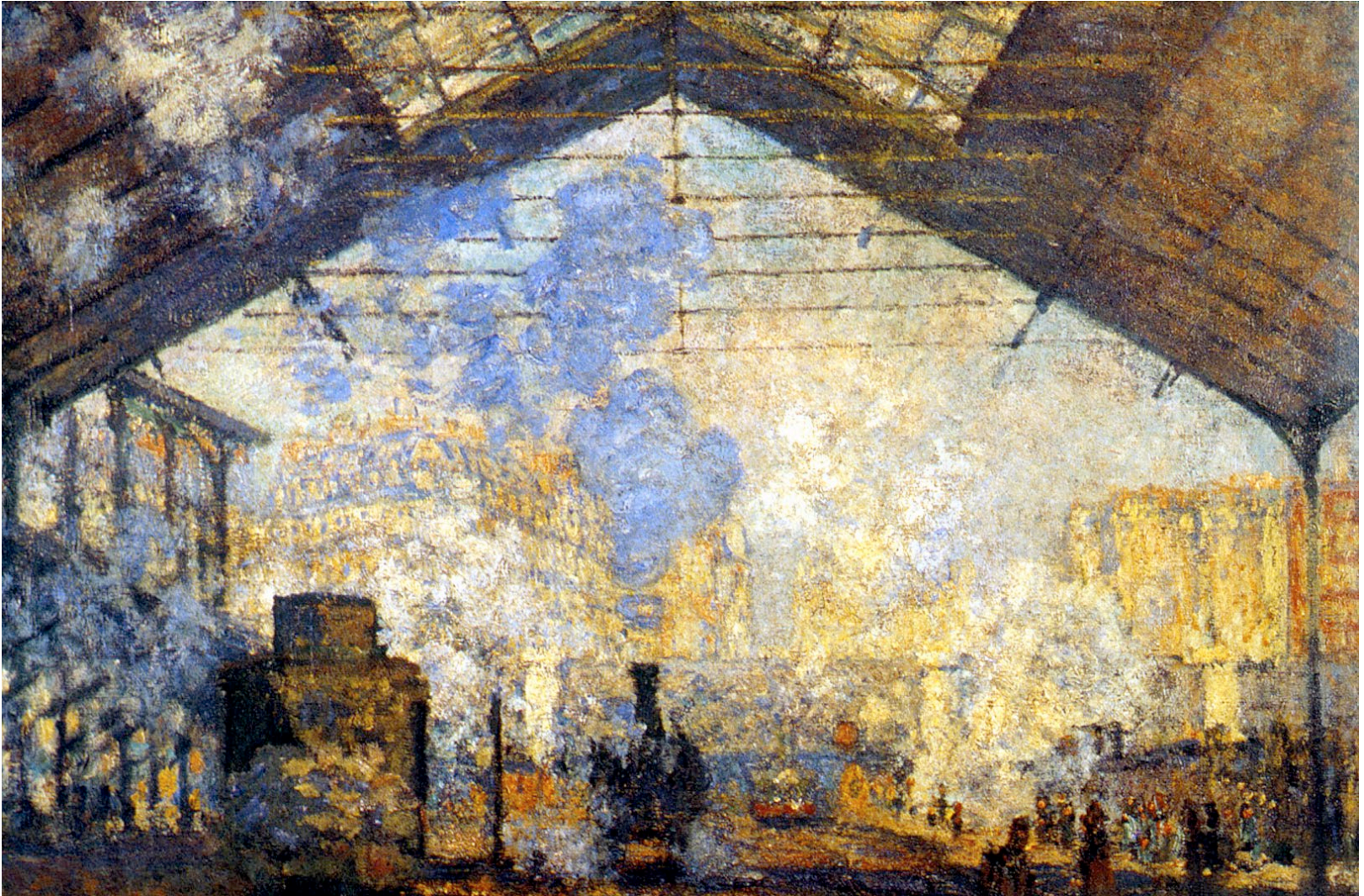


Konstruktioners effektivitet

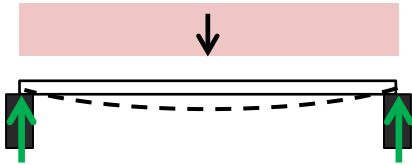


Takstolar

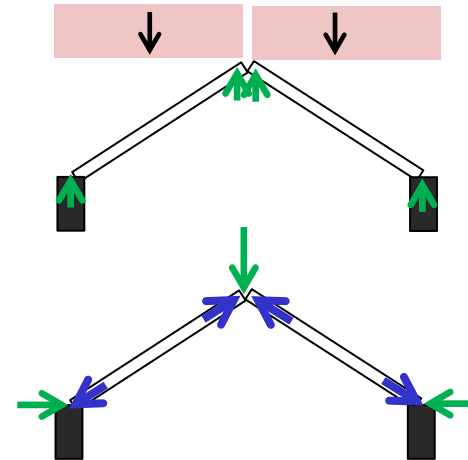
En berättelse om smarta trick för att spänna över stora rum

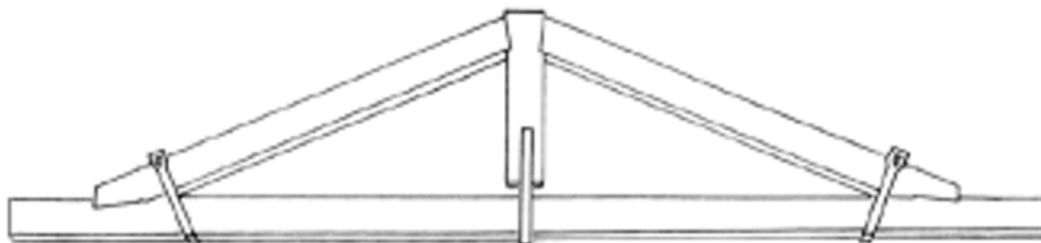
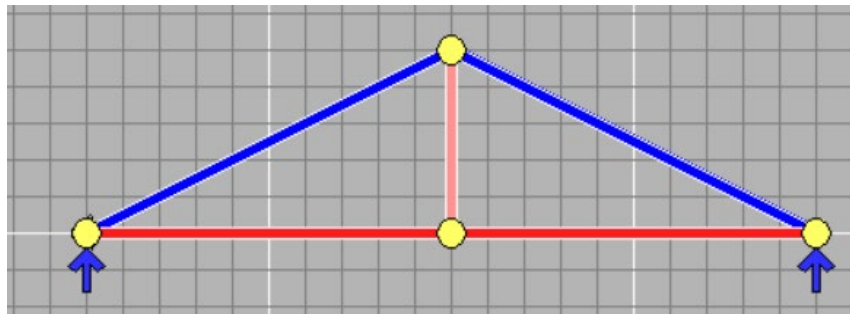
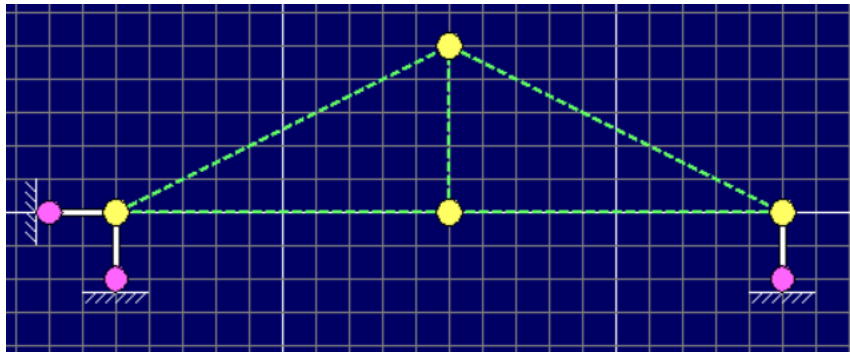


Balkverkans ineffektivitet begränsar balkens längd

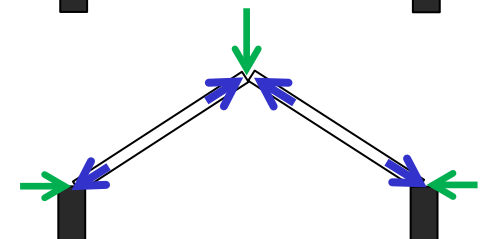
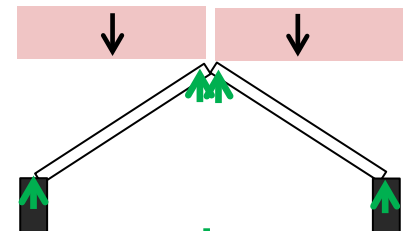
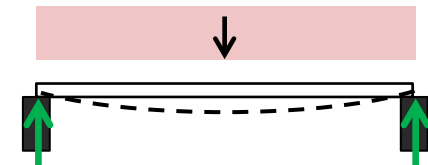


Hur förlänga en balk?



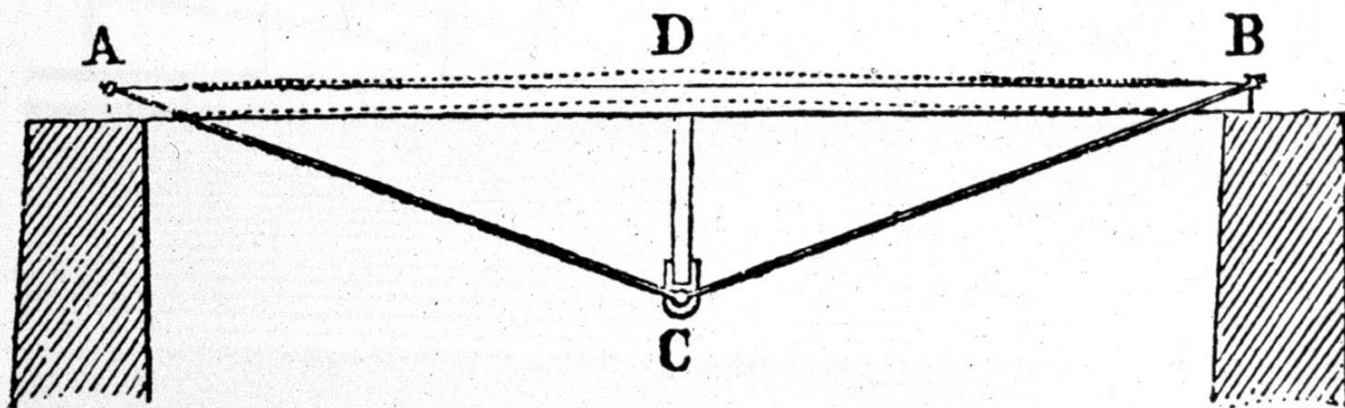


Hur förlänga en balk?





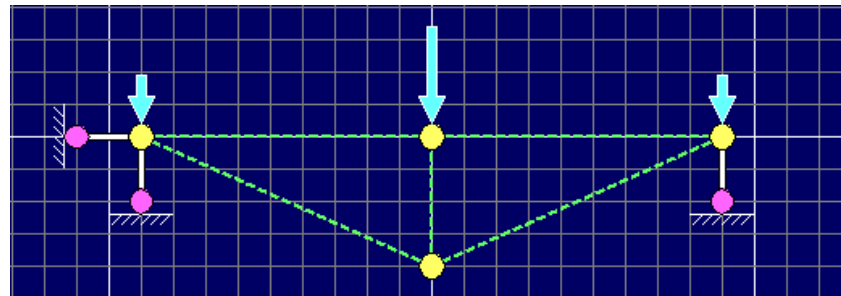
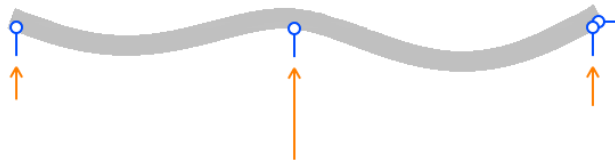
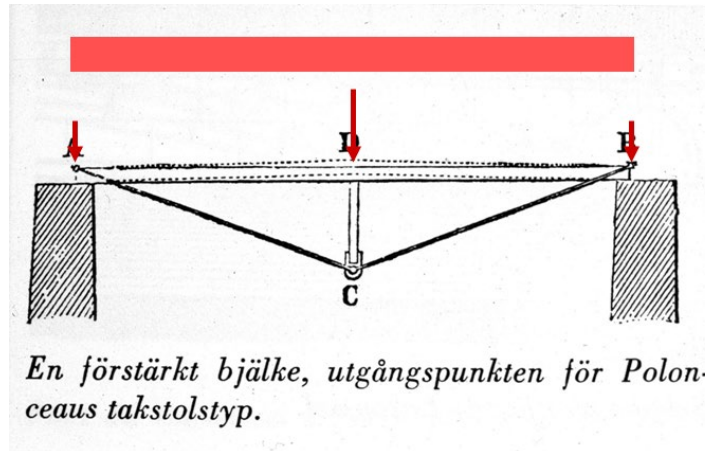
Hur förlänga en balk?

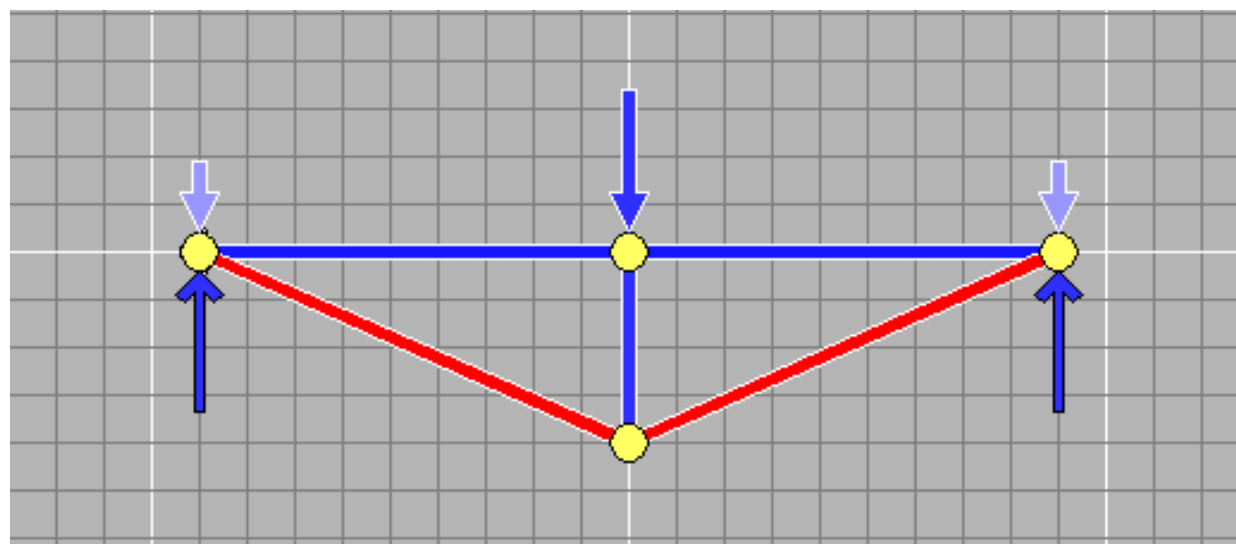
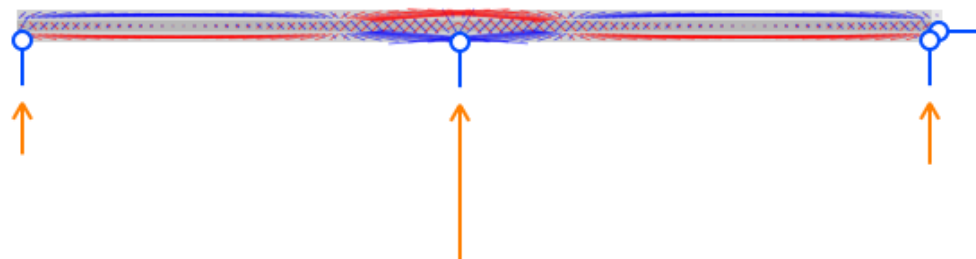


*En förstärkt bjälke, utgångspunkten för Polon-
ceaus takstolstyp.*

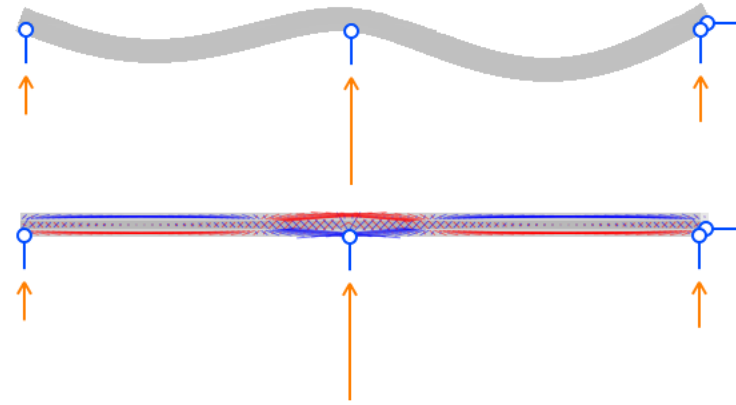
Statiskt koncept

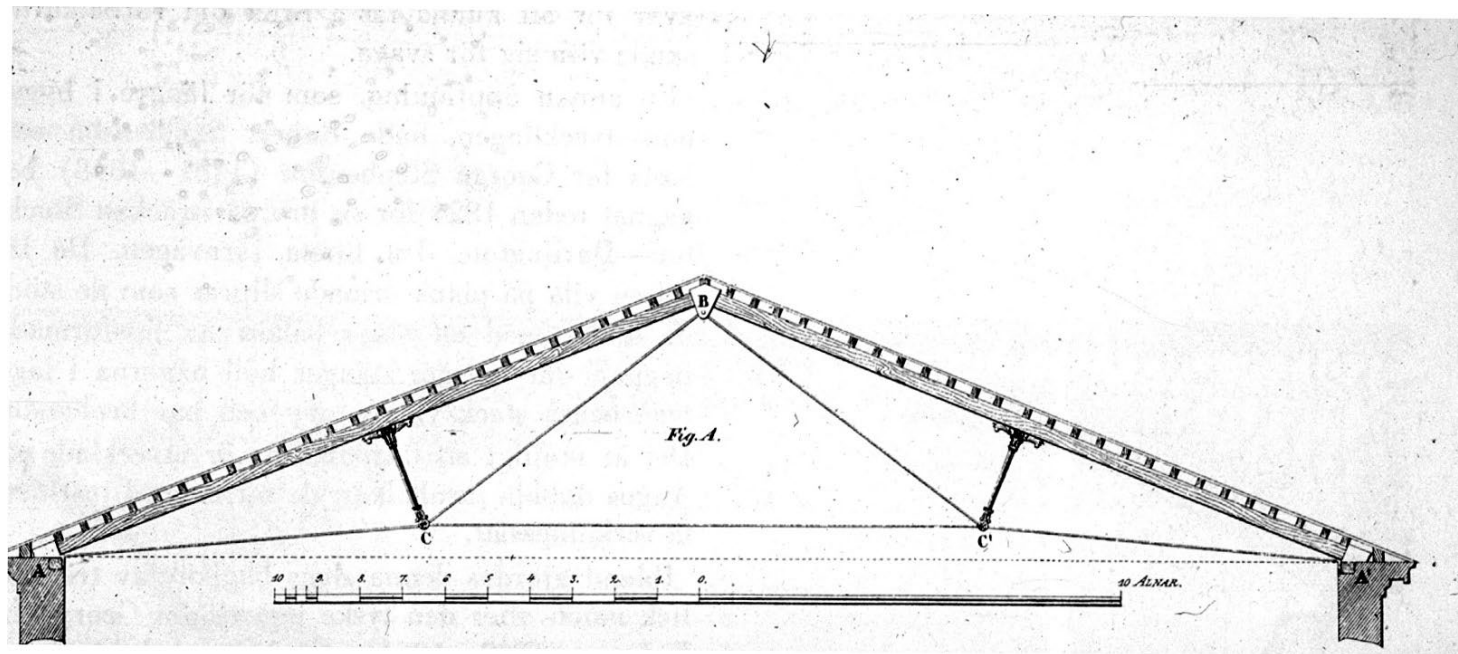
att byta (reducera) böjning mot tryck och drag

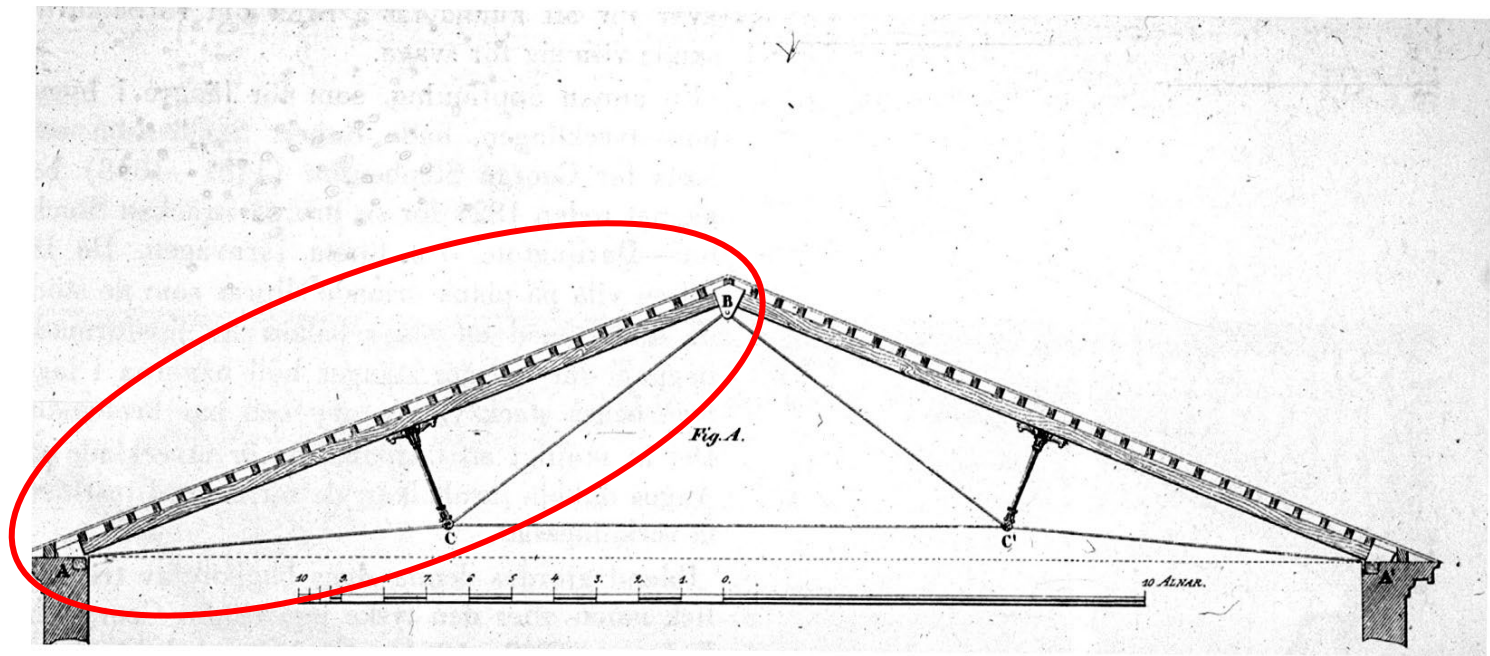




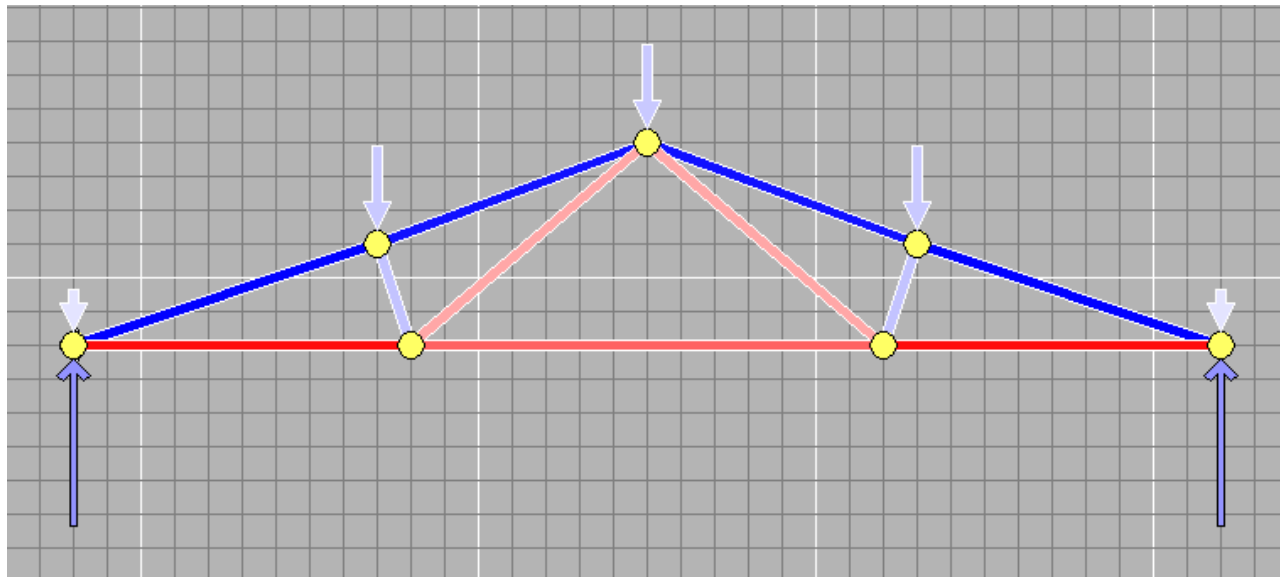
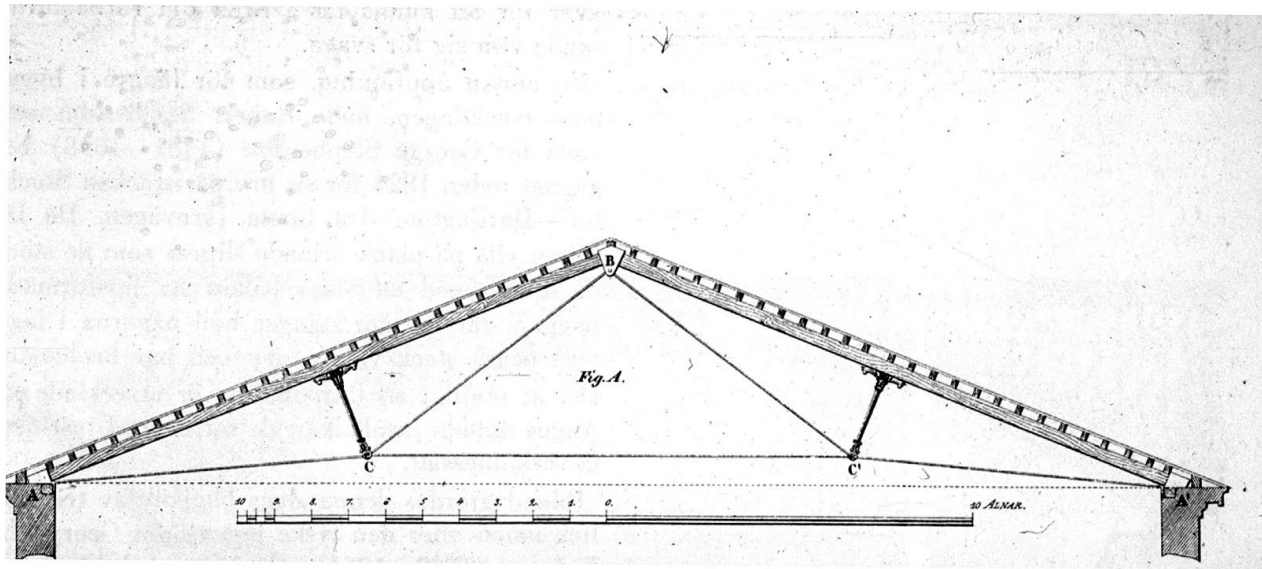
**Skarv där krökningen
(momentet) är noll**



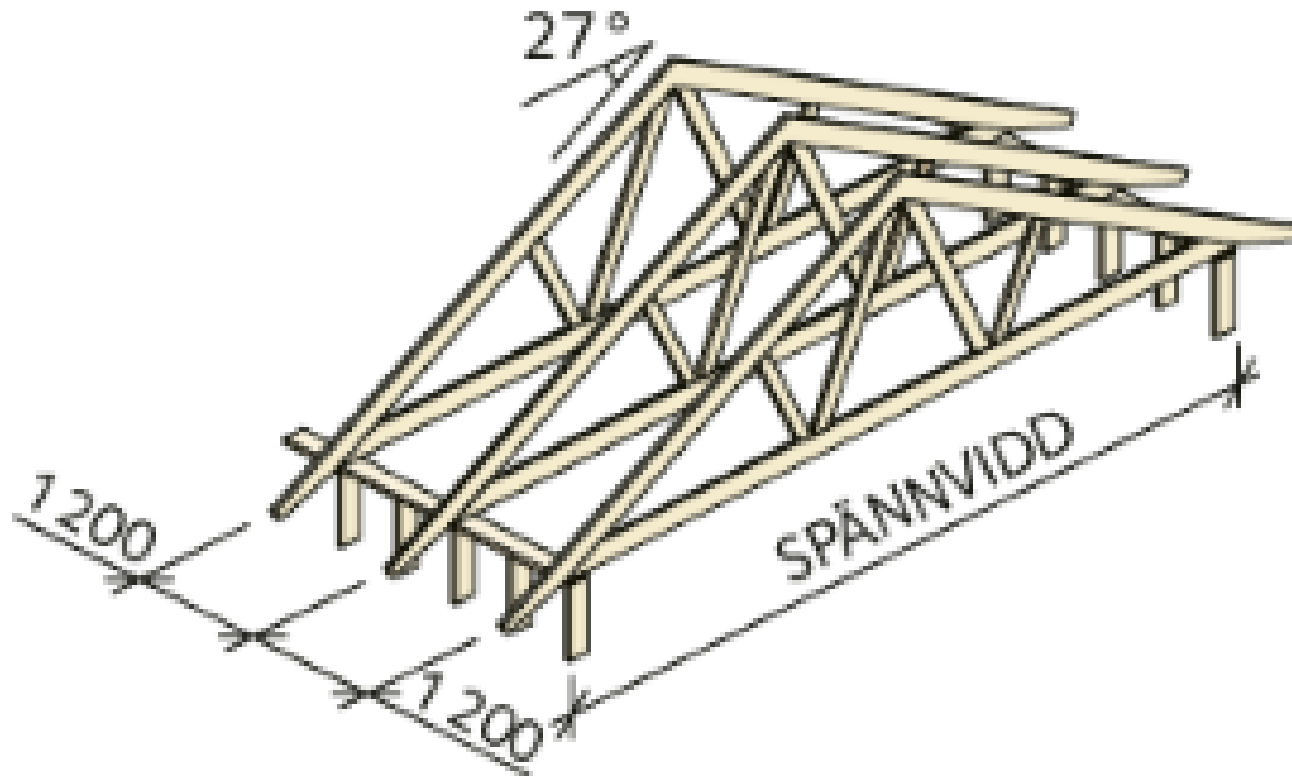




Polonceau-takstol



W - takstol



ur Träguiden

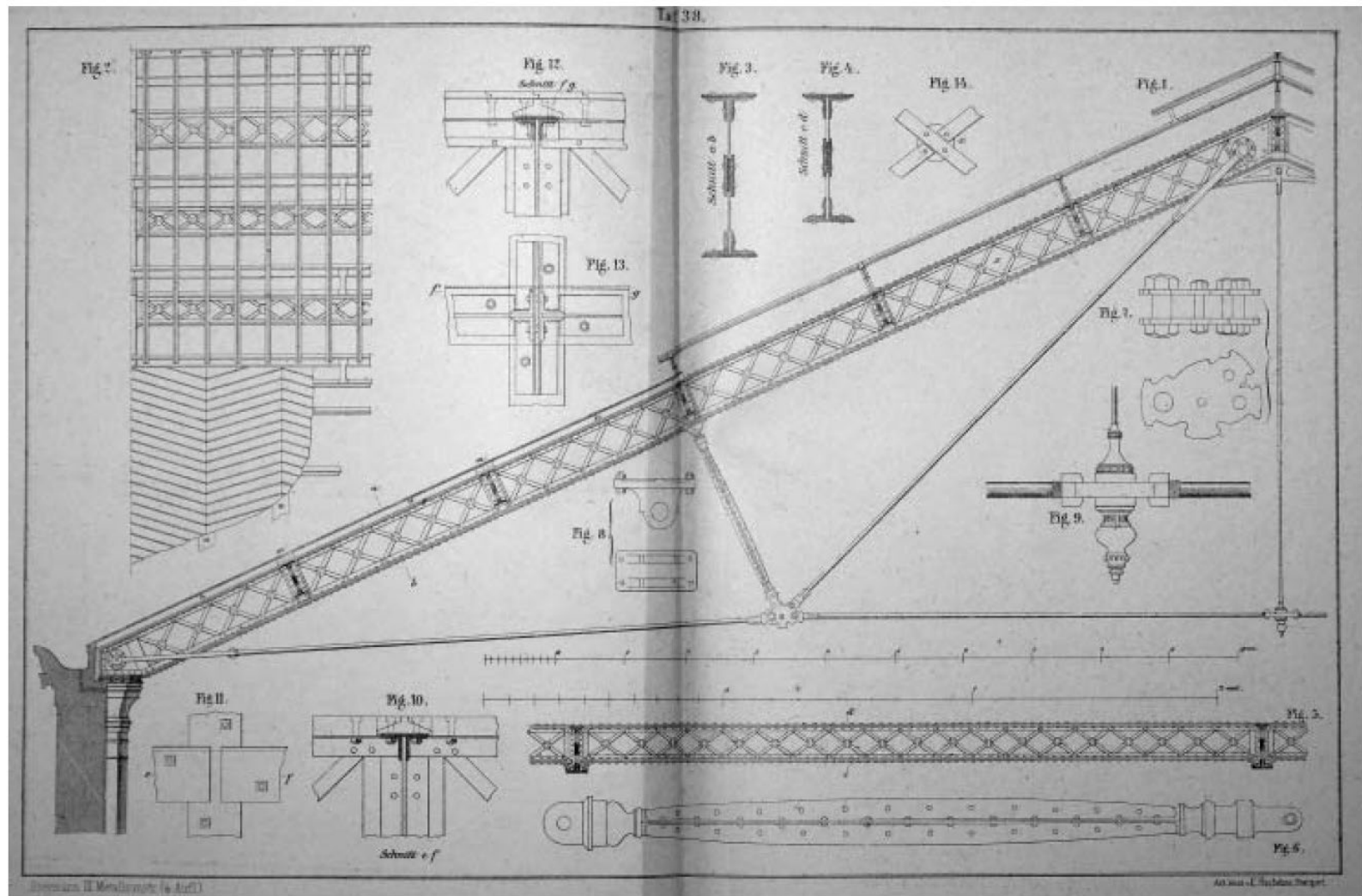


FIGURE 15 Lyon-Perrache, roof of the railway station (completed in 1855). From Breymann 1877, plate 38.

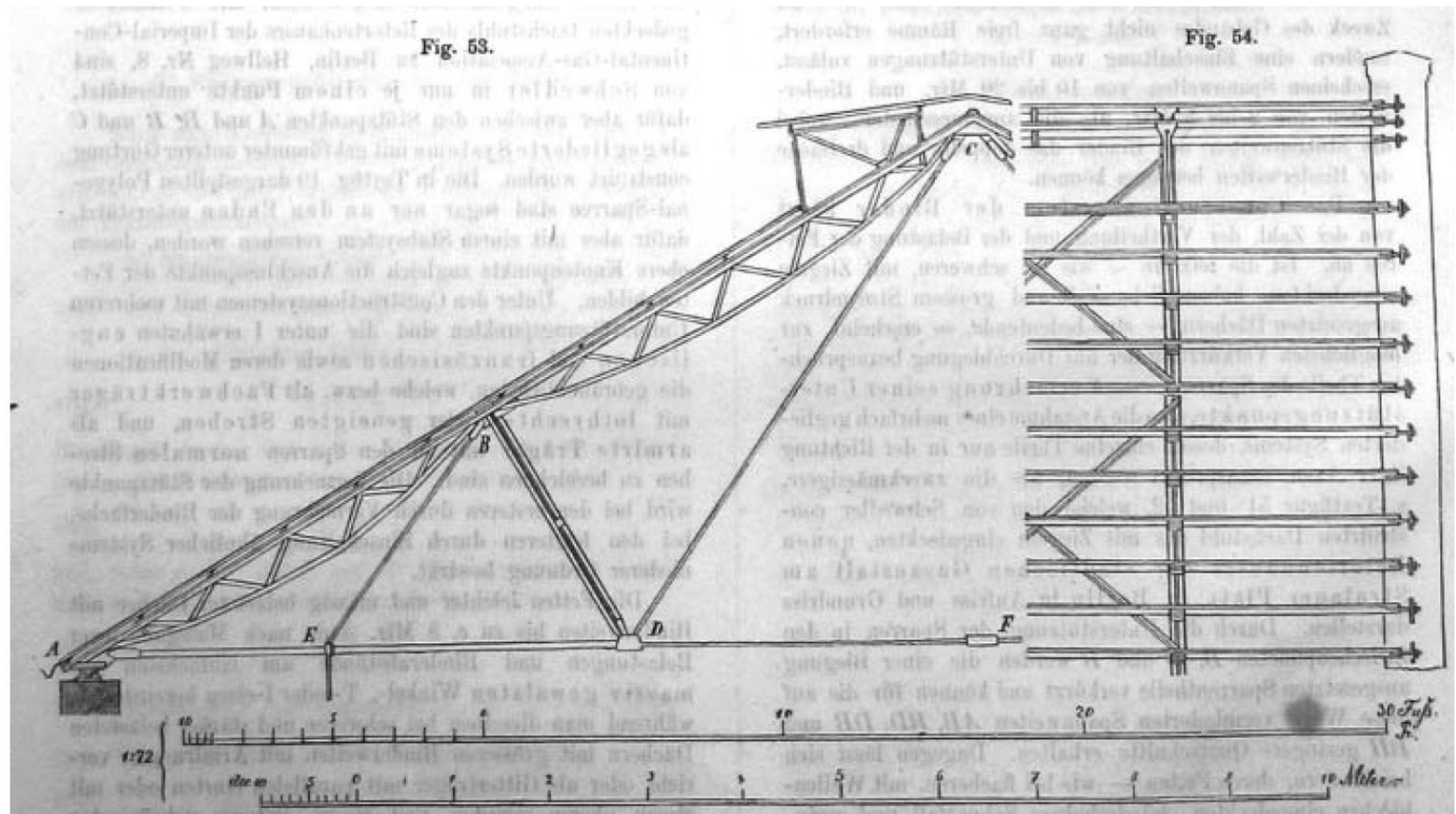


FIGURE 17 Berlin, roof of a workshop of the Imperial Gas Association (designed by J. W. Schwedler). Transverse section (left) and ground plan (right). From Heinzerling 1876, p. 20.

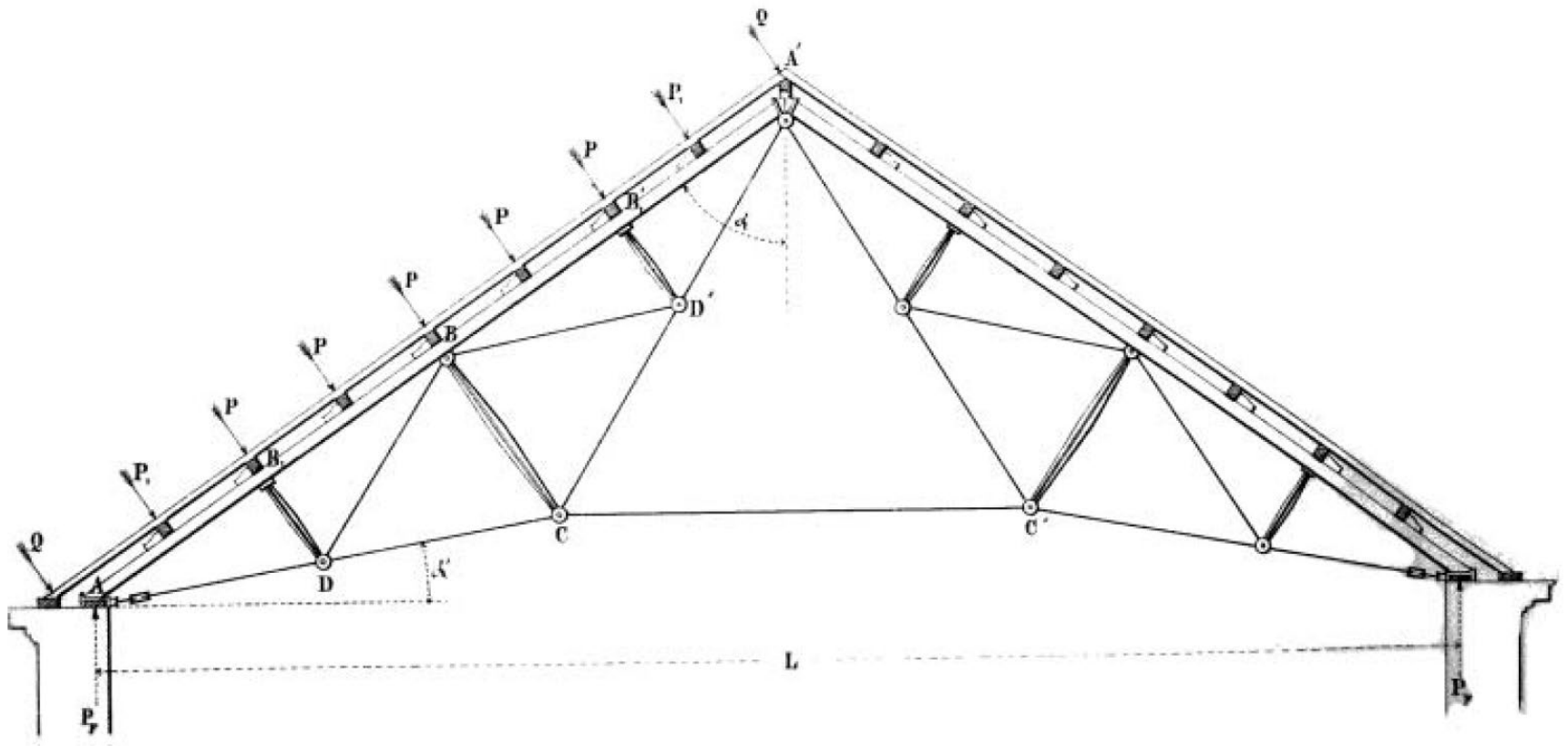
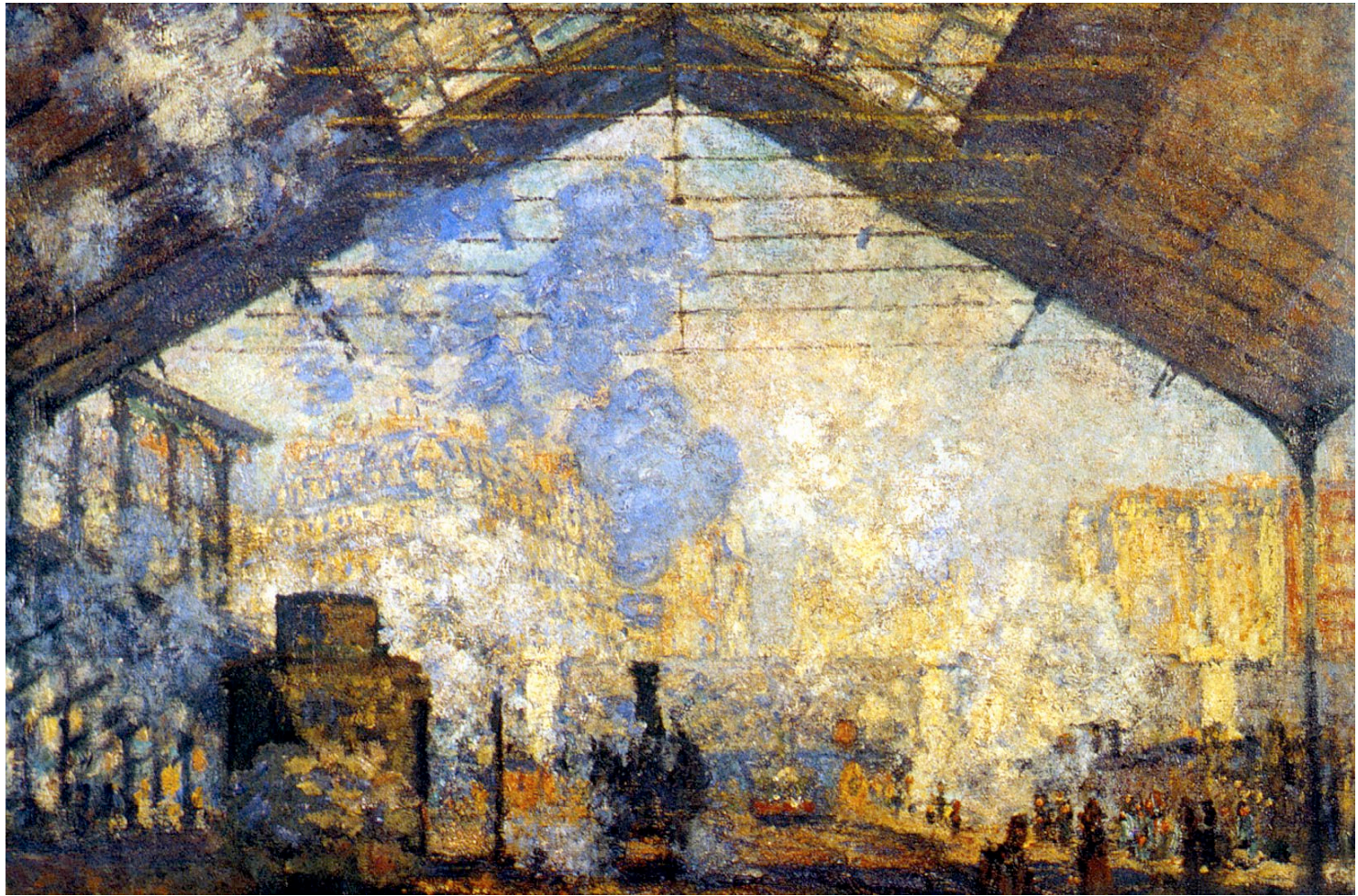
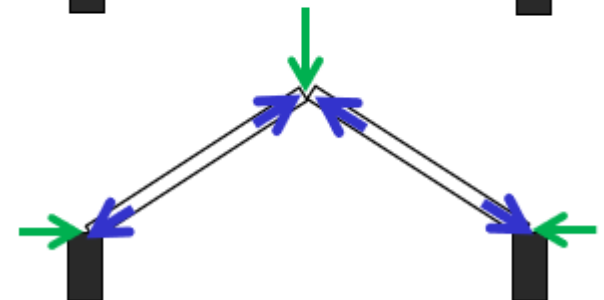
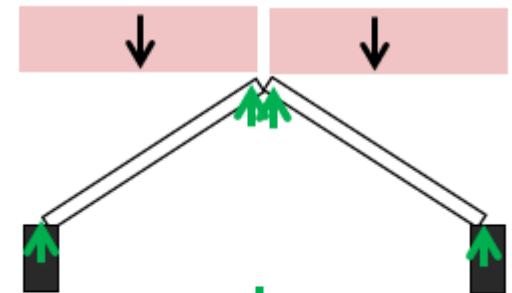
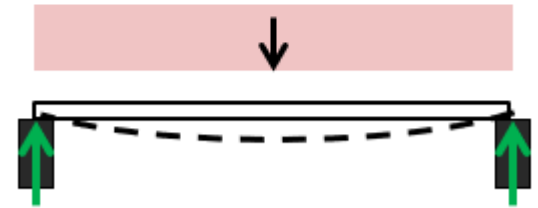
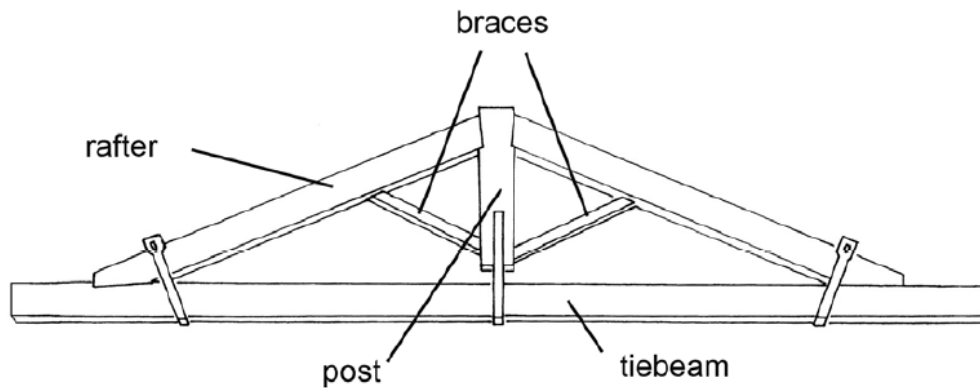
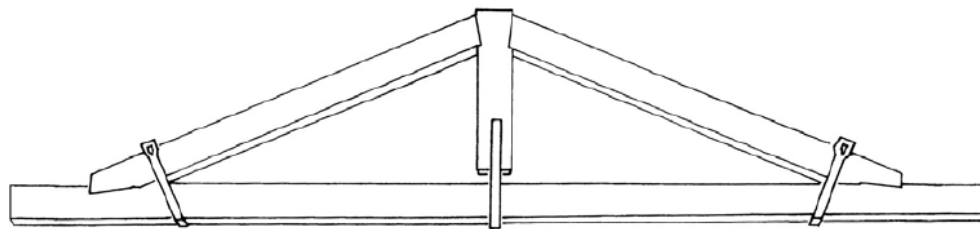


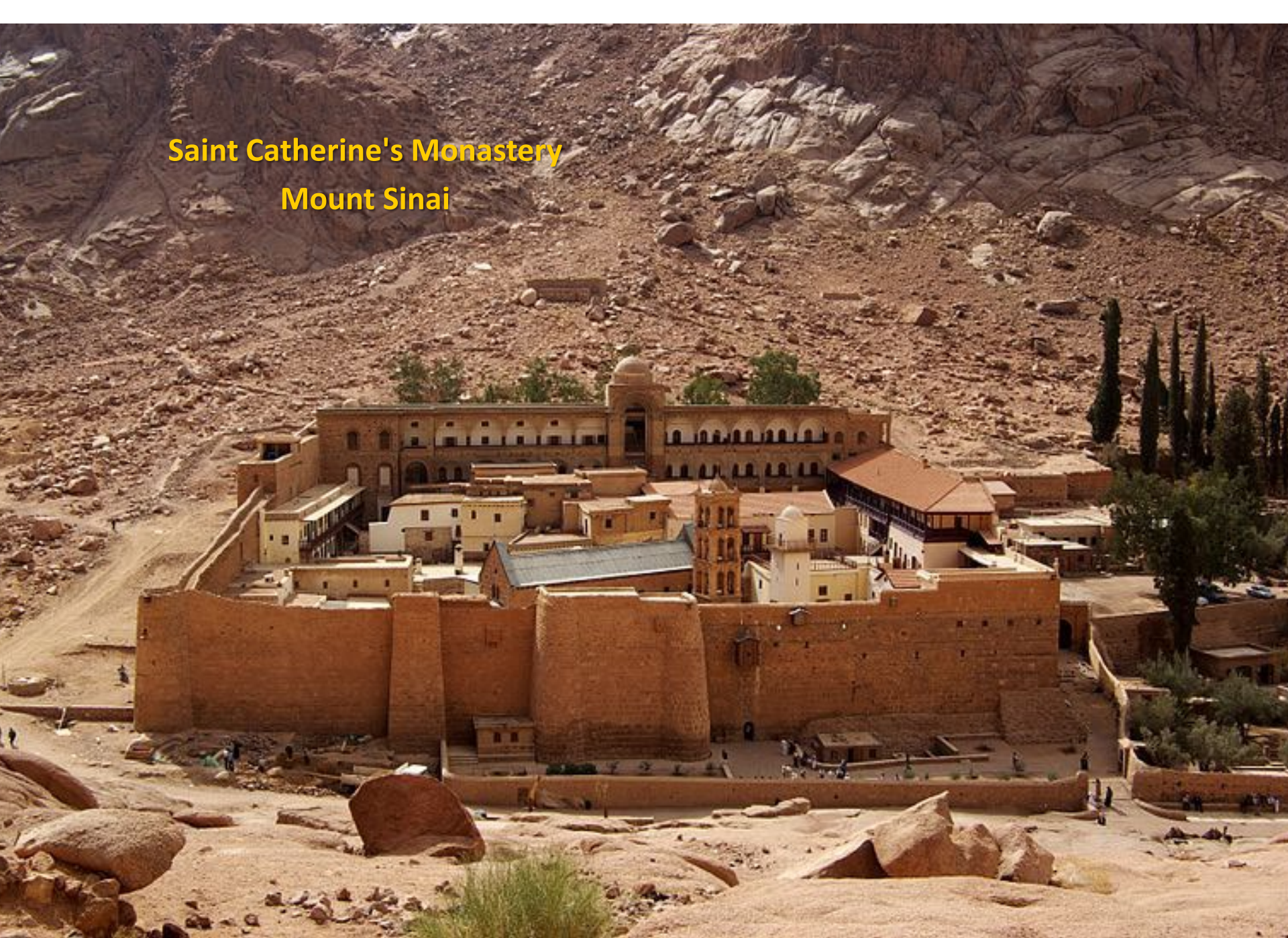
FIGURE 20 Polonceau roof with triply braced principal rafters. From Michon 1848, p. 290.



Hur förlänga en balk?



Saint Catherine's Monastery
Mount Sinai



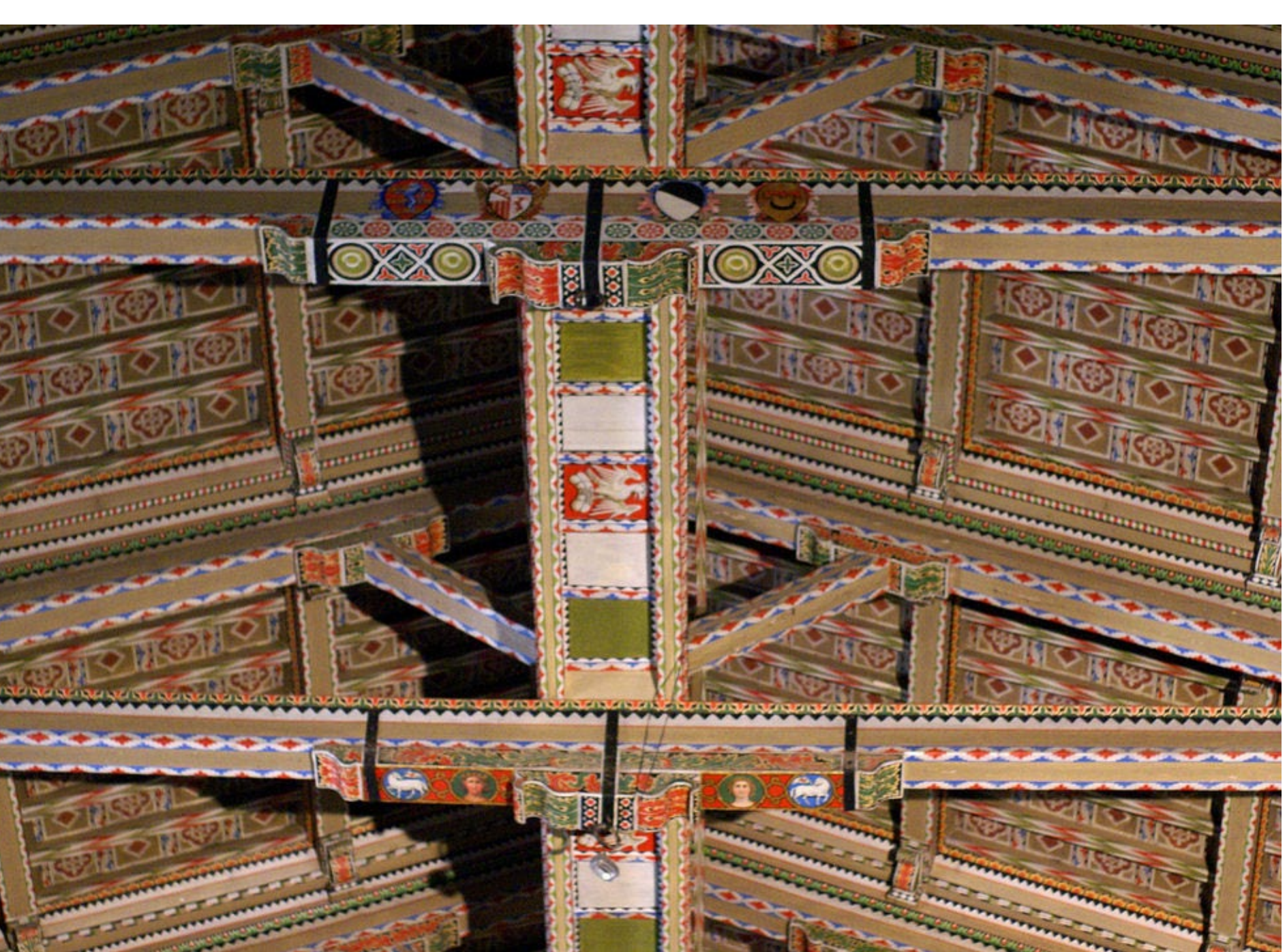


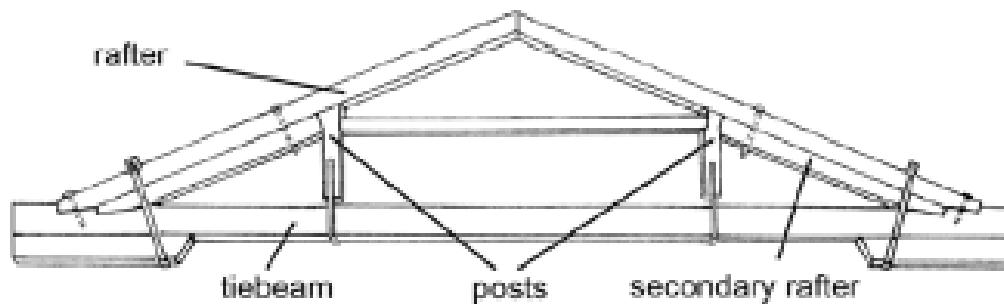
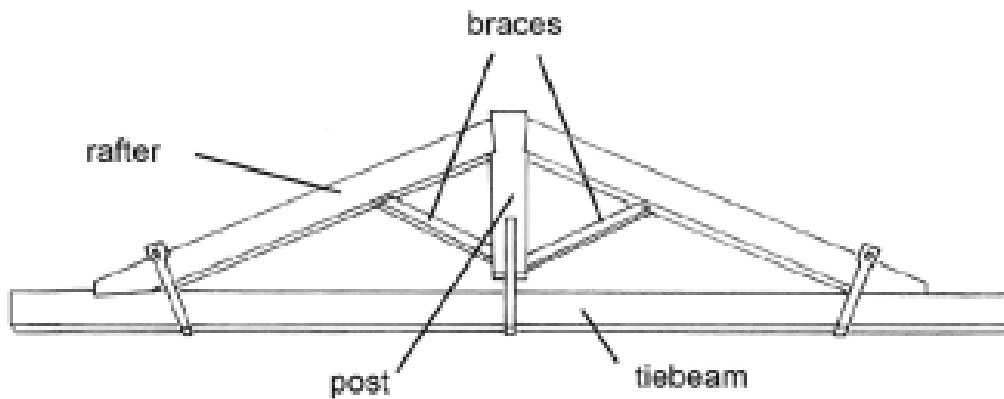
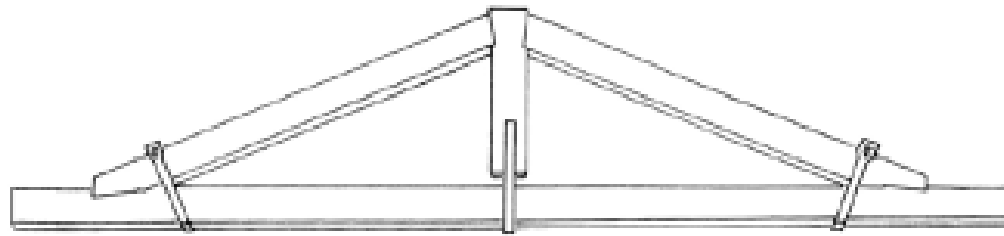
Palazzo Vecchio
Florence



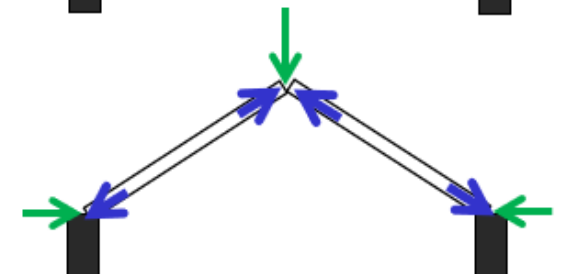
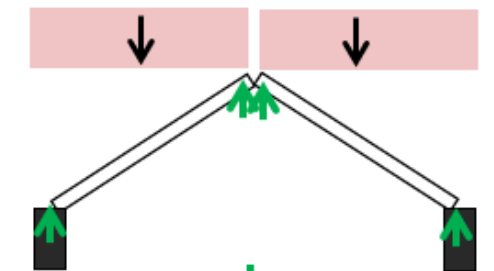
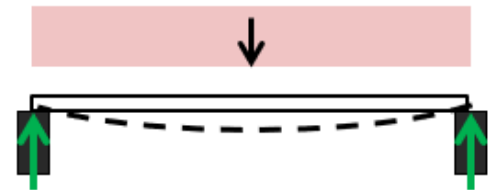








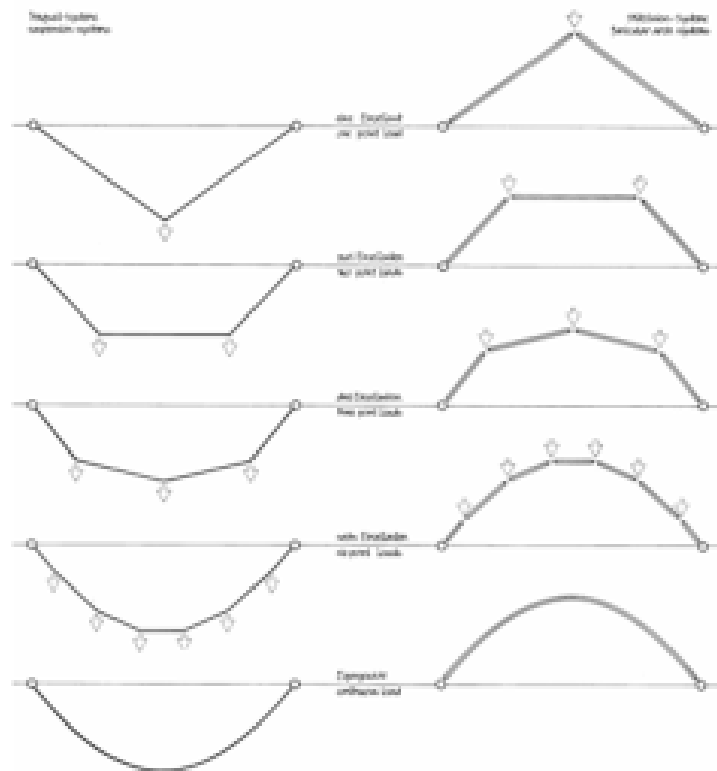
Hur förlänga en balk?



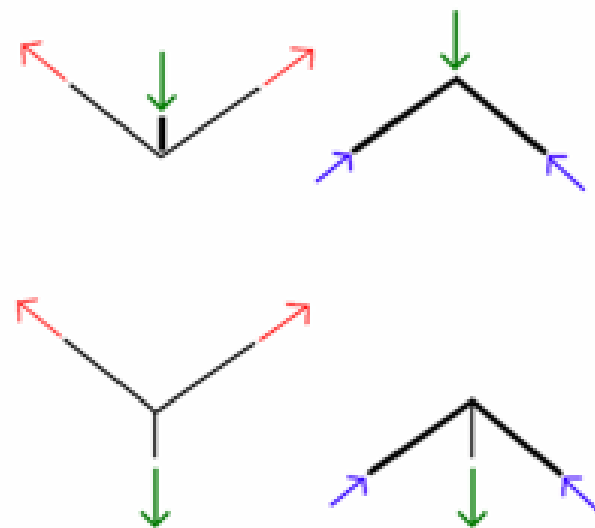
Linan och bågen (kedjekurvan och trycklinjen)

Beziehung zwischen Tragfall und Hölzleuge

relationship between suspension cable and trussbar arch

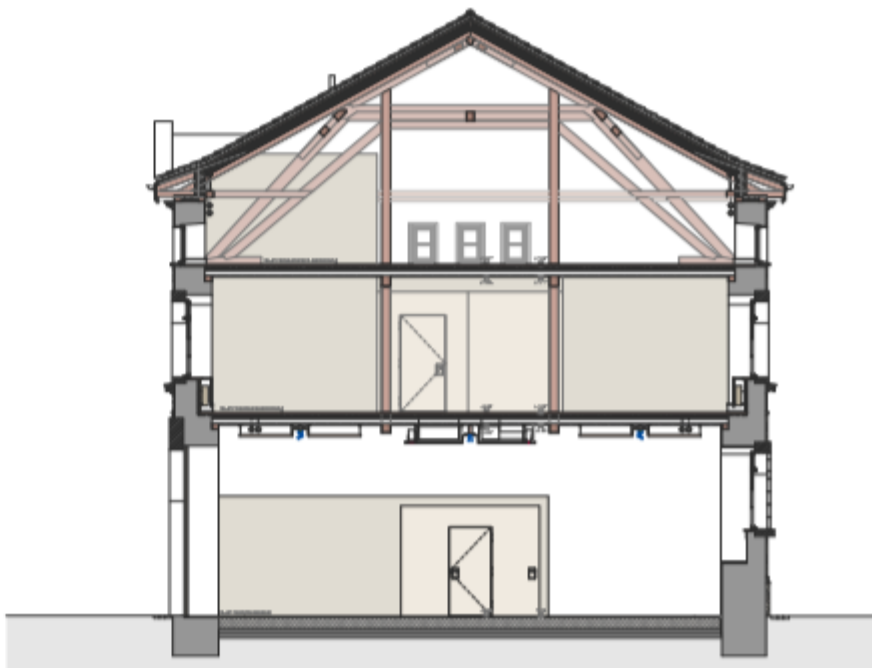
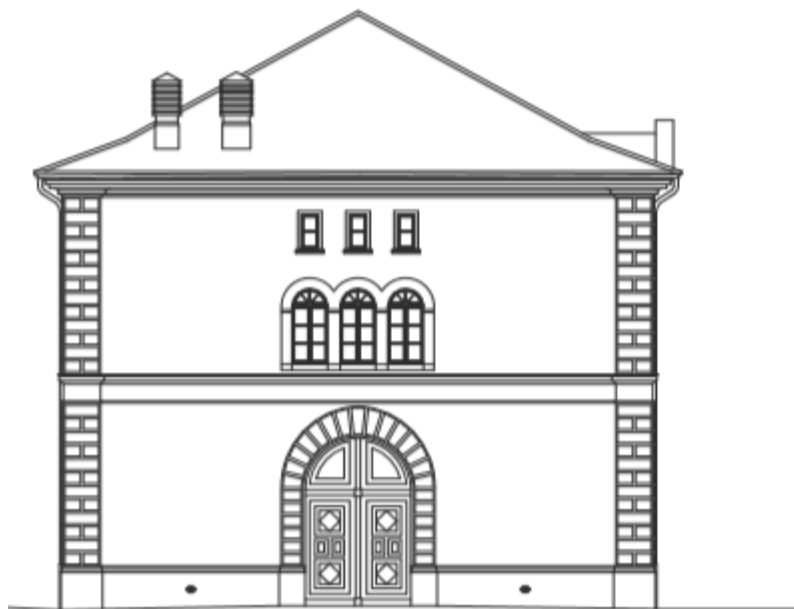


Grundläggande mekanism



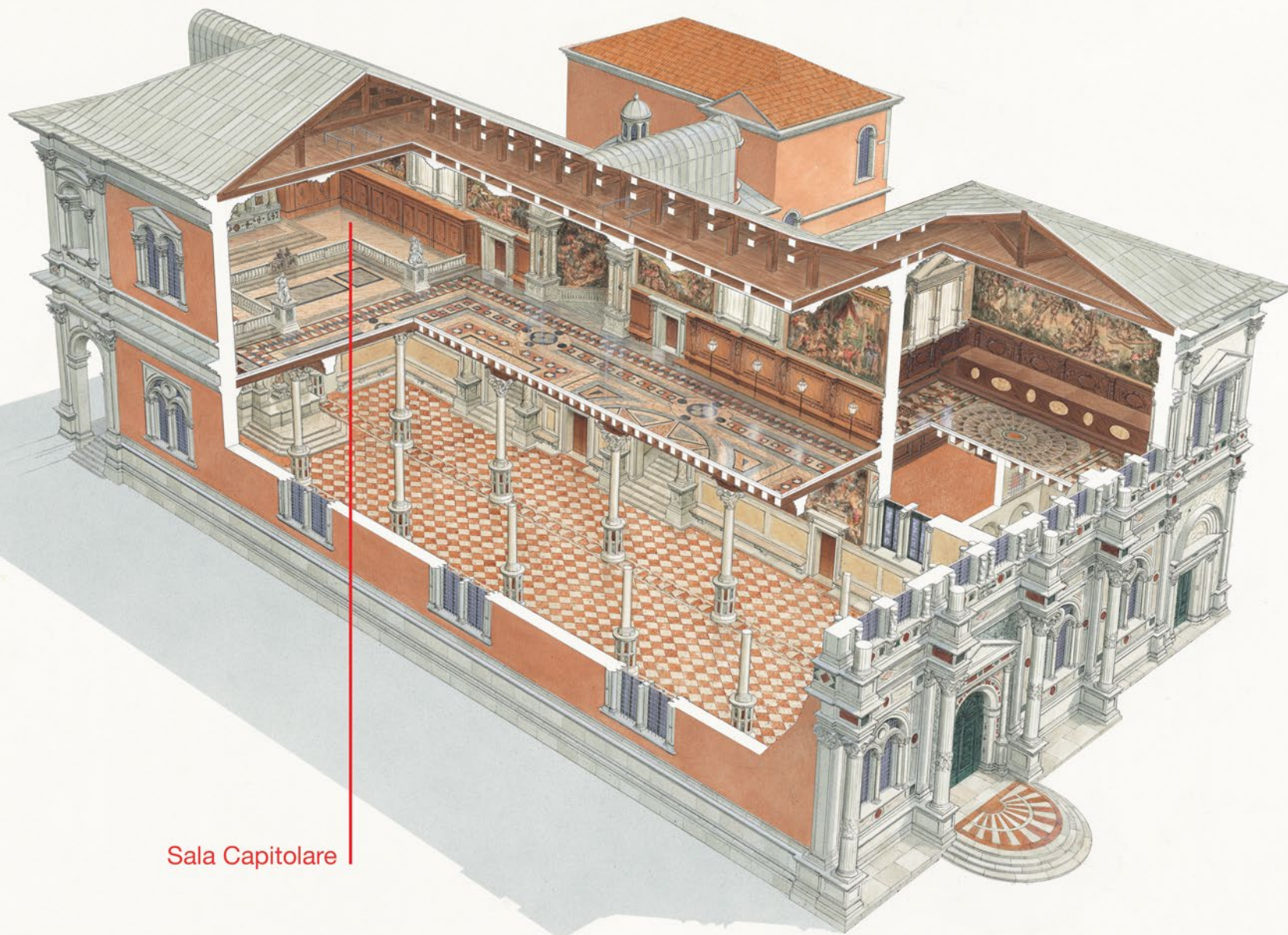
Partikeljämvikt

Strukturen bär den yttre kraften genom rent drag eller rent tryck





Venice – Scuola Grande di San Rocco, Tintoretto 1564-1587



Sala Capitolare



I Università Iuav di Venezia

U Laboratorio di fotogrammetria CIRCE

A Responsabile scientifico
prof. Francesco Guerra

V

Rilievo del soffitto del salone maggiore al primo
piano della Scuola Grande di San Rocco
compresa la struttura lignea che lo sorregge.

Committente: Scuola Grande di San Rocco

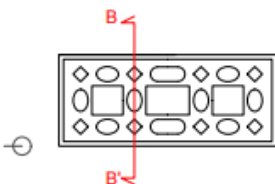
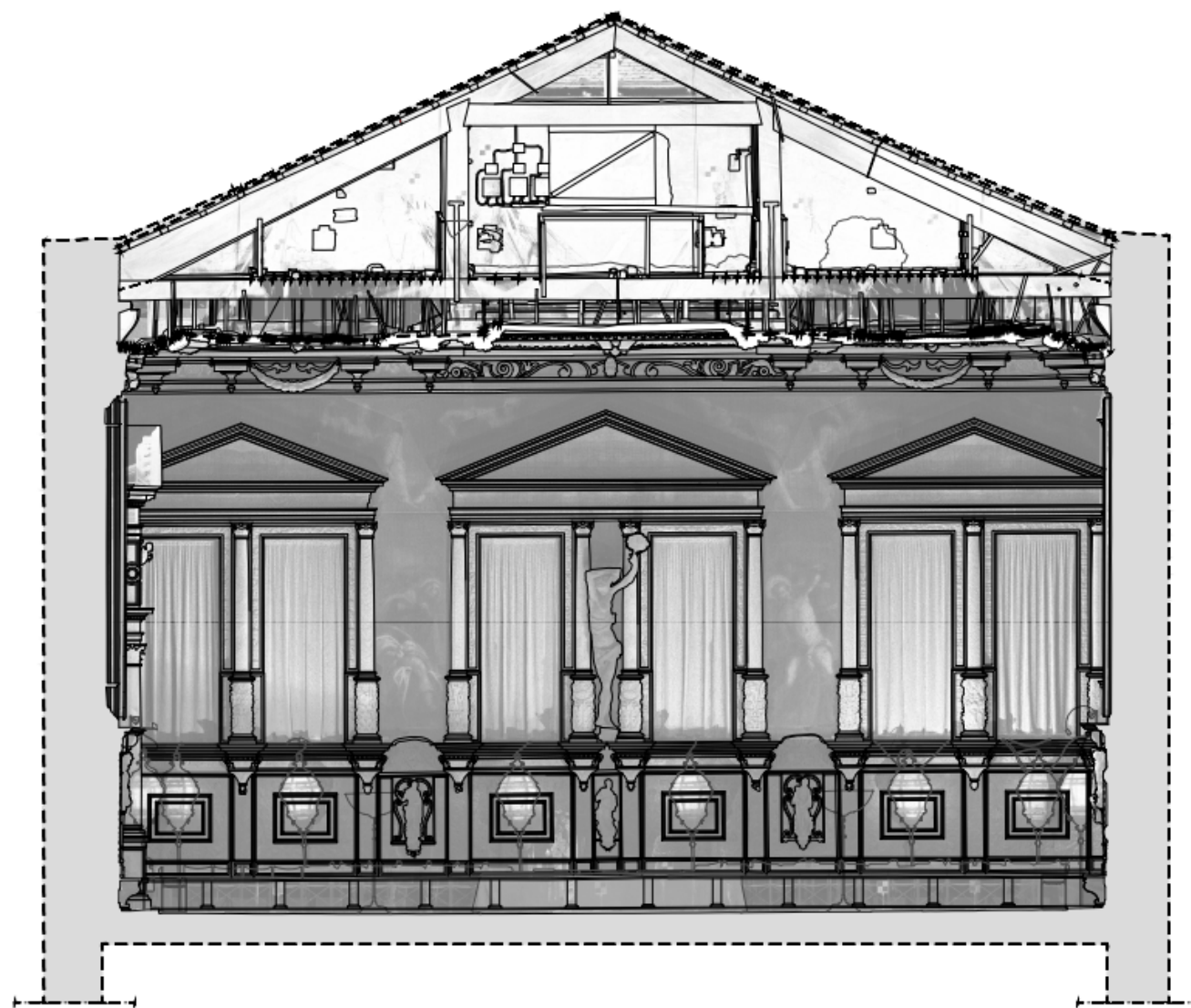
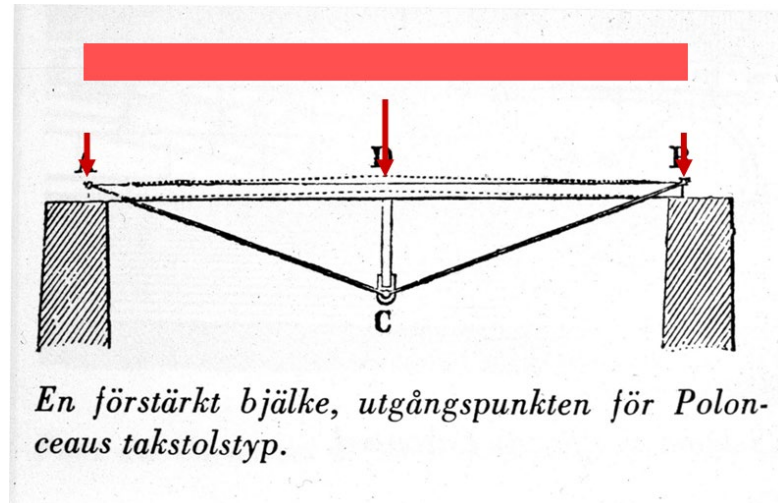


Tavola 7

Sezione BB' - Ortofoto
Scala 1:50



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 10/3.



