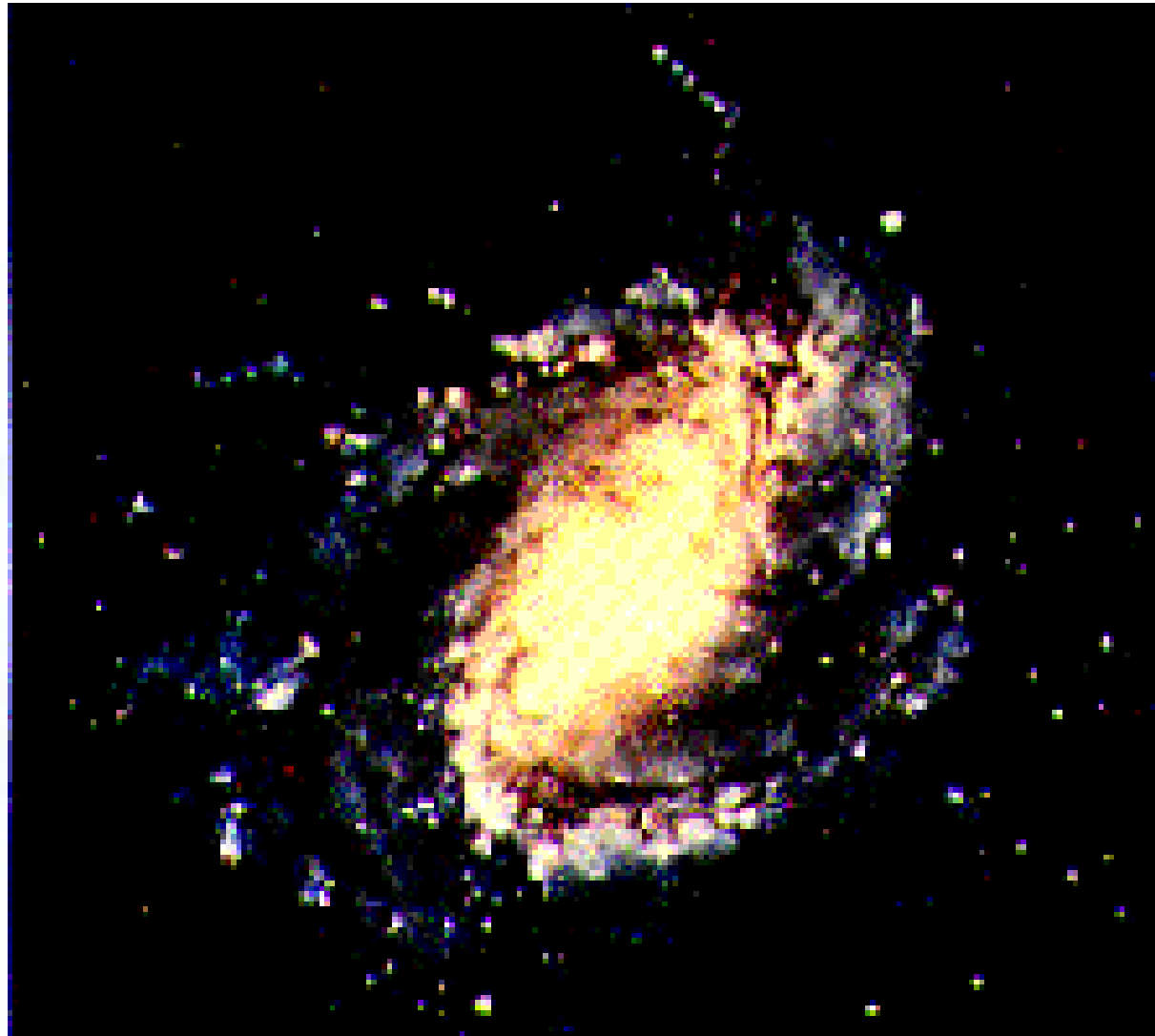
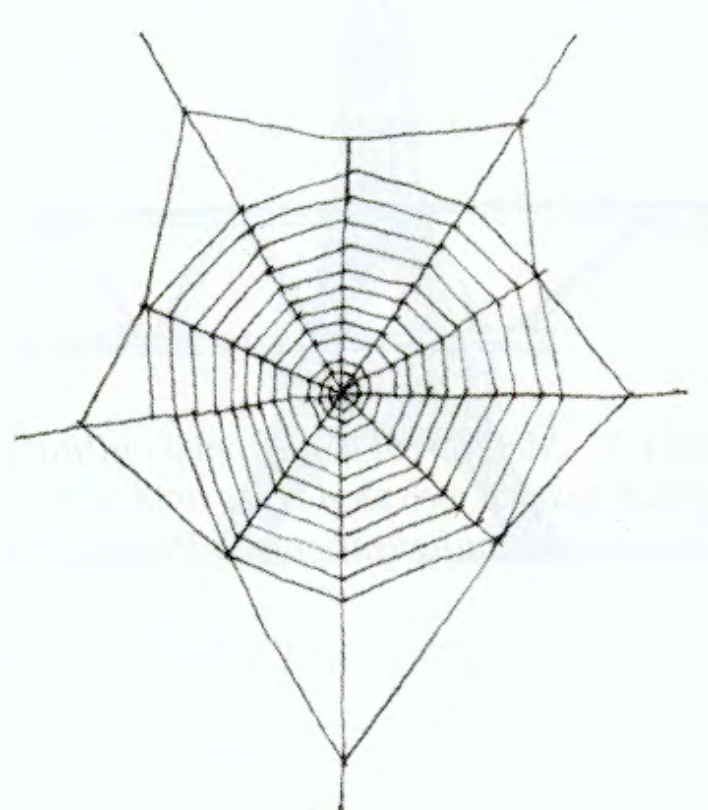


Krafter del 2



Kursnämnd

uppföljning efter dagens föreläsning

Läroboken

om hur den kan skrivas

Kursboken

lämplig att börja läsa nu

Kursnämnds-representanter är:

Ritsal 1 och 2: Isabell Björkman

Ritsal 3 och 4:

Ritsal 5 och 6: Sara Msellati

Ritsal 7 och 8:

Ritsal 9 och 10:

Om Läroboken ... och några goda exempel instruktioner – se CANVAS

KONSTRUKTION



Förnamn Efternamn
Förnamn Efternamn

Innehållsförteckning

1. Byggnaden som bärande system 5

Vertikala laster

Horisontella laster

Verkliga exempel

2. Balans, struktur och rörelse 7

Yttre stöd

Inre stöd

Systemlinje och Tvärsnitt

Ingenjörssymboler

Skivors inre och yttre stabilitet

Mekanisk, statisk och statiskt obestämd

3. Gravitationens verkan 9

Jämvikt

Stödyta

Verkliga exempel

4. Krafter 11

Moment

Jämvikt i 2 dimensioner

5. Linan, bågen och fackverket 13

Fackverk - grundbegrepp

Takstolen

6. Balken och Ramen 16

Hur de fungerar

Typer

Moment- och tvärkraftsdiagram

Fritt upplagd balk

Konsolbalk

Inre krafter och deformationer hos en kontinuerlig balk

Stång- och balkverkans styvhet

7. Pelaren och skivan 21

Inspänningförhållanden hos en pelare

Styvhet

Inflexionspunkt och knäckningslängd

Skivor

Avslutande reflektion

Styrka – täcker kursen väl och är genomarbetad

Svaghet – tar inte ett eget grepp för att bearbeta kursinnehållet

Exempel på egna grepp under åren:

- Berättelse om ett byggnadsverk och dess delar
- Utgångspunkt i uppgifterna
”Nå upp, spänna över, nå ut” (avsnitt 7)
- Berättelse kring Engels typer (avsnitt 5-7)

Innehållsförteckning

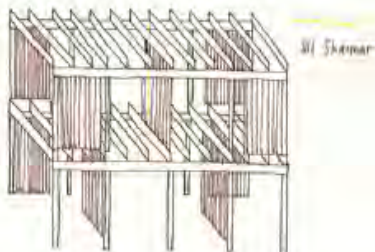
Kraftbegrepp	3
en mobil	
tyngdpunktens vertikala läge	
en undersökning	
kroppar	
Kraftbegrepp igen	4
vektorer, komponenter, resultanter	
moment	
krafter i linor	
valv och bågar	
bärande system	5
horisontella laster	
vertikala laster	
stabilitet i rymder	
PointSketch	
yttre och inre stabilitet i 2D	
topologi	
Arkitektoniska element och strukturer	6
balk	
platta	7
skiva	
stång	
lackverk	8
lina	
båge	
ram	
Styvhet och knäckning	9
knäckningslängd	
deformationer	10

Konstruktioner för punktlast	11
5A	
5B	
En reflektion över det egna lärandet	12

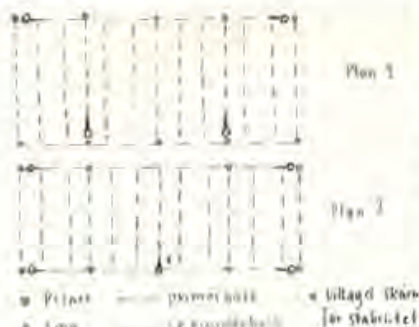
1. Byggnaden som bärande system

Vertikala laster

Vertikala laster som kan påverka en byggnad är till exempel snö, inredningar, människor och byggnadens egen tyngd. En byggnads bärande system för vertikala laster kan beskrivas med hjälp av en systemritning.



3D-strukturen ovan avbildas med en systemritning enligt nedan.



Fyrkanter symboliserar pelare (som bär underifrån genom tryck) och prickar symboliserar linor (som bär ovanifrån genom drag). Pricksträckade linjer symboliserar primärbalkar, det vill säga balkar som är direkt bundna av pelare eller linor. Sekundärbalkar är streckade och bärs av primärbalkar. Tertiärbalkar (vilka ej finns i detta system) bärs av sekundärbalkar och symboliseras av streckade linjer med kortare strecklängd.

Vid dimensionering av balkar är det viktigt att ha i åtanke vilken längd de ska bära över, det vill säga vilken spännvidd de har. En tumregel

är att balkens höjd ska vara minst $1/20$ av längden den spänner över. I det tidigare exemplet ska primärbalkarna ha något högre höjd än sekundärbalkarna, eftersom primärbalkarna har en längre spännvidd.

Horisontella laster

Horisontella laster som påverkar en byggnad kan vara vind, kollisioner, jordbävningar. För att bära horisontella laster används andra element, till exempel skivor, skärmar eller ramar.

Principen för att bära horisontell last är att lasten tas emot av en vertikal struktur (t.ex. skärm), vilken för lasten ned till en horisontell struktur (balk), som i sin tur tar lasten till marken (pelare).

Det är viktigt att den horisontellt bärande strukturen är låst i minst tre punkter för att det bärande system ska fungera.

Horisontella laster kan resultera i deformation genom torsion och förskjutning i sidled. Torsion förhindras genom att använda två vertikala stöd med utsträckning vinkelrätt mot varandra. Förskjutning i sidled förhindras genom att använda två vertikala stöd med utsträckning parallellt med varandra.

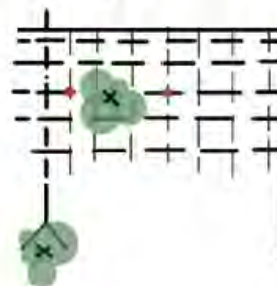
I det tidigare exemplet adderades en extra skärm på det övre planet vinkelrätt mot de övriga för att få skydd mot torsion.

Verkliga exempel

Nordiska paviljongen, Sverre Fehn, 1962



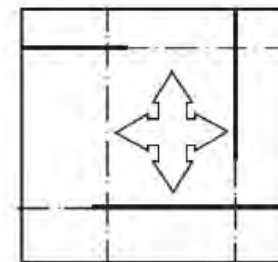
Kunsthauz Bregenz, Peter Zumthor, 1997



Ritningen ovan visar en systemritning av Sverre Fehns Nordiska Paviljong. Väggarna överst och längst till höger utgör det bärande vertikala systemet som bär upp primärbalkarna. Ovanpå primärbalkarna vilar sekundärbalkarna. En av primärbalkarna i mitten av byggnaden har kapats för att göra plats för en trädstam. Denna primärbalk bärs upp av sekundärbalkarna ovanför den (i de röda punkterna), vilket kallas avvaxling.

Strukturen bär horisontell last med hjälp av de två väggarna som skyddar mot torsionsdeformation, och en den y-formade pelaren som skyddar mot deformation i sidled.

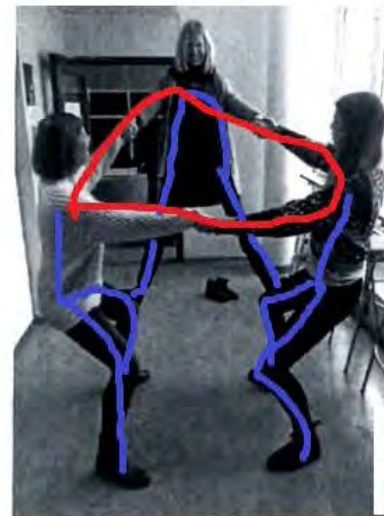
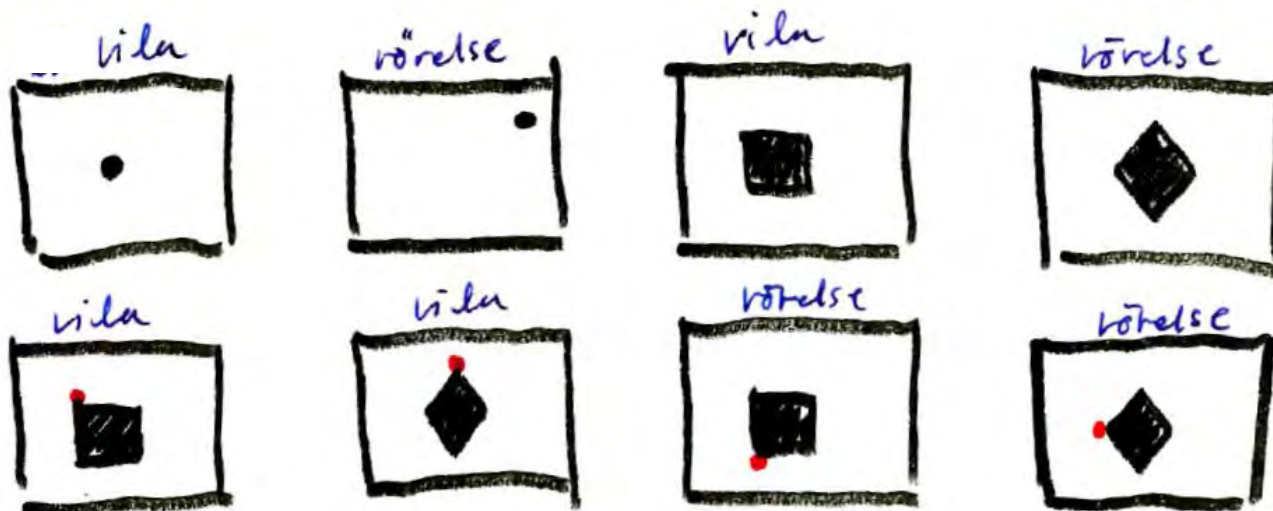
Ovan till höger är systemritningen för Kunsthauz Bregenz. Även här utgör väggarna det vertikalt bärande systemet, och på dessa vilar primärbalkarna. Pilarna symboliserar den högsta ordningen av bärande element, i detta fall troligtvis en armerad betongskiva.



Konstruktionen i Kunsthauz Bregenz bär horisontell last med de tre skärmväggarna, två parallella väggar (mot förskjutning i sidled) och två vinkelräta väggar (mot torsion).

Styrka – mycket bra exempel,
tydliga beskrivningar och skisser

Svaghet – få redovisningar av eget utforskande
få egna reflexioner



Bilderna visar kroppar i vila dvs. tryck drag är lika stora. Detta ger ett tillstånd i jämvikt.

Styrka – eksempel på eget utforskande

Möjlig svaghet – mer av egen reflexion

Gå till "Uppgifter" i CANVAS

Seminarier och Lärobok i konstruktion

Skicka uppgift

Lärobok i konstruktion

Efter avslutad kurs ställs alla seminarieredovisningar samman till en *Lärobok i Konstruktion*. Formatet är liggande A3 så att det passar in i och kan läggas till projektportföljen. Inlämning sker både i pappersform och digitalt:

- *Digital inlämning* via CANVAS senast torsdag 19 mars klockan 17.00. Handskriven lärobok scannas.
- *Inlämning i pappersform* i låda som står i ACE-institutioens lobby på plan 3 i SB1. Inlämning senast torsdag 19 mars klockan 17.00
- Arbetet ska ha en *framsida* som innehåller bild, rubrik (valfri), författare och årtal.
- Därefter ska en *innehållsförteckning* följa.
- Arbetet ska ha en *sista sida* med en kort reflektion över det egna lärandet.
- Texten ska ha en rimligt enhetlig och professionell layout.
- Omfattningen ska vara 12-16 A3-sidor inklusive redovisning av broprovningen (se nedan).

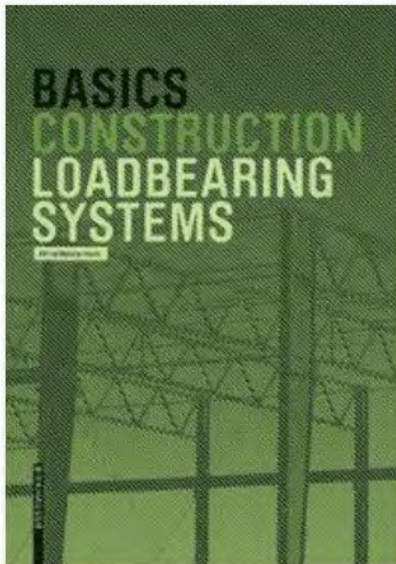
Redovisning av broprovning

En A3-sida i läroboken ska ägnas åt broprovningen. Här ska dels den egna bron, dels en valfri annan bro analyseras. Analysen ska innehålla tre delar:

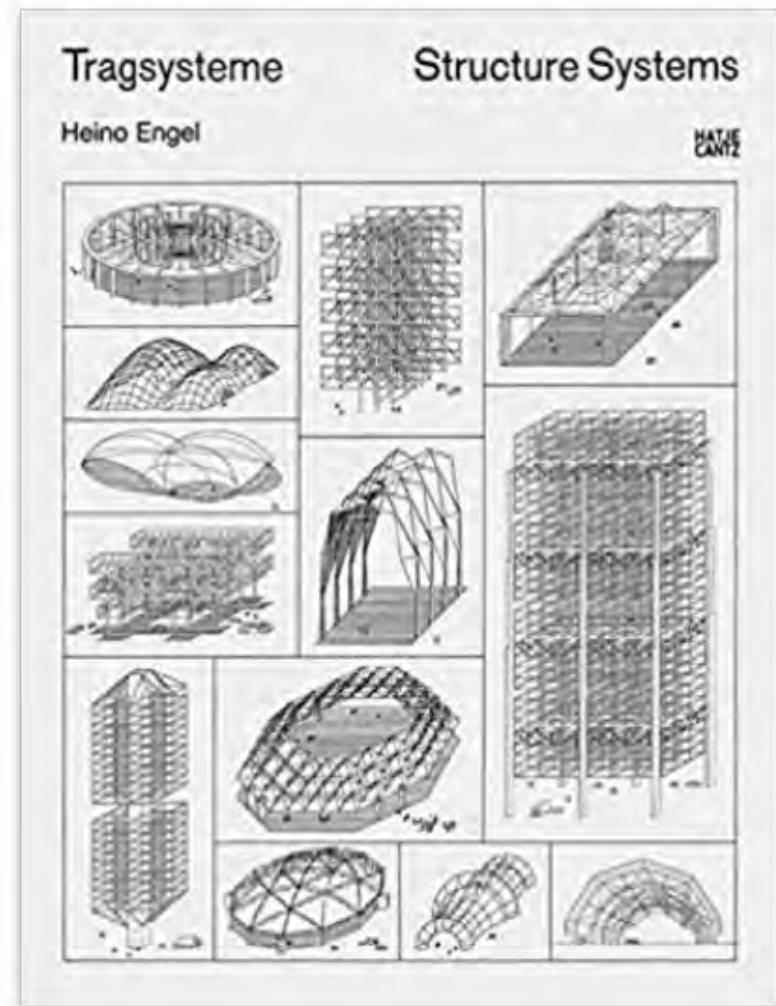
- Långsidans kraftmönster (tryck och drag).
- Långsidans kraftmönster (bara tryck) och diskussion kring instabilitet.
- Kortsidans kraftmönster (tryck räcker) och diskussion kring instabilitet.
- Ovansidans kraftmönster (tryck räcker) och diskussion kring instabilitet.

Referensbok

Kursbok

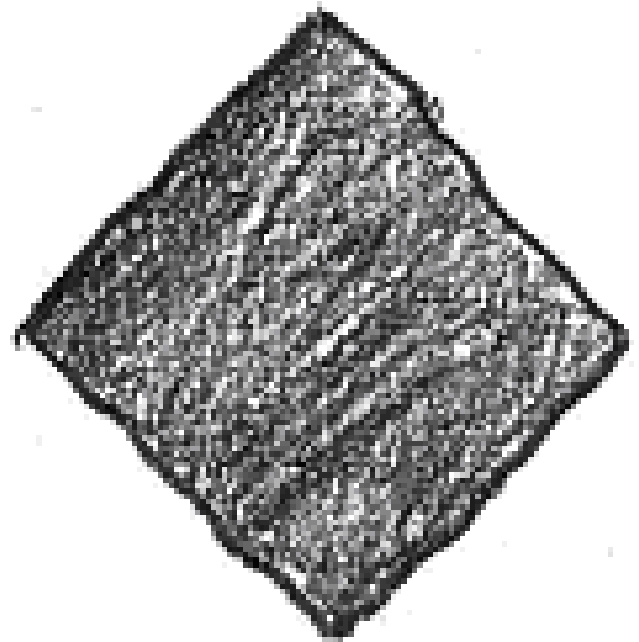
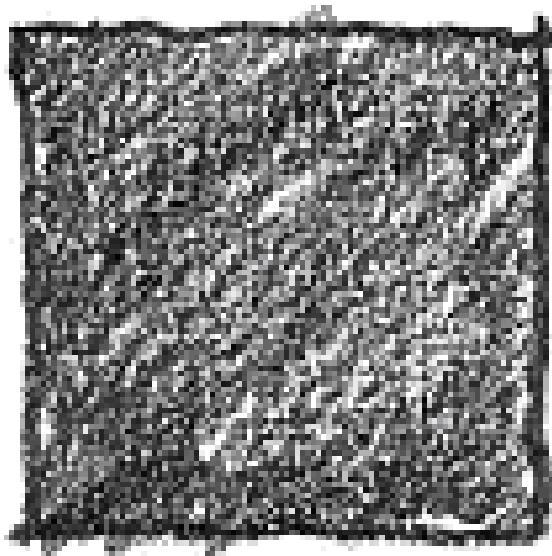


ca 150 kr



ca 400 kr

Gravitationen som referensram

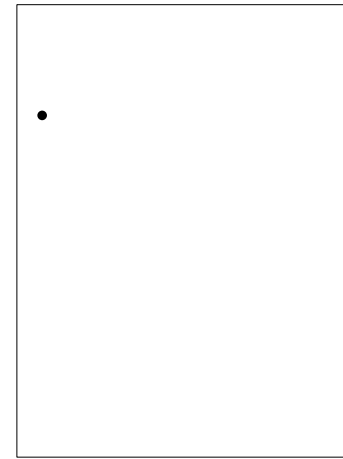
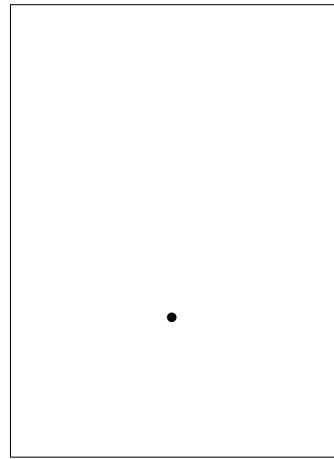


Tyngdpunkt



Degas' arrangement of dancers would slide into the lower left corner were it not for the two red skirts on the right. The impact of the factor of color weight pulls significant force to the right and thus keeps the painting in balance. Edgar Degas, Before performance 1882-85

4. Kroppars vila och rörelse



Undersök begreppet *referensram* genom att skissa ett antal bild-par på temat *vila* och *rörelse*

Tag ett *blankt vitt A4-papper* och försök att placera *en punkt* på papperet så att din gruppkamrat i sin omedelbara association uppfattar kompositionen i *vila*. Är ni överens – diskutera varför, är ni inte överens diskutera varför. Försök att ur diskussionen locka fram era respektive viktigaste referensramar för tolkningen.

Fortsätt med:

- blankt A4-papper – *en punkt* – *rörelse* (jämför bildparet med punkter)
- blankt A4-papper – *en fylld kvadrat* – *vila*
- blankt A4-papper – *en fylld kvadrat* – *rörelse* (jämför bildparet med kvadrater)
- blankt A4-papper – *en punkt och en kvadrat* – *vila*
- etc. (utveckla uppgiften själv och skapa minst 10 bild-par)



Kazimir Malevitj 1878-1935

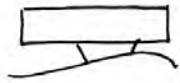
The painting does not follow any physical law, it has no up or down, it is not ruled by gravity. Malevich felt it was exactly the same as the laws of physics in outer space, or that of the universe.

If a weight suspended above the earth should somehow levitate, the risk-answer must lie in the breaking of symmetry.

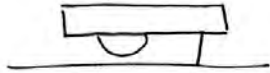
I sketched out various solutions, trying to set the mass 'free'.



Columns were stuck well underneath to give a feeling of free edge.



In some cases the ground came up to disguise the support.



In other instances raking columns initiated oblique lines to take away the feeling of direct support.



I tried top hung support as well but that felt alien and inappropriate for the site.

None of the ideas really satisfied. I still felt confined. The picture of the site kept imposing its own dynamic, challenging a better solution. No matter how the columns were placed beneath the load the generic concept of table came back, and with it the imprint of an 'anchor' killing off the ambition.



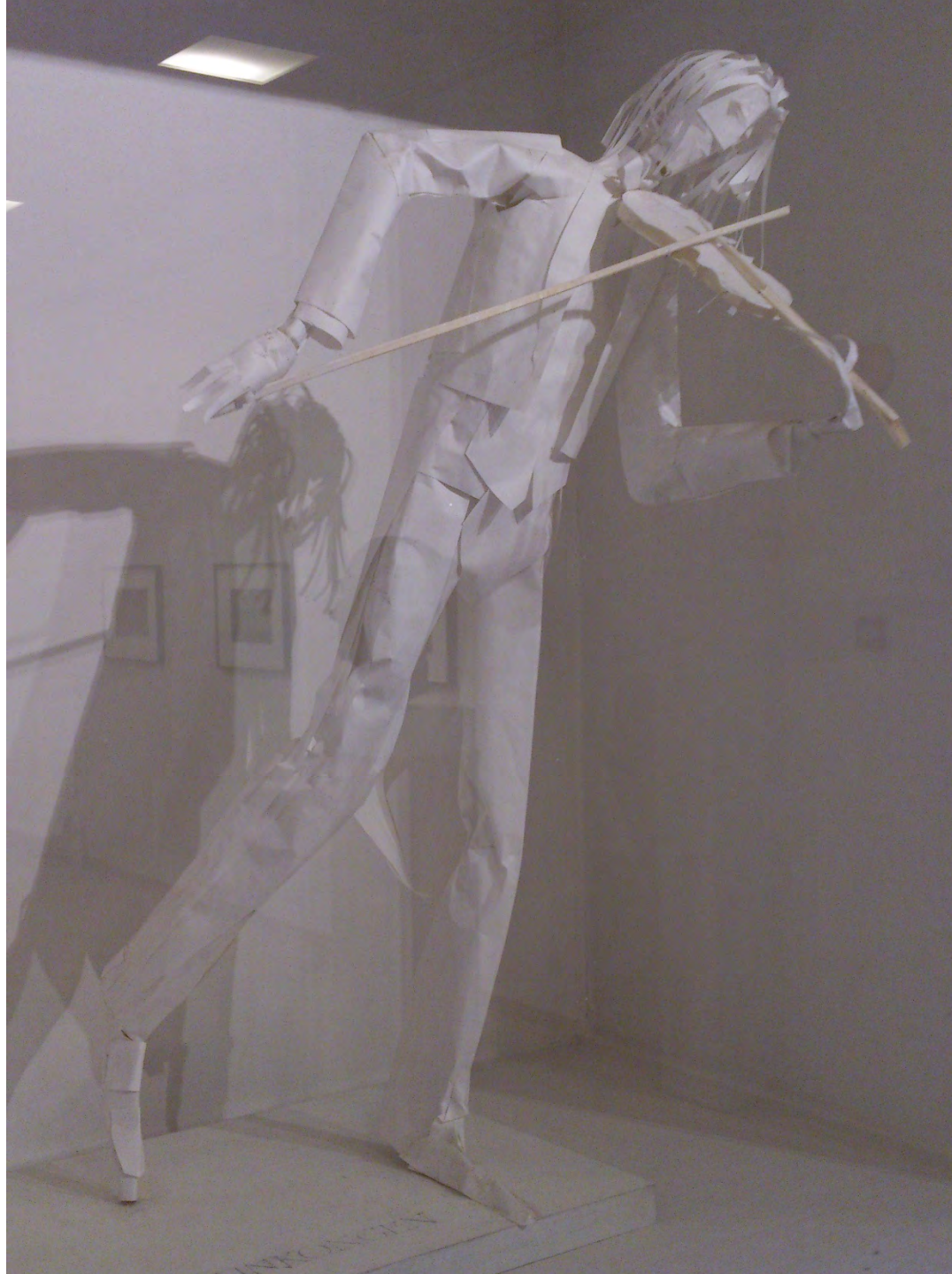
Villa Bordeaux
Cecil Balmond
Rem Koolhaas



Haakon VII Av Nils Aas (Straumen)

7. juni-platsen är platsen framför utrikesdepartementet i Oslo. Platsen fick sitt namn 1962 till minne av unionsupplösningen 1905 som ägde rum denna dag. Haakon VII var Norges första kung efter unionstiden. 7 juni var också den dag Hakkon VII lämnade Norge vid Tyskalnds invation 1940. Och den dag han återvände 1945.

«Motstanderne trev til de underligste argumenter mot verket da det ble avduket. Verst var det at kong Haakon var uten lue. Ille var det også at han så ut som han svaie i vinden. For var det noe vår konge ikke hadde gjort da det gjaldt som mest, var det å svaie i vinden. Tvert imot. Han sto som en påle der de fleste andre rundt ham vek.»



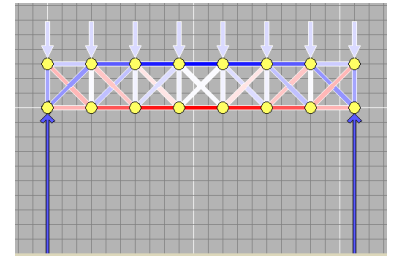
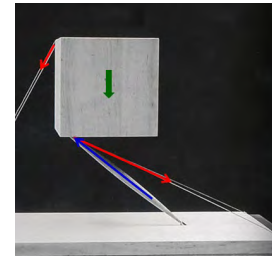


Kraftbegrepp

Om krafters **ursprung**, hur krafter **uppträder**
och hur de kan **representeras**

Om krafters **ursprung**

- Gravitation (tyngdkraft)
- Elektromagnetism (tryck/drag, friktion)



Hur krafter **uppträder**

- Volymkraft (kraft per volymenhet)
- Ytkraft (kraft per ytenhet)

Hur krafter **avläses/representeras**

- Linjekraft (kraft per längdenhet)
- Punktkraft (kraft)
- Kraftresultant – och komposant
- Kraftpar och moment

5. Kroppars vila och rörelse



Undersök genom en serie ”krokiteckningar”:

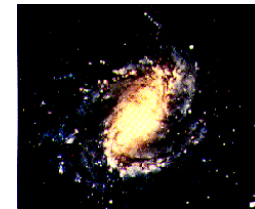
- Kroppen skissad som fält av *tyngder* balanserande kring *lodlinjen*
tyngder kan vara skissade fält/linjer med olika form och svärta
tyngder kan också vara fem utrivna papperslappar limmade så
att de balanserar över lodlinjen
- Stöden (kroppens möte med underlaget) också skissade som
tyngder balanserande kring *lodlinjen*

Flera kraftbegrepp ...

Om krafters **ursprung**, hur krafter **uppträder**
och hur de kan **representeras**

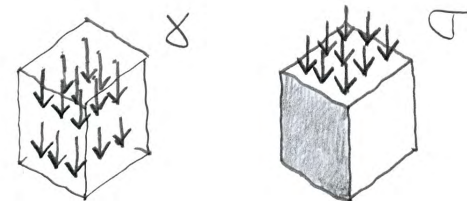
Om krafters **ursprung**

- Gravitation (tyngdkraft)
- Elektromagnetism (tryck/drag, friktion)



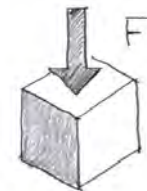
Hur krafter **uppträder**

- Volymkraft (kraft per volymenhet)
- Ytkraft (kraft per ytenhet)



Hur krafter **avläses/representeras**

- Linjekraft (kraft per längdenhet)
- Punktkraft (kraft)
- Kraftresultant – och komposant
- Kraftpar och moment

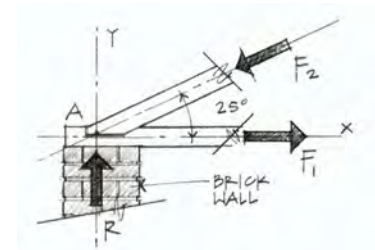


... och mer om krafter i balans

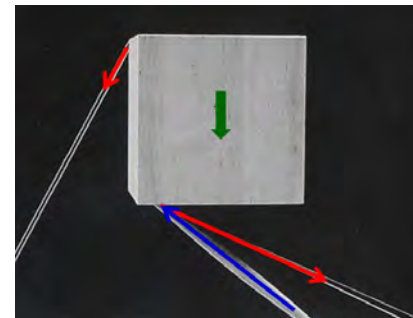
Tyngdpunkt – den punkt kring vilken alla tyngder balanserar



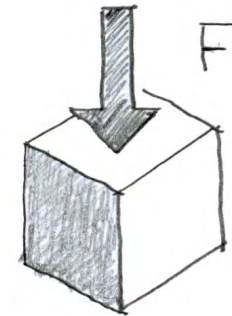
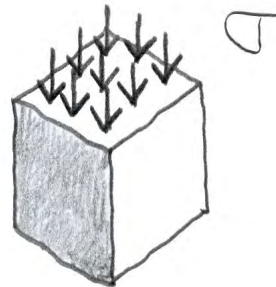
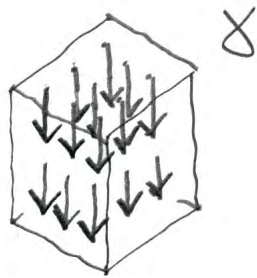
Partikel-jämvikt



Stelkroppps-jämvikt



Om verkliga krafter och representationer av krafter



Verkliga krafter

Förenklat kraftbegrepp

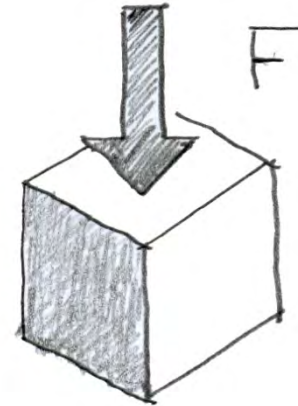
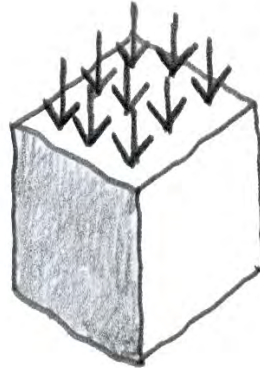
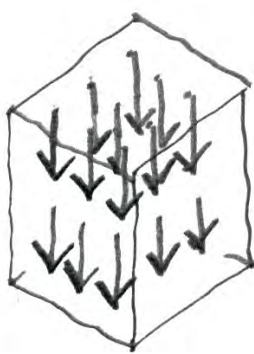
Kraft per volymenhet
[N/m³]

Kraft per ytenhet
[N/m²]

Kraft
[N]

Resultant

ett begrepp för samlad kraft-verkan

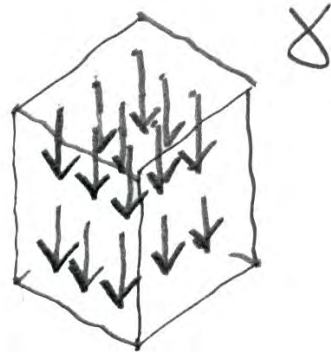


Krafter uppträder i naturen som *volymkraft* (tunghet) [N/m^3]
eller som *ytkraft* (spänning) [N/m^2]

När vi beskriver krafter är det ofta
dessa krafters *resultanter* vi talar om.

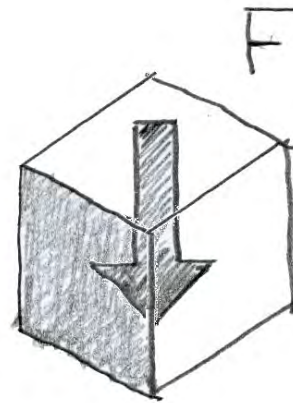
Tyngdkraft

(genererad av gravitation)



Tunghet $\gamma = \rho g$

Kraft per volymenhet
[N/m³]

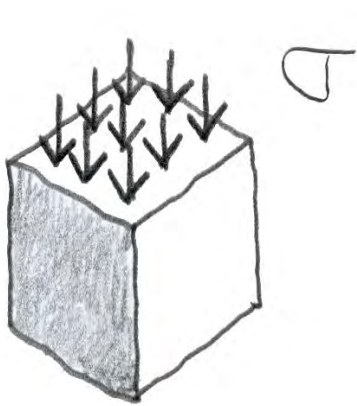


Tyngd $F = mg$

Kraft
[N]

Ytkrafter

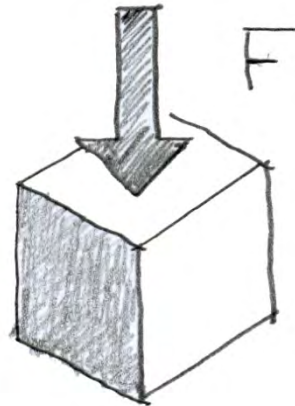
(genererade av elektromagnetism)



Normalspänning

Kraft per ytenhet

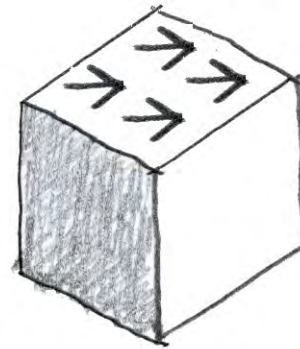
$[N/m^2]$



Normalkraft

Kraft

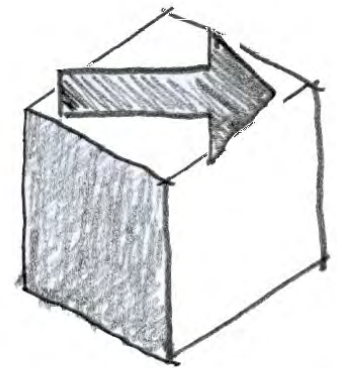
$[N]$



Skjuvspänning
Friktion

Kraft per ytenhet

$[N/m^2]$



Tvärkraft
Friktionskraft

Kraft

$[N]$

1. Volymkraft, ytkrafter och deras resultanter

De fyra vanligast förekommande krafttyperna och deras tillhörande resultanter är:

Volym-kraften *tunghet* har resultanten *tyngdkraft*

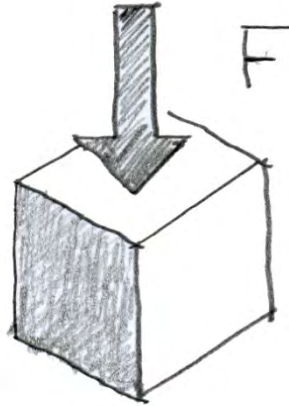
Yt-kraften *normalspänning* har resultanten *normalkraft*

Yt-kraften *skjuvspänning* har resultanten *tvärkraft*

Yt-kraften *friktion* har resultanten *friktionskraft*

Illustrera (fotografera/skissa) med konkreta exempel de olika krafttyperna och visa hur de kan representeras genom sina resultanter.

Kraft – vektor



En kraft har *storlek* och *riktning*

Kan representeras av det matematiska begreppet *vektor*

Skalär , vektor eller tensor

olika typer av fysikaliska storheter

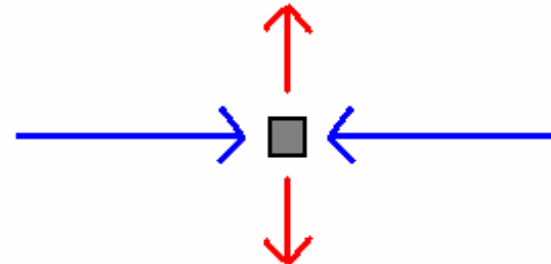
En **skalär** har **storlek**



En **vektor** har
storlek och **riktning**

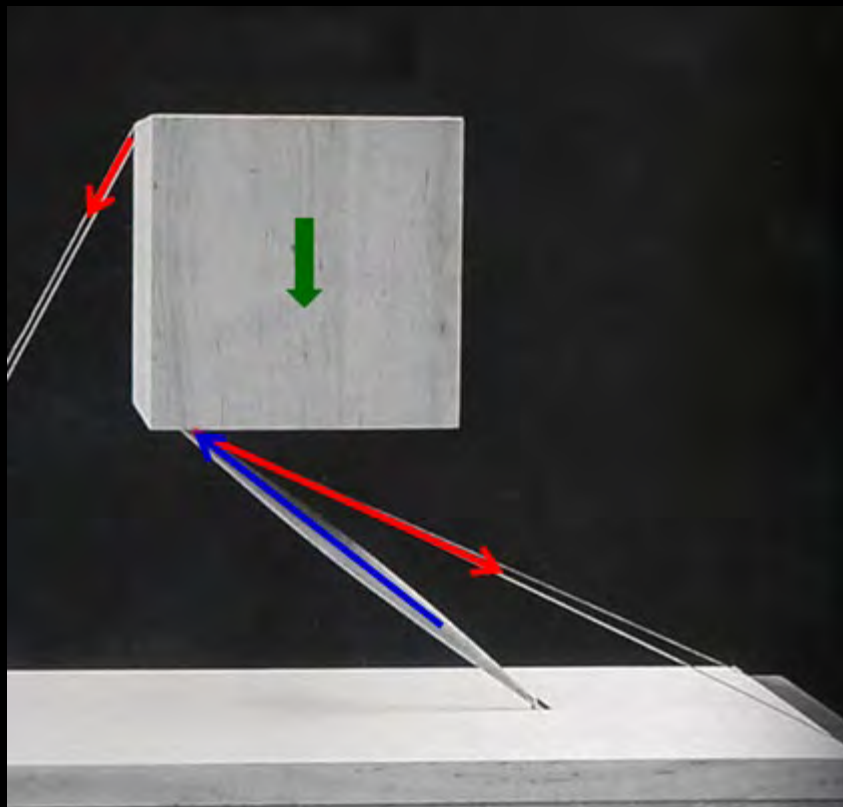


En **tensor** har
två storlekar (i planet)
som är **riktade vinkelrätt**
mot varandra



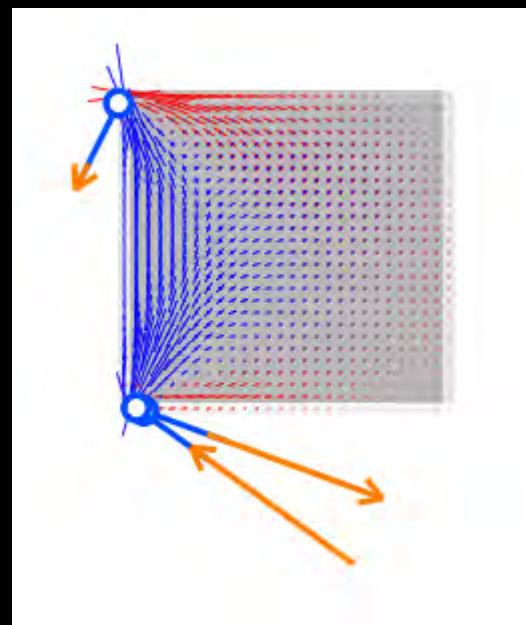
YTTRE KRAFTER

belastar
stödjer

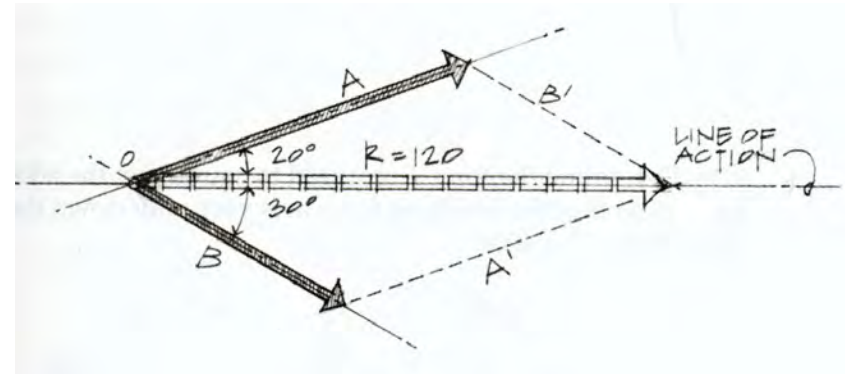
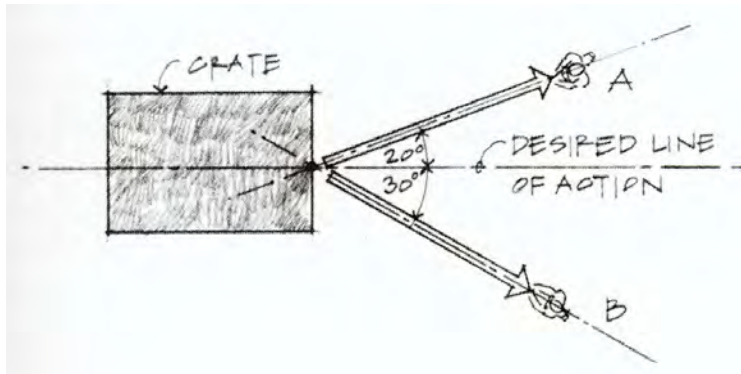


INRE KRAFTER

ger
inre motstånd

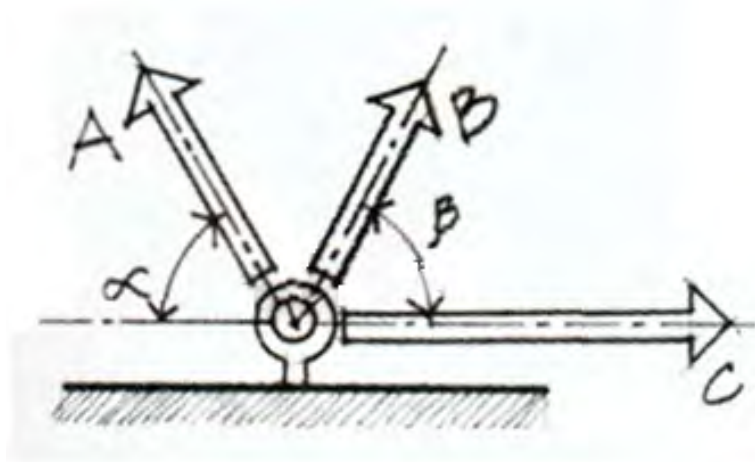


Kraftresultant



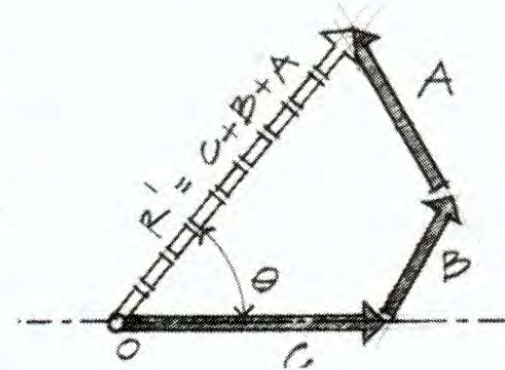
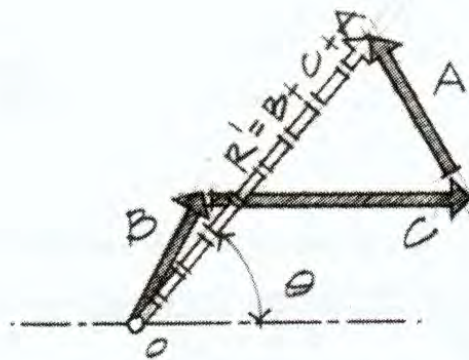
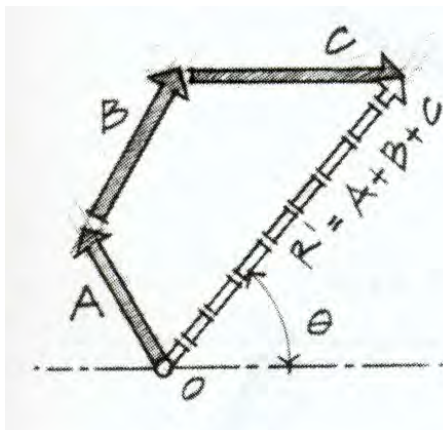
Krafter **A och B**
Resultant **$R = A + B$**

Vektoraddition

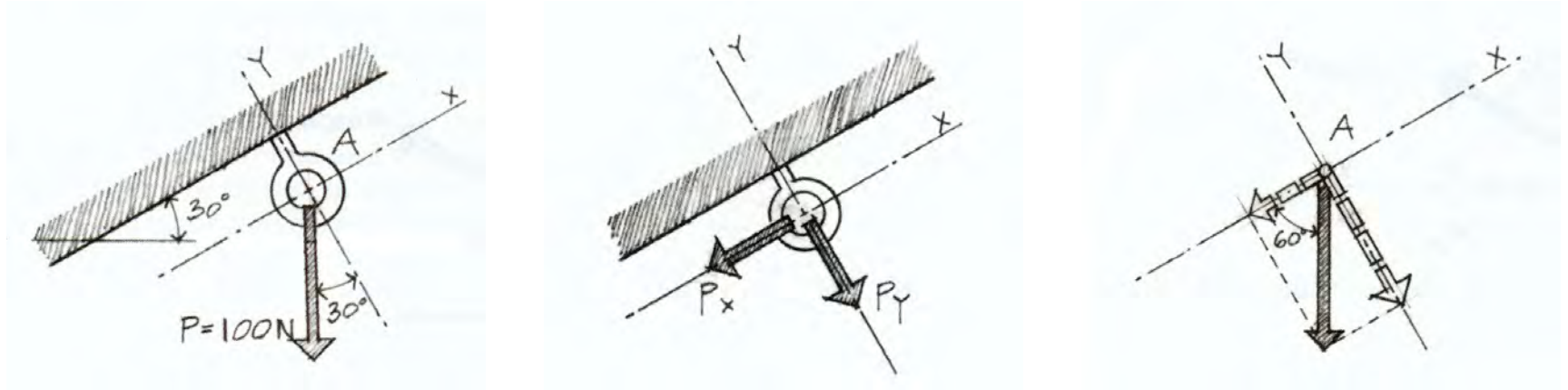


En kraftsumma
är
en vektorsumma

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_A + \mathbf{F}_B + \mathbf{F}_C$$

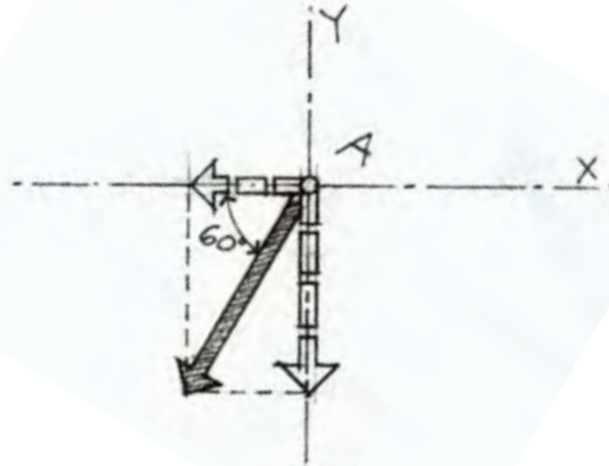


Kraftkomposanter



Kraft-komposanter (ingenjörer)
Kraft-upplösning (arkitekter)

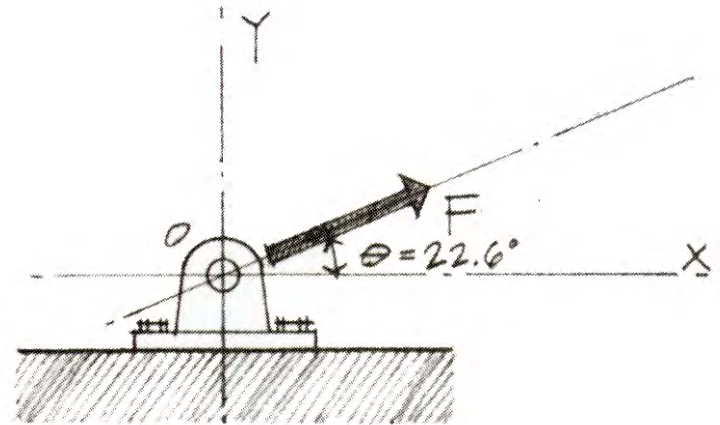
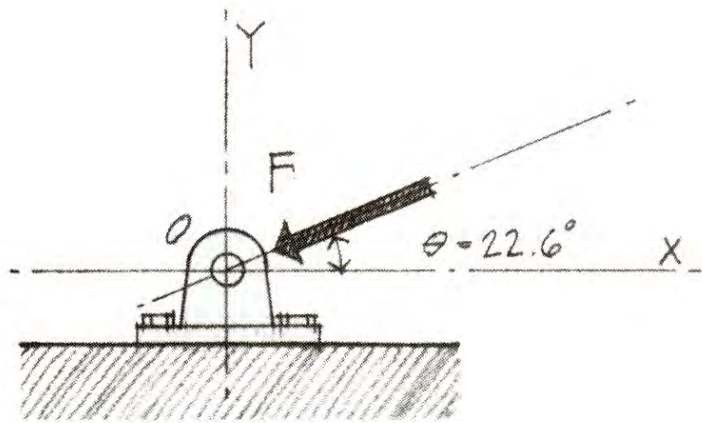
2. Resultant och komposant



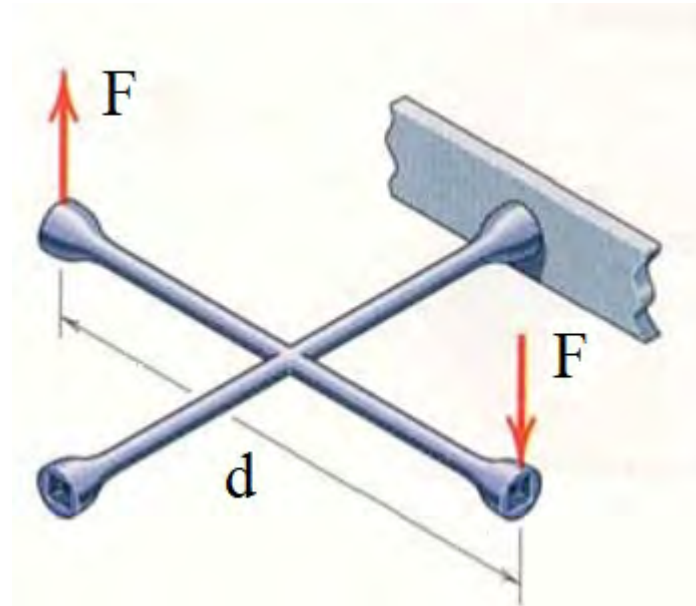
Kraften i figuren är uppdelad i två komposanter längs en x - och en y -riktning. Pröva att dela upp kraften i:

- två komposanter i andra vinkelräta riktningar
- två komposanter i godtyckliga ej vinkelräta riktningar
- tre komposanter i godtyckliga riktningar

Krafter - tryck eller drag



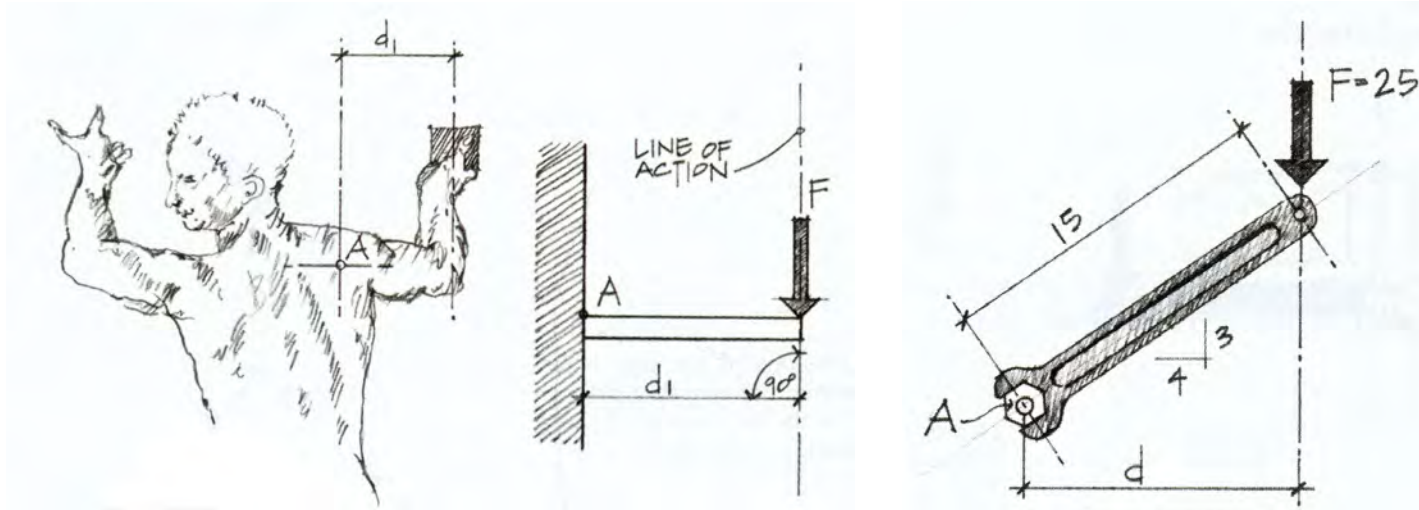
Moment = kraftpar



Moment – två lika stora och motriktade krafter F
med ett vinkelrätt avstånd d emellan

$$\curvearrowright M = F d$$

Moment = en krafts vridverkan kring en särskild punkt (axel)



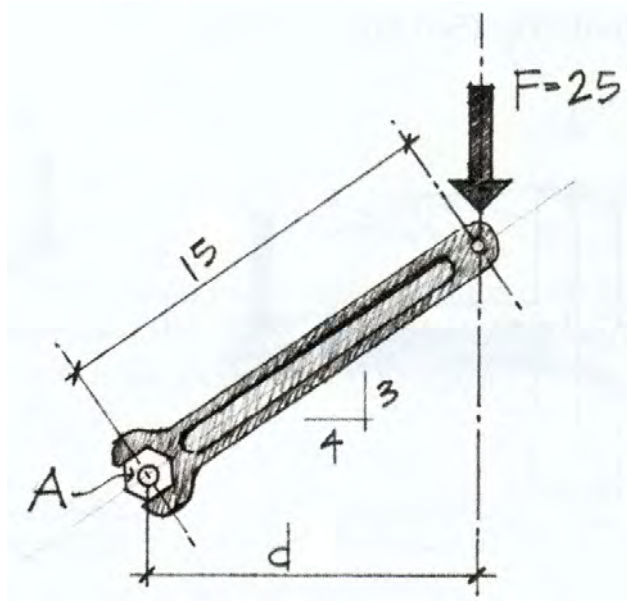
Moment – en krafts vridverkan kring en punkt (axel)



$$M_A = F d$$

d = vinkelrätt avstånd

3. Kraftpar och moment



I figuren visas en skiftnyckel med längden 15 cm och som belastas av en kraft $F = 25$ N

Med vilket *moment* vrider skiftnyckeln på muttern?

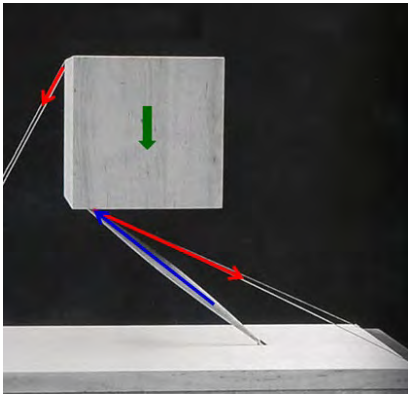
Vilket är det största moment som kan åstadkommas av kraften 25N, och i vilken riktning ska kraften då verka?

I vilken riktning ska kraften 25 N verka för att inte ge någon vridande kraftverkan på muttern?

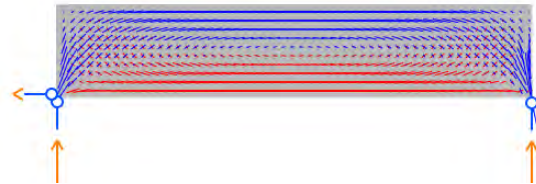
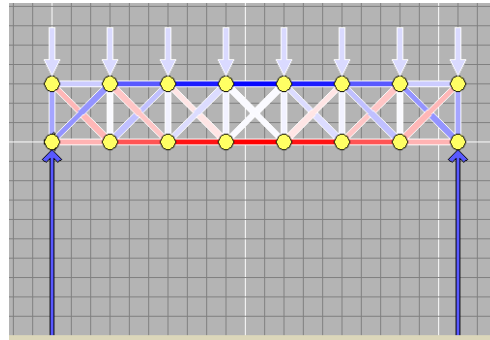
Sortering av krafter - sammanfattning

Seminarium 3 och 4

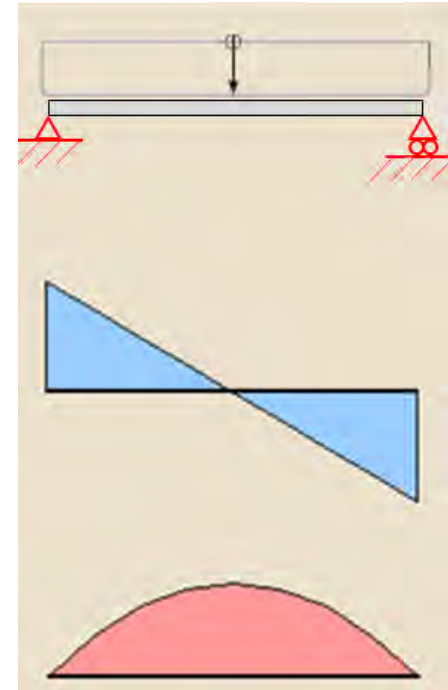
Seminarium 5, 6 och 7



Yttre krafter
tyngd, stödkrafter

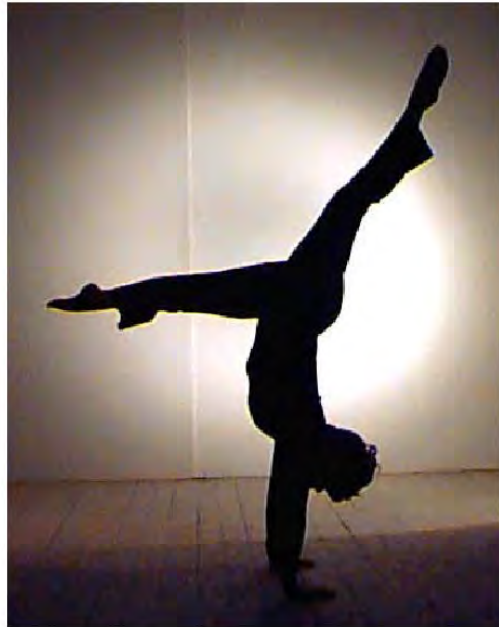


Inre krafter
tryck/drag

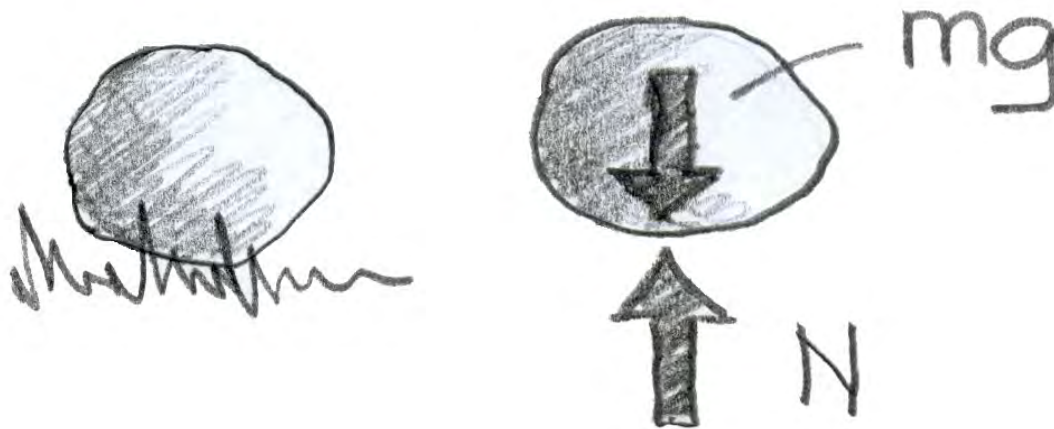


Inre krafter
(ingenjörsföreklingar)
normalkraft
tvärkraft, böjmoment

Krafter i balans



Newtons 1:a lag



$$\mathbf{F} = \mathbf{0}$$

På en kropp i vila eller i likformig rörelse
är summan av krafter noll

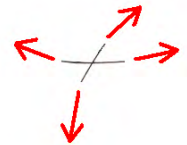
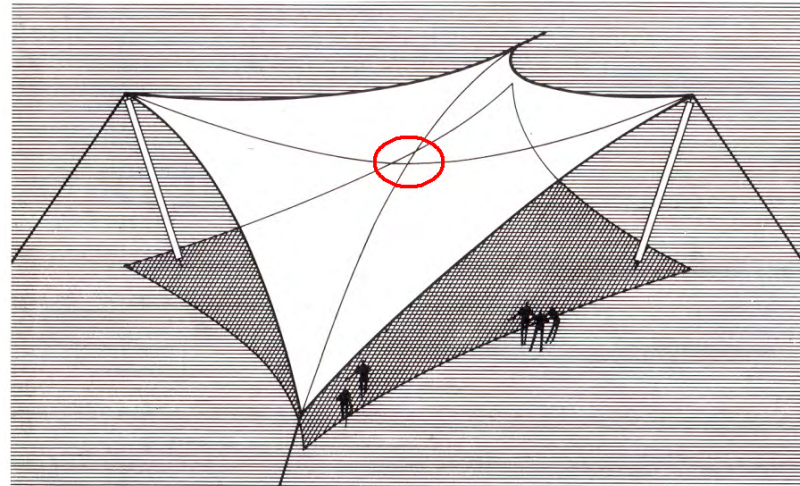
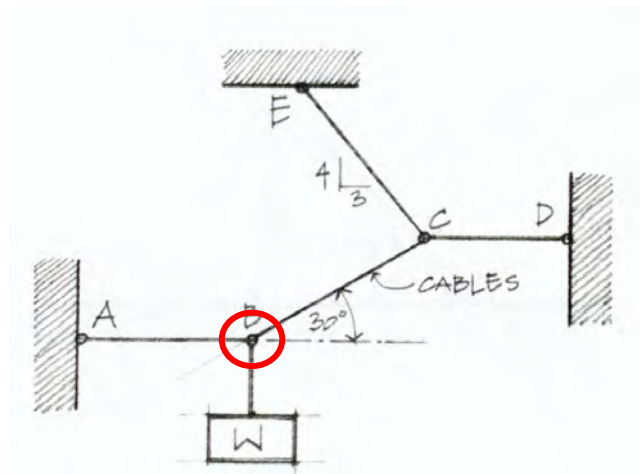
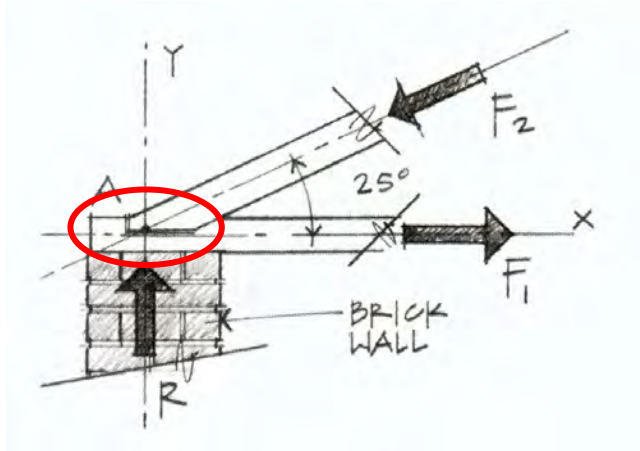
Newtons 3:e lag



**I kontaktytor mellan kroppar finns alltid
två lika stora och motriktade krafter**

Newtons 1:a lag

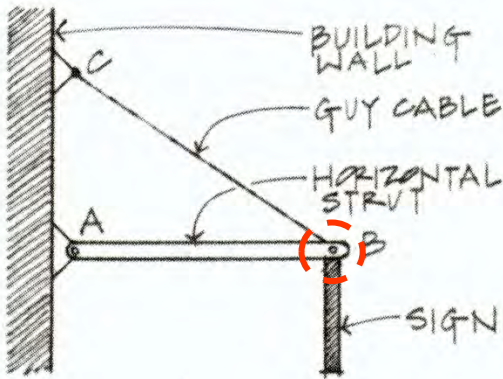
Jämvikt i punkter - **partikeljämvikt**



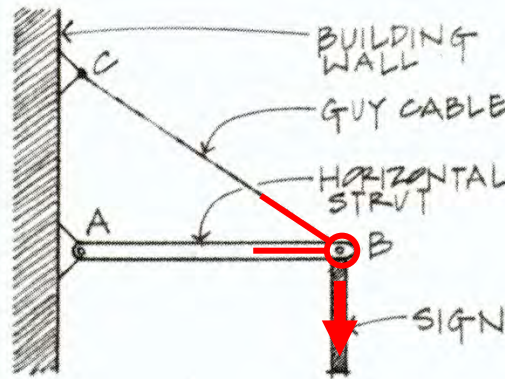
Figurerna visar exempel som kan analyseras som jämvikter i punkter

Partikeljämvikt

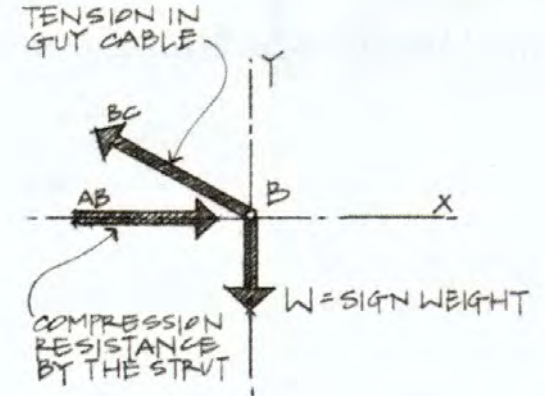
Metod för analys



Friläggning

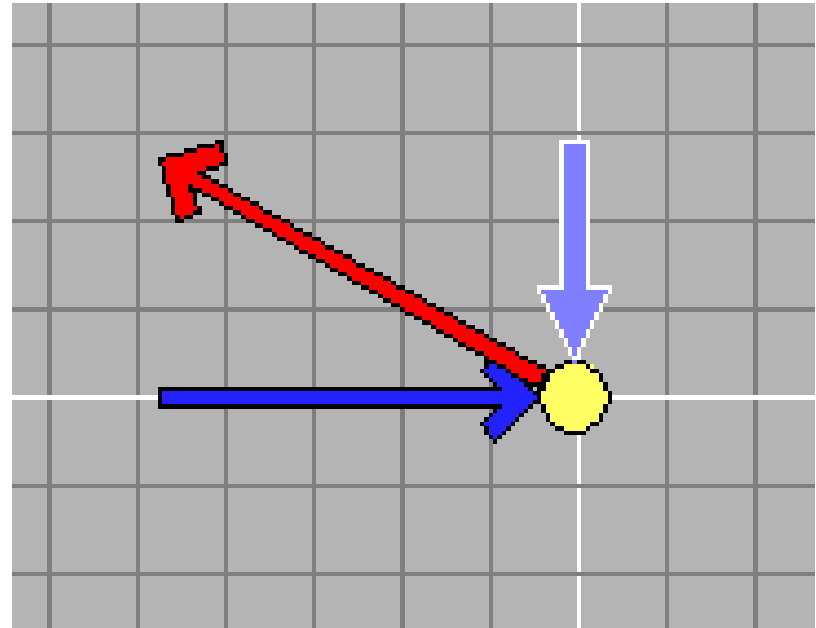
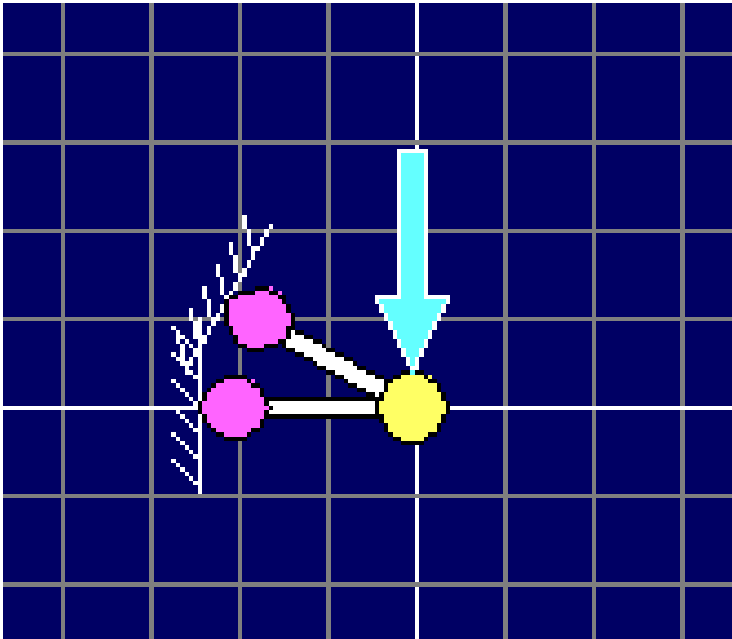


Markera all
kraftverkan



Jämviktsvillkor
(grafisk jämvikt)

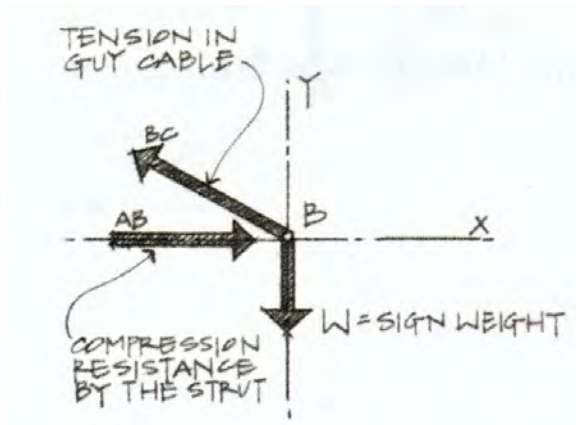
Jämvikt i pointSketch



Med möjlighet att få värden på krafternas storlek

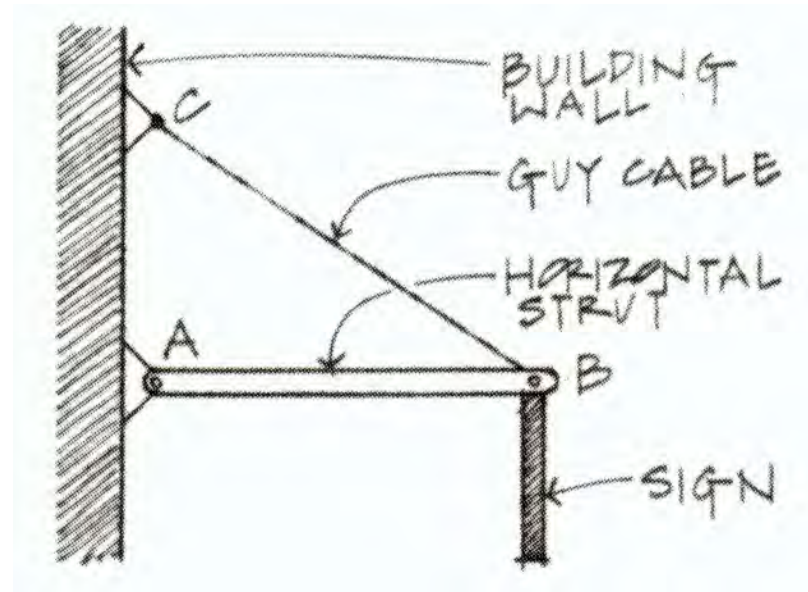
Grafisk jämvikt

(klassisk arkitektkunskap)



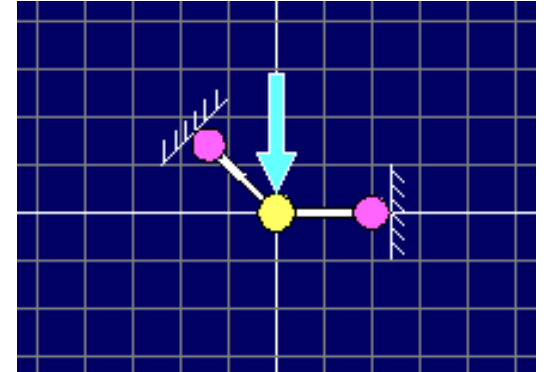
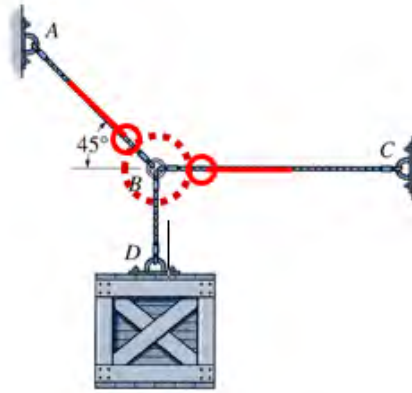
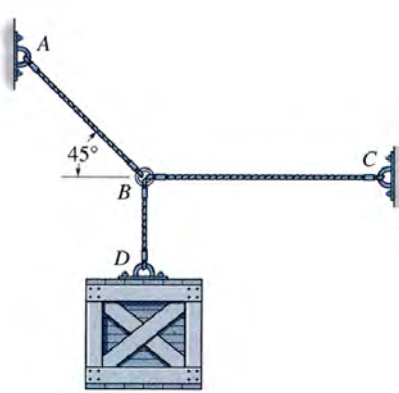
- Skyltens tyngd känd till storlek och riktning (heldragen linje)
- Två andra krafter riktningar kända (streckade linjer)
- Konstruera en sluten vektorsumma (summa krafter = 0)
- Ur figuren erhålls de okända krafternas storlek och riktning

4. Punkter i 2D jämvikt



Betrakta en hängande skylt enligt figuren. Beräkna med hjälp av pointSketch storleken på dragkraften i linan BC för olika lutning på linan. Visa hur dragkraften beror av lutningen i ett diagram. Låt lutningen variera mellan 0 (horisontell lina) och 45 grader.

5. Punkter i 2D jämvikt



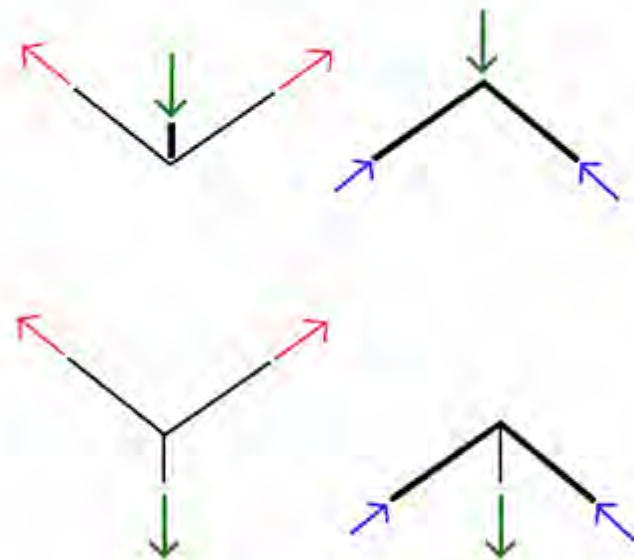
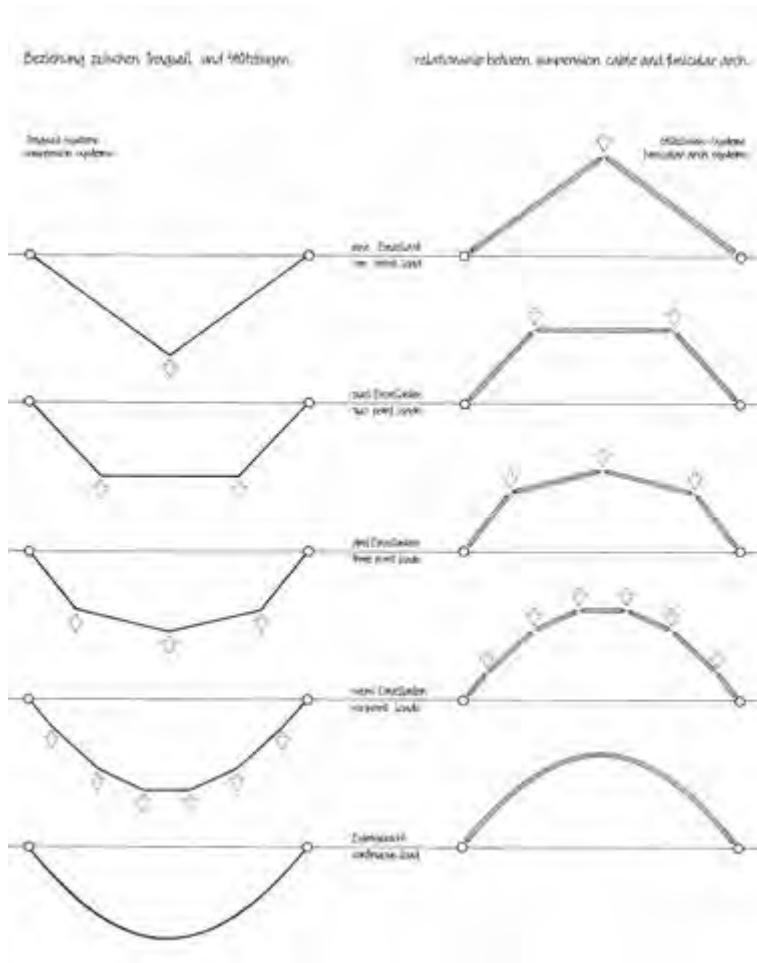
Lådan i figuren har tyngden 20N (motsvarar ca 2 kg). *Frilägg* ringen vid B och bestäm hjälp av pointSketch krafterna i de linor som lådan är upphängd i.

Testa i pointSketch vad som händer om riktningen på linan AB ändras. Vad händer till exempel om linan AB är horisontell?

Känn själva efter genom att låta två personer lyfta en tyngd så som figuren visar. Testa särskilt betydelsen av linans riktning.

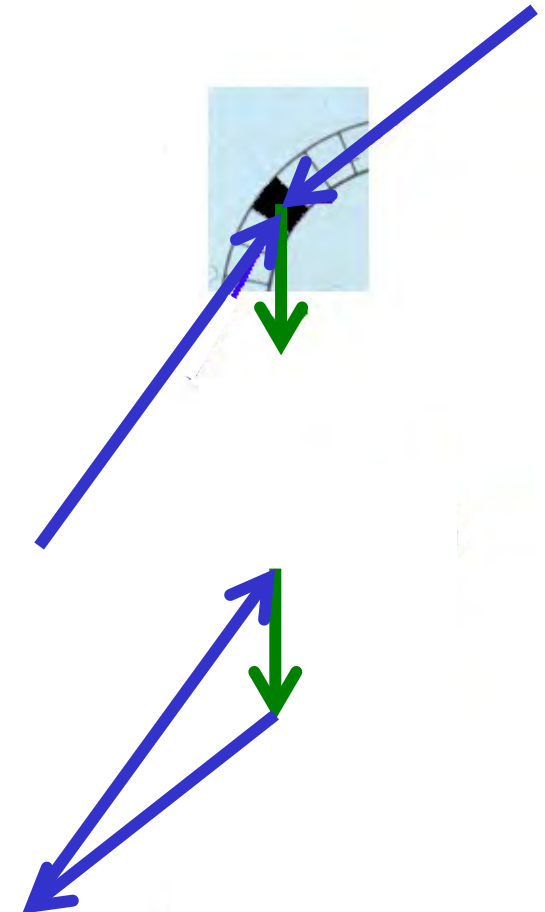
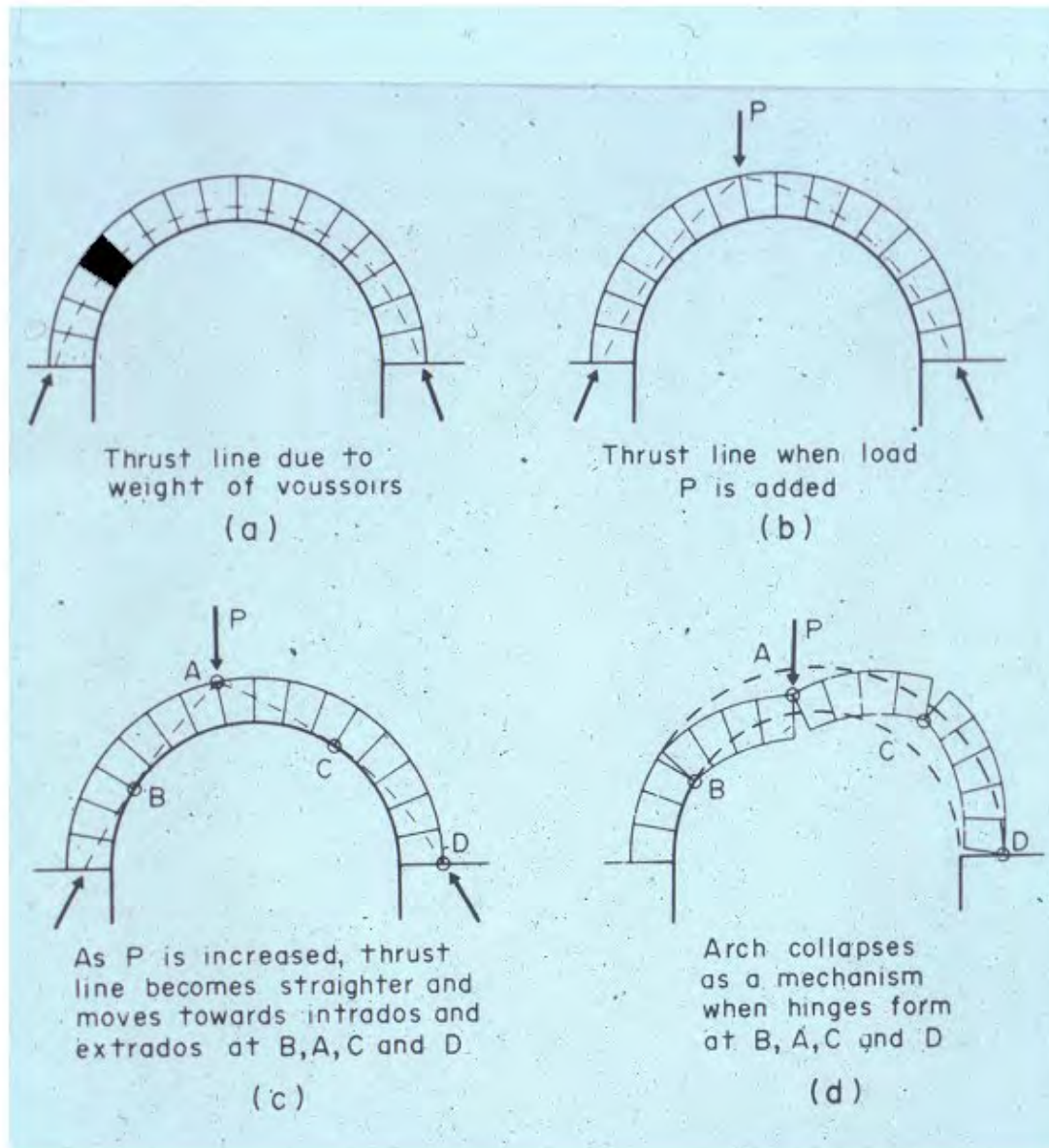
Linan och bågen

Grundläggande mekanism



Partikeljämvikt
Strukturen bär den yttre kraften
genom rent drag eller rent tryck

Om trycklinjen



Ur undervisningsmaterial från ETH Arkitektur

eQUILIBRIUM

an interactive, graphic statics-based learning platform for structural design

eQ

topics

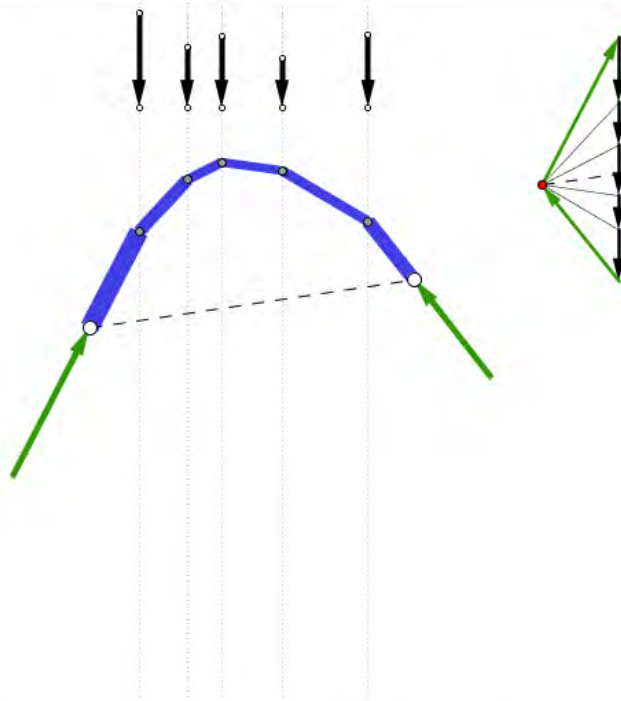
drawings

exercises

case studies

tutorials

your account



Funicular structures have only axial forces in either tension or compression for the loading case they have been designed for. Their shape is determined by the magnitude of the horizontal thrust in it, which can be controlled in the force polygon, and the boundary conditions.



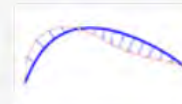
Learn about good structural form



Design expressive and efficient structures



Understand complex structural behaviour

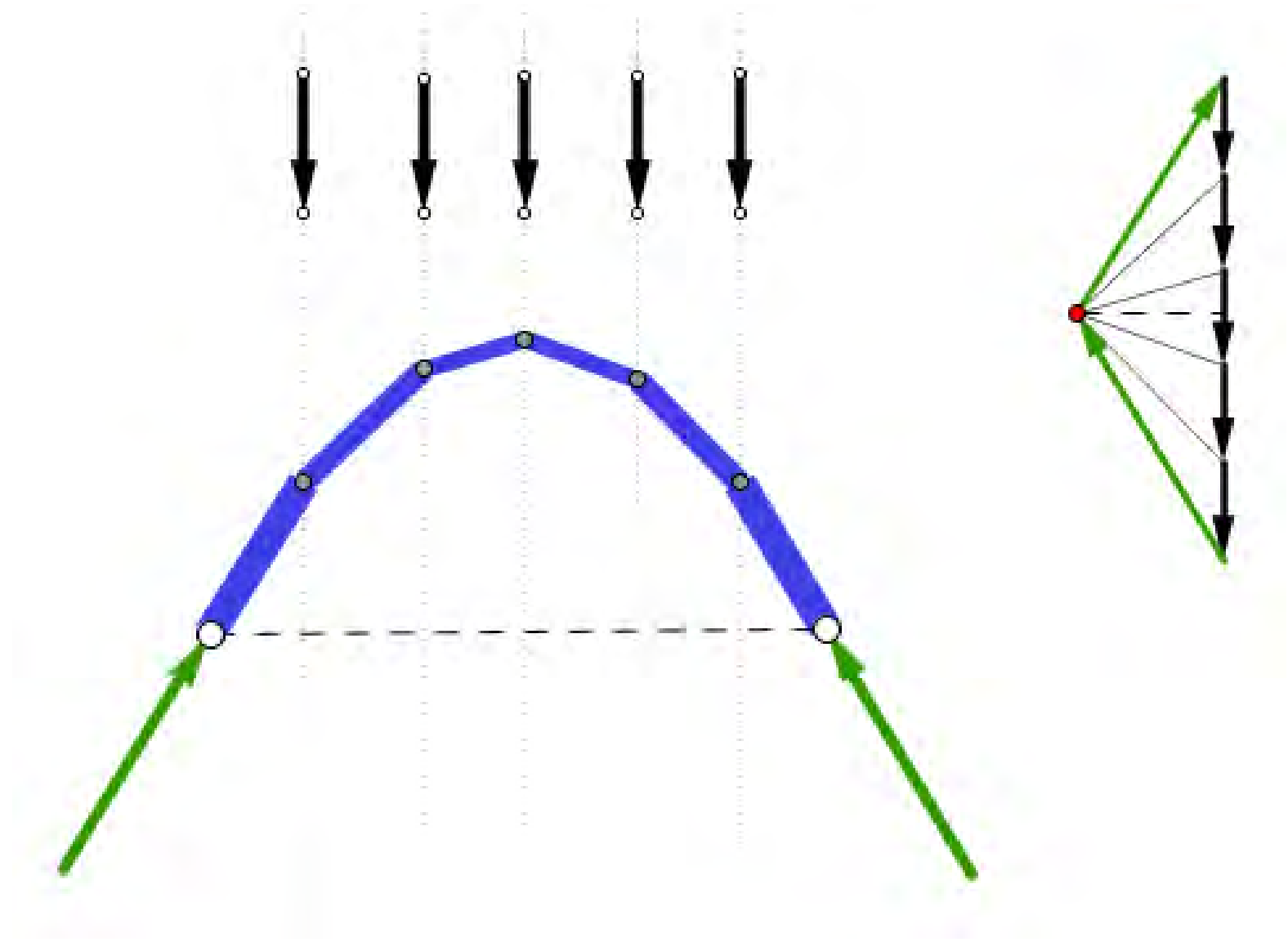


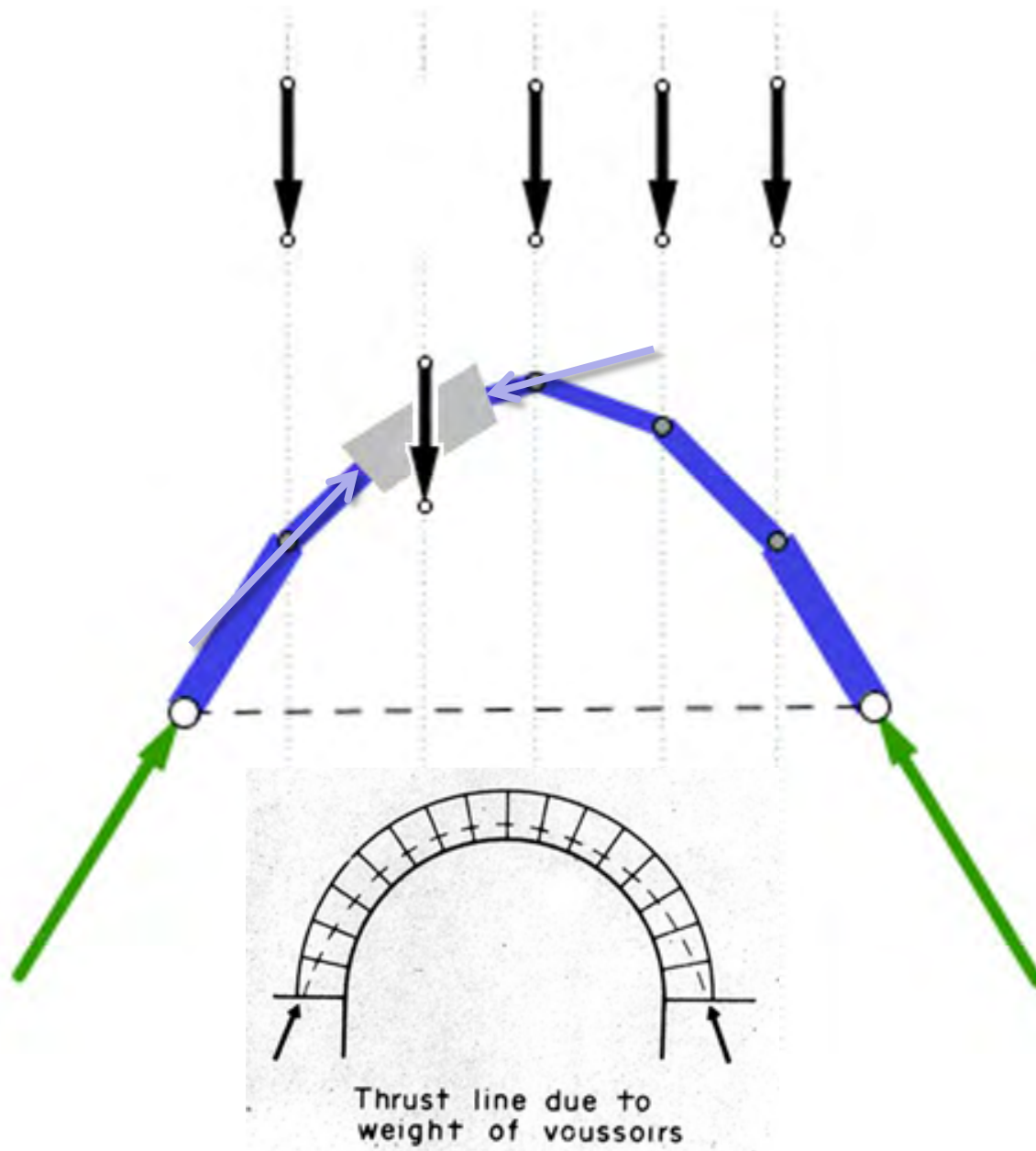
Analyze existing structures



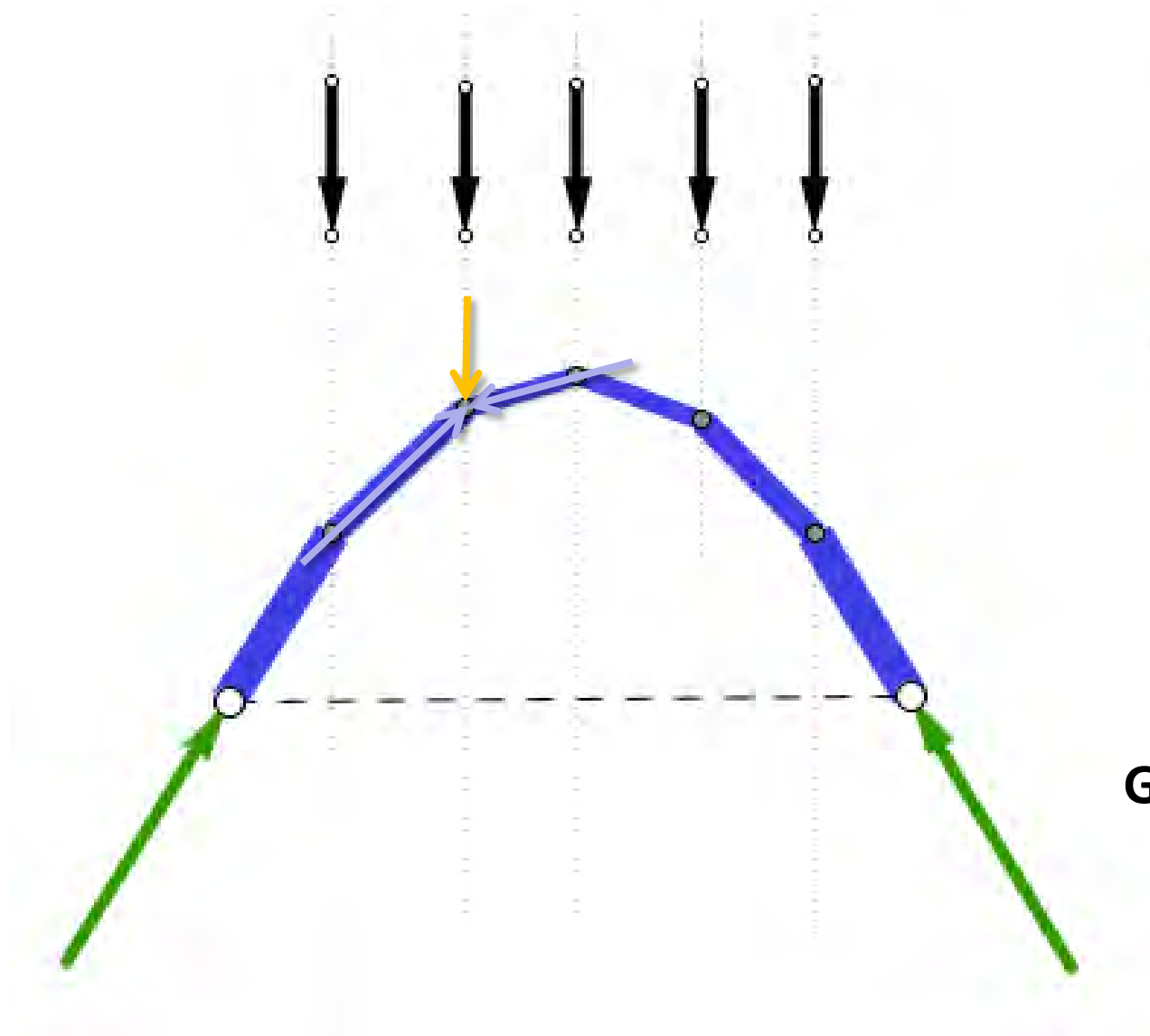
Learn Graphic Statics

<https://block.arch.ethz.ch/eq/drawing>

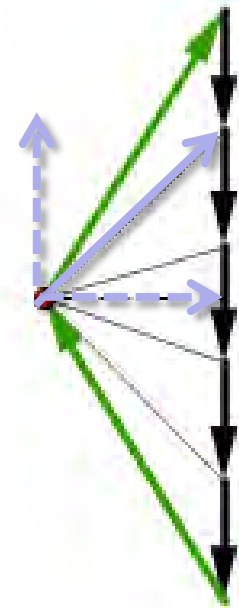
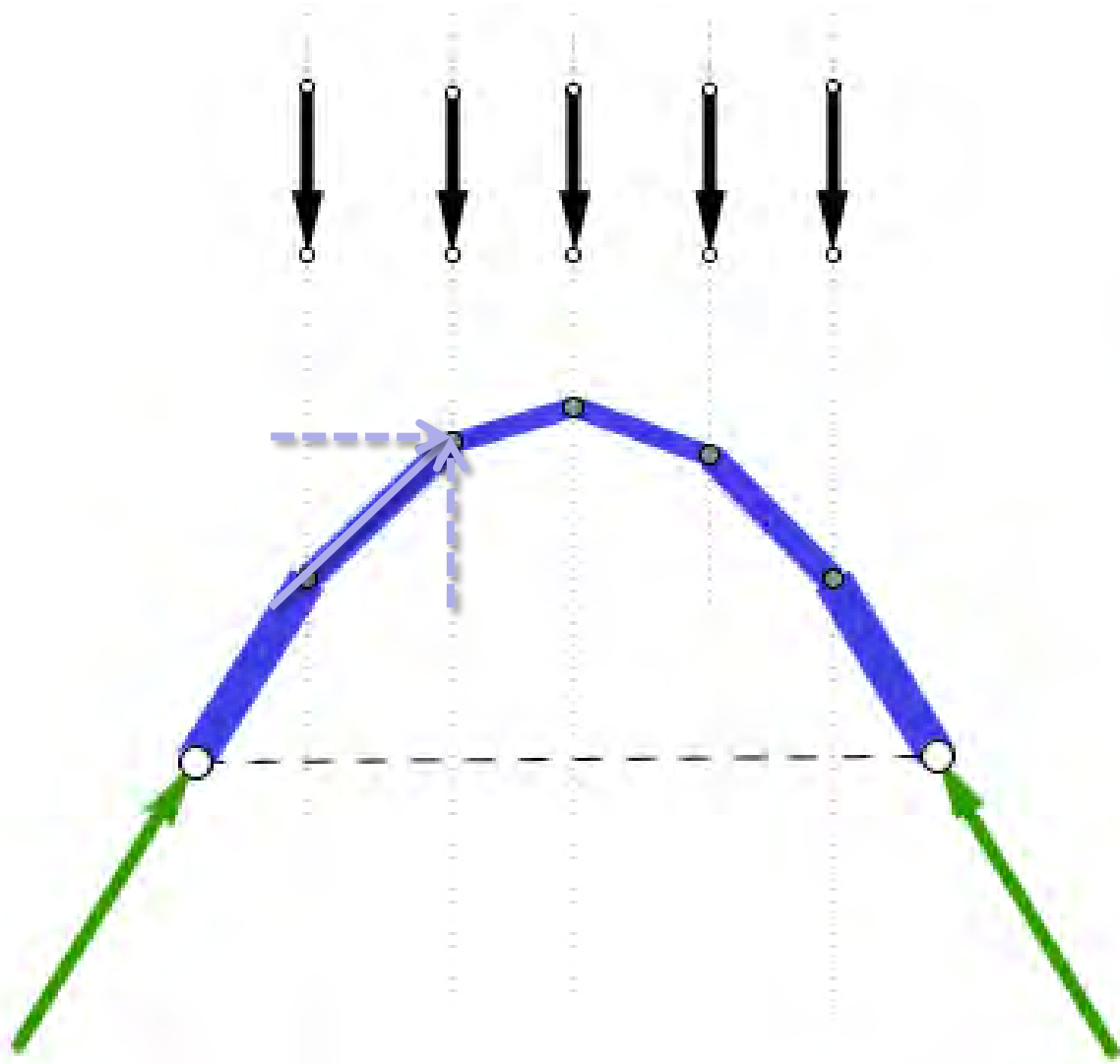




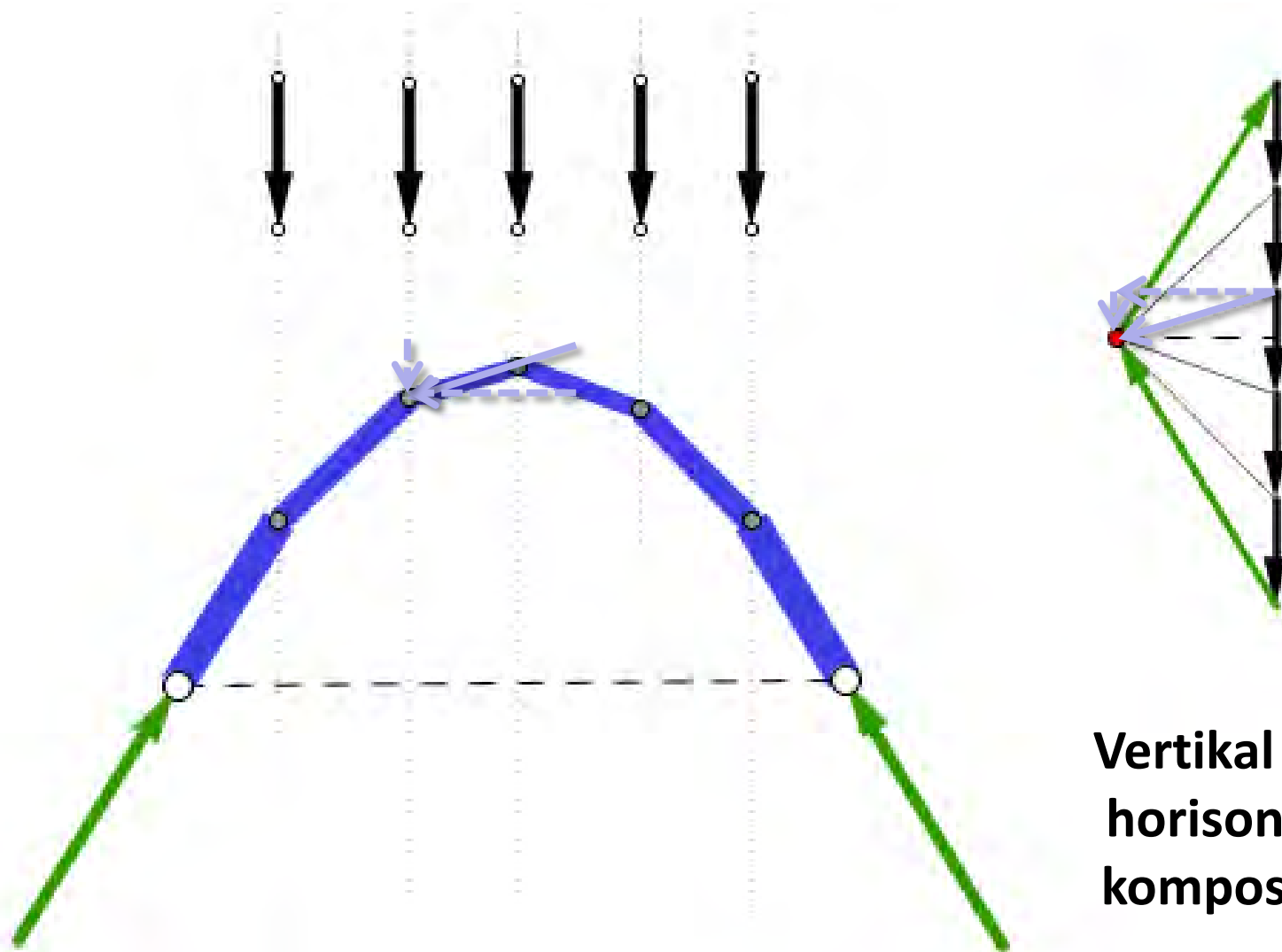
**Trycklinje
och jämvikt**



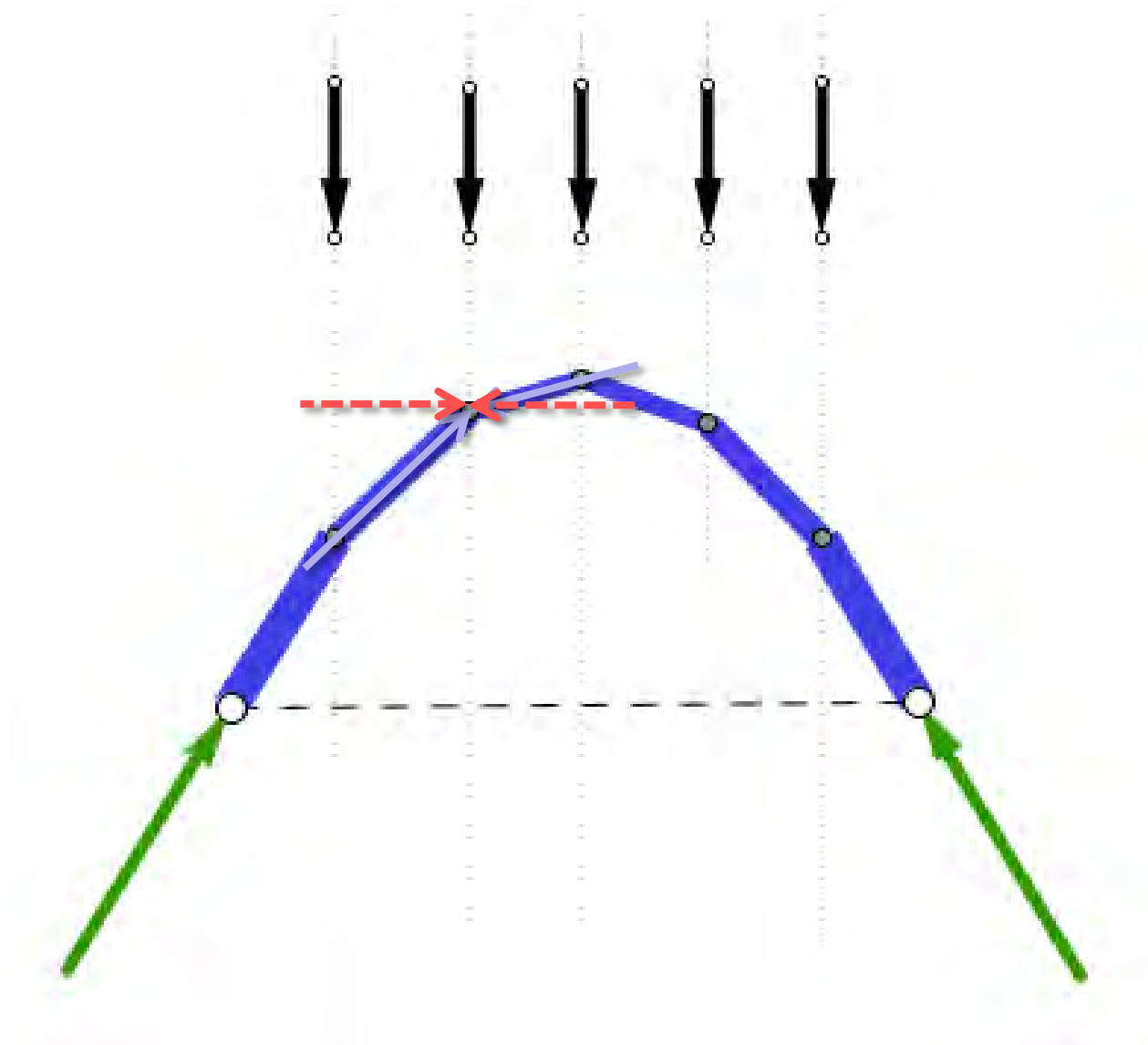
Grafisk jämvikt



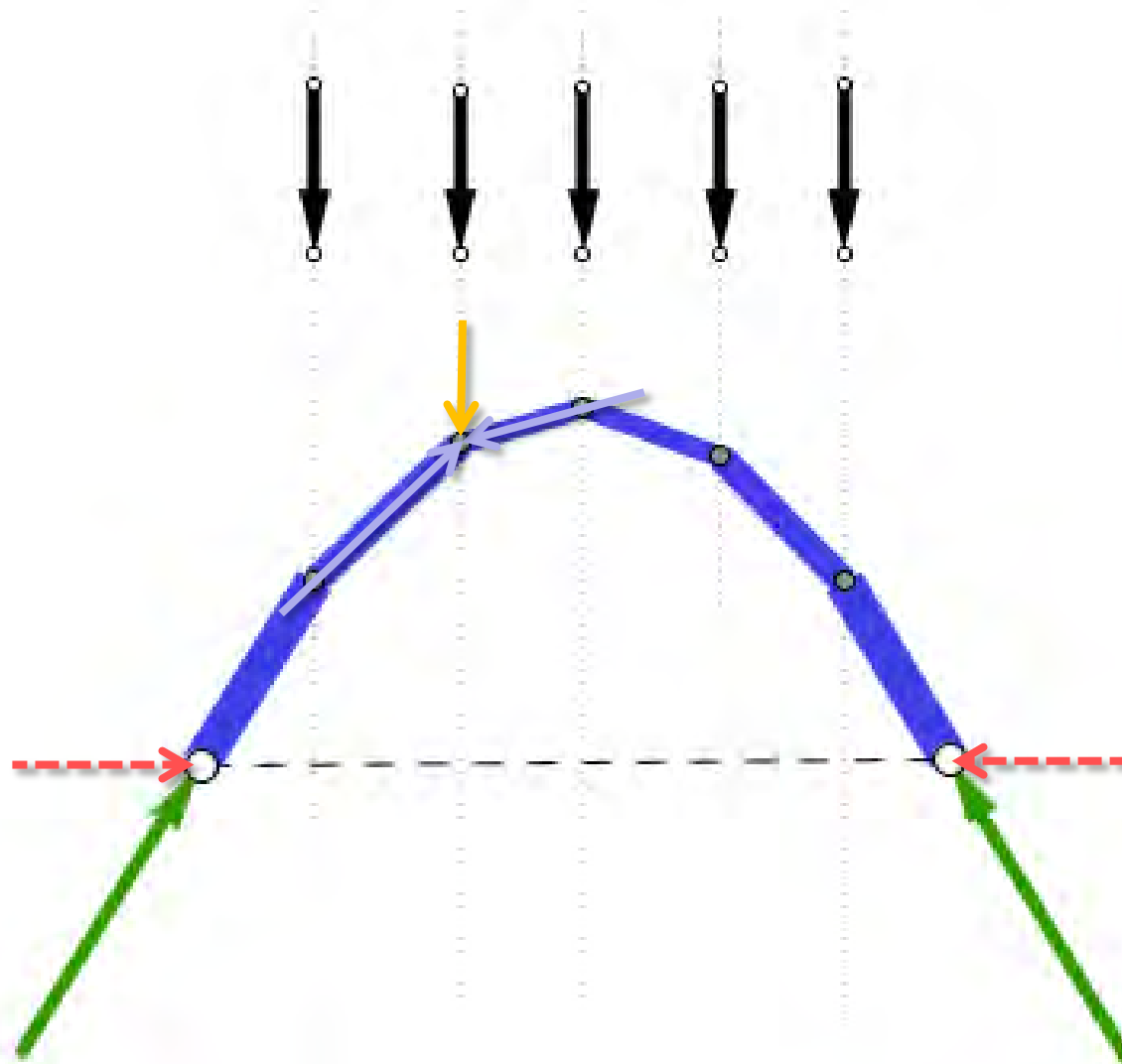
**Vertikal och
horisontell
komposant**



**Vertikal och
horisontell
komposant**



**Horisontella
komponenter
i jämvikt**



**Horisontella
komponenter
i jämvikt**



eQUILIBRIUM

an interactive environment for graphic statics-based structural design

my navigation ▼

examples

case studies

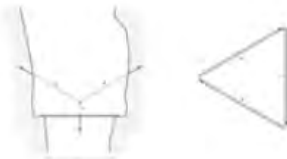
drawings

courses

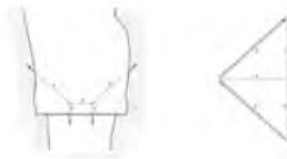
exams



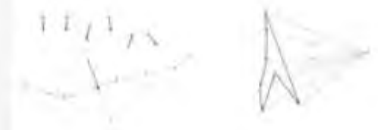
Subsystem



Pedestrian Bridge 1



Pedestrian Bridge 2



Resultant of Non-concurrent Forces



Funicular Line Through Two Points 1



Funicular Line Through Two Points 2



Funicular Line Through Three Points 1

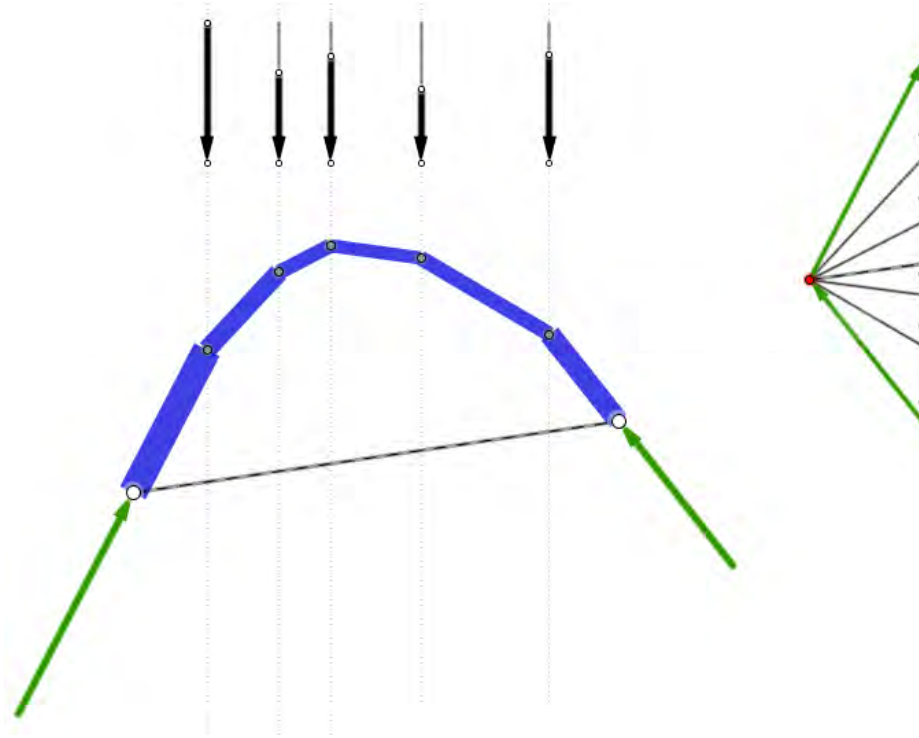


Funicular For Vertical Forces



<http://www.block.arch.ethz.ch/brg/>

6. Trycklinjen och kedjekurvan



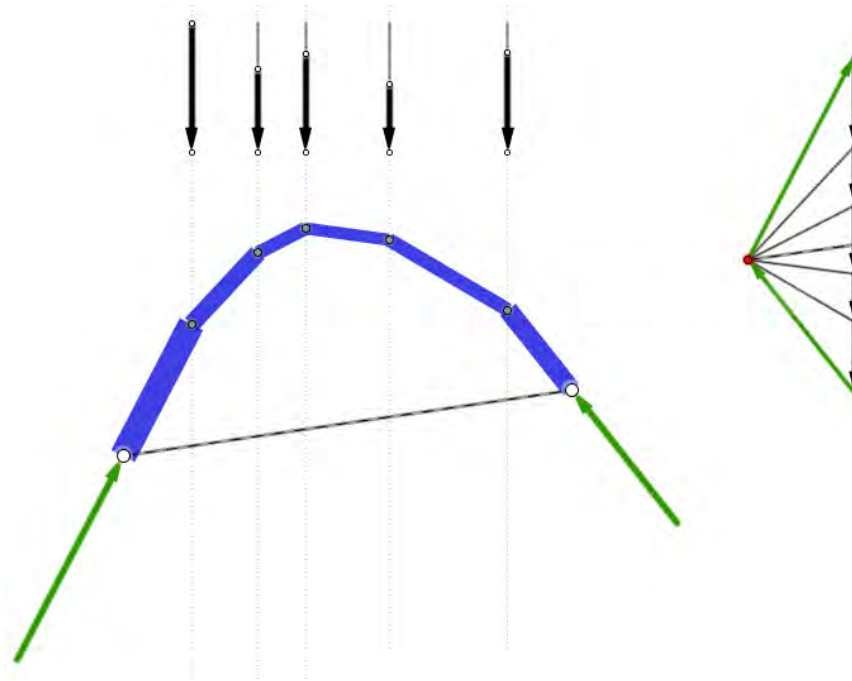
Undersök trycklinjen och dess jämvikter genom att:

- välja ut en *sluten triangel* och visa (rita in) den som en *kraftjämvikt* i bågen

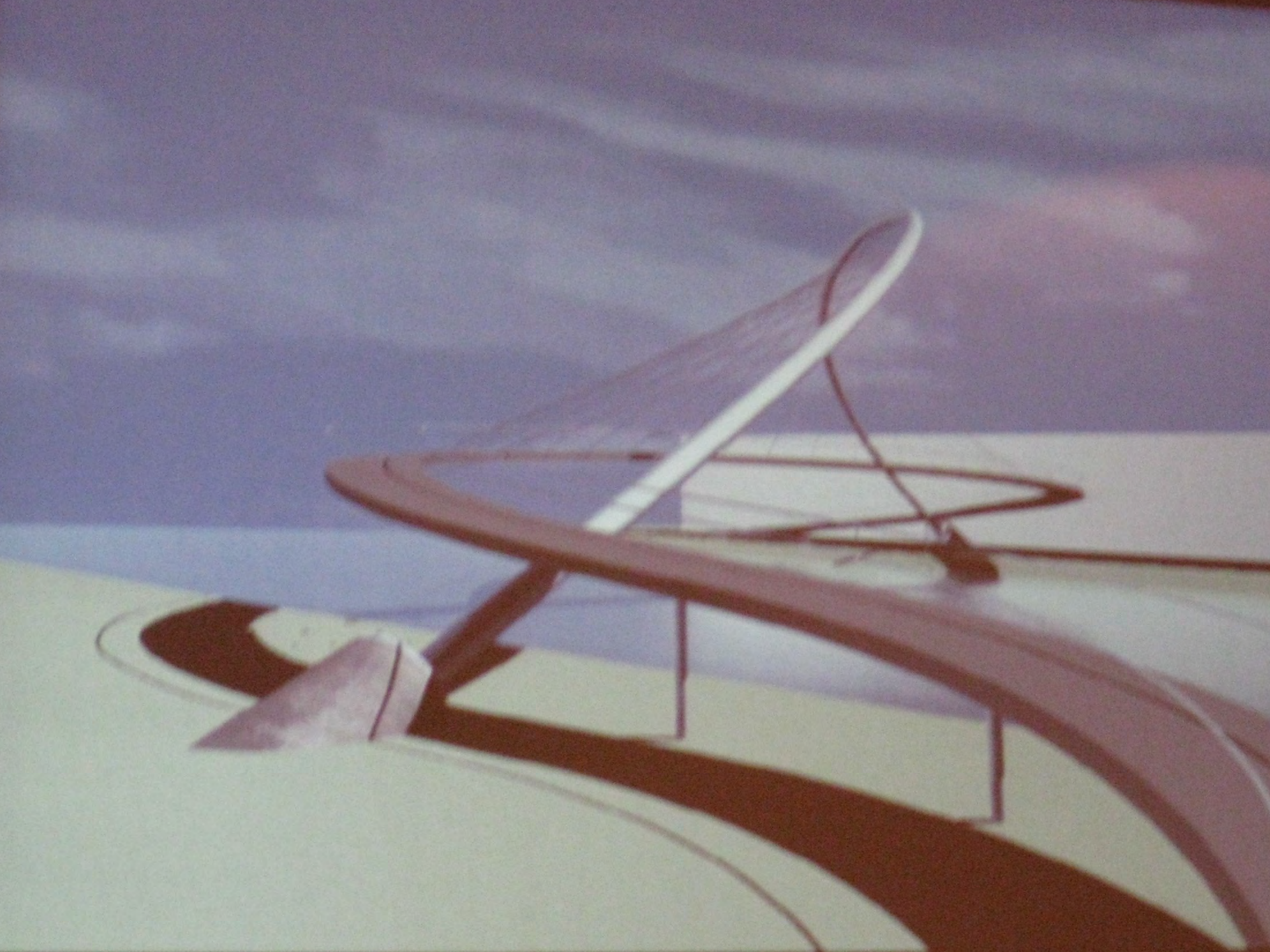
6. Trycklinjen och kedjekurvan

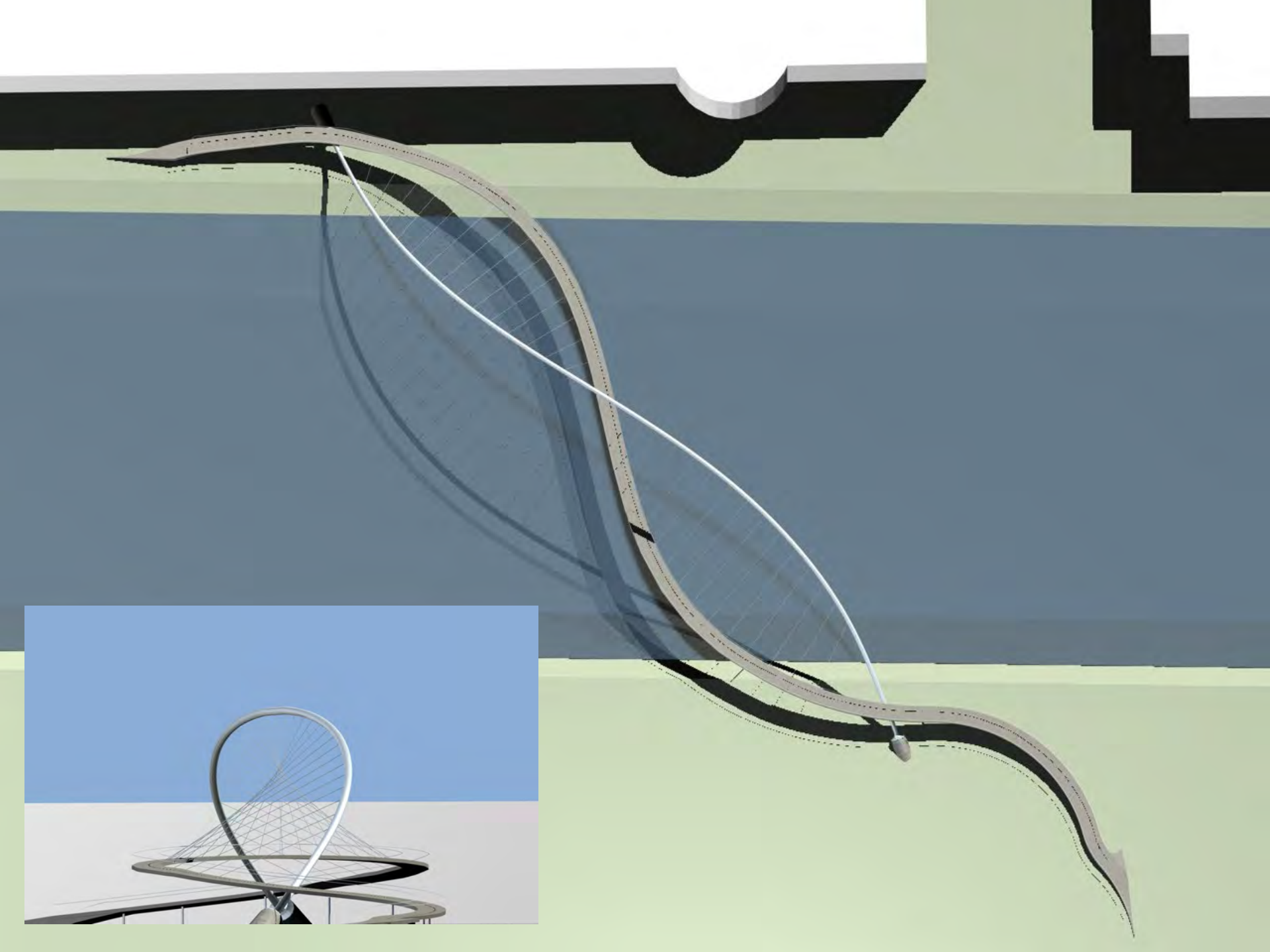
- b) i samma kraftjämvikt visa *horisontalkrafternas jämvikt* (dessa horisontalkrafter är exakt lika stora för alla bågens jämvikter, så länge bågen bara belastas av vertikala laster)
- c) visa minst två av *flera möjliga bågformer för samma yttre belastning* men med olika storlek på horisontalkraften

6. Trycklinjen och kedjekurvan



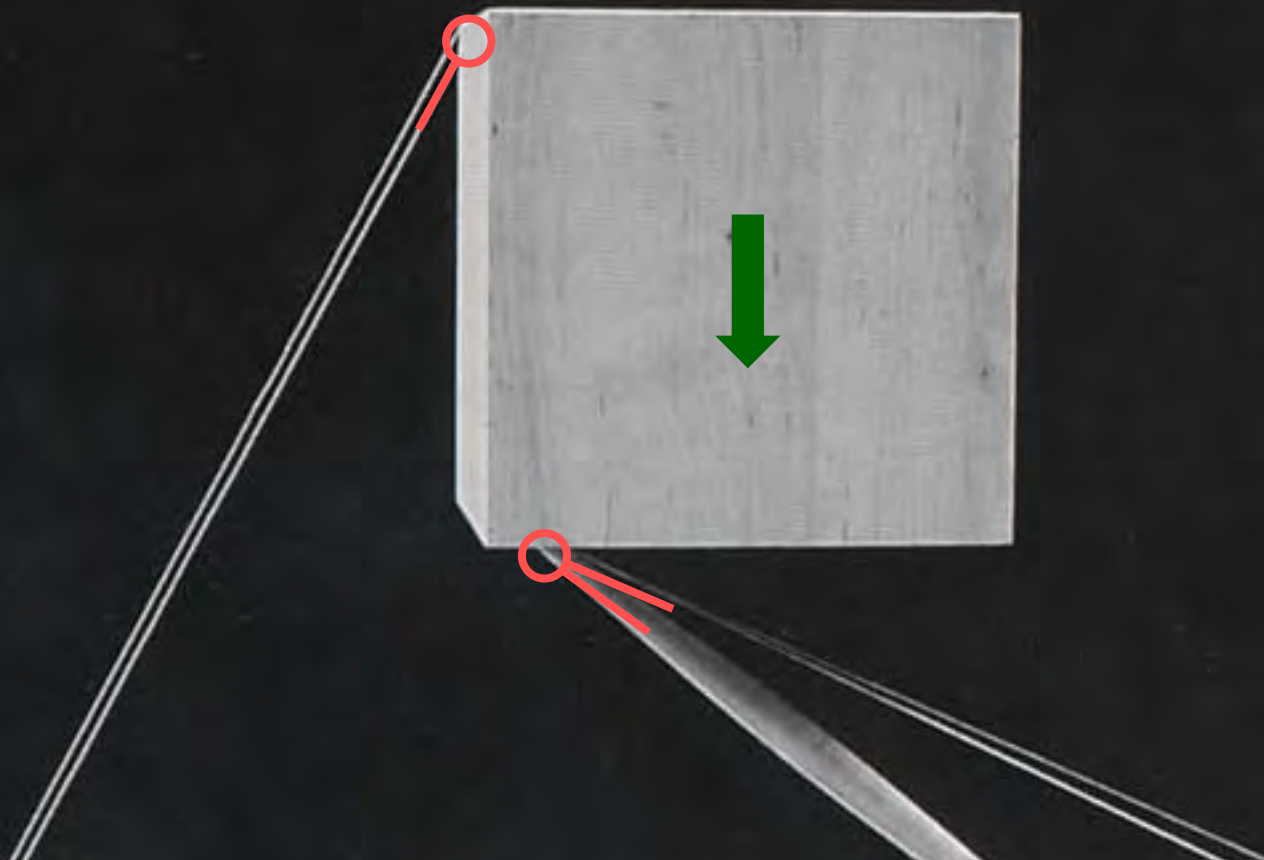
Utgår från komposantuppdelningen i uppgift 2. De gröna pilarna i figurerna ovan visar de yttre stödkrafter som verkar på bågen. Dela upp dessa stödkrafter i två komponenter och tolka dessa komponenter som verkliga stöd. Skissa därefter en eller flera alternativa utformningar av stödstrukturer för bågen (motsvarande olika komposantuppdelningar).



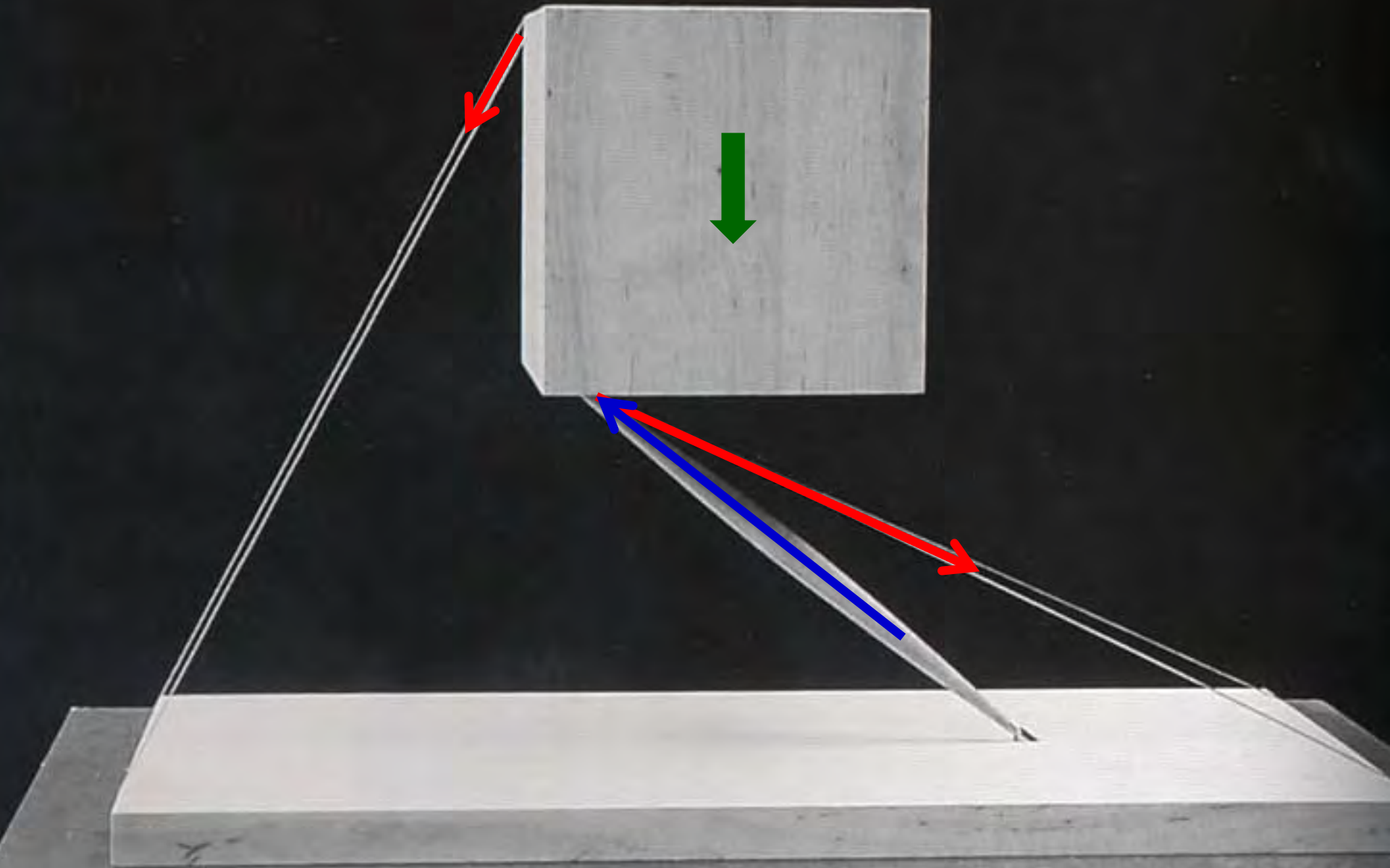


Newtons 1:a lag

Jämvikt för en stel kropp – stelkroppsjämvikt

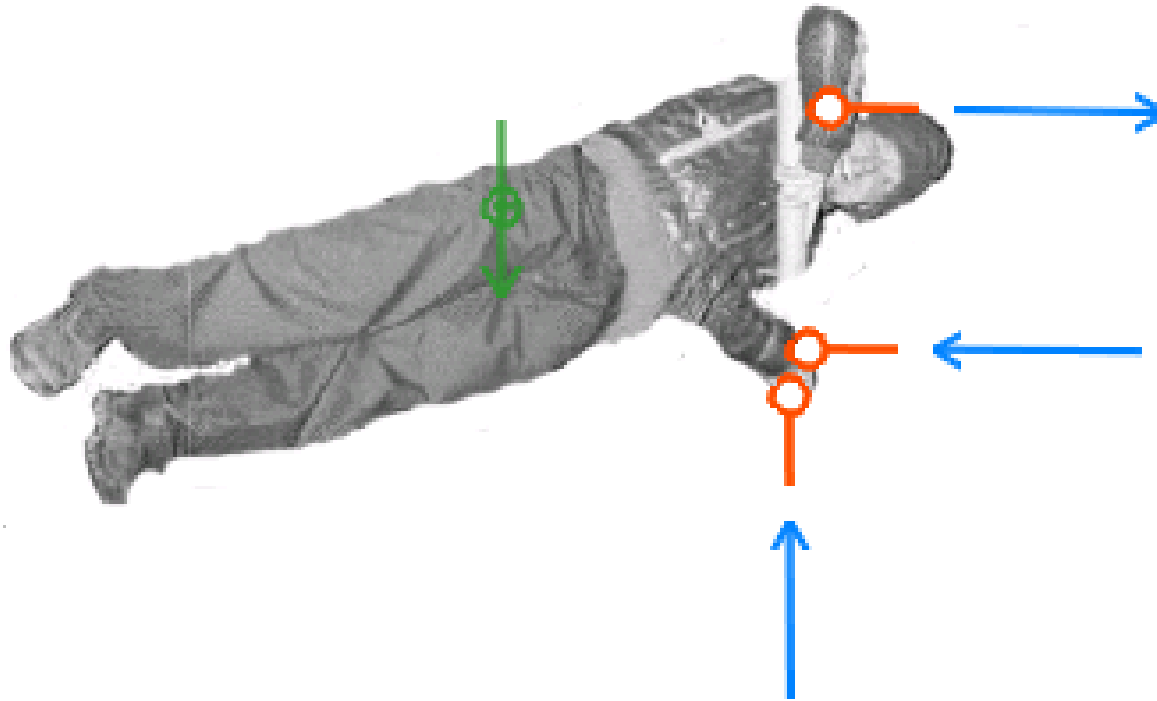


Tyngd och stödkrafter i jämvikt



Jämvikt för en stel kropp





Horisontell jämvikt

Vertikal jämvikt

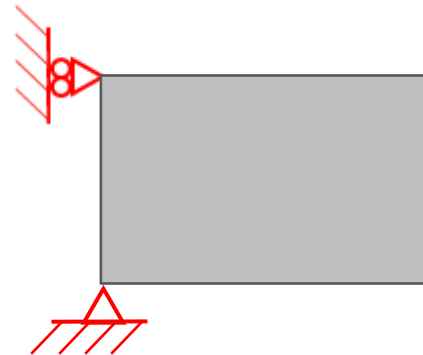
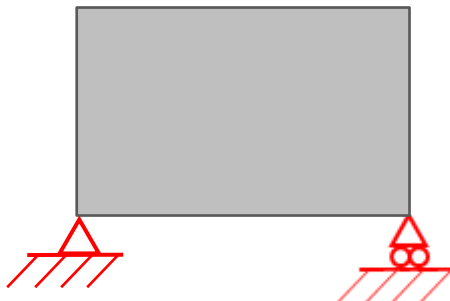
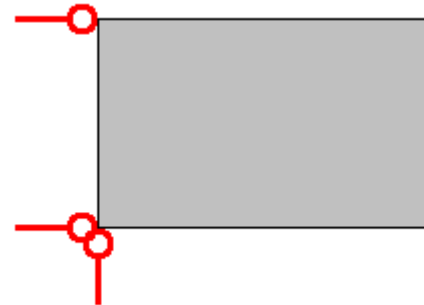
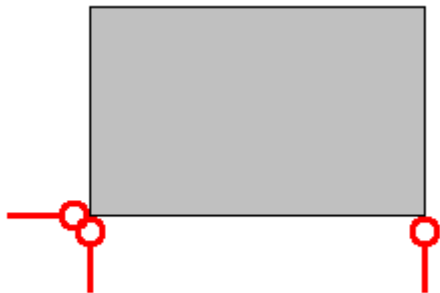
Momentjämvikt

Tre jämvikter (balanser)

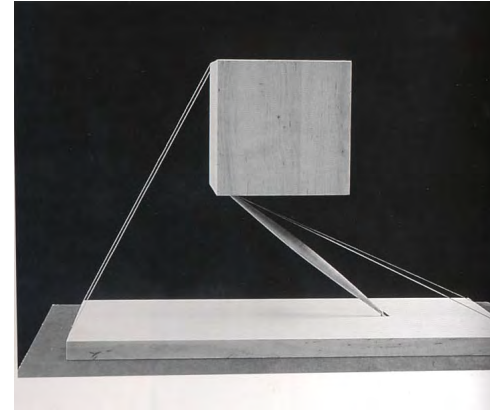
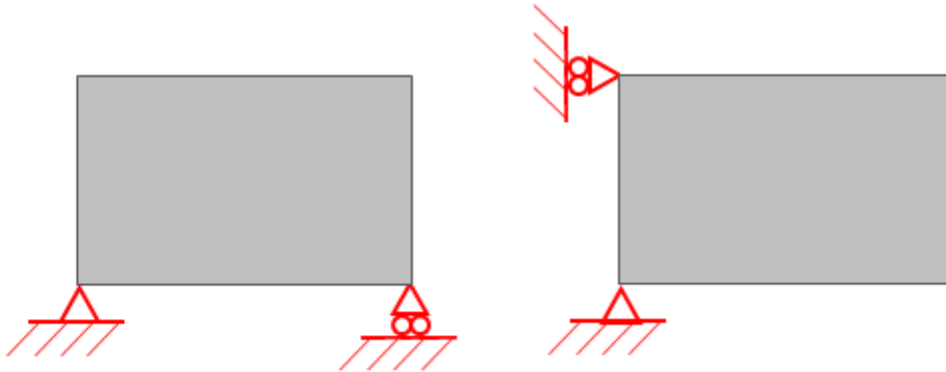
Horisontell jämvikt

Vertikal jämvikt

Momentjämvikt



7. Kroppar i 2D jämvikt



Betrakta en 2D homogen kropp med längden 4m och höjden 2m. Kroppens tyngd är 1000 N. Experimentera med minst tre olika uppsättningar stöd för att på ett *statiskt bestämt* sätt bära kroppen. Bestäm stödkrafternas storlekar med hjälp av pointSketch.



ONDA

KRAFTER

MARCELO ARANCIBIA

Kursnämnd