

Tragwerksentwurf II

Structural Design II

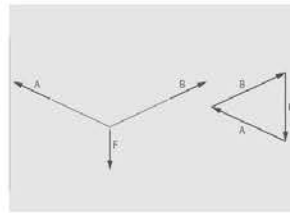
Philippe Block · Joseph Schwartz



Tragwerksentwurf
Structural Design



1. Gleichgewicht
1. Equilibrium



2. Graphische Statik
2. Graphic statics



3. Seile
3. Cables



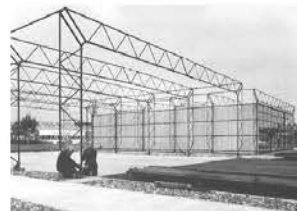
4. Bogen
4. Arches



5. Bogen-Seil
5. Arch-cables

Tragwerksentwurf I *Structural Design I*

Tragwerksentwurf II *Structural Design II*



6. Fachwerke
6. Trusses



7. Balken
7. Beams



8. Rahmen
8. Frames



9. Platten
9. Plates



10. Stützen
10. Columns

Platten

Plates



Plattenbalken

Plates on beams

Balkenroste

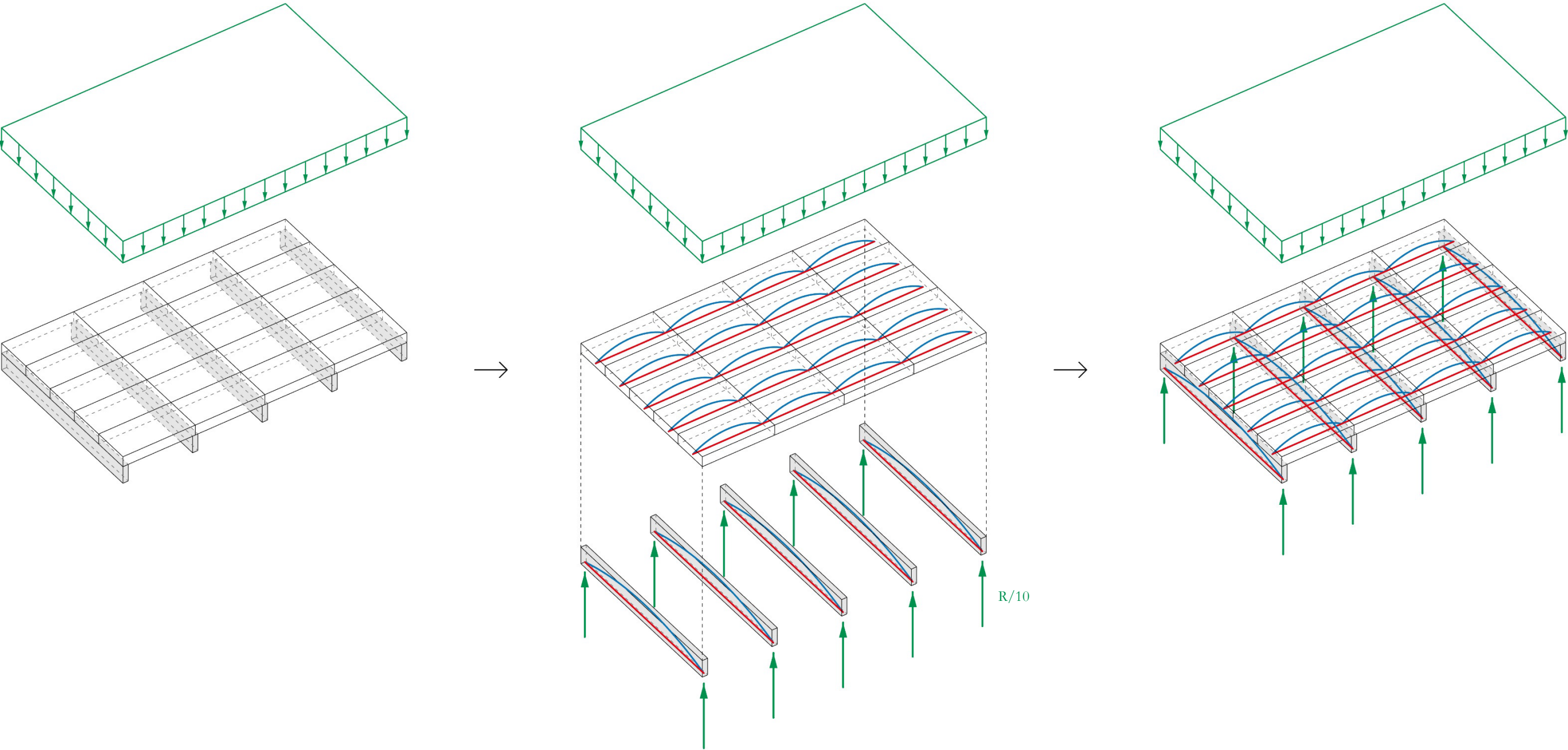
Beam grids

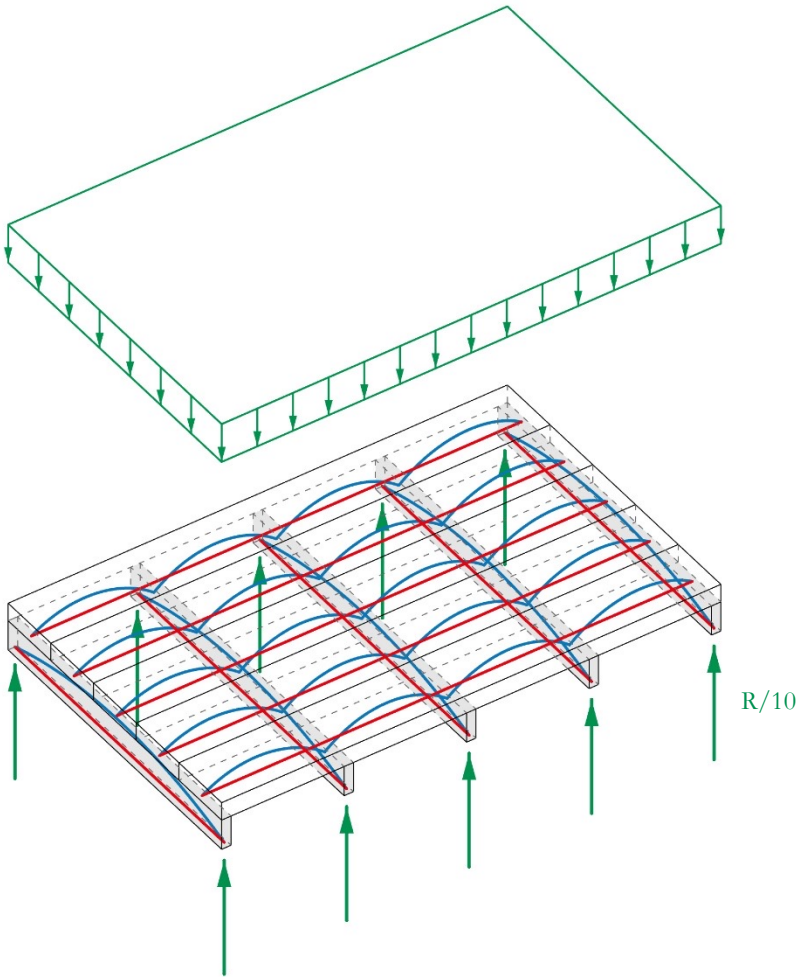
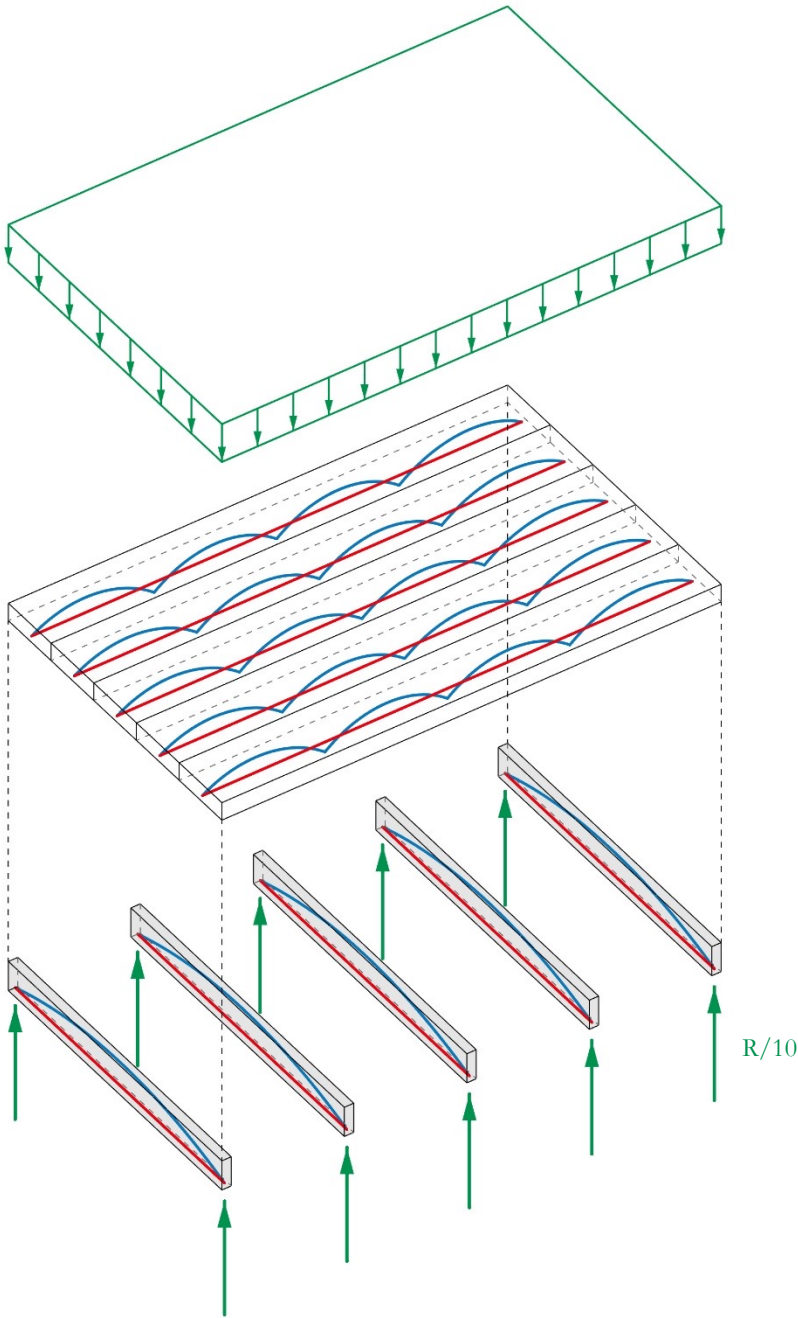
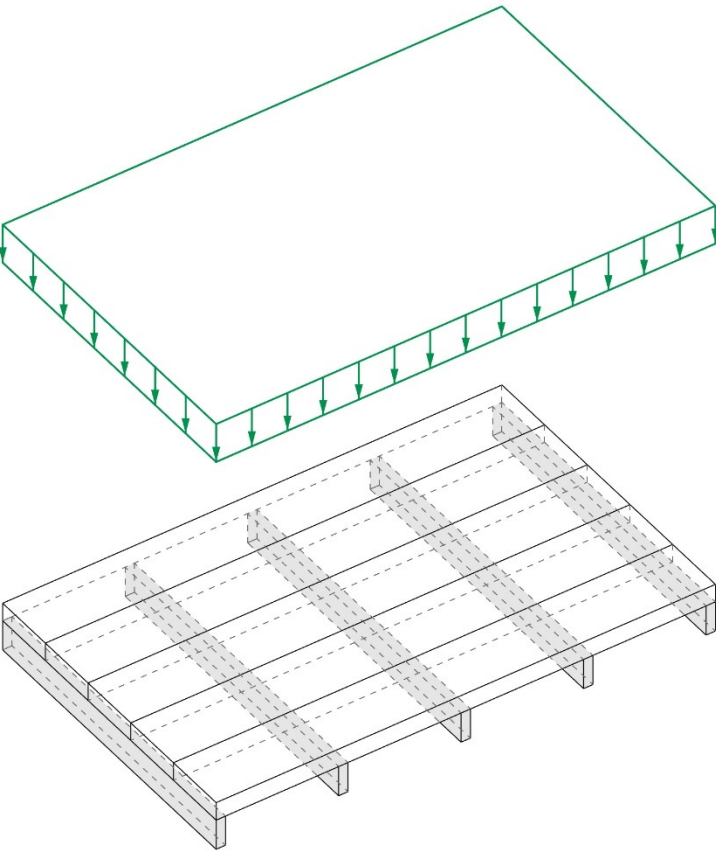
Platten

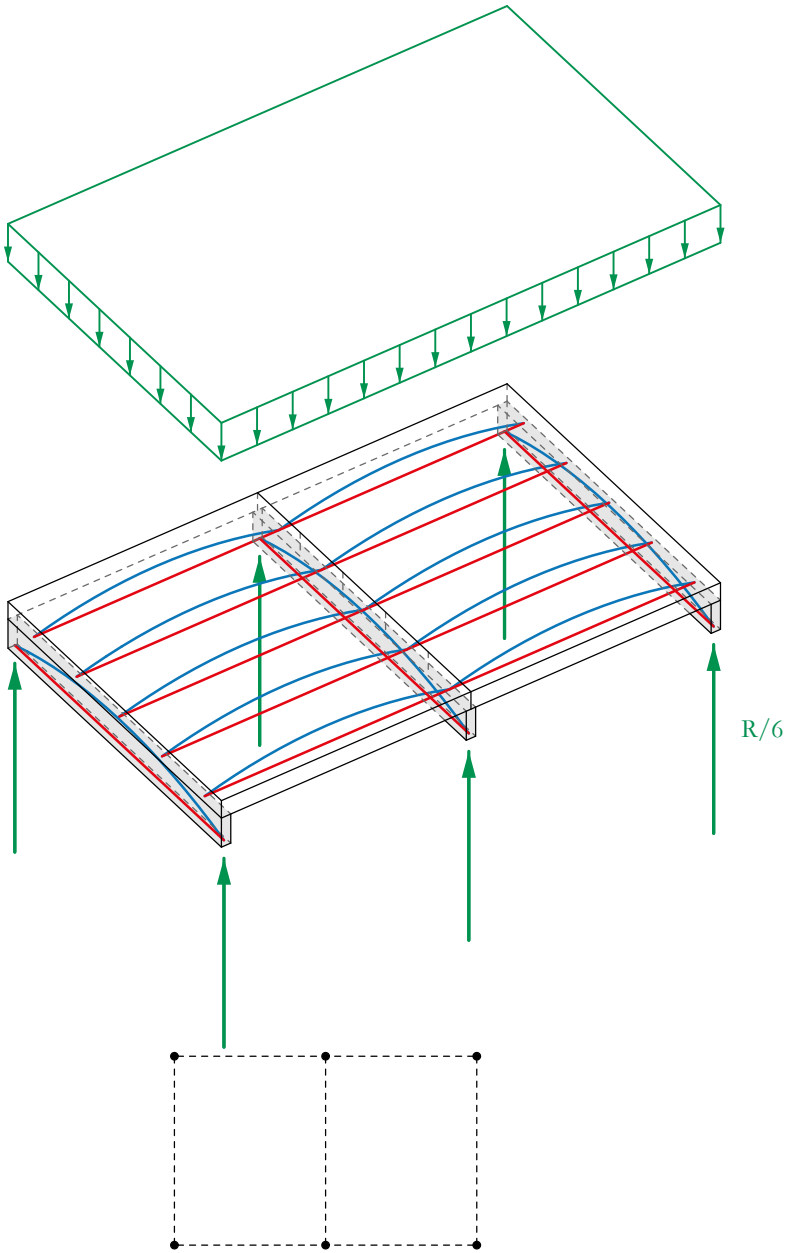
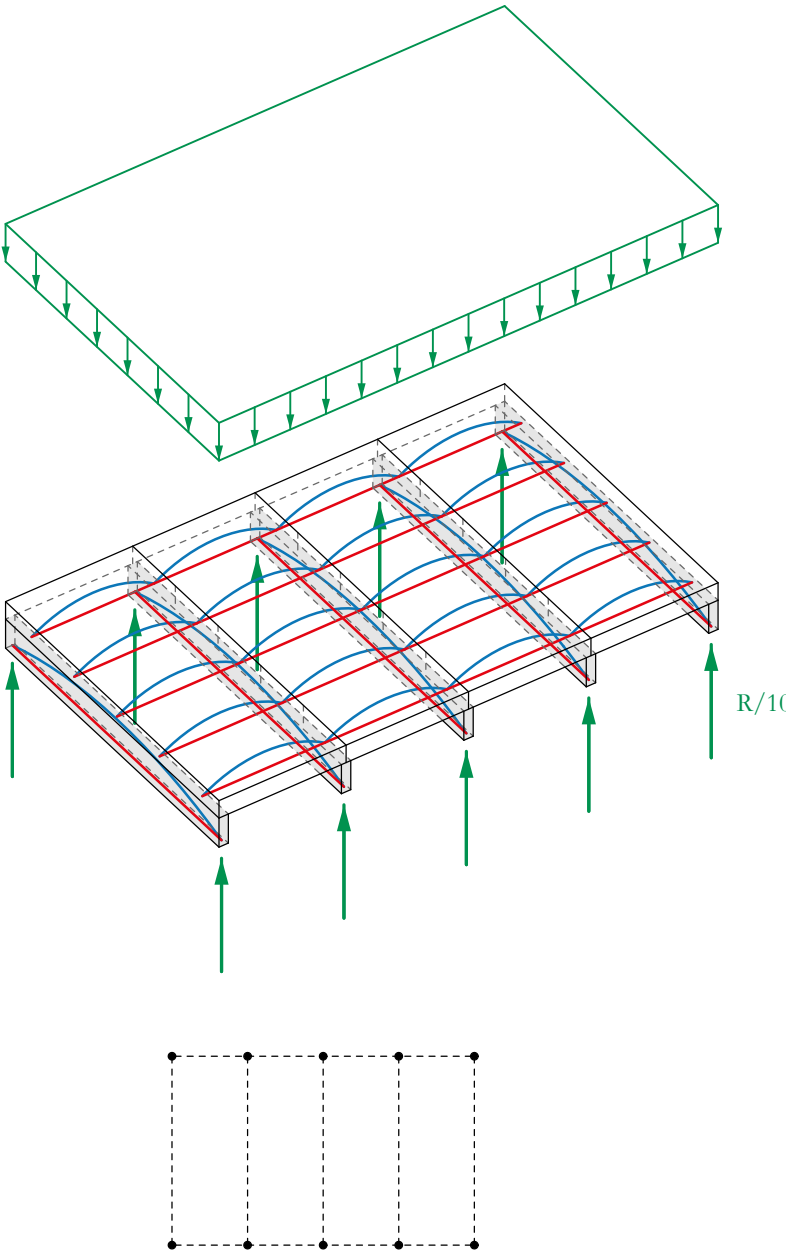
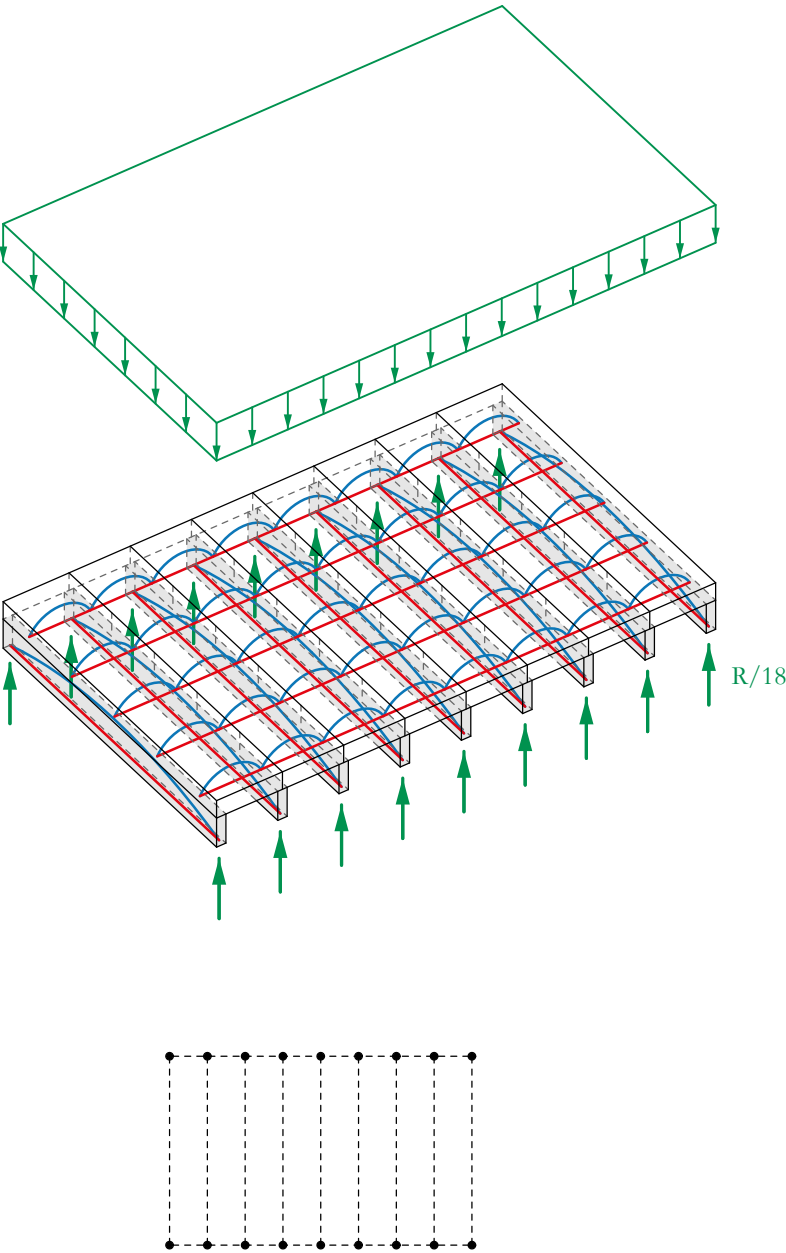
Plates

Faltwerke

Folded structures







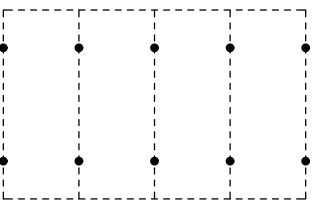
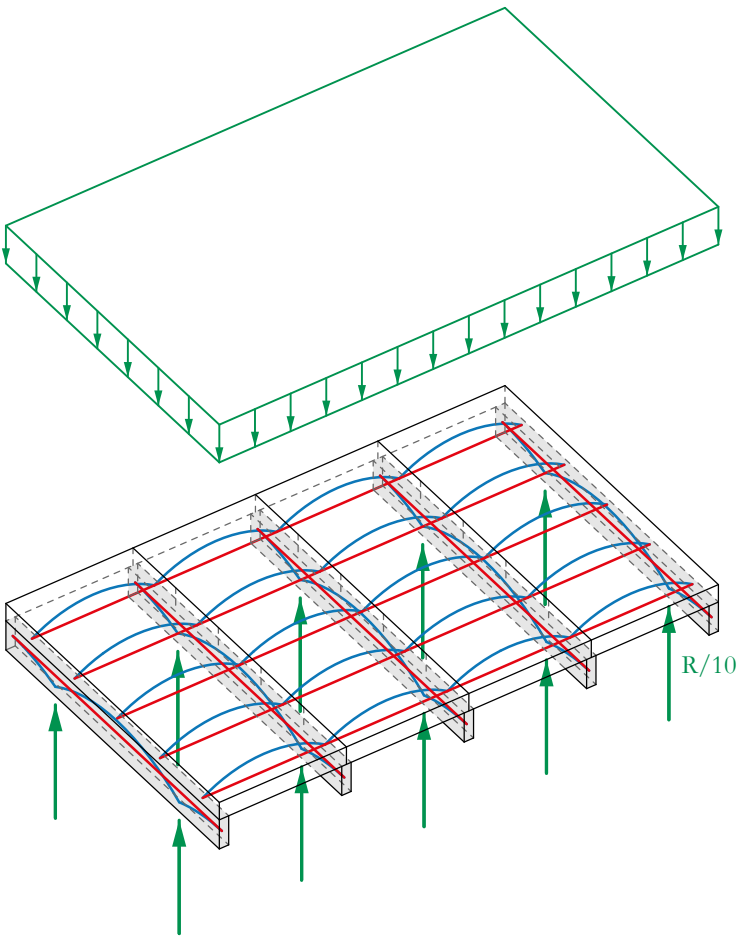
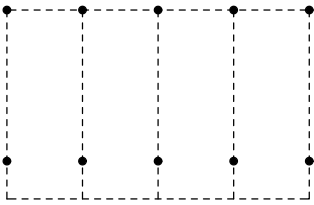
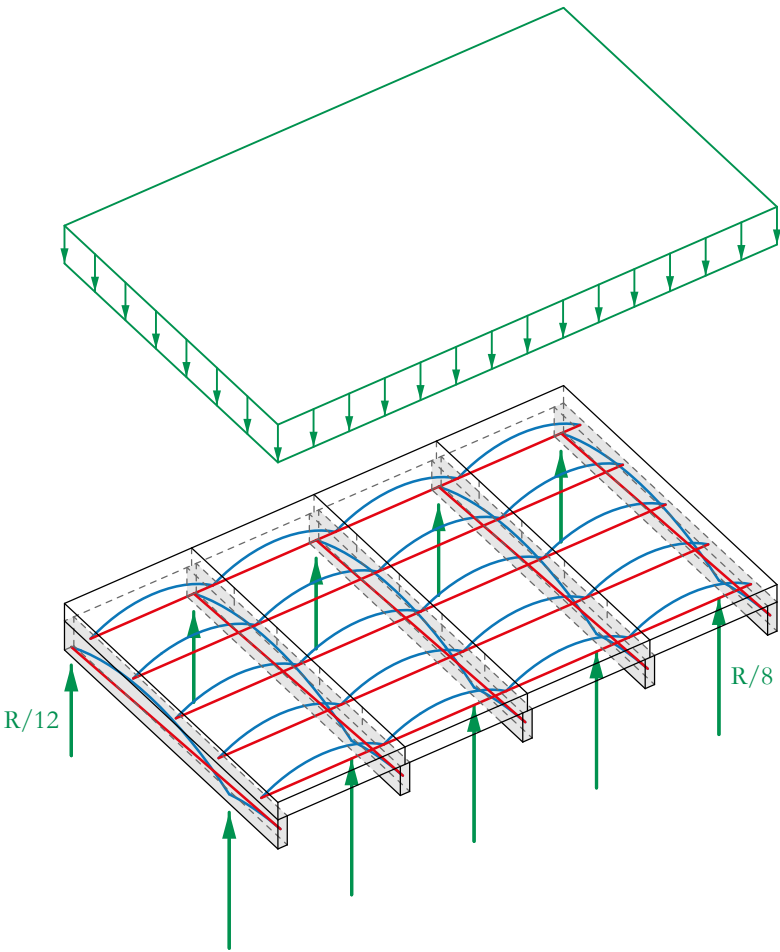
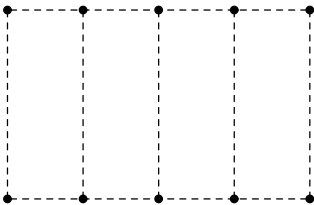
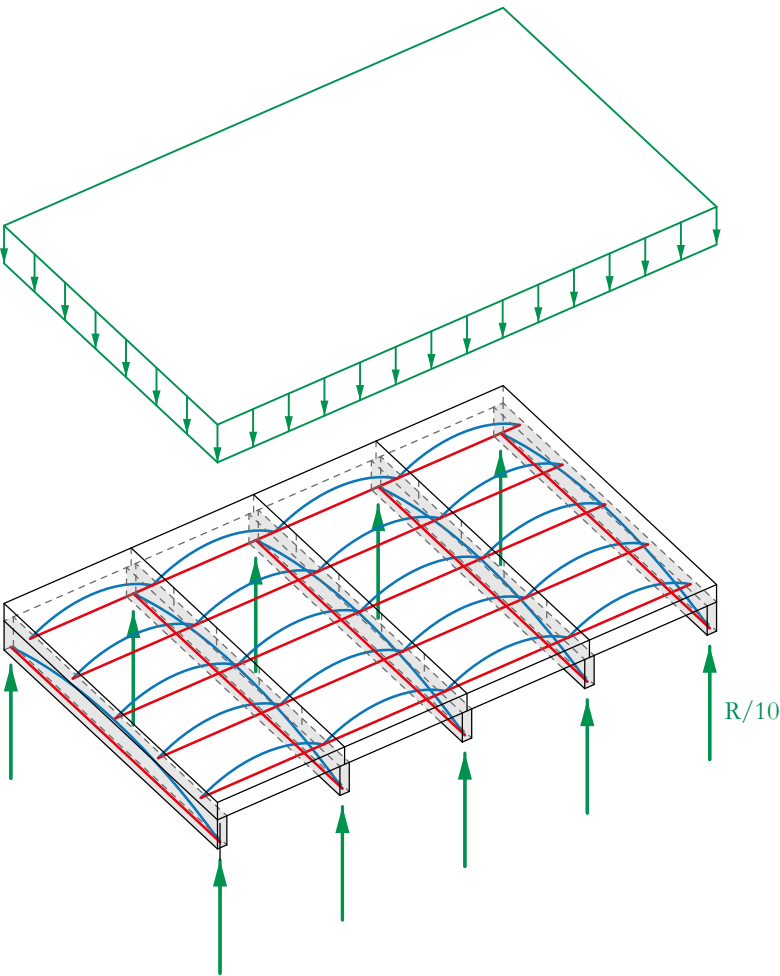


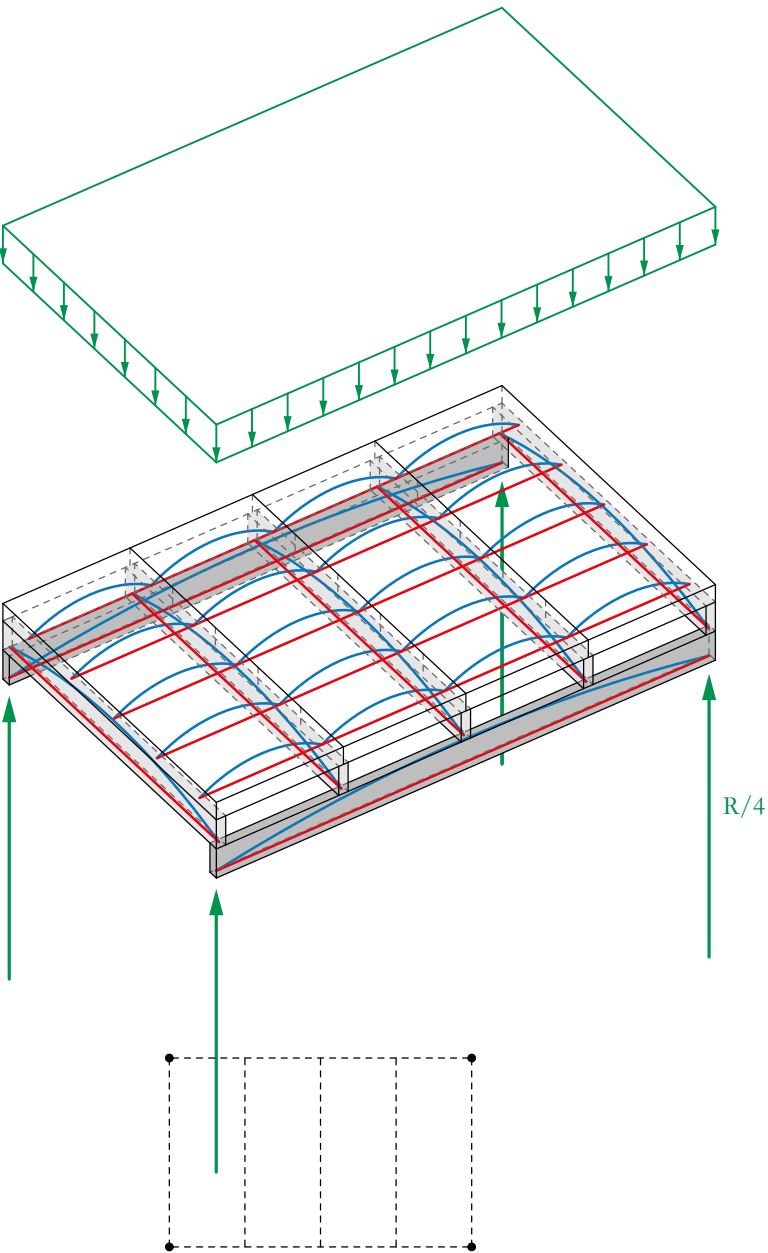
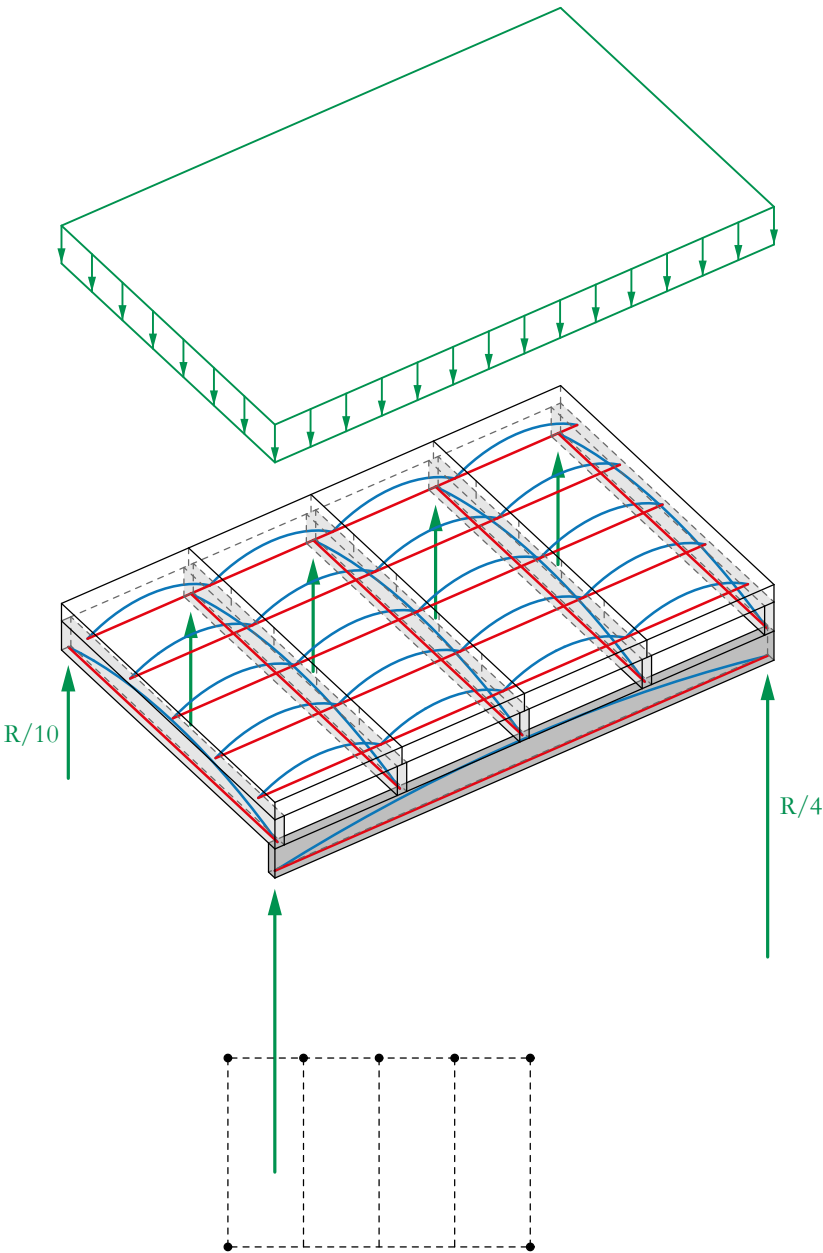
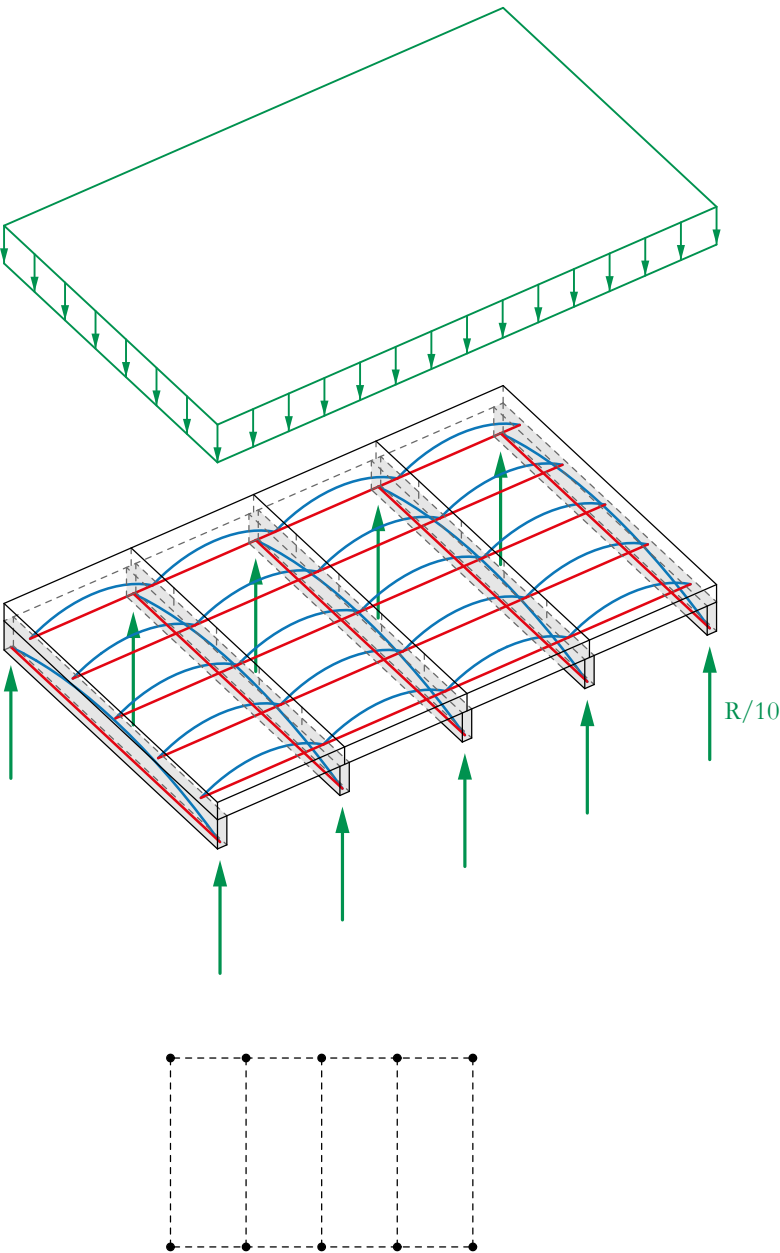
Hourdis-Decke
Hourdis ceiling



Stahldecke

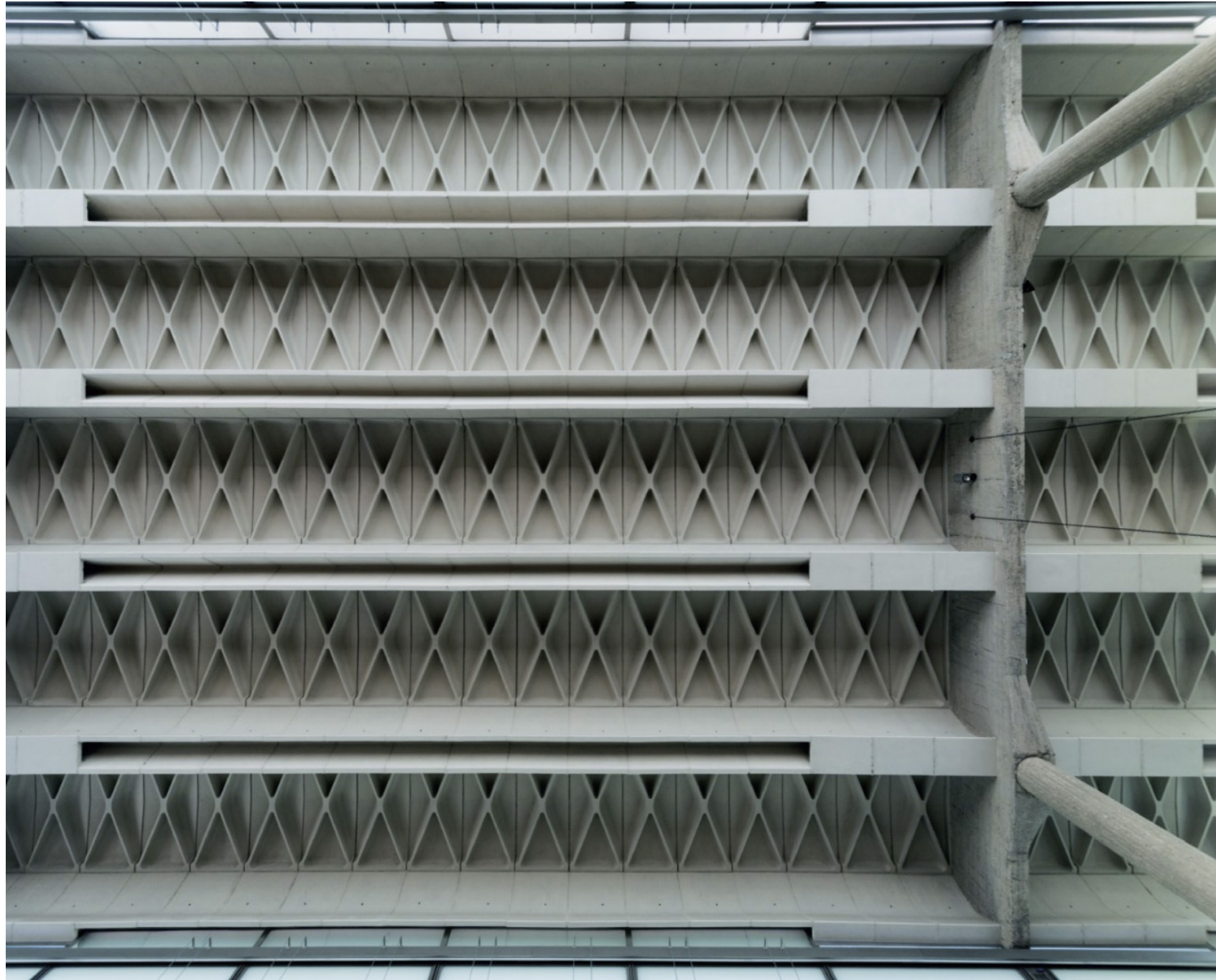
Steel ceiling







Angelo Mangiarotti: Nostra Signora della Misericordia church, Baranzate, Italien, 1957



Angelo Mangiarotti: Nostra Signora della Misericordia church, Baranzate, Italien, 1957

Platten

Plates

Plattenbalken

Plates on beams

>>

Balkenroste

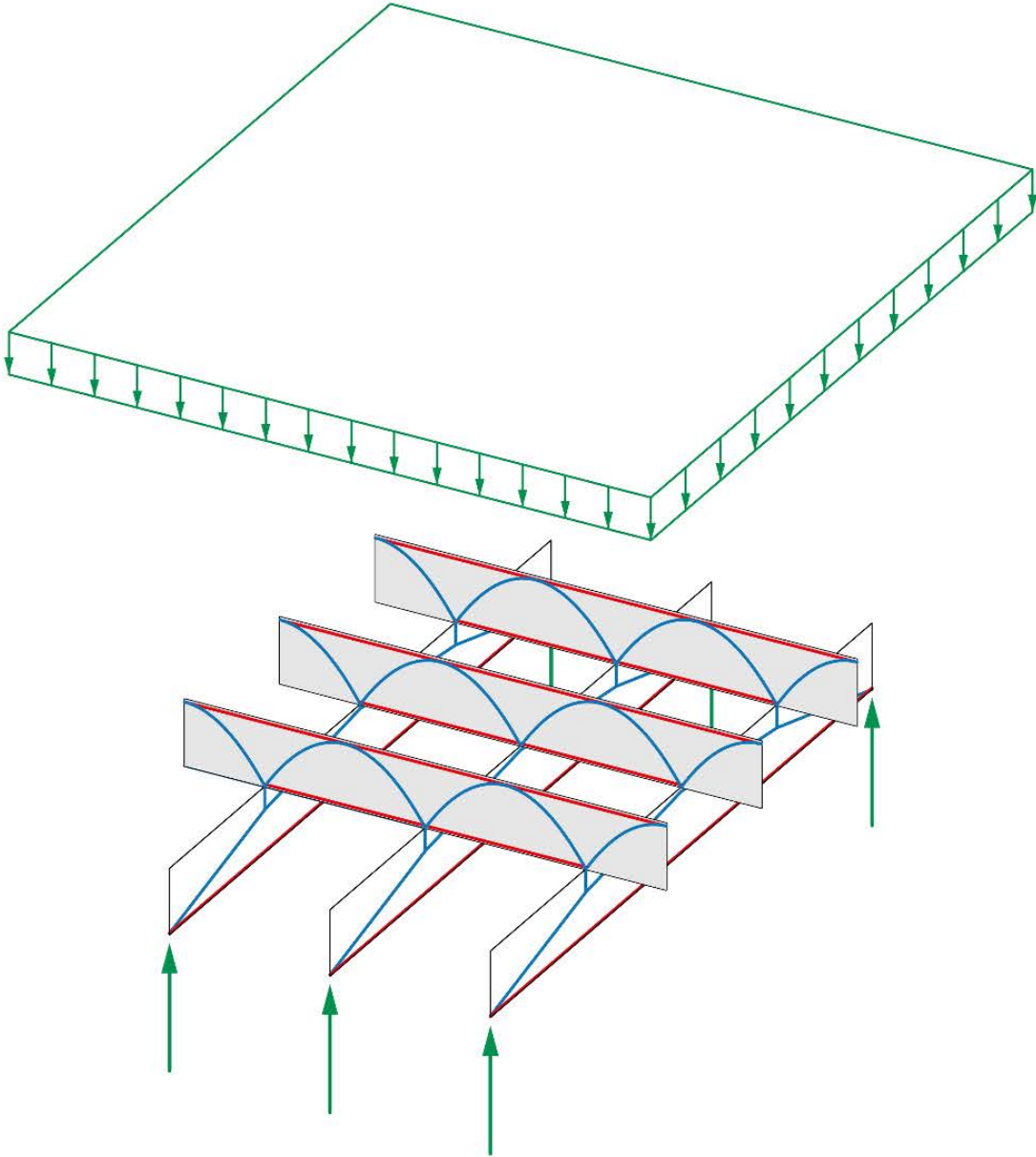
Beam grids

Platten

Plates

Faltwerke

Folded structures





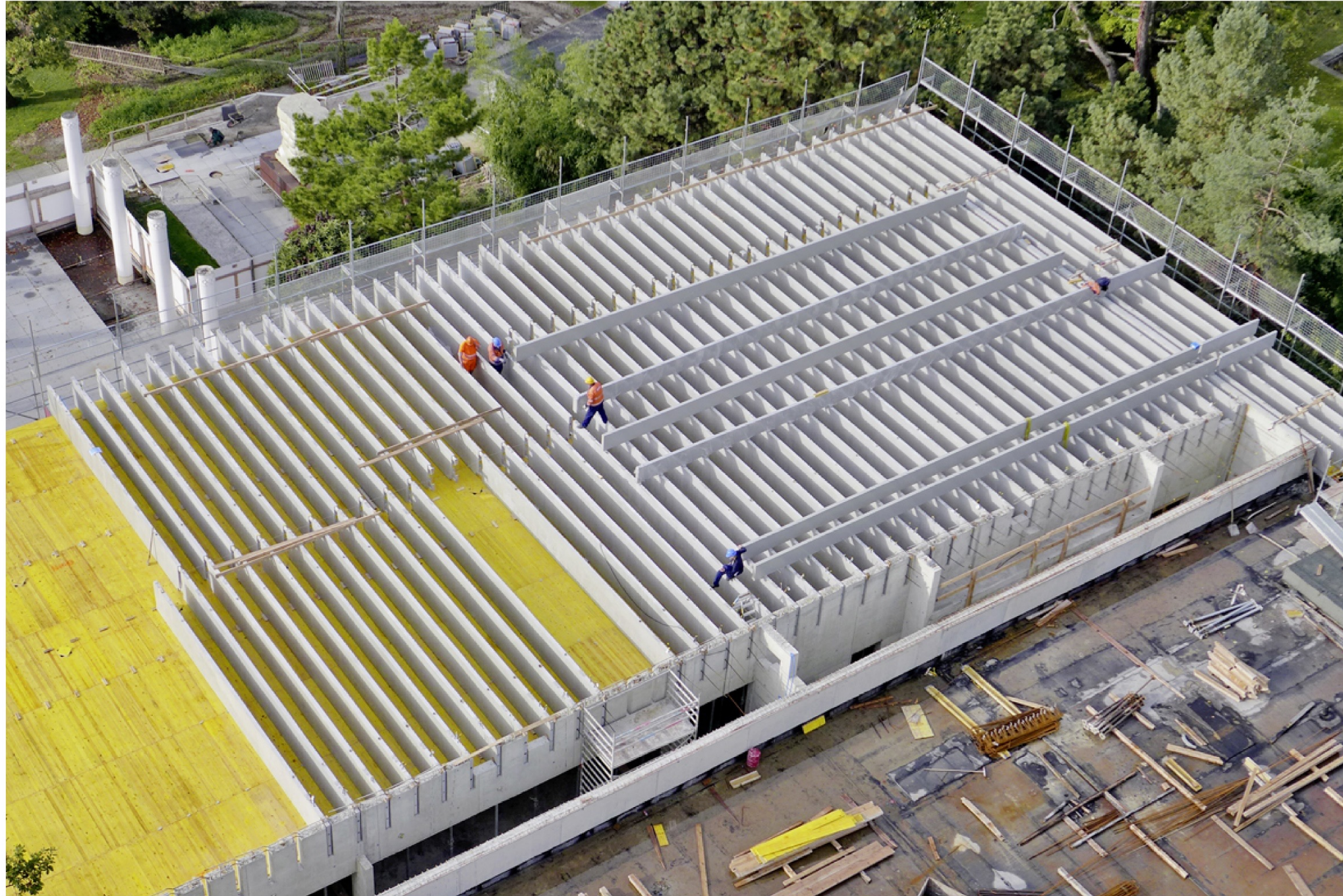
Sverre Fehn: Nordischer Pavillon, Venedig, 1958-1962 © Åke E:son Lindman



Sverre Fehn: Nordischer Pavillon, Venedig, 1958-1962 © Åke E:son Lindman



Brauen Wälchli, A. Muttoni: Erweiterung Olympisches Museum, Lausanne, 2014



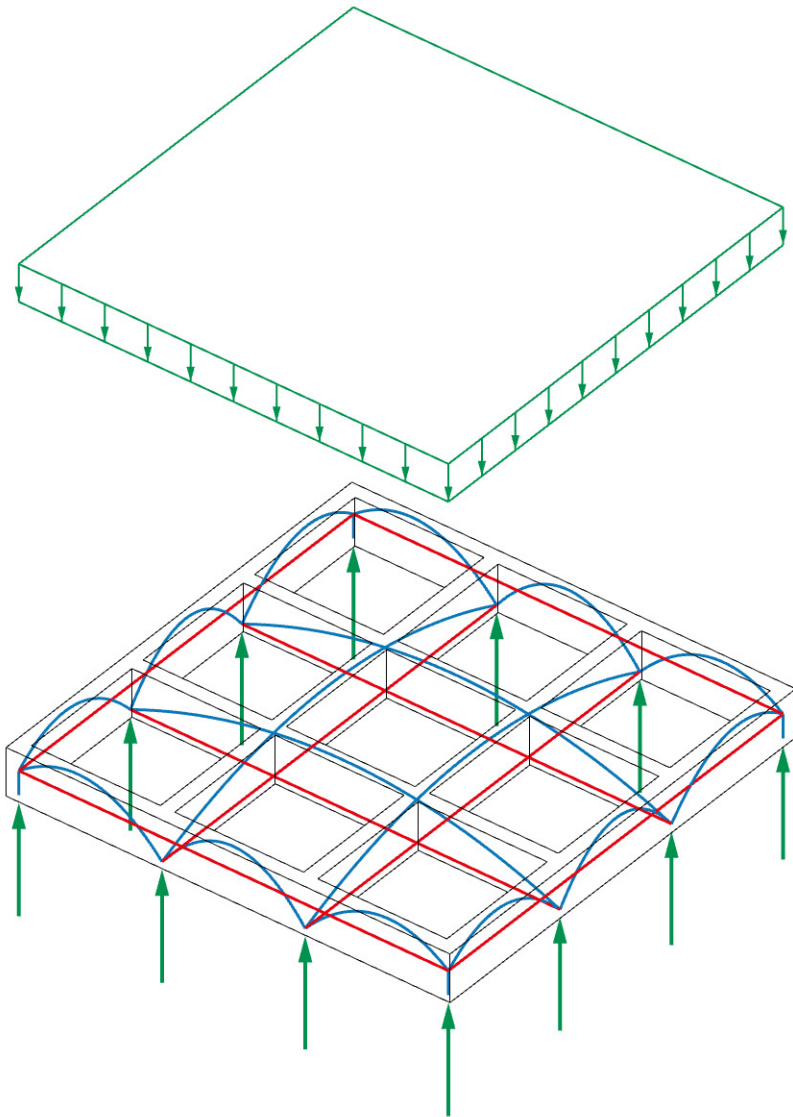
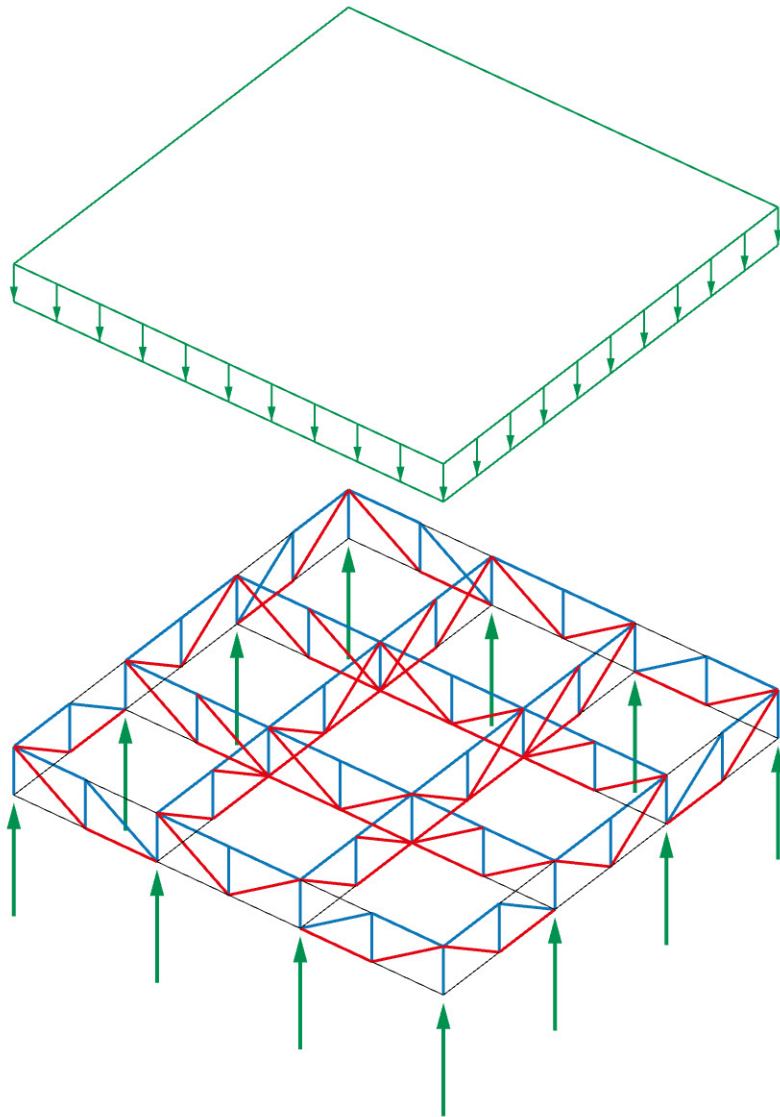
Brauen Wälchli, A. Muttoni: Erweiterung Olympisches Museum, Lausanne, 2014

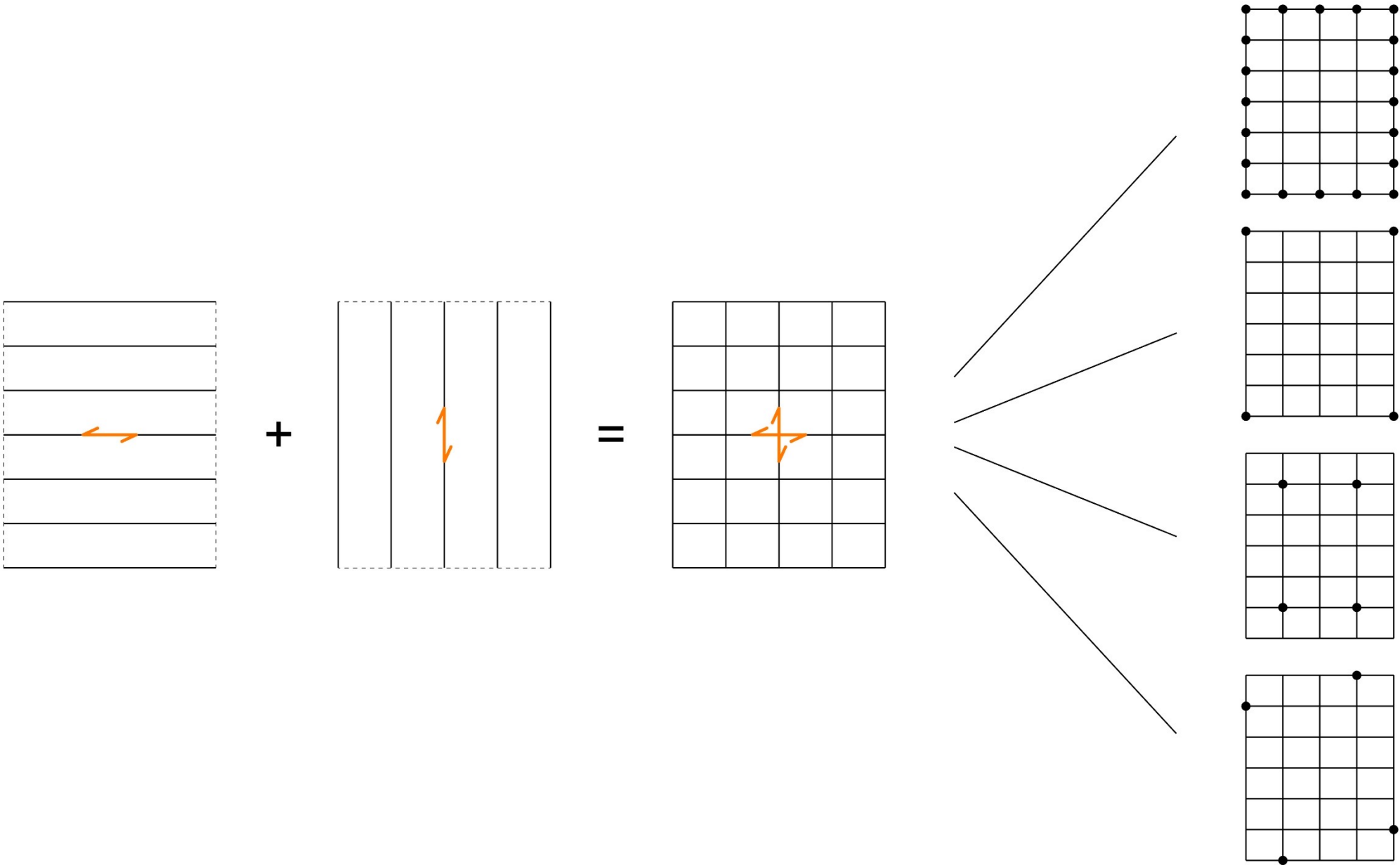


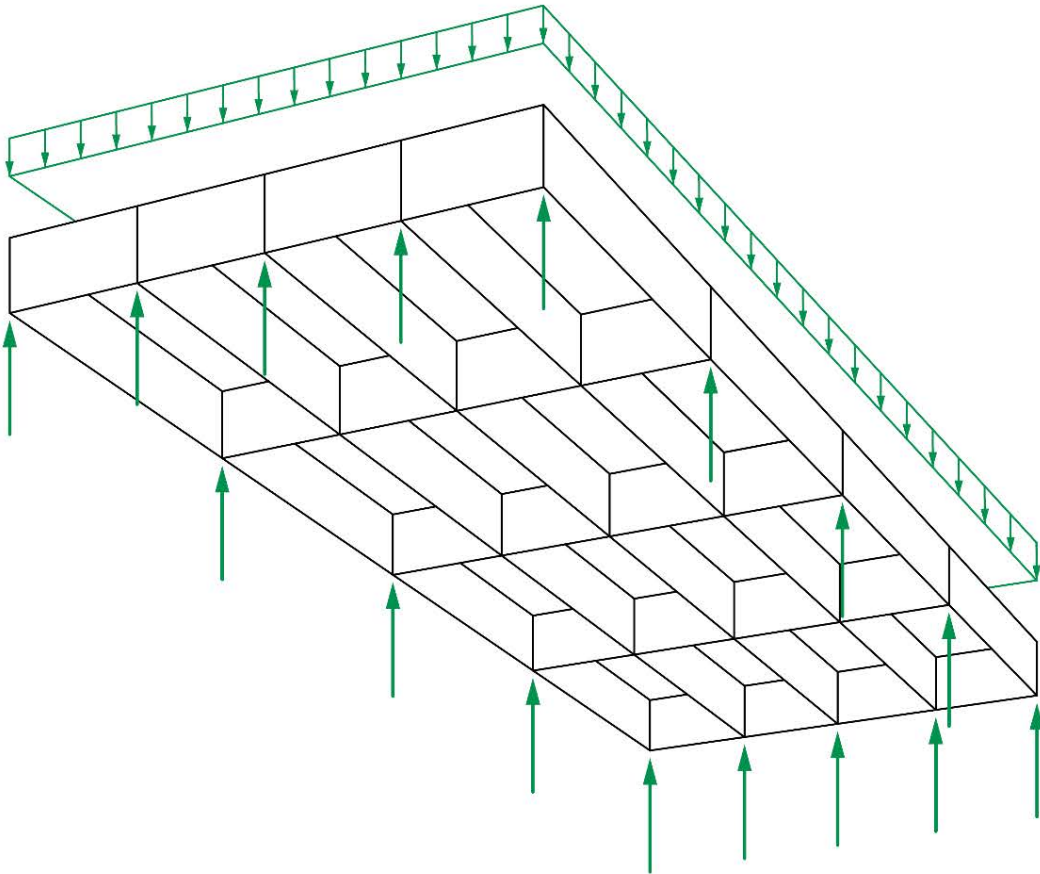
Wingårdh Arkitektkontor: Bushaltestelle in Umeå, Sweden, 2017 © André Pihl, Wingårdh Arkitektkontor



Wingårdh Arkitektkontor: Bushaltestelle in Umeå, Sweden, 2017 © André Pihl, Wingårdh Arkitektkontor

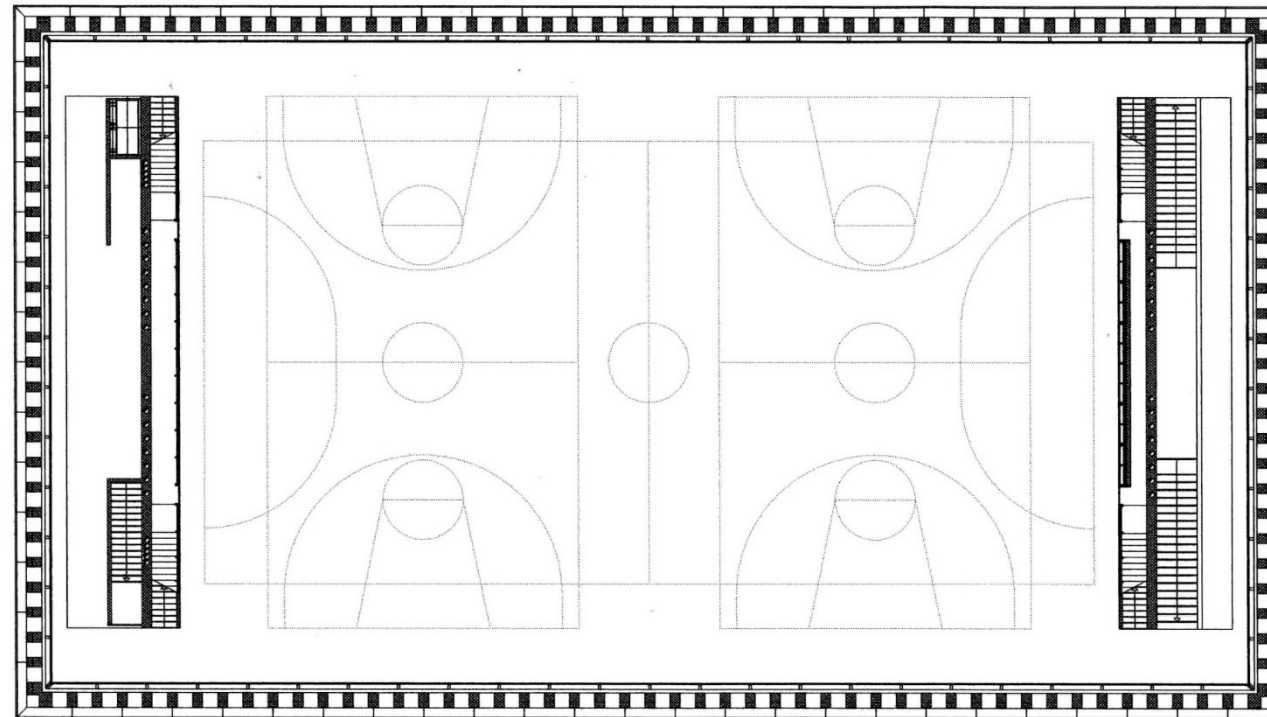


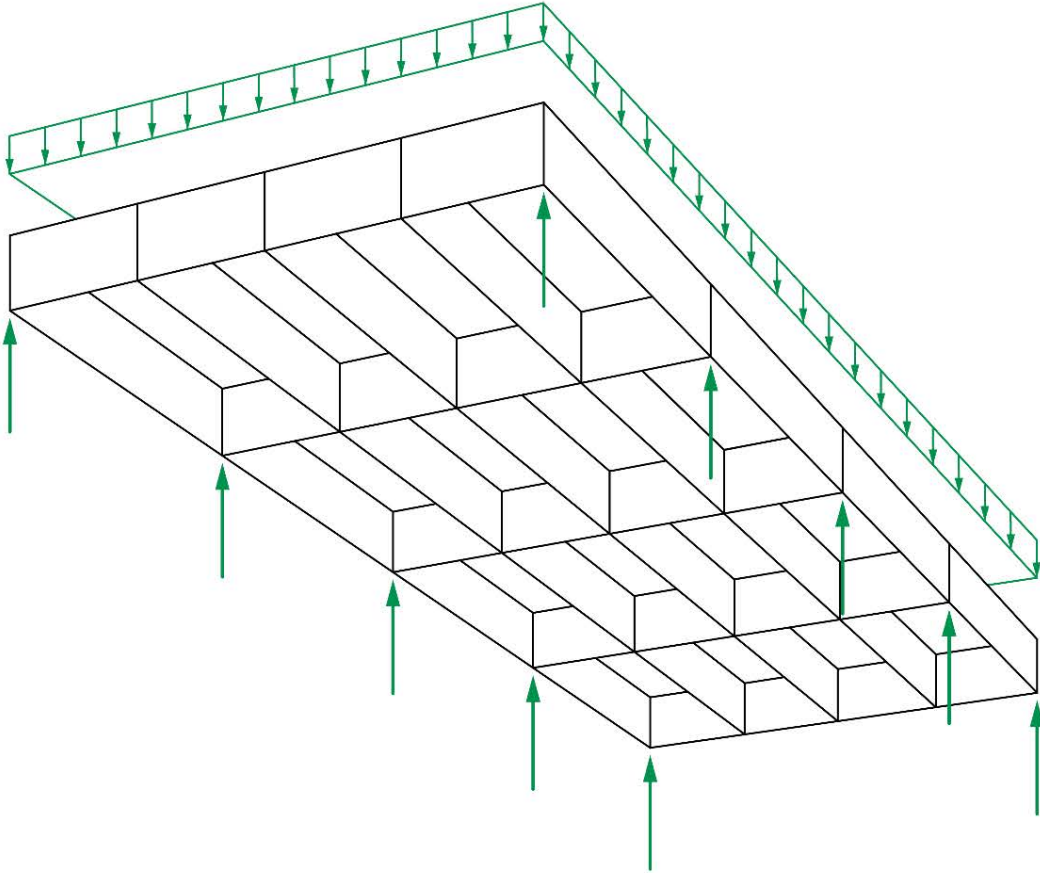






Livio Vacchini, R. Rossi: Mehrzweckhalle Losone, 1997



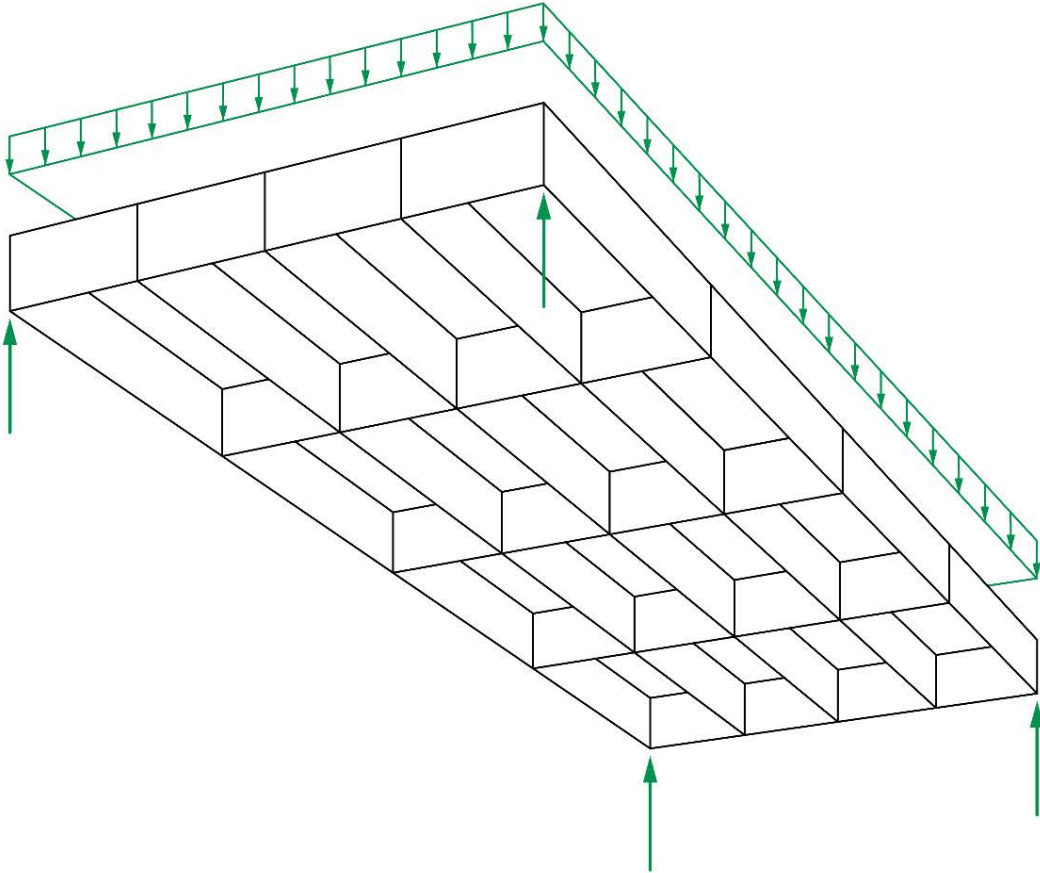


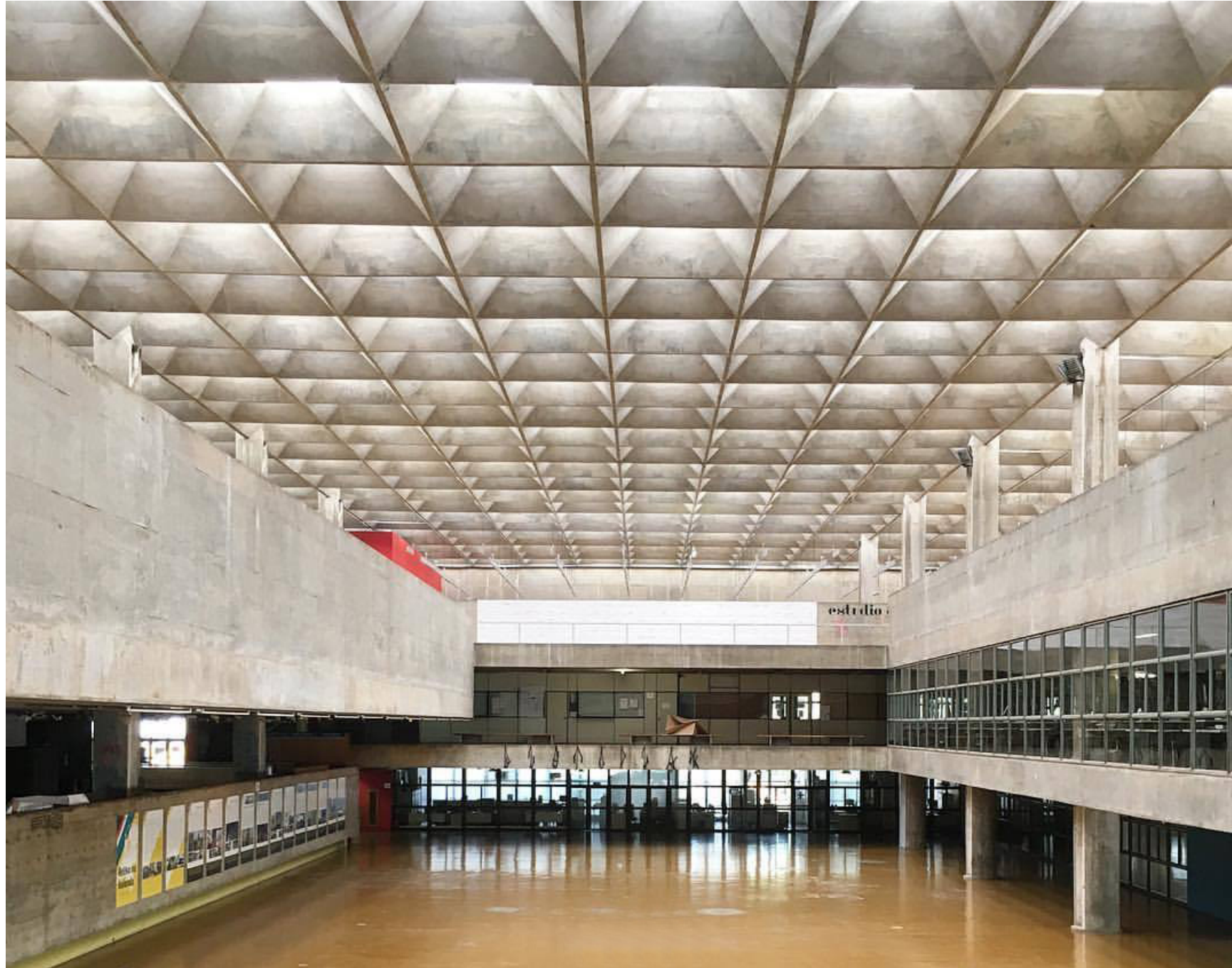


David Chipperfield Architects: Saint Louis Art Museum, Missouri, 2013 ©David Chipperfield Architects

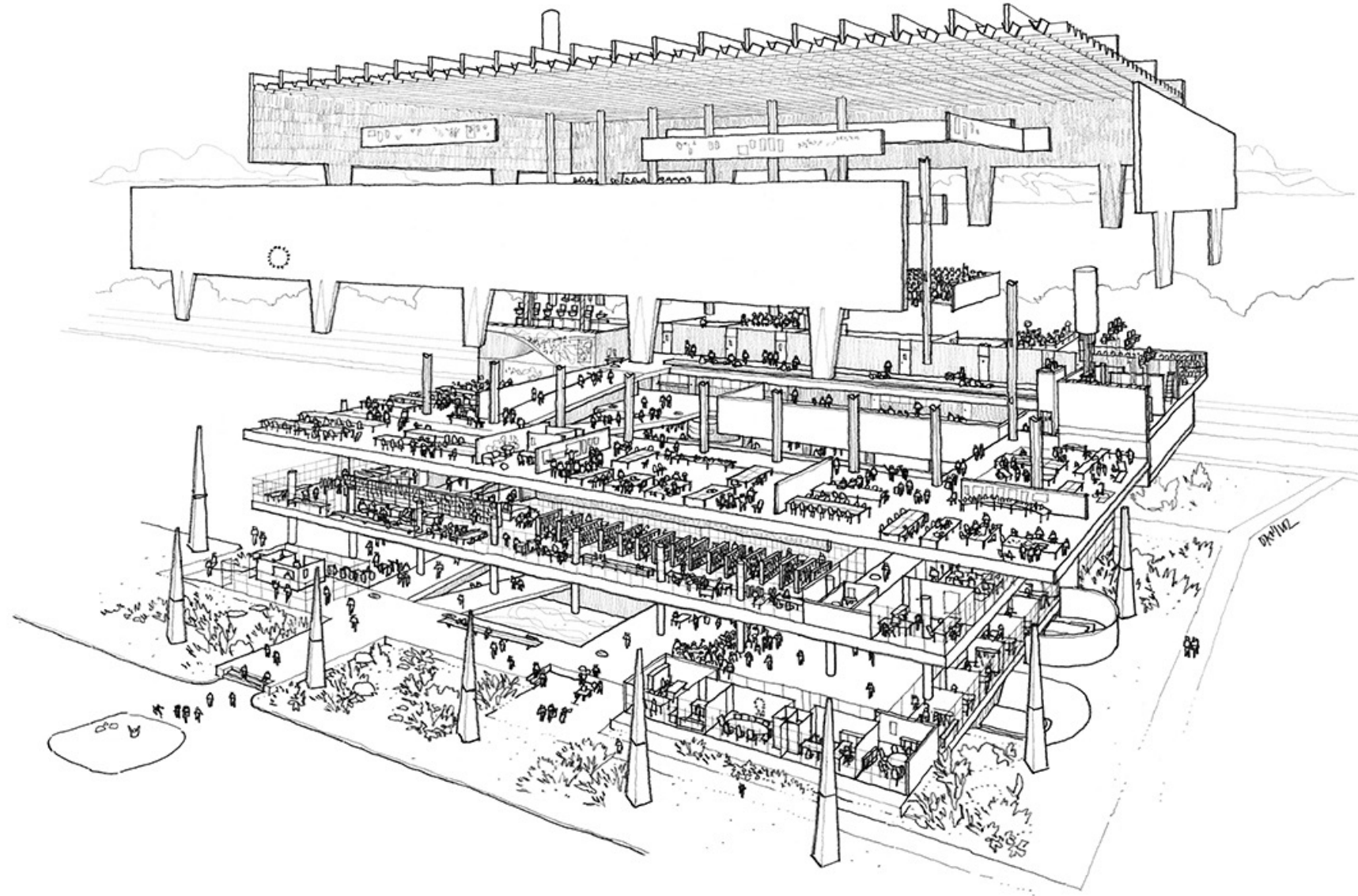


David Chipperfield Architects: Saint Louis Art Museum, Missouri, 2013 © Saint Louis Art Museum

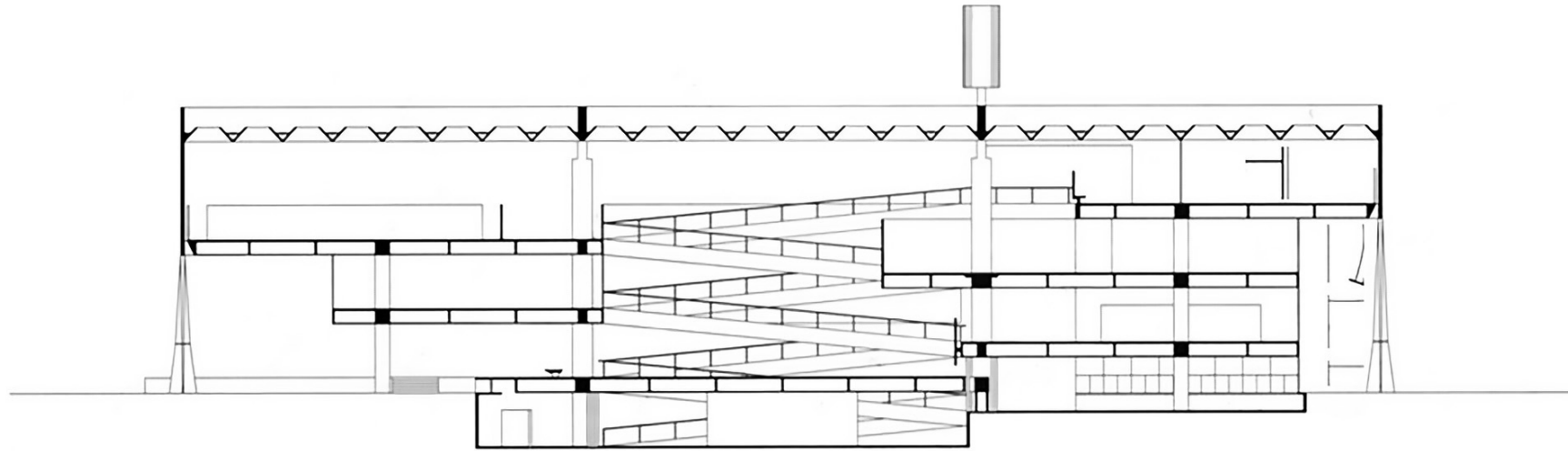




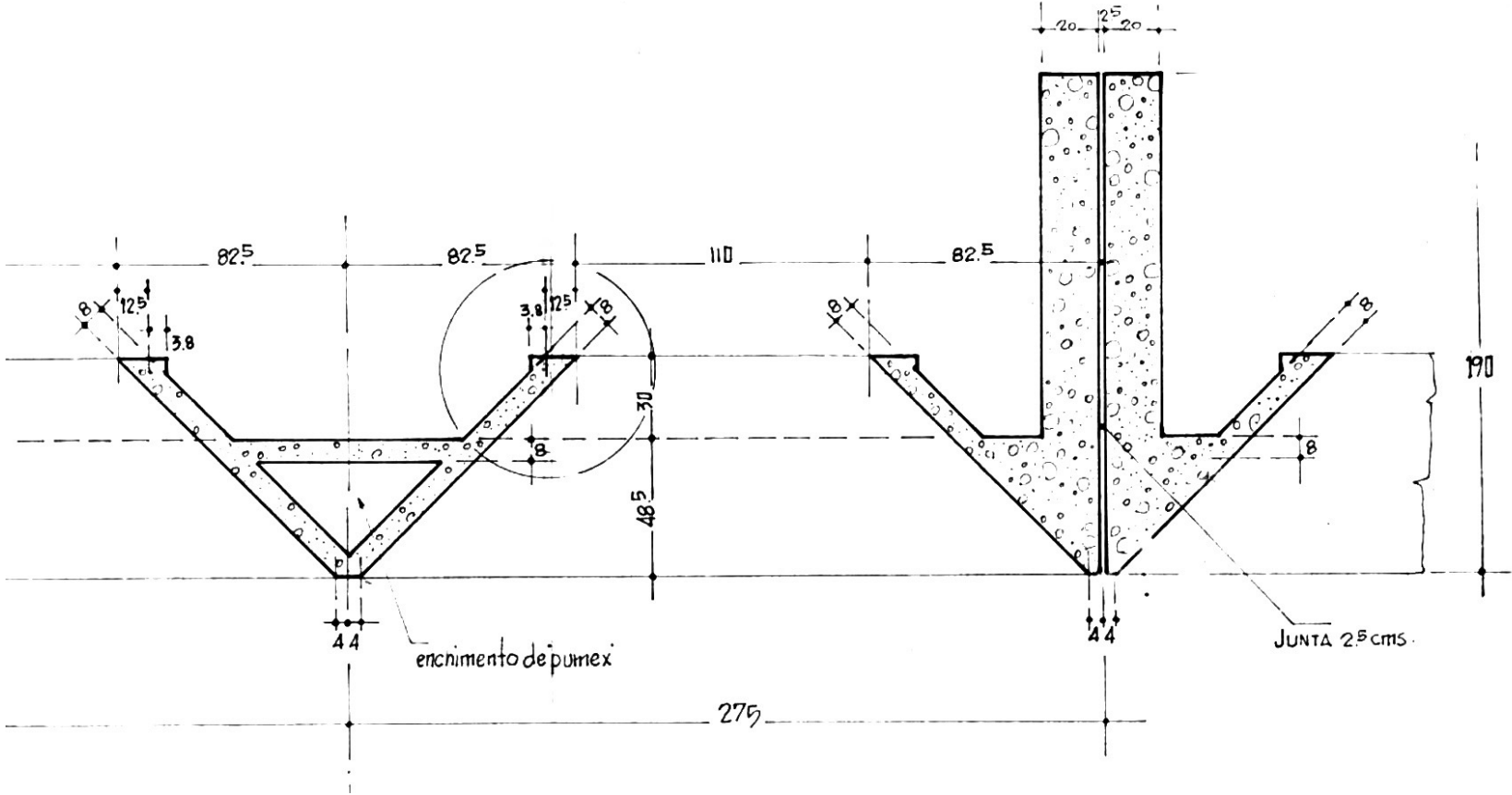
João Batista Vilanova Artigas: Faculty of Architecture and Urbanism at University of São Paulo, Brazil, 1969



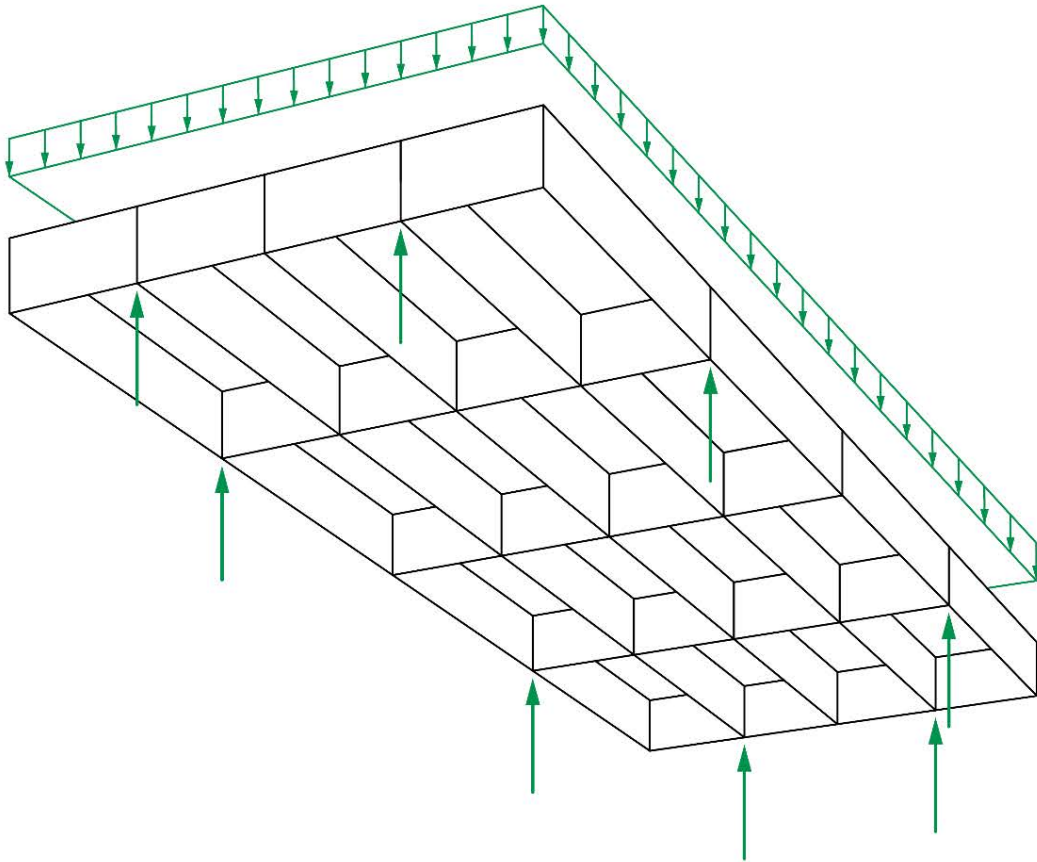
João Batista Vilanova Artigas: Faculty of Architecture and Urbanism at University of São Paulo, Brazil, 1969



João Batista Vilanova Artigas: Faculty of Architecture and Urbanism at University of São Paulo, Brazil, 1969

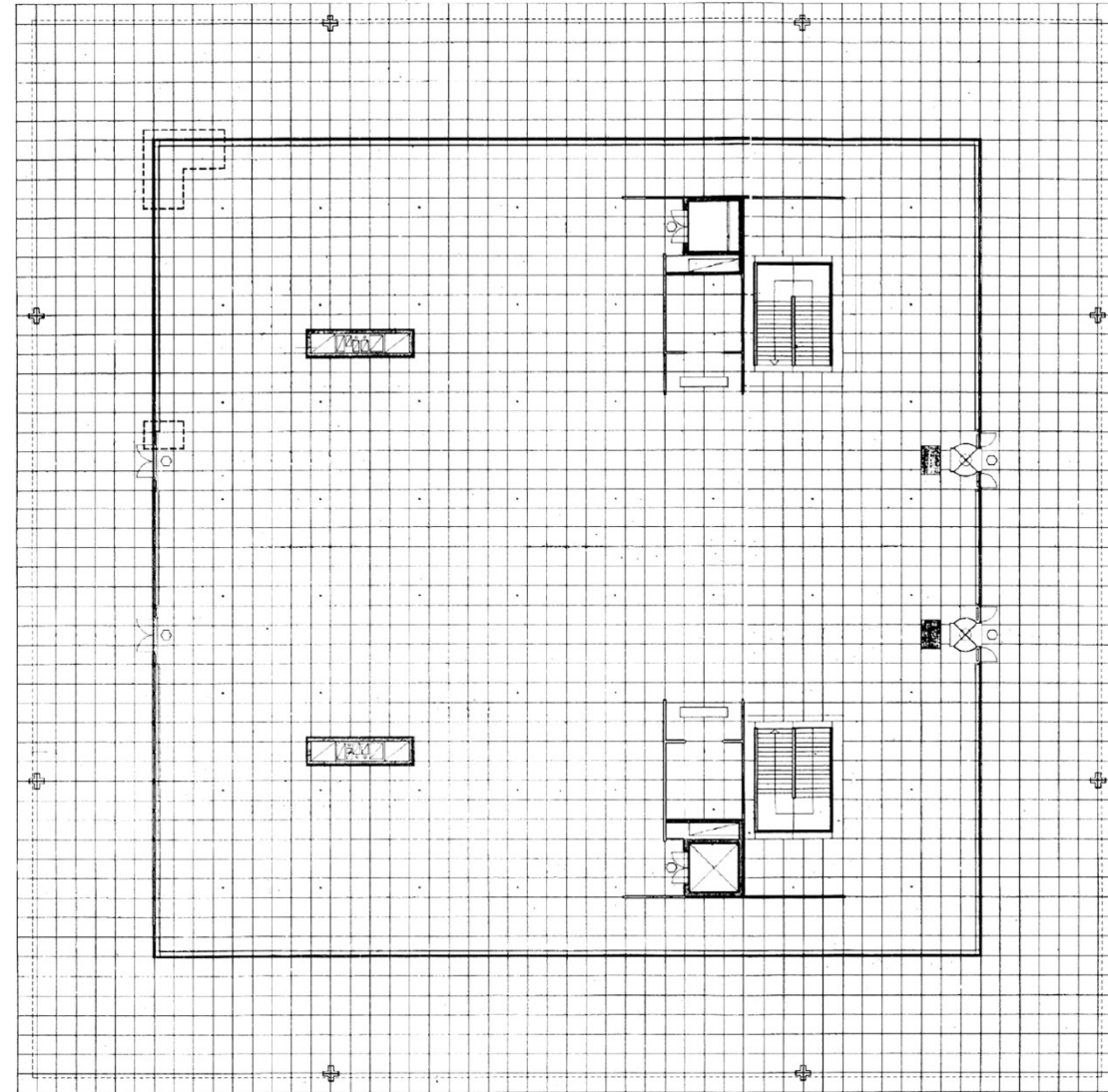


João Batista Vilanova Artigas: Faculty of Architecture and Urbanism at University of São Paulo, Brazil, 1969





Ludwig Mies van der Rohe, H. Dienst: Neue Nationalgalerie, Berlin, 1968 © Staatliche Museen zu Berlin





Louis Kahn, Henry A. Pfisterer: Art Gallery, Yale University, New Haven, 1953



Heinrich Degelo, Joseph Schwartz: Erweiterung Kongresshaus, Davos, 2011



Heinrich Degelo, Joseph Schwartz: Erweiterung Kongresshaus, Davos, 2011



Pier Luigi Nervi: Wollfabrik Gatti, Rom, 1953

Platten

Plates

Plattenbalken

Plates on beams

Balkenroste

Beam grids

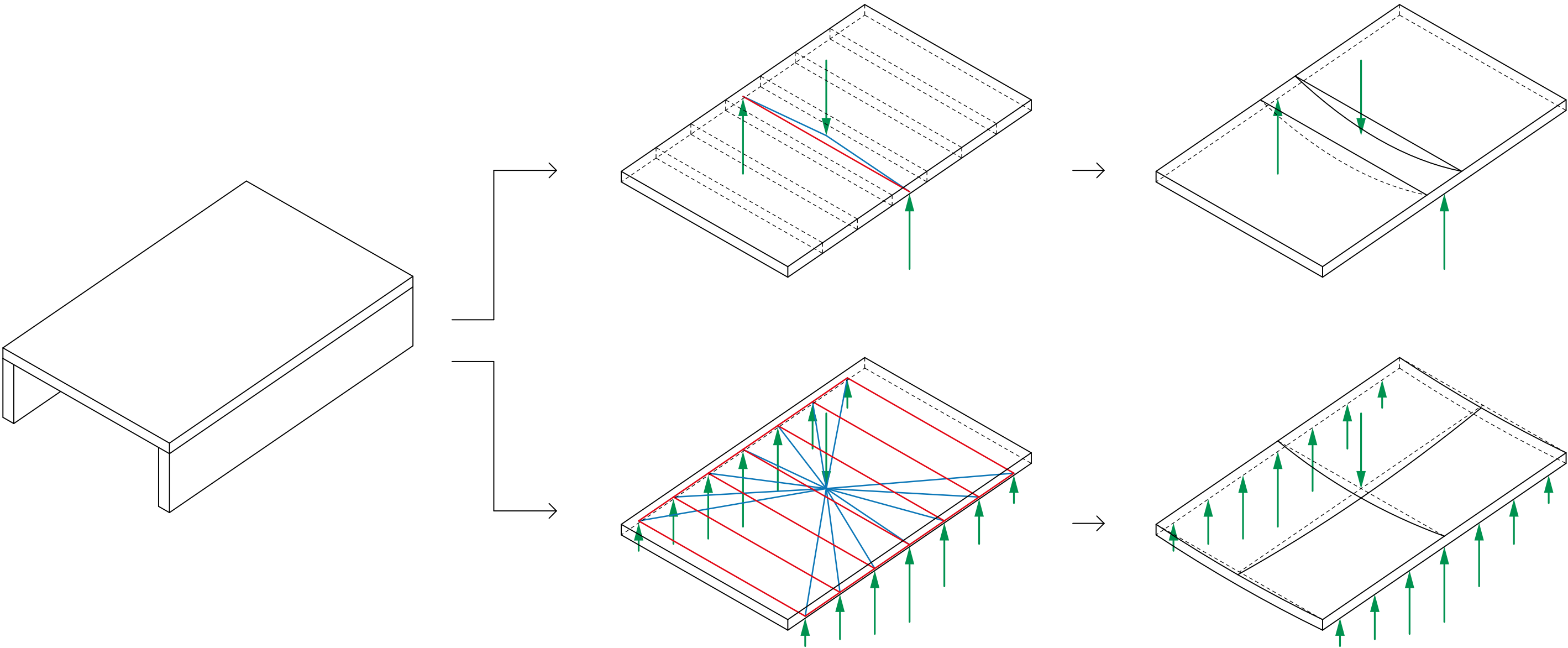
>>

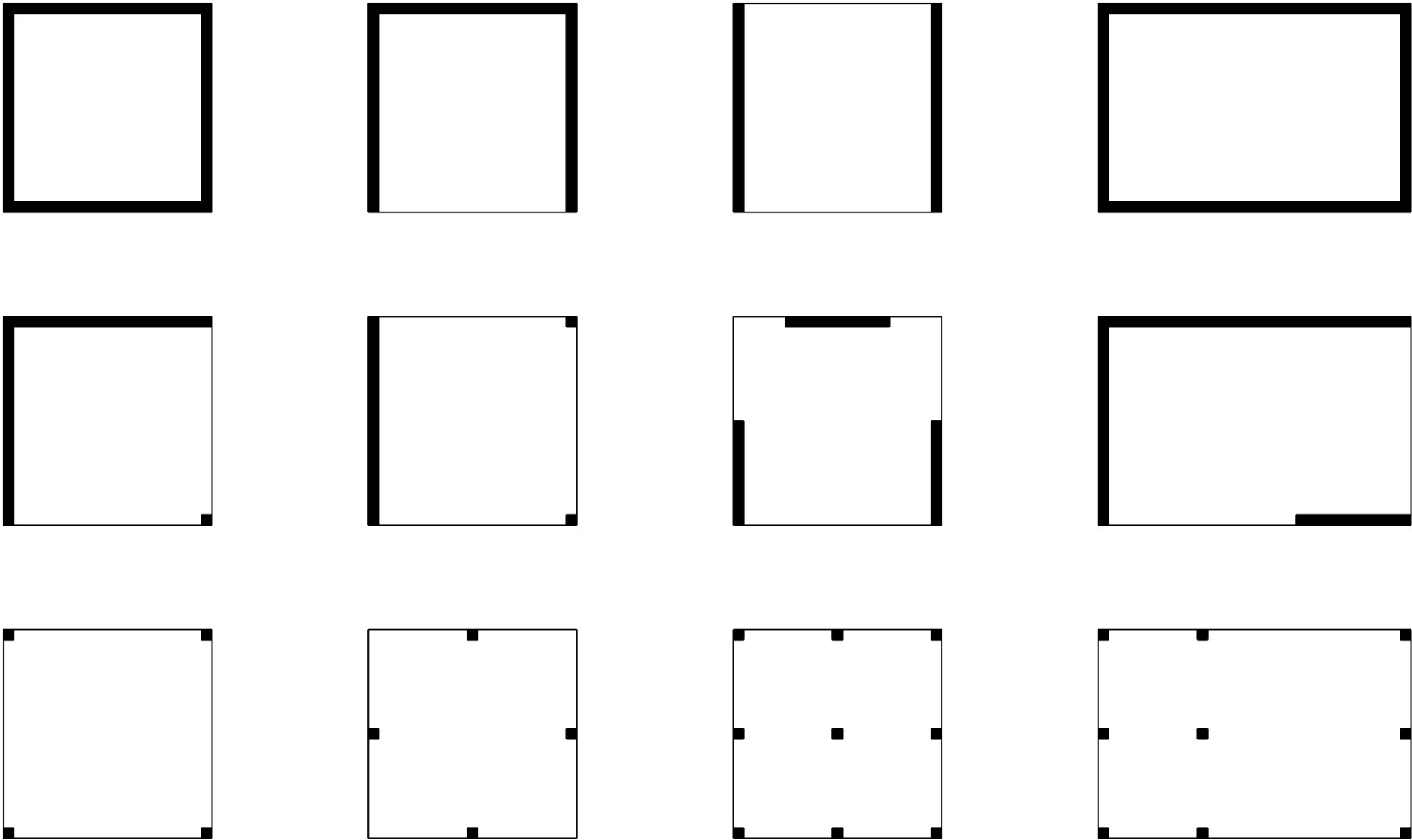
Platten

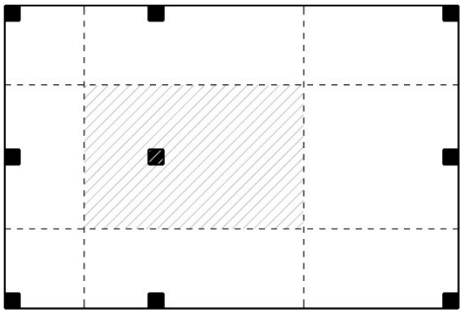
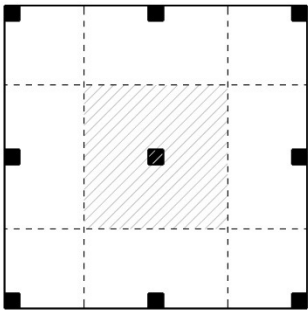
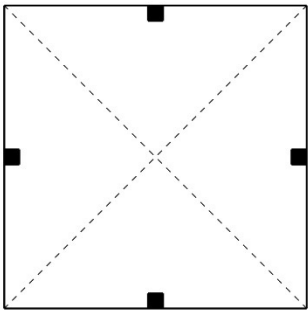
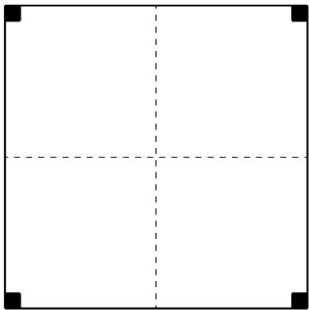
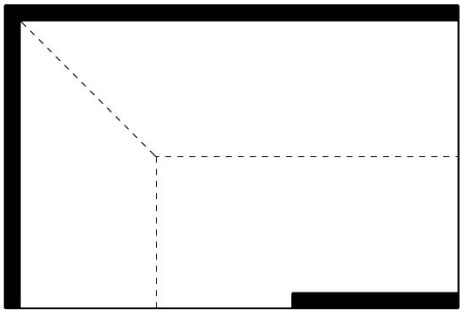
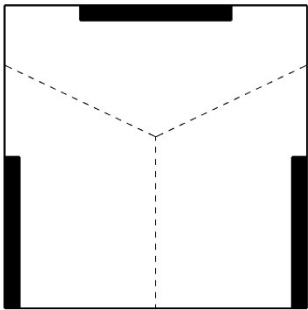
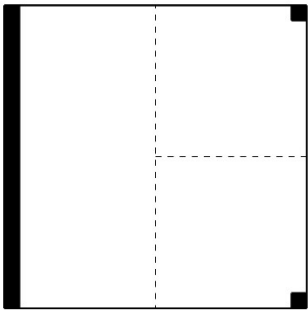
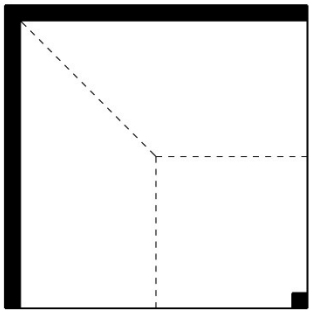
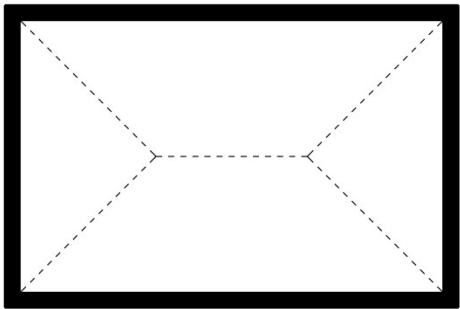
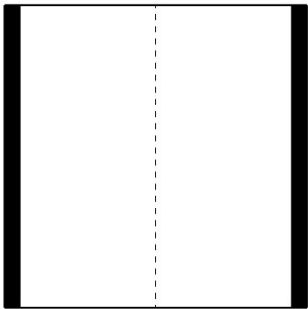
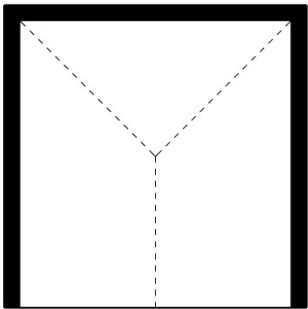
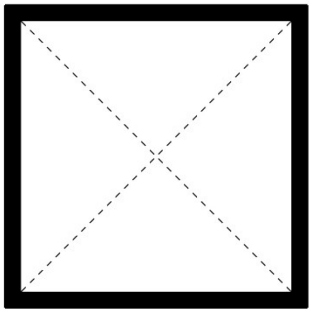
Plates

Faltwerke

Folded structures

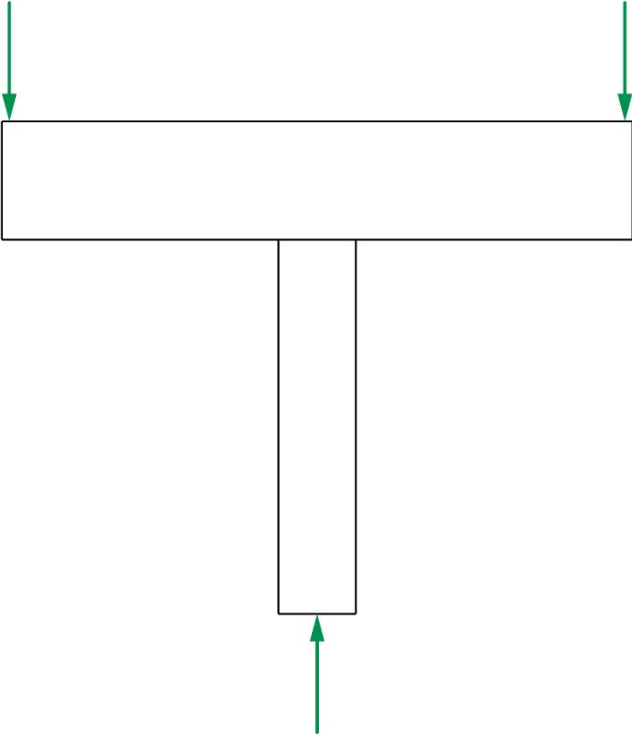
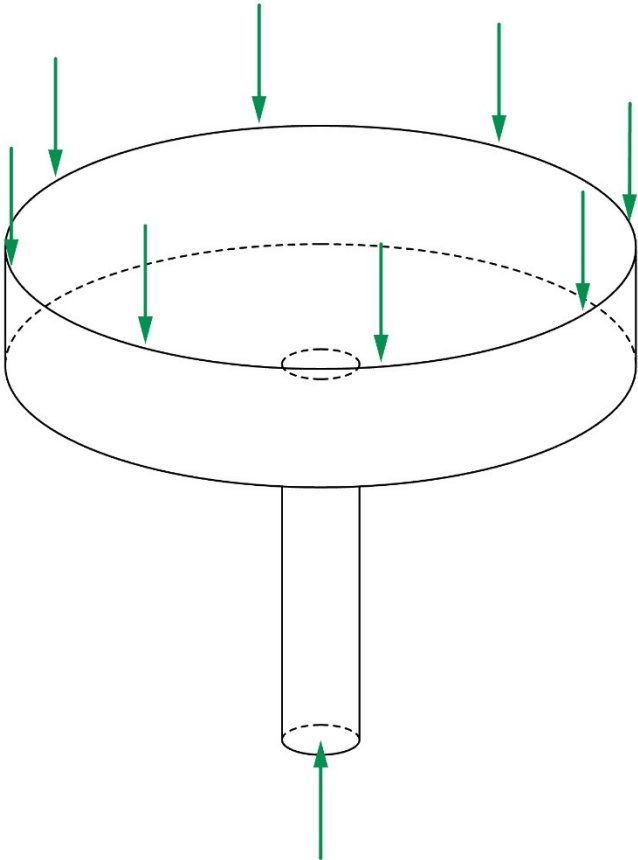


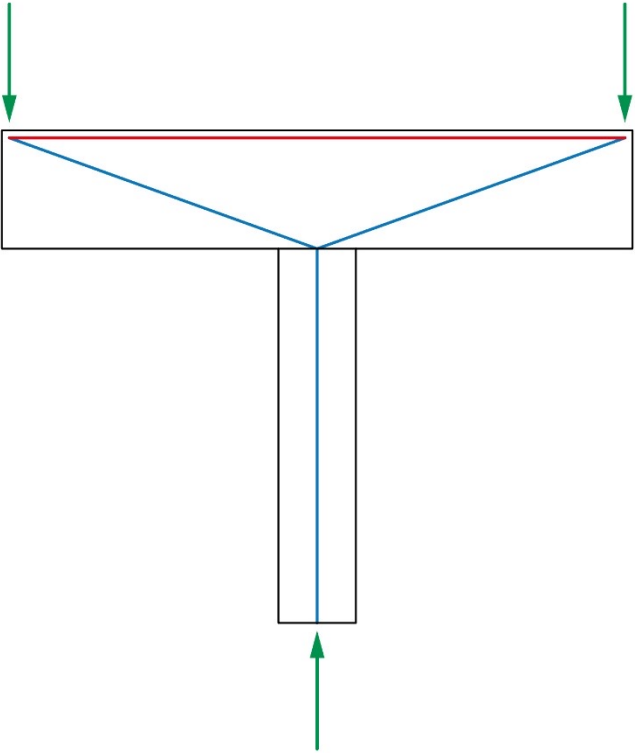
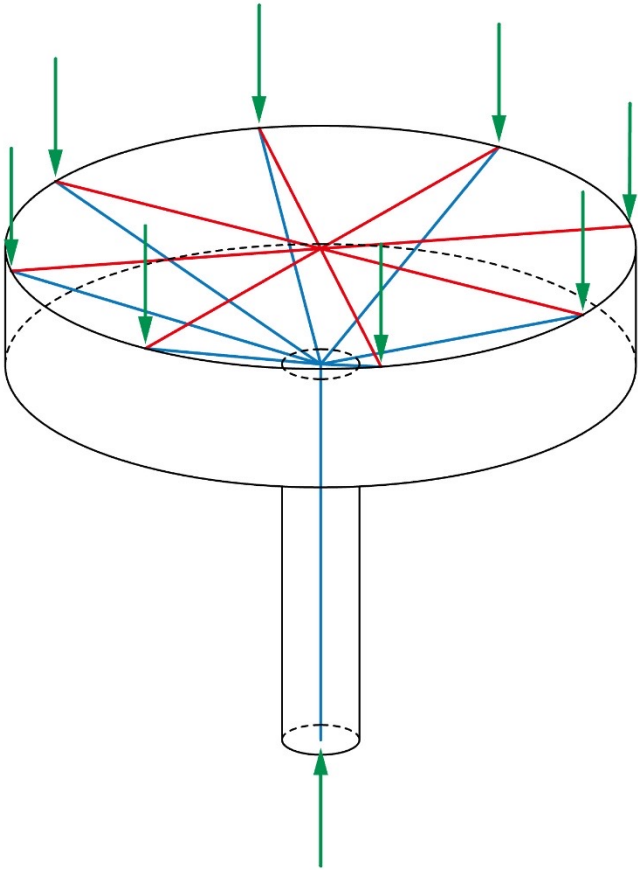


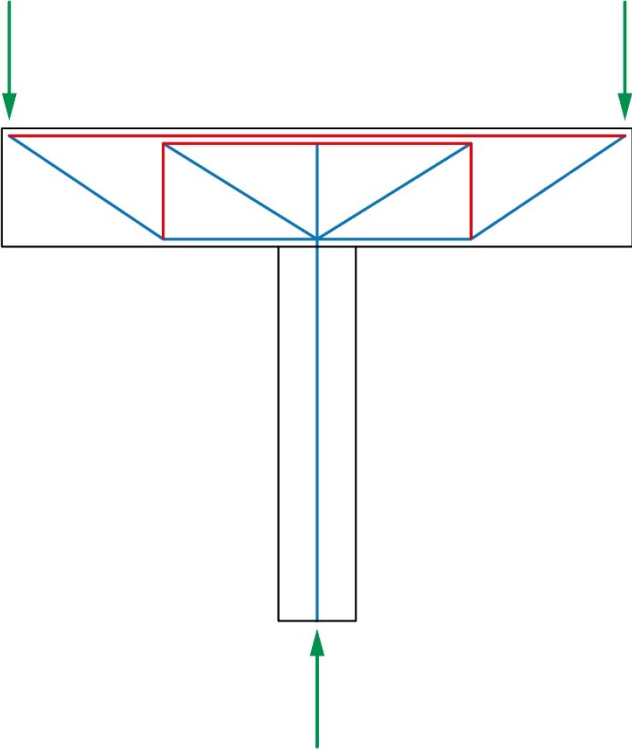
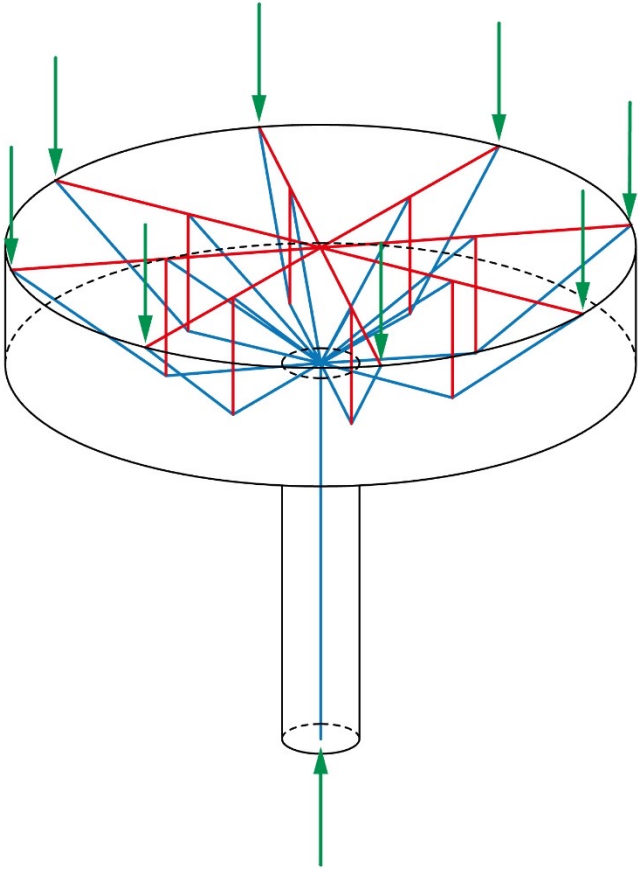


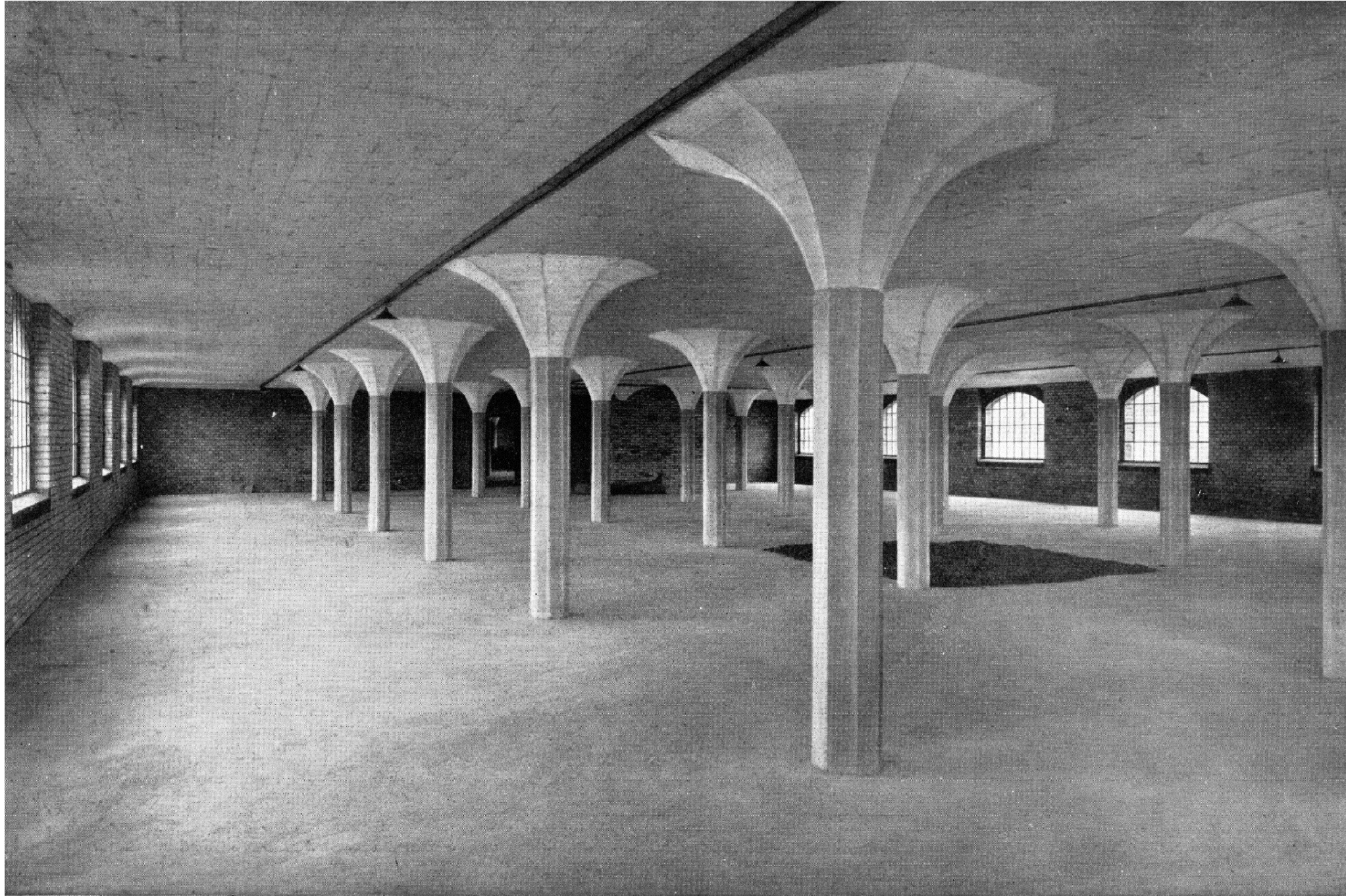


Pipers Row Car Park, Wolverhampton, 1997









Arch. & Ing.: Robert Maillart: Lagerhaus Giesshübelstrasse, Zürich, 1910



Frank Lloyd Wright: Johnson Wax Building, Racine, 1939



Toyo Ito: National Taiwan University Library, Taiwan, 2013

Material	Tragwerk	wirtschaftliche Schlankheit <i>l/h</i> für einfache Balken *
Stahl	Vierendeelträger	7 – 10
	Fachwerkträger	10 - 15
	Raumfachwerk	12 - 18
	Balken	15 - 20
Stahlbeton	Balken	12 – 18
	Platten	20 – 25
Spannbeton	Balken	18 – 25
	Platten	28 – 35
Holz	Balken	15 - 20

* Bei Konsolen entspricht *l* der zweifachen Spannweite der Konsole, bei Balken mit Konsolen bzw. Durchlaufträgern entspricht *l* dem Abstand der beiden zwischen den Auflagern liegenden Gelenken.

Spannweite Platte 6 m:

Span of plate 6 m:

$h = l/x = 6 \text{ m} / 25 = 0.24 \text{ m}$
 $h = l/x = 6 \text{ m} / 20 = 0.3 \text{ m}$

$h = 24 - 30 \text{ cm}$

Aus Spannbeton:

In Prestressed concrete:

$h = 18 - 21 \text{ cm}$

Spannweite Platte 9 m:

Span of plate 9 m:

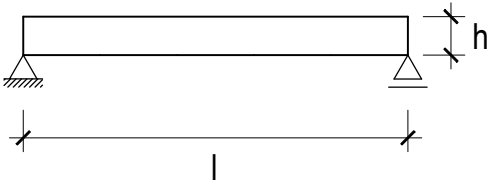
$h = l/x = 9 \text{ m} / 25 = 0.36 \text{ m}$
 $h = l/x = 9 \text{ m} / 20 = 0.45 \text{ m}$

$h = 36 - 45 \text{ cm}$

Aus Spannbeton:

In Prestressed concrete:

$h = 26 - 33 \text{ cm}$



Material	Tragwerk	wirtschaftliche Schlankheit <i>l/h</i> für einfache Balken *
Stahl	Vierendeelträger	7 – 10
	Fachwerkträger	10 - 15
	Raumfachwerk	12 - 18
	Balken	15 - 20
Stahlbeton	Balken	12 – 18
	Platten	20 – 25
Spannbeton	Balken	18 – 25
	Platten	28 – 35
Holz	Balken	15 - 20

* Bei Konsolen entspricht *l* der zweifachen Spannweite der Konsole, bei Balken mit Konsolen bzw. Durchlaufträgern entspricht *l* dem Abstand der beiden zwischen den Auflagern liegenden Gelenken.

Spannweite Platte 6 m:

Span of plate 6 m:

$h = 24 - 30 \text{ cm}$

$h = 18 - 21 \text{ cm}$

Spannweite Platte 9 m:

Span of plate 9 m:

$h = 36 - 45 \text{ cm}$

$h = 26 - 32 \text{ cm}$

Platten

Plates

Plattenbalken

Plates on beams

Balkenroste

Beam grids

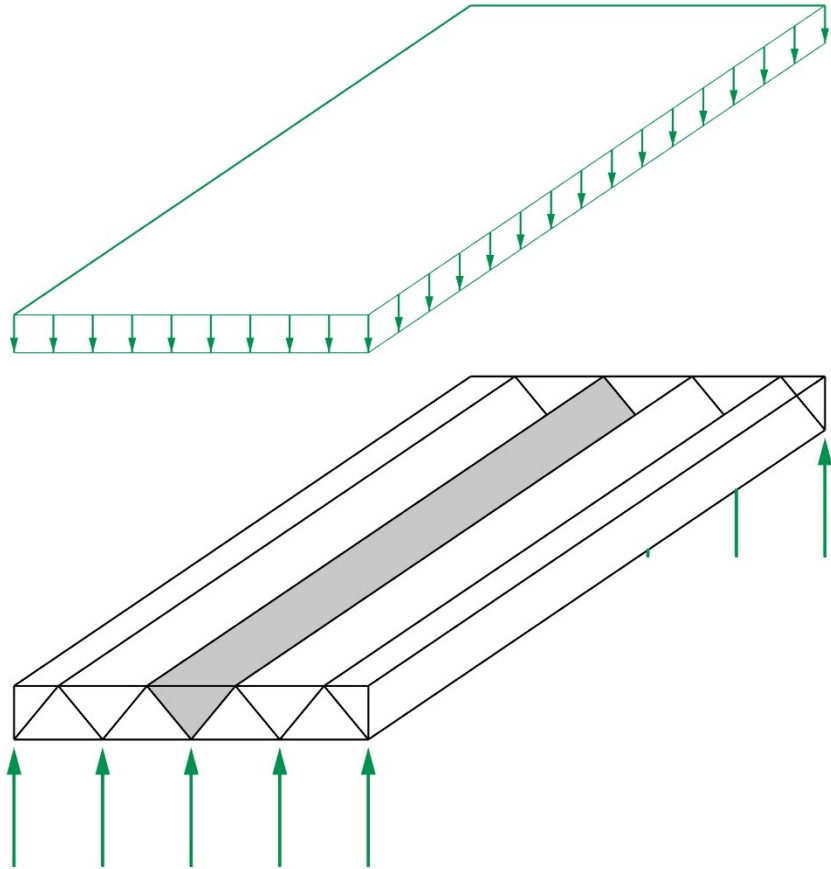
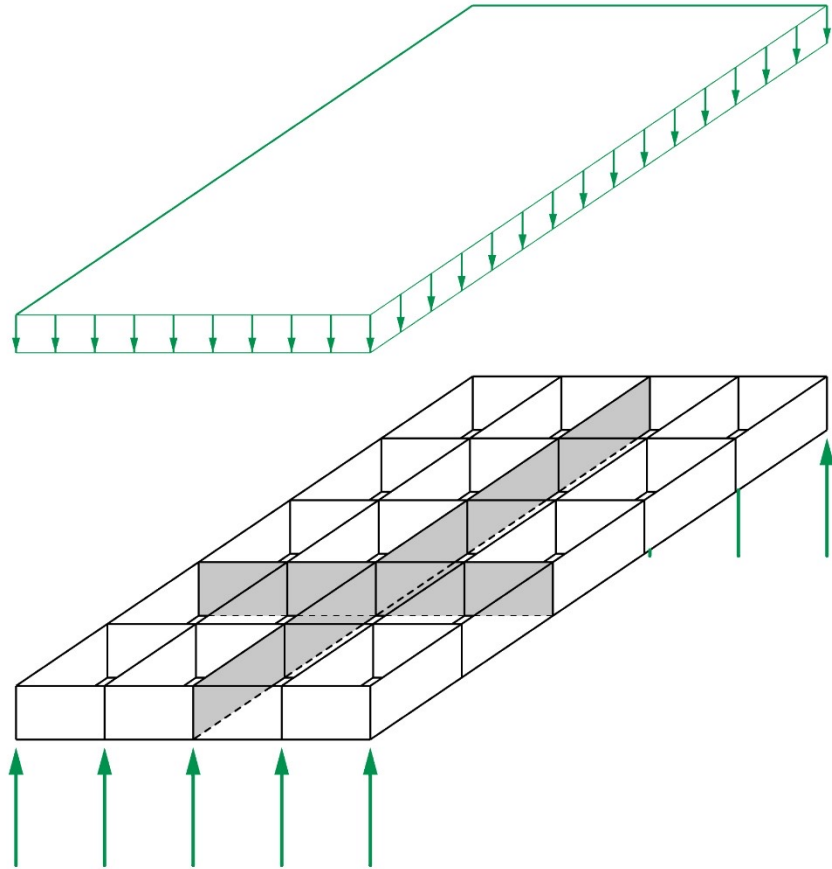
Platten

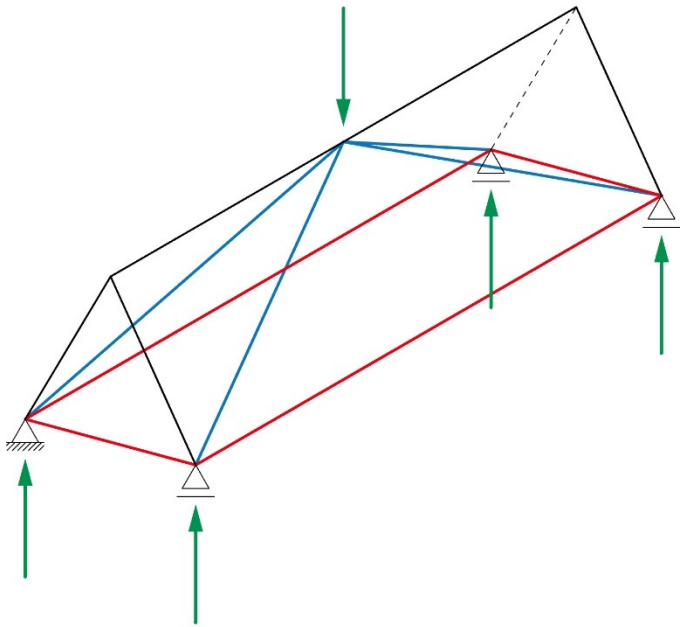
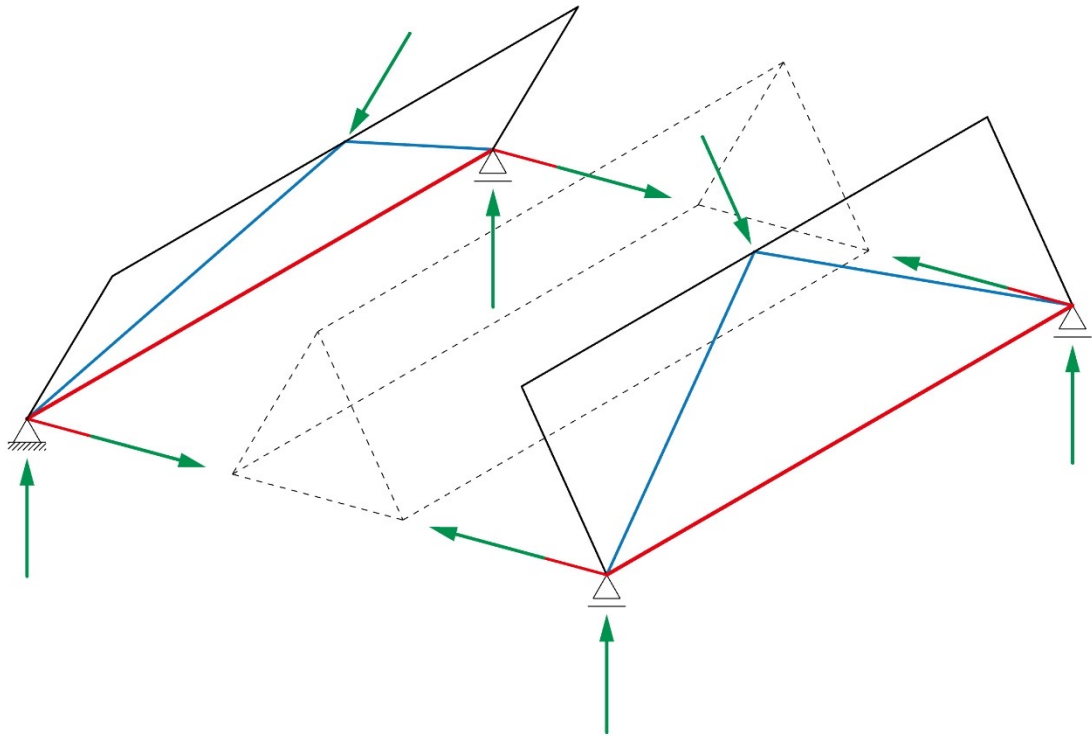
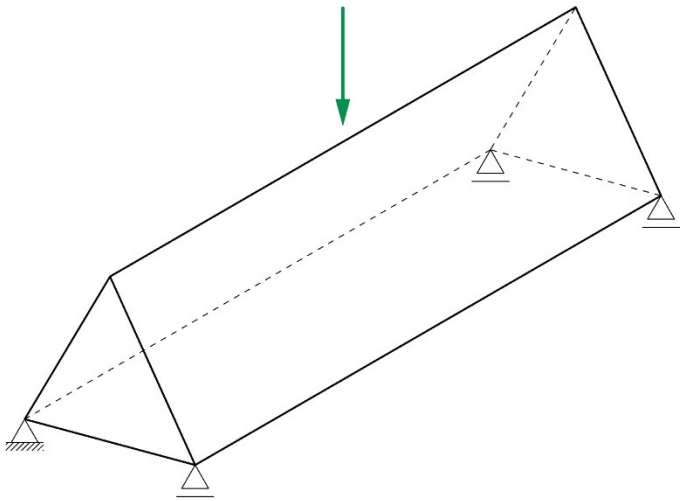
Plates

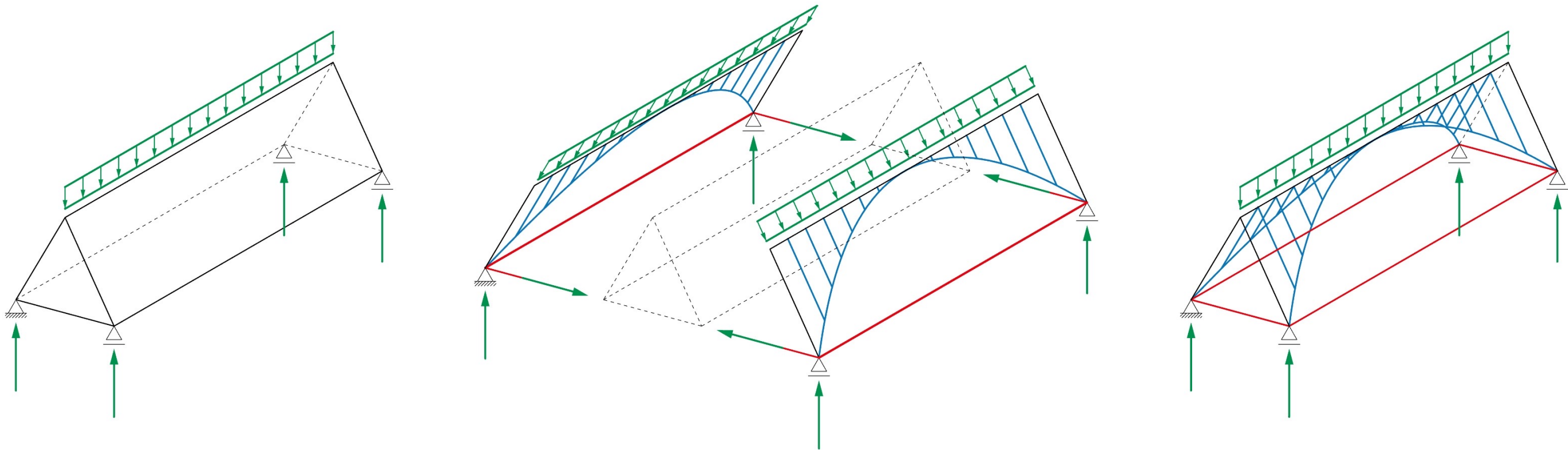


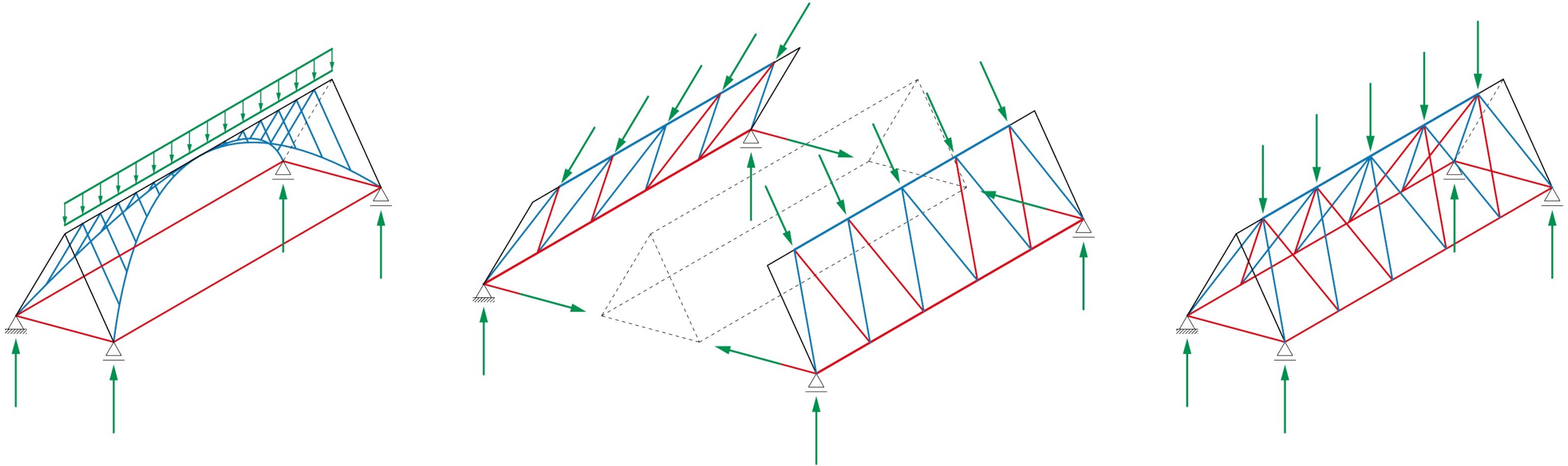
Faltwerke

Folded structures



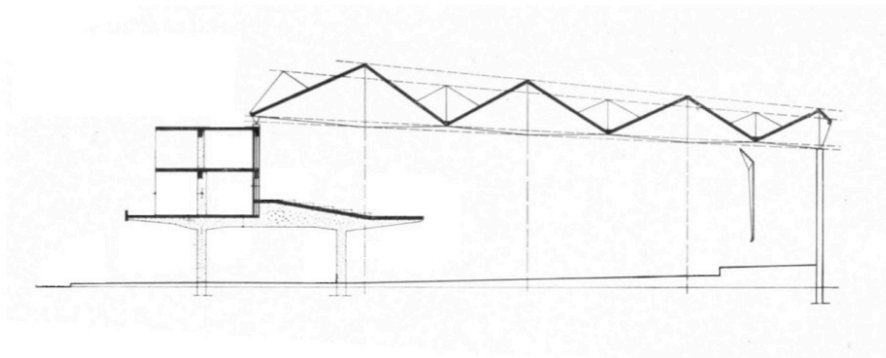
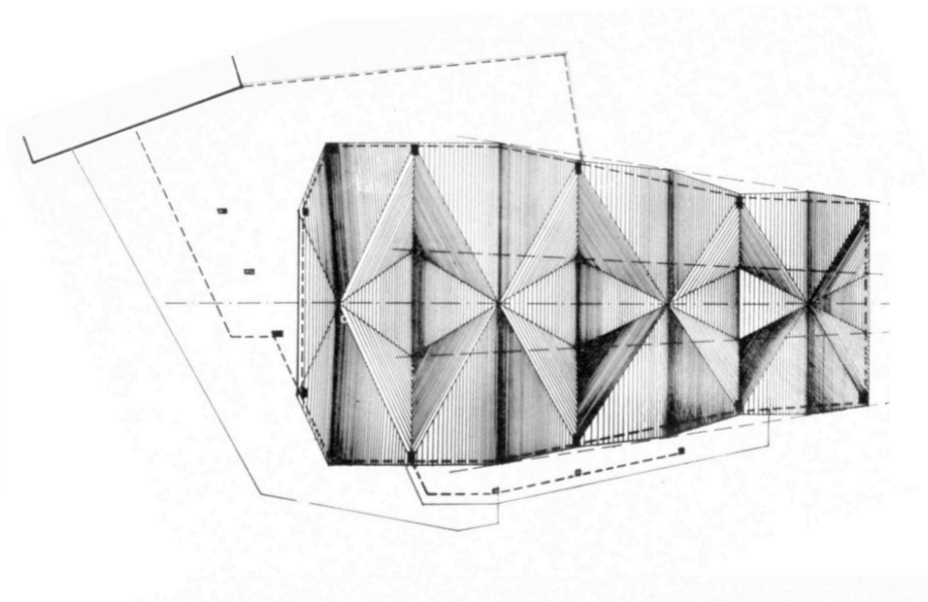
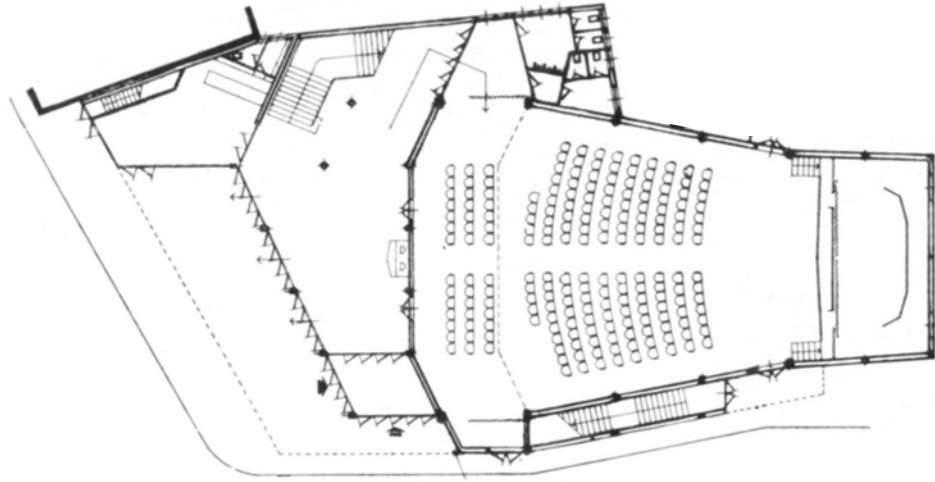








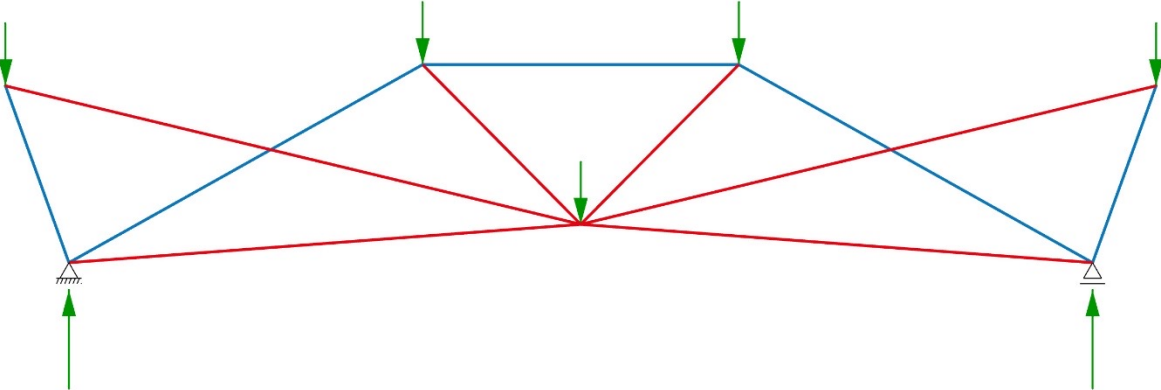
Sergio Musmeci, Sergio Ortolani, Antonio Cattaneo: Cinema San Pietro, Montecchio Maggiore, 1957

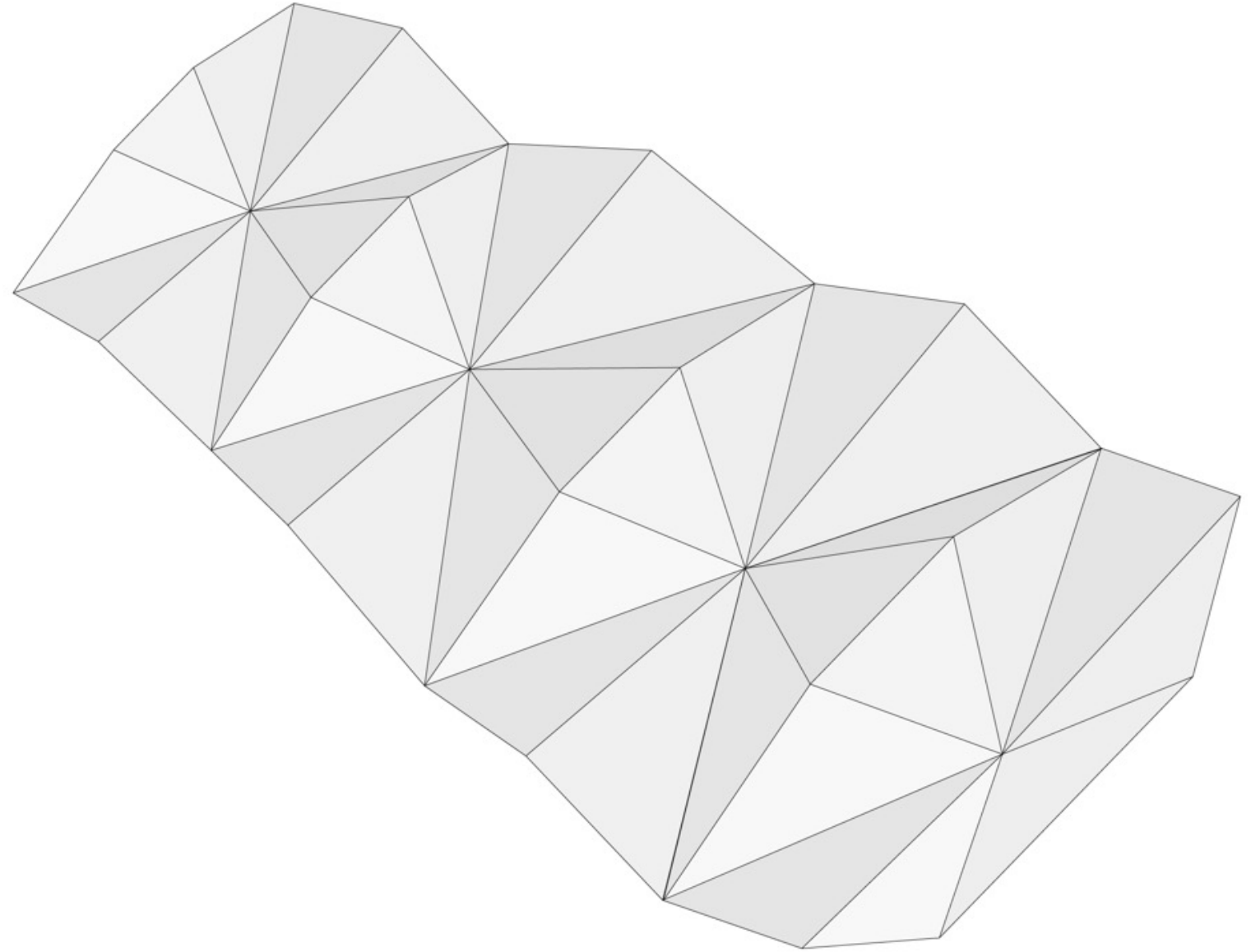
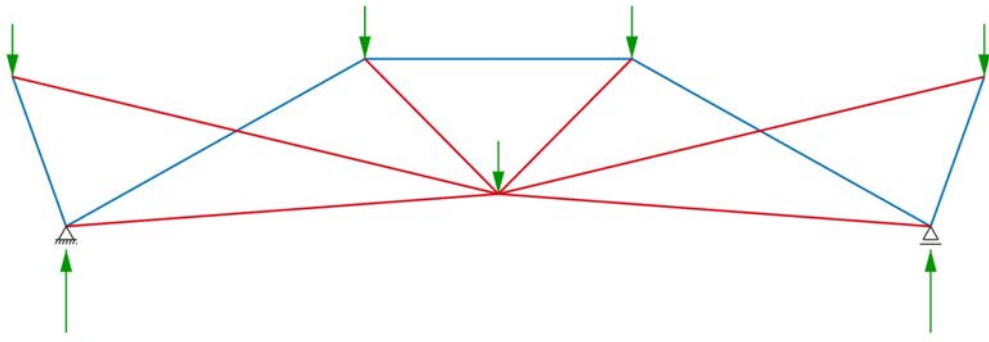


Sergio Musmeci, Sergio Ortolani, Antonio Cattaneo: Cinema San Pietro, Montecchio Maggiore, 1957

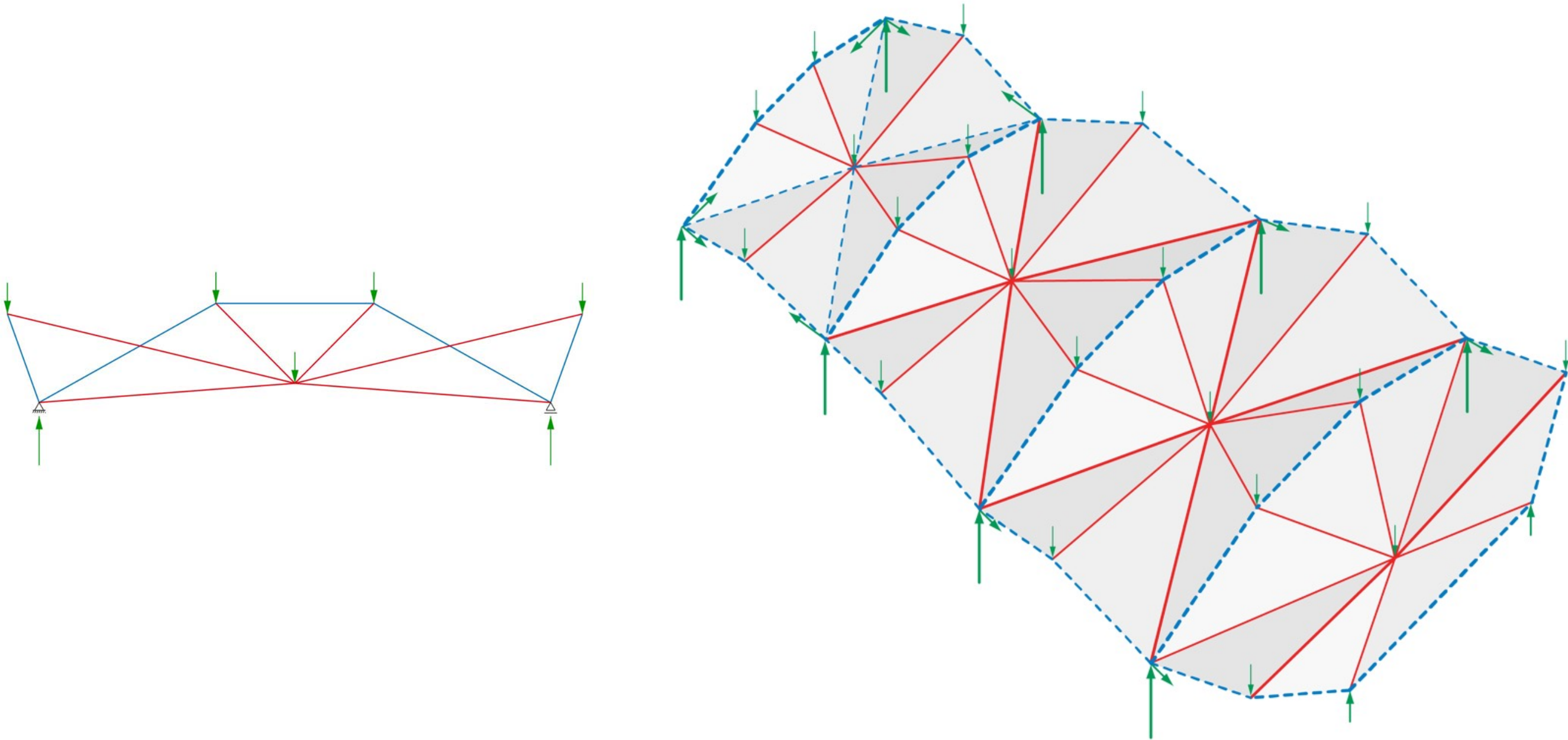


Sergio Musmeci, Sergio Ortolani, Antonio Cattaneo: Cinema San Pietro, Montecchio Maggiore, 1957

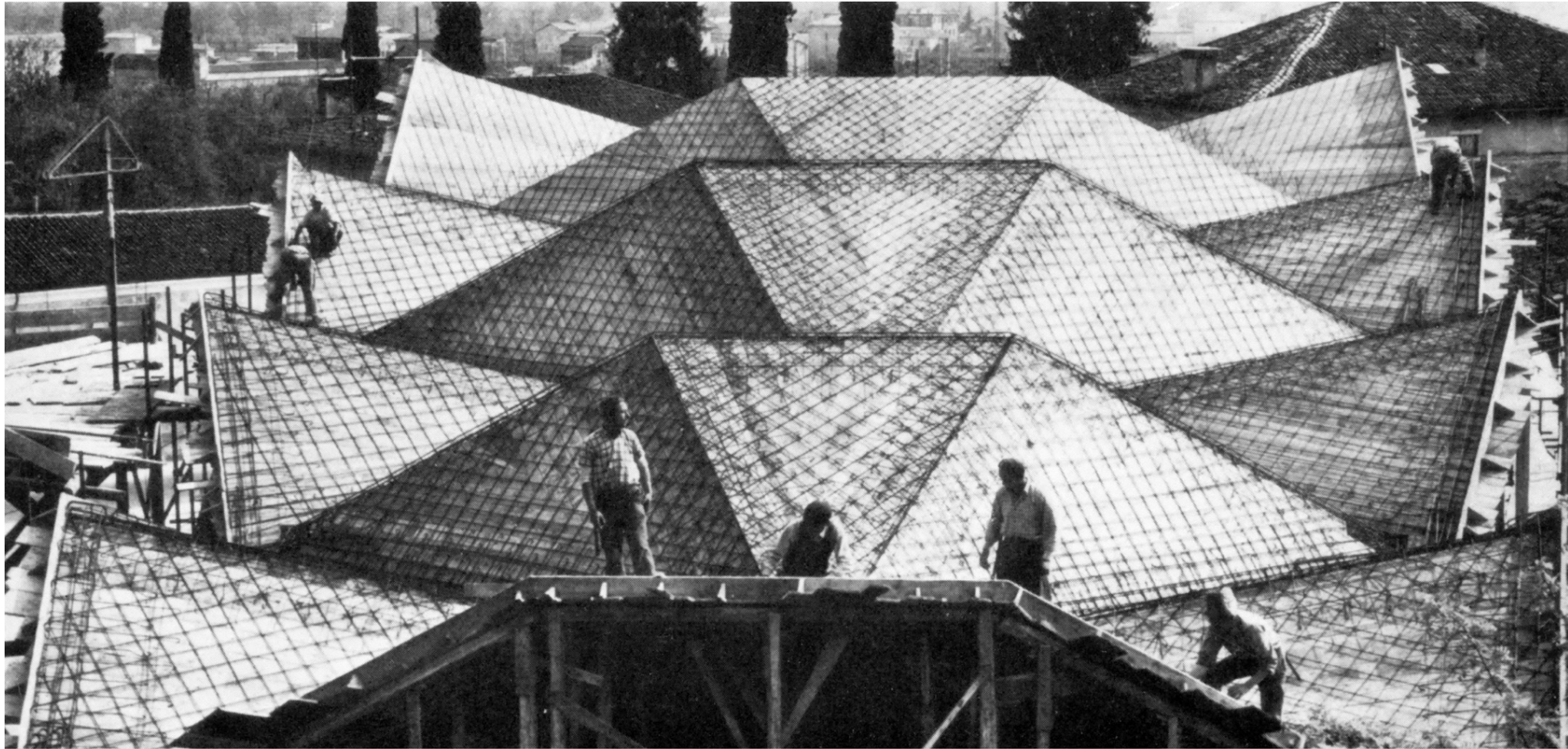




Sergio Musmeci, Sergio Ortolani, Antonio Cattaneo: Cinema San Pietro, Montecchio Maggiore, 1957



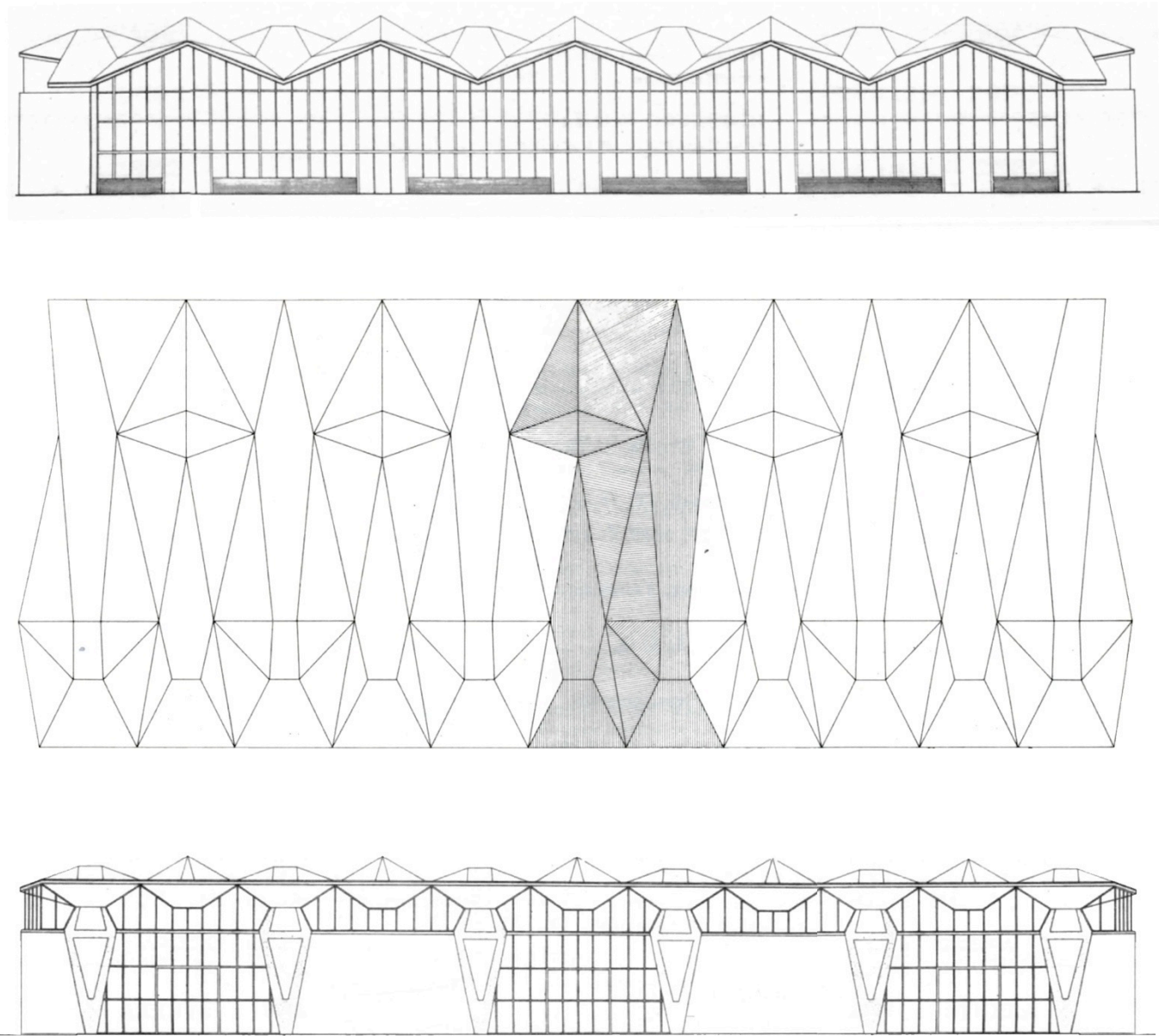
Sergio Musmeci, Sergio Ortolani, Antonio Cattaneo: Cinema San Pietro, Montecchio Maggiore, 1957



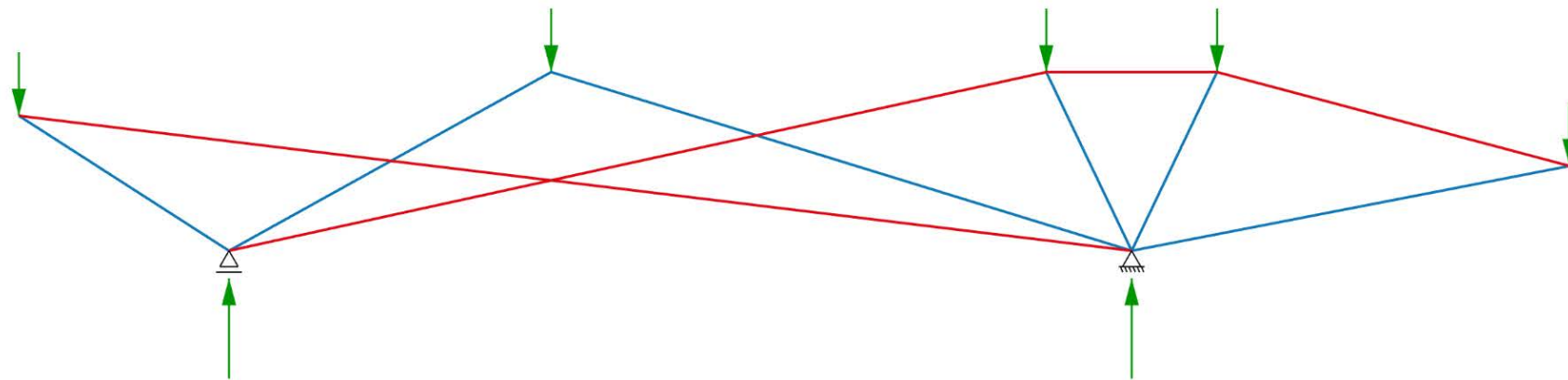
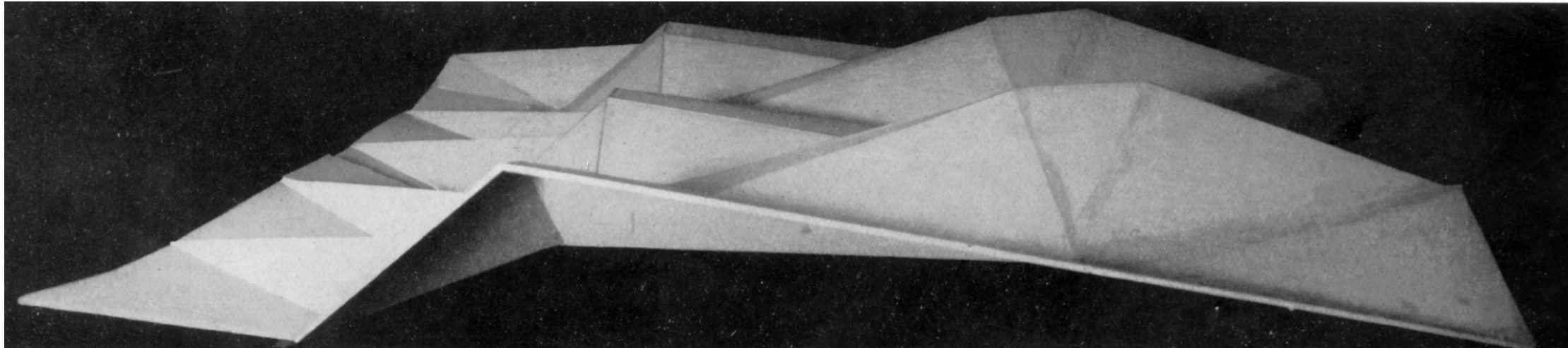
Sergio Musmeci, Sergio Ortolani, Antonio Cattaneo: Cinema San Pietro, Montecchio Maggiore, 1957



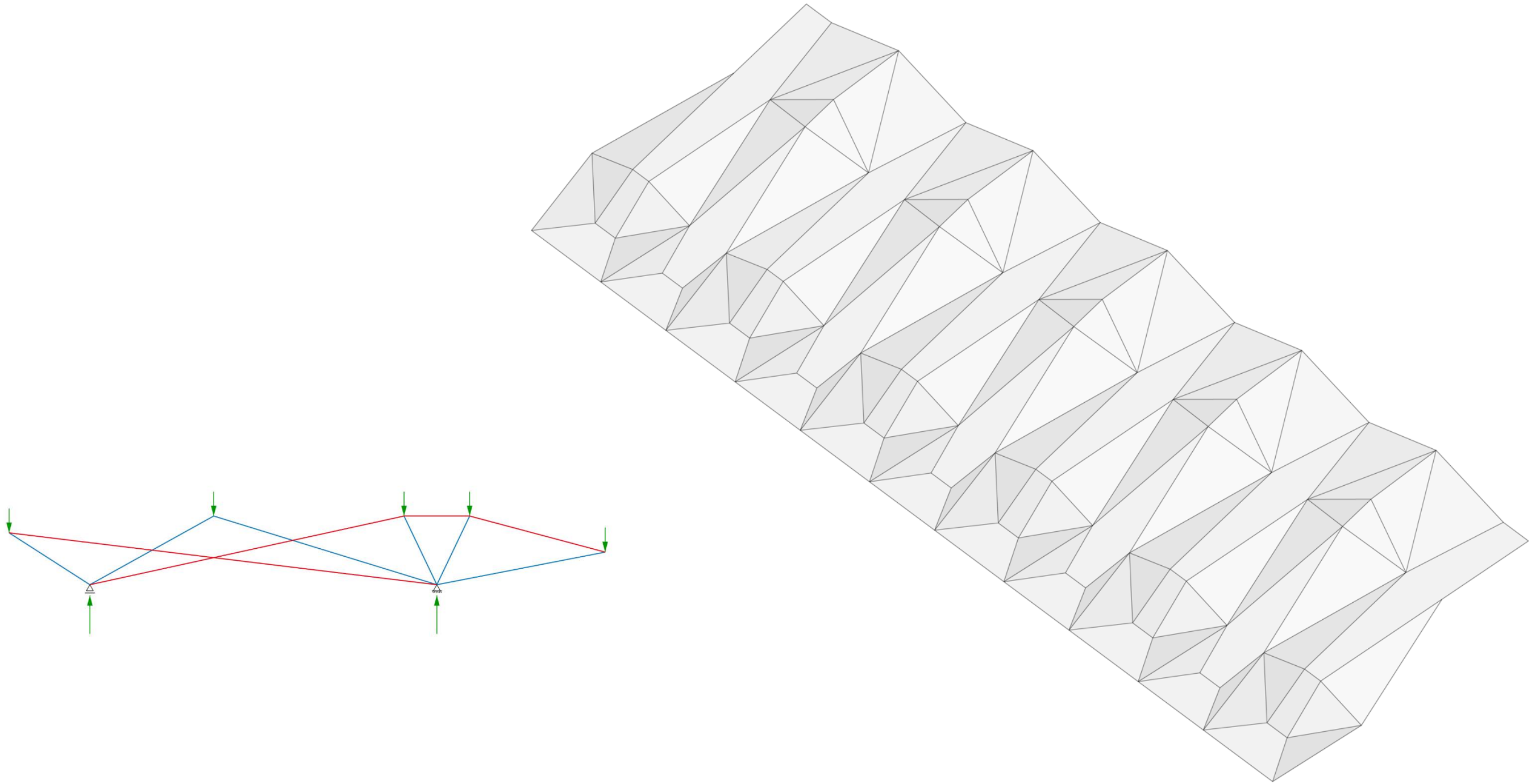
Sergio Musmeci, Leo Calini, Eugenio Montuori: Stabilimento per la lavorazione del marmo, Pietrasanta, 1956



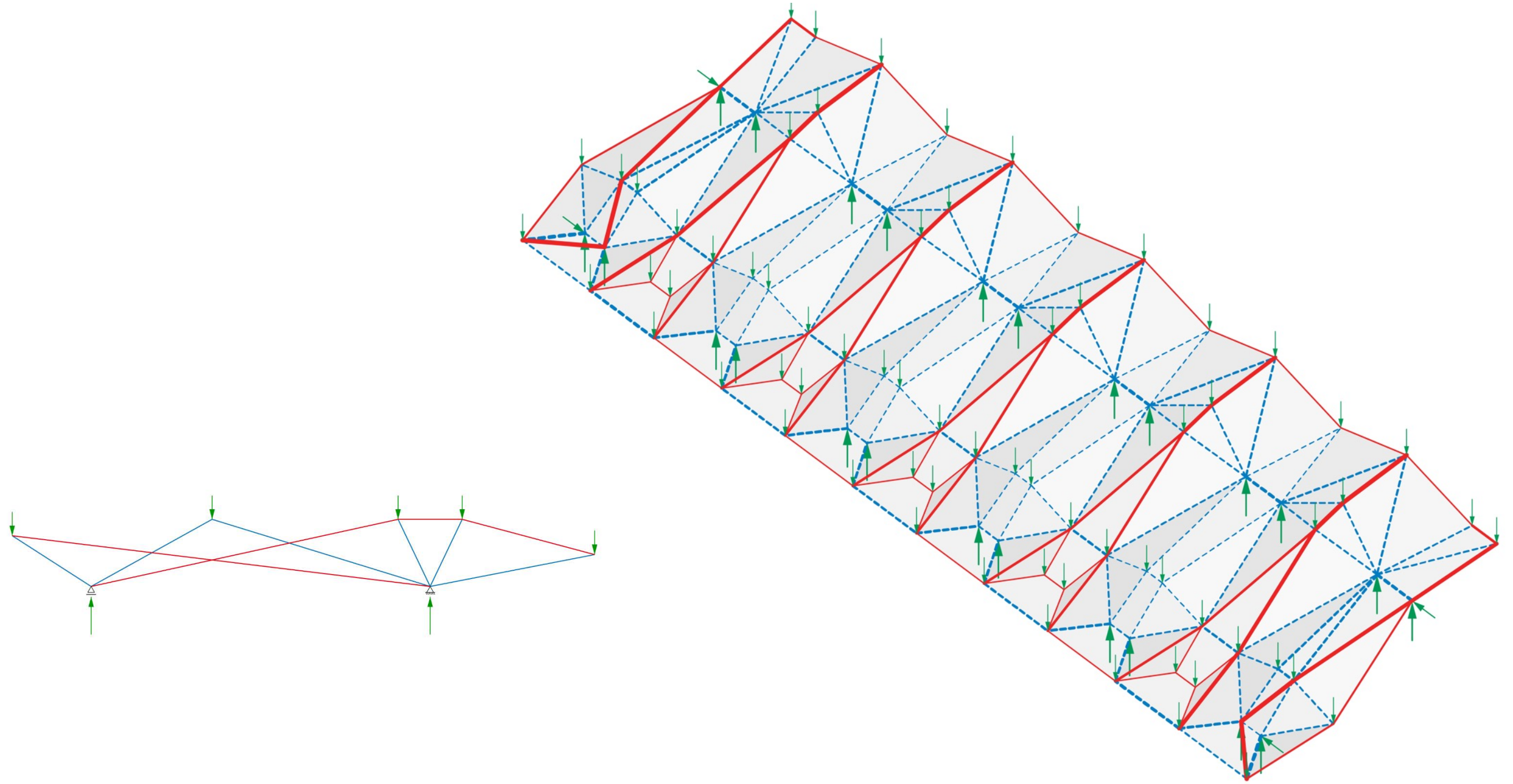
Sergio Musmeci, Leo Calini, Eugenio Montuori: Stabilimento per la lavorazione del marmo, Pietrasanta, 1956



Sergio Musmeci, Leo Calini, Eugenio Montuori: Stabilimento per la lavorazione del marmo, Pietrasanta, 1956



Sergio Musmeci, Leo Calini, Eugenio Montuori: Stabilimento per la lavorazione del marmo, Pietrasanta, 1956



Sergio Musmeci, Leo Calini, Eugenio Montuori: Stabilimento per la lavorazione del marmo, Pietrasanta, 1956



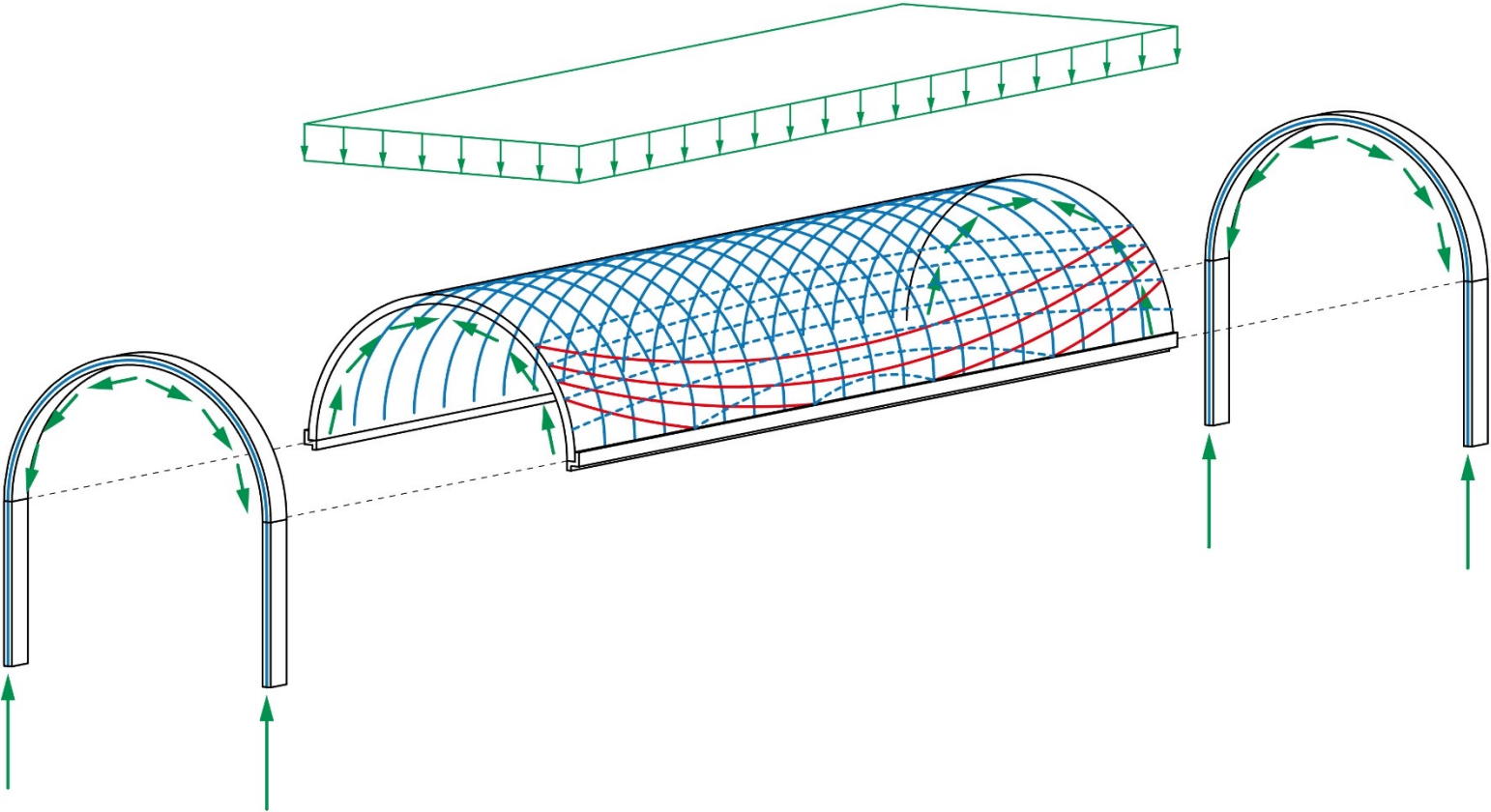
Sergio Musmeci, Leo Calini, Eugenio Montuori: Stabilimento per la lavorazione del marmo, Pietrasanta, 1956



Foreign Office Architects: Yokohama International Port Terminal, 2002



Howard Ashley & Hisham Albakri & Baharuddin Kassim: Masjid Negara Moschee, Kuala Lumpur, 1965





Louis Kahn, August Komendant: Kimbell Art Museum, Forth Worth, 1972



Louis Kahn, August Komendant: Kimbell Art Museum, Forth Worth, 1972

Stützen

Columns

Das Wesen des Instabilitätsproblems

The nature of the instability problem

Widerstand einer Stütze unter Druckbelastung

Resistance of a column under compressive load

Einfluss der Länge einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the length of a column on the critical load

Einfluss der Auflagerbedingungen einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the support conditions of a column on the critical load

Einfluss der Materialsteifigkeit einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the material stiffness of a column on the critical load

Einfluss des Querschnitts einer Stütze auf die kritische Last

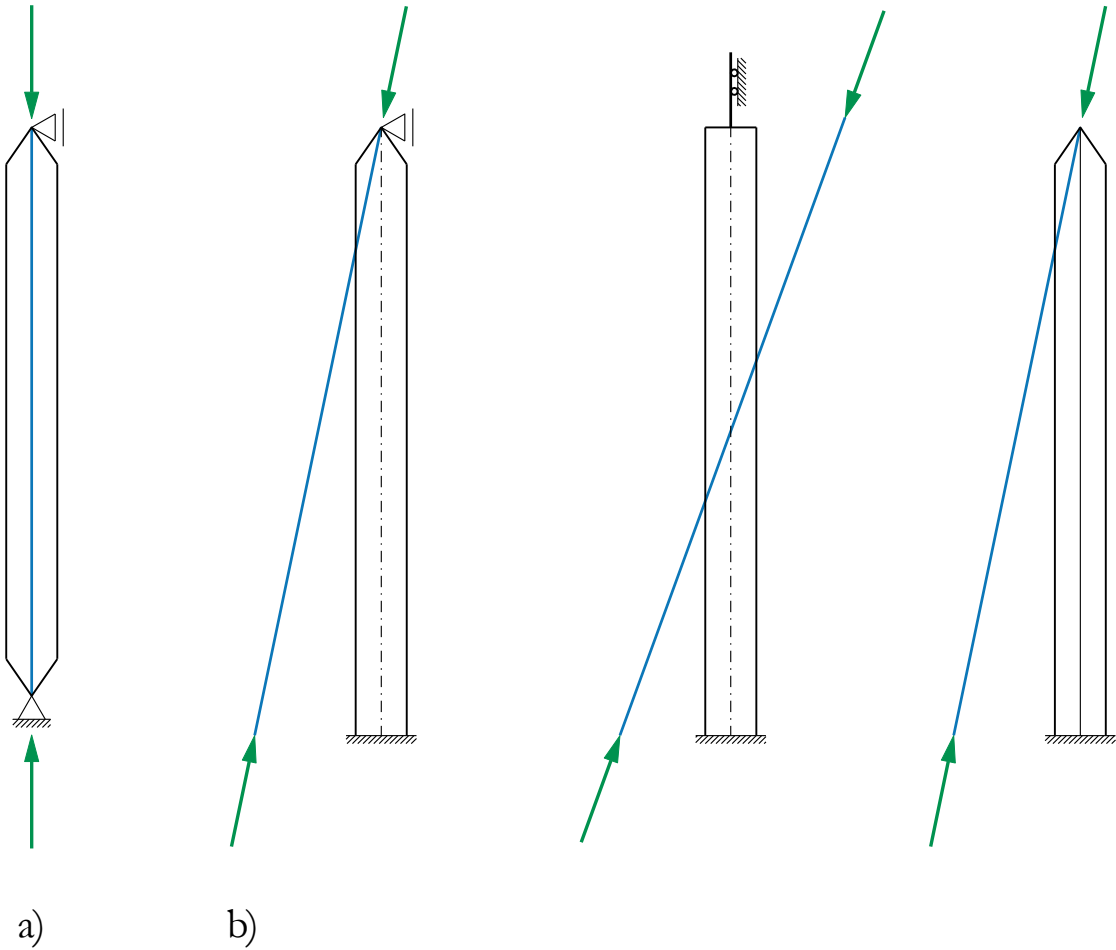
Influence of the cross-section of a column on the critical load

Stützen mit veränderlichen Querschnitt

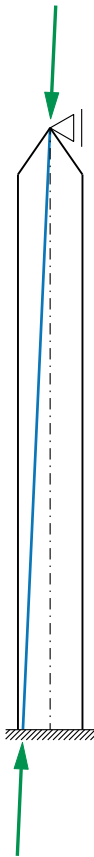
Columns with variable cross-section

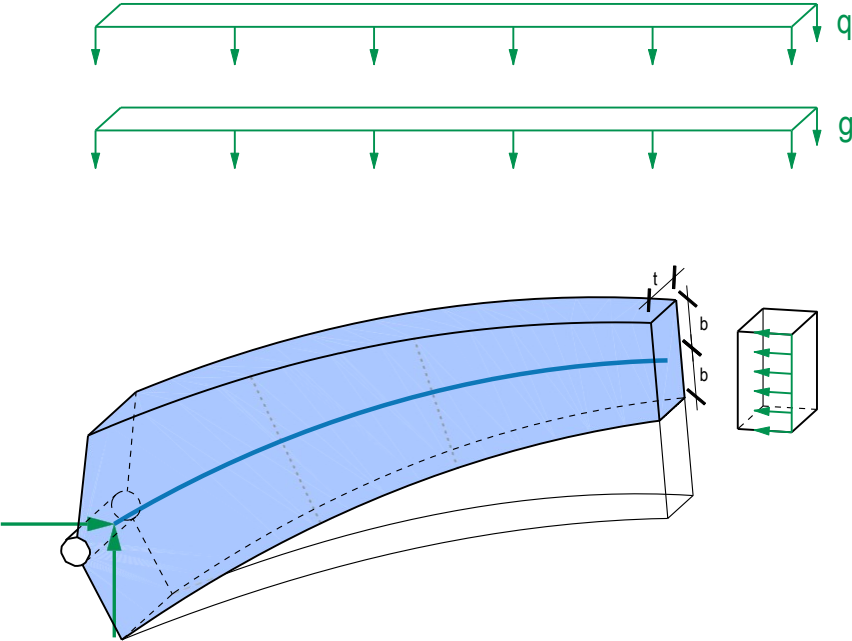
Beulen

Bulging



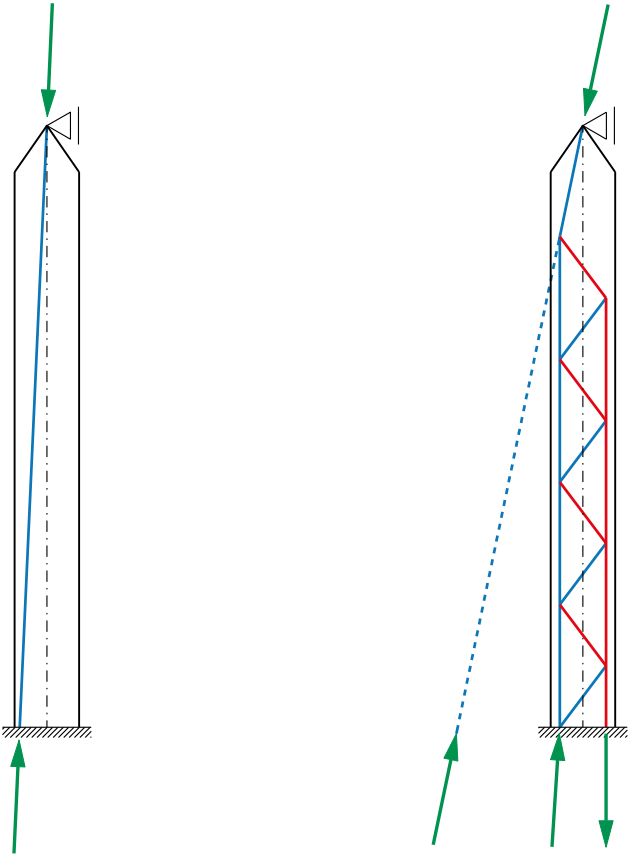
Auflagersituationen und innere Kräfte in Stützen unter einer zentrischen (a) und exzentrischen (b) Beanspruchung
Support conditions and internal forces in columns under centric (a) and eccentric (b) loads





$$\sigma_d \leq \frac{N_{c,d}}{2 \cdot b \cdot t}$$

$$b \leq \frac{N_{c,d}}{2 \cdot t \cdot f_d}$$



Stützen

Columns

>> Das Wesen des Instabilitätsproblems
The nature of the instability problem

Widerstand einer Stütze unter Druckbelastung
Resistance of a column under compressive load

Einfluss der Länge einer Stütze auf die kritische Last
Influence of the length of a column on the critical load

Einfluss der Auflagerbedingungen einer Stütze auf die kritische Last
Influence of the support conditions of a column on the critical load

Einfluss der Materialsteifigkeit einer Stütze auf die kritische Last
Influence of the material stiffness of a column on the critical load

Einfluss des Querschnitts einer Stütze auf die kritische Last
Influence of the cross-section of a column on the critical load

Stützen mit veränderlichen Querschnitt
Columns with variable cross-section

Beulen
Bulging



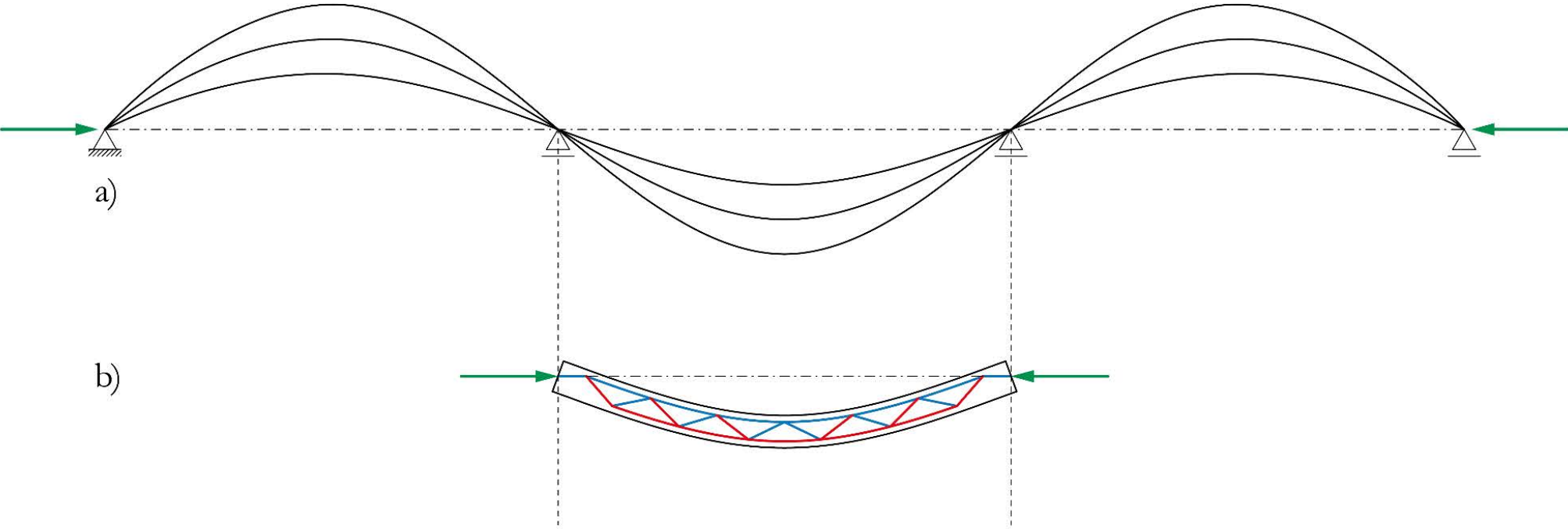
Kette unter Zugbeanspruchung

Chain under tensile load



Kette unter Druckbeanspruchung

Chain under compressive load



Knicklinie einer mehrfeldrigen Stütze (a); innere Kräfte in der Stütze (b)
Buckling line of a multi-span column (a); internal forces in the column (b)

Stützen

Columns

Das Wesen des Instabilitätsproblems

The nature of the instability problem

>>

Widerstand einer Stütze unter Druckbelastung

Resistance of a column under compressive load

Einfluss der Länge einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the length of a column on the critical load

Einfluss der Auflagerbedingungen einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the support conditions of a column on the critical load

Einfluss der Materialsteifigkeit einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the material stiffness of a column on the critical load

Einfluss des Querschnitts einer Stütze auf die kritische Last

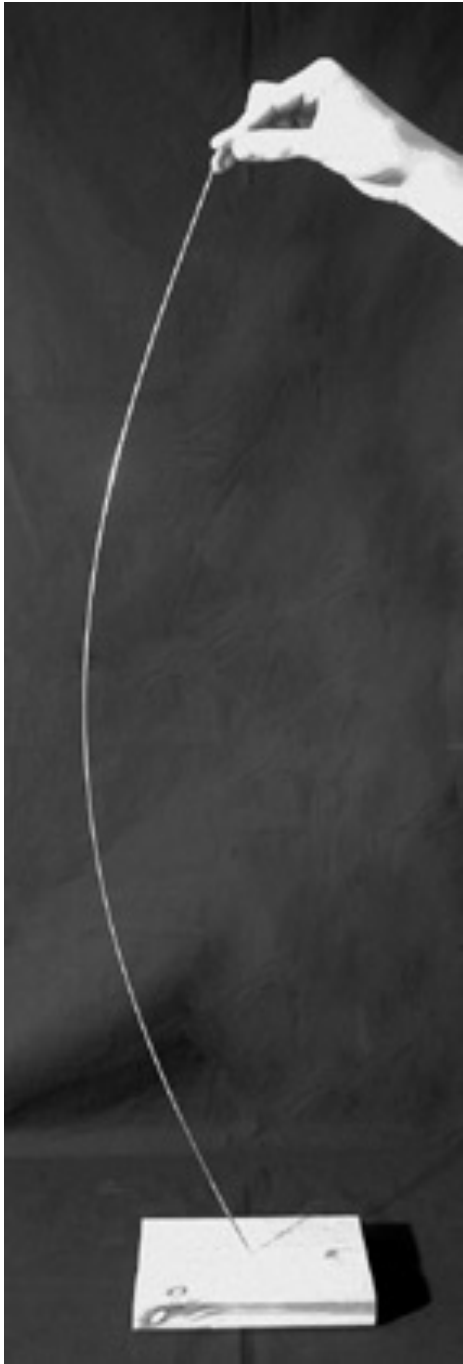
Influence of the cross-section of a column on the critical load

Stützen mit veränderlichen Querschnitt

Columns with variable cross-section

Beulen

Bulging



Schlanke Stahlstütze unter Zug- und Druckbelastung
Slender steel column under tensile and compressive load



F. Doyelle, C. Cavique, M. Virlogeux: Port de Normandie, 1995



Norman Foster, Ove Arup: Verteilzentrum Renault, Swindom, 1982

Stützen

Columns

Das Wesen des Instabilitätsproblems

The nature of the instability problem

Widerstand einer Stütze unter Druckbelastung

Resistance of a column under compressive load

>>

Einfluss der Länge einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the length of a column on the critical load

Einfluss der Auflagerbedingungen einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the support conditions of a column on the critical load

Einfluss der Materialsteifigkeit einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the material stiffness of a column on the critical load

Einfluss des Querschnitts einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the cross-section of a column on the critical load

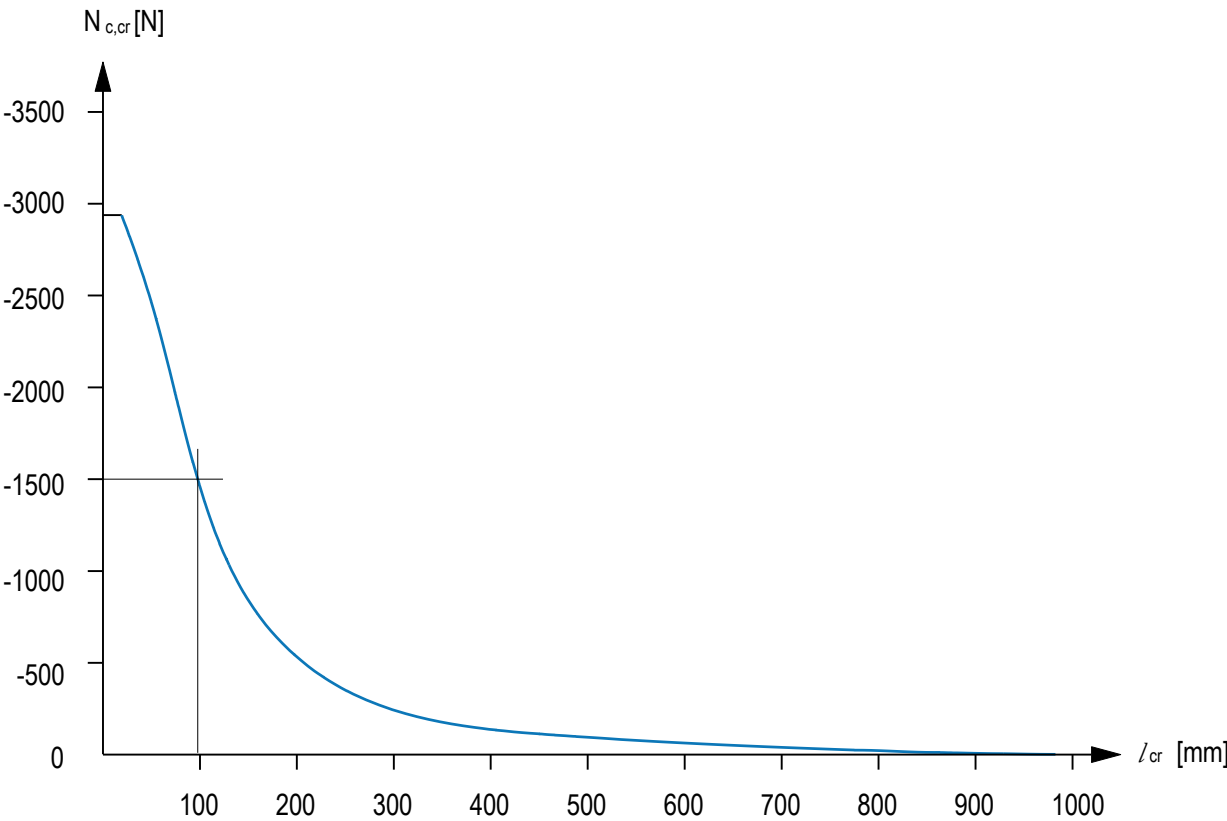
Stützen mit veränderlichen Querschnitt

Columns with variable cross-section

Beulen

Bulging

Influence of the length of a column on the critical load



Stützen

Columns

Das Wesen des Instabilitätsproblems

The nature of the instability problem

Widerstand einer Stütze unter Druckbelastung

Resistance of a column under compressive load

Einfluss der Länge einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the length of a column on the critical load

>>

Einfluss der Auflagerbedingungen einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the support conditions of a column on the critical load

Einfluss der Materialsteifigkeit einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the material stiffness of a column on the critical load

Einfluss des Querschnitts einer Stütze auf die kritische Last

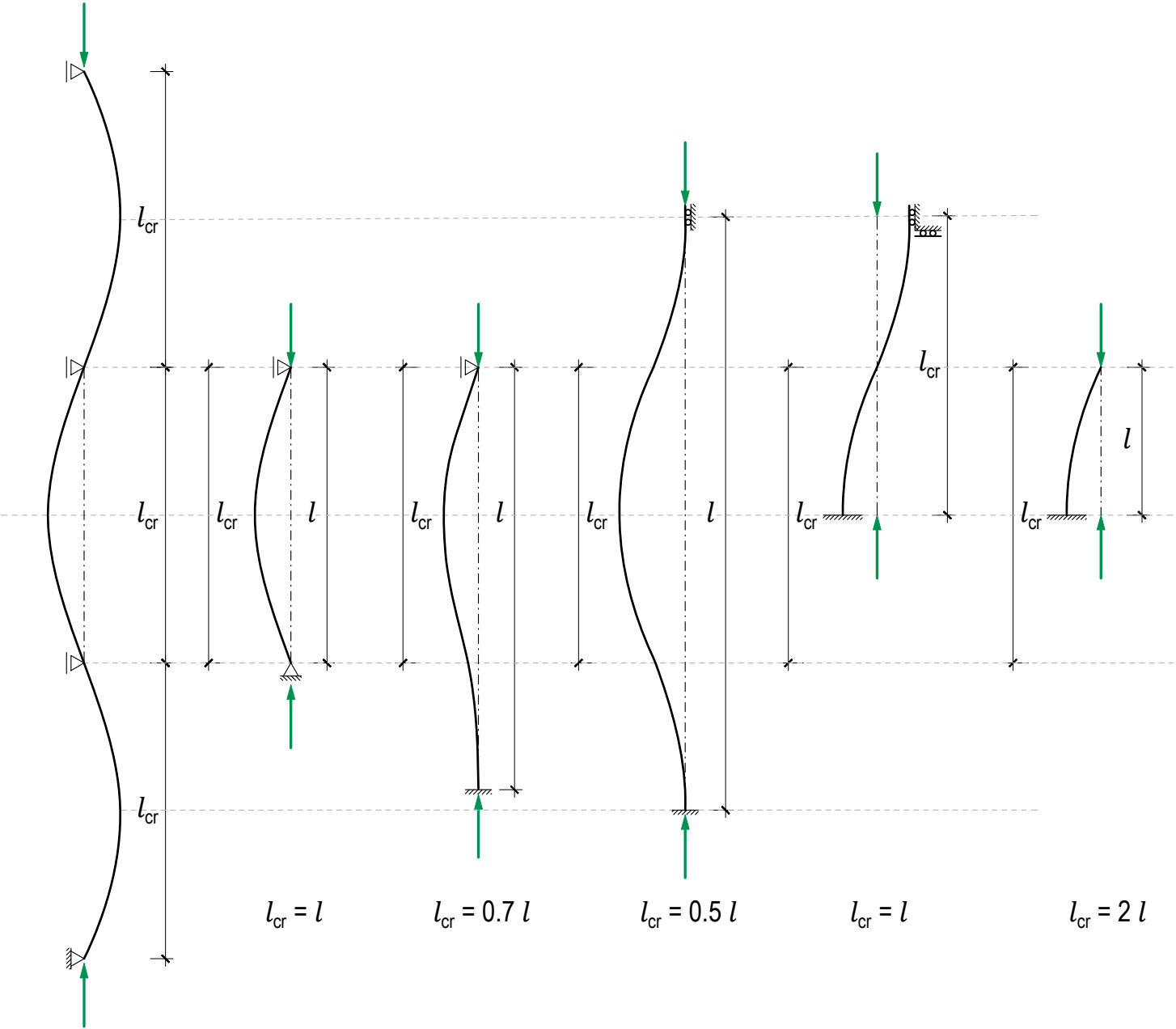
Influence of the cross-section of a column on the critical load

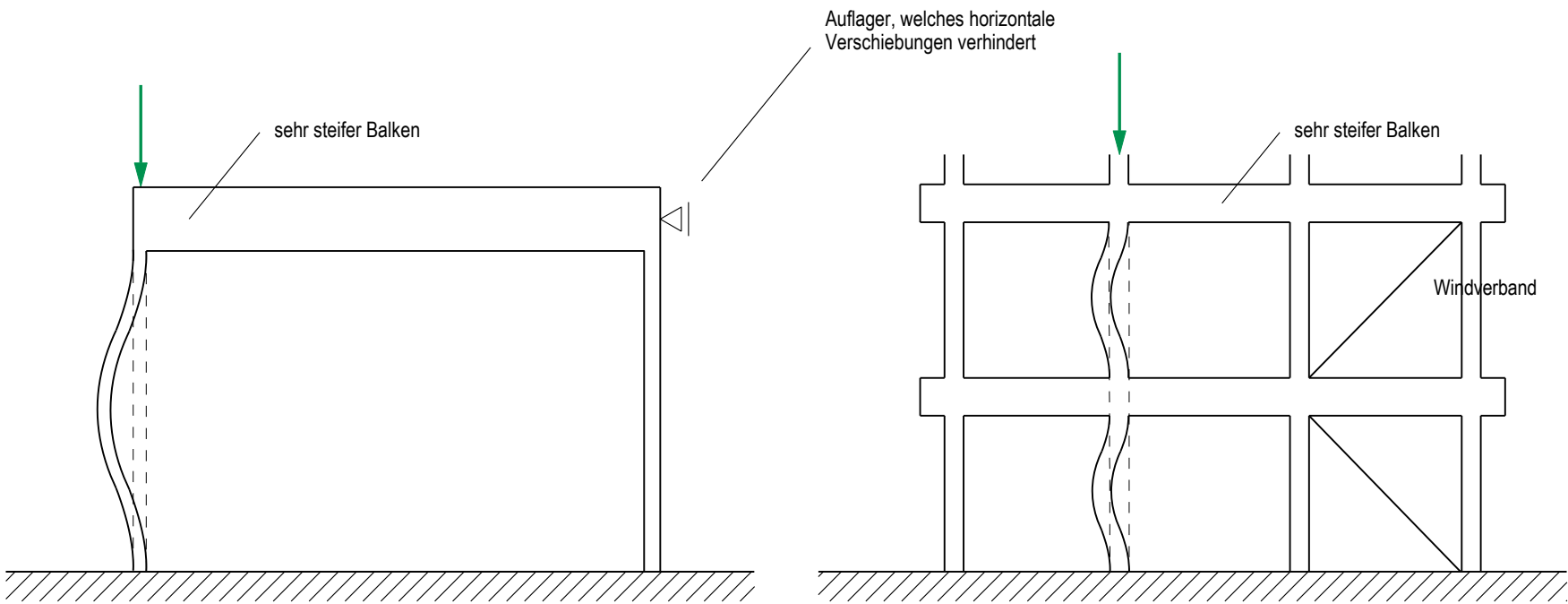
Stützen mit veränderlichen Querschnitt

Columns with variable cross-section

Beulen

Bulging

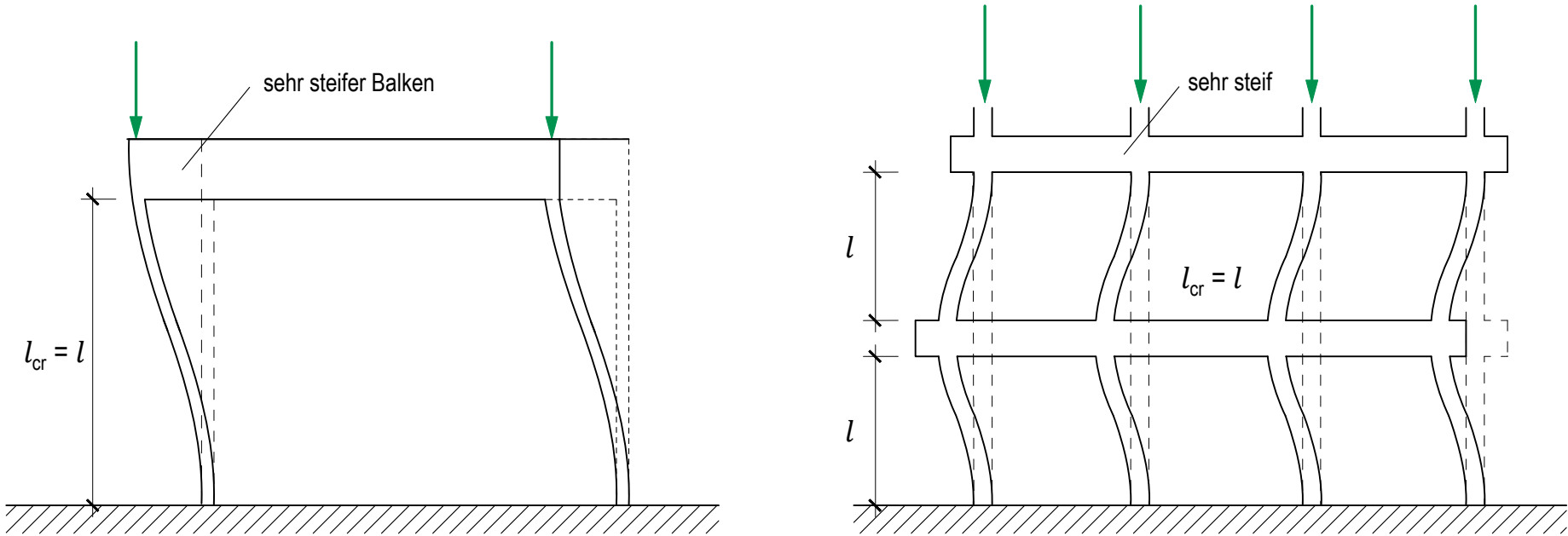


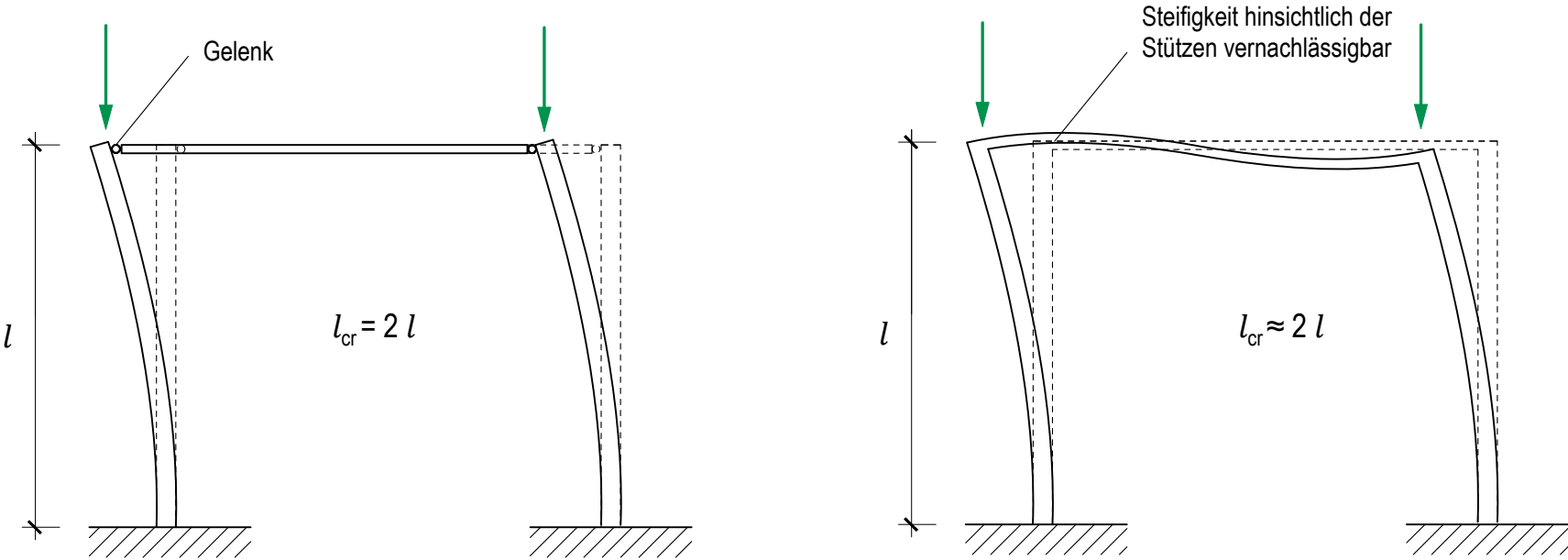


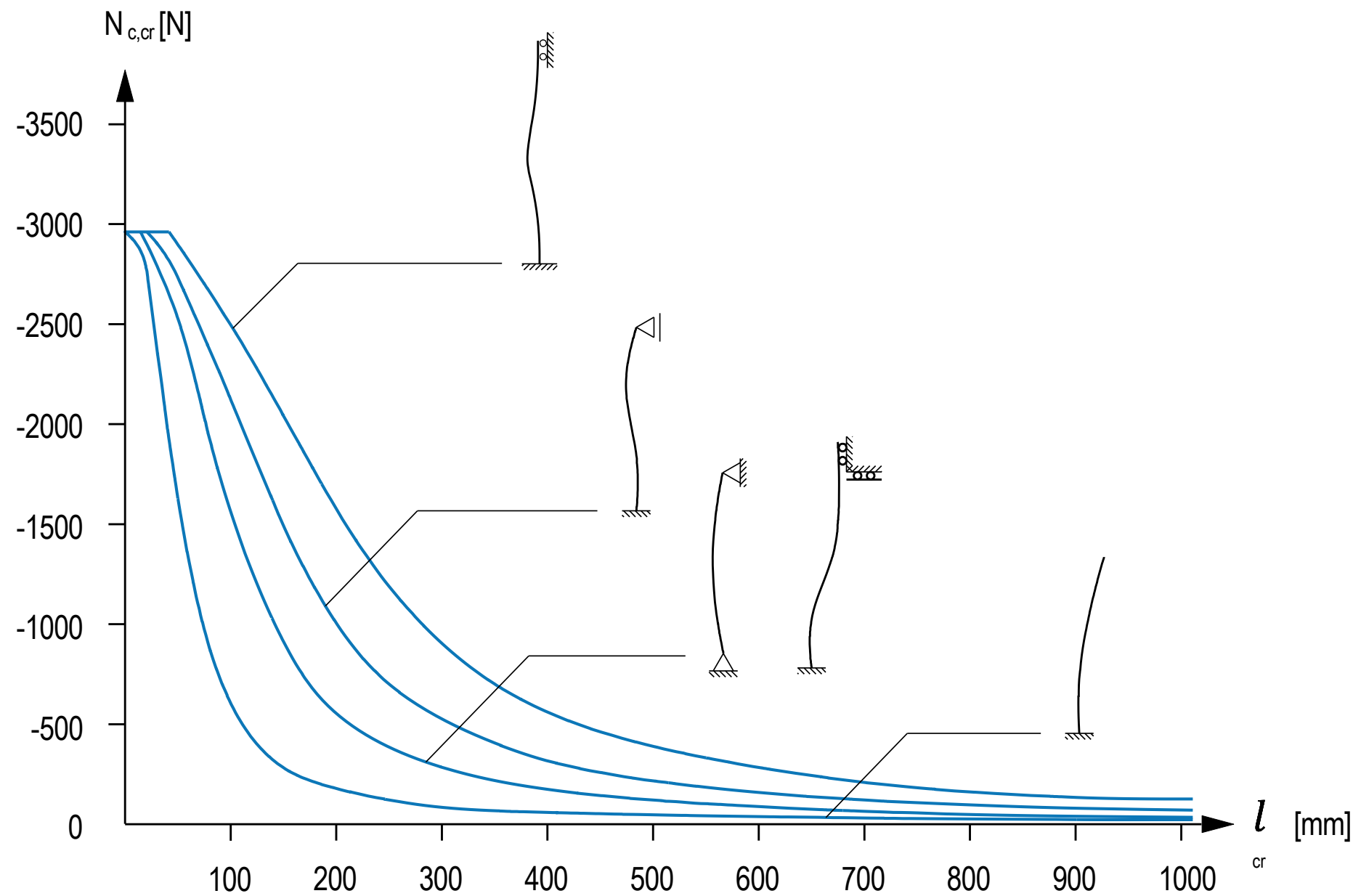


Norman Foster, Ove Arup & OTH Méditerranée: Carré d'art, Nîmes, 1993

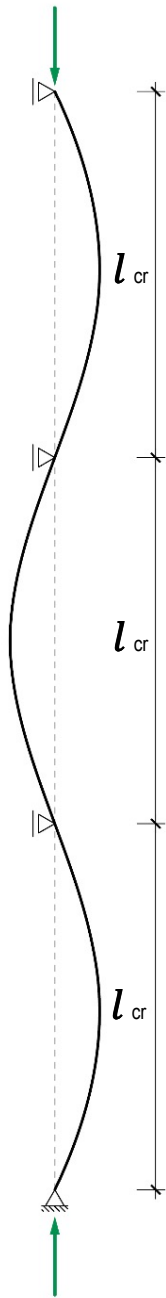
Influence of the support conditions of a column on the critical load







Kritische Last in Funktion der Stützenlänge (Stahl S235, Durchmesser 4mm) für verschiedene Auflagerbedingungen
Critical load as a function of column length (steel S235, diameter 4mm) for different support conditions



Stützen des Centre Georges Pompidou, Paris
Columns of the Centre Georges Pompidou, Paris

Stützen

Columns

Das Wesen des Instabilitätsproblems

The nature of the instability problem

Widerstand einer Stütze unter Druckbelastung

Resistance of a column under compressive load

Einfluss der Länge einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the length of a column on the critical load

Einfluss der Auflagerbedingungen einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the support conditions of a column on the critical load

>>

Einfluss der Materialsteifigkeit einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the material stiffness of a column on the critical load

Einfluss des Querschnitts einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the cross-section of a column on the critical load

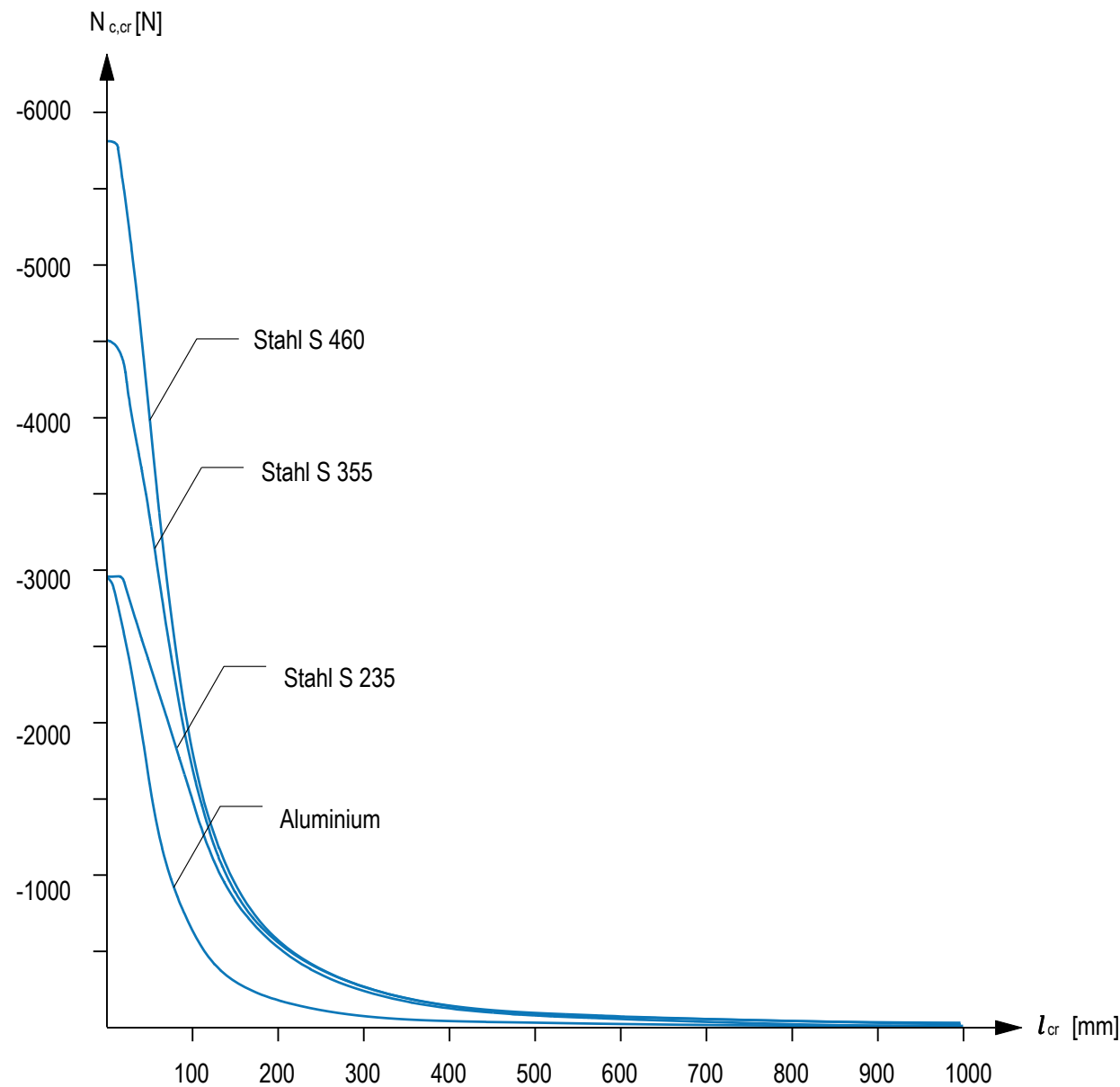
Stützen mit veränderlichen Querschnitt

Columns with variable cross-section

Beulen

Bulging

Influence of the material stiffness of a column on the critical load



Critical load as a function of column length as a function of material properties

Stützen

Columns

Das Wesen des Instabilitätsproblems

The nature of the instability problem

Widerstand einer Stütze unter Druckbelastung

Resistance of a column under compressive load

Einfluss der Länge einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the length of a column on the critical load

Einfluss der Auflagerbedingungen einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the support conditions of a column on the critical load

Einfluss der Materialsteifigkeit einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the material stiffness of a column on the critical load

>>

Einfluss des Querschnitts einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the cross-section of a column on the critical load

Stützen mit veränderlichen Querschnitt

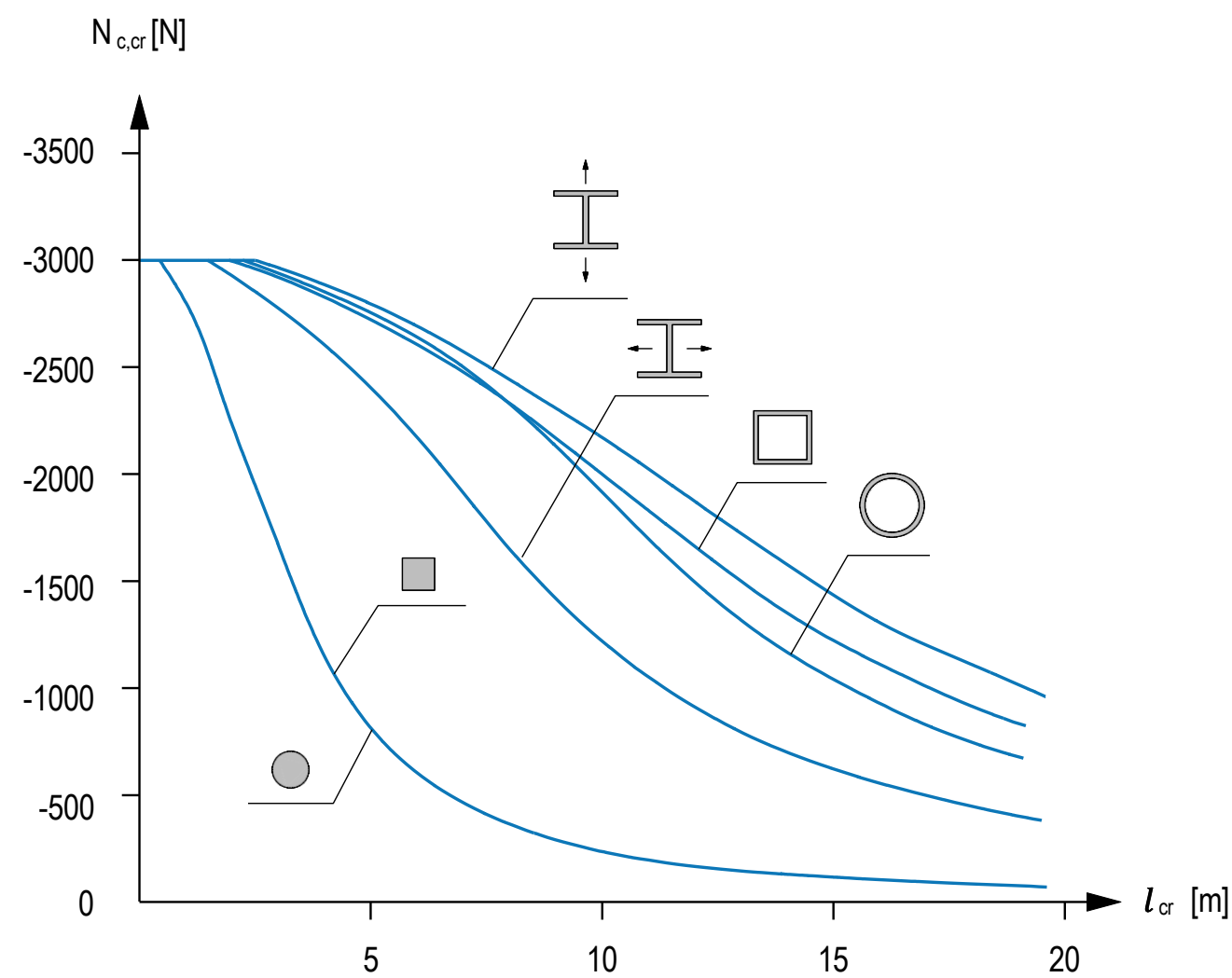
Columns with variable cross-section

Beulen

Bulging

Durchmesser Ø [mm]	Fläche [mm²]	Erhöhung der Fläche	Kritische Last [N]	Erhöhung der kritischen Last	Ausnützungsgrad
4	12.57		40		1 %
8	50.27	x 4	585	x 15	5 %
16	201.06	x 16	8328	x 215	18 %
32	804.25	x 64	95222	x 2500	50 %

Influence of the cross-section of a column on the critical load



Vergleich der kritischen Lasten von Stützen mit unterschiedlichen Querschnitten und konstanter Querschnittsfläche

Comparison of critical loads of columns with different cross-sections and constant cross-sectional area

Stützen

Columns

Das Wesen des Instabilitätsproblems

The nature of the instability problem

Widerstand einer Stütze unter Druckbelastung

Resistance of a column under compressive load

Einfluss der Länge einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the length of a column on the critical load

Einfluss der Auflagerbedingungen einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the support conditions of a column on the critical load

Einfluss der Materialsteifigkeit einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the material stiffness of a column on the critical load

Einfluss des Querschnitts einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the cross-section of a column on the critical load

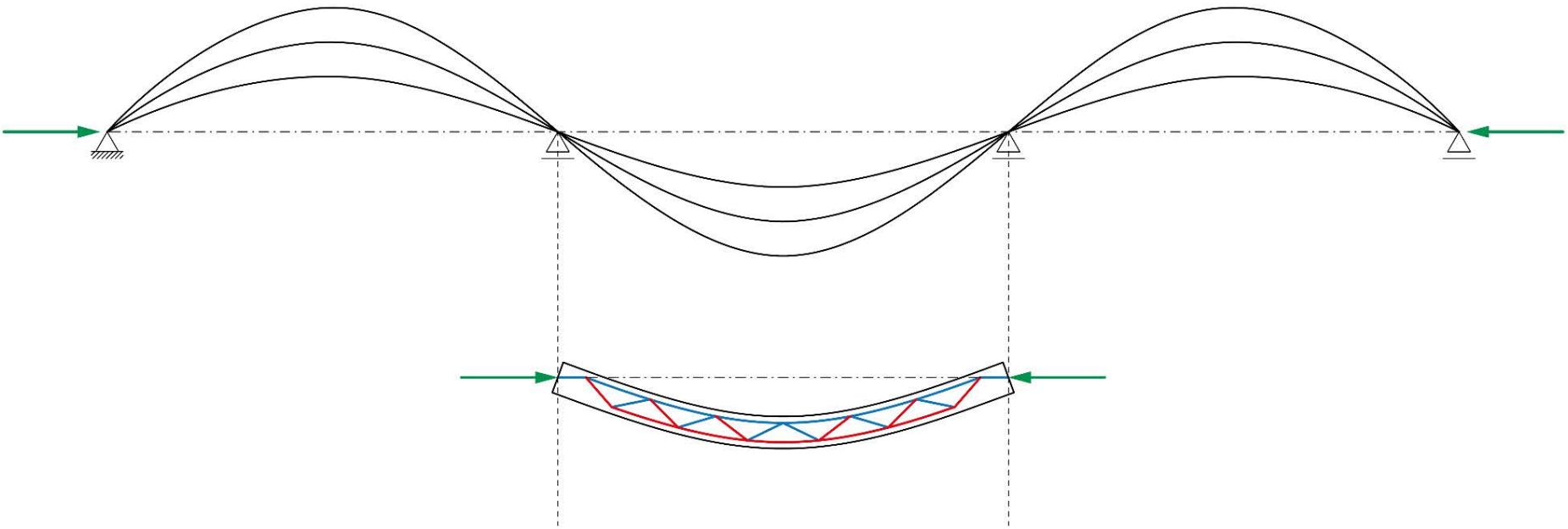


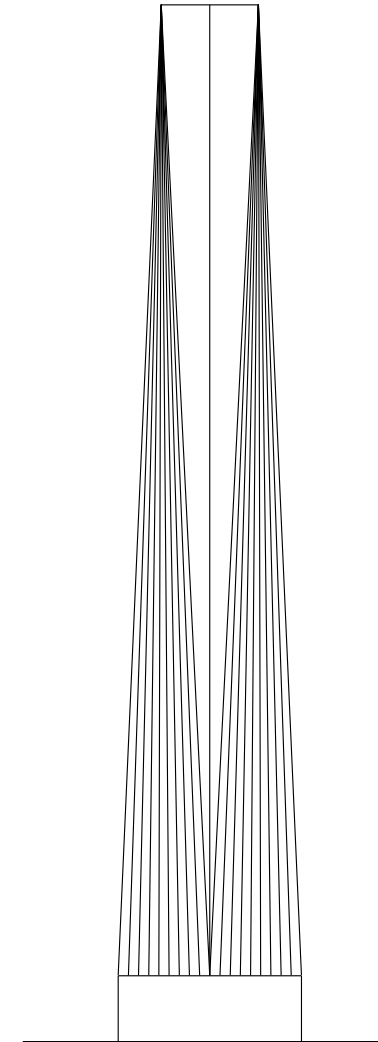
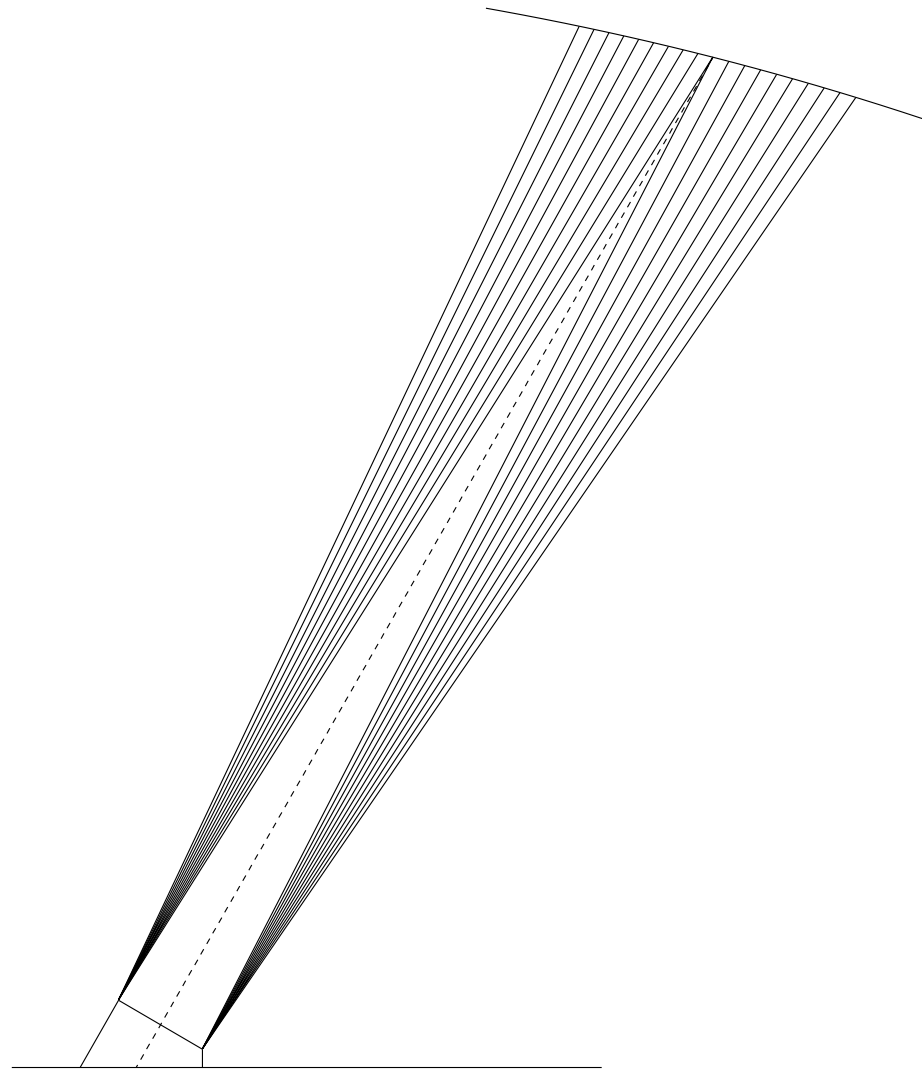
Stützen mit veränderlichen Querschnitt

Columns with variable cross-section

Beulen

Bulging

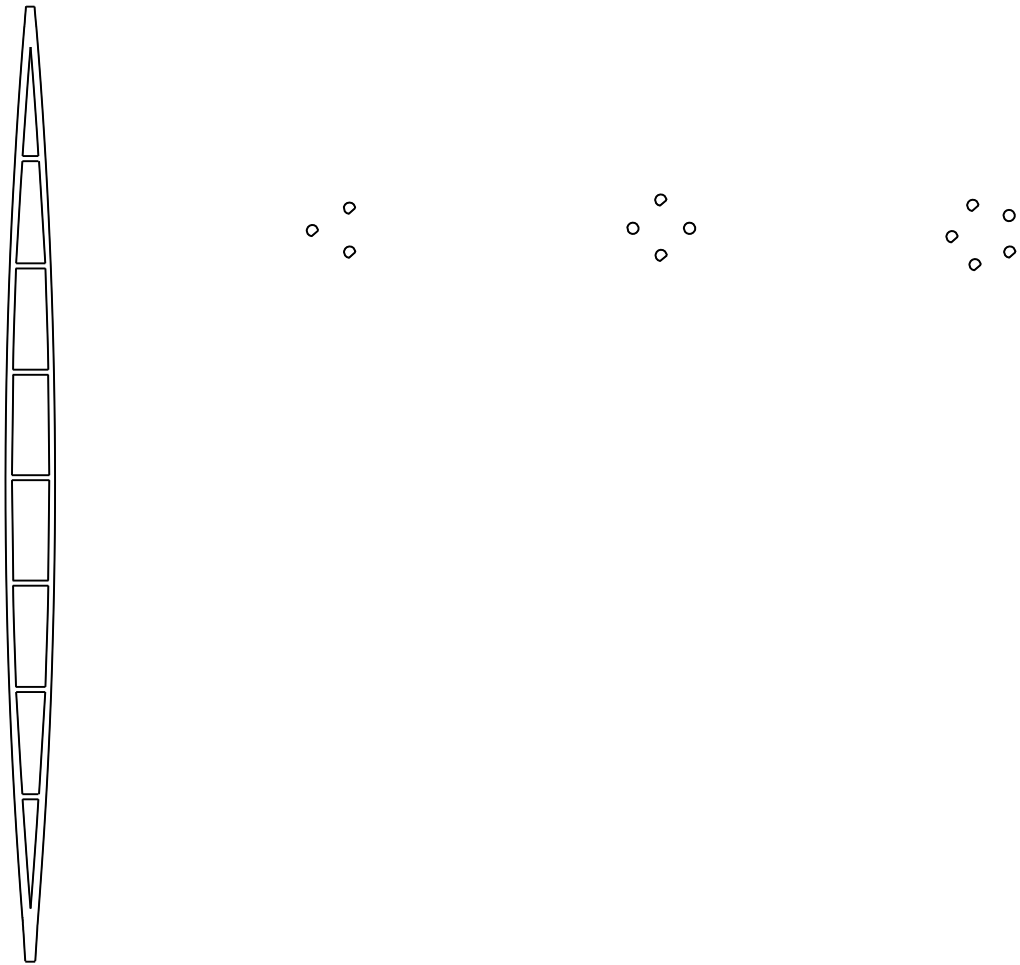




P.L. Nervi: Palazzetto dello sport, Rome 1957



P.L. Nervi: Palazzetto dello sport, Rome 1957



Richard Rogers: Vierendeelträger als Druckglieder im Millenium Dome, London, 1999



Richard Rogers: Vierendeelträger als Druckglieder im Millenium Dome, London, 1999



Renzo Piano: „Bigo“, Genoa, 1992

Stützen

Columns

Das Wesen des Instabilitätsproblems

The nature of the instability problem

Widerstand einer Stütze unter Druckbelastung

Resistance of a column under compressive load

Einfluss der Länge einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the length of a column on the critical load

Einfluss der Auflagerbedingungen einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the support conditions of a column on the critical load

Einfluss der Materialsteifigkeit einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the material stiffness of a column on the critical load

Einfluss des Querschnitts einer Stütze auf die kritische Last

Influence of the cross-section of a column on the critical load

Stützen mit veränderlichen Querschnitt

Columns with variable cross-section

>>


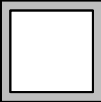
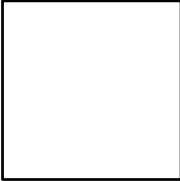
Beulen

Bulging






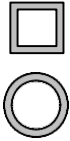


Beulen einer Stütze mit einem sehr dünnwandigen Querschnitt

Bulging of a column with a very thin-walled cross-section

Knickgefährdeter Querschnitt	idealer Querschnitt	beulgefährdeter Querschnitt
		

Querschnitte mit dem gleichen Materialverbrauch
Cross sections with the same amount of material

	nicht anwendbar
	wenig zweckmässig
	Verwendung nur für Stützen mit kleiner Schlankheit
	Verwendung nur für schwach beanspruchte Stützen
	effizienter Querschnitt, relativ einfache Verbindungen
	sehr effiziente Querschnitte, aufwändigere Verbindungen

Aussteifung

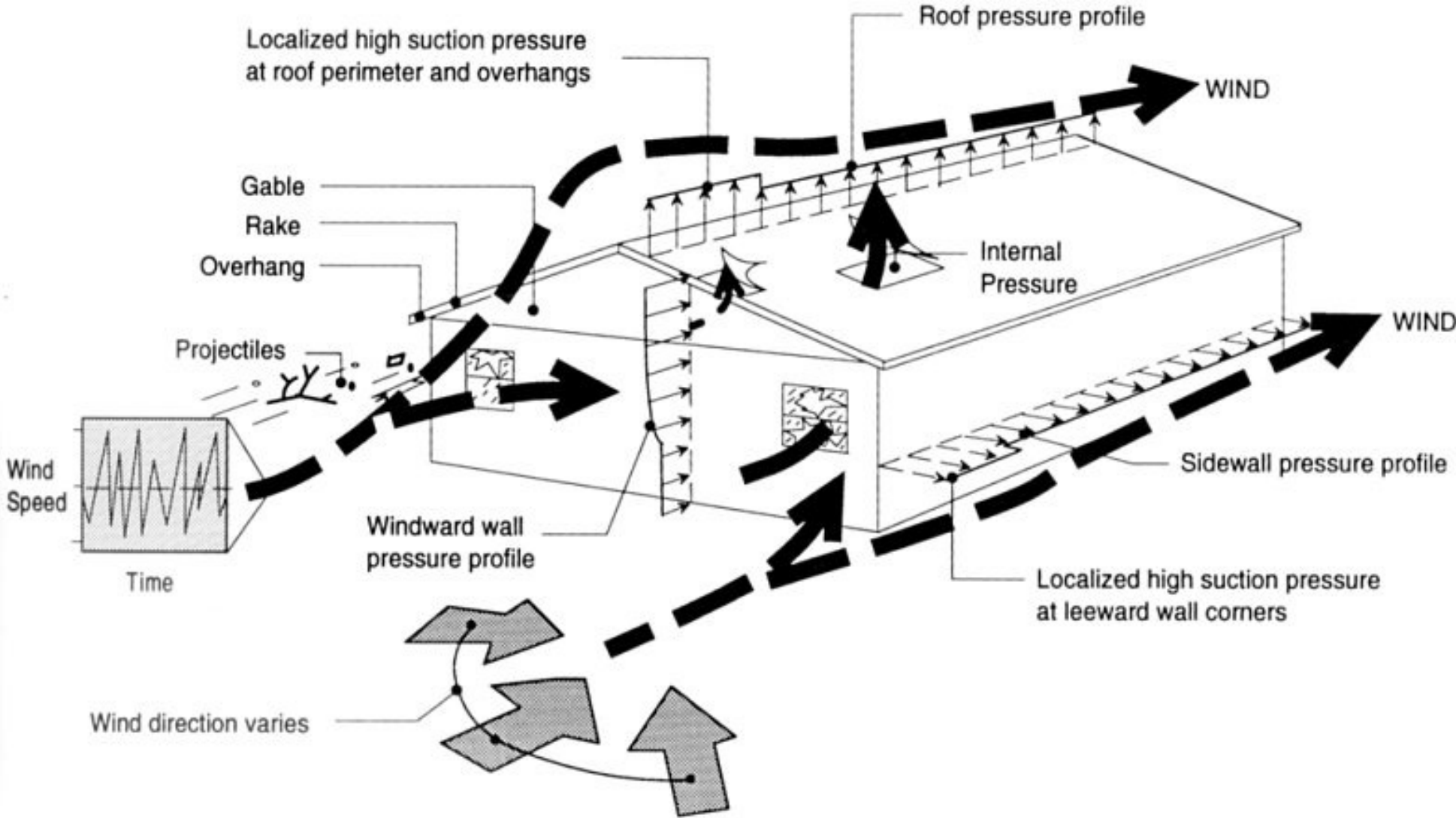
Bracing

>> Horizontale Einwirkungen
Horizontal loads

Grundprinzipien der horizontalen Aussteifung
Basic principles of horizontal bracing

Anordnung der Aussteifungselemente
Placing of bracing elements

Mehrgeschossige Systeme
Multi-storey systems

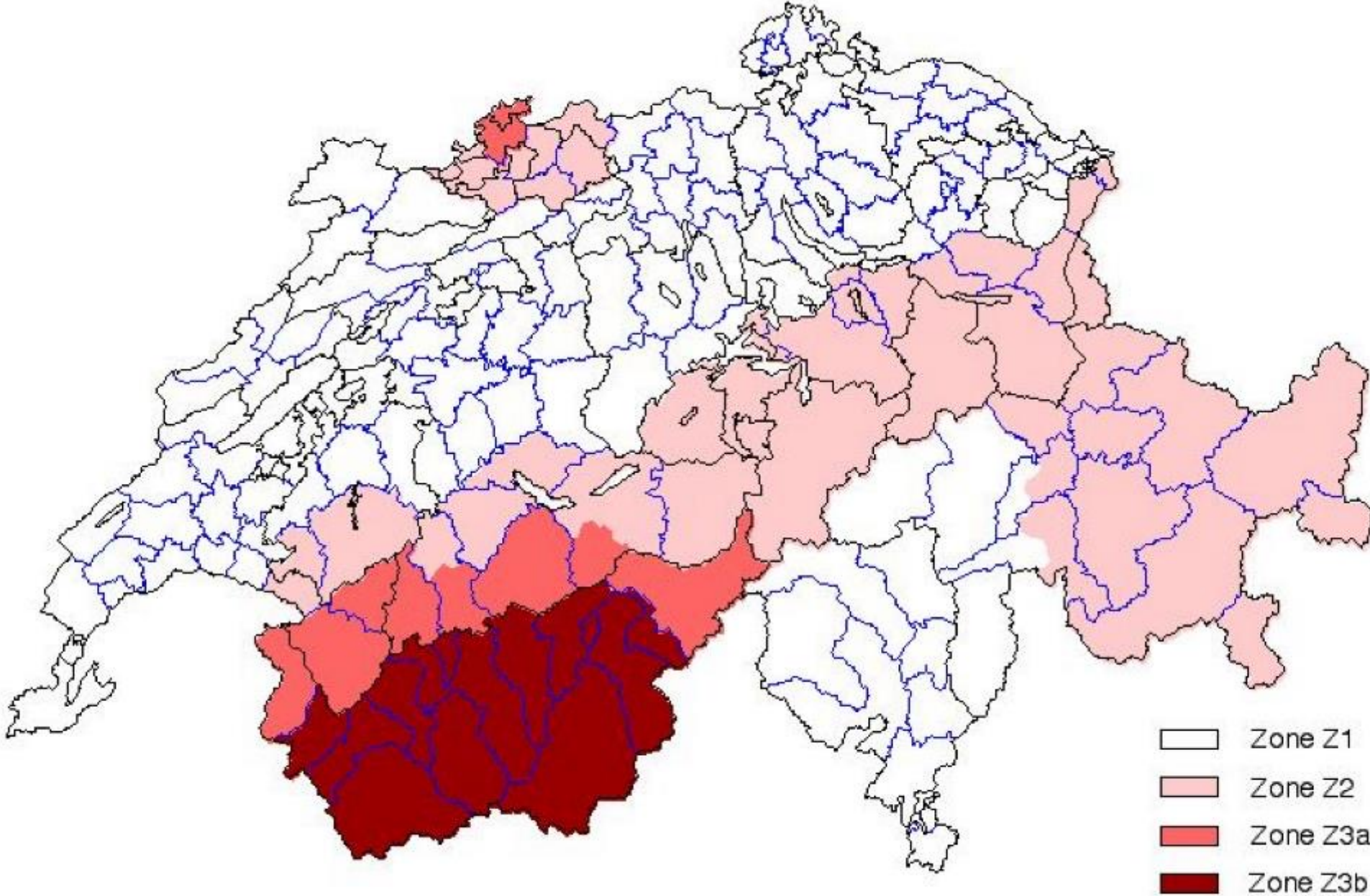




Stärke des Winddrucks auf Gebäude (dynamischer Druck) nach SIA 261

Strength of wind pressure on buildings (dynamic pressure) according to SIA 261







Einwirkung durch Erdbeben, Japan 1995

Effect due to earthquake, Japan 1995

Eigenlasten (spezifische Gewichte)		
Aluminium		27 kN/m ³
Beton		25 kN/m ³
Holz		5 – 8 kN/m ³
Mauerwerk		18 kN/m ³
Stahl		78 kN/m ³
Nutzlasten in Gebäuden		
Wohngebäude		2.0 kN/m ²
Bürogebäude		3.0 kN/m ²
Versammlungsräume	Stühle und Tische	3.0 kN/m ²
Schulräume	feste Bestuhlung	4.0 kN/m ²
	frei begehbare Flächen	5.0 kN/m ²
Verkaufsräume		5.0 kN/m ²
Balkone		3.0 kN/m ²
Treppen		4.0 kN/m ²
Schnee		
Schneelast	$q_s = [1+(h_o/350)^2] \cdot 0.4 \text{ kN/m}^2 \geq 0.9 \text{ kN/m}^2$ $h_o \approx h = \text{Höhe über Meer}$ in den Bergen: $h_0 = h + (200 \text{ bis } 500 \text{ m})$	
Wind		
Winddruck bzw. –sog	(Näherungswert)	1.0 kN/m ²
Erdbeben		
Ersatzkraft	(Näherungswert)	$g_h = 0.1 - 0.2 \cdot g$

Aussteifung

Bracing

Horizontale Einwirkungen

Horizontal loads



Grundprinzipien der horizontalen Aussteifung

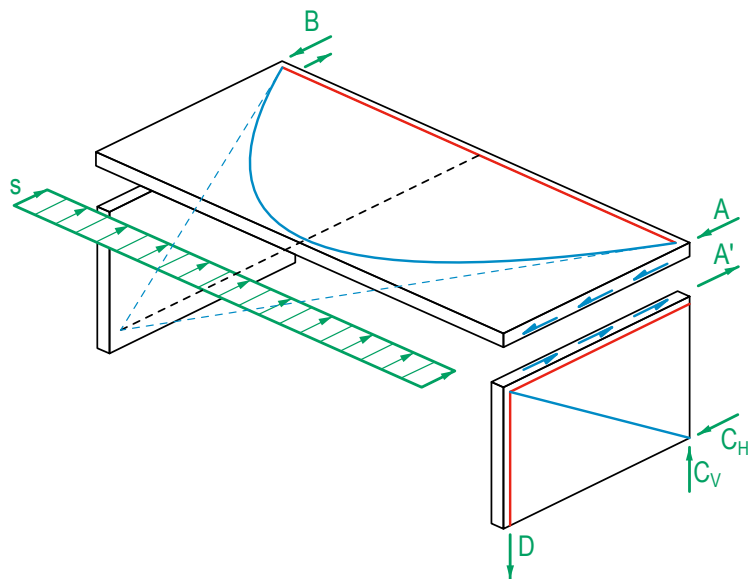
Basic principles of horizontal bracing

Anordnung der Aussteifungselemente

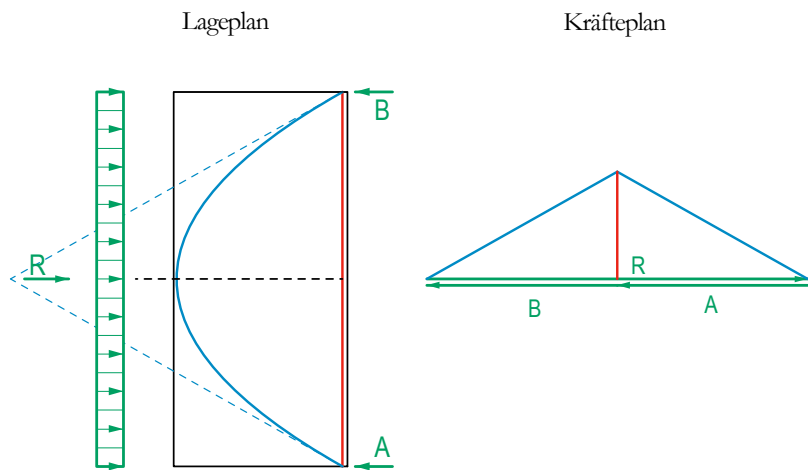
Placing of bracing elements

Mehrgeschossige Systeme

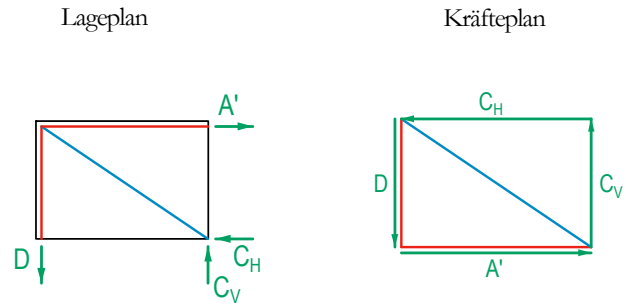
Multi-storey systems



Horizontales Element:



Vertikales Element:



1) Wandscheibe

→ Querscheibe



2) Aufgelöste Wand

→ Diagonale Tragelemente

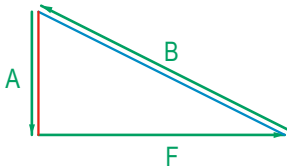
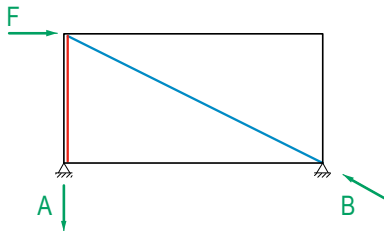


3) Rahmen

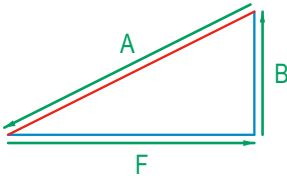
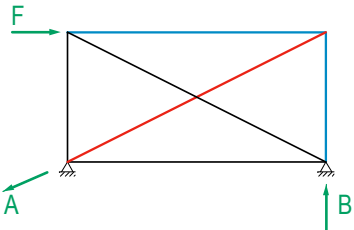
→ Biegesteife Verbindungen



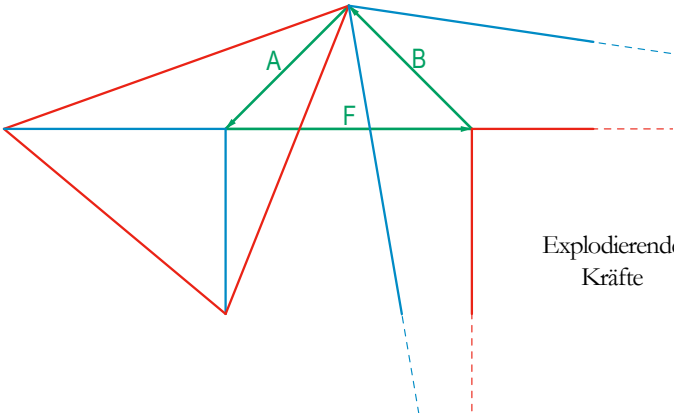
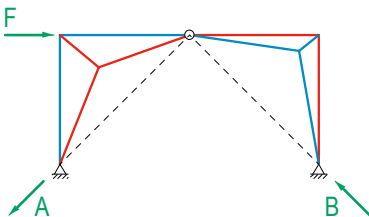
1) Wandscheibe



2) Aufgelöste Wand



3) Rahmen





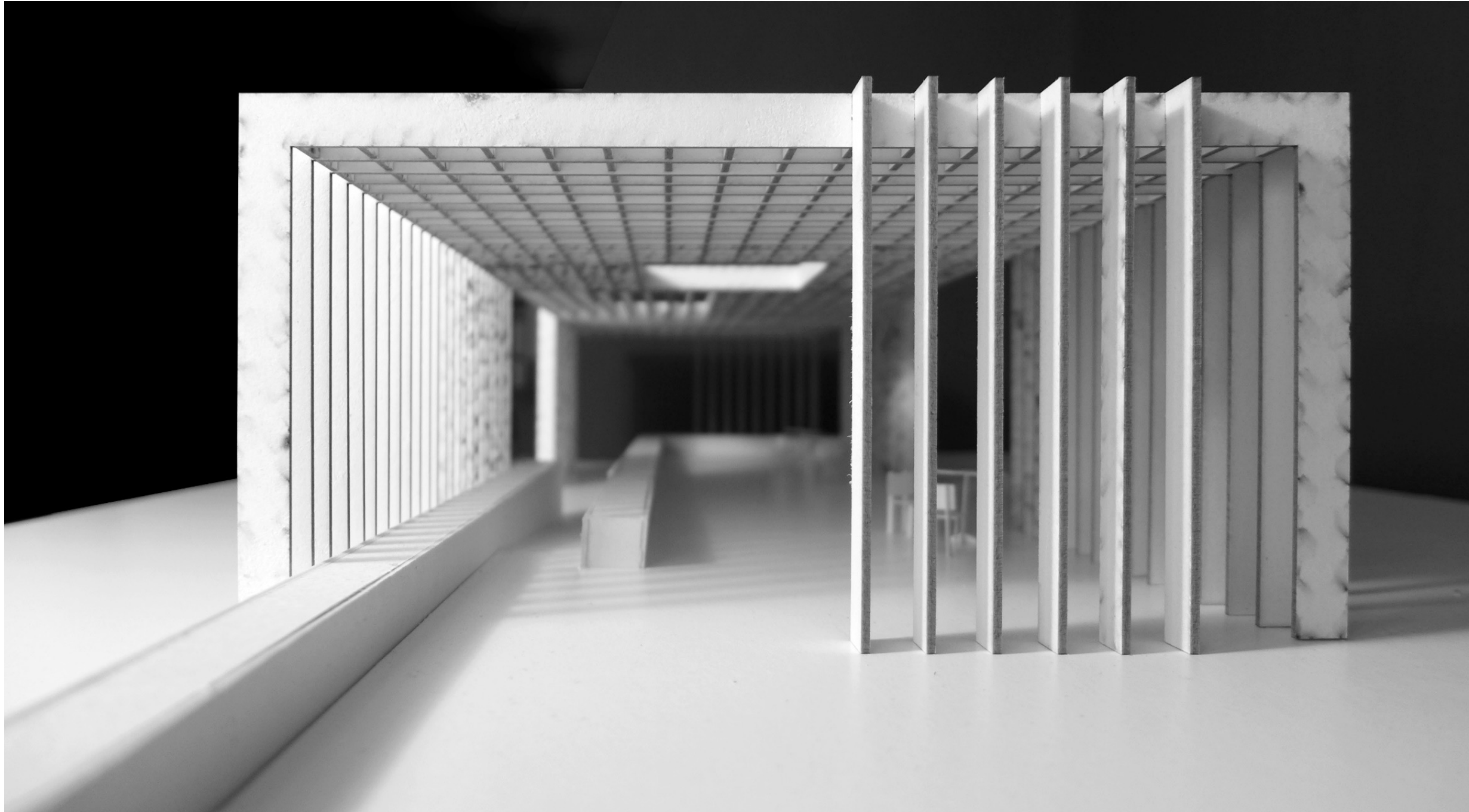
Wandscheibe: Barcelona Pavillon, Barcelona, Arch: Ludwig Mies van der Rohe, 1929



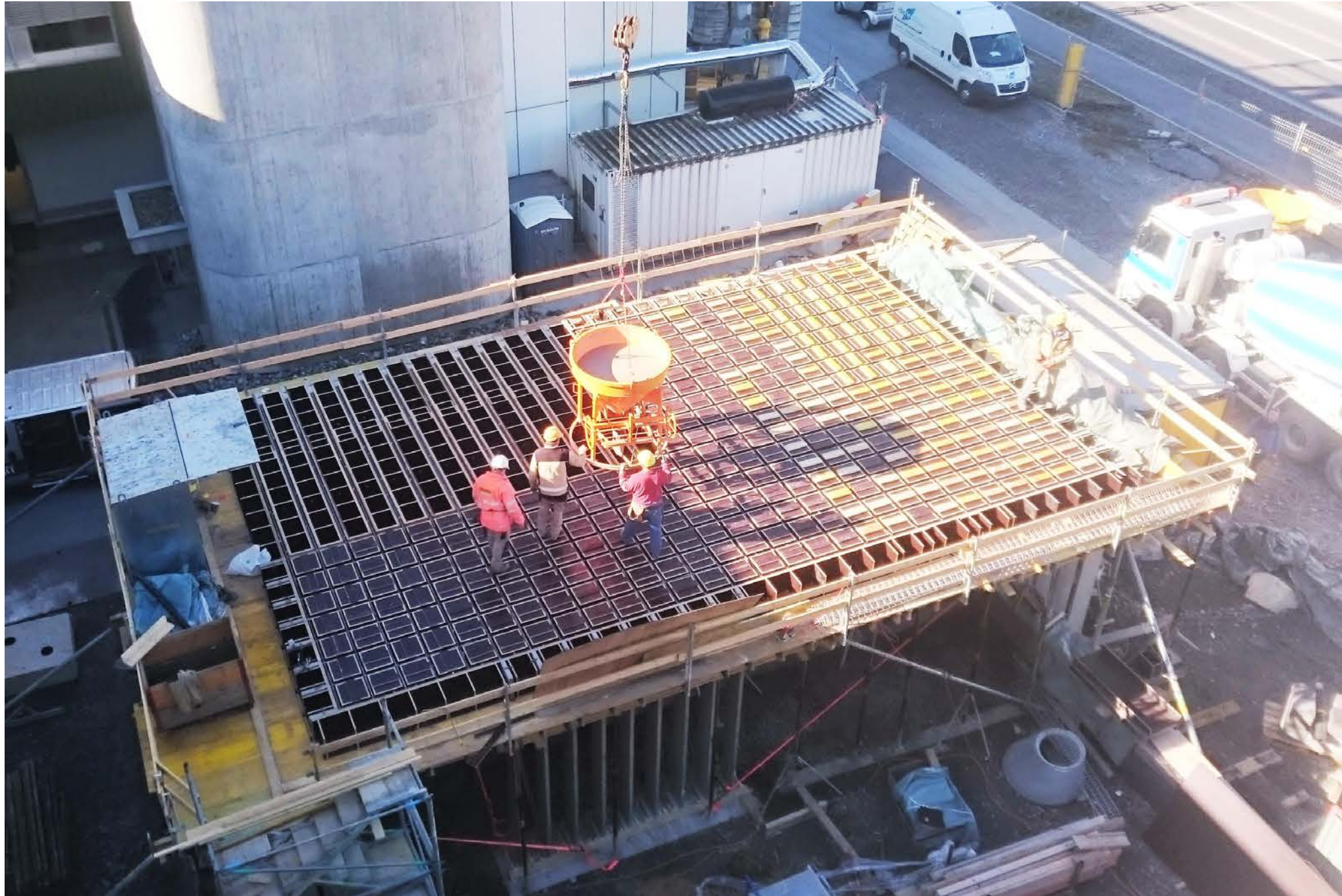
Aufgelöste Wand: Zeichensaalprovisorien, ETH Hönggerberg, Arch: Benedikt Huber, 1987



Aufgelöste Wand: Neubau Labor- und Bürogebäude, ETH Hönggerberg, Arch: Berrel Berrel Kräutler, Ing.: Ulaga Partner AG, Wettbewerb 2016



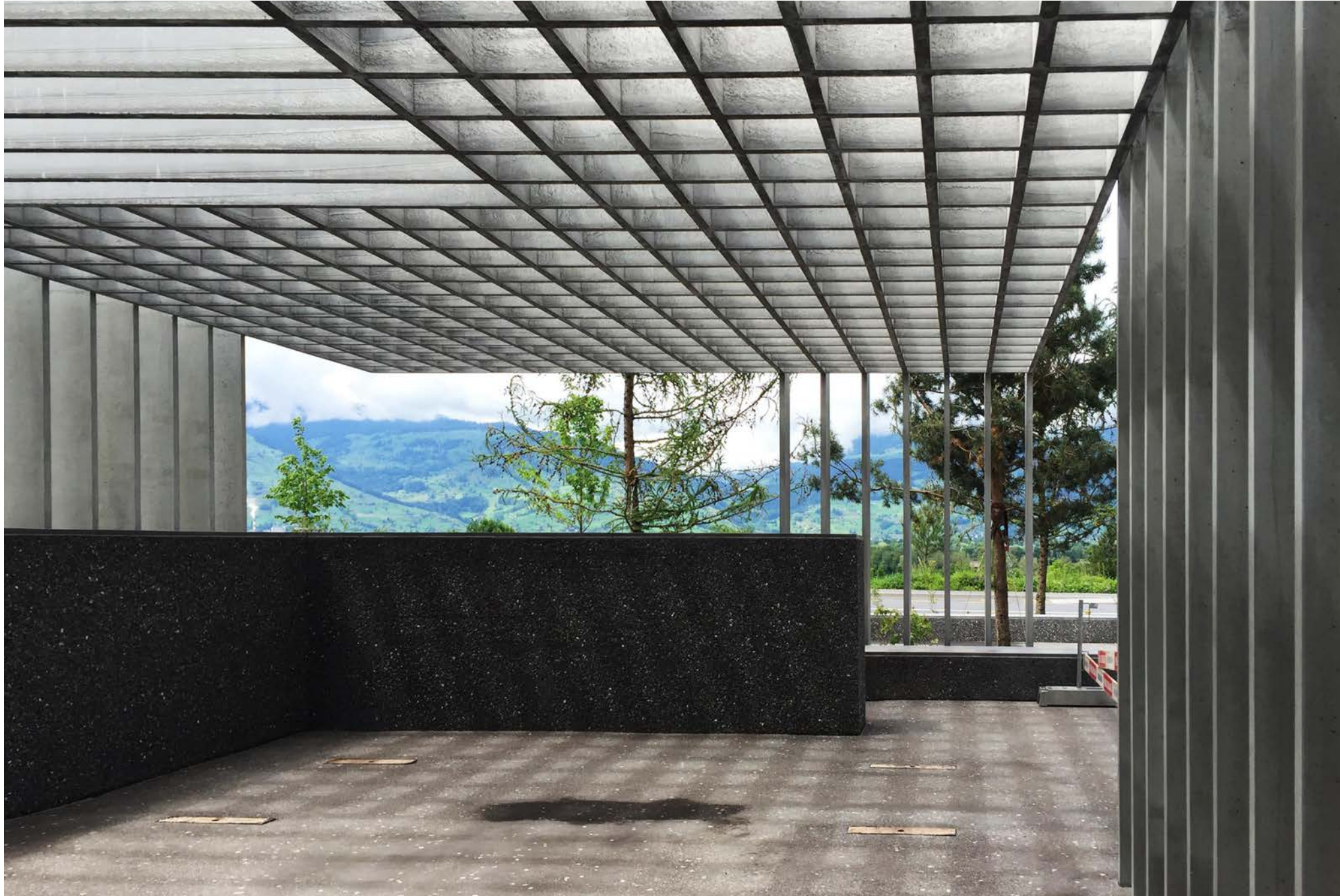
Rahmen: Hilti Pavillons, Schaan, Arch: Giuliani Hönger, Ing. Dr. Schwartz Consulting, 2016



Rahmen: Hilti Pavillons, Schaan, Arch: Giuliani Hönger, Ing. Dr. Schwartz Consulting, 2016



Rahmen: Hilti Pavillons, Schaan, Arch: Giuliani Hönger, Ing. Dr. Schwartz Consulting, 2016



Rahmen: Hilti Pavillons, Schaan, Arch: Giuliani Hönger, Ing. Dr. Schwartz Consulting, 2016

Aussteifung

Bracing

Horizontale Einwirkungen

Horizontal loads

Grundprinzipien der horizontalen Aussteifung

Basic principles of horizontal bracing

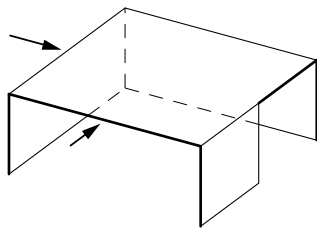


Anordnung der Aussteifungselemente

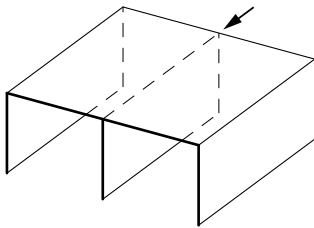
Placing of bracing elements

Mehrgeschossige Systeme

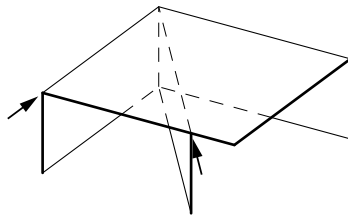
Multi-storey systems



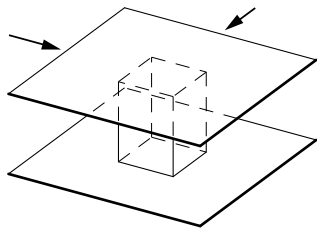
Stabile Aussteifung durch drei vertikale Aussteifungselemente



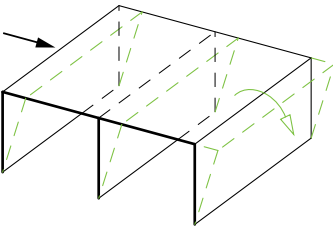
Parallele Scheiben können nur Lasten parallel zur Scheibenrichtung abtragen.



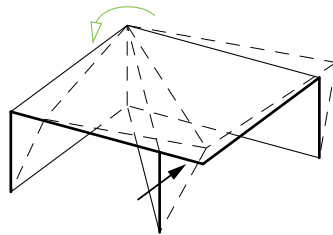
Sich kreuzende Scheiben können nur Lasten, die in den Scheibenebenen wirken, abtragen.



Stabile Aussteifung durch einen Kern (vertikale Aussteifungselemente, im Grundriss angeordnet als geschlossene Röhre): Abtragung von horizontalen Lasten aus allen Richtungen möglich



Labiles Verhalten paralleler Scheiben unter Horizontallast



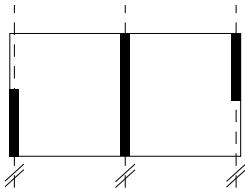
Labiles Verhalten sich kreuzender Scheiben unter Horizontallast



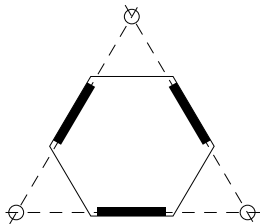
Drei Scheiben
Stabile, günstige Anordnung: Windlasten in Richtung der zwei parallelen Scheiben werden durch diese abgetragen. Durch deren großen Abstand zueinander kann kein Verdrehen auftreten, Windlasten in Querrichtung werden durch die dritte Scheibe abgetragen. Dem dabei auftretenden Moment (Betrag der Resultierenden mal deren Abstand zur Scheibe in Windrichtung) wirkt ein Kräftepaar der zwei parallelen Scheiben entgegen.



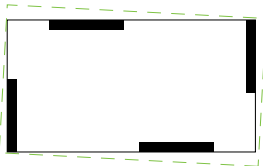
Vier Scheiben
Stabile, günstige Anordnung auch unter Temperaturbelastung: Infolge von Temperaturdehnung verformt sich die Deckenscheibe in den Bereichen der Wandscheiben orthogonal zu den Wänden. Die Wände behindern die Verschiebung kaum, da sie sich orthogonal zu ihrer Ebene weich verhalten (wie Pendelstützen), sodass nur geringe Zwangsbeanspruchungen entstehen.



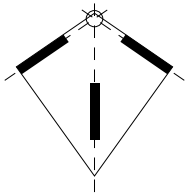
Drei parallele Scheiben
Instabil: Wirkungslinien der Scheiben verlaufen alle parallel, horizontale Einwirkungen mit Lastanteil orthogonal zur Scheibenebene führen zum Kippen.



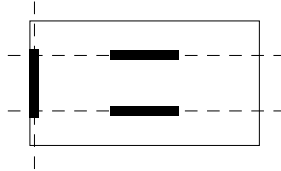
Drei Scheiben
Stabile, günstige Anordnung: Es sind drei Scheiben vorhanden, die nicht parallel ausgerichtet sind und deren Wirkungslinien sich nicht in einem Punkt schneiden.



Vier Scheiben
Stabil, jedoch treten Zwänge unter Temperaturbeanspruchung auf: Die Deckeneckpunkte würden sich bei ungehinderter Temperaturdehnung diagonal vom Deckenmittelpunkt weg verschieben. Die dort angeordneten Scheiben wirken dem Verschiebungsanteil in Scheibenebene entgegen und führen zu Zwängen.

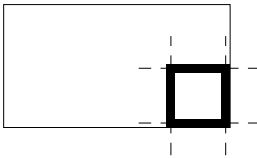


Drei Scheiben
Instabil: Wirkungslinien der Scheiben schneiden sich in einem Punkt, eine Verdrehung des Systems um den Schnittpunkt ist möglich.



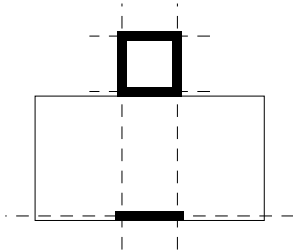
Drei Scheiben

Stabil, jedoch ungünstig: Der Hebelarm zwischen den zwei parallelen Scheiben ist sehr gering. Dies führt zu großen Kräften infolge von Momenteneinleitung durch Wind orthogonal zu diesen Scheiben.



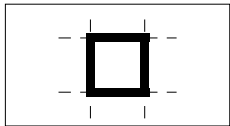
Kern

Stabil, jedoch ungünstig: Die Windlast orthogonal zur Gebäudelängsseite, deren Resultierende einen großen Abstand zum Kern aufweist, führt zu einer deutlichen Torsionsbeanspruchung des Kerns.



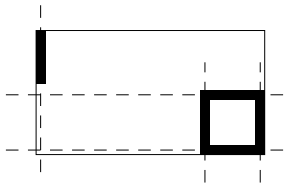
Scheibe und Kern

Stabil, günstig: Torsion im exzentrisch angeordneten Kern wird durch eine Einzelscheibe mit großem Hebelarm zum Kern vermindert.



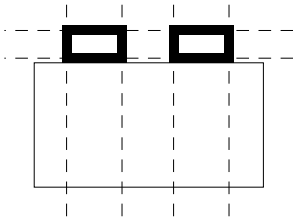
Kern

Stabil und günstig durch zentrale Anordnung des Kerns: Die Resultierende der Windlast verläuft durch den Kern. Dadurch wird eine Torsionsmomentenbeanspruchung des Kerns vermieden.



Scheibe und Kern

Günstig: Die Einzelscheibe reduziert die Torsionsbeanspruchung des Kerns. Ihr großer Abstand vom Kern ergibt einen großen Hebelarm und führt somit zu kleinen Kräften.



Zwei Kerne

Stabil, jedoch ungünstig: Windlast orthogonal zur Deckenquerseite verursacht durch die exzentrische Anordnung ein Moment, das nur über die schlanken Kerne abgetragen werden kann, sodass diese stark beansprucht werden.



Wooden Window Frames Sculpture, Ai Weiwei, Documenta 12, 2007, Kassel



Wooden Window Frames Sculpture, Ai Weiwei, Documenta 12, 2007, Kassel



Wooden Window Frames Sculpture, Ai Weiwei, Documenta 12, 2007, Kassel

Aussteifung

Bracing

Horizontale Einwirkungen

Horizontal loads

Grundprinzipien der horizontalen Aussteifung

Basic principles of horizontal bracing

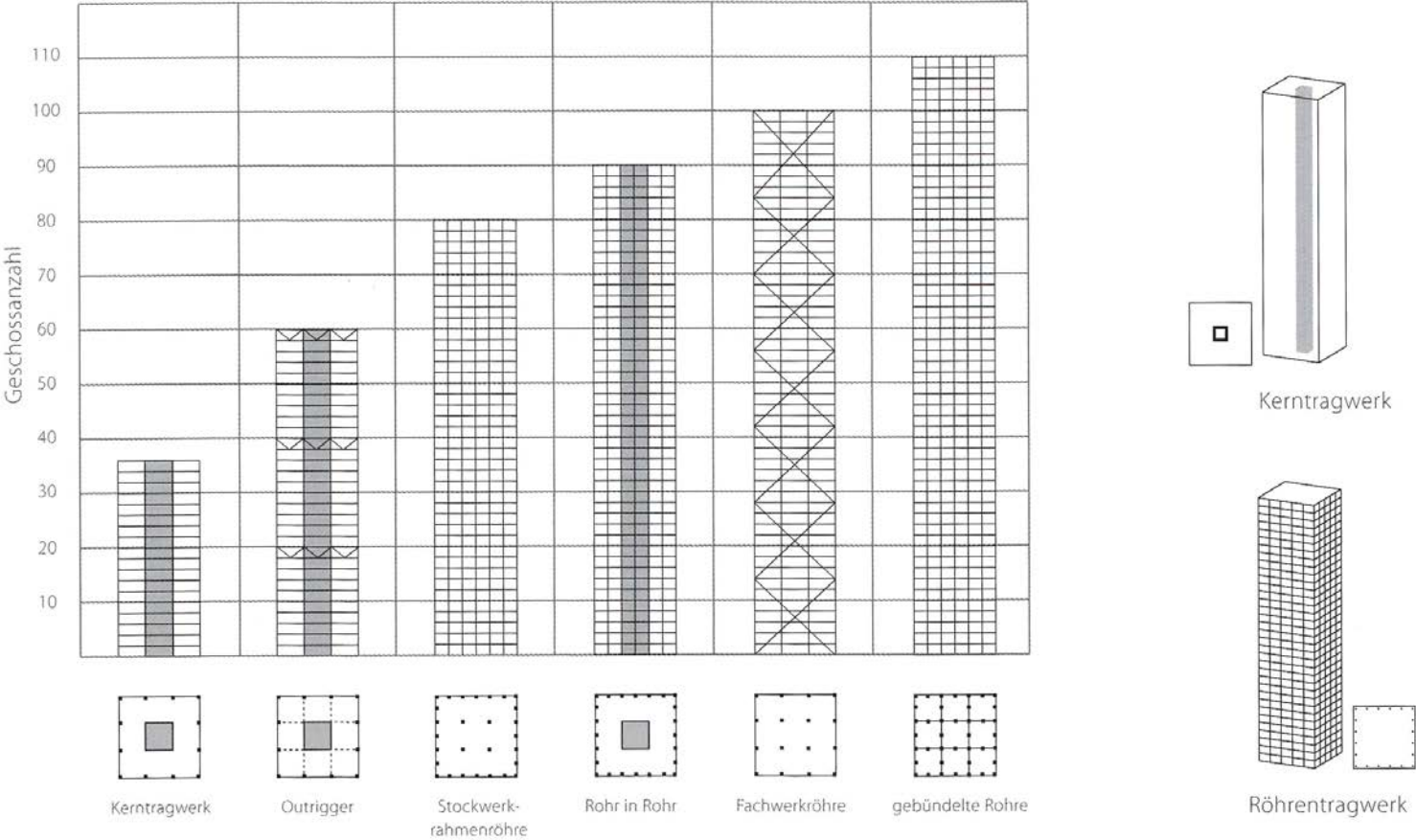
Anordnung der Aussteifungselemente

Placing of bracing elements

>>

Mehrgeschossige Systeme

Multi-storey systems





Hancock Tower, Chicago, Arch: Skidmore, Owings und Merrill mit Bruce Graham, Ing.: Fazlur Rahman Khan, 1969



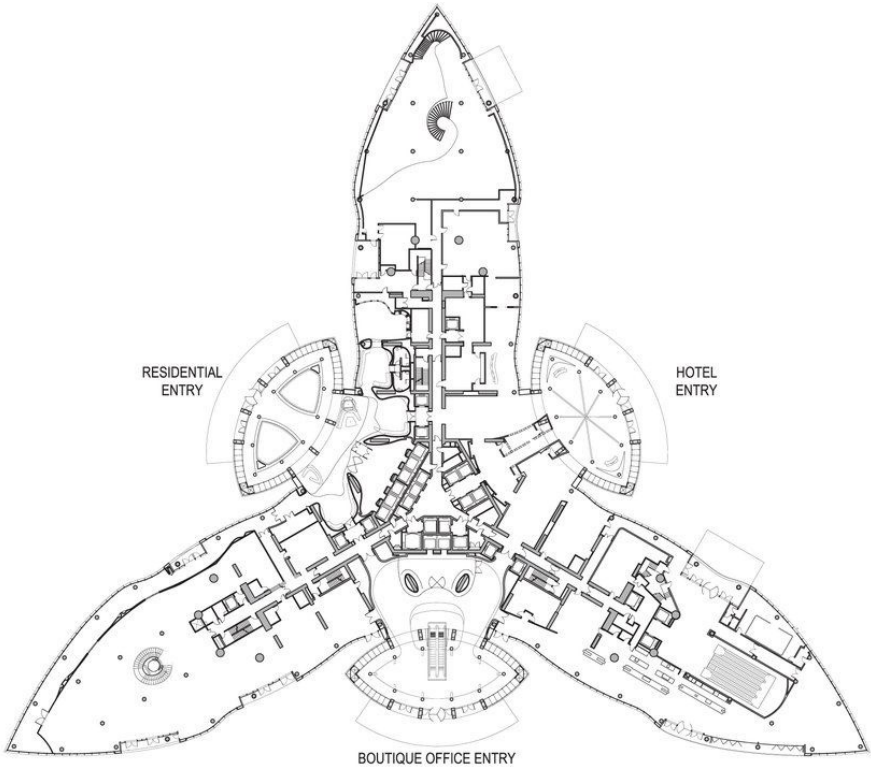
Hancock Tower, Chicago, Arch: Skidmore, Owings und Merrill mit Bruce Graham, Ing.: Fazlur Rahman Khan, 1969



Willis Tower, Chicago, Arch: SOM, Ing.: Fazlur Rahman Khan, 1974



Burj Khalifa, Dubai, Arch: SOM, Ing.: Bill Baker, 2009

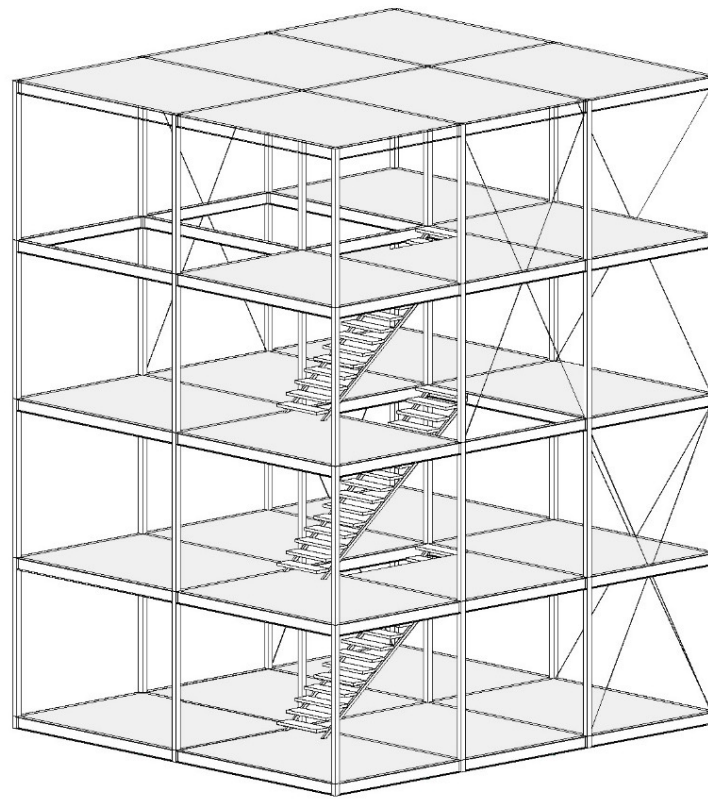


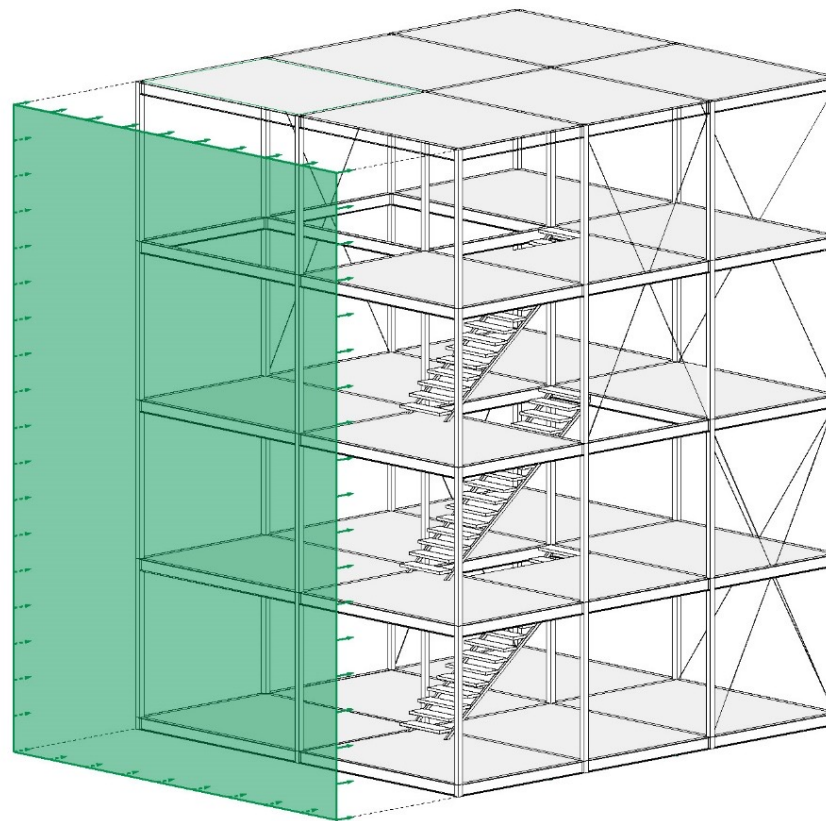


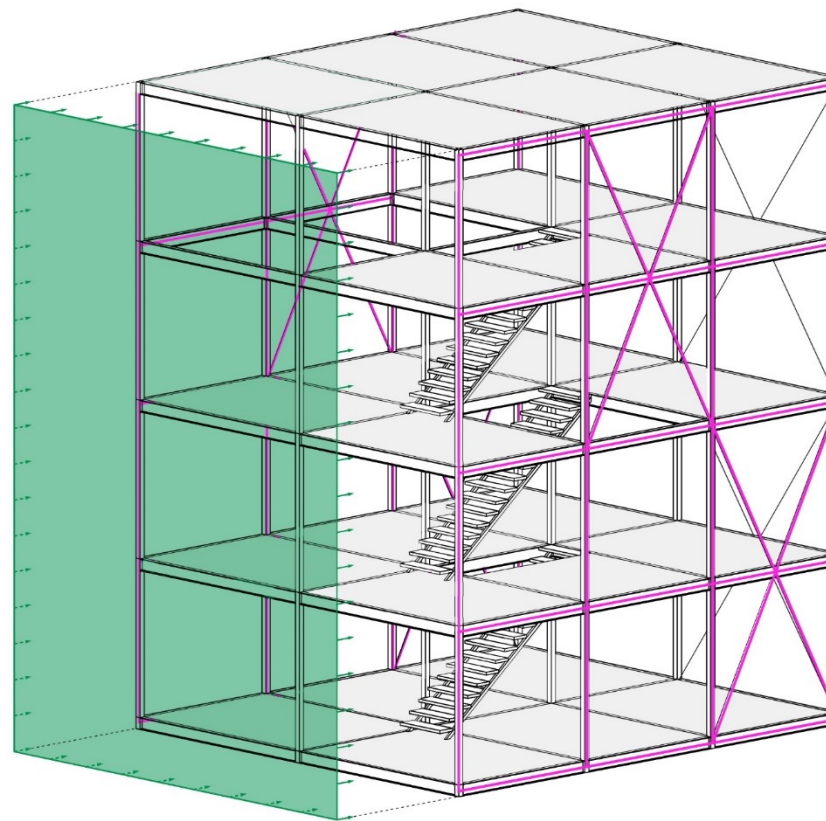
Fallbeispiel: Haus R 128 (Sobek Haus), Stuttgart, Arch.: Werner Sobek, 2000

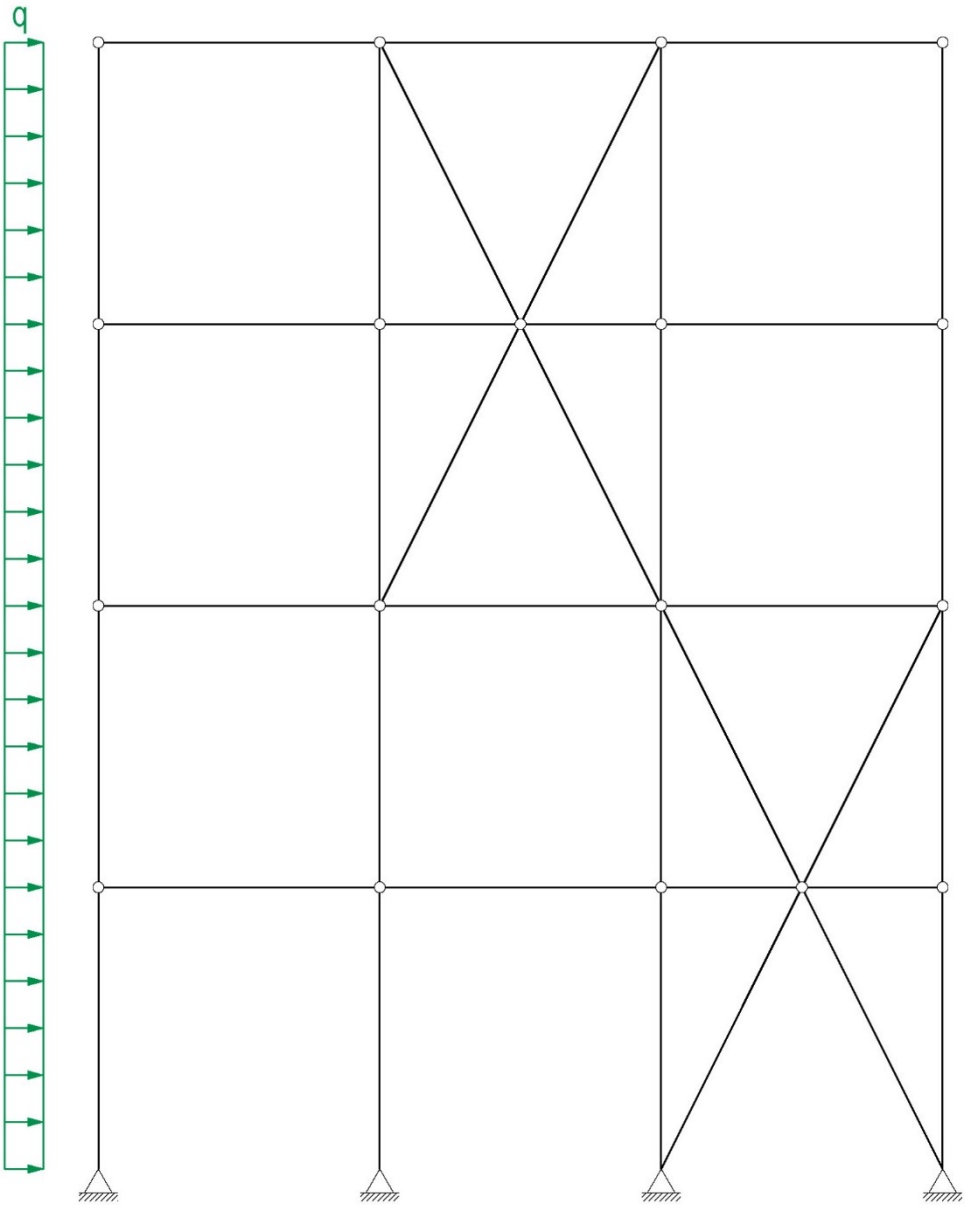


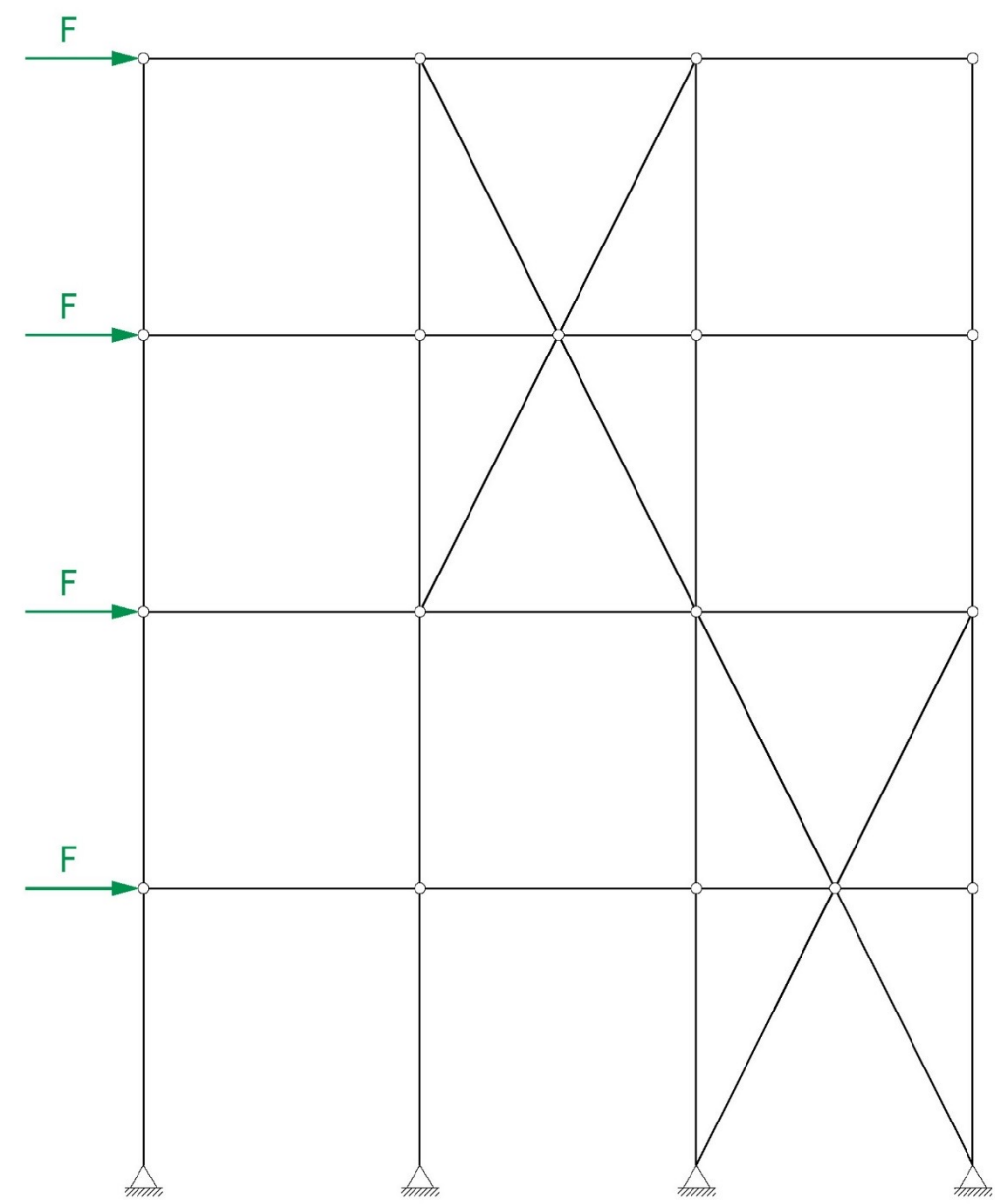
Fallbeispiel: Haus R 128 (Sobek Haus), Stuttgart, Arch.: Werner Sobek, 2000

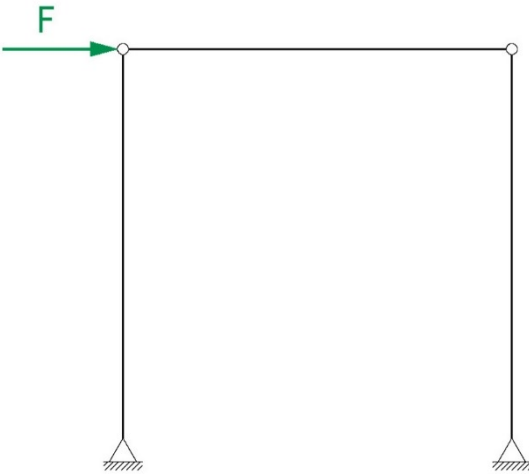


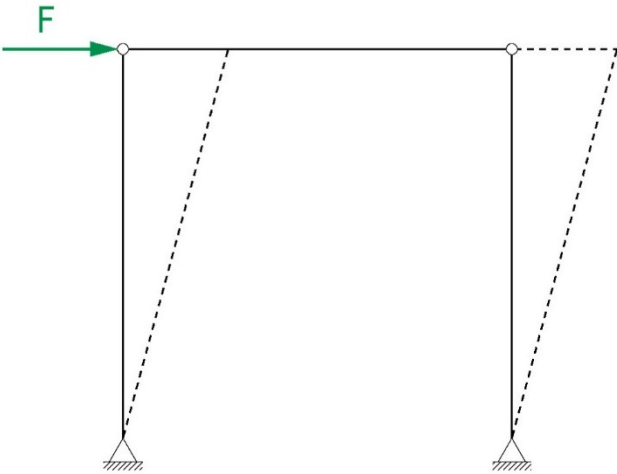


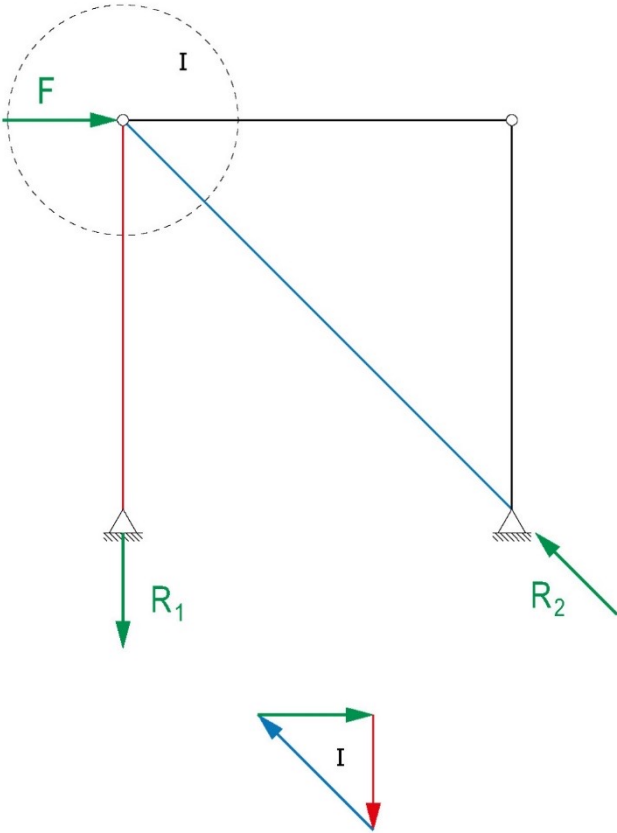


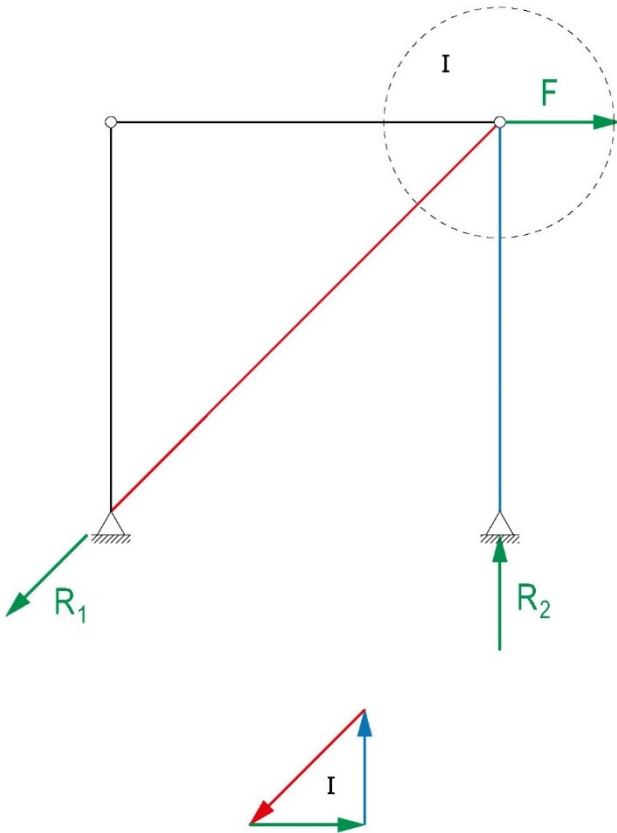


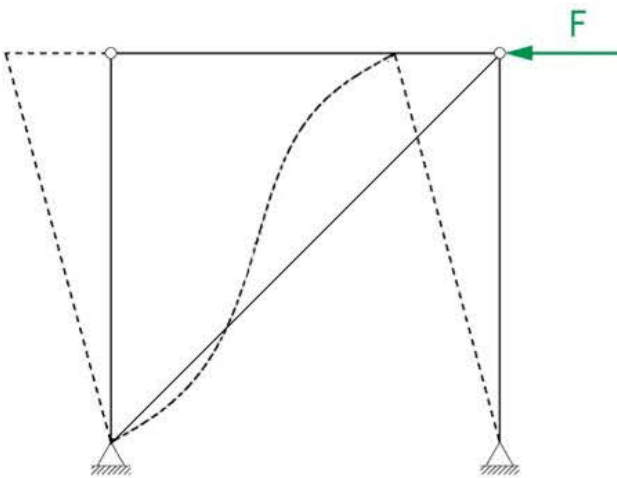


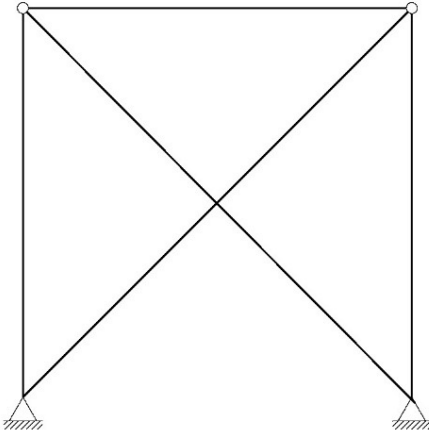


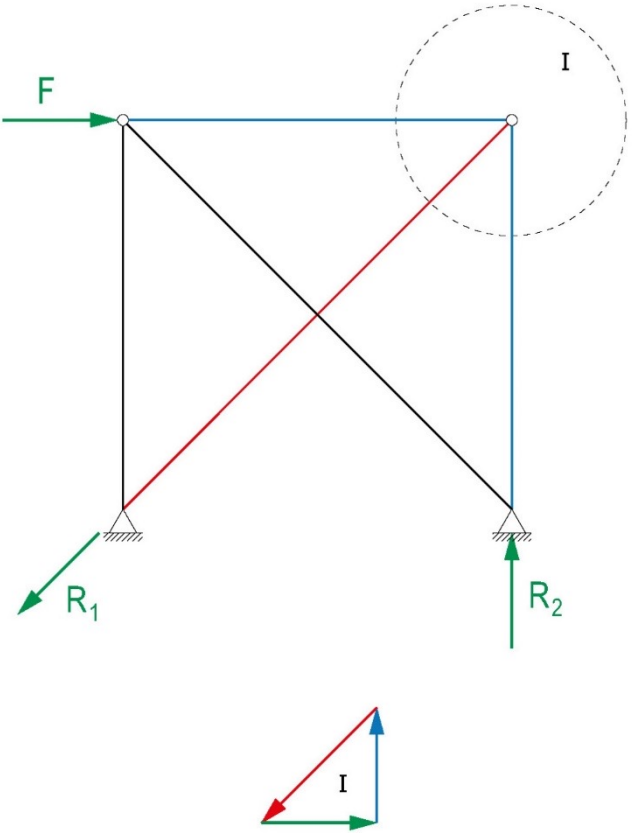


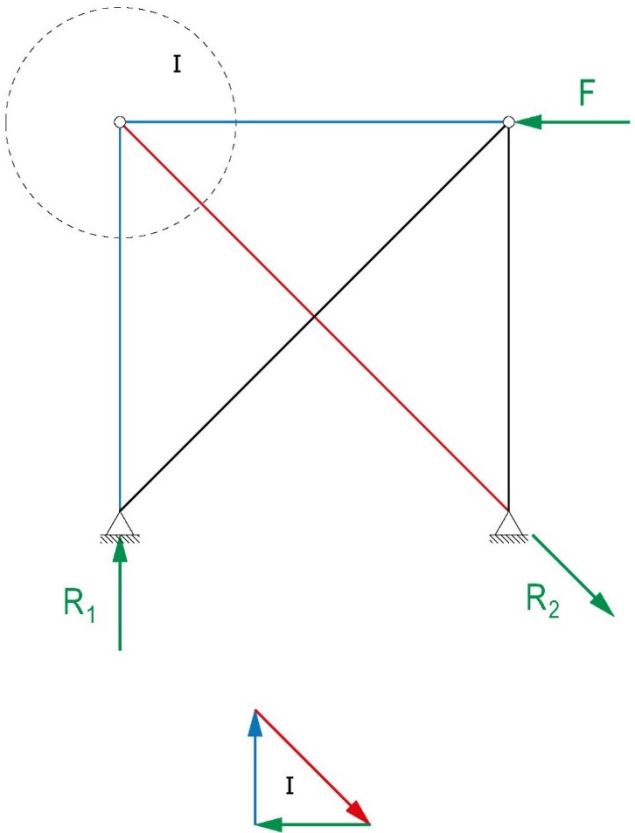


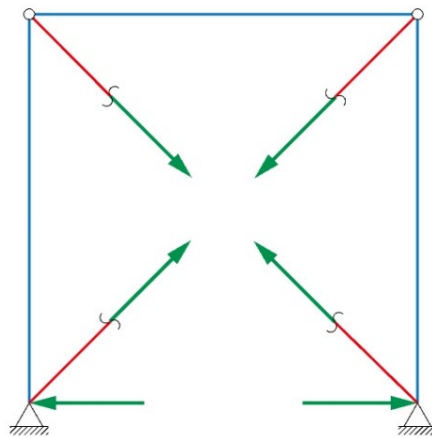


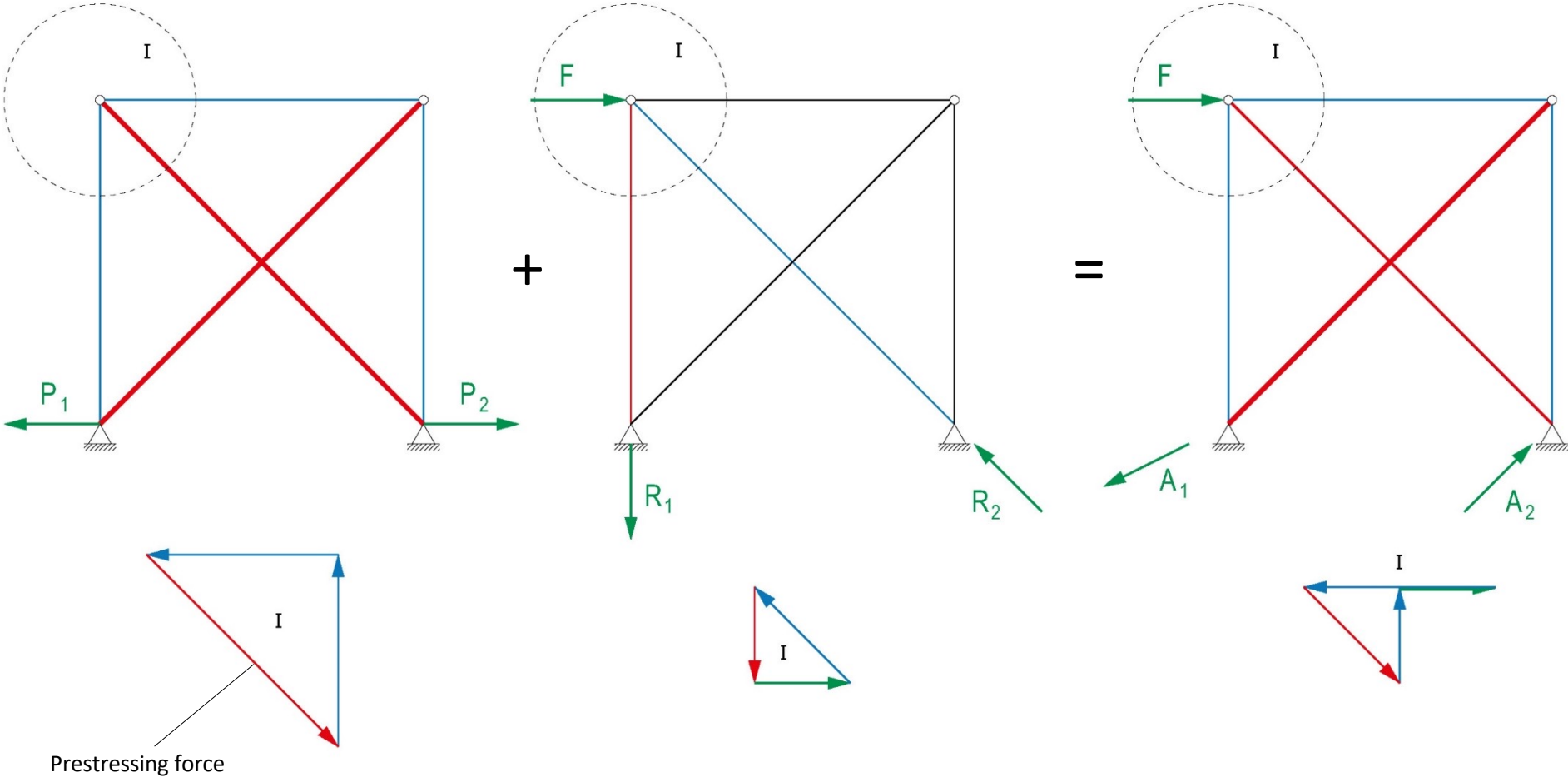


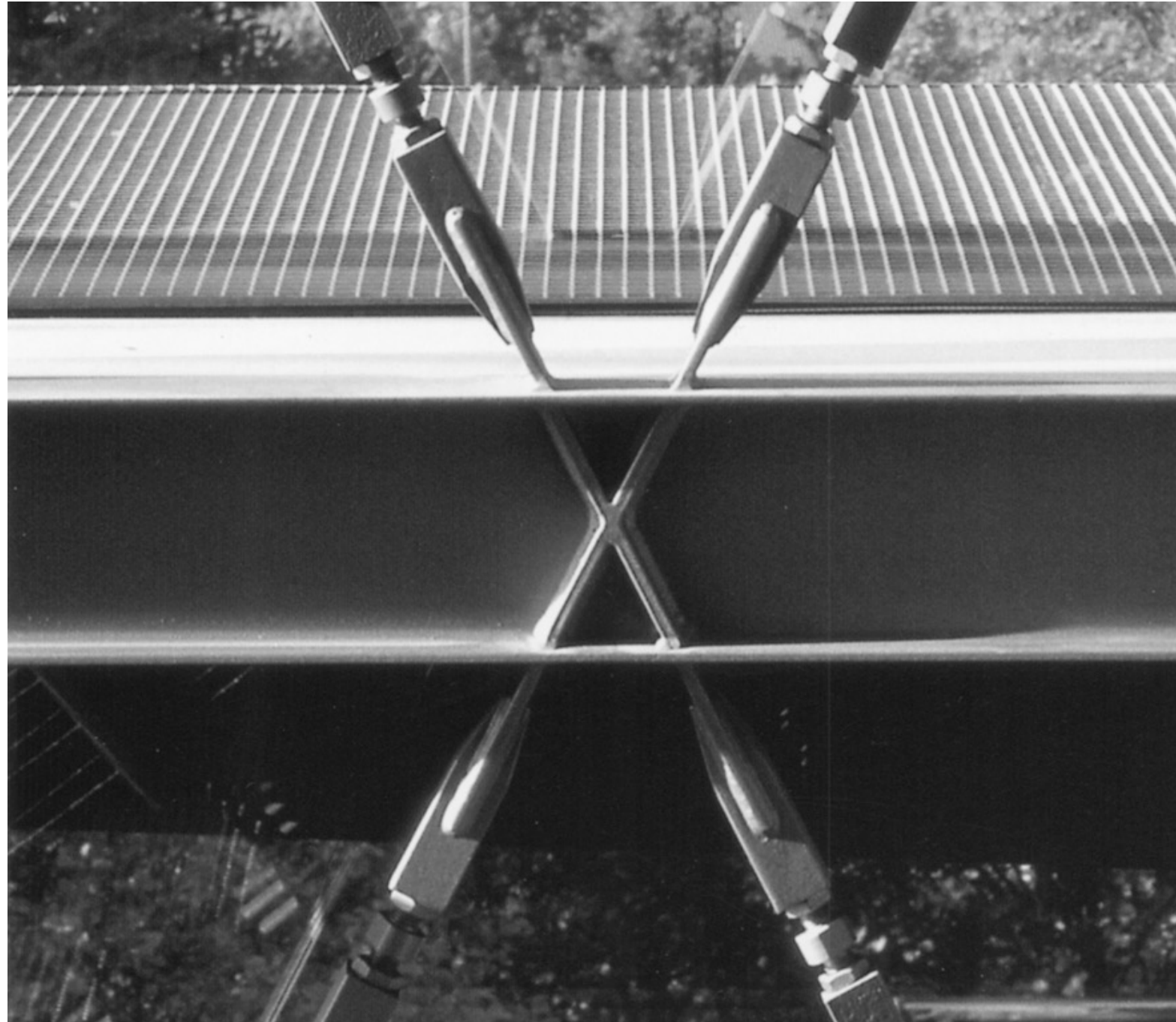




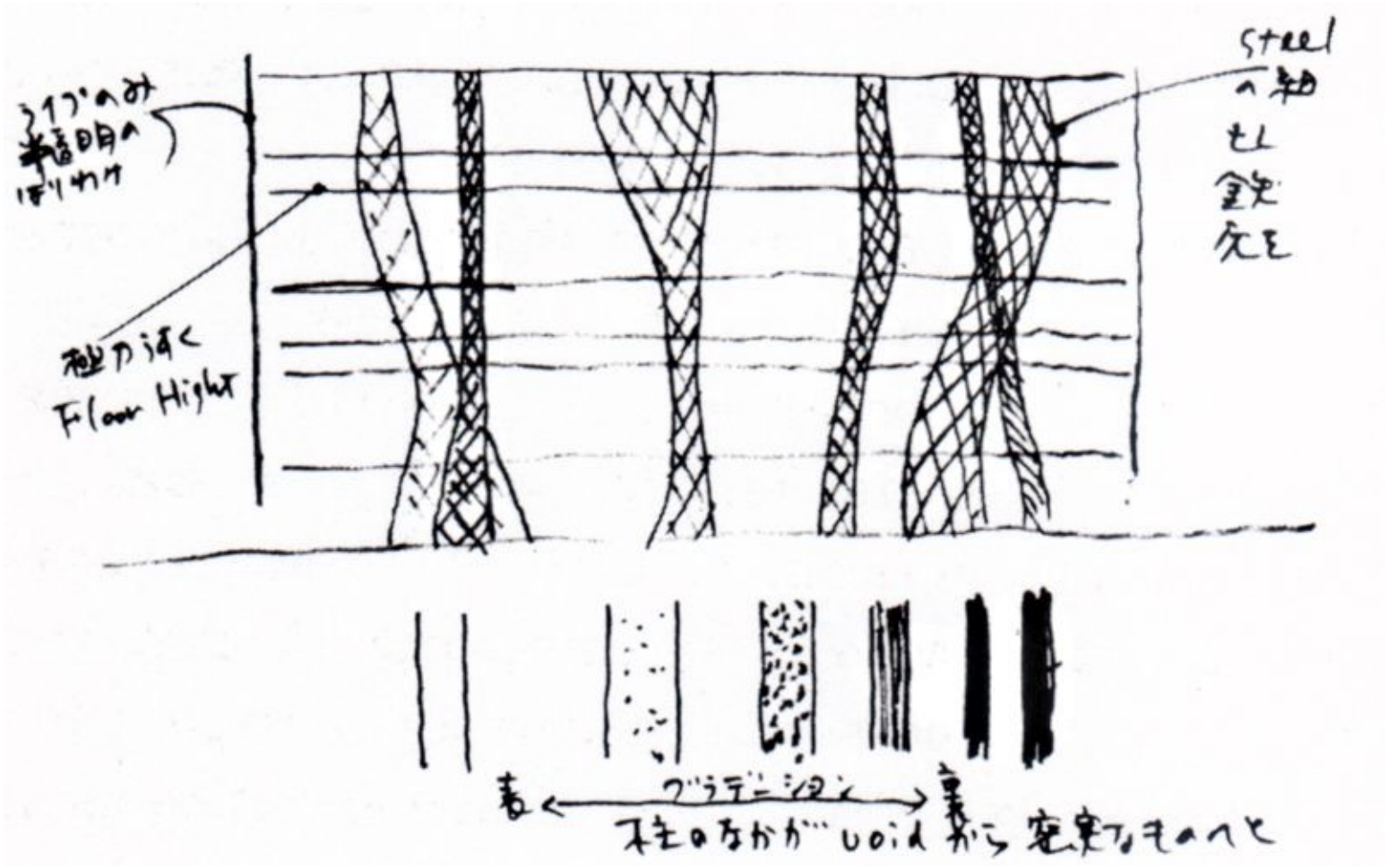




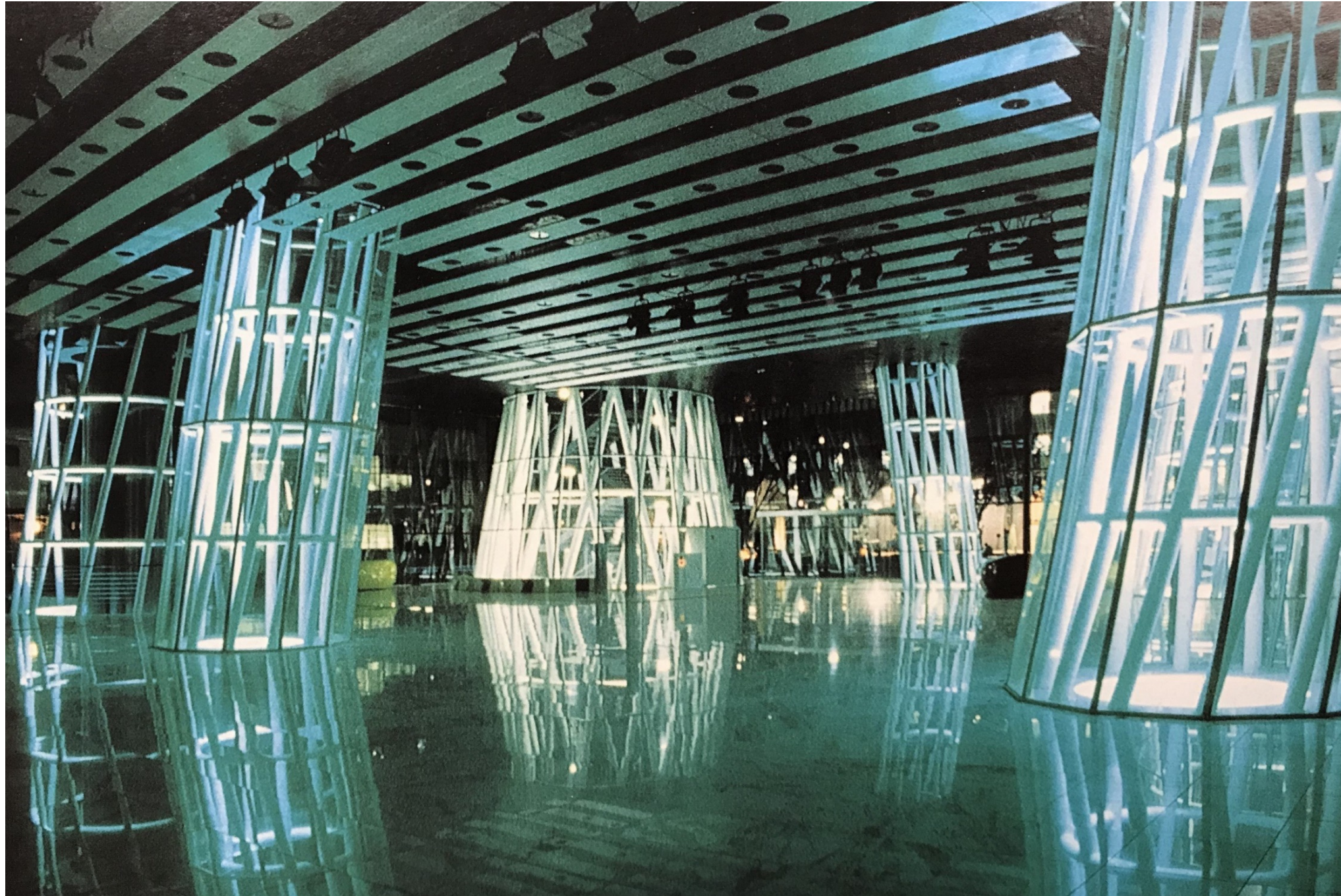




Fallbeispiel: Haus R 128 (Sobek Haus), Stuttgart, Arch.: Werner Sobek, 2000



Structural concept of Sendai Mediateque, Sendai, 2001, arch. Toyo Ito



Structural concept of Sendai Mediateque, Sendai, 2001, arch. Toyo Ito

Earthquake 2011



Gebäude HPH, ETH Höggerberg, Arch.: Steiner & Gehrig, 1972



Centre Pompidou, Paris, 1977, Arch.: Renzo Piano, Rogers & Franchini, Ing.: Peter Rice & Edmund Happold