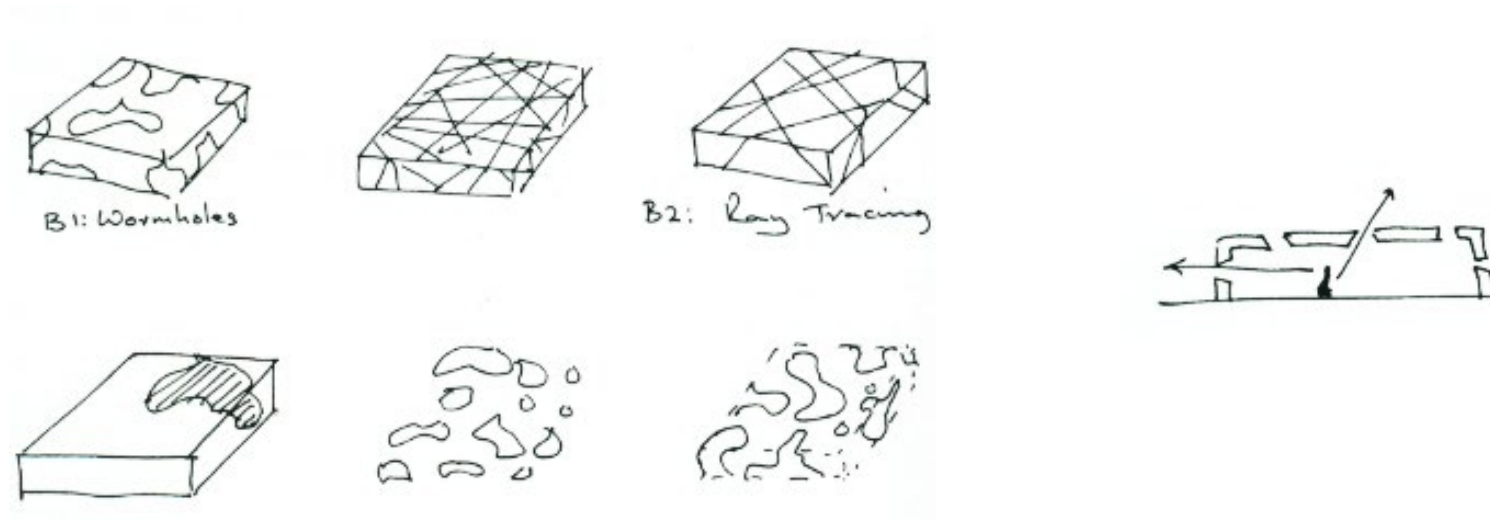




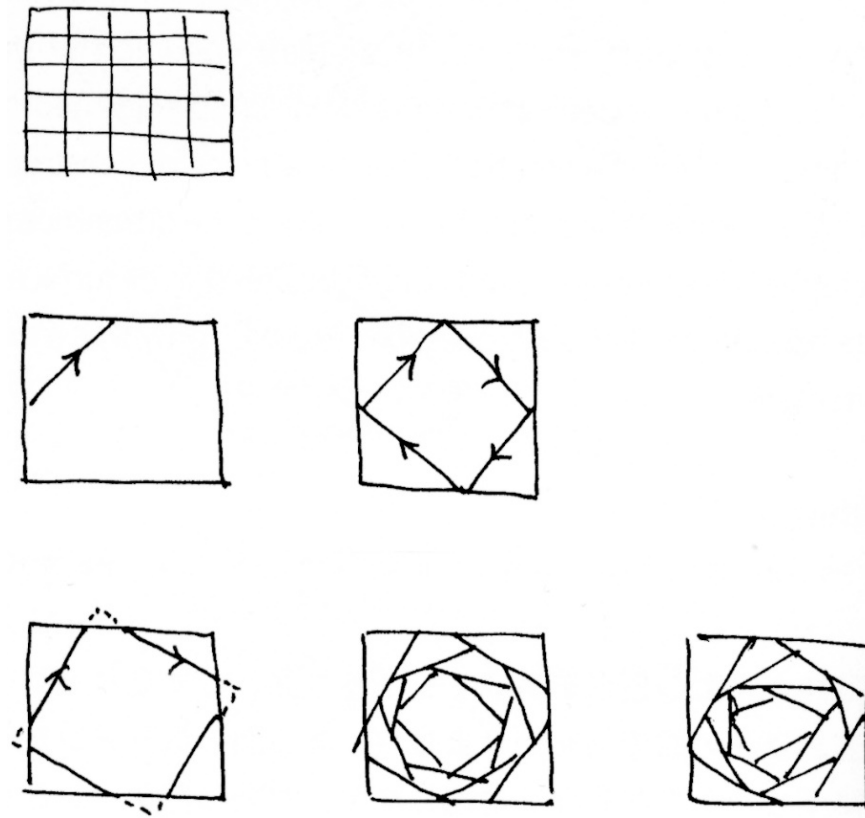
Serpentine Gallery, London, 2002, Arch.: Toyo Ito, Ing.: Cecil Balmond



“Geometry that is structure. Structure that is architecture.”

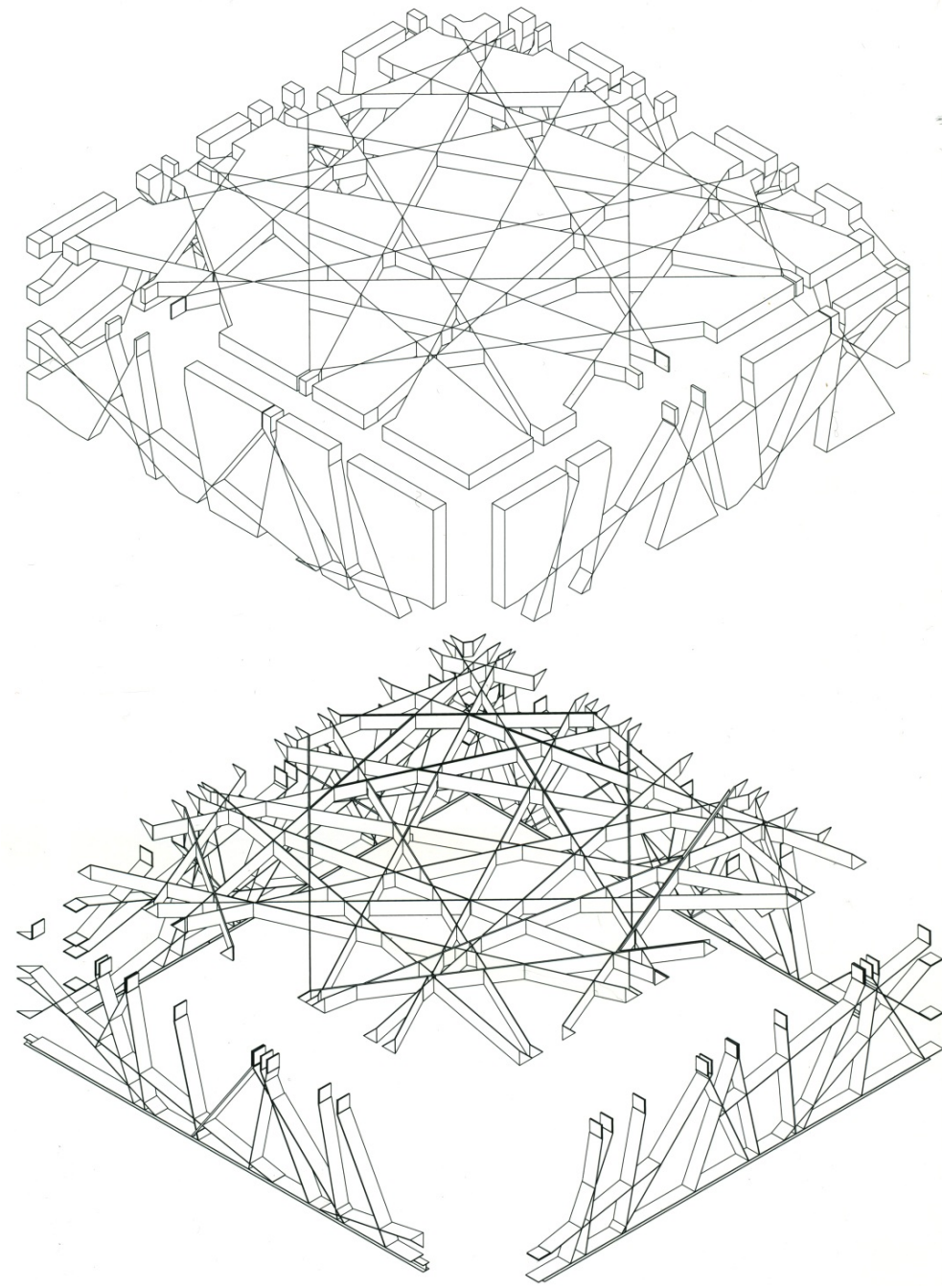
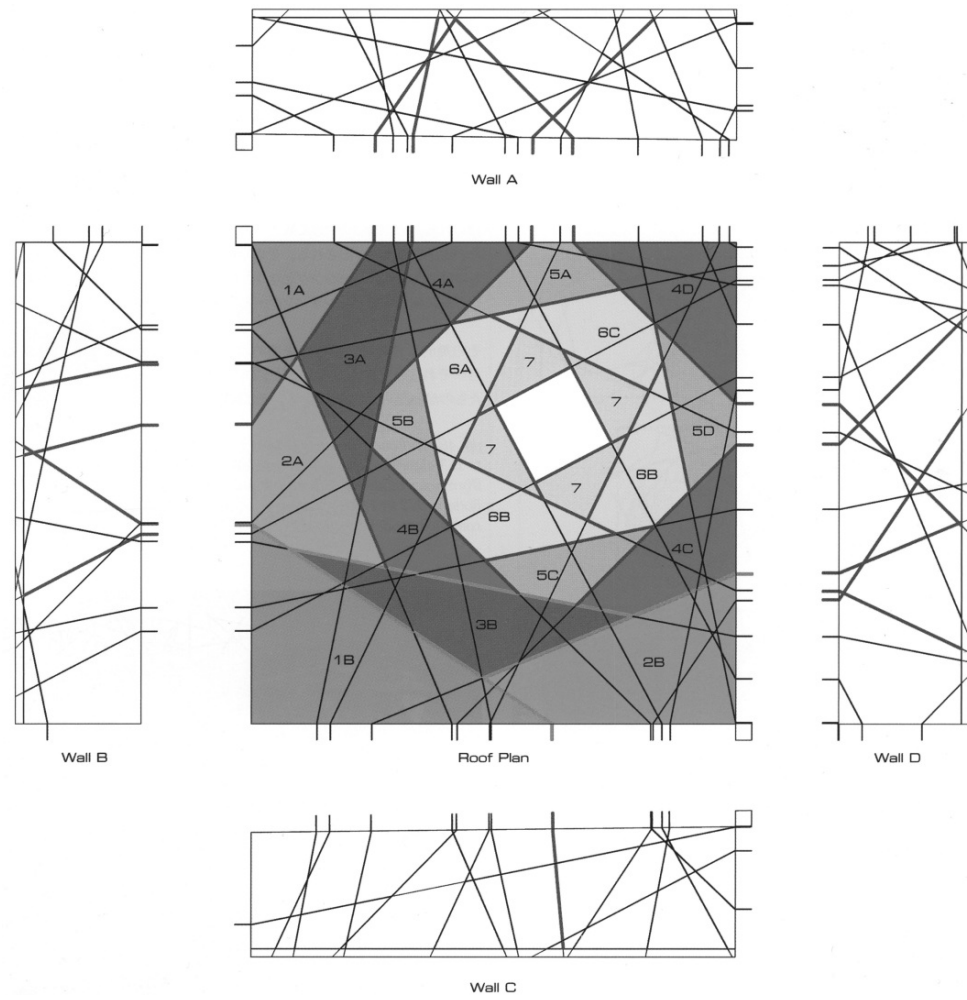
“The aesthetics effect is to occupy a multiplex of web and, as the eye traces the cells of engagement, the eye travels out and what is plane becomes limitless void. The box is no more.”

Cecil Balmond



“The random pattern of the London pavilion, however, is both a product of the architects intent and an expression of engineer Cecil Balmond’s ideas about non-linear structure.”

Toyo Ito



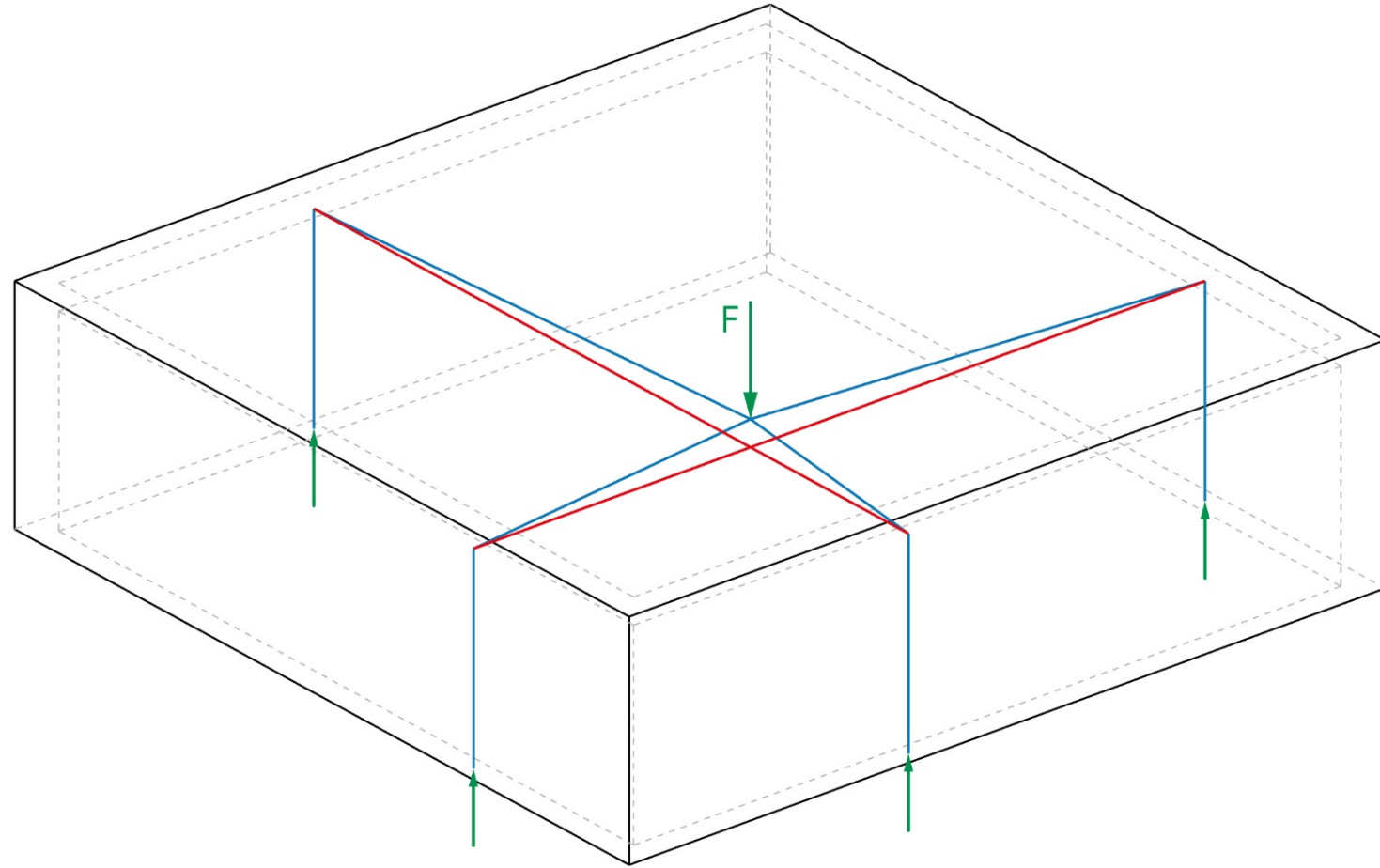
Serpentine Gallery, London, 2002, Arch.: Toyo Ito, Ing.: Cecil Balmond

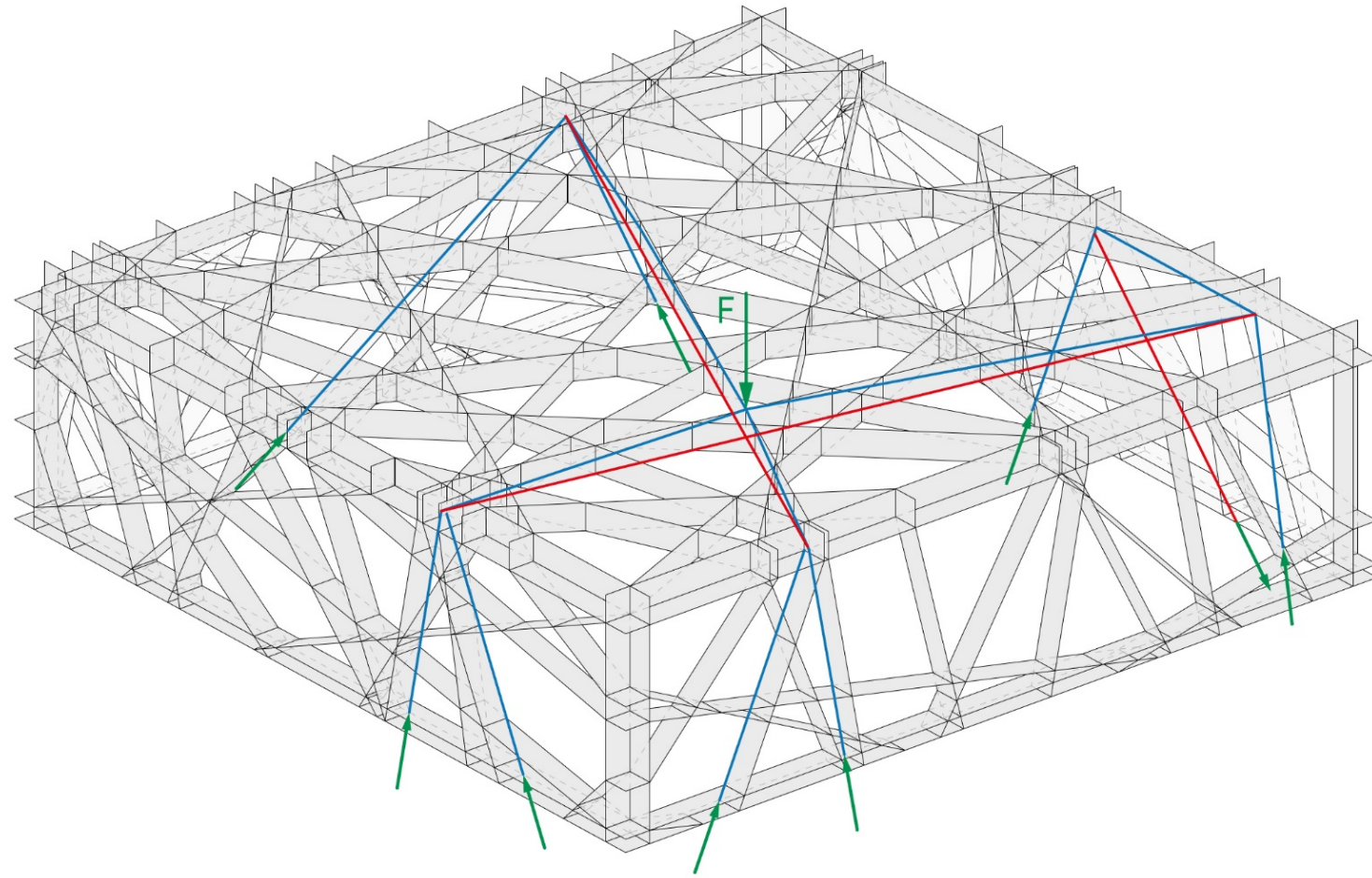


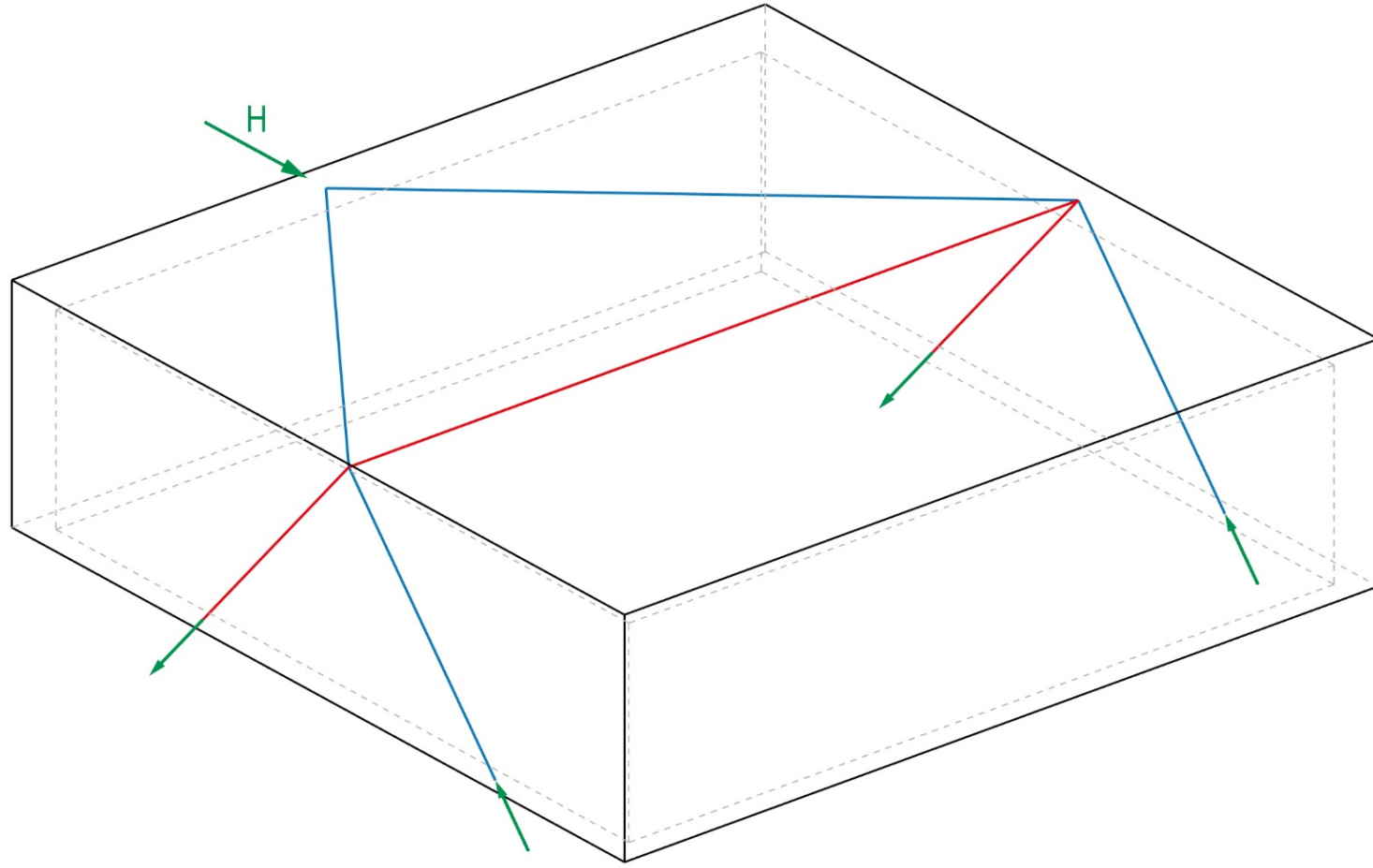
Serpentine Gallery, London, 2002, Arch.: Toyo Ito, Ing.: Cecil Balmond



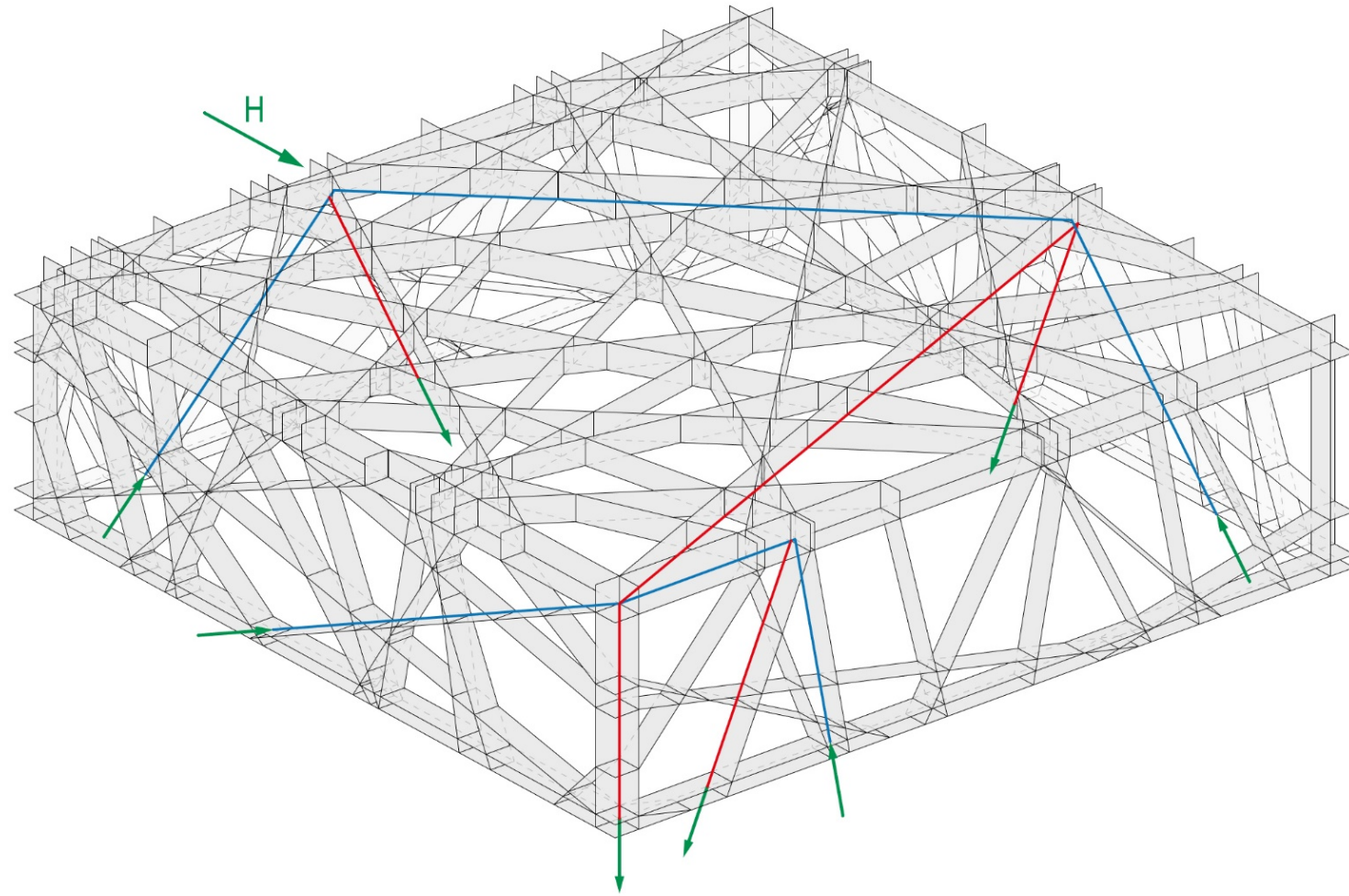
Serpentine Gallery, London, 2002, Arch.: Toyo Ito, Ing.: Cecil Balmond



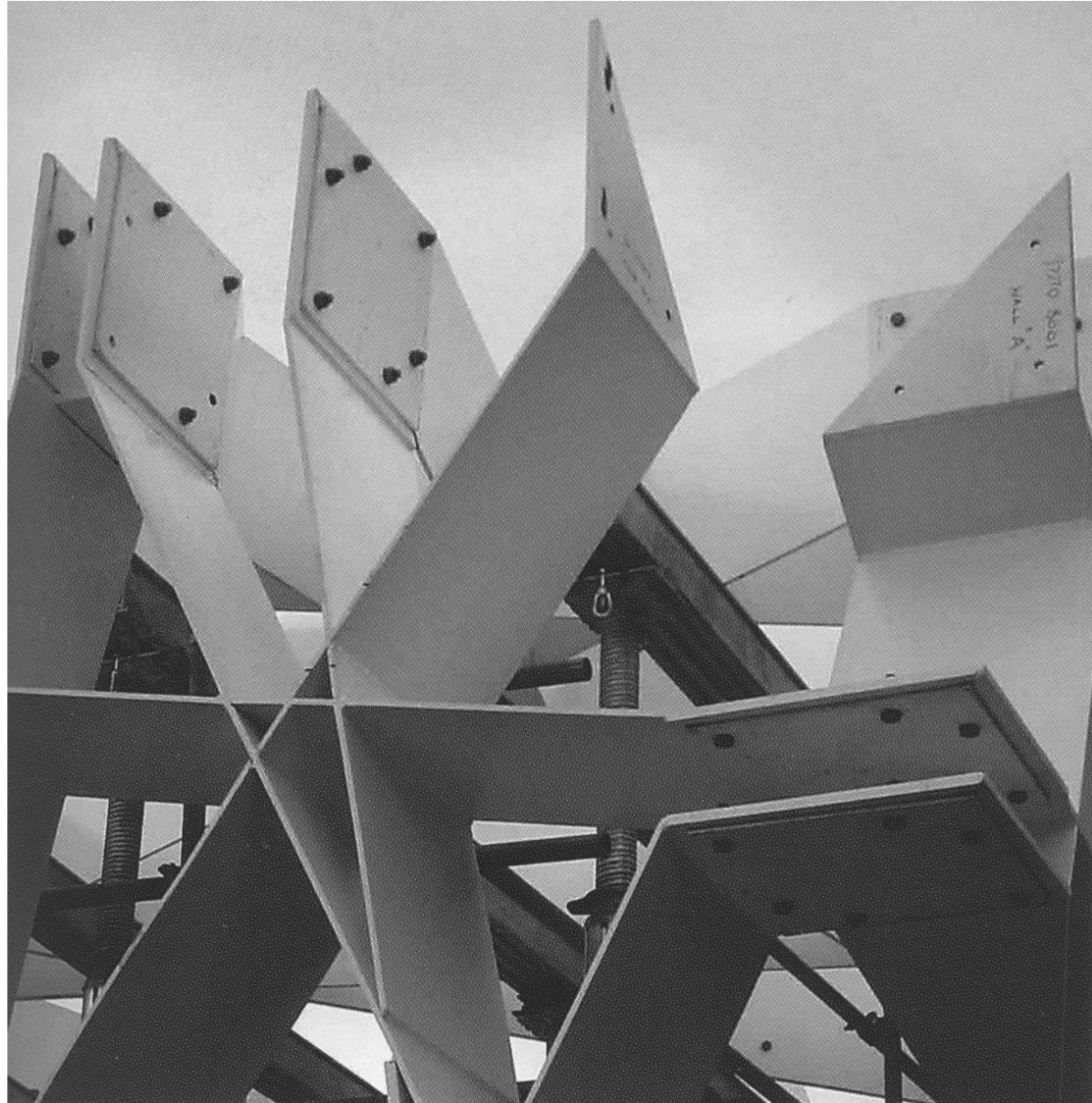




Serpentine Gallery, London, 2002, Arch.: Toyo Ito, Ing.: Cecil Balmond



Serpentine Gallery, London, 2002, Arch.: Toyo Ito, Ing.: Cecil Balmond



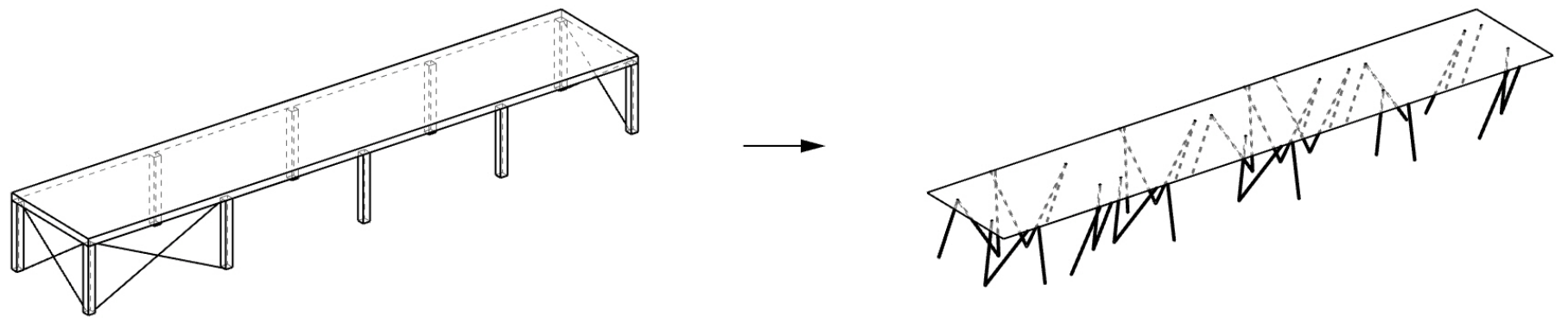
Serpentine Gallery, London, 2002, Arch.: Toyo Ito, Ing.: Cecil Balmond



Serpentine Gallery, London, 2002, Arch.: Toyo Ito, Ing.: Cecil Balmond



Serpentine Gallery, London, 2002, Arch.: Toyo Ito, Ing.: Cecil Balmond





U-Bahnstation Sainte-Catherine, Brussels, 2007, Arch.: Olivier Noterman und Nicolas Vanden Eeckhoudt, Ing.: Ney and Partners



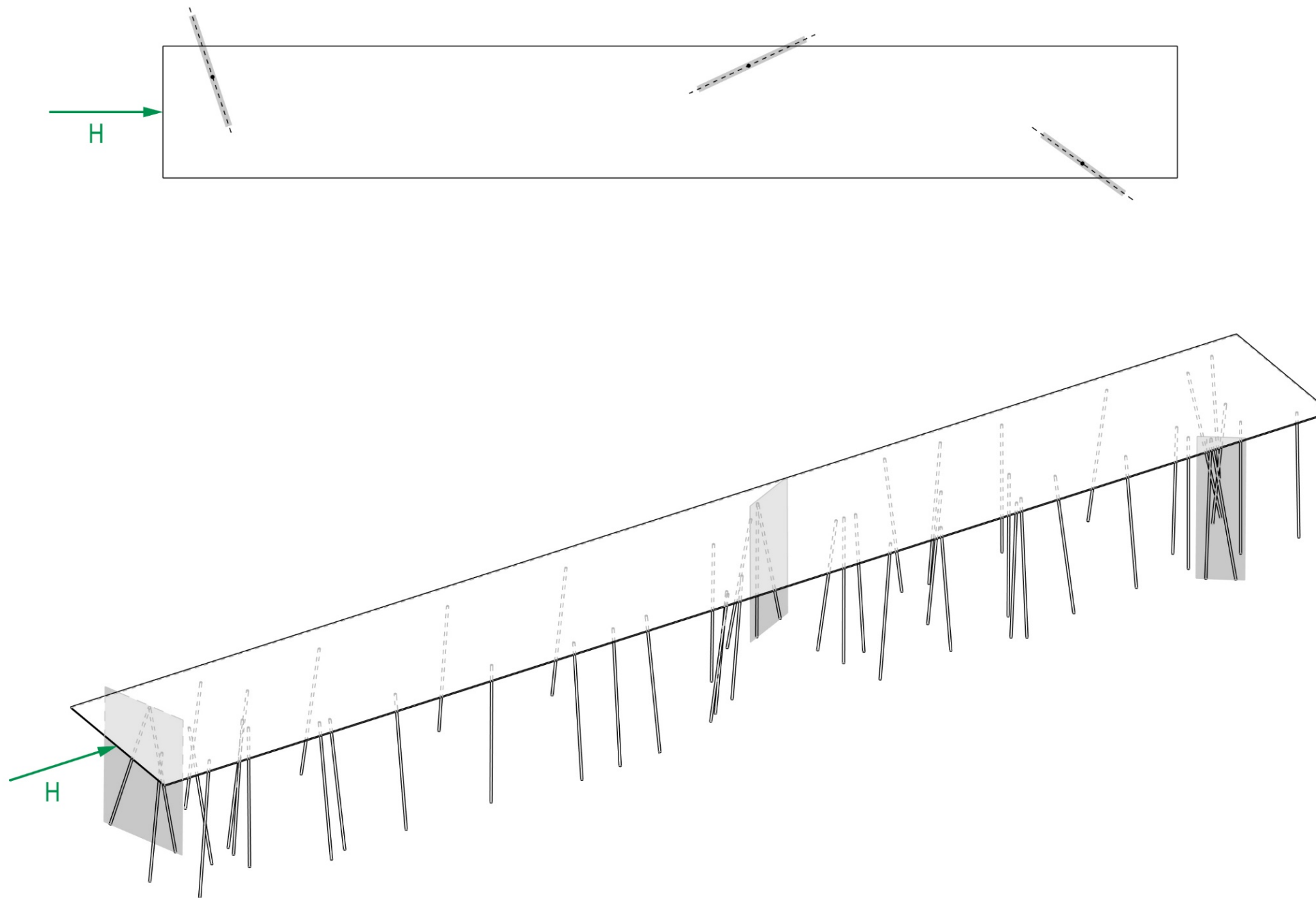
U-Bahnstation Sainte-Catherine, Brussels, 2007, Arch.: Olivier Noterman und Nicolas Vanden Eeckhoudt, Ing.: Ney and Partners

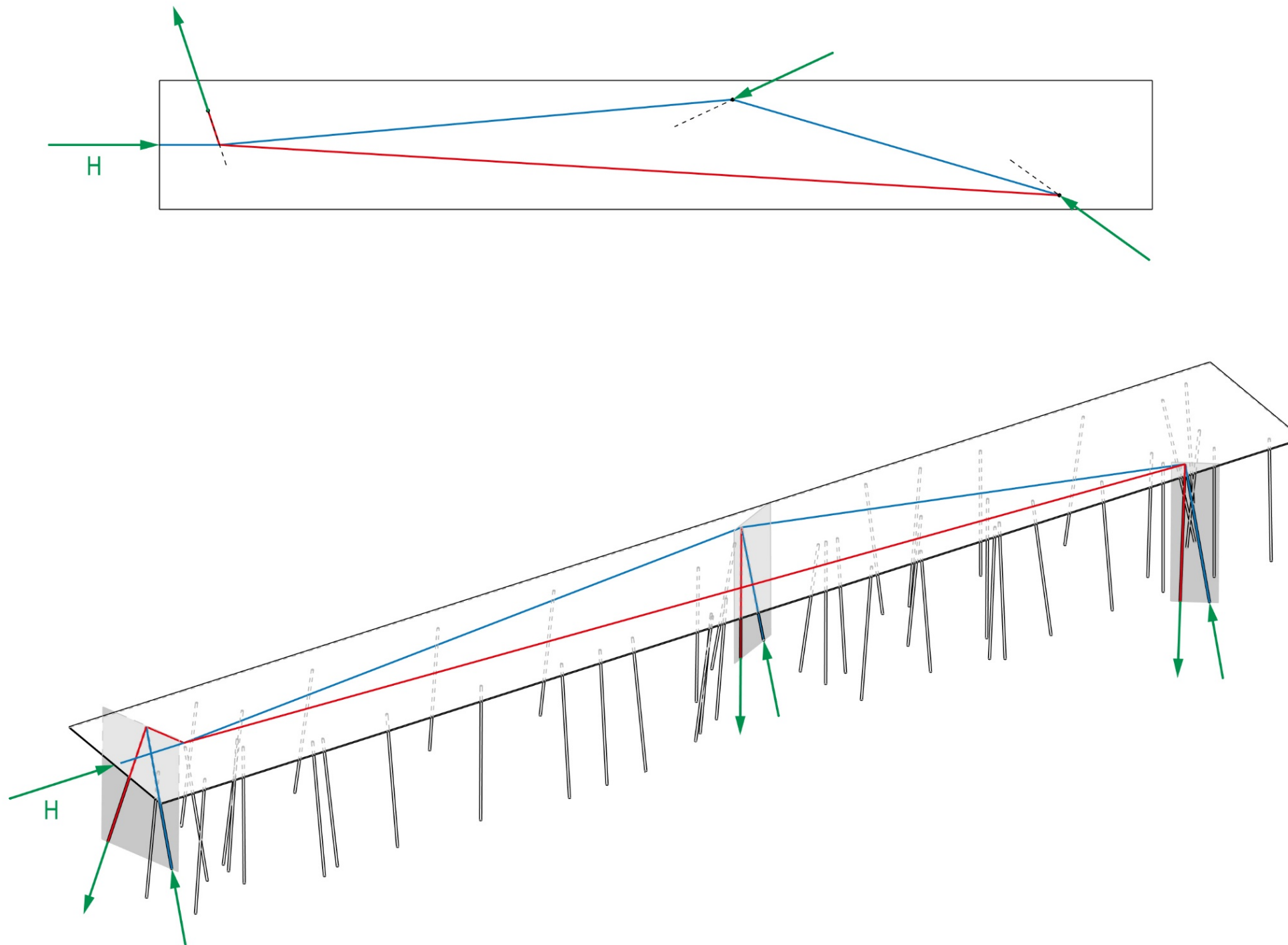


U-Bahnstation Sainte-Catherine, Brussels, 2007, Arch.: Olivier Noterman und Nicolas Vanden Eeckhoudt, Ing.: Ney and Partners



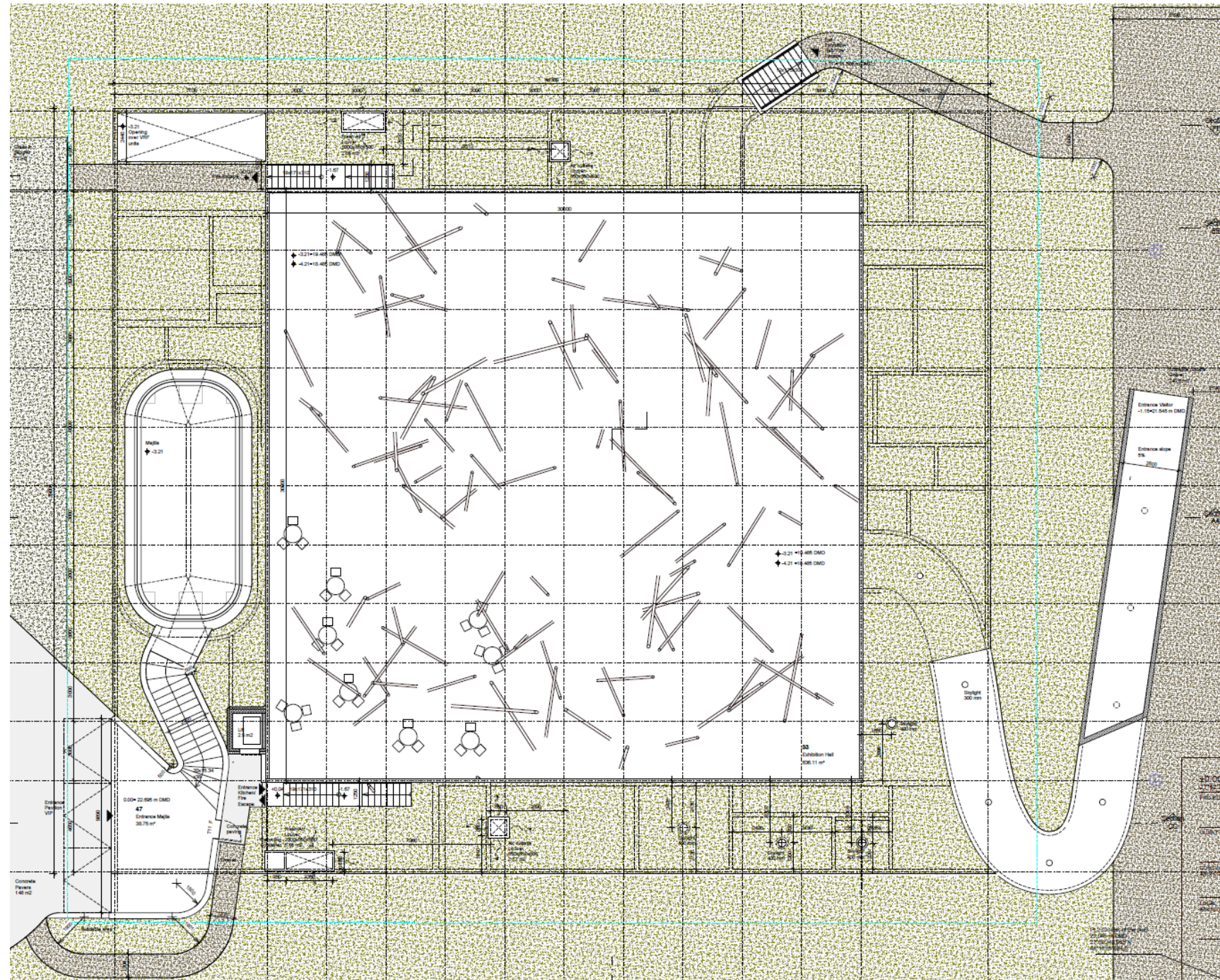
U-Bahnstation Sainte-Catherine, Brussels, 2007, Arch.: Olivier Noterman und Nicolas Vanden Eeckhoudt, Ing.: Ney and Partners

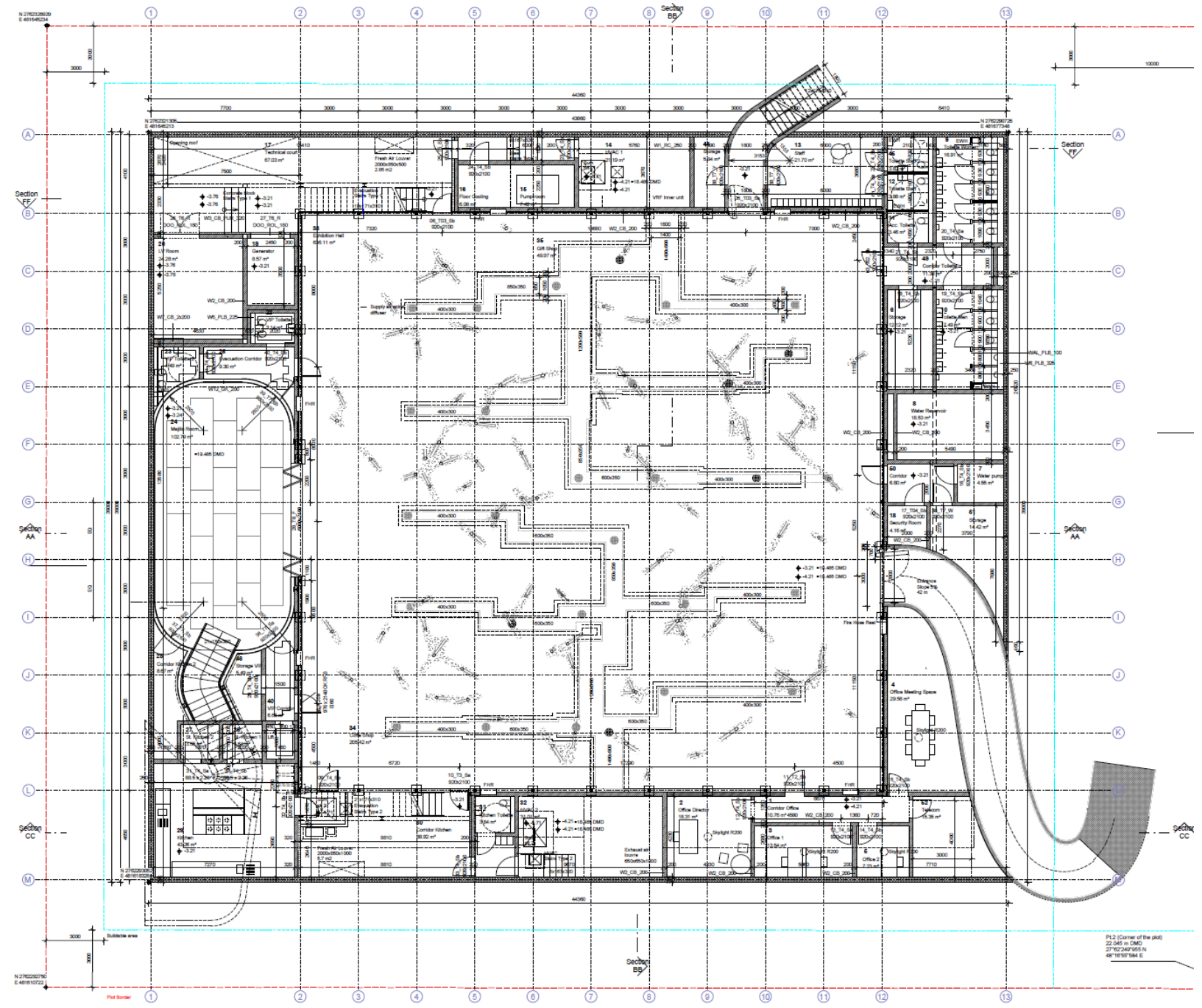


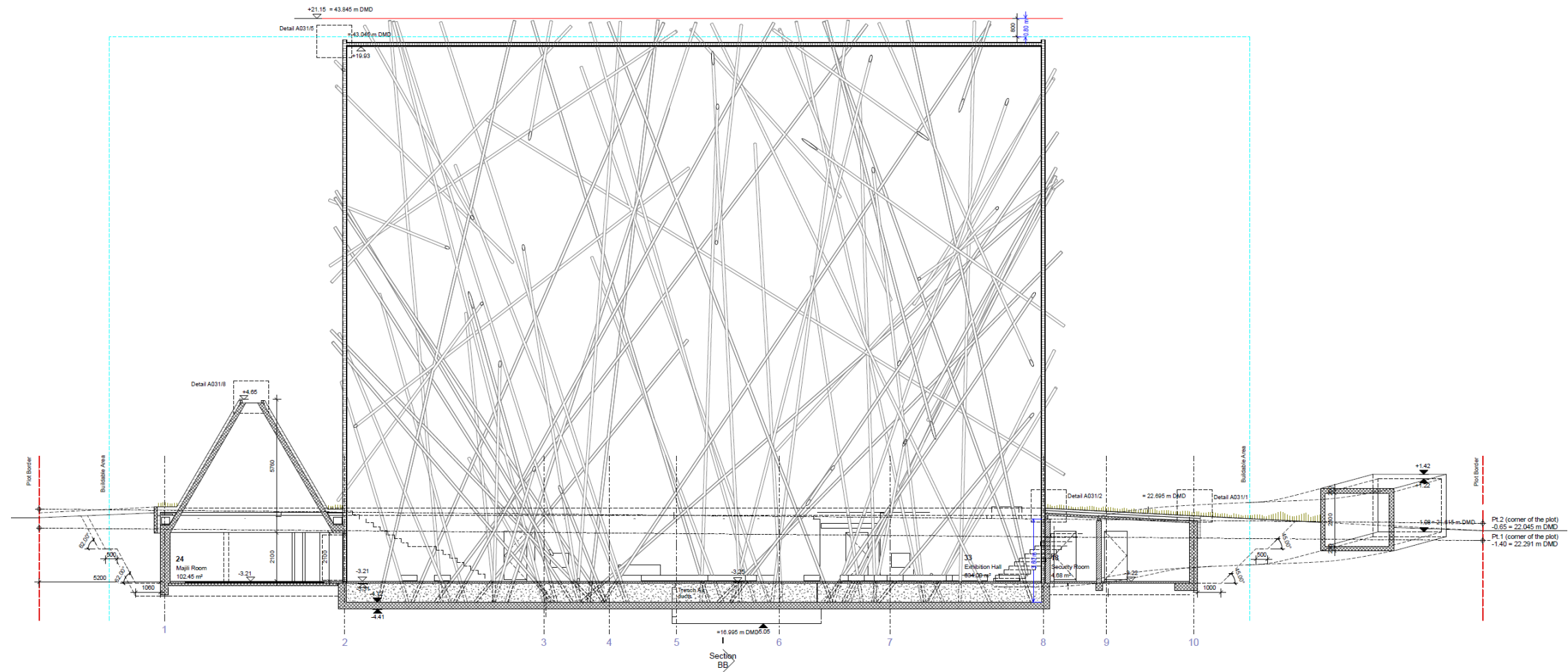




U-Bahnstation Sainte-Catherine, Brussels, 2007, Arch.: Olivier Noterman und Nicolas Vanden Eeckhoudt, Ing.: Ney and Partners

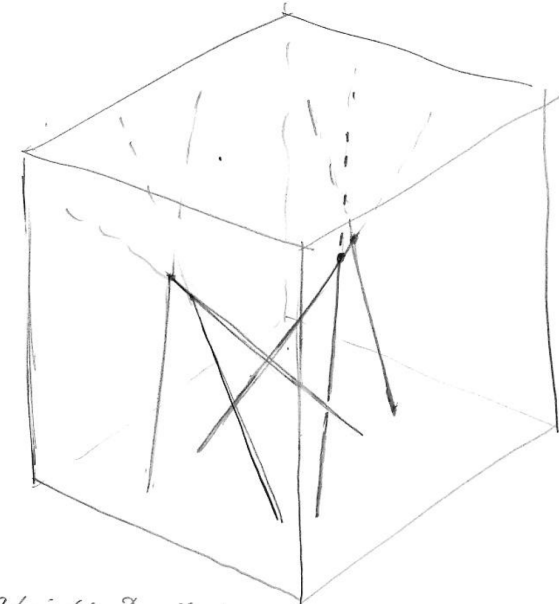




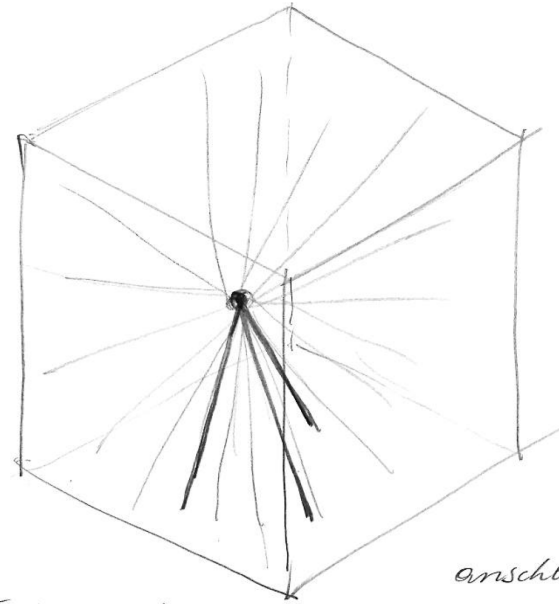




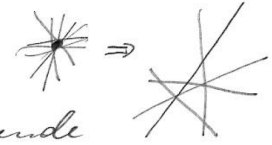
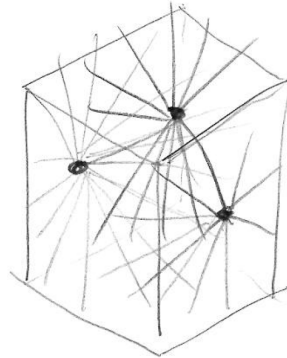
Überlegungen zum primären System 04.06.2019/57



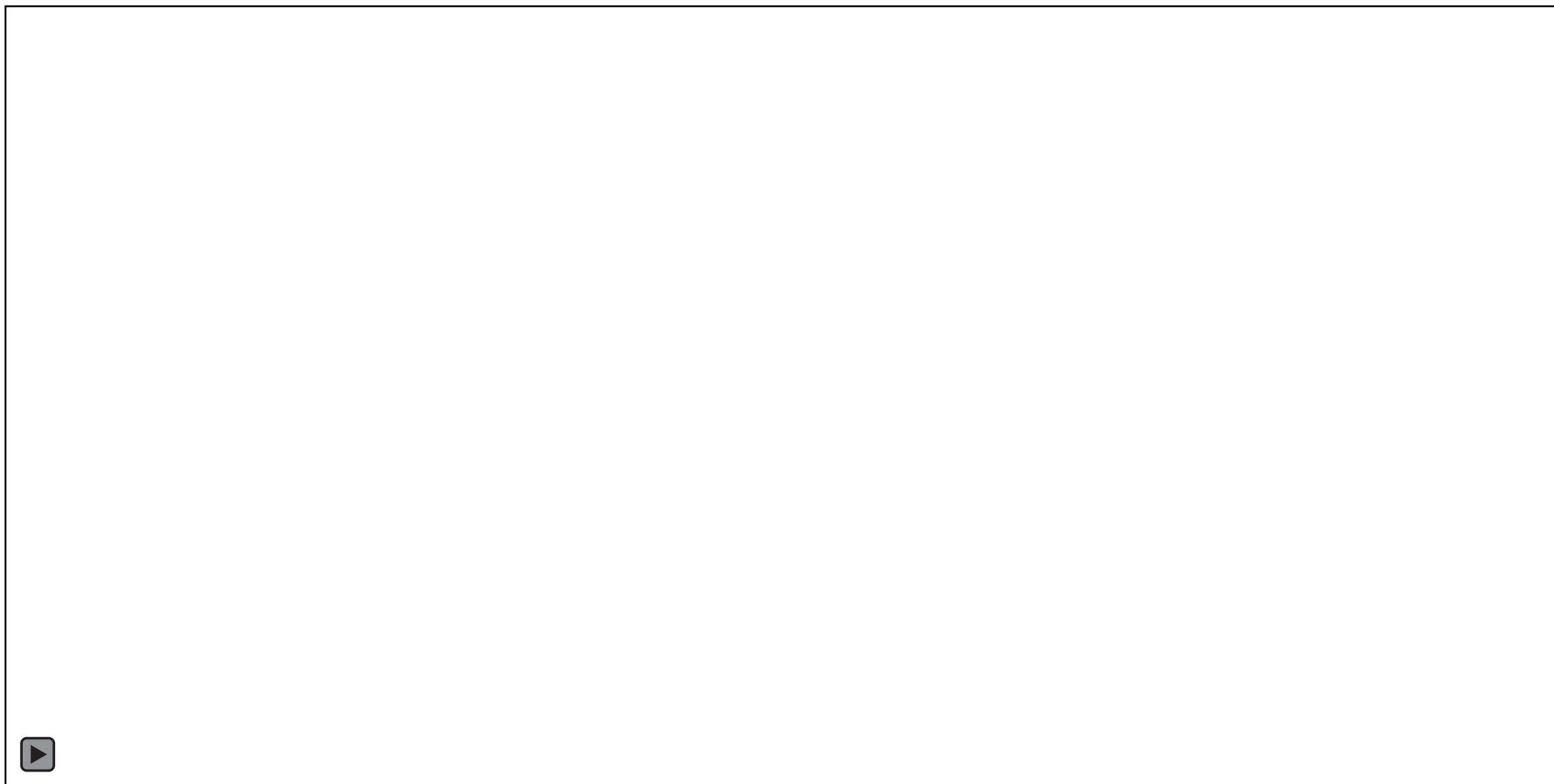
2 bis 4 Dreiecke



"Explosionen"



anschließende Entflechtung der zentralenpunkte



**SECTIONAL VIEW
A-A**

**DETAIL - BD
TYP. WALL OPENING DETAILS**
(OTHER INFORMATION REFER TO BHR-CRME-SD-0111)

General Notes

1. ALL DIMENSIONS ARE TO BE SCALED
2. ALL DIMENSIONS ARE TO BE CHECKED AND CORRELATED WITH OTHER DRAWINGS FOR WORK COMMENCING ON THE DRAWINGS TO BE RECORDED AND VERIFIED ON THE DRAWINGS IN THE EVENT OF ANY DISCREPANCY BETWEEN DRAWINGS AND WITH THE CONTRACTORS RESPONSIBILITY TO HANG THE TO THE ATTENTION OF THE ENGINEER

Key plan

Mecca

Draw References -

Sl. No	Description	Rev. Date
1.	IFC - 8050 to 8056	01 - 20/12/2019
2.	IFC - 8050 to 8056	-
3.	IFC - A002 to A008, A008, A009	-
4.	IFC - A007	00 - 06/05/2019
5.	IFC - A051 & A055	01 - 20/12/2019
6.	IFC - A052 & A055	02 - 07/21/2020
7.	BHR-CRME-CDD-ST-0003	02 - 04/12/2019
8.	BHR-CRME-CDD-ST-0003A	01 - 12/12/2019

02	Issued For Approval	GCS	RJS	11-FEB-20
FOR COMMENTS UPDATED - 28.01.2020				
01	Issued For Approval	GCS	RJS	19-JAN-20
FOR SECTION AA - REV 1 - 28.12.2019				
00	Issued For Approval	RAJ	RJS	25-DEC-19
FOR SECTION AA - REV 1 - 20.12.2019				

Rev.	Description	Drawn	CHKD	Date

Client

EXPO 2020 **BAHRAIN AUTHORITY OF CULTURE AND ANTIQUITIES**
P.O. Box 2158 - Manama - Kingdom of Bahrain

Consultant Architect: Christian Kerez Zurich AG
Escherstrasse 9 - 8008 Zurich - Switzerland
Neumythenstrasse 35 - 10585 Berlin - Germany - Tel: +49 30 94 71 22 90 - mail@kerez.ch

Architect Of Record: WAREES WEINER FALAJ
مهندسين ومعماريين
P.O. Box 12345 - Dubai - UAE

Main Contractor
CIMOLAI RIMOND Cimolai Rimond Middle East General Contracting LLC
3403, Adasa Tower, Al Reem Island P.O. Box: 135475, Abu Dhabi - UAE, E: info@cimolairimond.me

Steel Contractor
EXTRA CO INDUSTRIES L.L.C.
P.O. Box 12345 - Dubai - UAE

Project Name
BAHRAIN PAVILION - EXPO 2020 DUBAI, UAE
C-2 WBS-48 DISTRICT C

Drawing Title
ELEVATION VIEW

Drawn	Checked	Approved
GCS	RJS	IPC

Scale (A1)	Date	Status
NTS	19-JAN-20	-

Drawing No.	Rev.
BHR-CRME-SD-ST-0111	02

DETAIL - AF
TYPICAL ONLY @ ABOVE ROOF LEVEL

3D-VIEW

DETAIL - AE
TYPICAL ONLY @ SIDE FACES

3D-VIEW

DETAIL - AG
TYP. PIPE INTERSECTION FIELD WELD CONNECTION

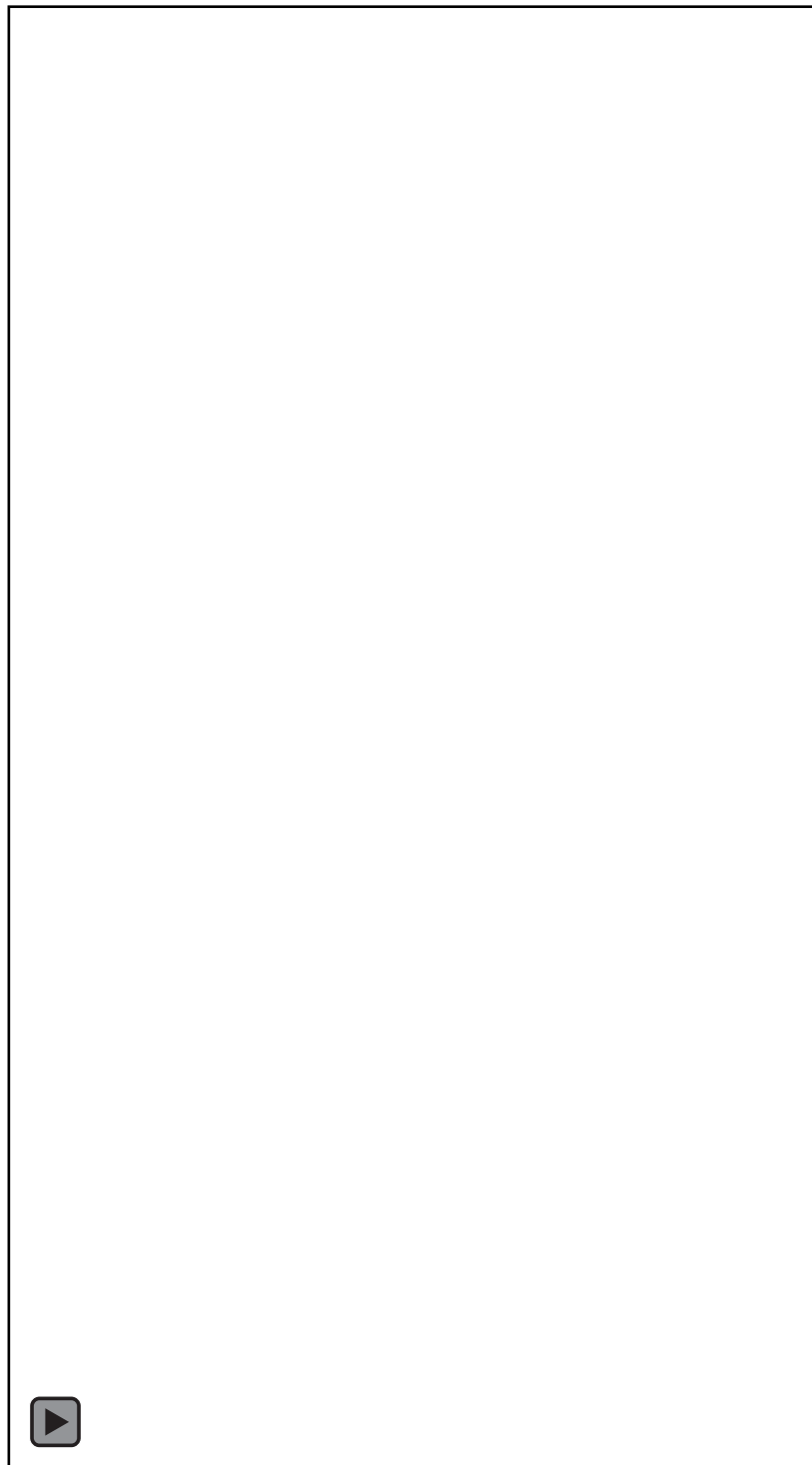
3D-VIEW

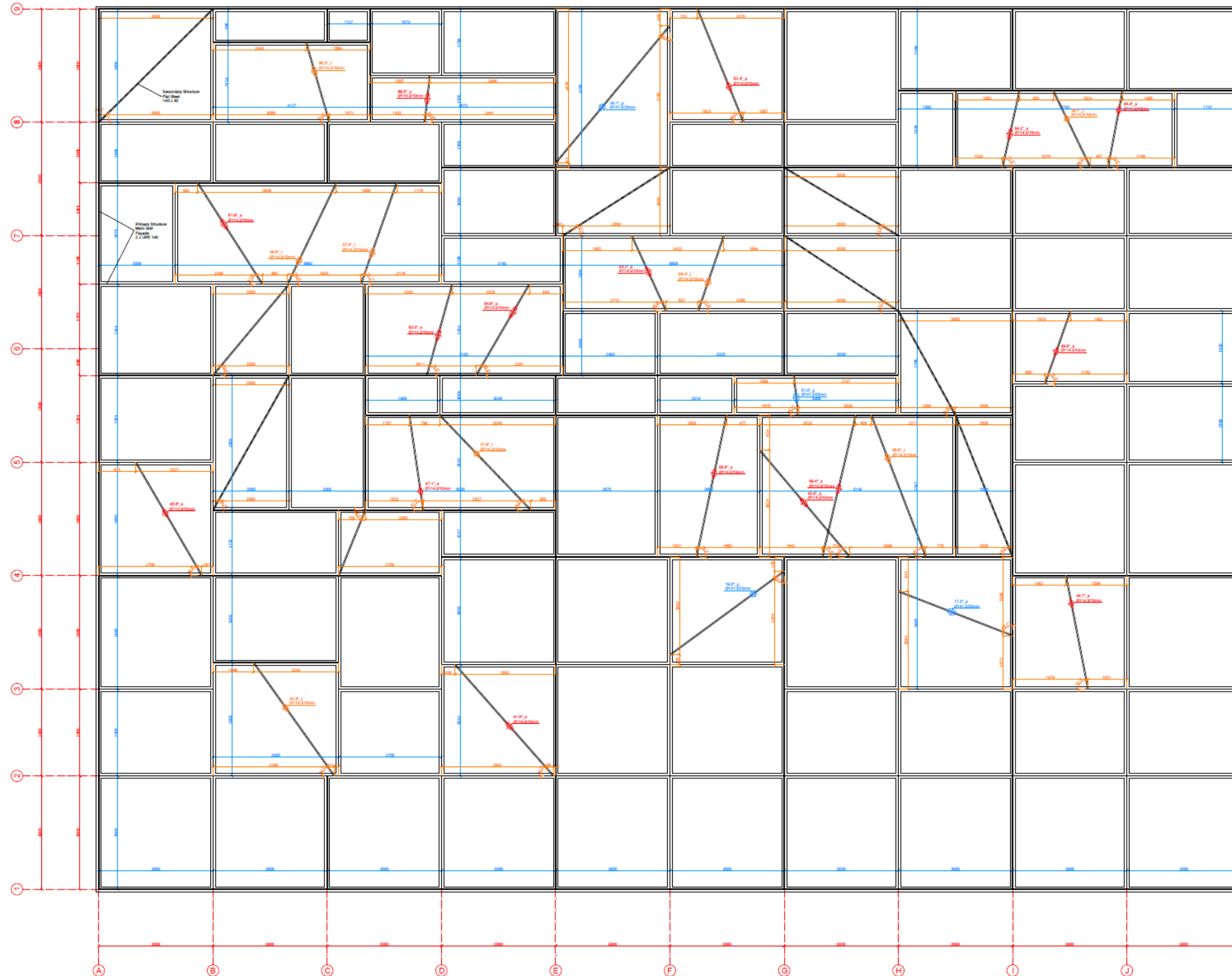




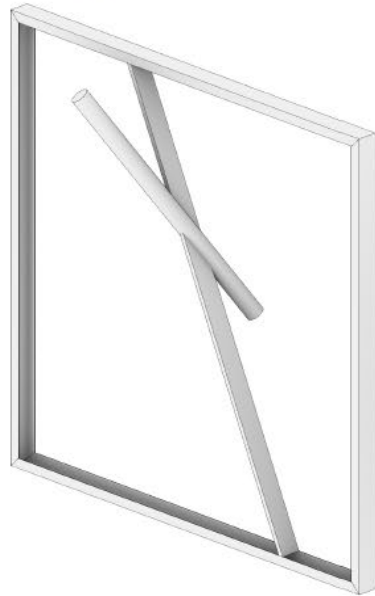


Bahrain Pavilion Dubai Expo 2020, Dubai, 2020, Arch.: Christian Kerez, Ing.: Dr. Schwartz Consulting

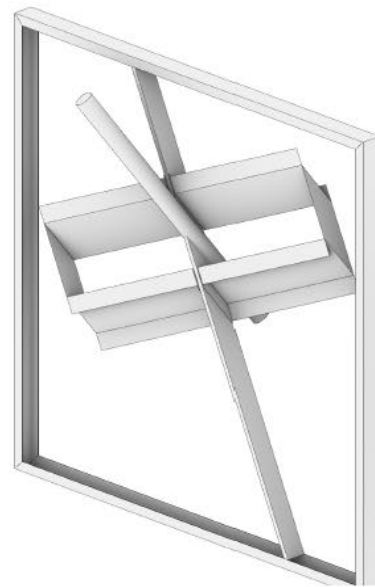




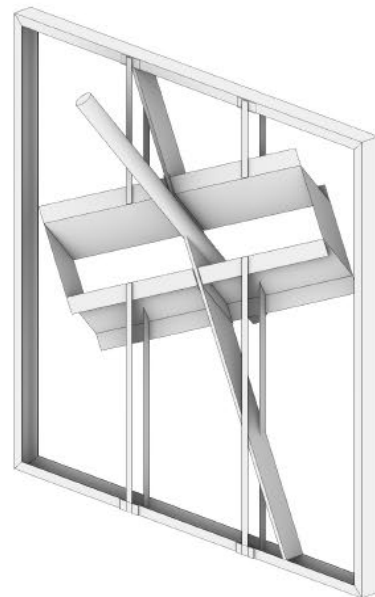
Roof edge - connection of the panels



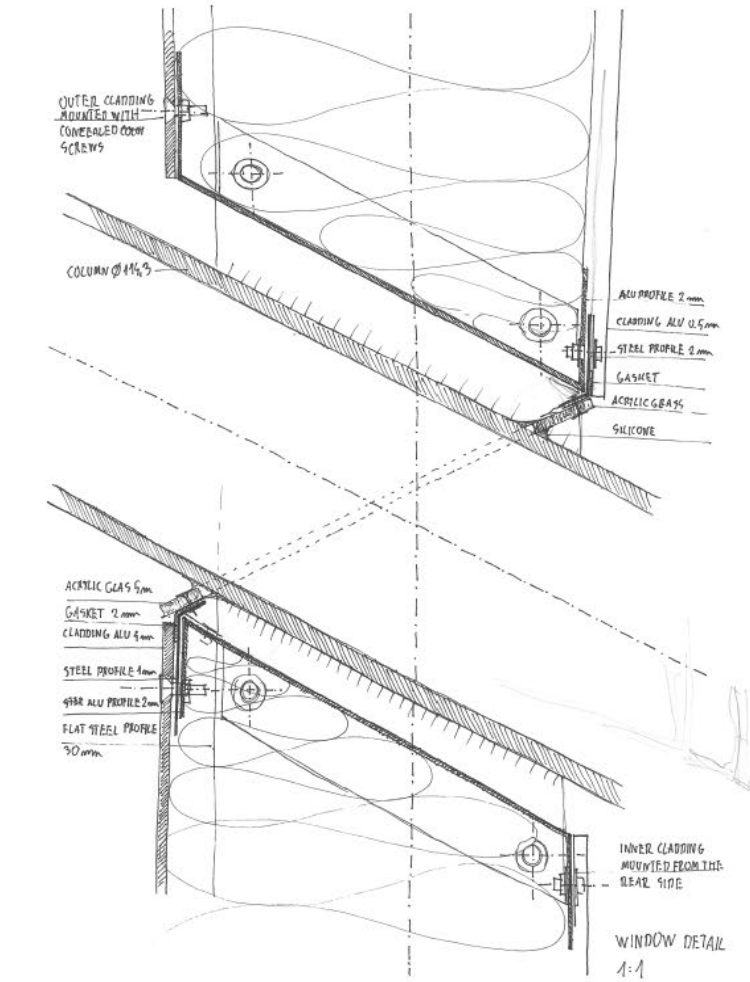
1. Main grid UPE 140



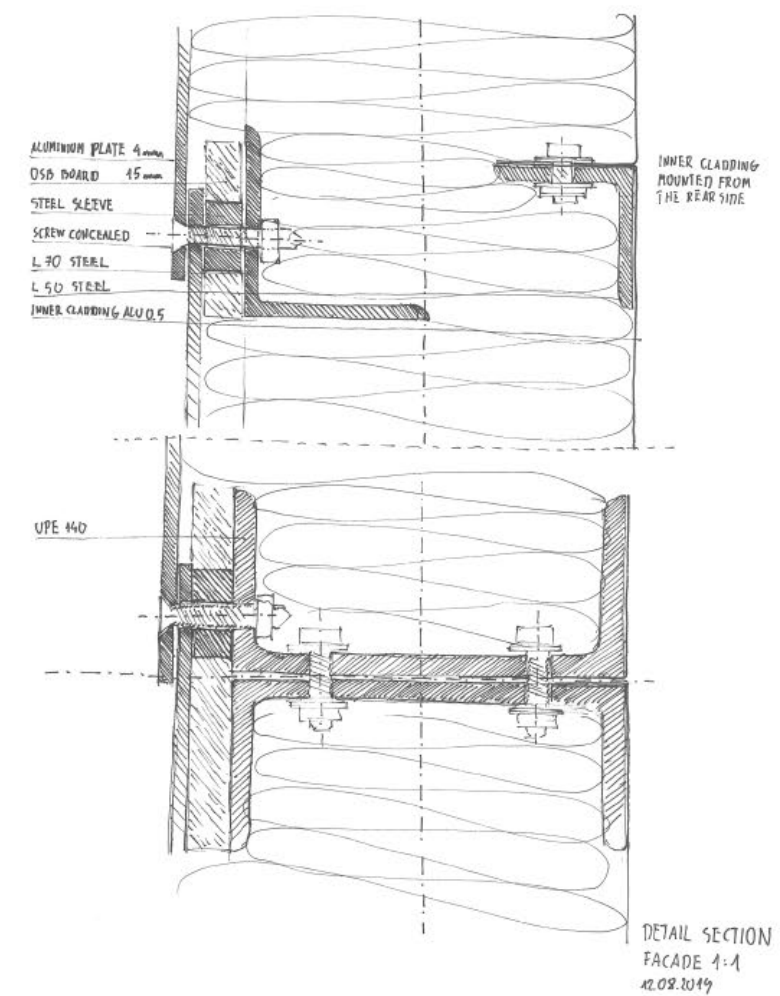
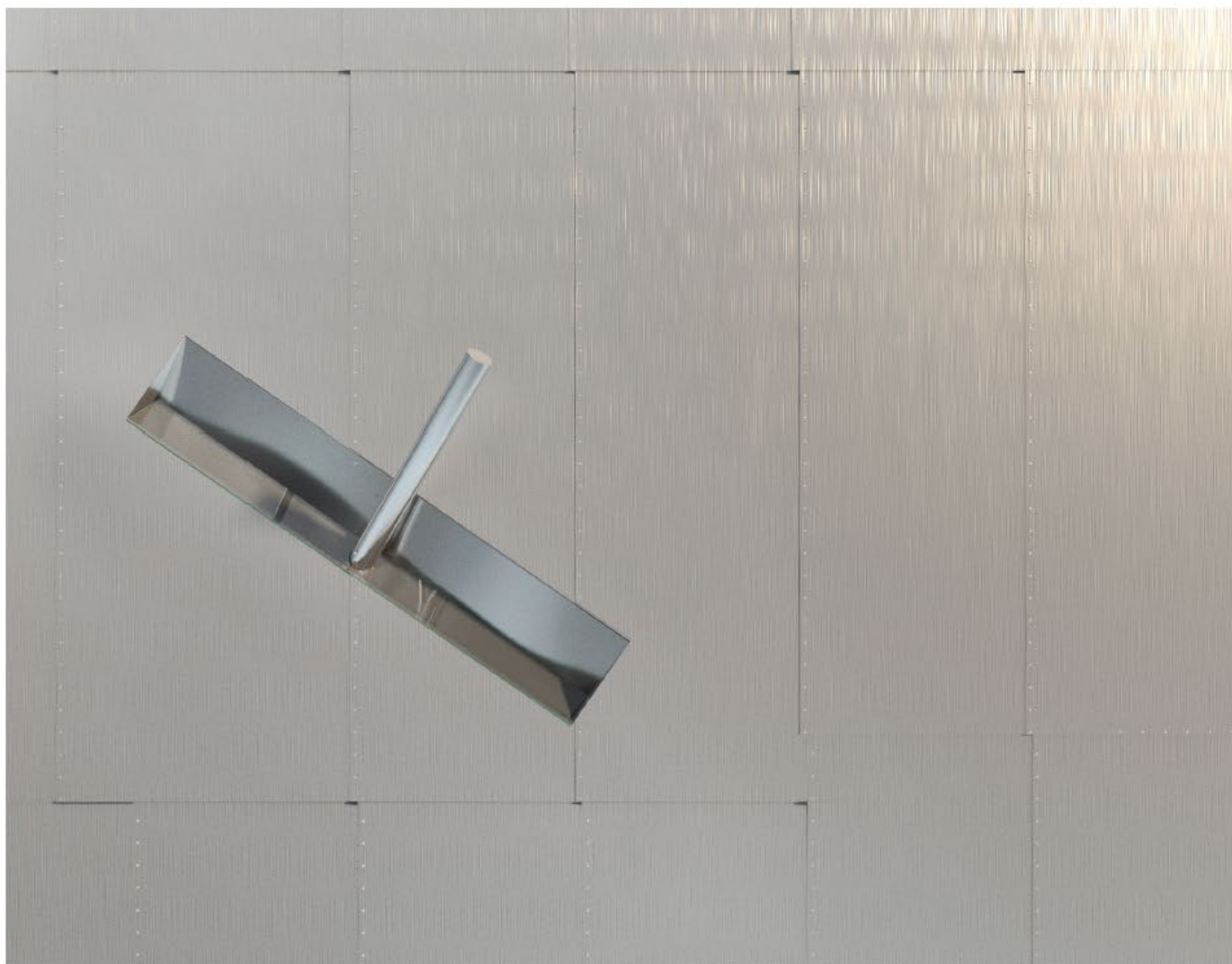
2. Window frame steel sheet 2 mm



3. Understructure cladding L70, L50



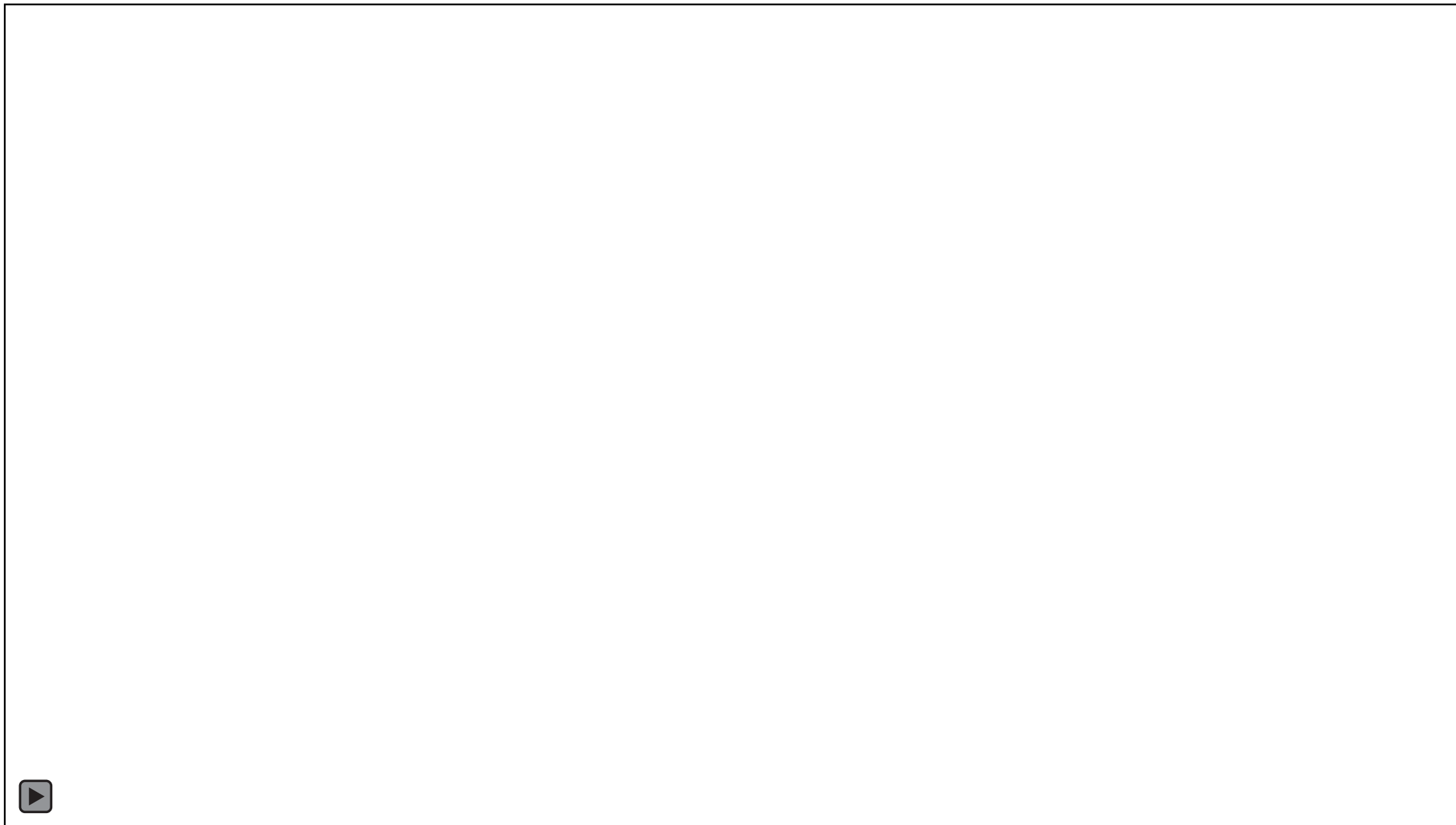
Option 1, detail 1:2





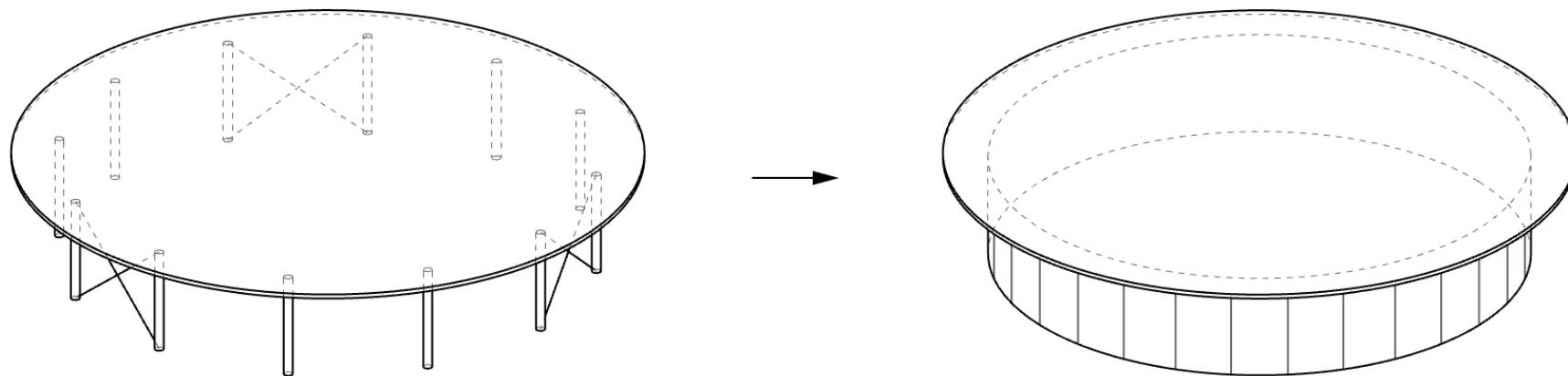








Bahrain Pavilion Dubai Expo 2020, Dubai, 2020, Arch.: Christian Kerez, Ing.: Dr. Schwartz Consulting





Steve Jobs Theater, Cupertino, 2017, Arch.: Foster + Partners, Ing.: Eckersley O'Callaghan



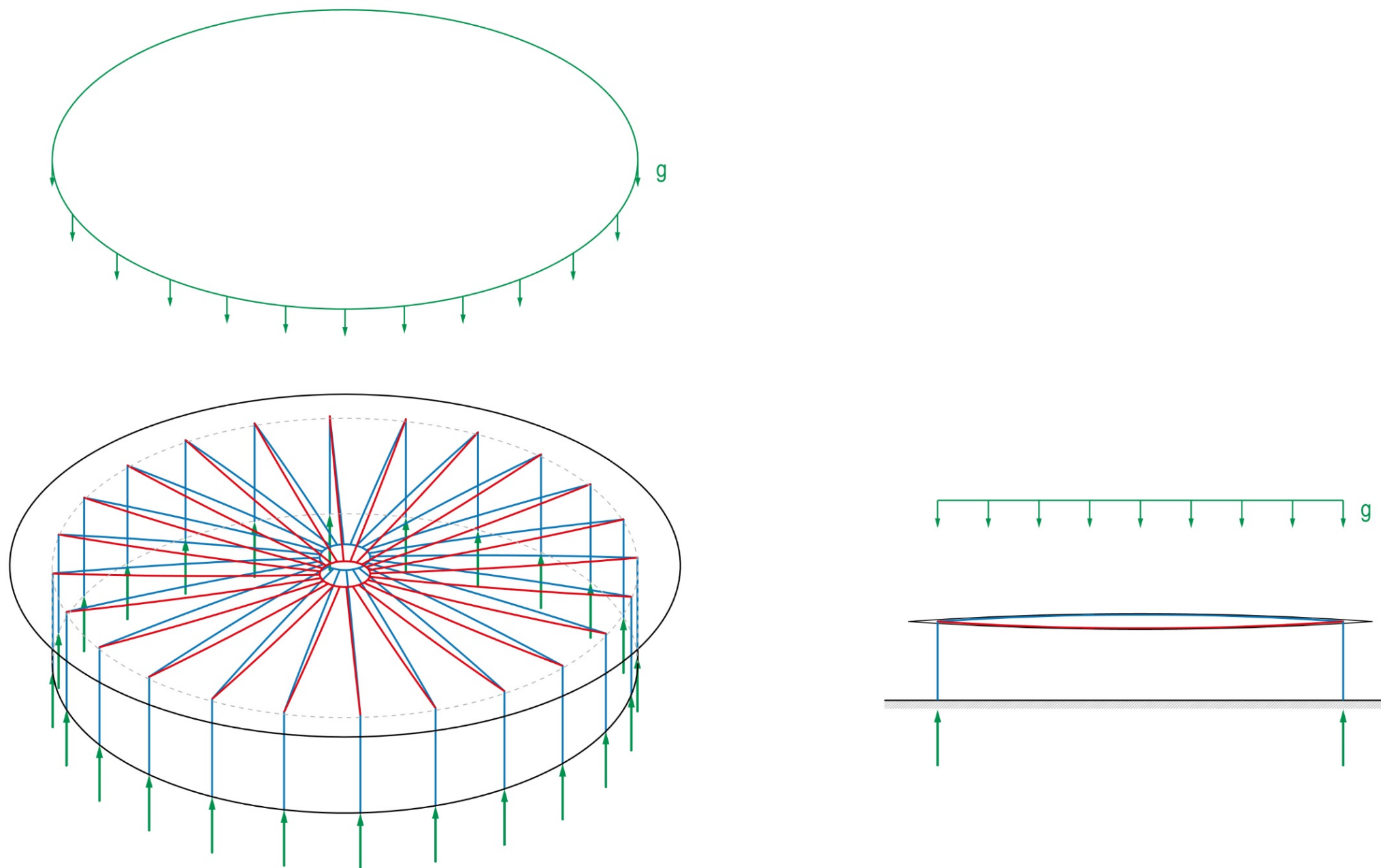
Steve Jobs Theater, Cupertino, 2017, Arch.: Foster + Partners, Ing.: Eckersley O'Callaghan



Steve Jobs Theater, Cupertino, 2017, Arch.: Foster + Partners, Ing.: Eckersley O'Callaghan

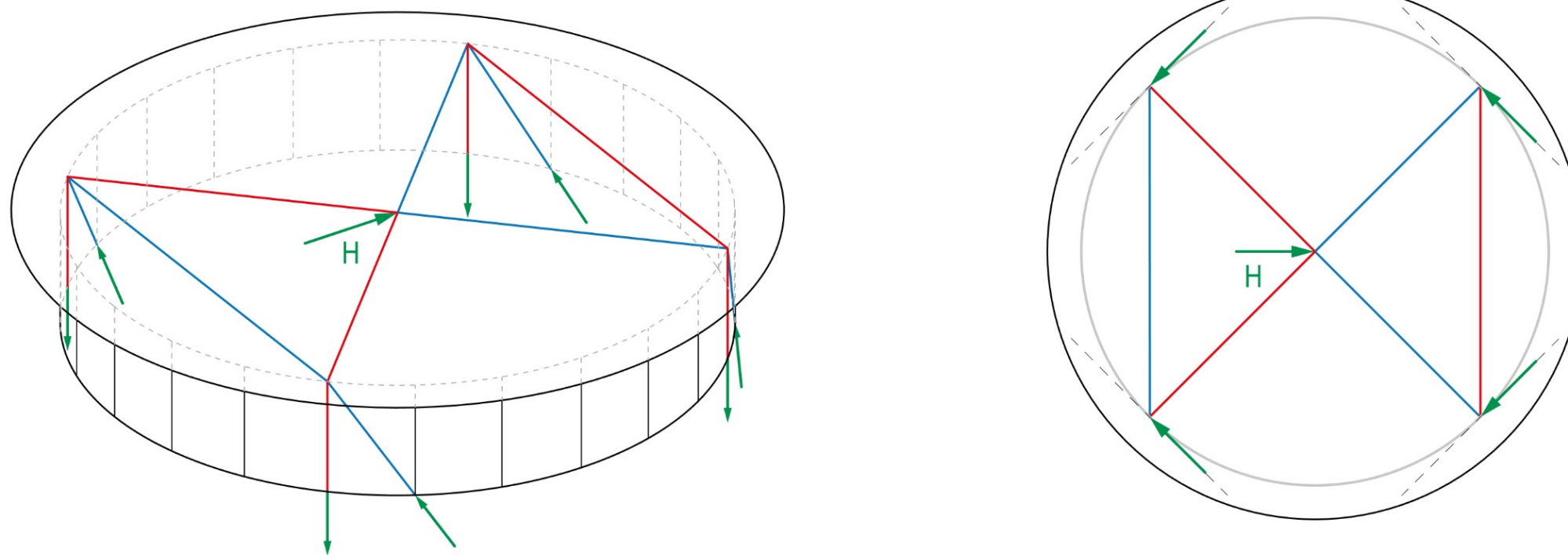


Steve Jobs Theater, Cupertino, 2017, Arch.: Foster + Partners, Ing.: Eckersley O'Callaghan



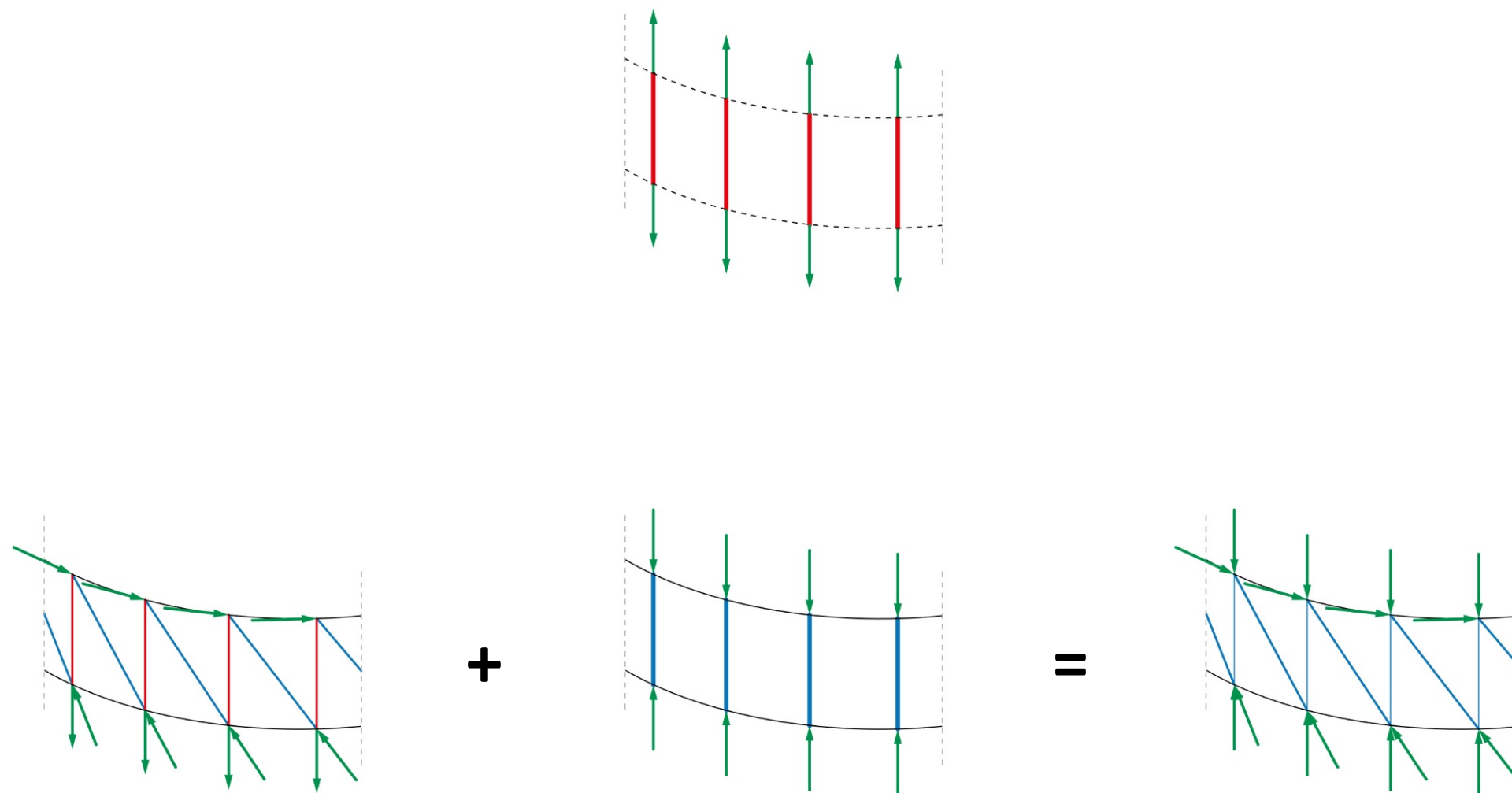


Steeve Jobs Theater, Cupertino, 2017, Arch.: Foster + Partners, Ing.: Eckersley O'Callaghan



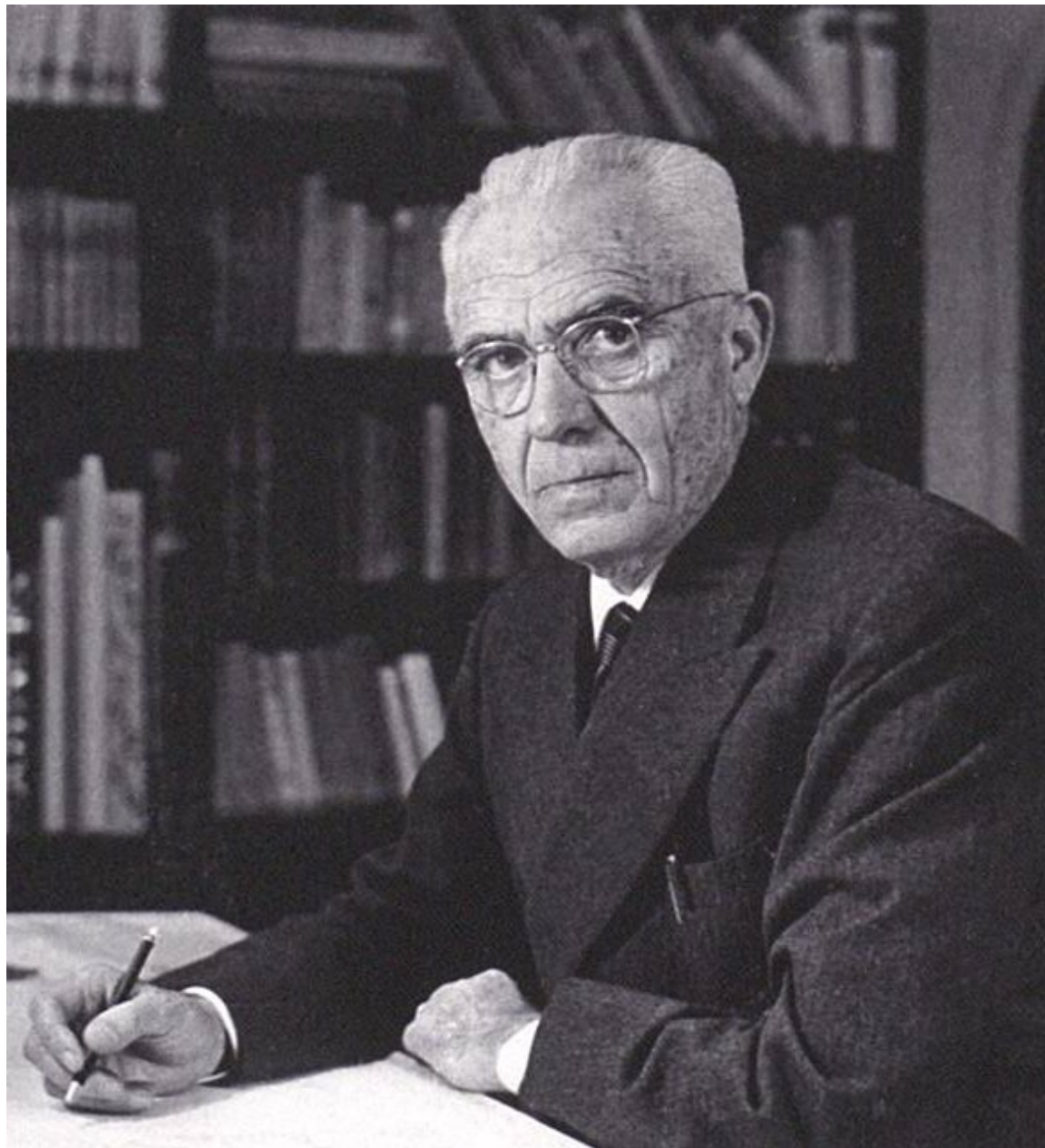


Steve Jobs Theater, Cupertino, 2017, Arch.: Foster + Partners, Ing.: Eckersley O'Callaghan





Steve Jobs Theater, Cupertino, 2017, Arch.: Foster + Partners, Ing.: Eckersley O'Callaghan



“It’s about finding ways to render the collaboration between architects and engineers more and more fruitful. A collaboration which has to start at the beginning of architectural planning in order to avoid formalistic excess as well as technically impracticable solutions.”

Pier Luigi Nervi, on the topic of architects and engineers, Casabelle, 1959

Tragwerksentwurf III

Structural Design III

Joseph Schwartz · Philippe Block

Tragwerksentwurf III

Structural Design III

>> Lernziele
Learning Goals

Semesterübersicht
Semester overview

Unterrichtsmaterial
Course material

Teaching Team
Teaching team

Am Ende des Kurses werden die Studierenden in der Lage sein:

At the conclusion of Structural Design III, students will be able to:

1. das strukturelle Verhalten eines Gebäudes zu verstehen.

1. understand the structural behaviour of a building.

Am Ende des Kurses werden die Studierenden in der Lage sein:

At the conclusion of Structural Design III, students will be able to:

1. das strukturelle Verhalten eines Gebäudes zu verstehen.

1. understand the structural behaviour of a building.

2. effiziente und expressive Tragwerkssysteme zu entwerfen

2. design efficient and expressive structural systems.

Am Ende des Kurses werden die Studierenden in der Lage sein:

At the conclusion of Structural Design III and IV, students will be able to:

1. das strukturelle Verhalten eines Gebäudes zu verstehen.

1. understand the structural behaviour of a building.

2. effiziente und expressive Tragwerkssysteme zu entwerfen

2. design efficient and expressive structural systems.

3. die Verwendung der graphischen Statik von 2D zu 3D zu erweitern.

3. extend the application of graphic statics from 2D to 3D.

Am Ende des Kurses werden die Studierenden in der Lage sein:

At the conclusion of Structural Design III, students will be able to:

1. das strukturelle Verhalten eines Gebäudes zu verstehen.

1. understand the structural behaviour of a building.

2. effiziente und expressive Tragwerkssysteme zu entwerfen

2. design efficient and expressive structural systems.

3. die Verwendung der graphischen Statik von 2D zu 3D zu erweitern.

3. extend the application of graphic statics from 2D to 3D.

4. die strukturellen und architektonischen Möglichkeiten der wichtigsten Baumaterialien auszuloten.

4. assess the structural and architectural potentials of the most important building materials.

Am Ende des Kurses werden die Studierenden in der Lage sein:

At the conclusion of Structural Design III, students will be able to:

1. das strukturelle Verhalten eines Gebäudes zu verstehen.

1. understand the structural behaviour of a building.

2. effiziente und expressive Tragwerkssysteme zu entwerfen

2. design efficient and expressive structural systems.

3. die Verwendung der graphischen Statik von 2D zu 3D zu erweitern.

3. extend the application of graphic statics from 2D to 3D.

4. die strukturellen und architektonischen Möglichkeiten der wichtigsten Baumaterialien auszuloten.

4. assess the structural and architectural potentials of the most important building materials.

5. eine sinnvolle Beziehung zwischen Kraft, Form und Material zu erzeugen.

5. establish a relationship between material aspects, form and forces.

Am Ende des Kurses werden die Studierenden in der Lage sein:

At the conclusion of Structural Design III, students will be able to:

1. das strukturelle Verhalten eines Gebäudes zu verstehen.

1. understand the structural behaviour of a building.

2. effiziente und expressive Tragwerkssysteme zu entwerfen

2. design efficient and expressive structural systems.

3. die Verwendung der graphischen Statik von 2D zu 3D zu erweitern.

3. extend the application of graphic statics from 2D to 3D.

4. die strukturellen und architektonischen Möglichkeiten der wichtigsten Baumaterialien auszuloten.

4. assess the structural and architectural potentials of the most important building materials.

5. eine sinnvolle Beziehung zwischen Kraft, Form und Material zu erzeugen.

5. establish a relationship between material aspects, form and forces.

6. zu verstehen, wie Konstruktionsdetails aus struktureller Sicht funktionieren.

6. understand how construction details work from a structural perspective.

Am Ende des Kurses werden die Studierenden in der Lage sein:

At the conclusion of Structural Design III, students will be able to:

1. das strukturelle Verhalten eines Gebäudes zu verstehen.

1. understand the structural behaviour of a building.

2. effiziente und expressive Tragwerkssysteme zu entwerfen

2. design efficient and expressive structural systems.

3. die Verwendung der graphischen Statik von 2D zu 3D zu erweitern.

3. extend the application of graphic statics from 2D to 3D.

4. die strukturellen und architektonischen Möglichkeiten der wichtigsten Baumaterialien auszuloten.

4. assess the structural and architectural potentials of the most important building materials.

5. eine sinnvolle Beziehung zwischen Kraft, Form und Material zu erzeugen.

5. establish a relationship between material aspects, form and forces.

6. zu verstehen, wie Konstruktionsdetails aus struktureller Sicht funktionieren.

6. understand how construction details work from a structural perspective.

7. eine Dimensionierung von Tragwerkselementen durchzuführen.

7. carry out basic dimensioning of structural elements.

Tragwerksentwurf III

Structural Design III

Lernziele

Learning Goals



Semesterübersicht

Semester overview

Unterrichtsmaterial

Course material

Teaching Team

Teaching team

Woche <i>Week</i>	Datum <i>Date</i>	Vorlesung <i>Lecture</i>	Übung <i>Exercise</i>
	Fr. 12:45-15:45	HIL E3	Design studio
1	23.09.2022	V0: Architektur und Tragwerk <i>L0: Architecture and Structure</i>	
2	30.09.2022	V1: Stahl <i>L1: Steel</i>	
3	07.10.2022		Ü1: Stahl <i>E1: Steel</i>
4	14.10.2022	V2: Stahlbeton <i>L2: Reinforced concrete</i>	
5	21.10.2022		Ü2: Stahlbeton <i>E2: Reinforced concrete</i>
6	28.10.2022	Seminarwoche <i>Seminar week</i>	
7	04.11.2022	V3: Holz <i>L3: Timber</i>	
8	11.11.2022		Ü3: Holz <i>E3: Timber</i>
9	18.11.2022	V4: Mauerwerk <i>L4: Masonry</i>	
10	25.11.2022		Ü4: Mauerwerk <i>E4: Masonry</i>
11	02.12.2022	V5: Konstruktionsdetails <i>L5: Construction details</i>	
12	09.12.2022		Ü5: Konstruktionsdetails <i>E5: Construction details</i>
13	16.12.2022	Kein Unterricht <i>No classes</i>	
14	23.12.2022	Kein Unterricht <i>No classes</i>	

Tragwerksentwurf III

Structural Design III

Lernziele

Learning Goals

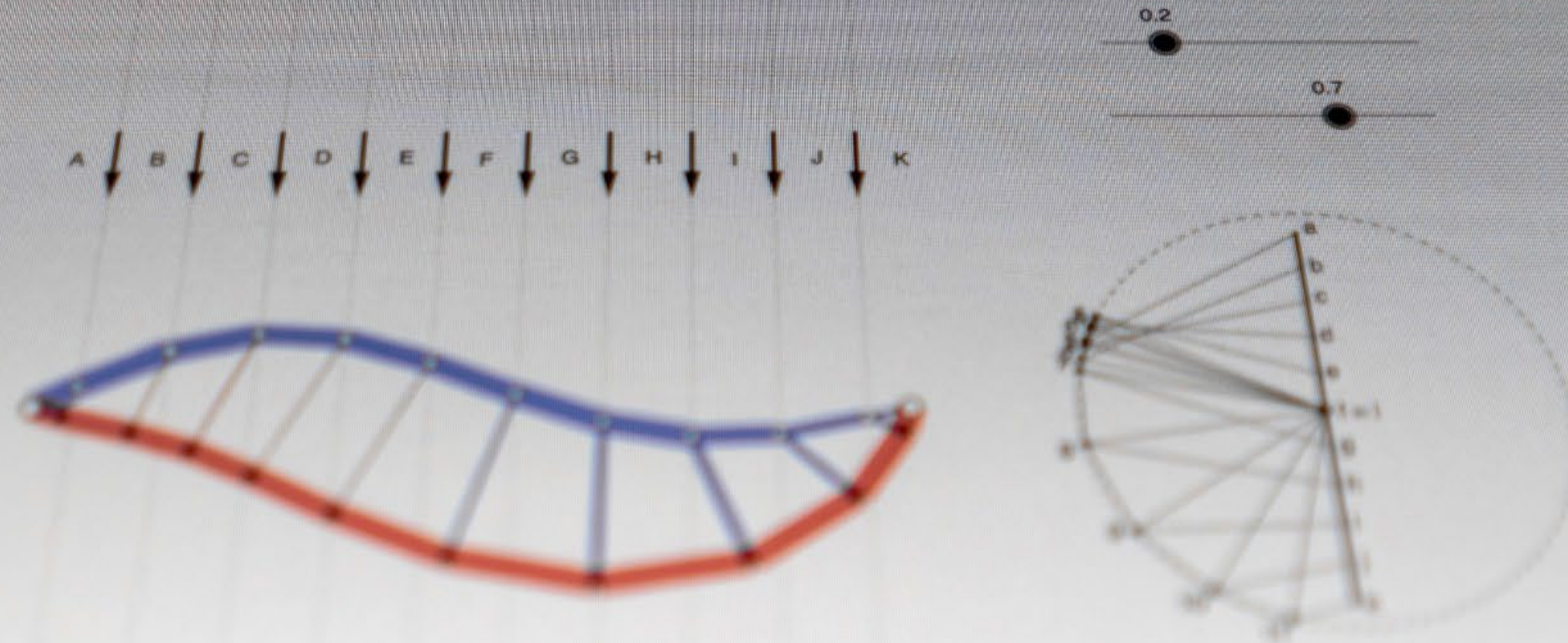
Semesterübersicht

Semester overview

>> Unterrichtsmaterial
Course material

Teaching Team

Teaching team



<http://block.arch.ethz.ch/eq>

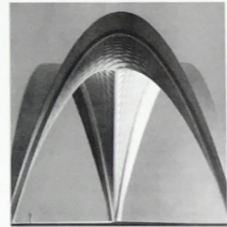


Bild 7.11: Modell für die Kathedrale von New Norcia bei Perth, 1936, Arch. P. L. Norris, E. Vachon & C. Vachon

New Norcia. Dieses Kreuzgewölbe wurde generiert durch die Kombination von drei gleichartigen Tonnengewölben. In diesem Fall ist für jedes Tonnengewölbe nur ein Element vorhanden und die resultierende Überdeckung ist im Grundriss dreiecksförmig und weist dabei nur drei Auflagerepunkte und drei Grate auf.

7.3 Klostergewölbe

Diejenigen Gewölbestile, welche bei der geometrischen Konstruktion des Kreuzgewölbes entfernt werden, ergeben eine weitere Gewölbestile, welche als Klostergewölbe bezeichnet wird und aus vier Elementen von Tonnengewölben und vier Graten im Bereich ihrer Überschneidung besteht (Bild 7.12a). Die in der Hauptkrümmungsrichtung der Tonnengewölbelemente liegenden Bogensegmente haben ihre Auflager am unteren Gewölberand, so dass wie bei den Tonnengewölben, im Gegensatz zu den Kreuzgewölben, die Auflagerung kontinuierlich über den gesamten Umfang erfolgen muss. Im oberen Bereich sind die Bögen durch die Grate unterbrochen. Die Bogenkräfte werden hier teilweise durch diejenigen der Bögen der beschriebenen Flächen kompensiert und teilweise in die Grate eingeleitet (Bild 7.12b). Im Gegensatz zu den Kreuzgewölben, bei welchen die Grate durch die Bögen nach unten beansprucht werden, werden diese bei den Klostergewölben nach oben beansprucht. Ihre Beanspruchung ist null auf der Höhe der Auflager und nimmt nach oben durch die Einleitung der Bogenkräfte progressiv zu, bis die maximale Druckbeanspruchung im Scheitel erreicht wird.

Klostergewölbe können auf einfache Art mit Tonnengewölben kombiniert werden, so dass rechteckige Grundflächen überdeckt werden können. In diesen Fällen müssen die Druckkräfte in den Graten, welche, wie beschrieben ihr Maximum in den Scheiteln erreichen, von einem im Scheitel des Tonnengewölbes in Längsrichtung verlaufenden Druckelement aufgenommen werden (Bild 7.13a).

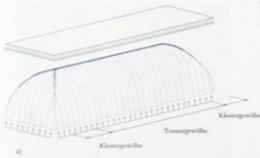


Bild 7.13: Variationen Kombination von Kloster- und Tonnengewölbe (a) und Klostergewölbe mit achteckigen Grundriss (b)

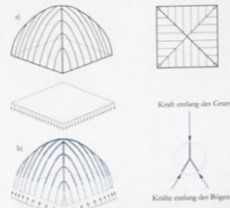


Bild 7.12: Geometrische Konstruktion (a) und Tragverborg (b) eines Klostergewölbes

Wie die Kreuzgewölbe können auch die Klostergewölbe durch die Überschneidung von einer beliebigen Anzahl von Tonnengewölben zusammengesetzt werden. Auf diese Art entstehen Klostergewölbe, deren Umfang aus einem regelmäßigen Polygon mit einer beliebigen Anzahl von Seiten besteht, zum Beispiel ein Klostergewölbe mit einem achteckigen Grundriss (Bild 7.13b).

Die „Kuppel“ von Santa Maria del Fiore in Florenz von Filippo Brunelleschi (1377-1446) ist das bekannteste Beispiel eines Klostergewölbes mit einem solchen achteckigen Grundriss (Bild 7.14). Das Tragwerk besteht aus zwei Gewölben aus Mauerwerk ein äußeres, welches nur 0,38 m stark ist, und ein inneres mit einer variablen Stärke zwischen 2,40 m unten und 2,10 m oben. Die zwei Gewölbe sind durch 8 vertikal verlaufende Rippen im Bereich der Kassen, und mit weiteren 16 dazwischen liegenden und zusätzlichen horizontalen Rippen miteinander verbunden. Die Gesamtstärke des Gewölbes beträgt ca. 4 m.



Bild 7.14: „Kuppel“ der Santa Maria del Fiore, Florenz, 1418-36, Arch. & Ing. Filippo Brunelleschi

7.4 Kuppeln mit auf die äusseren Latten abgestimmten radialen Bögen

Vom Standpunkt des Tragwerkes aus betrachtet, wird der Bogen der Kuppel den Überdeckungen mit kreisförmigen und elliptischen Grundriss vorgehalten. Ein solches Tragwerk kann verstanden werden als ein Klostergewölbe, das aus einer unendlichen Zahl von Oberflächen und Graten besteht. Die Breite der Oberflächen wird dann infinitesimal klein, so dass die tragenden Elemente zu einer unendlichen Serie von radial angestellte

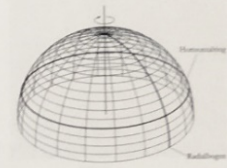
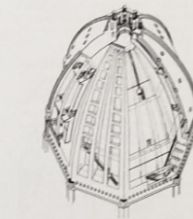


Bild 7.15: Kuppel als Rotationsfläche

ten Bögen stehen. Kuppeln sind also Rotationsflächen mit Radialbögen als tragende Latten und kreisförmigen oder elliptischen Horizontalanordnungen. Um die Tragverborg von Kuppeln besser zu veranschaulichen, können wir diese durch eine endliche Anzahl von Bögen und Ringen darstellen (Bild 7.15).

Die einzelnen Bögen tragen die äusseren Latten ab, welche auf ihre Oberfläche wirken. Die Intensität der in diesen Bögen wirkenden inneren Kräfte kann einfach mit Hilfe der graphischen Statik ermittelt werden. Zur Ermittlung der Beanspruchung des Materials, d.h. der Druckspannung oder der Kraft pro Oberflächeinheit, wird die innere Druckkraft dividiert durch die Querschnittsfläche, bestehend aus dem Abstand zweier benachbarter Bögen multipliziert mit der Stärke der Kuppel (vgl. Kapitel 5).

Die Querschnittsfläche nimmt nach oben hin ab, und erreicht im Bereich der Rotationsachse, d.h. auf dem Scheitel der Kuppel, gegen null. Das bedeutet, dass die Spannung im Material gegen unendlich steigt. Ein



Eigenlasten (Holzplatte + abgehängte Decke):
 $g_{01} = 1,35 \cdot (0,06 \cdot 8,0 + 0,15) \approx 0,8 \text{ kN/m}^2$
 Nutzlasten:
 $q_{01} = 1,5 \cdot 2,0 \approx 3,0 \text{ kN/m}^2$
 Totale Last:
 $g_{01} + q_{01} \approx 3,8 \text{ kN/m}^2$

Im Folgenden werden die Stahlträger untersucht. Aus formalen Gründen wurden alle Träger, unabhängig von ihrer Beanspruchung, mit gleichem Querschnitt ausgebildet. Die massgebenden, 4 m weit gespannten Träger sind mit den Stützen verschraubt und werden hier vereinfachend als einfache Balken betrachtet. Eine Diskussion dieses Sachverhaltes folgt im Abschnitt 5. Mit dem maximalen Wert für die Schlankheit L/h eines Stahlträgers von 20 (aus Skript TWE II, Tabelle 14.1) resultiert bei 4 m Spannweite eine Trägerhöhe von mindestens 200 mm. Für die Stahlträger wurde beim Haus Sobek tatsächlich ein Profil IPE 200 mit einer Höhe von 200 mm gewählt.

Im Bild 7 sind die inneren Kräfte des Stahlträgers dargestellt. Zusätzlich zu den im Bild angegebenen Lasten sind noch die Eigenlasten des Stahlträgers von $1,35 \cdot 0,22 \approx 0,3 \text{ kN/m}$ addiert worden. Die Belastung des Stahlträgers beträgt somit auf Bemessungsniveau $2 \cdot 5,7 + 0,3 \approx 11,7 \text{ kN/m}$. Aus dem Kräfteplan ist ersichtlich, dass die maximalen Druck- und Zugkräfte in den Flanschen 124 kN betragen. Das Profil IPE 200 weist eine Flanschfläche von $100 \cdot 8,5 = 850 \text{ mm}^2$ auf. Es resultieren somit in den Flanschen in Feldmitte maximale Spannungen von $124 \cdot 1000 / 850 = 145 \text{ N/mm}^2$, welche kleiner sind als der Bemessungswert der Fliesgrenze $f_{0d} = 235 / 1,05 = 224 \text{ N/mm}^2$ des Baustahls S235.

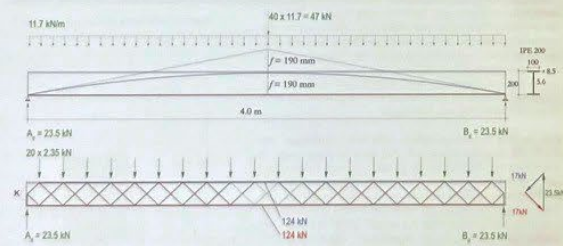
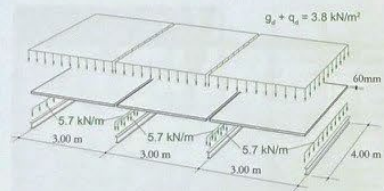


Bild 7: Beanspruchung der Stahlträger und deren inneren Kräfte

Der Stahlträger ist somit betreffend Tragsicherheit nur zu ca. zu zwei Dritteln ausgenutzt. Bezüglich der Tragsicherheit sind die Träger damit überdimensioniert. Bei Stahlbauten ist allerdings das Verhältnis von Eigenlast zu Nutzlast deutlich geringer als bei Stahlbetonbauten. Grundsätzlich reagiert das Tragwerk in seinem Verhalten daher direkter auf die Nutzlasten, etwa durch unangenehme Schwingungen oder zu grosse Durchbiegungen. Bei voller Ausnutzung der Tragsicherheit können so häufig Probleme mit der Gebrauchstauglichkeit auftreten. Durch die grosszügige Dimensionierung der Stahlträger werden Schwingungen bzw. Durchbiegungen reduziert und hierdurch die Gebrauchstauglichkeit gewährleistet.

Das Verhalten unter Gebrauchslasten kann einfach mit den Überlegungen gemäss Kapitel 14 des 1. Jahreskurses abgeschätzt werden. Im Gebrauchszustand betragen die Lasten

$$q_{01} / \gamma_{q1} \approx 11,7 / 1,5 = 8 \text{ kN/m}$$

Die Biegesteifigkeit B des Stahlprofils IPE 200 beträgt

$$B = (E \cdot I_y \cdot I_z) / 2 = 3,6 \cdot 10^{12} \text{ Nm}^2$$

womit eine Durchbiegung von

$$w = 5 \cdot q \cdot \ell^4 / 384 \cdot B = 5 \cdot 8,0 \cdot 4000^4 / 384 \cdot 3,6 \cdot 10^{12} = 7,5 \text{ mm}$$

resultiert. Die Verformung des Trägers beträgt somit ca. 2‰ der Spannweite bzw. $\ell/533$. Dieser Wert ist deutlich geringer als der Grenzwert der Gebrauchstauglichkeit $\ell/300$. Es ist somit ein ausgezeichnetes Verhalten der Decken im Gebrauchszustand zu erwarten. Es ist allerdings zu bemerken, dass die gesamte Deckendurchbiegung im Zentrum des Deckenfeldes grösser ist, weil die Durchbiegung des Holzpanels noch addiert werden muss.

Im Weiteren wird das Schubtragverhalten des Stahlträgers überprüft, d.h. der Tragwiderstand der Diagonalen im Steg. Im Bild 9 ist der Auflagerbereich mit den maximal bean-



Bild 8: Das Deckentragwerk

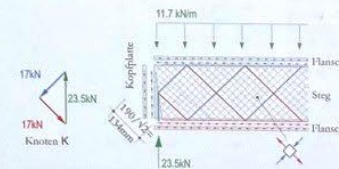
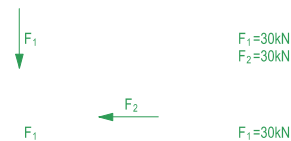


Bild 9: Die Diagonalen im Steg im Auflagerbereich

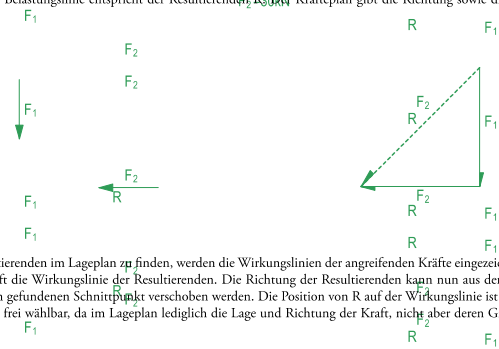
1.1 Kompendium Tragwerksentwurf I&II – HS20/FS21 Resultierende zweier nicht-paralleler Kräfte

Gegeben sind zwei nicht parallele Kräfte F_1 und F_2 . Gesucht ist die Grösse der Resultierenden sowie deren Position im Lageplan.

Bei der Resultierenden handelt es sich um die Vektoraddition aller auf das System einwirkenden Kräfte. In der grafischen Statik werden dabei die Eigenschaften der Vektoren (Kräfte) in zwei unterschiedlichen Zeichnungen grafisch festgehalten. Im Lageplan ist die Position und die Richtung der angreifenden Kräfte sowie die Geometrie des Tragwerks massstäblich verkleinert dargestellt. Im Kräfteplan wird hingegen die Richtung und die Grösse der Kraft aufgezeichnet.



Die beiden angreifenden Kräfte werden der Reihe nach (im Uhrzeigersinn) im Kräfteplan aufgezeichnet. Die Richtung der Kräfte wird beibehalten, deren Länge im Kräfteplan entspricht der Grösse der Kraft. Diese Länge wird durch den Massstab des Kräfteplans bestimmt, wobei ein Zentimeter [cm] jeweils einer bestimmten Anzahl Kilonewton [kN] entspricht. Mit dem vorgegebenen Massstab ist der Vektor der Kraft F_1 im Kräfteplan 3cm lang. An dessen Ende beginnt F_2 , ebenfalls mit einer Länge von 3cm. Zusammen bilden sie die sogenannte Belastungslinie, also die Summe aller angreifenden Kräfte. Die Verbindung vom Anfang der ersten Kraft mit dem Ende der letzten Kraft der Belastungslinie entspricht der Resultierenden R . Der Kräfteplan gibt die Richtung sowie die Grösse der Resultierenden an.



Um die Position der Resultierenden im Lageplan zu finden, werden die Wirkungslinien der angreifenden Kräfte eingezeichnet. Durch deren Schnittpunkt verläuft die Wirkungslinie der Resultierenden. Die Richtung der Resultierenden kann nun aus dem Kräfteplan parallel in den im Lageplan gefundenen Schnittpunkt verschoben werden. Die Position von R auf der Wirkungslinie ist dabei, genau wie die Länge des Vektors, frei wählbar, da im Lageplan lediglich die Lage und Richtung der Kraft, nicht aber deren Grösse grafisch festgehalten wird.

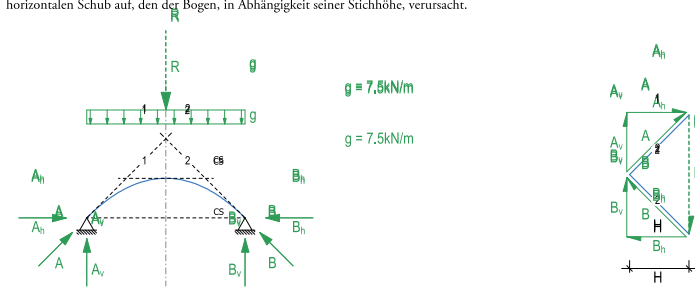


Lagepläne 1:100

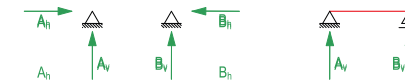
Kräftepläne 1cm $\hat{=}$ 10kN

5.2 Kompendium Tragwerksentwurf I&II – HS20/FS21 Bogen-Seil-Tragwerke

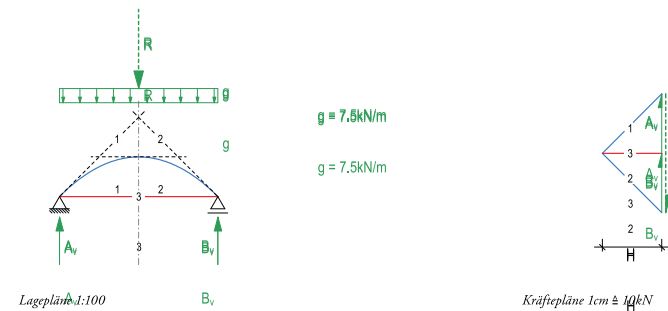
Im Folgenden wird ein einfaches Bogentragwerk betrachtet, das eine konstante Linienlast in die beiden festen Auflager A und B abträgt. Die Auflagerkräfte können in ihre Horizontal- und Vertikalkomponenten aufgeteilt werden. A_h und B_h nehmen dabei den horizontalen Schub auf, den der Bogen, in Abhängigkeit seiner Stichthöhe, verursacht.



Oftmals wird in einem Tragwerk aber ein Rolllager verwendet, welches nur vertikale Kräfte aufnehmen kann. Daher muss der horizontale Schub innerhalb des Tragwerks aufgenommen werden. Dafür wird zwischen den beiden Auflagern ein Zuelement eingeführt. Dadurch werden beide Auflagerkräfte vertikal.

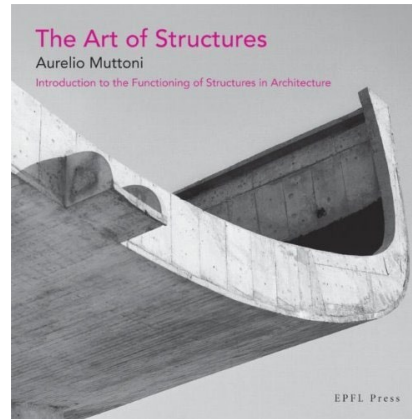


Anstatt, dass eine horizontale Auflagerkraft von aussen auf das System wirkt, zieht nun die innere Kraft den Bogen zusammen und verhindert dass das Auflager B zur Seite „wegrollt“. Die Kraft im Seil entspricht dabei derjenigen der Horizontalkomponenten der Auflagerkräfte. Die Kombination von druckbeanspruchtem Bogen und zugbeanspruchtem Seil nennt sich Bogen-Seil-Tragwerk.



Lagepläne 1:100

Kräftepläne 1cm $\hat{=}$ 10kN



**The Art of Structures:
Introduction to the Functioning of Structures in Architecture**

Aurelio Muttoni

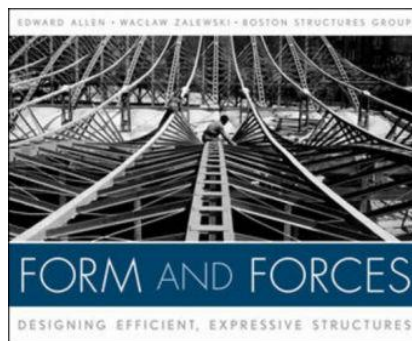
EPFL Press, 2011, ISBN-13: 978-0415610292, ISBN-10: 041561029X



Faustformel Tragwerksentwurf

Philippe Block, Christoph Gengangel and Stefan Peters

DVA Deutsche Verlags-Anstalt 2013, ISBN: 978-3-421-03904-0



Form and Forces:

Designing Efficient, Expressive Structures

Edward Allen and Waclaw Zalewski

October 2009, ISBN: 978-0-470-17465-4

Tragwerksentwurf III

Structural Design III

Lernziele

Learning Goals

Semesterübersicht

Semester overview

Unterrichtsmaterial

Course material

>> Teaching Team

Teaching team



Prof. Dr. Joseph Schwartz



Prof. Dr. Philippe Block



Dr. Lluís Enrique



Natalia Pieroni



Mark Hellrich



Leonie Füssler



Valentin Ribi

Hilfsassistenten
Tragwerksentwurf III



Dario Quaglia



Martino Gaia



Nicolás Wittig



Leandro Dietz