

Frankfurt University of Applied Sciences  
Prof. Jean Heemskerck

Konstruieren 5  
**Stahlbau 4 – Stahlskelettbau**



## Stahlskelettbau

1. Charakteristika
2. Raster
3. Elemente des Skelettbau
4. Anordnung der Elemente
5. Systeme



## 1. Charakteristika

Der Stahlskelettbau ist die mit Abstand am häufigsten angewendete Form des Stahlbaus, es existieren aber auch andere Anwendungen, die über den Skelettbau hinausweisen, bzw. diesen erweitern und kombinieren.  
(Vergleiche Vorlesung *Entwicklungslinie*)

Der Skelettbau unterscheidet sich gegenüber dem Massivbau durch die Trennung von tragenden und raumbildenden, bzw. umhüllenden Bauteilen. Er fügt lineare und schlanke stabförmige Elemente zu filigranen Gebilden zusammen; diese erhalten so die strukturelle Anmutung einer gitterhaften Architektur (nach Einordnung O.M. Ungers).

Die Anwendung des Materials führt dem entsprechend nach Gottfried Semper in seiner letzten Konsequenz zu einer „unsichtbaren Architektur. Denn je dünner das Metallgespinst, desto vollkommener in seiner Art.“

\*Quelle: Gottfried Semper, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik*, Bd. II., München 1863, Nachdruck Mittenwald: Mäander 1977, S. 264.

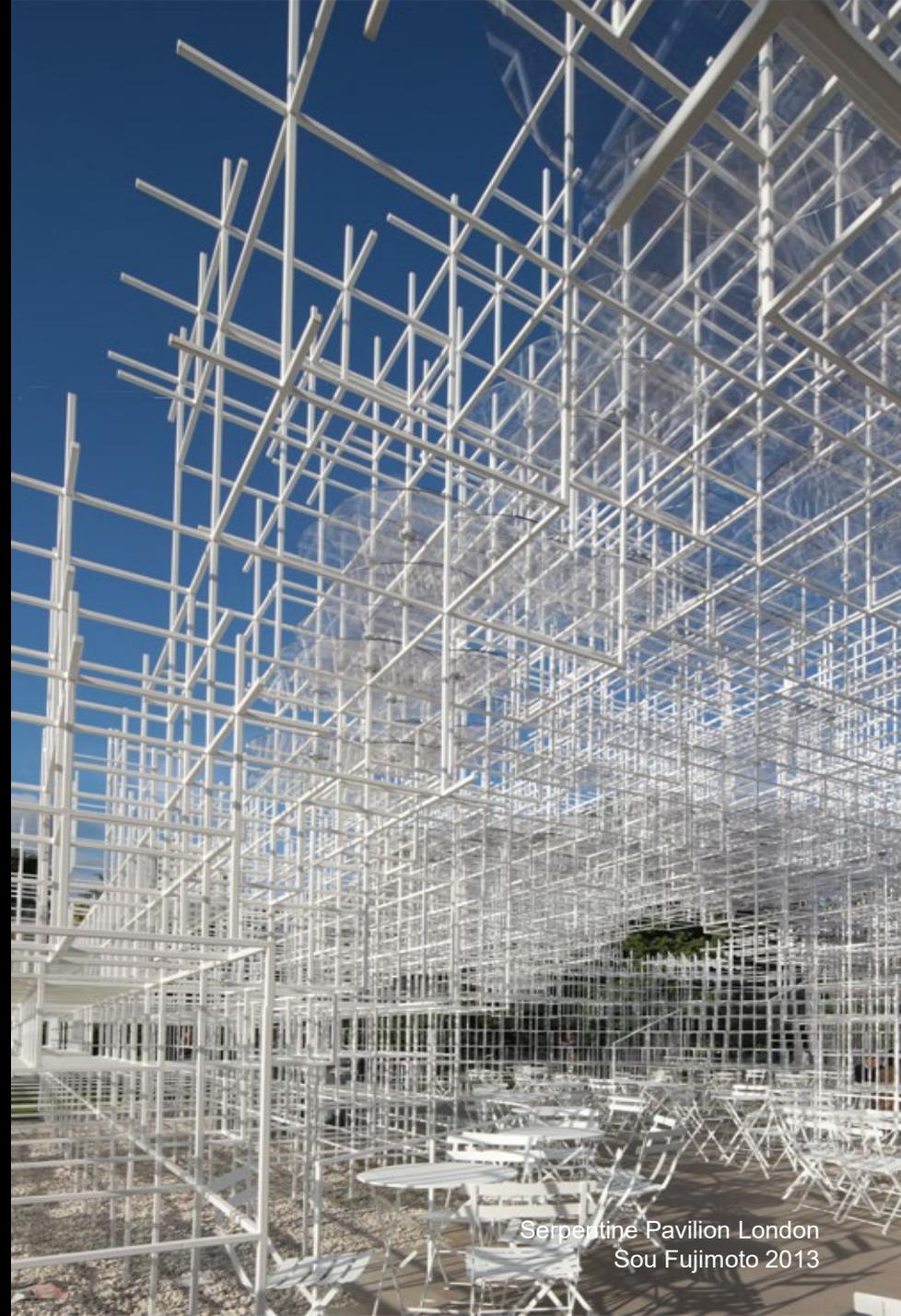
Prof. Jean Heemskerck



Serpentine Pavillion London  
Sou Fujimoto 2013

In dieser Vorlesung geht es im Wesentlichen um den Stahlskelettbau, nicht um die Entwicklungslinie vom Stab zur Fläche.

Wobei die Erstellung von flächenförmigen Tragwerken immer Kenntnisse der Fügungen des Skelettbau voraus setzt.



Serpentine Pavilion London  
Sou Fujimoto 2013

**Under Construction**

**Serpentine Gallery  
Pavilion 2013**

**Sou Fujimoto  
Opens June**

Sponsored by



Media Partner



Advisors



Platinum Sponsors



Gold Sponsor



Silver Sponsor



Bronze Sponsors



Supported by



Additional Support



Funded by



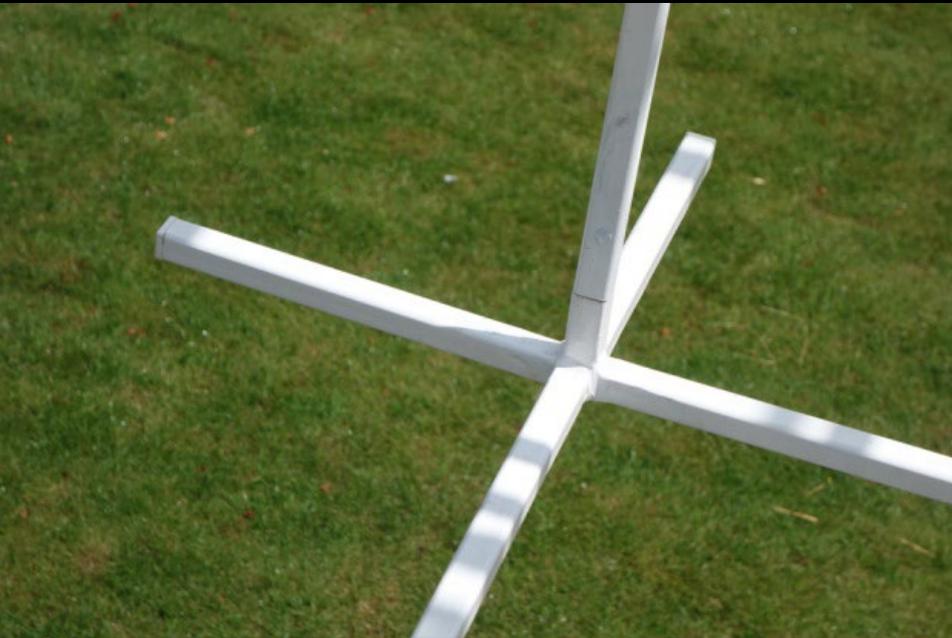
Serpentine Gallery Pavilion 2013 designed by Japanese architect Sou Fujimoto. The Gallery's unique annual series of commissioned Pavilions remains the world's first and most ambitious architectural programme of its kind.

The 13<sup>th</sup> Serpentine Gallery Pavilion will be Sou Fujimoto's first built structure in the UK.

[www.serpentinegallery.org](http://www.serpentinegallery.org)







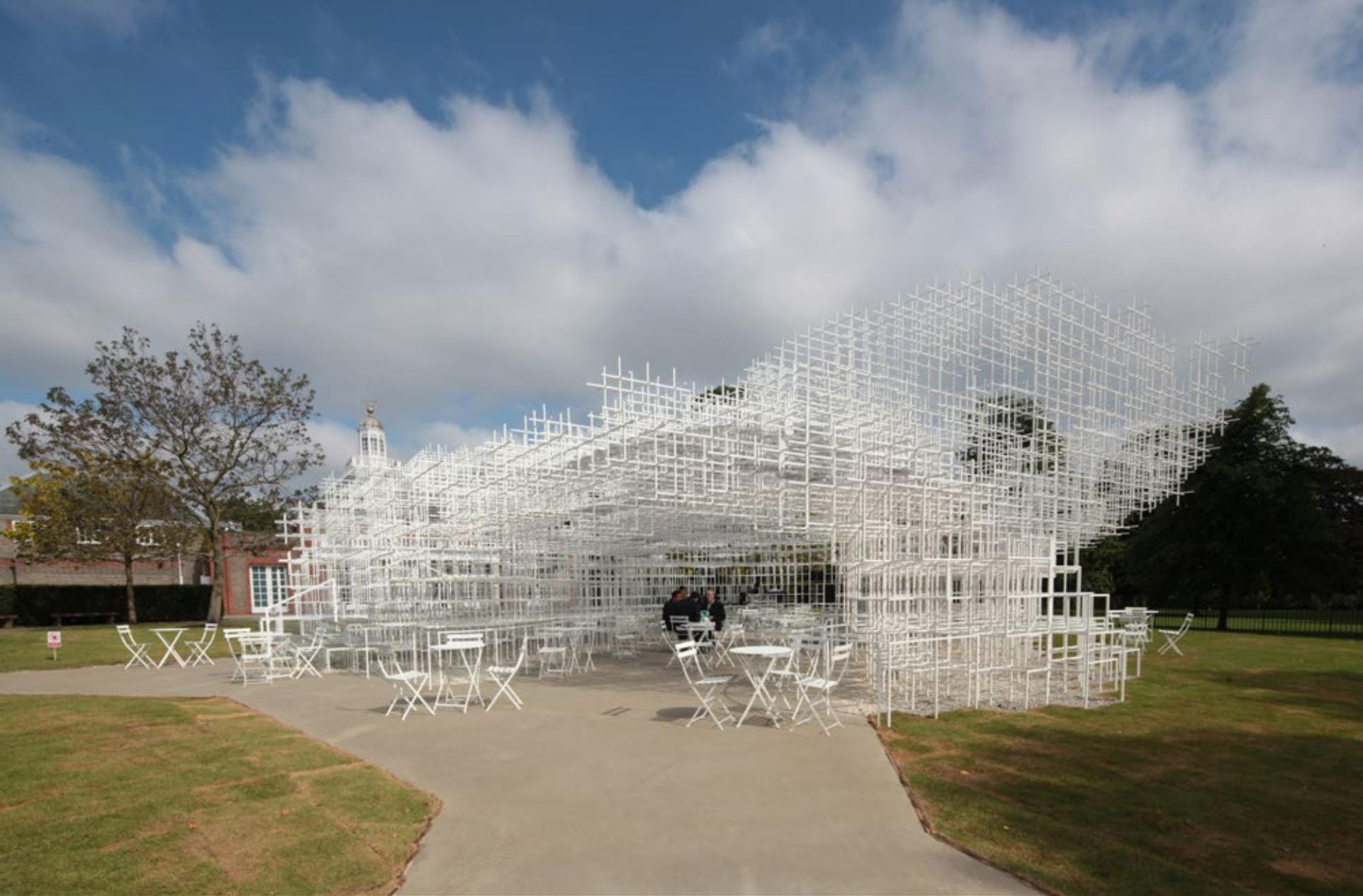
Gebautes Koordinatensystem aus 20 mm  
Stahlhohlprofilen mit 40 cm und 80 cm  
Modulabmessungen sowie bereichsweise  
Glasböden und Abdeckungen aus tellerförmigen  
Polycarbonatplatten als Regenschutz.















Bei Stahlskeletten handelt es sich in der Regel um Stabwerke aus linearen Bauteilen, die im Zusammenwirken mit Aussteifungselementen eine in sich stabile Konstruktion bilden. Tragende werden dabei von nichttragenden Elementen getrennt und die Anordnung wird in einem Raster organisiert.

Es entsteht ein Tragwerk aus Stützen und Trägern mit einer „Füllung“ aus Decken und nichttragenden Wänden (oder Raumzellen), die den Raumabschluss bilden.

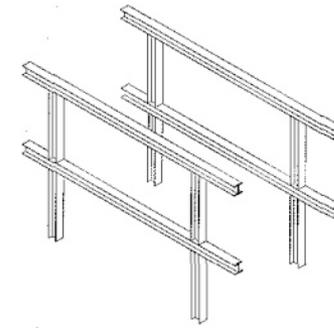
Gegenüber den Massivbauweisen zeichnet sich der Stahlbau mit seiner aufgelösten Konstruktion durch ein geringes Eigengewicht aus. Beim Skelettbau ist es zumeist möglich, den Kräfteverlauf abzulesen.



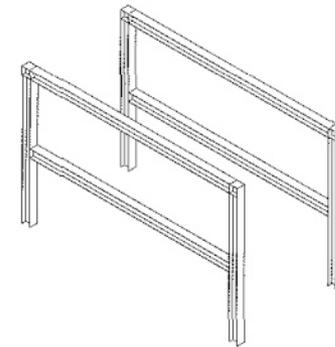
Träger werden entweder als Einfeldträger zwischen (gebäudehohen) Stützen gespannt oder liegen als (Durchlauf-) Träger auf geschosshohen Stützen auf. Sie werden Hauptträger genannt.

Träger werden grundsätzlich auf Biegung beansprucht, da sie die Lasten der Deckenplatte und Dachkonstruktion abtragen und in die Stützen leiten, die die vertikalen Lasten aufnehmen und in die Fundamente ableiten.

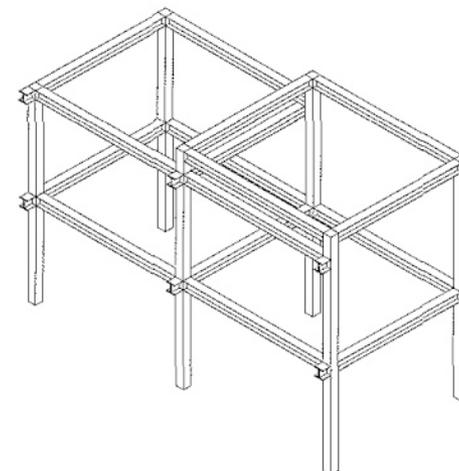
Dazu kommen weitere, zumeist orthogonal dazu angeordnete Nebenträger, die das System vervollständigen. Diese liegen als **Durchlaufträger** auf der ersten Trägerlage auf oder sie befinden sich zwischen den Hauptträgern, um die Aufbauhöhe zu reduzieren.



C 2.18



C 2.19

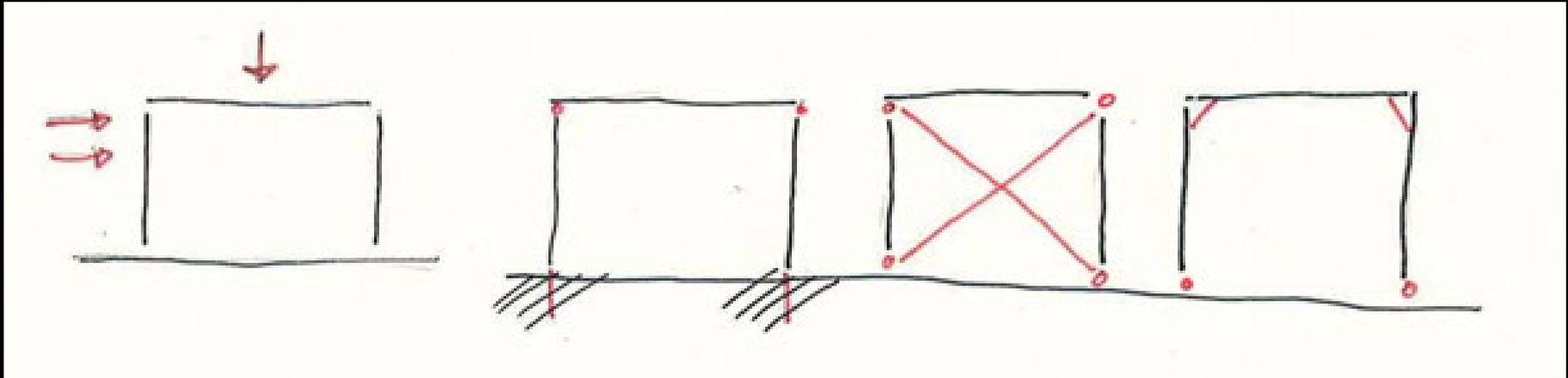


C 2.20

Was ist ein Durchlaufträger?

Erörtern Sie das bitte in kleinen Gruppen.

Bitte zeichnen Sie drei unterschiedliche Lösungsvorschläge, um zwei Stützen und einen Träger untereinander auszusteifen.

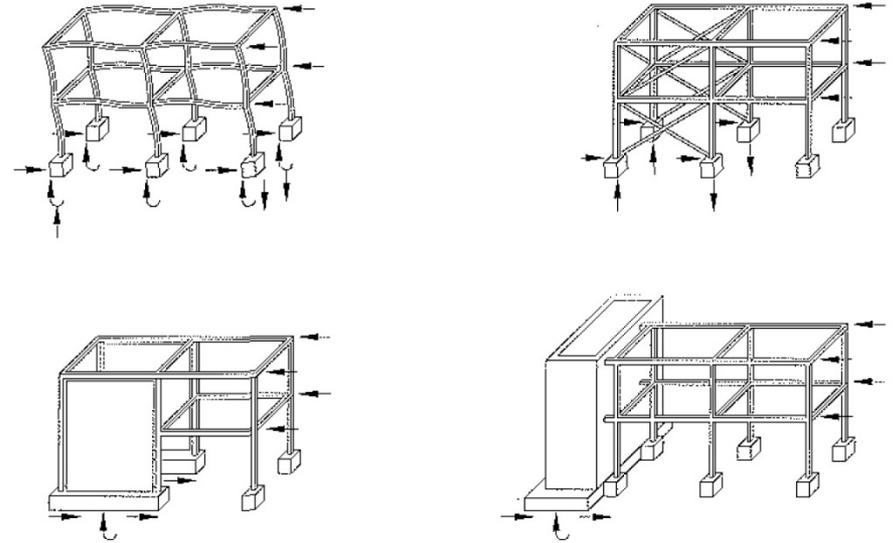


Die Horizontalkräfte (z.B. Wind) werden durch zusätzliche Aussteifungselemente aufgenommen, sie stabilisieren die Skelettkonstruktion. Sie können horizontal durch Deckenscheiben oder Verbände (selten) und vertikal durch eingespannte Stützen, Rahmen, biegesteife Eckverbände, Wandscheiben, Diagonalverbände oder Kerne abgeleitet werden.

Aussteifungselemente in der Fassadenebene erleichtern zwar die freie Grundrissgestaltung, beeinflussen aber die Fassadenkonstruktion und die Fassadengestalt.

Biegesteife Eckverbände in den Knoten hingegen erlauben durchgehende und gleichartige Fassadenflächen, da auf Aussteifungen in den Feldern verzichtet werden kann. Sie verlangen aber eine aufwendigere Fügung der Knotenpunkte.

Das Stahlskelett kann innen oder außen liegen, in der Regel werden (bei uns) aus thermischen Gründen innen liegende Stahlskelette bevorzugt.



Weil beim Stahlskelettbau naturgemäß die tragenden Bauteile im Werk vorgefertigt und anschließend zur Bausteile transportiert und montiert werden, sie werden nicht dort erzeugt, ist ein hoher Vorfertigungsgrad möglich und es können kurze Bauzeiten angestrebt werden.

Innerhalb der Stützenstellung ist eine flexible Nutzung des Gebäudes möglich, aber wichtig: bei der Planung eines Skelettsystems ist die Stützenanordnung frühzeitig mit der Grundrissorganisation abzustimmen; in der Regel bilden dabei Raster die geometrische Grundordnung



## Stahlskelettbau

1. Charakteristika
2. **Raster**
3. Elemente des Skelettbau
4. Anordnung der Elemente
5. Systeme

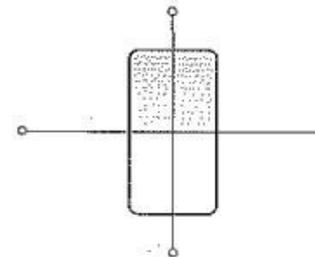
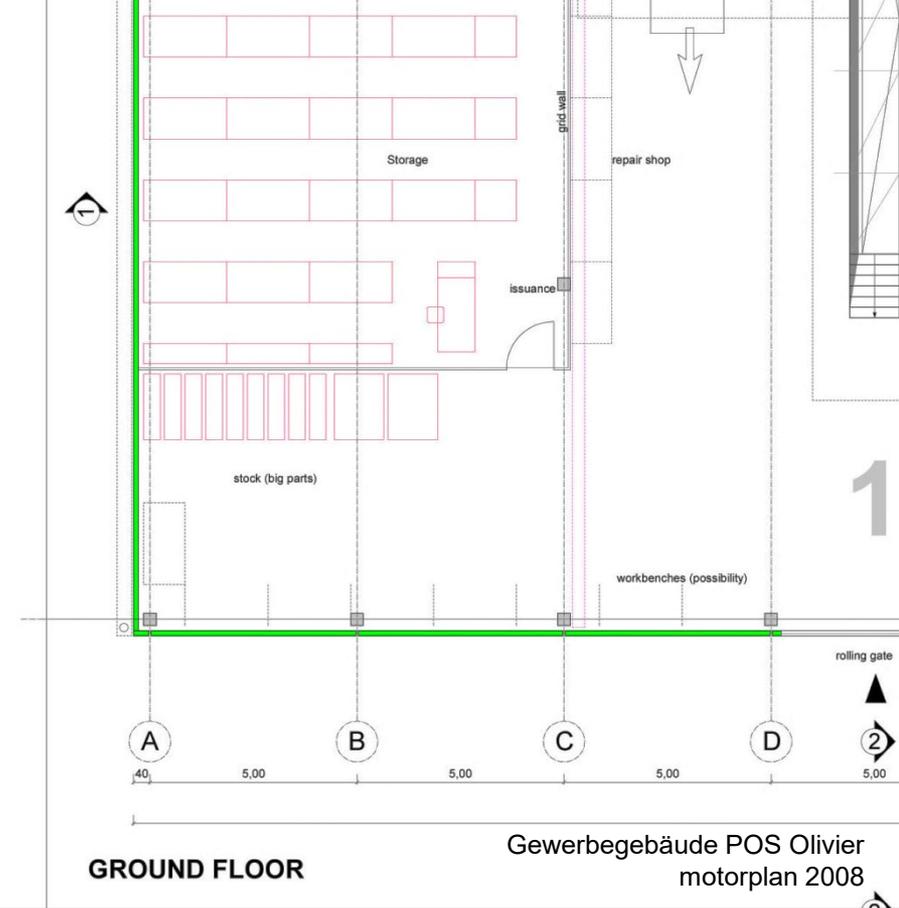
## 2. Raster

Ein Raster ist ein geometrisches System zur Festlegung von Lage und Maß von (modularen) Bauteilen. Es besteht aus einem Netz aus Maßlinien, zumeist basierend auf einer orthogonalen (noch) zweidimensionalen Grundform.

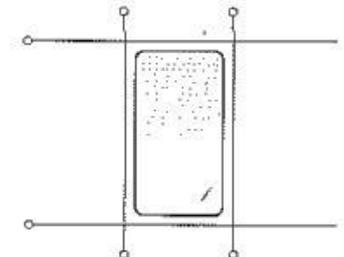
Die Rasterabstände entsprechen i.d.R. einem Grundmodul, das die geometrische und maßliche Gesamtkoordination der Planung bildet.

Verschiedene Raster können in einem Gebäude kombiniert werden, sind aber in einem geometrischen Ordnungsprinzip aufeinander abzustimmen.

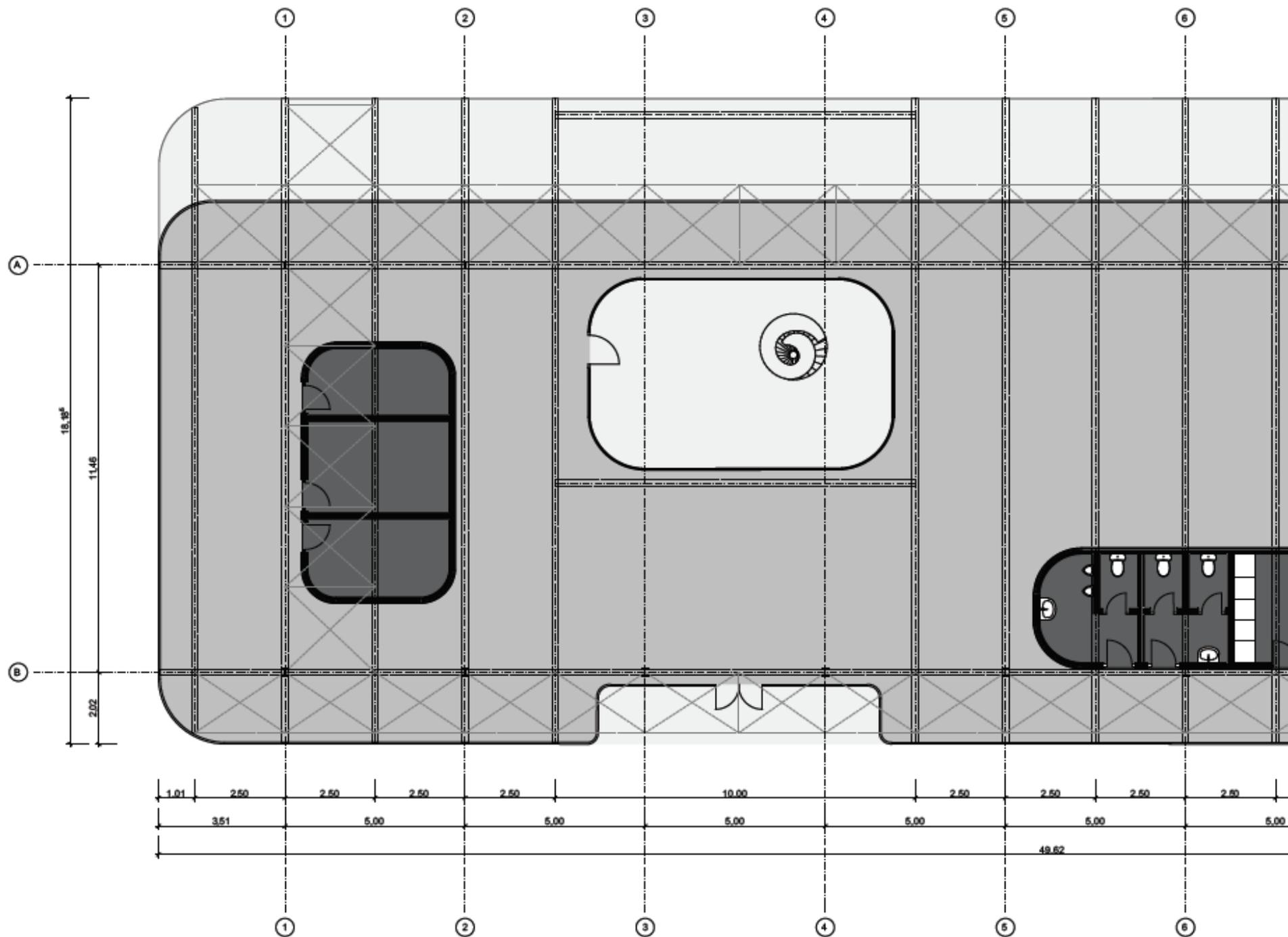
Der Stützenabstand basiert beim Skelettbau zumeist auf einem Achsraster, wobei sich die mittig angeordneten Achslinien des Bauteils mit den Bezugslinien des Rasters decken. Die Bauteilabmessung bleibt unberücksichtigt, dass Überschneidungen an Anschlusspunkten infolge der Bauteilstärke auftreten können (Überlappung).



a

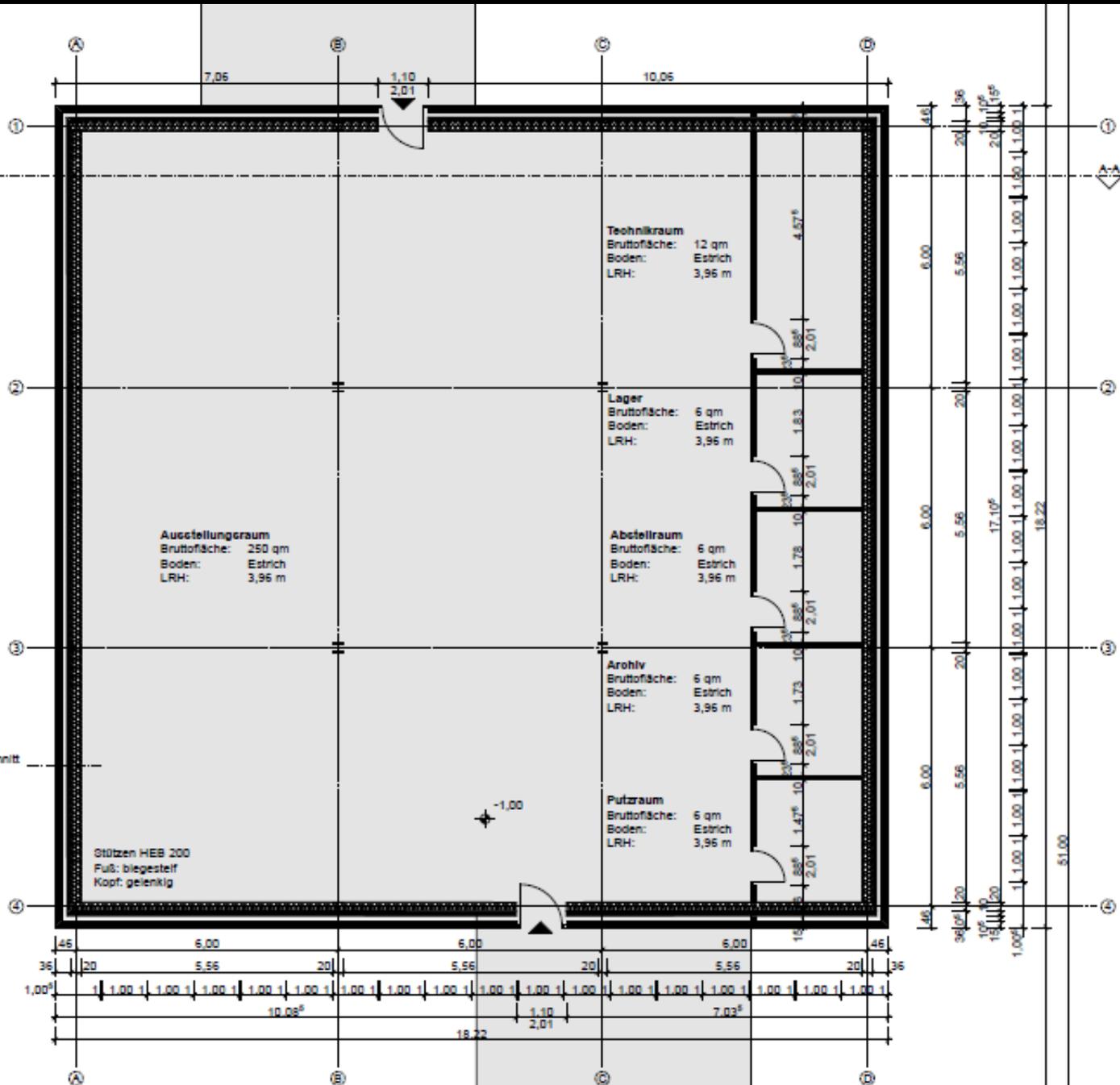


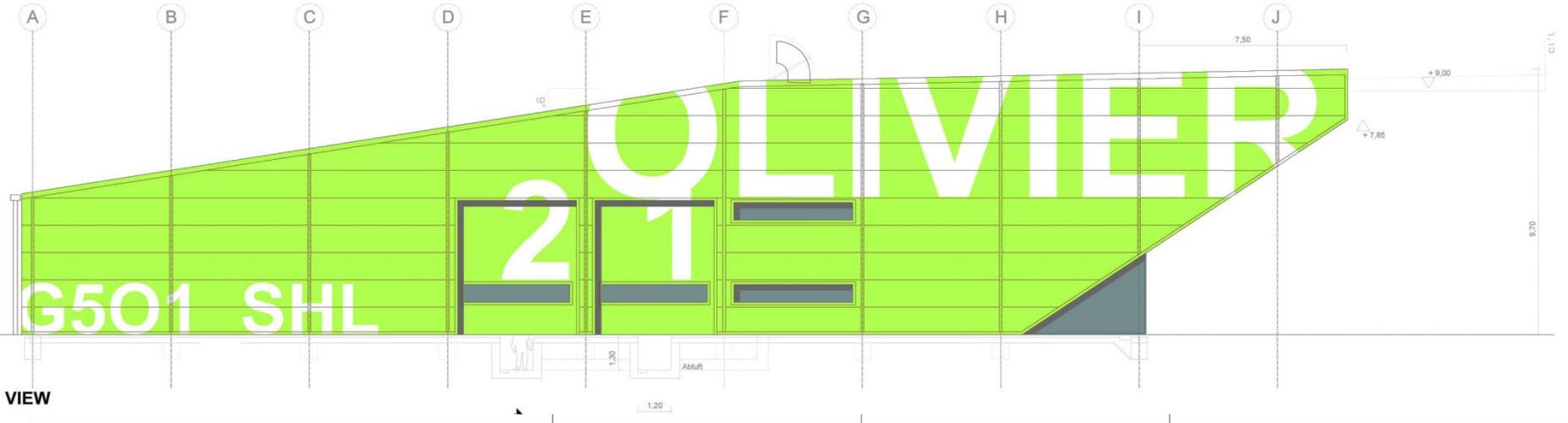
b



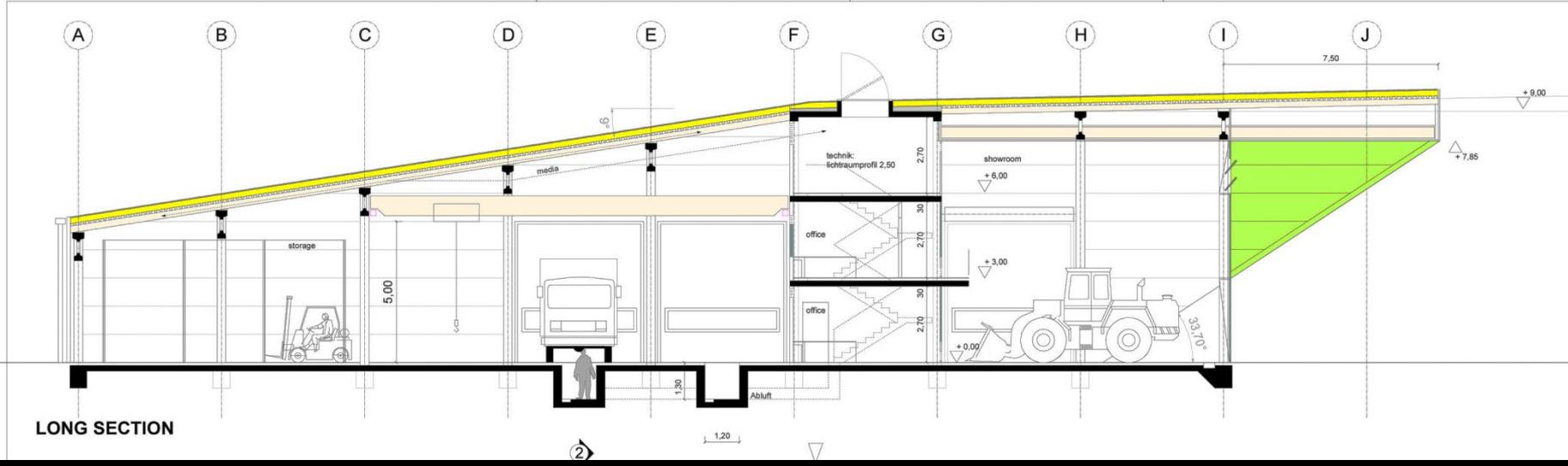
**Skulpturen Wasserhof**  
 Bruttofläche: 433 qm  
 Boden: -  
 LRH: -

Detailschnitt  
 2.1.





VIEW



LONG SECTION



+ 98,83 üNN

FC

FD

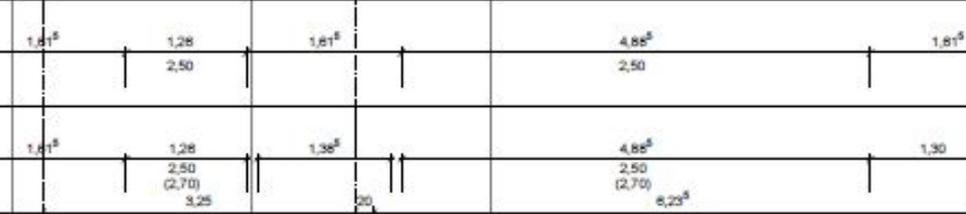
10,24

6,67<sup>5</sup>

31<sup>5</sup>

C

D



+ 98,67 üNN

siehe Detail D01.5

siehe Detail D03.6

siehe Detail D03.7

siehe Detail D08.8

98,54 üNN  
98,61 üNN

F1

1

A

**Aufenthaltsraum Ehrenamtl.**  
EG 004  
A = 12,80 m<sup>2</sup>  
LRH = 3,00m  
1 Person

**Büro 2 Techn. Leiter**  
EG 002  
A = 35,91 m<sup>2</sup>  
LRH = 3,00m  
1 Person

Booster nach Angaben Herst.  
1x Arbeitsplatz  
technische Kleinteile  
Kleinmöbel etc.  
- Unterfüße  
- Montagekabel mit runder Außenring  
- Gerüstmaßstab  
Farbe: 020 Silbermetall, system-kohärent o. glg.

Außenwand Sozialstation  
Vorlaufplatte  
Fundament / Bodenplatte  
Außenwand tragend roh  
Innenwand tragend roh

VK Bodenplatte

VK Bodenplatte

VK Bodenplatte

VK Bodenplatte

VK Rohbau

VK Fließschluckstein

VK Fließschluckstein

VK Fließschluckstein

VK Fließschluckstein

VK Fließschluckstein

31<sup>5</sup>

6,84

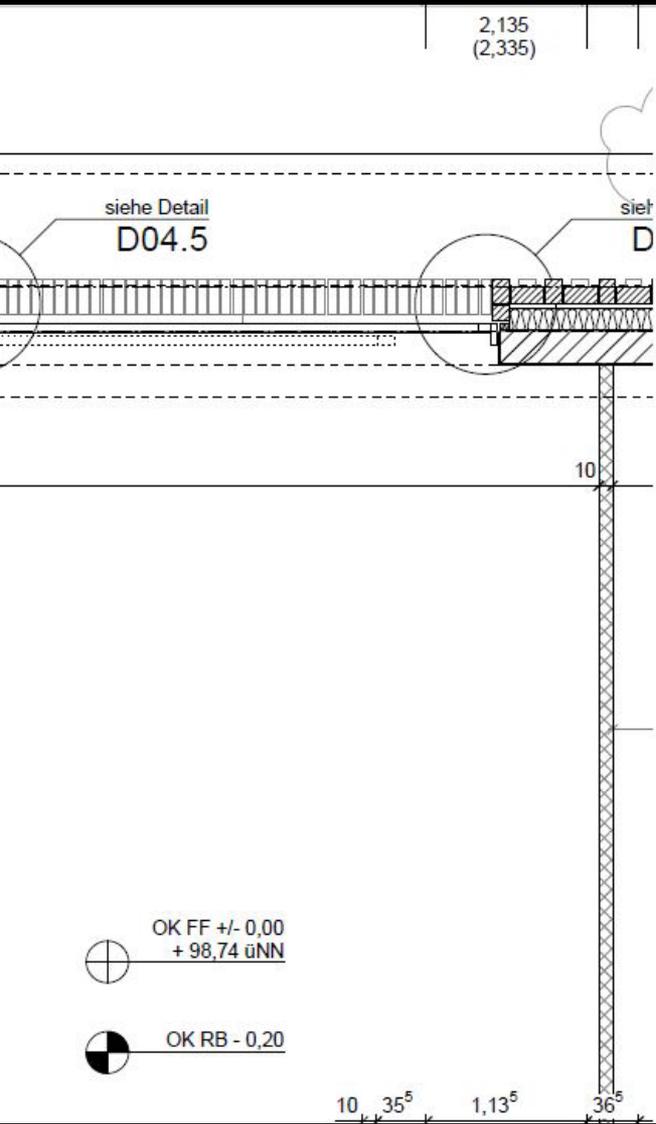
2

13,11<sup>5</sup>

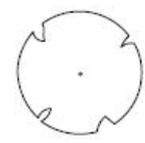
B







- OK Oberkante
- UK Unterkante
- VK Vorderkante
- FF Fertigfußboden
- RD Rohdecke
- RB Rohboden
- AHD Abhangdecke
- B Breite
- L Länge
- H Höhe
- D Dicke
- T Tiefe
- d Durchmesser



Bestandsbaum  
 d Stamm  
 K Kronendurchmesser

ACHSEN:

(F) Fassadenachsen

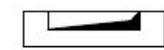


Bezugspunkt: X: 0,00/ Y: 0,00

DURCHBRÜCHE:



Wanddurchbruch / WD B/H (cm)



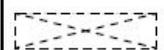
Wandschlitz / WS B/T/H (cm)



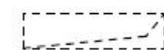
Bodendurchbruch / BD B/L/T (cm)



Bodenschlitz / BS B/L/T (cm)



Deckendurchbruch / DD B/L (cm)

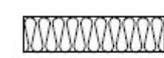


Deckenschlitz / DS B/L/T (cm)

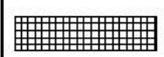
MATERIALIEN:



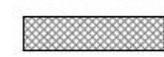
Stahlbeton



Mineralwolle Dämmung



Betonfertigteil



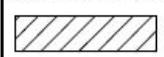
EPS - Dämmung



Magerbeton



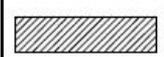
Kiesschüttung



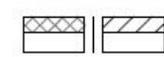
KS-Stein



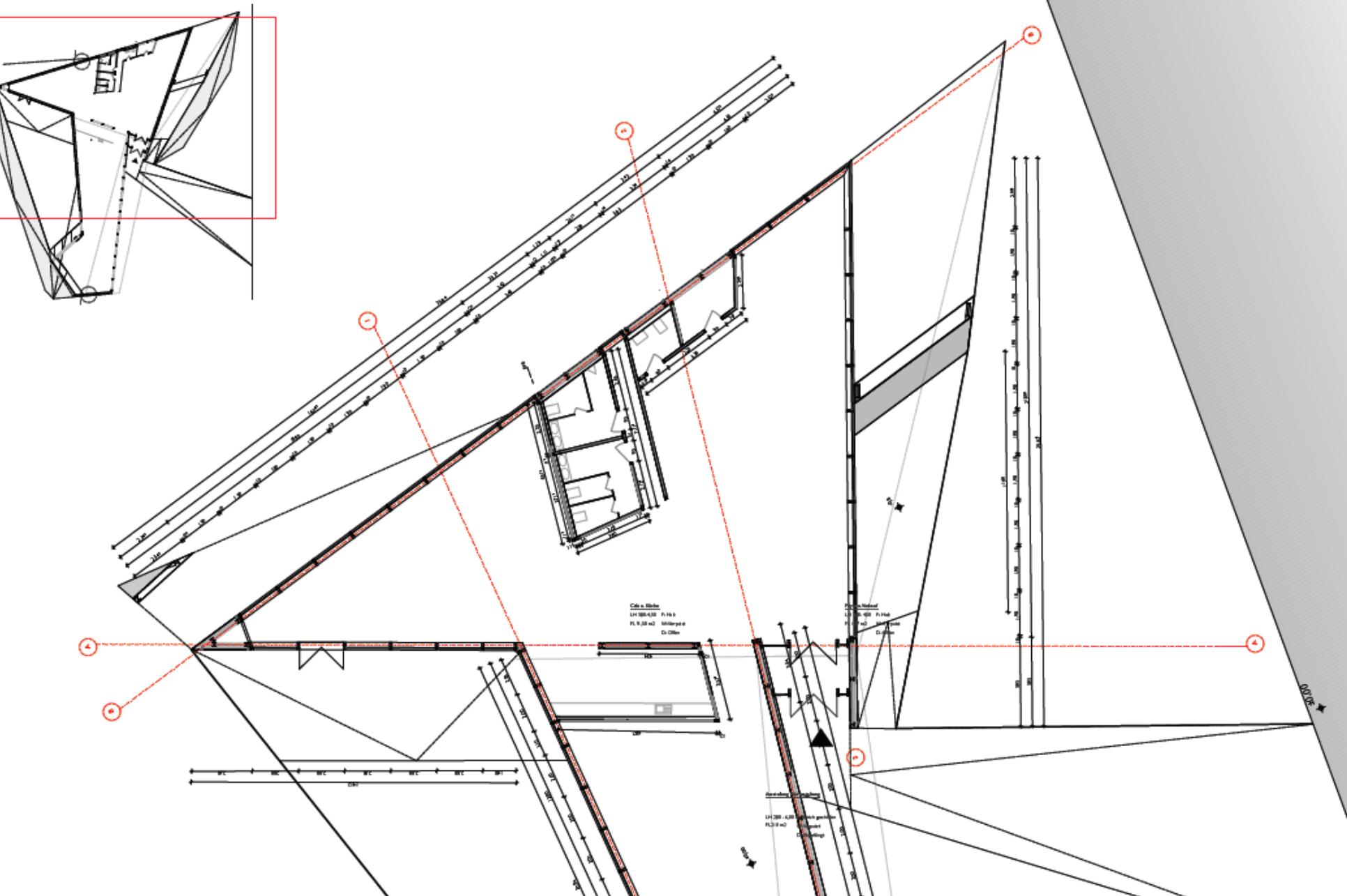
Trockenbauwand



Klinker



Trockenbau - Vorsatzschale



Das Raster sollte aber kein sich  
verselbstständigender Selbstzweck sein,  
sondern vom architektonischen Ausdruck her  
bestimmt werden.



## Stahlskelettbau

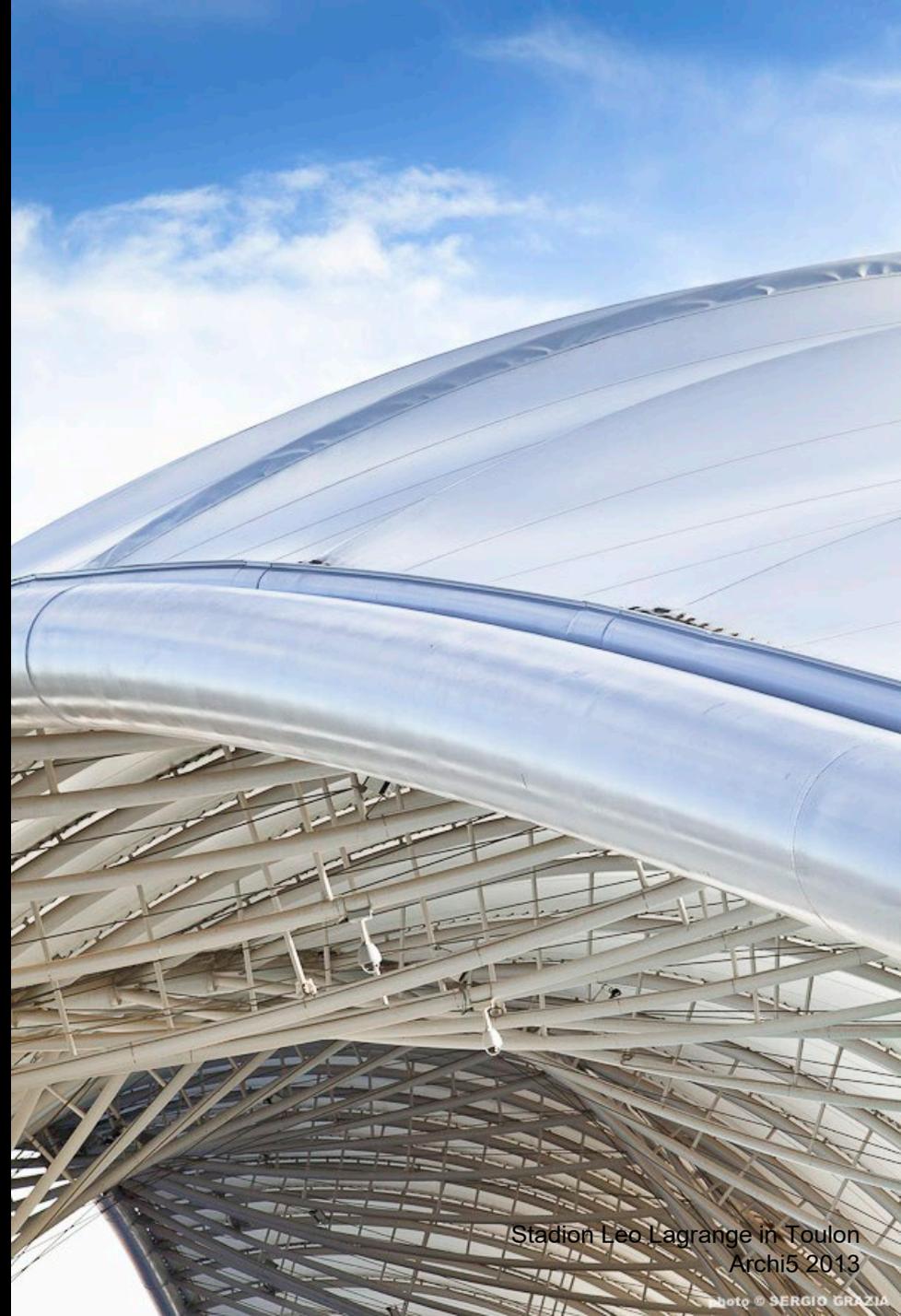
1. Charakteristika
2. Raster
- 3. Elemente des Skelettbau**
4. Anordnung der Elemente
5. Systeme

### 3. Elemente des Skelettbau

- 3.1. Stützen
- 3.2. Träger
- 3.3. Verbände
- 3.4. Rahmen
- 3.5. Trägerrost
- 3.6. Raumtragwerke

Wichtige Voraussetzungen bei der Auswahl, Entwicklung und beim Einsatz der Tragelemente sind:

- Lastübertragung
- Formbarkeit und Fügung
- Wirtschaftlichkeit
- Gestaltung



## Stahlskelettbau

1. Charakteristika
2. Raster
3. Elemente des Skelettbau

### 3.1. Stützen

- 3.1.1. einteilige Stützen
- 3.1.2. Zusammengesetzte, aufgelöste Stützen
- 3.1.3. Verbundstützen

4. Anordnung der Elemente
5. Systeme

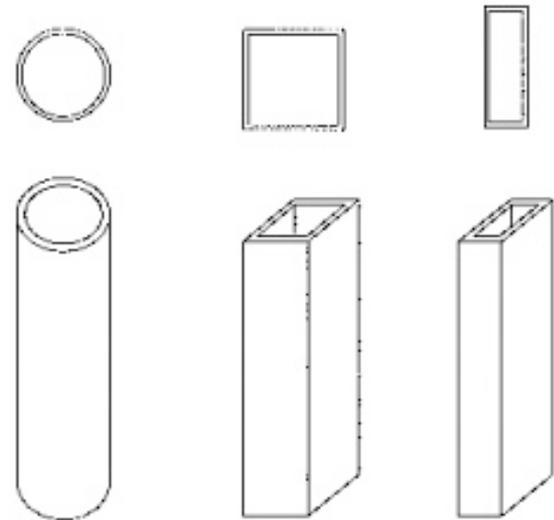


### 3.1.1. einteilige Stützen

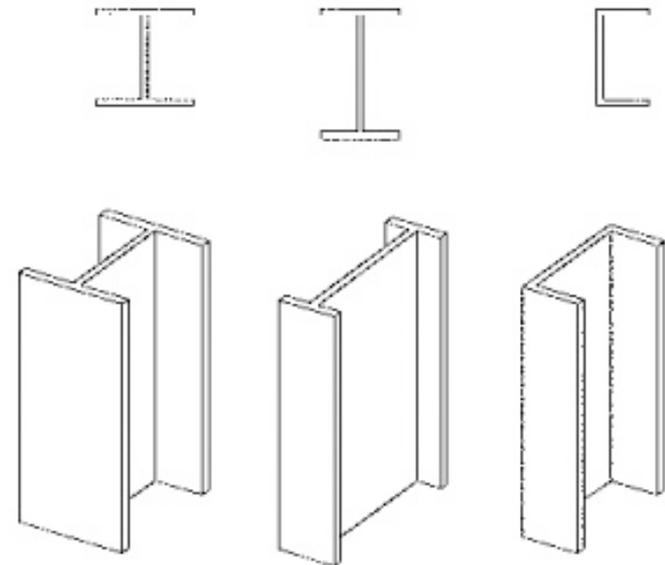
Zumeist sind es Pendelstützen oder eingespannte Stützen mit möglichst schlanken Querschnitten.

Dabei können wachsenden Lasten durch die Vergrößerung der Wandstärken und Wahl der Stahlgüten angepasst werden. Rotationssymmetrische Querschnitte eignen sich dabei grundsätzlich besser zur Aufnahme der vertikalen Lasten und zur Reduzierung der Knickgefahr.

Bei Hohlprofilen und profilierten Stahlstützen ist eine einfache Leitungsführung möglich, wobei aufgrund bei Durchdringungen auf die Querschnittsschwächungen zu achten ist, etwa bei der Entwässerung von Dachflächen.



a



b

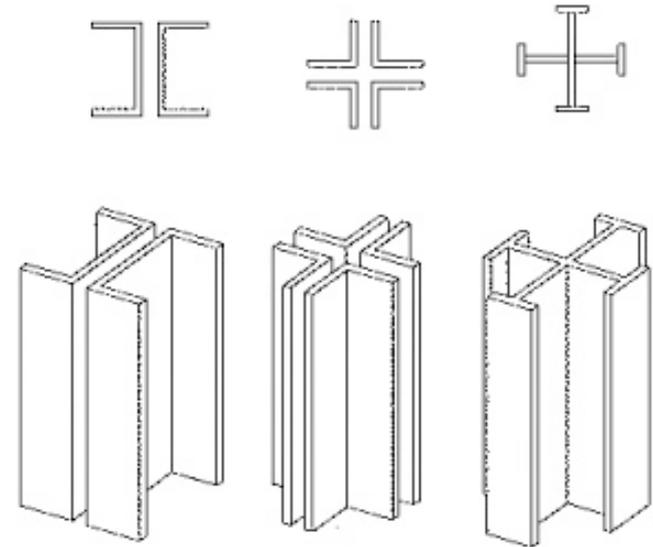
### 3.1.2. Zusammengesetzte, aufgelöste Stützen

Sie werden individuell nach der jeweiligen Beanspruchung oder aus gestalterischen Gründen aus einzelnen Profilen oder Blechen zusammengesetzt.

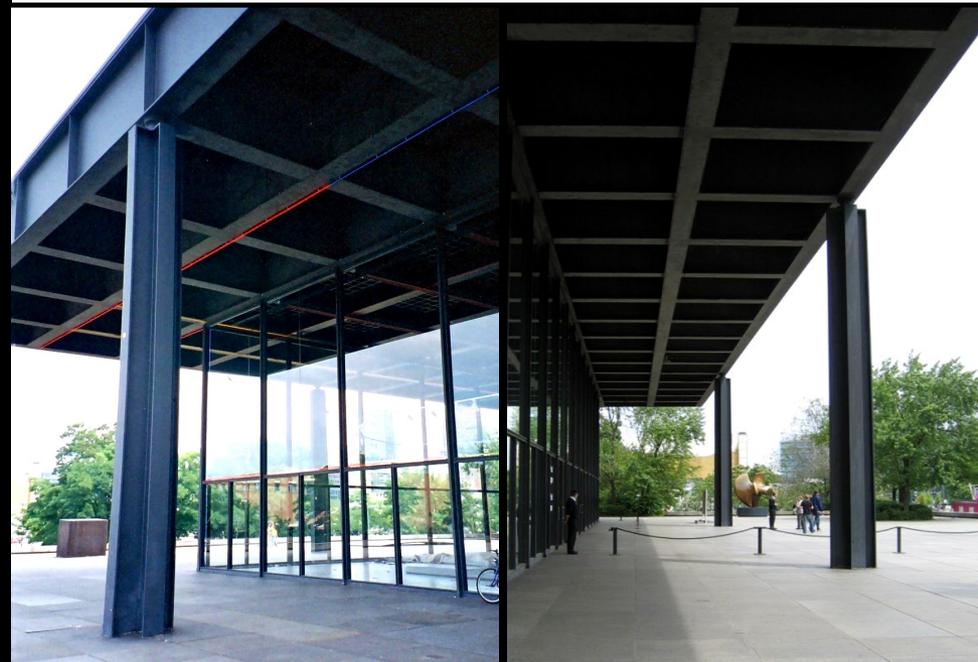
Die Vorteile dabei sind:

- Integration von Ausbauteilen in Zwischenräumen
- evtl. filigrane Wirkung
- evtl. Materialersparnis

Der Nachteil liegt in der zumeist kostenintensiven Sonderanfertigung und dem höheren Montageaufwand.



c

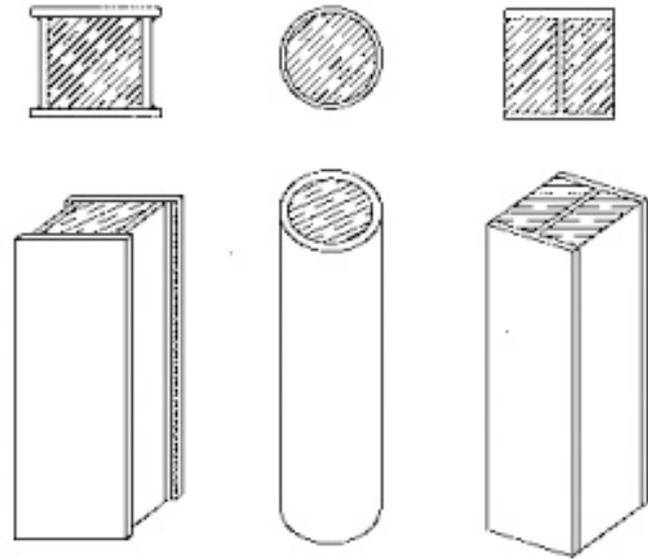


### 3.1.3. Verbundstützen

Durch den Verbund von Stahl mit Beton kann unter Beibehaltung der schlanken Stahlquerschnitte sowohl die Tragfähigkeit deutlich erhöht werden als auch der Brandwiderstand stark verbessert werden.

Vor allem gefüllte Hohlprofile und kammergefüllte Profilquerschnitte eignen sich hervorragend, da sie einfach herzustellen sind und nachträglich Anschlusskonstruktionen an sichtbaren Stahlflächen möglich ist.

Aber sie sind deutlich teurer als Stahl- oder Stahlbetonstützen.



d



# Stahlskelettbau

- 1. Charakteristika
- 2. Raster
- 3. Elemente des Skelettbau

## 3.2. Träger

- 3.2.1. Vollwandträger
- 3.2.2. Wabenträger/Lochstegträger
- 3.2.3. Zusammengesetzte, aufgelöste Träger
  - 3.2.3.1. Unterspannte Träger
  - 3.2.3.2. Fachwerkträger
- 3.2.4. Vierendeelträger

- 4. Anordnung der Elemente
- 5. Systeme

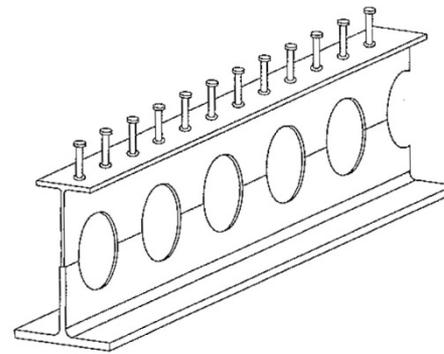
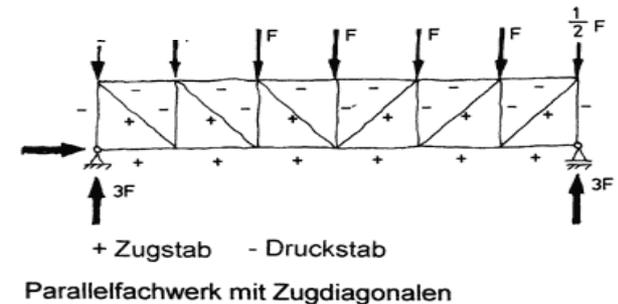


Abb. 44: Lochträger  
Beispiel mit unterschiedlichen Ober- und Untergurten zur Gewichtseinsparung



### 3.2.1. Vollwandträger

Die Form und der Querschnitt sind so gestaltet, dass bei maximaler Tragfähigkeit eine möglichst hohe Werkstoffausnutzung und damit geringer Materialeinsatz erreicht wird. Dabei wird das Biegemoment in den beiden Flanschen über Druck und Zug aufgenommen !

Sie werden also hauptsächlich zur Aufnahme von Biegebeanspruchungen eingesetzt, sind i.d.R. hochkant liegend und als I-Profil-Halbzeuge ausgewählt oder bei besonderen Anforderungen an die Tragwirkung und Gestaltung aus Blechen zu Hohlkastenträgern geschweißt.

Öffnungen in den Stegen sollten zum besseren Kräfteverlauf angerundet werden und nur im Bereich geringer Querkraftbeanspruchung liegen, nicht bei den Auflagern.

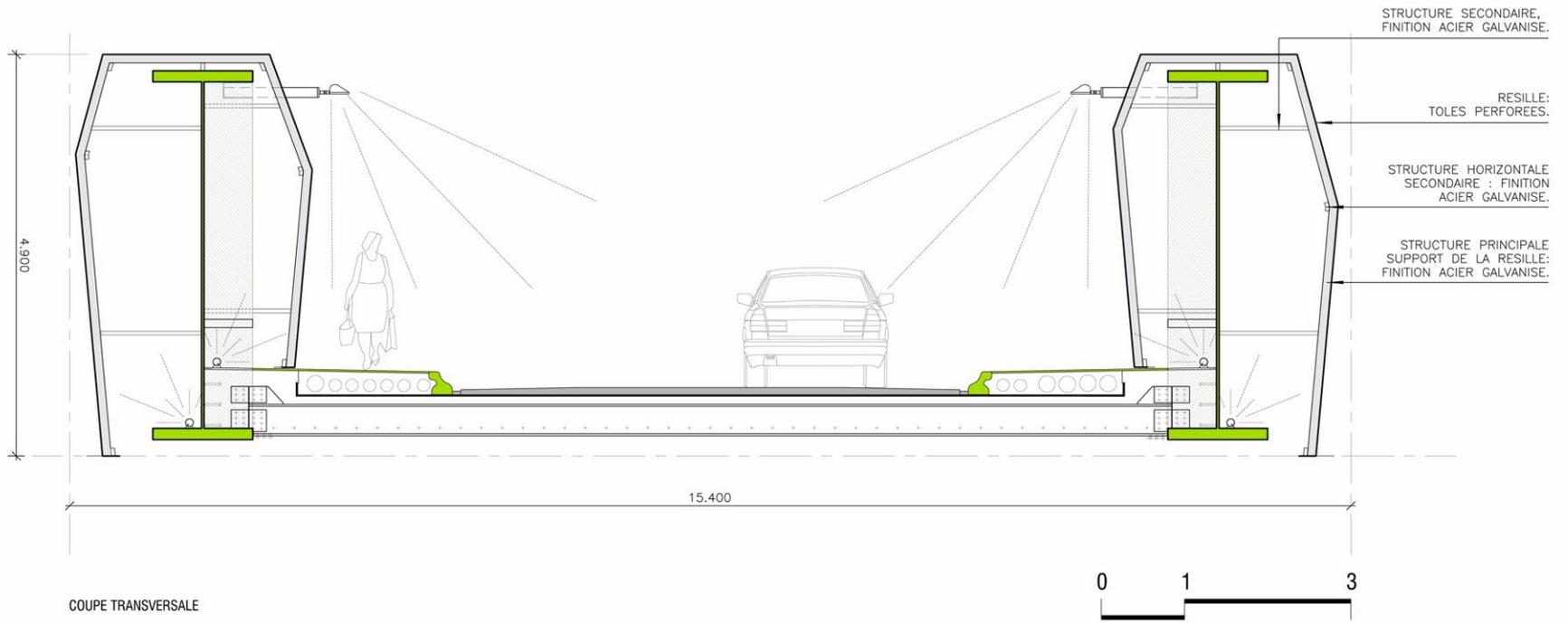


## Beispiel Brücke in Choisy-Le-Roi

Die Brücke besteht aus über 4 m hohen Vollwandträgern, die ca. 70 m frei überspannen.

Sie ist mit einem Aluminium-Lochblech bekleidet. Das so erzeugte Spiel des Verhüllens wird durch die leuchtend grüne Farbe des Tragwerks betont.

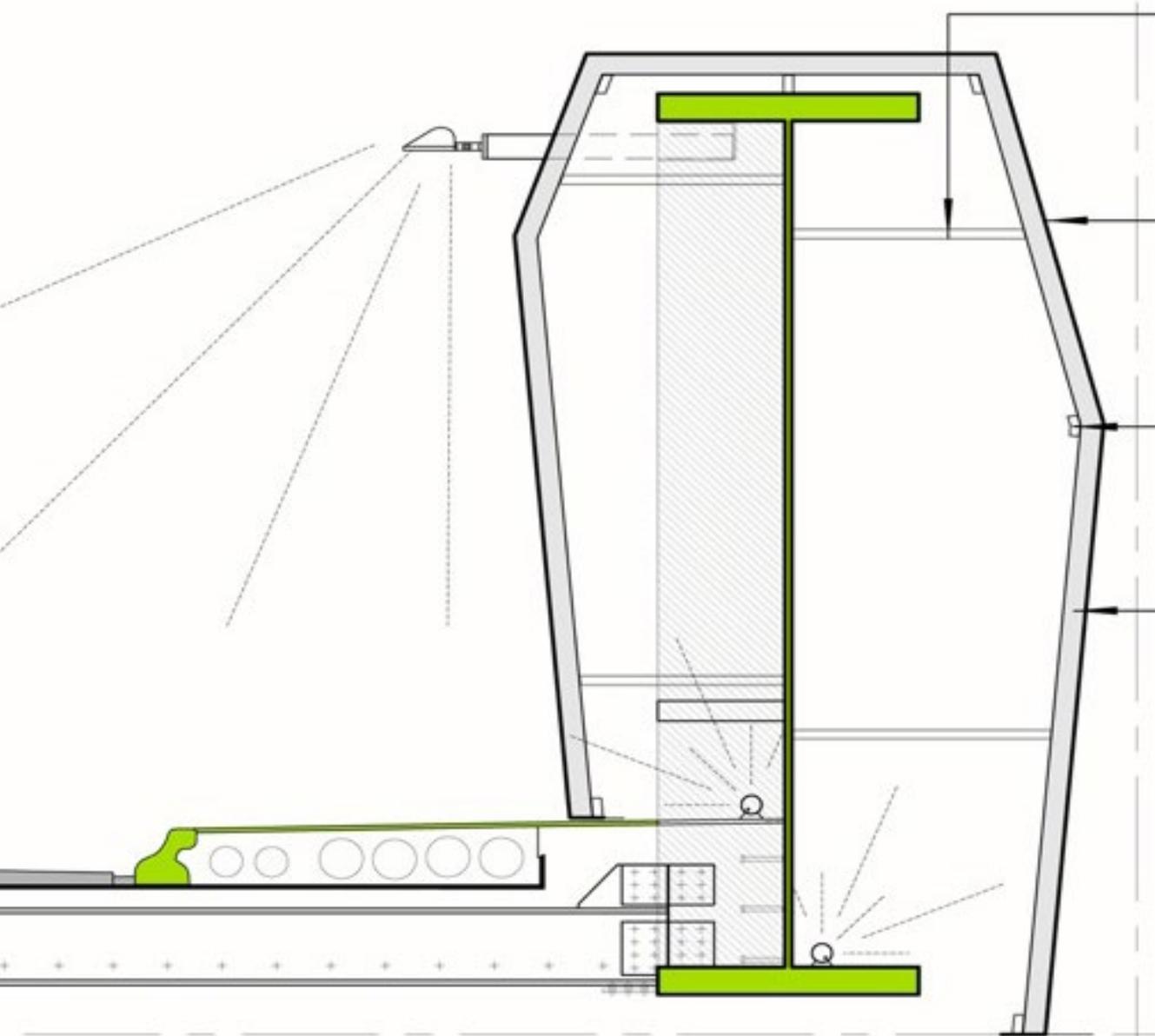












STRUCTURE PRINCIPALE  
SUPPORT DE LA RESILLE:  
FINITION ACIER GALVANISE.





### 3.2.2. Wabenträger/ Lochstegträger

Die Herstellung erfolgt aus I-Profilen durch Auftrennen des Stegs und versetztem Verschweißen der beiden Bauteile.

Dadurch erreicht man eine Vergrößerung der statischen Höhe bei gleichbleibender Materialmenge und Eigengewicht. Der maximale Durchmesser der Aussparungen liegt bei 70 % der Trägerhöhe. Die Öffnungen werden häufig für Installationsleitungen genutzt.

Sie werden bei großen Spannweiten eingesetzt zur Übertragung der Biegemomente.

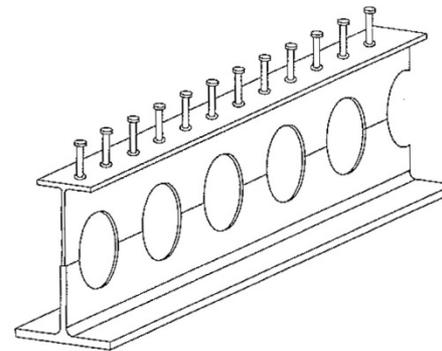
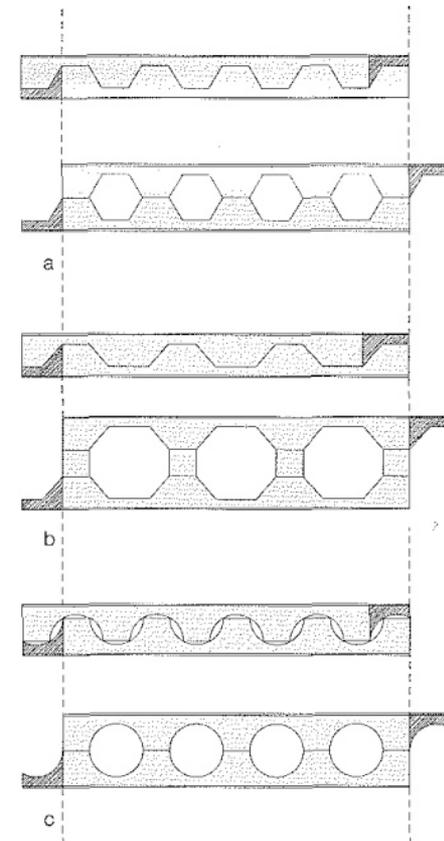


Abb. 44: Lochträger  
Beispiel mit unterschiedlichen Ober- und Untergurten zur Gewichtseinsparung

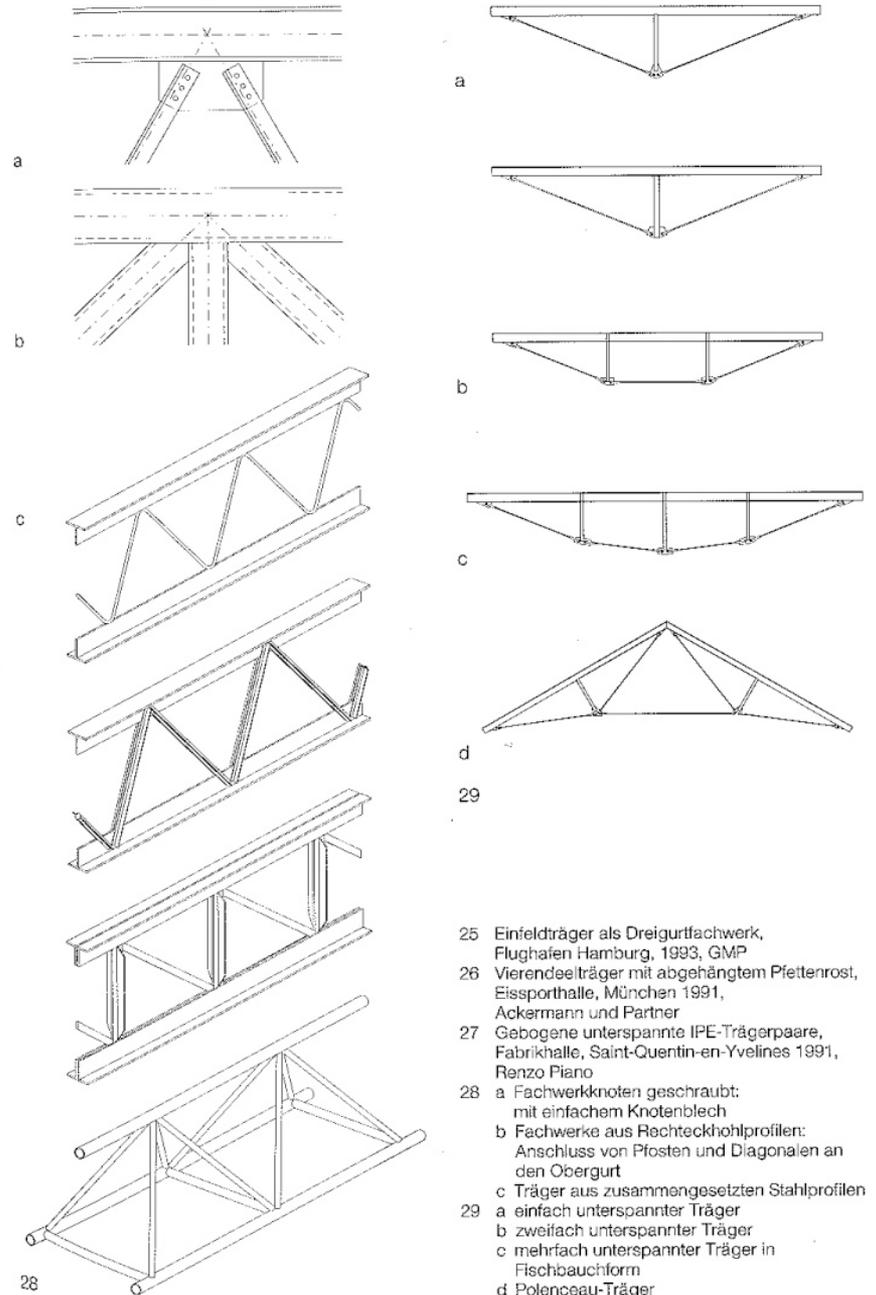


### 3.2.3. Zusammengesetzte, aufgelöste Träger

Der Träger ist nicht aus einem Stück gewalzt (oder geschweißt), sondern aus stabförmigen Bauteilen zusammengesetzt.

So entstehen filigrane optisch aufgelöste Träger, die genauere Anpassungen an den Kräfteverlauf der Beanspruchung ermöglichen und sich zum Führen von Installationen sehr gut eignen, vor allem aber durch Ihre sichtbare Leichtigkeit überzeugen können.

Nachfolgend werden dazu unterspannte Träger und Fachwerkträger vorgestellt.



### 3.2.3.1. Unterspannte Träger

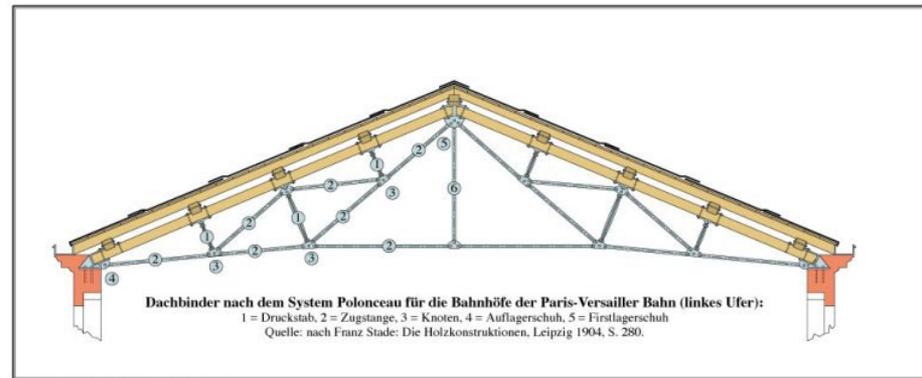
Es geht um die Maximierung der statischen Höhe bei gleichzeitiger Schlankheit des integrierten Stahlprofils, das als Obergurt dient.

Die Systemachsen sind zu beachten.

Siehe Vorlesungen Tragwerkslehre.



Beispiel Polonceau-Träger von 1838 bei Paris



Fischbauchträger



Olfen-Vinumer-Brücke



Beispiel Atrio Einkaufscenter in Villach  
von ATP Architekten

Obergurt Holzträger, Unterspannung Stahl



Die Systemachsen sind zu beachten.



Beispiel gesehen auf Malta

Dreigurt-Binder mit dazwischen liegenden  
gekrümmten Trägern mit Unterspannung





### 3.2.3.2. Fachwerkträger

Sie bestehen aus Obergurt, Untergurt und diagonal angeordneten Verbundstäben, die gelenkig verbunden sind und nur auf Druck oder Zug reagieren, es gibt dort keine Biegebeanspruchung.

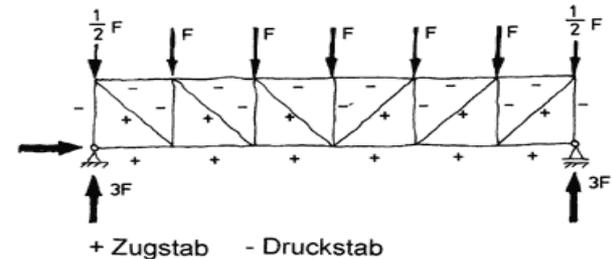
Die optimierte Dimensionierung bei gleichzeitig geringem Materialeinsatz eignet sich hervorragend für wirtschaftliche Tragwerke mit großen Spannweiten.

Die Diagonalen sollten zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$  liegen, damit sich die Systemlinien aller Profile in einem Punkt treffen.

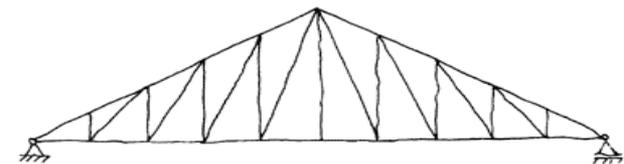
Siehe auch Vorlesungen Tragwerkslehre.



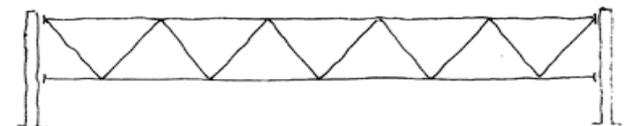
Abbildung: *Bauforum Stahl Düsseldorf*



Parallelfachwerk mit Zugdiagonalen



Dreieckfachwerk



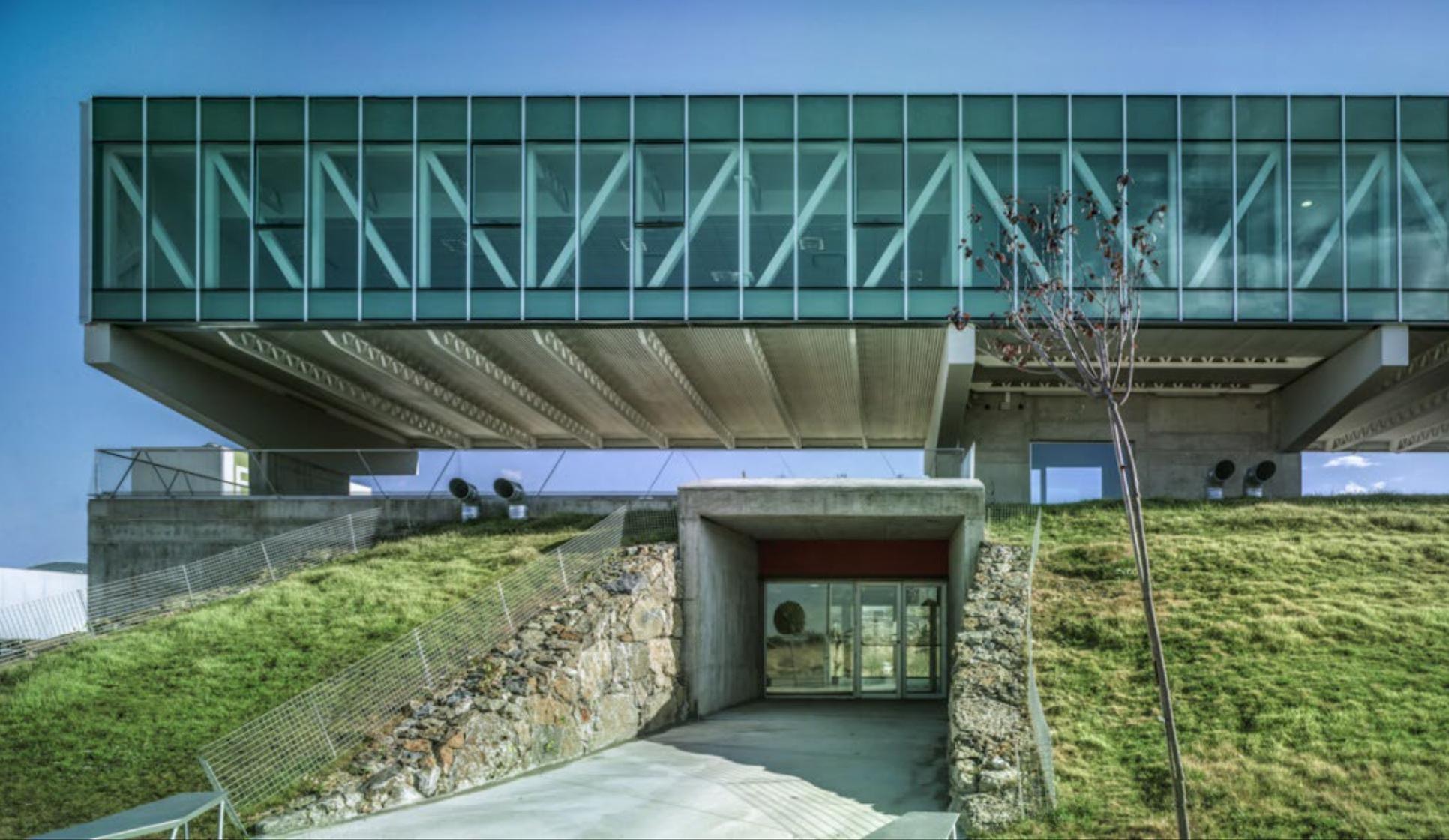
Parallelfachwerk ( Rahmenriegel )



Spannweite ca. 16 m  
Trägerhöhe ca. 2,7 m

Prof. Jean Heemskerk

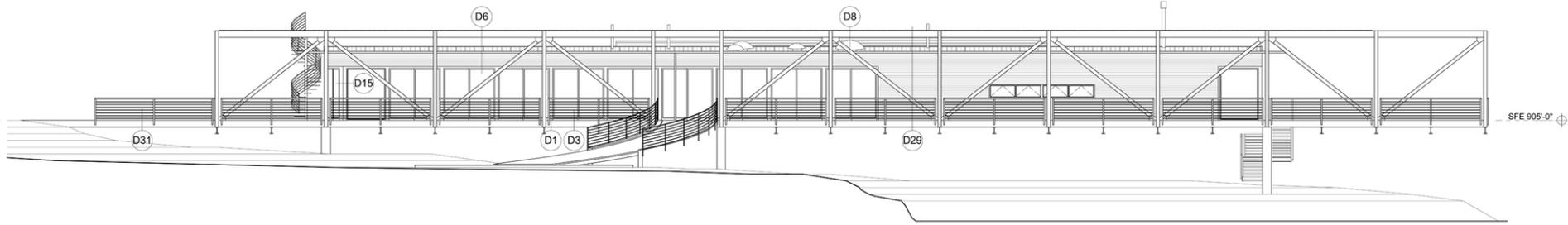
Chamber of Commerce of Jaén  
ER Arquitectos/ Non Arquitectura 2013







Technologiezentrum Óbidos (Portugal)  
Jorge Mealha 2014



4 West Elevation  
A7 1/8" = 1'-0"

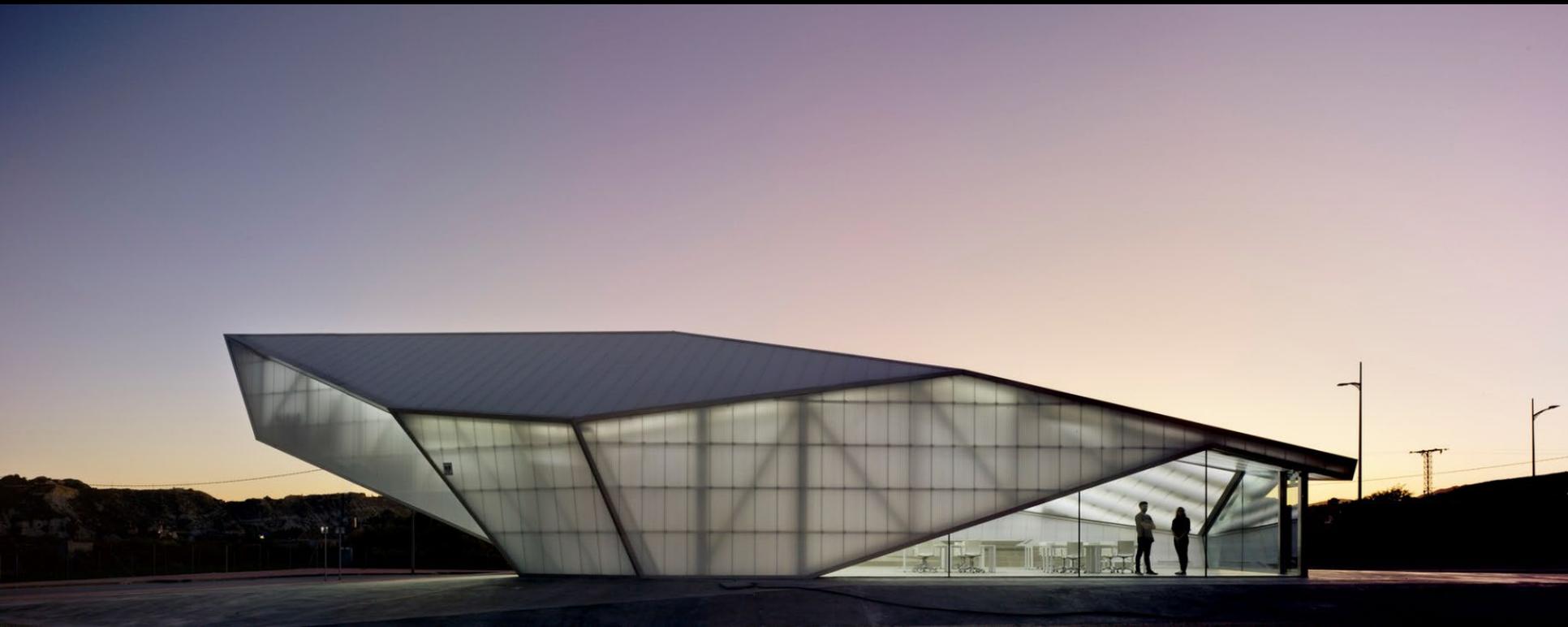


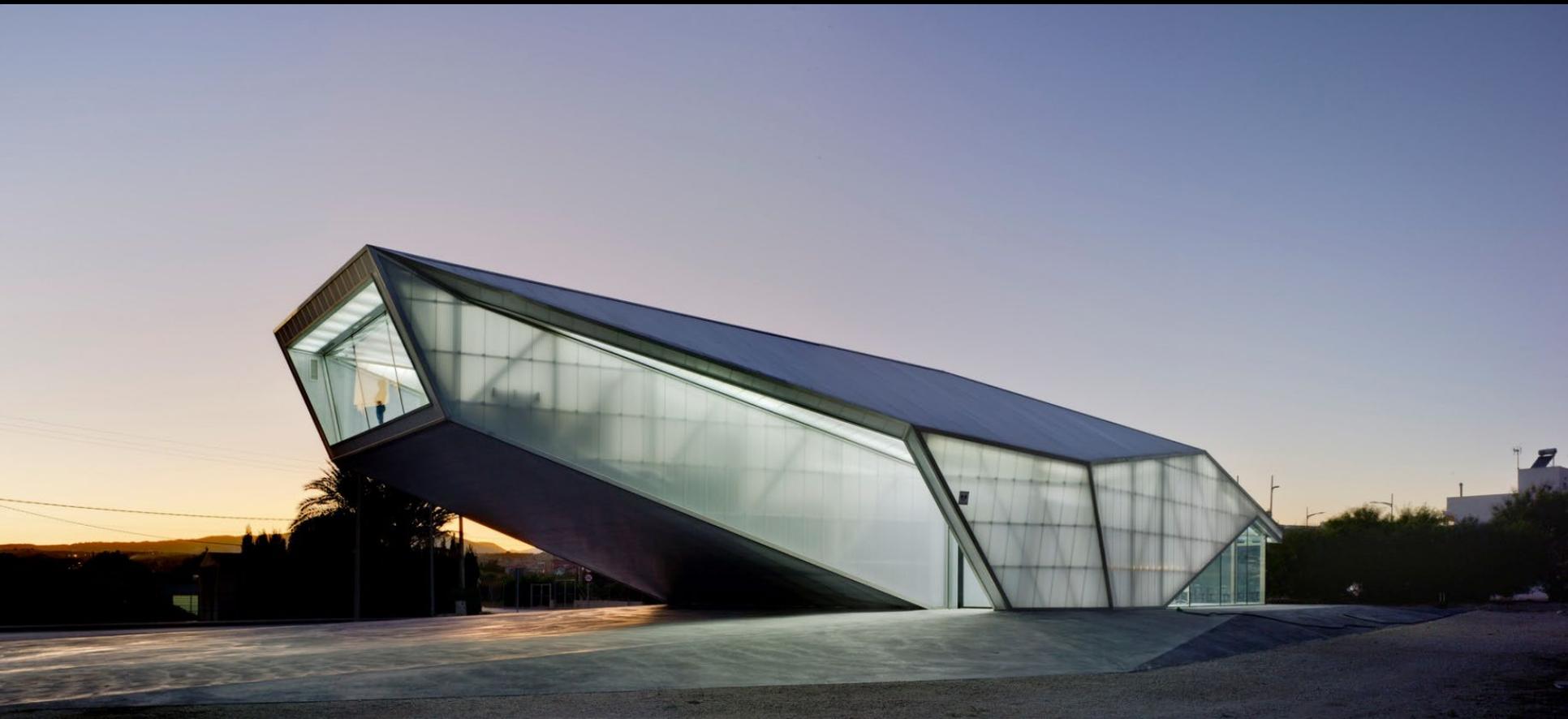
House in Juliaetta USA  
Paul F. Hirzel 2013





















Eine Besonderheit stellt der sogenannte Warren-Träger dar, der im 19. Jahrhundert erfunden wurde. Charakteristisch sind die dreieckig angeordneten Diagonalen ohne vertikale Druckstäbe.





Sainsbury Center for Visual Arts in Norwich  
Norman Foster 1978

Ein bekanntes Beispiel ist das Sainsbury Center for Visual Arts in Norwich England von Sir Norman Foster 1978.

Hier ausgeführt als räumliches Tragwerk.





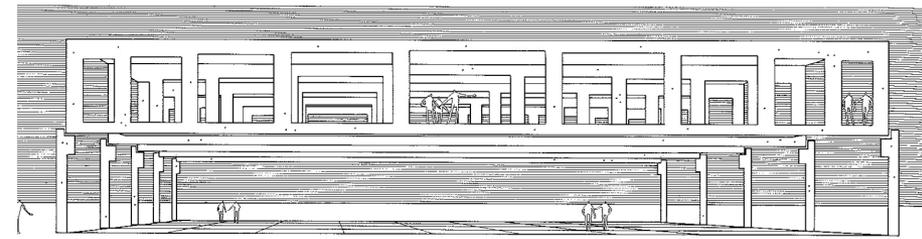
### 3.2.4. Viereckelträger

Diese besondere Trägerart ist benannt nach dem belgischen Ingenieur Arthur Vierendeel (1852-1940).

Es handelt sich um einen Mehrfeldrahmen mit horizontalen sogenannten Gurten und vertikalen Riegeln oder Pfosten, die in den Ecken zu einem steifen Rahmen verbunden werden.

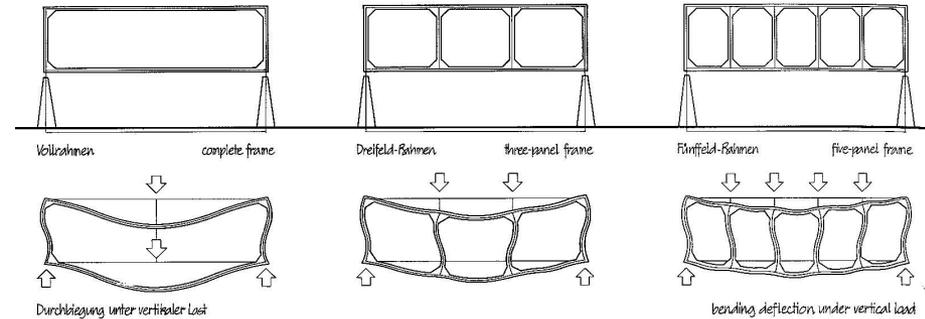
Diese Eckverbindungen müssen wie beim Rahmen biegesteif sein und das Material daher deutlich stärker bemessen sein als bei einem Fachwerk mit Diagonalen.

Es ist wie der Wabenträger eine installationsfreundliche Trägerart, dabei mit einer sehr geradlinigen Gestaltung.



Eingeschossiger Mehrfeldrahmen auf zwei Stützen

single-story multi-panel frame supported at both ends



Der Rahmen

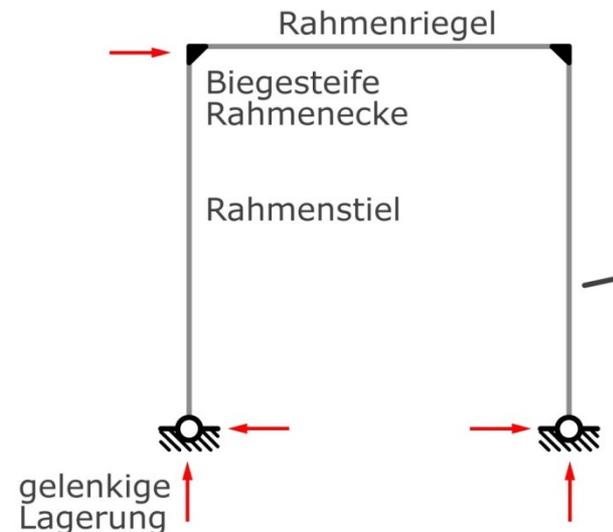


Abbildung oben: *Tragsysteme / Structure Systems*, Heino Engel

# Vollrahmen und Mehrfeldrahmen

Mechanismus des Vollrahmens und Mehrfeldrahmens

mechanism of complete frame and multi-panel frame

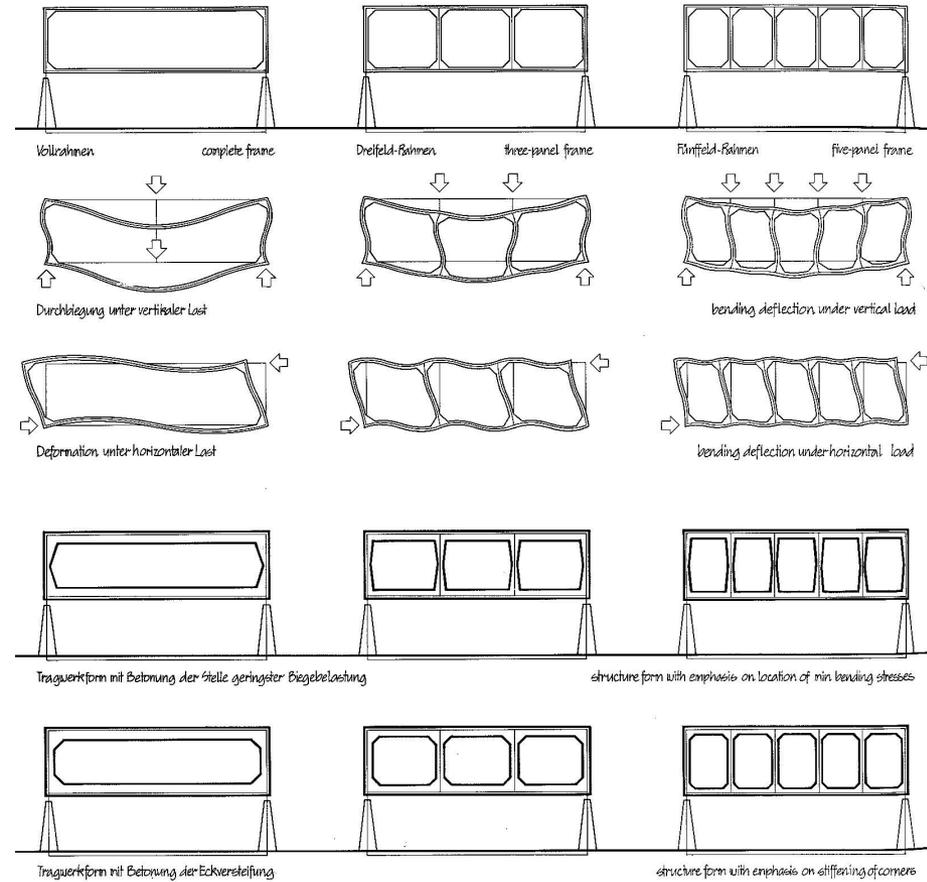
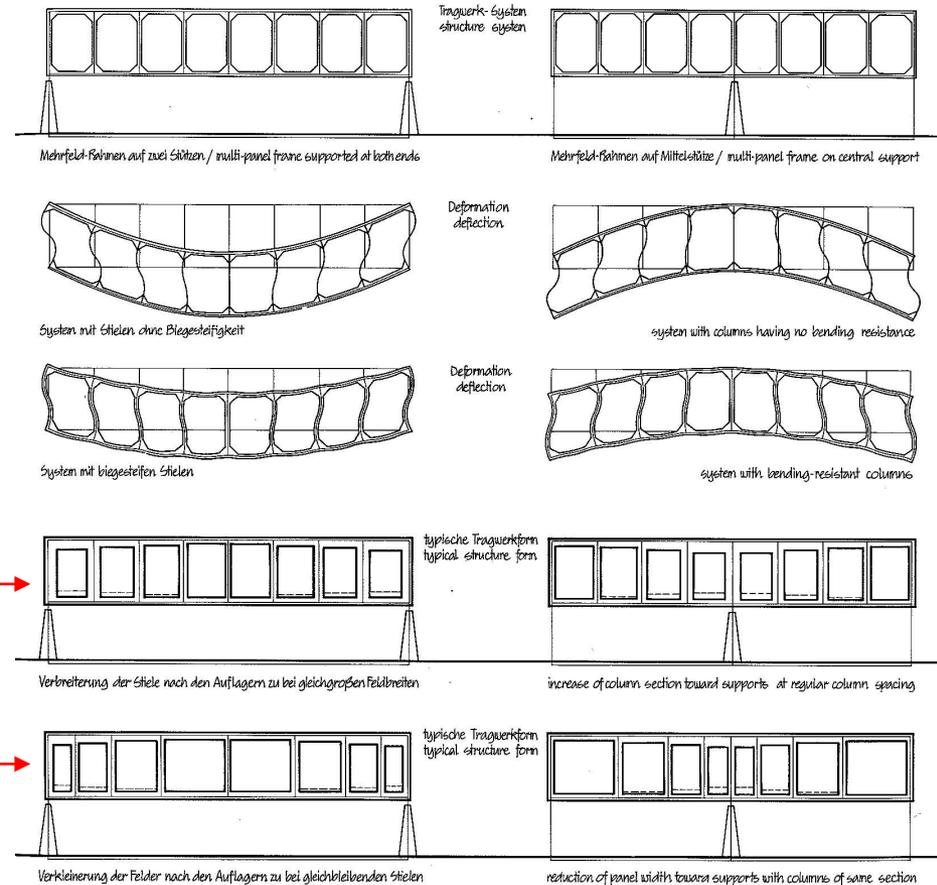


Abbildung: *Tragsysteme / Structure Systems*, Heino Engel

Prof. Jean Heemskerk

# Vollrahmen und Mehrfeldrahmen

Beziehung zwischen Rahmentstellung und Mechanismus des Mehrfeldrahmens / relationship between panel design and mechanism of multi-panel frame



Verbreiterung der Stiele bei gleichgroßen Feldbreiten

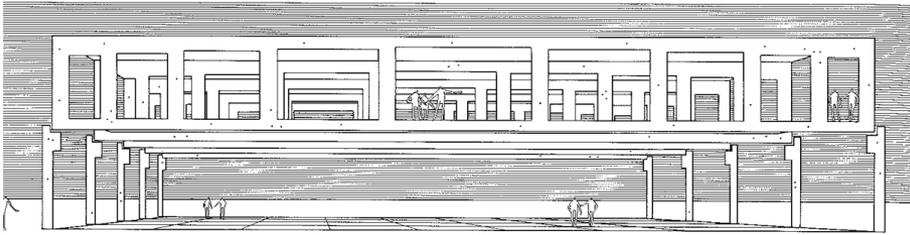


Verkleinerung der Felder bei gleichbleibenden Stielen



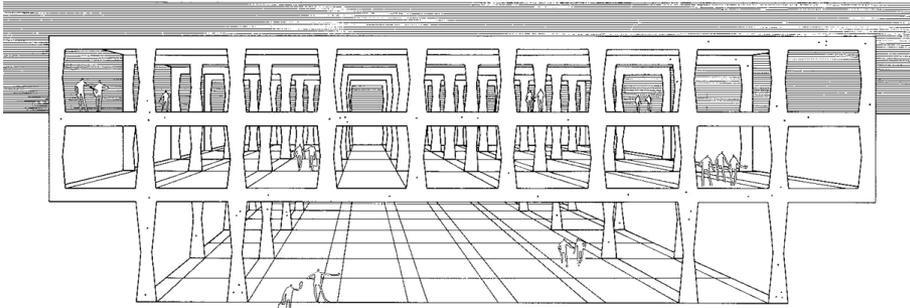
Weitgespannte Tragsysteme aus Mehrfeld-Rahmen

longspan structure systems composed of multi-panel frames



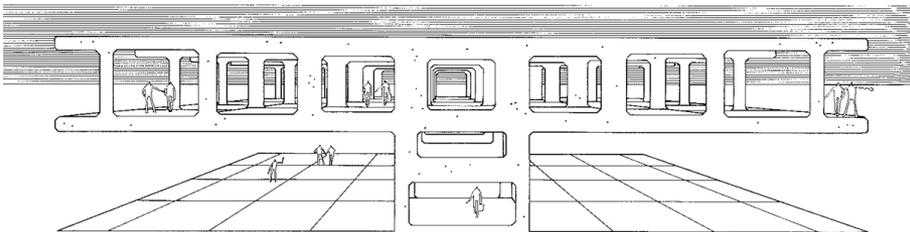
Eingeschossiger Mehrfeldrahmen auf zwei Stützen

single-story multi-panel frame supported at both ends



Zweigeschossiger Mehrfeldrahmen mit beidseitiger Auskrantung

two-story multi-panel frame with cantilevers at both ends

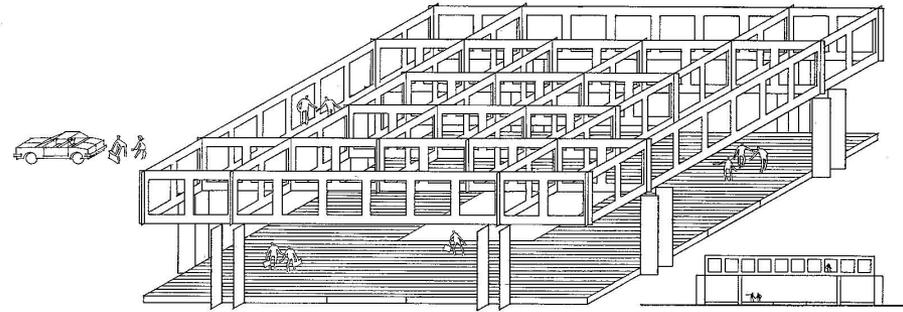


Eingeschossiger Mehrfeldrahmen auf Mittelstützen

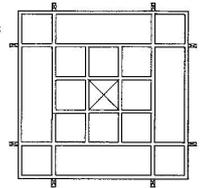
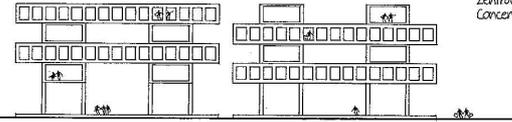
single-story multi-panel frame on central supports

Zweiachsige Systeme aus Mehrfeld-Geschoßrahmen

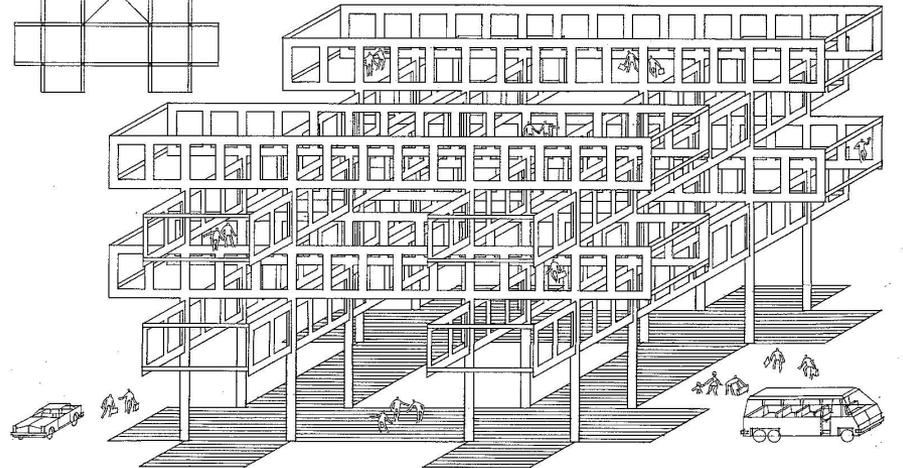
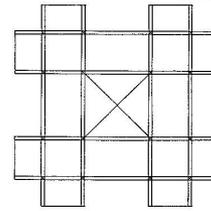
Biaxial systems of multi-panel storey frames

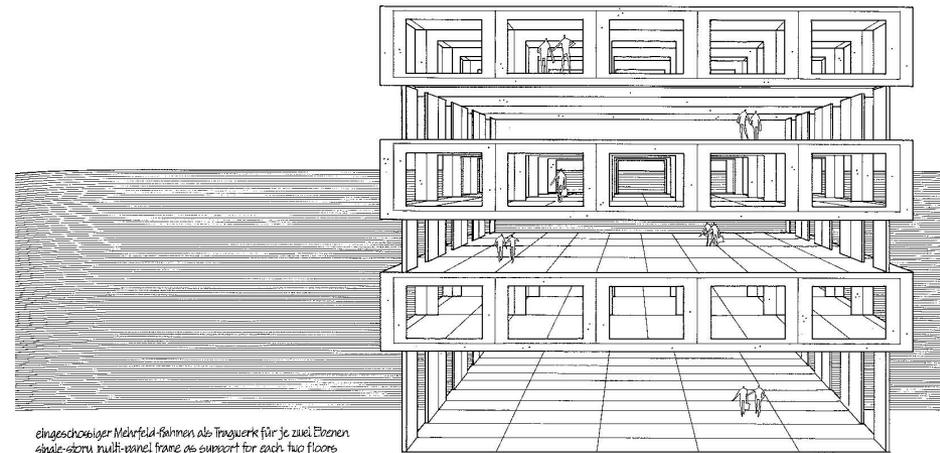


Zentralrost aus Mehrfeld-Vollrahmen  
Concentric grid from multi-panel frames

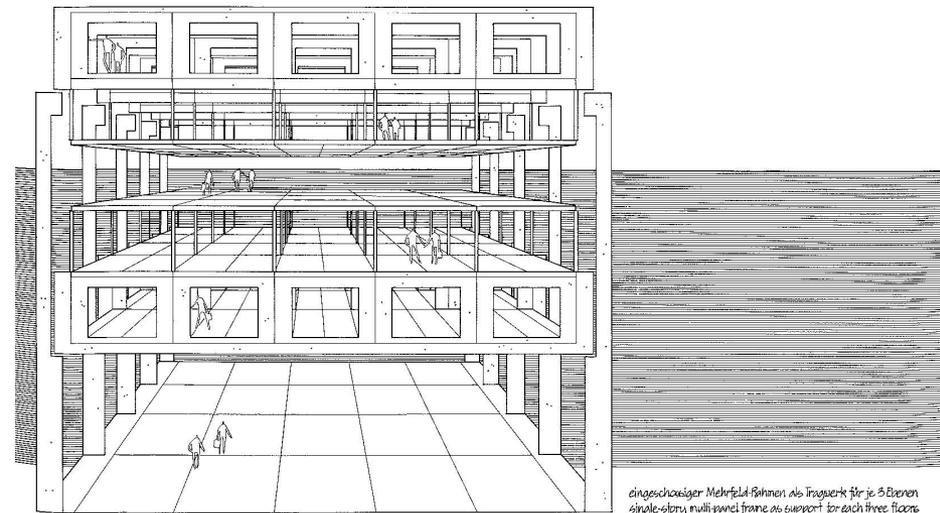


Kreuzweise Stapelung von Mehrfeld-Vollrahmen  
Two-way stacking of multi-panel full frames





eingeschossiger Mehrfeld-Rahmen als Tragwerk für je zwei Ebenen  
 single-story multi-panel frame as support for each two floors



eingeschossiger Mehrfeld-Rahmen als Tragwerk für je 3 Ebenen  
 single-story multi-panel frame as support for each three floors

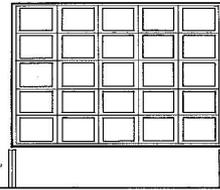
Abbildung: *Tragsysteme / Structure Systems*, Heino Engel

Prof. Jean Heemskerk

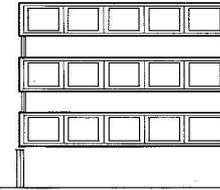


Mehrgeschoss-Tragwerksysteme aus Mehrfeld-Rahmen

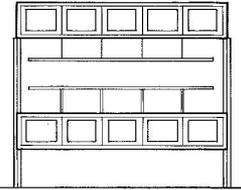
multi-story structure systems composed of multi-panel frames



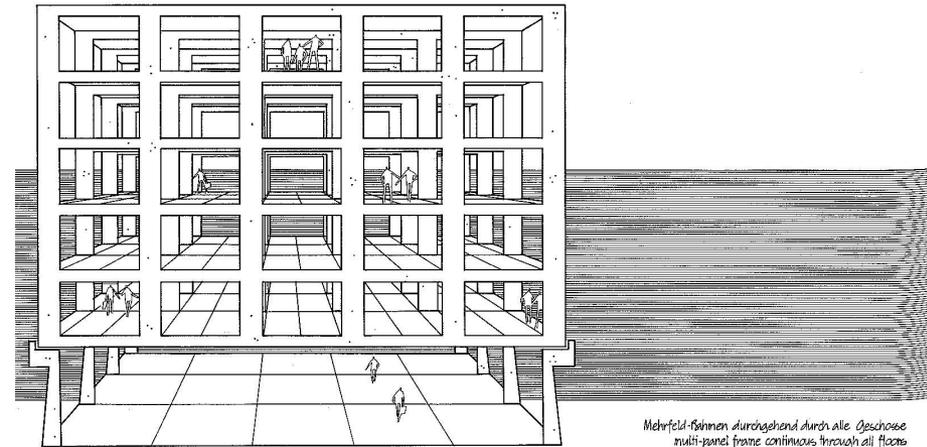
Mehrgeschoss-Tragwerk durch alle Stockwerke  
multi-story structure through all floors



Eingeschoß-Tragwerk für zwei Stockwerke  
single-story structure supporting two floors



Eingeschoß-Tragwerk für drei Stockwerke  
single-story structure supporting three floors



Mehrfeld-Rahmen durchgehend durch alle Geschosse  
multi-panel frame continuous through all floors

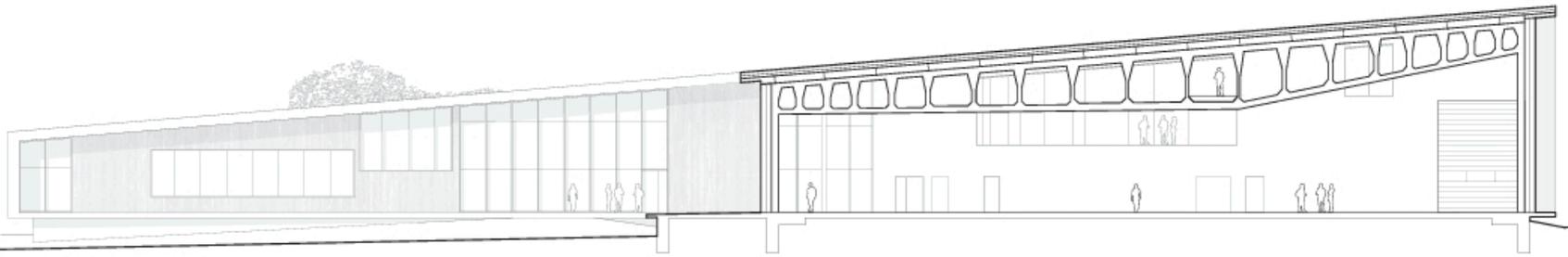




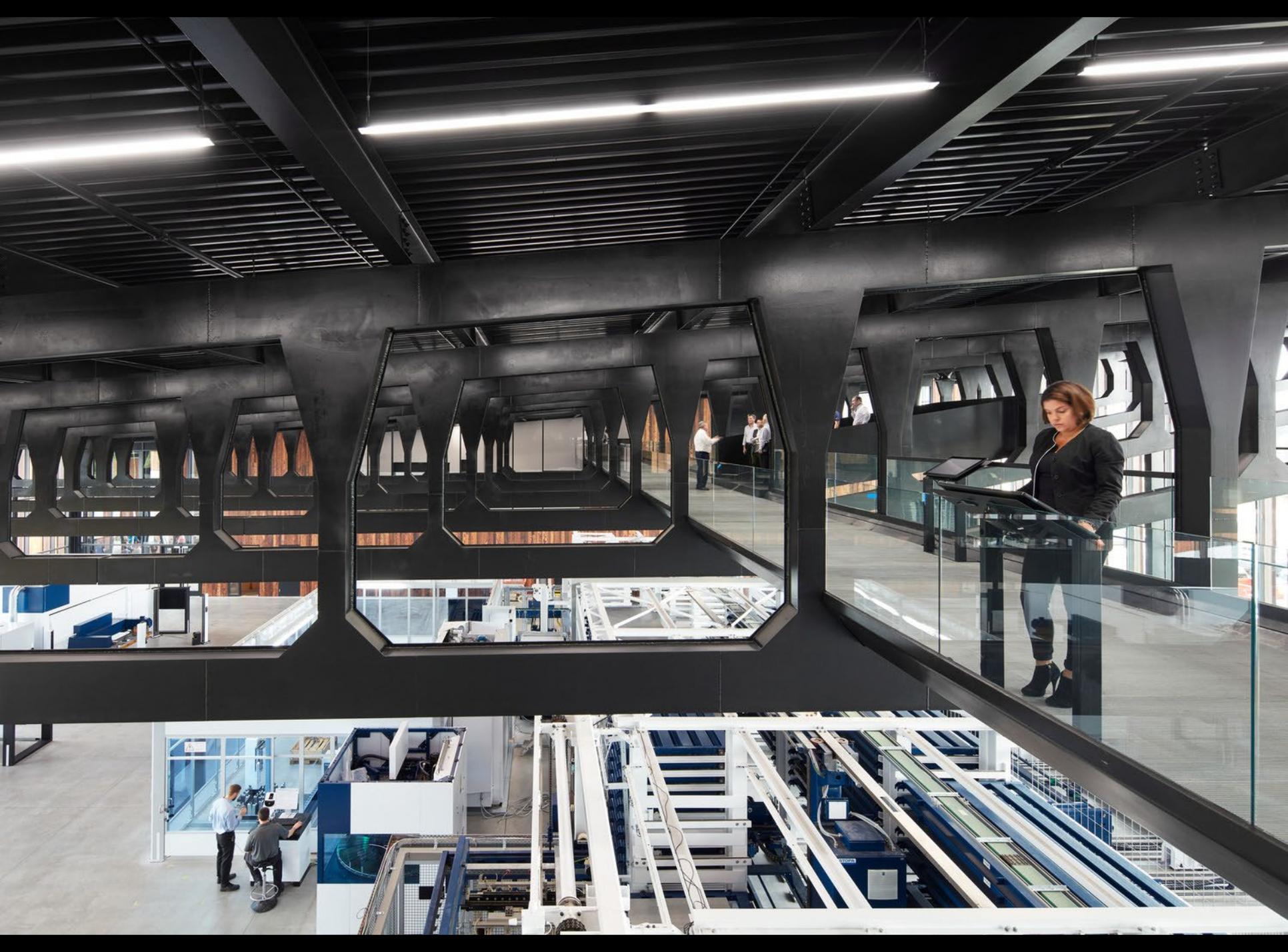
Abbildungen: [archdaily.com](http://archdaily.com)

Prof. Jean Heemskerk

Smart Factory Chicago  
Barkow Leibinger Architekten 2017





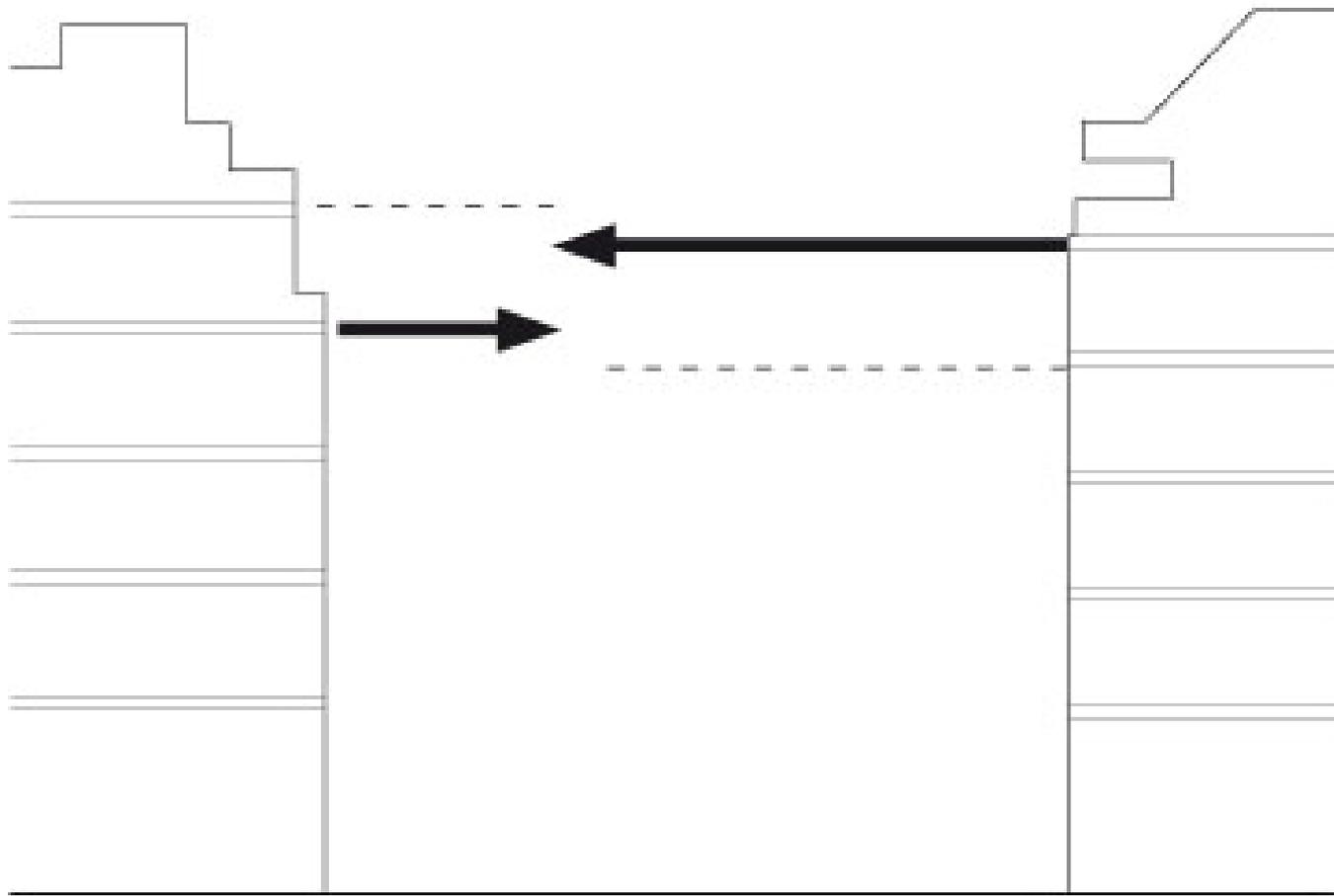


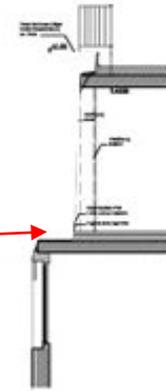
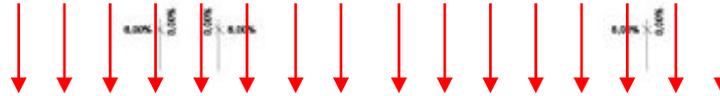
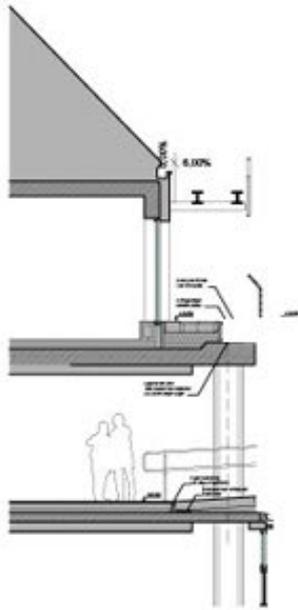


Zum Abschluss des Abschnitts über Träger erörtern Sie bitte in kleinen Gruppen mögliche Tragwerke für die Fußgängerbrücke zwischen den beiden seitlich abgebildeten Gebäuden.

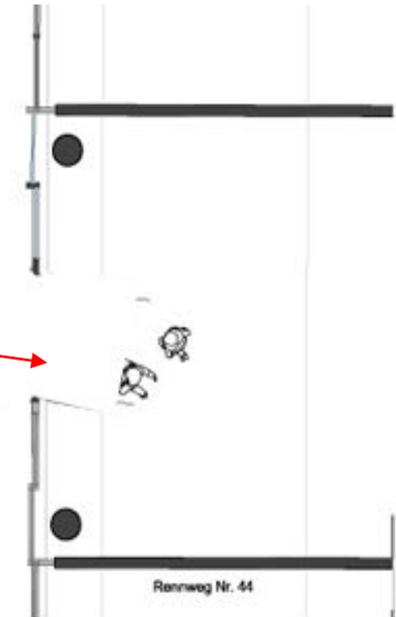
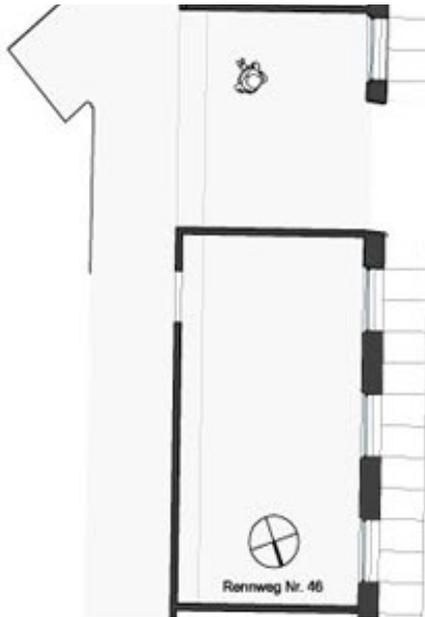
Die Brücke ist kein Steg, sondern thermisch getrennt, also umseitig von einer dichten Hülle umgeben.







1. Spannweite überbrücken



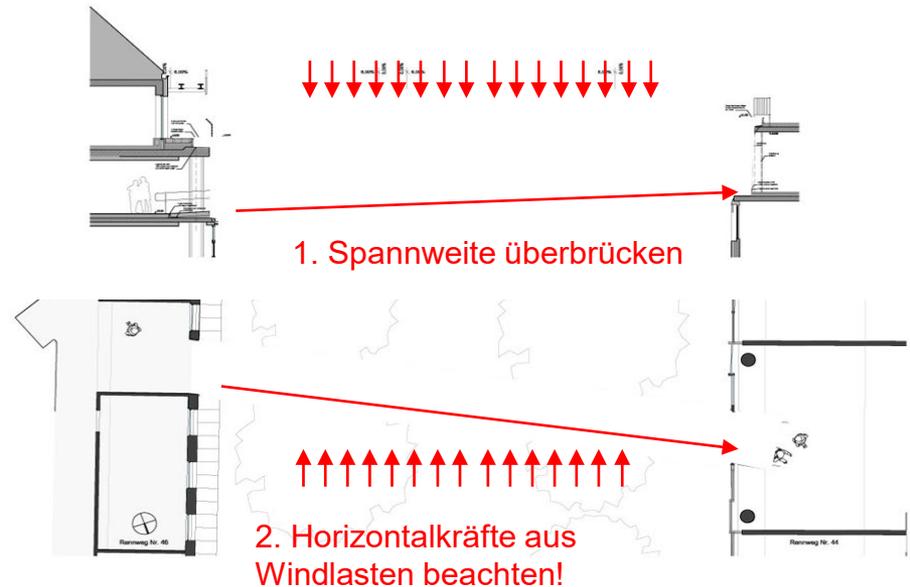
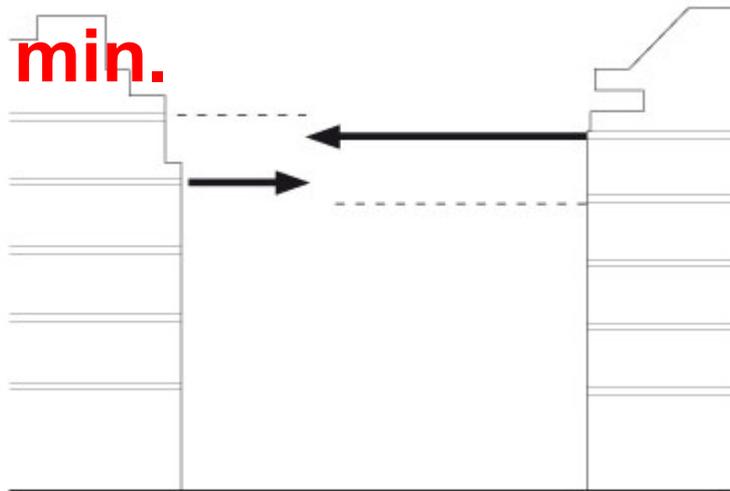
2. Horizontalkräfte aus Windlasten beachten!

Zum Abschluss des Abschnitts über Träger erörtern Sie bitte in kleinen Gruppen mögliche Tragwerke für die Fußgängerbrücke zwischen den beiden seitlich abgebildeten Gebäuden.

Die Brücke ist kein Steg, sondern thermisch getrennt, also umseitig von einer dichten Hülle umgeben.



**5 min.**



1. Spannweite überbrücken

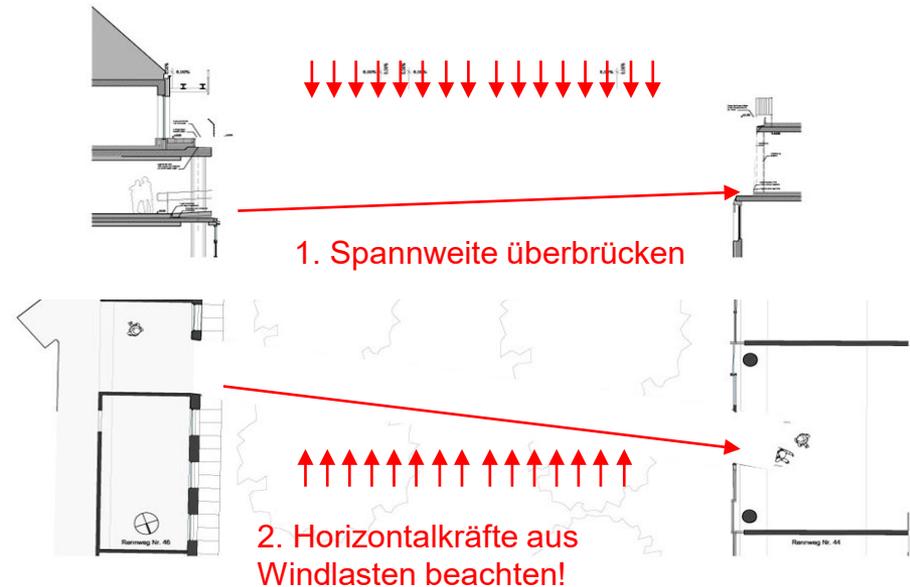
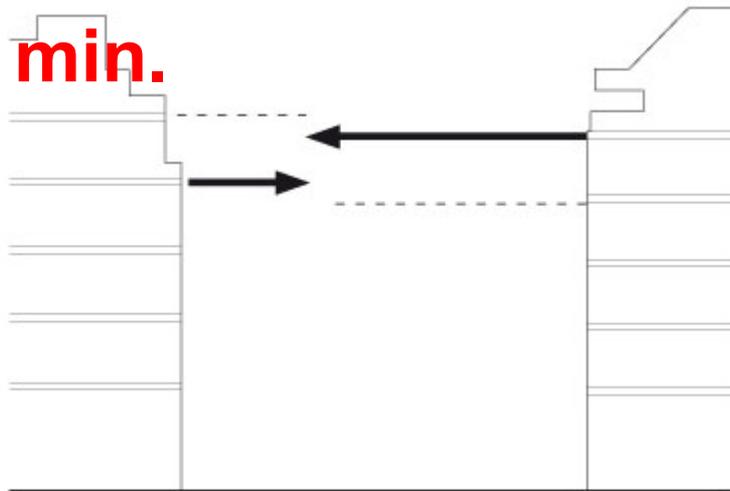
2. Horizontalkräfte aus Windlasten beachten!

Zum Abschluss des Abschnitts über Träger erörtern Sie bitte in kleinen Gruppen mögliche Tragwerke für die Fußgängerbrücke zwischen den beiden seitlich abgebildeten Gebäuden.

Die Brücke ist kein Steg, sondern thermisch getrennt, also umseitig von einer dichten Hülle umgeben.



**5 min.**



1. Spannweite überbrücken

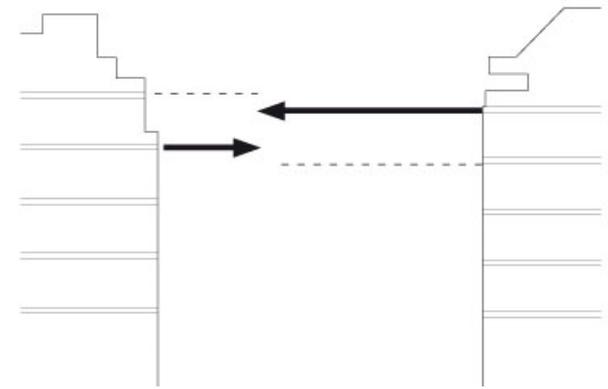
2. Horizontalkräfte aus Windlasten beachten!

Verbindungsbrücke Rennweg in Wien  
Solid Architecture 2009

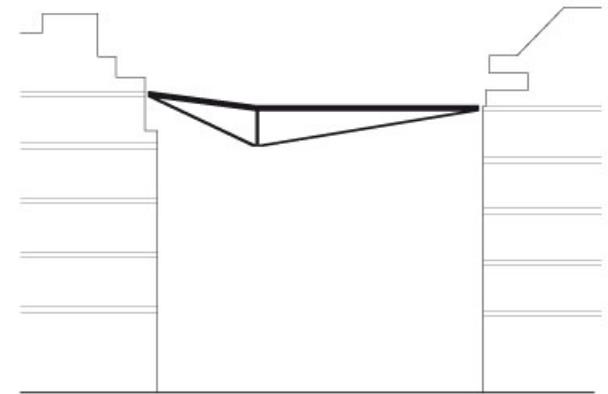


Brücke Rennweg in Wien  
Solid Architecture 2009

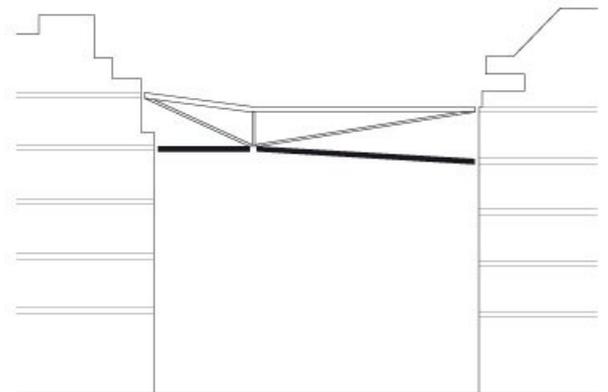
Anforderung

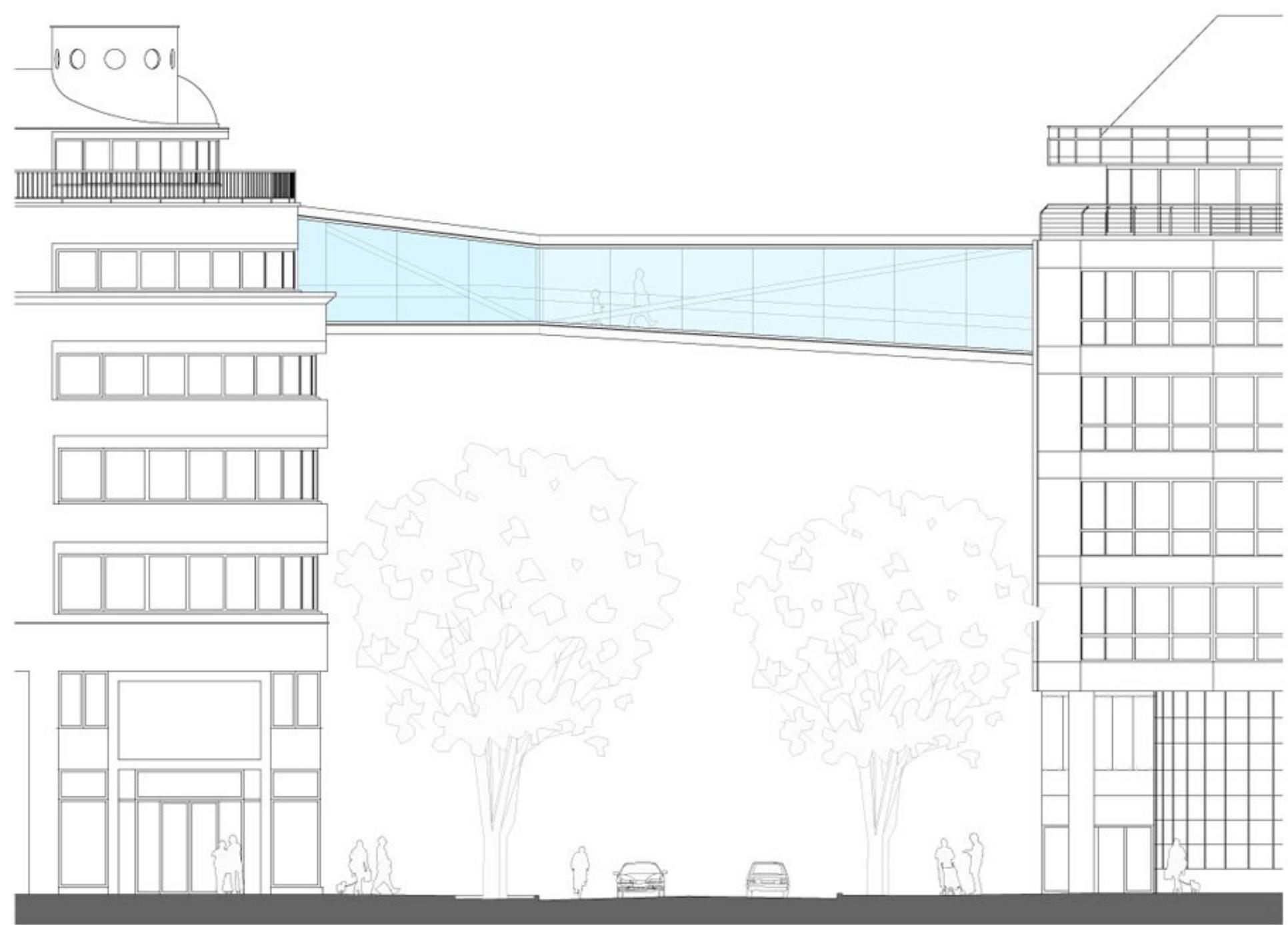


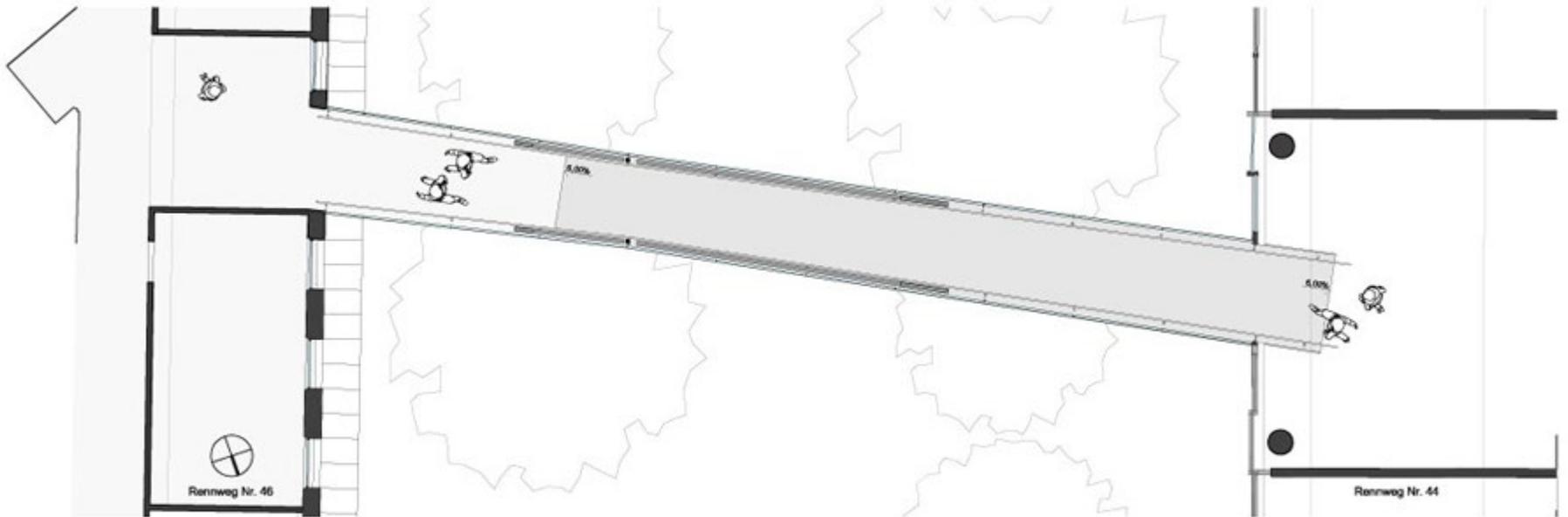
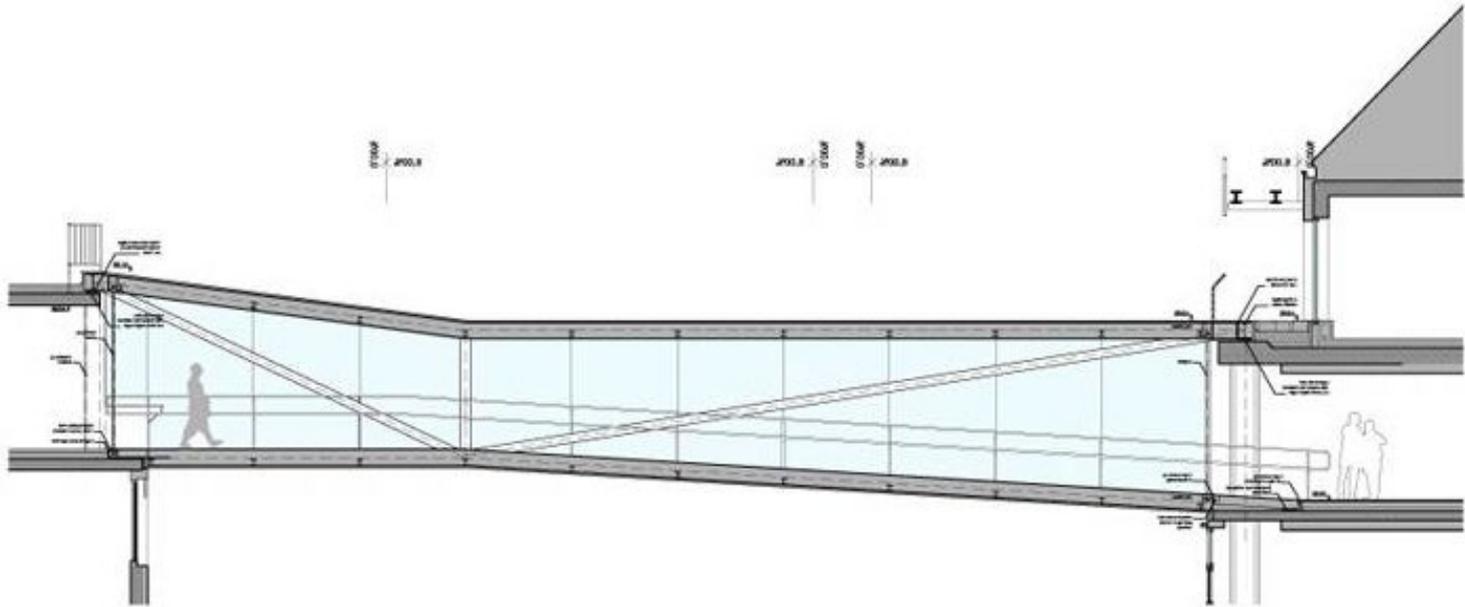
Tragwerkslösung



Raumabschluss

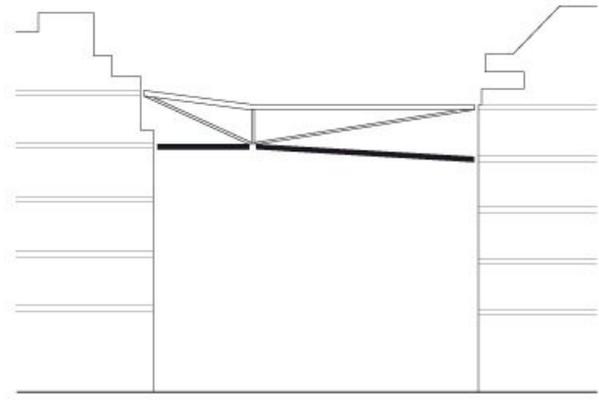




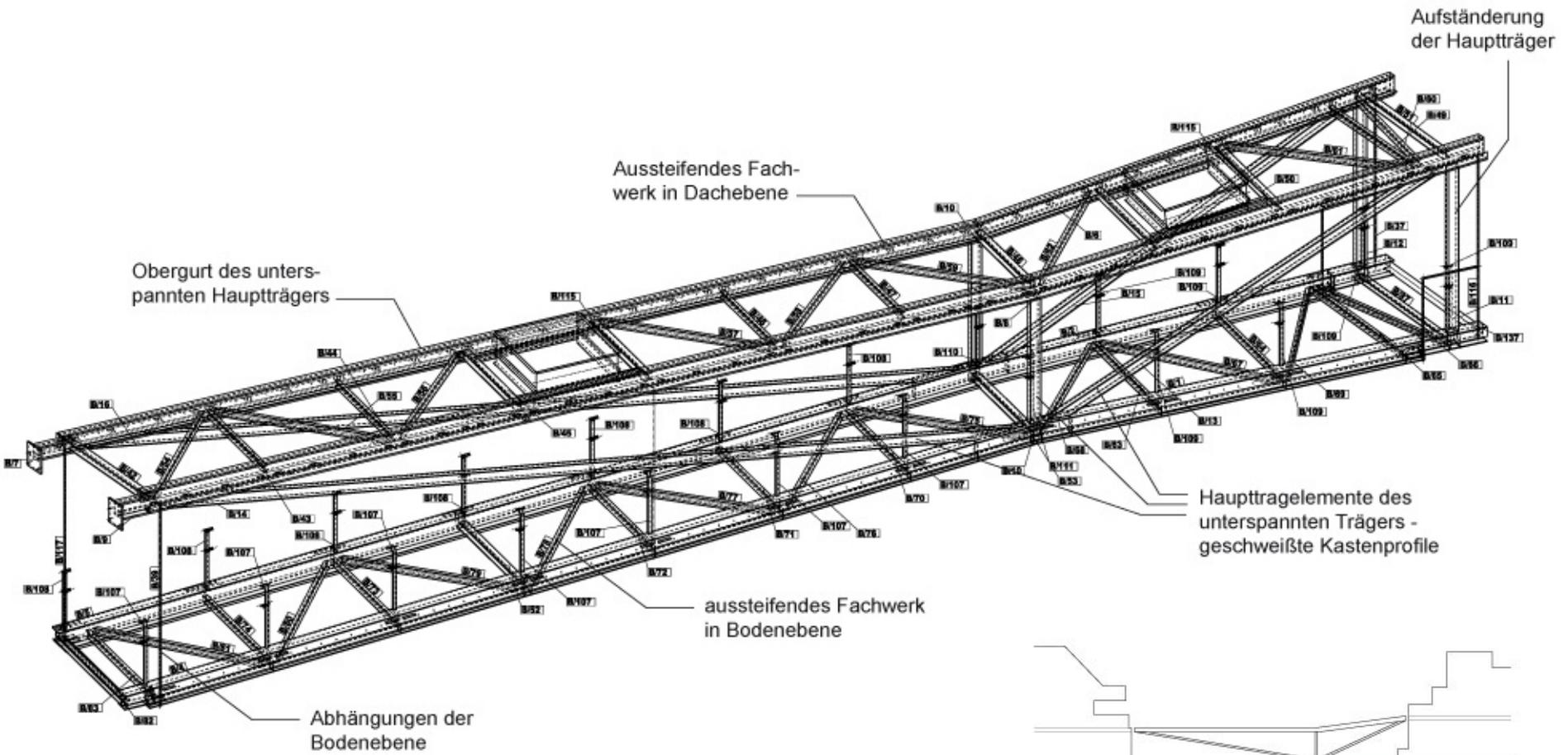




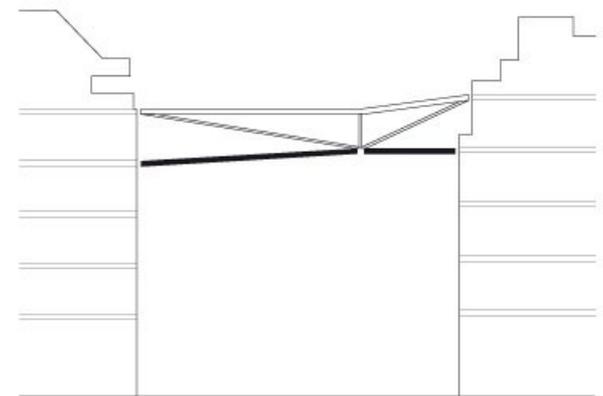






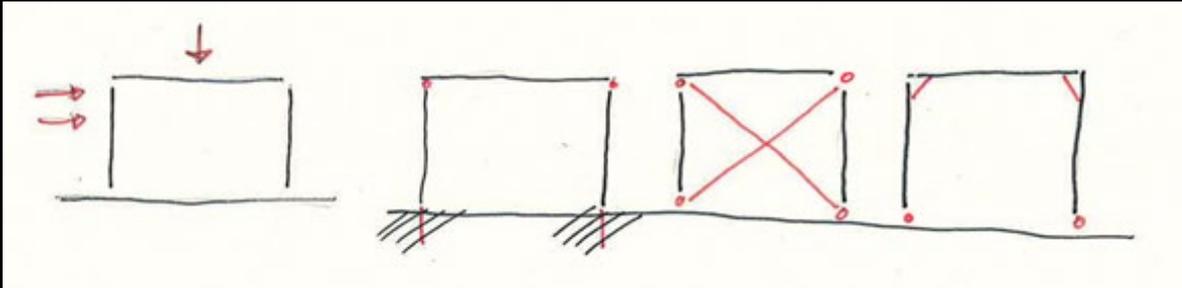


Axonometrie des Tragwerks



# Stahlskelettbau

1. Charakteristika
2. Raster
3. Elemente des Skelettbau
  - 3.1. Stützen
  - 3.2. Träger
  - 3.3. Verbände**
  - 3.4. Rahmen**
  - 3.5. Trägerrost
  - 3.6. Raumtragwerke
4. Anordnung der Elemente
5. Systeme



### 3.3. Verbände

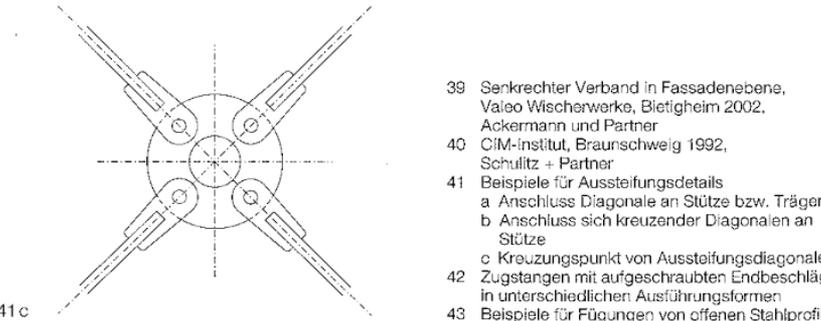
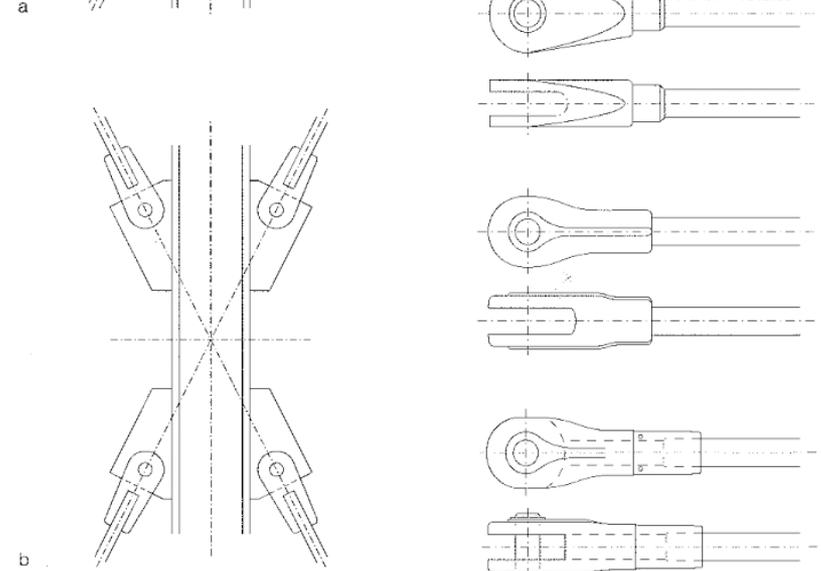
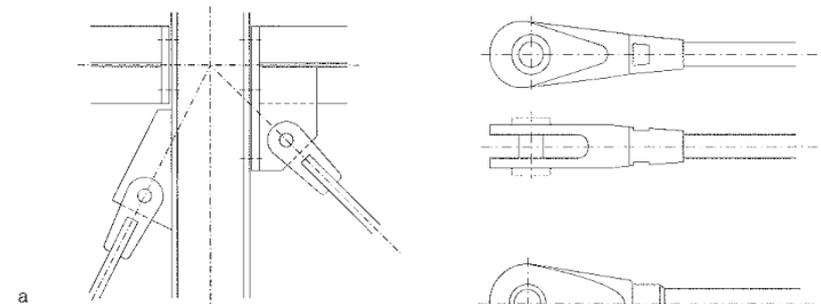
Bei einem Verband handelt es sich um eine fachwerkartig aufgelöste Aussteifung von Stütze und Träger, alternativ zu flächigen Elementen wie Scheiben oder Wänden. Sie liegen häufig in der Fassadenebene oder im Bereich von Erschließungs- und Installationskernen.

Der Anschluss der Diagonalen an die Träger und Stützen erfolgt üblicherweise mit Knotenblechen, die Systemachsen sind zu beachten.

Prinzipiell eignen sich dazu alle Bauteile mit konstantem Querschnitt und gerader Stabachse als Zugdiagonale.

Seile können zwar höhere Lasten aufnehmen, sind jedoch teurer und müssen beim Einbau vorgespannt werden.

Siehe Vorlesung Tragwerkslehre.



- 39 Senkrechter Verband in Fassadenebene, Valeo Wischerwerke, Bietigheim 2002, Ackermann und Partner
- 40 CIM-Institut, Braunschweig 1992, Schultiz + Partner
- 41 Beispiele für Aussteifungsdetails  
a Anschluss Diagonale an Stütze bzw. Träger  
b Anschluss sich kreuzender Diagonalen an Stütze  
c Kreuzungspunkt von Aussteifungsdiagonalen
- 42 Zugstangen mit aufgeschraubten Endbeschlägen in unterschiedlichen Ausführungsformen
- 43 Beispiele für Fügungen von offenen Stahlprofilen:

### 3.4. Rahmen

Eine andere Form der Aussteifung, die den Raum darunter offen belässt, dafür aber aufwendige Eckverbindungen erfordert.

Siehe Vorlesung Tragwerkslehre.

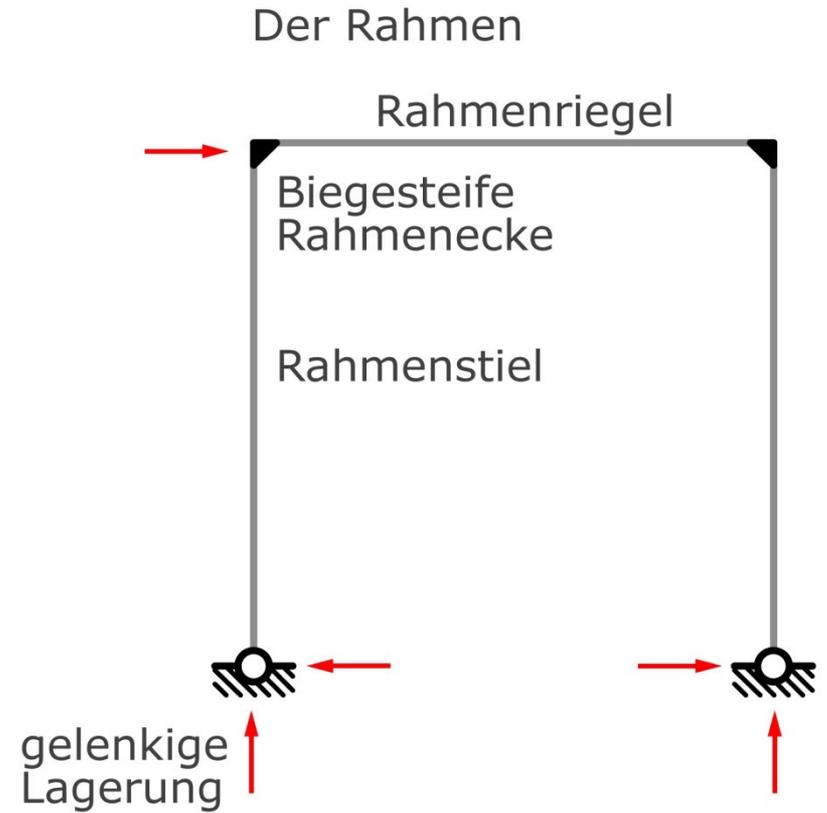


Abbildung: *Bauforum Stahl Düsseldorf*

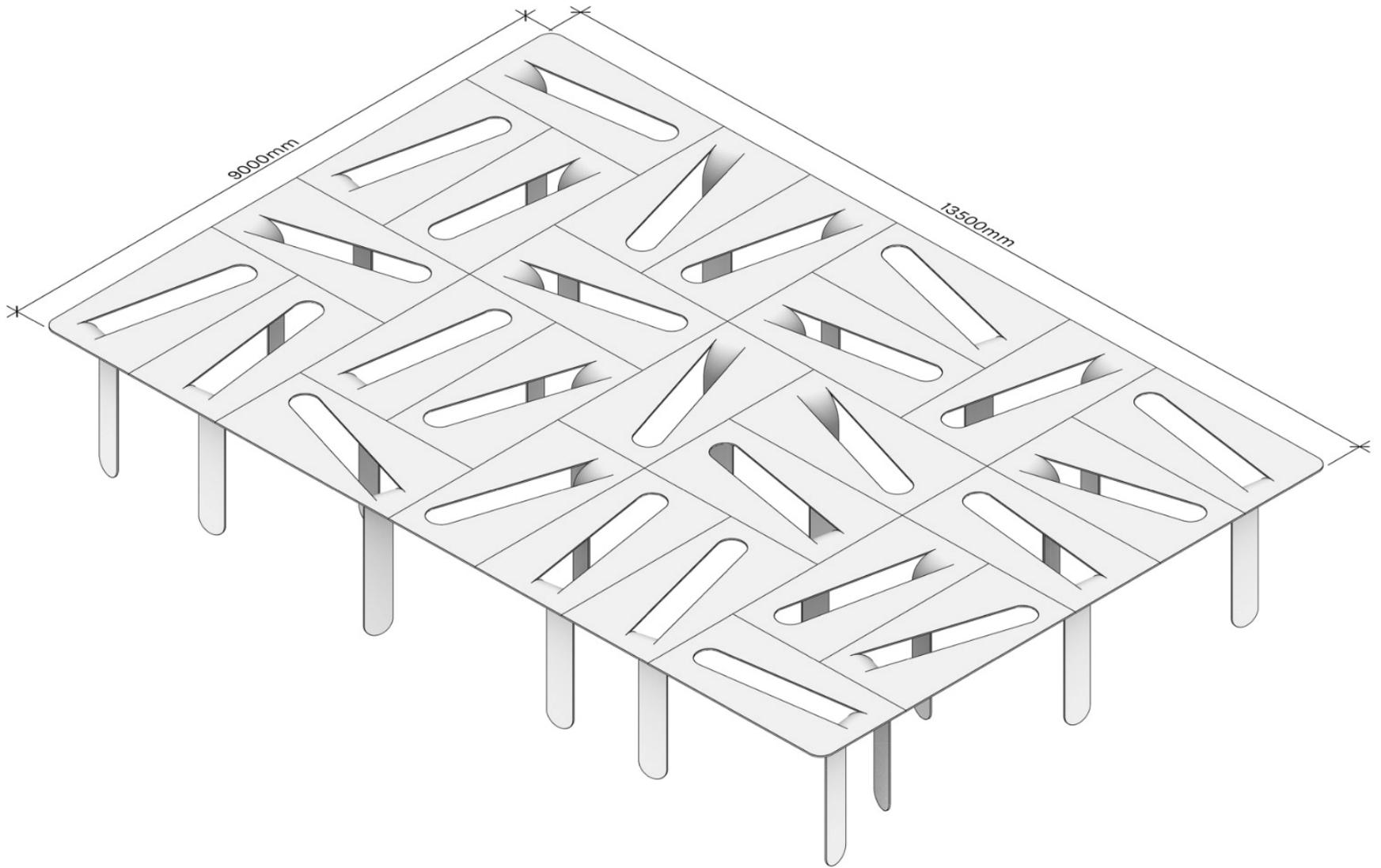
## Between Forests an Skies

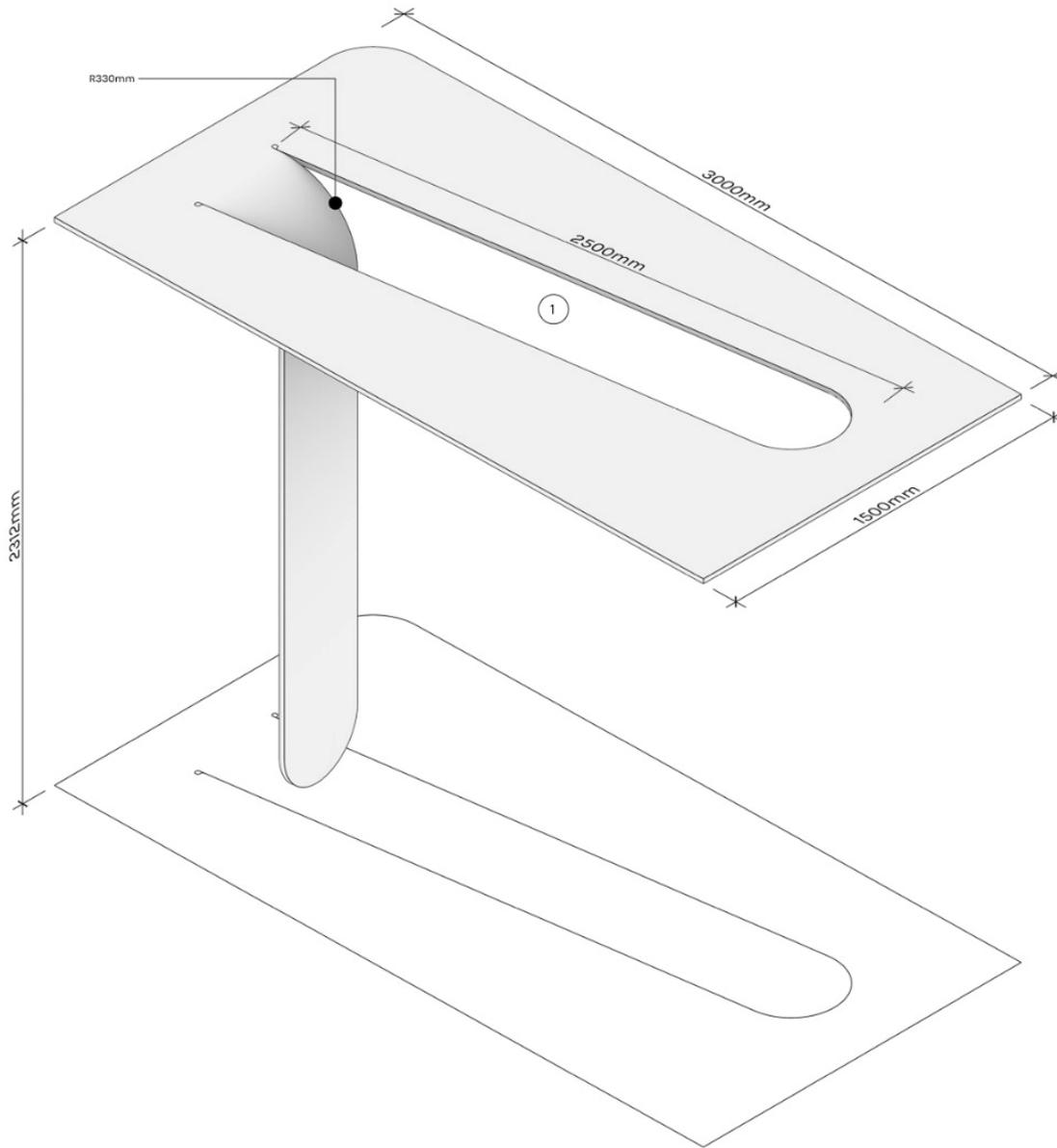
Dach aus 27 Modulen 1,5 x 3 m aus recyceltem Aluminium in 20 mm Stärke.

Nebbia Works London

Quelle: [www.detail.de](http://www.detail.de)











Between Forests an Skies, London Nebbia Works 2021











Between Forests an Skies, London Nebbia Works 2021



# Stahlskelettbau

1. Charakteristika
2. Raster
  
3. Elemente des Skelettbau
  - 3.1. Stützen
  - 3.2. Träger
  - 3.3. Verbände
  - 3.4. Rahmen
  - 3.5. Trägerrost**
  - 3.6. Raumtragwerke
  
4. Anordnung der Elemente
5. Systeme



Erörtern Sie bitte in Kleingruppen das Tragwerk eines Trägerrostes.

Wie funktioniert dieses Tragwerk?

Was sind dessen Vorteile?

Welche Nachteile besitzt der Trägerrost?

**5 min.**

*Tafelanschrieb vorbereiten  
\_Haupt-Nebenträger 7,5 x 10 m*

### 3.5. Trägerroste

Sie bestehen üblicherweise aus niveaugleich gestoßenen - biege- und torsionssteif miteinander verbundenen Trägern.

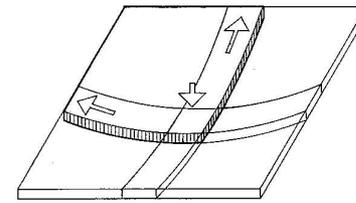
Die Tragwirkung entspricht grundsätzlich der einer „aufgelösten“ Platte. Dadurch gibt es viele Möglichkeiten zur Auflagerung und große Freiheit für die Stützenstellung.



Folgende Gründe sprechen für die Wahl eines Trägerrost:

- passendes Tragsystem für ein ungerichtetes räumliches Konzept mit sichtbarer Konstruktion
- Möglichkeit zur freieren Anordnung der Stützen
- Minimierung der Konstruktionshöhe alternativ zu einem System bestehend aus Haupt- und Nebenträgern

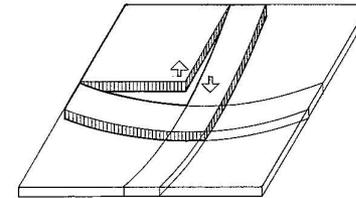
Rechtwinklige Roste sind gebräuchlich, da schiefwinklige oder gekrümmte Geometrien, obwohl teilweise statisch effektiver, aufwendig und teurer sind. Selbst Optimierungen durch Unterspannungen o.ä. innerhalb des Rostes sind denkbar.



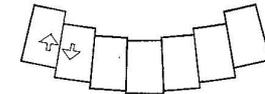
**Balken-Wirkung**  
Durch Biegemechanik (kombinierte Zug- und Druck- und Scherwirkung) werden die Lasten wie beim Balkentrag nach den Auflagern abgetragen



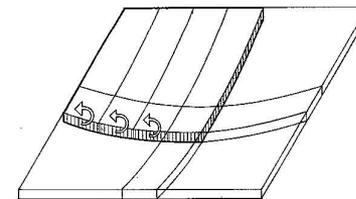
**Beam action**  
Through bending mechanics (combined action of tension, compression and shear) the loads are transmitted to the supports like in a beam



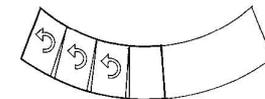
**System-Gesamtreaktion**  
Mittels senkrechter Scherkräfte werden die Lasten von durchschiebenden Streifen auf die angrenzenden Streifen weitergeleitet. Dadurch wird das Gesamtsystem in die Widerstandsmechanik einbezogen, auch bei Punktbelastung



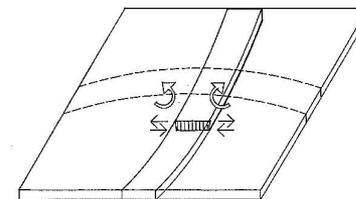
**Total system reaction**  
Through vertical shear forces the loads are transmitted from the deflected strip to the bordering strips. Thus, the total system is taken into the mechanics of resisting deflections, including those produced by point loading



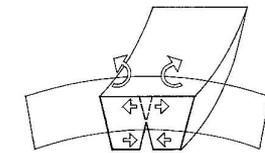
**Drillkäfte-Mechanik**  
Infolge Durchbiegung werden die einzelnen Plattenstreifen quer zur Tragrichtung verdreht. Drillmomente. Durch Drillsteifigkeit können bis zur Hälfte der Lasten auf die Auflagern abgetragen werden



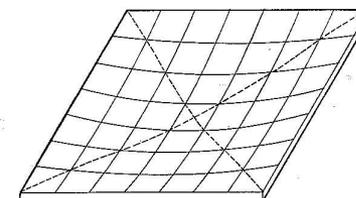
**Torsional force mechanics**  
As result of bending deflection the single slab strips are twisted transversely to the spanning direction. Twisting moments. Through stiffness against torsion up to one half of the loads can be transmitted to the supports



**Negative Querbiegung**  
Wegen der Volumenkonstanz des Materials führt die Durchbiegung des Plattenstreifens in Querschnitt zur Vergrößerung der Druckzone und zur Verkleinerung der Zugzone. Dieser Vorgang ist ein umgekehrtes Drehmoment in der Querschnittsachse



**Negative cross bending**  
Due to the constancy in volume of material the bending deflection of the slab strip induces enlargement of the compressive zone of section and diminishing of the tensile zone. This action leads to a reverse rotational moment in the transverse axis



**Einspannwirkung in der Diagonalen**  
Die Eckzonen der Platte weisen infolge zweier rechtwinklig zusammenlaufenden Bandunterstützungen erhöhte Steifigkeit auf. Dadurch können sich die Diagonalsstreifen der Platte mit den Enden nicht frei über den Auflagern drehen. Sie verhalten sich wie eingespannte Träger mit umgekehrter Durchbiegung an den Enden und mit größeren Tragermögen

**Fixed-end action in the diagonals**  
Because of the corners two edge supports meet at right angles, the corner areas show increased stiffness. Therefore the diagonal strips of the slab cannot rotate freely with their ends above the supports. They act much like fixed-end beams with reversed bending deflection and hence with increased bearing capacity

Die Anschlussknoten sind aufwendig und dem entsprechend früh bei der Bemessung und der Gestaltung zu betrachten, da sie Biege- und Torsionsmomente abtragen müssen.

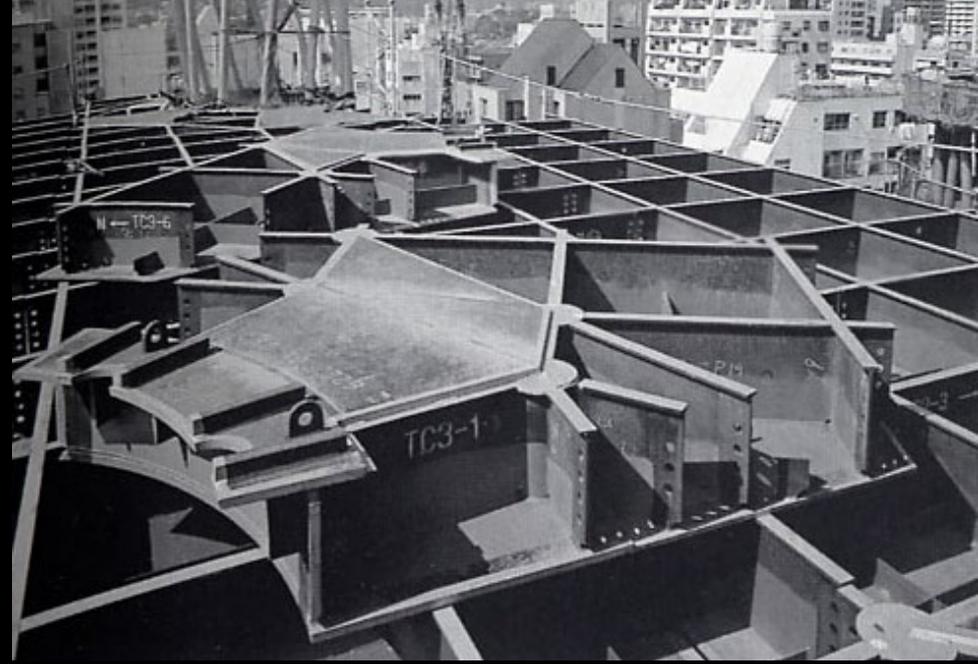
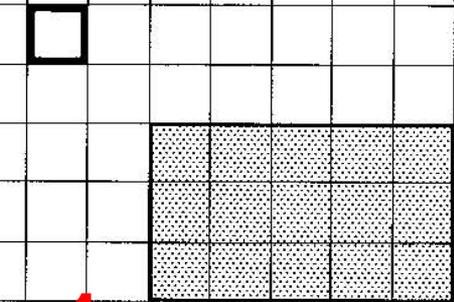


Abbildung: *Tragsysteme / Structure Systems*, Heino Engel

Prof. Jean Heemskerk

Grundriss-Rasterysteme für horizontale Lastenbündelung

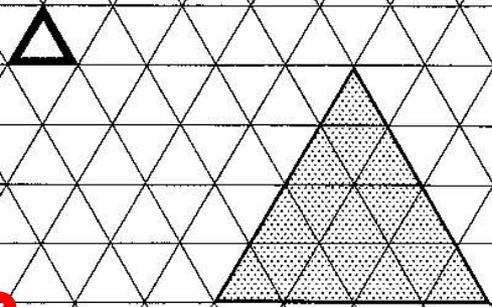
regelmäßige und halbregelmäßige Flächenteilung



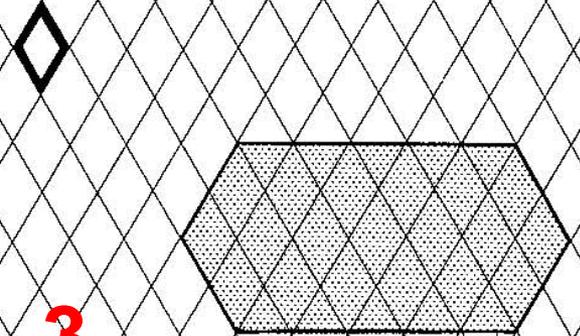
1

geometric grid systems for bay-type horizontal load collection

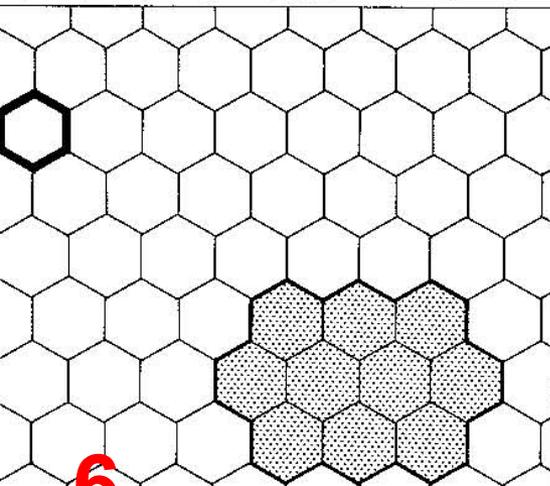
regular and semi-regular plane tessellation



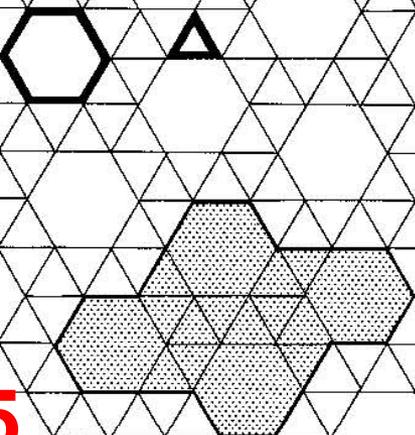
2



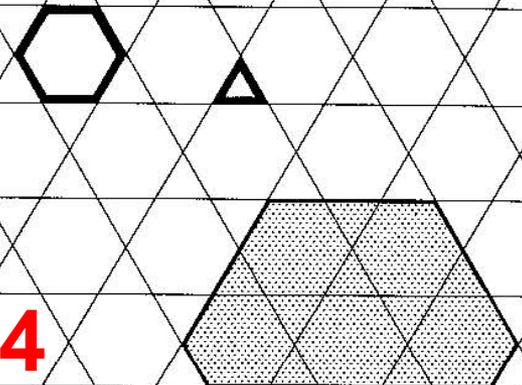
3



6



5



4

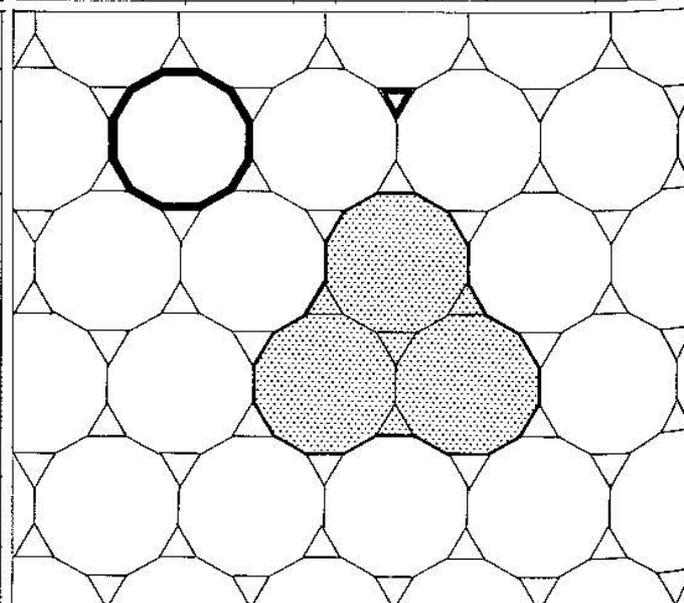
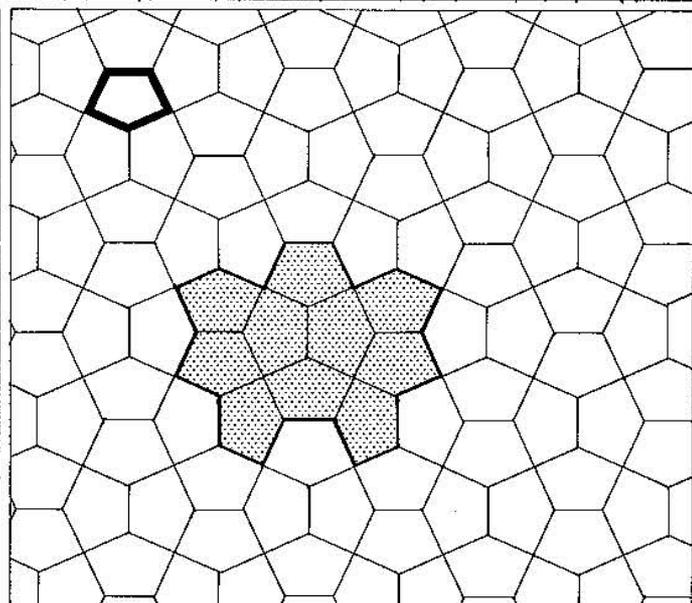
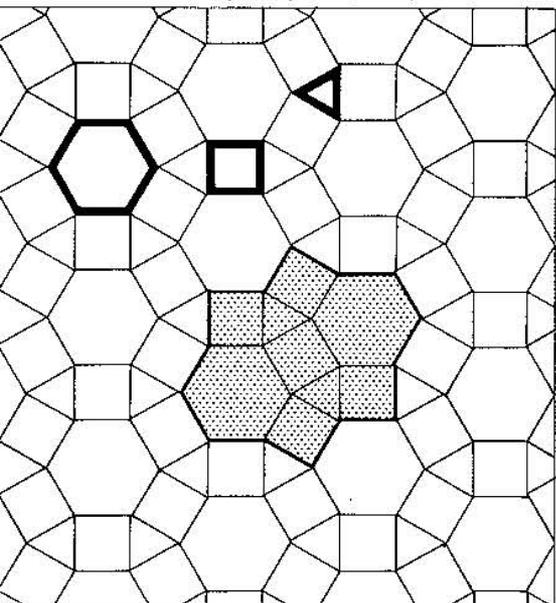
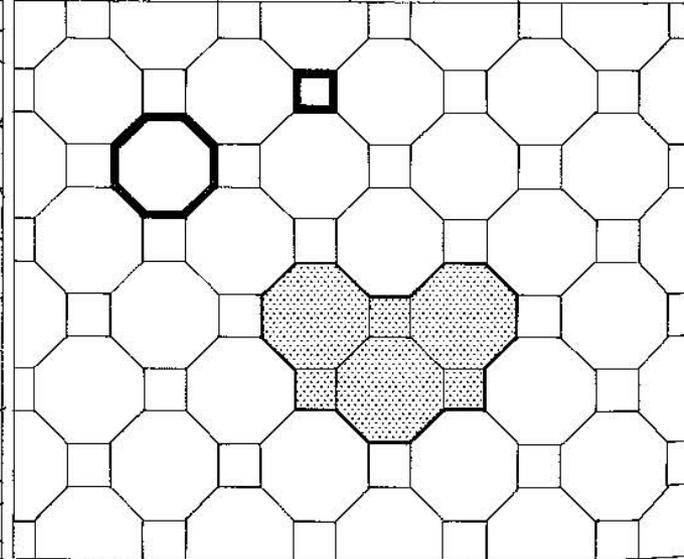
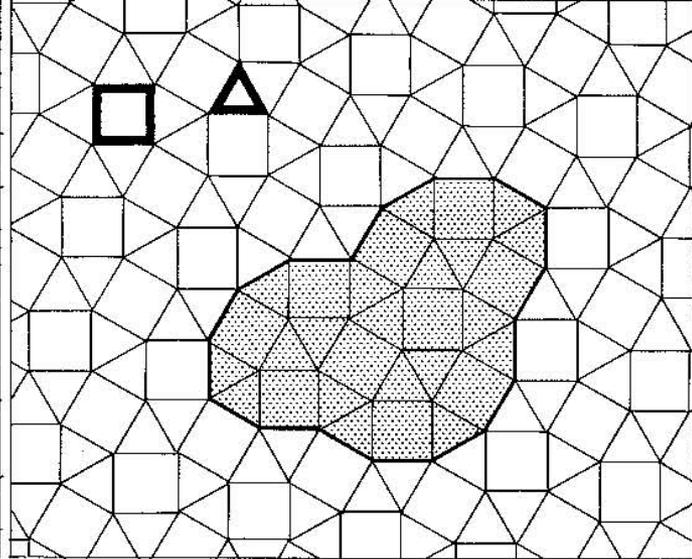
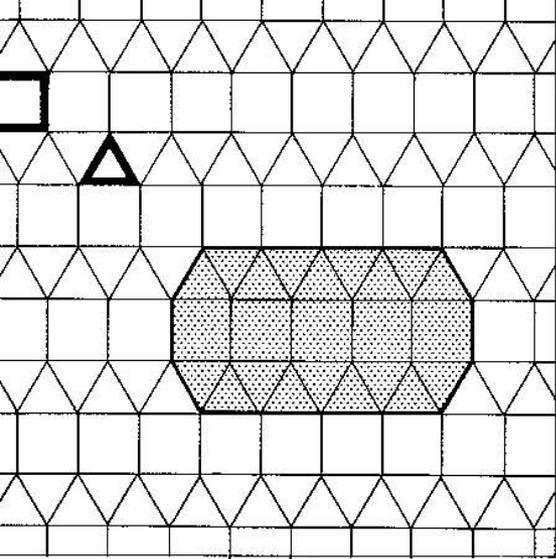
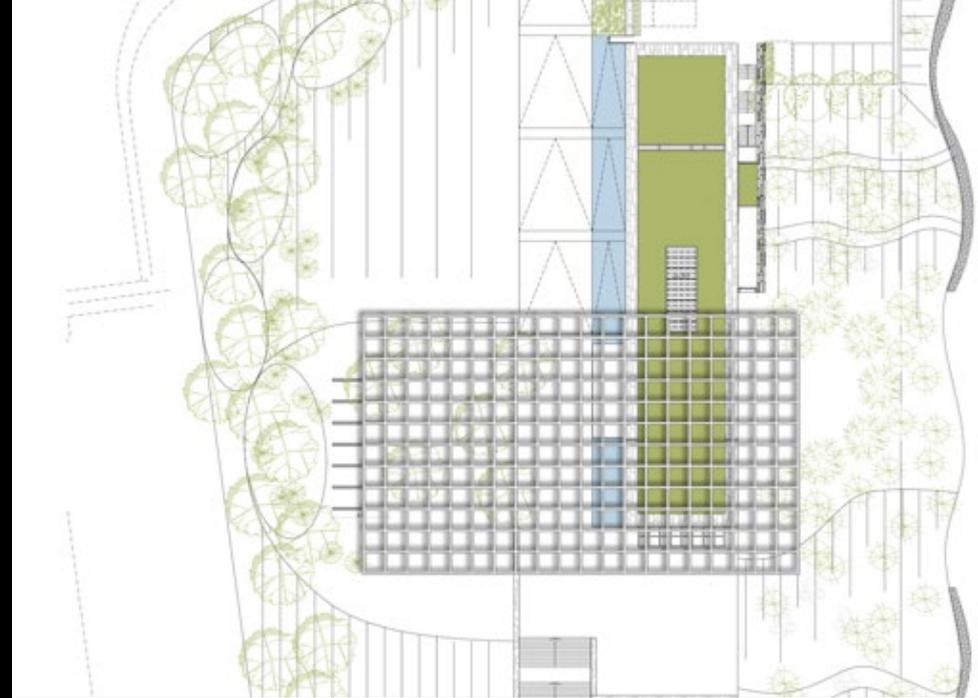


Abbildung: *Tragsysteme / Structure Systems*, Heino Engel

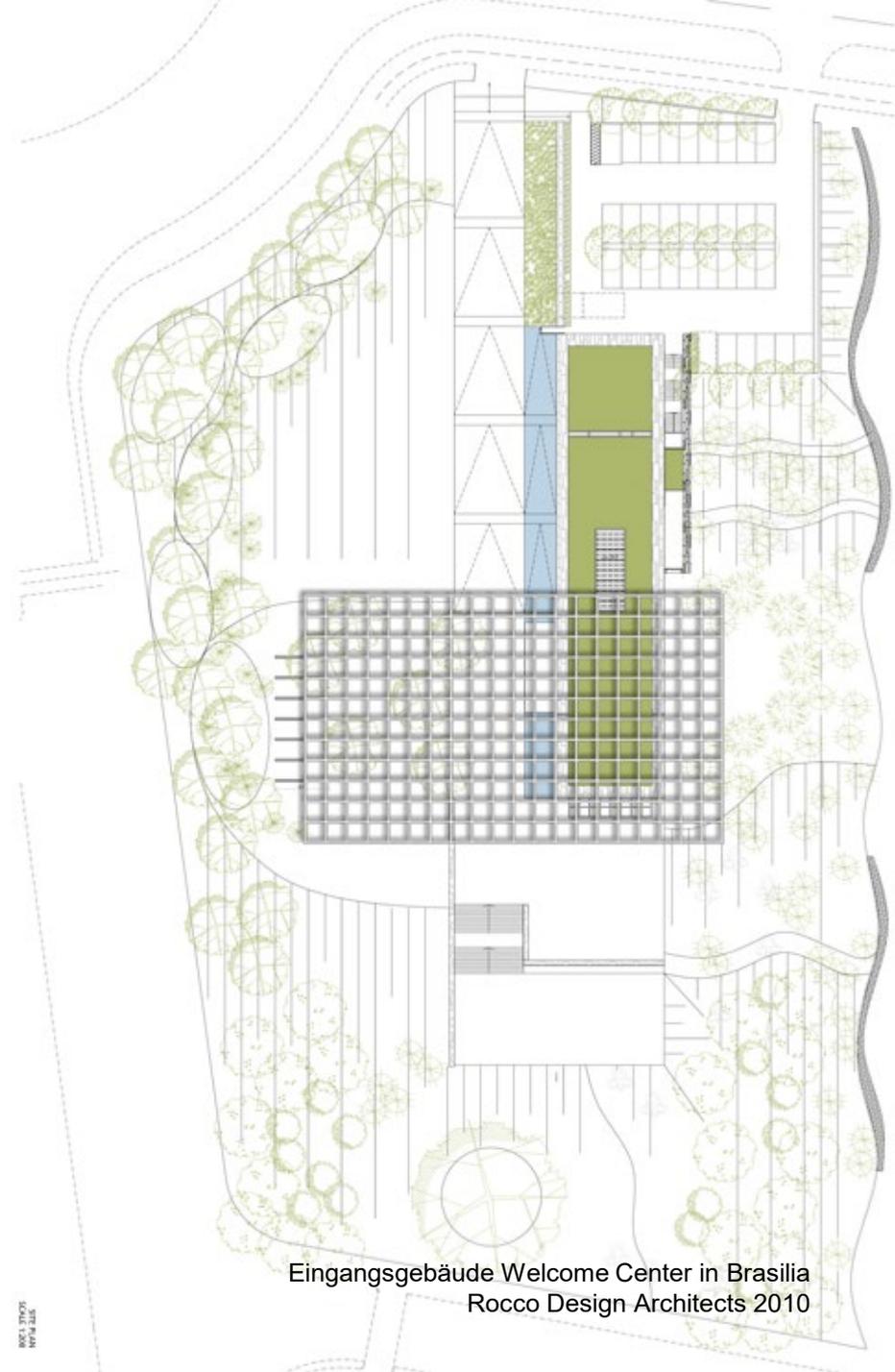
## Trägerroste

Die nachfolgenden Beispiele demonstrieren die Potentiale von Tragwerksentwicklung im Entwurf allgemein und mit Blick auf den Transfer für andere Tragwerksentwicklungen.





Prof. Jean Heemskerck



Eingangsgebäude Welcome Center in Brasilia  
Rocco Design Architects 2010









Ein ovaler Trägerrost aus statisch optimierten Stahlblechen mit 150 bis 600 mm Bauhöhe. Er liegt auf 4 (kontextbedingt) unregelmäßig angeordneten eingespannten Stützen.

Überdachung Tor Nord Messe Frankfurt  
Ingo Schrader 2014



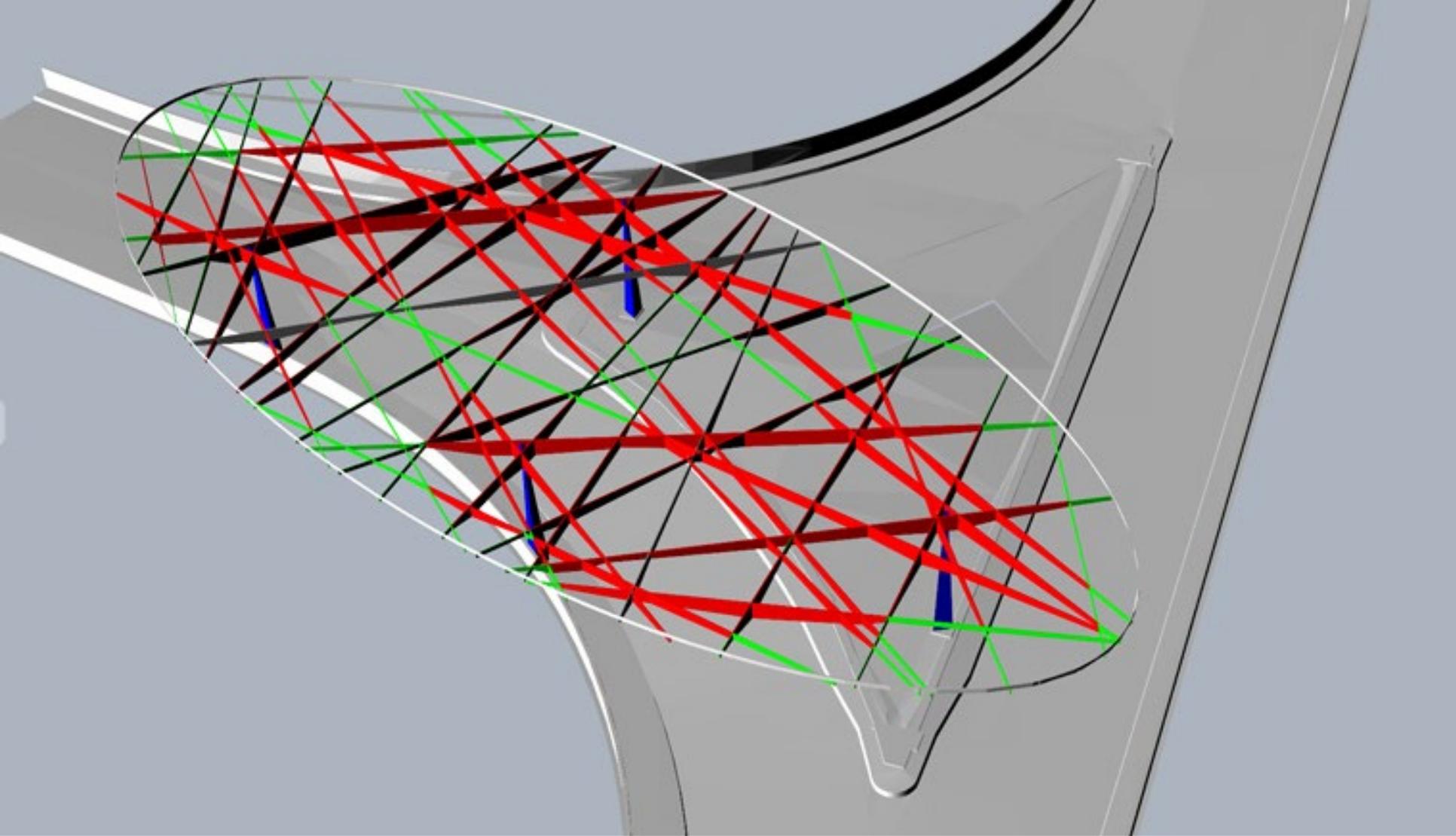
Ein ovaler Trägerrost aus statisch optimierten Stahlblechen mit 150 bis 600 mm Bauhöhe. Er liegt auf 4 (kontextbedingt) unregelmäßig angeordneten eingespannten Stützen.



Ein ovaler Trägerrost aus statisch optimierten Stahlblechen mit 150 bis 600 mm Bauhöhe. Er liegt auf 4 (kontextbedingt) unregelmäßig angeordneten eingespannten Stützen.

Beachten Sie die unterschiedlichen Blechstärken  
der Träger.

















Überdachung Tor Nord Messe Frankfurt  
Ingo Schrader 2014



# Bahnhof Seefeld



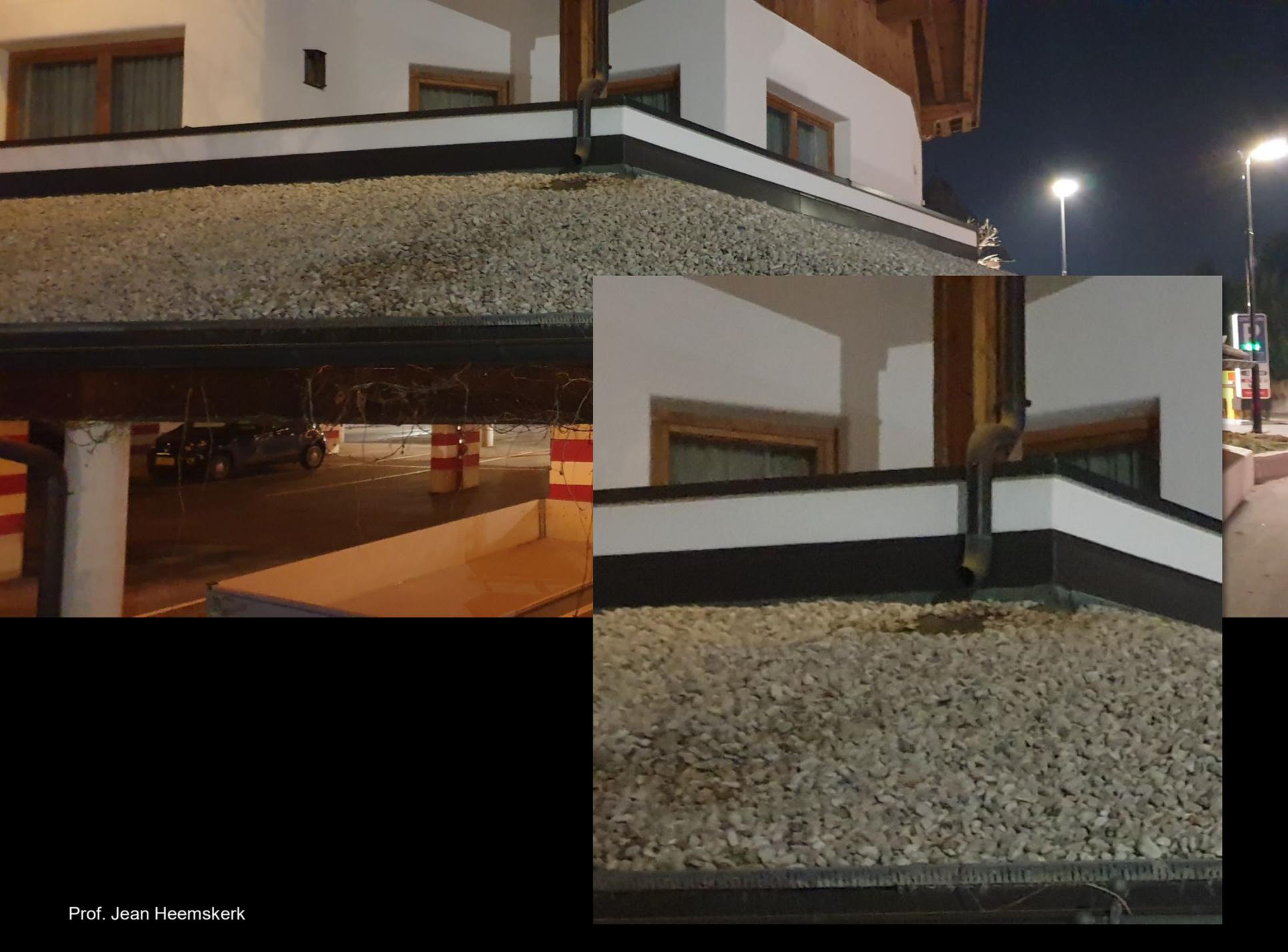


Umbau Bahnhof Seefeld, Stoll-Wagner Architekten 2018

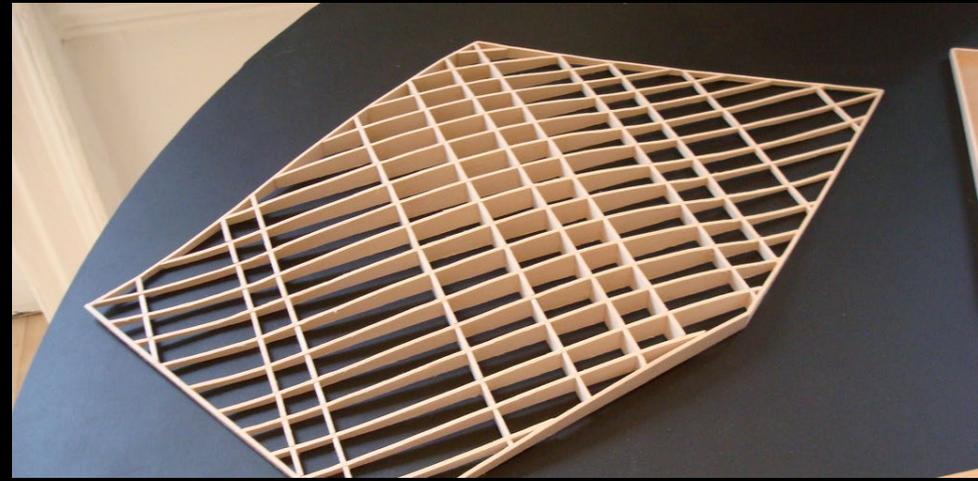
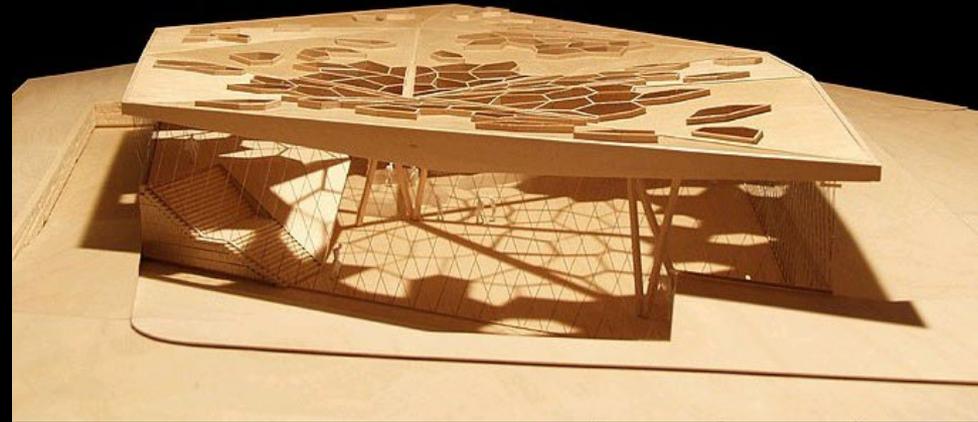


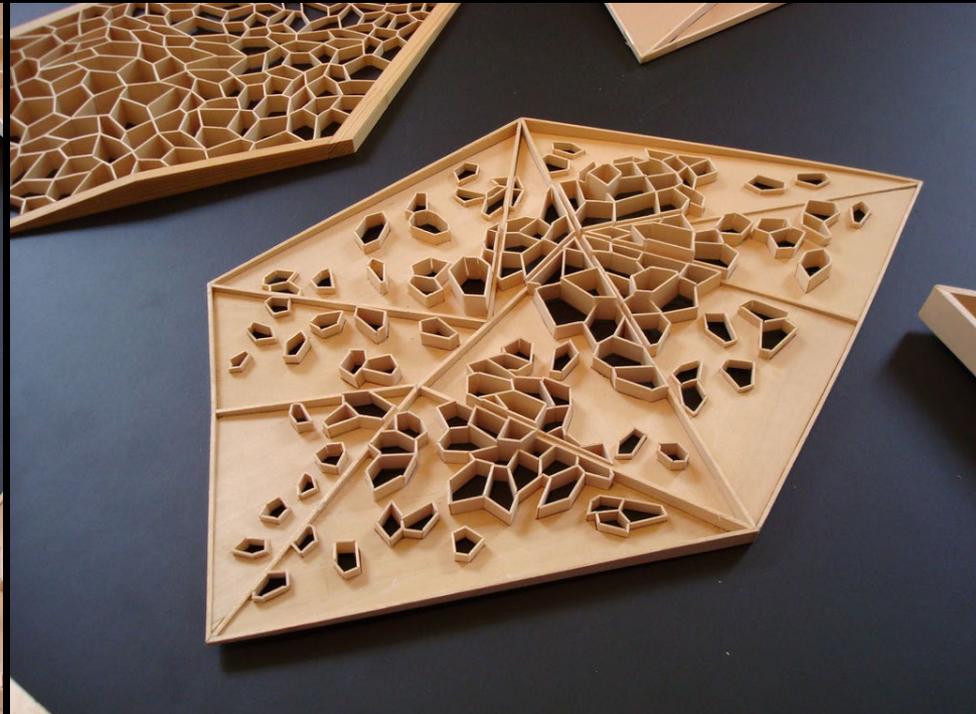
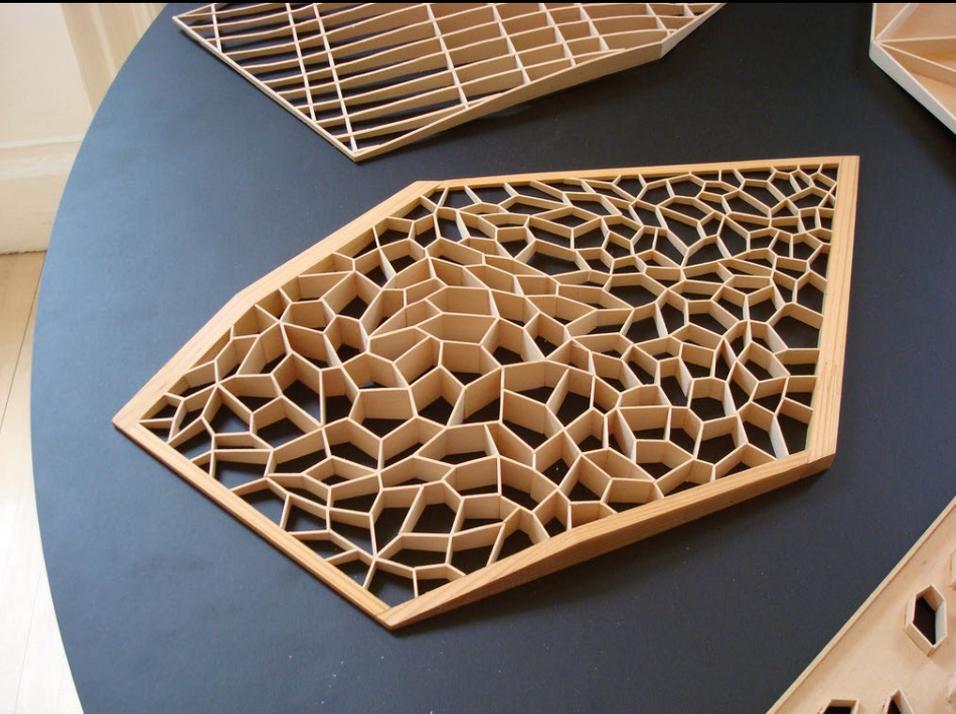


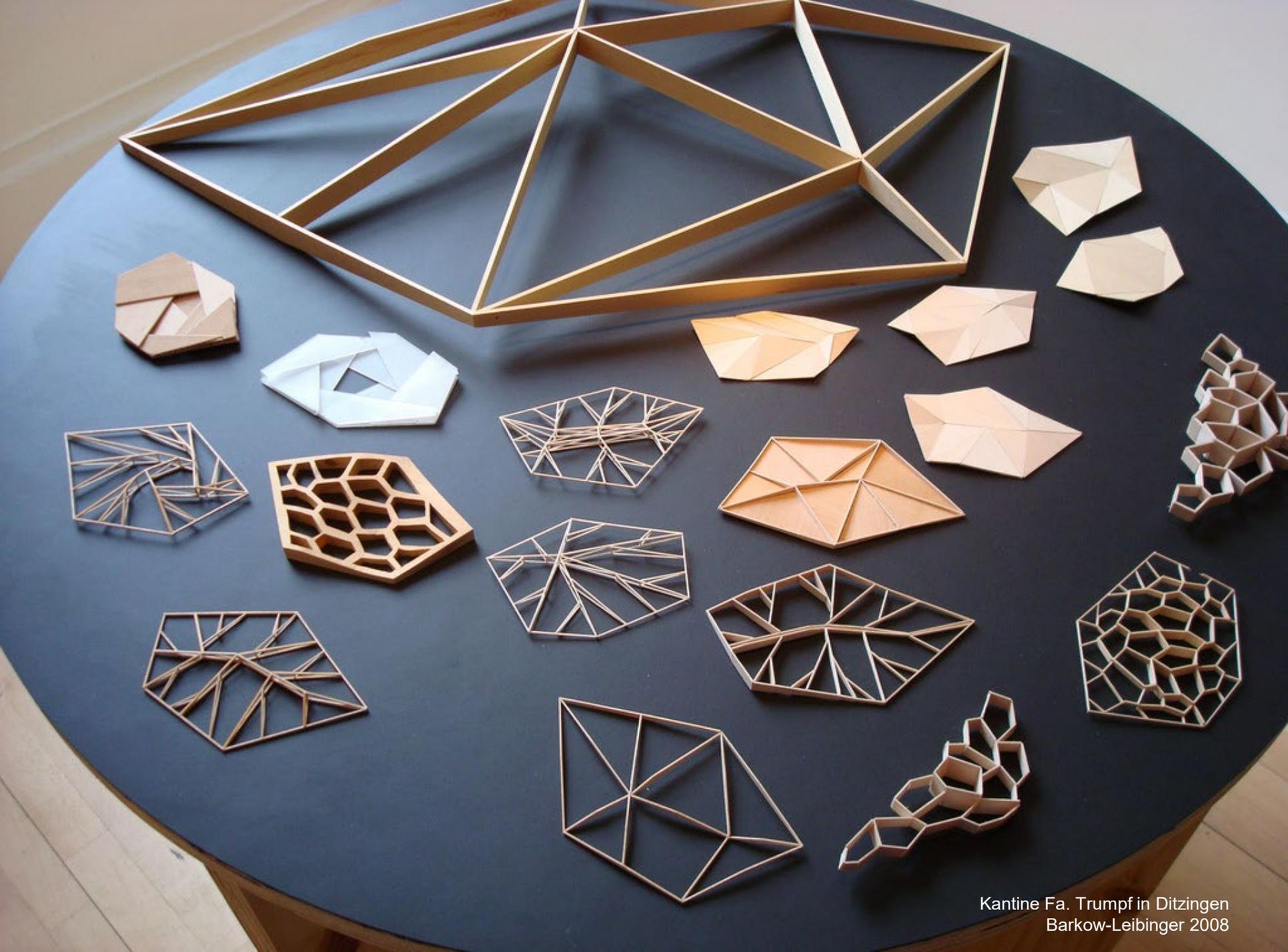
Umbau Bahnhof Seefeld, Stoll-Wagner Architekten 2018



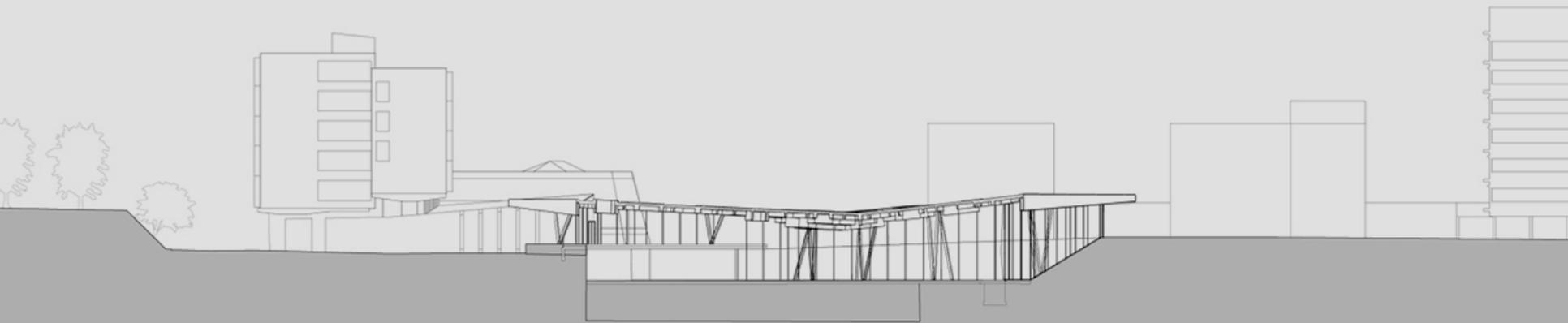
Beispiel unregelmäßiger Trägerrost  
Kantinengebäude der Firma Trumpf  
in Ditzingen  
Barkow - Leibinger Architekten 2008







Kantine Fa. Trumpf in Ditzingen  
Barkow-Leibinger 2008



Ein gelungenes Beispiel für die Untrennbarkeit von Entwurf und Konstruktion und von Raum und Tragwerk.

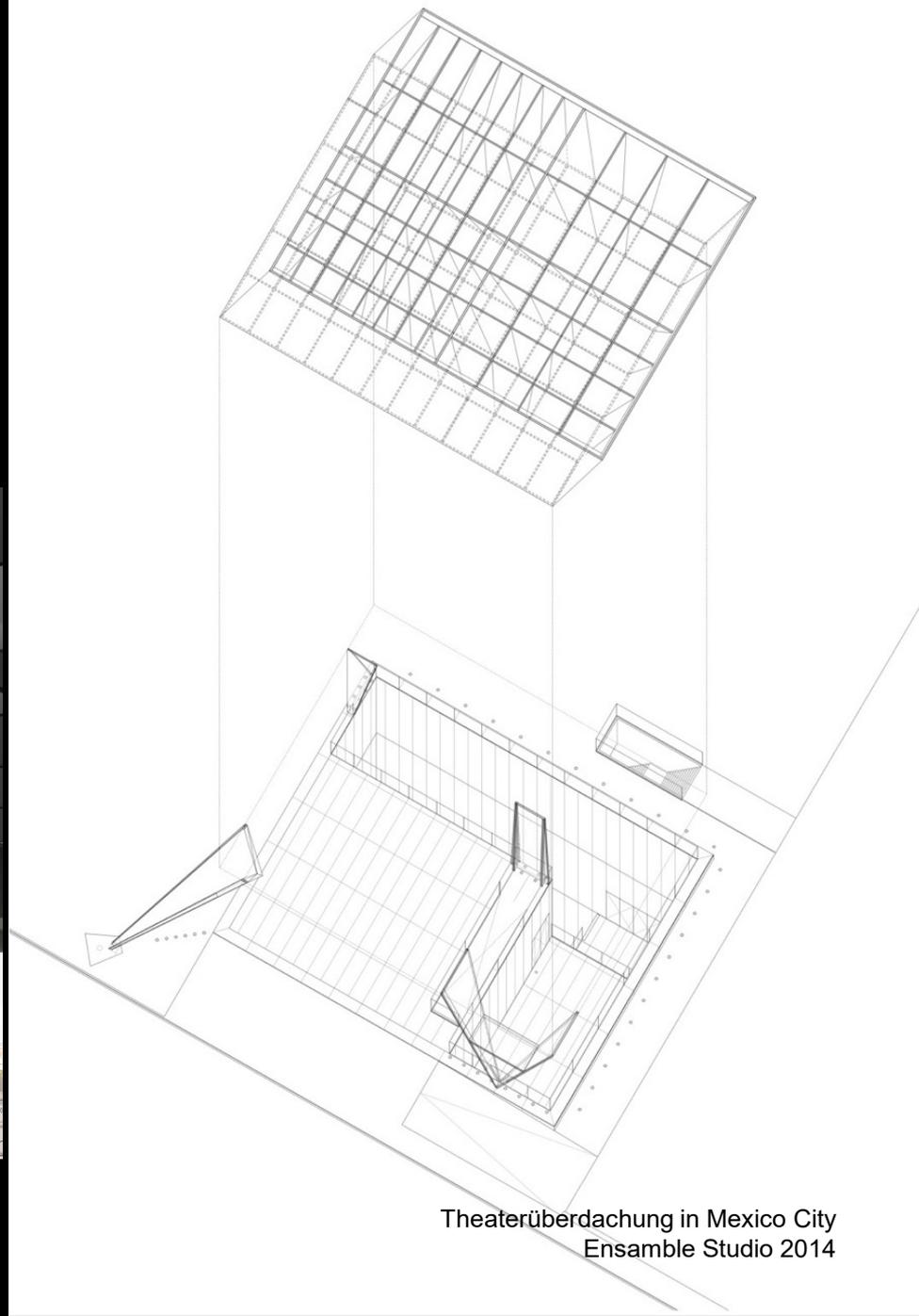
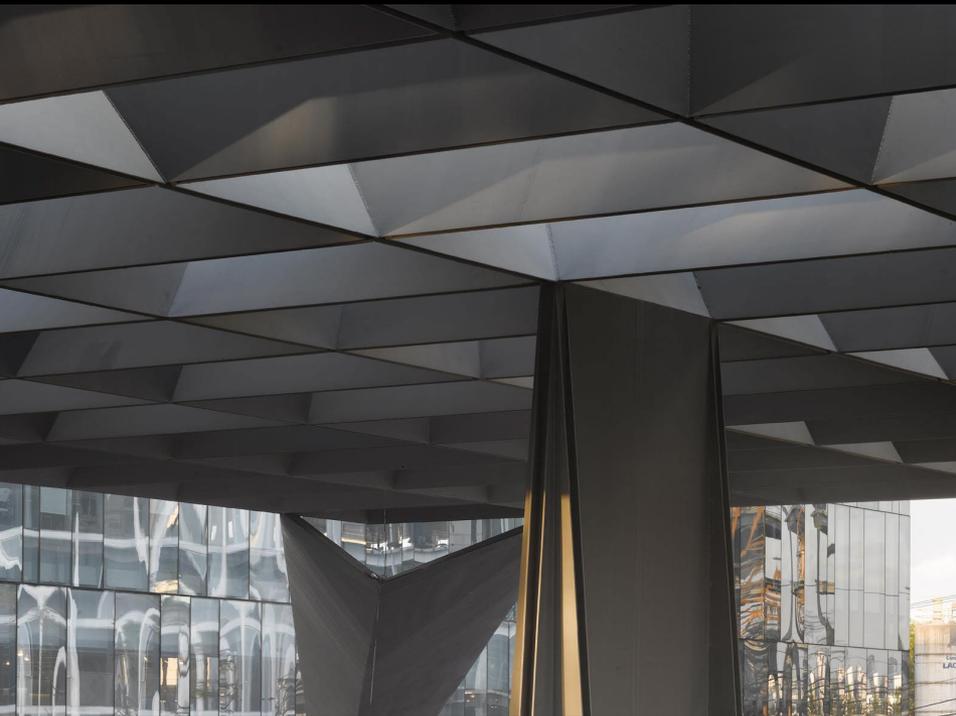




Prof. Jean Heemskerk

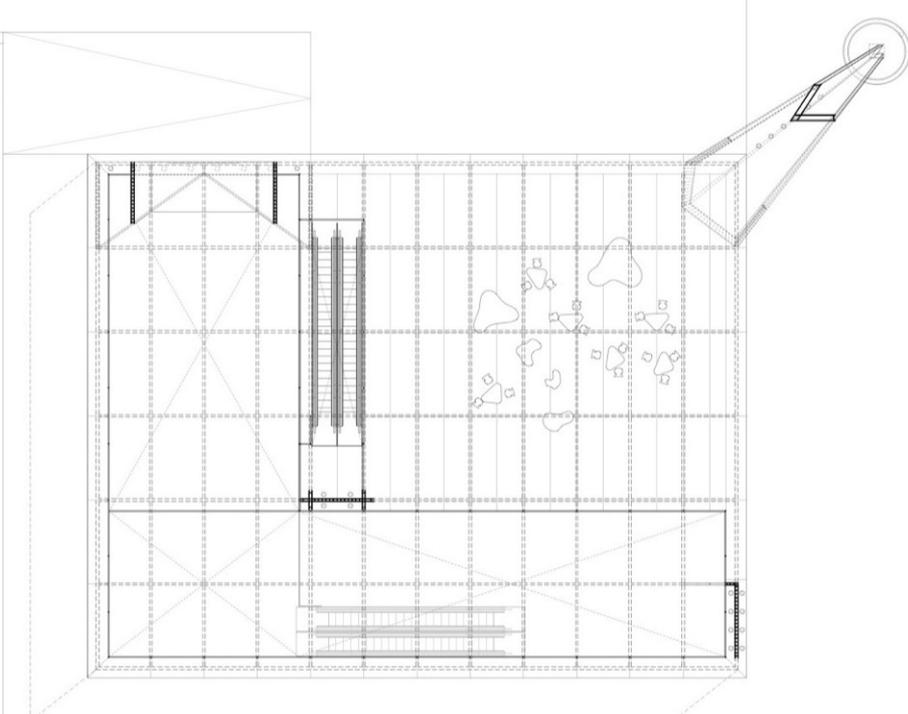
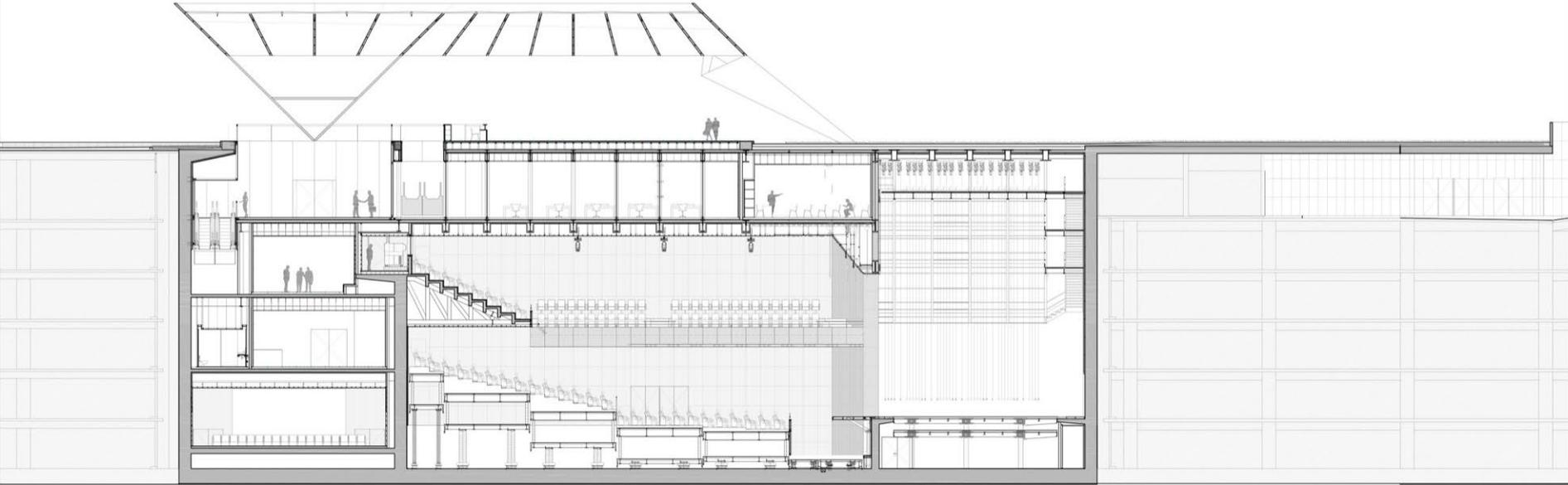


Theaterüberdachung in Mexico City aus Hauptträgern, die aus zwei verschweißten Stahlblechen 12,7 mm Stärke mit dazwischen liegenden Stegen bestehen.





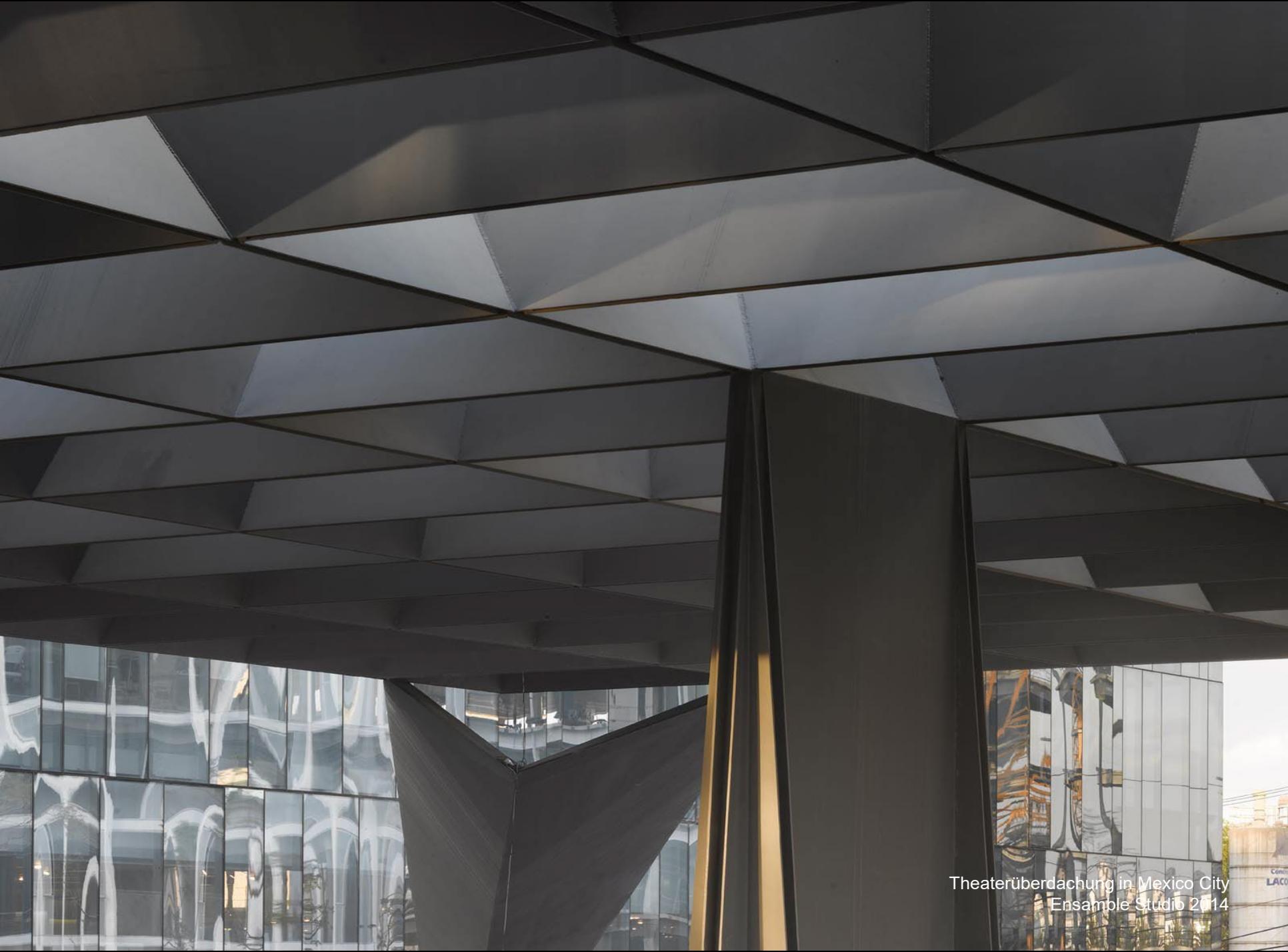
Eingangsgebäude Welcome Center in Brasilia  
Rocco Design Architects 2010



Theaterüberdachung in Mexico City  
Ensamble Studio 2014





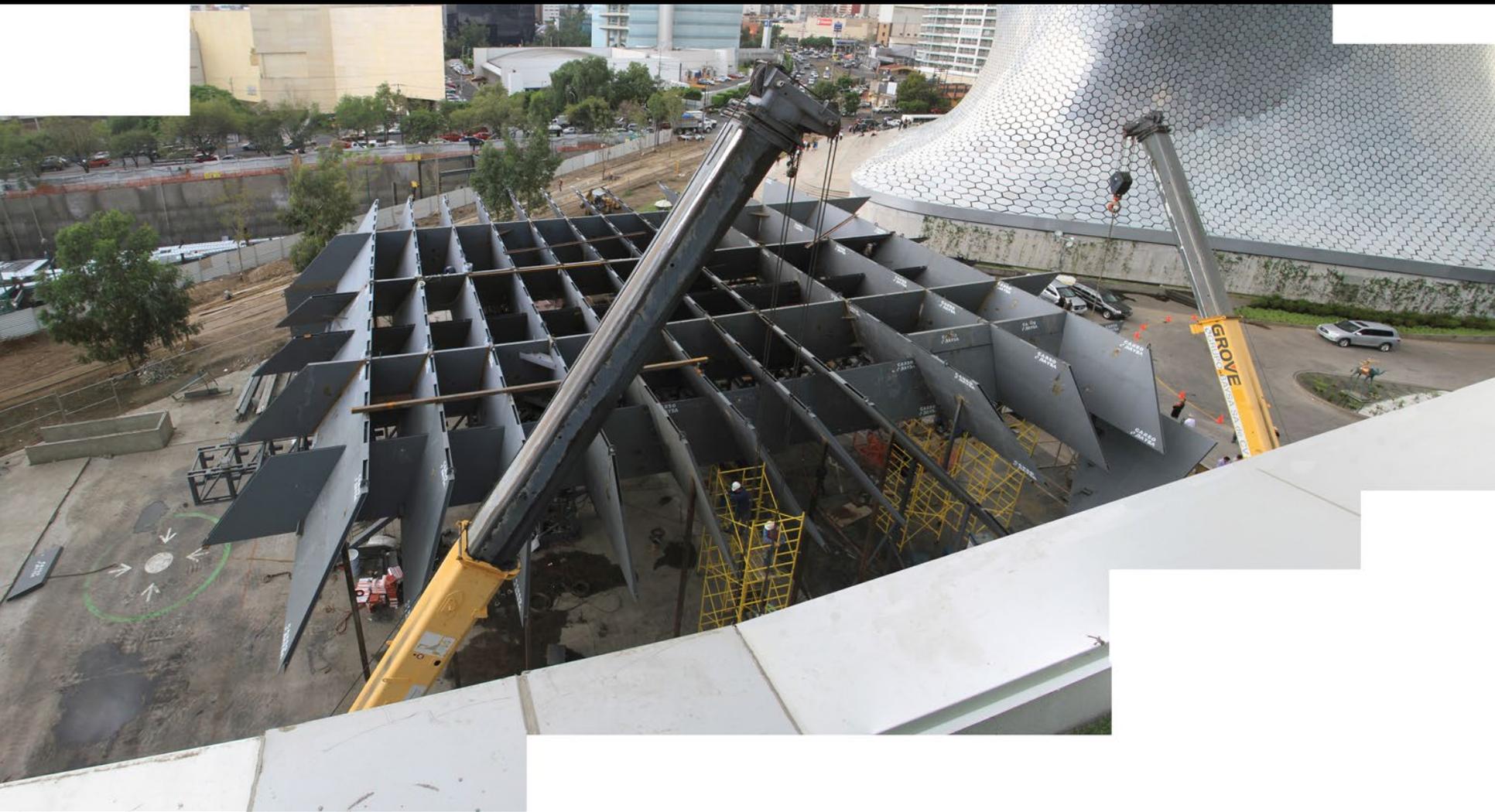


Theaterüberdachung in Mexico City  
Ensamble Studio 2014

Centro  
LACO



berdachung in Mexico City  
Ensamble Studio 2014







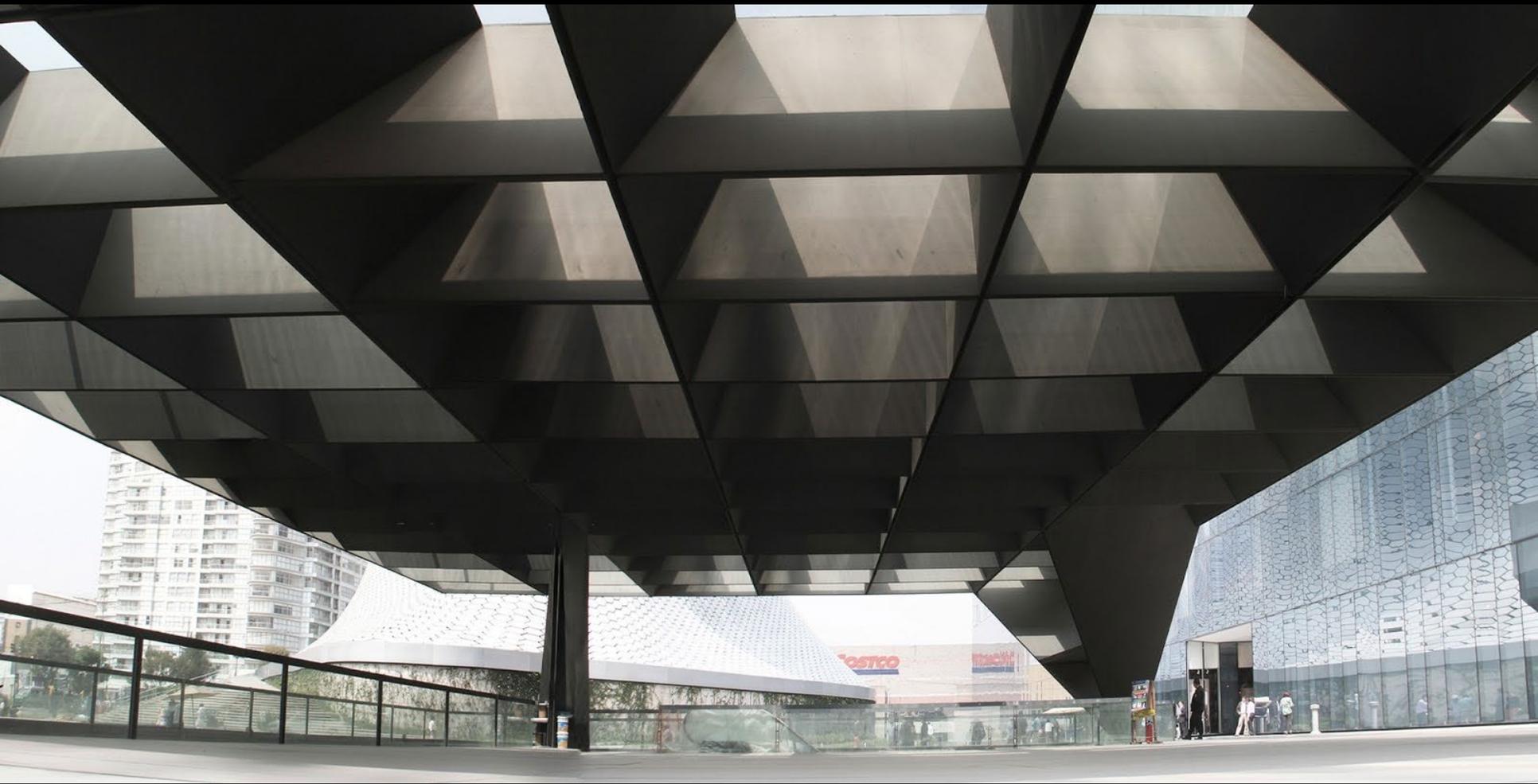
Theaterüberdachung in Mexico City  
Ensamble Studio 2014



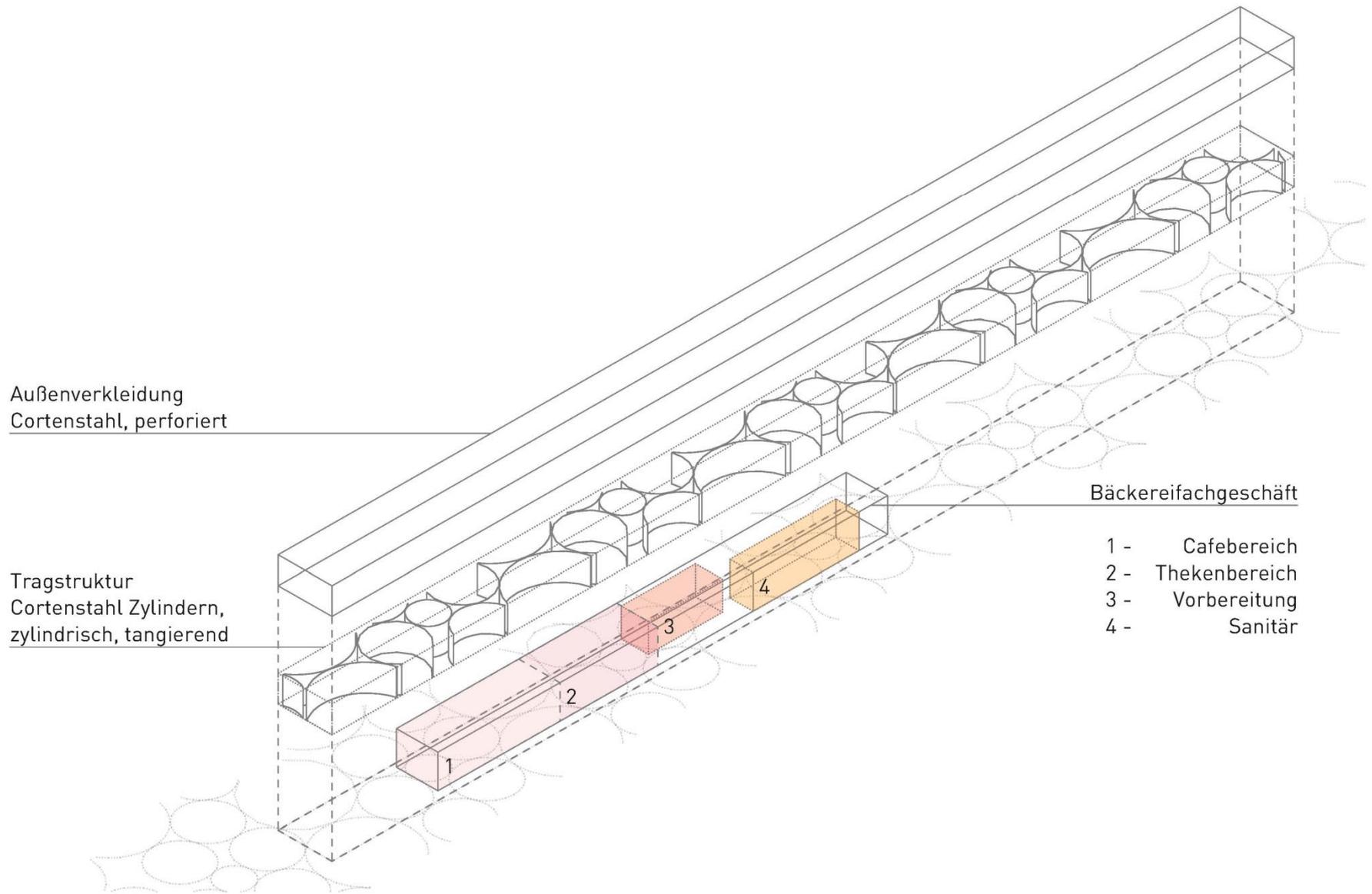
SO  
BAYSA

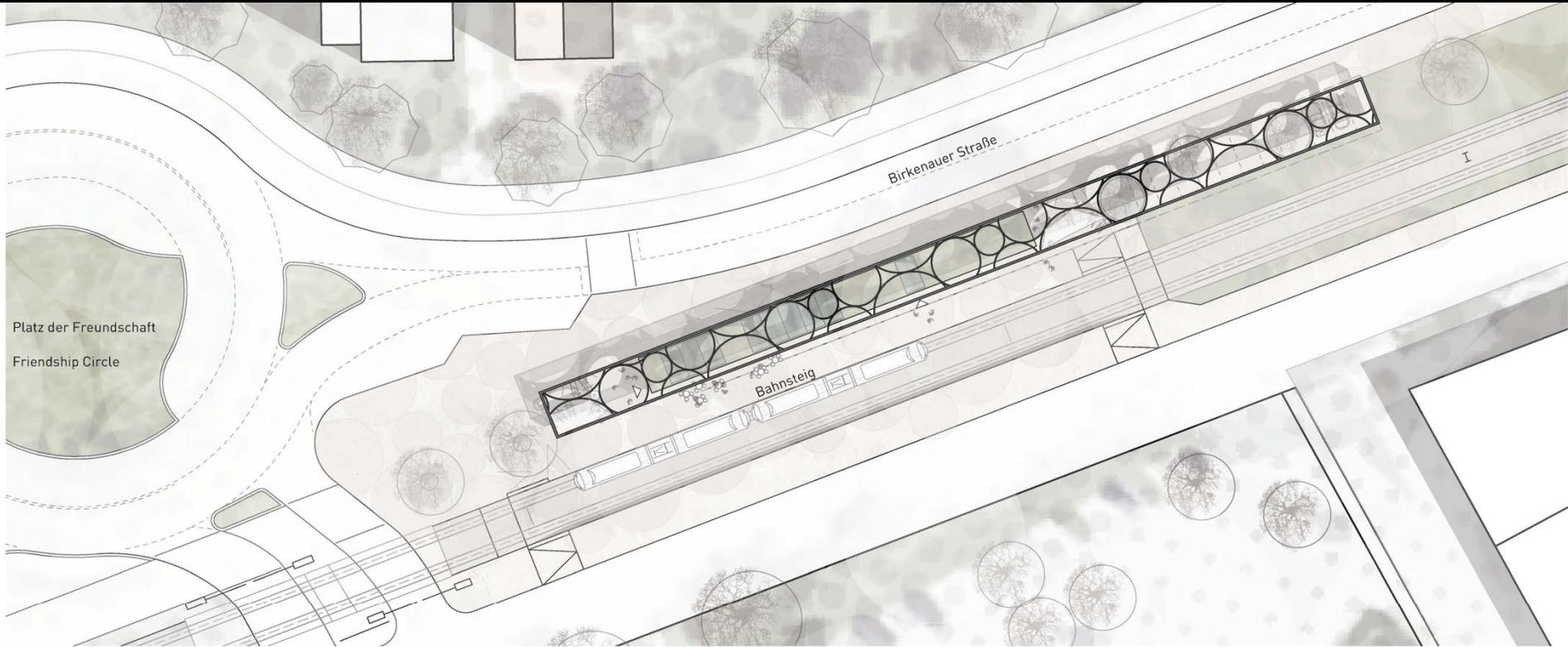
CARSL  
BAYSA

Theaterüberdachung in Mexico City  
Ensamble Studio 2014









Lageplan M 1:500





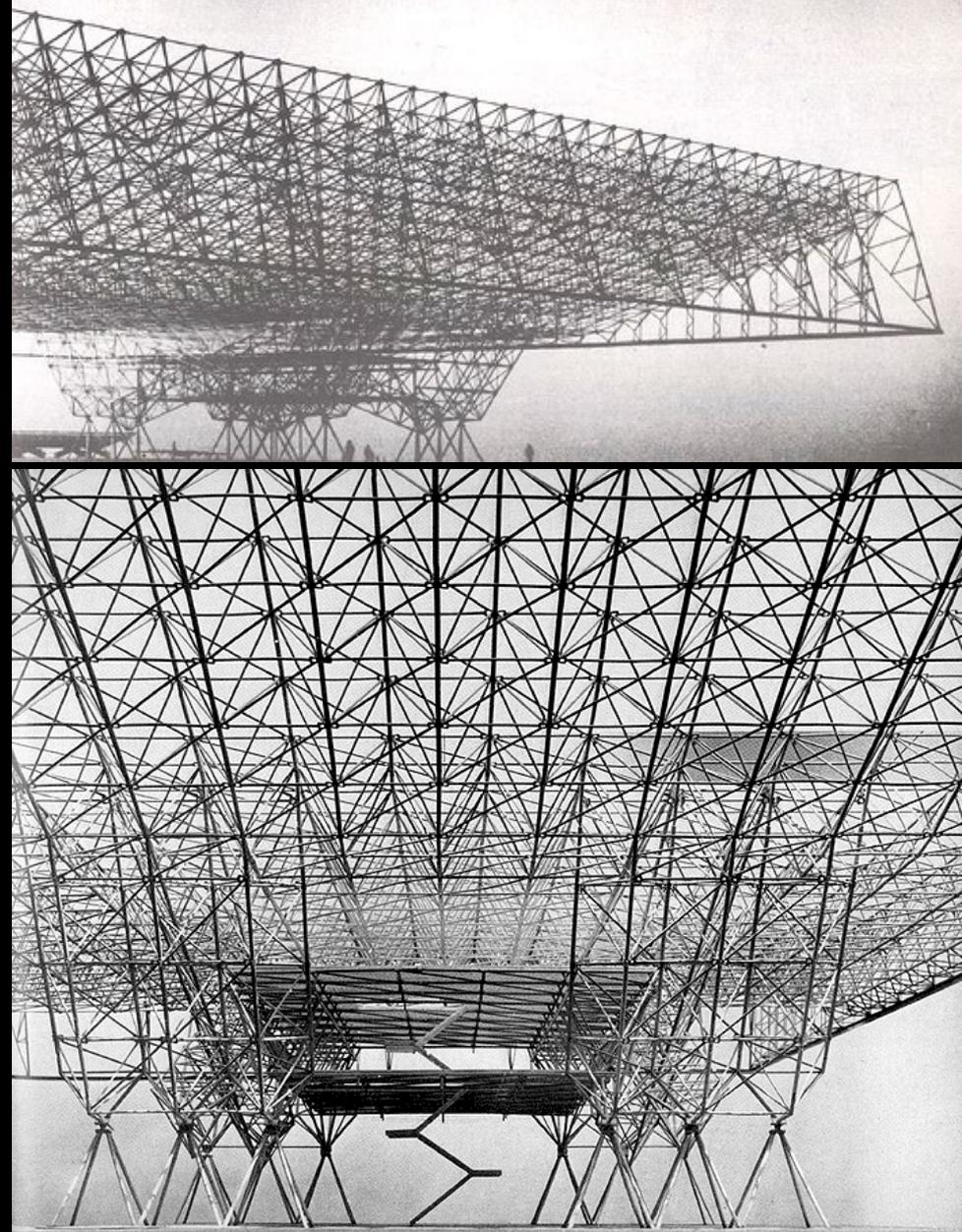
# Stahlskelettbau

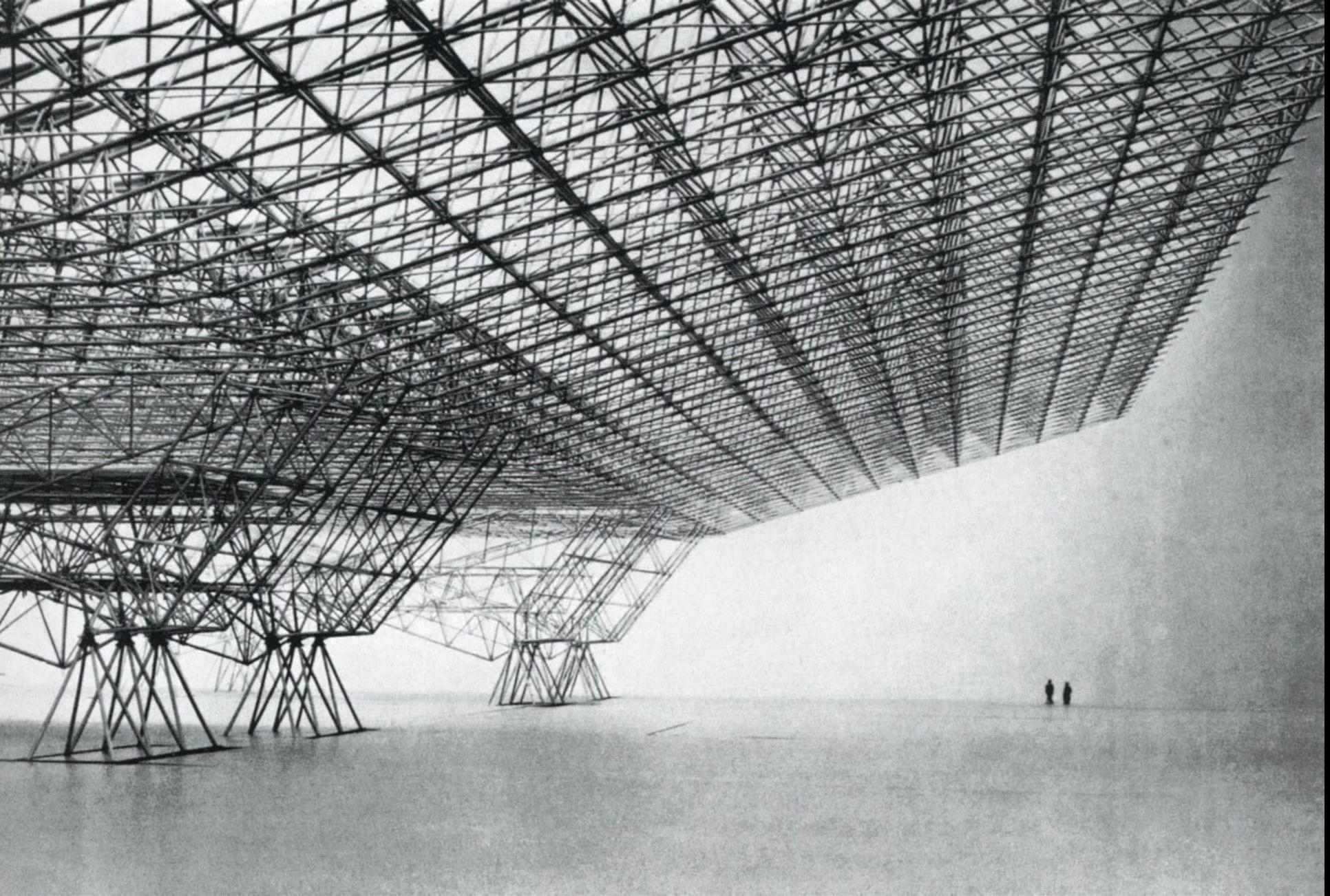
1. Charakteristika
2. Raster
  
3. Elemente des Skelettbau
  - 3.1. Stützen
  - 3.2. Träger
  - 3.3. Verbände
  - 3.4. Rahmen
  - 3.5. Trägerrost
  - 3.6. Raumtragwerke**
  
4. Anordnung der Elemente
5. Systeme

### 3.6. Raumtragwerke

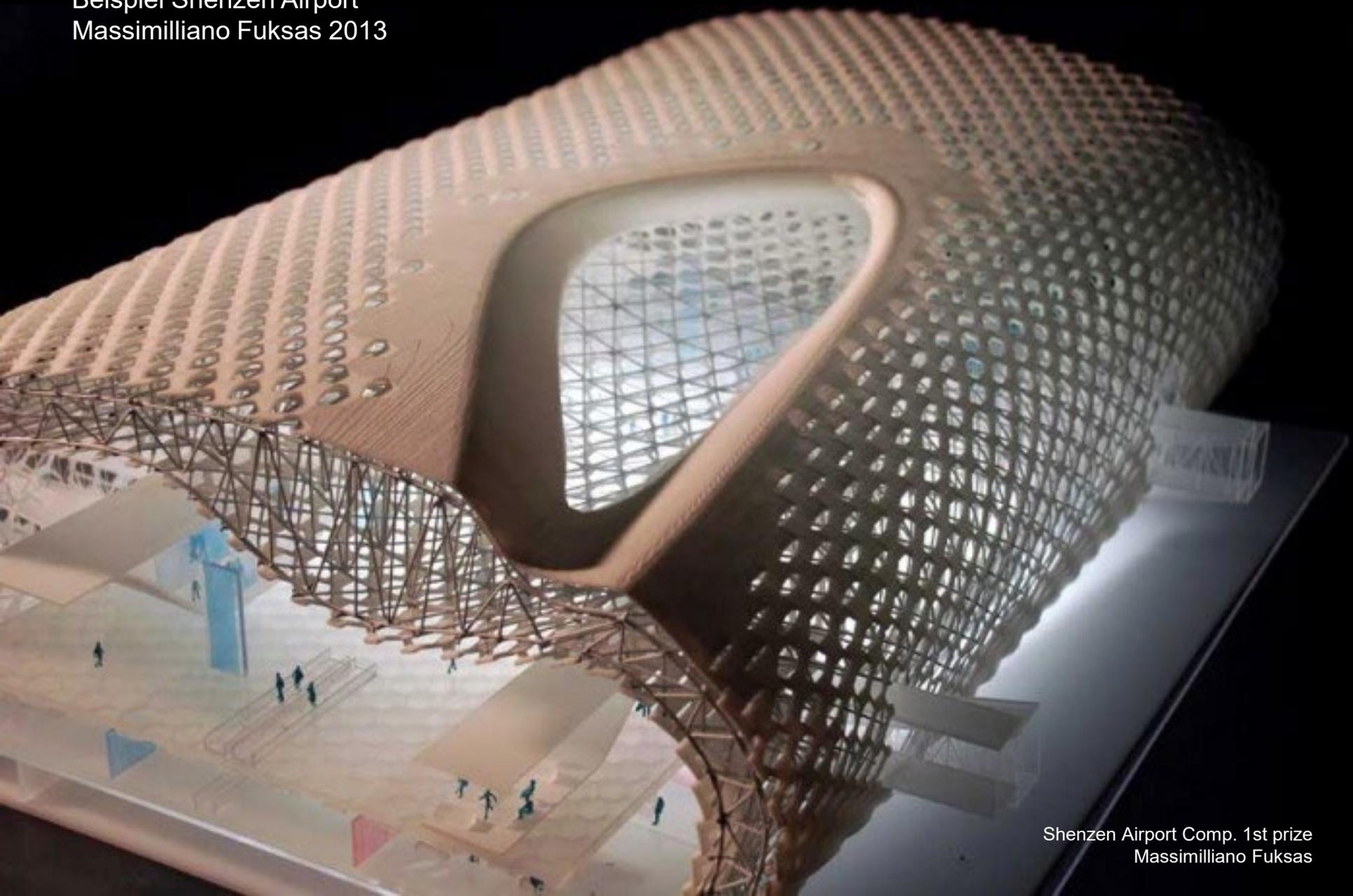
Raumtragwerke sind hoch aufgelöste räumlich wirkende Tragwerke für große Spannweiten aus dreidimensional verbundenen Tragstrukturen, zumeist Fachwerke.

Sie stellen einen Sonderfall dar und wurden üblicherweise außerhalb von Systemen selten eingesetzt (z.B. Merosystem). Erlebten aber durch die computergesteuerten Bemessungs- und Fertigungstechniken eine Wiedergeburt.

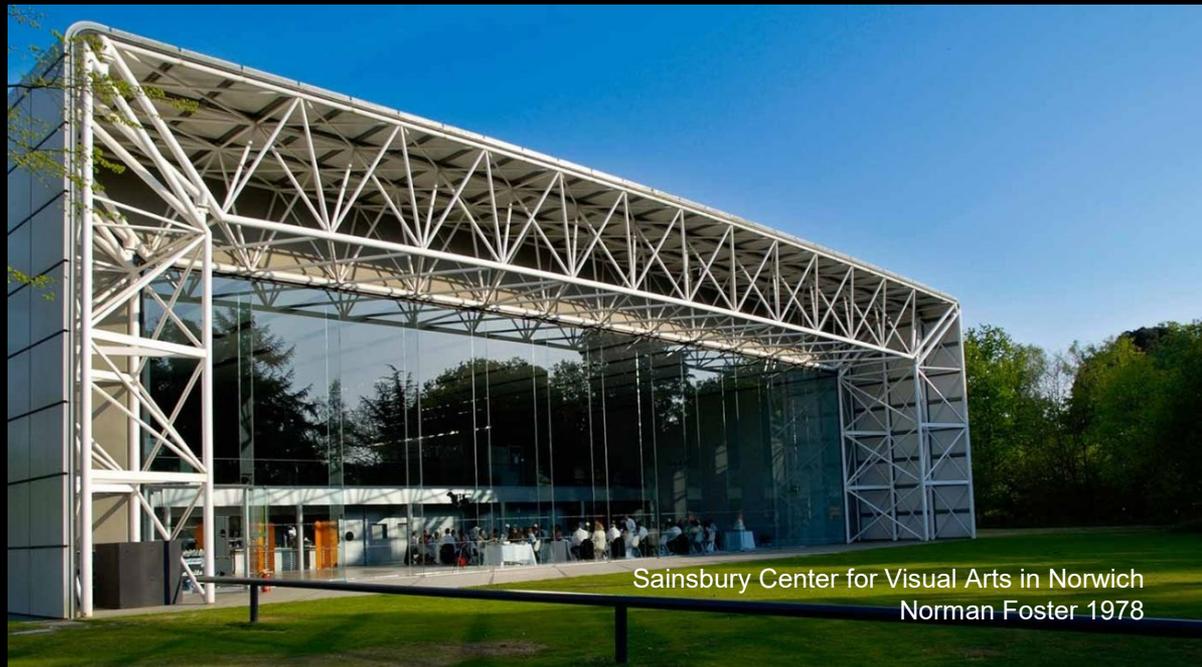




Beispiel Shenzhen Airport  
Massimiliano Fuksas 2013



Shenzhen Airport Comp. 1st prize  
Massimiliano Fuksas



Prof. Jean Heemskerck

Sainsbury Center for Visual Arts in Norwich  
Norman Foster 1978



Shenzhen Airport Comp. 1st prize  
Massimiliano Fuksas





Prof. Jean Heemskerck

Shenzhen Airport Comp. 1st prize  
Massimiliano Fuksas









## Stahlskelettbau

1. Charakteristika
2. Raster
3. Elemente des Skelettbau
- 4. Anordnung der Elemente**
5. Systeme

## 4. Stützenstellung und Trägeranordnung

- 4.1. Stützenstellung
- 4.2. Trägeranordnung



## 4.1. Stützenstellung

Die Stützenstellung folgt wesentlich den Randbedingungen:

- Grundriss in Abhängigkeit der Nutzung
- Statik (Lage der Punkte zur Lastweiterleitung oder Fundamentierung)
- Wirtschaftlichkeit (Begrenzung der Spannweiten u. Konstruktionshöhen)
- Gestaltung (der Fassade)

Stützenstellungen bestimmen sich in der Regel eher aus den Randstützen, da die Innenstützen zumeist weniger gestaltprägend sind und keinen direkten Einfluss auf die Fassade und das Ausbauraster ausüben.

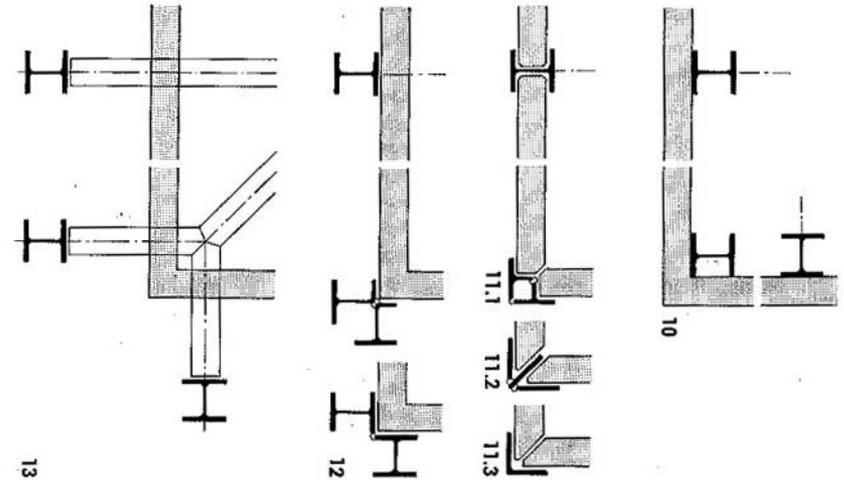


Welche grundsätzlichen Anordnungen gibt es für Stützenstellungen?



Man unterscheidet drei grundlegende Stützenstellungen:

- von der Fassade eingerückte, weitgestellte Stützen: sie unterstützen die unabhängige Entwicklung der Fassade, bei Schaffung von Zwängen im Innenraum
- in die Fassadenebene integrierte Stützen: weitgestellt erzeugen sie zumeist eine vertikale Gliederung der Fassade, bei enger Stellung in der Fassade können sie den Abmessungen der Fassadenpfosten angenähert und evtl. in gleichen Querschnitten ausgebildet werden; die Fassadenelemente können auch direkt an den Stützen befestigt werden, eine gesonderte Fassadenunterkonstruktion kann so entfallen. Nachteil: der Wärmeschutz muss besonders betrachtet werden.



- vor die Fassade weitgestellte Stützen erzeugen eine starke räumliche Wirkung (Arkaden), müssen aber vom Wärmeschutz her besonders kritisch betrachtet werden und werden selten eingesetzt.



## 4.2. Trägeranordnung

Ein Tragwerk wird umso wirtschaftlicher je kürzer die Wege sind, auf denen die Lasten abgeleitet werden, und je kleiner die Anzahl der Elemente ist, die sich an Lastabtragung beteiligen.

So erscheint ein Primärtragwerk mit Trägern in einer Richtung und quer dazu liegender direkter Eindeckung aus z.B. Trapezblech sehr wirtschaftlich.

Durch die Einführung von Sekundär- und gegebenenfalls sogar Tertiärtragebenen lassen sich eventuell größere Spannweiten erzeugen.



Die Trägeranordnung folgt grundsätzlich den vorgenannten Randbedingungen aus der Stützenstellung. Sie lässt sich in gerichtete, ungerichtete und zentrierte Tragstrukturen einteilen.

Gerichtete orthogonale Tragstrukturen bauen auf einem Rechteckraster auf und sind immer durch Haupt- und Nebenträgern (sog. Primär- und Sekundärträgern) in eine Haupt- und Nebentragrichtung gekennzeichnet. Die Kraftableitung ist also hierarchisch geordnet.

Bei ungerichteten Tragstrukturen werden die Lasten nahezu gleichmäßig in mindestens zwei Richtungen abgetragen. Hierzu bieten sich auf quadratischen oder dreieckigen Grundrastern aufbauende Trägerroste oder Raumfachwerke an.



Werden die Haupt- oder die Nebenträger über die kürzere Spannweiten gelegt?

Zur optimalen Ausnutzung der Konstruktionshöhe sollten die höher belasteten Hauptträger über eine kürzere Spannweite reichen als die geringer belasteten Nebenträger.

Grundsätzlich muss geklärt werden ob die Trägerlagen gestapelt oder oberkantenbündig angeordnet werden.

Die Stapelung ermöglicht zwar ohne großen konstruktiven Aufwand Durchlaufwirkungen zur besseren Ausnutzung der Profilquerschnitte, erzeugen aber eine größere Höhe der Gesamtkonstruktion.

Die Befestigung der Neben- an den Hauptträgern ist bei der bündigen Ausführung das zentrale Thema. Die Durchlaufwirkung ist dabei nur mit erhöhtem konstruktiven Aufwand möglich und daher zumeist unwirtschaftlich. (Siehe unter 3.4. *Trägerrost*)

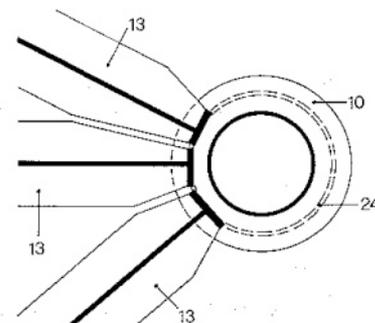
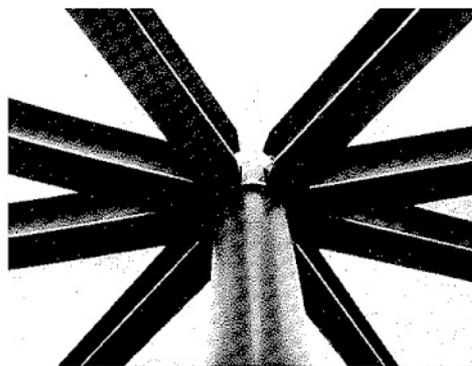


Zentrierte Strukturen stellen eine Sonderform dar. In der Regel werden zentrierte Raster über Tragelemente gebildet, die auf einen Kreismittelpunkt o.ä. als Zentrum ausgerichtet sind.

Beispiel Besucherpavillon in Apeldoorn  
Moriko Kira 2009



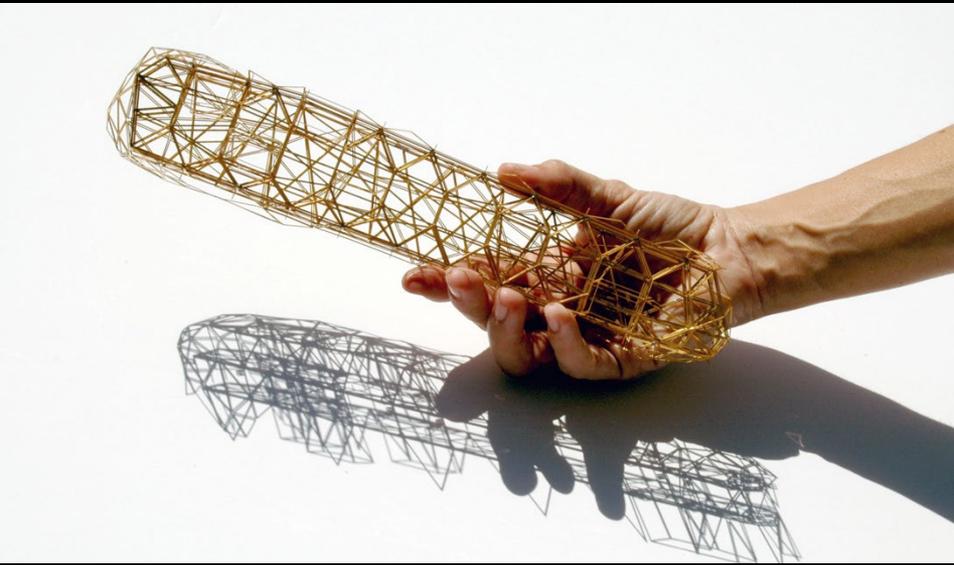
Zentralstütze mit Radialträgern



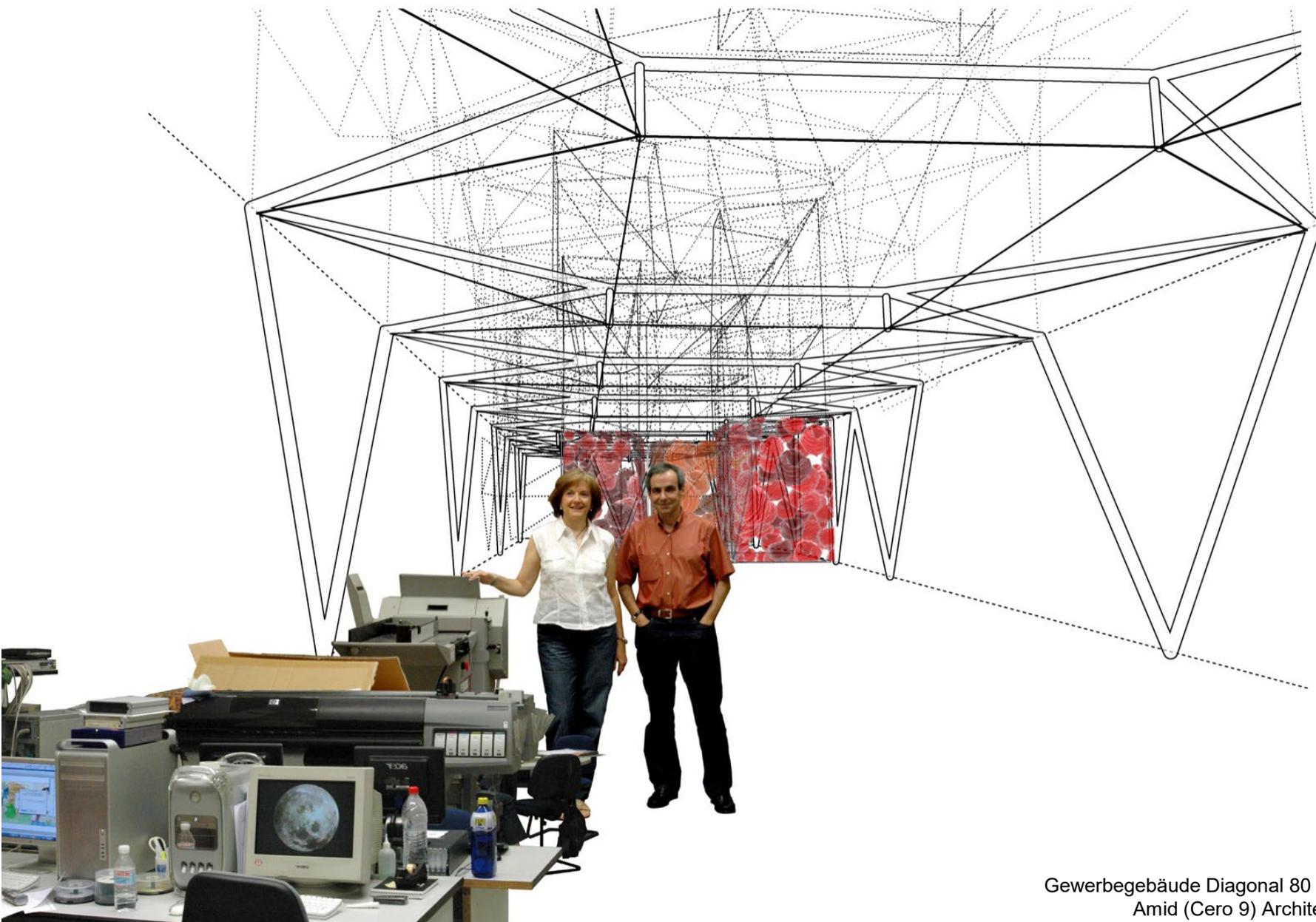
Beispiel für eine interessante Kombination  
der Elemente:

**Gewerbegebäude *Diagonal 80* in Madrid  
von Amid (Cero 9) Architects 2010**

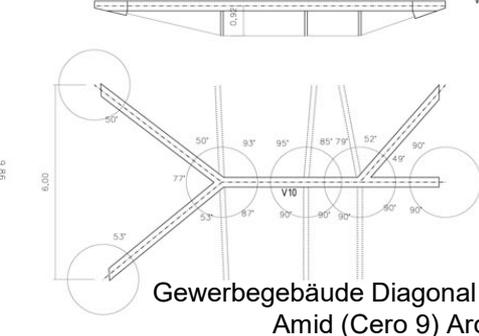
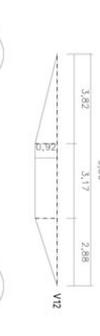
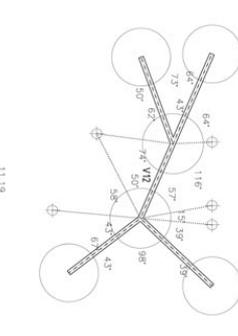
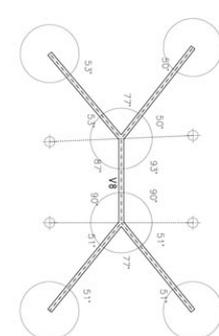
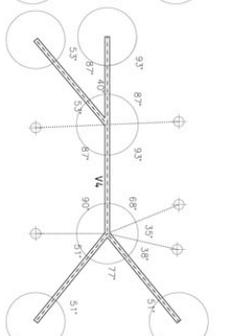
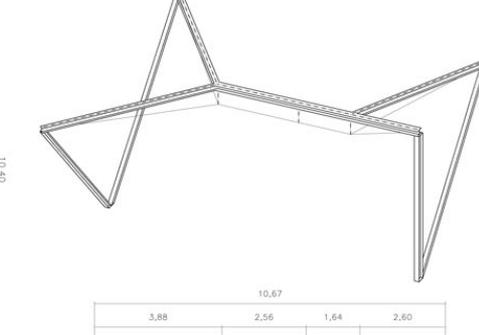
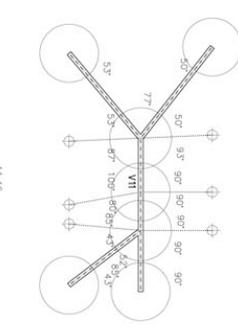
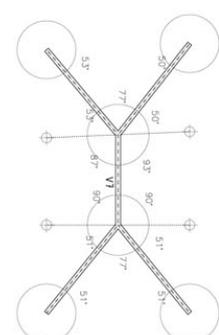
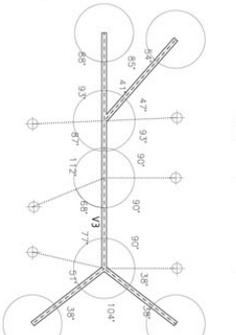
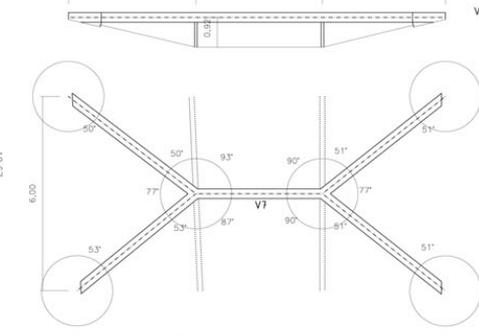
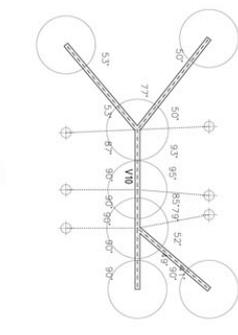
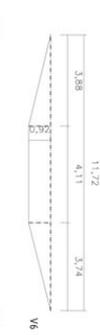
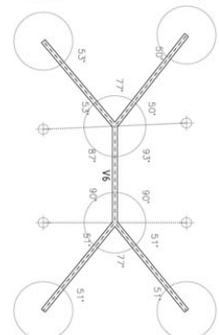
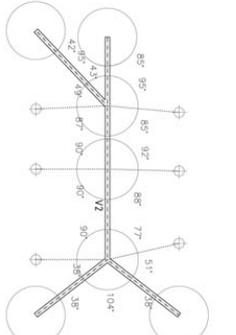
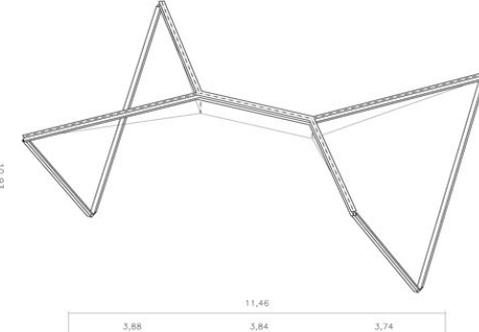
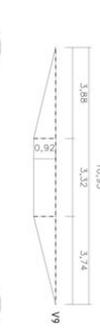
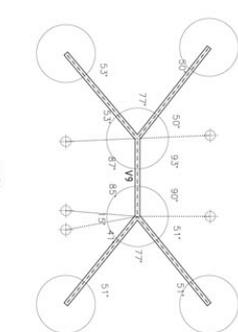
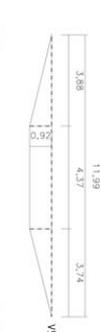
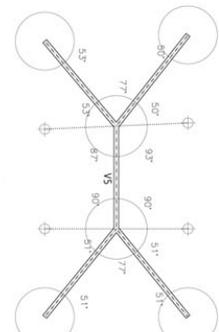
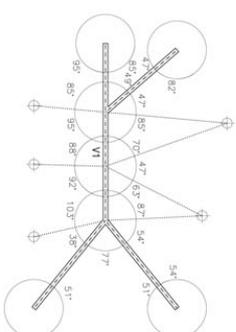






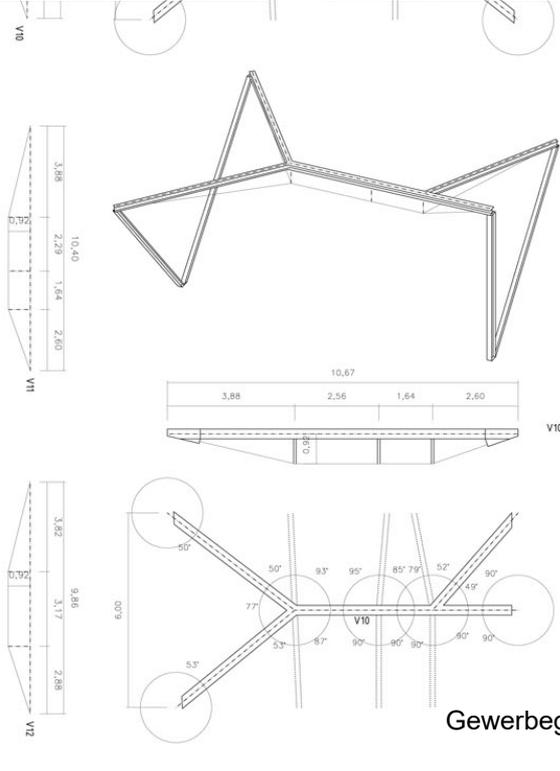
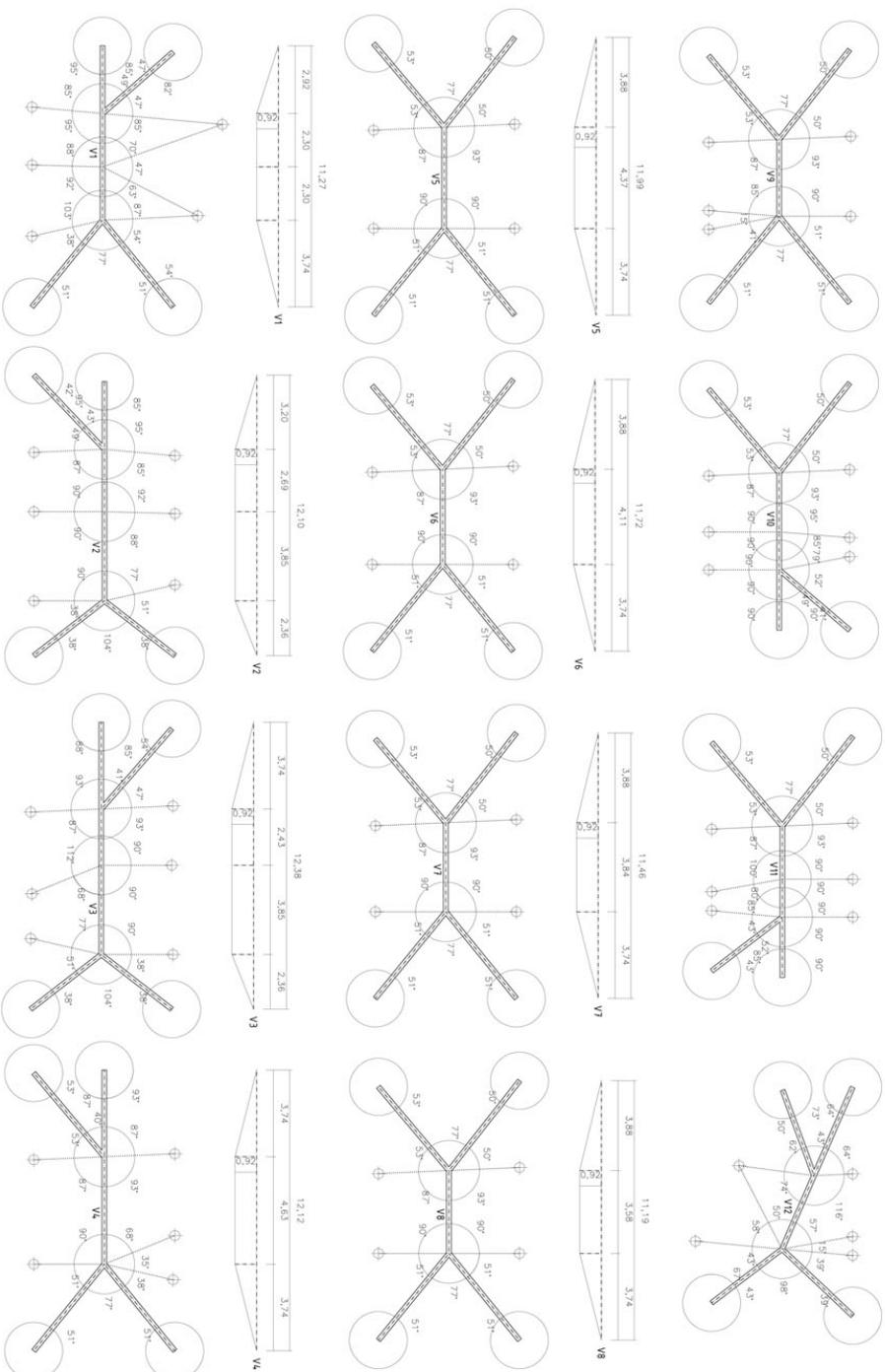


Gewerbegebäude Diagonal 80 in Madrid  
Amid (Cero 9) Architects 2010





Gewerbegebäude Diagonal 80 in Madrid  
Amid (Cero 9) Architects 2010



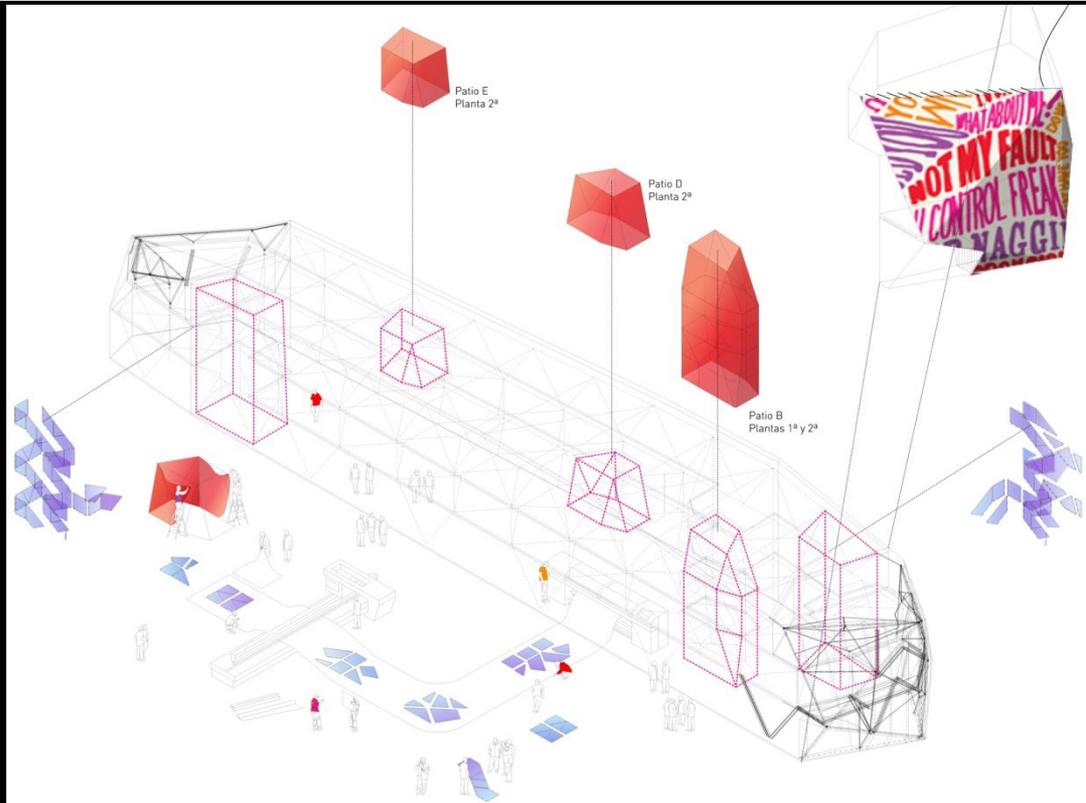
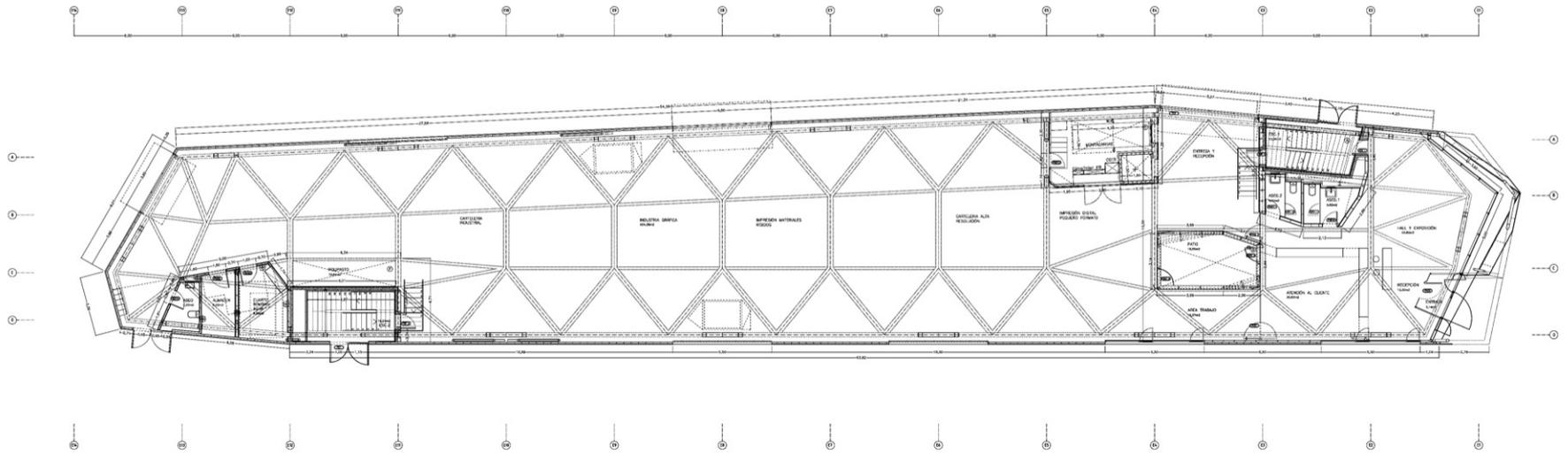
Gewerbegebäude Diagonal 80 in Madrid  
Amid (Cero 9) Architects 2010



© IGNACIO BISBAL



Gewerbegebäude Diagonal 80 in Madrid  
Amid (Cero 9) Architects 2010







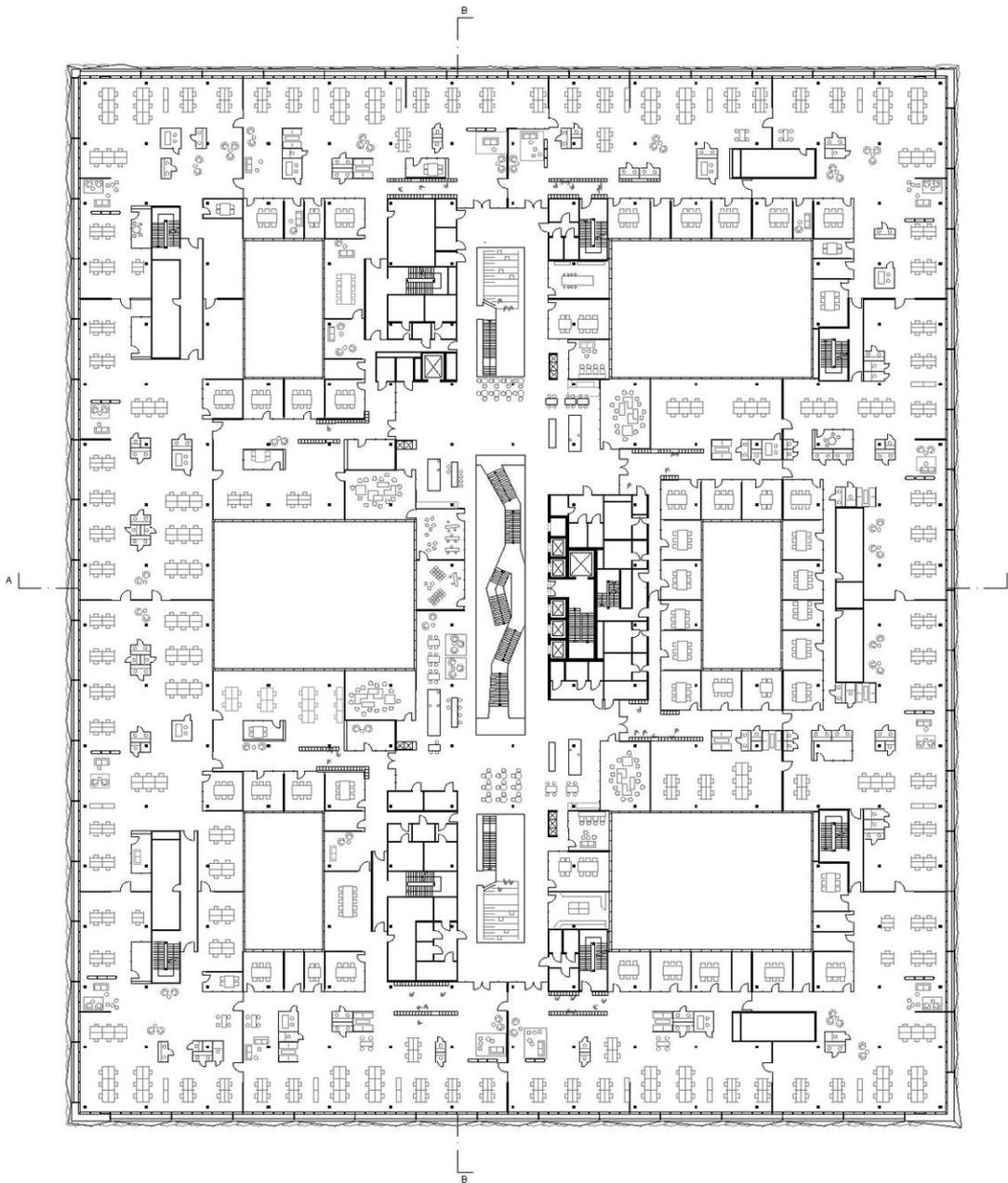


Weiteres Beispiel für einen interessanten Einsatz der Elemente:

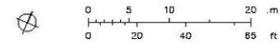
**Adidas Herzogenaurach**  
Behnisch Architekten 2019

Bildquelle: [archdaily.com](https://www.archdaily.com)

Prof. Jean Heemskerck

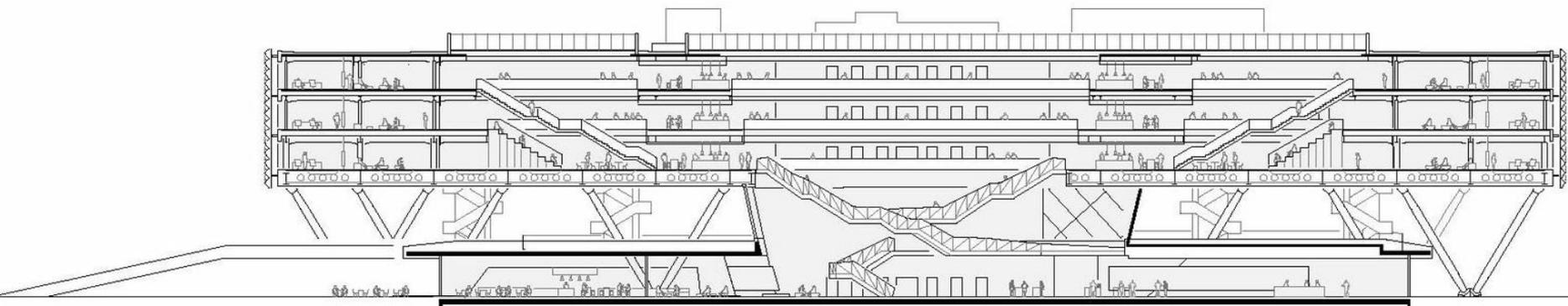


Adidas ARENA  
3rd floor

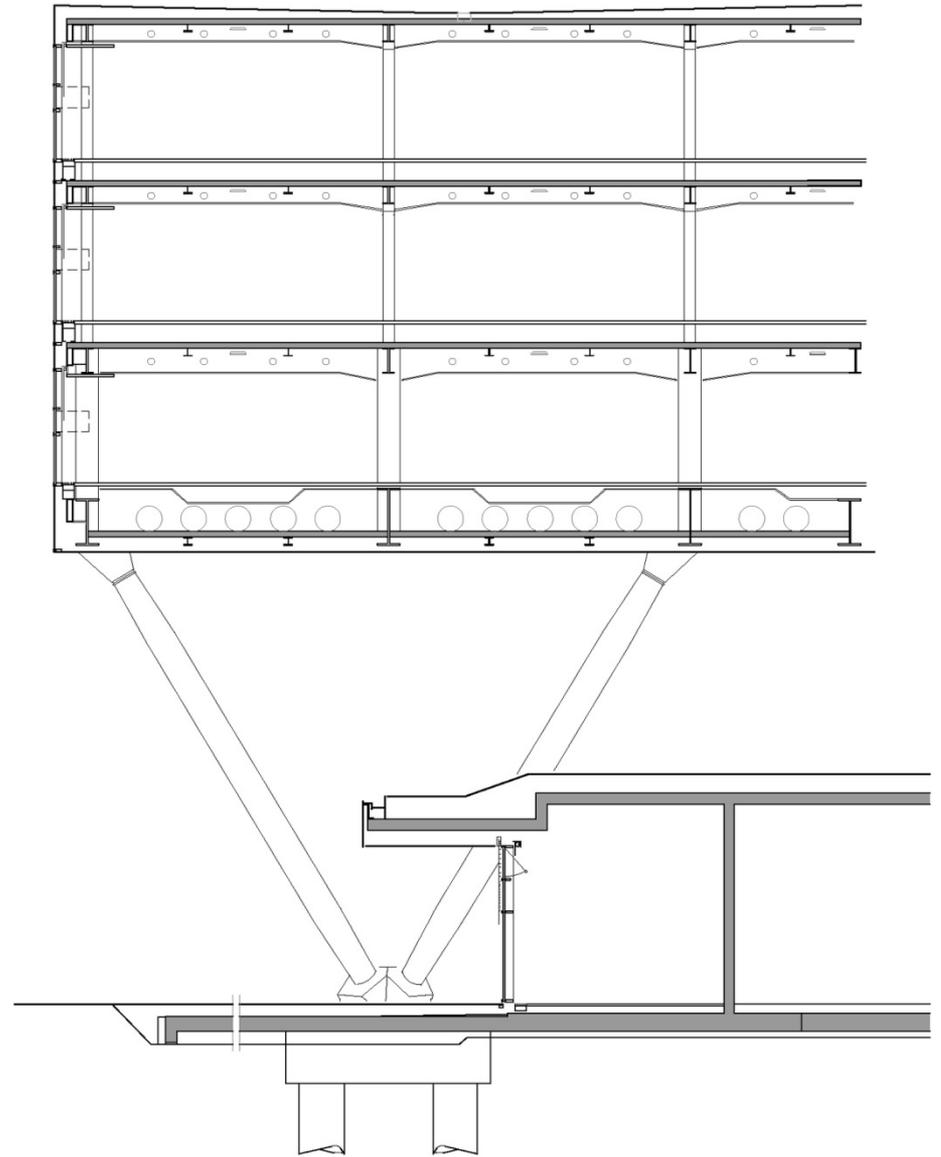




3RD  
TYO  
STY0200 - STY0200











Beispiel für den unkonventionellen Einsatz der unterschiedlichen Tragwerkselemente:

**Kanagawa Institut in Atsuki  
von Junya Ishigami 2008**



„Ursprünglich war das Programm für dieses Projekt relativ willkürlich. Die Hauptanforderung war, dass dieser Raum mal für eine einzige Person und mal für hundert Personen gleichzeitig nutzbar sein sollte. Deshalb plante ich einen einzigen großen Raum mit einer Reihe von Stützen, ohne Trennwände.“ Junya Ishigami

Quelle: *Ideen sind Revolutionen* aus <http://www.stylepark.com> vom 16.04.2011





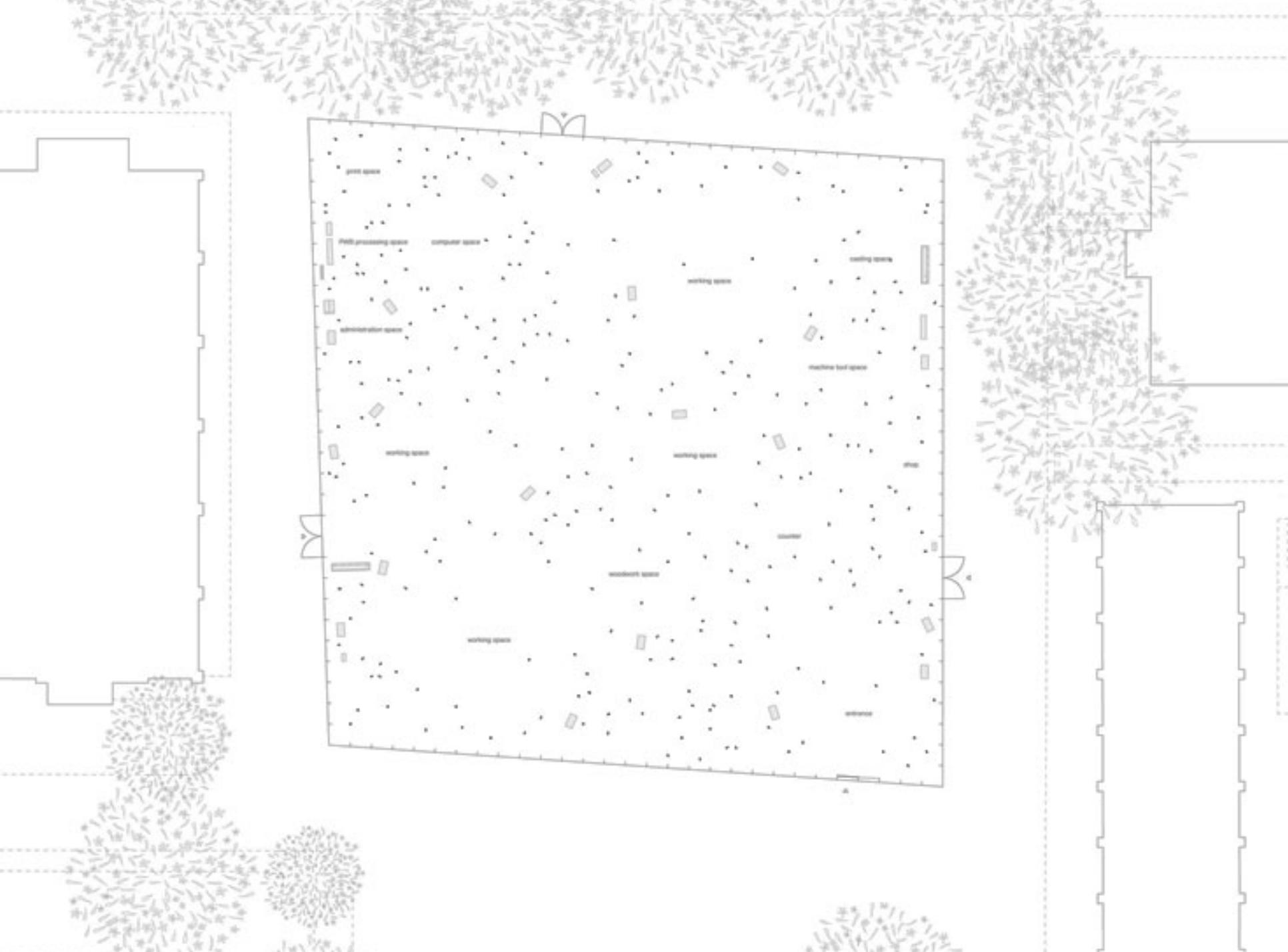


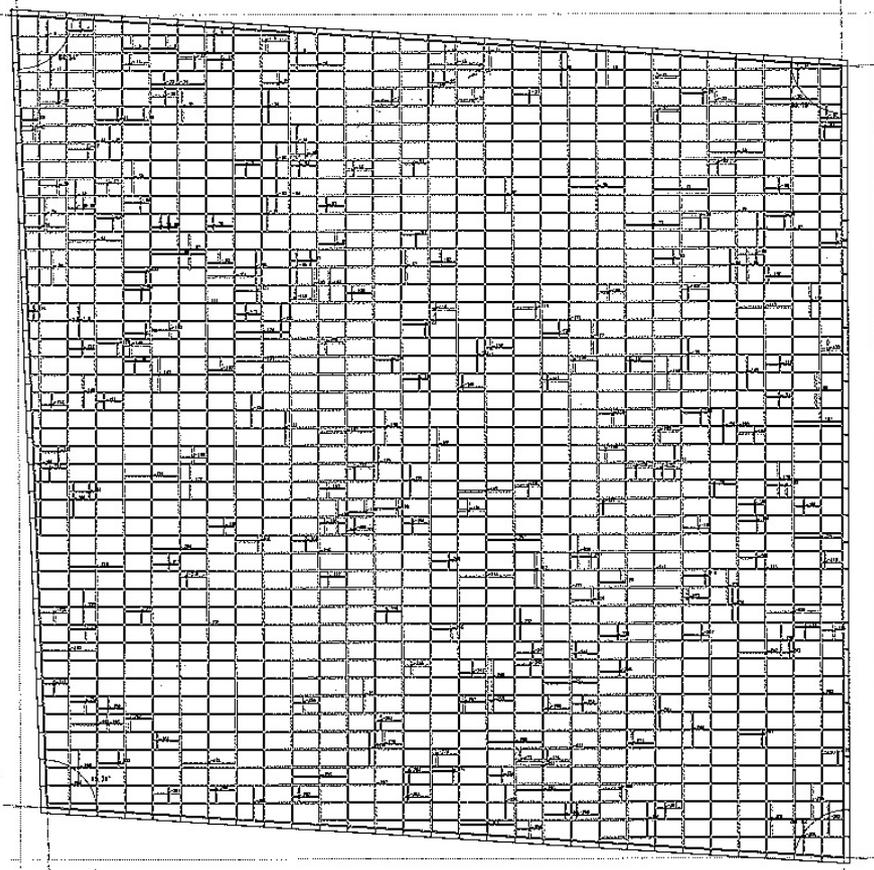


Kanagawa Institut ist eine Halle  
46 m x 47 m mit 306 Stützen.









306 Stützen aus  
- quadratischen Hohlprofilen 45/ 45 mm  
- Flachstahl 16 /45 mm

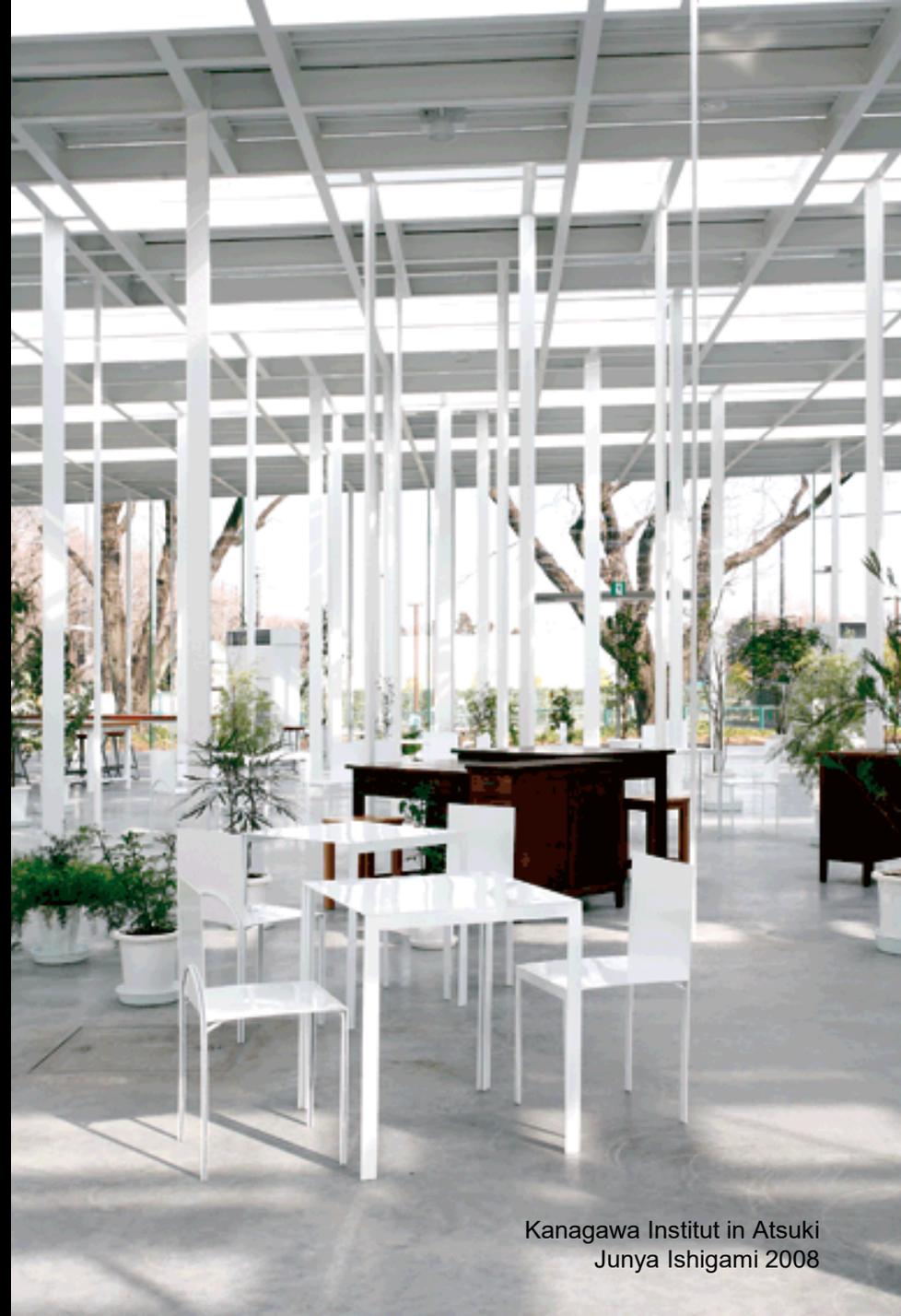
Erörtern Sie bitte das Tragwerk und beschreiben dessen Funktionsweise.

Welche Besonderheit fällt Ihnen dabei auf?  
Wie wird diese gelöst?



## Kanagawa Institut:

- Halle 46 m x 47 m
- unregelmäßiger Trägerrost auf 306 Stahlstützen
- Stützen sind raumbildend



Tragwerk:

Aufteilung der Stützen nach Lastanfall:

- Lastabtrag Normalkraft:  
quadratische Hohlprofile 45/ 45 mm
- Lastfall Horizontalkraft (Aussteifung):  
Flachstahlstützen 16 /45 mm als eine Art aufgeteilte Wandaussteifung kombiniert mit biegesteifem Dachverbund und wichtig: „schwebender Bodenanschluss“ durch Montage unter Lastaufbringung,
- Anschlüsse möglichst unsichtbar









## Stahlskelettbau

1. Charakteristika
2. Raster
3. Elemente des Skelettbau
4. Anordnung der Elemente
- 5. Systeme**

## 5. Systeme

- 5.1. Systembau
- 5.2. Geschlossene Systeme
- 5.3. Offene Systeme
- 5.4. Raumzellen



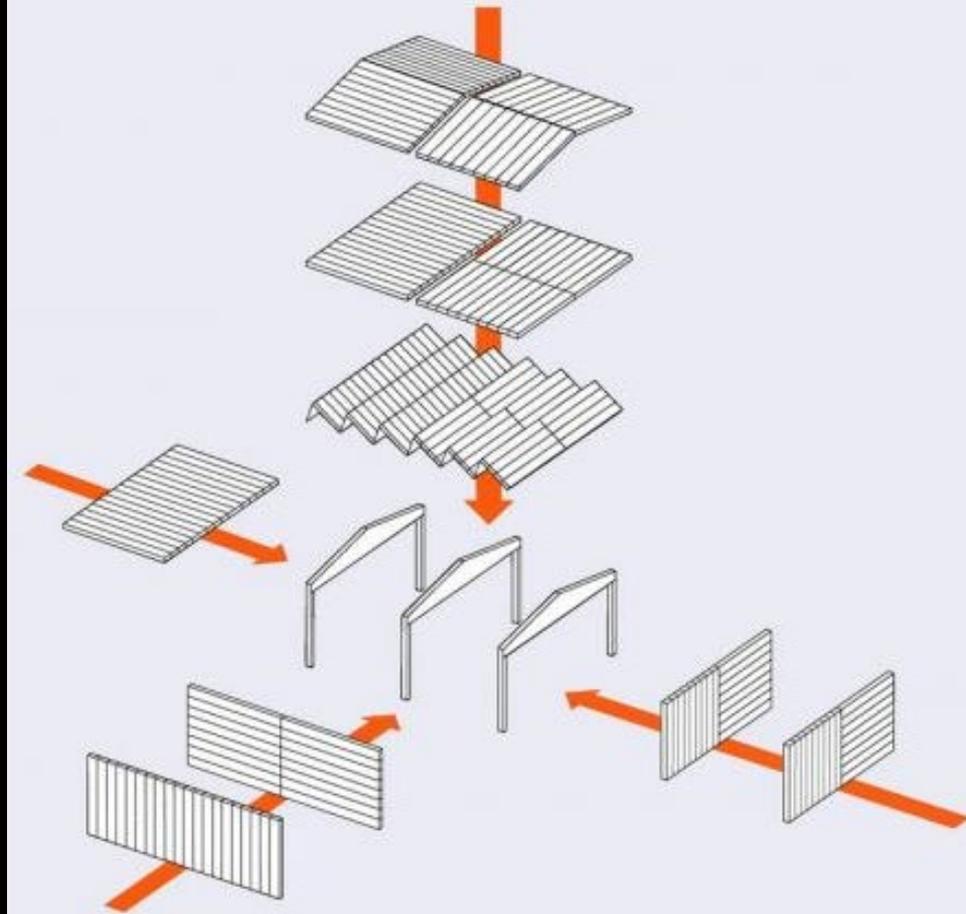
## 5.1. Systembau

Systeme definieren die Zusammenhänge der einzelnen Elemente in einem geometrischen Ordnungsprinzip.

In einem Bau-System wird die Summe aller Elemente sowie deren Kombination durch Typisierung und Maßkoordination planmäßig festgelegt und deren Fügung systematisch aufeinander abgestimmt.

Dabei kann man Systeme für einzelne Bereiche, sog. Teilsysteme, entwickeln, z.B. für den Rohbau, den Ausbau oder die Fassade, oder man integriert alle Teilsysteme zu einem umfassenden Bausystem.

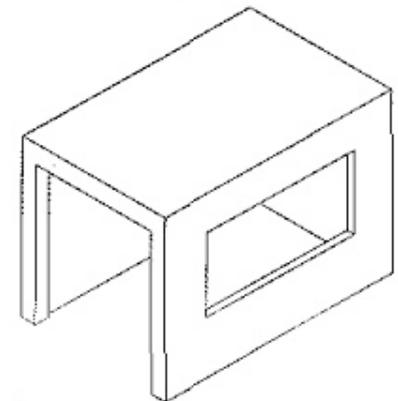
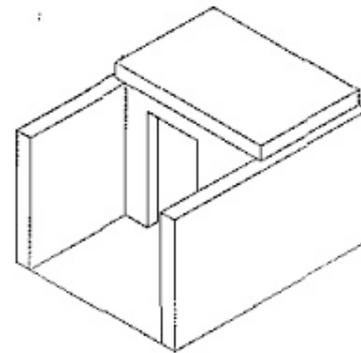
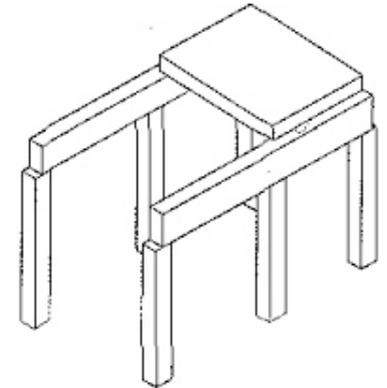
Man unterscheidet zwischen offenen und geschlossenen Bausystemen.



Bauwerke können aus linearen, flächigen oder räumlichen Elementen zusammengesetzt sein. Daraus ergeben sich die für den Systembau charakteristischen Konstruktionsprinzipien Skelett-, Paneel- und Raumzellenbau.

Diese drei Bauweisen werden in der Praxis häufig kombiniert und kommen nur selten in reiner Form vor, Skelettkonstruktionen werden z. B. häufig mit Paneelen oder Raumzellen in einem System verwendet.

Von der Skelett- über die Paneel- zur Raumzellenbauweise nimmt die Flexibilität ab und der Vorfertigungsgrad nimmt zu.

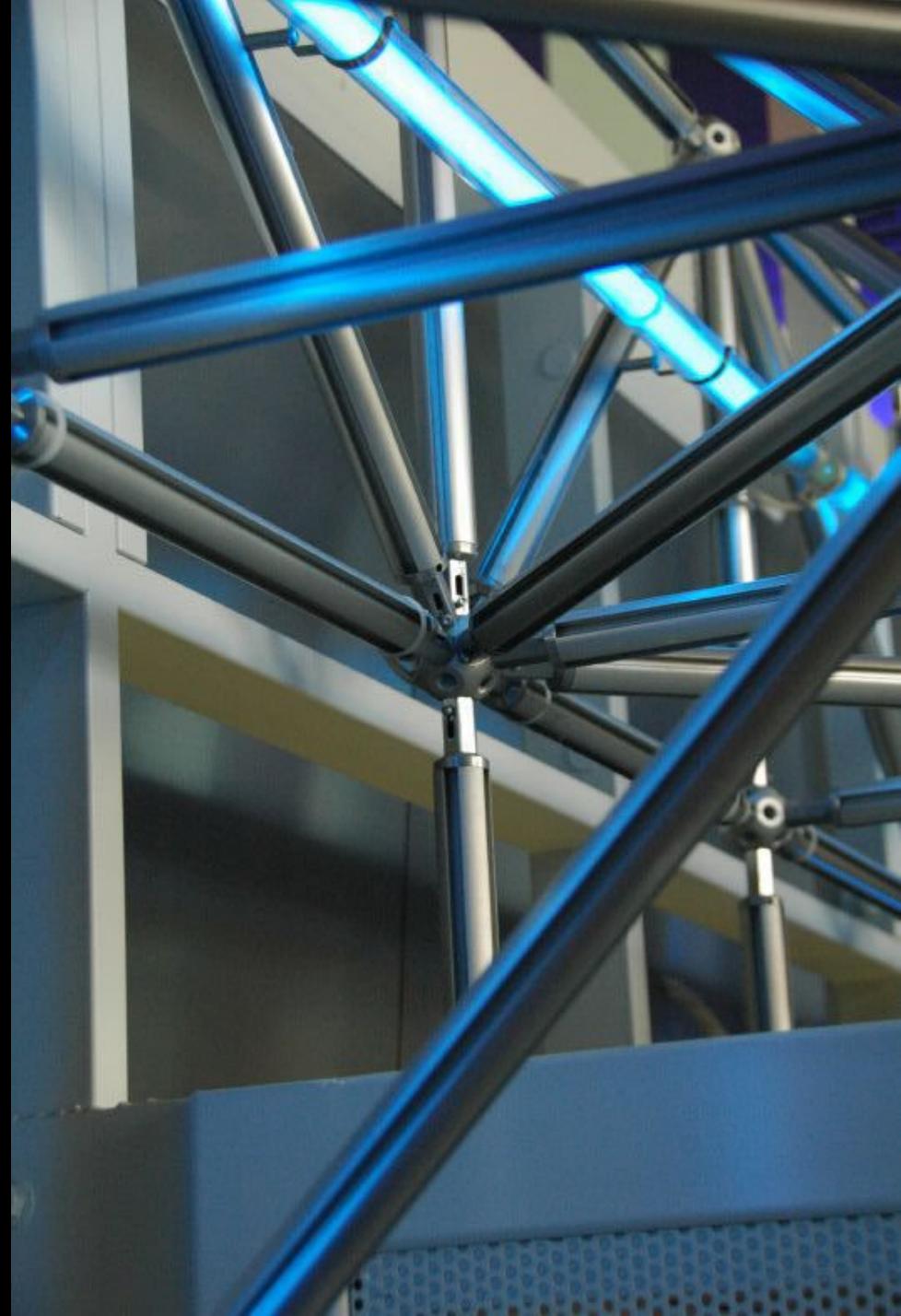


## 5.2. Geschlossene Systeme

Innerhalb eines geschlossenen Systems stammen alle Elemente von einem Hersteller. Sie können sowohl das ganze Gebäude umfassen, als auch Teilsysteme wie Tragwerk, Fassaden und Ausbau, die in sich wieder geschlossen sein können.

Die Elemente sind aufeinander abgestimmt und können nicht ausgewechselt, beliebig ergänzt oder erweitert werden, sie sind nur innerhalb des Systems einsetzbar, die Zuordnung ist vergleichbar mit einer Montageanleitung. Die Schnittstellen sind systemimmanent bestimmt.

Es herrscht wenig Flexibilität z.B. hinsichtlich Topographie und Nutzerwünschen und es besteht nur ein eingeschränkter Gestaltungsspielraum. Dies kann zu Monotonie führen, insbesondere bei Baukastensystemen.



## Beispiel: Mero-System

Das 1942 von Max Mengerlinghausen entwickelte System basiert auf Hohlprofilstäben, die an kugelförmige Knotenpunkte mit bis zu 18 Anschlussmöglichkeiten zu einem Tragwerk gefügt werden. Die Stäbe können durch ihre unterschiedliche Länge und Durchmesser, verschiedenen Lastsituationen aufnehmen. Die Endstücke sind als Schraubbolzen ausgeführt, die in die Bohrungen der Knoten geschraubt werden.

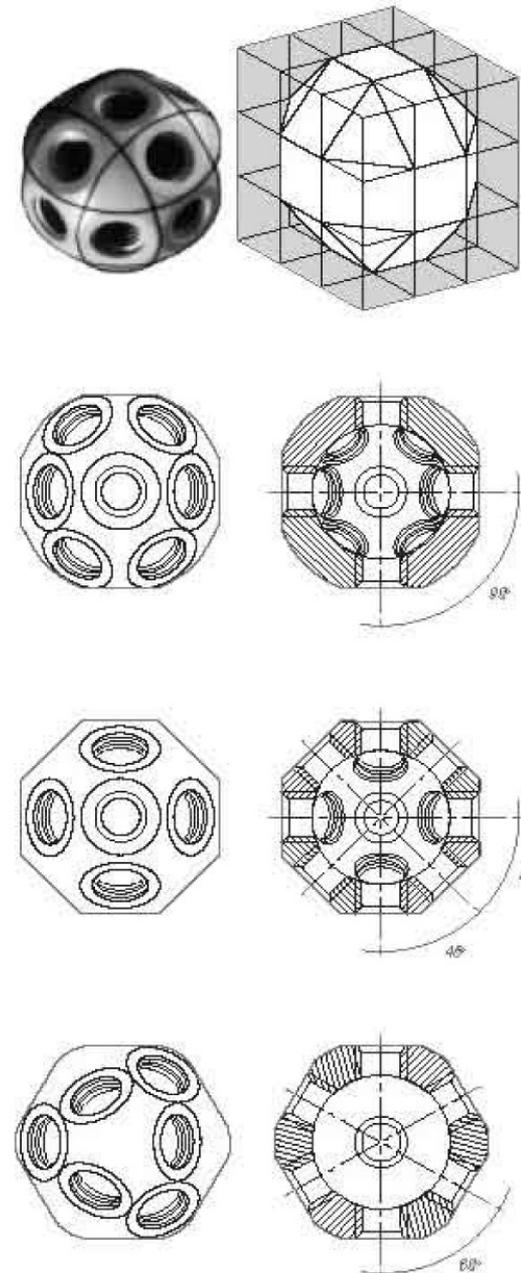


Abb.5: Der MERO- Knoten und seine möglichen Anschlusswinkel

Das Tragwerk aus einer Unter- und Obergurtebene mit dazwischen liegenden Raumdiagonalen bildet die Struktur des Raumfachwerks, das schnell und einfach montiert werden kann.



Stab 22 M12,  
Rohr  $\varnothing$  22 mm  
Tube 22 M12,  
dia. 22 mm



Stab 30 M12,  
Rohr  $\varnothing$  30 mm  
Tube 30 M12,  
dia. 30 mm



Stab 42 M12,  
Rohr  $\varnothing$  42 mm  
Tube 42 M12,  
dia. 42 mm



Abb. 6.7, 8: MERO Stäbe











### 5.2.1. Baukastensysteme

Es handelt sich um eine spezielle Form der geschlossenen Systeme, bei denen die Elemente unabhängig von der Bauaufgabe von einem Hersteller zu einem ganzen Gebäude (zumeist Gebäudehülle und Tragwerk) vorgefertigt werden.

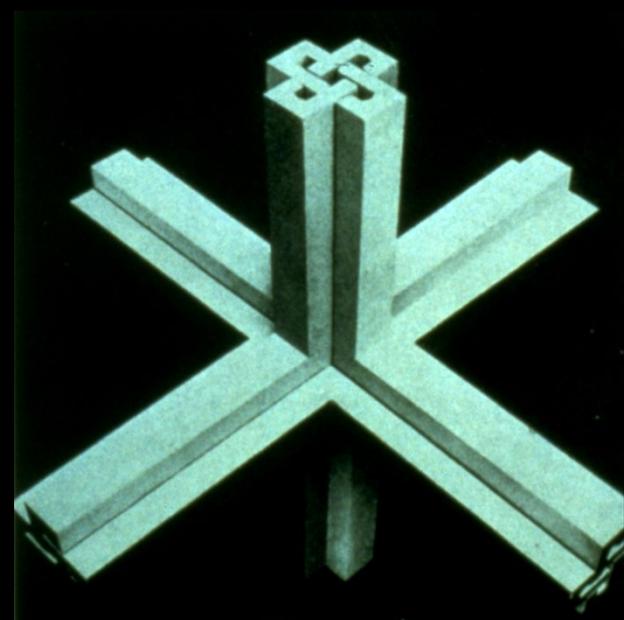
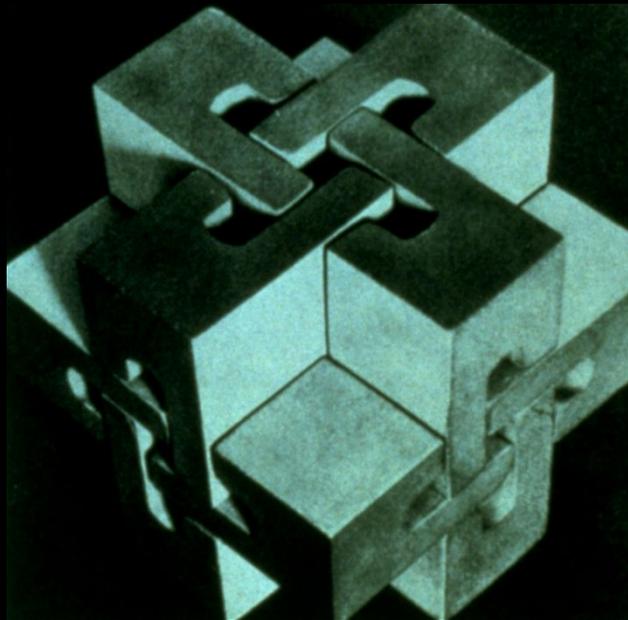
Typisch ist die Kombinationsmöglichkeit einer bestimmten Anzahl an Elementen, die sich nach geometrischen und konstruktiven Regeln zu einem Ganzen fügen lassen.

Bekannte Beispiele: General Panel System, USM Haller Stahlbausysteme



General Panel System von Walter Gropius und Konrad Wachsmann 1941:

Vorfabriziertes Fertighausssystem, sog. „Packaged House System“, entwickelt für den Aufbau durch 5 ungelernete Arbeiter innerhalb von 9 Stunden. Integriert war eine von Wachsmann entwickelte dreidimensionale Steckverbindung für bis zu 12 Platten.

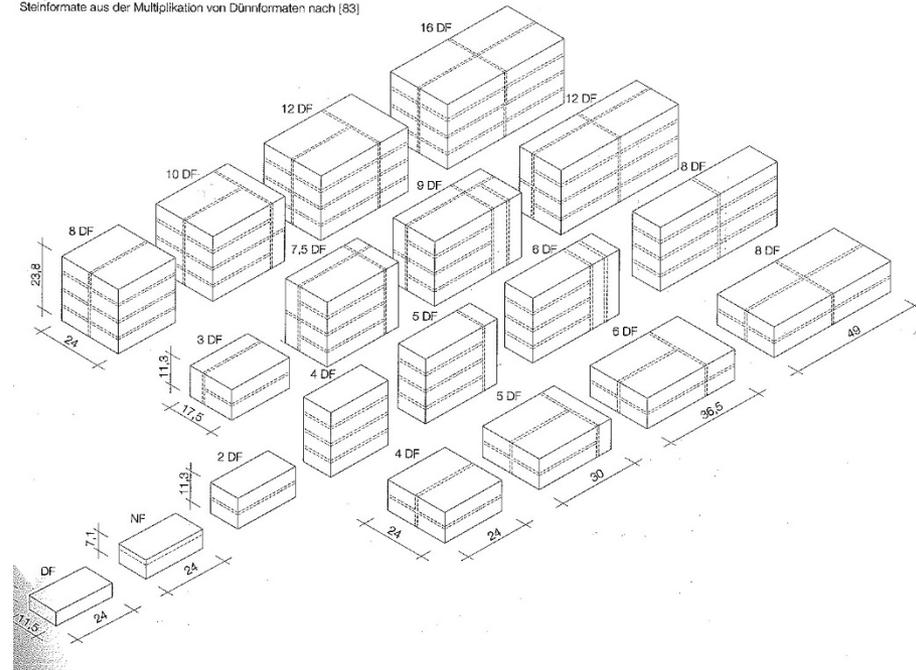


### 5.3. Offene Systeme

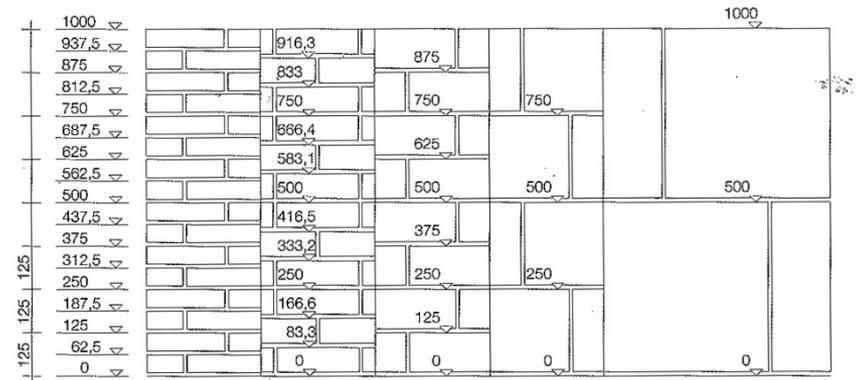
Sie bieten die Möglichkeit, Produkte unterschiedlicher Hersteller flexibel einzusetzen. Die Elemente können beliebig kombiniert werden, z. B. als Teilsystem für die Tragstruktur oder auch als ganzes Gebäude.

Sie sind typisiert und folgen einer festgelegten Zuordnung und Maßkoordination nach festgelegten Regeln (wäre sonst kein System) und müssen dabei addierbar, austauschbar und variabel sein, um sie flexibel einsetzen zu können und um Schwierigkeiten bei der Montage zu vermeiden.

Steinformate aus der Multiplikation von Dünnformaten nach [83]



2.2.8 Vertikale Baurichtmaße und Steinhöhen



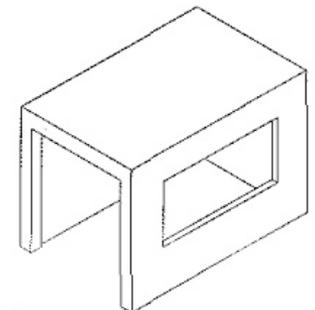
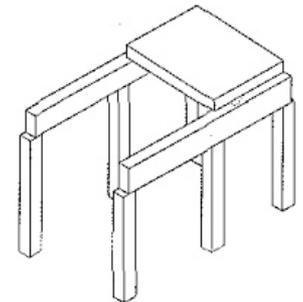
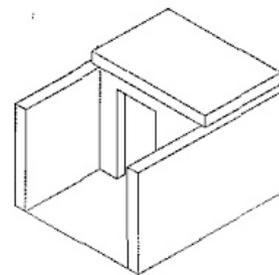
	NM	NM	NM	DM	NM	DM	DM
Steinhöhe (mm)	52	71	113	123	238	248	499
Lagerfugendicke (mm)	10,5	12,3	12	1-3	12	1-3	1-3
Schichhöhe (mm)	62,5	83,3	125	125	250	250	500
Format-Beispiel	DF	NF	1,5 NF	= 2DF	4 DF	Planelement	
NM = Normalmörtel DM = Dünnbettmörtel							

## 5.4. Raumzellen

Raumzellen sind raumbildende Module, die auf der Baustelle zu einem Gebäude zusammengefügt werden und i.d.R. tragend sind.

Bei Raumzellen wird die Tragstruktur zusammen mit Teilen des Ausbaus vorgefertigt. Sie können je nach Verwendungszweck mit einem hohen Vorfertigungsgrad seriell hergestellt werden, so dass bereits alle Installationen für die Haustechnik und den Innenausbau enthalten sind.

Es besteht die Möglichkeit, Fenster und Türen bereits im Werk einzubauen. In solchen Fällen muss die Planung vor Produktionsbeginn abgeschlossen sein. Mit modernen Fertigungsmethoden können Raummodule so auf individuelle Bedürfnisse projektbezogen konzipiert werden.



Von der Skelett- über die Paneel- zur Raumzellenbauweise nimmt die Flexibilität ab und der Vorfertigungsgrad nimmt zu.

Soll eine freiere Grundrissgestaltung möglich sein, werden nur auf zwei Seiten geschlossene Raumzellen hergestellt.

Die tragende Struktur von Raumzellen besteht heute in der Regel aus Stahl, Holz oder Beton. Die Abmessungen richten sich nach den Möglichkeiten des Transports. Der hohe Vorfertigungsgrad dieser Bauweise ermöglicht eine schnelle Montage von Gebäuden vor Ort.

Raumzellen aus Stahl werden sowohl für dauerhafte Bauvorhaben als auch für temporäre Nutzungen eingesetzt, wie beispielsweise als Übergangslösung bei Umbau- und Sanierungsmaßnahmen oder bei Messen. Je nach Element können sie bis zu sechs Geschossen addiert werden.



Die Abmessungen der Zellen sind dabei abhängig von der Bauaufgabe, den Transportmöglichkeiten und dem Bausystem. Die regulären Maße liegen bei 3 m x 8 m, maximal sind Abmessungen von 6 m x 20 m möglich. Die Höhe der Raummodule beträgt 3,2 m bis 3,7 m.

Die Stahlzellen werden in speziellen Werken hergestellt und von dort zur Bau- bzw. Montagestelle transportiert. Die Primärkonstruktion besteht aus einem geschweißten oder geschraubten Stahlrahmen und aus stabförmigen Stahlprofilen bzw. Stahlhohlprofilen, die das Raumtragwerk bilden.

Diese Konstruktion entspricht in ihrem Tragverhalten den Prinzipien einer Skelettkonstruktion und könnte bereits durch die Verbindung aller Zellen die Struktur eines Gebäudes bilden.



In der Regel bieten die Hersteller allerdings die Stahlzellen mit raumumschließenden Flächen an. Dazu werden die Felder zwischen den Rahmenprofilen mit nicht brennbarem Dämmstoff ausgefacht und dann beplankt.

Als Standardbekleidung werden für die Außenhaut verzinkte Profilbleche oder Sandwichelemente aus Stahlblech und Hartschaumdämmung verwendet. Generell sind aber verschiedene Fassadensysteme denkbar.

Die innere Bekleidung erfolgt in diesen Fällen mit beschichteten Holzwerkstoff oder Gipskartonplatten. Der Bodenaufbau der Zellen besteht in der Regel aus Profilblech, Wärmedämmung und Bodenbelag.

Die vorgefertigten Module werden auf der Baustelle mit Hebewerkzeugen positioniert und in kurzer Zeit geschossweise zu Gebäuden montiert. Die einzelnen Zellen sind dabei durch Schrauben, Schweißen, Stecken oder Klammern kraftschlüssig miteinander verbunden.



Raumzellen werden teilweise innerhalb von (Stahl-) Skeletten eingesetzt, z.B. für die Nasszellen, oder aber als ganze tragende Einheiten zu einem Gebäude zusammengesetzt (selten bei mehrgeschossigen Gebäuden).

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist besonders darauf zu achten, dass die Doppelung von Bauteilen wie Wand und Decke einen kostensteigernden Faktor darstellen.

Beim Transport stellen die Raumvolumina gegenüber einzelnen (flachen) Bauteilen wirtschaftlich einen Nachteil dar.



Beispiel für Raumzellen

Freitag Flagship Store in Zürich  
Spillmann Echsle Architekten 2008

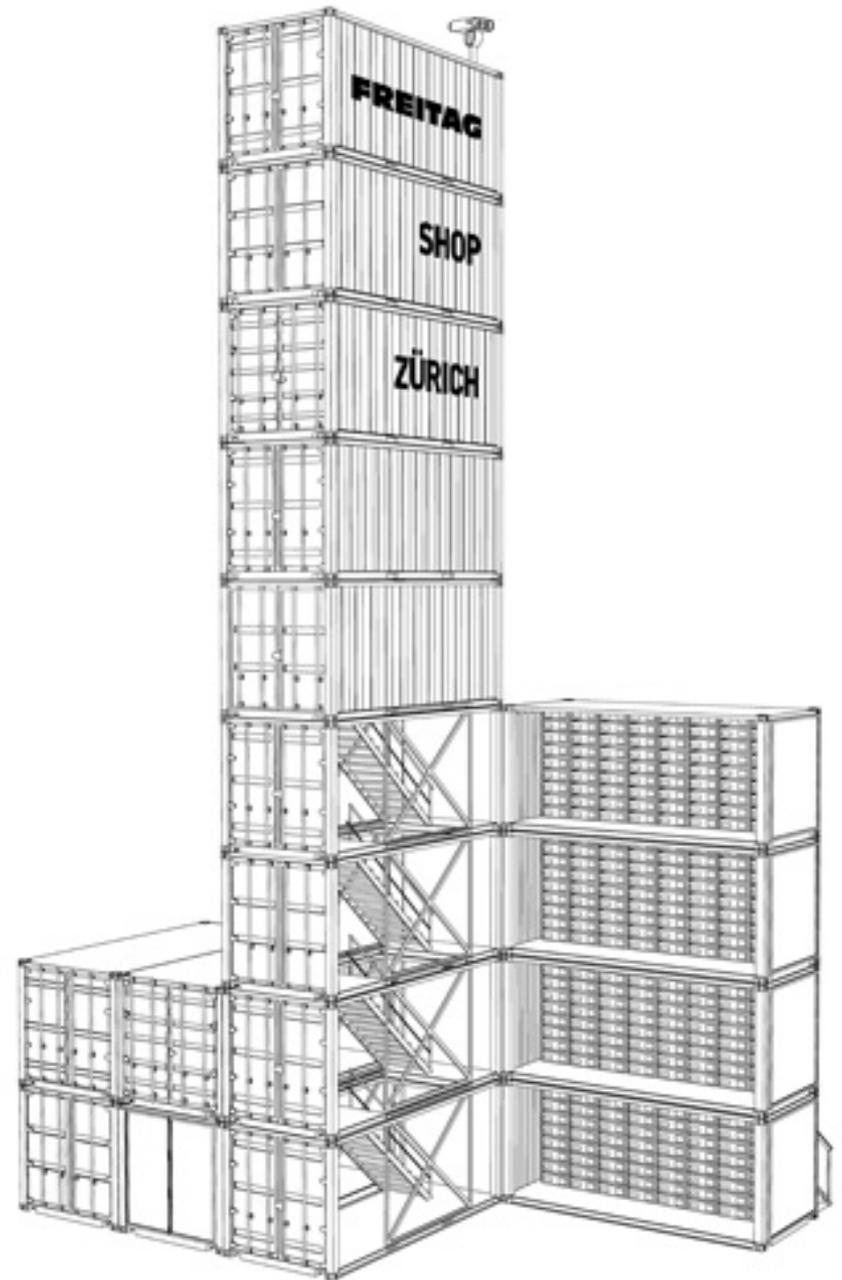


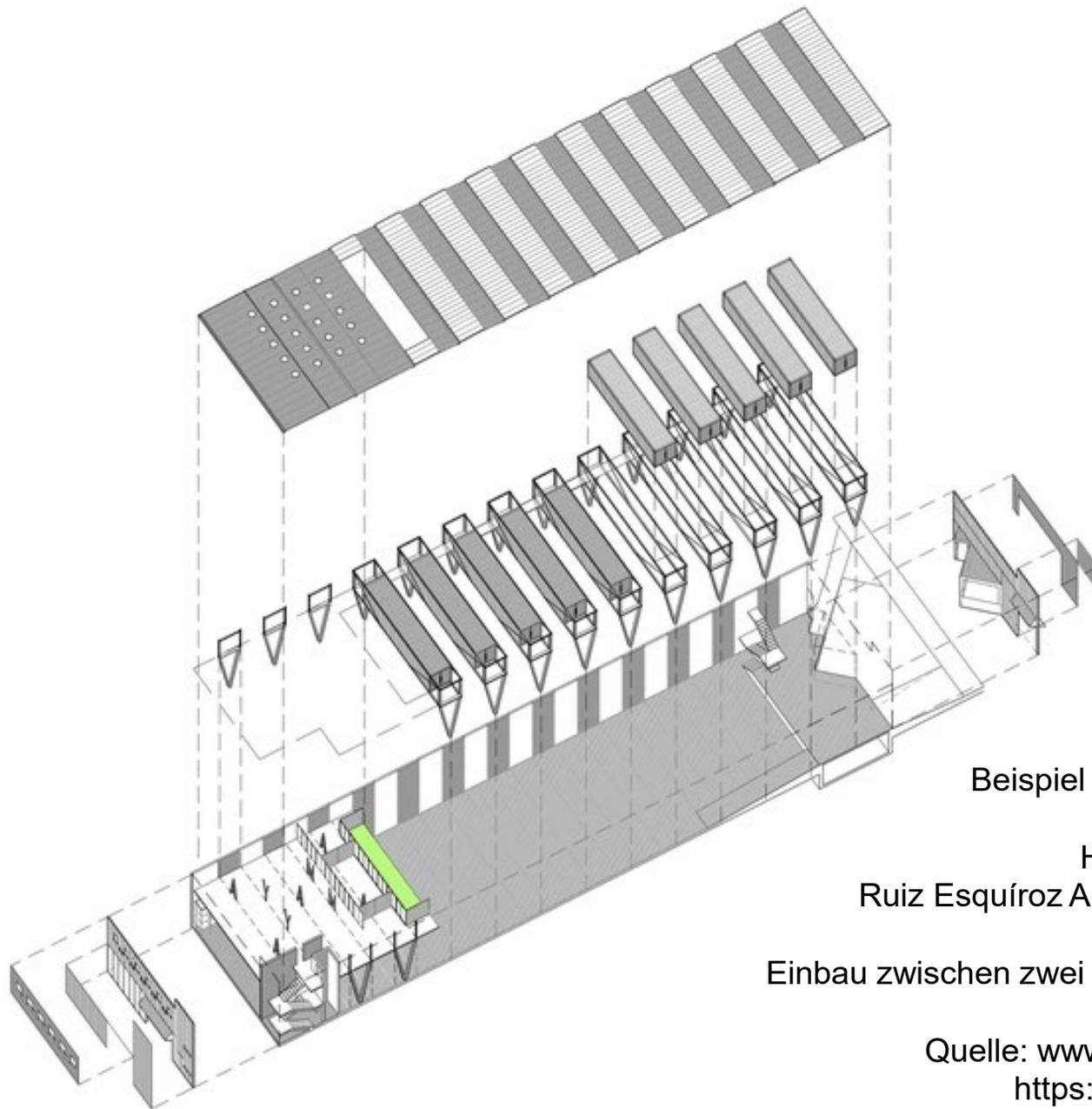
Dabei wurden 17 Transportcontainer als *Objet trouvé* provisorisch aufgestellt und mit einer herkömmlichen Transportverbindung „Quick-Tie TV/ Tricon“ (nicht der übliche Twistlock Drehverschluss) gesichert.





Freitag Flagship Store in Zürich  
Spillmann Echsle Architekten 2008





Beispiel für Raumzellen

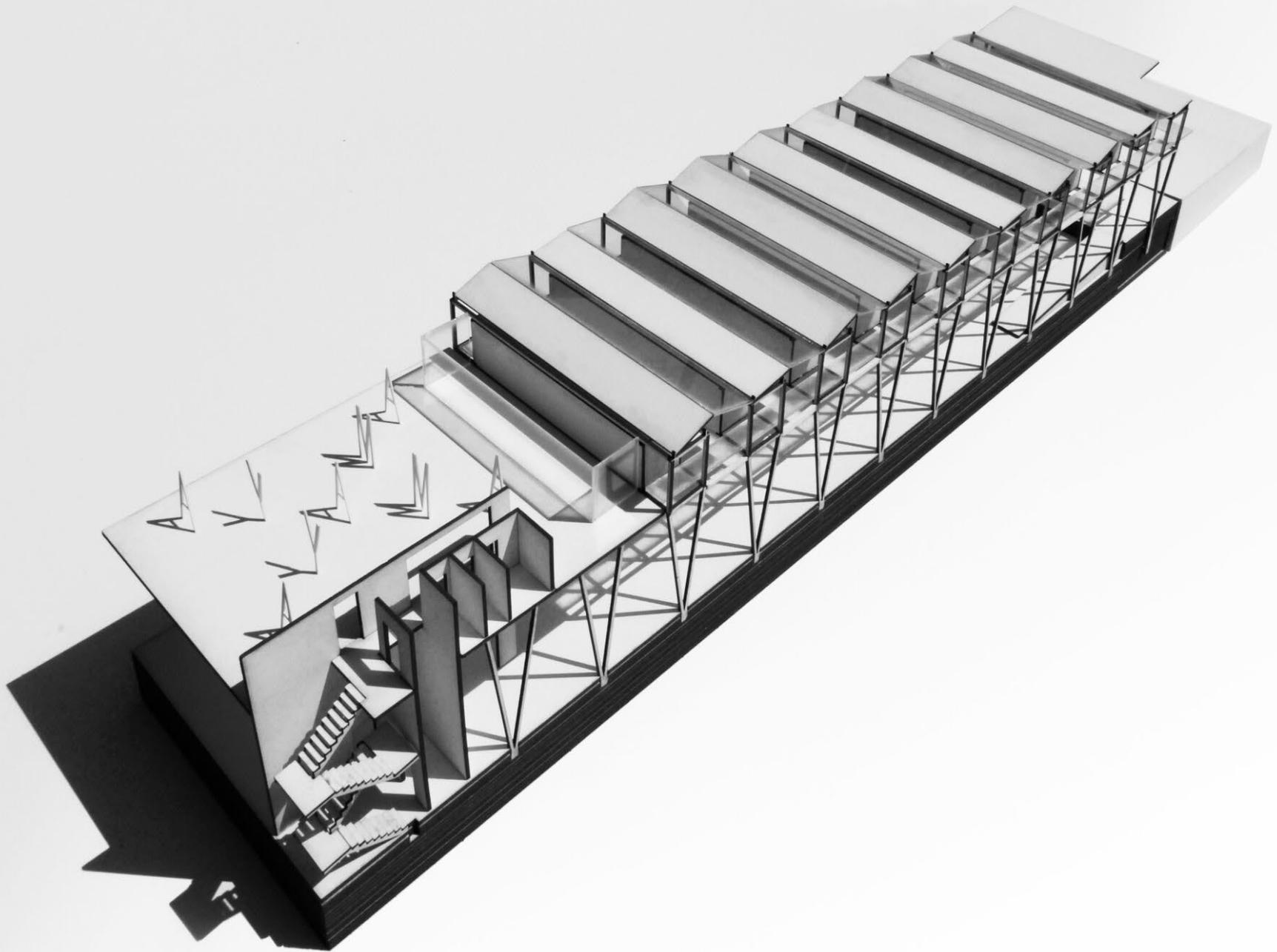
Halle in Navarra  
Ruiz Esquíroz Architekten 2019

Einbau zwischen zwei Gewerbehallen

Quelle: [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)  
<https://www.detail.de>

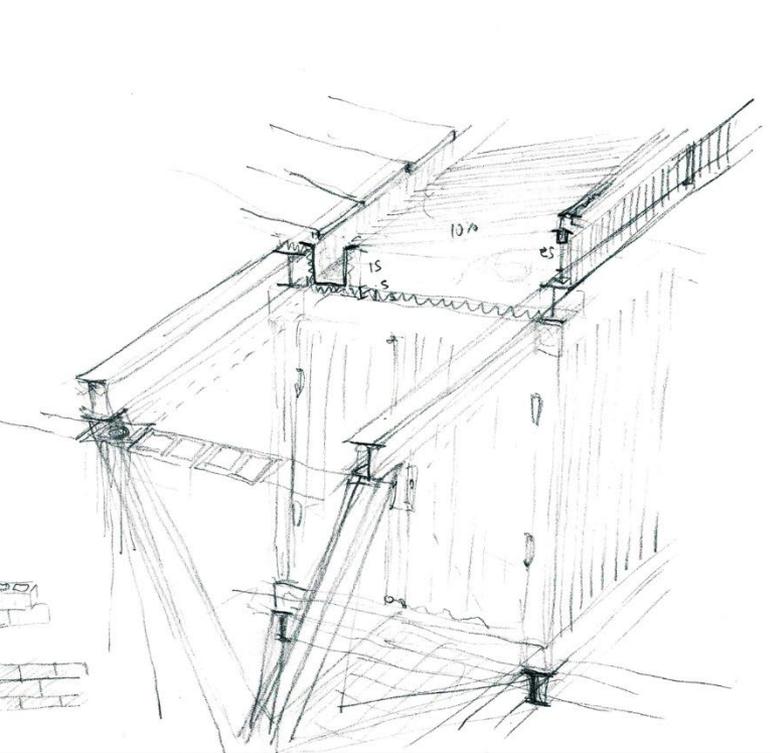


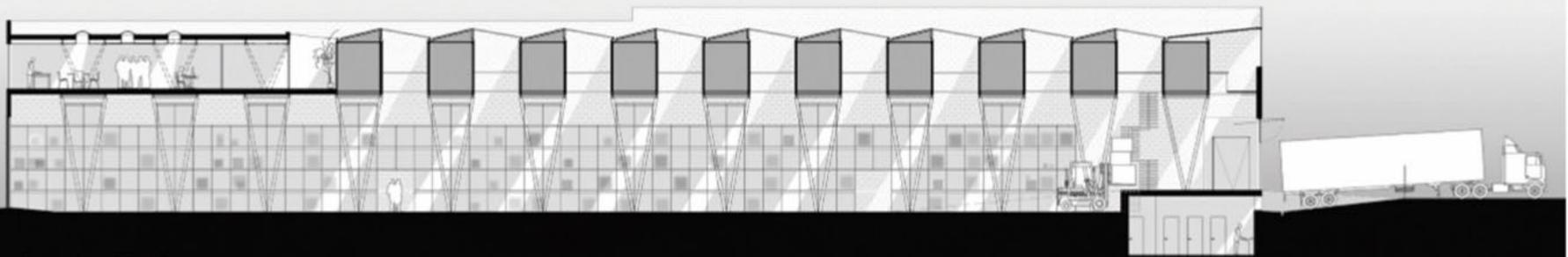
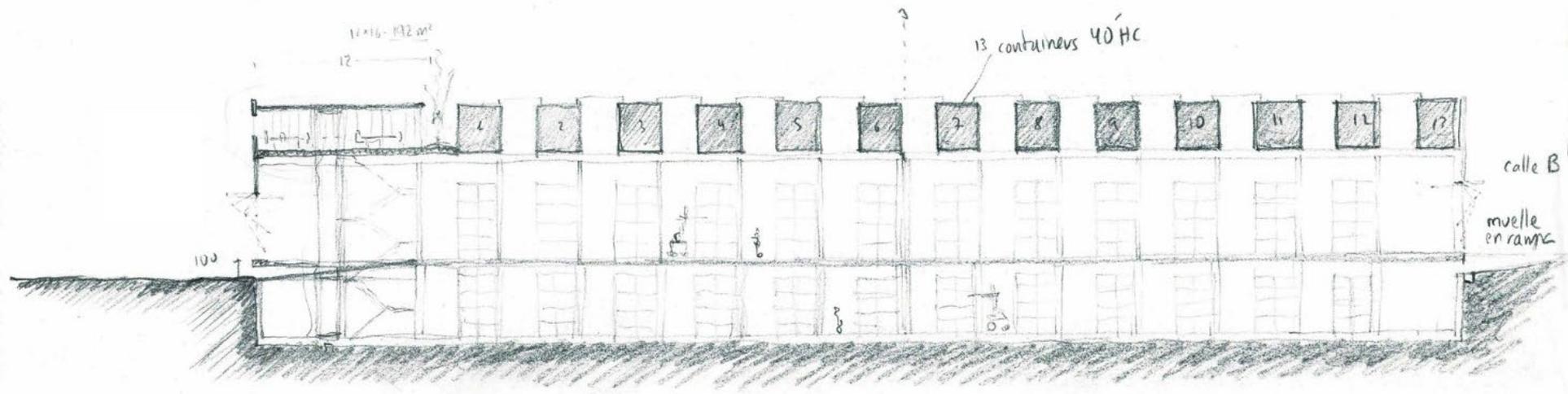




Mehrzweckhalle in Navarra  
Ruiz Esquíroz Architekten 2019







sección longitudinal

Beispiel für Raumzellen:

Rathausprojekt in Ora Japan  
von Riken Yamamoto 2007  
Tragwerk Ove Arup Ass.

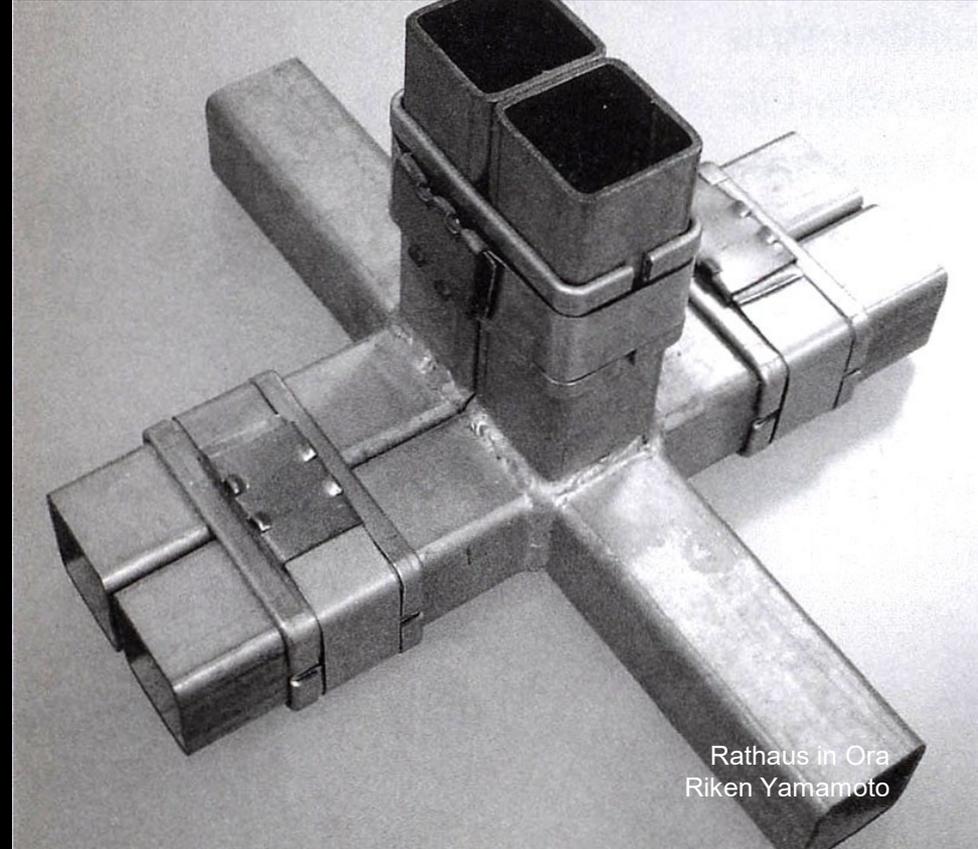
Das Tatami als Grundabmessung der traditionellen Gebäudeaufteilung bildet das Fundament für einen sehr lange Tradition des modularen Bauens in Japan.

Bei den Stahlmodulen des Rathausprojekts in Ora von Riken Yamamoto wird dieses Denken in die Dritte Dimension fortgesetzt.



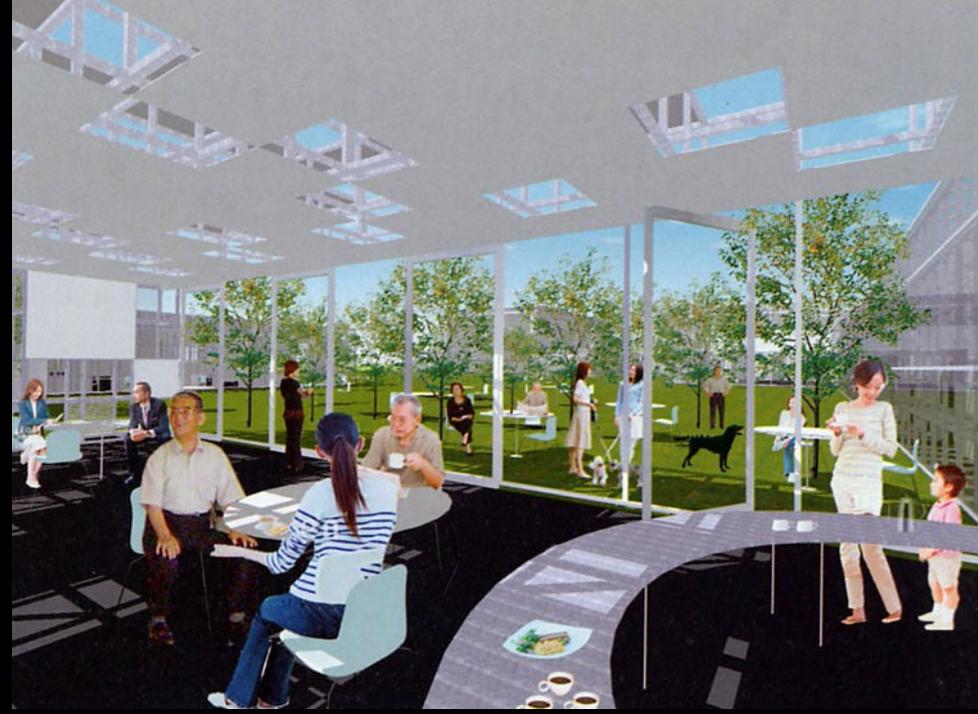
Dabei wiegt das einzelne Stahlmodul nur 40 kg; es kann auf einfachste Weise mit Stahlbändern zu einer großen Struktur zusammengezurrnt werden.

Änderungen, Erweiterungen und Modifikationen sind so nicht nur während des Bauphase möglich, sondern auch zu jedem späteren Zeitpunkt denkbar.



Die Elemente lassen sich im Bedarfsfall einfach voneinander trennen und an anderer Stelle wieder verwenden. Daran werden abgestimmte Elemente befestigt, die Fassaden, Dachflächen und Innenwände bilden.

Gestaltung vs. Flexibilität ?  
Zeitlosigkeit vs. Monotonie ?



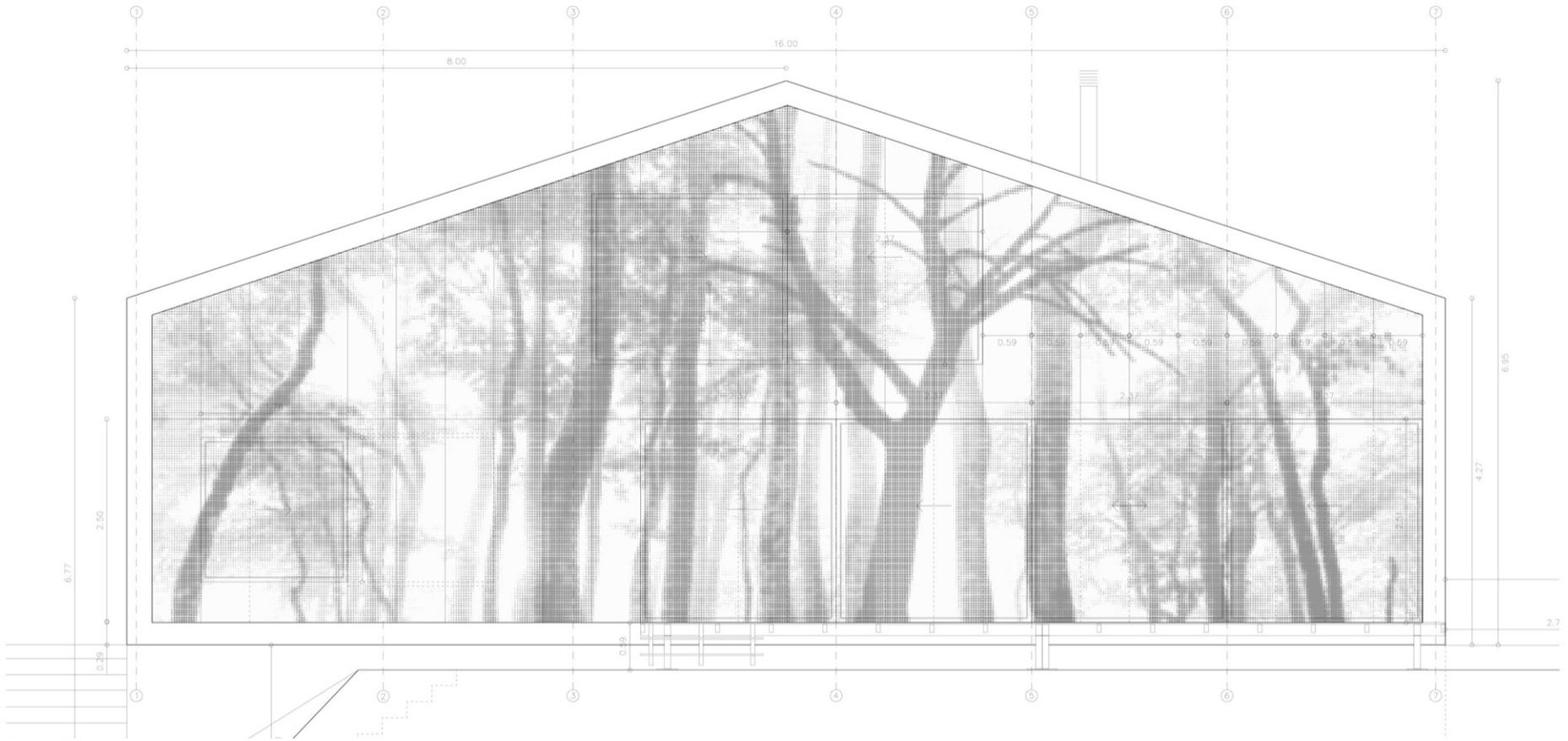
Rathaus in Ora  
Riken Yamamoto

Wohnhaus in Cedeira  
MYCC 2010

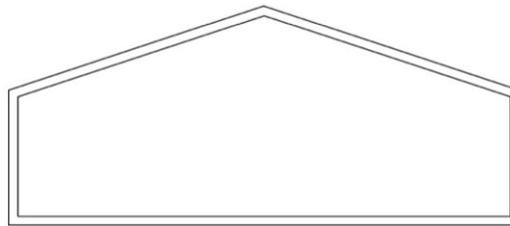




Wohnhaus in Cedeira  
MYCC



+



=



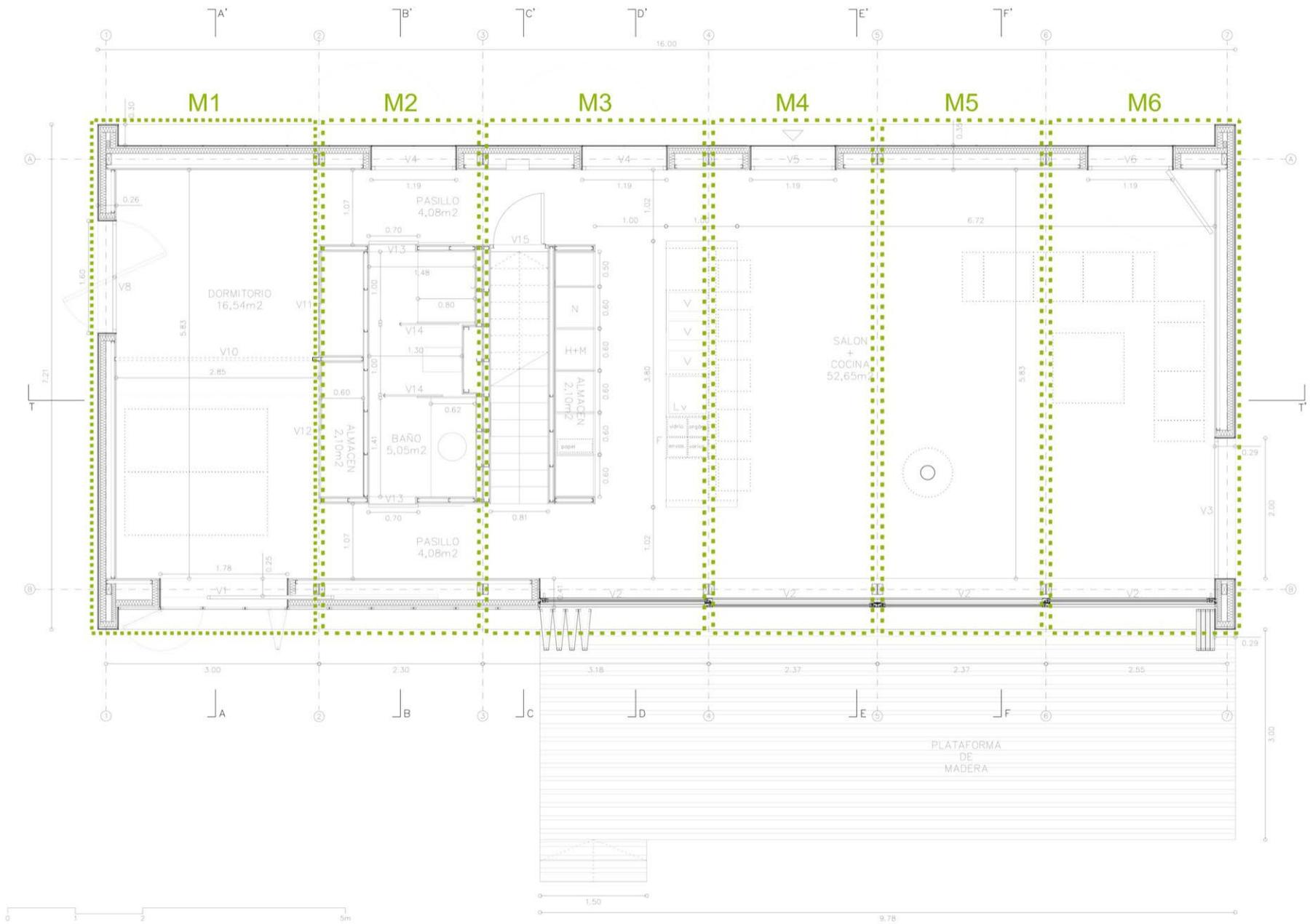


Prof. Jean Heemskerck



FG+SG

Wohnhaus in Cedeira  
MYCC





Wohnhaus in Cedeira  
MYCC



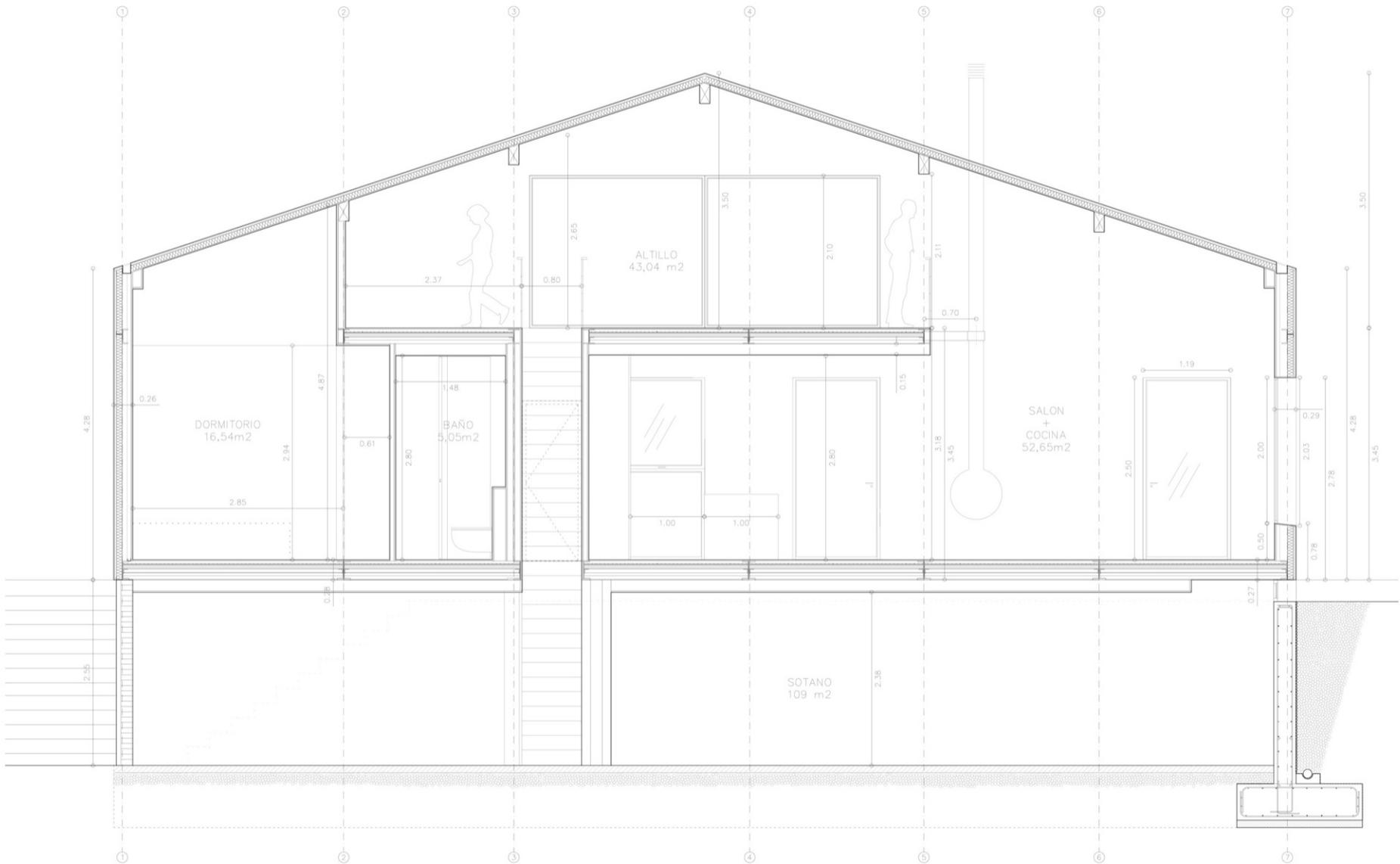
Wohnhaus in Cedeira  
MYCC

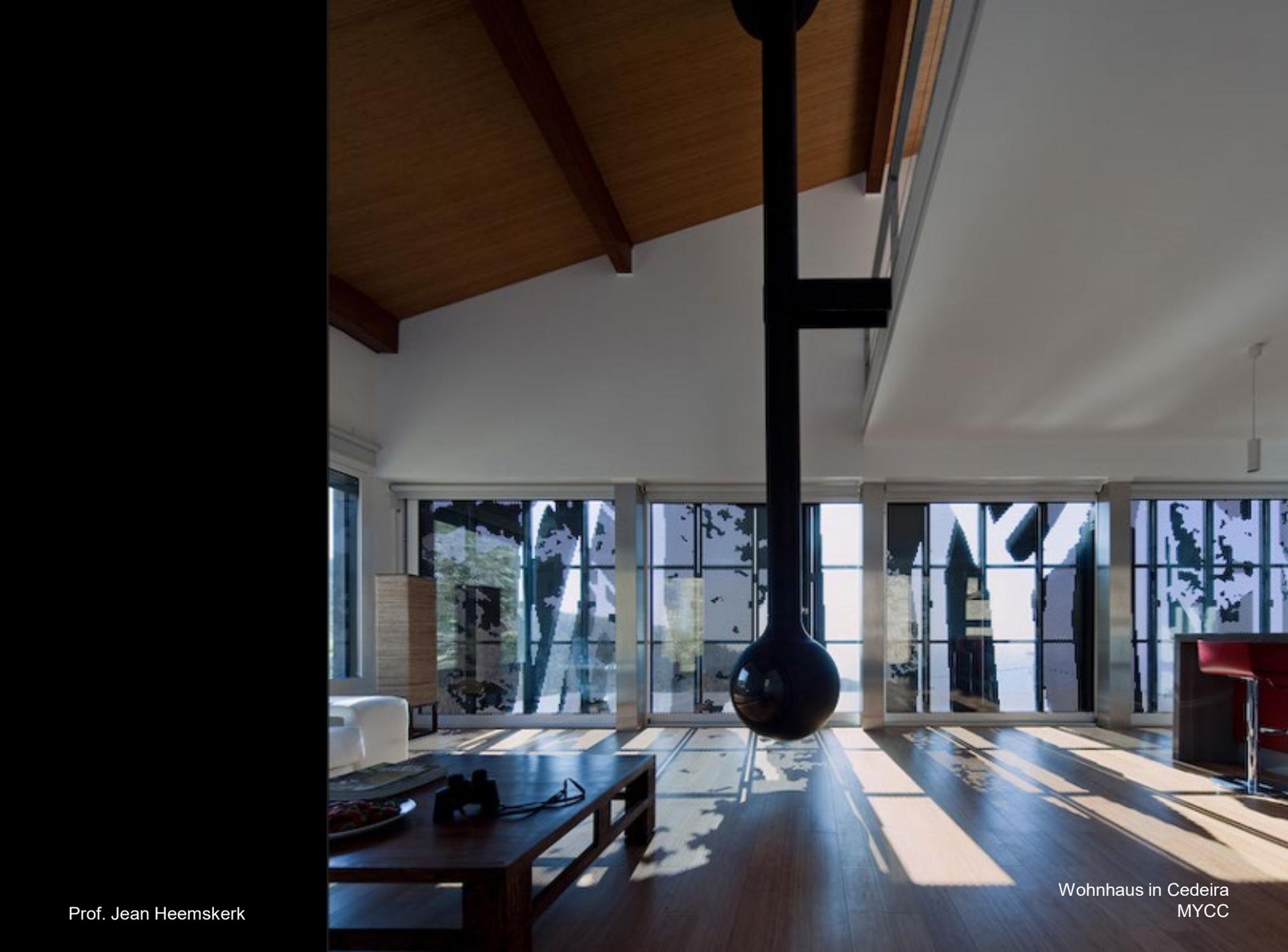






Wohnhaus in Cedeira  
MYCC





Fragen?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Bitte die weiteren Vorlesungen gemäß Zeitplan studierenden.

Quellen/ Abbildung wo nicht benannt:  
siehe Literaturliste, Rubrik Stahl  
[www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)  
[www.bauforumstahl.de](http://www.bauforumstahl.de)

Prof. Jean Heemskerck



Haus G Nussloch  
motorplan 2007