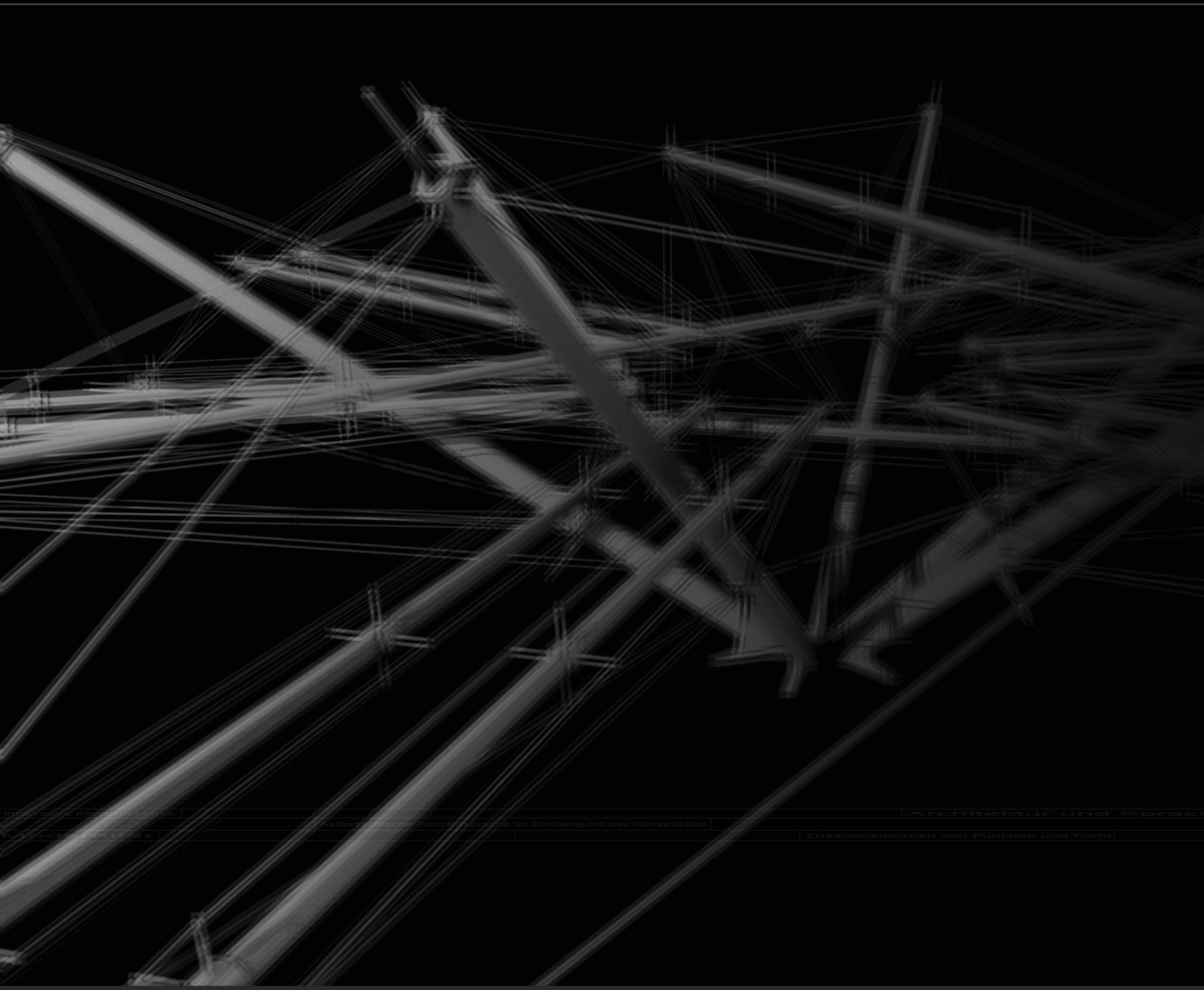


Tensegrity ist eine Wortschöpfung des Erfinders und Konstrukteurs Buckminster Fuller und ist aus den englischen Wörtern „Tension “ (Zug) und „Integrity “ (Integrität) zusammengesetzt.

Tensegrity - Tragsysteme sind bis heute kaum in der Architektur eingesetzt worden, obwohl sie schon seit der ersten Hälfte des 20. Jh. bekannt sind. Grund hierfür sind die aufwendigen Berechnungen, die notwendig sind, um zulässige Spannungen und Verformungen zu ermitteln. Weiters ist die Entwicklung der richtigen Geometrie ein aufwendiger Prozess, die man nur durch das Bauen von Modellen bestimmen kann. Bei der Montage kommt hinzu, dass nur sehr geringe Toleranzen erlaubt sind, da bei ungenauen Abmessungen der Bauteile das Zusammenfügen eben dieser nicht möglich ist. Bei Ausfall eines Elementes, Zug – oder Druckstab, versagt das ganze System. Vorteile sind wiederum extrem hohe Tragfähigkeit bei sehr geringer Eigenlast und die daraus folgende Entwicklung von sehr weiten Spannweiten, die allerdings in der Praxis noch nicht verwendet worden sind. Deshalb besitzen Tensegrity – Strukturen bis heute nur reinen skulpturalen Charakter.

# *Verwendung von Tensegrity - Strukturen in der Architektur*

**Diplomarbeit**

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom - Ingenieurs**

unter der Leitung von

a.o. Univ. Prof. Arch. Dipl.Ing. Dr.techn. Manfred Berthold
am Institut für Architektur und Entwerfen, Abteilung Hochbau und Entwerfen E253/4

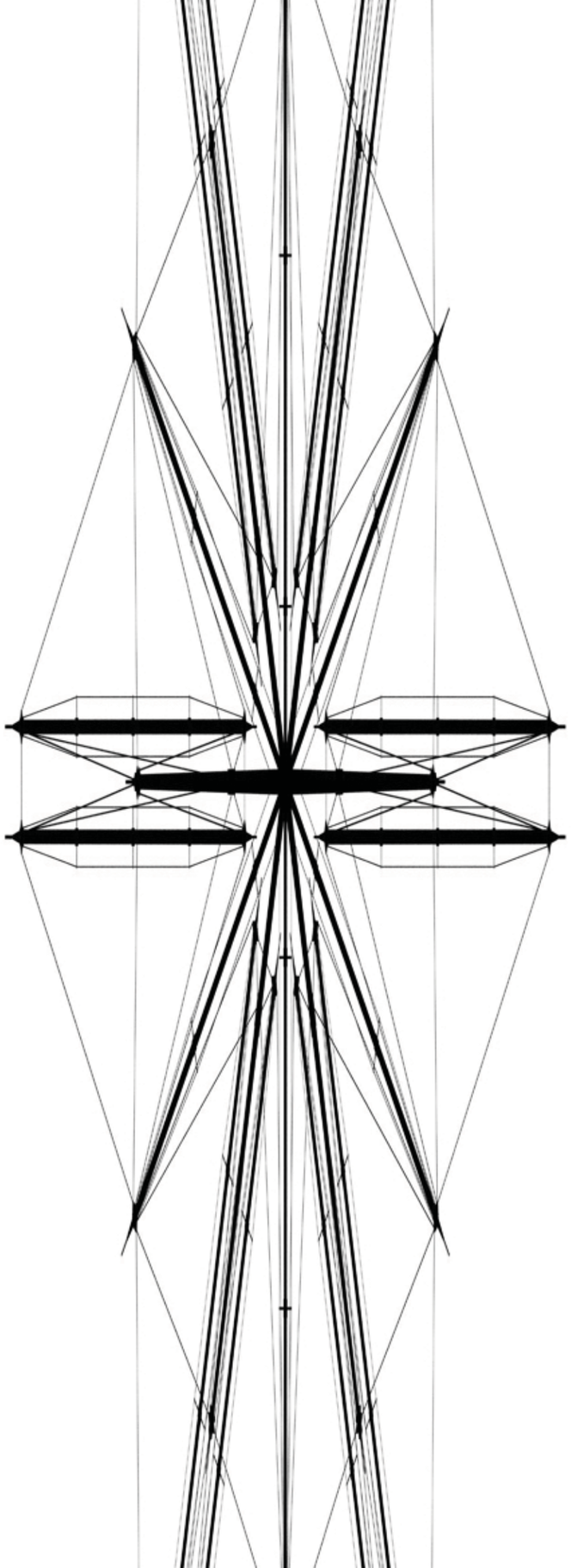
**eingereicht an der Technischen Universität Wien**
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

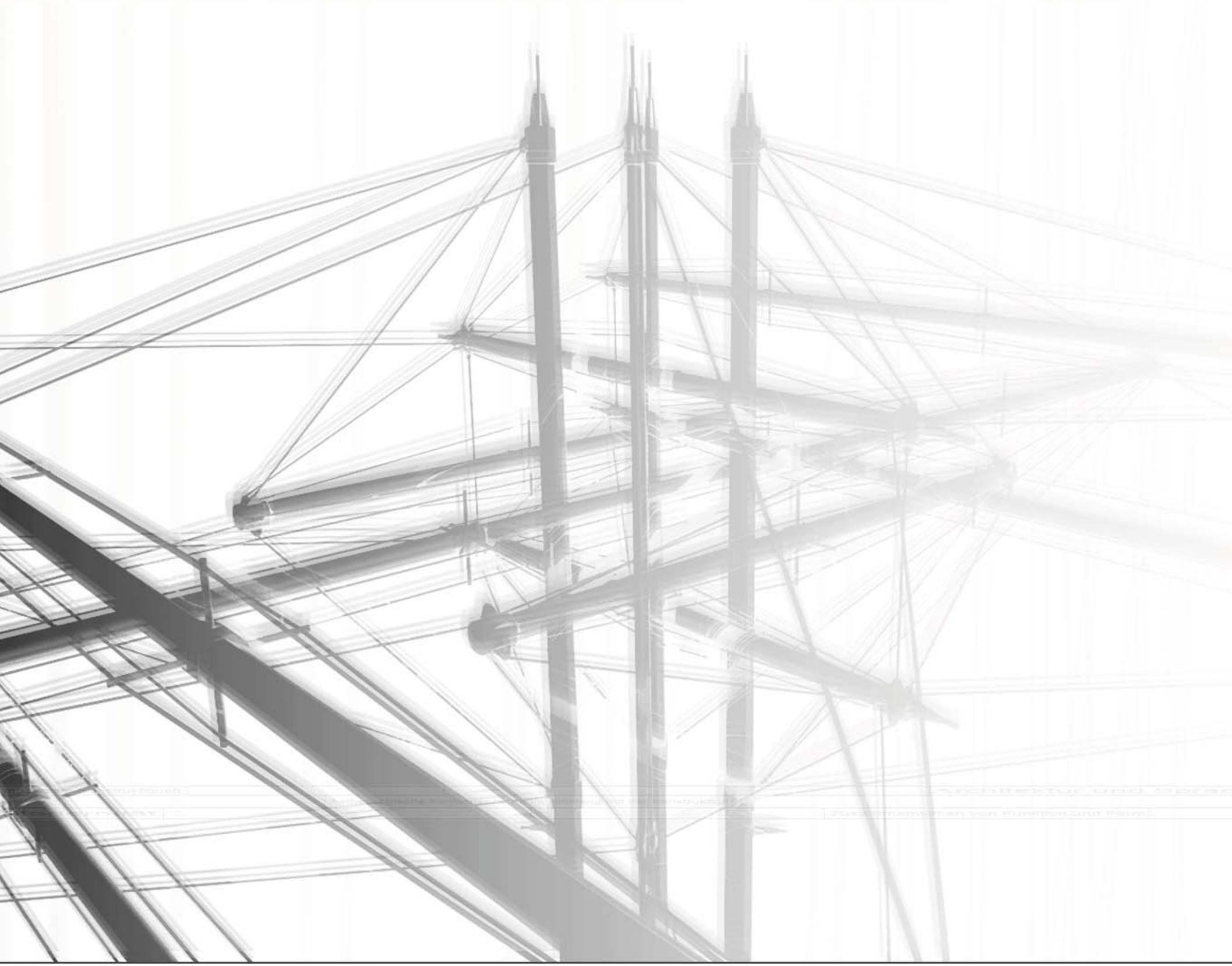
Martin Walter Engstler
Matr.: 0225452
A - 1050 Wien, Reinprechtsdorferstrasse 35-37/13

Wien, am

.....

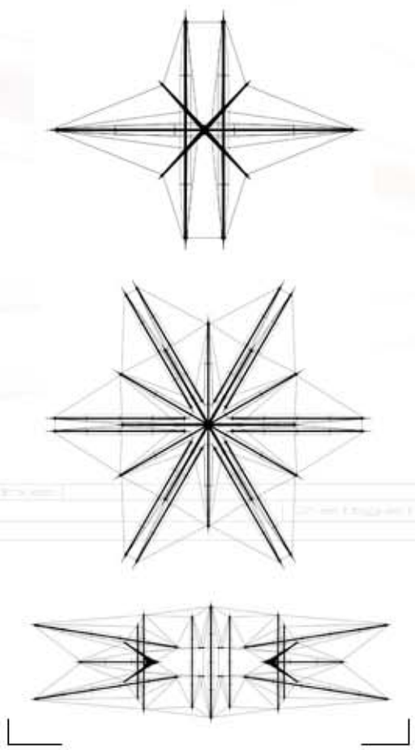


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **Theorie** | **01** |
| 1.1 | Einleitung | 02 |
| 1.2 | Geschichtliche Entwicklung | 03 |
| 1.3 | Tragverhalten | 05 |
| 1.4 | Struktur u. Geometrie | 06 |
| 1.5 | Typologie der Form | 07 |
| **2** | **Entwurf** | **08** |
| 2.1 | Einleitung | 09 |
| **2.2** | **Archskulptur** | **10** |
| 2.2.1 | Objekt | 11 |
| 2.2.2 | Tragwerk | 14 |
| 2.2.3 | Pläne | 21 |
| 2.2.4 | Modell | 26 |
| **2.3** | **Expo 3000** | **28** |
| 2.3.1 | Modul | 29 |
| 2.3.2 | Tragwerk | 37 |
| 2.3.3 | Pläne | 42 |
| 2.3.4 | Modell | 47 |
| 2.3.5 | Funktion | 48 |
| **2.4** | **Bahnhof** | **54** |
| 2.4.1 | Modul | 55 |
| 2.4.2 | Tragwerk | 58 |
| 2.4.3 | Pläne | 68 |
| 2.4.4 | Modell | 73 |
| 2.4.5 | Funktion | 75 |
| **3** | **Skizzen** | **81** |
| **4** | **Anhang** | **92** |



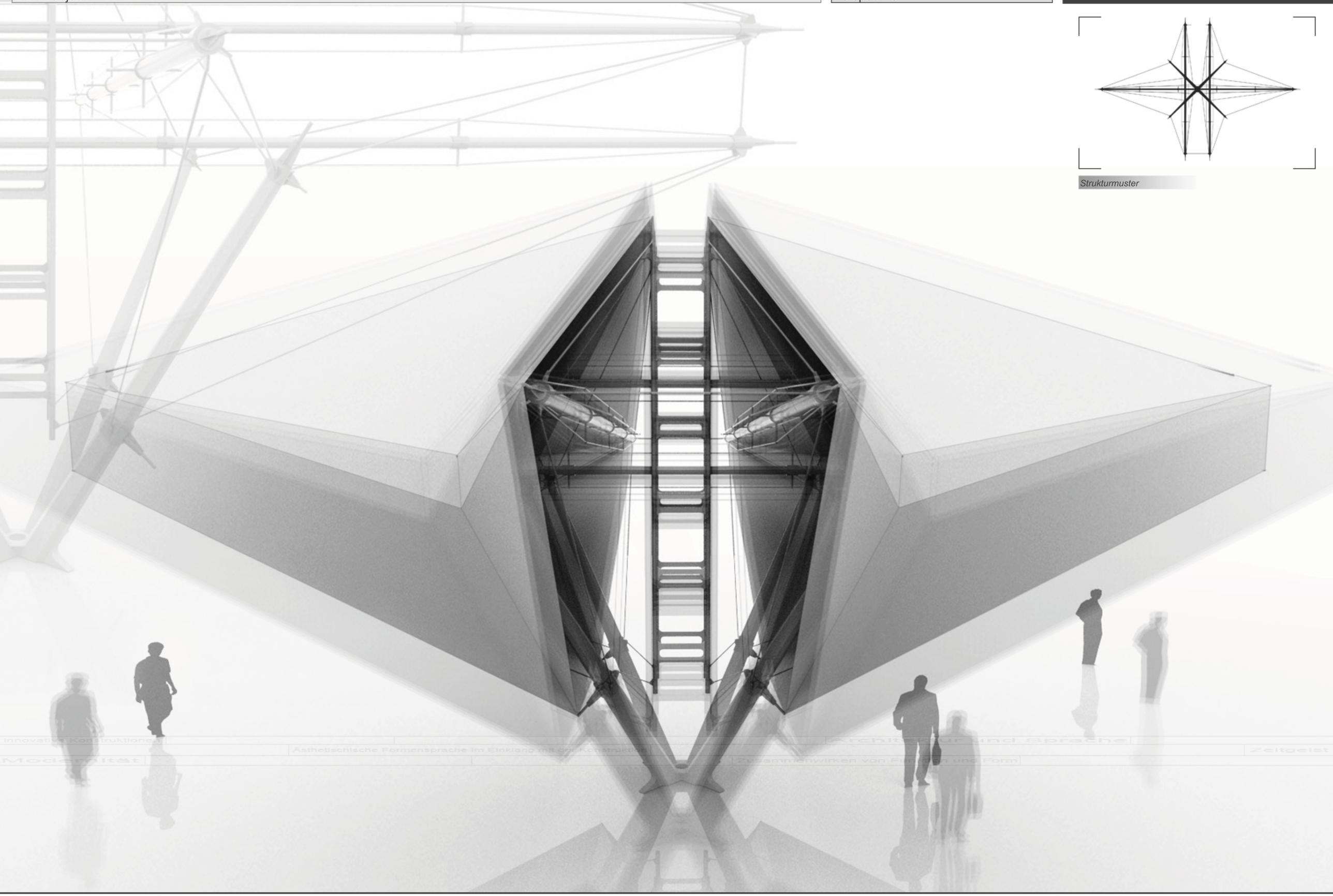
In diesem Abschnitt wird der Versuch unternommen Tensegrity - Strukturen in anwendbare, konventionelle Architektur zu übertragen. Dabei wurde gleichzeitig besondere Aufmerksamkeit auf die ästhetische Veranschaulichung der Konstruktion gelegt, um zu zeigen das eine Tragstruktur nicht nur eine tragende Funktion innehat. Ausgehend von Arbeitsmodellen wurden einige Module herausgearbeitet, die durch Duplikationen ihren Zweck erfüllen. Aus einigen dieser Modelle wählte ich 3 aus, die ich weiter in ihrer konstruktiven Tektonik seziert habe. Es sind dadurch eine für sich stehende architektonische Skulptur, eine Expohalle sowie ein Bahnhof entstanden. Die Schönheit dieser Strukturen wird in den Ansichten deutlich, welche dadurch in einzelne Strukturmuster eingeteilt werden. Das Ausgangsmaterial dieser Strukturen ist Stahlbeton und Stahl, wobei die eingspannten Stützen, welche die Strukturen tragen, aus Stahlbeton bestehen. Die Struktur selbst wird mit einem PTFE-beschichteten Glasfasergewebe überzogen, deren Kanten durch die darunter liegende Konstruktion definiert wird. Die Seile die, die Druckstäbe aus Stahl tragen, sind von den Membranflächen getrennt, sodas diese von eigenen Seilen gespannt werden. Dadurch können die Seile, die das Tensegrity - System in ihrer entgültigen Form bringen, die Vorspannung voll ausnützen. Die Druckstäbe werden aus Gründen der Knickstabilität in einzelne Stahlrohre eingeteilt. In den nachfolgenden Seiten werden nun die 3 genannten Projekte genauer erläutert. .

*Strukturmuster*



## 2.2.1 Objekt

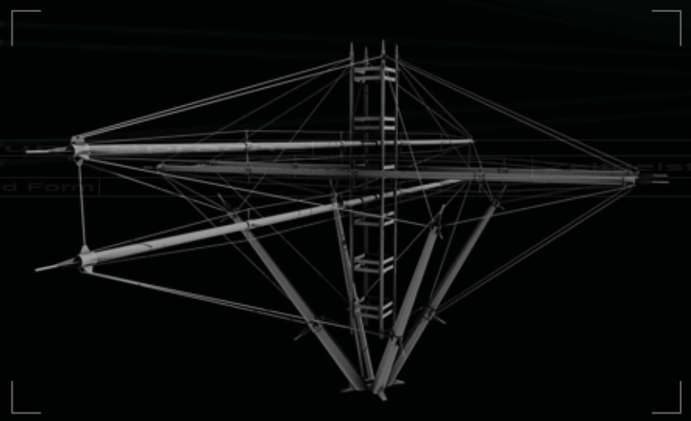
Perspektive





*Strukturmuster*

Gesamtansicht

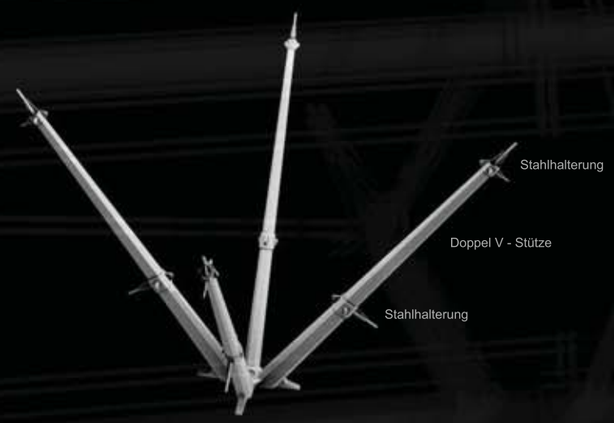


## 2.2.3 Tragwerk

### Montage und Tragverhalten

*Phase 1*

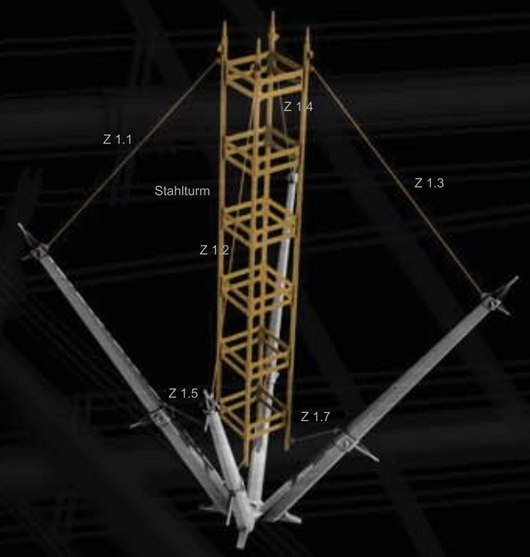
Doppel - V - Stütze aus Stahlbeton eingespannt, danach Montage der Stahlhalterungen für die Membrane und zusätzliche Anschlüsse für die Zugstangen




Ansicht

*Phase 2*

Montage des Stahlturms, der durch die Zugstäbe 1.1 - 1.8 stabilisiert wird

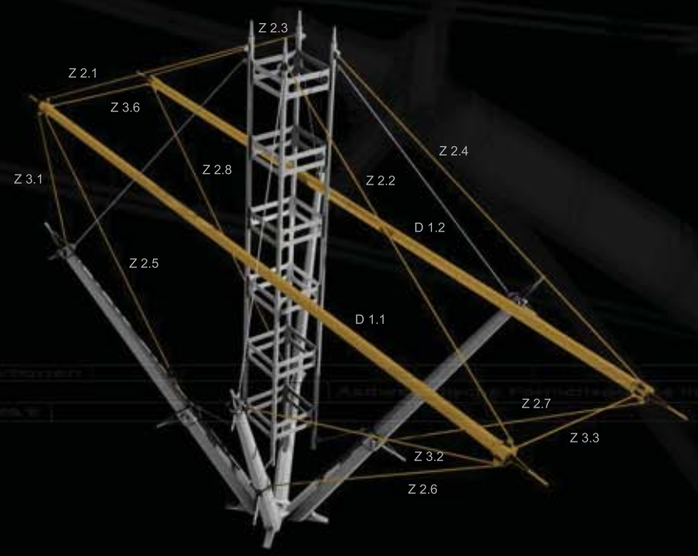



Ansicht

*Phase 3*

Anschließend werden Die Druckstäbe 1.1 und 1.2 anmontiert. Durch die oberen Halterungen des Turms ergeben sich neue Anschlusspunkte, die durch die Zugstäbe 2.1 - 2.8 für die vertikale Stabilisierung der Druckstäbe ausgenützt werden. Die horizontale Stabilität erfolgt über die zugstäbe 3.1

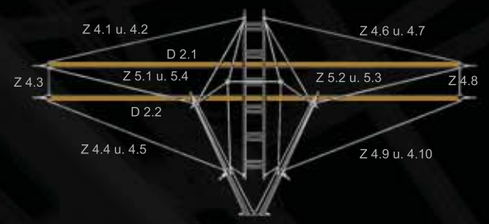
Ansicht

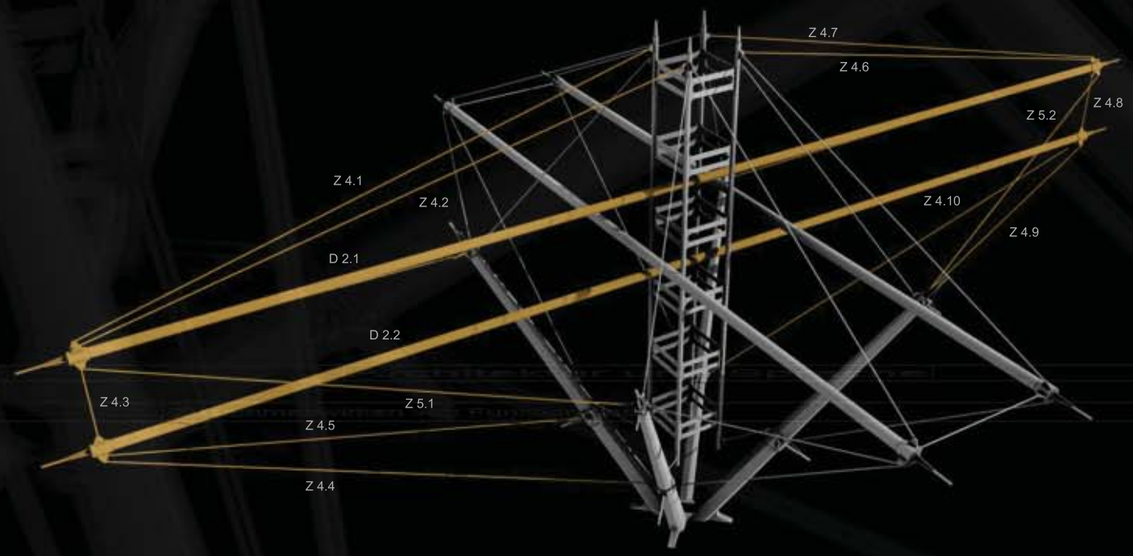


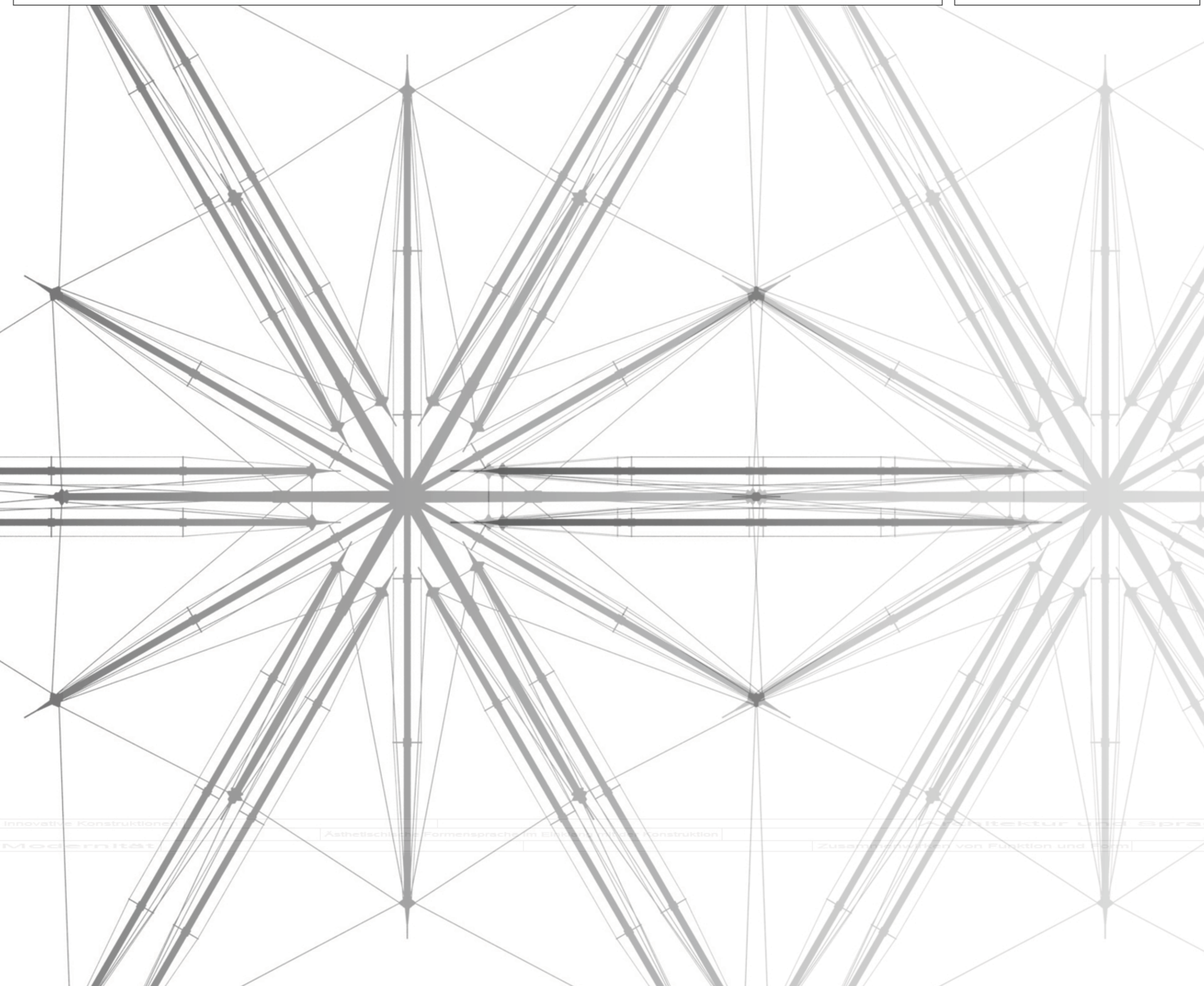

*Phase 4*

Nun werden die Druckstäbe 2.1 - 2.2 angebaut, die durch die Zugstangen 4.1 - 4.10 in vertikaler Richtung stabilisiert werden. Die horizontale Aussteifung wird durch die Zugstäbe 5.1 - 5.4 gewährleistet. Anschließend erfolgt die Montage der Membrane

Ansicht





In diesem Abschnitt wird versucht ein Modul zu generieren, welches man als Expo- oder Austellungshalle verwenden kann. Dabei wurden wieder sich ausspreizende, radial angeordnete Stützen aus Beton als Basis verwendet. An jeder dieser Stützen sind jeweils 2 Druckstäbe abgehängt, die mit dieser durch 4 Zugstäbe verbunden sind. Der Abschnitt zwischen dem oberen und mittleren Teil einer Stütze bildet einen integralen Bestandteil dieses Teilsystems. Diese Teilsystem bildet die Basis für die spätere Verwendung einer Expohalle, da dadurch schon eine Auskragung vorhanden ist. Anschließend werden zwischen jeweils 2 gegenüberliegende Stützenpaare wieder ein Druckstab eingehängt, welche durch Zugstäbe mit den anderen Druckstäben und Stützen verbunden wird. Dadurch ensteht wieder ein Vordach, das den Abschluss des äußeren Zugrings bildet, die das gesamte System in horizontaler Richtung stabilisiert. Es ist nun ein sternförmiges Tragsystem entstanden, welches man als beispielhaft für den Zusammenhang zwischen Ästhetik und Konstruktion betrachten kann und sehr oft schon in der Architekturgeschichte vorgekommen ist.

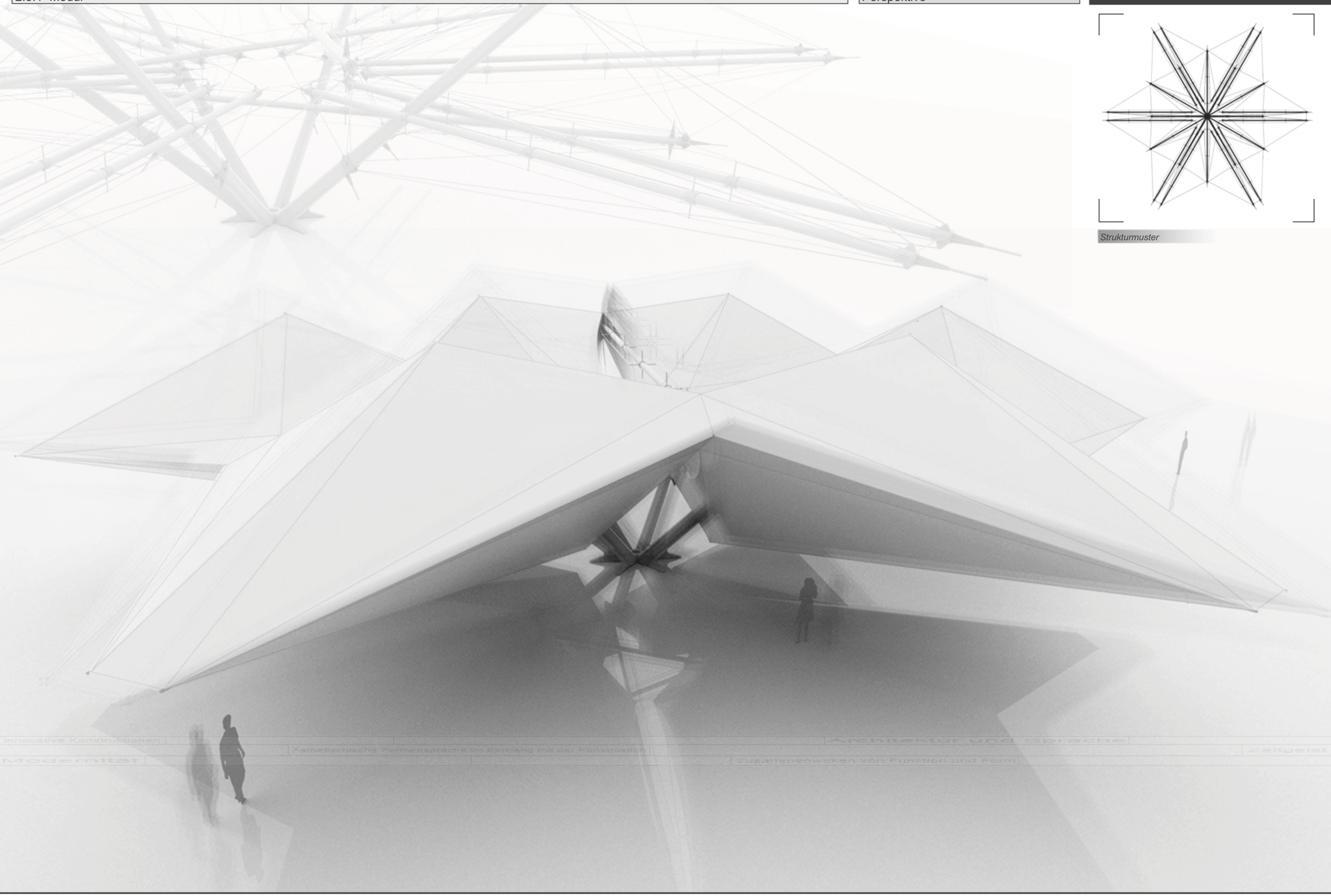
Dieses System wird anschließend mit Membranen (PTFE-beschichteten Glasfasergewebe) umspannt, deren Kanten durch die darunter liegende Tragstruktur definiert wird. Dieses Modul wird in die x - und y - Achse dupliziert, so das mehrere von sich getrennte Einzelobjekte entstehen, die durch einen Zwischenraum voneinander getrennt sind. In diesen Zwischenräumen werden wieder Membrane gespannt und die einzelnen Module somit miteinander verbunden. Dadurch ensteht eine für sich sprechende ornamentale Dachfläche. .

2.3.1 Modul

Perspektive



Strukturmuster

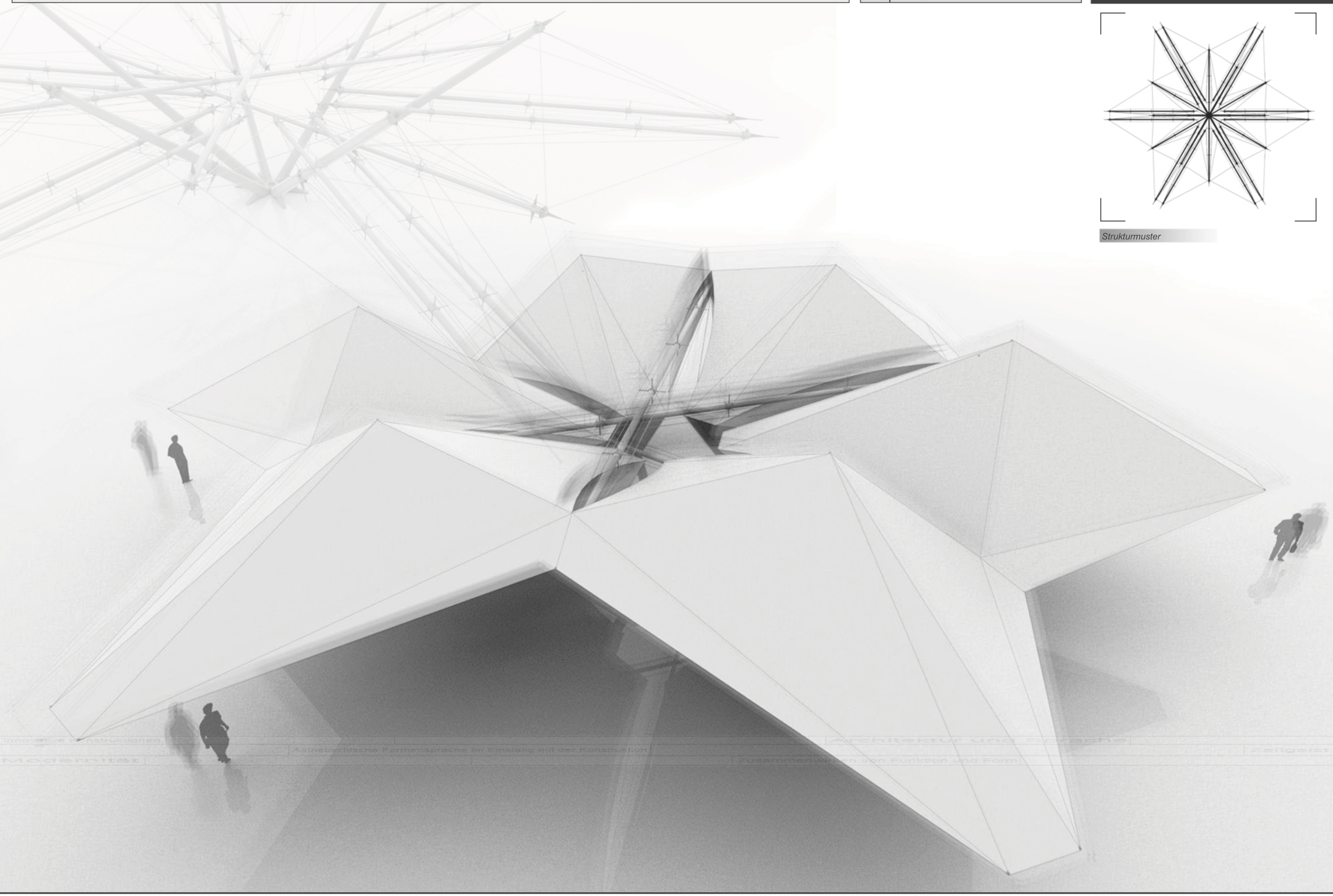


2.3.1 Modul

Perspektive

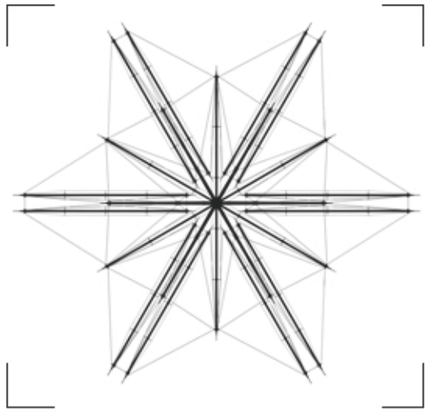


*Strukturmuster*

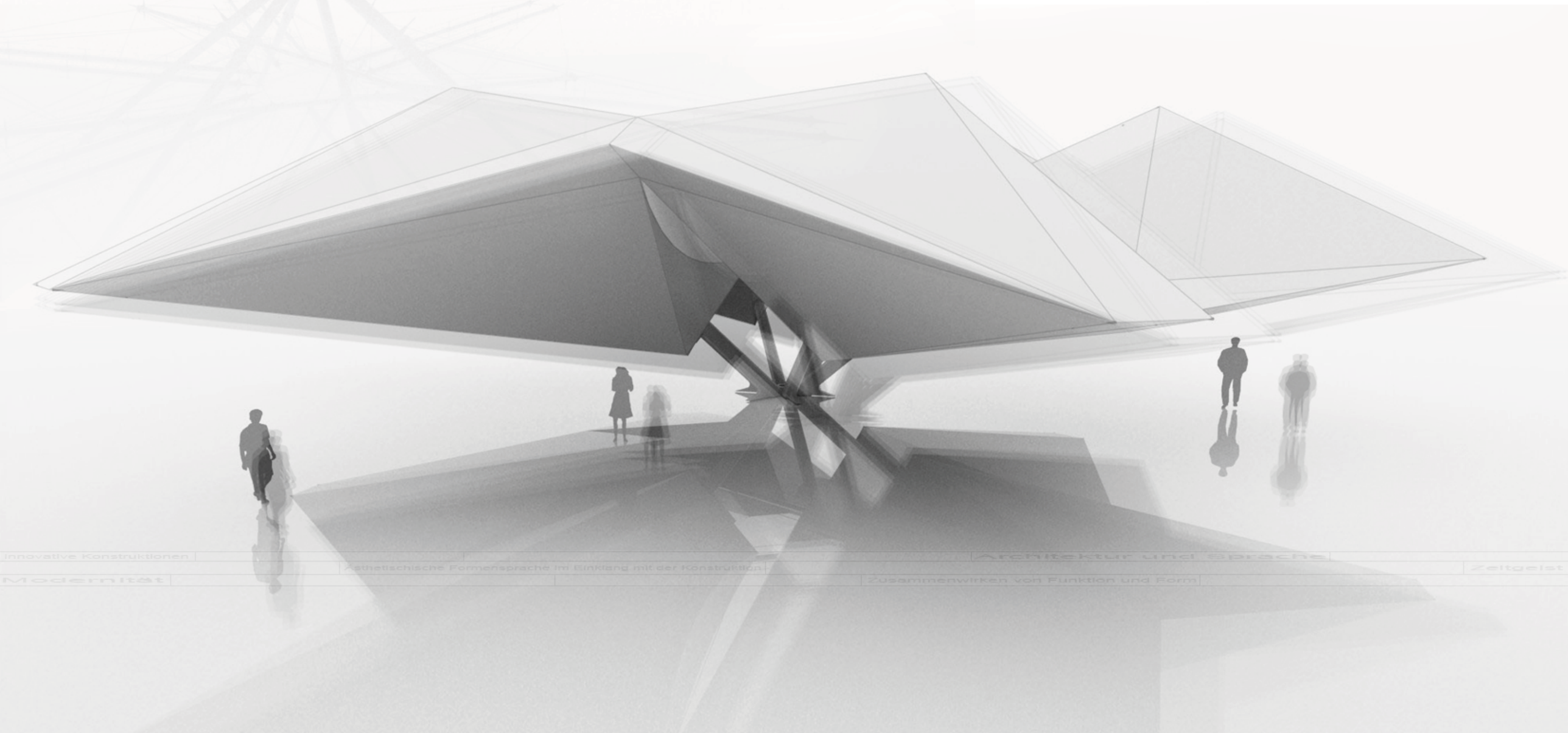


## 2.3.1 Modul

Perspektive

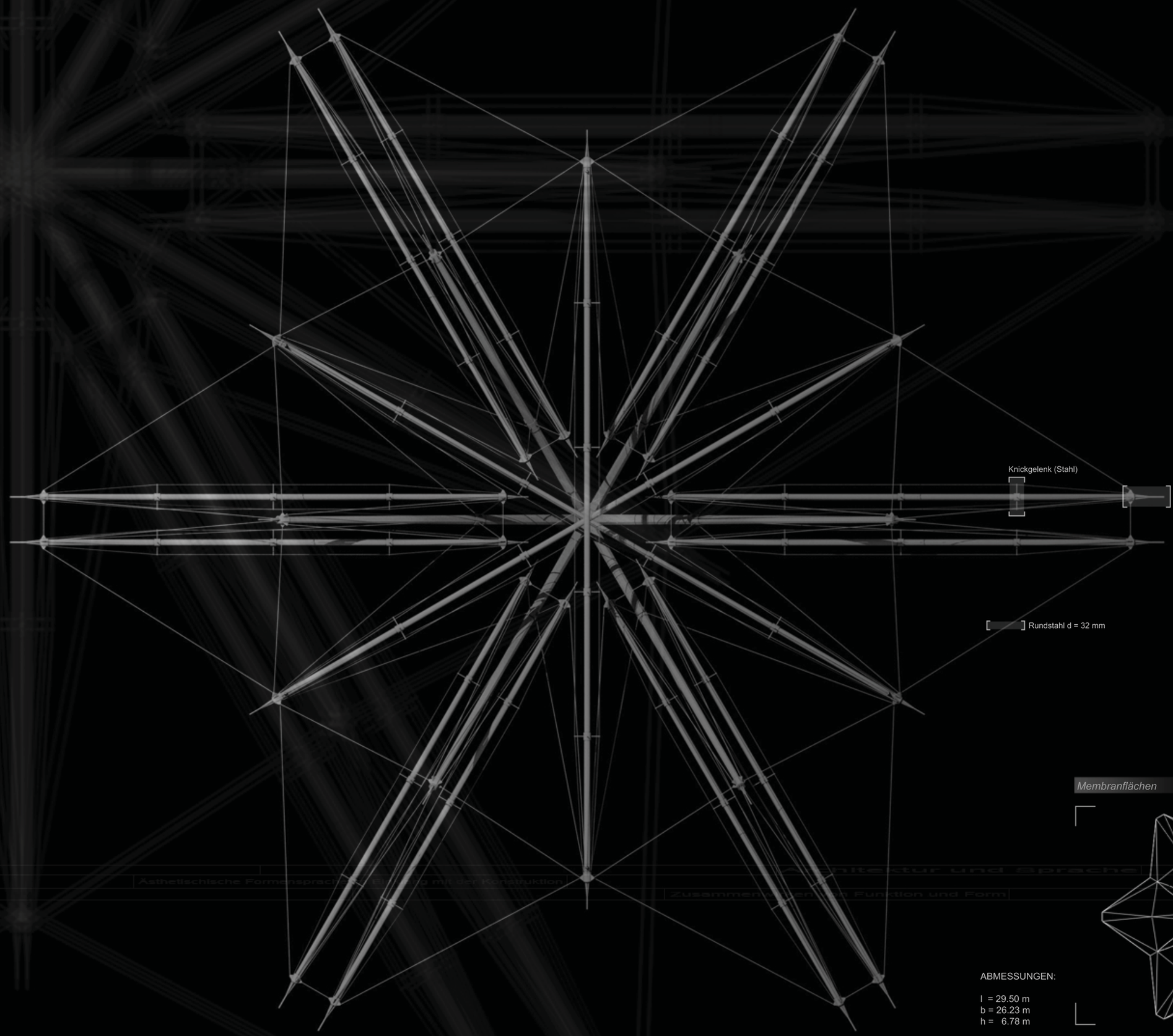


*Strukturmuster*

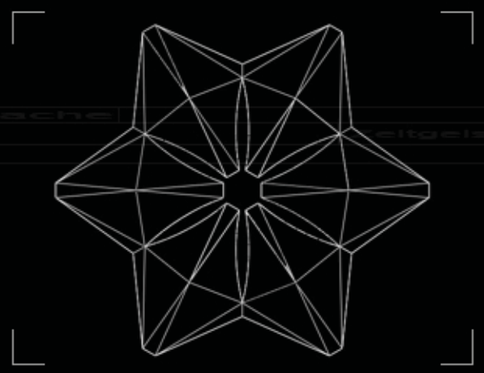


## 2.3.2 Tragwerk

Ansicht oben 1:100




*Membranflächen*

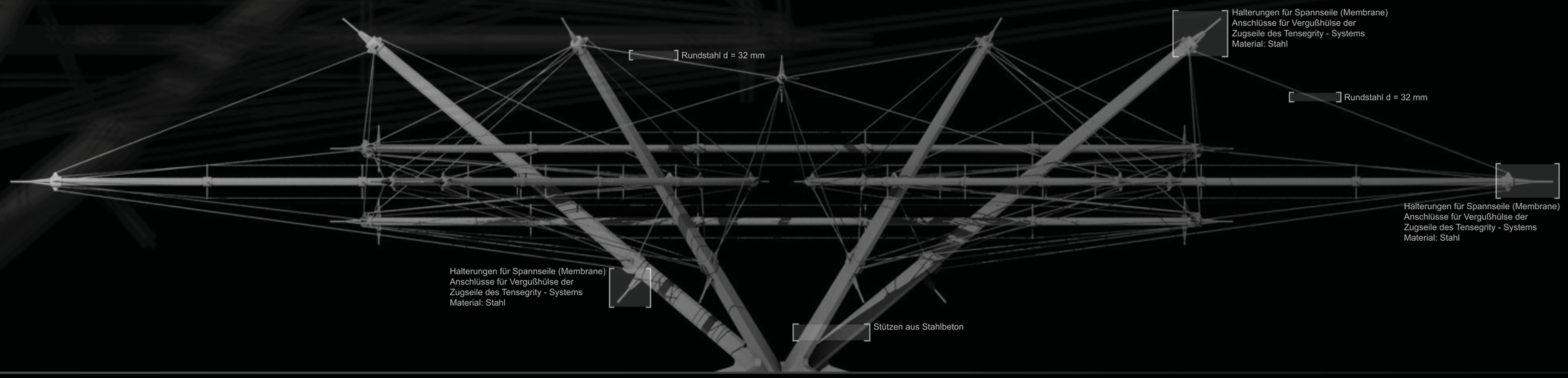


ABMESSUNGEN:

l = 29.50 m
b = 26.23 m
h = 6.78 m

## 2.3.2 Tragwerk

Ansicht vorne 1:80




Innovative Konstruktionen | Architektur und Sprache
Ästhetischische Formensprache im Einklang mit der Konstruktion
Modernität | Zusammenwirken von Funktion und Form | Zeitgeist

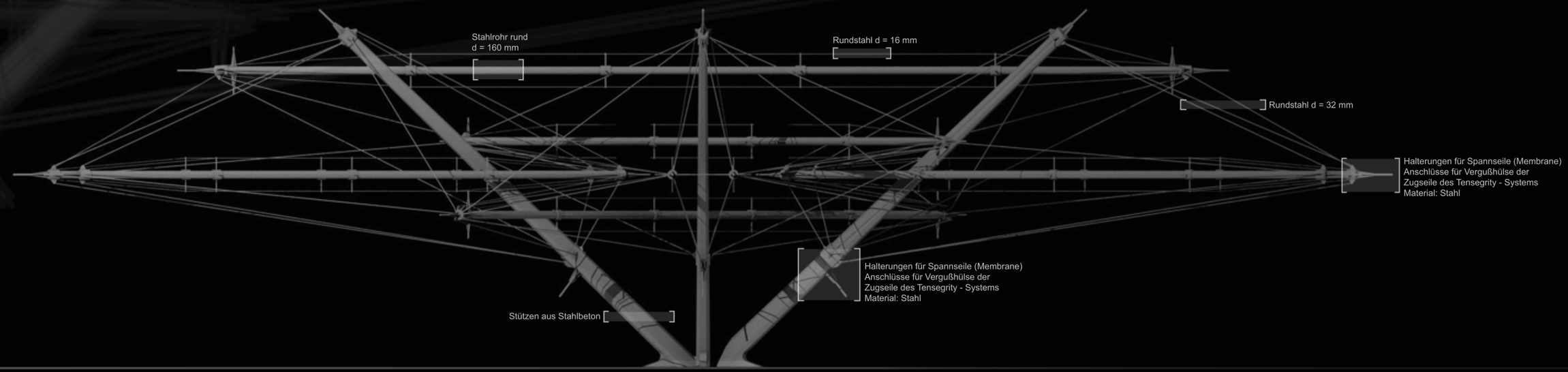
*Membranflächen*

ABMESSUNGEN:

l = 29.50 m
b = 26.23 m
h = 6.78 m

## 2.3.2 Tragwerk

Ansicht Seite 1:80

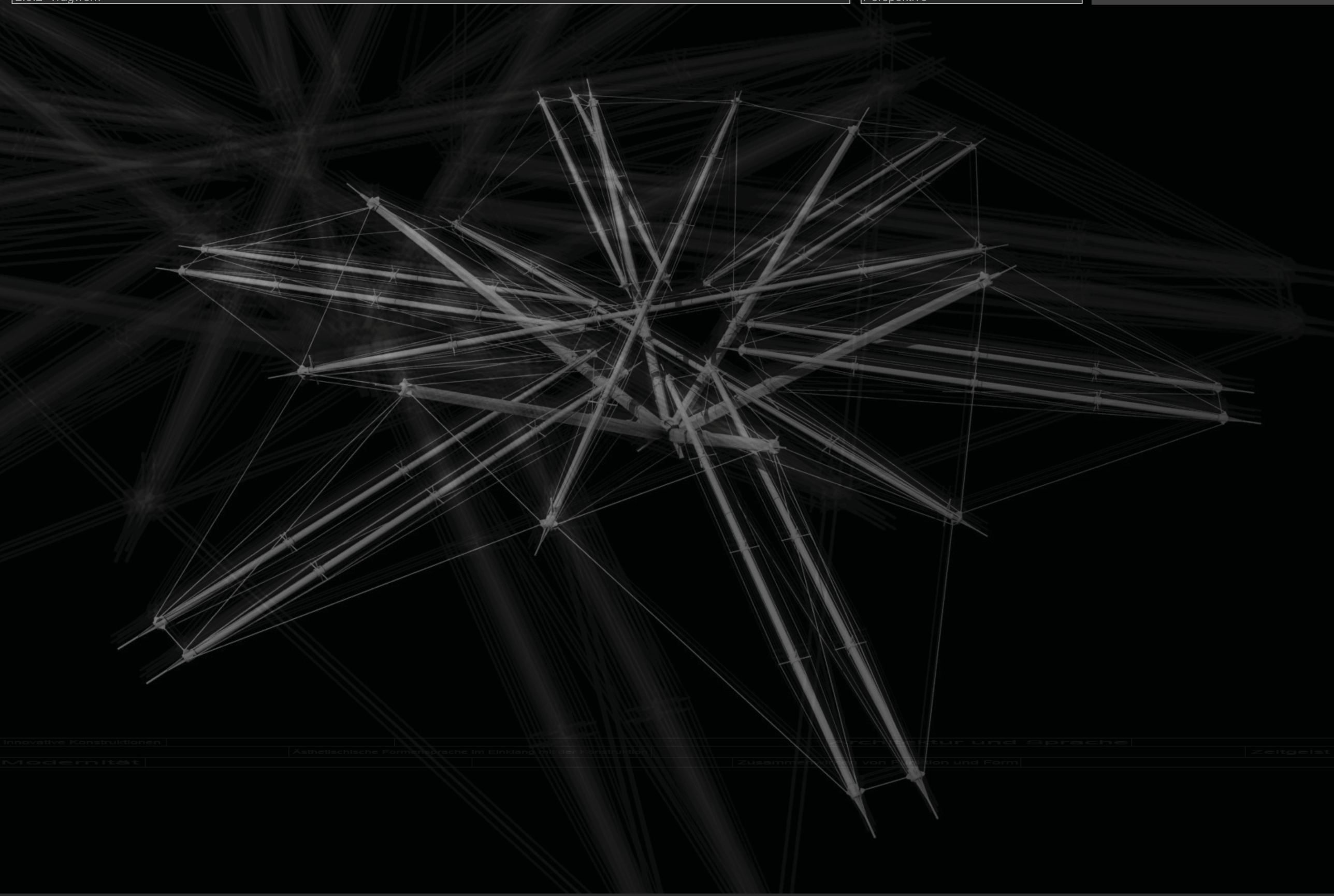



Innovative Konstruktionen | Ästhetischische Formensprache im Einklang mit der Konstruktion | Architektur und Sprache | Zeitgeist | Modernität | Zusammenwirken von Funktion und Form

*Membranflächen*

ABMESSUNGEN:

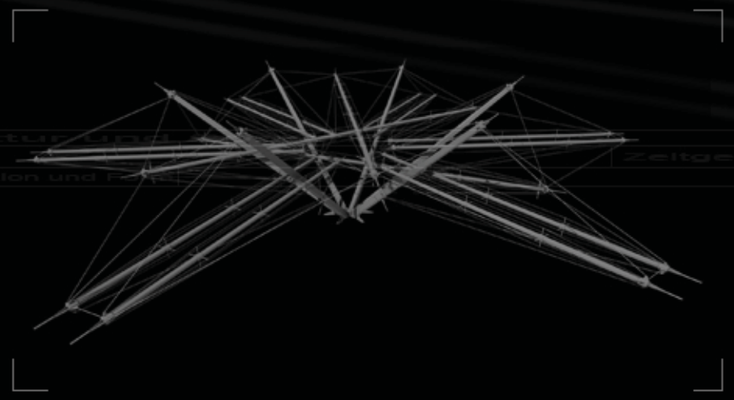
l = 29.50 m
b = 26.23 m
h = 6.78 m

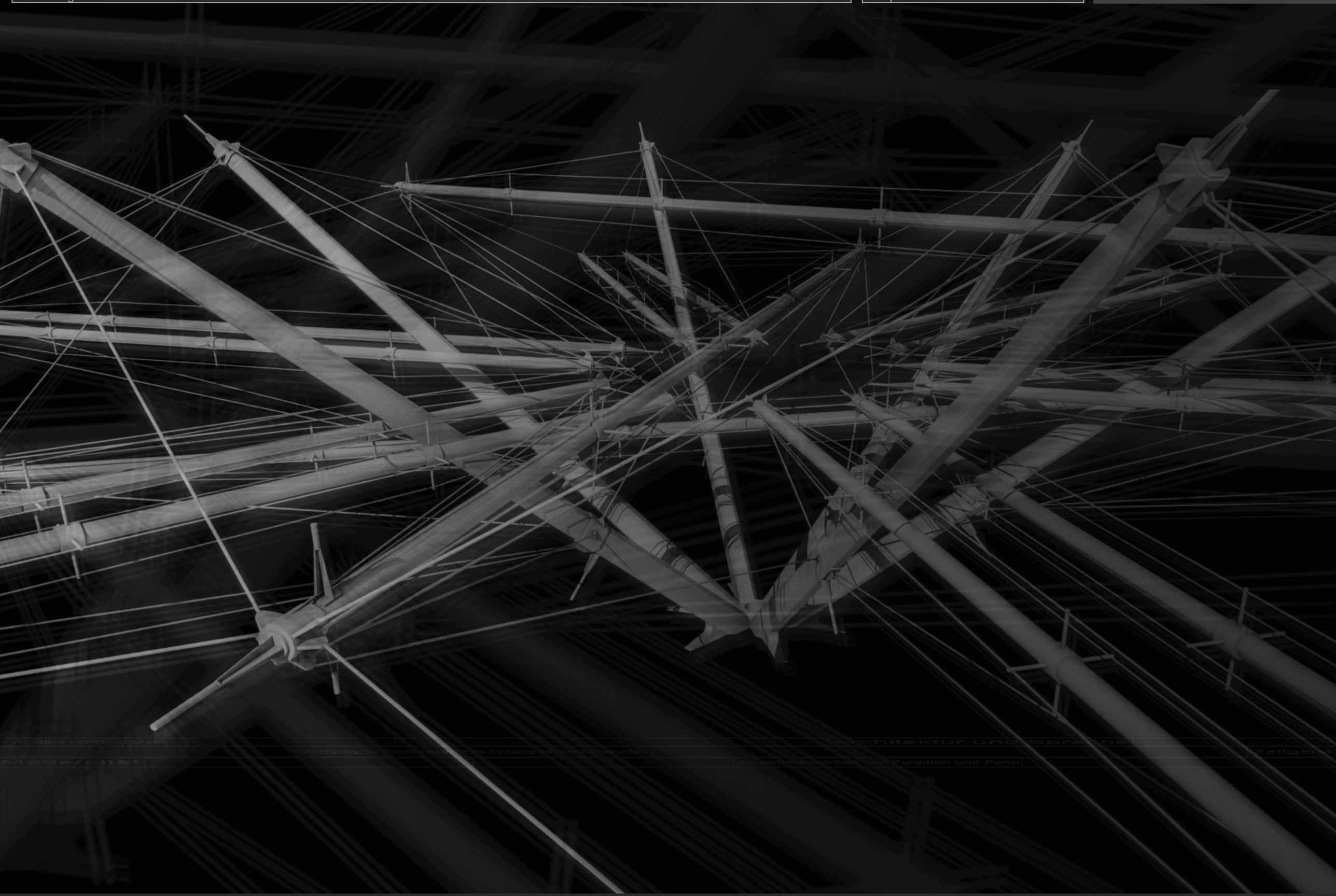


2.3.2 Tragwerk

Perspektive

Gesamtansicht





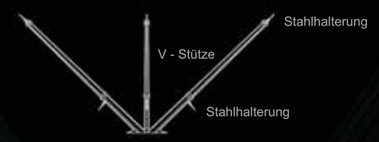
## 2.3.2 Tragwerk

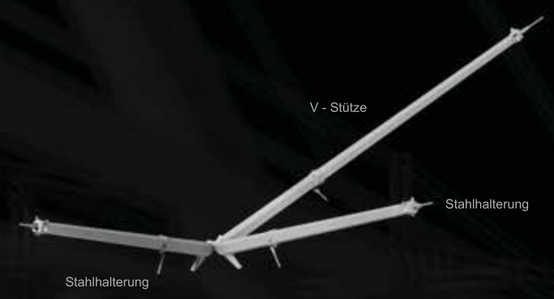
### Montage und Tragverhalten

*Phase 1*

V-Stützen sind im Boden eingespannt und es werden anschließend die Stahlhalterungen für die Membrane montiert

Ansicht




*Phase 2*

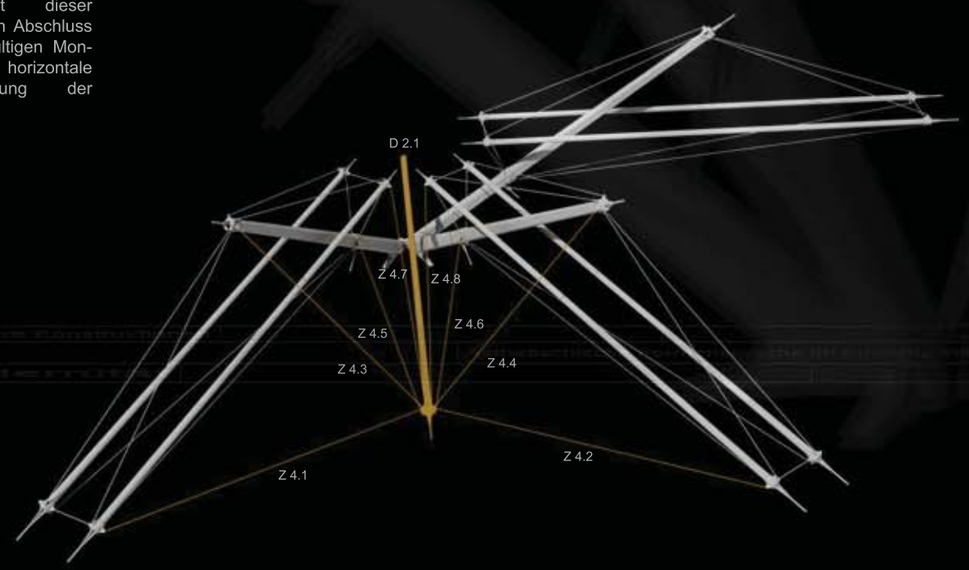
Danach erfolgt die Montage der Druckstäbe 1.1 - 1.6. Die Zugstangen 1.1 - 1.8, 2.1 - 2.8 und 3.1 - 3.8 sorgen für die vertikale Stabilisierung der Druckstäbe. Den Abschnitt zwischen Stützenkopf und mittleren Teil der Stützen, an denen die unteren Zugstangen befestigt sind, kann man als eigene „Druckstäbe“ betrachten. Bevor die anderen Stäbe montiert werden müssen zwischen den Druckstäben 1.1 - 1.6 provi sorische Abstandshallterungen angebracht werden, damit das System steif bleibt.

Ansicht

*Phase 3*

Jetzt wird der Druckstab 2.1 angebracht und es entsteht der erste Abschnitt des äußeren Zugrings ( 4.1 u. 4.2). Gleichzeitig übernimmt dieser Ring nach Abschluss der entgültigen Montage die horizontale Stabilisierung der

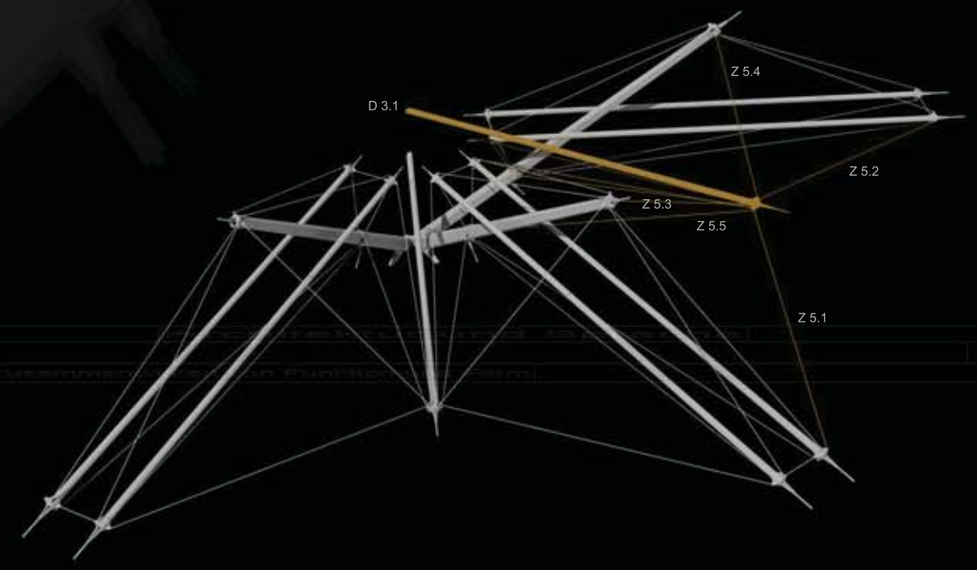
Ansicht




*Phase 4*

Wie in Phase 3 wird ein weiterer Druckstab 3.1 eingehängt. Den zweiten Abschnitt des Zugrings bilden die Zugstangen 5.1 und 5.2.

Ansicht



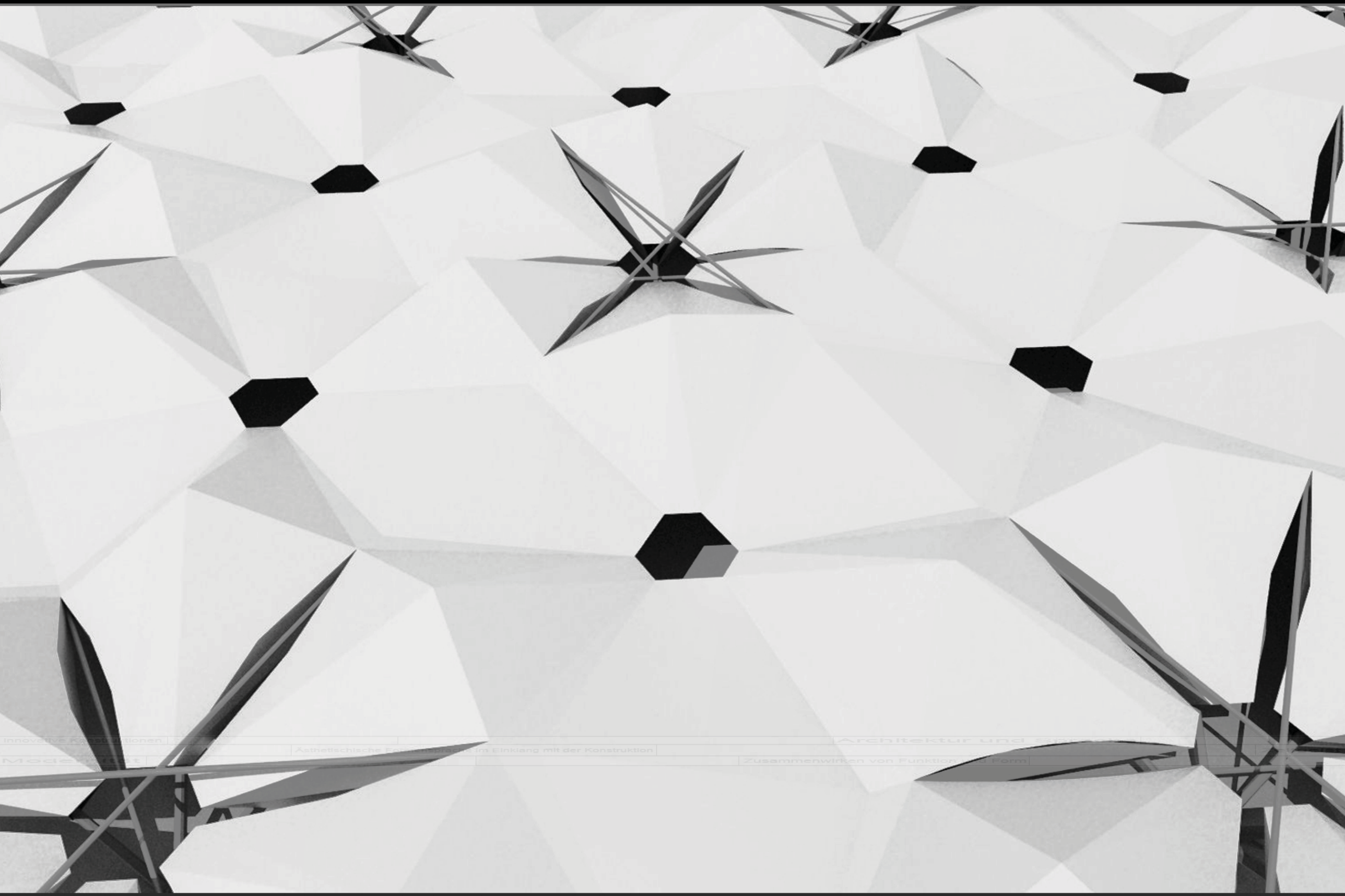
## 2.3.2 Tragwerk

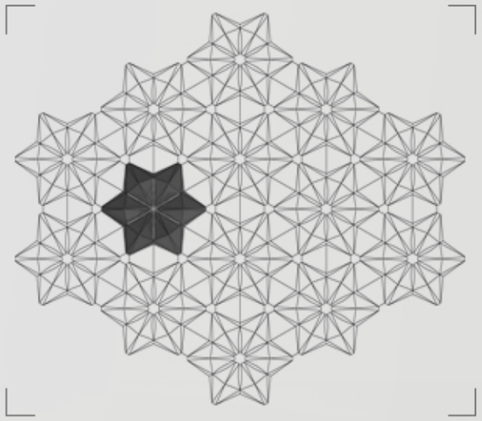
Montage und Tragverhalten

*Phase 5*

Im letzten Schritt wird der Druckstab 4.1 montiert, welcher zugleich wie die anderen Druckstäbe den äußeren Zugring über die Zugstäbe 6.1 und 6.2 weiterführt.

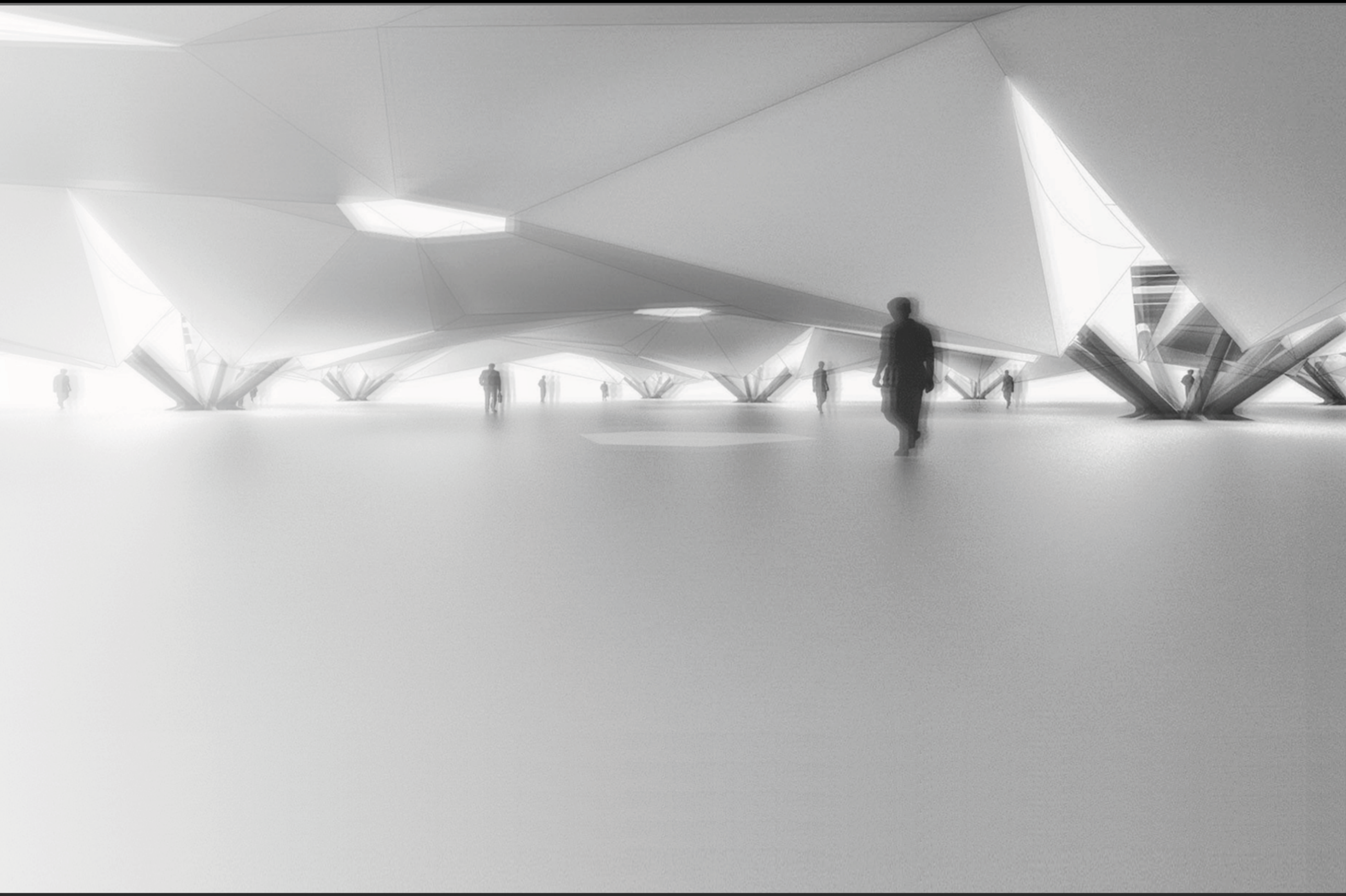
Ansicht





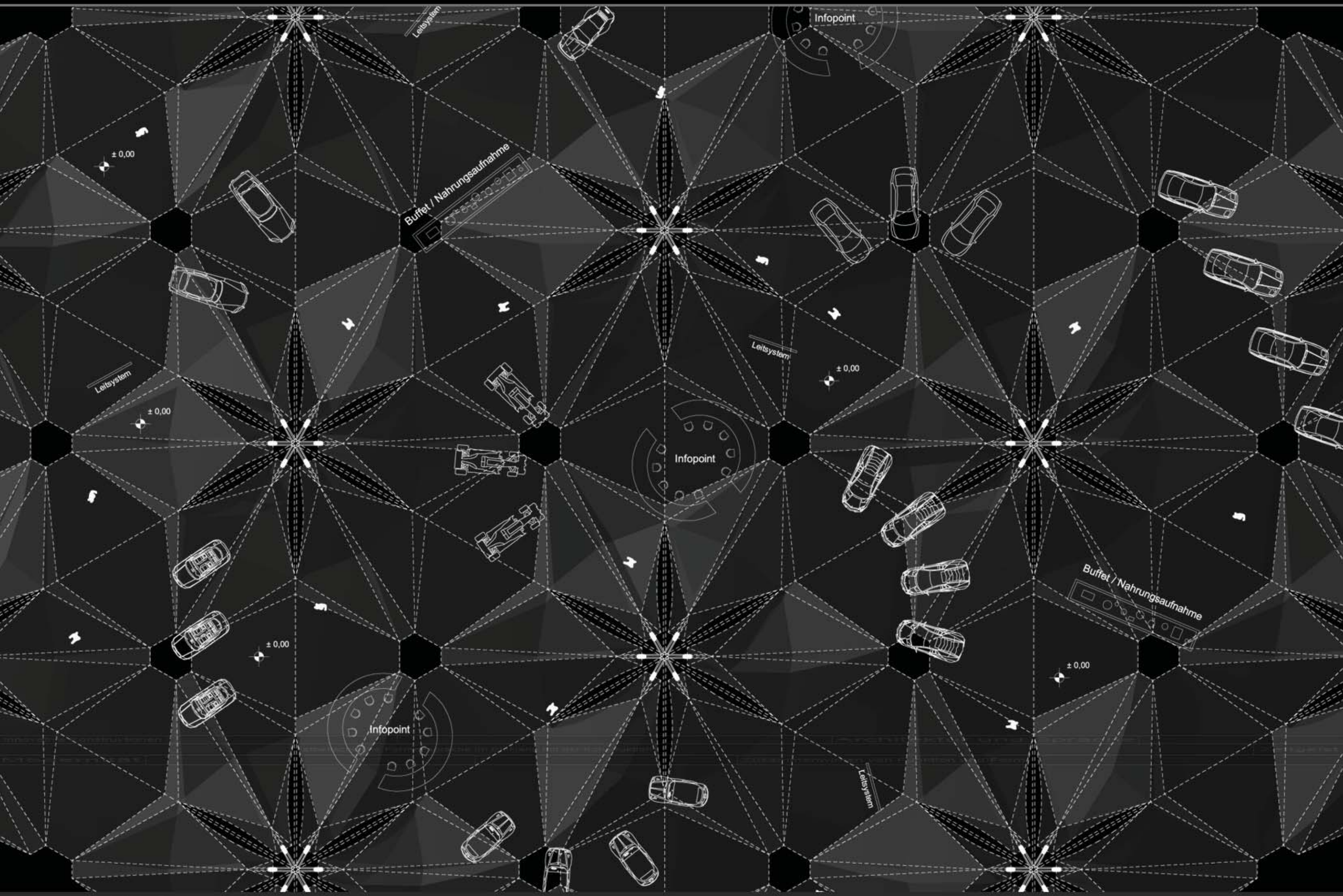
Duplikation des Moduls

Resultat



2.3.4 Funktion

Grundriss 1:200



## 2.3.4 Funktion

Schnitt 1:150

Innovative Konstruktionen

Ästhetischische Formensprache im Einklang mit der Konstruktion

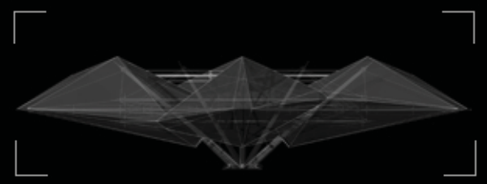
Architektur und Sprache

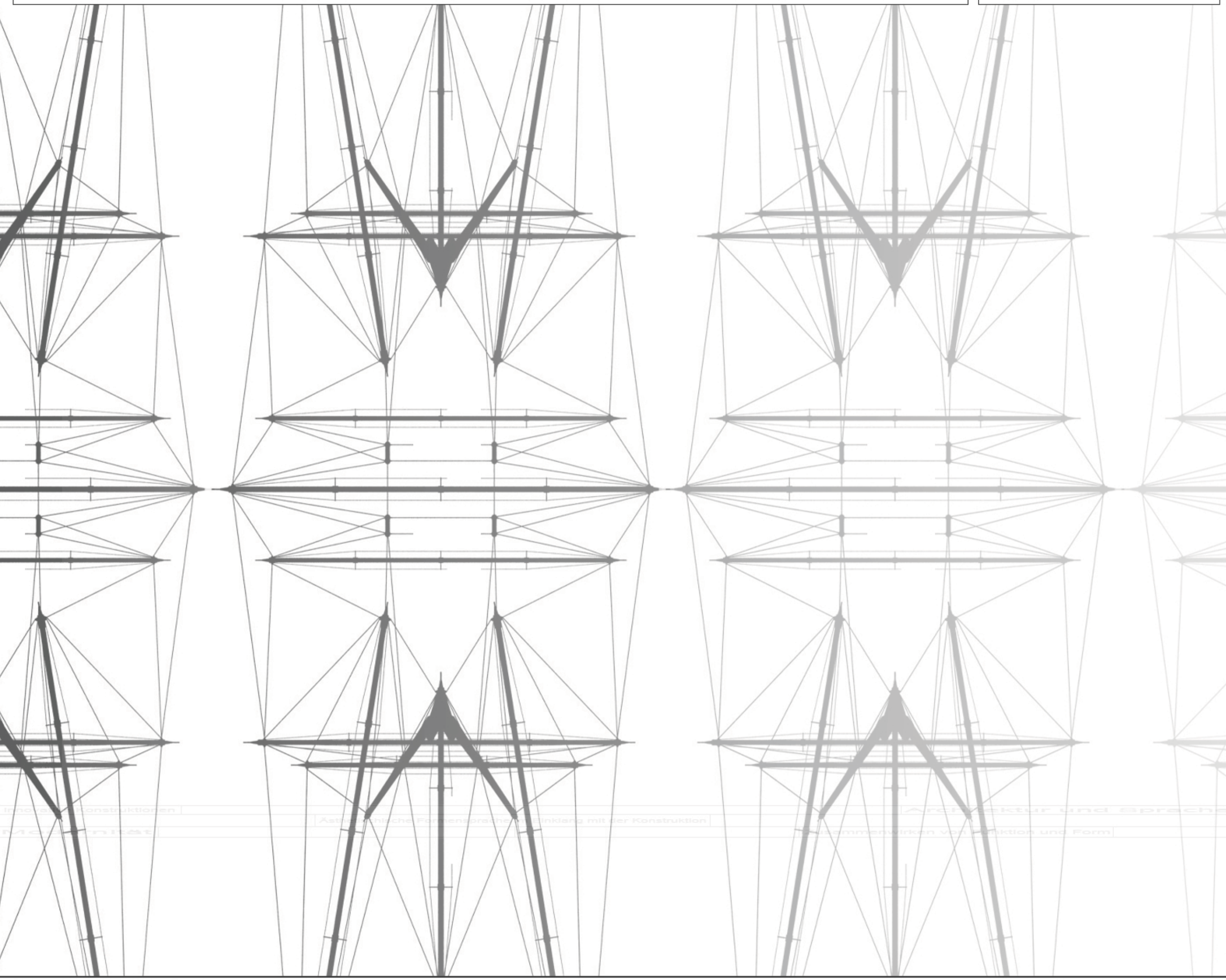
Zeitgeist

Modernität

Zusammenwirken von Funktion und Form

Modul





In den nachfolgenden Seiten wird gezeigt, wie man mittels dem Tensegrityprinzip eine Bahnhofüberdachung konstruieren kann. Dabei werden zwei V - Stützen aus Stahlbeton, die im Boden eingespannt sind, in einem Abstand, von mehre ren Metern als Basis verwendet. Ein mittlerer Druckstab, der mit den oberen und mittleren Teil einer Stütze durch 4 Zugstäbe verbunden ist, bildet den Ausgangspunkt der Dachkonstruktion, da somit neue Anschlusspunkte für weitere Druck stäbe enstehen. Anschließend werden weitere Druckstäbe orthogonal zueinander an jeweils einer Stütze eingehängt. Zwischen diesen 2 seperat getrennten Konstruktionen entsteht somit ein Hohlraum, der durch ein eigenes System, das in der Ansicht analog zu einem Fachwerk funktioniert, geschlossen wird und die Bahngleise überbrückt. Das nun entstandene Einzelsegement dokumentiert in der Draufsicht die Komplexität des Kraftflusses und ist mit einer einzigartigen konstruktiven Ästhetik ausgestattet. Das auf die V - Stützen aufgehängte System wird anschließend mit Membrane (PTFE-beschichteten Glasfasergewebe) umspannt.

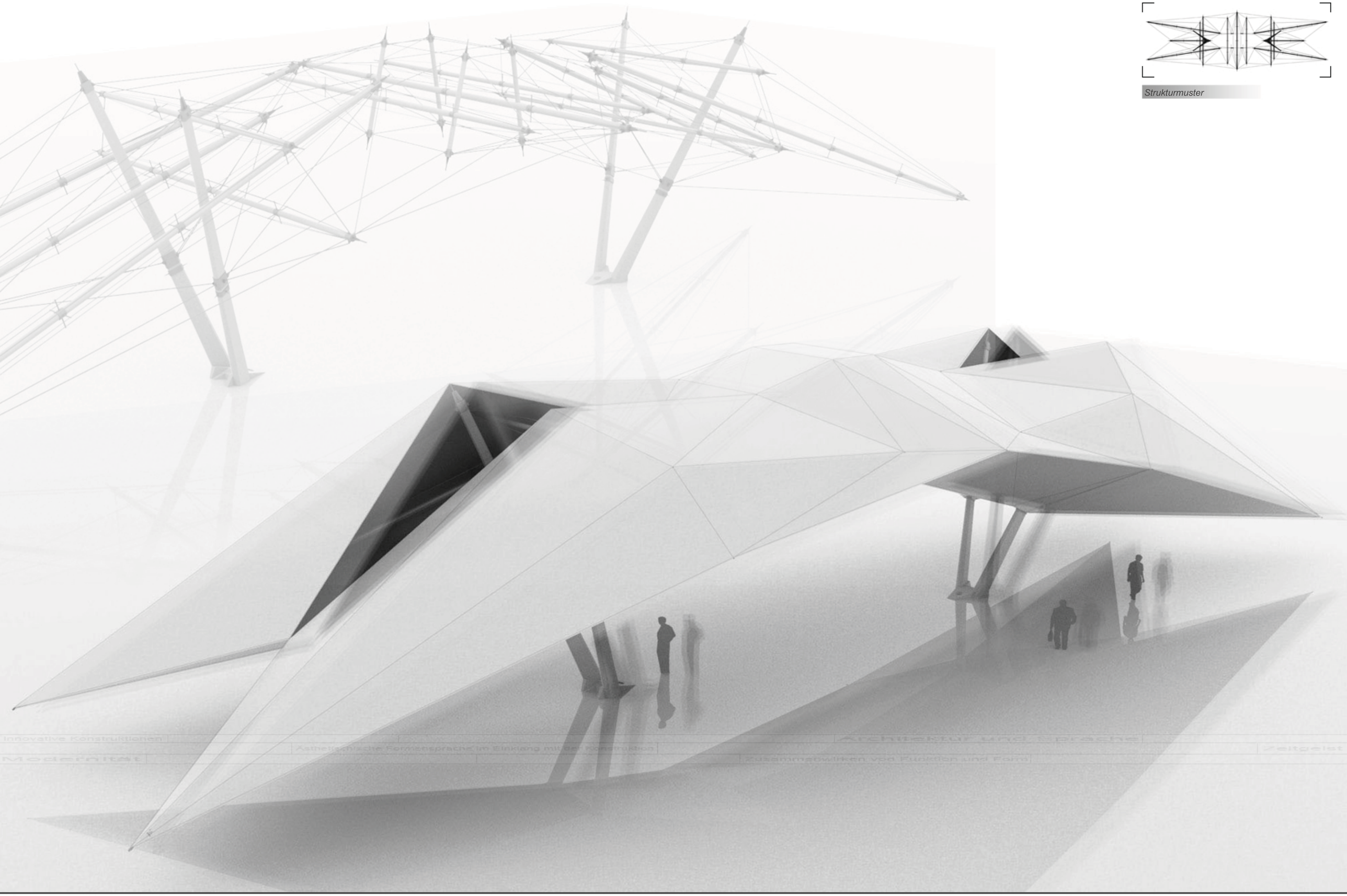
Um dieses Modul für eine vollständige Überdachung verwenden zu können, muss es in Längsrichtung dupliziert werden. Zwischen den hohlen Abständen der einzelnen Strukturen werden wiederum eigene Membrane montiert, welche die einzelne Segmente miteinander verbinden und so für den Dachabschluss sorgen.

2.4.1 Modul

Perspektive

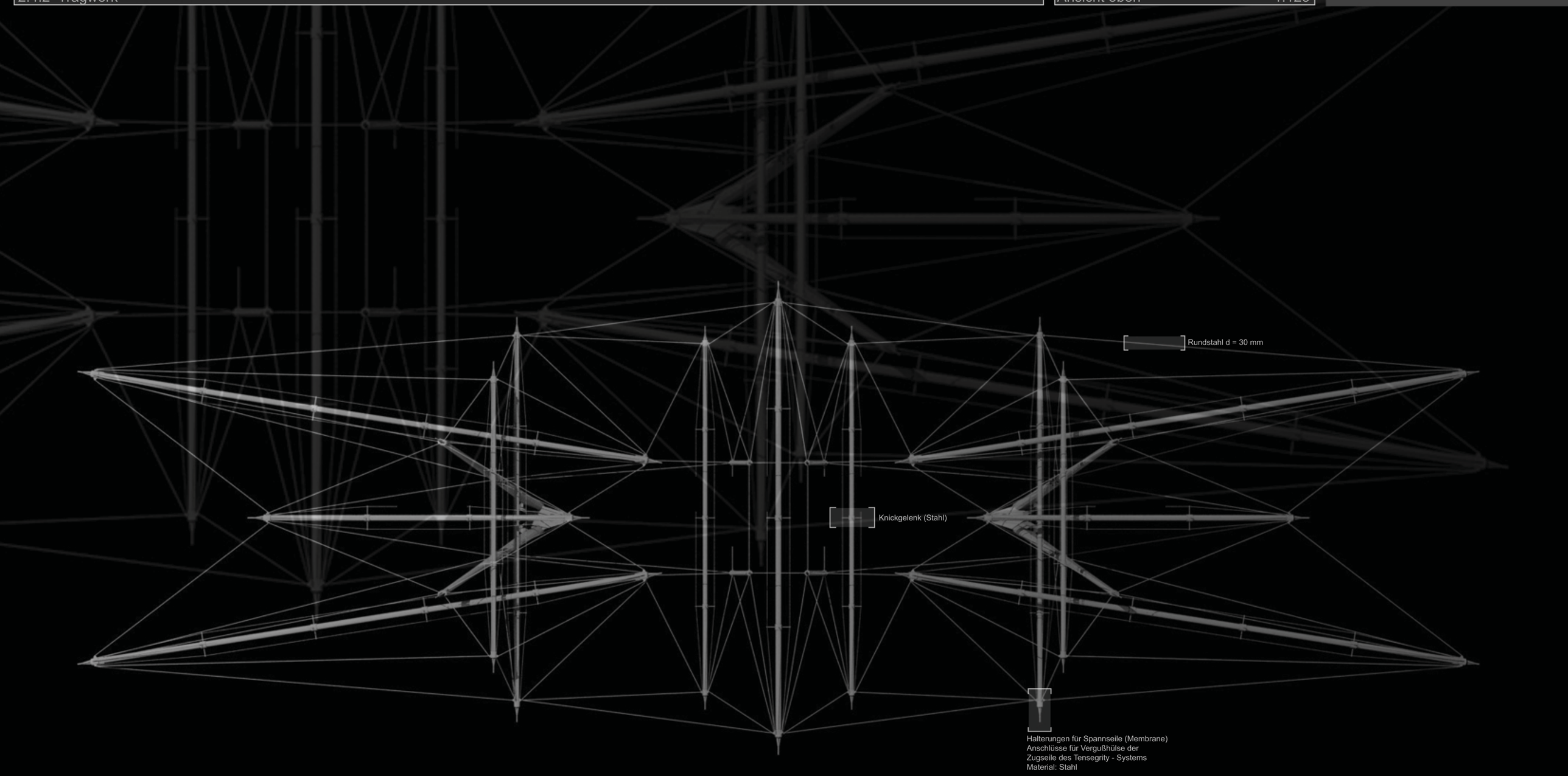


Strukturmuster



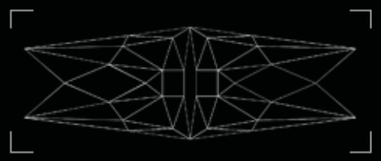
## 2.4.2 Tragwerk

Ansicht oben 1:125




Innovative Konstruktionen | Architektur und Sprache
Ästhetischische Formensprache im Einklang mit der Konstruktion | Zeitgeist
Modernität | Zusammenwirken von Funktion und Form

*Membranflächen*

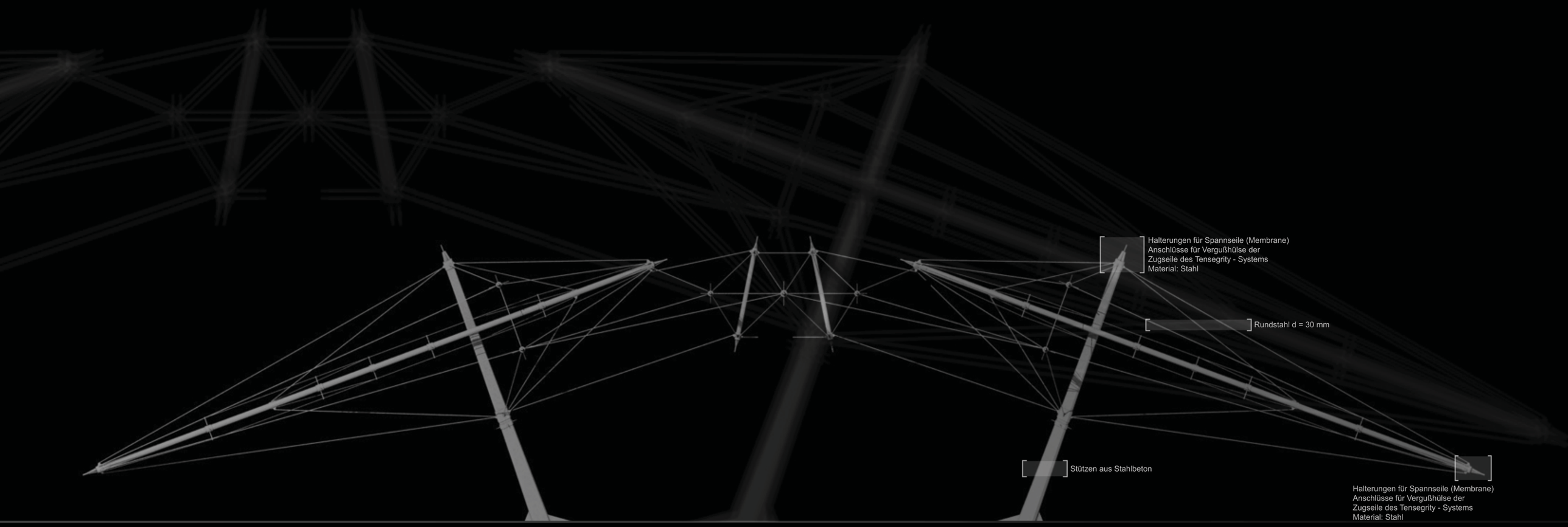


ABMESSUNGEN:

l = 48.10 m
b = 16.28 m
h = 9.80 m

## 2.4.2 Tragwerk

Ansicht vorne 1:125




Innovative Konstruktionen | Architektur und Sprache
Ästhetischtsche Formensprache im Einklang mit der Konstruktion | Zeitgeist
Modernität | Zusammenwirken von Funktion und Form

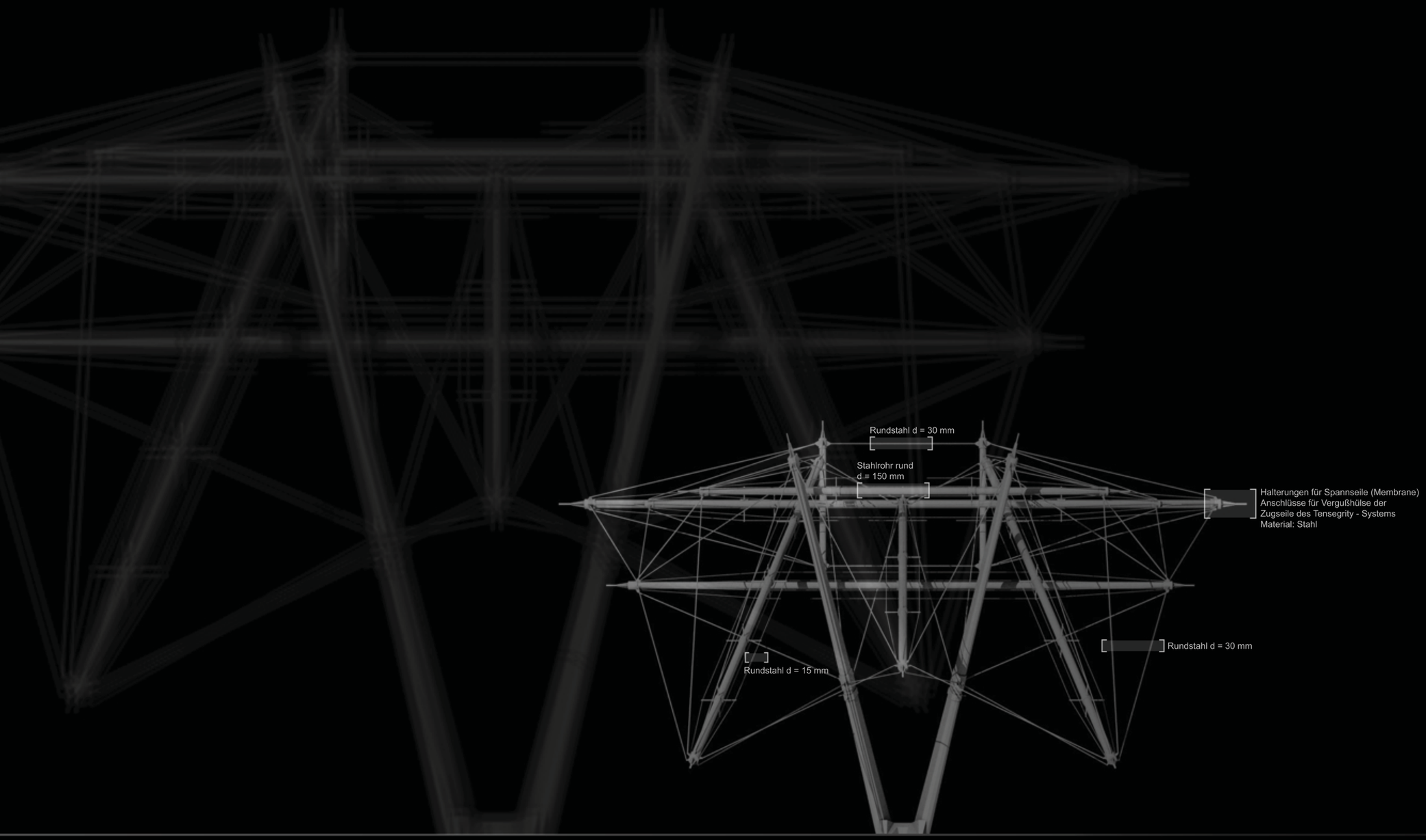
*Membranflächen*

ABMESSUNGEN:

l = 48.10 m
b = 16.28 m
h = 9.80 m

## 2.4.2 Tragwerk

Ansicht Seite 1:100




Innovative Konstruktionen | Architektur und Sprache | Ästhetischische Formensprache im Einklang mit der Konstruktion | Zeitgeist | Modernität | Zusammenwirken von Funktion und Form

*Membranflächen*

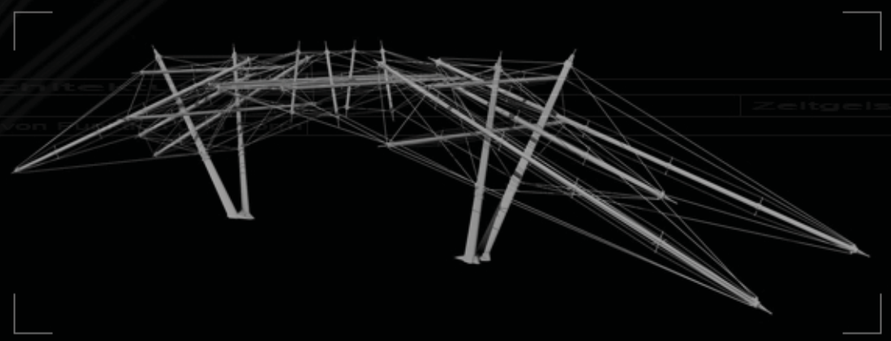
ABMESSUNGEN:

l = 48.10 m
b = 16.28 m
h = 9.80 m

2.4.2 Tragwerk

Perspektive

Gesamtansicht

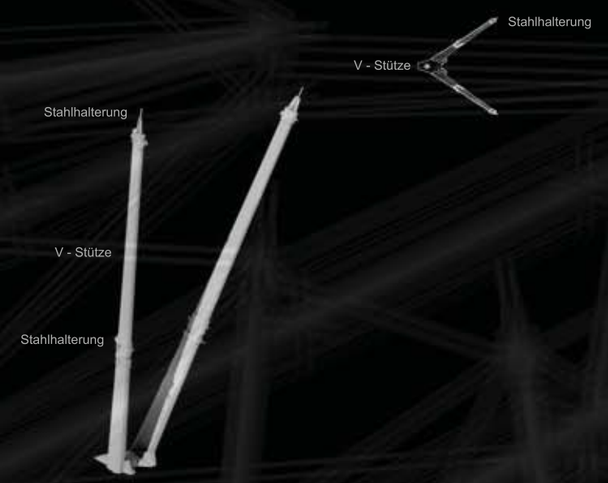


## 2.4.2 Tragwerk

Montage und Tragverhalten

*Phase 1*

V - Stütze ist wie bei den vorigen Projekten ebenfalls im Boden eingespannt. Danach werden die Stahlhalterungen für die Membrane und Anschlüsse für die Zugstäbe montiert

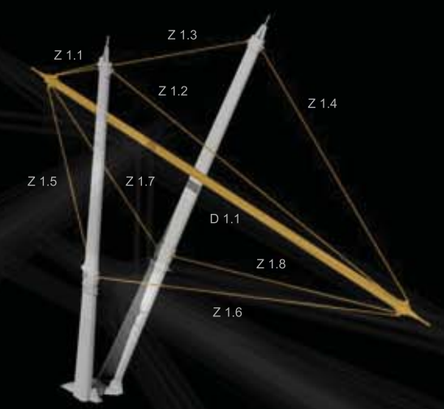



Draufsicht

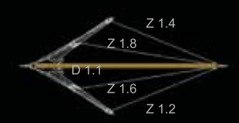



*Phase 2*

Der erste Druckstab kann jetzt eingehängt werden, der durch 4 Tragseile 1.1 - 1.4 getragen und durch die unteren Seile 1.5 - 1.8 gespannt wird. Der Stab ist jetzt in horizontaler und vertikaler Richtung steif und pendelt nicht aus

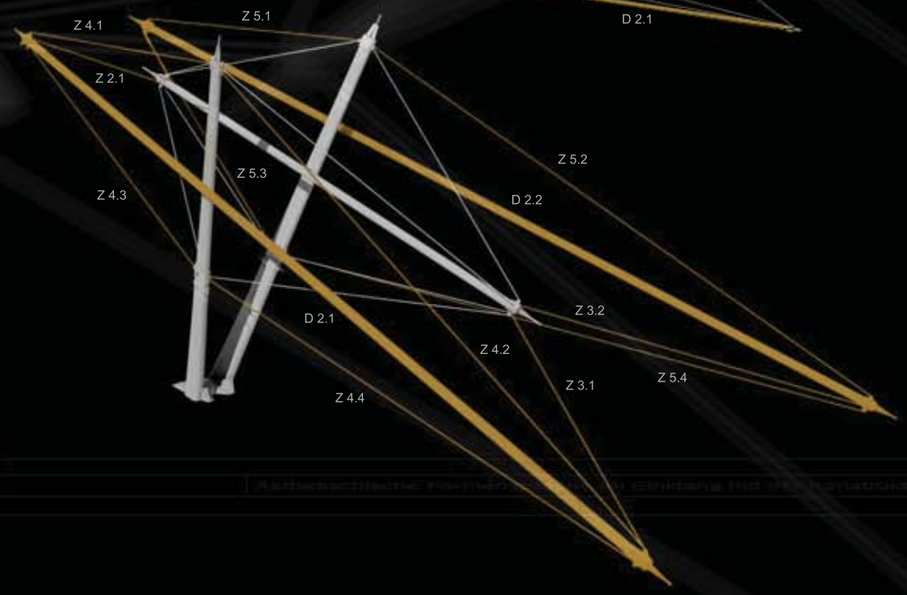



Draufsicht

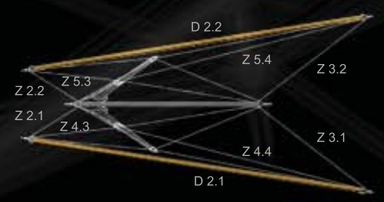



*Phase 3*

Nun können zwei weitere Druckstäbe montiert werden, die jeweils an der äußeren Seite der Stütze positioniert sind und mit dem mittleren Druckstab mit jeweils 2 Zugseilen, 2.1, 2.2 und 3.1, 3.2, vorne und hinten verbunden sind. Die vertikale Stabilität der neuen Druckstäbe erfolgt über die Seile 4.1 - 4.4 und 5.1 - 5.4. Damit die Druckstäbe 2.1 und 2.2 in Position bleiben, werden an der zur Stütze zugerichteten Seite der Stäbe jeweils eine provisorische Abstandshalterung angebracht



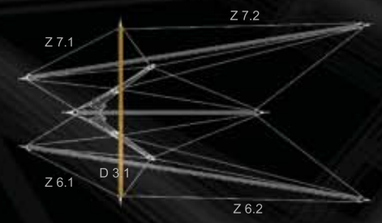

Draufsicht




*Phase 4*

Danach wird der vierte Druckstab eingehängt an dessen Enden jeweils zwei Zugseile, 6.1, 6.2 und 7.1, 7.2, angebracht und mit den Druckstäben 2.1, 2.2 verbunden ist. Da dieser Druckstab nun mit den anderen 2 Stäben verbunden ist und diese in horizontaler Richtung spannt, können die provisorischen Abstandshalterungen wegfallen

Draufsicht

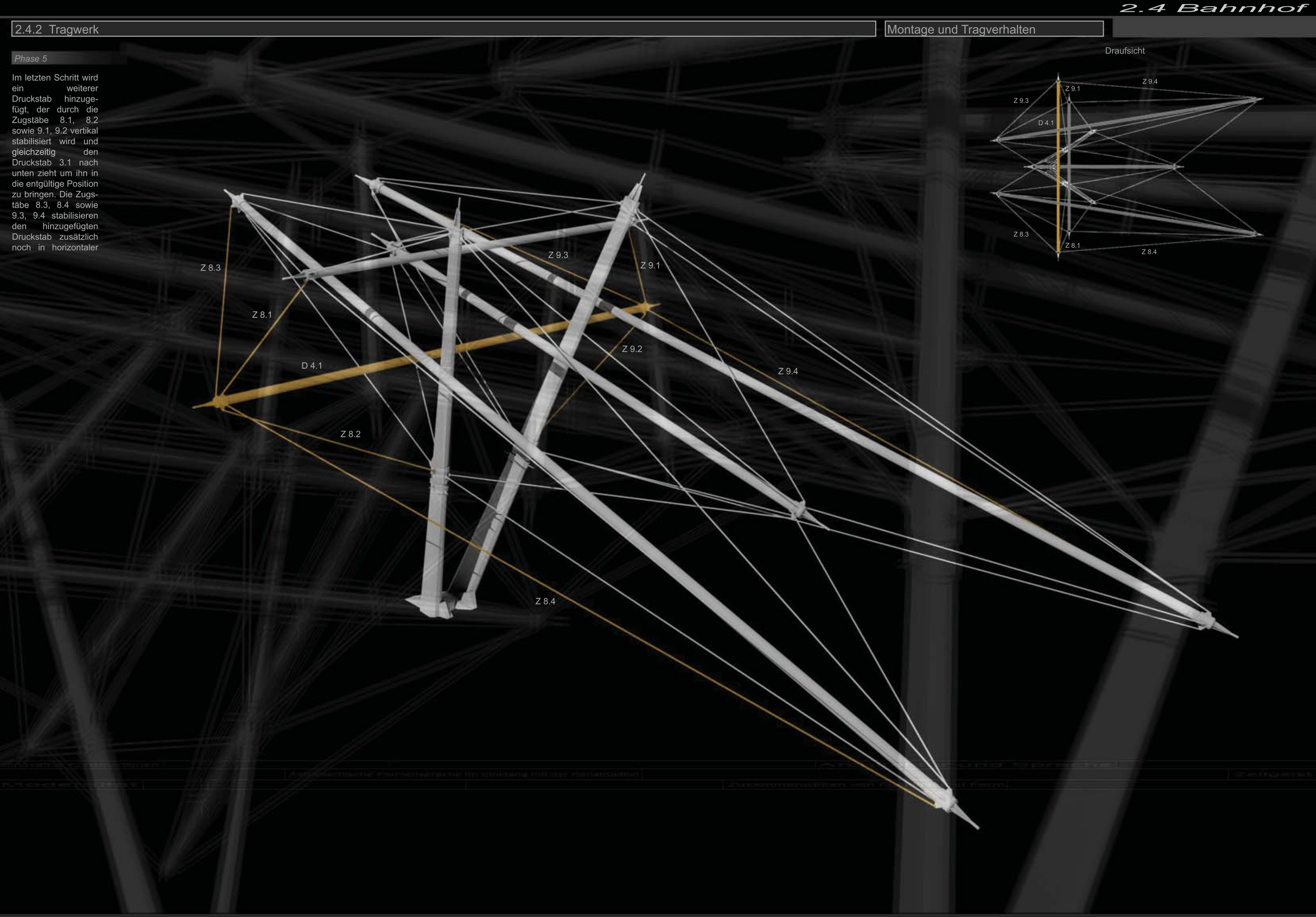


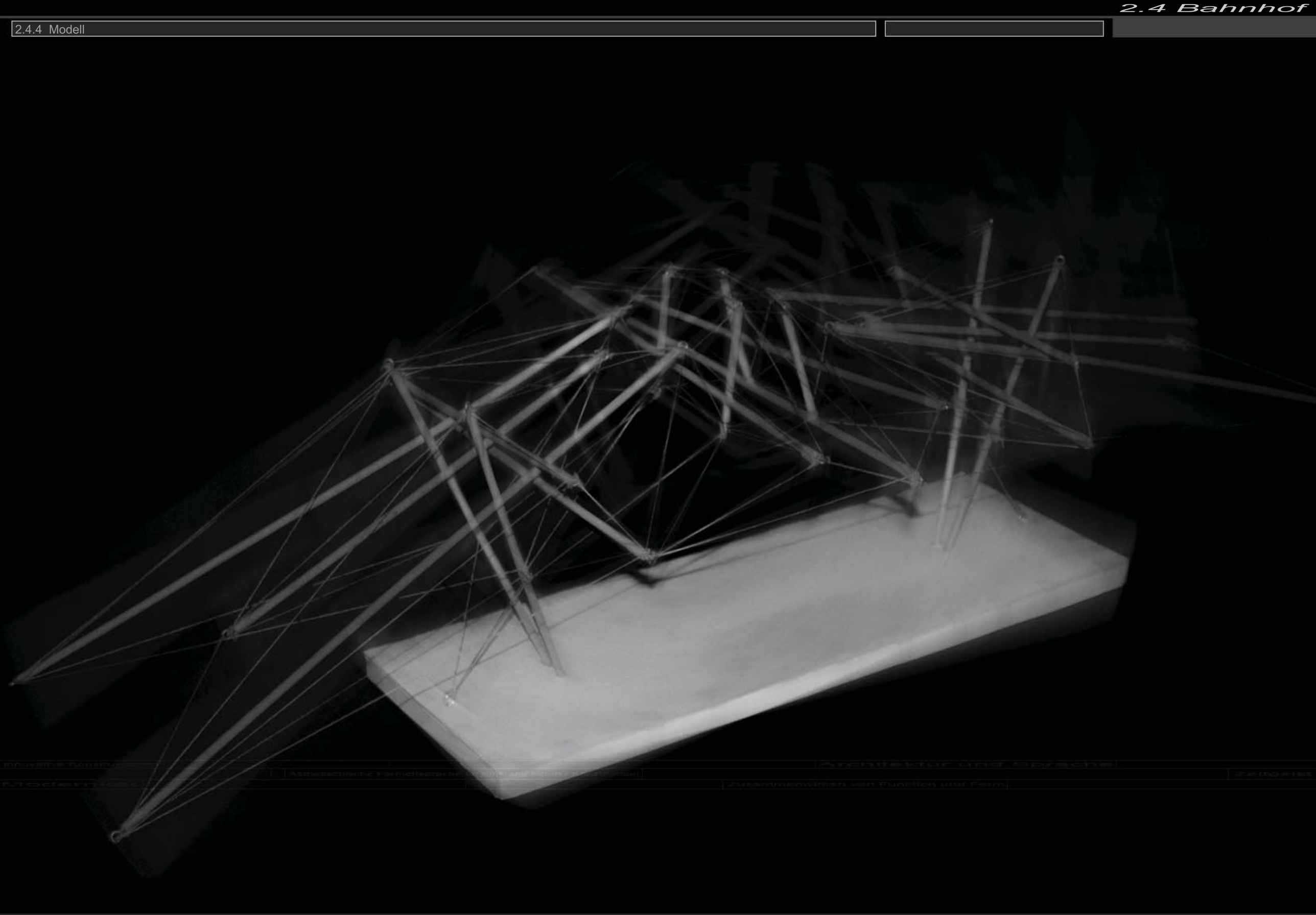
## 2.4.2 Tragwerk

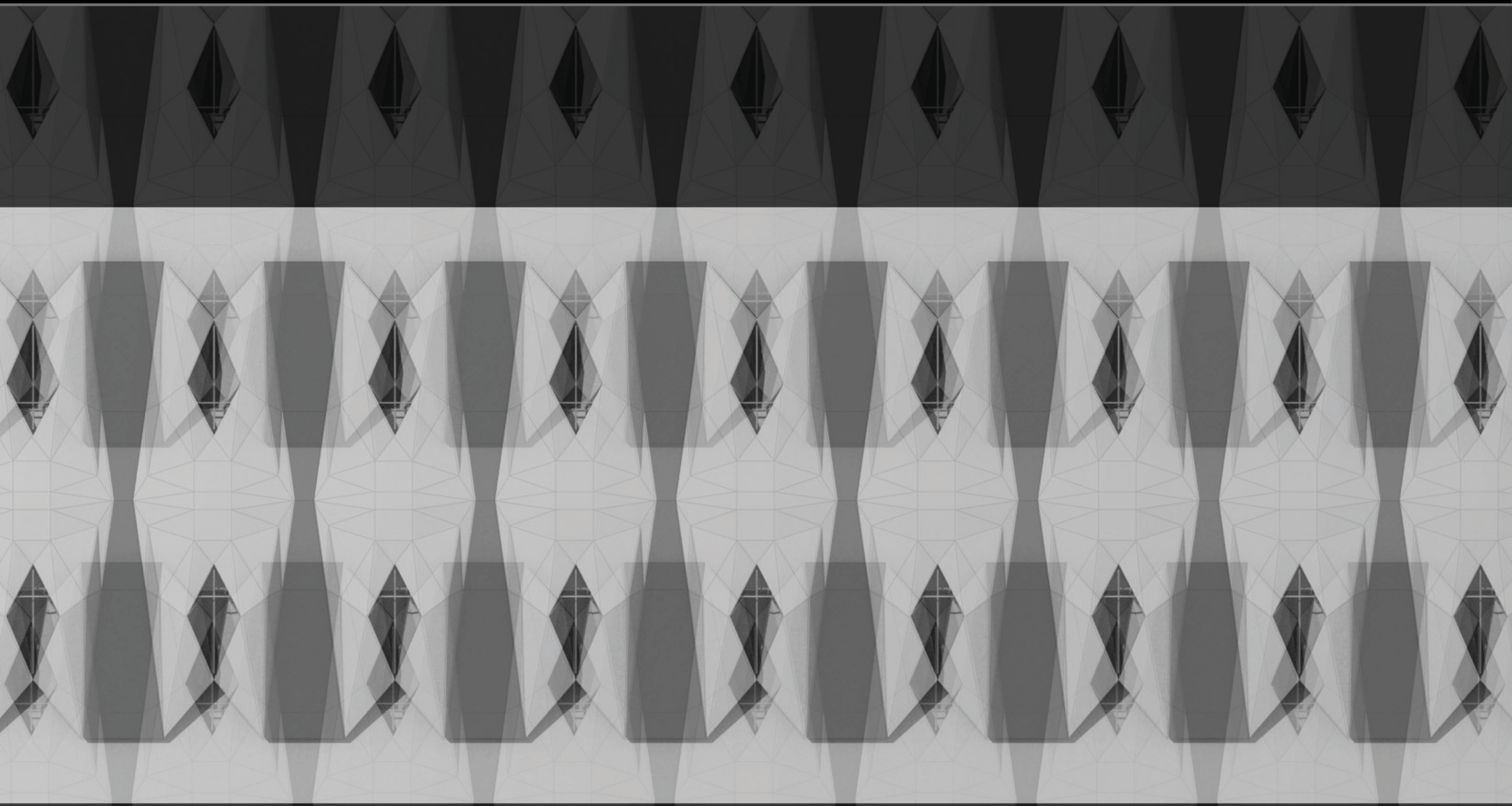
Montage und Tragverhalten

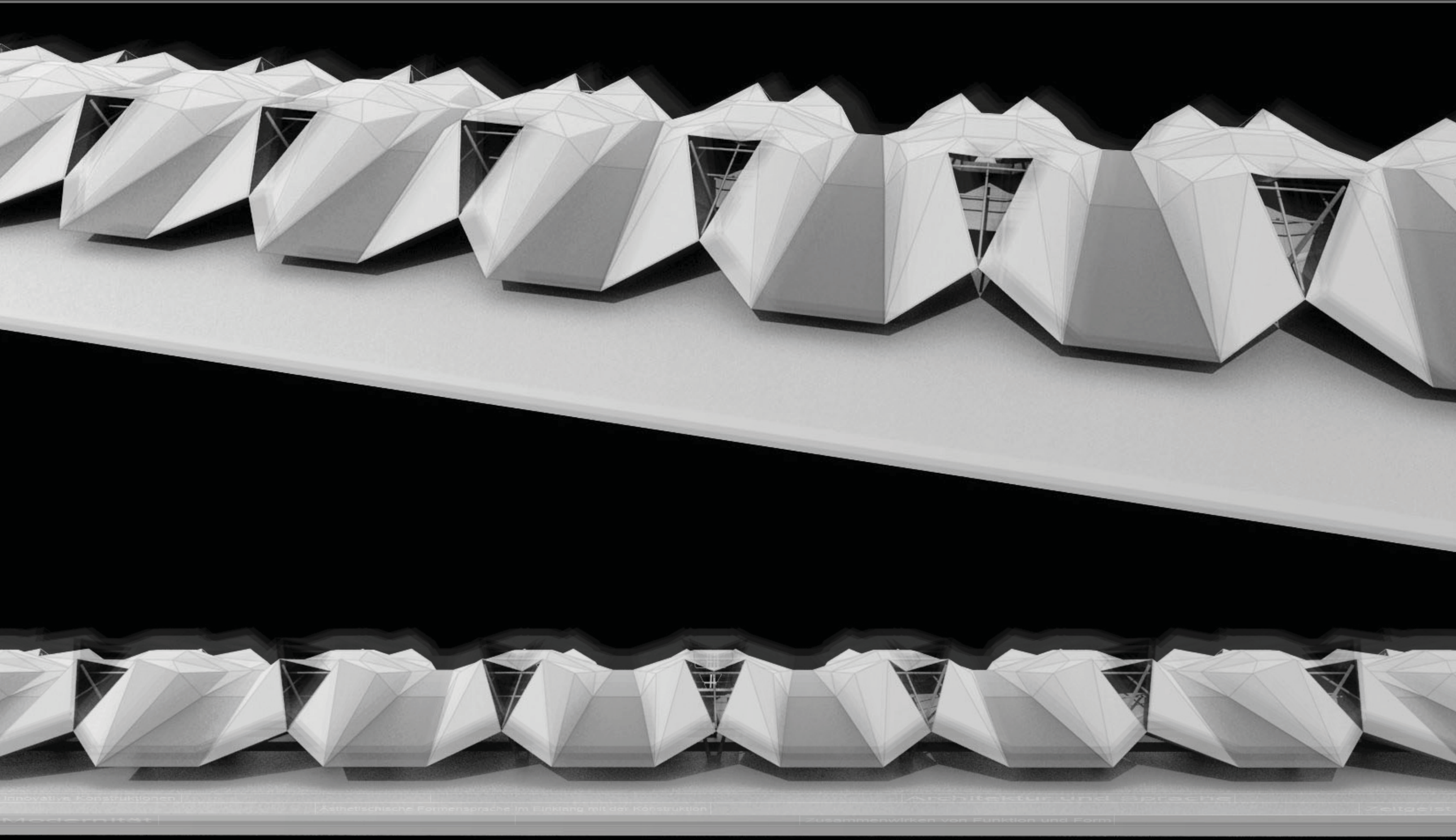
*Phase 5*

Im letzten Schritt wird ein weiterer Druckstab hinzugefügt, der durch die Zugstäbe 8.1, 8.2 sowie 9.1, 9.2 vertikal stabilisiert wird und gleichzeitig den Druckstab 3.1 nach unten zieht um ihn in die entgültige Position zu bringen. Die Zugstäbe 8.3, 8.4 sowie 9.3, 9.4 stabilisieren den hinzugefügten Druckstab zusätzlich noch in horizontaler



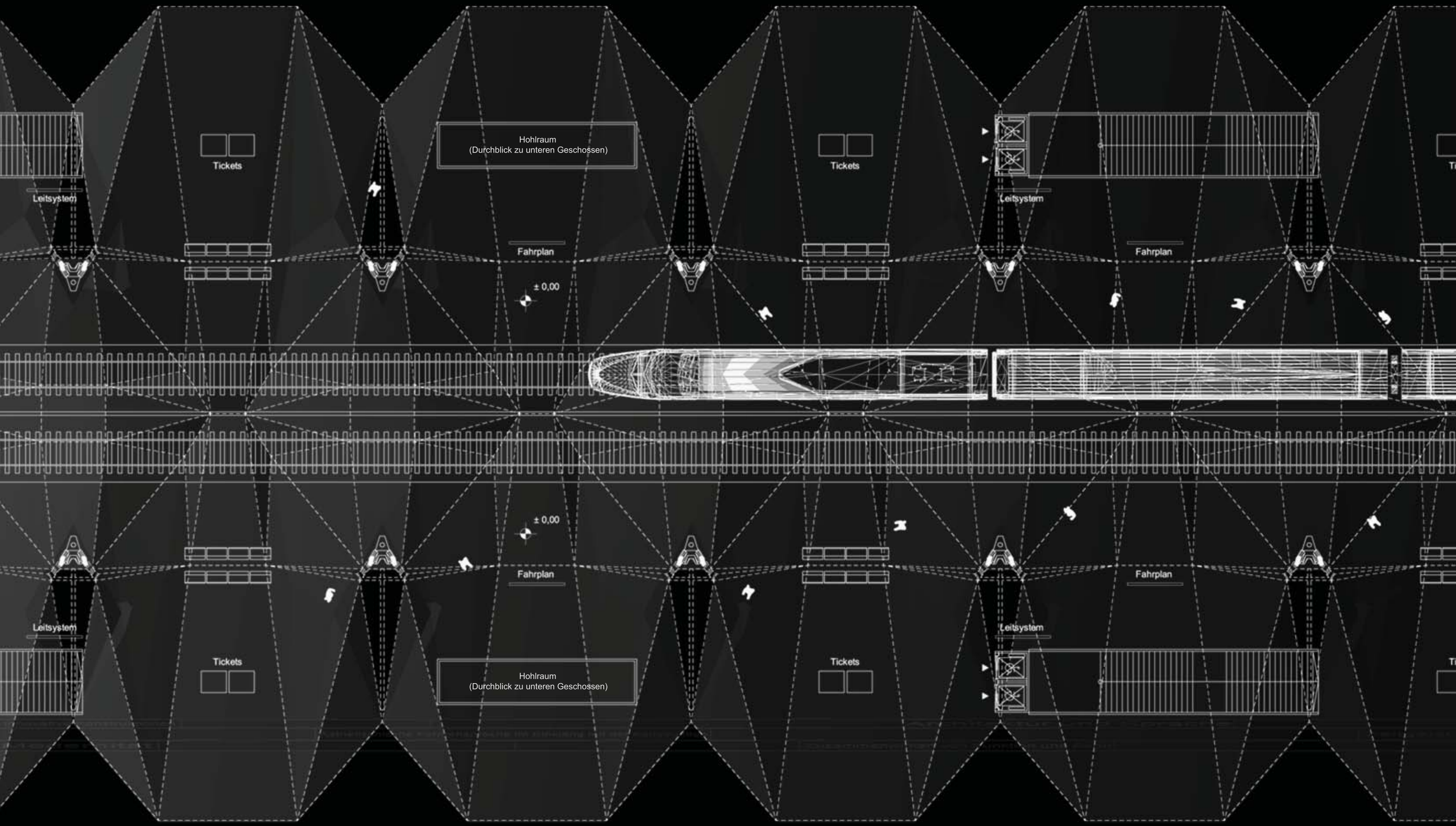





Innovative Konstruktionen
Ästhetischische Formensprache im Einklang mit der Konstruktion
Architektur und Sprache
Zeitgeist
Modernität
Zusammenwirken von Funktion und Form

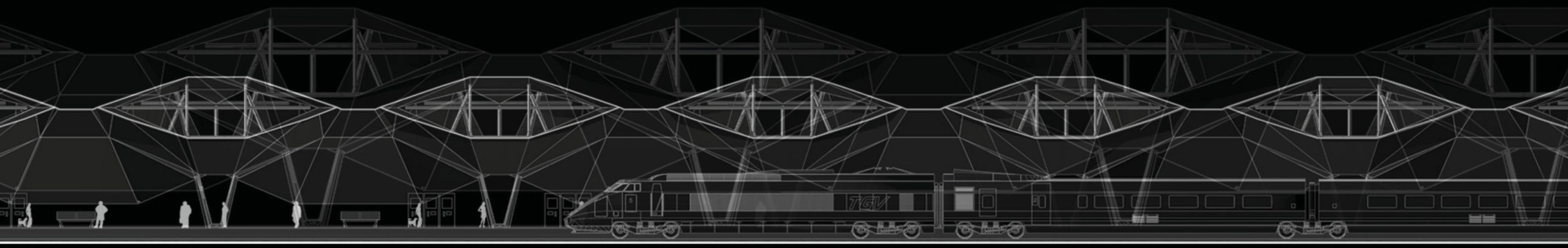
2.4.4 Funktion

Grundriss 1:200



2.4.4 Funktion

Schnitt 1:200




Innovative Konstruktionen

Ästhetischische Formensprache im Einklang mit der Konstruktion

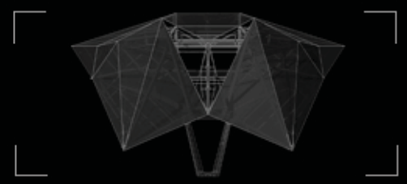
Architektur und Sprache

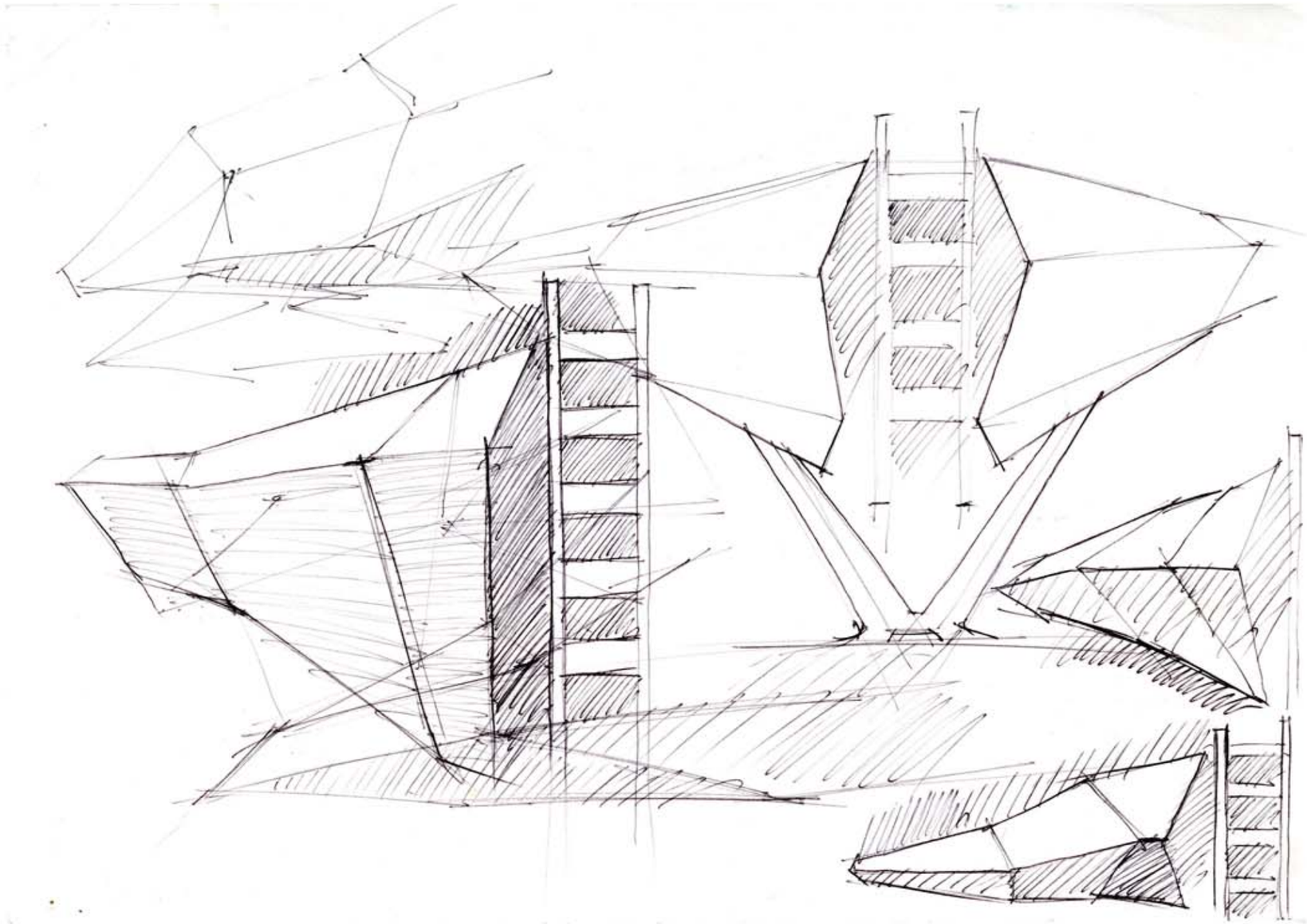
Zeitgeist

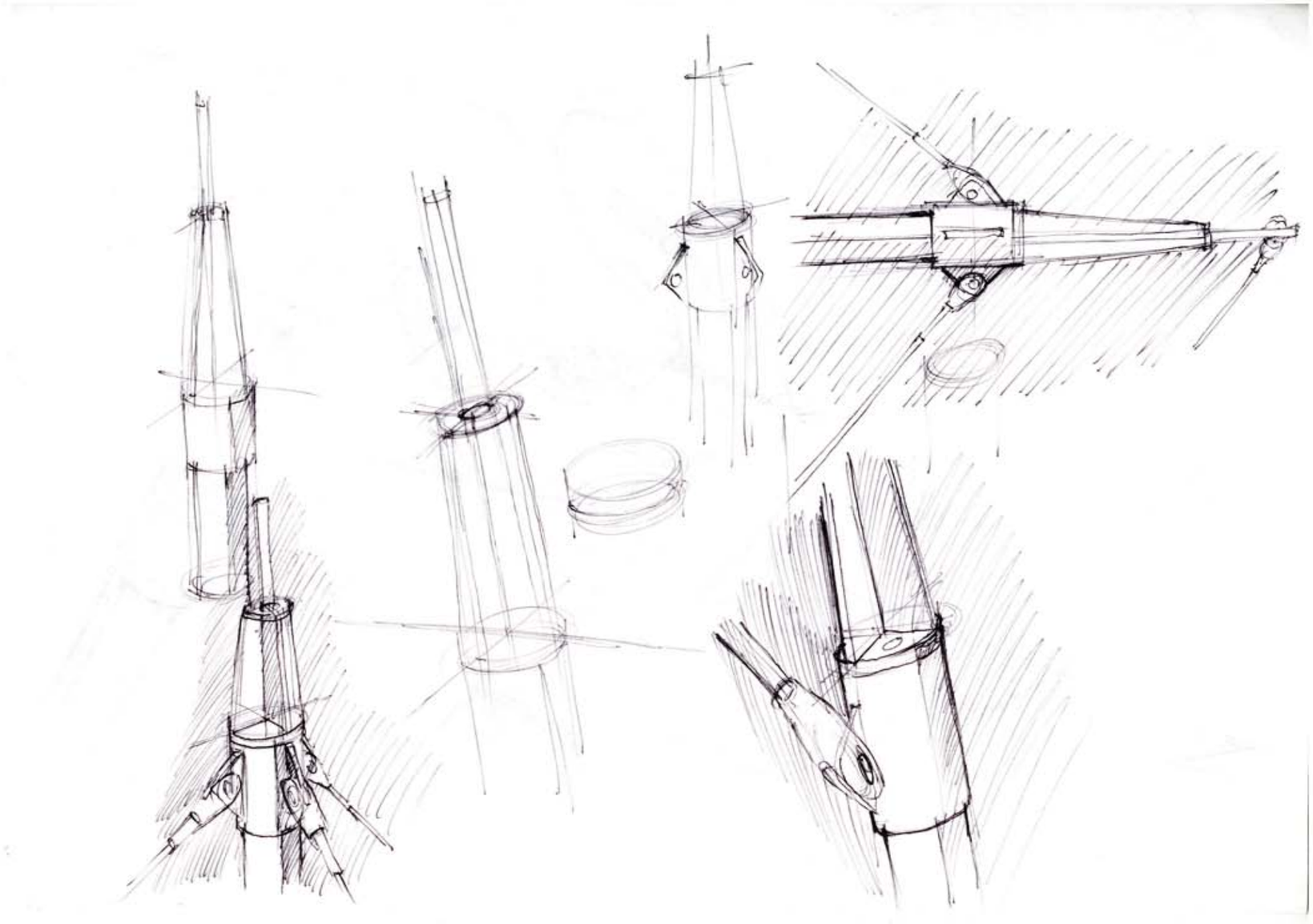
Modernität

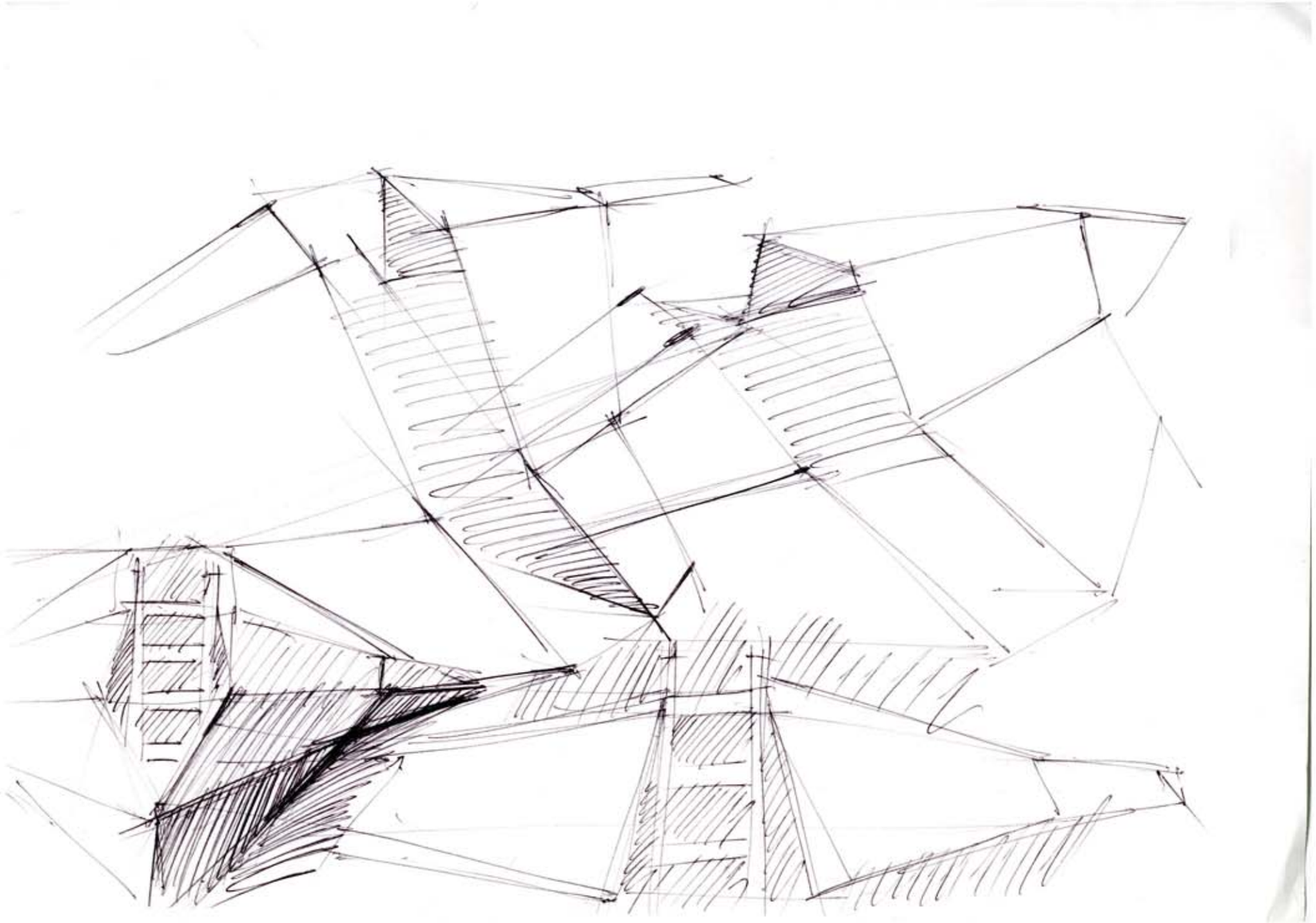
Zusammenwirken von Funktion und Form

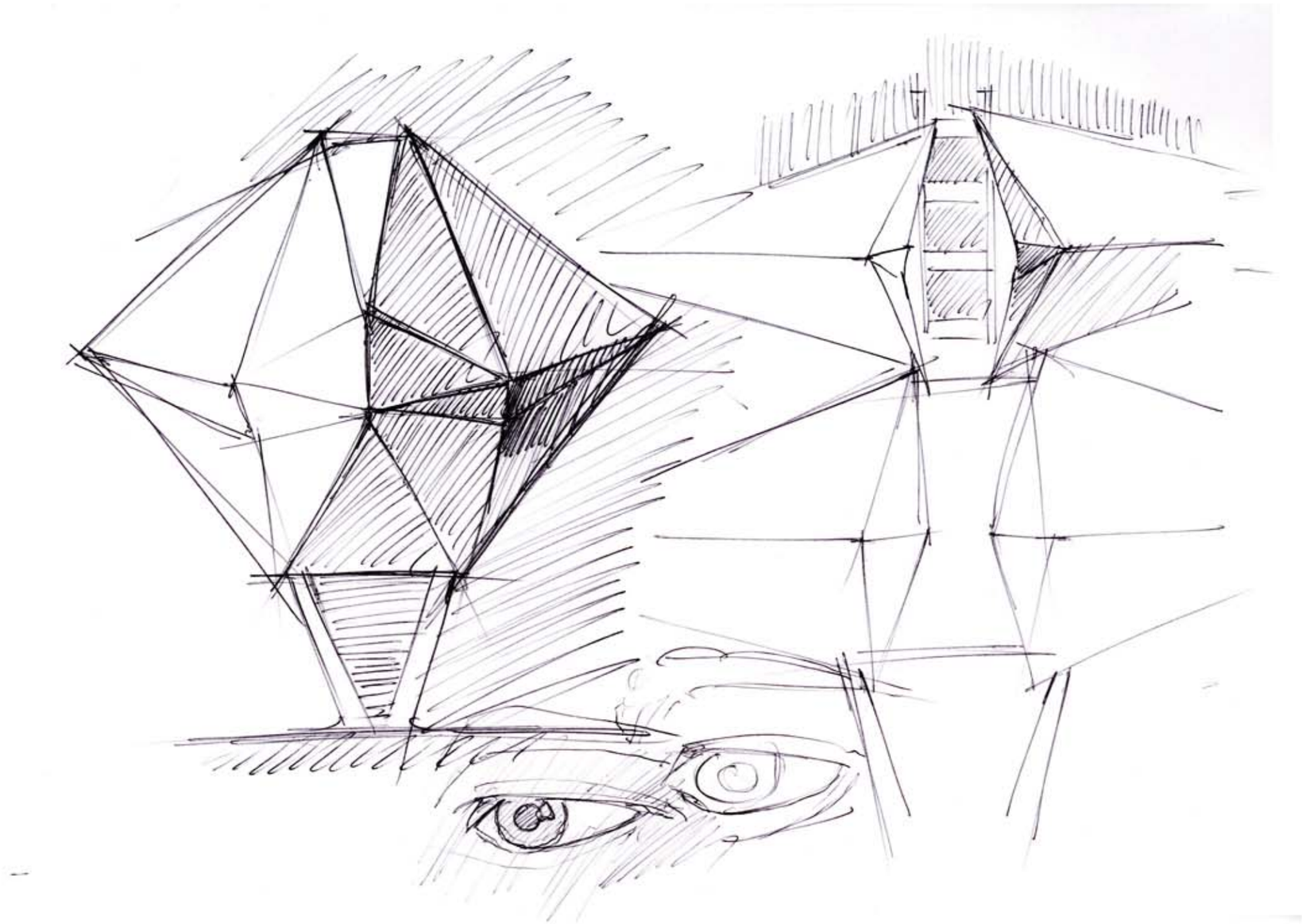
Segment

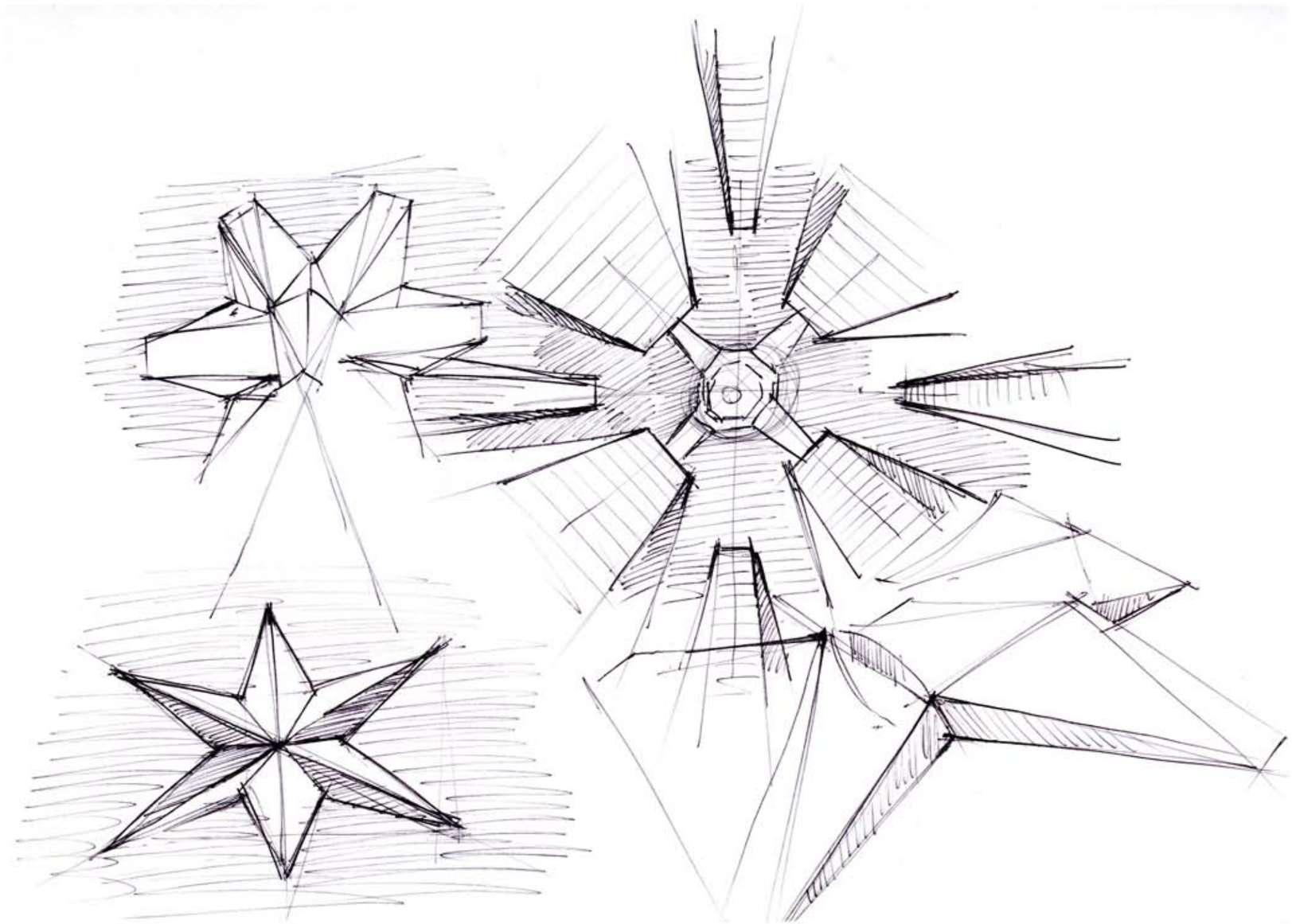


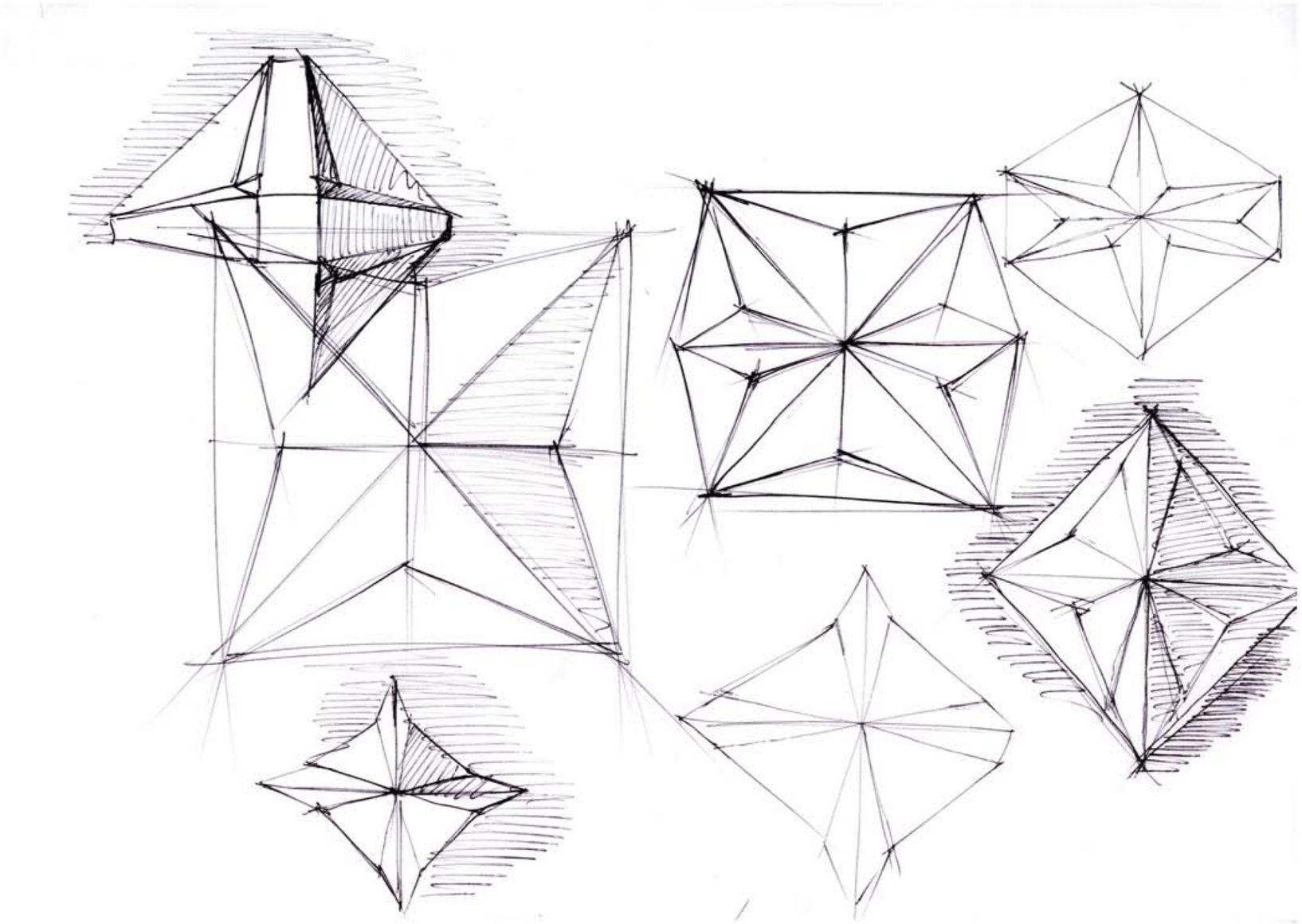


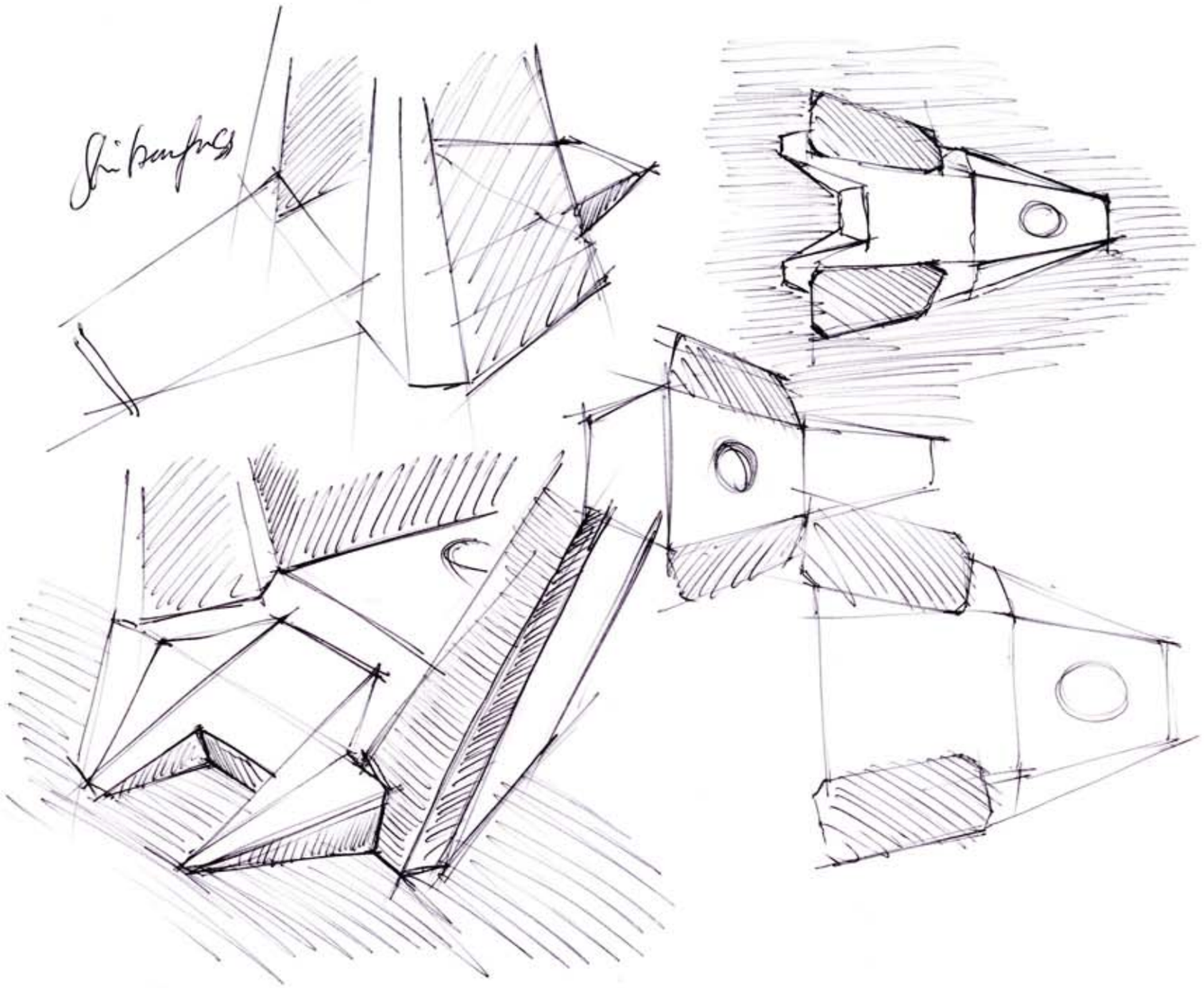


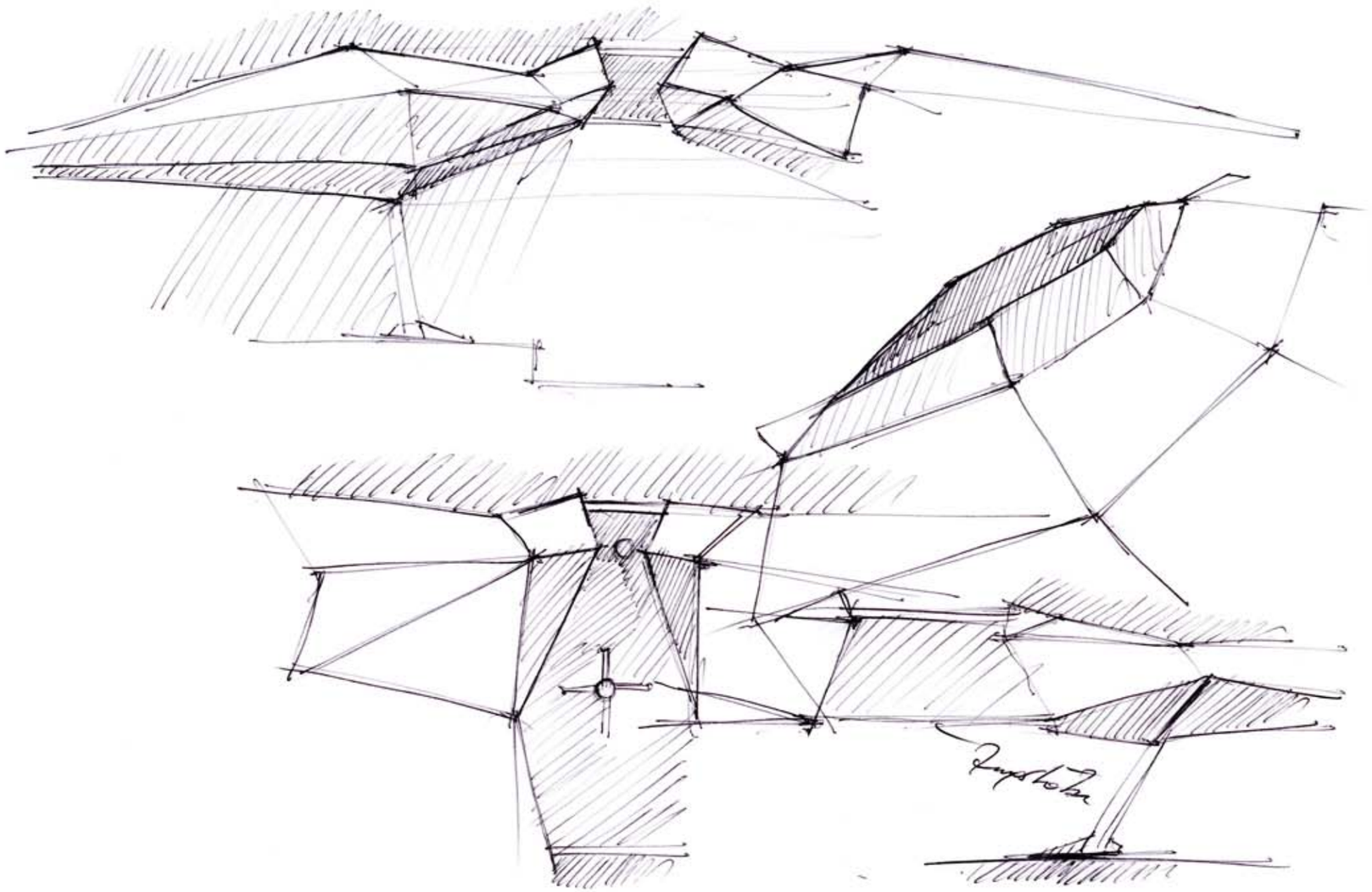


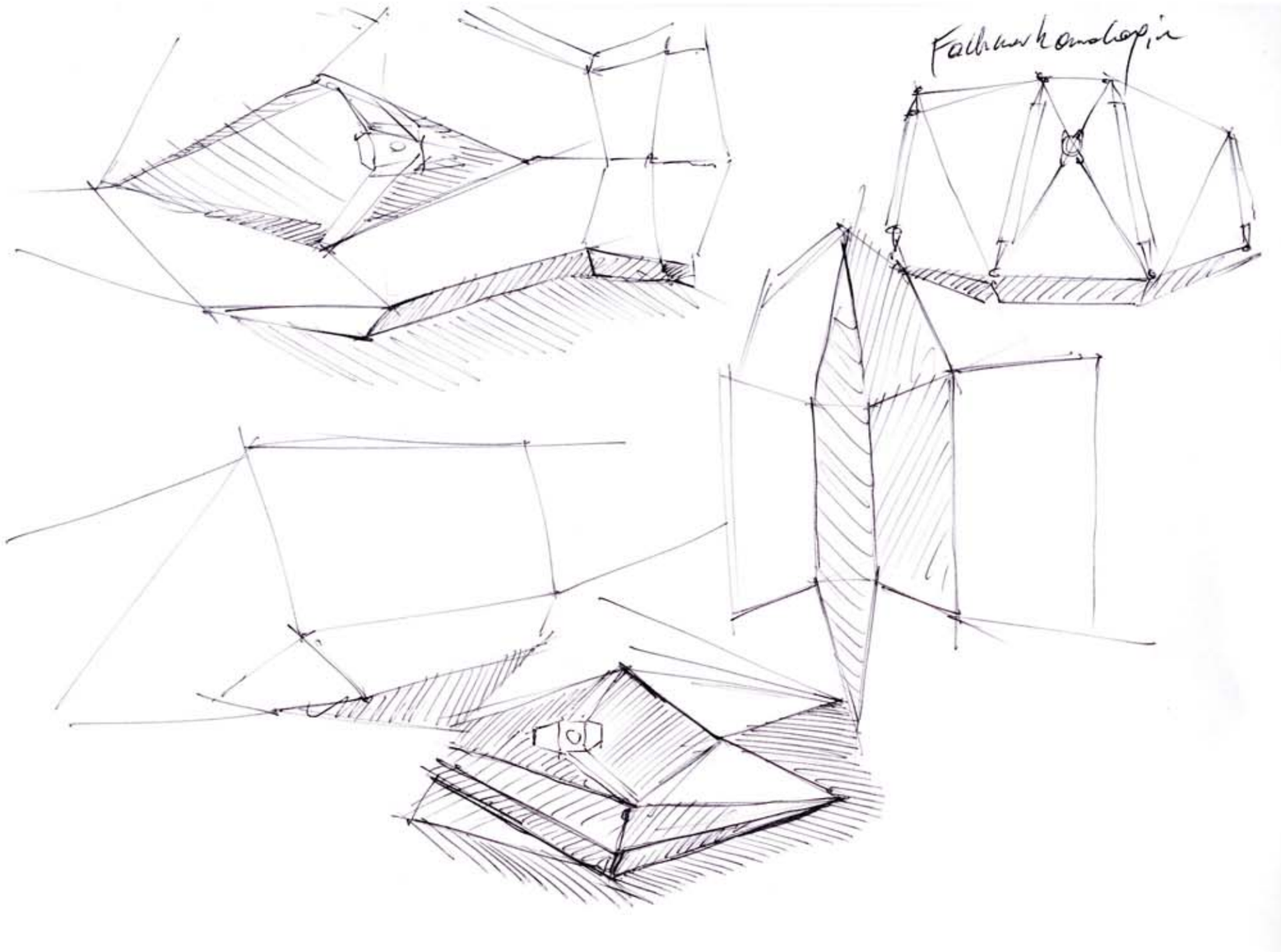
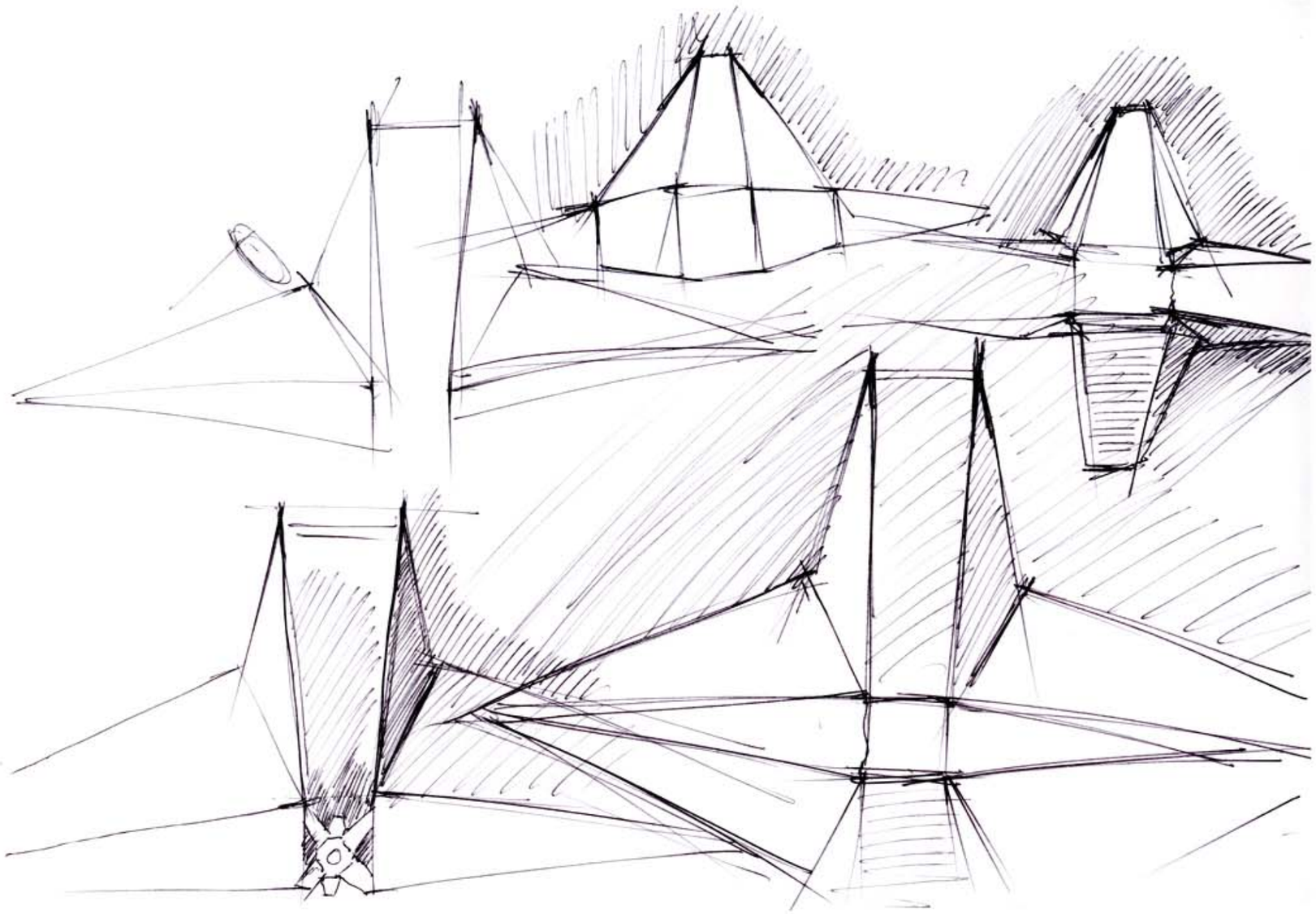











Fallbaukomplexe