Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

DIPLOMARBEIT

Flexible Architektur
Eine Strategie für einen ressourceneffizienten
und nachhaltigen Hallenbau

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des
akademischen Grades
eines Diplom Ingenieurs
unter der Leitung von

Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Alireza Fadai**

E259 - 02

Forschungsbereich Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Mohamed Mabrouk BSc

00828195

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Vienna University of Technology

MERKBLATT FÜR VERFASSER/INNEN VON HOCHSCHULSCHRIFTEN

(Diplom-/Masterarbeiten und Dissertationen)

Der / die unterzeichnete Verfasser / Verfasserin der nachstehend angeführten Hochschulschrift:

Mohamed Mabrouk, BSc

Flexible Architektur, Eine Strategie für einen ressourceneffizienten und nachhaltigen Hallenbau

nimmt im Sinne der §§ 42 und 42a Urheberrechtsgesetz 1936 in der jeweils gültigen Fassung zur Kenntnis:

Die gedruckte Version der Hochschulschrift wird in der Universitätsbibliothek der Technischen Universität (eine Dissertation auch in der Nationalbibliothek) aufgestellt, allgemein zugänglich gemacht und somit veröffentlicht.

1. Die Universitätsbibliothek darf, solange die Hochschulschrift veröffentlicht, aber nicht erschienen oder vergriffen ist, ohne Zustimmung des Verfassers / der Verfasserin für den eigenen Gebrauch einzelne Vervielfältigungsstücke herstellen. Ebenso dürfen auf Bestellung für den eigenen Gebrauch eines anderen unentgeltlich bzw. durch Fotokopien oder andere reprographische Verfahren auch gegen Entgelt, einzelne Vervielfältigungsstücke hergestellt werden.
2. Ist die Hochschulschrift bereits erschienen (d.h. durch Druck oder ein anderes Vervielfältigungsverfahren bereits in den Verkehr gebracht) und noch nicht vergriffen, darf die Universitätsbibliothek ohne Zustimmung des Verfassers / der Verfasserin für den eigenen Gebrauch von Teilen davon einzelne Vervielfältigungsstücke herstellen. Ebenso dürfen auf Bestellung für den eigenen Gebrauch eines anderen unentgeltlich bzw. durch Fotokopien oder andere reprographische Verfahren auch gegen Entgelt, einzelne Vervielfältigungsstücke von Teilen der Hochschulschrift hergestellt werden. (Erfolgt die Vervielfältigung für den eigenen Gebrauch durch Abschreiben, kann auch von einem erschienenen und noch nicht vergriffenen Werk ohne Zustimmung des Verfassers / der Verfasserin dieses zur Gänze vervielfältigt werden.)
3. Die Universitätsleitung hat in der Richtlinie des Vizerektors für Lehre über die elektronische Abgabepflicht von Hochschulschriften (Dissertationen, Diplomarbeiten, Masterarbeiten) an der TU Wien (s. Mitteilungsblatt 2013, 14. Stück, 19.6.2013) beschlossen, zusätzlich zum gedruckten Exemplar ein elektronisches Exemplar (PDF-Dokument, PDF/A bzw. PDF ab Version 1.4) zu verlangen, welches verpflichtend in TISS hochgeladen werden muss. Die Hochschulschriften werden über einen Server der Universitätsbibliothek der TU Wien der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, sofern keine Benützungssperre vorliegt und der Verfasser / die Verfasserin seine / ihre Zustimmung dazu gibt. Das Urheberrecht verbleibt beim Verfasser/ bei der Verfasserin; eine spätere Veröffentlichung in einem Verlag in Druckform bleibt möglich. Die Erfassung der bibliografischen Daten der Hochschulschrift, das Hochladen der elektronischen Version und die Abgabe der Einverständniserklärung erfolgt elektronisch in TISS.
4. Die Hochschulschrift muss selbständig verfasst sein, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel dürfen nicht benutzt werden.

Ich versichere, dass ich diese Hochschulschrift bisher weder im In- oder Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

21.09.2021

Datum

Unterschrift

Dekanat: Ablage im Prüfungsakt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Die Arbeit beschäftigt sich mit effizienten Tragstrukturen, die aus architektonischen Gegebenheiten, insbesondere aus Gestaltungsmöglichkeiten, welche am Beispiel einer Halle in Leichtbauweise, gewonnen werden können. Der Entwurf der Architektur, wird dabei in Einklang mit den statischen bzw. tragstrukturellen Eigenschaften der Bauelemente, sowie mit allgemeinen und regionalen, ökologischen Messinstrumenten, der eingesetzten Materialien, vorwiegend im Rahmen einer „Cradle to Gate" - Betrachtung, gebracht. Zu diesem Zwecke, werden räumlich-architektonische, sowie technische Lösungen, welche für die langfristige Lebensdauer von Hallen und deren flexible Umfunktionierung ausgerichtet sind, analysiert und entwickelt. In Anbetracht des Gesamtlebenzyklus von nachhaltigen Bauwerksnutzungen, stellen rückbaufähige bzw. adaptierbare Bauelemente, die entwurfsmäßig und technisch sinnvolle Strategie dar.
Das vordergründige Ziel der Arbeit ist das Erreichen eines möglichst ressourceneffizienten und nachhaltigen Bauwerks, das in einer praktischen Herangehensweise, über einen spezifischen Hallen-Entwurf ausgearbeitet wird. Der methodische Schwerpunkt hierbei, liegt im Einsatz einer statisch effizienten Primär-Tragstruktur, welche in einer orientierenden Evaluierung der Statik, mithilfe eines Finite Elemente -Tools untersucht und mit dem Ziel des geringsten Einsatzes von Materialmassen, sowie, wie im Rahmen der räumlich-funktionalen Randbedingungen für sinnvoll erachtet, adaptiert wird.

Den grundlegenden Ansatz des Hallenentwurfes, bilden zwei nach bautechnischen, sowie nach Aspekten des Tragverhaltens beleuchtete, realisierte Referenzobjekte. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse, sowie das angewandte Bausystem, eines eingehender behandelten Objektes, werden in den Entwurf eingearbeitet und im Sinne der baulichen Gesamtsituierung, sowie nach architektur-gestalterischen Parametern weiterentwickelt. Eine städtebaulich angesetzte und mit dem spezifischen Standort des Bauplatzes verbundene Entwurfsherleitung, verknüpft zudem die bauliche Gestalt und Charakteristik des entstehenden Baukörpers, mit dem Stadtbild, des durch die Bebauung, behandelte Areals.

In der konstruktiven Ausarbeitung, wird die zum Einsatz gebrachte Baugeometrie eines Dreigelenkbogens, mithilfe eines Finite Elemente Tools, in einer digitalen Scripting Umgebung, einer orientierenden Untersuchung des statischen Tragverhaltens unterzogen. Die nach der statischen Beanspruchung vorbemessenen Trägerquerschnitte, werden unter Einwirkung des Eigengewichts, insbesondere auf Schnittreaktionen und Ausnutzungen analysiert und formgeometrisch, entsprechend den Ausgabewerten der simultan laufenden FE-Analyse, adaptiert. Unter Zuweisung einer, der Region zu erwartenden Windlast, werden geringfügige, punktuelle Adaptionen der Bogenform vorgenommen, welche zu einer deutlichen Senkung der Biegemoment-Spitzenwerte führen. Die Ergebnisse stimmen, mit vielfach getätigten Analysen und in der Arbeit benannten Erkenntnisse, über das Tragverhaltens von Bögen überein und sind in diesem Zusammenhang nachvollziehbar. Die Bogenformen der Gesamtkonstruktion werden nach räumlich-funktionalen Gesichtspunkten abgewägt und zu einer tonnenartigen Dachlandschaft ausgestaltet.

Die auf das primäre Ziel der Arbeit abzielende Bauweise, mit deren Einsatz das ressourceneffizientere Bauwerk hergestellt wird, geht aus einer Materialgegenüberstellung hervor, anhand derer zwei exemplarische Bogenmodule nach Parametern der konstruktiven Effizienz, sowie nach ökologischen Messgrößen verglichen werden. Die Bauweise in Stahl zeigt dabei eine gewichtsmäßig leichtere Konstruktion, welche eine geringere Ausnutzung der Querschnitte, sowie aktuellen Datenquellen zufolge, deutlich geringere Energieverbräuche aus nicht erneuerbaren Energiequellen aufweist. (PEI n.e.) Zudem weist die Stahlkonstruktion gegenüber der Holzkonstruktion im Materialvergleich eine höhere Recyclingrate auf. Im Hinblick, auf die für den spezifischen Entwurf angesteuerte ressourcenschonenderen und zugleich nachhaltigere Baukonstruktion, wird der Entwurf in Stahlbauweise ausgearbeitet, welcher überdies eine höhere, nutzungsfähige Lebensdauer anstrebt. Zu diesem Zwecke werden sämtliche Verbindungen der Primärstruktur, sowie der Verkleidungs- und Ausbauelemente mit rückbaugerechten Schraubverbindungen konzipiert. Darüber hinaus kommen im Sinne eines aus ökologischer Sicht, nachhaltigen Gesamtbauwerks, umweltfreundliche, sowie langlebige und wiederverwendbare Baustoffe zum Einsatz, welche in der konstruktiven Detaillierung eingearbeitet werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abstract

This thesis is concerned with efficient supporting structures, that can be derived from architectural conditions, especially in terms of design strategies, which are applicated practically in a specific hall building design. In this interests the design is brought into accordance with specific structural and load-bearing features of materials and construction products, as well as regional and ecological measurement criteria of their structural use, mainly within the scope of a cradle to gate approach. For this purpose architectural and spatial, as well as technical solutions, for a long term usage are analyzed and developed. Considering the whole life cycle of a building in the design stage, deconstructable and adaptable elements prove to be the technically reasonable strategy.

The primary objective of this thesis is to achieve the most efficient und sustainable building possible, within the framework of the specific design conditions, by the use of a lightweight primary structure, which is analyzed in terms of its structural and load bearing behavior. The methodical emphasis lies in analyzing and adapting the primary structure by operating with a finite elements tools, which is embedded in a scripting environment, with the target to obtain the least material masses. The design then is adapted, based on the load-bearing behavior and in compliance with the spatial and functional circumstances.
The main approach of the design is derived from an analytical consideration of two reference objects, which lead to the used construction system, further to the building structure, which is integrated into the urban development. The characteristic of the designed hall is brought into accordance with the architectural and aesthetical appearance of the proposed area.

In the constructional stage, the geometry of a three pinned arch is dimensioned under the load acting of its tare weight and the resulting beam reactions, as well as its bearing - utilization. The geometry then is adapted punctually by the act of a wind-load, under the simultaneously ongoing Finite Elements-Analysis which leads to a distinct decrease of its maximum bending moments. The results stand in compliance with proven recognitions, that are pointed out in the thesis. The arches of the whole construction of the building are redesigned with functional and spatial stand of views and then shaped into a barreled roof-landscape.
The decision of the construction method, especially by means of the applicated material is carried out based upon a comparison of a representative arches-module, which is contrasted by its construction efficiency and ecological measurement criteria.

In that regard the construction in steel shows opposed to a timber module, a lighter weight along with lesser resource consumptions of non renewable energy. (Primary energy Input) Furthermore it turns out to have a higher recycling rate. Therefore the construction is implemented in steel and assembled with screwed building components and connections in order to realize a functionally adaptable hall structure, that hence reaches a long lifespan. In respect to an ecologically sustainable building construction as a whole, functional layers of the building structure , such as insulation and cladding, are incorporated with environmentally friendly materials and worked into the building details.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung in die Arbeit

1.1. Hintergrund und Motivation 6
1.2. Methodik 7-9

TEIL I
Einleitendes & Problemstellung

2. The Big Picture 11-16

2.1. Kernfragen 17-19
2.2. Nachhaltigkeit : Dimensionen und Bemessungen 20-26
2.3. Parameter 27-28
2.4. Ökobilanzierung 29-34

TEIL II
Schwerpunkte & Strategien

3. Schwerpunkte & Strategien

3.1. Technische & Wirtschaftliche Lebensdauer 36-40
3.2. Flexibilität und Funktionalität : Hallen 42-51
3.3. Effizienz 52-61

TEIL III
Evaluierung realisierter Projekte

4.Evaluierung realisierter Projekte 63

4.1. Wischerfabrik 63-67
4.2. Terminal 2 des Flughafen Mactan 68-82

TEIL 4
ENTWURF

5. Voranalyse

5.1. Bauplatz und Städtebaulicher Kontext 85-94
5.2. Bauvolumen und Vorentwurf 95-107
5.3. Nachhaltigkeit : Identität & Lebensdauer 108- 113

6. Vorentwurf

6.1. Nachhaltigkeit : Räumliche Flexibilität 114-126

7. Entwurf 127-128

7.1. Formentwicklung 129-150
7.2. Effizienz der Konstruktion 151-154
7.3 Form und Trageffizienz 174-199
7.4. Technische Flexibilität 199-202

7.5. Brandschutz 198-199

7.6. Visualisierung 203-215

7.7 Ergebnis und Auswertung 216
Conclusio 217
8. Ausblick und Schlusswort 219

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1. Einführung in die Arbeit

1.1. Hintergrund und Motivation

Mit rund 40 % des weltweiten Ressourcenverbrauches, sowie einem Drittel der weltweiten Schadstoffemissionen, welche sich auf die Bauwirtschaft zurückführen lassen, kommen den bautechnischen Prozessen, von der Rohstoffgewinnung, über die Errichtung, bis zur materialgerechten Entsorgung von Bauwerken, eine erhebliche Rolle und damit auch eine enorme Hebelwirkung zur nachhaltigen Entwicklung unserer Umwelt zu. Aktuell, gewinnen auf Basis der hiermit verbundenen, ökologischen und gemeingesellschaftlichen Geisteshaltung, Forderungen nach dem sparsamen Umgang mit Materialien, sowie der Anspruch an Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz, immer mehr an Brisanz. Diese Forderungen, welche sich zuletzt auch in energiepolitischen Zielen und Rahmenplänen abbilden, machen den Handlungsbedarf für ein klimagerechtes Bauen, immer dringlicher. Architekten und Architektinnen, als zentrale Akteure und erste Impulsgeber, für das Planen und Bauen, sehen sich damit adressiert, mit intelligenten Ideen und Innovationen, diesen Forderungen im Sinne einer gemeinnützigen Verantwortung, gerechtzuwerden.

Aus Sicht eines Architekten, wird der Mensch als Bewohner und auch als Gestalter, und damit als „Protagonist", in das Zentrum seiner gebauten Umwelt gestellt. Dieser möchte einerseits ästhetisch ausgestaltete, sowie architektonisch spannende und auch funktionale Räume begehen und erleben. Der Mensch als Protagonist im Kulturgeschehen andererseits, stellt einen individuellen Bezug zu der gebauten Architektur, als Ergebnis einer historischen Entwicklung her, in der er sich selbst, auch in diesem geschichtlichen Kontext, eine bewusste Rolle zuschreibt. Die kulturellen Tatbestände, im Ausdruck eines möglichen Bauwerk-Stils, möchte er in der Architektur vermittelt sehen.

Entgegen einer normierten, rationalisierten „Baukultur", die als Folge von Gestaltungsmaximen, aus ökologischen Auflagen und Standard -isierungen entspringt, ist es ein Anliegen dieser Arbeit einen Weg zu finden, ein ressourcenschonendes Bauwerk zu entwerfen, das mit einer architekturbewussten Ausgestaltung einhergeht. Dieses fußt zunächst in einer Bauweise, welche trageffiziente Bauteile als Gestaltungseinheit, sowie deren materialgerechten Einsatz, zugrunde legt. Damit sollen Synergien zwischen der Architekturgestaltung und den zeitgerechten Erfordernissen, aus Paradigmen der Ökologie und der Nachhaltigkeit geschaffen werden. Der Hallenbau in Leichtbauweise, bietet mit vorgefertigten Teilelementen, für dieses Unterfangen, die notwendigen Freiheiten im Entwerfen und Kombinieren von räumlichen Strukturen auf. Mit offenen und „nutzungsweichen" Raumkonzepten, soll die Flexibilität und Adaptierbarkeit, sowie die Dauerhaftigkeit dieser Gestaltungsfreiheiten, einer tragenden Primärstruktur, demonstriert werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1. 2. Methodik

1. 2 .1. Analyse und Zielparameter

Ausgangspunkt der Fragestellungen, sind die diversen Nutzungs -anforderungen, welche zufolge sozialen, sowie zeit- und situations -bedingten Gegebenheiten und Parametern, an dauerhafte Funktions-bauwerke gestellt bzw. geknüpft werden. Ein akutes Entwurfsbeispiel, stellt die aktuelle Pandemie, mit einer entsprechenden Entwurfsaufgabe und einer möglichen Nachnutzung, dar.

Im einführenden **Teil 1** werden die Messgrößen zur Bewertung der energetischen und konstruktiven Effizienz, sowie die Zusammenhänge zwischen Ökologie und Nachhaltigkeit näher erläutert und diskutiert. Zum Gewinn eines übergeordneten, globalen Bildes im Sinne eines „Big Picture“ 's werden die Materialkreisläufe im Zusammenhang mit den Lebenszyklen, unter anderem auch in Beziehung zu den ökologischen und auch wirtschaftlichen Folgen gesetzt und dargelegt.

Einen Schwerpunkt stellt dabei die Lebensdauer von Baustoffen und Bauelementen, ganz im Sinne eines „cradle to cradle“ bzw. „cradle to end of life“ Ansatzes dar. Dieser geht aus den theoretischen Betrachtungen als Zielparameter, in sämtliche Gegenüberstellungen und Vergleiche ein.

1.2.2. Historischer Bezug und Referenzprojekte

Anschließend werden im Zuge eines pointierten, historischen Abrisses, die wesentlichsten Entstehungs- und Entwicklungsschritte im Skelettbau der jüngsten Neuzeit und der Zeit der Industrialisierung aufgegriffen und mit gegenwärtigen Innovationen und Entwicklungen, sowie mit dem heutigen Stand der Technik in Relation gesetzt.

In **Teil 3** werden mit aktuellen Projektbeispielen Hallenbauten, vorwiegend im europäischem Raum, analysiert. Der Fokus der Betrachtungen, liegt hier in der Materialwahl der Primärstrukturen, aus Sicht der funktionalen und ökologischen Eigenschaften, sowie auf das angewandte Bausystem und die damit resultierenden Spannweiten und Dimensionen der Tragbauteile, als auch auf die energetischen Werte der Herstellung, welche auf den gesamten Lebenszyklus projiziert werden.

In Anbetracht einer effektiven und nachhaltigen Nutzung der Strukturelemente, werden insbesondere die Qualitäten der Detail -konstruktionen und Verbindungen, vor allem nach den Prämissen des kraft- und formschlüssigen Anschlusses, sowie vor allem nach der Rückbaubarkeit, ermessen. Im allgemeinen wird die technische und gestalterische Architekturqualität, im Hinblick auf die räumliche und nutzungsmäßige Funktionalität durchleuchtet und der damit verbundenen Lebensdauer gegenübergestellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1.2.3. Entwurf

Im Entwurfsteil **Teil 4** werden zum Ziel der genannten Prämissen im Speziellen die Typologien des Hallenbaus, in Skelettbauweise untersucht. Erkundet und erläutert werden hierfür insbesondere die Flexibilität, sowie die Kombinations- und Konstruktionsmöglichkeiten, von vorgefertigten Bauelementen, einer tragenden Primärstruktur. Es werden hierfür die Entwurfsmöglichkeiten , eines flexiblen und adaptier- bzw. wiederverwendbaren Hallenbaus erschöpft, welche den dauerhaften und damit auch veränderlichen Nutzungsanforderungen gerecht werden können. Architektonisch werden dabei einerseits die Gestaltungsprinzipien, im Sinne von flexiblen und erweiterbaren Strukturen veranschaulicht, sowie deren Adaptierbarkeit für beispielhafte Nutzungsszenarien dargestellt und in einem Entwurf konkret ausgearbeitet.

Einen weiteren Schwerpunkt beim Entwurf, stellt die lokale Ressourcen -effizienz, bei der Wahl der Materialien, sowie die soziale Nachhaltigkeit, im Hinblick auf den städtebaulichen und regionalen Kontext dar, welcher in einer soziokulturellen Voranalyse erschlossen wird.

Die aus der Analyse gewonnenen Erkenntnisse, gehen inbesondere in Anbetracht der genannten Aspekte, als Qualitätsparameter und Kriterien in die konkrete Entwurfsaufgabe ein.

Es wird für das Stadterweiterungsgebiet Seestadt Aspern, am Bauplatz „Ariana“ (4800 m^2) , zufolge der fundierten Standortanalyse, der Entwurf einer Mehrzweckhalle ausgearbeitet.

Besonderes Augenmerk, liegt in der materialgerechten und standortökologischen Konzipierung, sowie in der langfristigen Nutzungsstrategie, angesichts dauerhafter und temporärer Nutzungs -anforderungen. Die Materialwahl und der Materialeinsatz erfolgt in diesem Zusammenhang, unter der Prämisse einer möglichst hohen Ressourceneffizienz, wodurch insbesondere die konstruktiven Eigenschaften der Bauteile, sowie die anschaffungstechnischen und logistischen Bedingungen näher ins Auge gefasst werden. Der Transport, sowie dessen Verschränkung und Optimierung mit dem Bauprozess, stellen hier einen weiteren, wichtigen Faktor, für die schlüssige und ineinandergreifende Realisierung des Projektes, dar.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1.2.4. Architekturstil und Funktion

Zum Zwecke von flexiblen Nutzungssituationen, wird die Architektur, dem Ergebnis einer kombinativen Formation, vorgefertigter Tragelemente und Ensembles aus dem Repertoire des Hallenbau-Typus hergeleitet. Mit der Adaptierbarkeit bzw. Erweiterbarkeit und Veränderbarkeit der Gesamtstruktur, werden zwei bis drei Nutzungsszenarien näher veranschaulicht.

Der Architektur-Stil, wird im Rahmen der technischen Möglichkeiten, durch zeitgenössische Elemente, sowie durch den historisch-kulturellen Kontext geprägten und der Region affinen Stilmitteln, bespielt und belebt. Damit wird die örtliche und städtebauliche Beschaffenheit reflektiert und auch im Sinne eines dauerhaften Charakters konzipiert. Eine Lebenszyklusanalyse mit vergleichbaren Referenzen, soll den Zusammenhang zwischen Architekturqualität und Nutzungsdauer, erkenntlich machen.

Der entstandene Entwurf, wird nach den vordefinierten Zielparametern untersucht und ausgewertet.

1.2.5. Sprache und Text

Der gesamte Text ist in deutscher Sprache verfasst. Fachbegriffe aus dem Architektur -Jargon - zumeist in englischer Sprache gebraucht - werden zum Zwecke des genauen Referenzierens nicht übersetzt, allerdings im Textfluss erläutert und interpretiert. Allgemein ungebräuchliche oder dem Leser möglicherweise unbekannte Bezeichnungen und Ausdrücke, werden durch Fußnoten ausgewiesen und am unteren Seitenrand erläutert.

Bezeichnungen und Namen, wie in etwa Personen oder Firmennamen, oder Bezeichnungen von Zertifizierungssystemen oder damit verbundene Klassifizierungen werden mit feinem Schriftstil gekenn -zeichnet. Direkt zitiert wird ebenfalls in feinem Stil mit dem zusätzlichen Beistellen von Anführungszeichen „..“. Besonders wichtige Begriffe werden in **mittelfett** und **fett** hervorgehoben.

Textstellen, in denen aus Gründen der Textformatierung und Textformulierung, lediglich das männliche Geschlecht gebraucht wird, sind als geschlechtsneutral aufzufassen.

Teil 1

Einleitende Problemstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2. The Big Picture

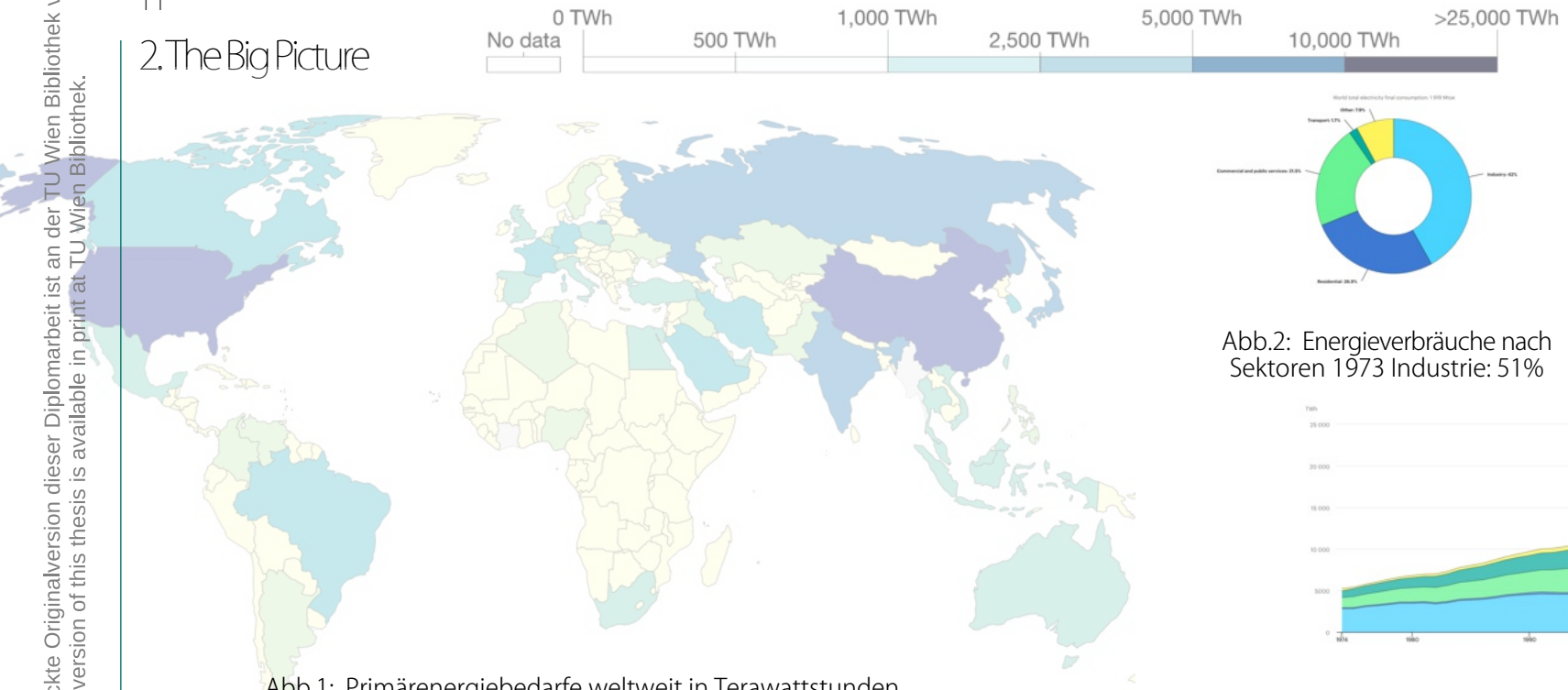


Abb.1: Primärenergiebedarfe weltweit in Terawattstunden (Our World in Data, 2019)

Abb.2: Energieverbräuche nach Sektoren 1973 Industrie: 51%

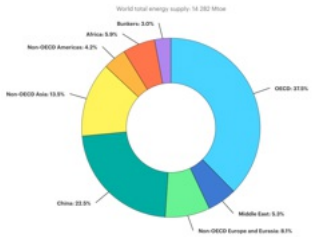


Abb.3: Energielieferanten nach Regionen 2019

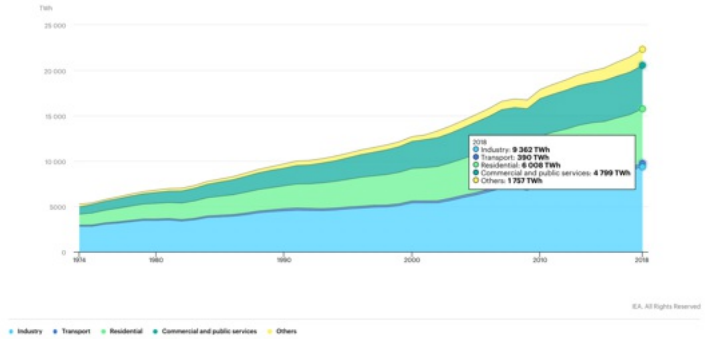


Abb.4: Entwicklung Energieverbräuche nach Branchen 1973-2018 Industrie: Hellblau (IEA, 2021)

Gegenwärtig sind der Bauindustrie weltweit **41,12 %** des Gesamtenergieenddverbrauches aus Strom (**37 %** aus Gas) geschuldet, wobei weiteren **26,92 %** den Verbräuchen in Haushalten zuzurechnen ist.(International Energy Agency, IEA, 2021). Obschon sich dieses Verhältnis zum Jahr 1973 (**Abb.2/4** - 51 %-Industrie) um ein Zehntel verringert hat, bleiben dem Bausektor, sowie den Energieverbräuchen aus den Haushalten, in der relativen Betrachtung, nach wie vor, ein erheblicher Wirkungsgrad auf die Gesamtsituation. Auch insbesondere dem Anteil des Gebäudebetriebes, welcher sich über die Haushaltsverbräuche abbildet, kommt dabei eine bedeutende Rolle zu, da sich mit optimierten Energieflüssen in Bauwerken über die Lebensdauer, eine elementare Stellschraube zur Eindämmung von Verbräuchen darstellt. Im weltweiten Vergleich der Primärenergiebedarfe, sind die großen Industrieökonomien China und die USA, dicht gefolgt von Russland federführend., wobei diese auch die größten Energieproduzenten bzw. Lieferanten markieren. (**Abb.3:** OECD-Mitgliedsstaaten 37,5 % : USA, Deutschland, Frankreich,.. gefolgt von China 22,5 %).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Aktuelle Trends

Mit der Verringerung von CO2-Emissionen, wie sie im Pariser Übereinkommen, welches an das von den Vereinten Nationen initiierte Kyoto Protokoll von 1997 anschließt, wird die Drosselung der Erderwärmung (**Abb.5**) mit konkreten Grenzwerten und daran geknüpften Zeithorizonten anvisiert. Als Ziel, sind dabei strategische Mitteln und Interventionen zur Förderung der Klimaresistenz, im Rahmen der landwirtschaftlichen Möglichkeiten, als auch im urbanen Handlungs -repertoire umzusetzen und dafür zugleich die Finanzmittelflüsse und Ressourcenströme im Sinne einer treibhausgasarmen und widerstands -fähigen Umwelt, in einen gedeihenden und wirksamen Einklang zu bringen. (UNFCC, 2015/FCCC, 2015).
Es gelingt eine korrelierende Hochrechnung, bei der die notwendigen CO2-Abminderungen, für zielgesetzte Grenzerwärmungen, eruiert werden können. So soll die Reduktion um 1,5° Celsius gegenüber des vorindustriellen Levels, welches mit der im Zuge der Verabschiedung des Pariser Abkommens, als ungenügend erachteten Zweigrad-Zieles, mit einem maximalen Ausstoß von 400 Mrd. Tonnen Kohlendioxid, zu einer Wahrscheinlichkeit von 50 % durch eine lineare Absenkung bis 2038 erreicht werden. (Rockström, Johan, 2017).

Mit dieser Grundlage, werden in diversen Strategieagenden (engl. **policies)** die Auswirkungen von emissionsvermindernden Maßnahmen, wie in etwa dem Einsatz von erneuerbaren Energieträgern prognostiziert. Dem **Stated Policies** Scenario, liegt ein **bottom-up** Ansatz zugrunde, anhand dessen, der detaillierte Informationsstand der aktuell etablierten Datenlage in Institutionen und statistischen Netzwerken, erhoben wird.

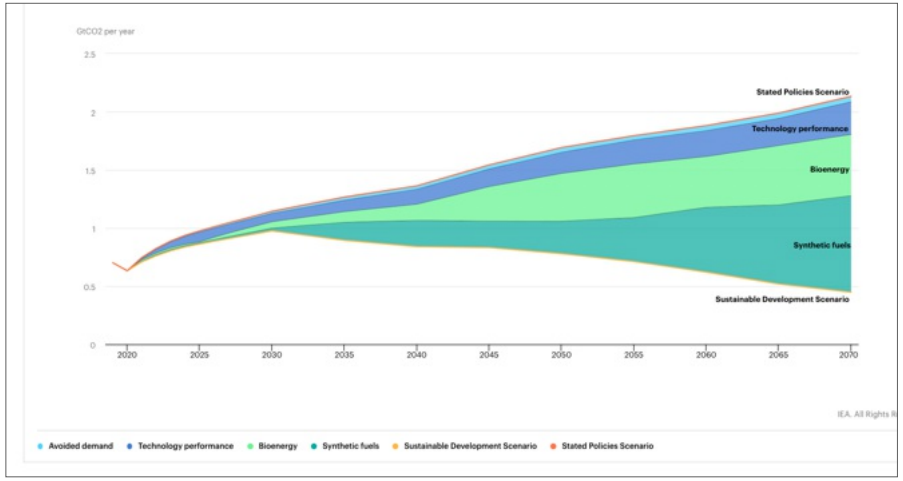


Abb.5: Entwicklung CO_2 Emissionen nach Branchen 1973-2018 (IEA, 2021)

So folgt mit der Schwierigkeit dieses Ansatzes, bei der Schaffung einer transparenten und einheitlichen Datengrundlage die deutliche Kluft, zwischen dem aktuellen Informationsstand zur Erreichung der Grenzziele und der hypothetischen Hochrechnung, welche über ein sog. **Sustainable Development Policy-Szenario** (IEA,2021) abgebildet wird. Die Prognose, welche kritisch betrachtet werden soll, gibt lediglich Aufschluss über die anteiligen, realistischen Einflussgrößen zur Verringerung der Erderwärmung einerseits, welche primär mit der Ressourcenschonung, durch die effektive Implementierung von erneuerbaren Energieträgern, oder den strukturellen Veränderungen (technology performance) einhergeht. Damit werden andererseits die Schadstoffemissionen reduziert, womit die jährlichen Erwärmungs -potenziale vermindert werden. (siehe **Abb.5**.)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Strukturelle Optimierung - technische Optimierung

Allgemein lässt sich eine jährliche Verringerung der Gesamtenergie -verbräuche weltweit (1,2-1,7 %), sowie eine Absenkung der CO2-Ausstöße verzeichnen.(**Abb.6**) Diese „Gewinne" sind nicht ausschließlich auf technologische Effizienzsteigerungen, bei der Energiegewinnung oder in etwa auf die Performanz beim Einsatz von Produkten, oder lediglich auf die rationalisierte und optimierte Konsumation zurückzuführen. Im Gebäudesektor kommen hierneben vor allem die **strukturellen Aufbesserungen**, wie in etwa die **Optimierung und adaptierende Modellierung der Transport- und Distributionsstrukturen,** sowie die Verringerung und Anpassung von Gebäudenutzflächen, erheblich zum Tragen. (siehe **Abb.7** u.**8:** IEA,2021)

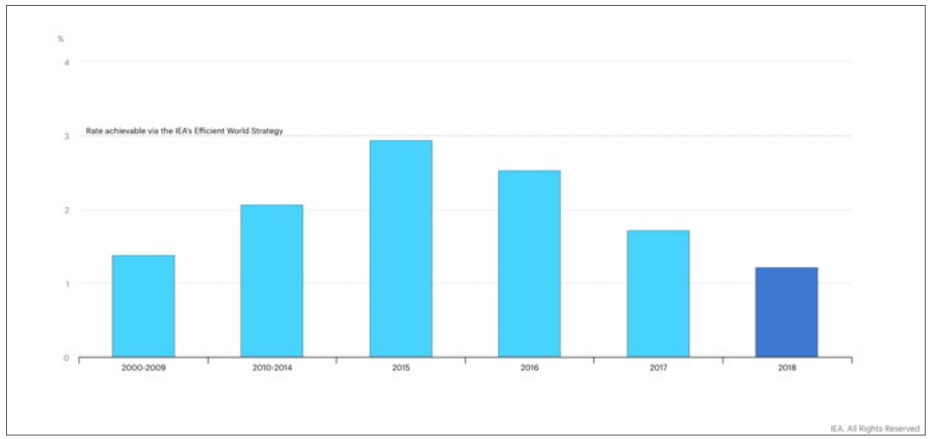


Abb.6: Entwicklung Gesamtenergieverbräuche nach 2000-2018 (IEA, 2021)

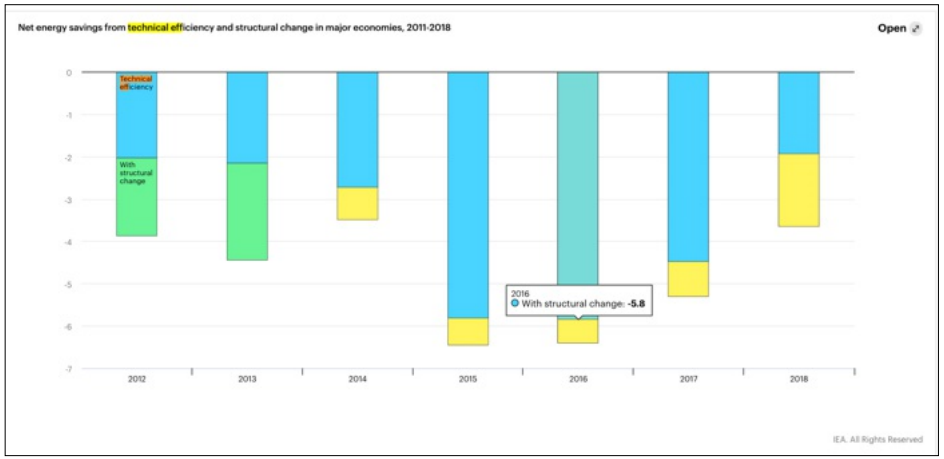


Abb.7: Treibhausgasemissionen strukturelle und technische Effizienzsteigerungen (IEA, 2021)

Mit den strukturellen Veränderungen, kam ab 2012 ein erheblicher Anstieg der Energieumsätze, welcher sich anteilsmäßig vorwiegend aus der Neuplanung der fordernden Modellierungs- und Strukturierungs-einsätze und Leistungen, in Betrieben zurückführen lässt. (**siehe Abb.8 Blau: strukturelle Veränderungen**). Zentral ist, dass mit den strukturellen Anpassungsprozessen, welche bis zum Jahr 2013 den eminenteren Anteil abzeichneten, zunächst die Gesamtverbräuche erheblich vermindert wurden, alsdann ab 2015 in einer deutlichen Senkung der **Energieverbräuche, also in einer Effizienzsteigerung,** als direkte Folge der hierzu angepassten technischen Prozesse (Energiegewinnung, Produktion, usw.) resultierten. (MM,2021 Vgl. IEA 2021)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Erneuerbare Energien

Mit den Energiegewinnungsprozessen aus fossilen Energieträgern, gehen bei der Umwandlung, aus der Primärenergie, Anteile für die Gewinnung und Verteilung bis zu den Enderträgen, des für den Verbraucher zur Verfügung gestellten Nutzenergie-Anteiles, verloren. Daher lässt sich über die jährliche Entwicklung, mit dem vermehrten Einsatz von **erneuerbaren Energieträgern,** wie **Bioenergie, Solar- oder Windenergie**, 2018 eine deutliche Steigerung der Energieerträge insgesamt, sowie eine immense Reduktion der Primärenergieverbräuche, feststellen. **(Abb. 9)**

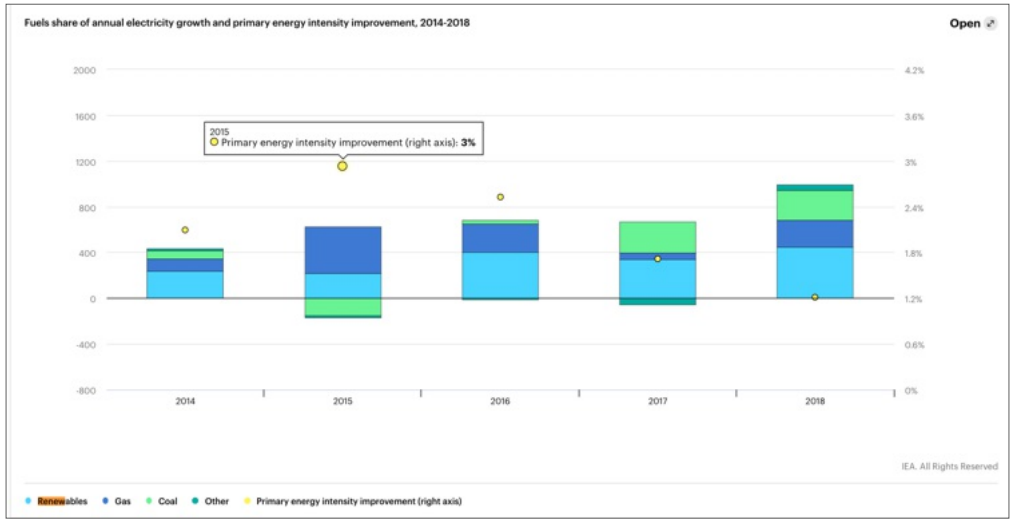


Abb.8: Effizienzsteigerung durch Kohle, Gas, Erneuerbare Energieträger 2014-2018 (IEA, 2021)

Effizienz: Ein definitorischer Ansatz

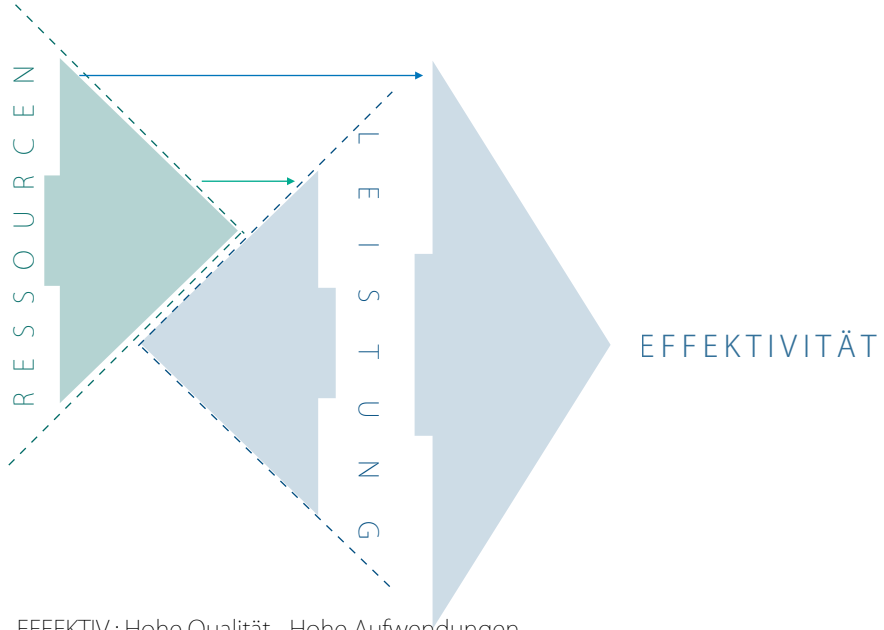
Unser Handeln ist auf grundmotivatorischer Ebene, stets von ideellem und konkretem Erfolgsstreben geprägt. Die Effektivität bildet hierauf beruhend, als Grundwert, ein Maß für die **Wirksamkeit** einer bestimmten Handlung, in Anbetracht eines Zieles oder eines Erfolges. Damit wird der höchstmöglichen Ertrag eines Verhaltens ermessen oder bestimmt, während zugleich die eingesetzten Mitteln zunächst außer Acht gelassen werden.

Die **Effizienz** welche in der **ISO 9000**[1] als „das Verhältnis zwischen dem erzielten Ergebnis und den eingesetzten Mitteln" deklariert ist, ist wie schon aus der Definition hervorgeht, ein **Verhältnismaß**, das den Eintrag der **eingesetzten Mitteln**, in Beziehung zu den damit erreichten **Wirkungen** setzt.

[1](EN ISO 9000, Qualitätsmanagementsysteme 2015, Vgl. Hegger et al., 2007)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Fig.1: Effizienz mit dem Primat der Verringerung eingesetzter Mitteln - dem entgegen steht der Ansatz: Effektivität, mit dem Vorrang der erreichten Leistungen. (MM, 2021)



EFFEKTIV : Hohe Qualität - Hohe Aufwendungen
EFFIZIENT: Mittelmäßige Qualität - Mindestmögliche Aufwendungen
SUFFIZIENT: Mindestmögliche QUALITÄT- Mindestmögliche AUFWENDUNGEN

SUFFIZIENZ - EFFIZIENZ - EFFEKTIVITÄT

Häufig fehlgedeutet, wird etwa in der strategischen Projektplanung, wie auch bei strukturellen Entscheidungen in Gebäudebetrieben, das **effiziente** Handeln, mit der **Minimierung der eingesetzten Ressourcen**, physischer und finanzieller Natur gleichgesetzt oder zumindest das Ufer der aufgewandten Mitteln, mit vorrangigem Stellenwert in den Fokus gestellt. Das erzielte Resultat, sei es baulicher oder betrieblicher Beschaffenheit, bewegt sich dabei oft an der grenzwertigen Erfüllung von qualitativen Minimalanforderungen. (Suffizienz[1] - **Fig. 1 / 1.1.**)
Wird hingegen der **Wirkungsgrad,** nämlich auf Seiten der Effektivität, nämlich als **qualitativer Schwerpunkt**, mit den daran geknüpften Ressourcen, tatsächlich in Beziehung gesetzt, so steigt naturgemäß auch das Verhältnis der erreichten Leistungsmerkmale, den ermessenen Aufwendungen gegenüber :

Höhere Qualitätsmerkmale einer baulichen Leistung, stellen gegenüber entsprechend hohen Aufwendungen, das **bessere Effizienzverhältnis** dar, als etwa geringere Qualitäten, gegenüber mittelmäßige Aufwendungen.

[1]von lat. „sufficere"-ausreichen, genügen. Die Suffizienz Strategie (als ökolog. Ansatz zB. nach Bauer S.,2008) bemüht einen möglichst geringen Ressourcenverbrauch, der ein Mindestmaß an geforderten Qualitätskriterien, genügen soll. Die Gefahr in der Architekturplanung, liegt etwa beim Verfolgen eines effizienten Ansatz, Einsparungen auf Kosten qualitativer Leistungsmerkmale zu erreichen, die allerdings aufwändige, also ineffiziente Folgemaßnahmen nach sich ziehen. (Siehe Kapitel 3)

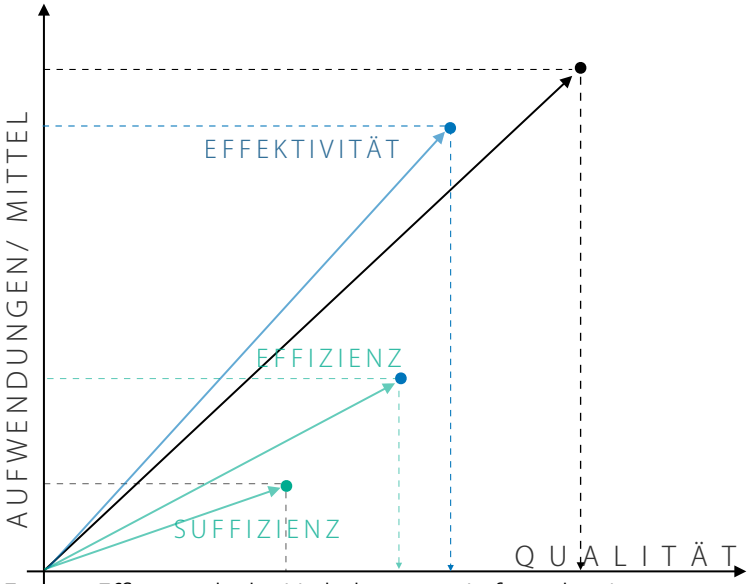


Fig.1.1 : Effizienz als das Verhältnis von Aufwand zu Leistung angelehnt an DIN EN ISO 9000 (Qualitätsmanagementsysteme, 2015/ MM, 2021)

Eine funktional, qualitative Architektur, die es schafft, die über die Lebensdauer erwarteten Nutzungsvariationen, eine flexible Strukturierung entgegenzubringen und zugleich mit den damit verbundenen adäquaten Qualitäten der konstruktiven Realisierung einhergeht, mündet in ein Bauwerk, dessen Einsatzmittel, mit den geschaffenen Qualitäten, in einem ertragreichen Verhältnis stehen. Die Qualitäten, welche sich hierbei verlohnen, reichen von der **technischen Lebensdauer** der **Primärstruktur**, sowie sämtlichen konstruktiven Gesichtspunkten, der energieoptimierten, bauphysikalischen Umsetzung, bis zur wirtschaftlichen Nutzungstauglichkeit und letztlich der **zerstörungsfreien Rückbaubarkeit** und **Wiederverwertbarkeit der Bauteile.**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2.1. Kernfragen

2.1.1. Nachhaltigkeit im Kontext: Stadt

„Der Umgang mit begrenzten Mitteln", rührt aus einer Tatsache, die der Begriff der Ökonomie, im eigentlichen Sinn der Bedeutung schon mit sich führt. Es erfordert auch nur ausschließlich das **limitierte** Vorhandensein von Ressourcen, ein „Wirtschaften" in diesem ursprünglichen Verständnis, welches uns auf grundmenschlicher Ebene schon vom „Haushalten" keineswegs fremd ist. Der Horizont des ökologischen Wertesystems, liegt grundsätzlich, ökonomisch-motivierten Entscheidungsansätzen, nicht nur bei Planungsaufgaben daher eigentlich sehr nahe. Was langfristig, eine wirtschaftliche Lösung abzeichnet, muss eine ökologische Qualität mit sich bringen, über die eine mögliche Anfangsinvestition, sich in der dauerhaften Betrachtung, rechnen soll. Wird mit der Wirtschaftlichkeit hingegen, das billigstmögliche Glück, in einer kurzzeitig betrachteten Dimension visiert, ist weder dem langfristigen, also dem nachhaltigen Effekt, einer Entscheidung gedient, - die aber im gebührenden Sinn der Ökonomie läge - noch werden damit ökologischen Betrachtungen genügend Rechnung getragen. Insofern ist es auch bei Planungsentscheidungen, eine Grundsatzfrage des Verhaltens, Axiome aus Ökologie und Nachhaltigkeit, hinreichend zu integrieren, wie es ja schon aus dem Umstand der Ressourcenbegrenztheit und mittlerweile auch Knappheit, konsequent zu verstehen und zu verinnerlichen wäre.

Im Zusammenhang mit nachhaltiger bzw. ressourcenschonender Architektur, lassen sich seit einigen Jahrzehnten, mit der Ausformulierung von klaren Messgrößen und Kennzahlen, die Indikatoren für ein ressourceneffizientes und nachhaltiges Bauwerk, zwar auf Gebäudeebene benennen, im Kontext des städtebaulichen Milieus, bleibt solch eine Klassifizierung allerdings eher noch unausgereift. (Vgl. El Khouli, 2014, S. 45 et al. und Kap.2.2.). Ein ressourcenschonendes Bauwerk, könnte mit einer „Reduktion" bzw. Optimierung, der eingesetzten Materialien zuerst, des Weiteren mit der resultierenden Reduktion der benötigten Herstellungs -energie (PEI) und insofern mit der Verringerung von Schadstoff -emissionen (GWP,AP, Erläutert im Kap.2.3.) gleichzusetzen sein. Dem entgegen stehen eine Reihe an sozioökologischen Anforderungen und Akzeptanzen, die zum einen die bauphysikalische Beschaffenheit eines Gebäudes inform gewünschter Behaglichkeitskriterien diktieren, zum anderen können stadttypologische Gegebenheiten, die Bauweise und die Gestaltung maßgeblich mitbestimmen. Daran knüpft, auf einer höheren Betrachtungsebene, ein komplexes Faktorengefüge, einer betroffenen Stadtstruktur, in der eine optimale Relation der Bebauungsdichte, gegenüber der Qualität des menschlichen und natürlichen Lebensraumes, zu erzielen ist. Hierin gehen, zum einen wesentliche Merkmale und Parameter der urbanen Komfortabilität, als Bestandteil sozialer Kriterien, zum anderen die potenzielle Situierung, einer schwer abzuschätzenden Entwicklung eines Stadtteiles oder Quartiers, als elementares Analysekriterium ein. In Abhängigkeit der Bevölkerungs -struktur, äußern zudem kulturell und sozial gewachsene Toleranzen und Wertevorstellungen, ein gewünschtes Stadtbild, das sich mitunter in Nutzerkriterien und Bedarfen ausdrückt und im Sinne einer gedeihenden, architektonischen Umsetzung zu berücksichtigen ist.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Der örtliche Kontext

Das Spezifikum eines bestimmten Standortes, stellt daher einen übergeordneten Betrachtungshorizont dar, der eine systematische und allgemeingültige Zementierung von ökologischen und nachhaltigen Indikatoren erschwert. Architektur ist eben nicht ortsbeliebig und unabhängig vom städtischen Kontext wiederholbar und daher nur bedingt mit technischen Produktionsprozessen, wie in etwa mit den beliebten Vergleichen aus der Fahrzeugindustrie angedeutet wird, zu bemessen. Es werden mit der Optimierung von Bauprodukten, die Ressourcenschonung, sowie die Umweltfreundlichkeit systematisch mit Produktdeklarationen (siehe 2.3.) angesteuert. Es bleibt dabei aber im spezifischen Entwurf problematisch, ein vordefiniertes „Optimum" im Sinne eines Produkts festzulegen, zumal die Kriterien hierfür, sich einerseits nicht von der Komplexität eines von funktionalen und technischen Dimensionen und Kausalbeziehungen, durchdrungenem Gesamtbauwerk, noch von der Komplexität der städtischen Randbedingungen und Wirkbeziehungen lösen lassen. Ein Produkt ist von einem konkreten Gebrauch geprägt und wird mit dem Stellenwert des Endgebrauches, optimiert bzw. verfeinert und durch Einzel -maßnahmen spezifiziert und damit auch zunehmend eingegrenzt. In einem kreativen Prozess, möchte der Entwerfende einer architektonisch -en Lösung natürlich , von „nachhaltig" konzipierten Bauprodukten und Elementen, welche mit dem exakten Funktionsziel, in einem strengen, möglicherweise auch seriellem Fertigungsprozess entstehen, im Rahmen des vorangestellten Gesamtentwurfes, Gebrauch machen. Individuell und einmalig bleibt dementgegen allerdings, das Unikat eines regionalen, oder örtlichen und zeitlichen Stadtcharakters, der mit der Architektur reflektiert und erwidert, oder gar angestoßen und verändert werden soll.

Ob und inwiefern letztlich die eingesetzten Materialien und Produkte als nachhaltig zu erachten wären, erschließt sich erst mit der Anknüpfung an den örtlichen Kontext. (vgl. El-Khouli, 2014, S.6 et al.)

Lebensdauer und Nutzung

Entscheidend wird in der Dimension der Lebensdauer überdies, in etwa im Falle eines öffentlichen Funktionsbauwerkes, wie flexibel - und nicht wie spezifiziert - die räumliche Konfiguration im Hinblick auf veränderliche Nutzungen, angelegt wurde. Entgegen des angesprochenen „Produktoptimums", das mit einer zugespitzten Gebrauchsfestlegung angesteuert wird, liegt es im Sinne eines nachhaltigen und vor allem nutzungsresilienten Gebäudes, bestimmt nicht, die räumlichen und nutzungsspezifischen Merkmale, allzu spezifisch zu charakterisieren.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

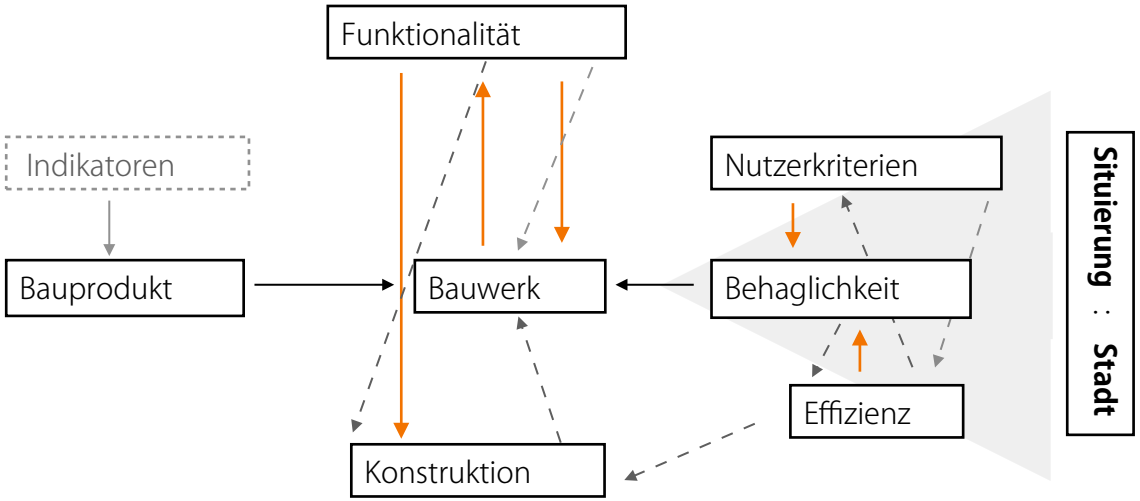


Fig.2 (MM,2021): Komplexität einer Nachhaltigkeitsbewertung : Vom Produkt zum Bauwerk, zur Situierung: Bauprodukt - Bauwerksbeziehungen - Anforderungsbeziehungen - übergreifende Beziehungen

Komplexität und Konnektivität

Was misslingt ist also der Versuch, von einem komplexen Gefüge (siehe Fig.2) an, einander bedingenden Eingangsparametern, zu einer einfachen und konkreten Lösung zu gelangen. Eine Bewertung, im Sinne einer „nachhaltigen" Architektur, muss ein zu planendes Gebäude in den Dimensionen seiner Funktionalität und Gestaltung, welche durch die Materialisierung und der konstruktiven Umsetzung sinnvoll erreicht wird, vollständig dechiffrieren und durchleuchten und mit den spezifischen Charakteristika der **örtlichen Anforderungen** in Beziehung setzen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2.2. Nachhaltigkeit: Dimensionen und Betrachtungen
2. 2.1. Dimensionen und Indikatoren

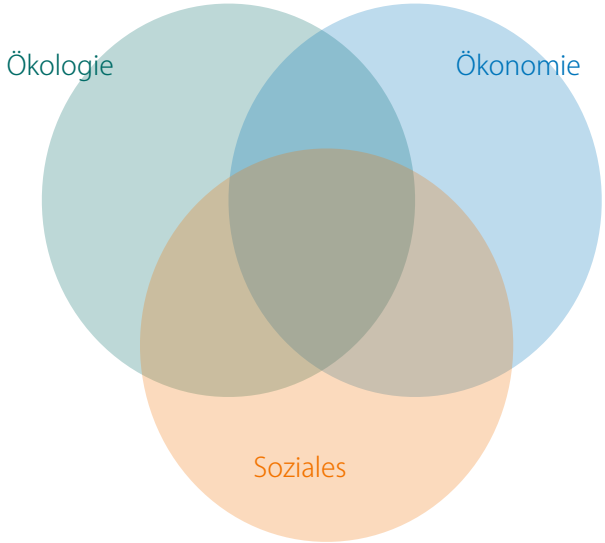


Fig.3 Dimensionen Nachhaltigkeit (Vgl. El-Khouli, S7. et al.)

Der Begriff Nachhaltigkeit fasst insofern drei übergeordnete Kategorien, die sich auf folgende Axiome, zugrundelegen lassen:

- protection of public health
- protection of ressources
- protection of ecosystems(Vgl. El-Khouli, 2014, 16)

Wie in Fig.3 abgebildet, ergeben sich auf einer weiteren Betrachtung die Messgrößen zu drei wesentlichen, kategorischen Dimensionen:

I. Ökologische Nachhaltigkeit und Indikatoren

- Ressourcenschonung bzw. Ressourceneffizienz

Sie ist eine Bemessungsgröße um den Eintrag einer Energieressource, in einen Baustoff, in ein Bauprodukt oder in ein Bauwerk zu quantifizieren. In der gängigen Methode wird der energetische Eintrag in Megajoule, als Primärenergiebedarf PEI pro Gewichts- oder Volumeneinheit, gesondert in Abhängigkeit vom verwendeten Energieträger (Erneuerbar und nicht erneuerbar: „Energiemix“) ausgegeben. Betrachtet werden hierbei die Phasen von der Rohstoffgewinnung bis zum Werktor. (cradle to gate; siehe Kap. 6. Ökobilanzierung)

- Konstruktive Effizienz

Diese betrachtet den Eintrag des bereits hergestellten Baustoffes, oder des Bauproduktes im Einsatz eines spezifischen Bauwerks, häufig auch einer Bauwerkstypologie. Es kann dabei das angewendete Baumaterial in kg pro Quadratmeter Baufläche, oder auch das gesamte Gewicht der Tragstruktur, der Bau- bzw. Nutzfläche gegenübergestellt werden. Sie ist hiermit auch eine ökonomische Größe, da mit dem steigenden Baugewicht, naturgemäß auch die Kosten proportional ansteigen. (Fig.4)

- Landnutzung

Dies sei auch eine wesentliche Größe, die maßgeblich zur Verringerung der natürlichen Böden und infolge zur Veränderung des städtischen und natürlichen Lebensraumes führt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

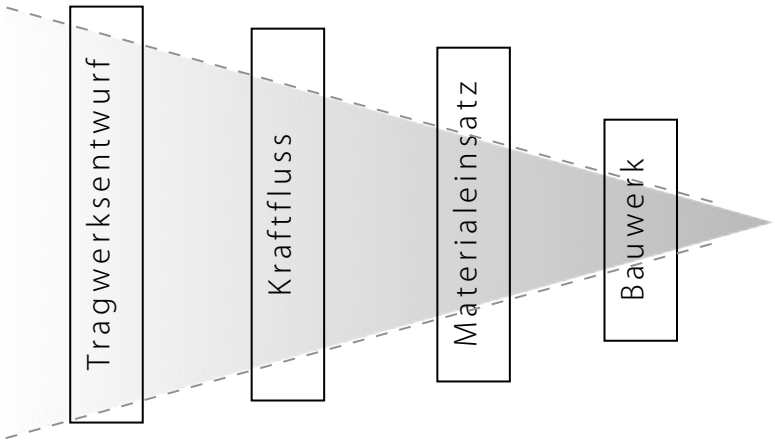


Fig. 4 (MM, 2021) : Konstruktive Effizienz ;Optimierung des eingesetzten Baumaterials über Kraftfluss im Tragwerksentwurf (Vgl. Hestermann-Rongen, 2018, 41)

- Umweltwirkungen und Emissionen (Vgl. El-Khouli, 2014, S.30 et al.)

  - **Global Warming Potential (GWP) - Treibhauspotential:** Mit diesem Indikator werden die „klimatischen Negativeffekte" als relativer Beitrag zur Erderwärmung ausgedrückt. Mit dem CO_2 -Äquivalent (CO_2 hat den niedrigsten Beitrag am Treibhauseffekt) wird die Wirkung von Treibhausgasen als Faktor der Referenzgröße von CO_2 angegeben. (Faktor 1 entspricht der Wirkung von 1 kg CO_2)

  - **Ozone Depletion Potential** (ODP): Dieser gibt den Beitrag zur Verdünnung und Zerstörung der Ozonischicht, ebenfalls als faktoriellen Wert einer Referenzgröße an.

  - **Acidification Potential (AP)** - Versauerungspotential: Dieses adressiert die Schädigung von Ökosystemen, durch die Versauerung von Erdreich und Grundwasser, welche zufolge diverser Luftschadstoffe wie z.B. SO_2 oder NO_x die bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstehen, zu Säuren umgewandelt werden und als saurer Regen, in Erdkörper eindringen. Angegeben wird auch dieser in Bezug zu einem Äquivalent.

  - Weitere Größen wären zudem das **Photochemische Ozon -bildungspotential (POCP) - photochemical oxidant formation** - der die Entstehung von Smog indiziert, welcher durch besonders aggressive Luftschadstoffe unter Sonneneinstrahlung in sehr bodennahen Höhen der Atmosphäre gebildet wird und das sog. Eutrophierungspotential (EP), welches die vom Menschen herbeige -führte, erhöhte Nährstoffanreicherung des Erdreiches, mit damit verbundenen nachteiligen, ökologischen Folgen beschreibt.

Ökologie

Die Ökologie als Wissenschaft, untersucht primär die Beziehungen und Interaktionen, zwischen lebenden und nichtlebenden Komponenten eines Lebensraumes. Auf Gebäudeebene werden zum einen die Konsumation von Energieressourcen, aus Primärenergieträgern wie Rohmaterialien, Wasser und Boden quantifiziert, welche für die Herstellung der Baukomponenten, bis zur Errichtung des Bauwerks notwendig sind, ermittelt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Darüber hinaus ist das Ziel ökologischer Betrachtungen, über die Lebensdauer, die Stoffflüsse des errichteten Bauwerks, in der Interaktion mit der gebauten Umwelt, im Hinblick auf die energetischen Wechselwirkungen, den Verbrauchen und Erträgen zu prognostizieren und zu bilanzieren. Zum anderen werden die Schadstoffe, die vom Gebäude emittieren, als auch die Abfälle, welche an die Umwelt abgeführt werden betrachtet. **(Abb.9)** (El-Khouli, 2014, 22, et al.)

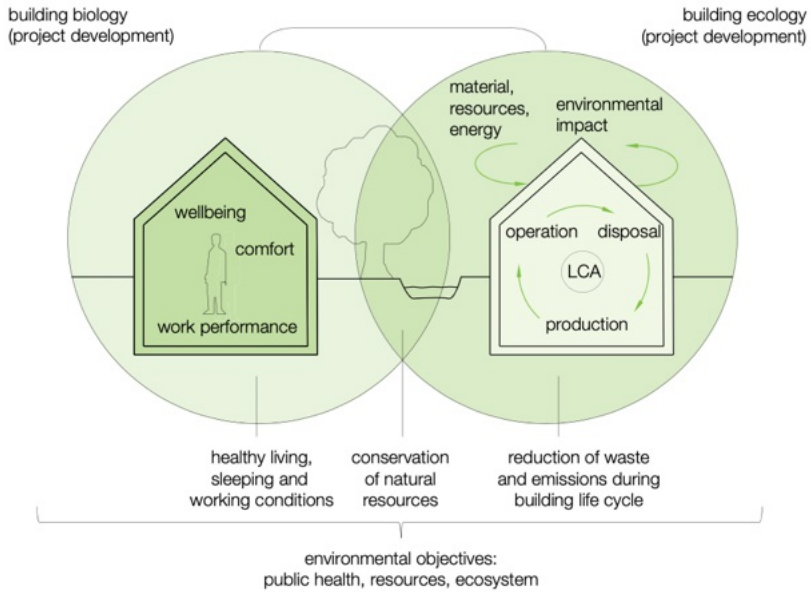


Abb. 9. Lebenszyklusanalyse nach den Aspekten : Anforderungen und Kriterien (links) und lokale Stoffflüsse und Umweltwirkungen (El-Khouli,2014, 17 et al.)

Systemgrenzen und Bewertungskategorien

Die erläuterten Indikatoren, welche in unterschiedlichen **Produkt -deklarations-Typen** (siehe 6.3.) ihre Anwendung finden, sind, bis auf wenige Ausnahmen wie zum Beispiel des **CED (Cumulative Energy Demand)** Deutsch: kumulativen Energiebedarfes, welcher den Energie -verzehr eines Bauproduktes für Herstellung, Nutzung und Entsorgung darlegen soll, zumeist auf die Herstellungsphase vom Rohmaterial bis zur Fertigstellung getrimmt. (El-Khouli, 2014, 29 et al.), (siehe Kap.6. Öko -bilanzierung) Bemühungen, wie aus den in 2011 publizierten, europäischen Normenwerks der DIN EN 15978[1], zielen darauf ab, die zugehörigen Produktphasen bzw. Systemgrenzen der zu bezeichnen -den Indikatoren, zu klar begrenzten Phasenkennungen (siehe 6.3.) zu assoziieren. (siehe 6.4. LCA) Zudem zeigen diverse **Zertifizierungssysteme** und Guidelines (siehe 6.3.) wie in etwa des britischen „breeam" oder des Schweizer „Minergie-Eco" (Beruht auf SIA 2032[2]) Bestrebungen die zur Anwendung kommenden Produktdeklarationen, auf die Mitein -beziehung der Lebenszyklen hin auszuweiten. (vgl. El-Khouli, 2014, 39 et al.) Geringfügig betrachtet lediglich der Bewertungskatalog der österreichischen Initiative des Bundesministerium für Klimaschutz und Umwelt klima : aktiv mit 150 von 1000 (15 %) zu vergebenden Punkten, den lokalen Kontext in der Kategorie „Standort" in der Aspekte wie Mikroklima, Mobilität und Infrastruktur als Qualitäten eingehen. Dem Deklarationsformular kann sind zwar die genannten Parameter entnehmen, die Beziehungen und Interaktionen zwischen Gebäude und der Stadt bzw. Umwelt, bleibt mit dem Punktesystem, nach diesem kategorischem Ansatz, kaum artikuliert.(Ögut; Schrattenecker, F.Trebut, 2021)

[1](Nachhaltigkeit von Bauwerken, DIN EN 15978 , 2011 - Dt. Fassung)

[2] (Schweizer Normenwerk: Graue Energie, SIA 2032, 2020)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Derartige Bestrebungen, rühren aus der primären Tatsache, dass die Baustoffqualitäten, (welche mit den Indikatoren abgebildet werden) einerseits, erst im konstruktiven und städtebaulichen bzw. natur -räumlichen Gesamtkontext, eines spezifischen Bauwerks, zu Tage treten, anderseits erst zufolge der Verknüpfung zur Gesamt -nutzungsdauer und der Entsorgung, zu einer umfassenden Bewertung und Klassifizierung, erwachsen können. Man unterscheidet im Zusammenhang ersterer, räumlicher Dimensionen in :

- **globalen,** (Primärenergiebedarf, Erderwärmungspotenzial GWP, (Versauerungspotenzial AP, Eutrophierung EP) und
- **regionalen** (Überdünnung EP, Versauerung AP, Bodennutzung)
- **lokalen** (Lärm, Smog, Energieverschwendung) Einflussgrößen. (El-Khouli, 2014, 34 et al.)

Zentral, bleiben aus dem Architekturkanon betrachtet, die Kausal- und Einflussbeziehungen, einerseits zwischen den räumlichen Dimensionen der ökologischen Größen zueinander, zB. (globales GWP zu lokalem Smog), andererseits die Beziehung, zwischen dem betrachteten Gebäude zu seiner Umwelt sowie die potenzielle Auf- oder Abwertung, zufolge der architektonischen Situierung. (siehe **Fig.4** unterhalb)

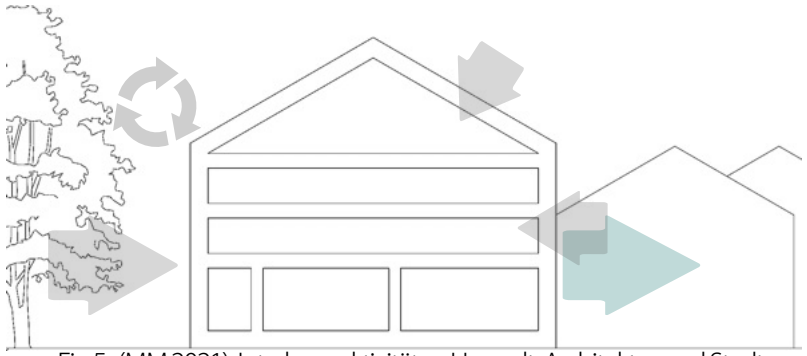


Fig.5 .:(MM,2021): Interkonnektivitäten Umwelt, Architektur und Stadt

II. Lebenszyklusbetrachtung

Die ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit, begutachtet die wirtschaftlichen Größen und Kennzahlen eines Produkts oder eines Projekts. Wie schon einführend erläutert, liegen langfristige, wirtschaftliche Vorteile eines betrachteten Bauproduktes oder gar einer Bauwerks -konstruktion, grundsätzlich (ungeachtet des Akteurs) auch im Sinne ökologischer Qualitäten, wie in etwa der Schonung von Ressourcen oder der Reduktion von Emissionen, die zB. mit der fachgerechten Optimierung und Dimensionierung von Funtkionsschichten in Bauteilen einhergehen kann.

Ein zentrales Instrument, nämlich die Lebenszyklusbetrachtung bzw. die Lebenszyklusanalyse, bleibt hierbei für eine kostenmäßige Evaluierung, in Bezug auf ein Bauprojekt, unerlässlich. Eine finanzielle Entscheidung, im Hinblick auf die Qualität eines eingesetzten Bauproduktes, oder der Gesamtkonstruktion im betrachteten Bauwerk, kann nämlich nur über die langfristige Betrachtung, mittels einer angesetzten Lebensdauer (cradle to grave), erwogen werden. Erst über die Gegenrechnung von anfänglichen Anschaffungskosten, gegenüber damit verbundenen Instandsetzungs - und -haltungsmaßnahmen, bis zum „End of Life" des betroffenen Bauwerks, wird die Wirtschaftlichkeit der gewählten Bauprodukte erkennbar.(siehe3.1) Die ökologische, sowie die funktionale und technische Beschaffenheit der Bauwerkskonstruktion, kann sich dabei häufig nur über einen längeren Zeitraum als rentabel erweisen.

Aus der Sicht, in etwa eines Projektentwicklers, kann die funktionale Qualität, eingesetzter Baumaterialien und Bauteilen, mit einer dauerhaften Werterhaltung des Bauwerks im allgemeinen verbunden sein, woraus ein ökonomisch - motivierter Anreiz , in eine qualitätsvolle Ausführung münden kann.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

„The are no sustainable materials per se. The issue is more about providing a consistent material concept in which construction materials have a far reaching and sustainable effect. The optimisation strategy can vary according to the type of use." (El-Khouli, 2014, S.15; et al.)

III. Bauakteure

Entscheidend werden nach diesen Gesichtspunkten allerdings die Betrachtungsgrenzen (siehe Systemgrenzen in 2.4.2) der Bauakteure. Ein Liegenschaftsbetreuer, der auf Seiten eines Bauherren, oder eines Investors agiert, wird mit dem Paradigma der Wertschöpfung, noch am ehesten, die langfristigen Auswirkungen, bei Qualitäts-Entscheidungen, inform einer Gewinnabschätzung aus Verkauf oder Vermietung bzw. einer Bilanzierung vorabsehen wollen. Kurzfristig wird es beispielsweise im Falle eines Bauunternehmens oder ähnlichen Akteuren, aus der Sphäre eines Auftragnehmers: Die Qualität von hochwertigen Bauprodukten sowie eine qualitätsvolle Ausführung (im Sinne einer optimierten Lebensdauer) welche von Seiten der Unternehmer häufig nicht tragbar sind, werden im Bauprozess, fernab von der Errichtung und der funktionalen Erfüllung der bedungenen Beauftragung, von untergeordneter Bedeutung. **(siehe Abb.10 und 10.1)**

Ein Produktentwickler andererseits, möchte ein ressourcenschonendes und umweltfreundliches Produkt generieren, dessen ökologische Qualität, über die genannten Indikatoren ablesbar sind. Im Kontext eines Bauwerks, resultiert die Performanz dieses Bauproduktes letztlich nur in Abhängigkeit dessen Situierung in der Gesamtkonstruktion.

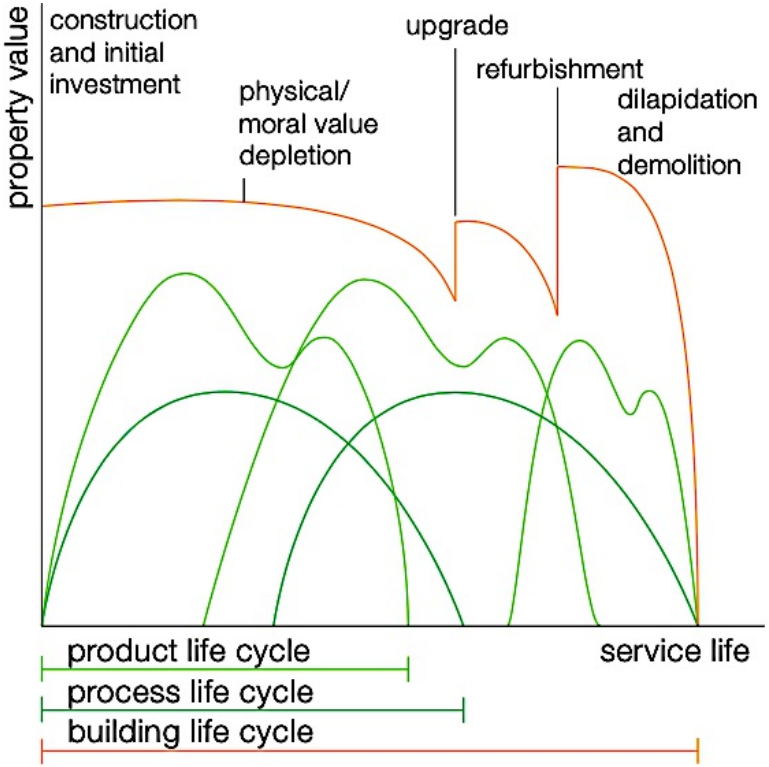


Abb.10 (El-Khouli, 2014,S.45): Produktlebenszyklus, Prozesslebenszyklus, Gebäudelebenszyklus

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Es kann daher nur schlüssig sein, das bauliche Bestreben gen Nachhaltigkeit und die damit verbundenen Qualitäten, über bauexterne Organe und Akteure, wie es zum Beispiel von Seiten Normenverbänden und Institutionen geschieht, sicherzustellen. Intelligent ist es ferner, die technischen und konstruktiven Eigenschaften und Merkmale, nachhaltiger Gebäudekonzipierungen, weiterhin in Form von Förderungen, an gewinngebundene Anreize zu knüpfen, zumal das Baumetier mit den wirtschaftlichen Ressourcen und Entwicklungen, steht und fällt.

Die Betrachtungshorizonte, im Hinblick auf die Lebensdauer, sind daher mit den tatsächlichen und praktischen Gegebenheiten, stark von den Sphären, der im Bauwesen involvierten Akteure, durchdrungen. (Siehe Fig. 3.1.)

III. Soziale Nachhaltigkeit

Wie schon in 2.1.1. umschrieben, fallen in diese Dimension, alle Anforderungen sozialen Charakters wie in etwa: kulturelle Werte, Sicherheits- und Behaglichkeitstoleranzen, ein gewünschtes Stadtbild, sowie Nutzungsanforderungen und Forderungen in Hinblick auf Mobilität und Aufenthaltsmöglichkeiten und alle mit dem sozialen und städtebaulichen Wechselspiel zusammenhängende Aspekte. Auch soziale Aspekte, können mit geforderten Nutzungsqualitäten oder aber auch in Hinsicht auf eine **stilistische Prägung**, die mit stadttypischen **Erinnerungswerten** verflochten ist, eine relevante Einflussgröße für die architektonische Werterhaltung und der damit verbundenen Lebens- und Nutzungsdauer darstellen.

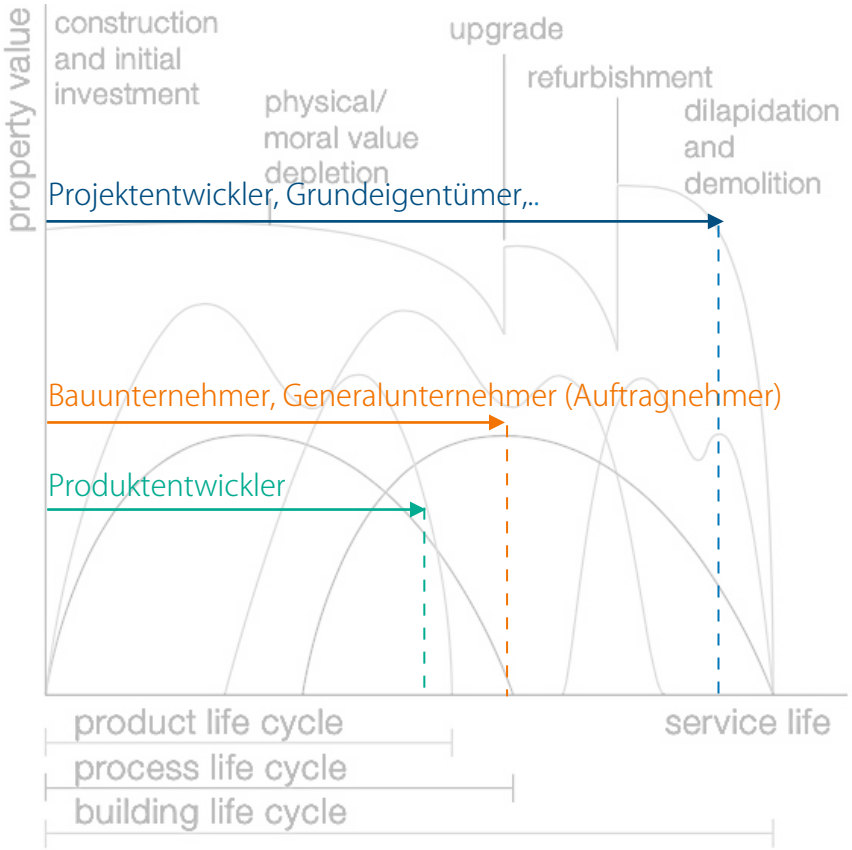
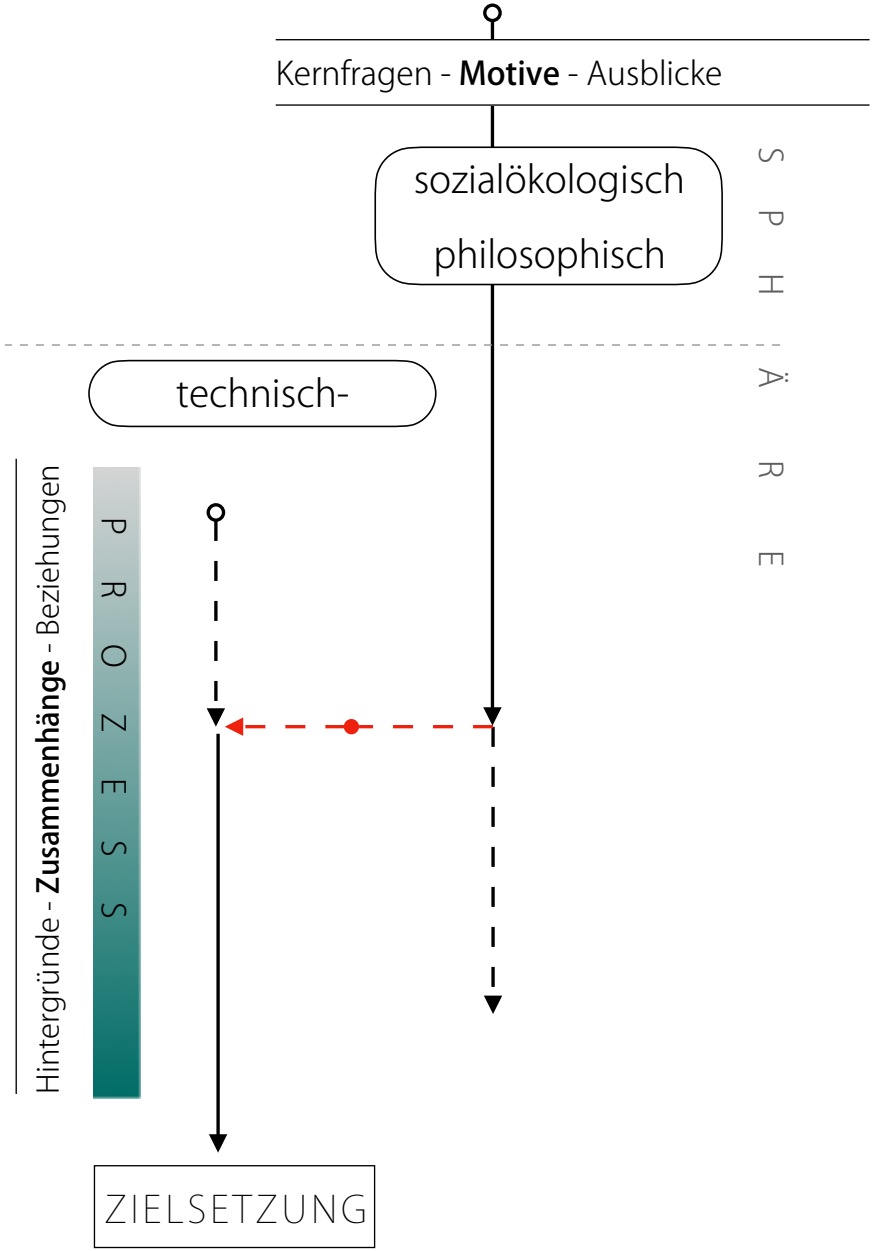


Abb. 10.1 (El-Khouli, 2014,S.45 und MM, 2021): Der Betrachtungshorizont eines Liegenschaftseigentümers (oben), eines Auftragnehmers (Mitte) und eines Produktentwicklers (unten)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Weitere Betrachtungssphären

Eine weitere Domäne der Betrachtung, formulieren die unterschied -lichen Fachdisziplinen in der Planung, bis zur baulichen Ausführung sowie dem Betrieb und die damit korrelierten Wertemaxime und Blickperspektiven. Die Diskussion um die Notwendigkeit von nachhaltigen Strategien und Praktiken, fußt eigentlich in einer zutiefst sozial fundierten Grundmotivation, deren Triebfeder aus einer philosophisch verankerten, grundkritischen Elementarhaltung, gegen die ressourcenraubenden Mechanismen des zentralisierten Industrie -wachstums und der zunehmen Urbanisierung, sowie die damit entstehenden ökologischen Folgen, erwächst. Diskutiert wird allerdings, tendenziell mit technisch-rationalen Erklärungsansätzen, welche zwar die technischen Prozesse und dahinterstehenden Zusammenhänge der Ressourcenkreisläufe stringent verstehen und durchleuchten, allerdings den Nährboden der zugrundeliegenden Kernfragen, den fundamentalen Fragen nach dem „Warum?" nicht hinreichend erschließen. (Fig.6) Mit der Komplexität und des häufig irrationalen, menschlichen Verhaltens in Bezug auf den Erhalt seiner Umwelt, fehlen damit häufig die systemischen Konzeptions-Ansätze, welche die menschlichen Grundwerte und „Quell-Motive" (zB. für das bedachte Umgehen mit Ressourcen) im Kern zu verstehen geben und zugleich die fachliche Materie kritisch und ergründend erfassen, inspirieren und plausibilisieren können. Hilfreich ist es also, die motivatorischen Hintergründe mit den technischen Mechanismen zum Beispiel im Prozess der Architekturplanung oder des Entwerfens, sinnvoll zu verknüpfen. (Vgl. Hegger, 2007, 19)



re: Fig.6: (MM,2021 vgl. Hegger 2007, 19) Sphären der Betrachtung nach Fachansätzen : Technisch rationale Ansätze durchleuchten den Prozess, nicht aber die sozialen und moralischen Hintergründe

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2. 3. Parameter

2.3.1. Externe Anforderungen - Interne Qualitäten

Die Parameter lassen sich zur Übersicht ferner in (nach innen gerichtete), **externe Anforderungen** , aus Nutzerkriterien und den damit bedingten (nach außen gerichteten) **internen Qualitäten** des Bauwerks auftrennen. **(FIg.7)**

Als **Funktions-Parameter** gehen auf der Ebene eines zu errichtenden Bauwerks :

- die **architektonische Funktionalität** und **Gestaltung** und deren technische und konstruktive Umsetzung
- die **Ressourceneffizienz** der eingesetzten Materialien und Bauprodukte in Abhängigkeit der Bauweise
- die **Stoff- und Energieflüsse** der Baukomponenten zwischen dem errichteten Bauwerk und der lokalen Umwelt
- die **konstruktive Effizienz** in Abhängigkeit der tragenden Struktur und Bauweise
- Die **emittierenden Schadstoffe**, für die Produktion der Bauteile sowie Abfälle die vom Gebäude an die lokale Umwelt abgeführt werden

Als externe, von der lokalen Umwelt an das Gebäude gehende **Ziel-Parameter:**

- die **bauphysikalischen Anforderungen** aus den Behaglichkeits -kriterien und den lokalen Toleranzen und Akzeptanzen
- die **städtebaulichen Randbedingungen**, welche in die Bautypologie und Bebauungsdichte eingehen
- **Infrastruktur, Anbindung** und **Transportwege**
- sowie die **Qualität** des **naturräumlichen Lebensraumes** der sich im urbanen Ökosystem, als Biodiversität der Flora und Fauna äußert (vgl. Hegger , 2007, S.64 et al.)

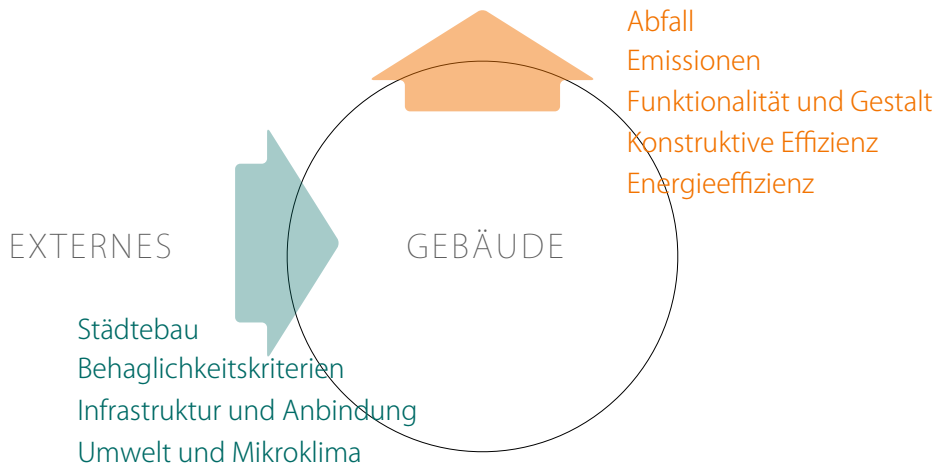


Fig.7 (MM,2021): Anforderungen und Qualitäten

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

In dieser Systematik kann die Architektur, respektive die Architektur -planung, welche ein gesetztes Maß an nachhaltigen Eigenschaften, über die vordefinierten Zielparameter, aus den genannten Anforderungen und Kriterien adressiert, als **strategische** und **regulierende Schnittstelle** verstanden werden.

Sie fungiert hierbei als **Katalysator**, mit dem die Fülle an Möglichkeiten von Seiten der Eingangsparameter, im Sinne der vordefinierten, **ökologischen Ziele**, anhand den damit abzuleitenden, kohärenten Funktionsbauteilen, kanalisiert und mit dem Primärziel eines nachhaltigen Entwurfes angesteuert werden. **(Fig.8 und 9)**

Der Entwurf, welcher aus der Architektursphäre tendenziell, mit dem Primat der Gestaltung verfolgt wird, soll damit die räumlichen sowie räumlich-ästhetischen, als auch die funktional-ästhetische Gliederung und Durchbildung eines Bauwerks, mit den **ökologischen Zielen**, in einen **wechselwirkenden Einklang** bringen.

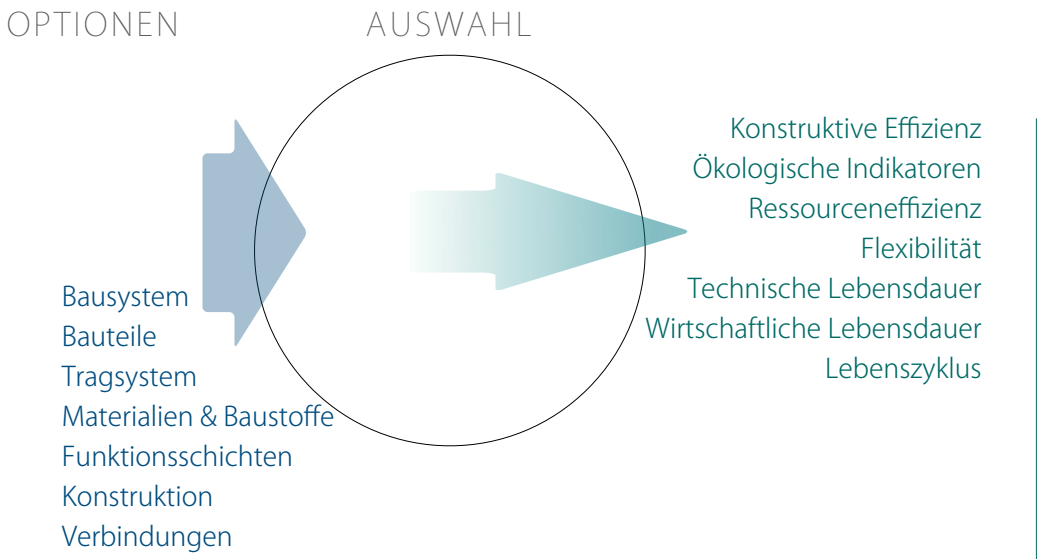
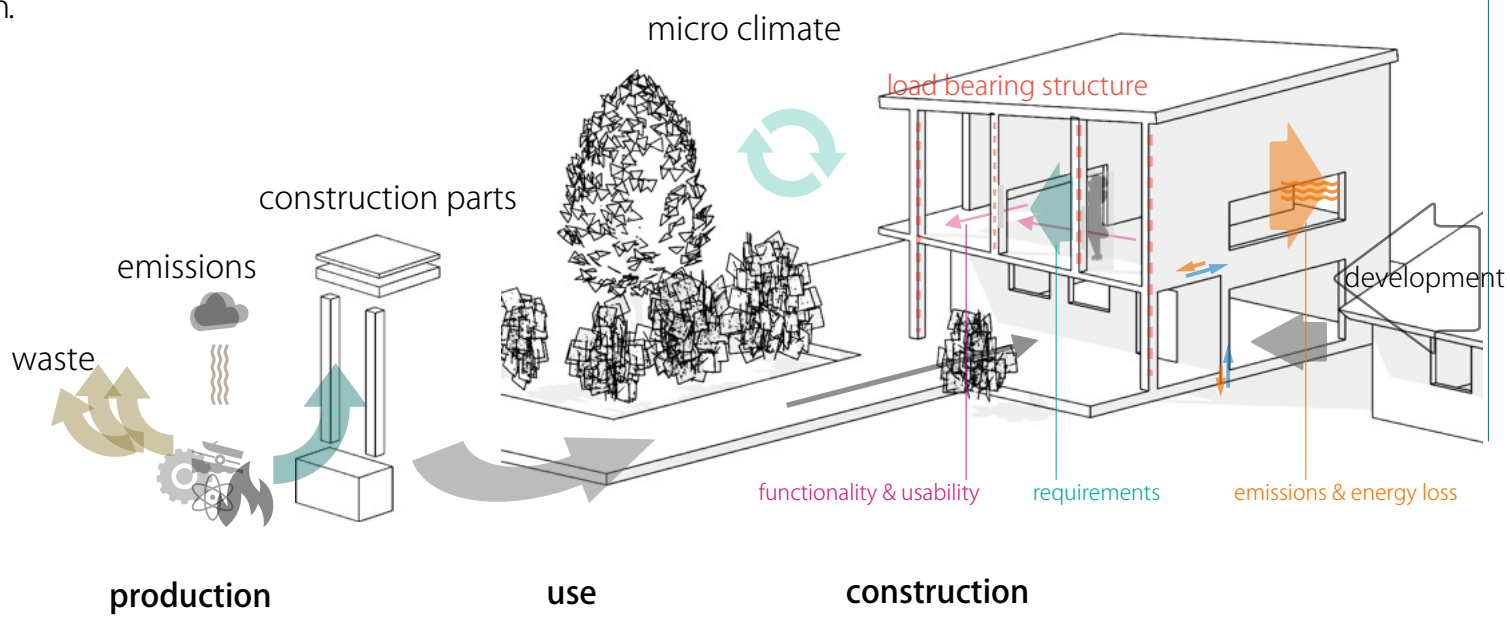


Fig. 8 o./9 u. (MM,2021): Architekturlpanung als Katalysator für den Entwurf nachhaltiger Architektur



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.4. Ökobilanzierung

2.4.1. Rahmen und Zieldefinition

Die oberste Maxime einer Ökobilanzierung, richtet sich an das Ziel, die Umweltwirkungen, die mit der Gewinnung, Herstellung, sowie Verwendung und Entsorgung eines Bauproduktes verbundenen Umweltwirkungen, welche über die gesamte Lebensdauer entstehen, an dessen Nutzen im Einsatz zu ermessen bzw. gegenüberzustellen. Sie beruht daher grundsätzlich auf einer Nutzen-Schaden Evaluierung, anhand derer, idealerweise eine möglichst akkurate Aussage, über die „Leistung" eines Bauproduktes, gegenüber dessen Schäden, getroffen werden soll.

Die Phasen Bauproduktes (wie in **Abb. 12**) lassen sich grundlegend auf folgende Zeitkategorien aufspalten:

- **Rohstoffgewinnung** (A1)
- **Herstellung bzw. Produktion** (A2-A3)
- Transport, Einsatz und Betrieb (A4-B7)
- Rückbau Entsorgung und Wiederverwertung (C1-C4)

Die Definition der Ökobilanzierung ist in der DIN ISO 14040[4] wie folgt verankert:

„Die Ökobilanz ist die Zusammenstellung und Beurteilung der **Input** und **Outputflüsse** und der potentiellen **Umweltwirkungen** eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs."

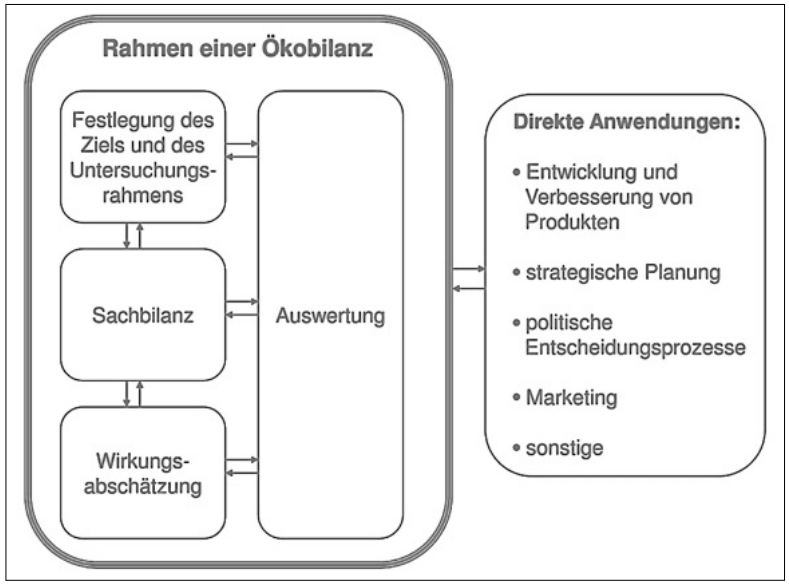


Abb.11: Rahmen und Stufen einer Ökobilanz
Guttenbrunner R., 2015, S.17 et al.

Mit jeder Ökobilanzierung, wird daher zuallererst das Untersuchungsziel, sowie die Hintergrundmotive und Anwendungsbereiche definiert, als auch der **Untersuchungsrahmen** zugrundegelegt, auf dessen Basis, die zu betrachtenden, relevanten Produktphasen, genau eingegrenzt werden. Anhand von Input- und Output-Werten, aus den betroffenen Phasen, wird die Sachbilanz ermittelt, aus der dann eine entsprechende **Wirkungsabschätzung** hergeleitet bzw. erörtert wird. Anhand **Systemgrenzen**, werden die Anforderungen und Kriterien für das betrachtete „System" in etwa eines Bauwerks, oder eines Bauteils konkretisiert, mit denen die erörterten Informationen und Daten in einem letzten Schritt, gemäß dem damit geschaffenen Rahmen und Kontext interpretiert und ausgewertet werden. **(Abb.11)**

[4](Ökobilanz, DIN EN ISO 14040, 2011-9)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.4.2. Produktphasen und Sachbilanzen

Sind der gewählte Betrachtungsrahmen und damit die Produktphasen definiert, werden die Sachbilanzen, welche sich aus den ökologischen Indikatoren und sämtlichen, als relevant erachteten Einflussgrößen zusammenstellen, in Input und Outputparameter gegliedert. Verpflichtend sind nach der **DIN EN 15804**[5] lediglich die Phasen von der Rohstoffgewinnung bis zum Werktor (cradle to gate). **(Abb.12)**

Auf Seiten des **Inputs** sind etwa folgende Größen heranzunehmen:

- die eingesetzten Ressourcen und Energieträger für Herstellung und Transport, eventuell Verbau (cradle to gate)
- das eingesetzte Volumen des Baustoffes

[5](Nachhaltigkeit von Bauwerken- Umweltproduktdeklarationen- 2019

Auf Seiten der **Outputs**:

- Abfälle
- Emissionen in Luft und Wasser (SO2, CO2, NOx, Staub, usw.)
- Emissionen in Boden (diffuse Emissionen usw.)

Die Sachbilanzen der Herstellungsphase, können aufgrund der kontrollierbaren, betrieblichen Rahmenbedingungen, genauer eruiert werden, wohingegen, je weiter, vom Herstellungsprozess entfernt betrachtet wird, die Erhebung der Daten umso schwieriger und unschärfer wird. **Eine Produktdeklaration, welche sich auf die Phasen der Produktion „A1-A3" eingrenzt, liefert aufgrund der Datenlage daher die genaueren Informationen über ein Bauprodukt.**

Abb.12: Lebenszyklusmodell nach DIN 15978 (Tabelle: Hafner, Ott, Winter, 2012)

CRADLE TO GATE (verpflichtend lt. DIN EN

CRADLE TO GRAVE - END OF LIFE

Information for the life cycle of a building																		Supplementary information beyond the building life cycle
Life cycle stage	**Product**			**Construction process**		**Use**							**End-of-life**					**Benefits and loads**
Scenario	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**		**D**
Type of EPD	Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport to construction site	Construction-installation process	Installed product in use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction/demolition	Transport	Waste processing	Disposal		Reuse, recycling and recovery potential
EPD from cradle to gate – declared unit	■	■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	no RSL[3]	–
EPD from cradle to gate with added options – declared/ functional unit	■	■	■	□ 1) 2)	□ 1) 2)	□ 1) 2)	□ 1) 2)	□ 1) 2)	□ 1) 2)	□ 1) 2)	□ 1) 2)	□ 1) 2)	□ 1)	□ 1)	□ 1)	□ 1)	RSL 2) 3)	□
EPD from cradle to grave – functional unit	■	■	■	■ 1) 2)	■ 1) 2)	■ 1) 2)	■ 1) 2)	■ 1) 2)	■ 1) 2)	■ 1) 2)	■ 1) 2)	■ 1) 2)	■ 1)	■ 1)	■ 1)	■ 1)	RSL 2) 3)	□

■ mandatory □ optional [1] consideration dependent on declared scenario [2] if all scenarios are included
[3] RSL = Reference Service Life: duration of use which is assumed for a building product under certain conditions (e.g. standard conditions)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2.4.3. Umweltproduktdeklarationen

Eine Umweltproduktdeklaration ist eine Qualitätsurkunde, welche von Seiten eines Herstellers oder externen Institutionen erstellt wird, um den für ein Bauprodukt notwendigen Energie und Ressourceneinsatz, sowie dessen Beitrag zu den ökologischen Umweltwirkungen wie : Treibhauseffekt, Überdüngung, Zerstörung der Ozonschicht usw. lesbar zu machen. Sie dienen also der klaren Kommunikation von ökologischen und nachhaltigen Eigenschaften und Größen eines Produkts.

Sie beruhen auf Grundlage des Normenwerkes der ISO 14020[6], aus der grundsätzlich drei Unterscheidungen hervorgehen:

- **Typ I Deklaration:** Umweltzeichen / - labels

Das sind sog. Umweltzeichen mit denen eine besondere ökologische Qualität zugesichert wird, mit denen der private und gewerbliche Verbraucher einen deutliches Vorzugskriterium darstellen soll. Die Deklaration werden zudem durch Dritte, also externe Stellen verifiziert

- **Typ II Deklaration** : Die Selbstdeklaration

Diese sind vom Hersteller eigens erstellte, freiwillige Deklarationen die in seiner alleinigen Verantwortung liegen

- **Typ III Deklaration: EPD (Environmental Product Declaration)**

Dieser **Deklarationstyp**, liefert umfangreiche, qualitative und quantitative Informationen und Daten zu der gesamten Lebensdauer eines Bauproduktes, welche auf umfassende Ökobilanzierungen basieren und sich an an alle Akteure der Lieferkette: Hersteller, Gewerbe, Handel und Endverbraucher wenden. Alle Informationen werden hierbei ebenso von öffentlich anerkannten Expertenstellen verifiziert.

Damit sind **Typ III Deklarationen** oder EPDs als zuverlässigstes **Kommunikationsmittel** in den Sphären der Bauprodukte gebräuchlich. Vor dem Hintergrund einer fundierten, normbasierten Ökobilanzierung, geben die ausgewiesenen Daten und Informationen einen realistischen Aufschluss über den **ökologischen Fußabdruck.**

Zentral für die Objektivierung der **EPDs** sind die Ablaufmechanismen bei der Erstellung, in denen einerseits die Produktkategorieregeln von einer externen Prüfstelle (in Deutschland zB.: IBU Institut für Bauen und Umwelt) im Vorfeld festgestellt und auch ein dritten Verifizierer zugewiesen wird.

[6] (, ISO 14020 , Umweltkennzeichen und -deklarationen, 2002)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2.4.4. Gebäudezertifizierungen

Wie schon in der Einleitung erläutert, kommt mit der Zertifizierung eines Gesamtbauwerks, der Kontext der städtebaulichen Randbedingungen und der Situierung, ein erheblicher Stellenwert zu. Es sind daher für eine sachgerechte Bewertung folgende Grundsätze unbedingt voranzustellen:

- Anpassung an den Standort
- Einbettung in das regionale System (Normenwerke, Richtlinien, Kennwerte)
- Individuelle Zielsetzung

Um eine möglichst umfassende Aussage über den Gesamtkontext der in einem Gebäude zur Anwendung kommenden Produkte tätigen zu können, wird ein breiteres Betrachtungsspektrum, das möglichst alle Phasen des Lebenszyklus von Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung angestrebt. Mit der Unschärfe der Datengrundlage, die mit dem zunehmenden Betrachtungshorizont ansteigt, wird die **Qualität** der Informationen, welche mit der Eingrenzung zB. auf einen „cradle to gate" Ansatz einhergeht, erwogen und häufig priorisiert.

[1](Nachhaltigkeit von Bauwerken, 2011)

Weitere Grundsätze stellen also dar:

- Der **Betrachtungshorizont** am Lebenszyklus (Phasen)
- Die **Genauigkeit** und **Aussagekraft** der erhobenen Daten

Die individuelle Zielsetzung einer Bilanzierung, stellt die Grundlage und das oberste Paradigma, für die Schwerpunktsetzungen, als auch den damit kohärent zusammenhängenden, Bewertungskriterien dar. Mit der konkretisierten Zielsetzung, wird auch die individuelle Zielaussage, sowie deren Verknüpfung mit den Kriterien geschärft.

Zertifizierungssysteme

Grundsätzlich werden in europäischen Breitengraden, mit denen in der Norm **DIN EN 15 978**[1] erläuterten Werte- und Bewertungsgrundlagen sowie den Wertekategorien, die Grundlagen für eine Nachhaltigkeits -bewertung geschaffen und damit infolge die systematischen Lebenszyklus-Betrachtungen angestoßen und forciert. Die einzelnen Systeme, welche qualitative und quantitative Bewertungsmethoden erfassen, differieren sowohl am Horizont der Betrachtung, als auch im Grad der Detaillierung. Mit diesen Differenzen kommen den Zertifizierungen unterschiedliche Schwerpunkte zu, mit denen Gebäude beurteilt oder bewertet werden. Die Diversität, die mit den unterschiedlichen Schwerpunkten entsteht, öffnet damit auch das Verständnis für die Vielfalt an Möglichkeiten mit denen nachhaltige Bauwerke, nämlich über eine Vielzahl an kombinierten Einzelaspekten erreicht werden können. (Vgl. El Khouli, 2014, 37)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (**DGNB**) in etwa erweitert, mit denen der **ISO 14040**[4] (Umweltmanagement-Ökobilanz) zugrundeliegenden Standards, auf eine umfassende Ökobilanzierung hin, während hingegen der britische BREEAM eher die Daten der Einzelkomponenten eines Bauwerkes, auswertet. (Vgl.El Khouli, 2014, 37f
Der Schweizer Minergie-Eco Label, (beruhend auf SIA 2032[3]) fokussiert wiederum weitestgehend, die durch einzelne Baukomponenten eingefasste „Energiemenge" in einem Bauwerk. Mit den Differenzen wird ein objektiver Vergleich der Systeme zunehmend erschwert, zumal die fachgerechte Interpretation einer Gebäudezertifizierung, erst durch die qualifizierte Auswertung, einer akkreditierten Fachvertretung, der jeweiligen Organisation vervollständigt wird.

Der nachstehende Überblick (chronologisch nach Entstehungsdatum) verdeutlicht die unterschiedlichen Schwerpunkte, von einigen der weltweit führenden Zertifizierungssysteme:

(vgl.D.Stephan, 2017/18, S.68-70)

Grundsätzlich haben alle Systeme die drei wesentlichen Dimensionen: Ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit als Fundament.

- **breeam** (Building Research Environmental Evaluation Method)
  - **1990** in **Großbritannien**
  - setzt auf ökologische, soziale und ökonomische Nachhaltigkeit
  - Schwerpunkt auf Ökologie, Nachhaltigkeit und Energieeffizienz

- **leed** (Leadership in Energy & Environmental Design)
- 1998 in den **USA**
  - Schwerpunkt auf Ökologie, Nachhaltigkeit und **Wassernutzung**

- **Minergie Eco** (2006 in der Schweiz-beruhend auf SIA 2032[3])
  - Setzt auf Nutzerkomfort, Energieeffzienz und gesund ökologische Bauweise

- **klima:aktiv**
- 2004 in Österreich
- Fokus auf Energieeffizienz und erneuerbare Energien

- **DGNB** (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)
  - 2007 in Deutschland
  - Gleichwertigkeit der aller drei Nachhaltigkeitsaspekte

Zusätzlich wurde die Initiative des Bundesministerium für Umweltschutz (BMK) klima:aktiv durch die Bewertungskategorie **nachhaltige Mobilität** im städtebaulichen Zusammenhang erweitert. Anhand der Vernetzung von unterschiedlichen Akteuren aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung schafft es klima:aktiv, insbesondere auf sozialer Ebene, über gesellschaftliche Multiplikatoren das Bewusstsein für das nachhaltige Bauen zu stärken. Verbesserungspotenzial, ist aus architektonischer Sicht zum einen in der anteilsmäßig, schwachen Gewichtung des Standortes, die zum anderen in der Bewertungsmatrix, wenig Aufschluss über die Zusammenhänge und Interaktionen der, mit der Situierung eines Bauwerks, herbeigeführten oder einhergehenden räumlichen oder sozialen Wirkungen und Effekte gibt. (Vgl. 2.2.1.)

[3](SIA 2032,2020) [4](Ökobilanz, 2011-9)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Oi3 Index - ein vereinfachter Ansatz

Einen vereinfachten Ansatz zur Bemessung einer Nachhaltigkeits -bewertung bildet zudem der vom Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (IBO) entwickelte **OI3 Index.** (IBO, 2016)

In einer quantitativen Bewertungsmethode, werden mittels des OI3 Index folgende ökologische Indikatoren eingeschlossen:

- Treibhauspotenzial GWP
- Versauerungspotenzial
- Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie (PEI ne)

Anhand der drei Größen wird ein Punktewert errechnet, welcher das Potenzial bzw. den anteiligen Beitrag zur Erderwärmung, zur Versauerung und zum Verbrauch nicht erneuerbarer Energien, ausdrückt. Auf einer Skala von 1-100, wird mit steigendem Wert, die Verschlechterung, mit abnehmenden Wert die Verbesserung der ökologische Qualität aufgezeigt. (≤15 Pkte. sehr gut, ab 70 kaum optimiert)

Des Weiteren werden durch indexierte Beschreibungen zum OI3 Hauptwert, die Systemgrenzen (Baustruktur und Zyklusphase) der betrachteten Bauteile transparent zB. durch die Kennung $OI3_{BGx}$ kommuniziert.

So werden in Österreich in etwa zumeist die Bauteilgrenzen: **BG0-BG3** betrachtet welche die Baustrukturen:

- **BG 0** Thermische Gebäudehülle und Zwischendecken
- **BG1** inkl. Dacheindeckungen, Feuchtigkeitsabdichtungen u. hinterlüftete Fassaden
- **BG2** bauphysikalisch relevante Trennwände
- **BG3** Gesamtbaukörper: Innenwände, Keller, unbeheizte Pufferräume, innenliegende Stiegenhäuser und Verkehrsflächen

für die Phasen der Errichtung und Instandhaltung betrachten.

Damit ergibt sich ingesamt ein einfaches Kommunikationsmittel, das einerseits einen direkte Aussage über den Einfluss eines Bauwerks oder Baukomponenten über die aussagekräftigsten Ökoindikatoren ausgibt und als Zahlenwert zugleich leicht zu beurteilen ist. Zum anderen wird eine direkte Vergleichbarkeit mit dem Heizwärmebedarf ermöglicht. Zudem ist er in vielen Fördermodellen etabliert, wodurch er weitestgehende Anerkennung genießt. (Vgl. Stephan Daniel, 2017)

Er stellt allerdings keinen umfassenden, ganzheitlichen Nachhaltigkeits -ansatz dar, welcher alle Umweltwirkungen und Zyklusphasen miteinschließt. Zentral werden bei der OI3 Bemessung daher die betrachteten Systemgrenzen (Baukomponenten, Bilanzgrenzen; usw.)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Einleitung

Die Dimension der „Nachhaltigkeit", umfasst in der baulichen Anschauung zunächst die zeitliche Dauerhaftigkeit bzw. Nutzungstauglichkeit eines Bauwerks. In den nachstehenden Betrachtungen werden folglich die unterschiedlichen Strukturebenen von Gebäuden dargestellt und
aufgegliedert, aus denen die grundsätzlichen, zeitlichen Horizonte eines Bauwerks resultieren.

Das Ziel dieser Untersuchungen ist es, die baulichen Prinzipien und Strategien für das Erreichen, langlebiger Räume und Gebäude, einerseits aus technischer Sicht, andererseits mit räumlich angelehnten Schwerpunkten, aufzuzeigen.
Insbesondere werden die Unterscheidungen und Zusammenhänge der technischen und der wirtschaftlichen Lebensdauer, sowie die Flexibilität der einzelnen Gebäudeebenen aufgegriffen und in einer näheren Auseinandersetzungen erkundet.

Aus den Betrachtungen gehen grundlegende, entwurfsmäßige und konstruktive Überlegungen und Erkenntnisse hervor, die in den intendierten Hallenentwurf einfließen.

Ein historischer Abriss, soll zudem die Entstehung der konstruktiven Leitparameter für den Entwurf von skelettartigen Grundstrukturen erhellen.

TU Bibliothek
Your knowledge hub
TU WIEN

Teil 2

Schwerpunkte & Strategien

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3. Schwerpunkte und Strategien

3.1. Technische und Wirtschaftliche Lebensdauer

Bei der fachgerechten Lebensyzyklusbetrachtung unterscheidet man im Wesentlichen in zwei grundlegende Kategorien der Lebensdauer:

- die **technische** Lebensdauer
- die **wirtschaftliche** Lebensdauer

Die technische Lebensdauer fasst die physische und materielle Funktionsfähigkeit, die mit der Planungs- und Ausführungsqualität einhergeht, sowie die gebrauchsfähige Standsicherheit eines Gebäudes. Sie endet wenn die **technische Funktionalität** des Gebäudes und der Gebäudekomponenten, nicht mehr gegeben ist bzw. alle möglichen Nutzungsszenarien von technischer Seite her ausgeschöpft sind.

Die wirtschaftliche Lebensdauer hingegen, schließt jene Dauer ein, die lediglich an die **Funktionstauglichkeit** bestimmter **Nutzungsanforderung -en** oder **Gebrauchsziele** eines Bauherren an Gebäude oder Gebäudeteilen gebunden sind. Als Immobilie betrachtet, werden hiermit insbesondere die potenziellen Erträge bewertet, welche mit definierten Nutzungen und Nutzungskonzepten lukriert werden können. (**Fig. 10**)

Damit sind Erträge im Sinne von finanziellen Gewinnen, als auch technischen und nutzungsmäßigen Qualitäten -als **Folgen-** funktional mit den Kosten und Aufwendungen -als **Verursacher-** in der Betrachtung über die Lebensdauer verknüpft.

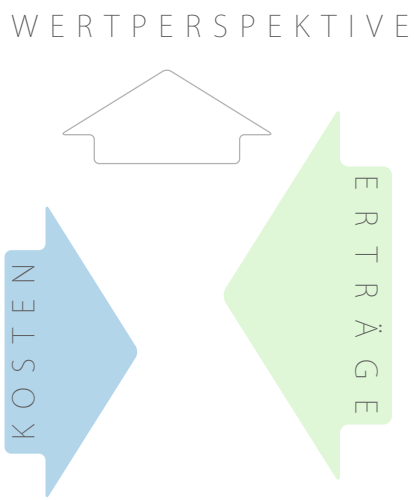


Fig. 10 : Gegenüberstellung Kosten und Erträge, um den Wert eines Gebäudes zu evaluieren
(vgl. Stempkowski, 2020 et al.)

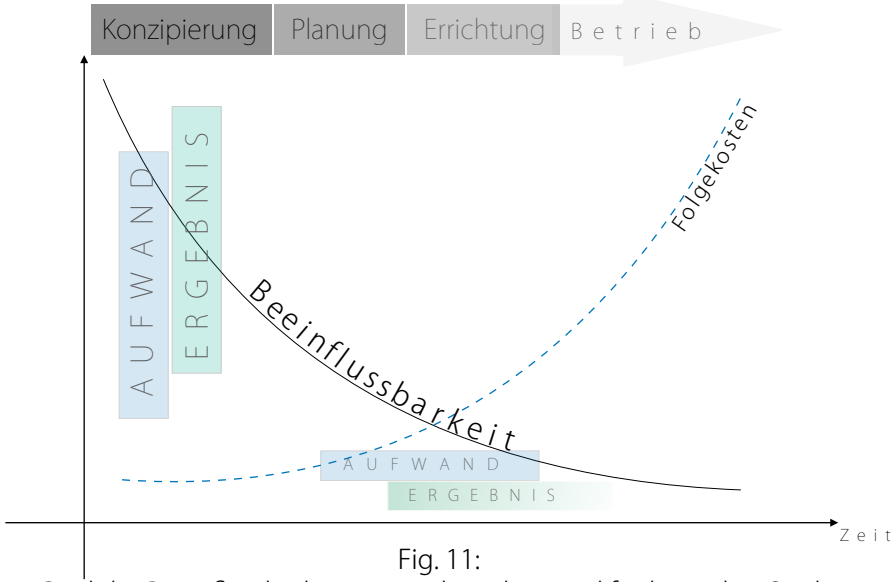


Fig. 11:
Der Grad der Beeinflussbarkeit von technischen und funktionalen Qualitäten durch Aufwände, sowie Folgekosten an der Lebensdauer betrachtet
(MM 2021 vgl. Bollinger/Grohmann, 2011,141 et al.)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.1.1. Die technische Lebensdauer

Im Sinne der Nachhaltigkeit, sollte das Ende einer Gebäude-lebensdauer, erst mit dem vollständigen Erschöpfen der technischen Lebensdauer, also mit dem Ende der technischen Funktionsfähigkeit der einzelnen Baukomponenten angestrebt werden.

Übersteigen die Kosten und Aufwände des Gebäudebetriebes (Versorgung, Wartung, usw.) oder einzelne Reparaturen und Instandsetzungen von desolaten oder beeinträchtigten Gebäude-komponenten, die damit verbundenen Erträge aus der Gebäude-nutzung, oder stellt der Abriss und die vollständige Neuausrichtung des Gebäudes, eine rentablere Lösung dar, werden Bauwerke häufig mit dem Ende der wirtschaftlichen Nutzung stillgelegt bzw. abgebrochen. (Abb.13)

Die technische Lebensdauer wird von immateriellen und materiellen Faktoren bestimmt, welche sich von der Errichtung bis über den Gebäudebetrieb in den einzelnen Komponenten gegenseitig beeinflussen. Zu den materiellen Faktoren zählen:

- Planungs- und Ausführungsqualität
- Instandhaltungszyklen und -qualität

Auf Seite der immateriellen Faktoren, welche nicht in der physischen Beschaffenheit der Baukomponenten liegen, nehmen die Faktoren:

- Nutzungsbedingungen und tatsächlichen Nutzungen
- ökologische Anforderungen
- rechtliche Anforderungen

wesentlichen Einfluss auf die technische Funktionserfüllung des Gebäudes und Gebäudebestandteile.(Vgl. Eisele, Harzdorf, 2020, S.30ff)

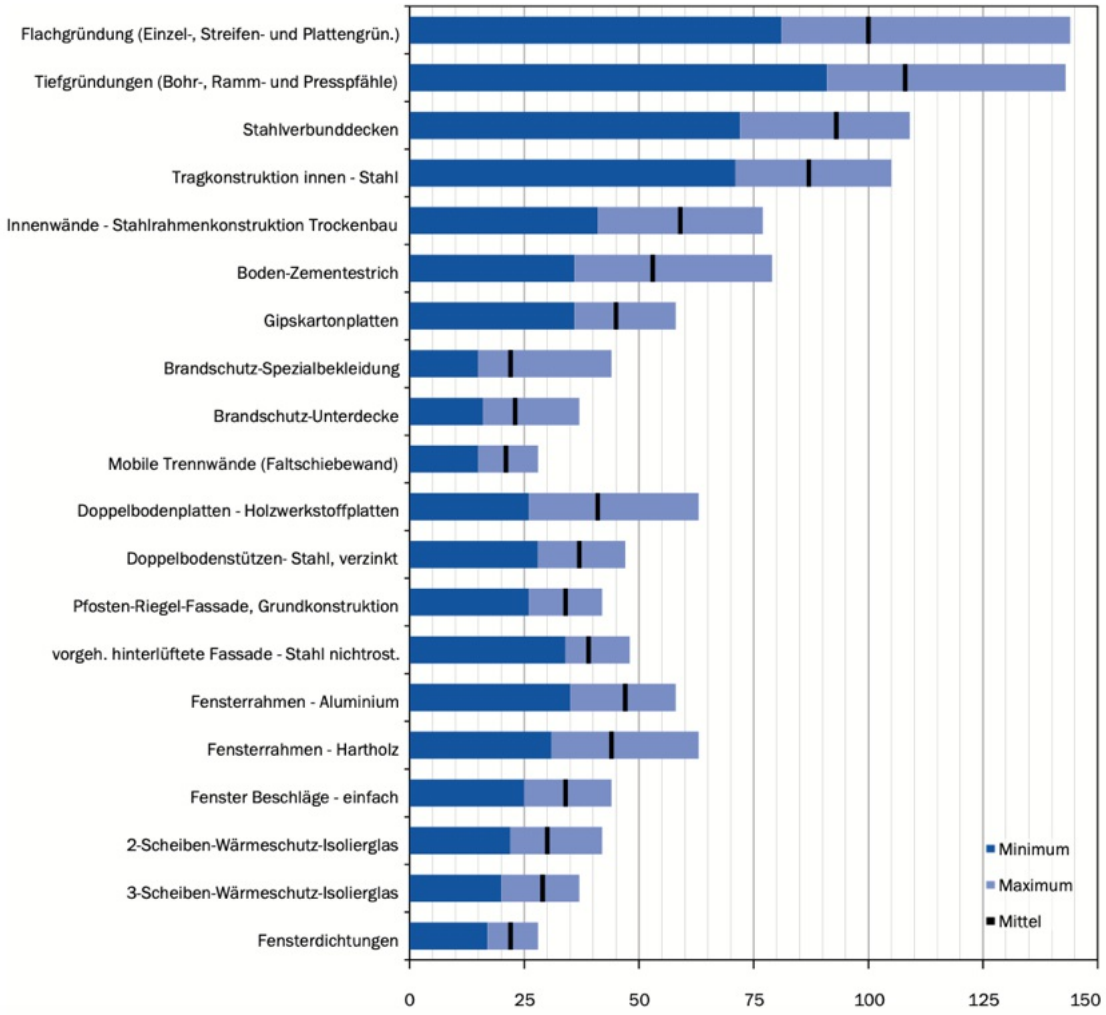


Abb.13: Technische Lebensdauer von Gebäudekomponenten im Vergleich
(Eisele, Harzdorf, 2020, Abb.2.10)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Zusammengefasst, kann das Ende der Lebensdauer eines Gebäudes, trotz der grundsätzlichen, technischen Funktionstüchtigkeit der Bauwerkskomponenten, aufgrund rechtlicher Anforderungen, die spezifische Qualitätskriterien an Bauteile stellen, oder auch zufolge wirtschaftlichen Zielen eines Bauherren, wie in etwa funktionalen und ästhetischen Nutzeranforderungen, zum Ende einer Gebäudenutzung führen.

Unter der tatsächlichen, **technischen Lebensdauer** sind folglich, die **über eine spezifische Gebäudenutzung hinausgehende Funktionsfähigkeit** eines Bauwerks und Bauwerkskomponenten zu verstehen.

Die In **Abb.13** hervorgehenden Lebensdauern von Baukomponenten, denen statistische Auswertungen von bestehenden Konstruktionen zugrundeliegen, ist zu entnehmen, dass die **Primärstrukturen** in etwa tragende Bauteile wie **Gründungen, Tragkonstruktionen** aus Stahl wie **Stützen** und **Träger**, sowie **Verbunddecken** gegenüber den Ausbauelementen, deutlich höhere Lebensdauern abbilden. So erreichen Brandschutzelemente ein Mittel von etwa 25 Jahre, Trockenbauelemente im Inneren etwa 40-55 Jahre, während Tragkonstruktionen aus Stahl etwa 83 Jahre erreichen, Flachgründungen sogar ein Mittel von ungefähr 100 Jahren. Fassadenkonstruktionen erreichen eine Lebensdauer von 30-35 Jahre.

Dahingehend werden bei intelligenten Planungsansätzen, im Hinblick auf die Revitalisierung und Umnutzung von Gebäuden, die deutlich beständigere Primärstruktur, schon mit der grundlegenden Konzipierung, für diverse Adaptierungsmöglichkeiten und Nachnutzungen ausgelegt. Im Wesentlichen werden mit der technischen Optimierung dabei die tragenden Bauteile des Rohbaus, konstruktiv unabhängig von sekundären Trennwänden und Ausbauelementen, sowie der Hülle angelegt. **(Siehe Abb.14)**

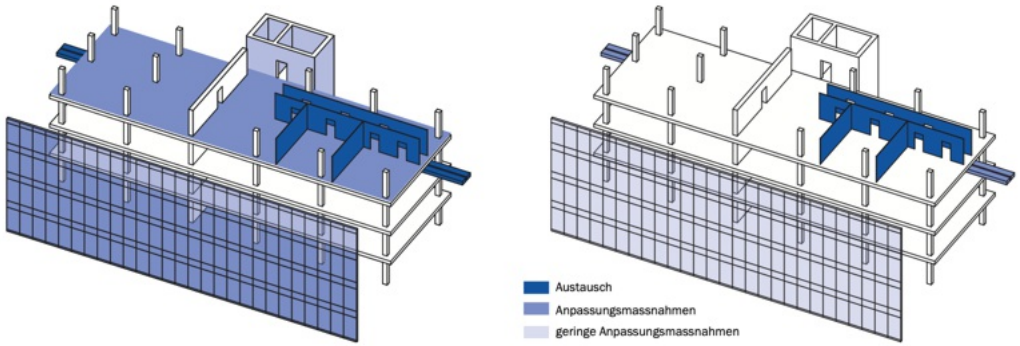


Abb.14: Technische Umstrukturierung eines Bürobaus:
Tragende Primärstruktur-Trennwände-Hülle
(Eisele, Harzdorf, 2020, Abb.2.10)

Mit der rechtlichen und konstruktiven, sowie statischen und bauphysikalischen Berücksichtigung der verschiedenen Nutzungsfälle in der Planungsphase, wird für die Anpassung und Adaptierung von Fassadenelementen, oder Elementen der technischen Gebäude -ausrüstung, sowie der Neuausrichtung an geforderte Nutzungen, aus Vermarktungsperspektiven, die Erleichterung der technischen Umkonstruktion gebahnt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.1.2. Die wirtschaftliche Lebensdauer

Mit der Ertragsperspektive einer Gebäudenutzung, welche an bestimmte Vermarktungsstrategien geknüpft ist, gründet in der architektonischen Konzipierung, der Kern der funktionalen Gliederung und Gestaltung, anhand derer, spezifische Nutzungsszenarien bedient werden.

Zentral wird in der weiteren Betrachtung die **Instandsetzungs-** bzw. die **Instandshaltungsstrategie,** mit denen in regelmäßigen Zyklen, durch technische Maßnahmen, der Bauwerkszustand erhalten wird. **(Abb.15)** Größere Instandsetzungen, die etwaige attraktive Nutzungsstrategien einbinden, haben eine Aufwertung der funktionalen Qualitäten des Gebäudes zufolge, welche sich auch in der Steigerung von Erträgen niederschlägt. (Abb.16. Blaue Linie) Mit einer Präventivstrategie werden mögliche Risiken, aber vor allem Potenziale einer Aufwertung eruiert, denen entsprechende technische Eingriffe in die Gebäudestruktur folgen.

Wird von der präventiven Strategie abgesehen, hält sich die Nutzungs- und Funktionsfähigkeit des Gebäudes mit ausfall- bzw. mängelbedingten Reparaturen und Maßnahmen. Die Gefahr hierbei, liegt beim durch die Unterlassung von zielgerichteten und strategischen Instandsetzungen hervorgerufenem, horrenden Anstieg der **Erhaltungskosten**, welche durch den zunehmenden Verschleiß von Gebäudekomponenten, insbesondere den Ausbauelementen, verursacht werden.

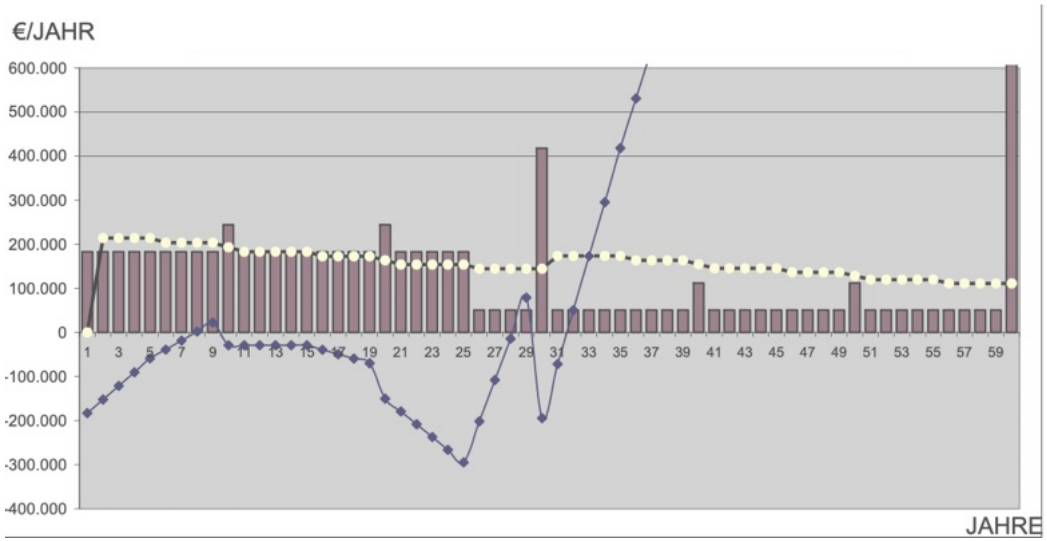


Abb.15: Beispiel für den Verlauf eines Gebäudebetriebes ab der Errichtung:
Rote Balken: Ausgaben Gelb: Erträge Blau: Reingewinne
(Stempkowski, 2020)

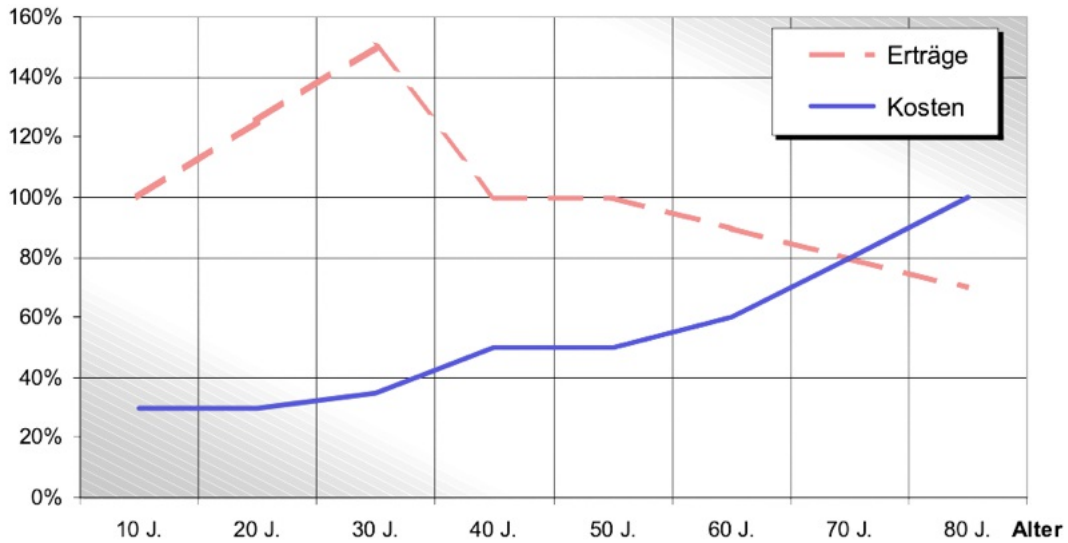


Abb.16: Üblicher Verlauf der Kosten und Erträge über die gesamte Lebensdauer
(Stempkowski, 2020)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bei einem präventiven Erhaltungsmanagement hingegen, das auf eine langfristige Substanzerhaltung abzielt, wird der Umfang von möglichen Eingriffen fachgerecht evaluiert und vor allem auch die optimalen Reinvestitionszeitpunkte prognostiziert, anhand derer, im Einklang mit den Nutzungsphasen, die maximale **Wertsteigerung** und **Werterhaltung** erzielt werden kann. Zudem werden auch alle Bestandteile des Gebäudebetriebes, wie die Ver- und Entsorgung, Reinigung, Verwaltung und dergleichen optimiert. (Siehe **Abb. 17**) (Vgl. Stempkowski, 2020)

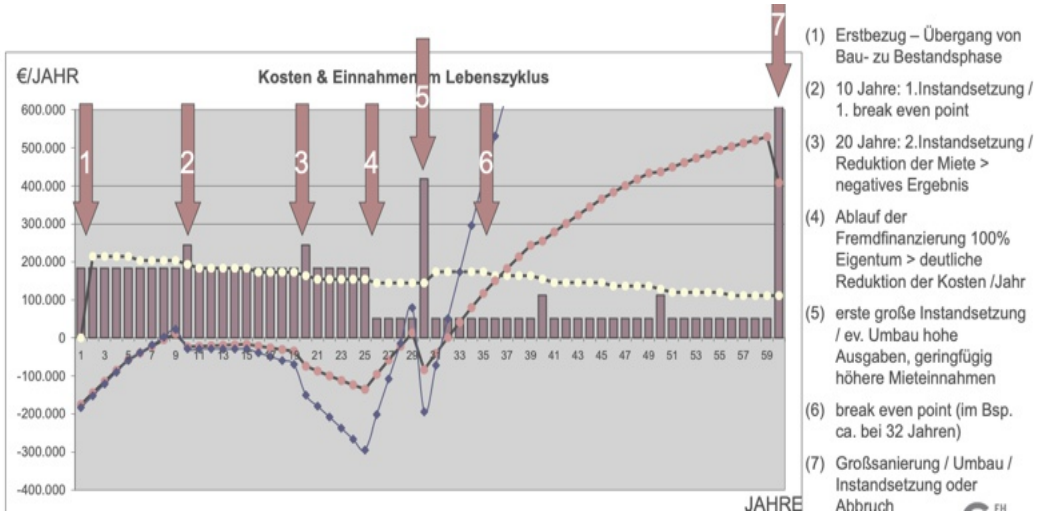


Abb.17: Reinvistitionszeitpunkte der Instandsetzungen : Korrelation der Investitionen mit den Erträgen
(Stempkowski, 2020)

Für die Lebensdauer eines Gebäudes kann wird von Seiten der technischen Beschaffenheit zusammengefasst:

Das oberste Ziel eines nachhaltigen Gebäudemanagements ist es (neben der Optimierung des Gebäudebetriebes) mit strategisch gesetzten Instandsetzungen, die maximal mögliche **Substanzerhaltung** eines Gebäudes zu erzielen.

Wird die technische Lebensdauer, anhand der substanziellen Erhaltung des Gebäudes bis zur maximalen Grenze hin ausgeschöpft, kann die an die Erstnutzung gebundene, wirtschaftliche Lebensdauer, durch zusätzliche alternative - wenn auch mit verminderten Qualitätskriterien verbundene - Nachnutzungen des Gebäudes, vollständig verwertet werden. **(Fig.12)**

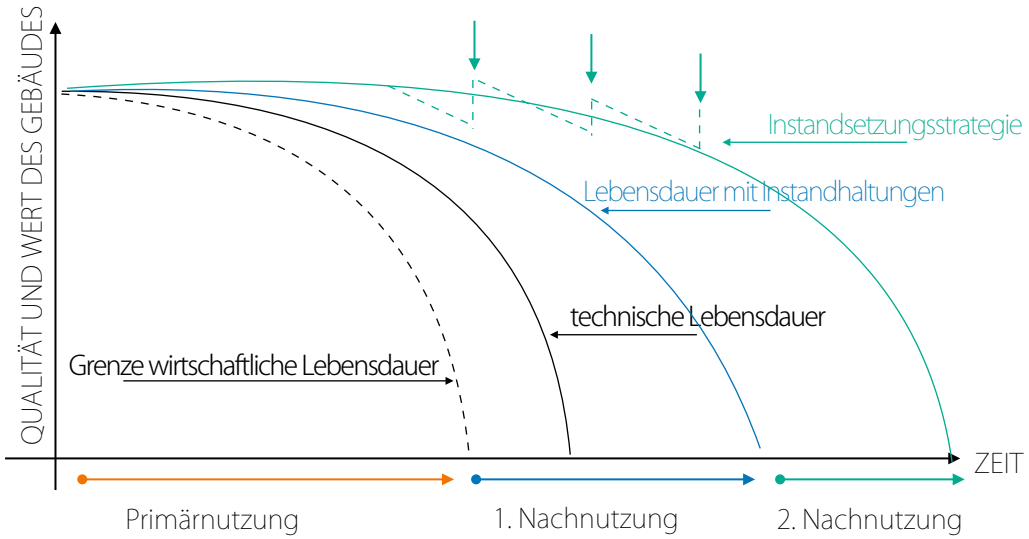


Fig. 12: Ausschöpfung der technischen Lebensdauer eines Gebäudes mit wirtschaftlichen Nachnutzungen
(MM 2021 vgl. Stempkowski 2020)

„Raum schaffen..

..ist Raum lassen“

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

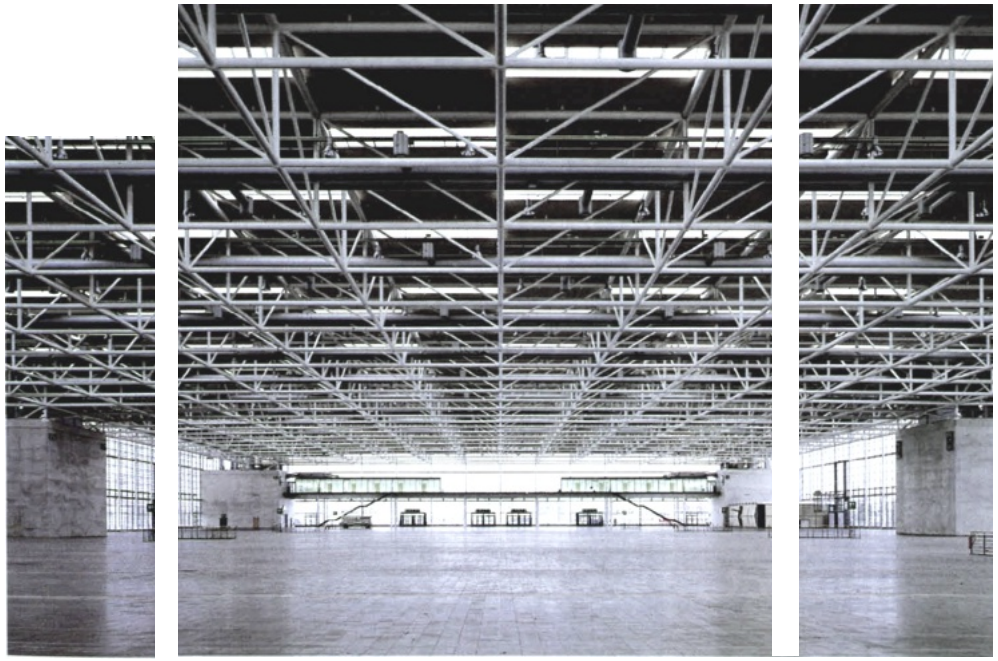
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.2. Flexibilität und Funktionalität : Hallen

3.2.1. Räumliche Flexibilität

Verfolgt der gegenwärtige Entwerfende, einen rationalisierten Ansatz beim Planen und Gestalten von Räumen, sieht er in der funktionalen Ausrichtung eines Entwurfskonzeptes, welche aus raumgeometrischen Gegebenheiten und Beziehungen gewonnen werden, die gelingende und manifeste Ausformulierung von spezifischen Nutzungswünschen. Zum Gegenstand des Designs, wird damit das virtuose Beherrschen von räumlichen Gebilden, die funktionale Anforderungen in konkrete Formen und Konstruktionen interpretiert und übersetzt. Aus der Diversität unterschiedlicher Herangehensweisen, entspringt der zentrale Architekturdiskurs, welcher bei Fragen der architektonischen Gestaltung, also der Ästhetik, primär mit der Funktionalität als Leitkriterium, um die menschliche Raumwahrnehmung zirkuliert.

Dem entgegen steht die „Veränderung" als universelles Prinzip das unser menschliches Dasein durch alle Zeiten und Episoden unserer Entwicklung begleitet hat. Der stetige Wandel von umweltmäßigen, und klimatischen Bedingungen, wirtschaftlichen und demographischen Verhältnissen, sowie auch akuten, pandemischen Ereignissen und nicht zuletzt auch, die mit der historischen Entwicklung der Architektur einhergehenden Veränderungen der technischen und konstruktiven Leitmodellen, stellen auf grundlegender Ebene, den Parameter **„Veränderung"** als stete Konstante ein. (Offene Räume **Abb. 18. und 19.**)



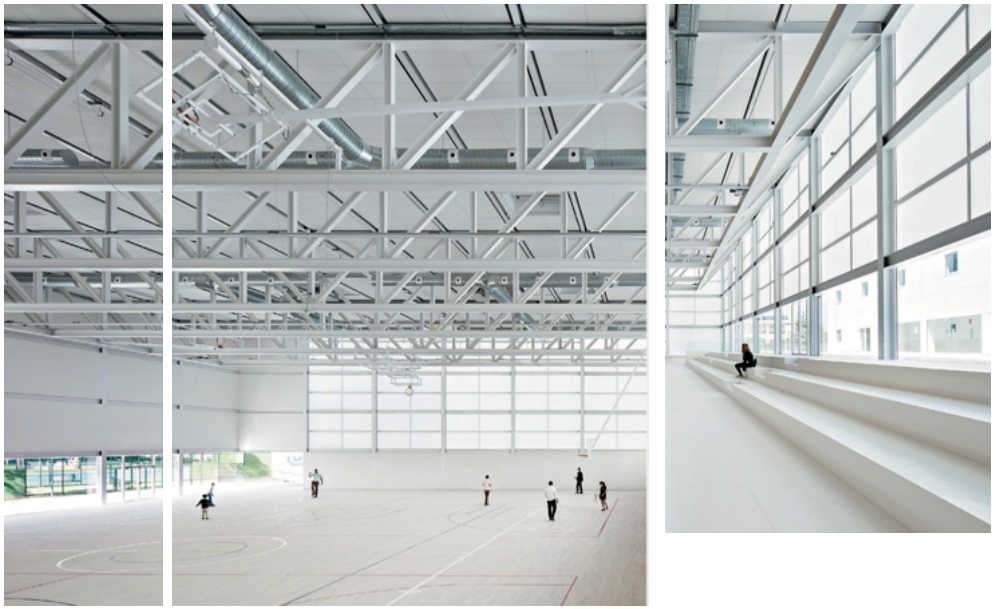


Abb.18 und 19: Messehalle in Hannover (Detail Zeitschrift, 1998)
Campuserweiterung in Madrid (Detail Zeitschrift, 2018)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Der Raum als Kontinuum

Damit zeigt auch die Erfahrung, dass im Zusammenhang unvorherseh -barer Entwicklungen, in einem sich über Generationen hin erstreckenden Gebäudebestands, vielfach alternative Nutzungs -anforderungen an ein Bauwerk gestellt werden können. Bauwerke, die streng für einen spezifischen Gebrauch durchgebildet sind, können diese Anforderungen nur eingeschränkt bedienen. Das Höchstmaß des zu erstrebenden Ideals eines Gebäudeentwurfes, müsste daher die Frage aufwerfen, welche räumlichen Typologien und Konfigurationen, auf funktionaler Ebene, allen Formen des denkbaren Nutzungs -repertoires, oder zumindest einigen, elementaren Nutzungen, gleichermaßen zugrundegelegt werden können. (Siehe **Fig.13.**)

Es verdichtet sich, in der flexiblen Leichtigkeit des **Hallenbautyps** gedacht, ein „Konsens" **elementarer Gestaltungstypologien,** mit denen unterschiedliche Formen **nutzungsflexibler Räume** herausgebildet werden können.

Ein „zeitloses" Design, schafft und lässt eigentlich, über das bewusste „Raumlassen", die Möglichkeiten diverser Nutzungen und Nutzungs -spielräume, weitestgehend offen. Der Raum, resultiert also aus dem Ausbleiben von konkreten, figurativen Ausgestaltungen von einschränkenden, raumbildenden Elementen oder umgekehrt: Der Raum konstituiert sich gerade aus der Reduktion und dem Beseitigen von allem, was ihn verstellt, und definiert sich demnach, als die damit entstehende „umrissene Leere", in deren Fassungsvermögen, faktisch allen möglichen Nutzungen die Bühne geebnet wird. Mit flexiblen Strukturen, wird über die Lebensdauer eines Raumkontinuums, dem Faktor Zeit und der damit verbundenen Veränderbarkeit der Nutzungen gedient. (Siehe **Fig.14.**)

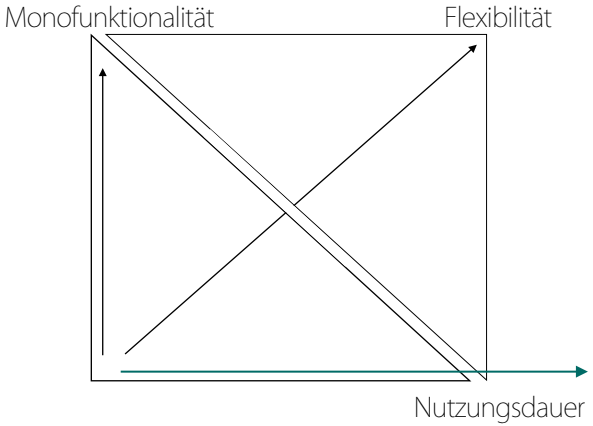


Fig.13 : Mit der flexiblen, multifunktionalen Ausrichtung wächst die mögliche Nutzungsdauer - Mit der spezifischen Ausrichtung und Monofunktionalität verkürzt sich die Nutzungsdauer (MM, 2021 vgl. El Khouli, 2014,S.59)

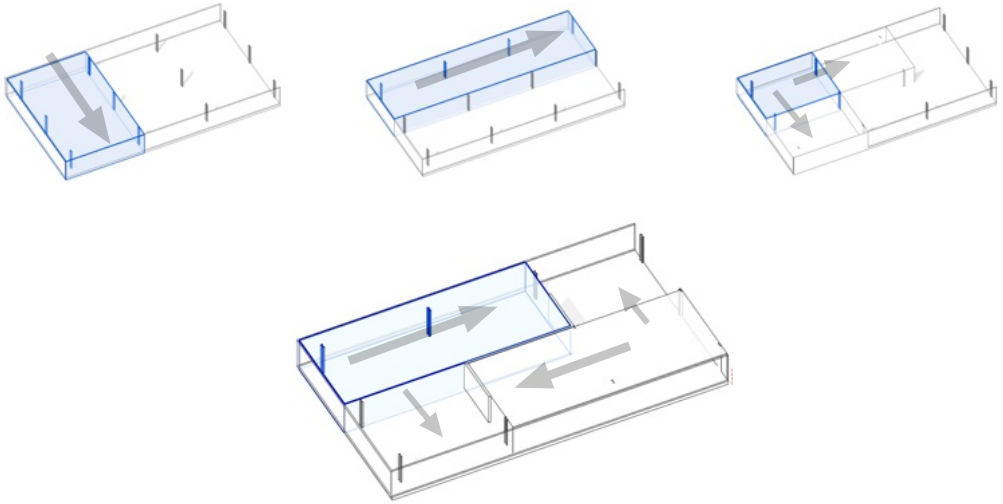
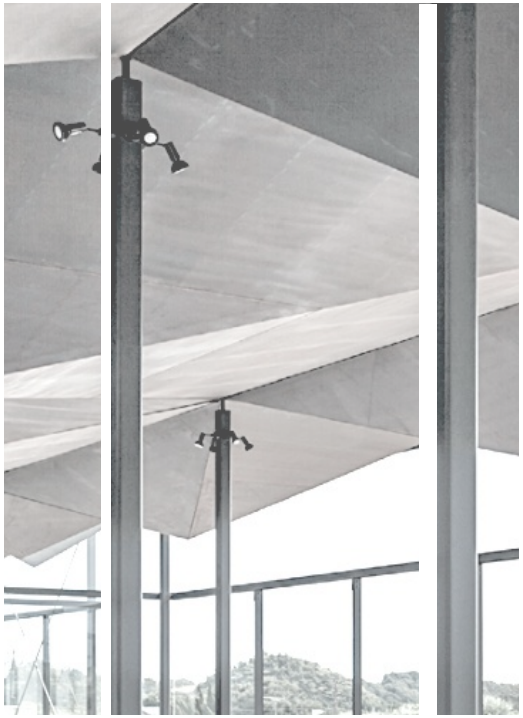


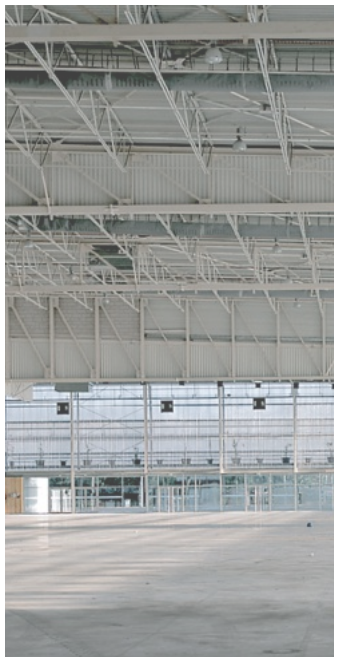
Fig.14: (schematisch): Strukturierung, Orientierung und Erweiterung im offenen Raumkontinuum eines Hallenbautyps (MM,2021)

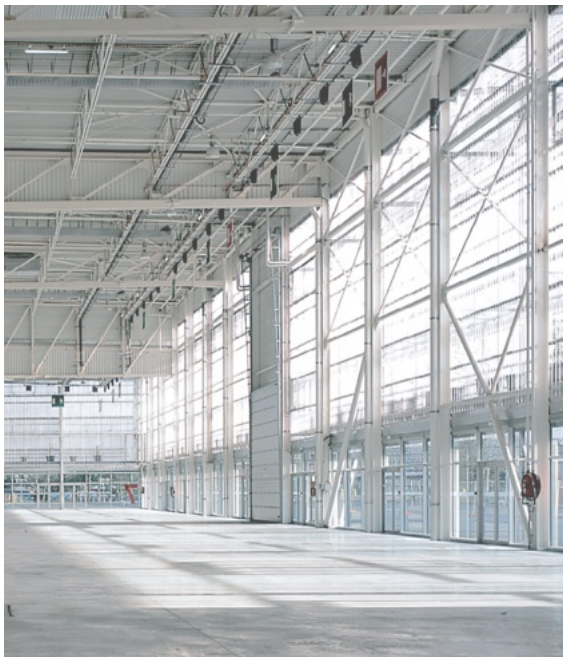
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Beispiele nutzungsoffener Räume

Abb.20, 21(li u. Mitte): Blue Box in Bochum (Detail Zeitschrift, 2013)
Abb.22(r.o.): Verwaltungsgebäude in Futtsu (Detail Zeitschrift, 2017)
Abb.23(r.u.): Messehalle in Paris (Detail Zeitschrift, 2008)







Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

form follows performance : Ein historischer Abriss

Im Gegensatz zu den genannten, funktionalistischen Strömungen im ursprünglichen Sinn der Architektur, welche das Produzieren von klar umrissenen und ausgestalteten Räumen und Raumelementen zum Ziel haben, rührt der Ansatz der Leichtigkeit hingegen, aus einem pragmatischen Ingenieurdenken, das möglichst **materialeffiziente Strukturen,** für die Bildung von Räumen, erzeugen möchte. Die im Kontext der Architekturästhetik häufig zur Geltung gebrachte „Filigranität", ist also das Ergebnis einer historischen Entwicklung des Ingenieurwesens, bei der, mit der fachgerechten Optimierung eines Tragwerks, aus statischen Wirkgrößen und Parametern, die akkurate Formgewinnung erreicht wird. Die aus Lastannahmen hergeleiteten Einwirkungen, werden dabei Widerständen aus Bauteilen und Baustoffen entgegengesetzt, in denen die geometrische Gestaltung, als maßgebender Einflussparameter eingeht. (Siehe 3.4.) Entwicklungen und Erkenntnisse in der Statik des 19. Jahrhunderts, durch Werke wie J.Eytelwein's „Statik fester Körper" oder etwa die Optimierung von Stahlprofilen durch E. Hodgkinson, forcierten die rasante, mit der Industrialisierung aufkommenden, technischen Entwicklung des Bauwesens. (Addis, Bill, 2007, 308ff). Die weitestgehende **Technisierung** der Architektur, um die Jahrhundertwende, stimmte dann mit diesem Bestreben der effizienteren Vorfertigungs- und Bauabläufe, den Kanon für das serielle und rationale Entwerfen und Entwickeln von raumbildenden, modularen Strukturen ein. (Addis Bill, 2007, 358 ff et al.)

Bezeichnend für diese Architekturauffassung ist zum Beispiel der Bau des Crystal Palace von Joseph Paxton in dem, mit den ineinandergreifenden Prozessen des Transportes und der Vorfabrikation , mit der konstruktiven Fügung der Bauteile, der Weg für den später anknüpfenden **Systembau** gebahnt wurde. (Siehe **Abb. 24**)

Abb.24: Crystal Palast - Innenraum des Gewächshauses 1851
(Deutsche Bauzeitung, 2005)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Mit der Weiterentwicklung und der Verfeinerung von stabbasierten Tragsystemen, wie etwa Fachwerke und Fachwerkbinder, deren Prinzipien aus den schon viel früher datierten, gewachsenen Entwicklungen von Holzkonstruktionen bekannt waren, konnte das Bestreben nach Effizienz, mit dem Konzipieren und Ausbilden, nämlich von **statisch bestimmten Tragwerken** noch gerichteter angesteuert werden. Aus dem ökonomischen Leitsatz , nach dem die zeitliche und technische Optimierung der Vorfabrikation mit der Errichtung verdichtet wurde, erzielte man damit auch die **Material -minimierung** als Folge der **konstruktiven Gestaltung** der Tragelemente. Insbesondere mit leistungsfähigem Stahl, erreichte man materialmäßig effiziente Bauwerke, wie im Beispiel der Maschinenhalle in Paris. (Siehe **Abb. 25/ .26)**

Der Architekt Dutert entwickelte hierfür mit dem Ingenieur Contamin das Kernstück der Konstruktion, ein Bindersystem aus Dreigelenkgurtbögen, mit dem die 114 Meter Spannweite des Gewölbeschubs stützenfrei überwunden und in die gelenkigen Auflager eingeleitet wurden. In Längsrichtung wurden die zwanzig Binder der ingesamt 423 Meter langen über Fachwerke miteinander verbunden und stabilisiert. 111 Tage benötigte man mit 250 Arbeitern für die Errichtung des Hauptschiffes, alsdann die Halle ein Jahr nach der Errichtung 1878 ihre vollständige Rückbaubarkeit bewies und bei Meudon für militärische Zwecke wiedererrichtet und 1906 schließlich aus städtebaulichen Überlegungen abgebrochen wurde. (HomeExpo, 2000)

Abb.25: Dreigurtbogen und Konstruktion: Maschinengalerie in Paris 1889
(Louis Emile Durandelle, 1880)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Neue Raumbegriffe und Dimensionen wurden definiert.Gegründet in der ökonomisch getrieben -en Grundhaltung funktional und materialmäßig, effiziente Strukturen zu generieren wurde auch der architektonische Raum als solcher neuinterpretiert.

Mit der Leichtigkeit des Hallenbautyps, wurde entgegen massiven und wuchtigen Raum -abschlüssen, anhand der filigranen Stabwerke, die sich beinahe auflösenden Horizonte einer beherrschten Perspektive demonstriert.

Spätere, experimentielle Ansätze wie etwa die raumgreifenden Entwürfe Konrad Wachsmanns, erschöpften die Potenziale neuer Architektur -formen. Erst ausgetüftelte Verbindungstechniken wie Mengeringshausen's Rohrsystem „Mero" ermöglichten die tatsächliche, bautechnische Umsetzung von Raumfachwerken, wie sie im Bau des alten Olympiastadion von Berlin zum Einsatz kamen. Alle möglichen Architekturformen, die als Flächentragwerke funktionierten, konnten über die **Elementierung** in Einzelteile aufgegliedert und zum Teil gerade erst als Stabwerke realisiert werden. Der Vorteil des sphärischen Knotensystems lag, abgesehen von den denen in alle Raumwinkel gelegenen Anschlussstellen, in der schnellen Vorfertigung, sowie der leichten, eindrehbaren Montage und Demontage. **(Abb.27-29)**

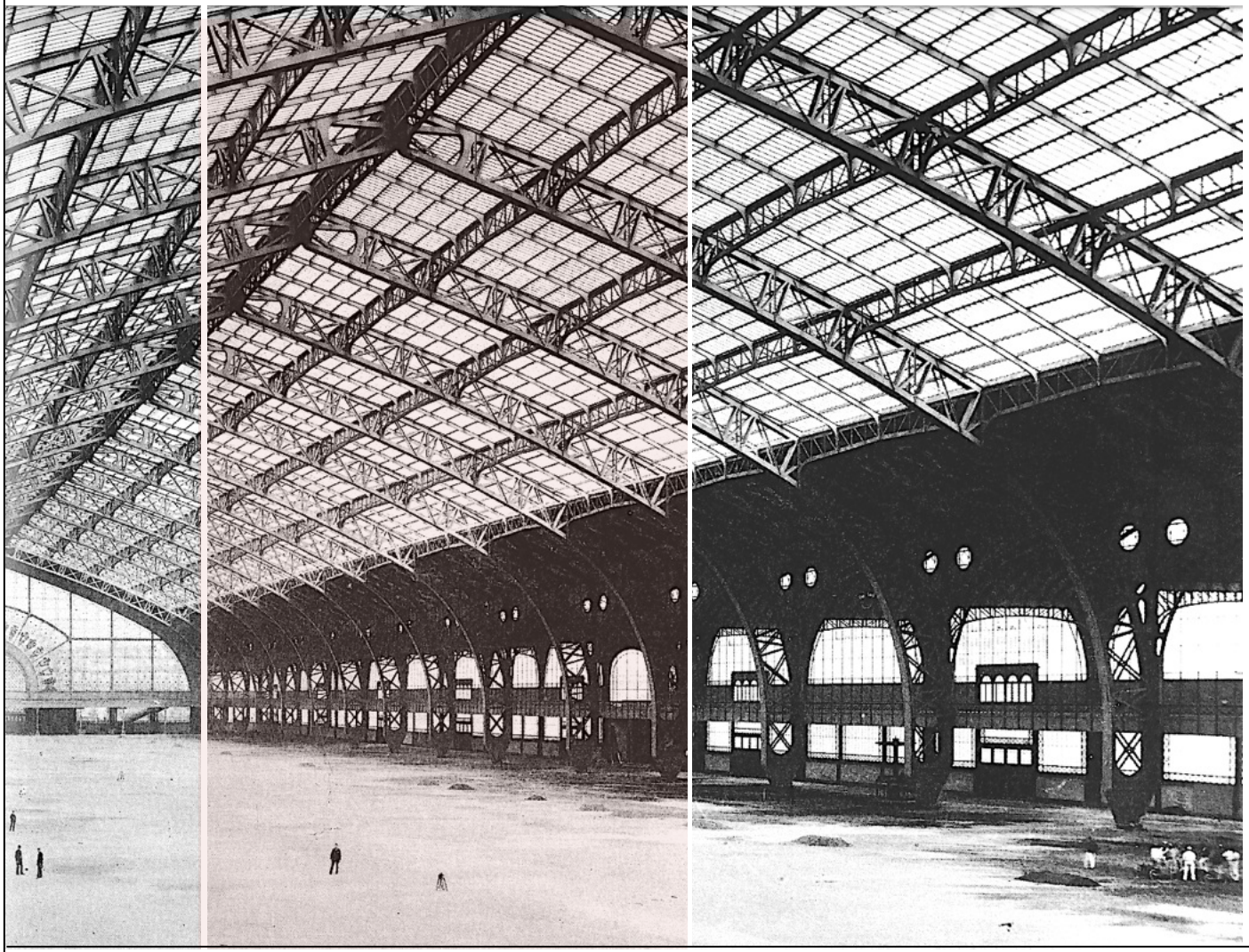
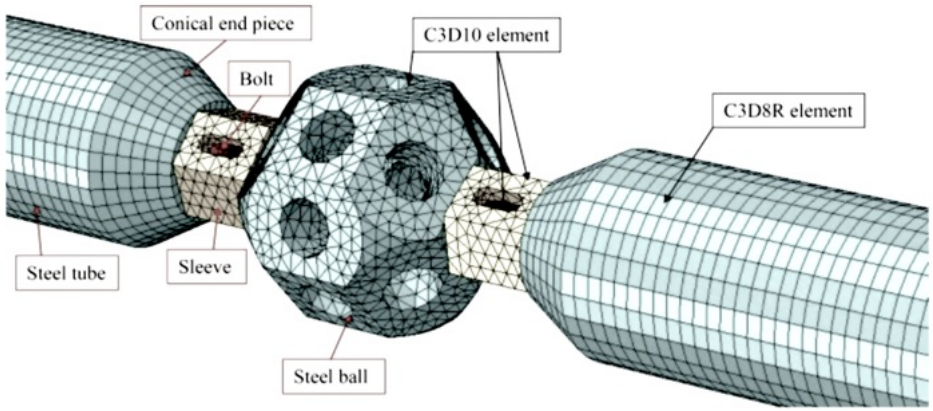
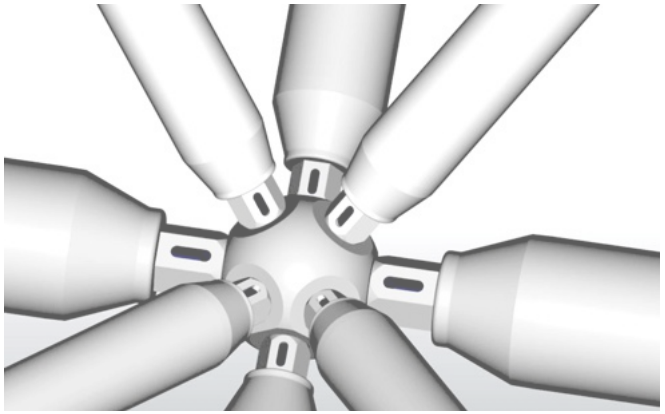


Abb.26: Innenansicht des Hauptschiffes, Maschinenhalle Paris
(Mike O'brien, 2018)





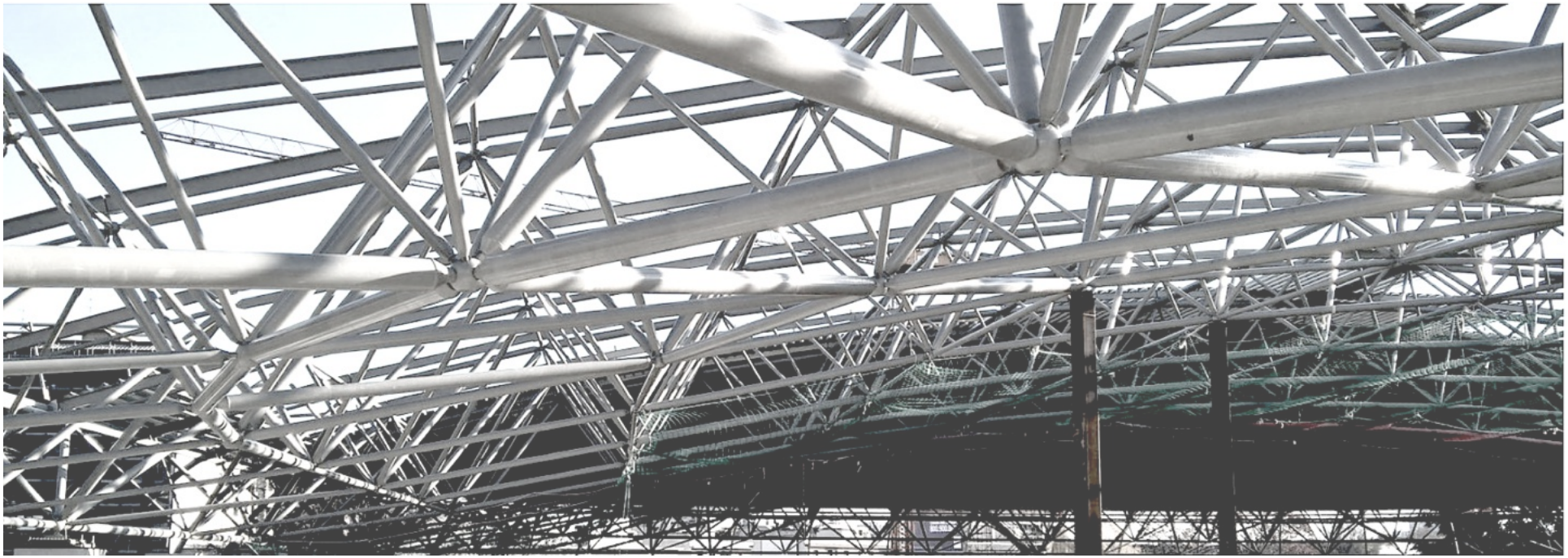


Abb.27(unten): Stadionüberdachung der Armani Baskets im Mero KK Raumfachwerk, Mailand, Italien (Mero TSK, 2017)
Abb. 28(li.) : Bestandteile Mero System (Jamkaneh, Ebrahimi, Amiri, 2020,S.7))
Abb. 29 (re.):Mero-Knoten 3D Rendering (Mero TSK, 2008)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Einleitendes

- **Technische Flexibilität**

Die „**technische Flexibilität**", welche als Teilaspekt der technischen Lebensdauer und somit zu einem Grundparameter einer nachhaltigen Gebäudestruktur zu erachten ist, beschreibt die **konstruktive Ausprägung** eines flexibel angelegten Hallenentwurfes.
Eine flexible , auf eine nutzungs-dauerhafte Raumfunktion ausgerichtete Konstruktion, ist daher mit einer angestrebten Nachhaltigkeit eines Bauwerks verknüpft.
Im Folgenden werden die Prinzipien einer technisch flexiblen Primärstruktur pointiert und erläutert.

- **Effizienz**

Ein weiteres, zentrales Standbein stellt im Zusammenhang eines ökologischen Leitgedanken, **die Effizienz der Konstruktion** dar. Diese Messgröße beurteilt die eingesetzten Massen der Tragstruktur, gegenüber den damit hergestellten räumlichen Quantitäten. Sie zielt daher damit auch auf die energetische, also auf die Ressourceneffizienz ab, welche die für ein Bauwerk aufgewendeten Energieeinträge bemisst. (siehe 2.2.)
Einige wichtige, technische und statischen Grundlagen, sowie einflussnehmenden Größen für die konstruktive Effizienz , insbesondere im Hallenbau, werden im nachstehenden genauer erläutert.

Die dargelegten Erkenntnisse, stellen im Kontext des angesteuerten Entwurfes, zwei wichtige Leitansätze dar.

- **Recycling**

Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Wiederverwendbarkeit und Rezyklierbarkeit der eingesetzten Bauteile. Auch diese stellen im Sinne eines nachhaltigen Bauwerks, eine primäre Säule dar.

- **Materialisierung**

Einige nach den benannten Kriterien verarbeitete Gegenüberstellungen, zeigen zentrale Materialeigenschaften und Zusammenhänge im Materialvergleich von unterschiedlichen Baustoffen auf.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.2.2. Technische Flexibilität

Rückbaubarkeit

Schon aus den ökologischen Forderungen beim Planen von Gebäuden, geht als wirtschaftliches Ziel, die Ermöglichung eines sortenreinen und hochwertigen Rückbaus, für eine effektive Wiederverwendung der Baukomponenten hervor.

Dies schließt auch der Begriff des Recyclings definitionsgemäß ein, nämlich Baumaterialien nach ihrer primären Nutzung für eine neue Verwendung einsetzen zu können.

Aus Abfallprodukten, werden beim Recycling die Ausgangsmaterialien eines Bauwerks zu Sekundärrohstoffen.

Je einfacher sich ein Bauwerk in seine **einzelnen Bestandteile** zerlegen lässt, desto eine **bessere Rückbaubarkeit** weist dieses auf. [1]

[1] (vgl. D.Stephan ,2020, et al.)

Folgende, grundlegende Faktoren sind für das Erzielen einer hinreichenden Rückbaubarkeit zu beachten: (vgl. D.Stephan ,2020, et al.)

- **Homogenität**

Je homogener die eingesetzten Baustoffe und Baukomponenten sind, desto einfacher ist die sortenreine Trennung und Entsorgung.

- **Trennbarkeit**

Aus ökologischer Sicht wie auch aus wirtschaftlicher Sicht, schafft die stofflich leichte Trennbarkeit der Materialien bessere Bedingungen für eine Rückführung in den Stoffkreislauf, wie auch für eine qualitäts -verbundene Wiederverwendung.

- **Schadstofffreiheit**

Eine sorgfältige Verwendung von schadstofffreien, recyclebaren Baustoffen, verbessert die Wirtschaftlichkeit des Materialkreislauf und verlängert das Materialleben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bereits bei der Planung von technisch flexiblen Bauwerken sind demnach folgende Aspekte zu berücksichtigen: (vgl. D.Stephan,2020 et al.)

- Die Weiter- bzw. Wiederverwendung der Baukomponenten und deren energetische Verwertung und Rückführung in den Materialkreislauf
- Die **leichte** und **möglichst zerstörungsfreie Trennbarkeit** der Baukomponenten und Baustoffe

- Die räumliche und technische Flexibilität und Umnutzbarkeit mit unterschiedlichen Nutzungsszenarien einplanen.
- Die Hülle und Ausbauelemente wie nichttragende Innenwände, technisch unabhängig von der Primärstruktur konzipieren (Fig. 15/16)
- Sämtliche Knotenpunkte, also Anschlussstellen, Stöße und Auflager möglichst mit schraubbaren Verbindungsgmitteln planen und konstruieren. Abb. (28-30)

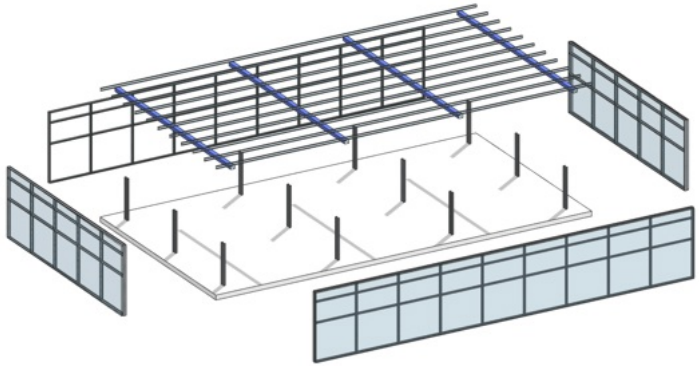
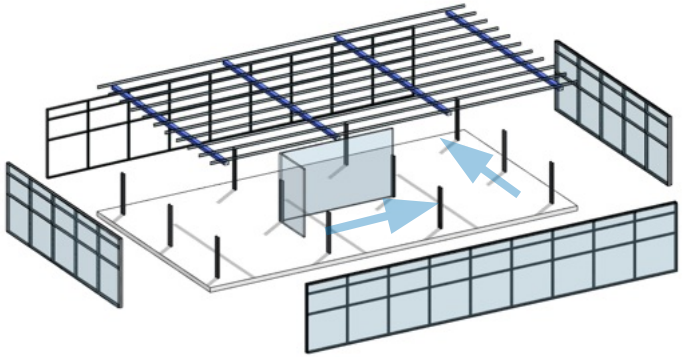


Fig.15 u.16 : Trennbare Konzeption Primärstruktur - Hülle -Ausbauelemente (MM,2021)



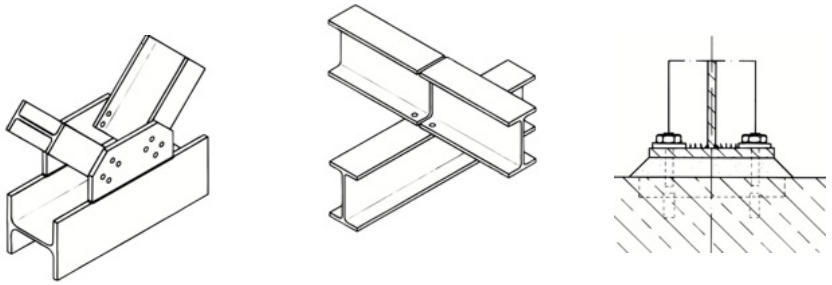


Abb.28-30: Schraubverbindungen in Knotenpunkten (Grimm F., Kocker R., 2021 et al.)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.3. Effizienz

3.3.1. Ressourceneffizienz und Effizienz der Konstruktion

Die Optimierung eines Bauproduktes, im Hinblick auf seine Ressourcen -effizienz, beginnt schon im **Produktionsprozess**. Es ist hierbei zwischen Produzenten von Baustoffen und Bauprodukten und andererseits Bauunternehmen und Betrieben, welche das **Anfertigen von einsatzfähigen Baukomponenten** zum Ziel haben, zu unterscheiden. Letztere adressieren mit der Optimierung von Baukomponenten in Produktionsstätten und Manufakturen, bereits gezielte Eigenschaften eines Bauteiles, die im Einsatz eines konkreten Bauvorhabens zu Tage treten und sind damit nahezu im Bauprozess involviert. Die Optimierung eines **Bauproduktherstellers** hingegen, richtet sich mit den vordefinierten Qualitätsmerkmalen, eher an die zeitliche und technische Verdichtung des **Herstellungsprozesses**, welche den häufig geforderten, hohen Quantitäten der Bedarfe hinreichend begegnen kann. (Vgl. El Khouli, 2014 et al.) Eine Umstrukturierung des Herstellungsprozesses zugunsten bautechnischer Vorteile, wäre für Hersteller ein immenser Aufwand, der außerdem nur eine Nische, spezifischer Anforderungen beantworten würde.

Daher stehen PlanerInnen in letzter Instanz, letztlich das Repertoire fertiger Bauprodukte zur Verfügung, welche im Sinne von angestrebten Bauwerkseigenschaften, kombiniert und situiert werden. PlanerInnen treten dabei häufig mit unterschiedlichen Bauunternehmen in Kontakt, welche die Anforderungen an Bauelemente aus der Baupraxis kennen und elaborieren so, das für einen spezifischen Nutzen ausgerichtete Bauelement, das in einem Bauwerk eingesetzt werden soll.

1 (Vgl. El Khouli, 2015, 49) 2 non renew. cumulative energy demand (kumuliert Phasen von Produktion bis EndofLife)

> Zu beachten ist, dass nur **10-20 %** aller am Markt angebotenen Bauprodukte, in den **Rohbau** verbaut werden. Gleichzeitig jedoch, macht der **Rohbau von Bauwerken** durchschnittlich etwa **80 %** der **eingesetzten Baumassen** und deckt ungefähr **50 %** der eingesetzten **Primärenergie** ab.[1]

Die Reduktion der aufgewandten Energiemenge (PEI) beginnt folglich mit der **Konzipierung** und **Optimierung** der **tragenden Primärstruktur**. Diese erreicht in etwa bei der Herstellung von einem Quadratmeter Nutzfläche, in mehrgeschoßigen Wohngebäuden eine **Optimierungs -spanne**, mit dem Faktor fünf, sprich eine **500 % -iger** Spielraum der Ressourceneinsparung. Letztlich variiert die aufgewandte **nicht erneuerbare Energie**, welche sich im kumulierten n.e. Energiebedarf abbildet (CED_{nr})[2] „nur" um rund 35 %. (Fig.17) Leichtere Konstruktionen zielen also auf einen **geringeren Energieaufwand** ab, wobei es durchaus möglich ist massive Konstruktionen mit -leichteren Konstruktionen gegenüber - vergleichbaren Energieaufwänden, **aus nichterneuerbarer Energie** herzustellen.[1] Es ist, wie für die nachhaltige Planung allenfalls relevant, eine beachtliche Optimierungsspanne von 35 % (aus n.e. Energie) gegeben.

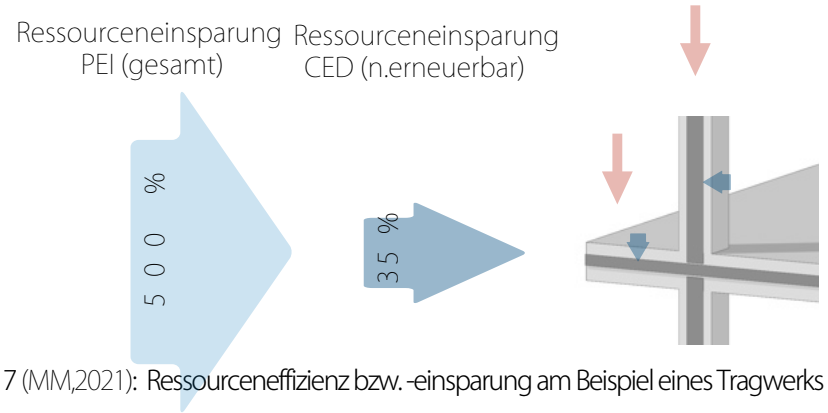
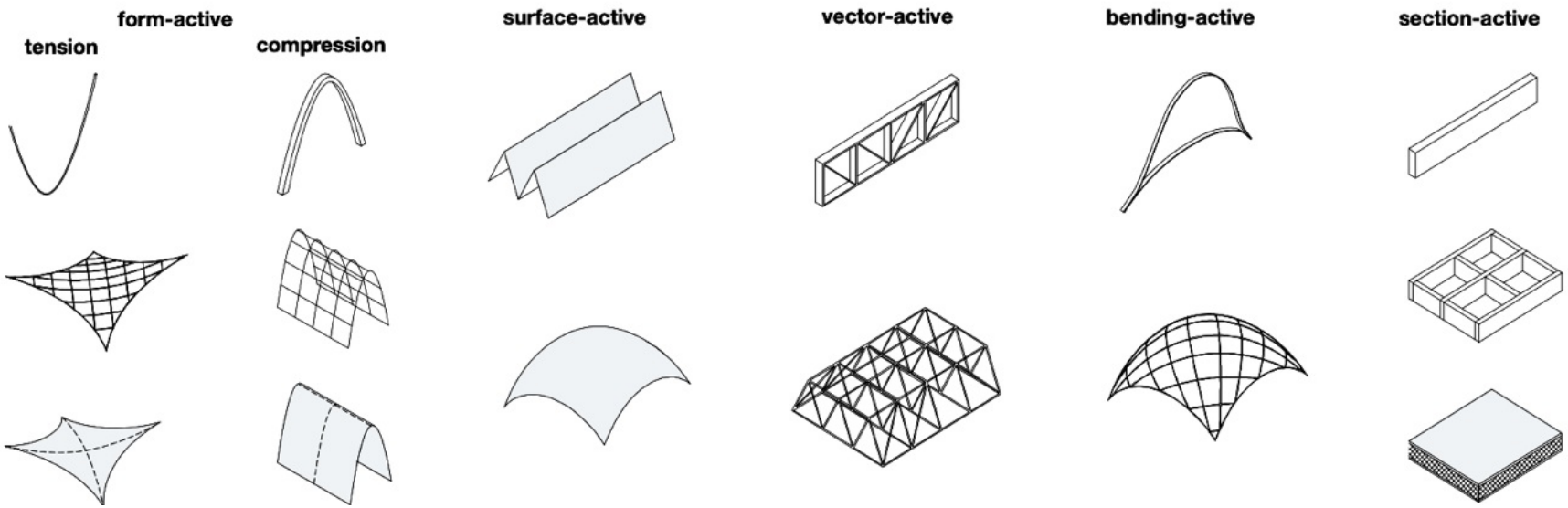


Fig.17 (MM,2021): Ressourceneffizienz bzw. -einsparung am Beispiel eines Tragwerks

Abb.31: Tragwerkssysteme (vgl. El-Khouli, 2015 et al.)



Architektur und Primärstruktur

Die Primärstruktur eines Gebäudes entspringt direkt aus der Archtekturtypologie bzw. der architektonischen Gestalt. (Siehe **Abb. 31**) Daher fußt die Konzipierung des Tragsystems schon im Architekturentwurf, mit dem allerdings vordergründig, gestalterische, funktionale oder räumliche Ziele verfolgt werden. Allenfalls wird für das Beherrschen der wirkenden Kräfte, dem ordnungsgemäßen Ableiten von Lasten, das grundlegende Tragsystem schon als fester Bestandteil des Entwurfsprozesses mitüberlegt und analysiert. Eine detaillierte Aufgliederung aller Knoten und Elemente, sowie deren Dimension -ierung und die eingehende konstruktive Durchbildung, erfolgt schließlich im umfassenden Tragwerksentwurf, wo schließlich auch die einzusetzen Bauteile, im Hinblick auf Tragreserven und Toleranzen optimiert werden. Primär ausschlaggebend bleibt allerdings, dass das mit der Typologie des Entwurfes einhergehende Tragsystem, die Effizienz der Konstruktion maßgebend vorbestimmt.
Es können folglich, folgende **Strategien** zur Erhöhung der konstruktiven Effizienz pointiert werden:

- Die Wahl des **geeigneten Tragsystems**, das mit dem spezifischen Architekturentwurf im Einklang steht.
- Die Zergliederung der **abzuleitenden Lasten** in Einzelteile eines **Systems aus Stabkräften,** welche entweder **Druck- Zug-** oder **Torsionskräfte** aufnehmen.
- Der im Hinblick auf statische Eigenschaften, **materialgerechte** Einsatz von **Baumaterialien** bzw. die optimale Materialisierung.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

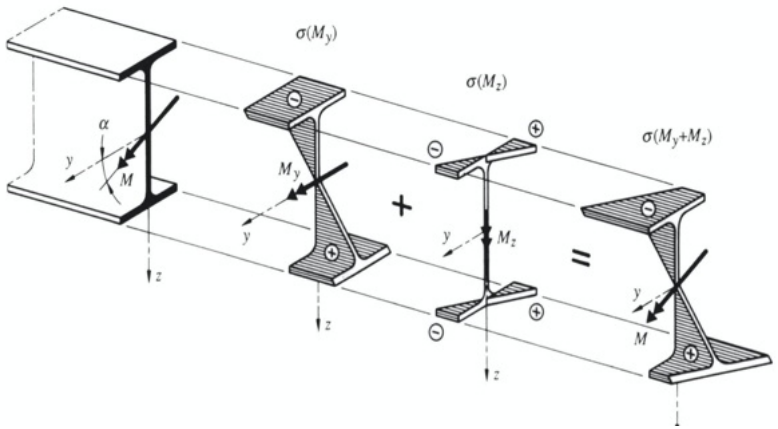
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Auf Ebene des praktischen Einsatzes von Bauprodukten, können folgende Maßnahmen zudem, die Effizienz verbessern:
(vgl. El Khouli, 2017 et al.)

- **Profilierte Oberflächen** verteilen Auflasten über die vergrößerte Oberfläche und erhöhen je nach deren Beschaffenheit die Steifigkeit gegenüber einwirkenden, mehrachsigen Lasten wie Schnee oder Windbelastungen.
- **Rippenkonstruktionen** können einachsig und zweiachsig gespannt werden und verringern das Eigengewicht der Konstruktion. Mit ihnen lassen sich auch die gegebenen Lasten gerichteter ableiten.
- **Sandwichkonstruktionen** erreichen durch ihre Höhe im Querschnitt, eine höhere Steifigkeit. Wird in etwa die Höhe verdoppelt, erreicht man die siebenfache Steifigkeit.

Den Widerstand den ein Tragelement gegenüber Belastungen entgegenbringt, hängt nicht ausschließlich von der **Steifigkeit** des Baustoffes ab. In die Steifigkeit eines Tragelements, also dem Widerstand gegenüber **Biegung**, geht (abgesehen vom Stoffgesetz, das auf das Hook'sche Gesetz beruhend, die **lineare Proportionalität** zwischen Spannung und Dehnung formuliert) die **geometrische Dimension**, als maßgebender Faktor mit ein. Das **Trägheitsmoment** nämlich, welches bei der Bemessung (gemeinsam mit dem E-Modul) einen Faktor zur Bestimmung der erforderlichen **Spannung des Querschnitts** darstellt, ist eine rein **geometrische Größe**, welche die **proportionale Verformung** eines Querschnitts gegenüber Einwirkungen, also die **geleistete Arbeit** als **Weg** [m⁴] ausdrückt. Zusätzlich geht in der Balkentheorie, die Biegespannung eines Bauteils, also seine **Tragfähigkeit** gegen Biegung, proportional zur Balkenhöhe z hervor. (Vgl. A. Öchsner, 2016, S.11 et al.)

Die Konzeption und Durchbildung des Tragsystems, stellen sich also als wesentliches Instrument zur Steigerung der **konstruktiven Effizienz** dar, in denen sich die Geometrie und die Dimensionen der Elemente, als bestimmende Einflussgröße charakterisiert. (Beispiel **Abb.31**)



$$\sigma_x(x,z) = +\frac{M_y(x)}{I_y} z(x)$$

Abb.31:Abhängigkeit und Proportionalität[1] der Biegespannung, von der Höhe des Querschnitts, am Beispiel eines Stahlträgers : Mit steigender Querschnittshöhe (gemessen vom Abstand der neutralen Faser) nimmt die Spannung zu (Öchsner et al.)

[1]In die Spannung σ ($\sigma_x(x,z) = +\frac{M_y(x)}{I_y} z(x)$)
geht als z die Höhe des Trägers als Faktor ein.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Effizienz in Hallenstrukturen

So werden in Hallentragwerken, gleichermaßen mit dem Ziel möglichst effiziente Primärstrukturen zu entwickeln, sehr vielfältige Ansätze verfolgt. Mit der Notwendigkeit, ein möglichst stabiles System zu erreichen, wird versucht, den hierfür geringstmöglichen Materialeinsatz anzuvisieren. Lässt das System aufgrund seiner **Leichtigkeit** allerdings zu hohe Verformungen zu, werden die kritischen Lasten häufig nur in das **Fundament verlagert**, welches dann, mit biegesteifen Lagerungen massiver ausgebildet werden muss. Weist das System aufgrund zu vieler biegesteifer Ecken bzw. Knotenpunkte, kaum Toleranzen auf, führt dies zufolge Temparaturschwankungen zu Zwängungen, folglich zu ungewünschten Verformungen. (Vgl. W.Herget,1993) Es lassen sich also folgende Leitparameter erkennen, welche bei der Entwicklung eines Tragsystems **(Abb.32-35)** mit- und gegeneinander erwogen werden:

- Mit **statisch bestimmten Systemen**, gelingt eine genauere Ausbildung der Lagerreaktionen, mit denen die einwirkenden Kräfte gezielter aufgenommen werden können.
- Die **Dimensionen** der Querschnitte sind zugleich maßgebend für die Wirtschaftlichkeit und Effizienz des Systems
- Die **Biegesteifigkeit** der Knoten, sorgen für eine höhere Stabilität und schlankeren Bauteilen und verringert die Fundamentmassen
- **Die Zwängungsfreiheit,** werden mit der Vermeidung statisch unbestimmter Systeme[1] erzielt.
- Die **gleichmäßige Querschnittsauslastung**, erlaubt eine gleichmäßige Ableitung der Lasten
- Die effiziente und standsichere **Montage** in allen Bauabschnitten

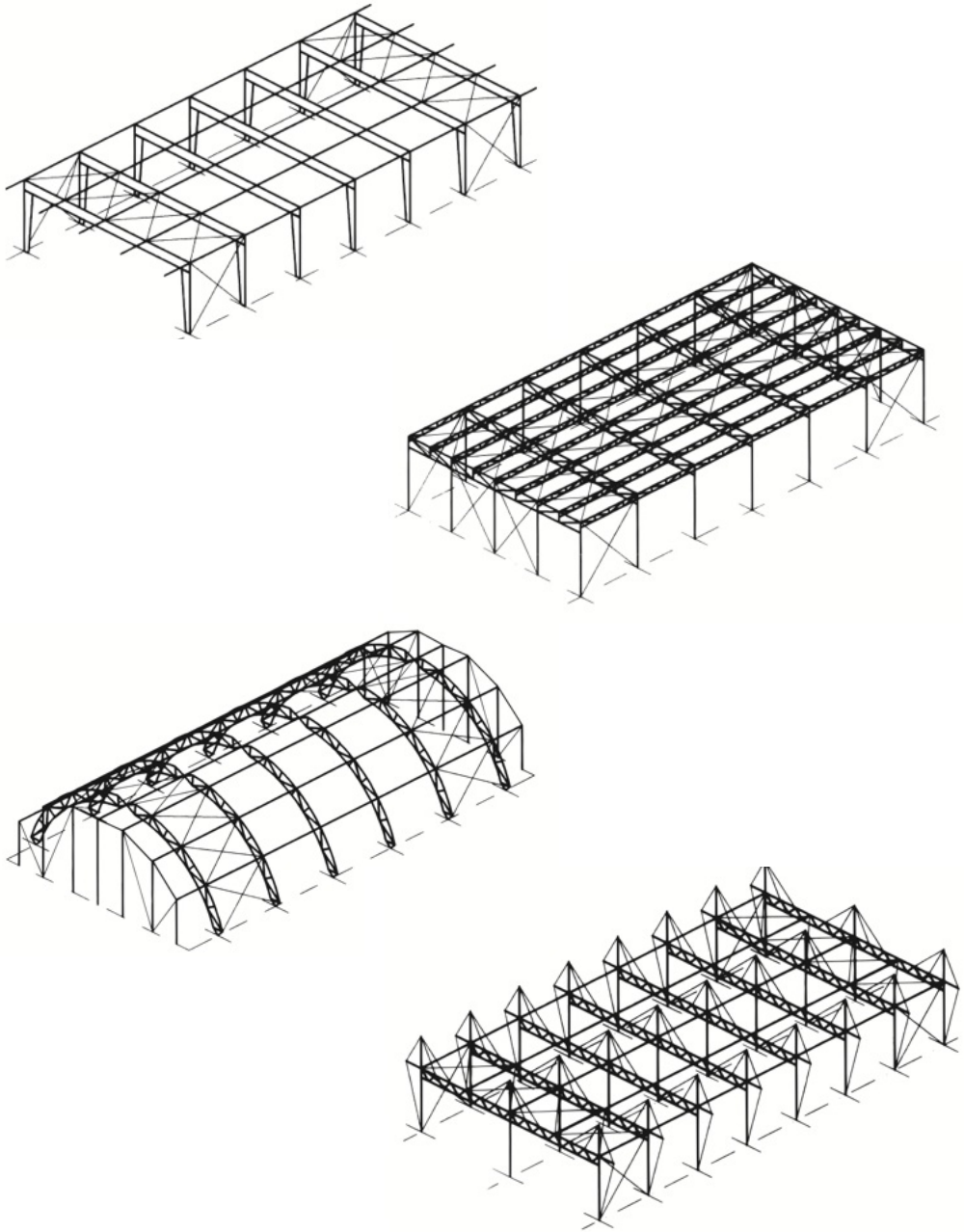


Abb.32-35: Hallenbausysteme: Rahmen-Fachwerkbinder u. Pfetten-Bogensystem-abgespanntes System (F.Grimm,R.Kocker,2021)

[1] Ein statisch unbestimmtes System, weist mehr oder weniger Lagerreaktionen als Freiheitsgrade auf.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Formgebung : Ein Beispiel im Hallenbau

Werden die Schnittkräfte betrachtet, lassen sich schnell die Vor- und Nachteile bei der Wahl und Ausrichtung eines Systems, und jene Ausbildung der Bauteile und Knoten eruieren, welche die optimale Ableitung und Auslastung des Tragwerks erzielt. Ein exemplarisches Beispiel für den Zusammenhang zwischen Formgebung und den Schnittkräften demonstriert sich etwa am Momentenverlauf eines einhüftigen Rahmens (einseitig-biegesteife Ecke) verglichen mit jenem eines Zweigelenkrahmens. (Abb.36/37) Es lässt sich eine gleichmäßigere Auslastung an letzterem erkennen. Allerdings kommt es beim Zweigelenkrahmen, welcher ein statisch unbestimmtes System darstellt, schnell zu temperaturbedingten Zwängungen. Mit der Auflösung eines Eckknotens zu einem Gelenk, werden Kräfte gezielter abgeleitet und Zwängungen reduziert. Schwachpunkt des einhüftigen Rahmens ist allerdings die ungünstige Momentenüberlagerung, aufgrund der Pendelstützen-Lagerung von Stiel und Binder, in selbigem Gelenk, welche keine Biegemomente aufnehmen können. Im Falle von biegesteifen Rahmen, lassen sich die Momentenverläufe gleichermaßen mit der Formgebung der Rahmenecken gerichtet beeinflussen (Abb.37) Verbreitert sich der Anlauf der Stütze zum Stoß hin, halbiert sich das Feldmoment des Binders. Wird zusätzlich eine Voute ausgebildet (c) verringert sich das Feldmoment auf ein Viertel, da das gevoutete, biegesteife Eck den Großteil des Biegemoments aufnimmt. (Siehe Fig.18-20) So liegen den Gestaltungsmöglichkeiten im Skelettbau, die Prinzipien der Lastabtragung, sowie die betrachteten Schnittkräfte zugrunde. Mit dem Ziel, ein möglichst zwängungsfreies System herzustellen, werden die Anzahl und Wertigkeiten der Knoten, sowie die Wahl der Querschnitte, mit den damit verbundenen Schnittgrößen und Verformungen abgewägt und dementsprechend ausgestaltet.

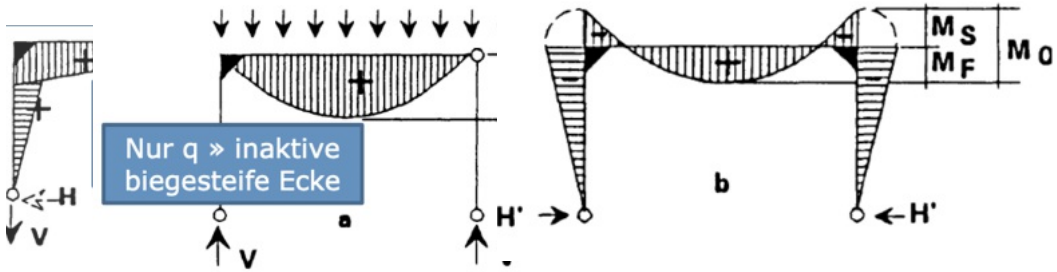
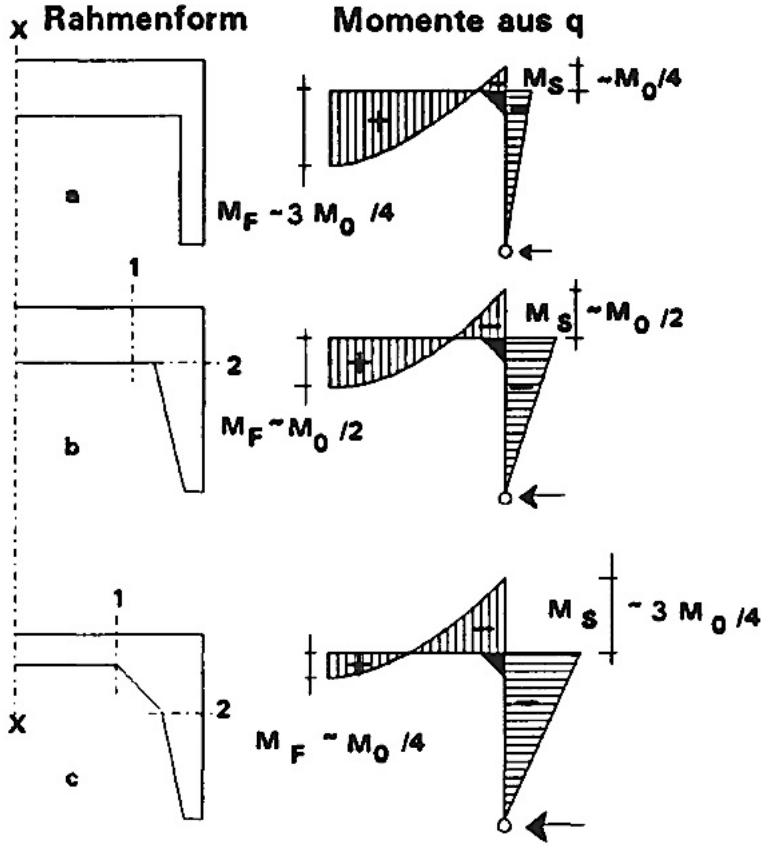


Abb.36: Vergleich einhüftiger Rahmen und Zweigelenkrahmenensystem (W.Hegert ,2021)

Abb.37 (u.): Ausbildung des Rahmenecks zur Verlagerung des Momentenverlaufes (W.Hegert ,2021)



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- **Fig. 18** [1](oben 3D Illustration MM 2021, nach W. Herget 1993, 146-151)

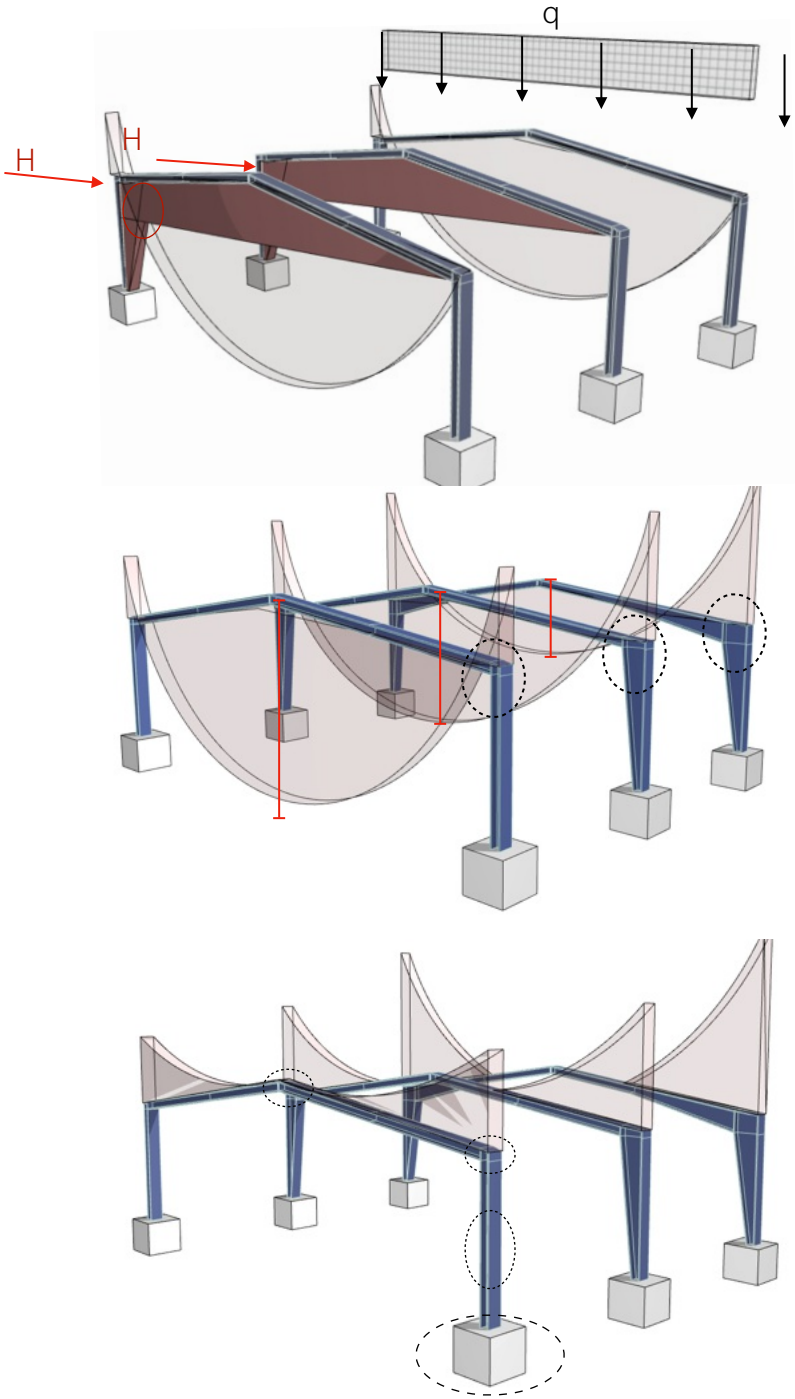
Betrachtet wird ein einhüftiger Rahmen, welcher per Definition ein biegesteifes und ein gelenkiges Eck besitzt. Gegenüber einem Zweigelenkrahmen, bringt diese Variante als statisch bestimmtes System, den Vorteil einer gerichteten, also effizienteren Lastaufnahme: In der Haupttragebene X des Rahmens, genügt es für die Standsicherheit jeweils nur ein biegesteifes Eck auszubilden. Aufgrund der Penedelstablagerung, ergibt sich eine ungünstige Momentenüberlagerung der vertikalen und horizontalen Lasten.

- Fig. **19 und 20** [1] (Mitte und unten)

Am Beispiel des Zweigelenkrahmens (links) wie auch am Dreigelenkrahmen (rechts) demonstriert sich der Zusammenhang zwischen der formgebenden Eckausbildung und der Momentenverläufe: Mit Verbreiterung des Stützenanlaufs halbiert sich das Feldmoment, mit Ausbildung einer Voute, verringert sich dies auf ein Viertel. Dementsprechend steigt in beiden Systemen das Stützmoment zu den Ecken hin.

Folgende Stellgrößen sind bei der Durchbildung herauszugreifen :

- Statisch bestimmte Systeme erlauben eine gezieltere und effizientere Aufnahme von Lasten. (zB.Dreigelenkrahmen statt Zweigelenkrahmen)
- Die Ausbildung biegesteifer Ecken, erfordert konstruktiv und materialmäßig aufwändige Knoten, führt allerdings zu einer Verschlankerung der Querschnitte und zur Verringerung der Fundamentmassen.
- Statisch unbestimmte Systeme führen zu Zwängungen (Zufolge Temparaturschwankungen und geringer Bewegungstoleranzen)
- Eingespannte Stützenfüße, erfordern größere Fundierungen, erleichtern allerdings die Montage. (Standfestigkeit während Abschn.)



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.2.2. Effiziente Materialisierung und Materialeinsatz

Die Prämisse für die Strukturierung eines energieeffizienten Bauwerks, ist die funktionale Aufgliederung der Bauteile, mit dem Ziel, dass negative Energiewirkungen auf das Gebäude (Temperatur, Witterung usw.) konsequent aufgehoben werden. Die Kombination der einzelnen Bauelemente, dürfen durch ihren Einsatz die ökologischen Größen nicht noch verstärken, oder sich etwa gegenseitig in ihrer vollwertigen Leistung behindern. Auf Ebene der Tragstruktur, soll eine kohärent, durchgedachte Systematik, die einwirkenden Lasten, möglichst neutralisieren und nicht lediglich zB. in die Fundamente umlagern. Redundante Tragelemente, die eine bereits geleistete Funktion belegen, werden durch eine streng, aufgeschlüsselte Konzeption des Tragwerks vermieden. Es können demnach folgende Gesichtspunkte für den effizienten Materialeinsatz herausgegriffen werden:

- **Die strukturelle Reduktion** : Dies sieht einerseits
  - die Reduktion der **eingesetzten Materialien** (Homogenität) : Dies vereinfacht die konstruktive Durchbildung.
  - andererseits die **Verringerung**, sowie **Vereinfachung** von **konstruktiven Verbindungen** und Stößen vor: Dies mündet in eine repititive und qualitätsvolle Konstruktion.
- Die **Materialkonzentration**: Forciert Bauweisen, die einen geringeren Materialaufwand zur Folge haben und vermindert damit auch die ökologischen Wirkgrößen (Konstruktive und energetische Effizienz)
- Das Herstellen von **funktionalen Synergien** : zB. durch eine Außenwand aus Porenbeton statt Kalksandstein, das Eigengewicht verringern, während sich gleichzeitig der Wärmedurchgang verringert.[1]

[1](El Khouli ,2015,51)

Effiziente Strukturierung und Situierung

Das Einschränken auf möglichst wenige, eingesetzte Baustoffe und Materialien, ermöglicht einerseits eine **klare Hierarchisierung** und **funktionale Gliederung** des Gebäudes in primäre und sekundäre Tragstrukturen, in der Abgrenzung zu anderen Funktionsschichten wie Wärmedämmung und -isolation, Feuchteschutz, Brandschutz, usw. Andererseits wird mit der klaren Strukturierung auch funktionale Überschneidungen vermieden. Können Funktionen in ein Material oder in ein Bauelement zusammengeführt werden, komprimiert und erleichtert das die Konstruktion insgesamt, und vermindert zudem seine Komplexität.

Ein essentielles Prinzip ist es weiters, bei der Wahl der Materialien, den geeignetsten Einsatz vorzusehen, der nämlich in den Stärken des Baustoffes liegt, und so mit der Situierung im Bauwerk zu seiner entsprechenden Geltung kommt. (Siehe Vergleich **Abb.38** unterhalb)

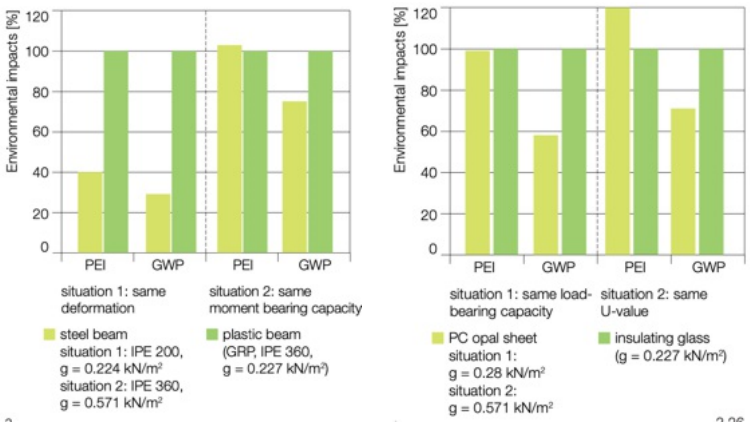


Abb.38: li; Vergleich eines Stahlträgers IPE 200/360 mit einem Träger aus Glasfaserverstärktem Kunststoff : Weist der GFK Kunststoff die gleiche Biegetragfähigkeit auf, nähert er sich den GWP und PEI Werten eines vergleichbaren Stahlträgers (re.). Bei gleicher Verformung hingegen, erfordert der GFK Träger 60 % mehr PEI und weist um 85 % höheres Treibhauspotenzial (lil.) (El Khouli ,2014,51)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tragfähigkeit und Material

Möchte man eine Tragstruktur, mit einem möglichst trageffizientem Material ausstatten, erweist es sich aus Sicht einer objektiven Betrachtung als vorteilhaft, unabhängig von der spezifischen Tragfähigkeit des Materials, einerseits die konstruktiven Rahmenbedingungen, andererseits die materialspezifischen, wirtschaftlichen und ökologischen Dimensionen und Folgerungen mit heranzuziehen. (Bsp. Siehe **Abb.39**) Folgende Faktoren können hier erachtet werden:

- **Eigengewicht:** Mit dem Einsatz vom bekanntlich leistungsfähigem **Stahl** lassen sich sehr filigrane Bauwerke realisieren. Bei Stahl steigt jedoch zugleich auch das **Eigengewicht** der Konstruktion[1], welches umso massivere, übergeordnete Tragbauteile und Fundamente erfordert.
- **Ökologische Indikatoren:** Verringert eine Konstruktion das eingesetzte Material, verringern sich damit auch die aufgewandten Energiemengen im PEI, als auch die emittierenden Schadstoffe (GWP).
- **Wirtschaftlichkeit:** Leistungsfähigere Querschnitte sind teurer, demnach wird meist das Bauvolumen gegengerechnet, indem sich die Tragfähigkeit des eingesetzten Materials verdanken soll. (siehe Abb.40)
- **Lebensdauer :** Wie in 3.1. erläutert, hängt der gewählte Materialeinsatz bei einer obj.. Betrachtung auch von der potenziellen Lebensdauer der Konstruktion ab. Eine tragfähigere Konstruktion, kann eine höhere technische Lebensdauer erzielen. Hierbei spielen zudem die konstruktiven Rahmenbedingungen eine vordergründige Rolle.

[1] Stahl: Eigengewicht va. 7850kg/m3 bei einer Zugfestigkeit von 340-470/mm2 (235JR) verglichen zu Holz zB. Buche: 700kg/m3 bei Zugf. bis zu 135 N/mm2 (Hegger, 2015, S.80 et

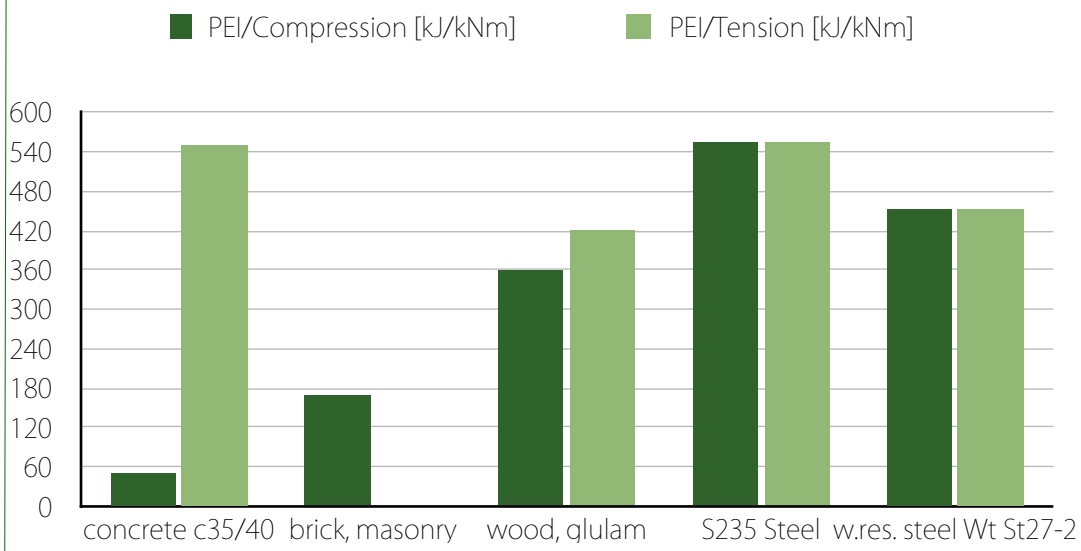


Abb. 39 :Aufgewandte Energie PEI in Relation zur Tragfähigkeit (pro Joule pro 1kNm Druck/Zug) (El Khouli, 2014, 50 et al.)

Bei komplexen Tragwerken, die besonderen statischen Anforderungen standhalten sollen bzw. mit der Zunahme der erforderlichen Raumdimensionen und Spannweiten, erweist sich Stahl, der sich mit seiner hohen Zug- und Biegefestigkeit hervorhebt, häufig als die effizientere Materialwahl. Speziell im Brückenbau, werden durch hochfeste Herstellungsvarianten (zB. ab S355) des Baustahls, besondere Materialeinsparungen, gegenüber anderen Baustoffen erzielt. Wird der **PEI** den **Festigkeiten** gegenübergestellt, charakterisiert sich insbesondere im Skelettbau, eher Holz als der umweltfreundlichere Baustoff, der speziell durch den hohen Anteil erneuerbarer Energie bei der Herstellung, **Energieeinsparungen** bis zu **10-15 %**[2] gegenüber anderen Materialien erzielt. Mit Festigkeiten bis zu 135N/mm[1] stellt sich Holz, gegenüber dem Eigengewicht (Etwa 1/10 zu Stahl) zudem als effizienterer Baustoff dar, der zugleich eine beträchtliche Senkung von CO_2 Emissionen (zB. **30-40 %** - GWP gegenüber Beton bei Deckenkonstruktionen, bis zu 100 % bei Wänden zB. Holzständer im vgl. zu Porenbetonwand) nach sich zieht.[3]

[2] Grundlage der PEI Differenzen bilden fünf Gebäude in Österreich nach El-Khouli, 2015,S.48 Ta b.3.15
[3] (El-Khouli, 2015, S.50 et al.)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Als **nachwachsender Rohstoff**, bindet Holz im Wachstumsprozess schon CO_2, womit er sich als CO_2-Speicher versteht. Diese gebundene Energie, kann nach der Nutzung, durch Verbrennung erneut als Energiequelle zB. als Wärmeenergie umgesetzt werden. Das gesenkte Treibhauspotenzial ist sonach darin begriffen, dass bei der Verbrennung lediglich jene CO_2-Menge ausgestoßen wird, die zuvor im Wachstumsprozess gebunden wurde. Zugleich wird die Effizienzsteigerung mit der etwa für die Trocknung des Holzes, **erneuten Verwertung** der Energie, des bereits im Bau genutzten Holzes, zum Ende der Lebensdauer, erreicht. (Hegger, 2015, S.80 et al.) **(siehe Abb.40 Energiemix im Vergleich von Baustoffen)**

Konstruktive Umnutzung und Nachnutzung

Den Möglichkeiten der konstruktiven Umnutzung oder den Nach-nutzungen, können insbesondere mit **flexiblen Raumstrukturen** gedient werden. Insbesondere in **Stahl**, dessen Trageffizienz sich besonders bei großen Spannweiten manifestiert **(Abb.41)** können mit **stützenfreien Räumen**, die Nutzungsflexibilität der Flächenbelegungen und Anordnungen weitestgehend offengehalten werden. Hiermit bleibt einerseits die tragende Primärstruktur relativ autark und unabhängig von inneren Nutzungsszenarien, zudem wird die Leitungsstruktur der **Gebäudetechnik** erleichtert, da Leitungsführungen nicht mit Innenwänden und Ausbauelementen kollidieren müssen. **Stahltragwerke** erlauben auch hohe **Nutzlastreserven** und können wirtschaftlich, auch nach der Fertigstellung durch zusätzliche Konstruktionen **effektiv verstärkt** werden. Im Falle eines Rückbaus, nach Ausschöpfen der Nutzungsmöglichkeiten, weisen Stahltragwerke bei einer qualitätsvollen Konstruktion, häufig noch einen hohen Restwert auf, wodurch eine vollwertige Wiedererrichtung oft umsetzbar wird. (Hegger, 2015, S.138 f)

Material	Bezugs-wert	Heiz-wert [MJ]	PEI nicht ern. [MJ]	PEI ern. [MJ]	GWP Treibhaus-effekt [kg CO_2eq]
Holz und Holzwerkstoffe					
Schnittholz					
Kiefer, 12 % Holzfeuchte (HF) (ortsnah), Darrdichte 450 kg/m³	1 m³	8775	609	9512	-792[1]
Western Red Cedar, 12 % HF (Nordamerika), Darrdichte 630 kg/m³	1 m³	12285	4485	14359	-907[1]
Teak, 12 % HF (Brasilien), Darrdichte 660 kg/m³	1 m³	12870	3217	13435	-1013[1]
Holzwerkstoffe					
Brettschichtholz (BSH), 12 % HF, Darrdichte 465 kg/m³	1 m³	9300	3578	13870	-662[1]
Dreischichtplatte, 12 % HF, Darrdichte 430 kg/m³	1 m³	8618	2617	9387	-648[1]
Bau-Furniersperrholz (BFU), 5 % HF, Darrdichte 490 kg/m³	1 m³	10175	4729	15041	-636[1]
Spanplatte (P 5, V 100), 8,5 % HF, Darrdichte 690 kg/m³	1 m³	13998	5818	12614	-821[1]
Oriented Strand Board (OSB), 4 % HF, Darrdichte 620 kg/m³	1 m³	12555	4593	16479	-839[1]
mitteldichte Faserplatte (MDF), 7,5 % HF, Darrdichte 725 kg/m³	1 m³	15843	9767	12495	-515[1]
Baustoffe mit mineralischen Bindemitteln					
Werksteine					
Kalksandstein, ρ = 1800 kg/m³	1 m³		2030	117	247
Betonstein (Pflaster), ρ = 2500 kg/m³	1 m³		1990	46	310
Porenbetonstein, ρ = 400 kg/m³	1 m³		1484	81	186
Leichtbetonstein, ρ = 600 kg/m³	1 m³		787	35	97
Beton					
Ortbeton (C 25/30), ρ = 2340 kg/m³	1 m³		1549	17	251
Ortbeton (C 35/45), ρ = 2360 kg/m³	1 m³		1764	23	320
Betonfertigteil, 2 % Stahl (FE 360 B, C 35/45), ρ = 2500 kg/m³	1 m³		4098	86	455
Metall					
Eisenmetalle					
Gusseisen, Guss (GG 20; sekundär), GJL	1 kg		10	0,49	0,97
Baustahl, Warmwalzprofil (FE 360 B)	1 kg		24	0,54	1,70
Betonstahlmatten (sekundär)	1 kg		13	0,24	0,83
wetterfester Stahl, Kaltband (WT St 37-2), 2 mm	1 kg		26	0,56	2,00
Edelstahl (V 2 A, X 5 CrNi 18-10), 2 mm	1 kg		54	6,30	4,80

Abb.40: Energiemix und GWP Baustoffe. Beachtlich sind die nicht erneuerbaren Anteile des PEI bei Holzwerkstoffen, sowie der niedrige GWP im Vergleich zu Beton und Stahl (Hegger, 2015, S.80 et al.)

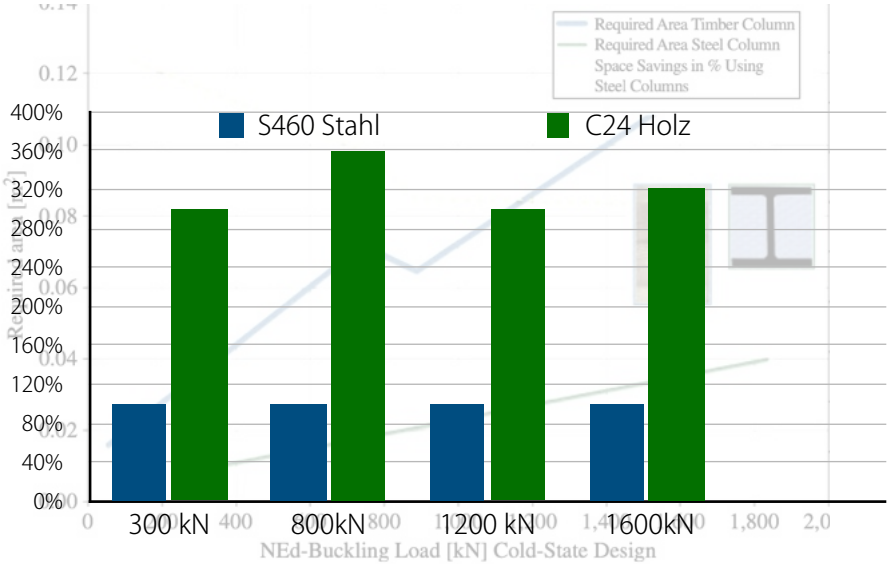


Abb.41: Erforderliche Konstruktionsfläche im Verhältnis zu Knicklast, Vergleich Stahl- u. Holzstütze: Stahl jeweils mit 100 % angesetzt (Hauke B., 2016, S.93)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Reuse und Recycling

In Abhängigkeit der Errichtungs- bzw. Konstruktionsqualität können Gebäudeelemente aus Skelettbauten, aus Holz und Stahl zu relativ guten Anteilen demontiert und wiederverwendet bzw. in den Materialkreislauf rückgeführt werden Entscheidend ist hierbei insbesondere der Grad der technischen Rückbaubarkeit, welche mit vorgefertigten Systembauweisen bewusst angesteuert werden. Die direkte Wiederverwendung stellt die hochwertigste Form des Recyclings dar, und beläuft sich aktuell auf 11% der demontierten Baustoffmengen. Die Recyclingrate von Stahl in Deutschland liegt bei ca. 80 %, die Recyclingrate von **Baustahl** im **Bauwesen** bei 98%[1]

Es werden aktuell 45 % aller Metalle aus dem im Elektrolichtbogenofen eingeschmolzene Metallschrott (Sekundärstahl erfordert 47 % weniger Energie [PEI] und senkt daher auch die ökol. Indikatoren um 48 %)[2] gewonnen. Als Primärstruktur, als auch als Sekundärelement zeigt Stahl beinahe bei allen Kombinationen (**Abb.42**) einen vollwertige Rückbaubarkeit auf. Dicht gefolgt bildet auch Holz gegenüber anderen Baustoffen, in vielen Materialkombinationen, eine vergleichbare Demontier- und Verwertbarkeit, mindestens für ein qualitätsreduziertes Recycling ab. Planer können speziell bei Stahl mit der Wahl der eingesetzten Stahlsorten, den geforderten Funktionen entsprechend, zugleich auch Energie -verbräuche und ökolog. Auswirkungen beeinflussen. Bewehrungsstahl etwa hat einen Sekundäranteil von 95%, Flachstahl im Vergleich etwa 30%. Zu beachten ist, dass der Energiemix bei der Bewertung von Baumaterialien insbesondere die Anteile nichterneuerbarer Energie, stark von den betrachteten Funktionskomponenten und deren funktionsbedingte Dimensionierung abhängen und daher Differenzen von bis zu 100 % aufzeigen. (siehe **Abb.43 Abb.44** und **Abb.45**)

[1] (Die Sammelrate o. Recyclingrate ist die Summe der wiedergewonnen Materialmassen, r die für die direkte Wiederverwendung oder zur weiteren Verschmelzung zu Sekundärstahl usw. Kamrath P.,Hechler O. z.n.Helmus M. 2020

Auxiliary element	Main element (dominant material): Concrete	Steel	Sheet glass	Plaster	Wood (untreated)	PVC (foam)
Concrete	mono material	separates easily, recycling technologies are available for steel and concrete	almost inseparable, no available recycling technologies	almost inseparable, no available recycling technologies	difficult to separate, downcycling technologies are available	difficult to separate, no available recycling technologies
Steel	separates easily, recycling technologies are available for steel and concrete	mono material	separates easily, glass is recyclable (limited use as sheet glass)	separable, recycling technologies are available for plaster and steel	separates easily, recycling technologies are available	separates, hardly any available recycling technologies
Sheet glass	difficult to separate, only downcycles	separates easily, recycling technologies are available for steel and glass	mono material	almost inseparable	separates, limited downcycling technologies are available	separates, hardly any available recycling technologies
Plaster	plaster is a hazard in concrete demolition work, only small amounts admitted due to sulphur attack	separates easily, recycling technologies are available for steel and plaster	almost inseparable, no available recycling technologies	mono material	difficult to separate, plaster disturbs mechanical recycling process and combustion	difficult to separate, no available recycling technologies
Wood (untreated)	small, very soiled wood parts are difficult to separate; large-format wood scrap uncomplicated	separates easily, recycling technologies are available for steel and wood	partially separable, wood disturbs the glass production process, downcycling is possible	difficult to separate, limited recycling technologies are available	mono material	difficult to separate, hardly any available recycling technologies
PVC (foam)	difficult to separate, if proportion of PVC is small, downcycling is possible	partially separable, PVC burns in the melting process	partially separable, PVC melts in the production process, downcycling is possible	difficult to separate, no recycling technologies are available	difficult to separate, PVC disturbs the mechanical recycling process, combustion is only possibility	mono material (technically recyclable, although seldom performed)

compatible, recycles well — limited possibilities, downcycling possible — incompatible, no recycling possible

Abb.42: Kompatibilität von Materialkombinationen beim Recycling
(El Khouli, 2014, S.56 Tab.3.39 et al.)

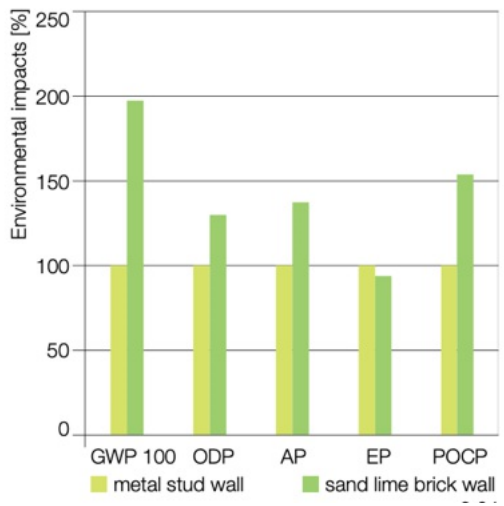


Abb.43: Ökoindikatoren im Vergleich, Metallständerwand und Kalksandstein-Mauerwerk[3]

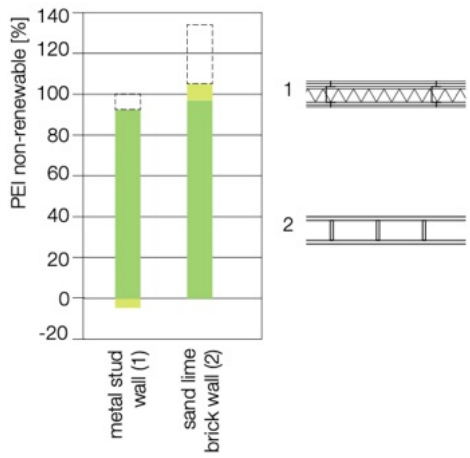


Abb.44: PEI-nicht erneuerbar Metallständerwand Kalksandstein-Mauerwerk[3] -35 %

[2] (El-Khouli, 2015, S.46)
[3] (El-Khouli, 2015, S.50)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

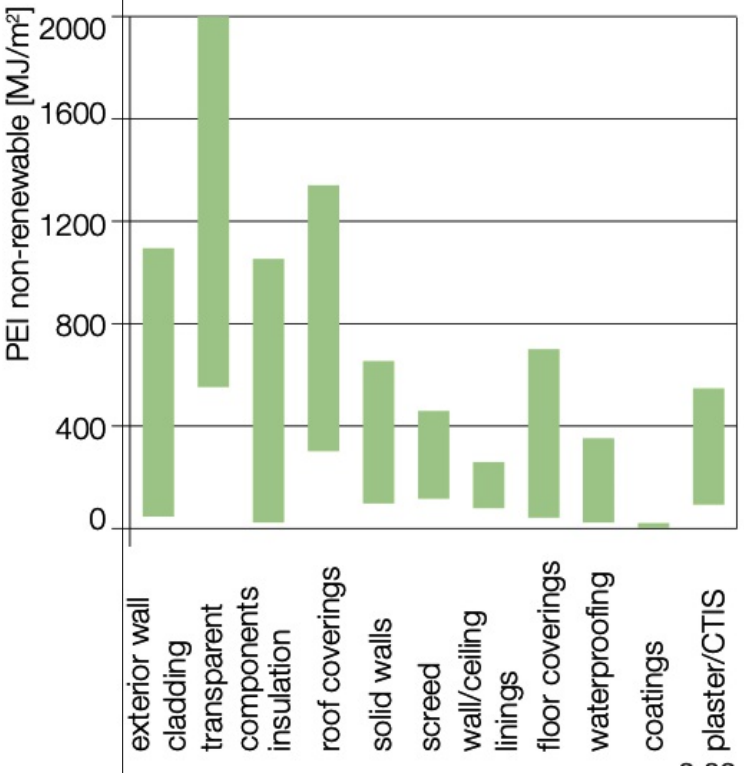


Abb.44.2: Anteile n.e. Energie nach Funktionsschichten (El Khouli,2015,S.50)

- Außenwand 0-100 %
- Hülle (transparent) 60-200 %
- Dämmschichten 0-100 %
- Dachabdeckungen 30-130 %
- tragende Wände 10-60 %
- Estriche 0-40 %
- Wand- und Deckenverkleidung 0-20 %
- Fußbodenaufbauten 0-70 %
- Verputze, Anstriche 0-3 %
- Abdichtungen 0- 40%
- Gipskarton/Ausbauelemente 10-55 %

Teil 3

Evaluierung realisierter Projekte

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

• Modularität und Flexibilität

Das für einen der international führenden Automobilzulieferer und Hersteller von Wischermotoren und Wischblätter, entwickelte Entwurfskonzept, das nicht etwa einer formalen Geste entsprang, lehnt an das programmatische Anforderungsprofil, welches zunehmens, von den Produktions- und Logistikabläufen der beiden unabhängigen Betriebe bestimmt ist. In das heterogene, städtebauliche Umfeld fügt sich ein modulares System, das die Forderung nach möglichen Umstrukturierungen bei laufendem Betrieb, als eine räumlich adaptierbare Struktur mit einem Rastermaß von 24,50m x 24,50m interpretiert. Die Spannweiten wurden dabei im Hinblick auf die **Wirtschaftlichkeit**, sowie in Anbetracht der **flexiblen Produktionsabläufe**, plausibilisiert. **(Abb.45)**

Die räumlichen Strukturen wurden als „open work spaces" umgesetzt und stellen eine flache und flexible Betriebshierarchie her, die sich aufgrund der **Nutzungstoleranzen**, als besonders ökologisch und ökonomisch erweisen. Entgegen der weitestgehend stützenfreien Produktionshalle, ist in die Büromodule eine Sekundärkonstruktion eingestellt, welche die Großstruktur in zwei Geschoße unterteilt. Die Medienversorgung, sowie sämtliche, technische Infrastruktur erfolgt, als sichtbare Installation ausschließlich über die Decken und abgehängten Kabelführungen und erspart somit, kostenaufwändige Doppel und Hohlraumböden.
(C. Ackermann, Detail Zeitschrift 2003/09)

Abb.45: Modulare Entwicklung des Entwurfes
(Detail-Zeitschrift 2003/09)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

- ## Räumliche Flexibilität & Offene Strukturen

Ausgangspunkt des Tragwerksentwurfes war ein ungerichtetes Trägersystem, auf einem quadratischen Raster, welches beliebig in alle Richtungen expandiert werden konnte und für die Produktion eine ausreichende Stützenfreiheit bot. Die Lasten der Medien für die Haus- und Produktionstechnik, welche sich zu schweren Versorgungssträngen entlang der Medienbahnen konzentrierten, stellten sich nun vorwiegend als Linienlast dar, wodurch die gerichtete Weiterleitung, von zweiachsigen Lasten nicht mehr möglich war. Die relativ unwirtschaftliche Überdimensionierung einer Tragrichtung, führte dazu, das ungerichtete System aufzugeben. An Stelle des aus einem äußeren Primärsystem aus Fachwerken, auf dem polygonförmig unterspannte Sekundärträger aufliegen trat ein **gerichtetes Gesamtsystem** aus Fachwerken. (S.64 **Abb. 45 u. 46)**

Abb. 46 u. 47(re.): Produktionshalle und Bürohalle (u.): (Detail-Zeitschrift 2003/09)

Zur Feststellung der Lasteinzugsflächen wurden die Haustechnik- und Produktionspläne, über die Tragwerkspläne gelegt und sodann die geeigneten Nebenträgerabstände eingestellt, für die in weiterer Folge die entsprechenden Tragfähigkeiten, also Querschnitte dimensioniert wurden. In vielen Bearbeitungsschritten, wurde ein in Hallenläng -srichtung verlaufendes System aus Hauptträgern, mit eingehängten, einfeldrigen Nebenträgern entwickelt. In einem weiteren Schritt wurden zur **effizienten Ausgestaltung**, die eingesetzten Fachwerkträger an die Belastungen angepasst und verfeinert.
(vgl. C. Ackermann, Detail Zeitschrift 2003/09)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- ## Tragstruktur und Optimierung

Reine Zugelemente wurden aus Flachstahl, Zug-Druck-Elemente aus schmalen U-Profilen und knickgefährdete Druckstäbe als doppel-symmetrische Walzprofile gefertigt. Die mit der Optimierung erzielte Verfeinerung der Bauteile, trägt abgesehen von einem material-effizienten Ergebnis, zu einer formästhetischen Sichtbarmachung des Kraftflusses bei. Durch eine V-förmige Krafteinleitung an Stützungs-punkten, wird die barrierefreie Führung der Installationsleitungen ermöglicht. Die Dachebene, in denen die knickgefährdeten Obergurte verlaufen, werden mit vorgespannten Verbänden aus Rundstäben stabilisiert, während Windlasten zu den Vertikalverbänden und Betonkernen hingeleitet werden. Über die Verbindungstechnik der Fachwerksstöße, wird im Bereich des Stützmoments des Fachwerk-untergurtes, welcher als Durchlaufträger konstruiert ist, (negatives Moment) zusätzlich gegen Ausknicken gehalten. Die zentrale Platzierung der Aussteifungsverbände erlauben der in Hallenlängs-richtung 171,50m langen Halle ein zwängungsfreies Atmen bei **Temperaturschwankungen**. Gegenüber einer lateralen Anordnung, halbieren sich die temparaturbedingten Verschiebungen. **(Abb.48/49)** Für die **Raumflexibilität** der Produktionshalle, konnte hiermit, die gesamte Konstruktion vollständig fugenlos, ohne zusätzlichen Auskreuzungen errichtet werden. Der Verwaltungstrakt ist durch eine abgefugte Einhängung, eigenständig am Betonkern stabilisiert und von den Zwängungsbewegungen der Produktionshalle entkoppelt. (Abb.48/49 S.67) Dadurch werden zwängungsbedingte Überlagerungen durch Bewegungen der beiden Bauteile vermieden. (vgl. C. Ackermann Detail Zeitschrift, 2003/09)

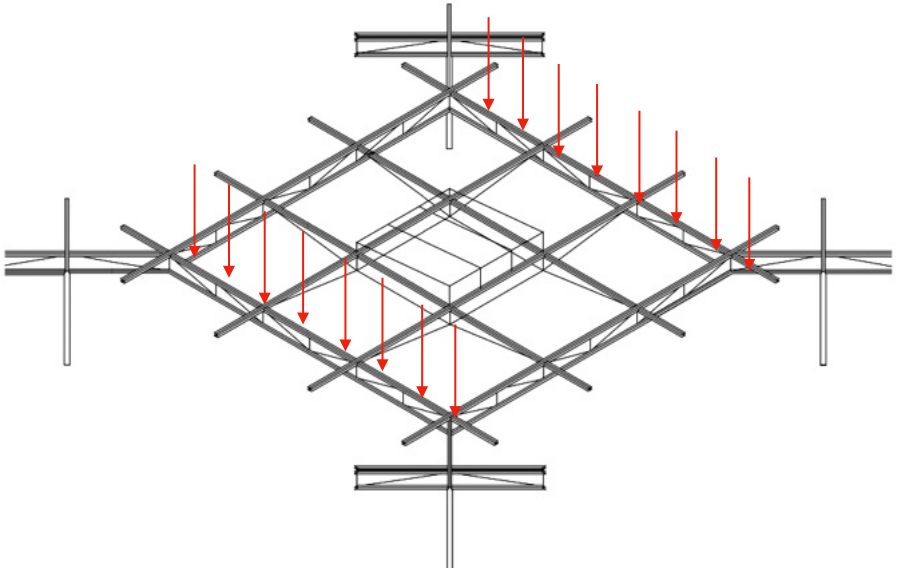
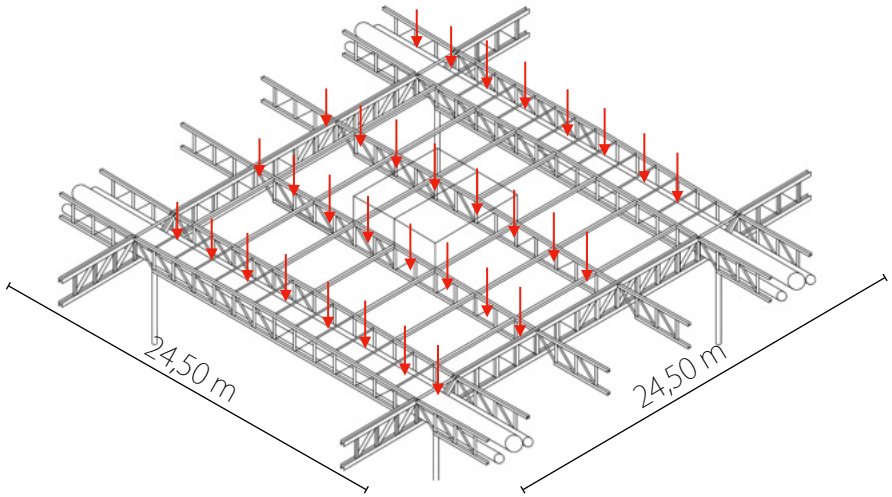


Abb. 48 (oben): ungerichtetes System aus unterspanntem Fachwerk (primär) und unterspannten Gurten (sekundär) - wurde aufgrund hoher Linienlasten der Versorgungsstränge nicht eingesetzt

Abb.49 (unten): gerichtetes System, primär aus Fachwerken und einfeldrigen Nebenträgern. (Detail Zeitschrift, 2003/09)



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- ## Planungshierarchie: vom Hochbau zur Haustechnik

Die Anordnung der Bauherrenvertretung stellte die Vorgabe, sämtliche Installationsleitungen in einer Ebene zu führen. Dies konnte mit der sorgfältigen Detaillierung der Kreuzungspunkte in den Leitungsplänen erreicht werden. Mit dieser Ausgangslage, wurde die Grundlage für eine kongruente und kollisionsfreie Planung und Realisierung des Gesamtbauwerks geschaffen. Der Hochbau[1], bzw. die hochbauliche Planung welche als übergeordnete Schnittstelle, und Hauptgewerk die technische Infrastruktur mit den baulichen Vorgaben koordiniert, forciert primär die hierarchisch vorrangige und für das Bauwerk substanzielle Umsetzung der architektonischen Qualitäten und Funktionalitäten, welche in sekundärer Instanz, die Umsetzung der Gebäudeinfrastruktur (TGA) miteinschließt. Damit wird abgesehen von einer komplikationsreduzierten Ausführung, ein technisch und gestalterisch einheitliches und stimmiges, architektonisches Gesamterscheinungsbild erzielt. **(Fig.18 und Abb.49.1)** Bei diesem Projekt wurde zugleich die maximale Flexibilität, unter anderem, mittels der ermöglichten Austauschbarkeit von Maschinen, ohne Eingriff in die Architektur erreicht. Mittels dezentraler raumlufttechnischer Geräte auf dem Dach, wurde die flexible Regelung des Luftaustausches zuwege gebracht. Eine integrierte Energiespitzenlast-Optimierung erlaubt eine Leistungsbegrenzung des Stromverbrauches. (Helmut Bucher, Detail Zeitschrift, 2009)

[1]In der Baupraxis, wird unter „Hochbau" - in der Abgrenzung zur technischen Gebäudeausrüstung bzw. der Haustechnik- die raumbegrenzenden bzw. raumschaffende Bausubstanz (Decken, Wände, Dach, Fundamente..)verstanden. In der planerischen, sowie in der baulichen Umsetzung, entstehen allerdings essentielle Berührungspunkte mit der technischen Versorgung, die eine klare Prozesshierarchie, erforderlich macht.

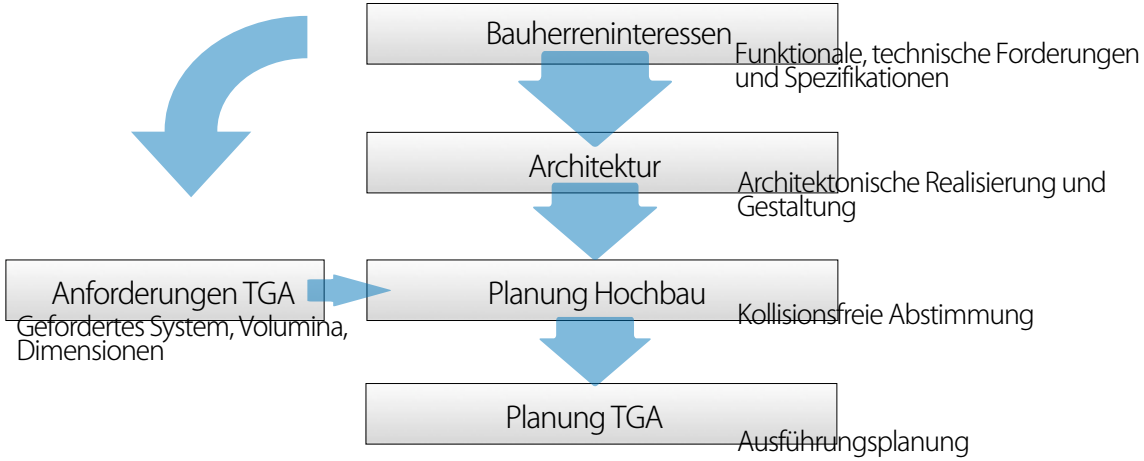


Fig.18: Hierarchie für die kollisionsfreie und kongruente Planung von Hochbau & technische Gebäudeausrüstung
(MM, 2021)

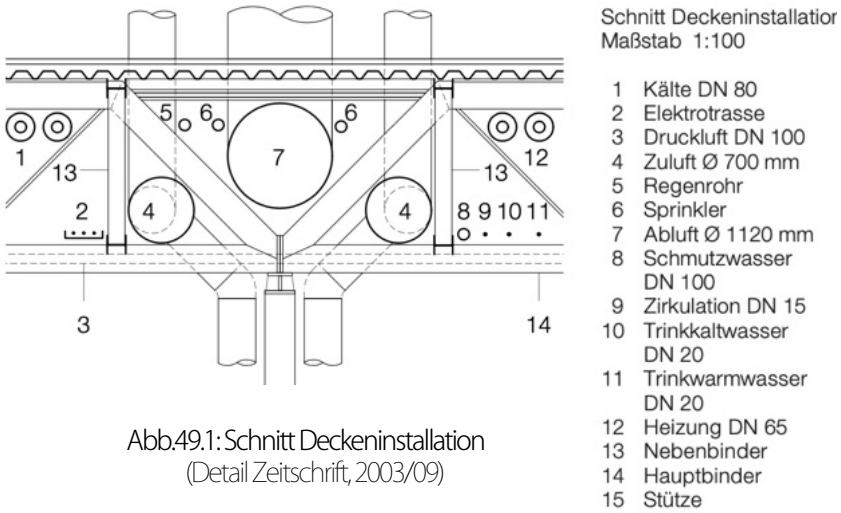


Abb.49.1: Schnitt Deckeninstallation
(Detail Zeitschrift, 2003/09)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

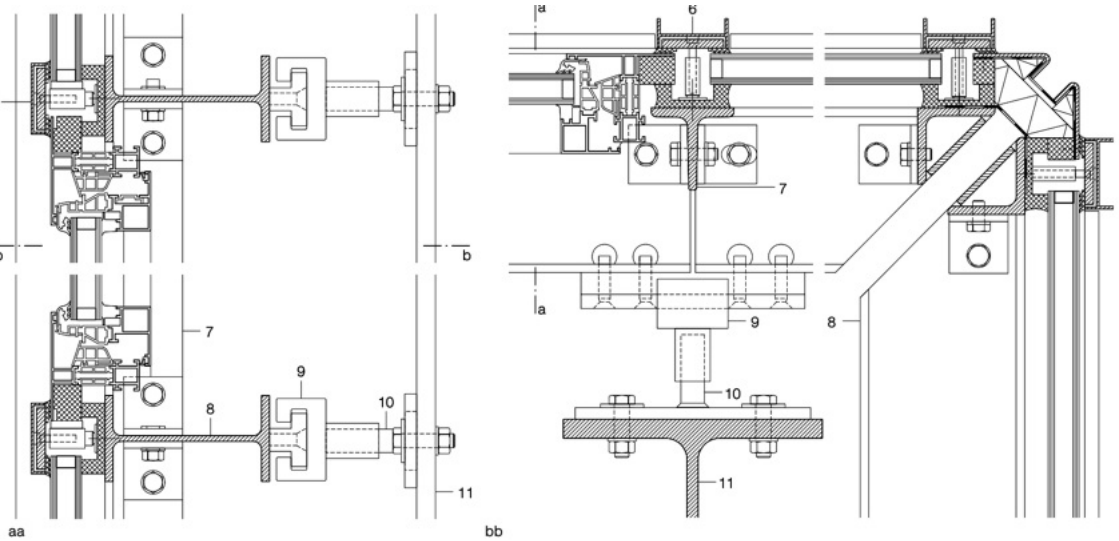


Abb.49.2 u. 49.3. Fassadenschnitt im Schnitt und Grundriss
(Detail Zeitschrift, 2003/09)

1 Kunststoffbahn Fluor-Polyolefin
Mineralwolle 120 mm, Dampfsperre
Akustik-Trapezblech 100/275/1 mm perforiert
2 Obergurt Fachwerkträger HEB 200
3 Konvektor
4 Teppichbelag 5 mm
Trockenestrichelement 20 mm
Trittschalldämmung 20 mm, Trennlage
Brettstapeldecke 260 mm
5 Konsole Fluchtbalkon Flachstahl 250/25 mm
6 Aufsatzprofil Aluminiumfassade
7 Pfosten Stahlprofil T 70 mechanisch gereckt
8 Riegel IPE 140 mechanisch gereckt
9 Gleitprofil Aluminium horizontal verschieblich
10 Gewindebolzen Edelstahl
11 Primärkonstruktion Stahlstütze HEB 220
12 Sekundärkonstruktion Stahlrohr Ø 216/30 mm
13 Sekundärkonstruktion Träger HEB 300

Obergurt HEB 200 der Primärkonstruktion aus Fachwerkträger

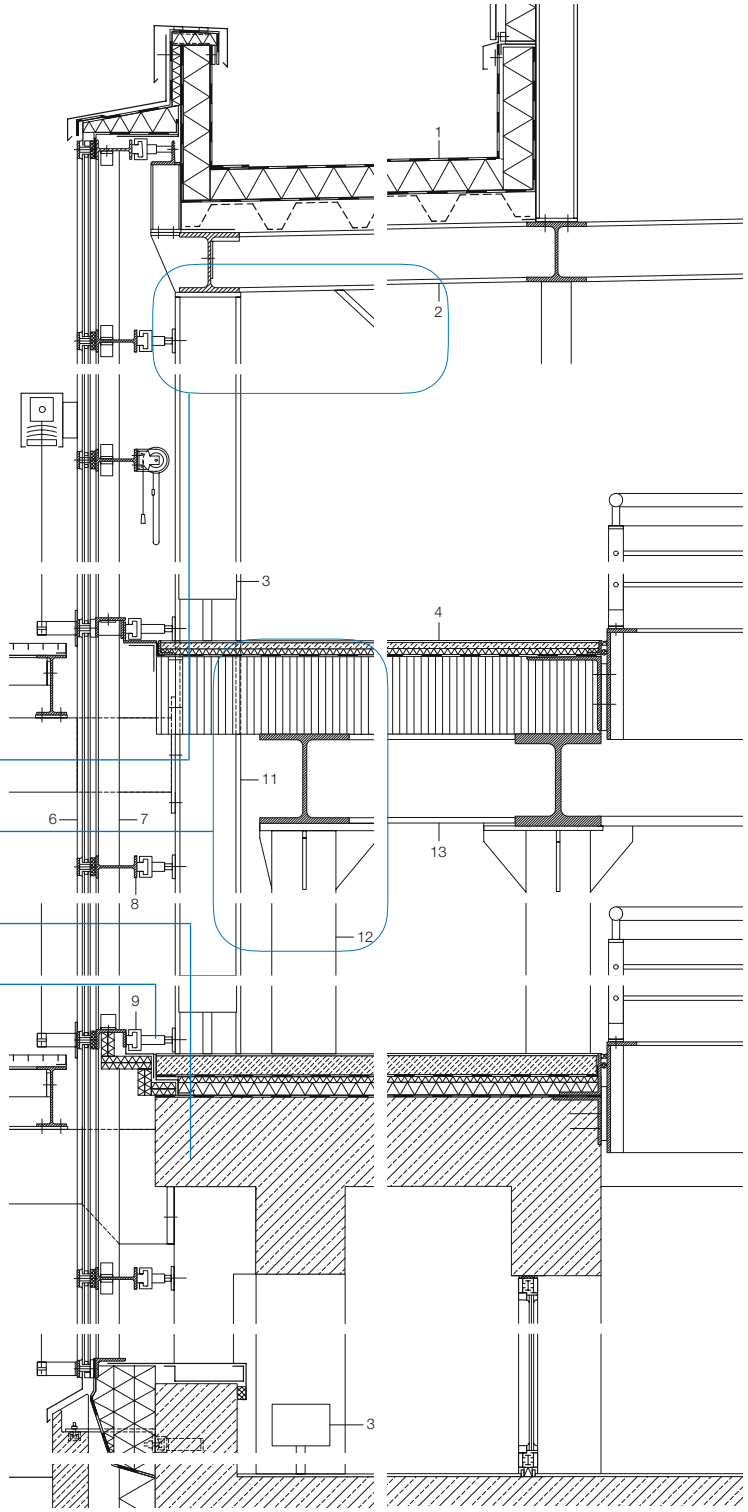
Brettstapeldecke auf eingestellter Sekundärkonstruktion aus Stahlrohren

Stahlbetonkern

Gleitprofil Aluminium für horizontale Bewegungen

Section through facade scale 1:20
Details scale 1:5

1 fluoro-polyolefin plastic sealing layer
120 mm mineral wool on vapour barrier
1 mm perforated acoustic ribbed metal sheeting
2 200 mm I-beams: upper chord of trussed girder
3 convector
4 5 mm carpeting on 20 mm dry-screed elements
20 mm impact-sound insulation; separating layer
260 mm vertically stacked plank floor
5 250/25 mm steel-plate bracket for escape balcony
6 cover strip to aluminium facade
7 70 mm steel T-section post, mechanically stressed
8 steel I-section rail 140 mm deep, mechanically stressed
9 aluminium section allowing horizontal movement
10 stainless-steel threaded bolt
11 primary structure: steel I-column 220 mm deep
12 secondary structure: Ø 216/30 mm steel tube
13 secondary structure: steel I-beam 300 mm deep



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4.2. Terminal 2 des Flughafen Mactan

Architektur: Integrated Design Associates (IDA), Hong Kong, CN
Tragwerk: Arup, Hong Kong, CN / Manila, PH

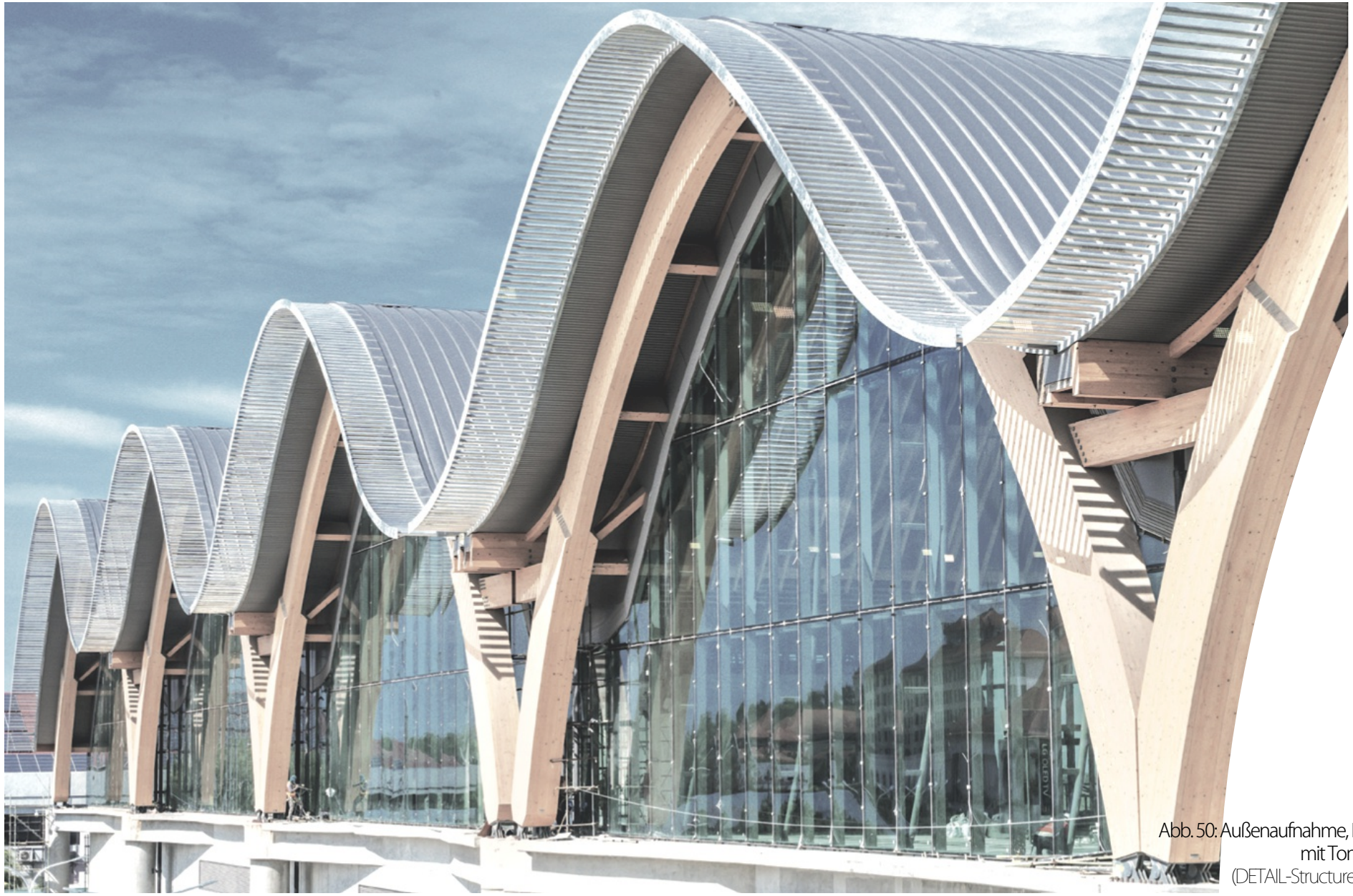


Abb. 50: Außenaufnahme, Bogenreihen mit Tonnendächern (DETAIL-Structure, 01-19, 2019)

- ## Modulare Gestaltung: Erweiterbarkeit und Flexibilität

Auf dem Stahlbetonsockel, des in Mactan gelegenen, zweitgrößten Flughafen auf den Philippinen, erstrecken sich in den strengen Orthogonalrichtungen des **modularen Rasters**, die aufgereihten Bogenbinder der Abflugebene, auf der sich, die aus Tonnendächern gegliederte, wellenförmige Dachlandschaft wölbt. Die Bogengeometrie ist an den **indigenen Architekturformen** der Region angelehnt und verknüpft mit Ihrer Konstruktion, eine moderne Bauweise mit dem kulturellen Kontext, in dessen zeitgemäßem Ausdruck das Gebäude seine originäre Gestalt findet. **(Abb.51)**

In Längsrichtung der Bögen, befindet sich in den drei zentralen Tonnenreihen die CheckIn Ebene, an denen in den kürzeren Dachreihen, die Gates fortsetzen. Gemeinsam bilden sie das stützenfreie Kernstück des Gebäudes an dem durch das mittlere Modul verlängert, auf einer Seite das niedrigere Dachfeld zum Rollfeld, auf der anderen Seite zum Vorfahrtsbereich hin, anschließt. Das Holztragwerk vermittelt eine warme, für einen Flughafen unübliche, resortähnliche Raumwirkung, welche als wohnliches Ambiente, schon den **ortstypischen Charakter** reflektiert, der die jährlich bis zu vier Millionen abgefertigten Passagiere, zum Verweilen einlädt. Dazu verteilen die zentral verlaufenden Oberlichter, das fast vertikal einfallende Sonnenlicht. Diese streuen ein gleichmäßiges und mildes Licht, welches zugleich über den, hinter die Dachkante rückspringende Glasfassade erreichten, konstruktiven Sonnenschutz, gedämmt wird. (DETAIL-Structure, 01-19, 2019)

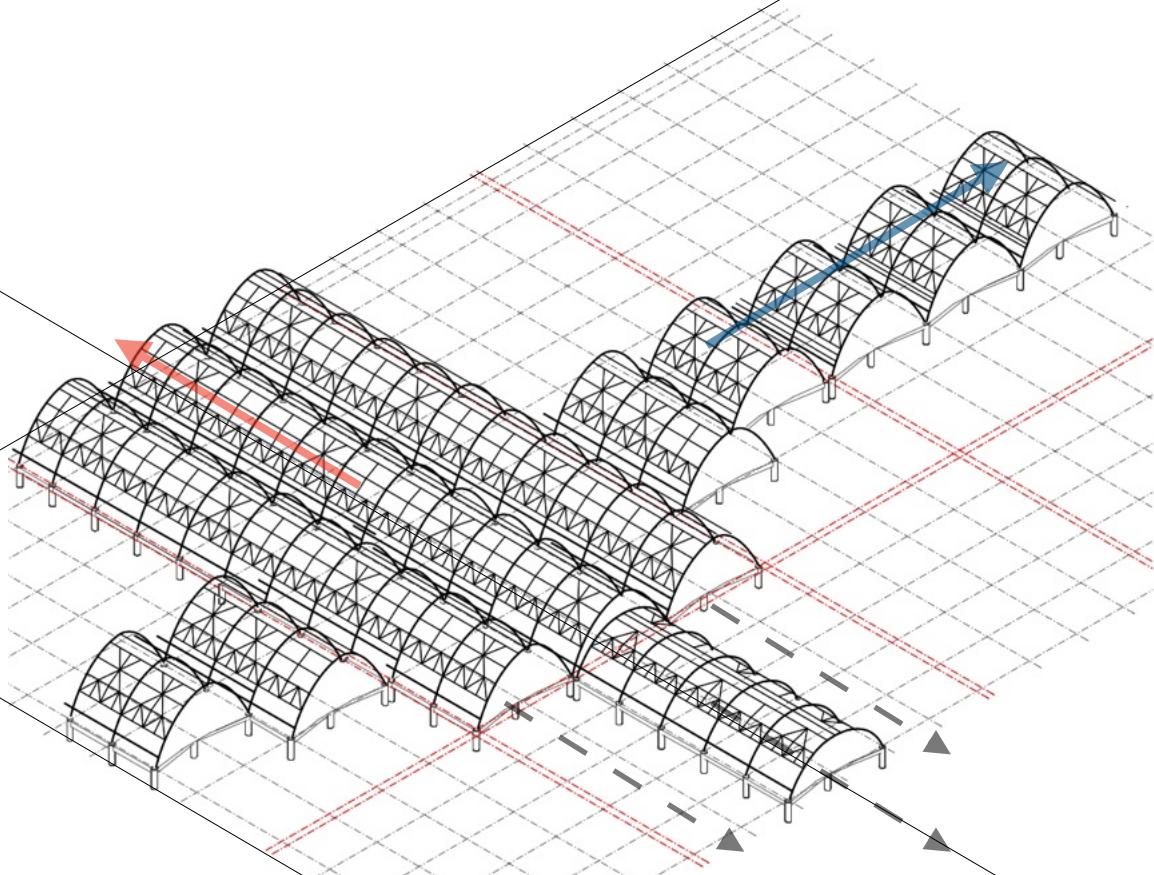


Abb.51: Gesamtlayout des Modulsystems,
im aus Bogenreihen, darunter Stahlbetonskelett im Achsraster 15x13,5 m
(DETAIL-Structure, 01-19, 2019)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- ## Optimierung der Tragkonstruktion

Aufgrund der **technischen Flexibilität** des modularen Layouts, welches der architektonischen, sowie vor allem der technischen Konzipierung zugrundeliegt, soll das Gebäude innerhalb von zehn Jahren auf die doppelte Kapazität erweitert werden. Die steilen Holzbögen lagern auf einer Stahlbetonskelettkonstruktion mit einem Stützenraster von 15x13,5 m. Für die aus Dreigelenkbogen gescharten Bogenreihen, wurde im Planungsprozess, parallel eine Stahlkonstruktion mit Holzverkleidung verfolgt, wonach mit der Sicherung der technischen Machbarkeit, die Entscheidung auf die ursprünglich konzipierte und wirtschaftlichere Ausführung in Holz fiel. **(Abb..52 - Abb. 54)**

Abb.52: Aufnahme innen, CheckInn Ebene mit Blick zu den Gates
(DETAIL-Structure, 01-19, 2019)

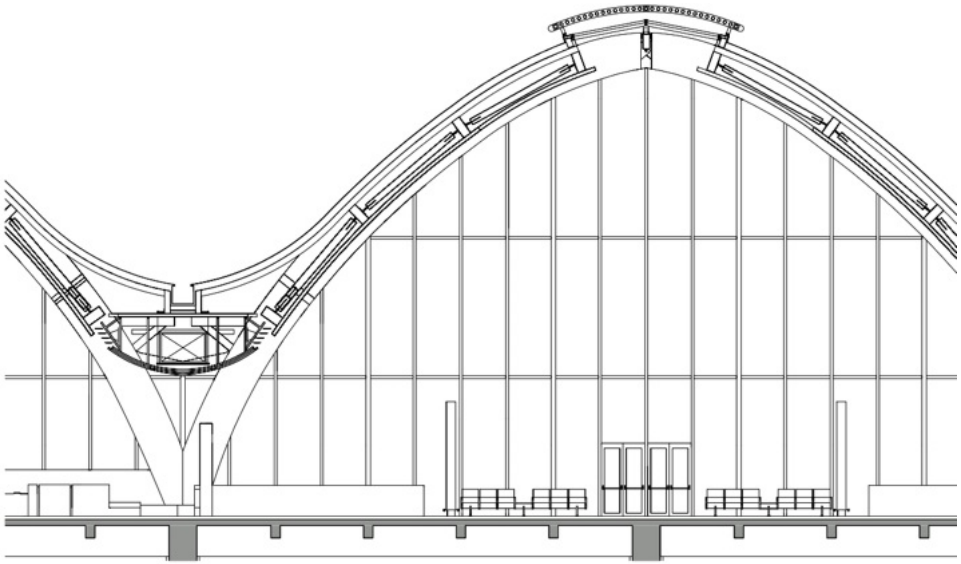


Abb.53: Gesamtschnitt Bogenelement auf Stahlbetonsockel
(DETAIL-Structure, 01-19, 2019)

Abb.54: Aufnahme von außen, Anschlussbereich der „lounge areas"
(DETAIL-Structure, 01-19, 2019)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die beiden 23m langen Dreigelenkbögen bestehen aus Brettschichtholz mit einem Querschnitt von **127x28 cm**, welche durch jeweils vier Pfetten zu 64x28cm verbunden sind und damit die Dachauflasten einleiten. Darüber trägt eine Sparrenlage die Dachhaut. Die Knoten am First, **(Abb.57)** sowie die Fußpunkte, sind als Gelenklager aus Stahl ausgebildet, wodurch sich das Tragwerk als **statisch bestimmtes System** charakterisiert. Über die gesamte Länge der untersten Pfettenfelder, bilden Diagonalverbände die Aussteifung in Längsrichtung. **(Abb.55)** Diese werden in jedem dritten Feld der Tonne nach oben hin fortgesetzt und leiten so die Horizontalkräfte aus der Dachfläche ein. Die Pfetten, sowie die Verbände reichen bis zu einer Höhe von 6,50 m hinunter und gewährleisten so eine großzügige Nutzungsfreiheit der Halle. Mit dem Ausbleiben der Pfettenfelder, sowie den Verbänden entstehen zufolge der Auflasten, **Biegemomente** im **untersten Drittel der Bogenbinder**, welche daher beidseitig um eine Lage BSH von je **18 cm Dicke** verstärkt sind. Zwei weitere BSH Lagen von je **10 cm** erhöhen den **Brandwiderstand** auf 120 min. Der insgesamt 80 cm dicke Binder ruht auf zwei parallelen Gelenklagern mit 20 cm starken Gelenkköpfen, welche über die auf innere Verstärkungen verschraubten Unterlegscheiben, die vertikalen Lasten direkt in den Fußpunkt leiten. **(Abb. 56 und 59/60)**

Eine besondere Anforderung an das Tragwerk, gehen aus den naturräumlichen Gegebenheiten der Region hervor: Regelmäßige Taifune erreichen Geschwindigkeiten von bis zu 200km/h, welche Winddrücke von -3,2kN/m² und einen Windsog von bis zu 2,0kN/m² zur Folge haben. Zusätzlich kennzeichnet sich die Lage des Flughafens, als eines der seismisch aktivsten Regionen der Erde. Die erdbebensichere Konstruktion wird mit unterschiedlichen technischen Maßnahmen sichergestellt:

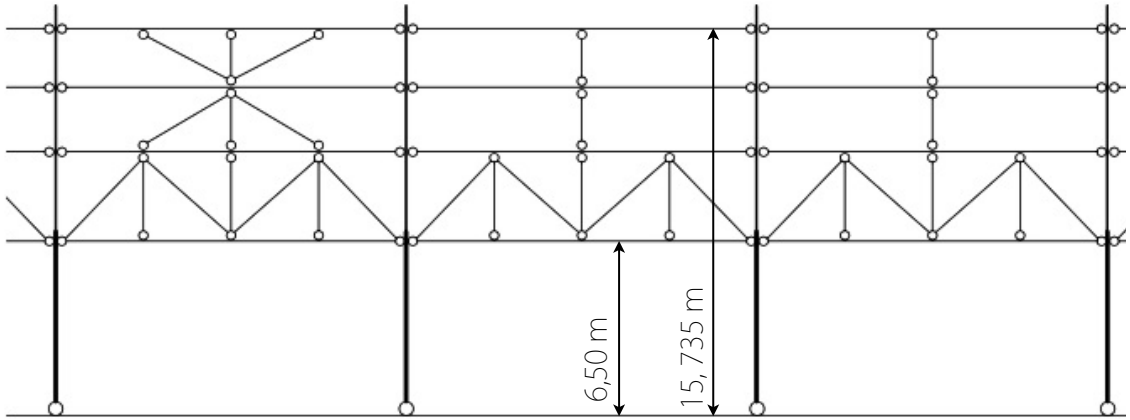
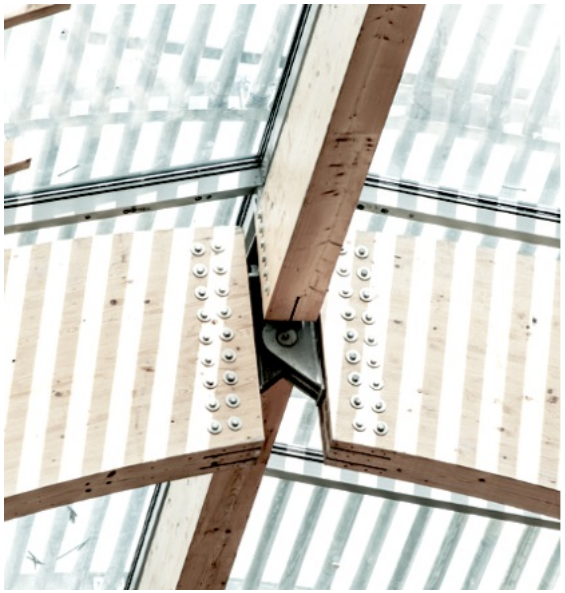


Abb.55: Statisches System im Querschnitt (DETAIL-Structure, 01-19, 2019)

Abb.56 (u.) und 57(re.): Kreuzungspunkt zweier Bogenbinder/ Gelenklager im First (DETAIL-Structure, 01-19, 2019)



Das Tragwerk ist in fünf statisch unabhängige Abschnitte unterteilt. (Abb.51/57). Breite Bewegungsfugen von 250mm bis 550mm auf Höhe der Dachentwässerung erlauben die autarke Schwingung der Bauteile im Erdbebenfall. Die als tragender Unterbau dienende, unterstehende Stahlbetonkonstruktion ist als besonders widerstandsfähiger Rahmen, gegen Biegemomente, zufolge horizontaler Angriffe ausgebildet. Zugleich reduziert die Deckenausführung aus Hohlkammerelementen, die Lasten aus seismischen Bewegungen auf die Stützen. (J.Pawlowski, DETAIL-Structure, 01-19, 2019)

- Vorfertigung & Montage

Für die Berechnung des Gesamtsystems , war vor allem die Reihenfolge der Montage, insbesondere, die mit den einzelnen Errichtungsabschnitten resultierenden Belastungsgrenzen der Tragbauteile, während des Bauverfahrens, maßgebend. Aufgrund der deutlich höheren Duktilität von Stahl- und Stahlbetonbauteilen, musste für den Fall, dahingehender Beanspruchungen, das schlagartige Versagen von Holzelementen ausgeschlossen werden. (J.Pawlowski, DETAIL-Structure, 01-19, 2019)

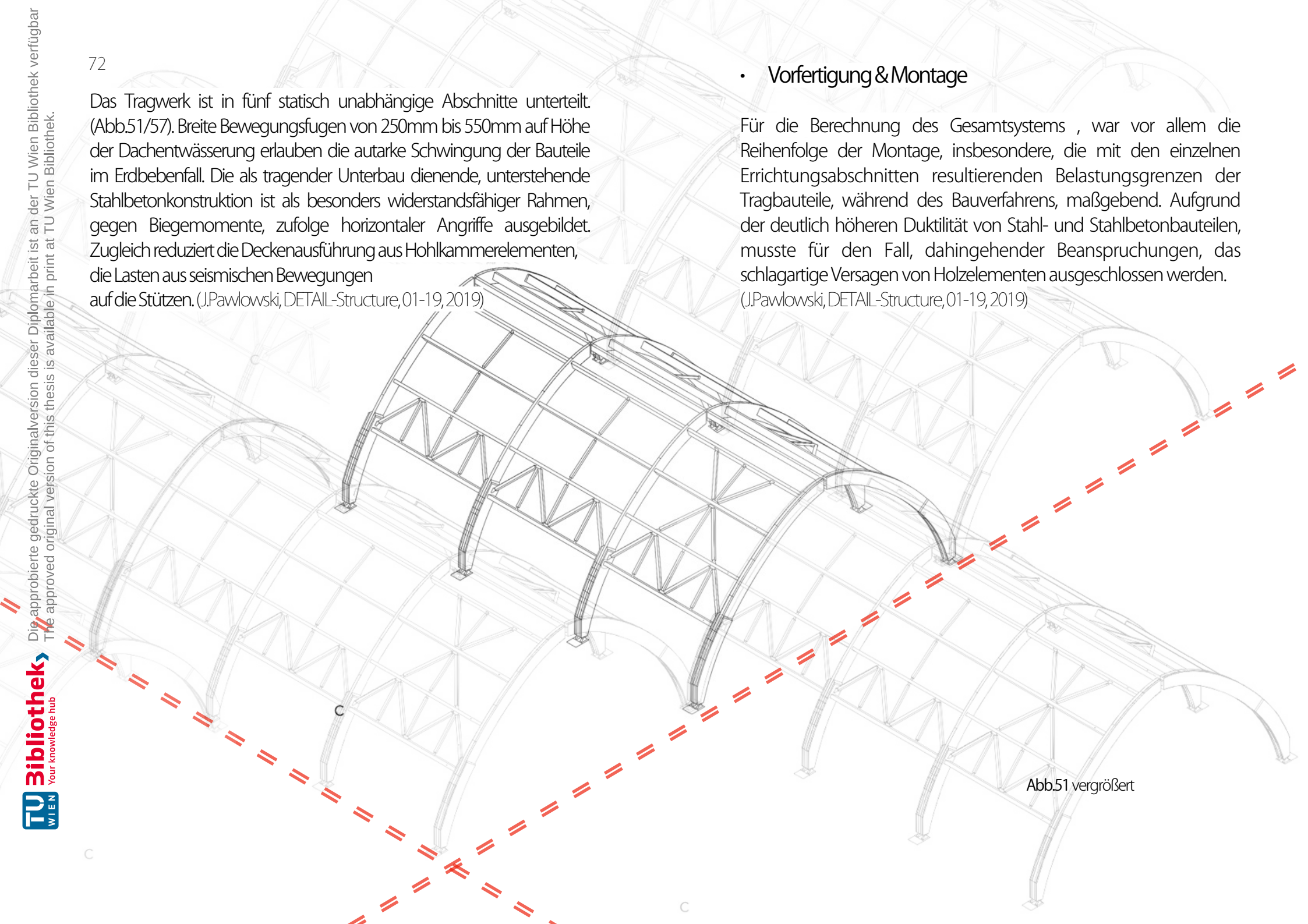


Abb.51 vergrößert

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

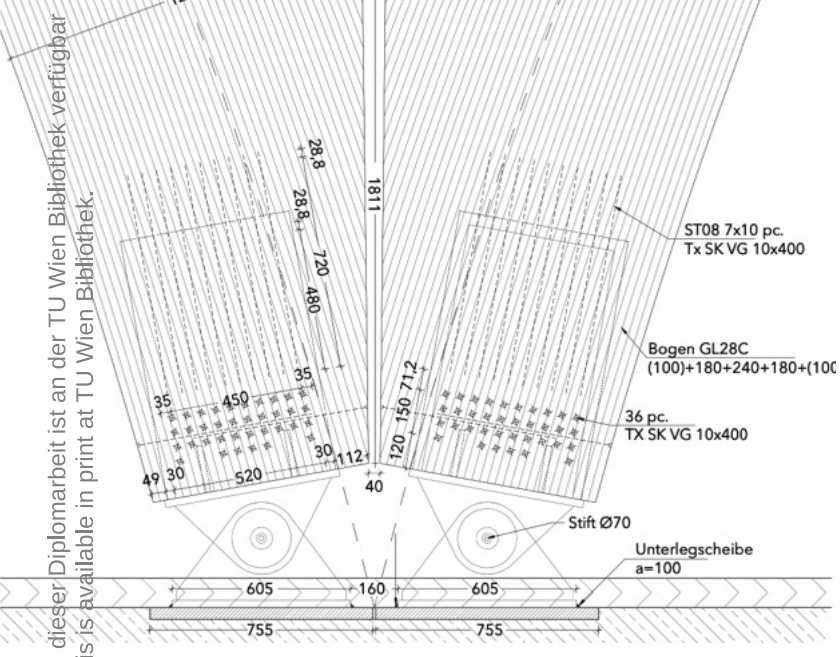
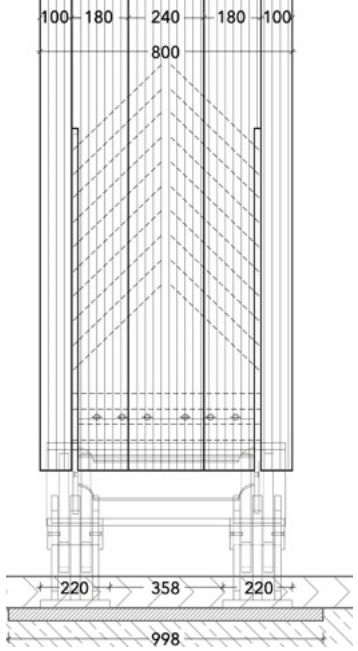
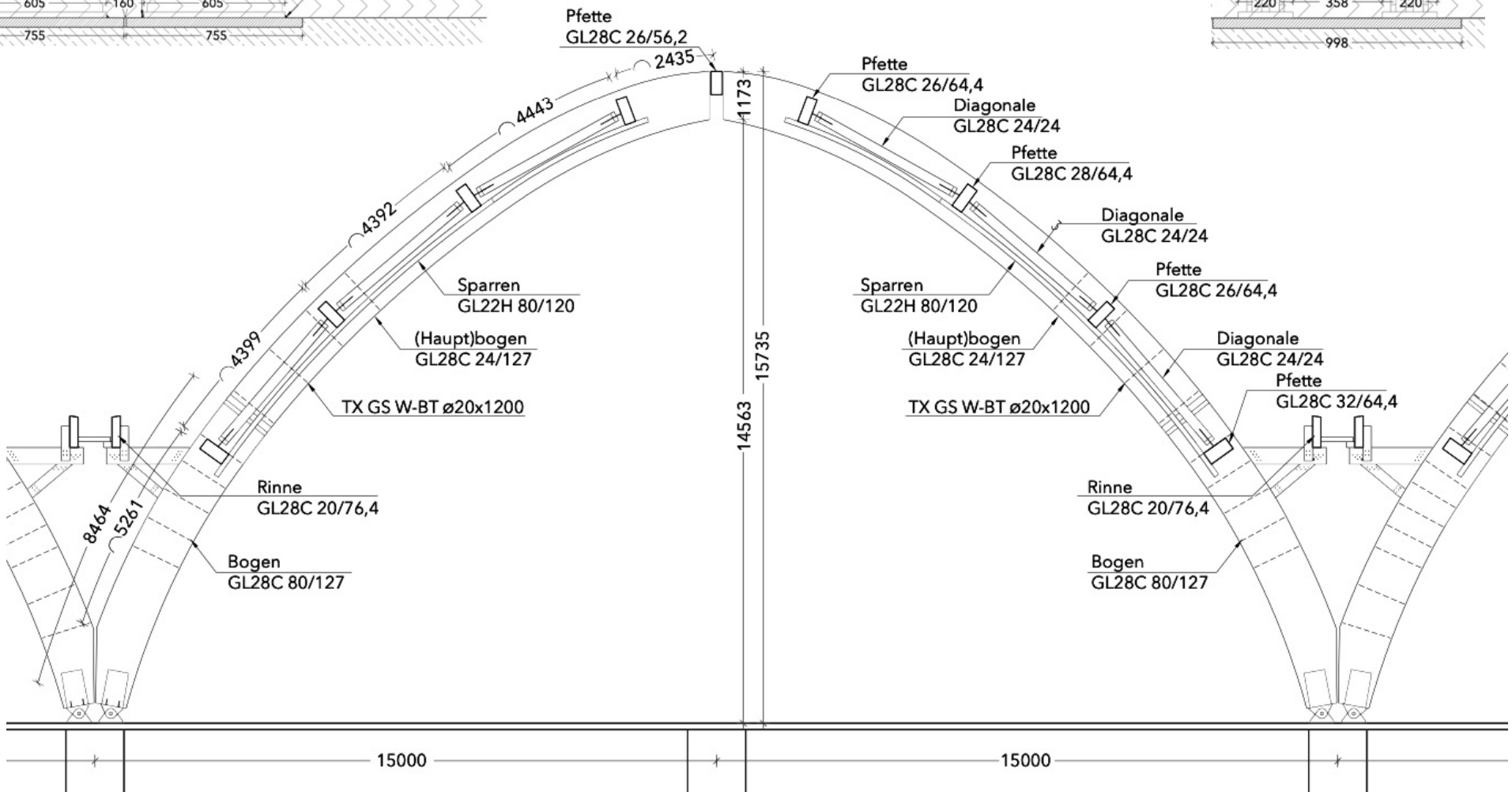


Abb.59/60 und 61: Querschnittdetails und Auflager (DETAIL-Structure, 01-19, 2019)





TU Bibliothek
Your knowledge hub
WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4.3.Tragwerksanalyse eines Bogensegments des Flughafen Mactan

mittels Karamba 3D- Plugin für Rhino Grasshopper

Einleitende Erläuterungen

Karamba 3D ist ein Finite-Elemente basiertes Plugin, welches in die parametrische Scripting Umgebung des Modellier-Tools Rhino-Grasshopper eingebunden wird und so die Untersuchung und erste Veranschaulichung, von mittels Architekturtools gefertigte Konstruktionen, in der umfassenden Gesamtheit ihrer Elemente und Bestandteile, nach tragspezifischen Eigenschaften, ermöglicht.

Die nachfolgende Tragwerksanalyse betrachtet ein Tragwerksmodul, des Flughafenterminal Mactan-Cebu, nach denen in der Architekturzeitschrift „DETAIL" veröffentlichten bzw. angegebenen Bauteilquerschnitten und Materialien, sowie Verbindungen.

In 4.3.1 werden die Konstruktion des Bogensegments erläutert, die Querschnitte und Auflager, sowie sämtliche relevanten Informationen über Bauteile und Materialien dargelegt.

In 4.3.2 erfolgt die Analyse der mit den spezifischen Eigenschaften des Tragwerks unter Belastung des Eigengewichts, sowie standortspezifischen Lasten (Windlasten) entstehenden Schnittkräfte, sowie die Veranschaulichung der Normalspannungen, über den Gesamtquerschnitten.

In 4.3.3 wird die Deformation des Gesamtmodells bei den unterschiedlichen Lastfällen, nach qualitativen und quantitativen Verschiebungen dargelegt

In 4.3.4 wird die Ausnutzung der verwendeten Querschnitte, gegenüber den einwirkenden Lasten dargestellt und erläutert.

In 4.3.5 erfolgt eine anschließende Auswertung der Trageigenschaften des Bogensegments, sowie eine Evaluierung sinnvoller Adaptiermöglichkeiten und Optimierungspotenziale.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bogensegment - Modul

Bestehend aus vier aufgereihten Bögen mit 10 aufgelagerten Pfettenreihen, sowie 16 Aussteifungsfelder (jeweils 2-3 Stäbe)

Technische Angaben

Gesamtgewicht der Tragkonstruktion : **27 105, 91 kg**
Höhe : **15,735 m (First**
Spannweite : **30m**

Querschnitte : Alle in Brettschichtholz **GL28c**

Bogenbinder **: 127 x 28 cm** (20 + 36 cm Aufschlag)
Pfetten: **64 x 28 cm**
Verbände: **24 x 24 cm**

Materialeigenschaften kombiniertes Brettschichtholz **GL 28c**[1]

Biegung parallel:	28 N/mm²
Zug parallel:	19,5 N/mm²
Zug senkrecht	0,5 N/mm²
Druck parallel:	24,5 N/mm²
E-Modul parallel:	12500 N/mm²
E-Modul senkrecht	300 N/mm²
Schubmodul :	650 N/mm2
Rohdichte :	390 kg/m³

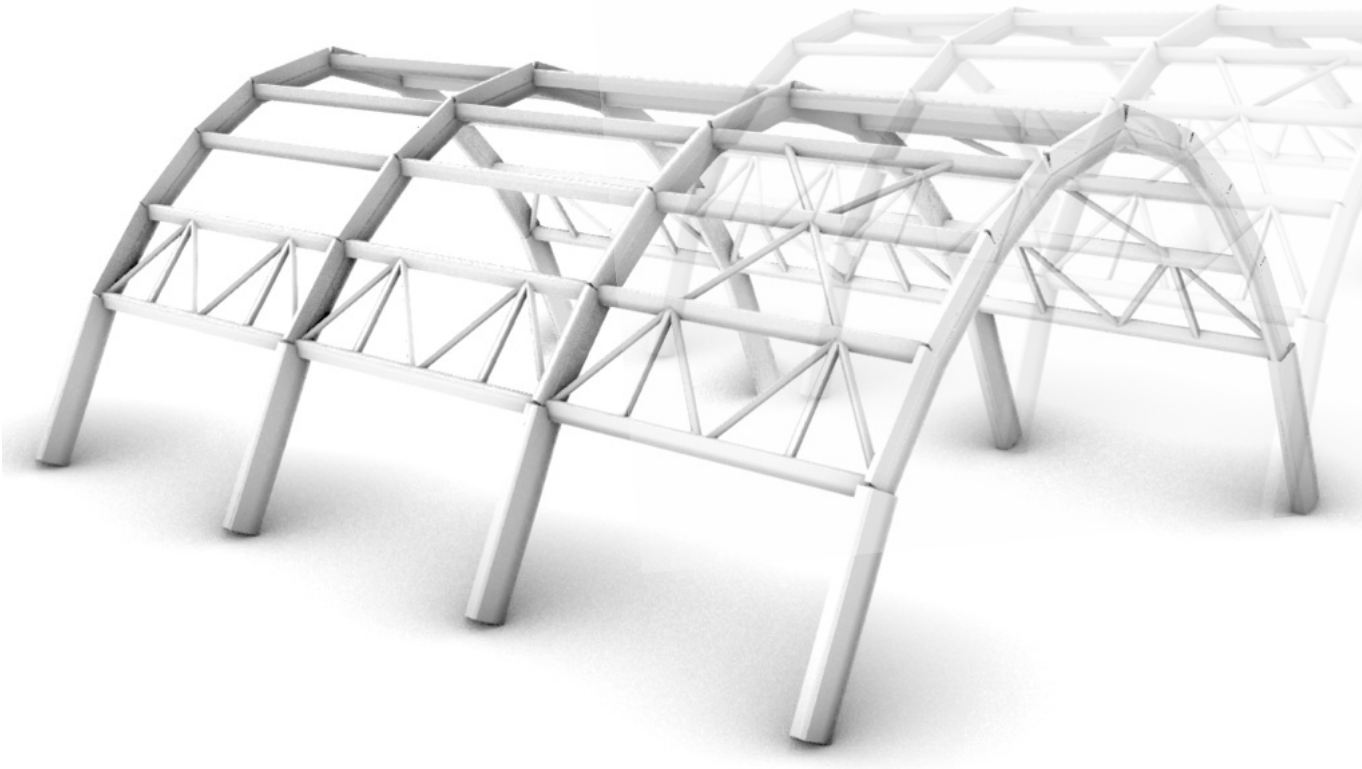
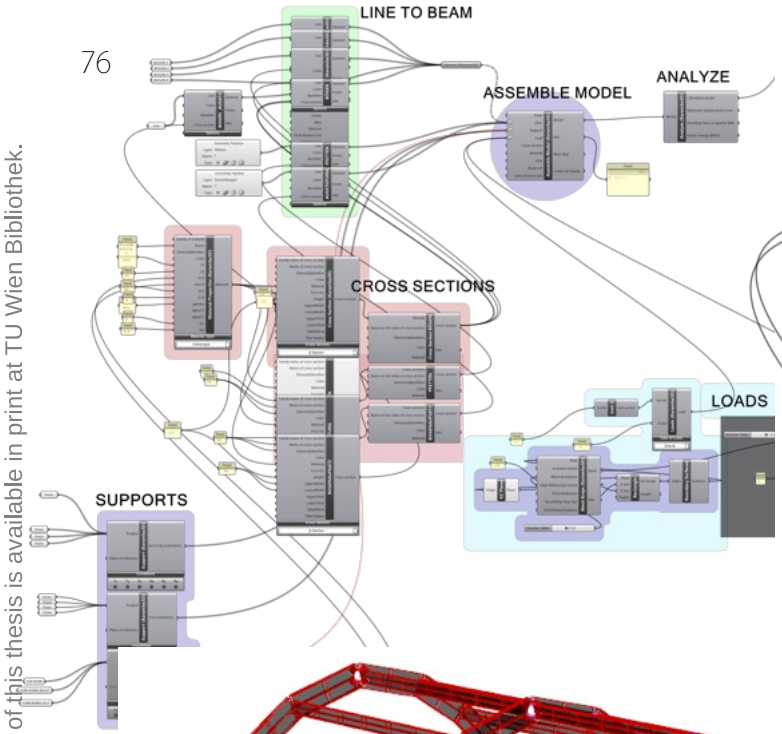


Fig. 19 : Bogensegmentmodul Flughafen Mactan-Cebu (MM,2021)

[1]charakteristische Werte nach DIN EN 1995-1-1: 2010-12 und DIN EN 1995-1-1/NA 2013-08
Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2019



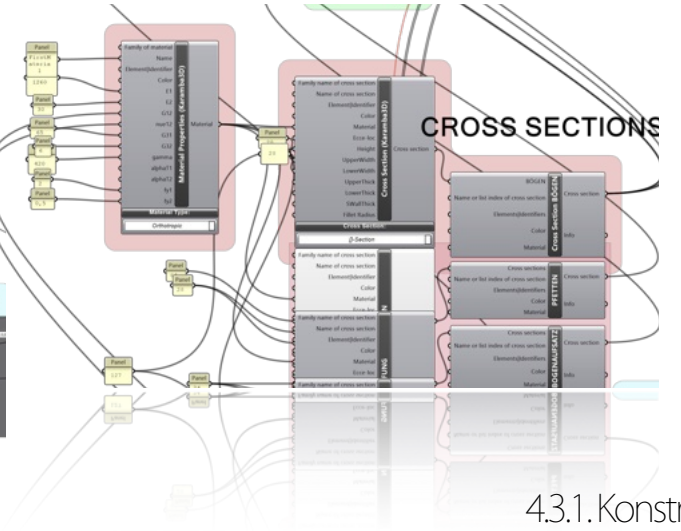


Abb. 62 (li.) : Grasshopper - Karamba 3D, Analysiertes Modell mit den zugewiesenen Auflager, Querschnitten, Materialien und Lastfällen.

Abb. 63 (re.): Materialeigenschaften der Querschnitte (GL28c)

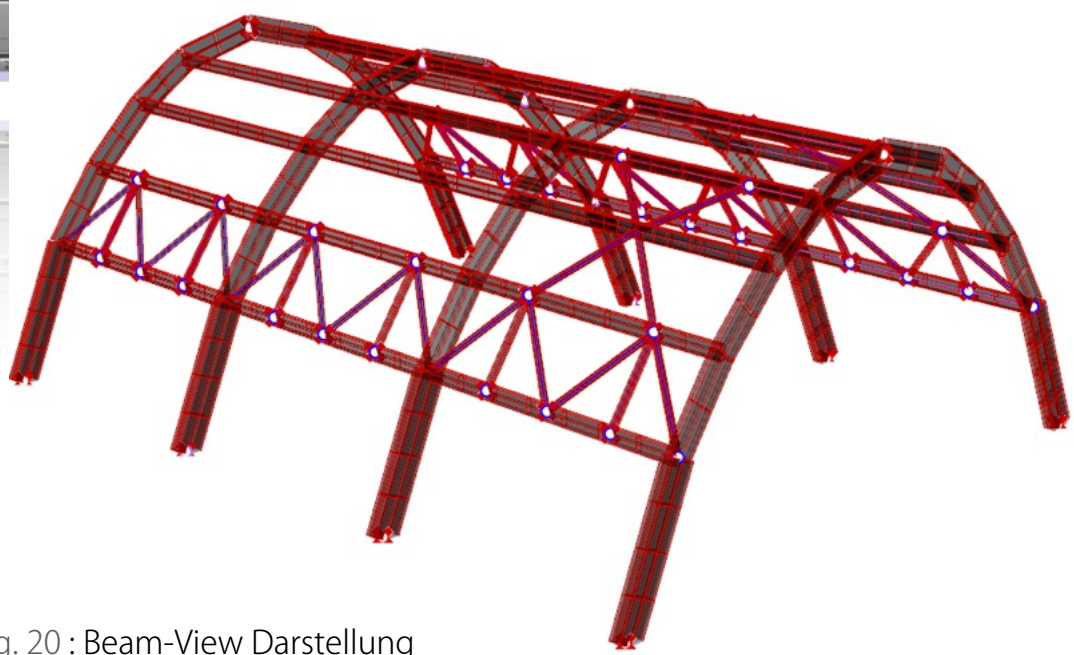


Fig. 20 : Beam-View Darstellung (MM,2021)

4.3.1. Konstruktion

Zunächst wurden sämtliche Stabelemente anhand des Rhino „Line“ Werkzeugs erstellt und mittels „Karamba 3D - Line to beam“ als Tragelemente klassifiziert, welche mit den entsprechenden Querschnittsdimensionen versehen wurden. Die Lagerpunkte, wurden mithilfe der erstellten Modellkoordinaten zugewiesen und mit den angegebenen Wertigkeiten und Freiheitsgraden der realisierten Konstruktion ausgestattet.

Die Materialeigenschaften wurden mit Zuhilfenahme eines Materialerstellungstools definiert, welches die Kombination spezifischer Festigkeitseigenschaften ermöglicht. Im Interface der Materialkomponente, wurde die Parameterkombination eines „anisotropen“ Materials gewählt und recherchierte Werte der Rohdichte, der E-Moduln, Schubmoduln, sowie Zugfestigkeiten, jeweils in Faserrichtung, sowie orthogonal zur Faser des im Projekt eingesetzten Baustoffes: Brettschichtholz GL28c festgelegt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

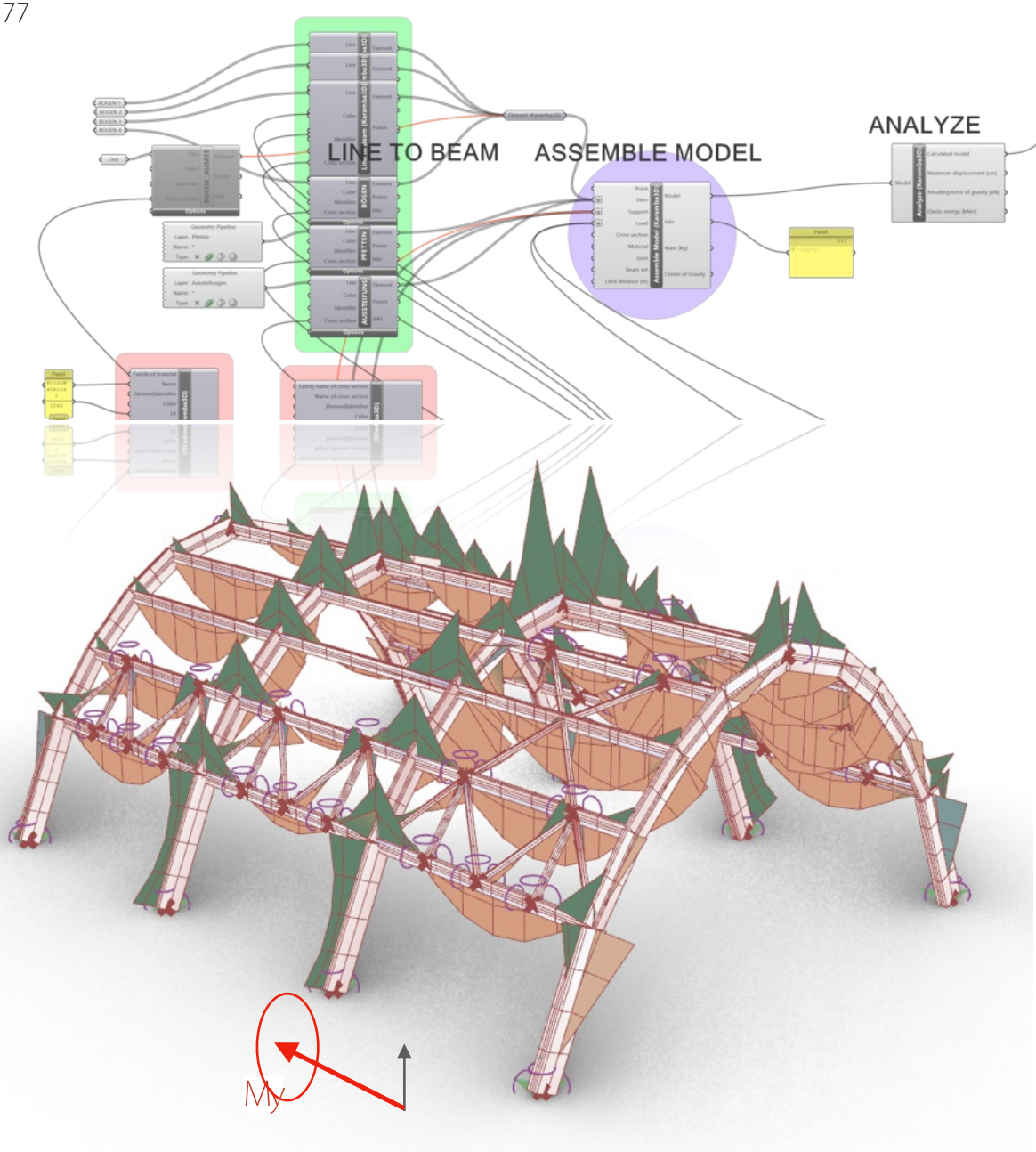


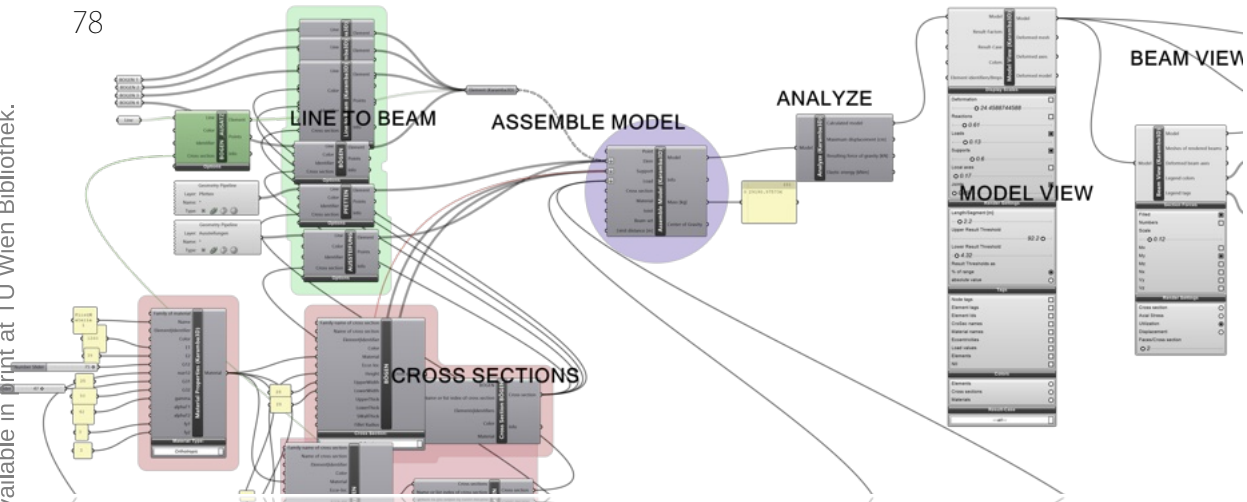
Fig. 21 : Biegemomente der Beam View-Darstellung (MM,2021)

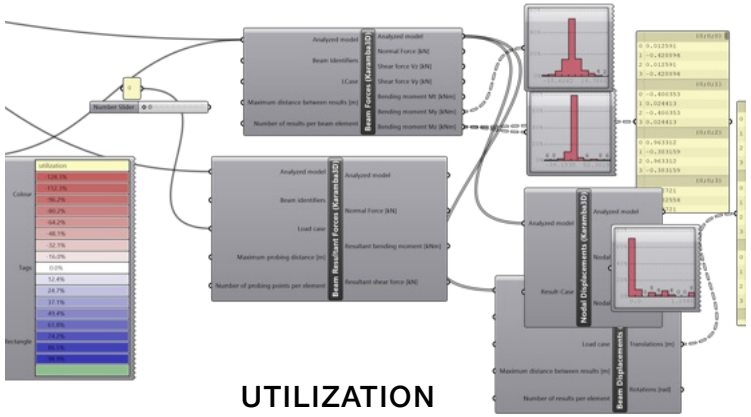
4.3.2. Schnittkräfte und Normalspannungen unter Eigengewicht

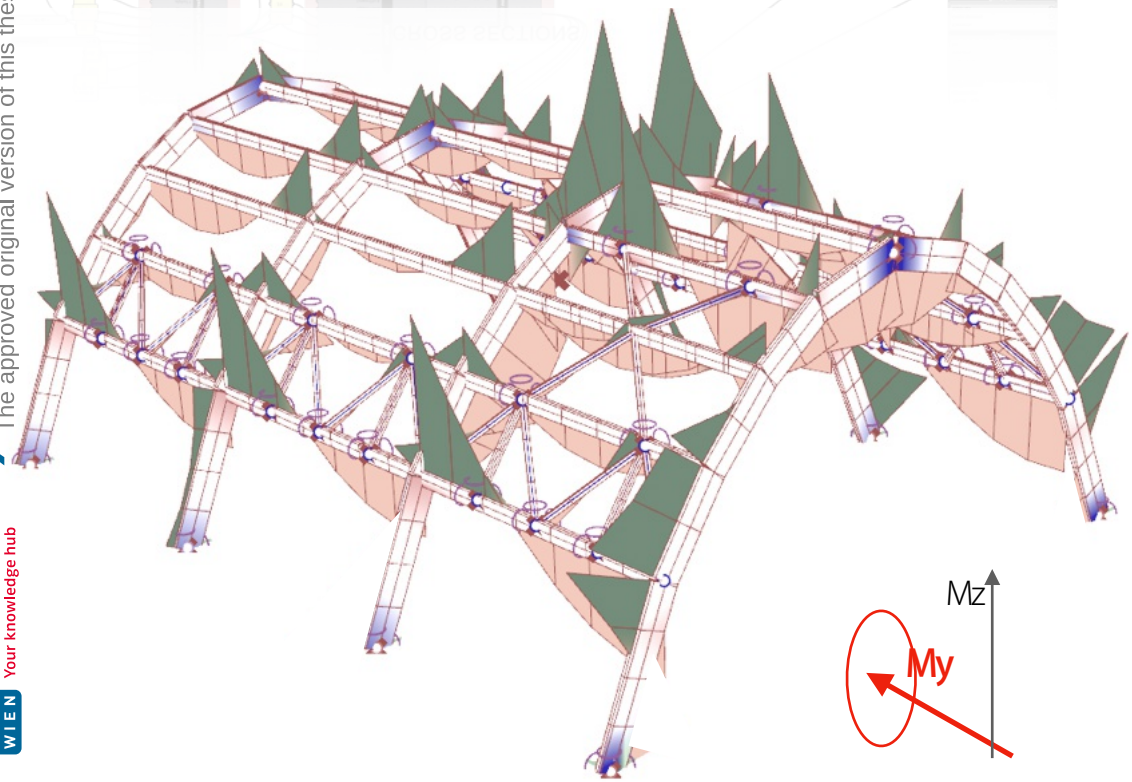
An den untersten Bogensegmenten wurde aufgrund der auftretenden Biegemomente, die Querschnitte beidseitig um jeweils 18 cm Brettschichtlagen verstärkt. In der abgebildeten Darstellung, wird der Momentenverlauf des Modells, ohne den verstärkten Brettschichtlagen graphisch, mittels Anknüpfen des berechneten Modells, an eine „Beam View" Komponente, dargestellt.

An den Kreuzungspunkten der untersten Pfettenreihen, ist eine deutliche Belastungsspitze des Dreigelenkbogens unter Belastung des Eigengewichts zu erkennen, welche die Biegemomente in **My** und **Mz** Richtung, also normal zum Querschnittsverlauf abbilden. Hier belaufen sich die Spitzenwerte (My) zwischen 14.20 kN.m (Zug) und -12.80 kN.m (Druck).

Am Querschnitt sind zugleich die Normalspannungen entlang den Bauteilen zu erkennen, welche farblich ausgewiesen sind. Diese weisen Spannungen zwischen -0.673 kN/cm² in Druck (rot) und 0, 131 kN/cm² in Zug (blau) auf.







4.3.3. Schnittkräfte, Normalspannungen und Auslastung unter Eigengewicht und Windlasten (ohne Verstärkung)

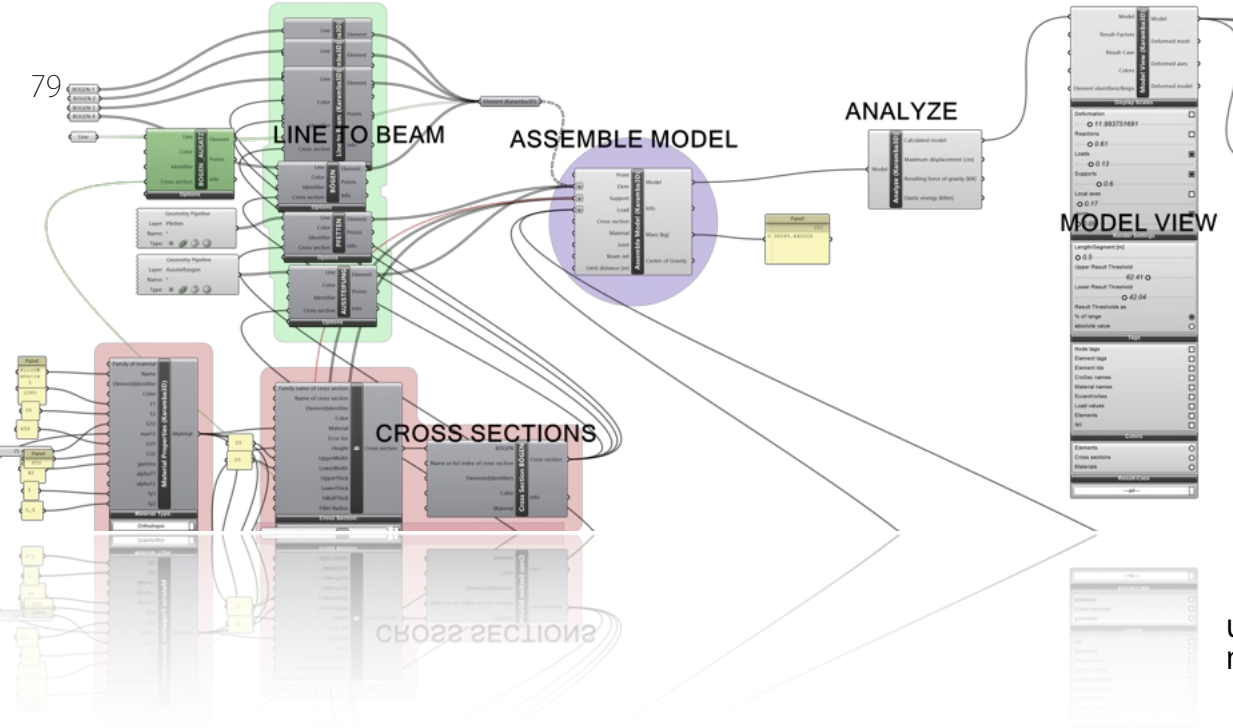
Im untersten Drittel werden die hier aktiven Windlasten von in Mz Richtung hauptsächlich. von der über die am Fußpunkt befestigten Auflager, verbundene Stahlbeton-Unterkonstruktion aufgenommen.

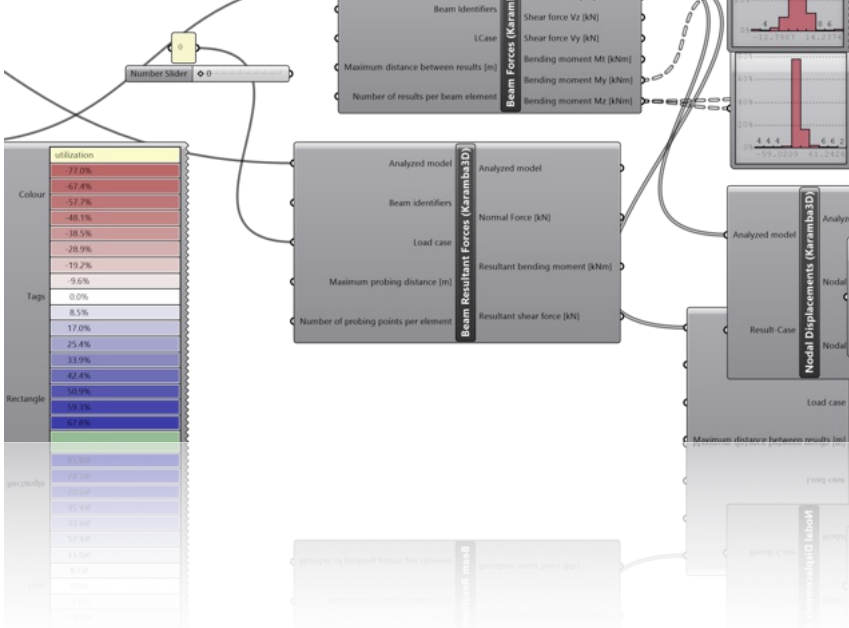
Bei Ausbleiben der verstärkten Brettschichtlagen, unter Annahme des stärksten Winddruckes von -3.2kN/m² erreichen die Querschnitte (aktiv in My) eine Ausnutzung in den Zugbereichen (blau) von etwa 98,2 % in Druckbereichen bis zu -128,3 %, womit die Bogenbinder deutlich überbeansprucht wären.

Auch die Normalkräfte in den Pfetten, erreichen Spitzenwerte von bis zu -37kN. Insbesondere Normalspannungen erfahren aufgrund der Windlasten eine deutliche Steigerung zwischen -1,93 kN/cm² und 1,69 kN/cm².

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.





unter Eigengewicht und Windlasten
mit verstärkten Bögen (insges. 56cm BSH-Lagen im untersten Drittel)

Die Belastungsspitzen der Biegemomente ergeben sich in Mz Richtung, also um die horizontale Verdrehung, welche am Fußpunkt über die mit der Stahlbeton-Unterkonstruktion verbundenen Festlager, widerstanden wird. Zum Fußpunkt hin erreichen die Querschnitte Biegemomente um Mz von -59,00 kN.m bis 61,20 kN.m. (Fig.22)

Damit ist eine Auslastung von -77 % (Druck) bis zu 67,8 % gegeben.

Die verstärkenden Brettschichtlagen erweisen sich also als durchaus sinnvoll und erlauben ausreichende Lastreserven.

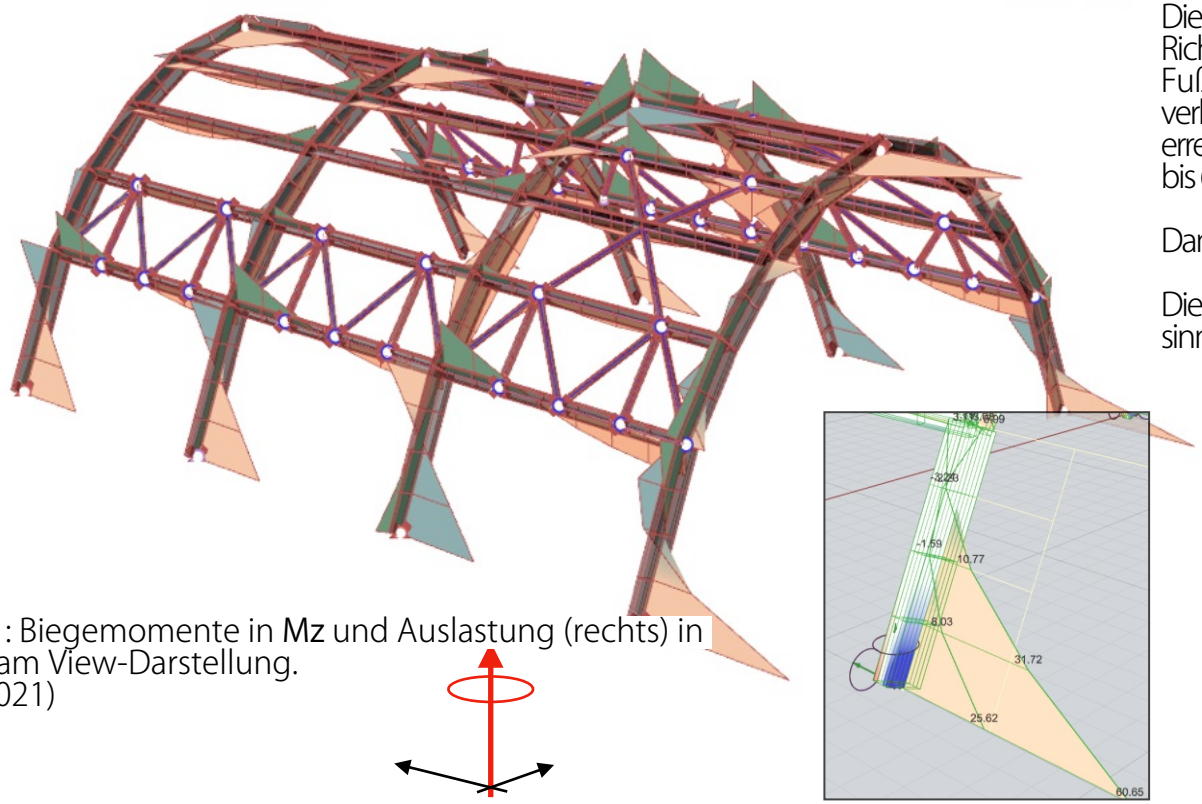


Fig. 22 : Biegemomente in Mz und Auslastung (rechts) in der Beam View-Darstellung. (MM,2021)

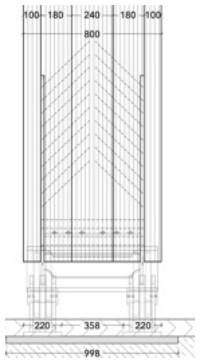


Abb. 61: (DETAIL-Structure, 01-19, 2019)

Festes Gelenklager am Fußpunkt der Bögen.

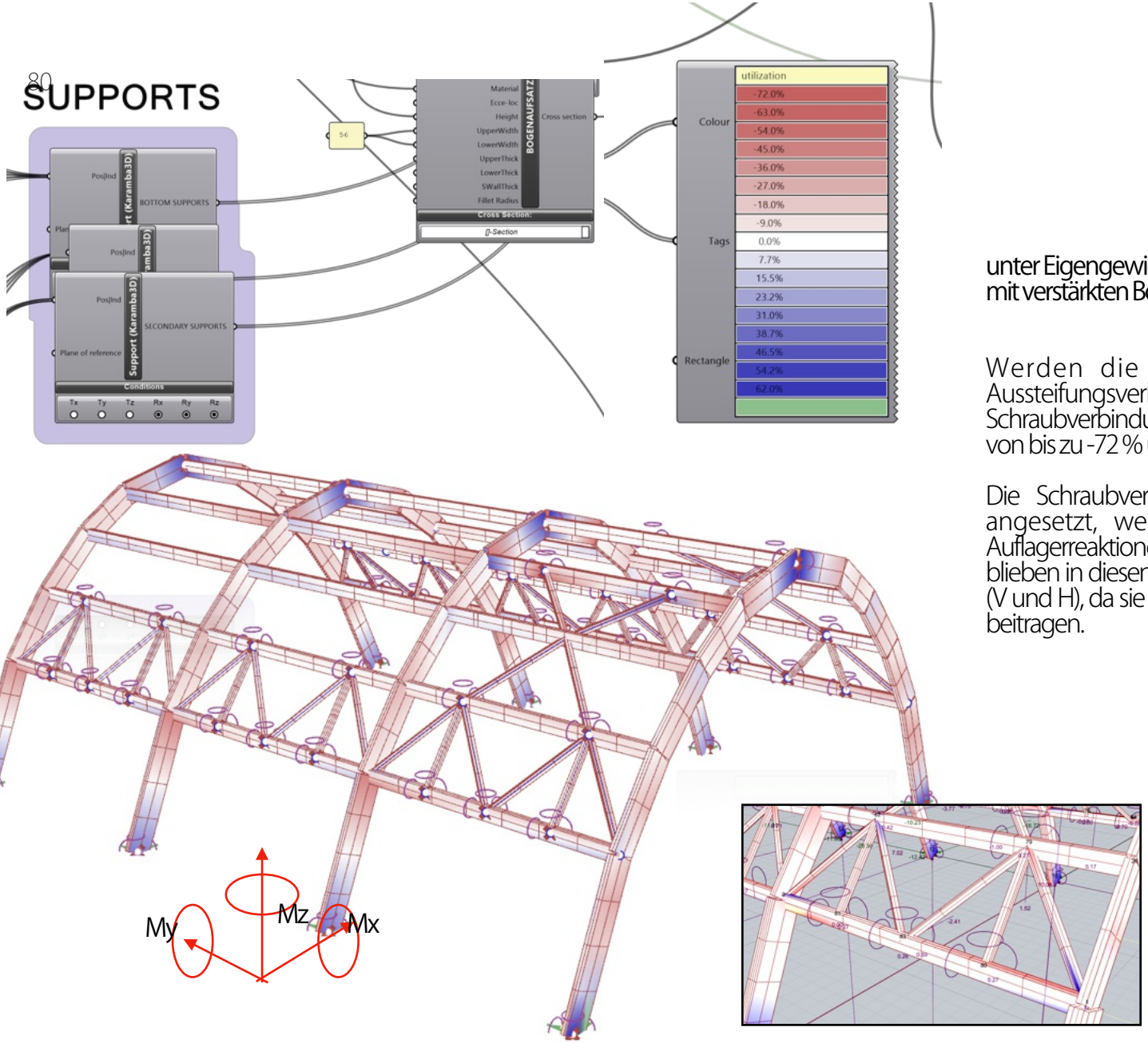


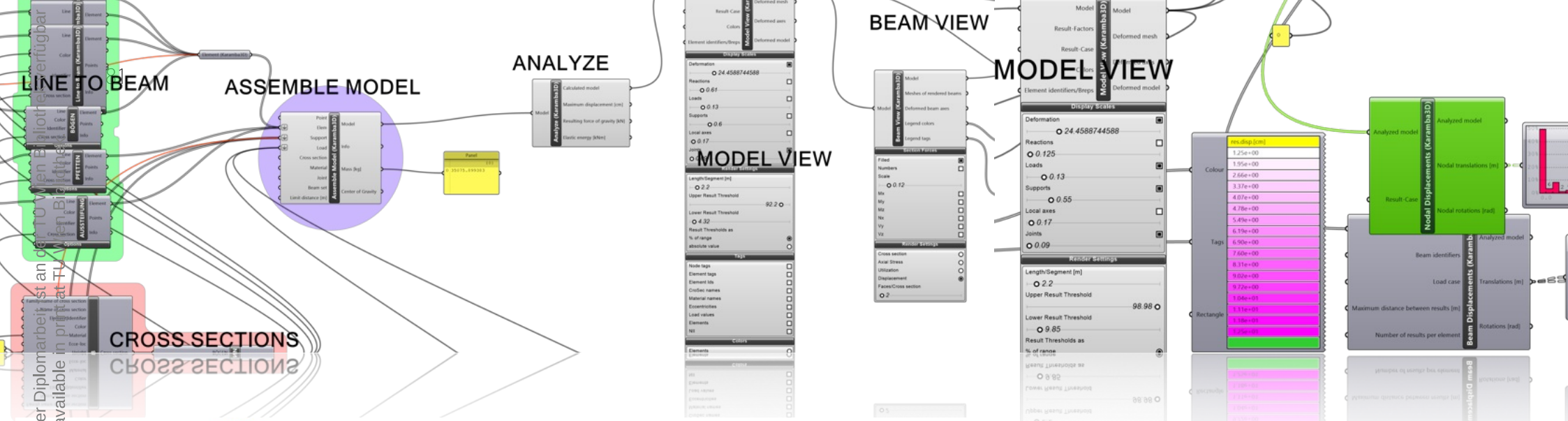
Fig. 23 : Ausnutzung und Verformung (blau:Zug/ rot:Druck) in der Beam View-Darstellung (MM,2021)

unter Eigengewicht und Windlasten
mit verstärkten Bögen (insges. 56cm BSH-Lagen im untersten Drittel)

Werden die Verbindungen zwischen Pfetten und Aussteifungsverbänden aktiviert, welche mit kraftschlüssigen Schraubverbindungen erzielt wurden, werden sogar Auslastungen von bis zu -72 % und 62 % erreicht. (Fig.23)

Die Schraubverbindungen wurden im Modell als „Auflager" angesetzt, welche die anfallenden Schnittreaktionen als Auflagerreaktionen (**nur Torsion**) zur Gänze aufnehmen. Deaktiv blieben in diesen Verbindungspunkten allerdings alle Auflägerkräfte (V und H), da sie nichts zu den Auflagerkräften des Gesamtsystems beitragen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN



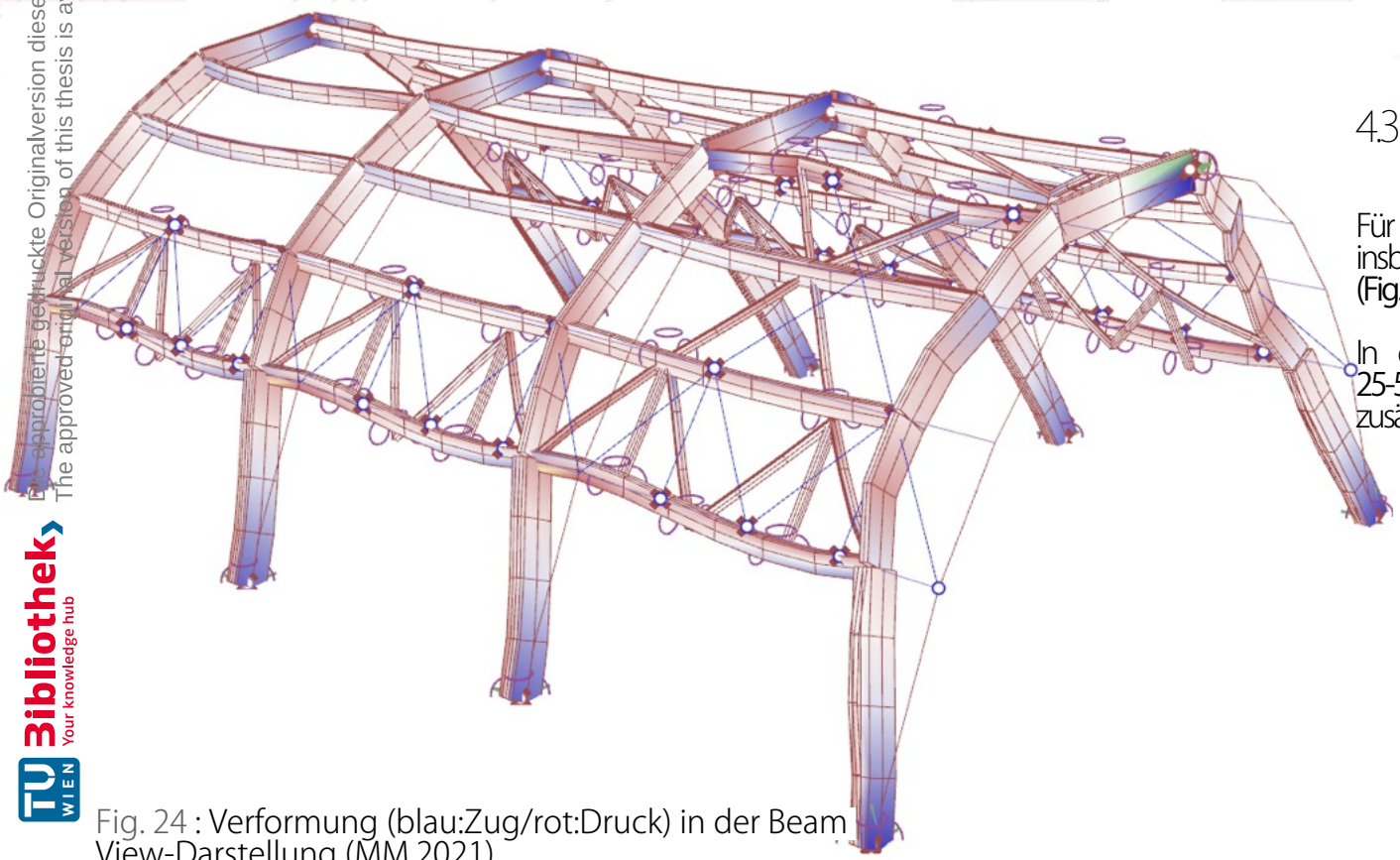


Fig. 24 : Verformung (blau:Zug/rot:Druck) in der Beam View-Darstellung (MM,2021)

4.3.3. Verformungen

Für das einzelne Bogensegment bewegen sich die Deformationen insbesondere zufolge der Windlasten zwischen 1,25 und 12,5 cm. (Fig.24)

In der realisierten Konstruktion erlauben Bewegungsfugen von 25-55cm das unabhängige Schwingen der Segmentmodule, die zusätzlich die lokalen Erdbebenbelastungen berücksichtigen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4.3.4. Zusammenfassung und Konklusion

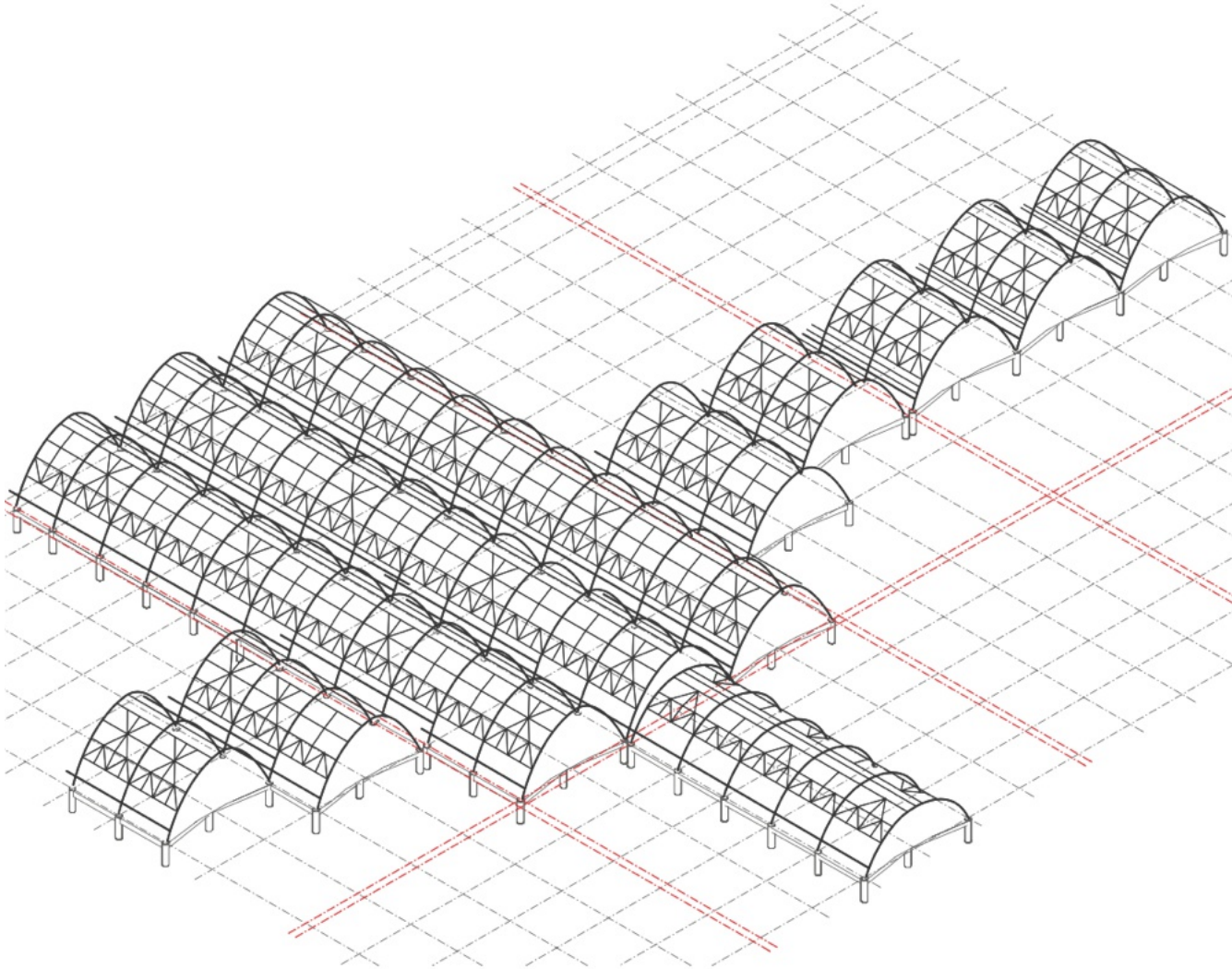
Insgesamt zeigt die Gesamtstruktur aus Sicht der Statik, unter den Standortbedingungen eine plausible und nachvollziehbare Ausnutzung der eingesetzten Tragelemente und Knoten -ausbildungen.

Aufgrund der eher flacheren Bogengeometrie, „summieren" sich Biegespannungen im unteren Drittel des Bogensegments.

Die aus tragtechnischen Gründen (und zusätzlich zur Herstellung eines höheren Brandwiderstands) unternommene Verstärkung der Bögen in diesen Bereichen, stellt eine naheliegende und mit denen der Bogengeometrie, vor allem unter dem Eigengewicht der Konstruktion entspringenden Schnittkräften, eine schlüssige und effiziente Lösung dar.

Die Abwandlung der Bogengeometrie im Hinblick auf die Beeinflussung der Spannungsverteilungen, (Siehe 7.3.) wäre unter dem Gesichtspunkt der nutzbaren Raumhöhe einer eingeschossigen Terminal-Halle, die raumtechnisch unwirksame Lösung.

Das eingesetzte Bausystem, sowie dessen technische Durchbildung, bilden die konstruktive Basis, für den nachfolgenden Entwurf. Die Erkenntnisse aus der Evaluierung der Statik, werden gegenüber des mit der Gestaltung entstehenden Raumprofils, von zentraler Bedeutung.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Einleitendes

In **5.1.** Der Entwurf wird in der städtebaulichen Voranalyse des zu bebauenden Areals angesetzt und mit den damit verbundenen architektonischen Bedingungen verknüpft.

In **5.2.-5.3.** wird zum einen das Ortsbild und die charakteristischen Merkmale, der städtebaulichen Strukturen der Region und der näheren Umgebung aufgegriffen und zum anderen die baulichen bzw. de Bebauungsbestimmungen des Bauplatzes hervorgehenden Bedingungen erläutert, aus denen die genauere Projektierung des Baukörper in einer schrittweisen Entwurfsabfolge hergeleitet wird.

6.1. In einer weiteren Entwurfsphase, werden die raumfunktionalen Prinzipien von Hallen näher ausgeführt und in einem raumprogrammatischen Konzeption umgesetzt.

7.1. Infolge der festgelegten Baukubatur wird die nähere Ausgestaltung des Baukörpers, mit den raumfunktionalen Paradigmen, sowie nach Kriterien der konstruktiven Effizienz schrittweise, herbeigeführt. Es erfolgt zudem die Raumgliederung, sowie die Bemessung des technischen und räumlichen Gesamtsystems.

7.2. und **7.3** widmen sich der Materialisierung der detaillierten Konkretisierung der Konstruktion, nach den benannten ökologischen Kriterien. (Form und Effizienz, Ökoindikatoren)

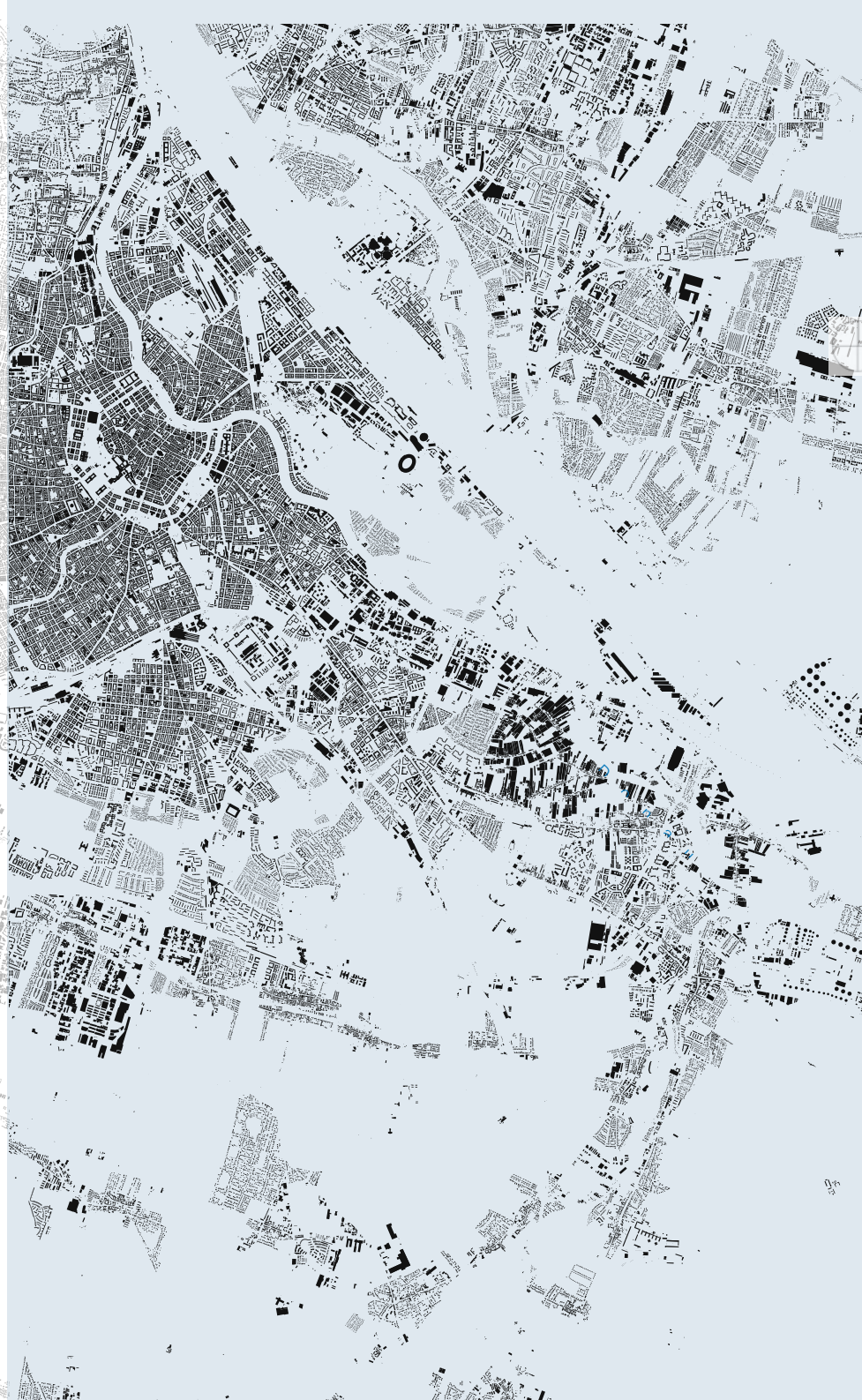
In **7.4.** erfolgt die planliche Ausarbeitung Detaillierung des Gesamtentwurfes.

4

ENTWURF

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5. Voranalyse
5.1. Bauplatz und Städtebaulicher Kontext



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 64: Schwarzplan - Bauplatz / Wien

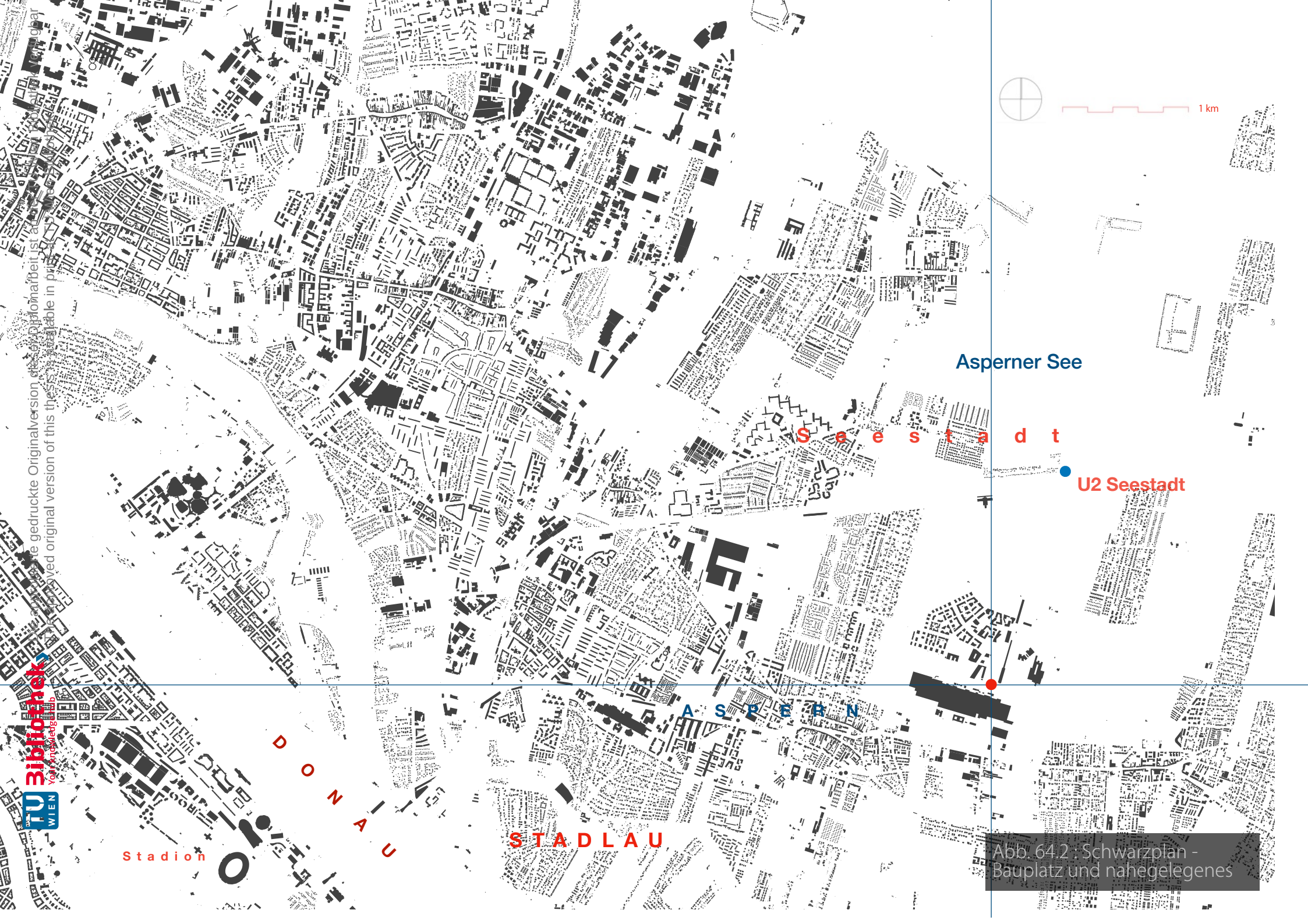


Abb. 64.2 : Schwarzplan - Bauplatz und nahegelegenes

Die gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (siehe http://www.ub.tuwien.ac.at).
The printed original version of this thesis is available in print at the main library of the Vienna University of Technology (see http://www.ub.tuwien.ac.at).
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

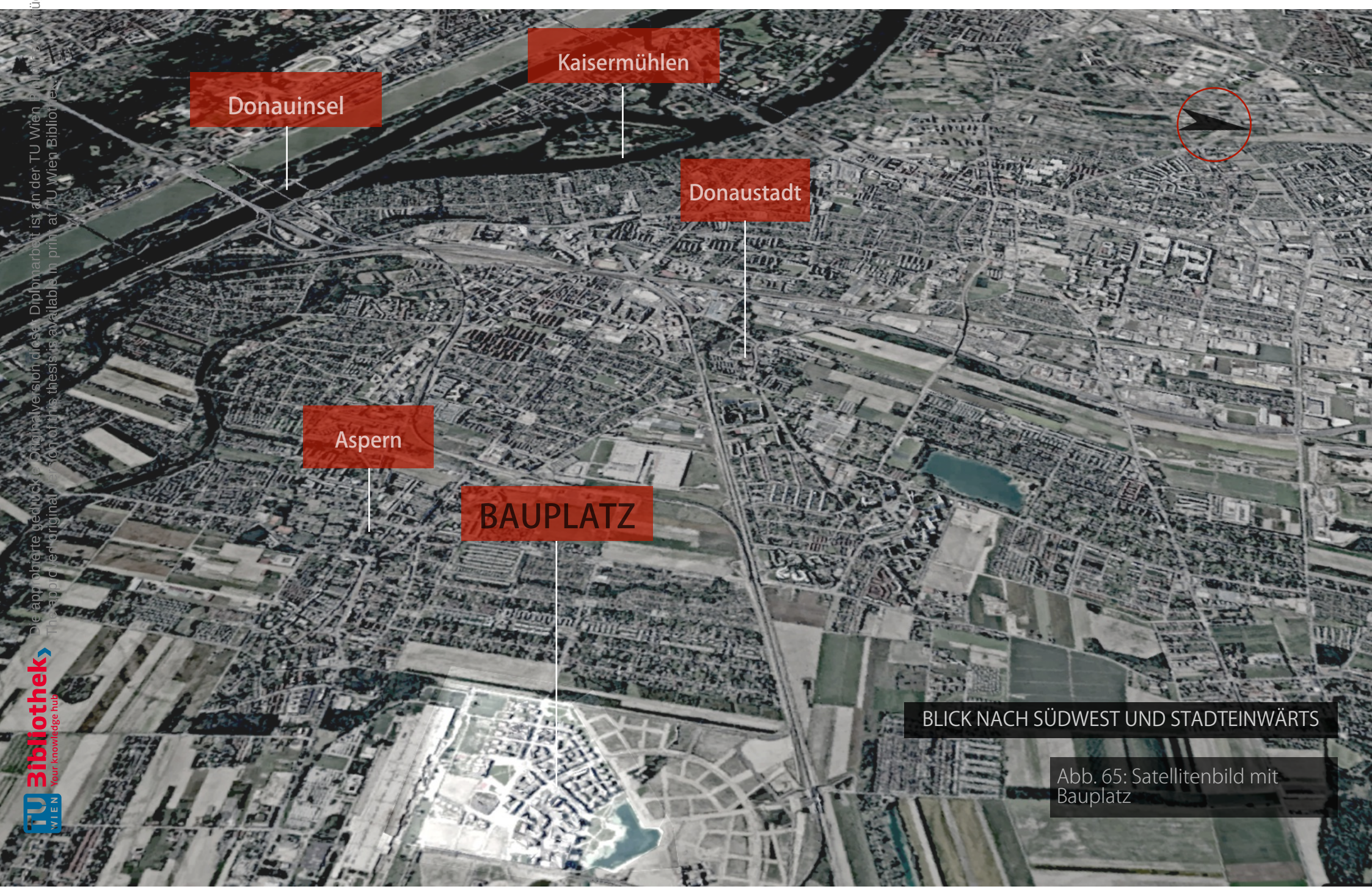


Abb. 65: Satellitenbild mit Bauplatz

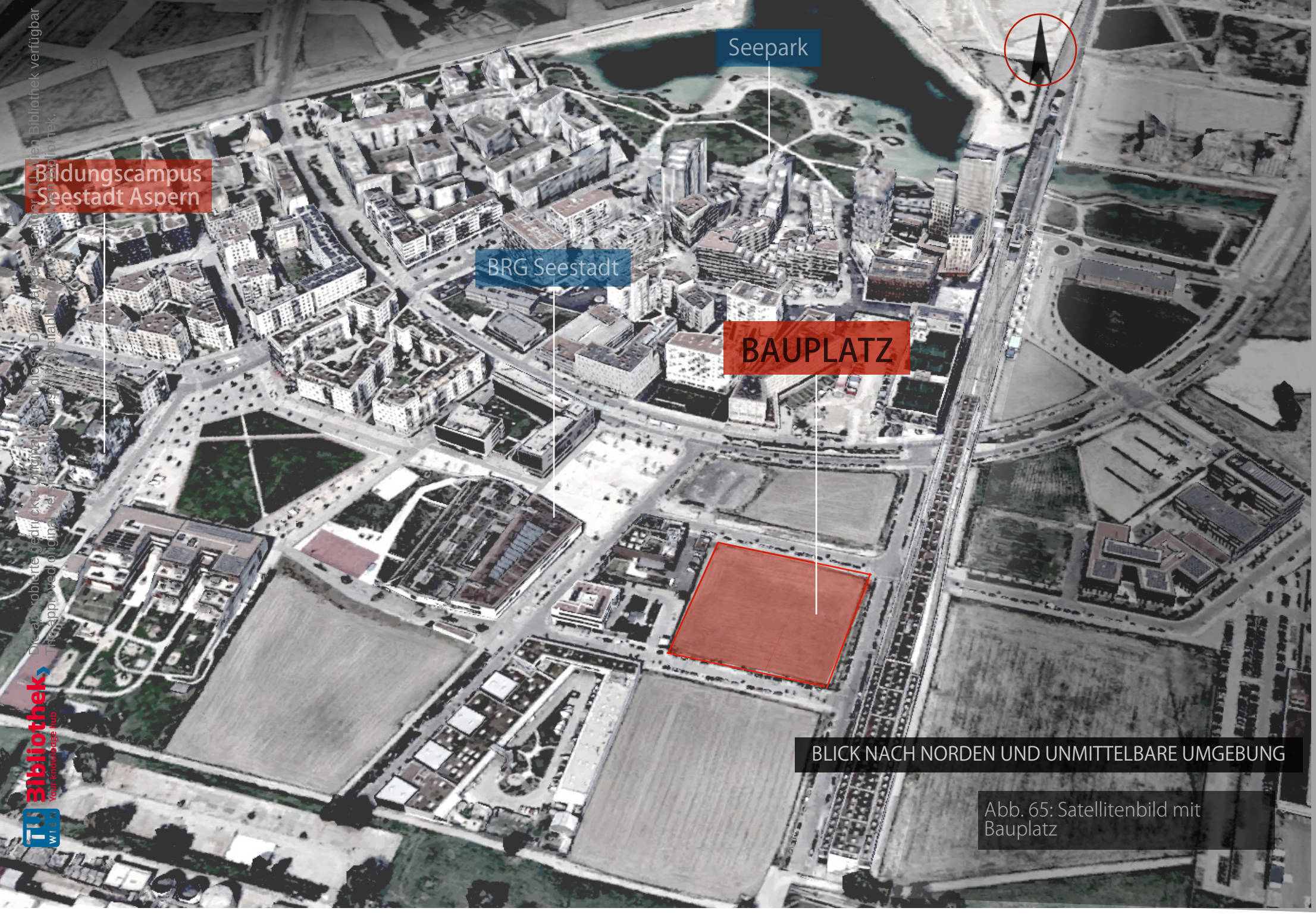


Abb. 65: Satellitenbild mit Bauplatz

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der Hauptbibliothek verfügbar
The approved original version of this diploma is available at the main library of the Vienna Bibliothek.
Bibliothek, Your knowledge hub

BLICK NACH SÜDWEST UND UNMITTELBARE UMGEBUNG

Abb. 65.2: Bauplatz - Blick SüdWest und stadteinwärts

Die approbierte gedruckte Original-Version dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this diploma thesis is available at the main library of the TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Das Kernstück des ehemaligen Flugfeld Aspern, also des Seestadt-Quartiers, bildet der nördlich gelegene See, mit den ringsum verlaufenden „harten“ und „weichen“ Ufern, die mit ihrem strandähnlichen Charakter, den öffentlichen Raum bespielen. Strukturell laufen sämtliche Bebauungsachsen des Areals, radial dem Seepark zu und schaffen den Bewohnern der flankierenden Wohngebäuden, so die Zugänglichkeit zu diesem vielfältig ausgestalteten Erholungs- und Freizeitgebietes.

Abb.66: Flächenwidmungen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Dominiert wird das Quartier von großzügigen Höfen und Grünräumen, welche die vorwiegend in geschlossener Bauweise aufgereihte Bebauungsstruktur, erheblich auflockert. Über die vielfältigen Hofsituierungen ergeben sich interessante Durchwegungen für den lokalen Fußverkehr.

Abb.66.1: Zulässige Bebaubarkeit und tatsächliche Bebauung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb.67 : Nutzungen

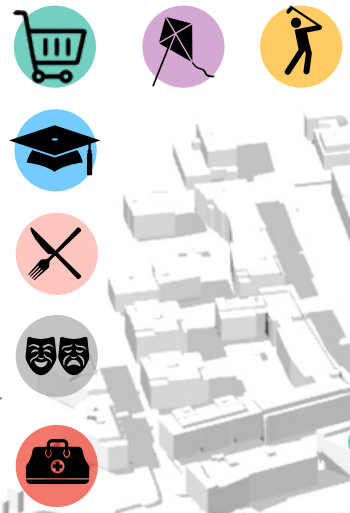


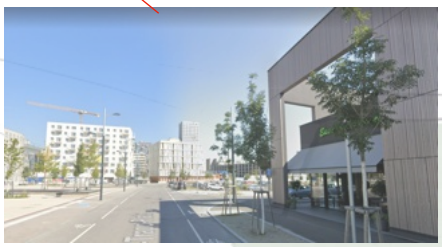
Abb.67.e [2] Grünraumkonzept

Abb.67a)-67g) [1]

[1] Google Ireland Limited
[2] Stadt Wien, Wien Digital MA 01

Bildungscampus Seestadt Aspern

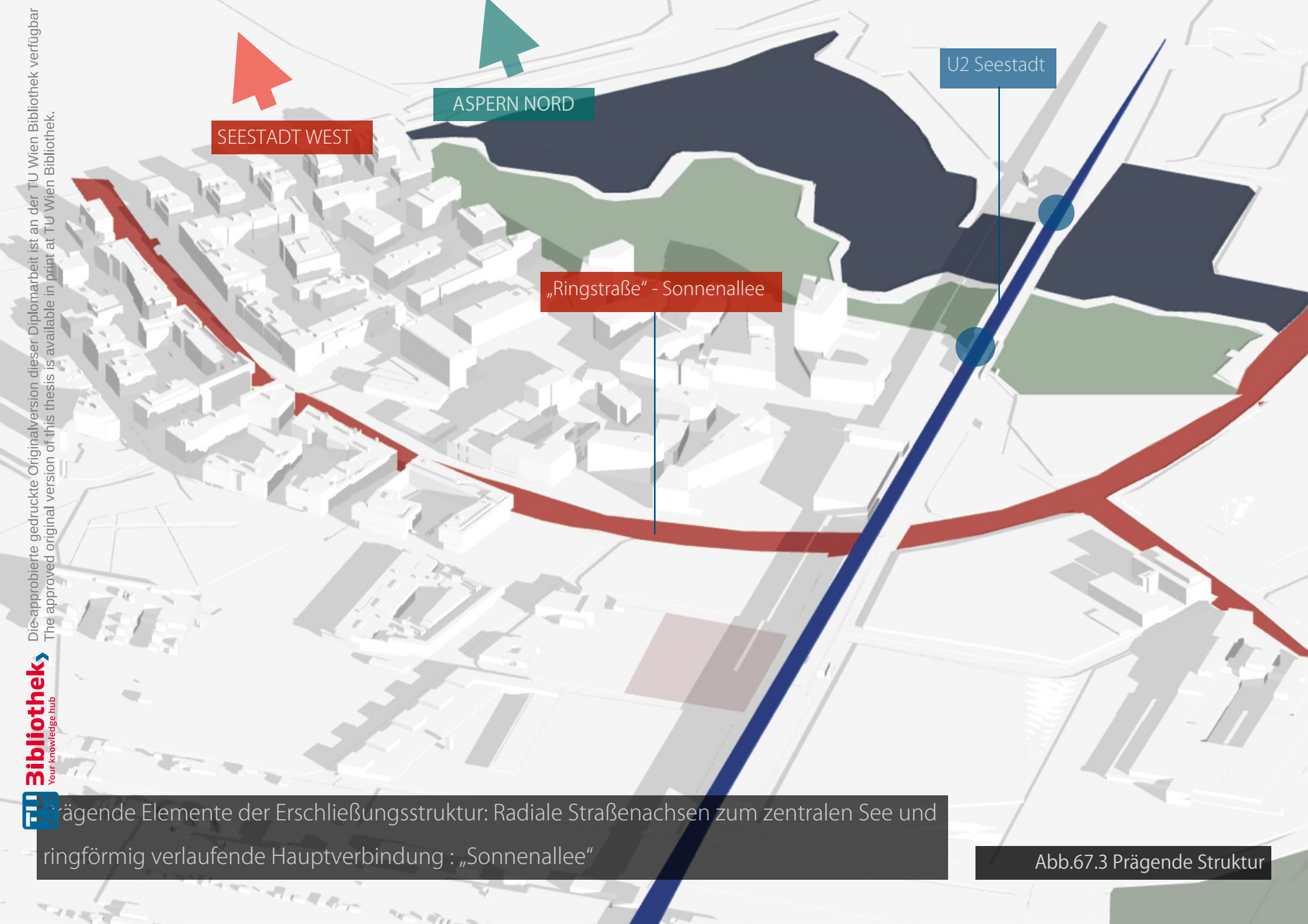
Hannah Arendt Park



Maria Trapp Platz - Sonnenallee
Achse Richtung See

Sonnenallee : Blick Richtung Ubahn Trasse

TU Bibliothek
WIEN Your Knowledge Hub



Prägende Elemente der Erschließungsstruktur: Radiale Straßenachsen zum zentralen See und ringförmig verlaufende Hauptverbindung : „Sonnenallee“

Abb.67.3 Prägende Struktur

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.2. Bauvolumen und Vorentwurf

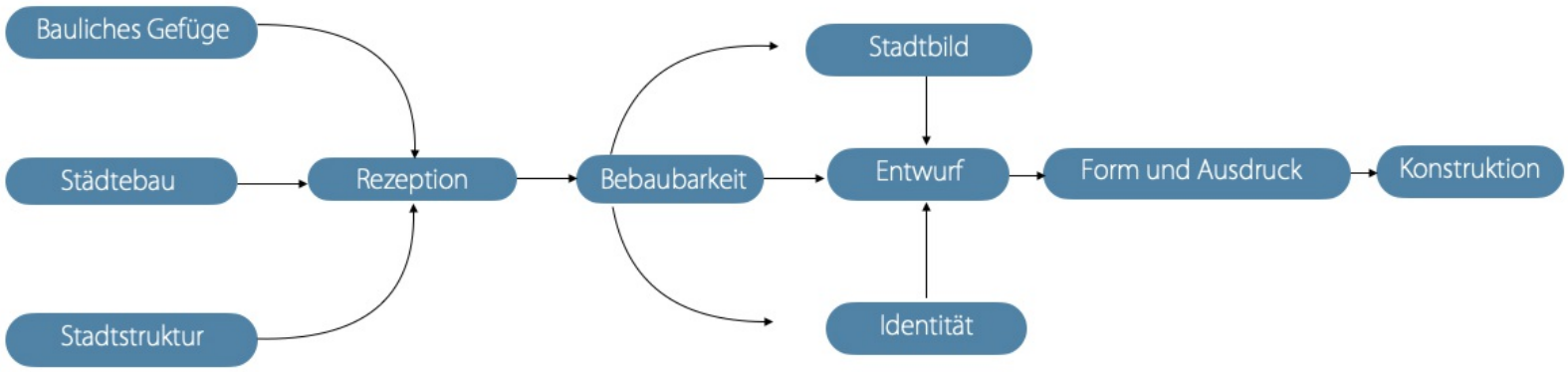


Fig.25: Prozessdiagramm : Entwurf

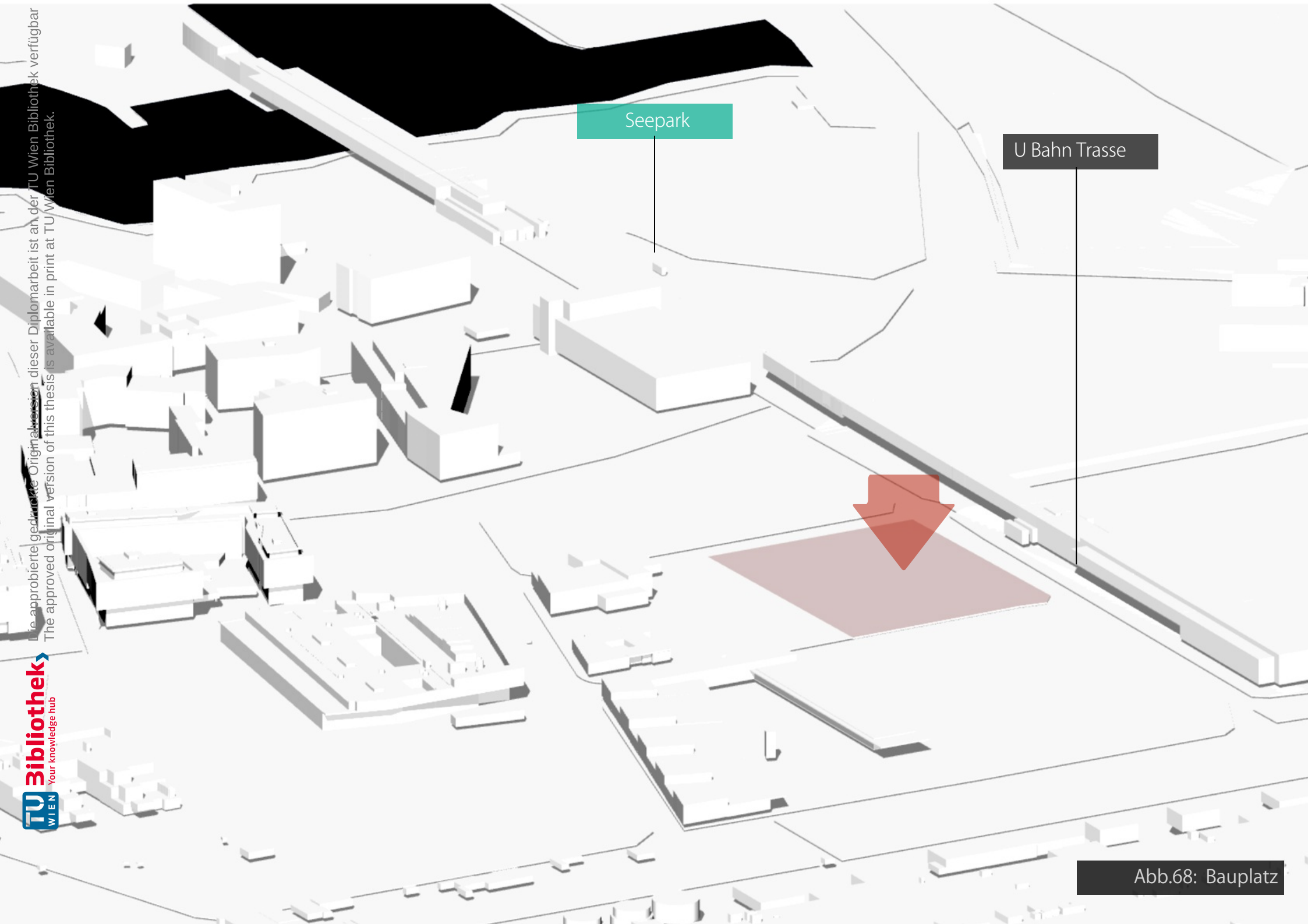


Abb.68: Bauplatz

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

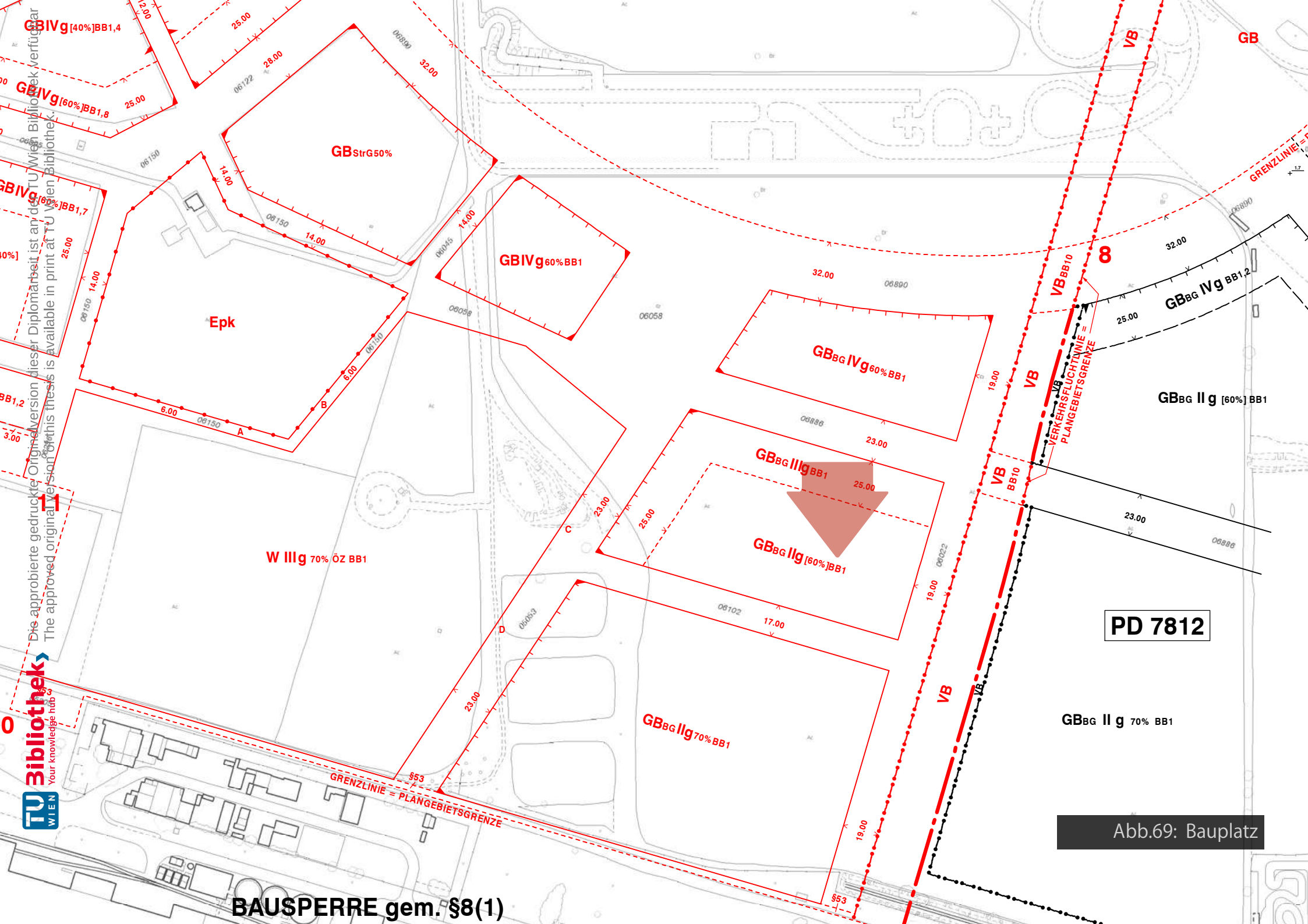
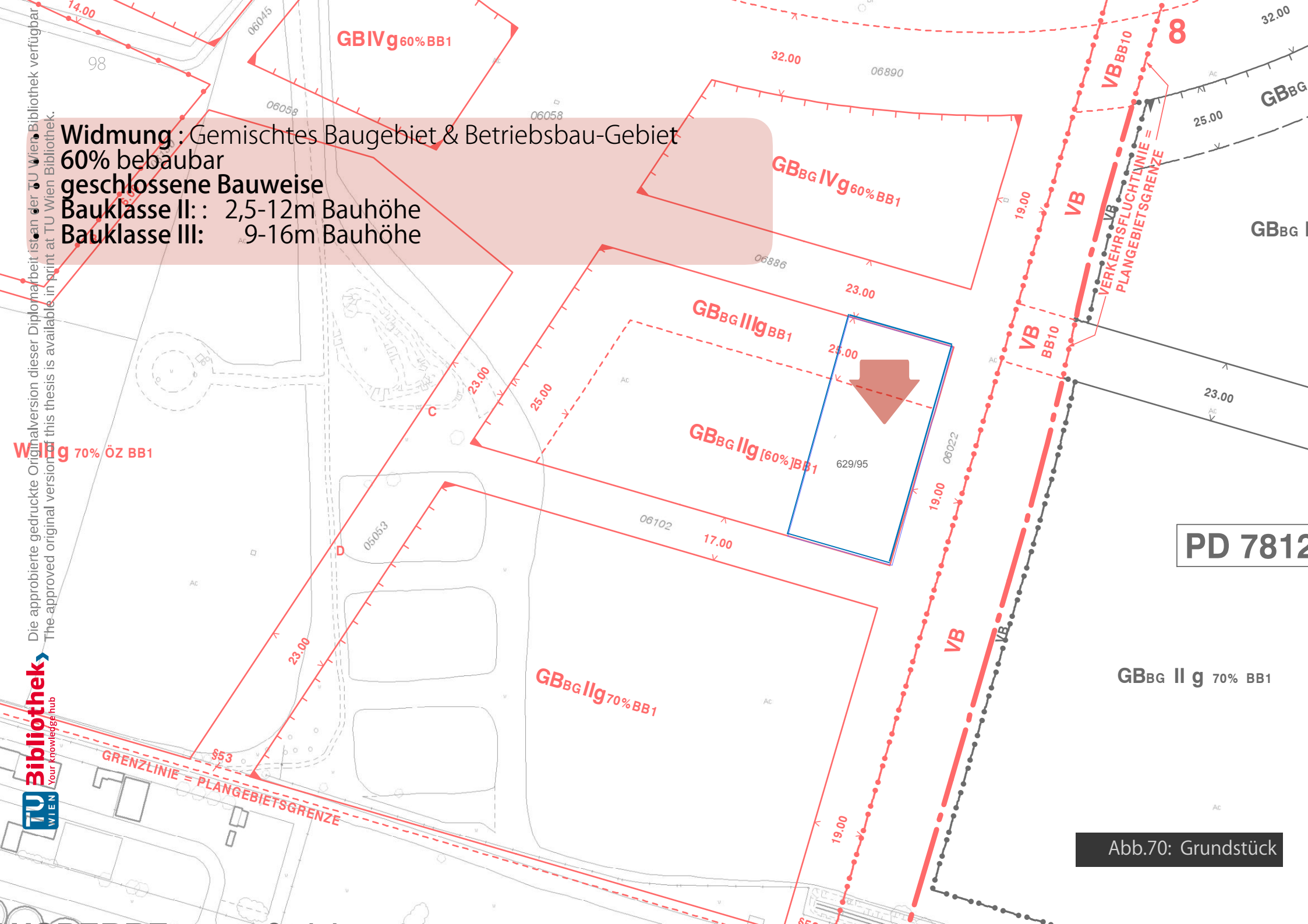


Abb.69: Bauplatz

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

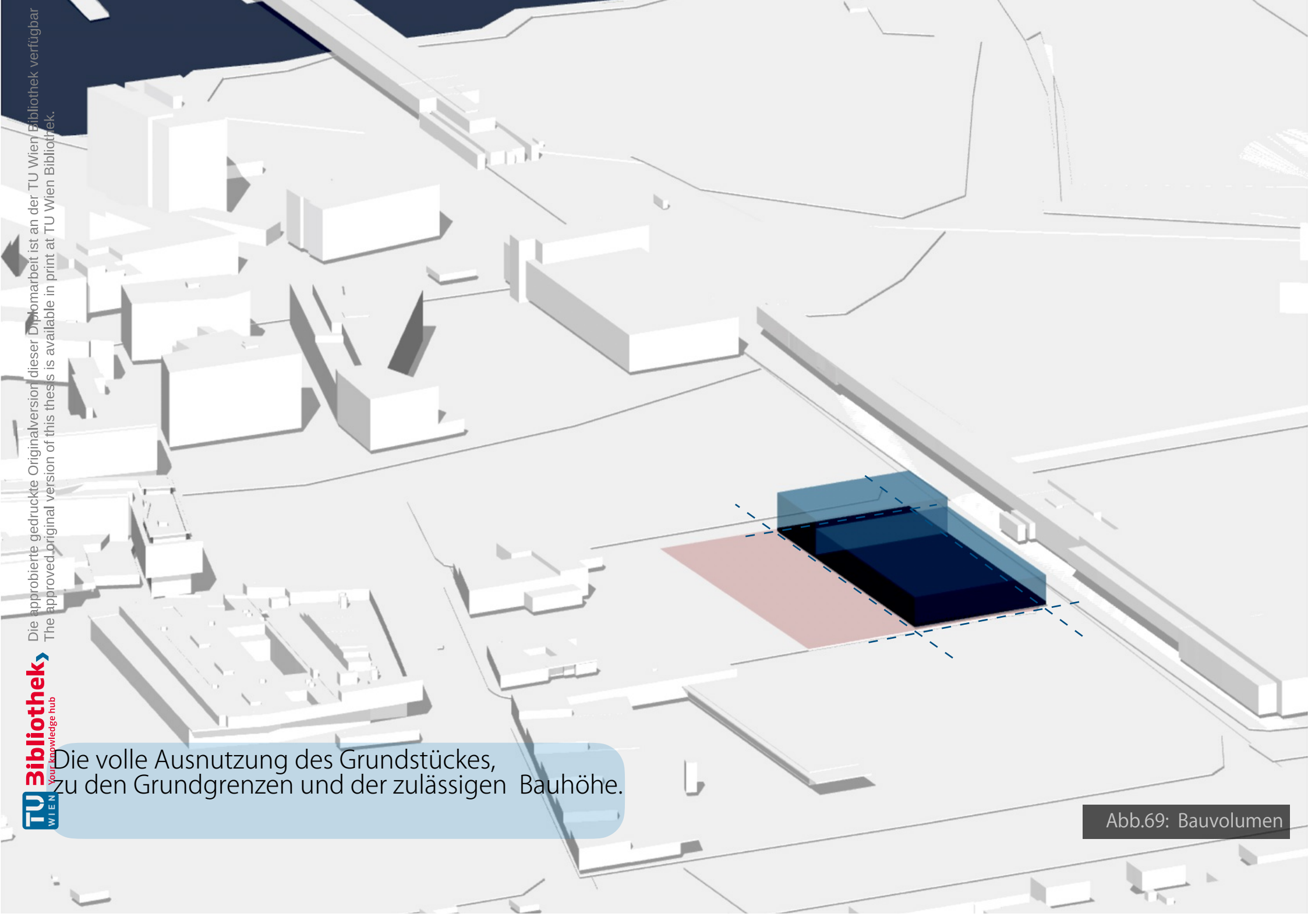


Widmung : Gemischtes Baugebiet & Betriebsbau-Gebiet
60% bebaubar
geschlossene Bauweise
Bauklasse II: : 2,5-12m Bauhöhe
Bauklasse III: 9-16m Bauhöhe

Abb.70: Grundstück

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

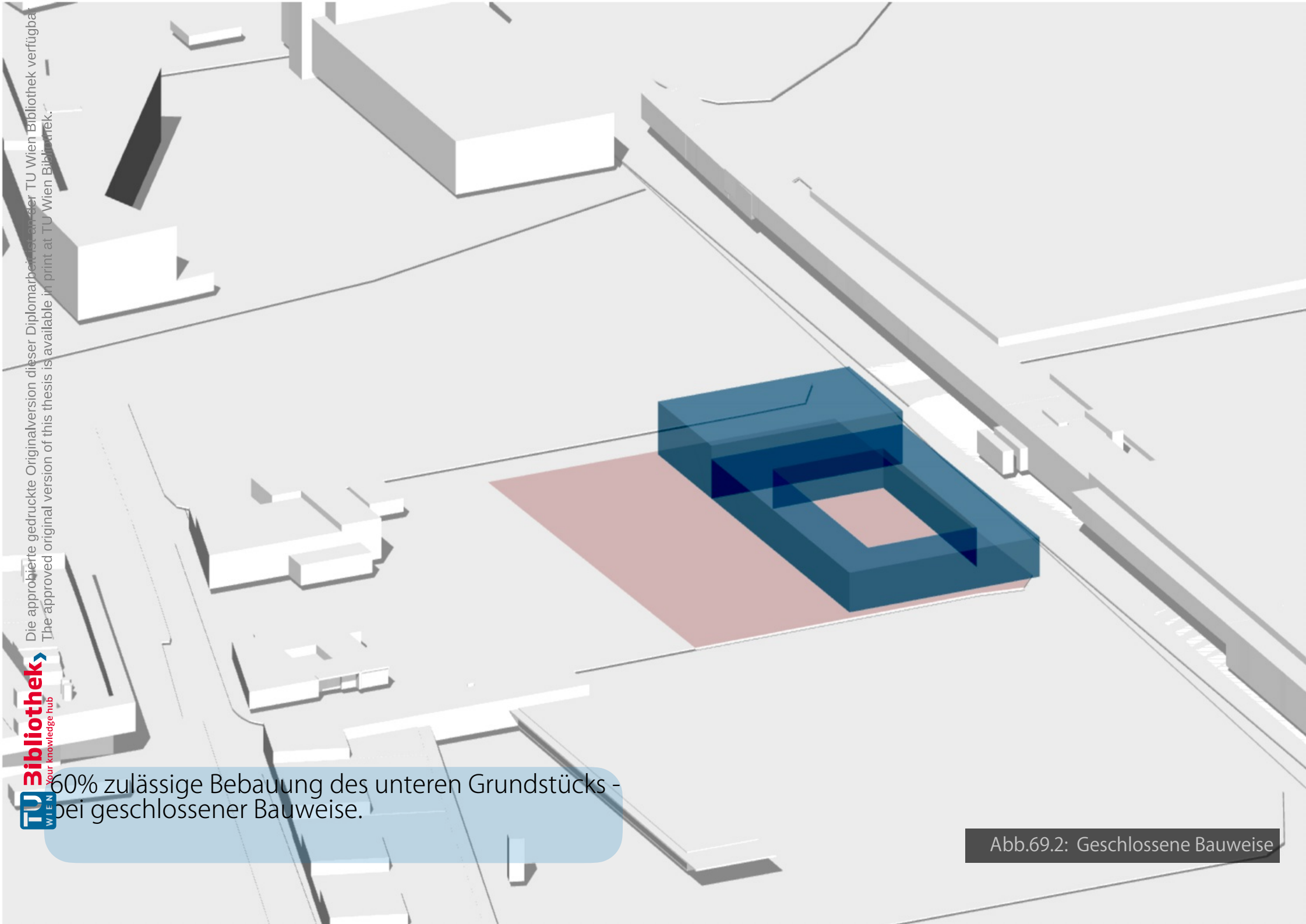
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Die volle Ausnutzung des Grundstückes,
zu den Grundgrenzen und der zulässigen Bauhöhe.

Abb.69: Bauvolumen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

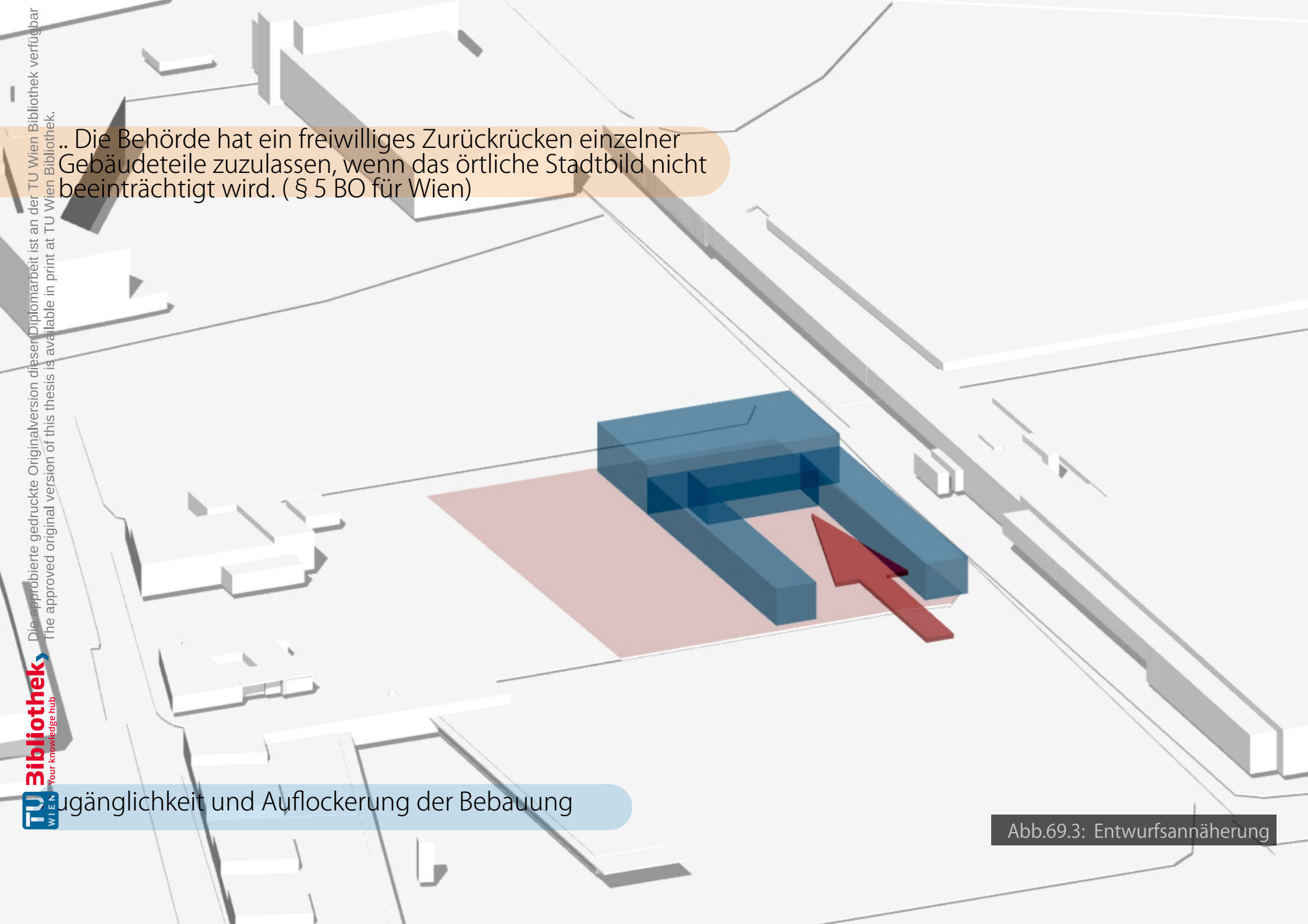


60% zulässige Bebauung des unteren Grundstücks -
bei geschlossener Bauweise.

Abb.69.2: Geschlossene Bauweise

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

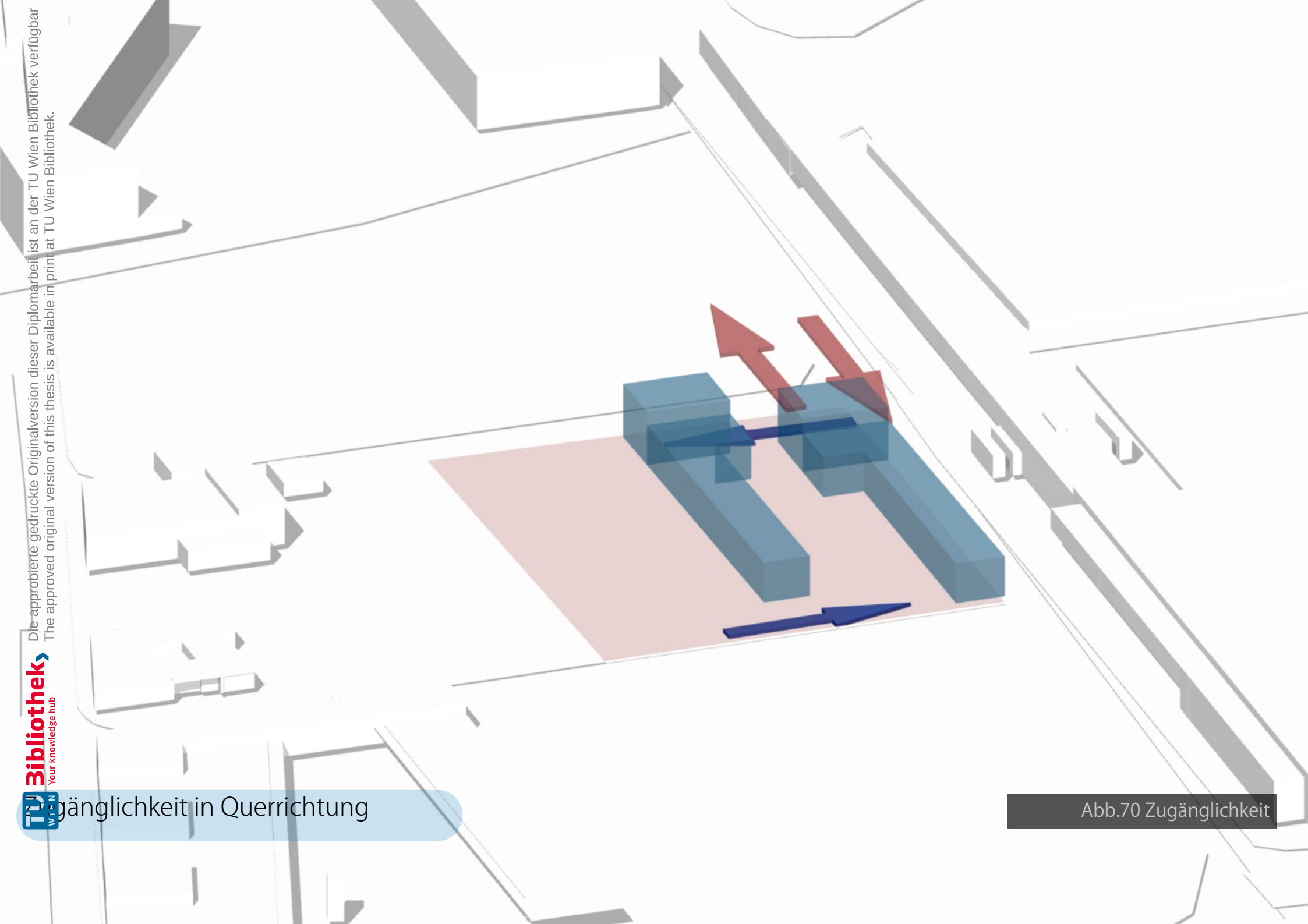
.. Die Behörde hat ein freiwilliges Zurückrücken einzelner Gebäudeteile zuzulassen, wenn das örtliche Stadtbild nicht beeinträchtigt wird. (§ 5 BO für Wien)



Zugänglichkeit und Auflockerung der Bebauung

Abb.69.3: Entwurfsannäherung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Zugänglichkeit in Querrichtung

Abb.70 Zugänglichkeit

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek, Your knowledge hub

Aufnahme der umgebenden baulichen Struktur und Adaption des Baukörpers

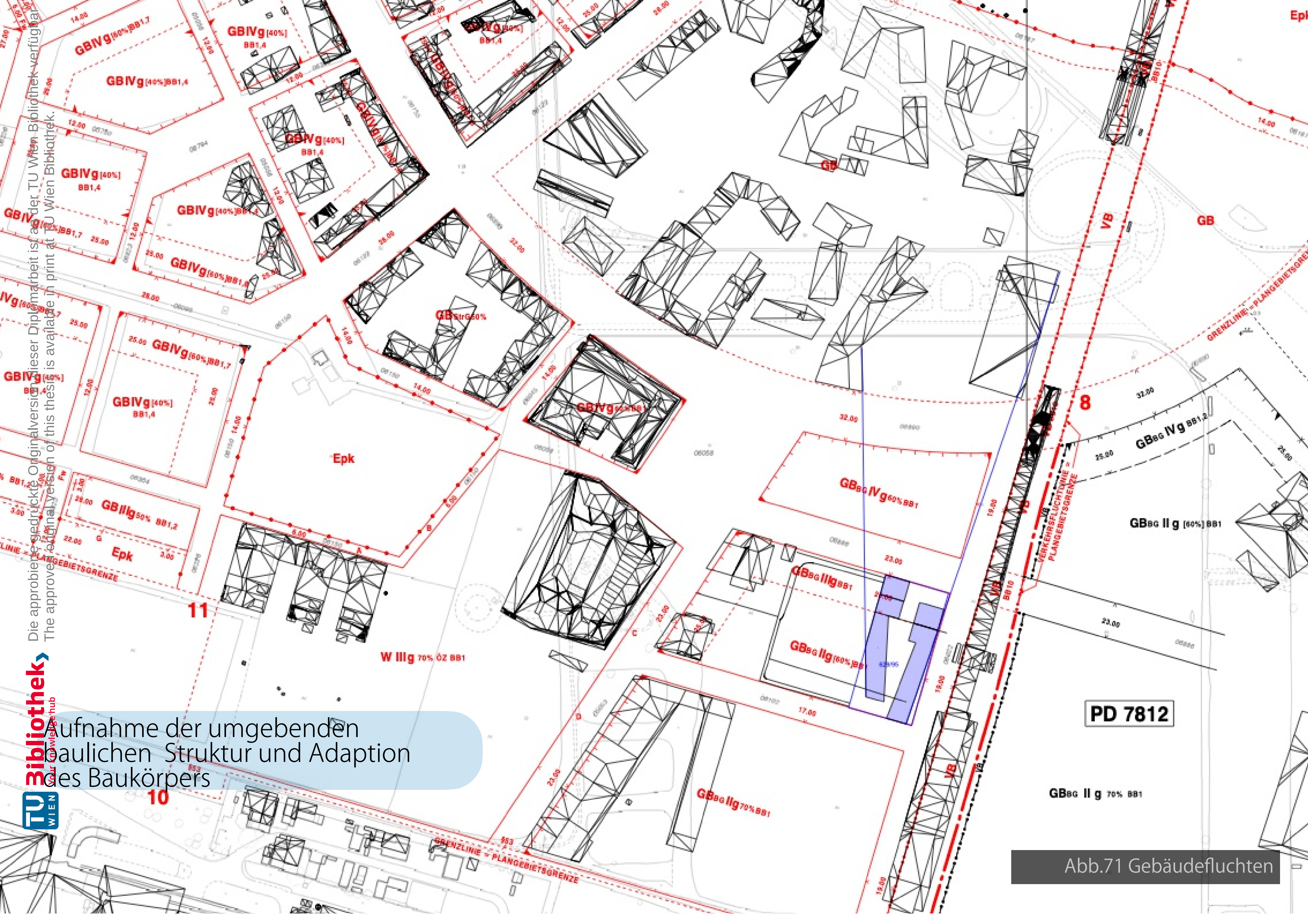


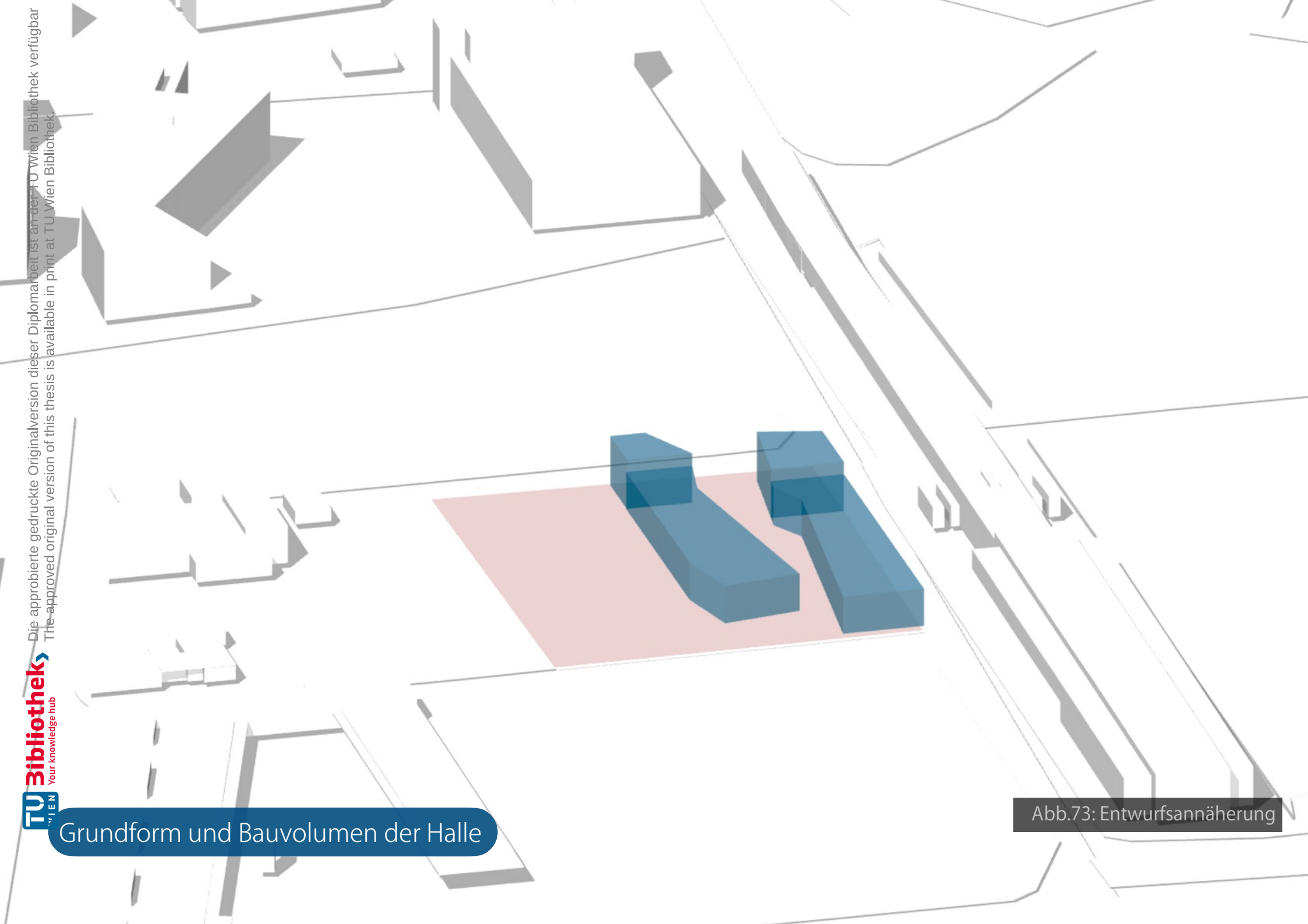
Abb.71 Gebäudefluchten

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Kanten des entstehenden Gebäudes, fluchten im Verlauf der radialen Struktur, wobei für die Rezeption des vorhandenen Stadtgefüges, einige der nahegelegenen Gebäudeneigungen und Ecken, mit aufgenommen werden.

Abb.72: Entwurfsannäherung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

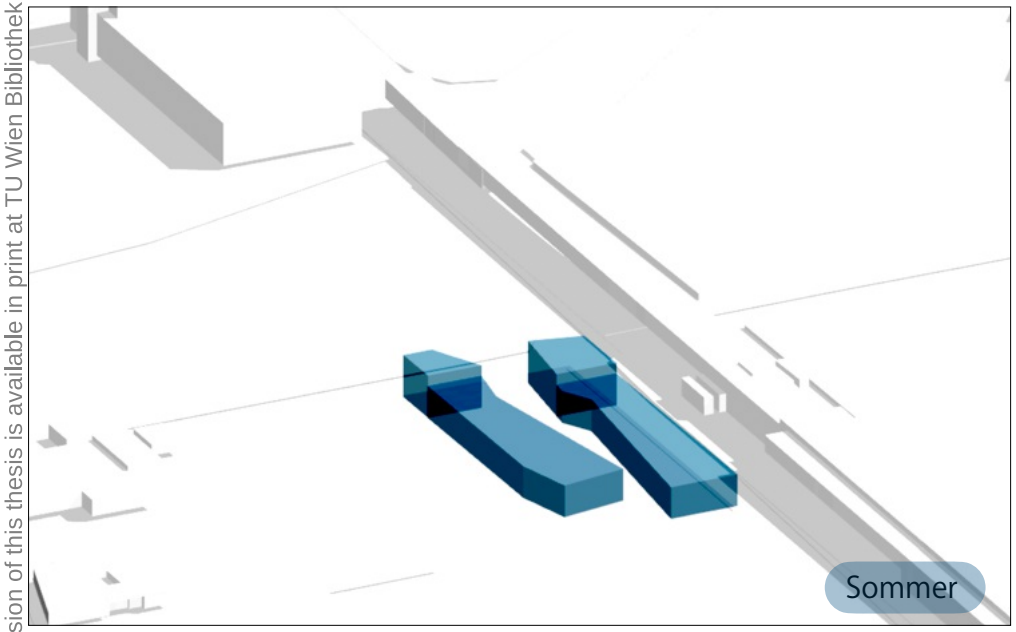


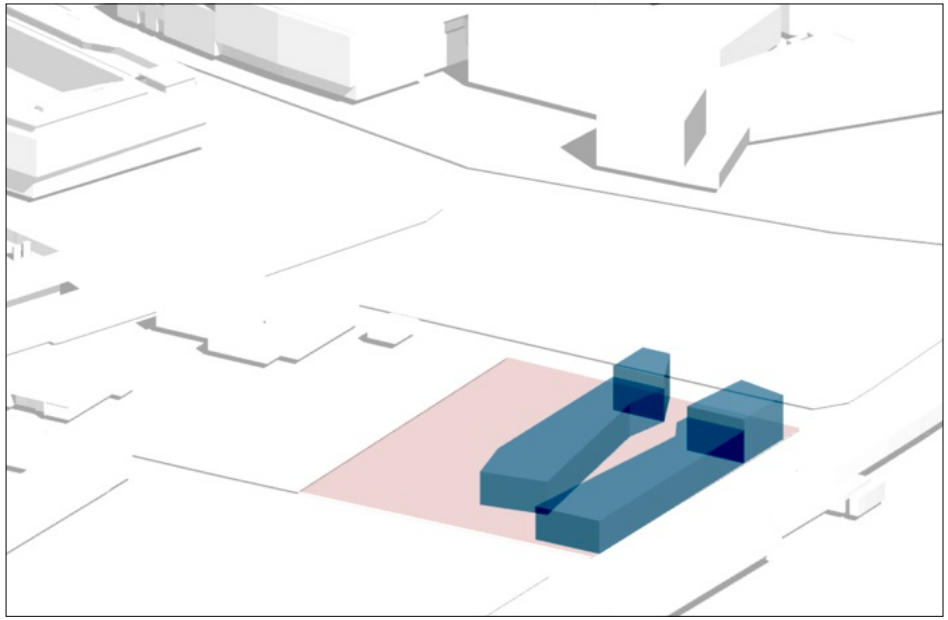
Grundform und Bauvolumen der Halle

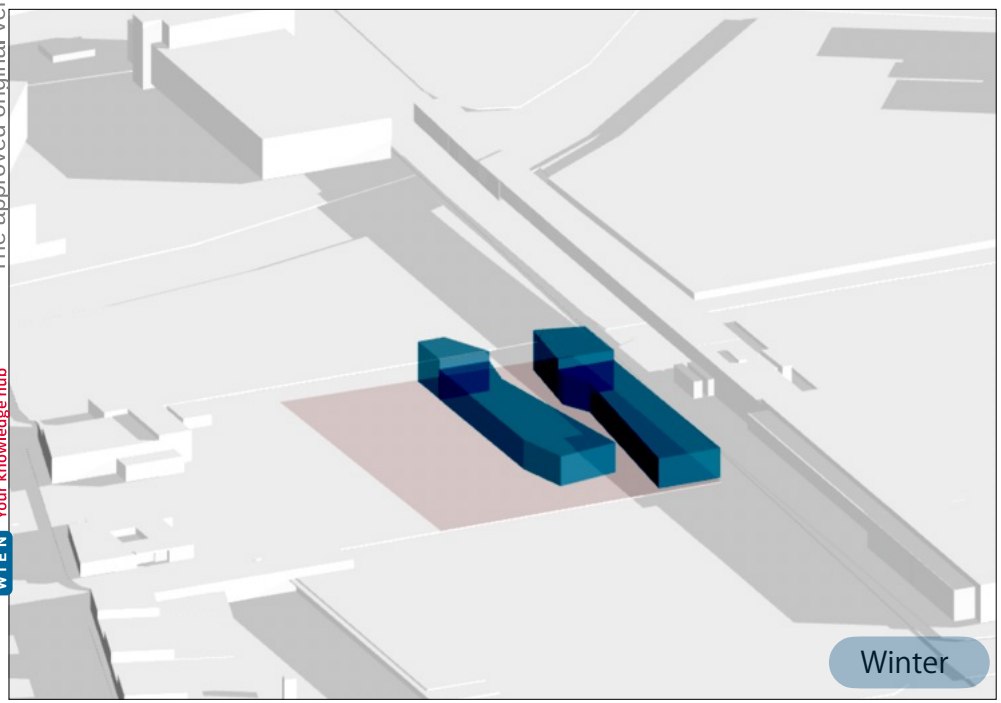
Abb.73: Entwurfsannäherung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.2. Bauvolumen und Vorentwurf







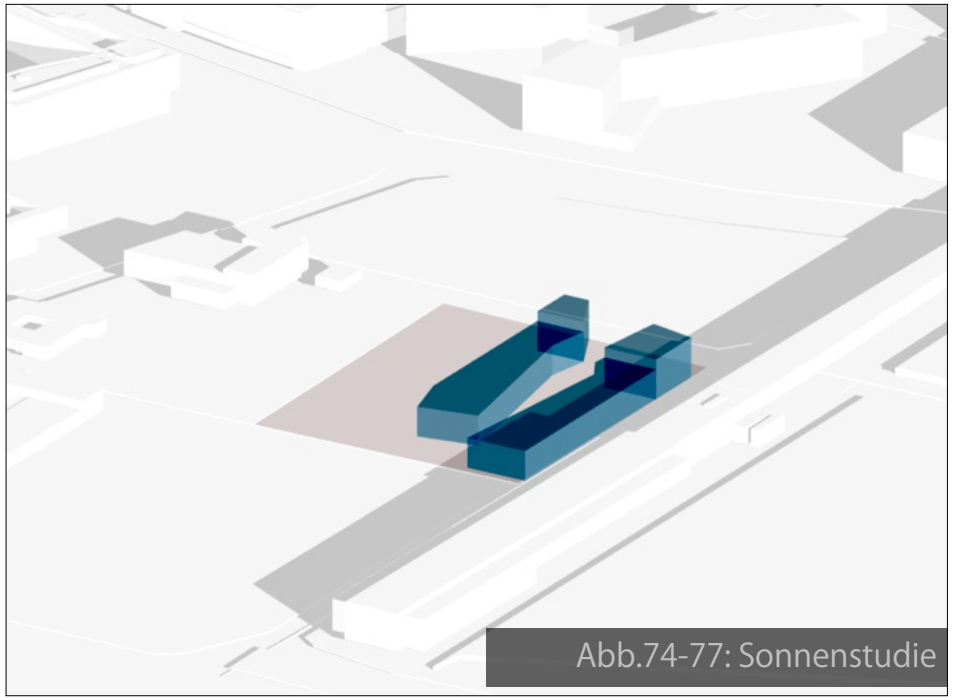


Abb.74-77: Sonnenstudie

„Gerade in einem sehr großen Gebiet wie dem Flugfeld ist eine starke Prägung und der Aufbau von Spannung wichtig. Während viele städtebauliche Planungen sich auf bestehende Wege, Grenzen und Flure stützen können, hat die Geschichte auf dem Flugfeld eine „tabula rasa" zurück gelassen. Einzig das Rollfeld stellt ein aus der Vogelperspektive erlebbares Strukturelement dar. Weder der historische Bezug, noch mögliche Nutzungen rechtfertigten es letztlich, die Betonpisten zu einem bestimmenden Element der neuen städtebaulichen Entwicklung zu machen. Die städtebauliche Struktur und ihre Beziehung zur Umgebung musste und konnte daher völlig neu und selbstbewusst entwickelt werden." (Stadt Wien, Masterplan Seestadt, 2007)

▸ **Abb. 78** (Masterplan Seestadt, 2007)

Die Vogelperspektive des „Flugfeld Aspern" zeigt die noch erkennbare Struktur einer langen Geschichte des ehemaligen Flughafens. Bis 1912 zählte er zu den modernsten Flughäfen seinerzeit, 1939 wurde er während des 2.Weltkriegs als Luftwaffenstützpunkt umfunktioniert und zuletzt für den Flugverkehr der Pilotenausbildung genutzt und schließlich 1977 vollständig aufgelassen.

Die approbierte gedruckte Original Version dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this diploma thesis is available at the TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.3. Nachhaltigkeit : Identität und Lebensdauer

Erinnerungswerte des Stadtteiles

Im Jahr 1809 sicherten die österreichischen Truppen unter der Führung von Erzherzog Karl die heimischen Grenzen gegen den Vormarsch der Franzosen unter den selbsternannten Kaiser Napoleon. Am westlichen Donauufer detonierten zwischen **Aspern** und **Essling** die ersten Geschoße, während von der Lobau der heftige Schusswechsel zu hören war. Die unerbittliche Gegenwehr der österreichischen Armee zwangen den berüchtigten Feldherr in Bedrängnis: Am 23. Mai musste er zum Siegeszug des österreichischen Widerstands, erstmals den Befehl zum Rückzug erteilen. [1]
Im Gedenken an die Gefallenen wurde 1858 der „Löwe von Aspern" von Bildhauer Anton Dominik Fernkorn errichtet.[1] **(Abb.79)**

Das Konzept des Masterplanes Seestadt Aspern, sieht eine klare **Identitätsstiftung** und -stärkung des Stadtteiles vor. Gerade diese klar umrissene Stadtidentität, kann im historisch regionalen Kontext fundiert sein, der sich in ortstypologischen und auch überörtlichen Stadtcharakteristika manifestiert und kennzeichnet. (Vgl. 2 et al.)

[1]Stadt Wien - Wien Digital (MA01), 1.1. Geschichte des Gebietes S.1
[2]Stadt Wien - Wien Digital (MA01), 3.1. Gedanken über den neuen Stadtteil

Abb. 79: der **Löwe** von Aspern (Google Earth, L.)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die **Identität** im Kernansatz

„Die städtebauliche Planung für das ehemalige Flugfeld Aspern stellt sich als einmalige Gelegenheit dar, sich mit fundamentalen Planungsaufgaben in Mitteleuropa auseinanderzusetzen."(Stadt Wien, Masterplan Seestadt)

„Kernpunkt unseres Ansatzes ist deshalb die Entwicklung einer dichten, kompakten, Identität-stiftenden Raumstruktur, deren Qualität wir im weitesten Sinne als städtisch bezeichnen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Beziehung zwischen Gebäude und Raum.." (Stadt Wien, Masterplan Seestadt,2007)

So wird das Flugfeld Aspern im Kontext der überörtlichen Planungsaufgabe, als Chance interpretiert, sich den Herausforderungen des neuen urbanen Raumes zu stellen, welcher insbesondere, durch die Vermischung unterschiedlicher Funktionen und Beziehungen, städtischen und räumlichen Charakters durchdrungen ist. Zwischen zwei Hauptstädten : Wien und Bratislava möchte die Vision des Stadtgebietes, neue Maßstäbe vor allem in seiner Rolle als regionales Bindeglied setzen und die vitalen Wechselbeziehungen einer ökologischen und **wirtschaftlich-nachhaltigen** Entwicklung der stadtinhärenten Lebensfunktionen, über den Korridor des näheren und weiteren Umfeldes forciert und beantwortet sehen. (Vgl. Stadt Wien, Masterplan-Seestadt, 2007) **(Abb.80-Abb.81)**

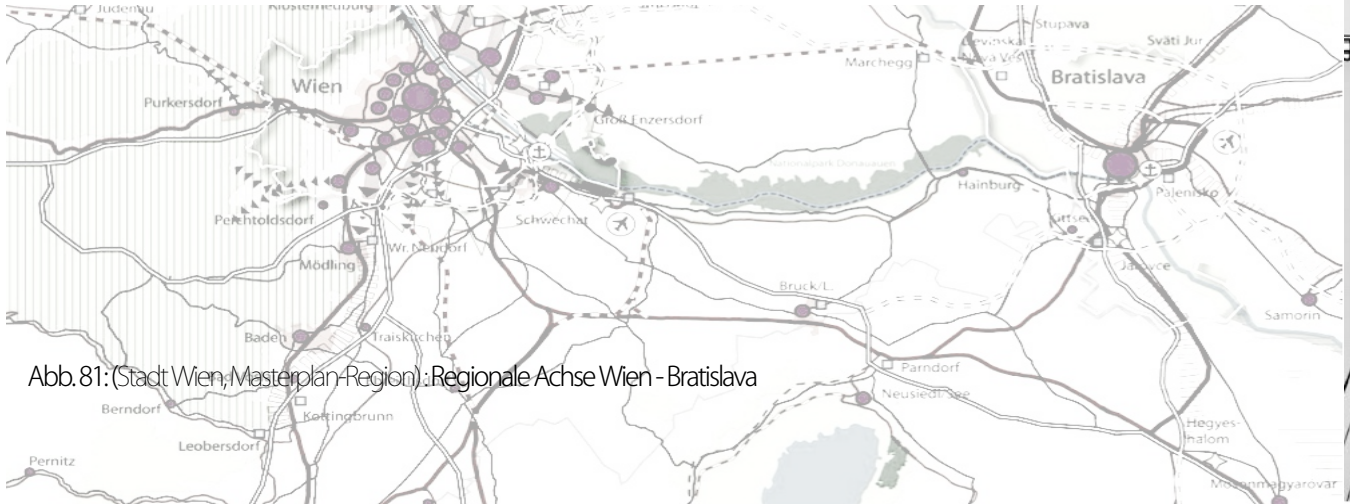


Abb. 81: (Stadt Wien, Masterplan-Region) : Regionale Achse Wien - Bratislava

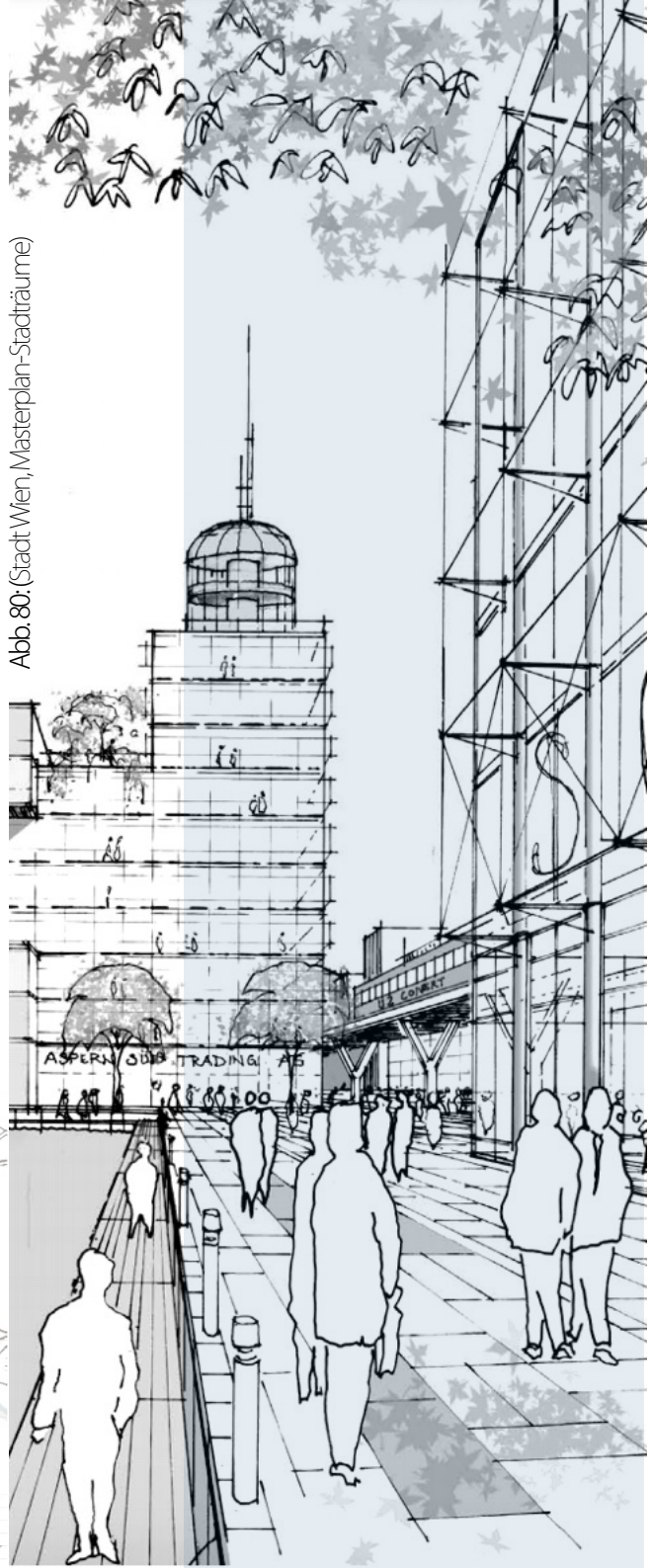


Abb. 80: (Stadt Wien, Masterplan-Stadträume)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 82 (3420 Aspern Development AG)
Strukturprägende Elemente der Seestadt
Ringstraße- Seeplatz - Seepark -U2

Abb. 83 (3420 Aspern Development AG)
Hierarchie der Grün- und Freiräume und die
Konnektivität mit der Umgebung

Abb. 84 (3420 Aspern Development AG)
Funktionen und Nutzungen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Raum schaffen - Identität schaffen

„..."Stadträume mit **überörtlicher Bedeutung**" stehen an erster Stelle der Hierarchie und prägen das urbane Leben und die Identität des neuen Stadtteils maßgebend." (Stadt Wien, Seestadt-Masterplan)

Die Stärken des Masterplans liegen mitunter in der **strukturellen Anbindung** und Einbettung in bzw. an die regionale Umgebung, bei einer gleichzeitigen, ausgeprägten Eigenständigkeit des Stadtteiles, sowie in der sequenziellen Abfolge der funktionalen Räume und öffentlichen Plätze, die sich zum Beispiel in der Ausgestaltung und Vernetzung der Frei- und Grünräume abzeichnet.

Entgegen klar definierter, urbaner Situationen die mit Bestimmtheit für die Qualitäten sorgfältig entwickelter Aufenthaltsmöglichkeiten, Straßen und Plätze spricht, wurde zugleich ein Augenmerk auf die **Offenhaltung räumlicher Situationen** wertgelegt der spontane, informelle Begegnungen und Beziehungen erwachsen können. (Abb.85)

„... und andererseits ein vielfältiges Angebot an Räumen und Gelegenheiten für jenen Verkehr unterbreiten, der Begegnung, Austausch und Freude an Bewegung bedeutet und Zeichen für ein urbanes Leben ist." (Stadt Wien, MP)

Erst in der einzigartigen Konstellation strukturprägender Elemente in der Beziehung zu funktionalen und spontanen Wechselwirkungen zwischen Menschen bzw. menschlichen Begegnungen und deren Interaktionen mit und im städtischen Raum, werden **ortstypische Charakteristika** und Sinnbilder geprägt, die **Vertrauen und Sicherheit** mit spezifischen **Wiedererkennungswerten,** wie etwa mit bestimmten räumlichen Besonder-heiten und Merkmalen, oder signifikanten Blickbeziehungen verknüpfen. (Vgl. Stadt Wien, 2007)

Abb. 85 (Stadt Wien, MP Seestadt, 2007)
Begegnungen in der Stadt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die Sprache der Konstruktion : Das Beispiel einer Halle als Symbol

Im Jugendstil erbaut, welcher sich seinerzeit als eine avantgardistische Strömung verstand, wurde mit dem Schönbrunner Palmenhaus, ein Symbolbau der **filigranen Stahlglasarchitektur** errichtet, wie er nämlich schon mit bedeutenden Stilbauwerken in Europa, wie zum Beispiel das Kew Gardens in London verfolgt wurde. Der reformierende Ansatz der Wiener Variante nämlich des sog. Secessions-Stils wandte sich im Geiste dieser Stilrichtung, von den historisierenden Wendungen dieser Zeit zum einen, andererseits von der um die die Jahrhundertwende des 20.Jahrhunderts anbrechenden, „seelenlosen" Industrialisierung der Architektur ab und experimentierte hingegen mit neuen Formensprachen, die besonders in floral ornamentierten Bauteilen und auch Funktions- und Kunst -gegenständen ihren Ausdruck fanden

Für **Wien** bleibt der Stil, der von wichtigen Architekturakteuren wie etwa Josef Hofmann oder Joseph Maria Olbrich in den damaligen Zeitgeist getragen wurde besonders bezeichnend. Er verbindet, ähnlich wie beim englischen Verwandten der **„Arts & Craft"**-Bewegung im Kernansatz, die Funktionalität von Gebrauchsgegenständen, mit der kunstvollen Ornamentierung und Ausschmückung, mit dem Ziel, die designten Sujets, häufig auch Möbelstücke, weiterzuentwickeln und zu innovieren. Was hiermit intendiert oder unbewusst durchbrochen und neu bespielt wird, ist die Beziehung zwischen den ineinandergreifenden Strukturen: der „realen", oder real fundierten, funktionalen Konstruktion, deren Abbildung, sowie die Korrespondenz zwischen Form und Ausdruck. [1]

[1]Vgl. Forschungsbereich für Hochbau und Entwerfen, 2012

ad 1.: Z.B. Otto Wagner findet bei verschiedenen Bauwerken (Otto Wagner Pavillon, Postsparkasse) einen formalen Umgang mit Verkleidungen und Verkleidungsschichten, die einen „konstruktiven" Ausdruck suggerieren. -

Abb.86 („MM"-Planet-Clio,2012) : Palmenhaus im Schlosspark Schönbrunn

Die Gestalt, etwa eines konstruierten Bauteils, kann also Folge einer Funktion, oder aber lediglich als Ausdruck einer funktionalen Geste zu Tage treten. In dieser scheinbaren Gegensätzlichkeit von Form und Gestalt, liegt ein gewisser Spielraum, dem sich die stilisierenden Mittel des Jugendstils zu eigen macht. Die Konstruktion des Palmenhauses, ist im Grundsatz der **Formenlogik,** Ergebnis einer kraftschlüssigen **Tragstruktur** aus Bogenbindern. Interpretiert werden die geschwungenen Binder -anläufe,(**Abb.86**) dem Anschein nach, als eine Anlehnung an das Formen -vokabular von Gewächsen. Die zu den Auflagern hin gebogen „anschwellenden" Fachwerkbinder, sind abgesehen von denen zwar dekorativ genieteten Verkleidungsprofilen, allerdings eher als eine formale Antwort, auf das eigentliche **Tragverhalten** der Binder zu verstehen.

ad1 : - Mit dem Vokabular der „konstruktiven Sprache" reale, konstruktive Gegeben -heiten wurde etwa der Verlauf eines Stützenschaftes, transportiert, verdeutlicht, oder auch nur „abgebildet", womit die Beziehung zwischen **Traggerüst** und **Bekleidung** bespielt wird.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die Identität : Die Anknüpfung an Wien ?

In neuen stadttyplogischen Begriffen gedacht, welche die Relationen und Verknüpfungen zwischen Raum und Gebäude in Anbetracht einer sich verändernden urbanen Umwelt betrachten und neu bewerten will, sehen Planer sich zwangsläufig auch mit der Frage der Zeit konfrontiert. In der Zeit erkennt der Mensch als Protagonist, Gestalter und „Erleber" des **Zeitgeschehens**, in diesen Belangen also im **Stadtgeschehens**, sein urbanes Umfeld, auch als Fragment in einer eng geflochtenen Stadtchronologie eingebettet, das sich selten völlig von diesem Kontext lösen kann.

In einem „synthetischen" Stadtgefüge, das mit aufstrebenden Innovationen und schöpferischem Reichtum, neue Gegebenheiten herzustellen sucht, kann der Anstoß für ein identitätsstiftendes Merkmal eines Stadterweiterungsgebietes, in der Anknüpfung an eine authentische Geste der überörtlichen Stadtgeschichte verwurzelt sein.

Die **Authentizität** eines Stadteiles, die in symbolischen Bauwerken oder Elementen als Erinnerungswerte demonstiert sind, schafft die „Brücke" zu einer fortgeschriebenen Stadtentwicklung, zu der der Bewohner einen reellen Bezug, Vertrauen und auch ein gewisses Behagen herstellt. Ein symbolischer Erinnerungswert, kann auch ein Mittel sein, ein zeitlich nachhaltiges Funktionsbauwerk zu adressieren, das fest mit der Identität des Stadteiles verwoben, Generationen der Nutzungsszenarien bedient und überdauert.

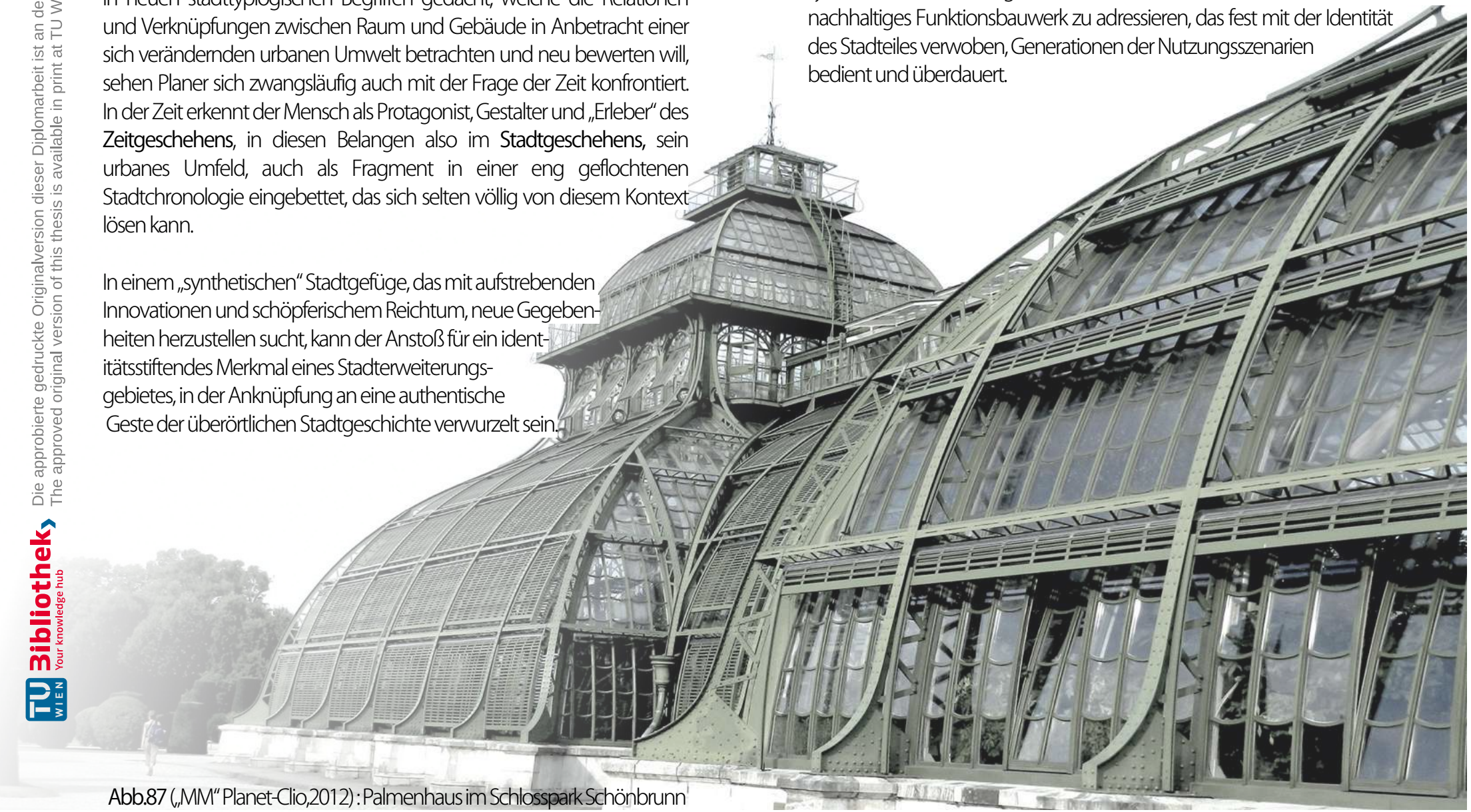


Abb.87 („MM" Planet-Clio,2012) : Palmenhaus im Schlosspark Schönbrunn

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

6. Vorentwurf
6.1. Nachhaltigkeit : Räumliche Flexibilität

Ein grundsätzliches Hinterfragen des Raumbegriffes, fordert eine Auseinandersetzung mit den grundlegenden Elementen, die einen Raum als solchen klassifizieren, sowie eine klare Abgrenzung davon, was abseits des elementaren Raumes , also in Nichträumen liegt. **(Abb.88)**

Abgesehen von den physischen Dimensionen von Räumen kann hierbei eine funktionale Herleitung, grundlegender Raumeigenschaften , wie etwa seine Nutzung und Beschaffenheit, eine hilfreiche Annäherung daran sein, wie der Raum in Bezug auf den Menschen und auch auf die Natur, zu verstehen ist. **(Abb.88)**

Bei der Gestaltung von „Räumen", sind zudem mehrere Ebenen der räumlichen Größenordnungen, sowie deren Interrelationen zu unterscheiden und mitzudenken:

- der Innenraum
- der Außenraum : der witterungsungeschützte Raum
- der Grün- und Freiraum
- der urbane Raum : Das Gesamtgefüge des besiedelten Stadtraumes

Die Beziehung zwischen Innen- und Außenraum „eingefasst", kann im Kontext des „offenen Raumes", der Ansatz einer Raumkonzipierung zum Beispiel in der Verschmelzung und Auflösung dieser räumlichen und auch begrifflichen Begrenzung liegen. Dieser Vorstellung folgt eine **Neuinterpretation der Raumidee**, welche die physischen Grenzen neu bewertet und „Raum" für neue Situationen und Möglichkeiten schafft. In und aus den fließenden Übergängen, strömt dabei die Diversität der Konfigurationen und Kombinationen. **(Abb.89 und 90)**

Abb.88 (Architektur-online, 2012)
Innen- und Außenraum? Antony Gibbon's bewohnbares Wellenspiel „the twine"

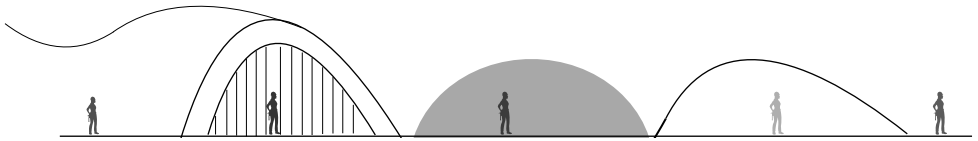


Abb..89 : (MM,2021): Schemadiagramm :, von links nach rechts:
Außen innerhalb - Innerhalb außen - Innerhalb im Außenraum - Innen - außen

Abb..90 : (ubm development, 2012) Eine Interpretation des Möbius Bandes - fließende Übergänge zwischen Innen und Außen.

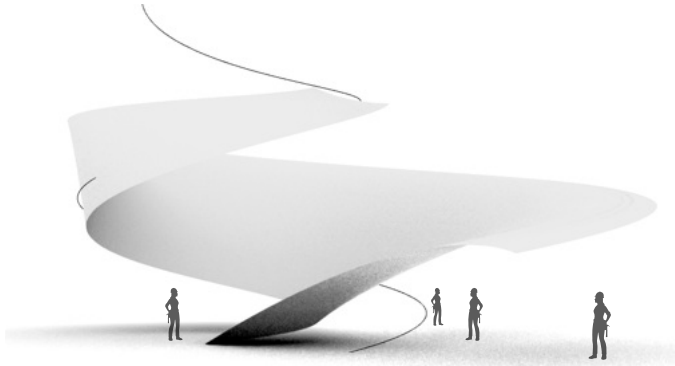


Abb..91:(MM,2021)
Schemadiagramm - Helix-Schale

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Grundzüge der Halle

Die **funktionale** „Ausdehnung" des Raumbegriffes hat abgesehen von den Nutzungsdimensionen, die direkte Konfrontation mit der **Typologie** und die damit verbundenen Merkmale und Besonderheiten, der Raumgliederung zur Folge. (**Abb.92**)

Die Grundzüge des **Hallentyps** sind eng mit der Entwicklung der Industriegeschichte und mit den Anforderungen der Gewerbe- und Produktionswirtschaft verbunden. Aus diesen Rahmenbedingungen resultiert das nahe Verhältnis, zu einer rationalisierten Systematik von Produktionsabläufen und Prozessen, welche sich in der Organisation der räumlichen Sequenzen niederschlägt. Diese machen sich nicht nur in der „planerischen" Strukturierung bemerkbar, sondern sorgen damit auch für eine spürbare Formierung der räumlichen Funktionen und Bewegungen.

Mit der dominierenden Anwendung des Skelettbaus, dem der Funktionstyp des Hallenbaus, sich über die Jahre der Entwicklung fast verschrieben hat, wurde ein weiteres Merkmal bezeichnend: In der strukturell weitgehenden **Eigenständigkeit** der **raumbildenden Elemente**, gegenüber der **Tragstruktur**, mündet eine ergiebige Flexibilität der Nutzungsmöglichkeiten und Abfolgen, was auch eine Adaptierbarkeit der Nutzungen zur Folge hat. (**Abb.93**)

In der reduziertesten Form, erzeugt die **Sichtbarkeit der Struktur** eine eigenständige Formensprache, die sich im souveränen Ausdruck einer Hierarchie von abgeleiteten Kräften, gegenüber offenen Räumen spürbar macht.

Die Schwerpunkte des Entwurfes liegen daher in den Kernaspekten:

- **Räumliche Autarkie** - von der Tragstruktur
- **Sichtbarkeit der Struktur** : tragend-nichttragend-Raum
- **Offene und flexible Raumorganisation** - „weiche" Funktionszuweisung

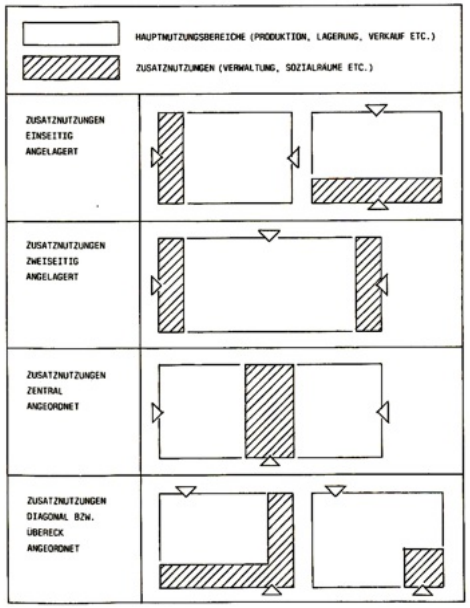


Abb..92: (Lorenz, Peter 1991, S.21) Grundzüge der räumlichen Organisation von Hallen

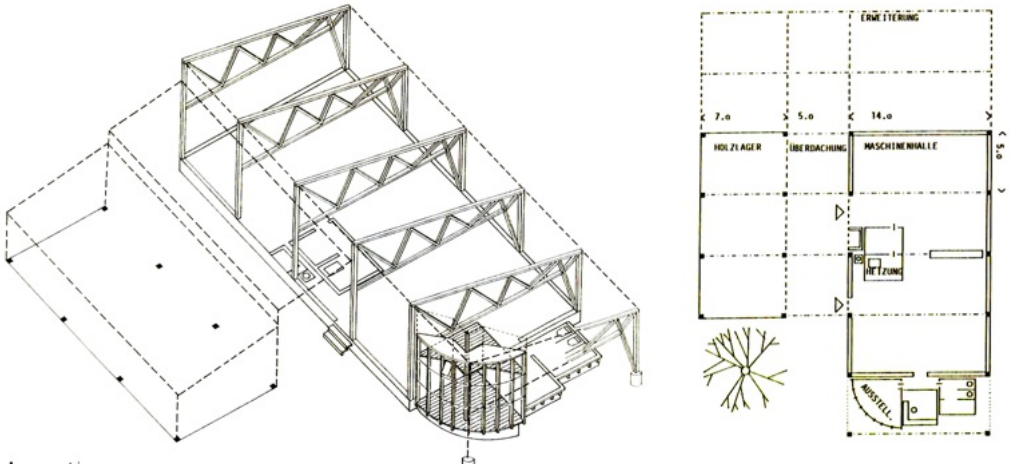


Abb..93: Hallenstruktur am Beispiel einer Lagerhalle aus Fachwerkbinder(Lorenz, Peter 1991, S.174)

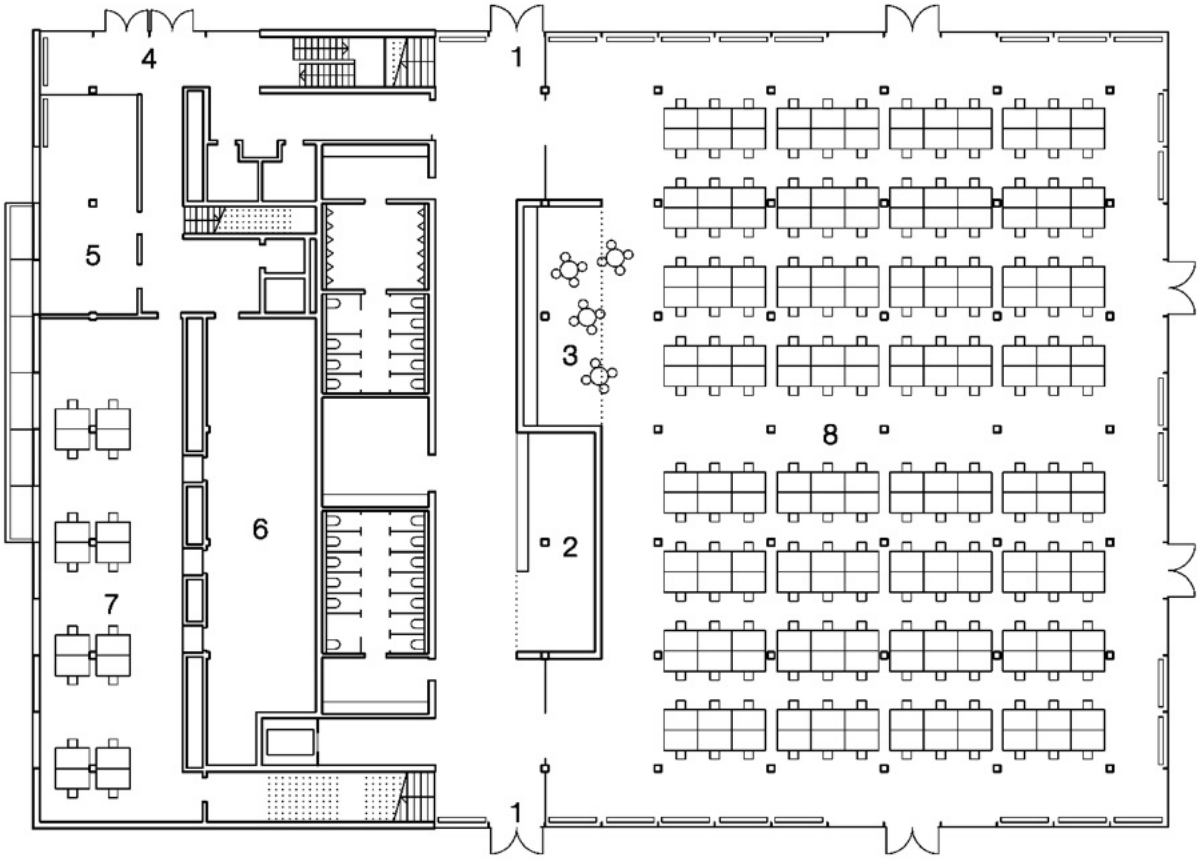
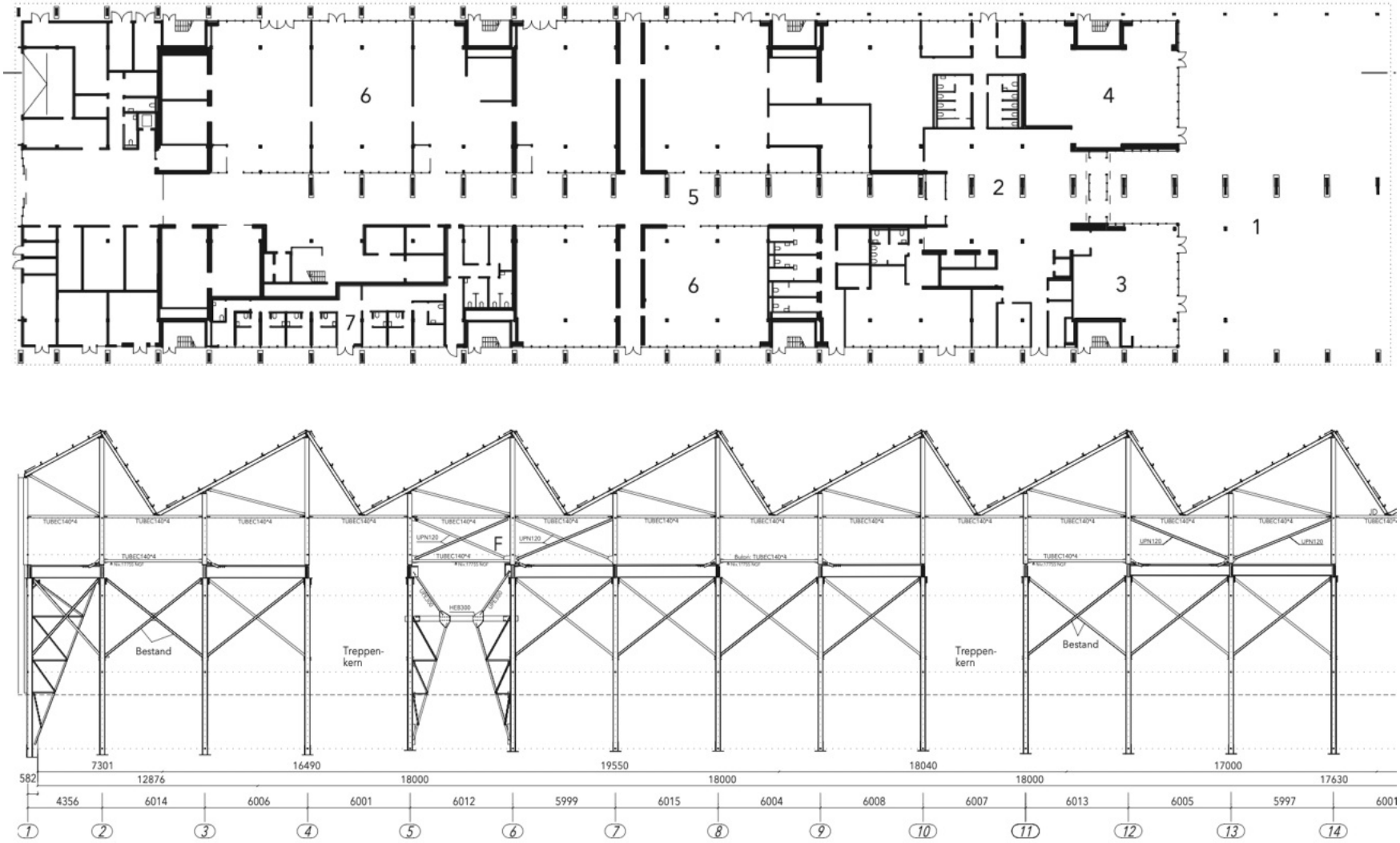


Abb..94: (Blue Box, DETAIL, 1966, 2011) : Blue Box in Bochum, - Offene Raumstruktur aufgrund der weitgespannten Fachwerkträger

Die approbierte gedruckte Original version dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb..95: (Kunstakademie Nantes, DETAIL, 2013) : Kunstakademie in Nantes:
Tragende Struktur und Ausbauwände/ Raumorganisation im Grundriss



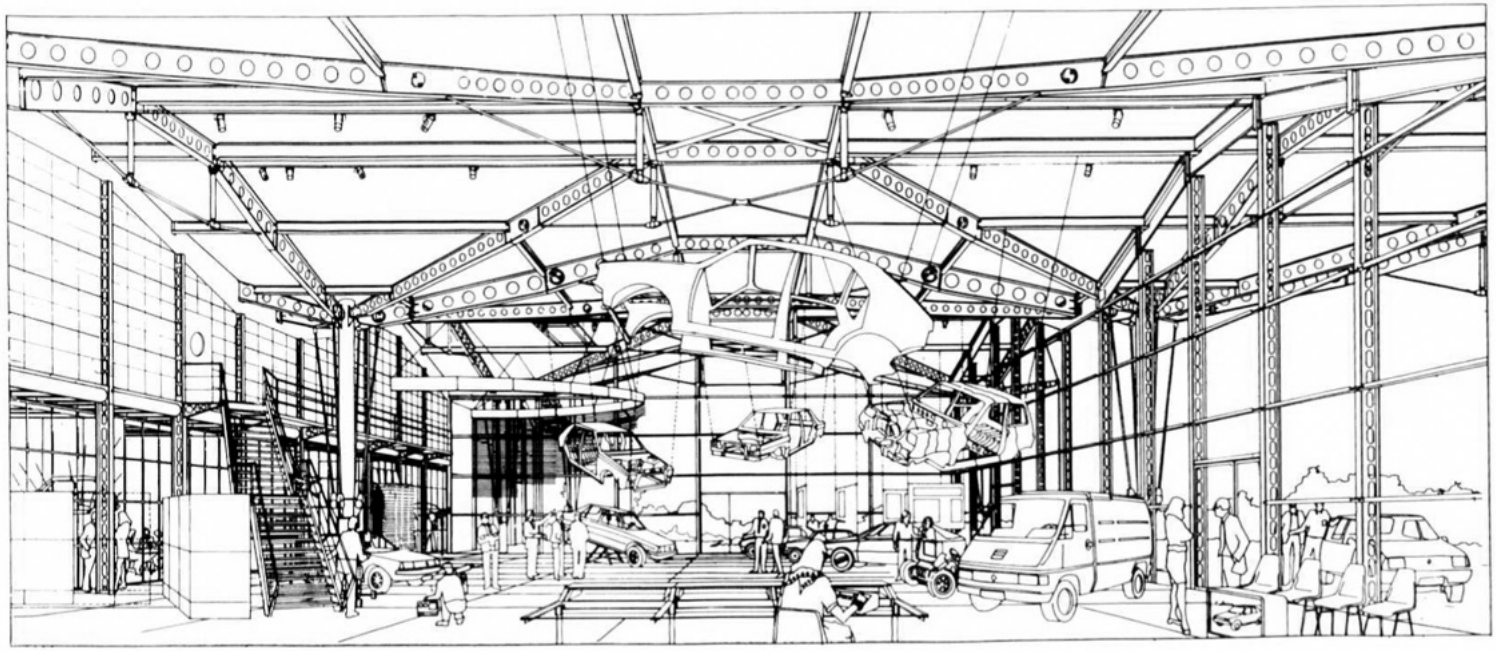
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb..96: (Luc Boegly, DETAIL, 2018) : Umfunktionierung einer Industriehalle zu einer Kunstakademie in Nantes: Tragende Struktur und Raum , vertikal

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

6.1. Raumprogramm

Abb..97: (Lorenz, Peter; 1991, S.133): Impression:
„Multifunktionshalle“



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Mit dem Ergebnis einer analytischen Auseinandersetzung, einerseits mit der spezifischen Situierung einer **Multifunktionshalle** im Ort, sowie in der Interaktion mit dem Standort, dem Stadtteil und der Stadt, welche sich in nutzungsbezogenen Wechselwirkungen artikulieren, lassen sich die Schwerpunkte des Entwurfes auf drei Kernfragen fundieren: (Siehe **Abb.97**)

- **Was soll die Halle für die Seestadt tun ?**
- **Was soll die Halle für Wien tun ?**
- **Was soll die Halle für den Hallentyp tun ?**

Die Errichtung einer Halle berührt auf der Ebene der **Nutzungskategorien** einerseits das Segment der Produktionsgesellschaft, andererseits auch das breite Feld der Konsumtions - Gesesellschaft (Vgl. Lorenz, S.15) das naturgemäß von sozialökonomisch, **angeleiteten Beziehungen** bestimmt wird. (**Abb.100**) Dieses breite Feld, lässt in seinem weiteren Horizont, darüber hinaus auch etliche Abstufungsformen, zwischen den schier produzierenden Nutzern und den schier konsumierenden Teilnehmern einer „Volkswirtschaft", sei diese auch auf eine Region beschränkt, zu. In „hybriden" Formen des wirtschaftsteilhabenden Menschen, welcher die Eigenschaften des „Homo oeconomicus" mit den moderneren Formen des branchenübergreifenden Austausches verbindet, entstehen neue Wege und Chancen, in denen Synergien zwischen den Nutzergruppen geschaffen werden. Die Halle als Folge eines Industrie-geprägten Entwicklungsprozesses, soll Raum für die gegenwärtigen Entwicklungen einer Schnittmenge von Konsumenten, Produzenten und wirtschafts -treibenden Kräften einer Gesellschaft aufbieten, aber auch das damit verbundene Ökosystem, das der Mensch in seiner Urform besiedelt, berücksichtigen und auch fördern können. (Siehe **Abb.98**)

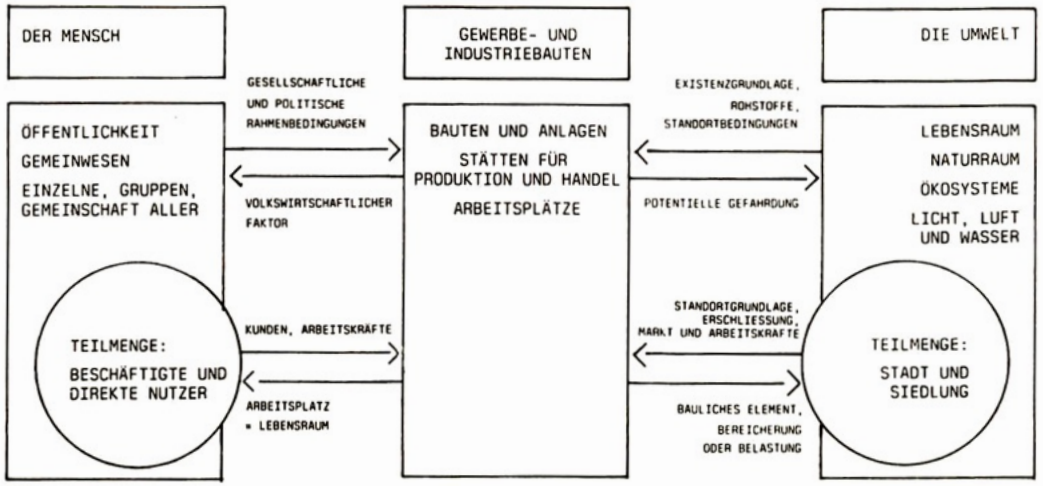


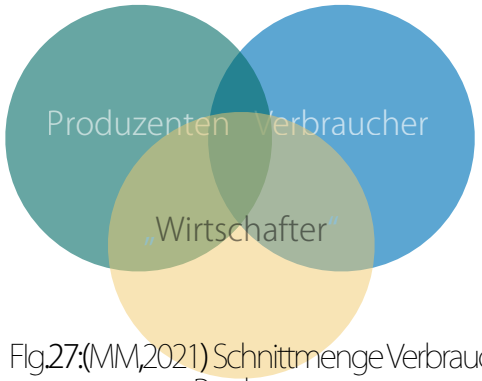
Abb..98: (Lorenz, Peter; 1991, S.7) : Beziehung: Mensch-Umwelt-Gewerbe

Abb..99: (MM2021): Brainstorming: Aktivitäten

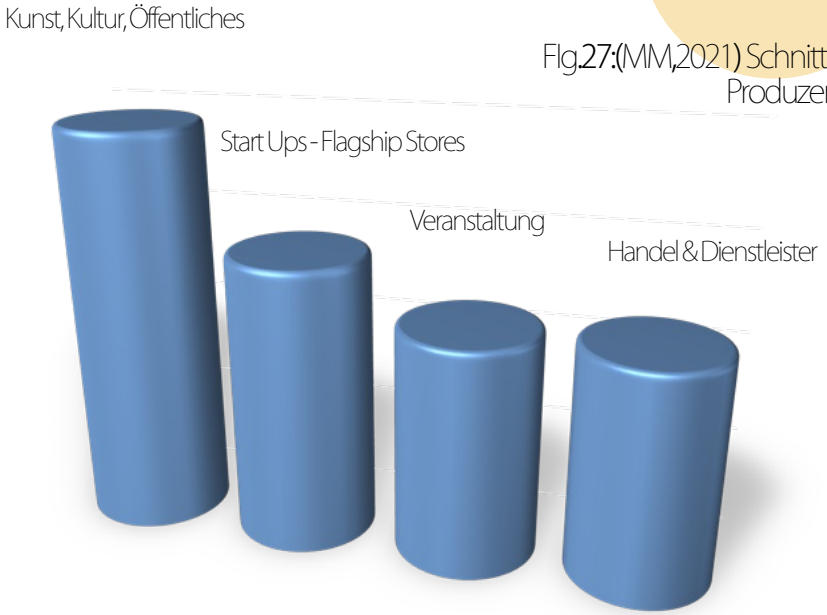
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die Schwerpunkte der Nutzerkategorien können auf folgende Gruppen angesetzt werden: (Fig.27)

- Bewohner, und Anrainer des Stadtteiles als Konsumenten
- Kunst, Kultur, Öffentliches
- Veranstalter und Event-Caterer
- Handel und Dienstleistung
- Startups und Flagship-Stores
- Sport
- Produktion und Manufaktur
- Nahversorger
- Gastronomie
- Verwaltung, Facility Management



Flg.27:(MM,2021) Schnittmenge Verbraucher, Produzenten,



Flg.26 : (MM,2021): Schwerpunkte der Nutzergruppen, Wirtschafter

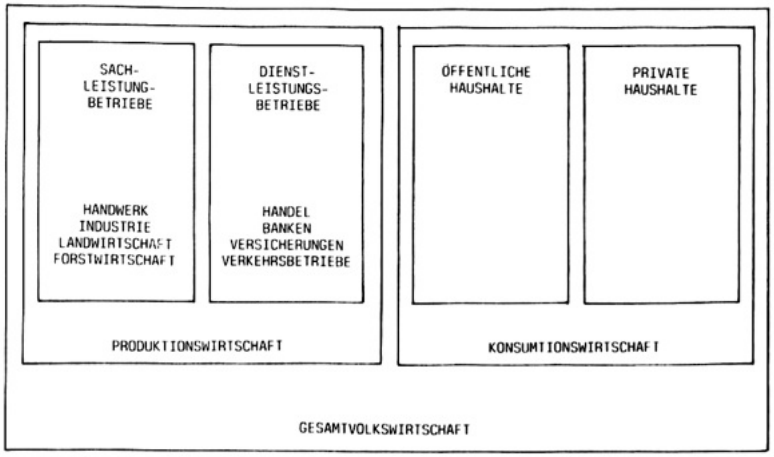


Abb.100 : (Lorenz,Peter, 20):Teile eine Volkswirtschaft

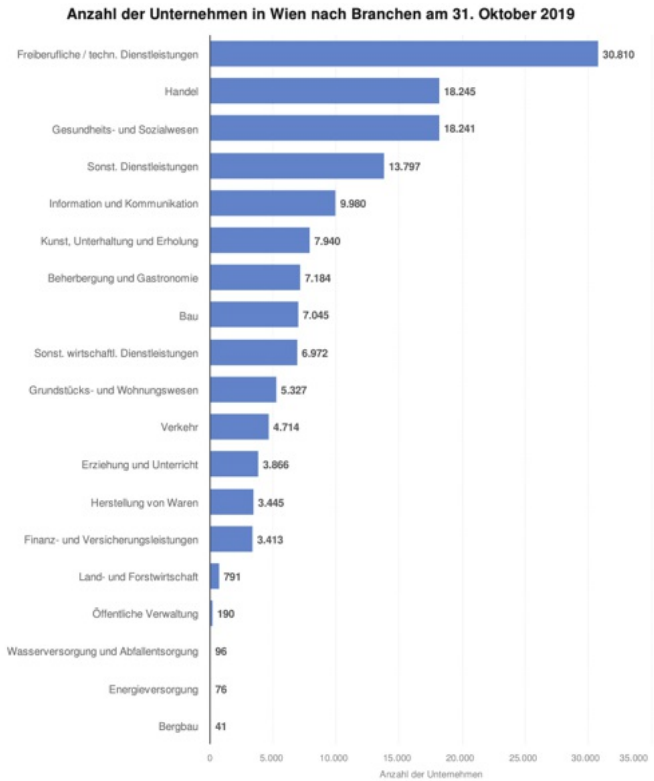
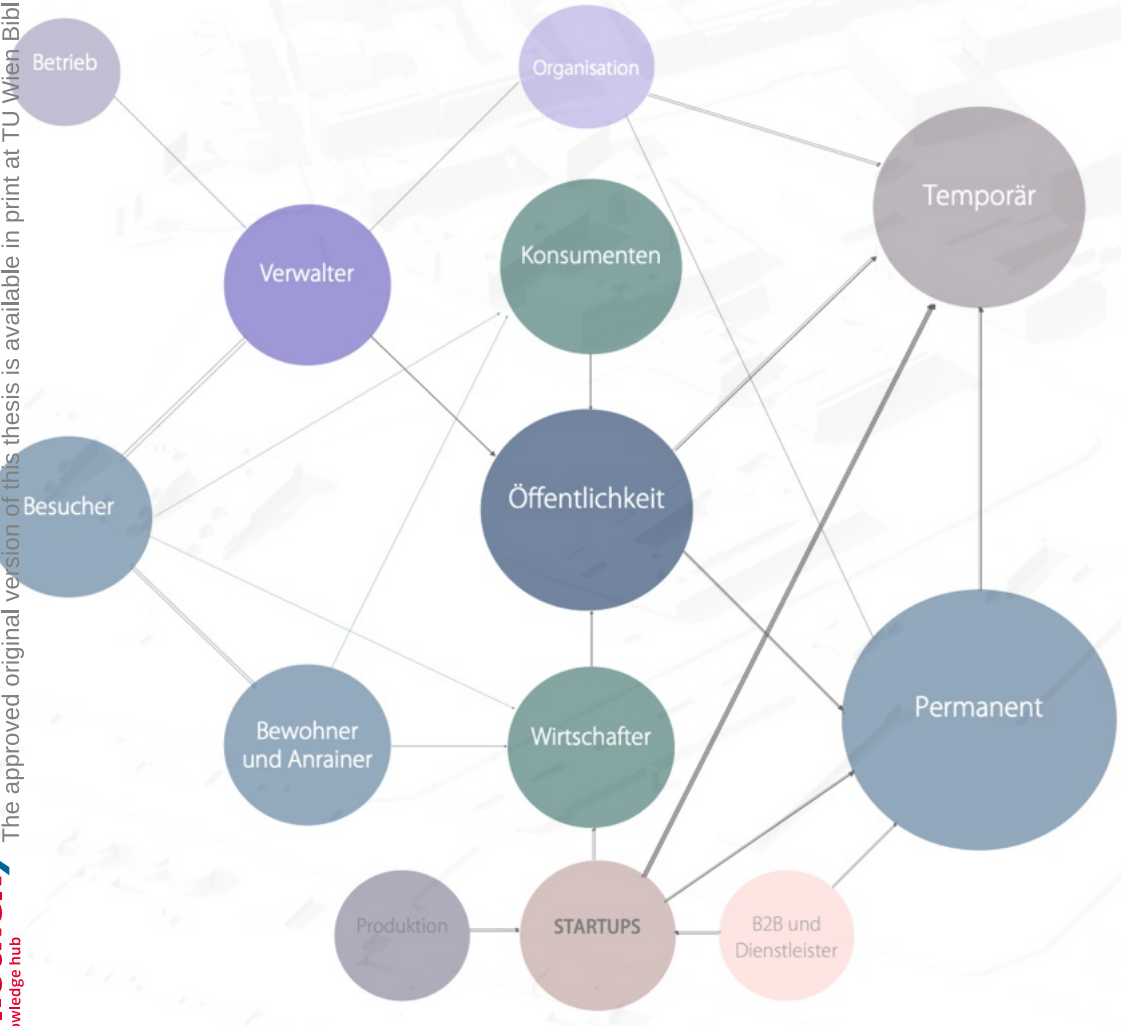


Abb.101 : (Statista, 2019): Anzahl der Unternehmen in Wien nach Branchen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

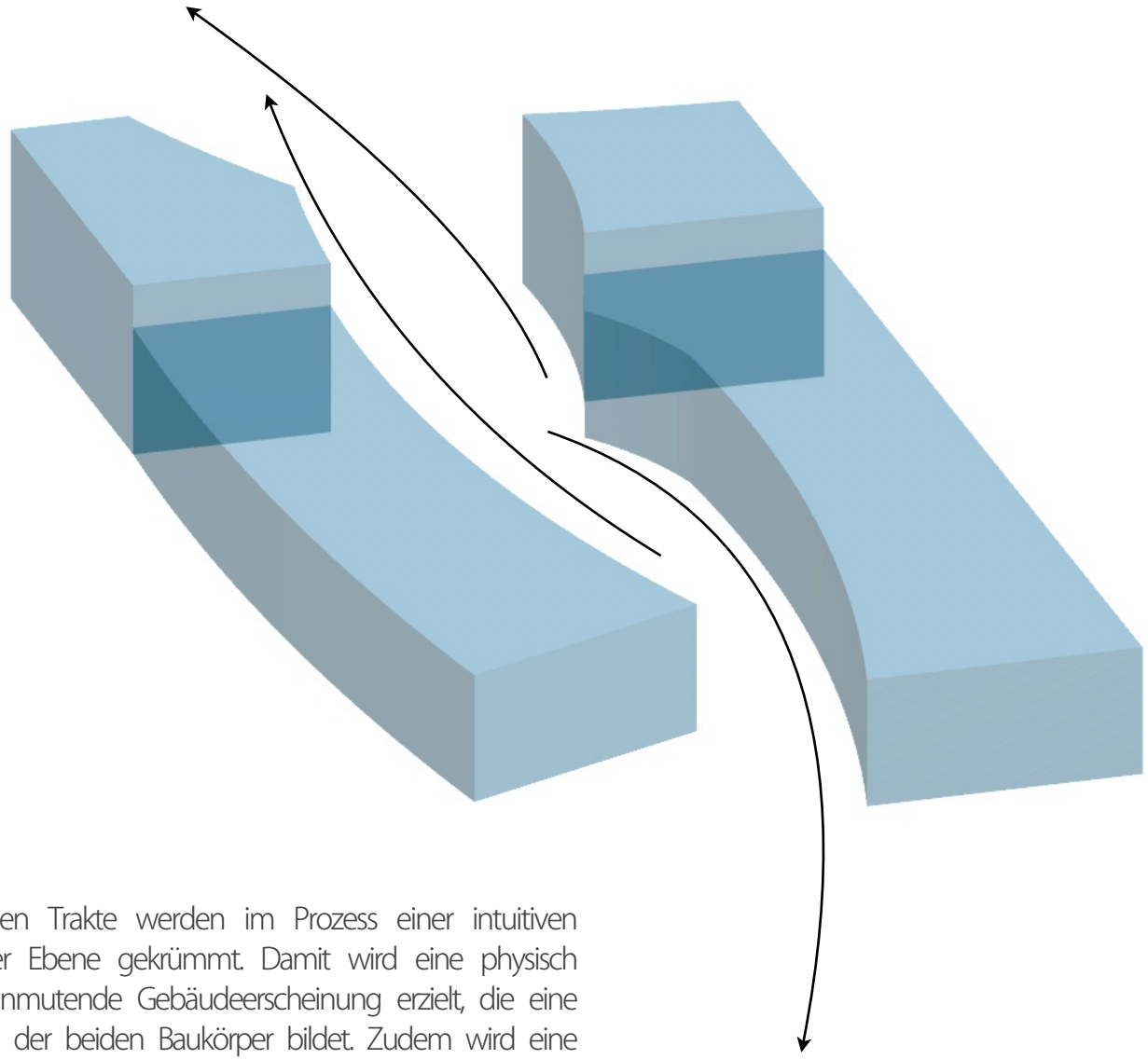


- Temporär nutzbare Räume
  Sollen Bewohnern und Anrainern die Möglichkeit, diese für diverse Veranstaltungen und Nutzungen, kommerziellen und nicht-kommerziellen Charakters zu verwenden. (Fig.28)

  ◉ Startups : Insbesondere jungen UnternehmerInnen soll dadurch die Möglichkeit geboten werden, die im Interesse aktueller Markt -anforderungen und Entwicklungen, mit innovativen Geschäftsideen und -Modellen beantworteter Werke und Tätigkeiten, von Seiten der Vermarktung zu Wege zu bringen.

  Die in Flagship Stores der Hallenräumlichkeiten, eingesetzten Produkte und Dienstleistungen, sollen eine sozialökonomisch antreibenden Akzente setzen.

Fig.28: (MM,2021): Raum- und Nutzerbeziehungen



Die Innenkanten der beiden Trakte werden im Prozess einer intuitiven Formfindung, in horizontaler Ebene gekrümmt. Damit wird eine physisch organische bzw. natürlich anmutende Gebäudeerscheinung erzielt, die eine ineinandergreifende Fügung der beiden Baukörper bildet. Zudem wird eine fließende, dynamische Zugangssituation, zwischen den Trakten, als Bestandteil der lokalen Durchwegungen erreicht und eine gestalterisch-assoziative Anspielung an den nahegelegenen See und den umgebenden Naturraum erzeugt. (Fig.29)

Fig.29: (MM,2021): Bearbeitung der Baukörper für Durchwegung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

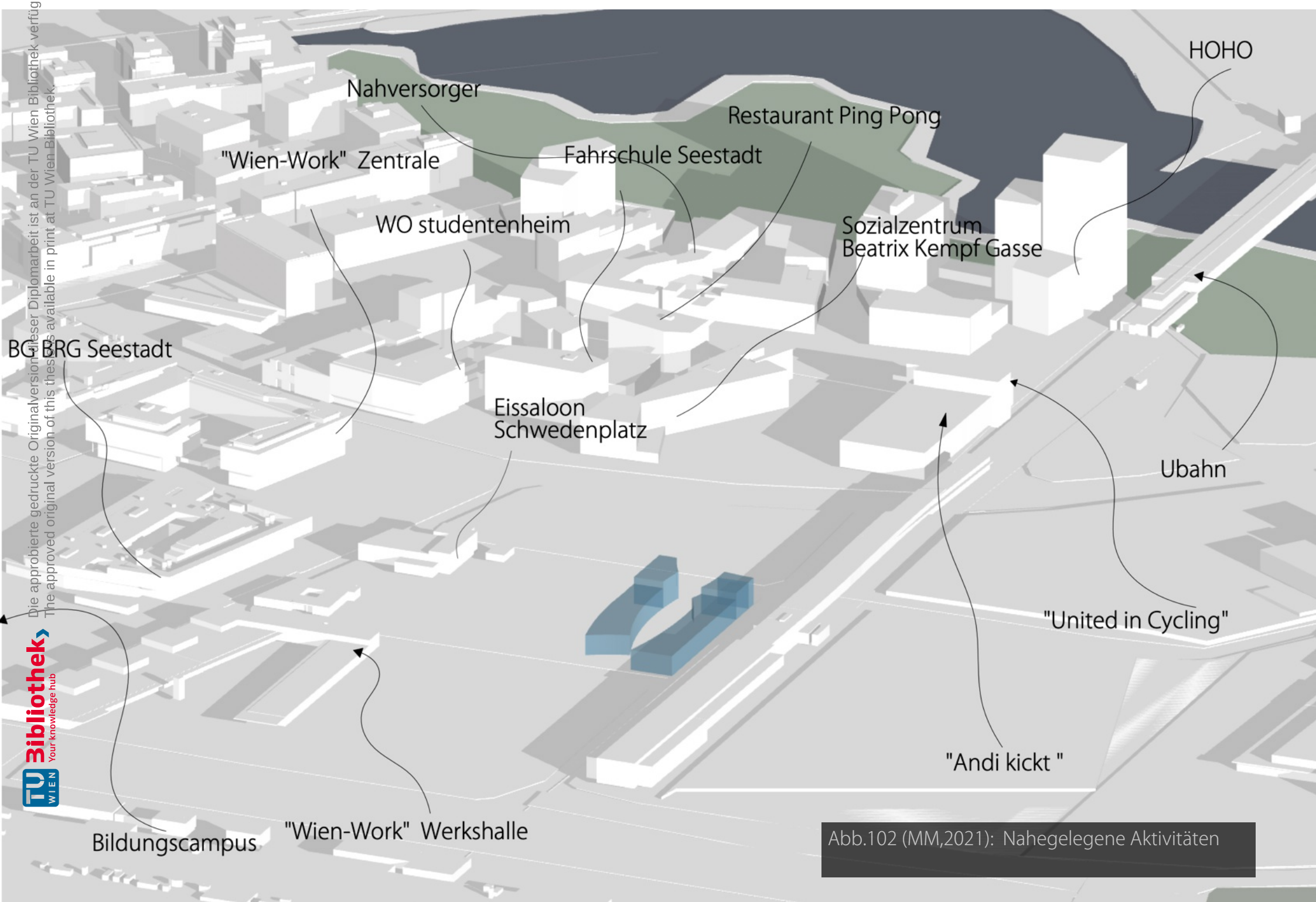


Abb.102 (MM,2021): Nahegelegene Aktivitäten

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

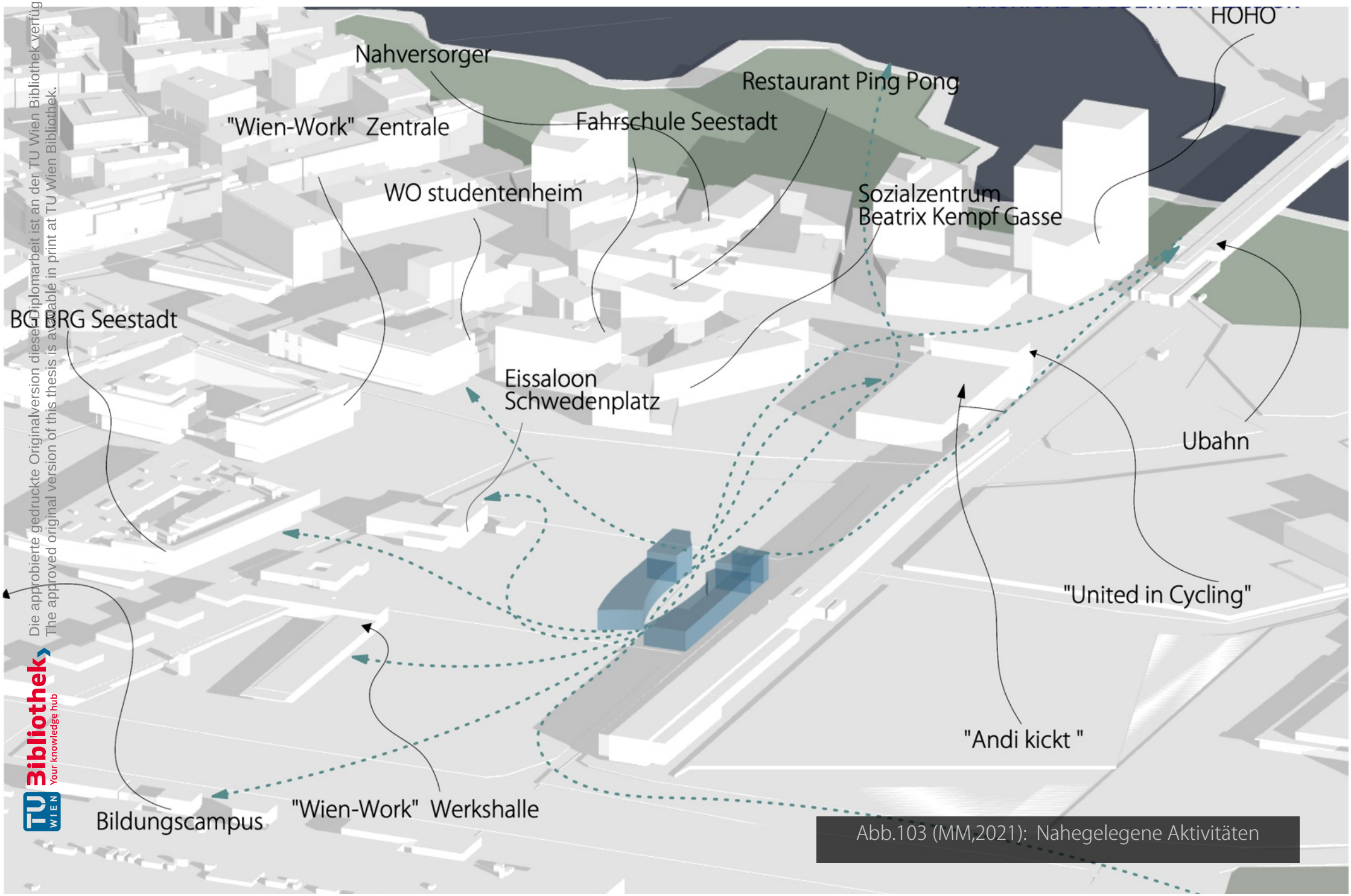


Abb.103 (MM,2021): Nahegelegene Aktivitäten

TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

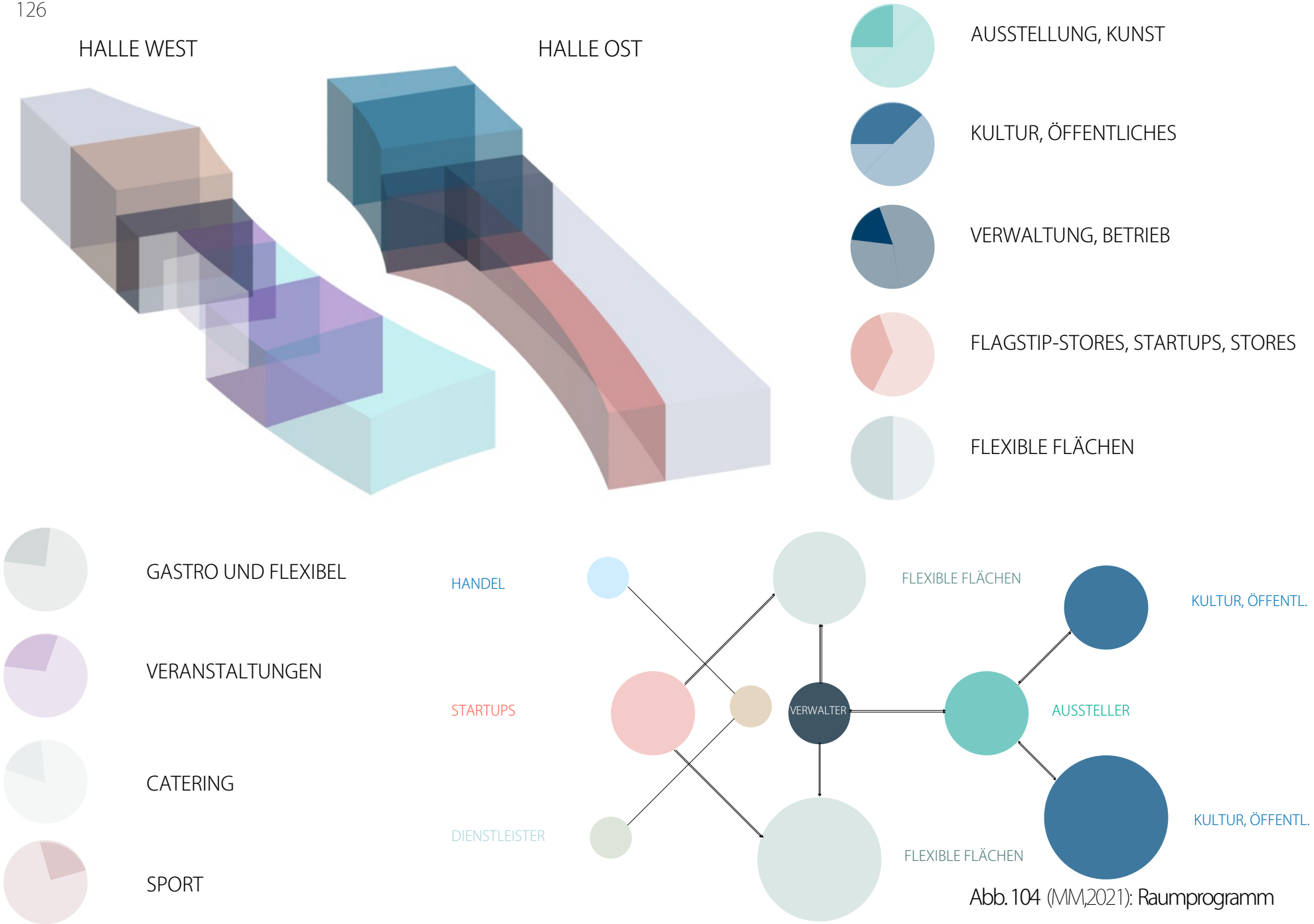


Abb. 104 (MM,2021): Raumprogramm

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

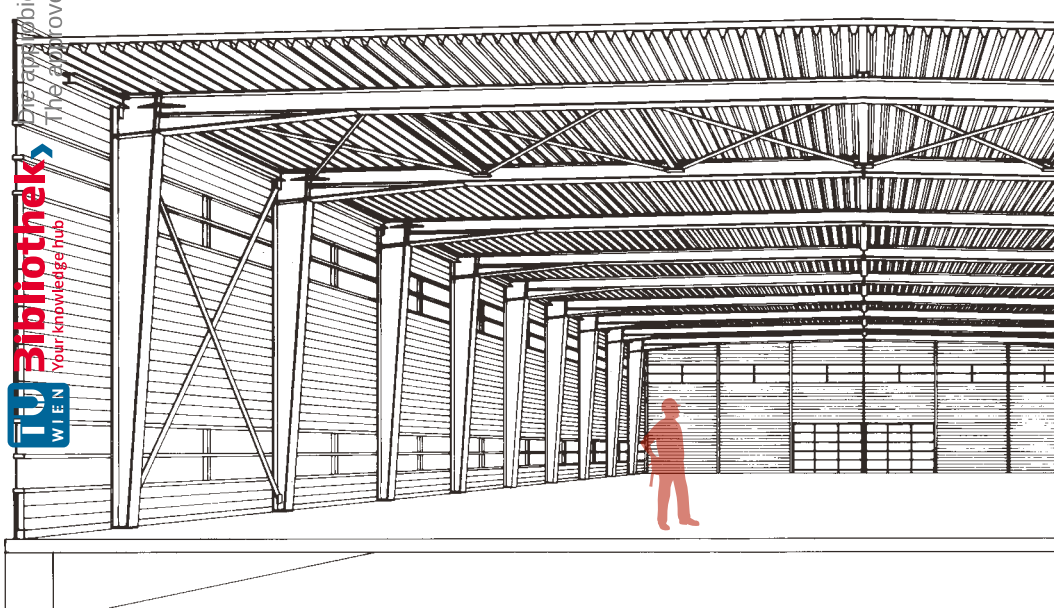
7. Entwurf

Funktionale Aspekte der Raumbildung

Aus tragstruktureller Sicht bilden die dargestellten Bauweisen, sei die Materialwahl zu den untersuchen Aspekten zunächst unbeachtet, durchaus leistungsfähige Systeme ab., die im Hallenbau unter dem Gesichtspunkt der Trageffizienz, sowie des rationalisierten und zeiteffizienten Konstruierens, häufig zur Anwendung kommen.

Räumlich bietet das Rahmensystem eine formal plausible, einem Rechteck eingeschriebene Gebäudekante, die eine großzügige Raumhöhe zu den Innenecken des Gebäudes zufolge hat. Auch aus konstruktiver Sicht, geht einer bündigen, der Logik eines orthogonalen Rasters folgende Primärstruktur, eine durchgängige, flächigen Außenhaut nach, welche auch zu einer regelmäßigen Teilungsstruktur des eingesetzten Fassadensystems führt. **(Abb.104/105)**

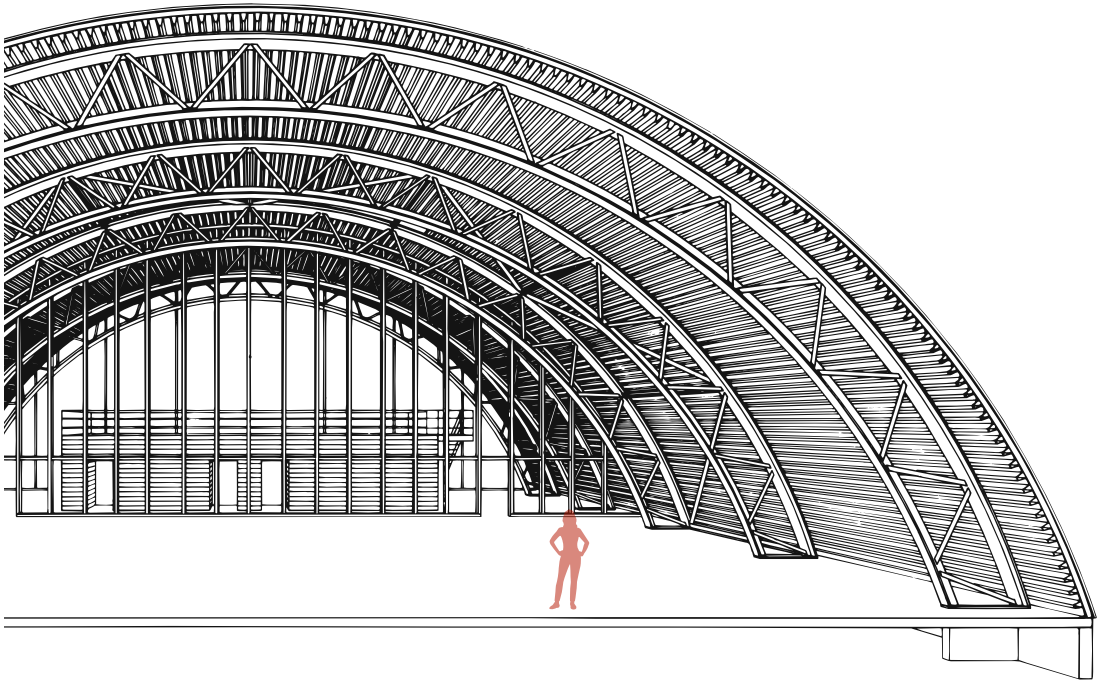
Abb.105. (Stahlbauforum,2019): Rahmentragwerk



Gestalterisch evoziert dagegen das Bogensystem, eine spannungsvolle Raumwirkung, die in seiner kuppelartigen Ausdehnung für den erlebenden Menschen, eine augenscheinlich grenzenlosen und ausgeglichenen Horizont symbolisiert. Durch die zur Mitte hin erreichten Raumhöhe, ist eine Ausbildung von nach oben hin verjüngten Geschoßen möglich. Auch für die, für eine industrielle Nutzung vorteilhafte, technischen Einleitung einer Kranbahn, sind die zu erreichenden Bauhöhen eines Bogensystems gut geeignet.

Zum Zwecke einer **eingeschoßigen Halle**, welche der zwischen **12** und **17 Meter** variierenden **Spannweiten,** der geschwungenen Hallentrakte des Baukörpers hervorgehen sollen, wird ein System aus **Bogenbindern** gewählt, das über **variierte Richtungsausdehnungen**, eine **wellenartige Gestalt beschreibt.**

Abb.106. (Stahlbauforum,2019): Bogentragwerk



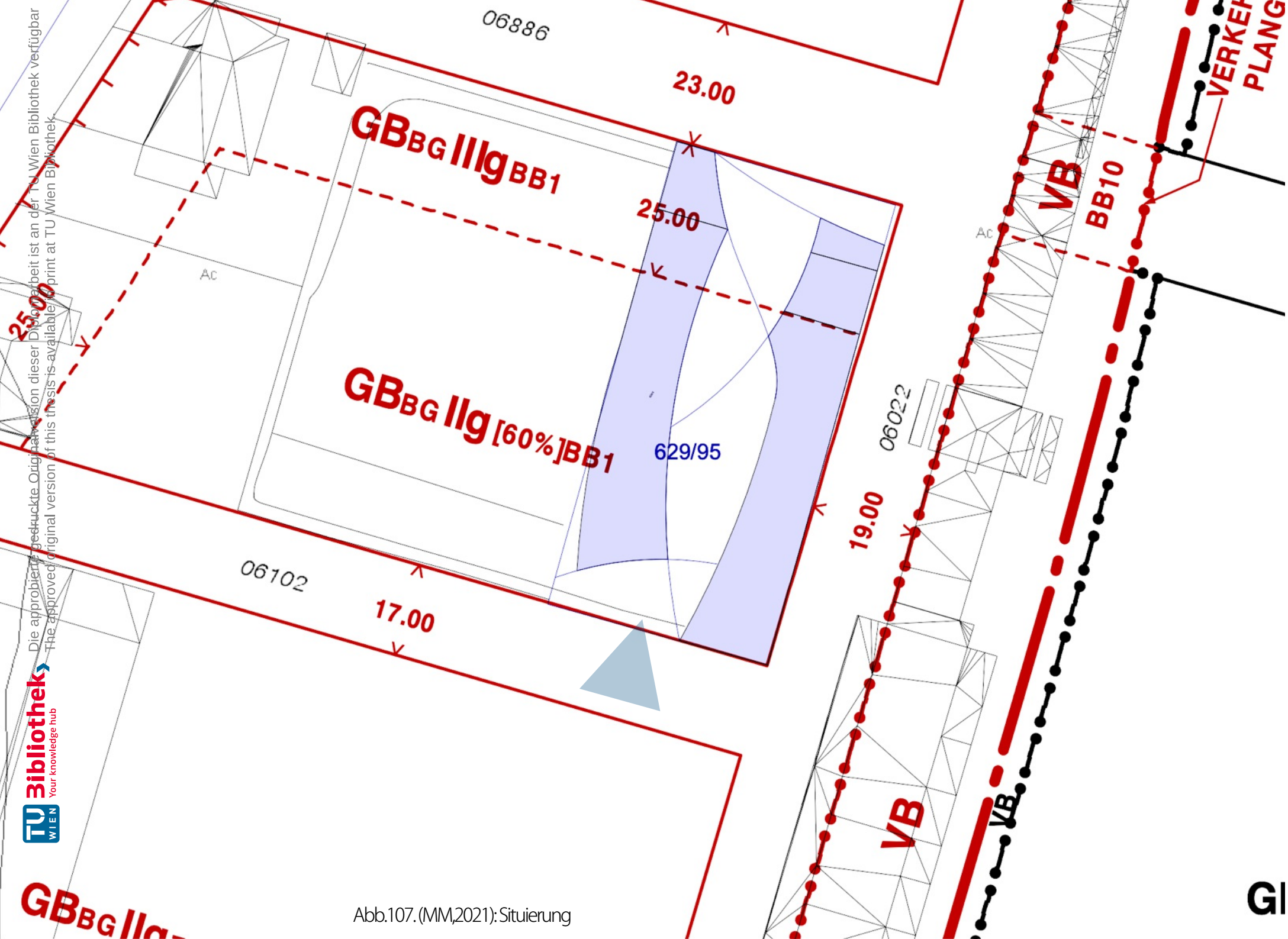


Abb.107. (MM,2021): Situierung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7.1. Formentwicklung

Ausgangspunkt der Außenform der Halle, bilden die in horizontaler Richtung die gebogenen Innenkanten des Gebäudes, sowie die streng den rechteckig verlaufenden Grundgrenzen folgenden Außenkanten. Vertikal orientieren sich die Bögen an den zulässigen Gebäudehöhen. (Abb. 108)

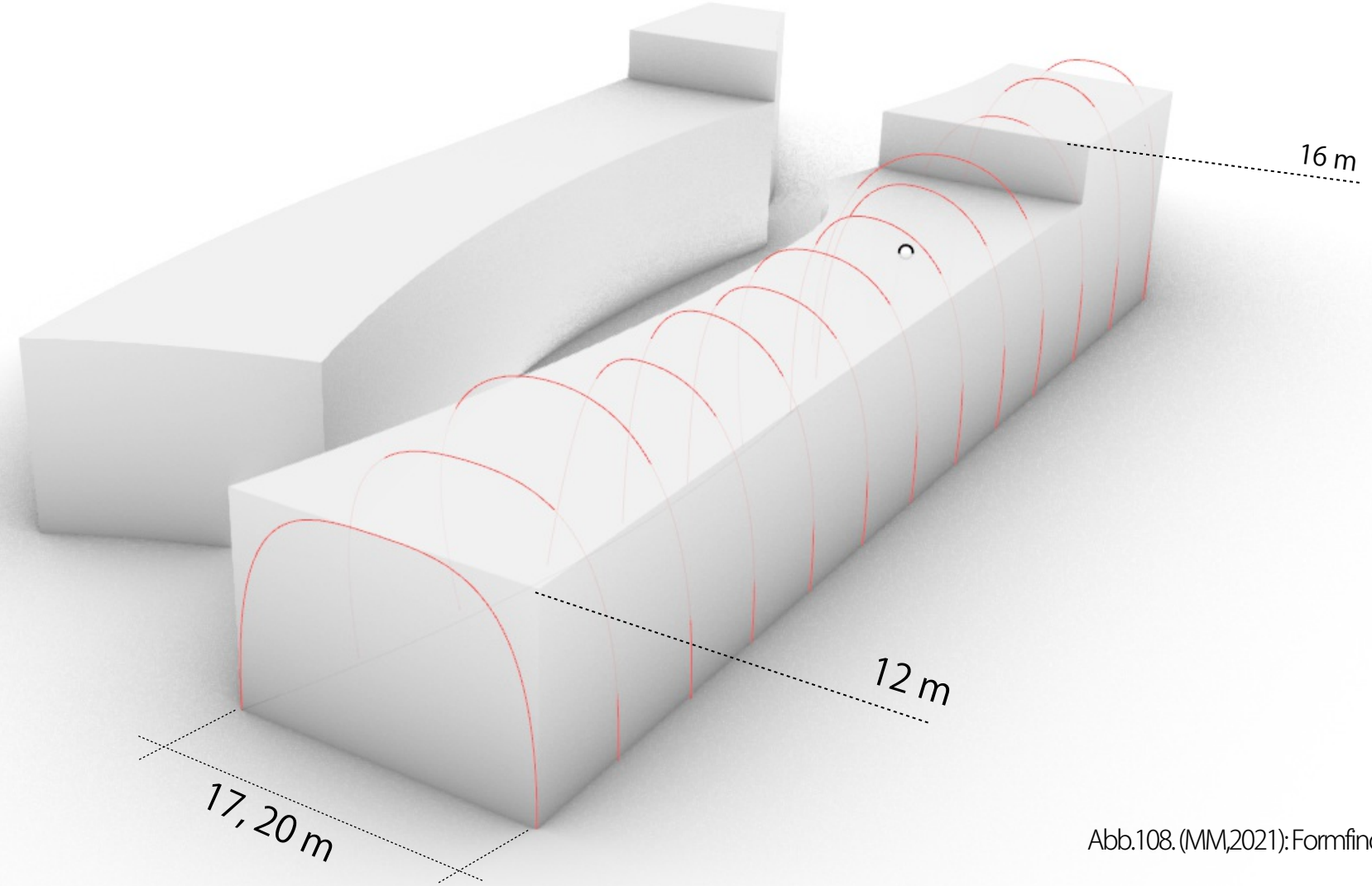


Abb.108. (MM,2021): Formfindung

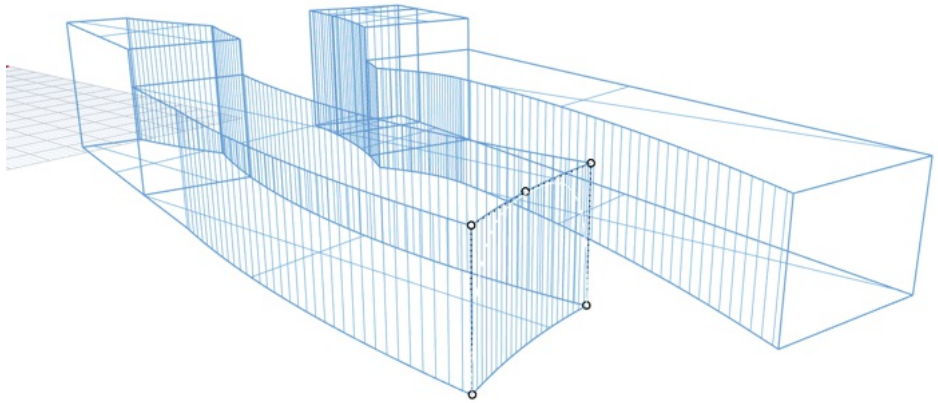
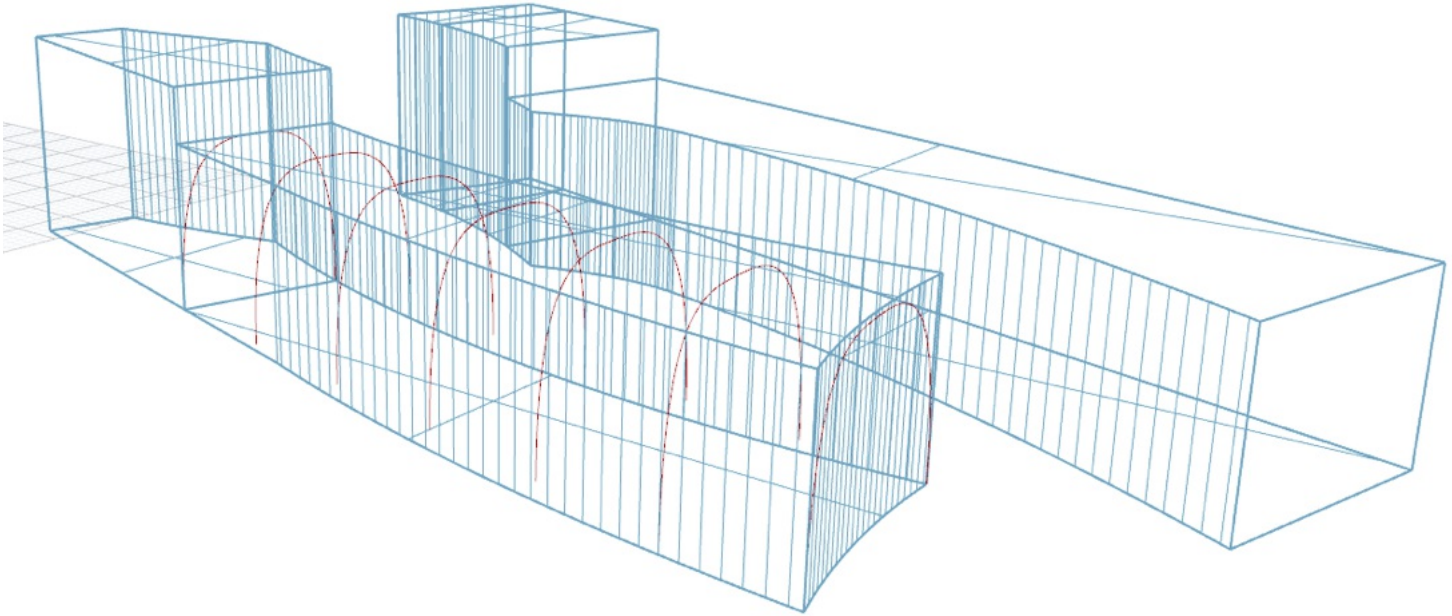


Abb.109. (MM,2021): Schritt 1 : Ausgangskubatur

Über die gesamte Länge, der beiden Bauteile, werden mittels Kontrollpunktkurven, die Grundgeometrie der Bögen definiert, welche durch einen aufgereihte Anordnung, die Modellkörper bilden. Die Höhen der Bögen orientieren sich an der Ausgangskubatur. **(Abb. 108-109)**

Abb.110. (MM,2021): Erstellung der Bögen



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

In einem weiteren Entwurfsschritt, werden die Modellkörper in Segmente unterteilt und deren Grundform bildende Bögen gegeneinander versetzt. Es bilden sich sichelförmige Öffnungen, zwischen den einzelnen Segmenten. Das Ziel ist eine, sich aus Einzelsegmenten gegliederte Struktur herauszubilden.

Gestalterisch ergibt sich durch das Versetzen der Bogenhöhen, eine ineinandergreifende, schalenförmige Erscheinung.

Die in einer tonnenartigen Anordnung aufgereihten Bögen, haben unterschiedliche Höhen und sind in der Schnittansicht, einem mehrfach gekrümmten Profil eingeschrieben, das insgesamt eine wellenförmige Dachlandschaft erzeugt. Die abstrahierte Darstellung zeigt mit den gebogenen Linien Grundzüge der Konstruktion, sowie eine Annäherung an die umhüllende Haut. (Abb.111)

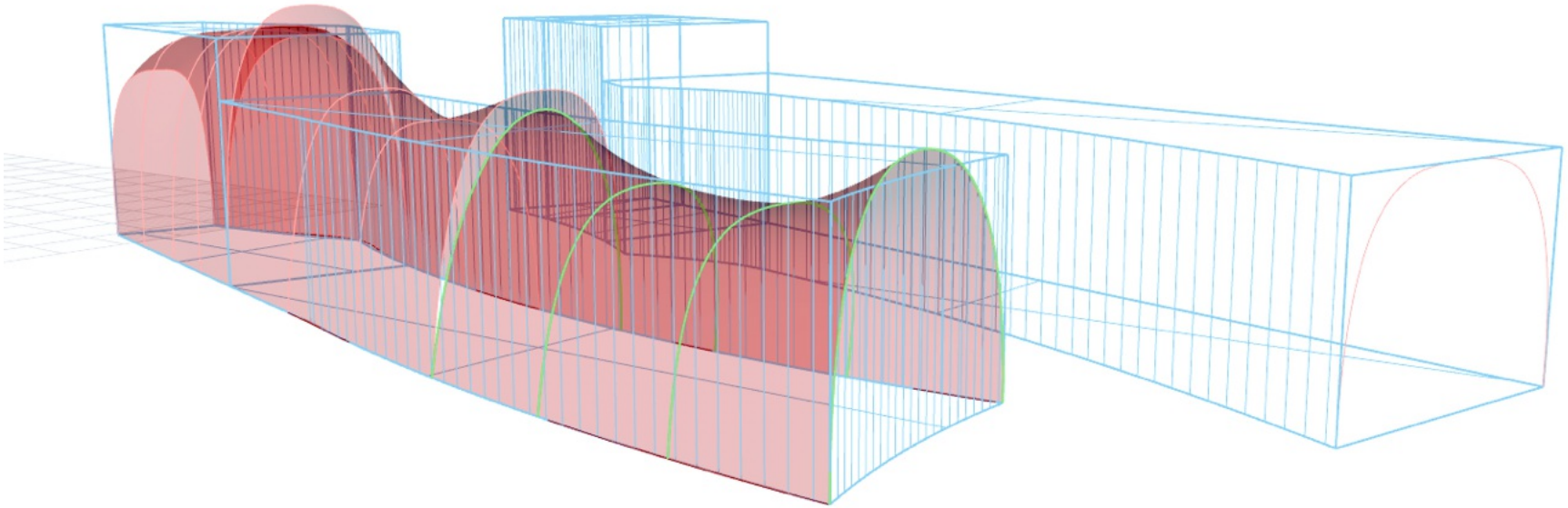


Abb.111: (MM,2021): Verlauf der Außenform

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Entwicklungsschritte

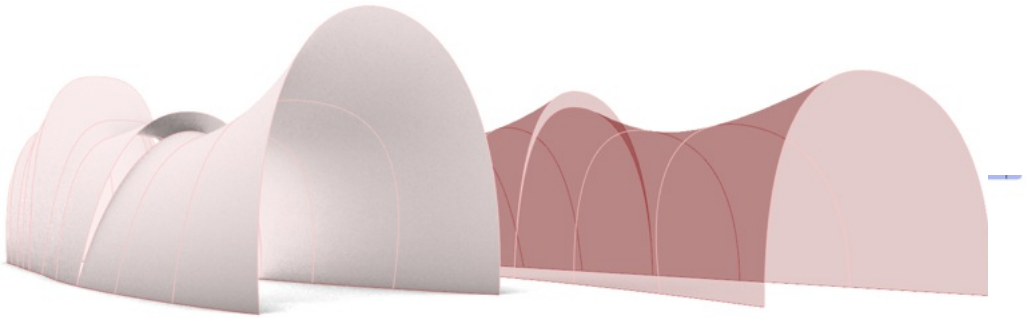


Abb.112: Südwest

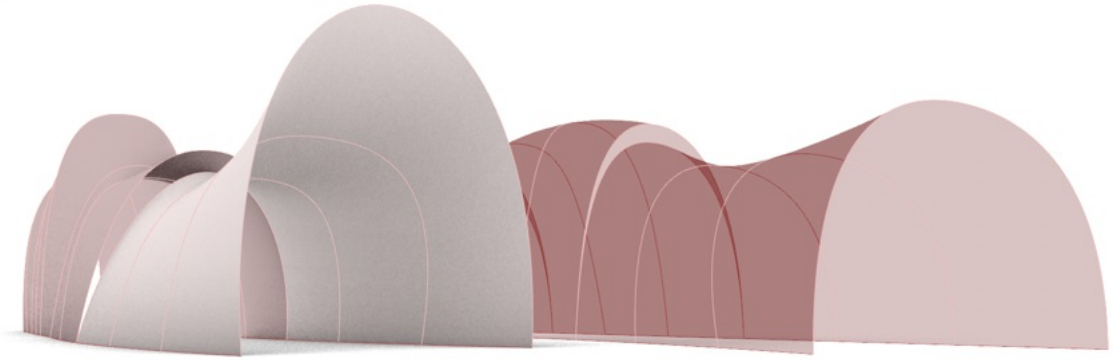


Abb.113: Süd

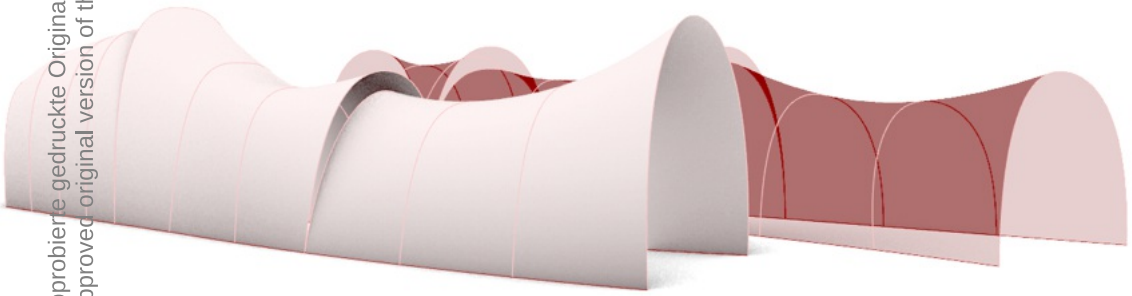


Abb.114: West schräg

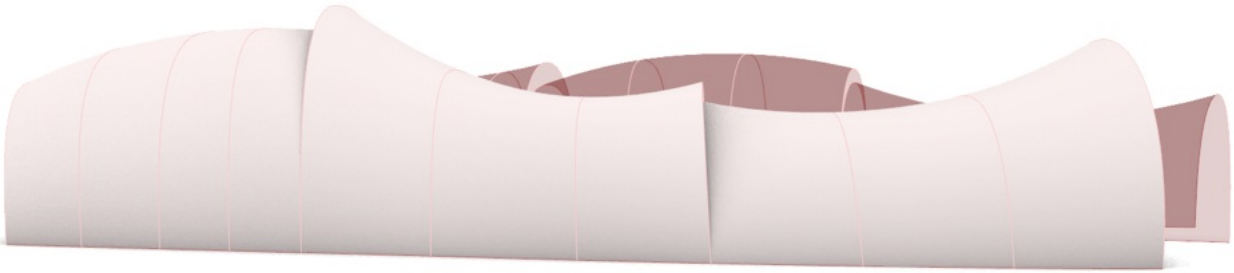


Abb.115 West

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Entwicklungsschritte

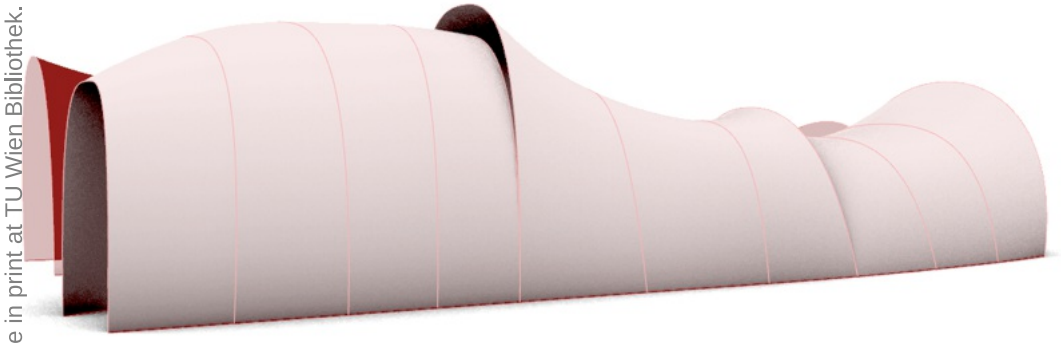


Abb.116 West - Nordwest

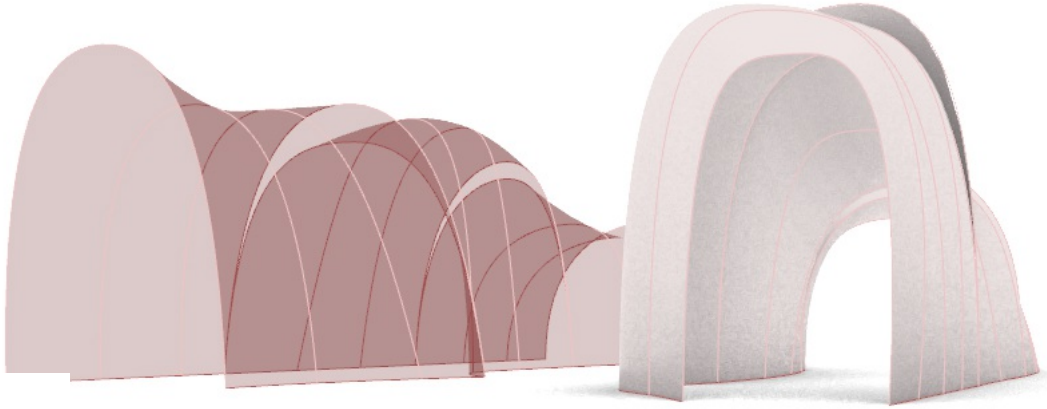


Abb.117 Nord

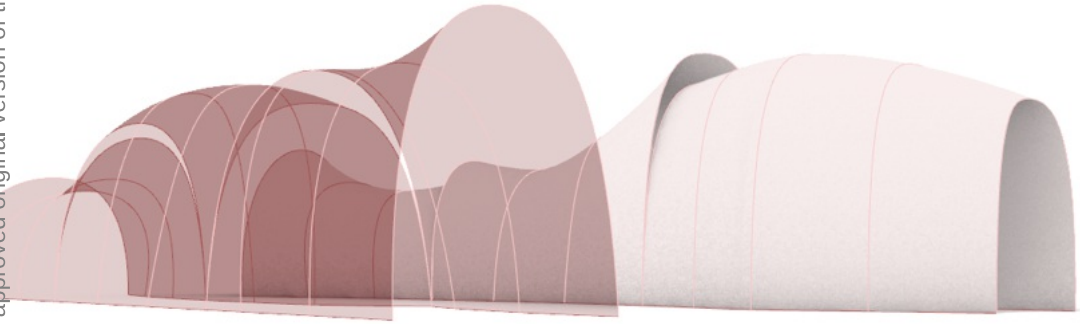


Abb.118 Nordost

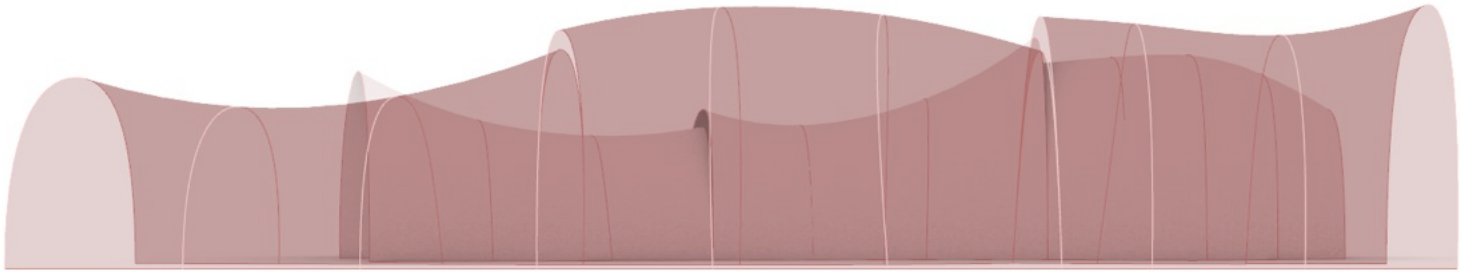
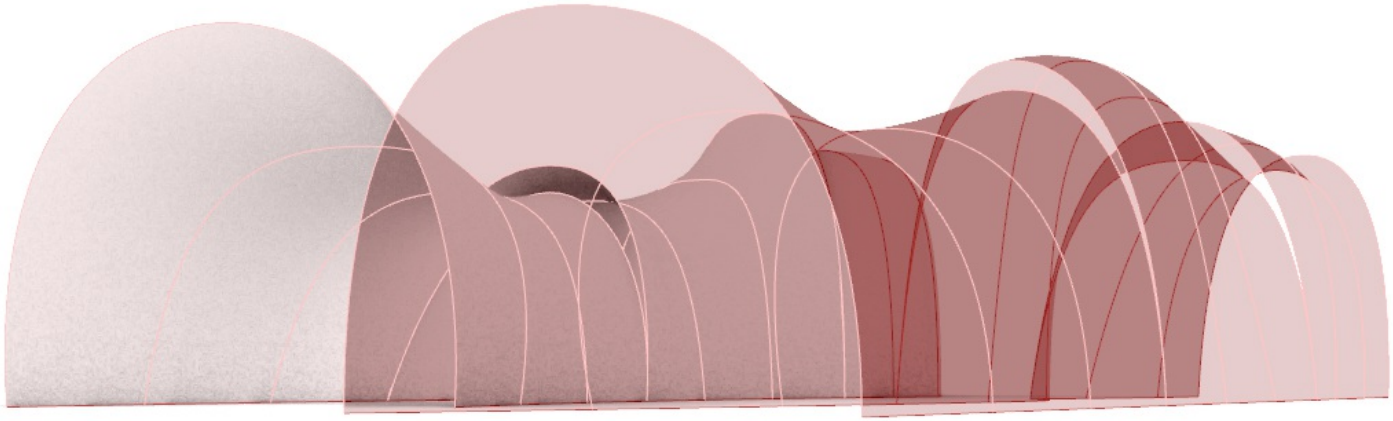


Abb.119 : Ost

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb.120: Südost



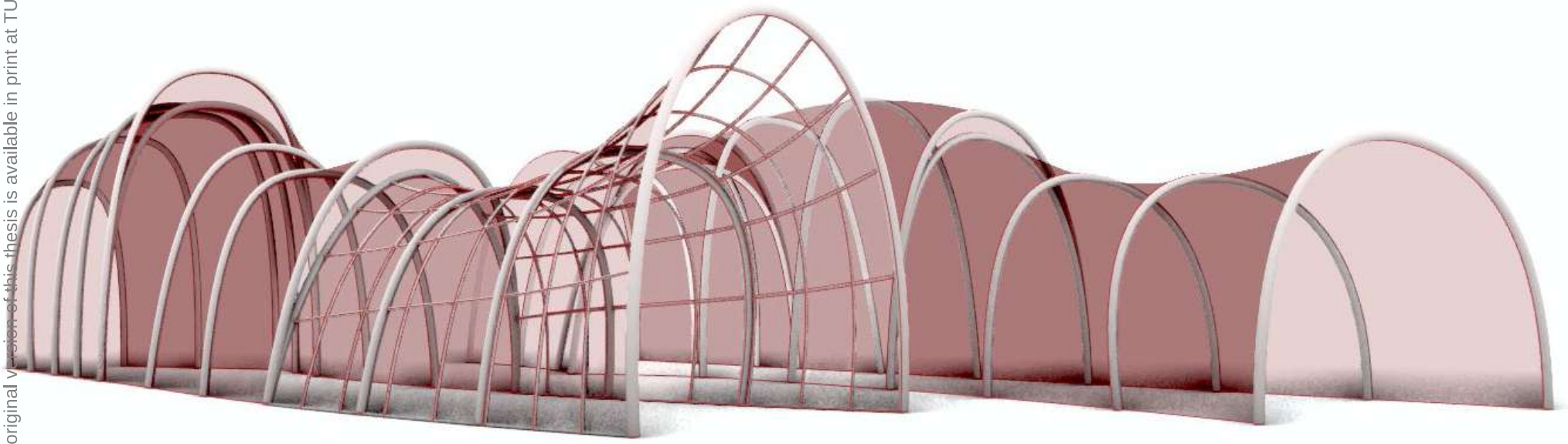


Abb.121: Grundform der Baukörper, mit
Ansätzen der Primärstruktur, im ersten Segment der Halle „West“.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

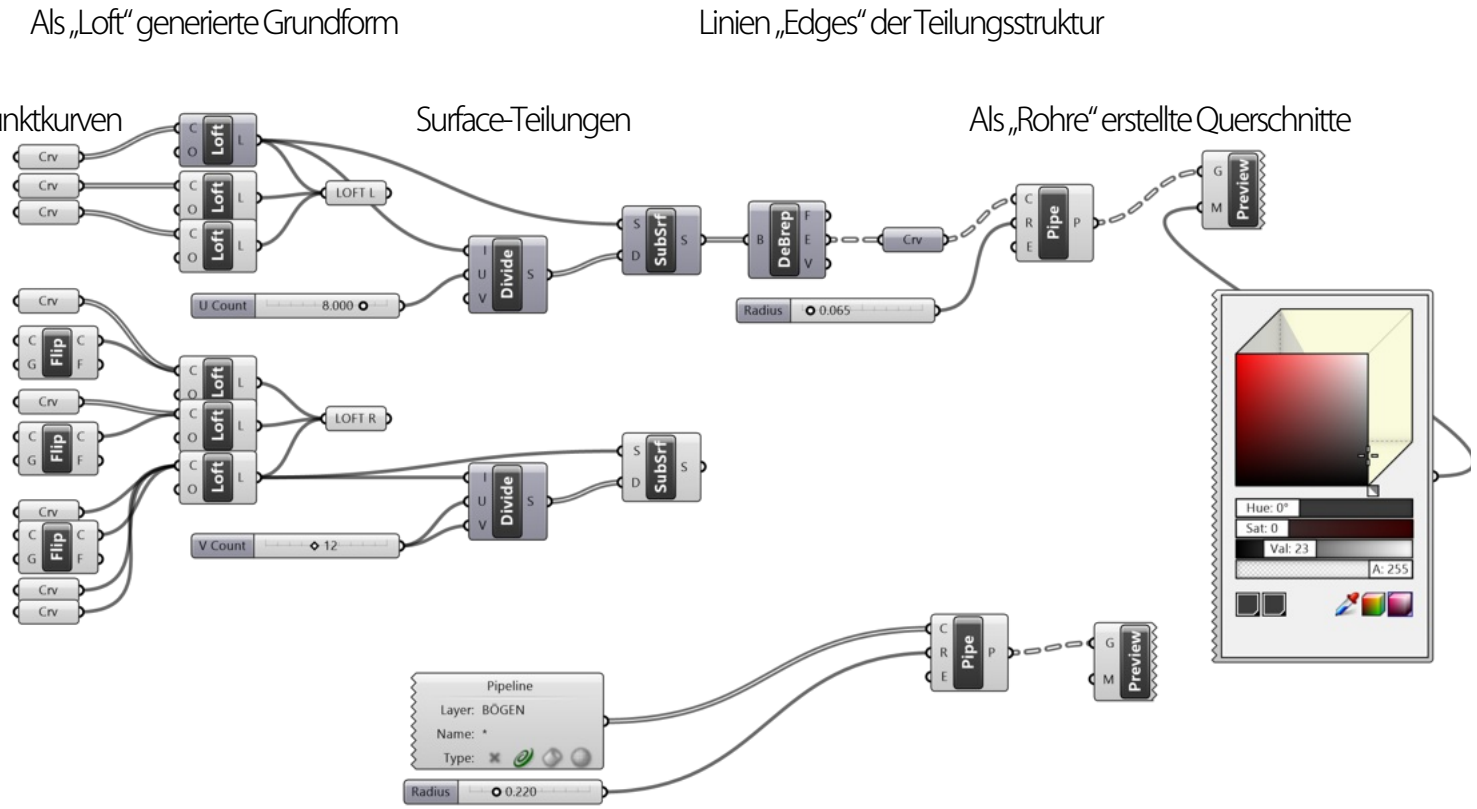
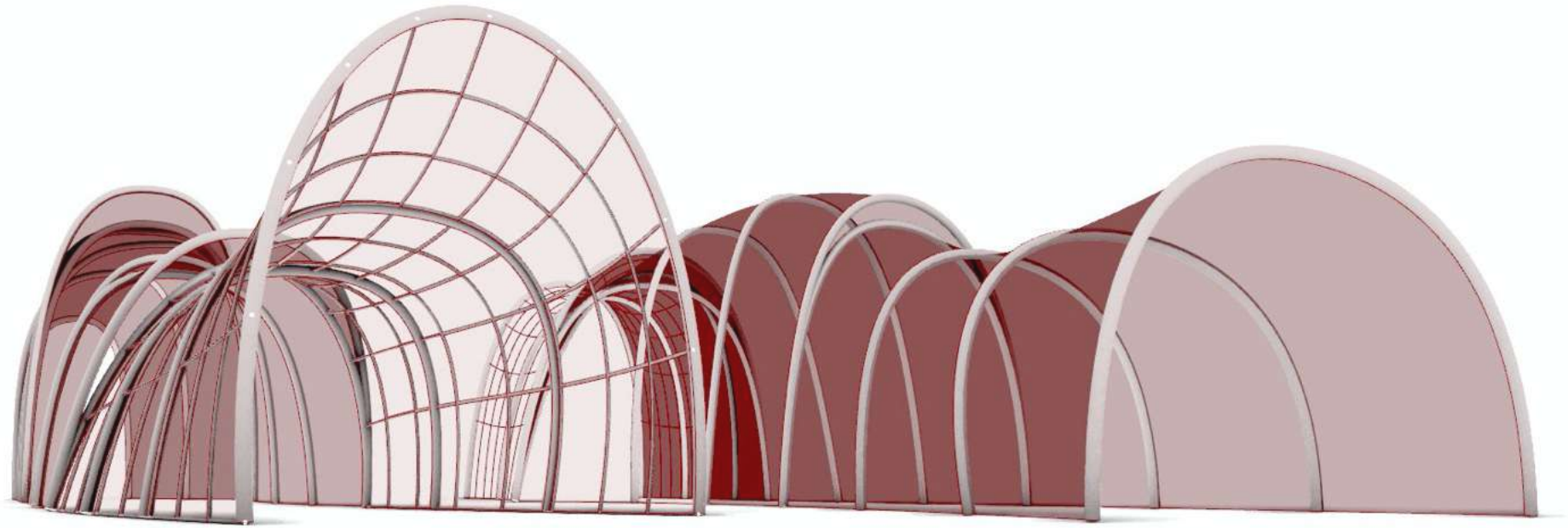


Abb.122: Grasshopper Parameterstruktur des ersten Baukörpermodells für FE Analyse - werden lediglich Linienelemente verwendet

- Gebäudequerschnitte mit Stichhöhen von 10,20 - maximal 17 m



Aus Rhino-Ebene eingefügte Bögen

Abb.123.: Grundform der Baukörper, mit
Ansätzen der Primärstruktur, im ersten Segment der Halle „West".

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

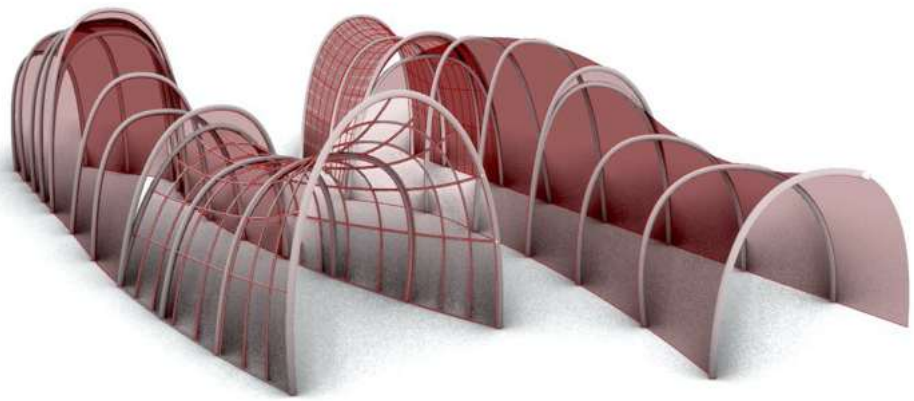


Abb.124:
Schnitt 1

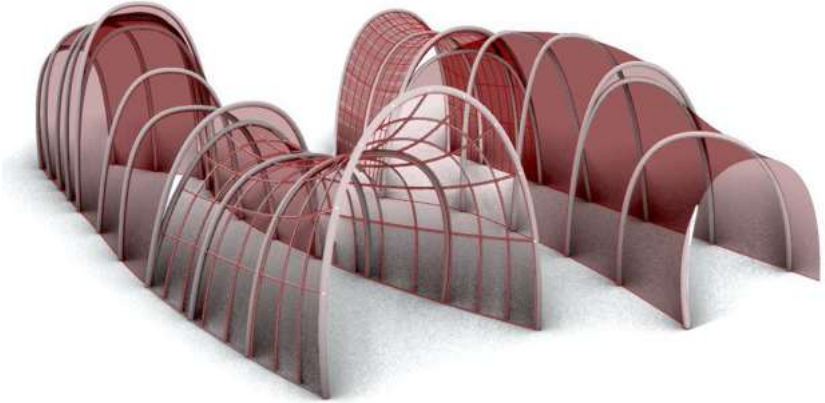


Abb.125
Schnitt 2

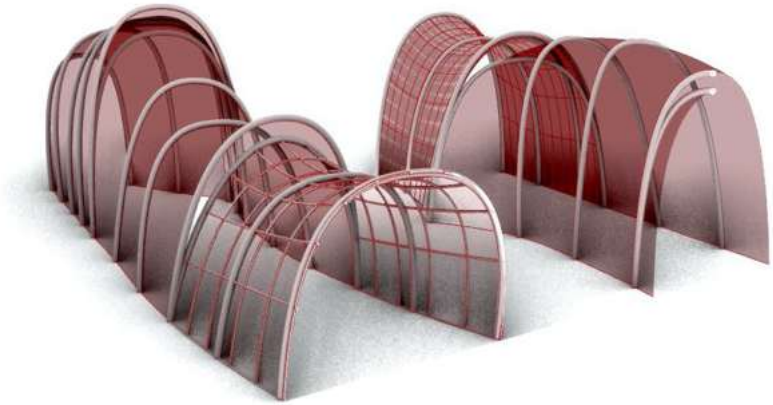


Abb.126:Schnitt3

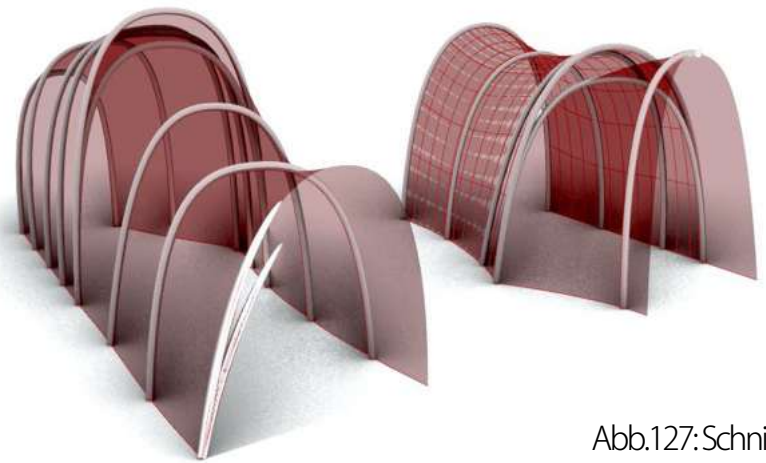


Abb.127: Schnitt 4

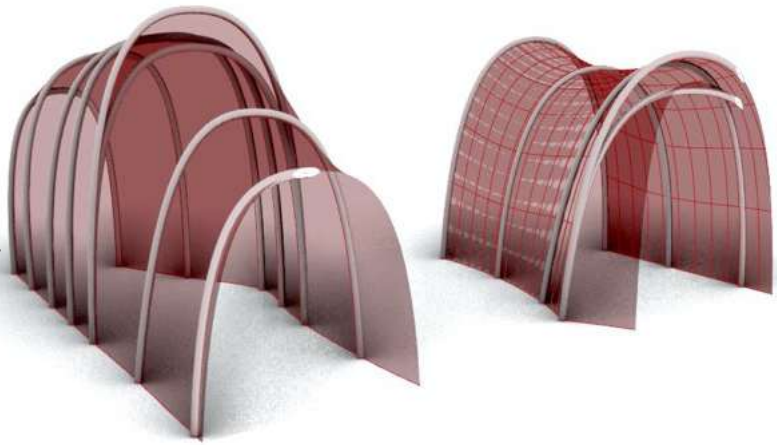


Abb.128:
Schnitt 5

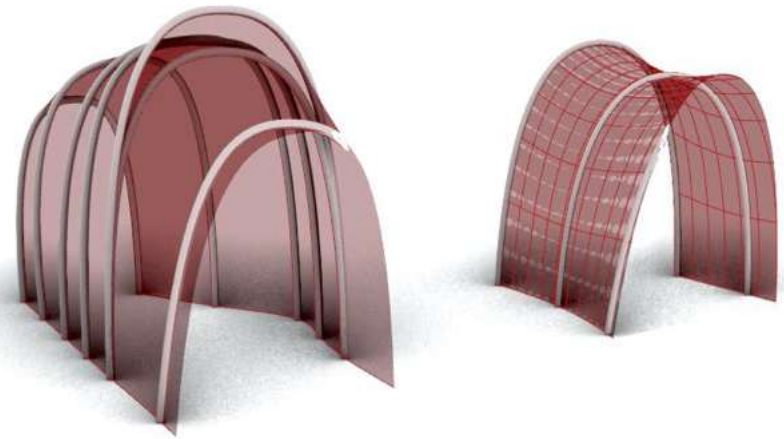


Abb.129:
Schnitt 6

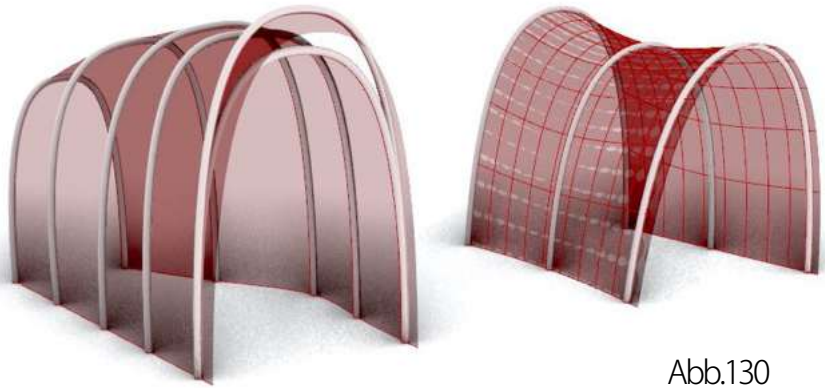


Abb.130
Schnitt 7

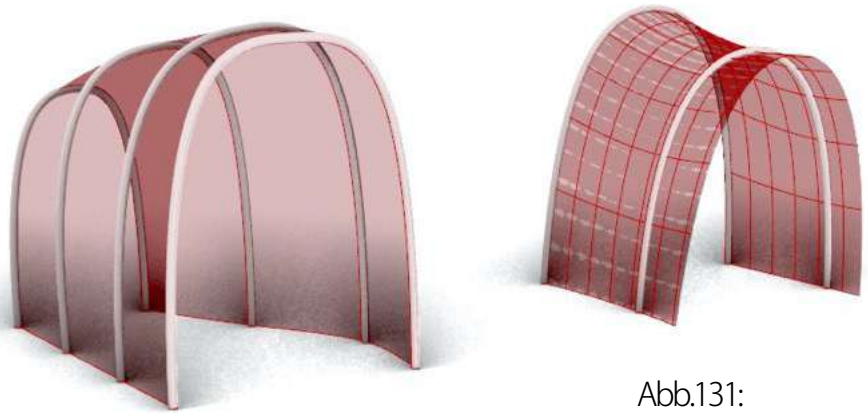


Abb.131:
Schnitt 8

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

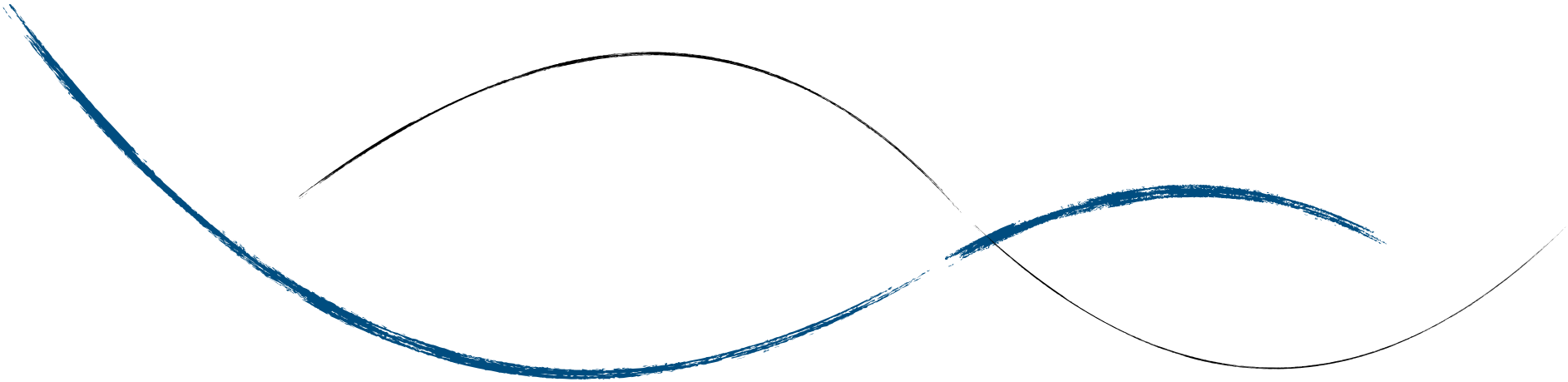


Fig. 31

„City Waves"

Abstrahierte Skizze als Entwurfsansatz

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

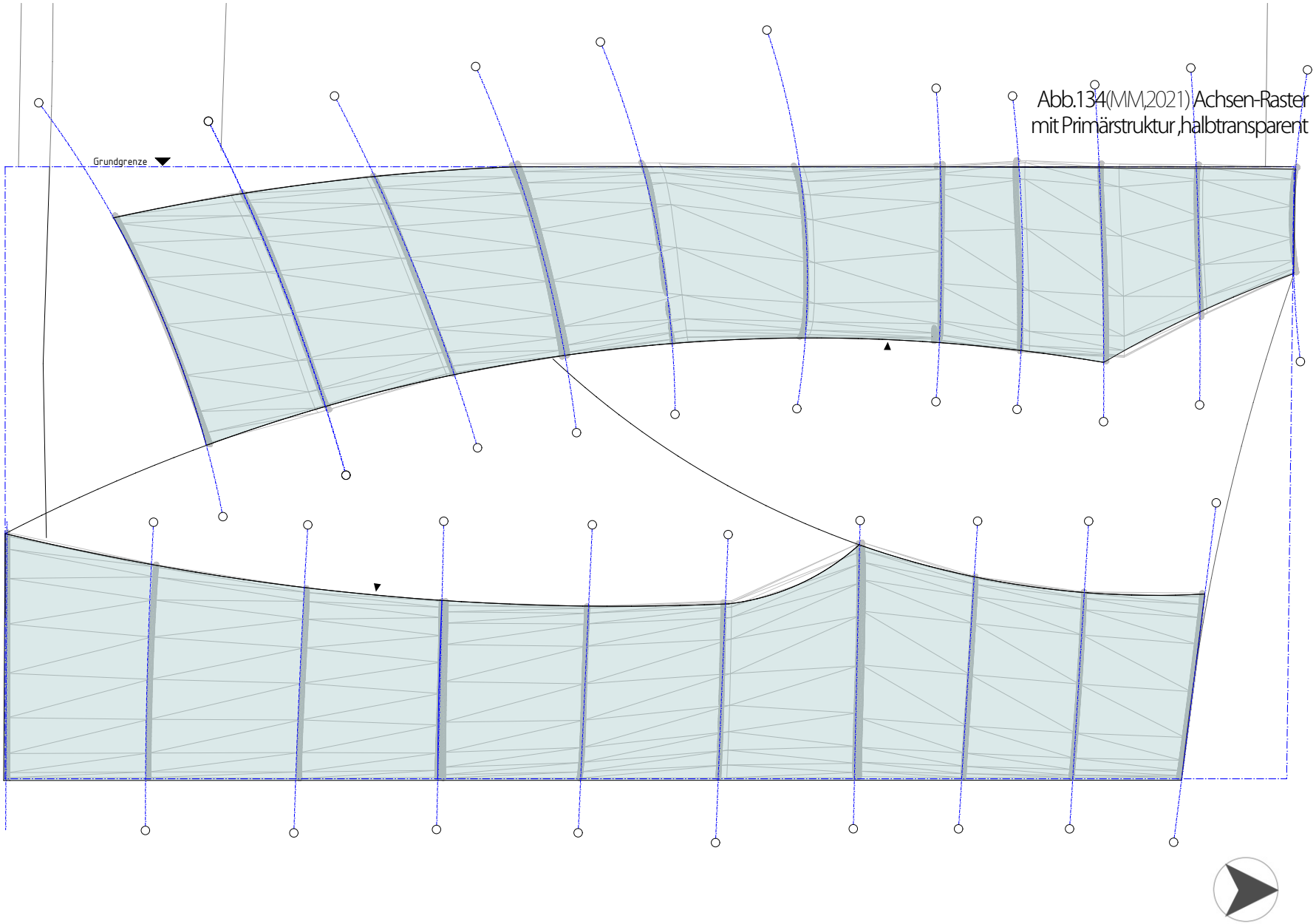
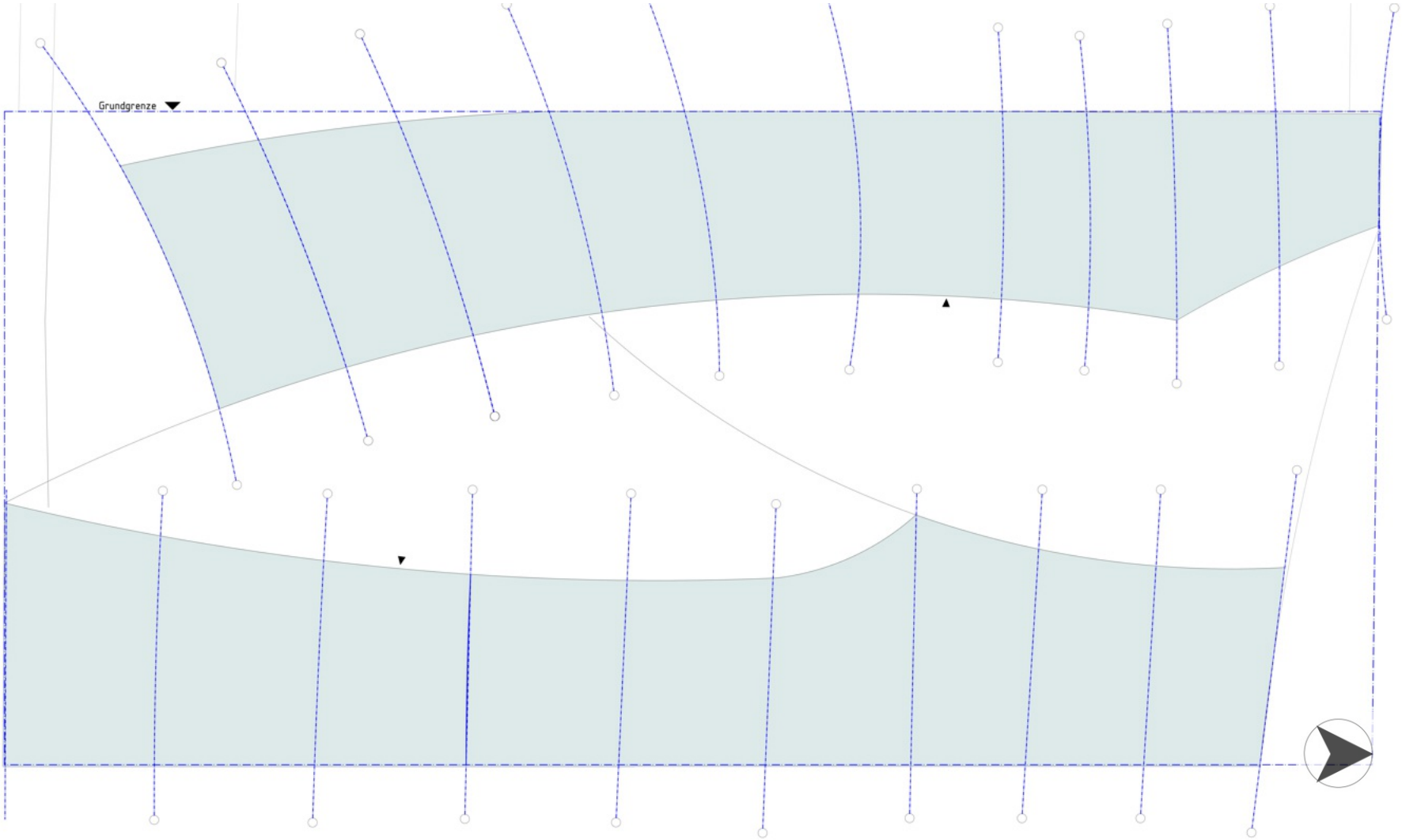


Abb.134(MM,2021) Achsen-Raster
mit Primärstruktur ,halbtransparent

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

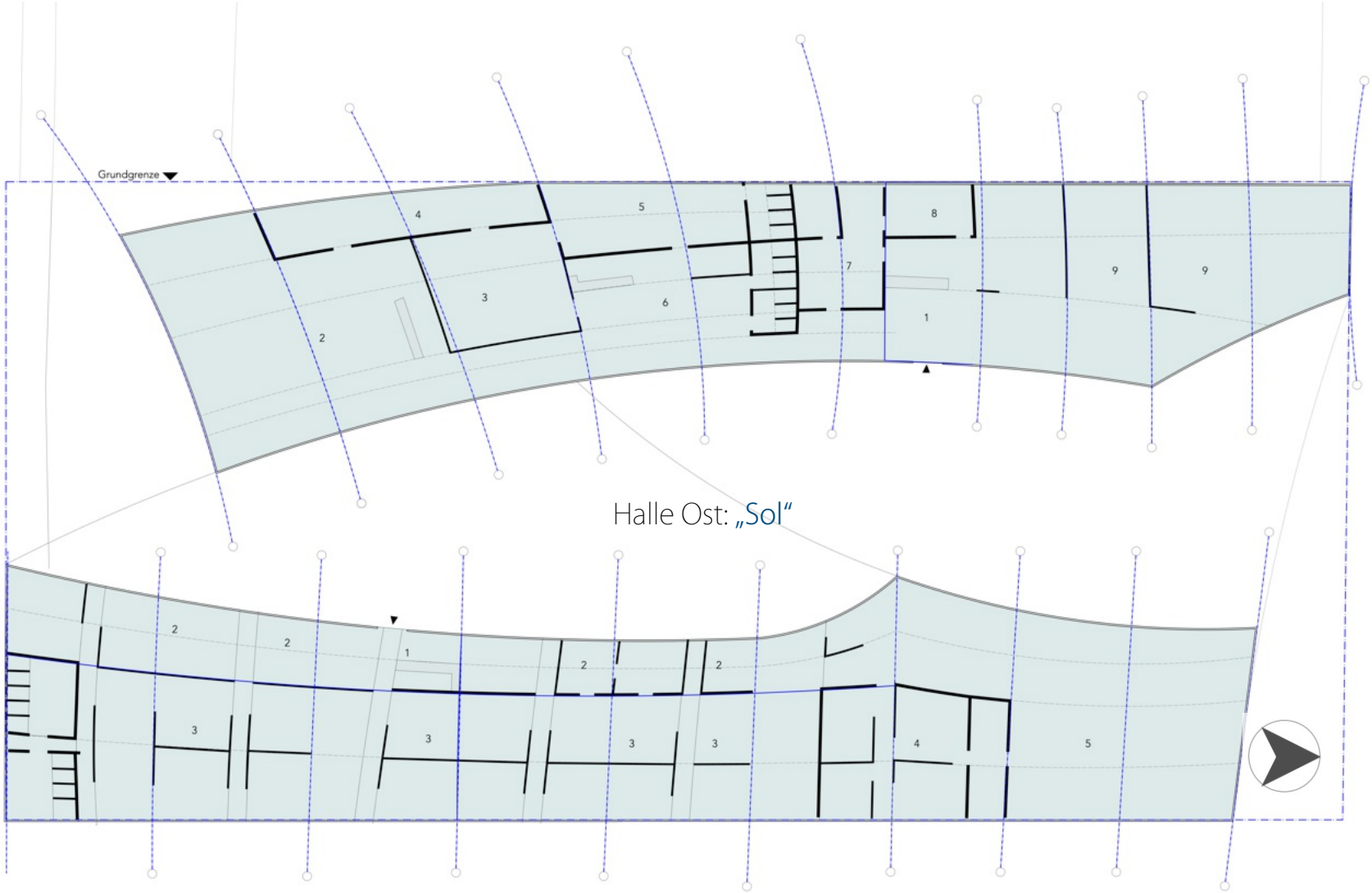
Abb.135 (MM,2021) Achsen-Raster



- Diese bilden zugleich die erste Raumstruktur

Halle West: „Lua“

Abb.136 (MM,2021) Achsen-Raster



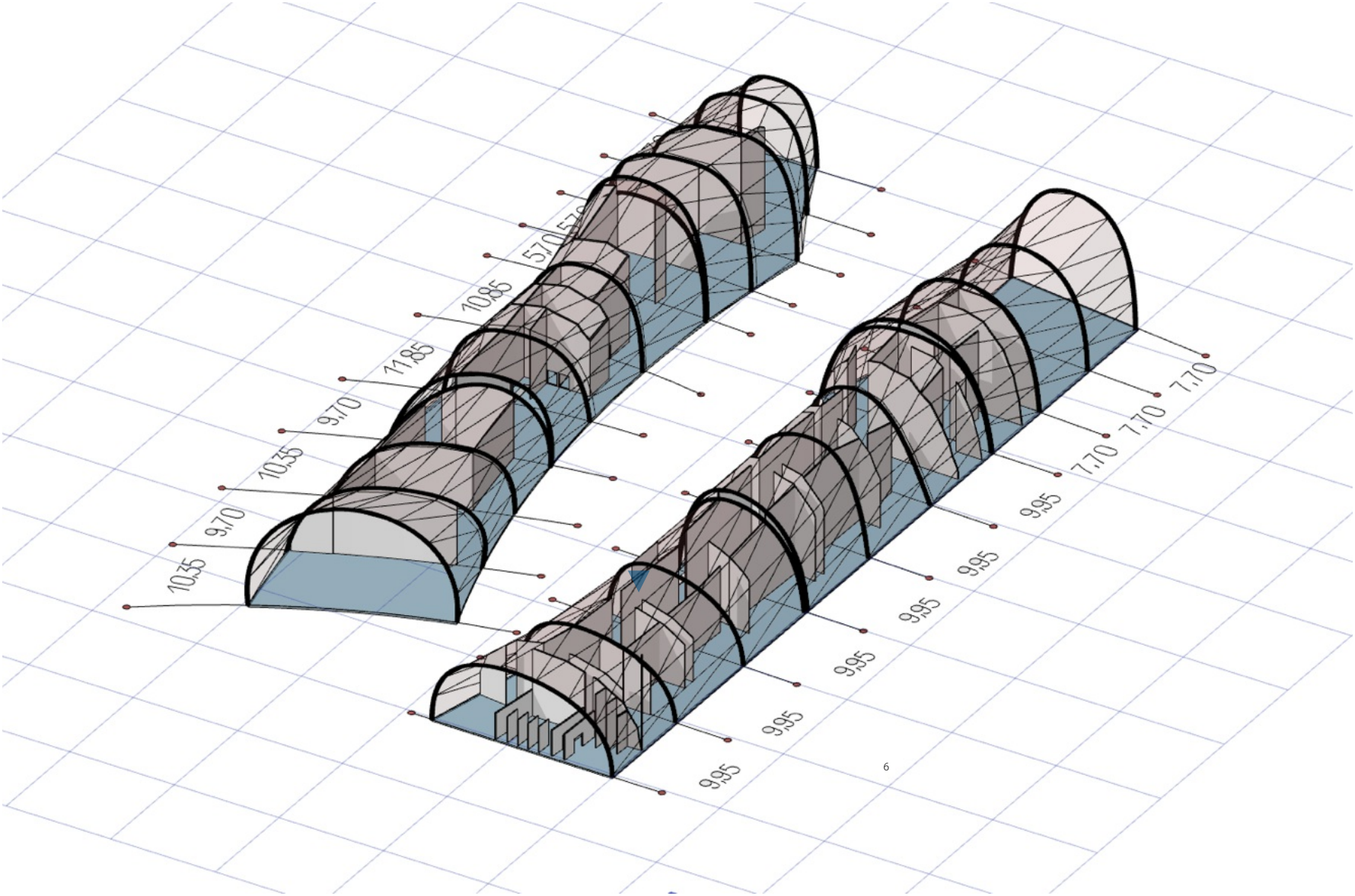
1 Empfang/Lobby
2 Festsaal
3 Veranstaltung
4 Technik
5 Catering/Lager
6 Bar
7 Verwaltung
8 Personal
9 Flexibel / Gastro

1 Empfang/Lobby
2 Verkauf
3 Flexibles Marketing
4 Verwaltung
5 Veranstaltung/Flexibel
6 Technik

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Räumliche Struktur

Abb.137 (MM,2021) Achsen-Raster



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

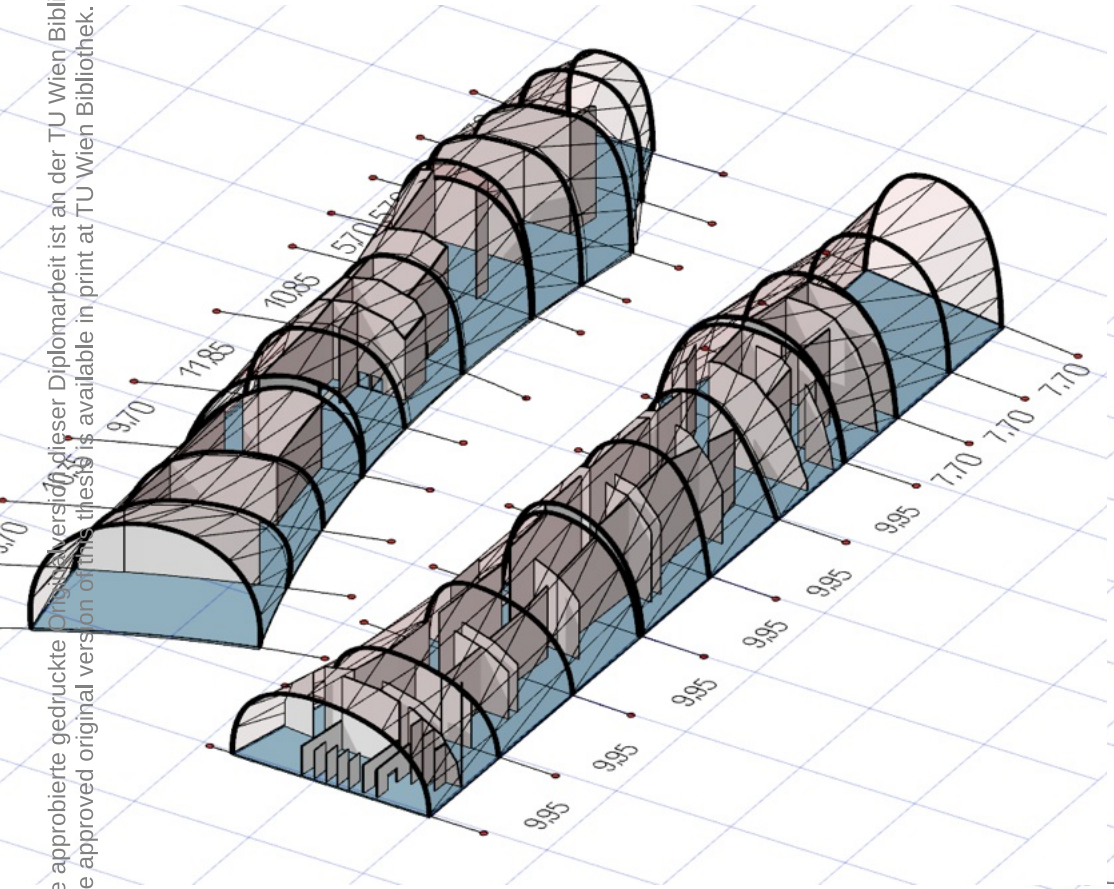
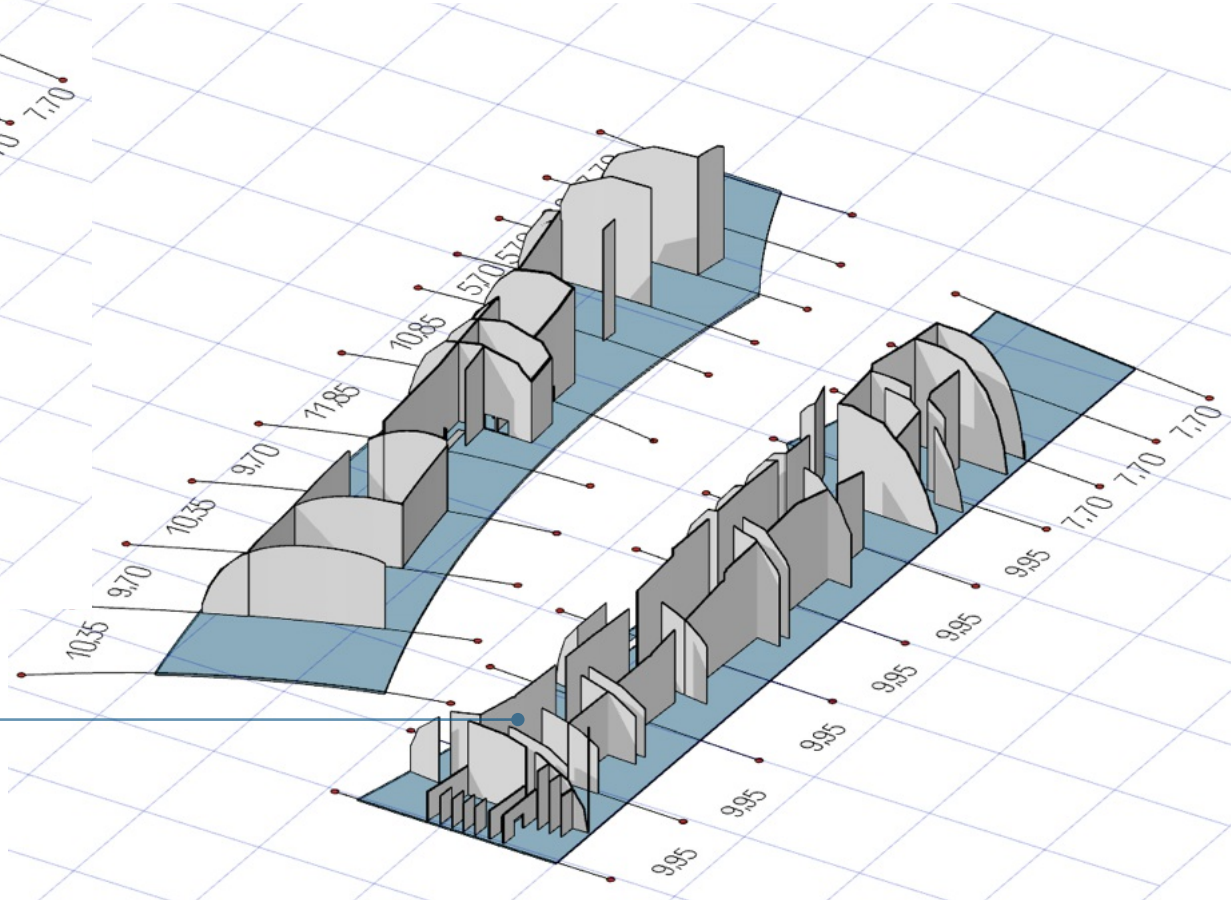


Abb.138 (MM,2021) Axonometrie: Tragstruktur aus Bogenbindern und Innenausbau



Variierbarer Innenausbau

Abb.139 (MM,2021) Innenausbau- Struktur

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

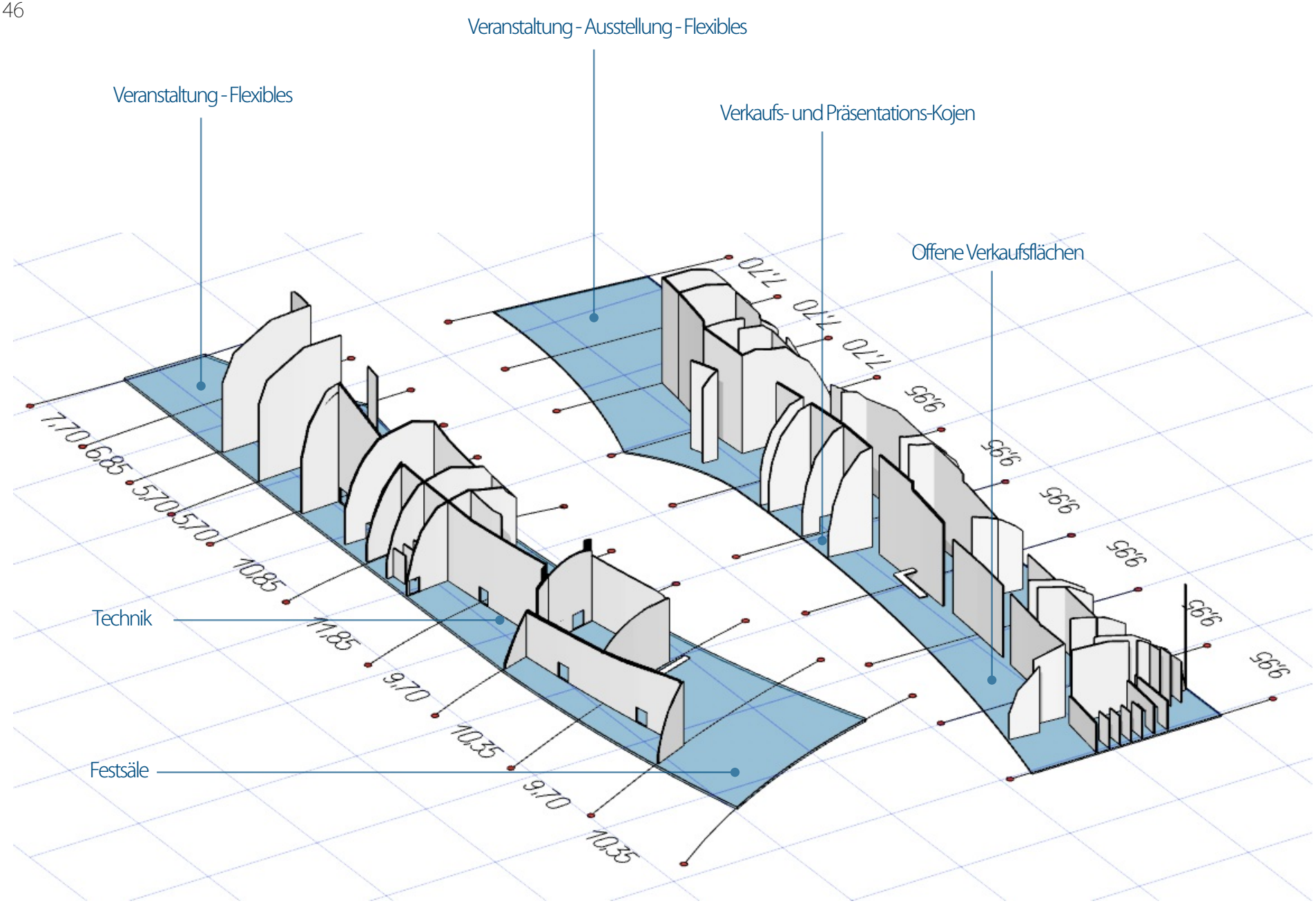


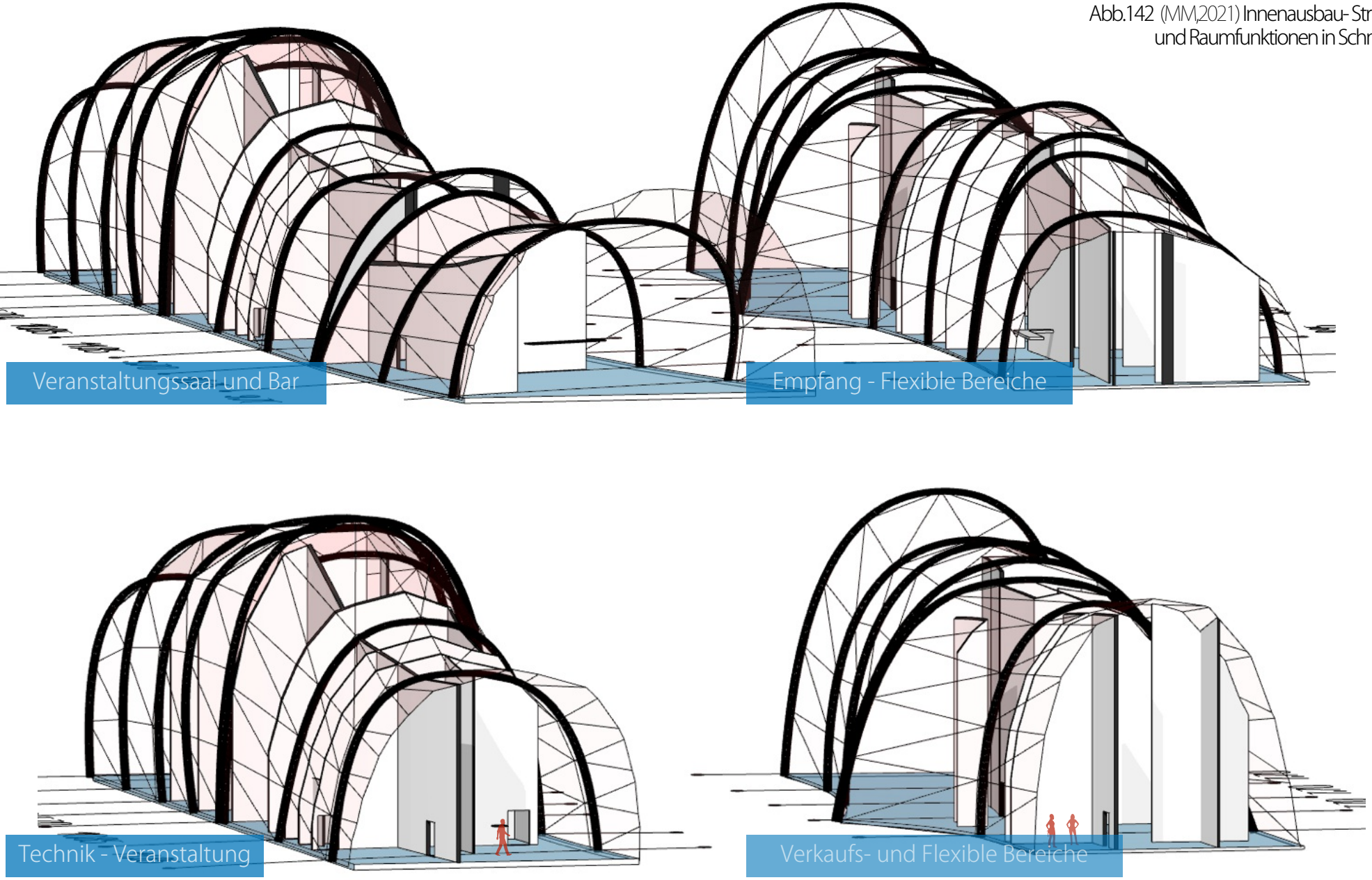
Abb.140 (MM,2021) Innenausbau- Struktur und Raumfunktionen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb.141 (MM,2021) Innenausbau- Struktur und Raumfunktionen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

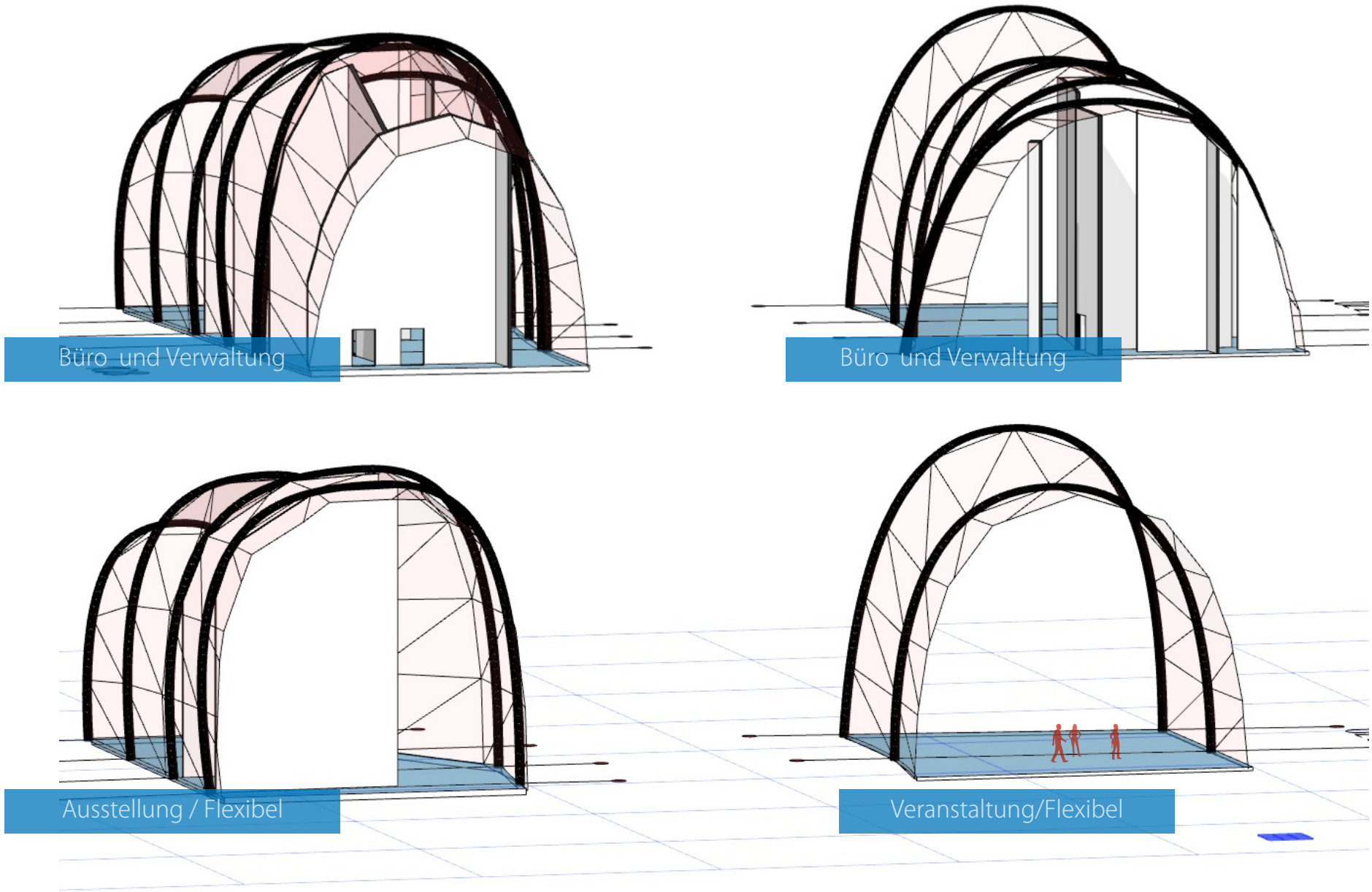
Abb.142 (MM,2021) Innenausbau- Struktur und Raumfunktionen in Schnitten



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

- Raumfunktionen

Abb.143 (MM,2021) Innenausbau- Struktur und Raumfunktionen in Schnitten



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

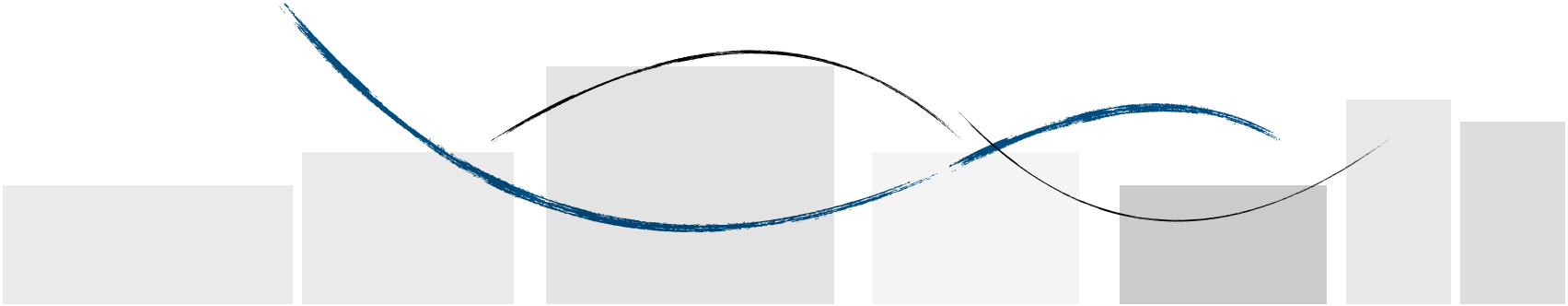


Fig.32 „City Waves“
-im Stadtgefüge

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7.2. Effizienz der Konstruktion

„.. Gleichzeitig jedoch, macht der **Rohbau von Bauwerken** durchschnittlich etwa **80 %** der **eingesetzten Baumassen** und deckt ungefähr **50 %** der eingesetzten **Primärenergie** ab.[1]“

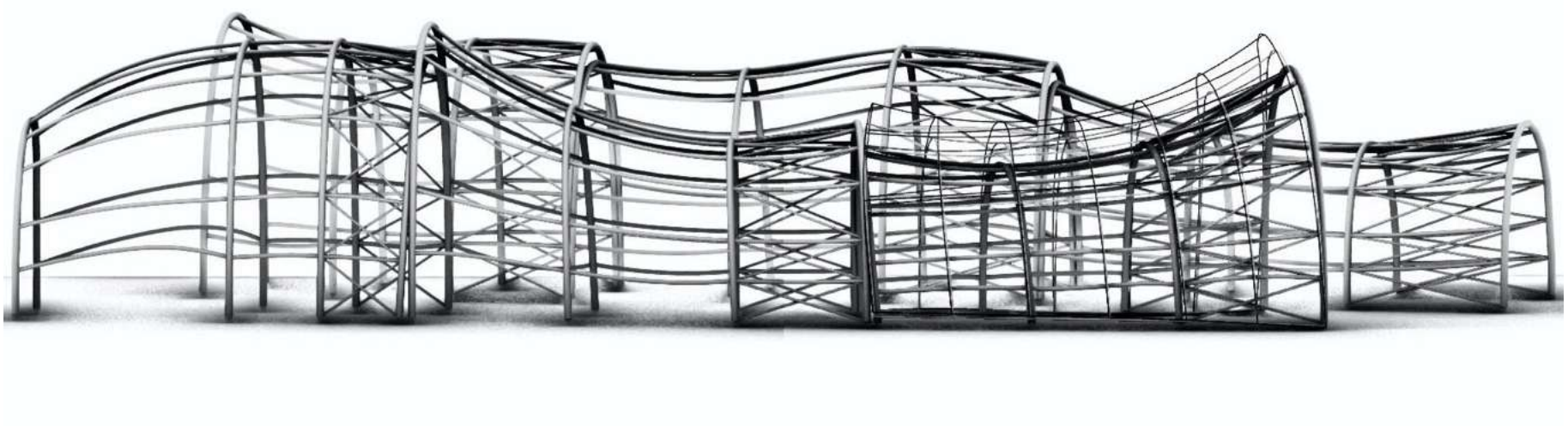


Abb. 144(MM,2021) : Impression - Primärkonstruktion

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7.2.1. Entwicklung der Primärkonstruktion

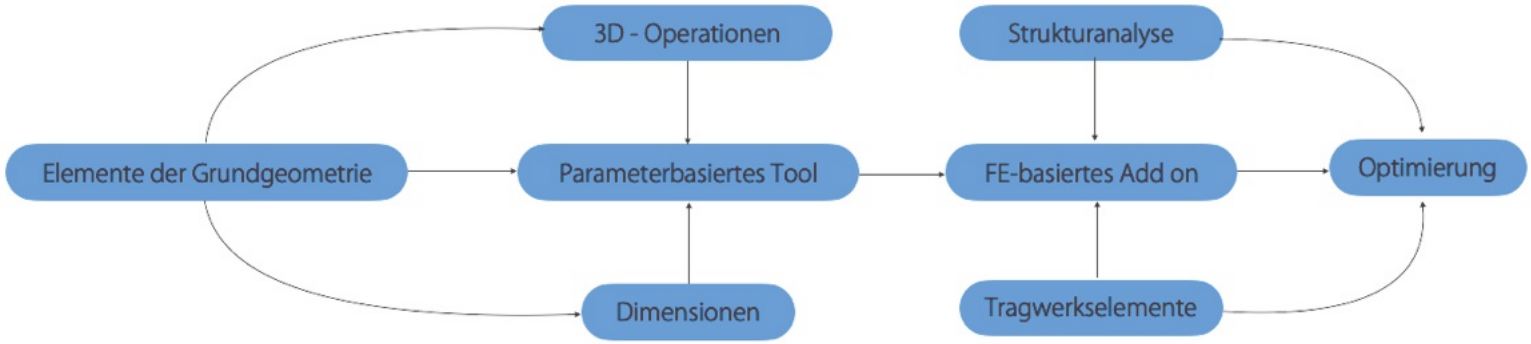
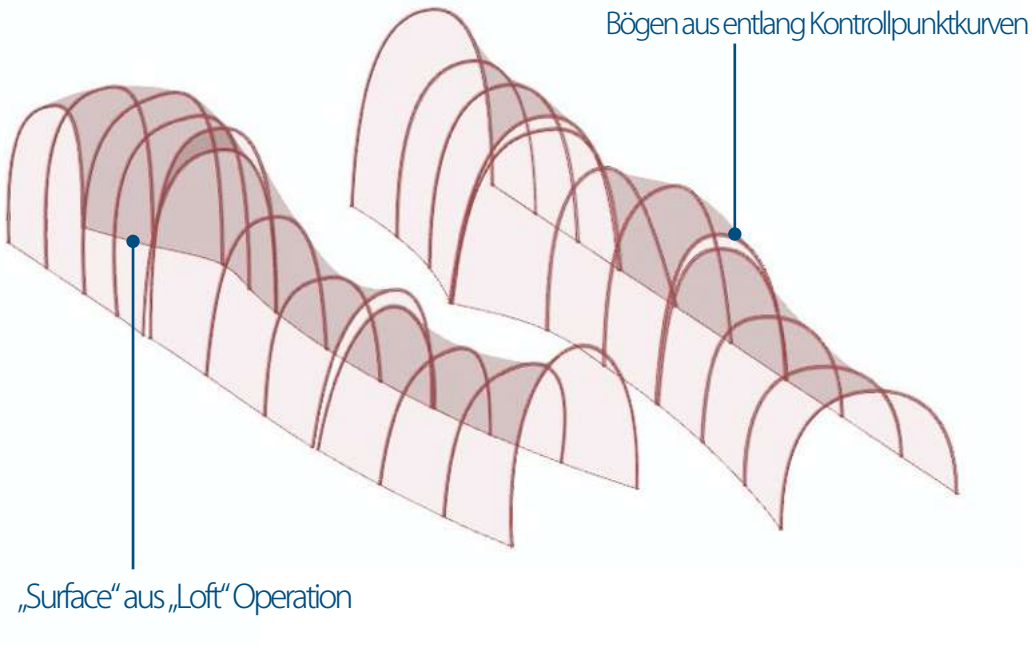
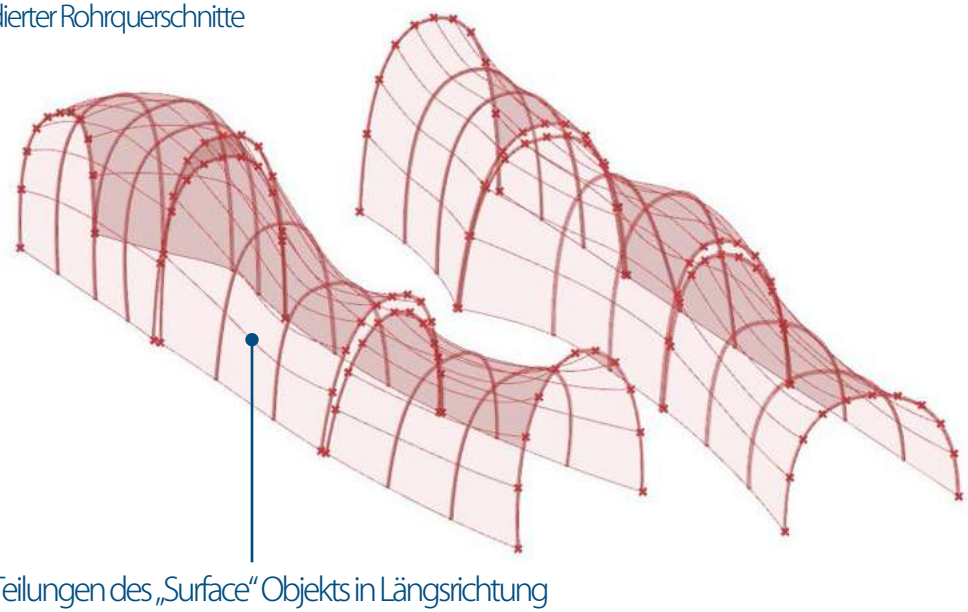


Fig.33. (MM,2021) : Prozessdiagramm: Entwicklung der Primärstruktur für FE Analyse





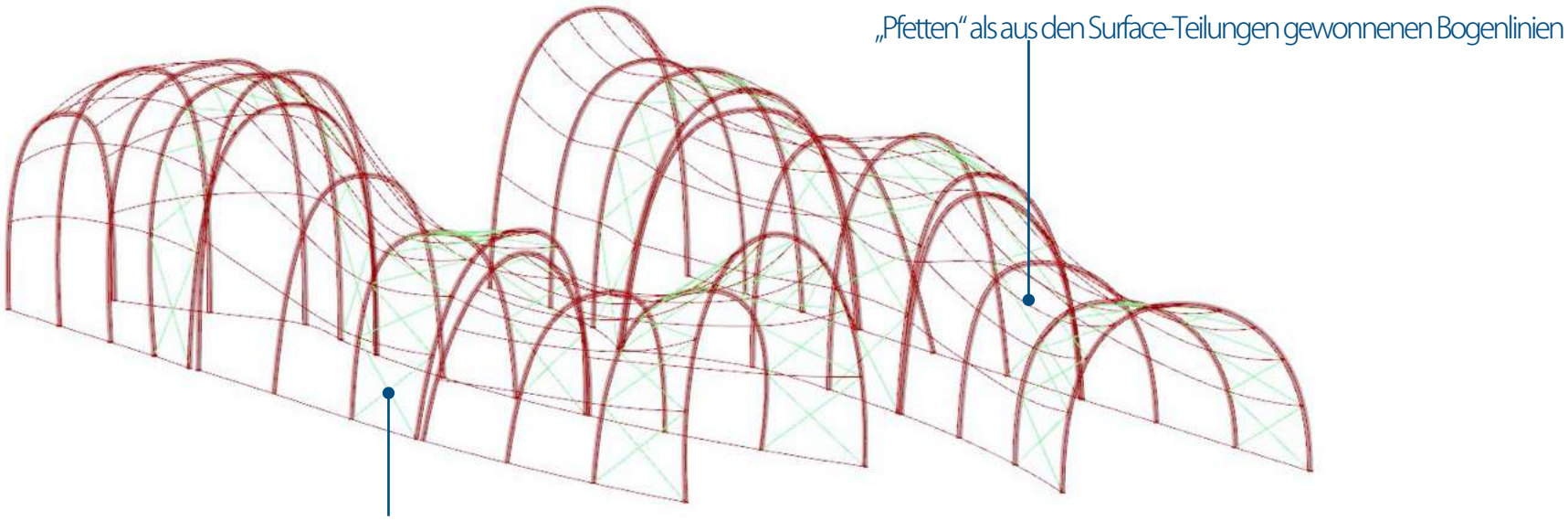
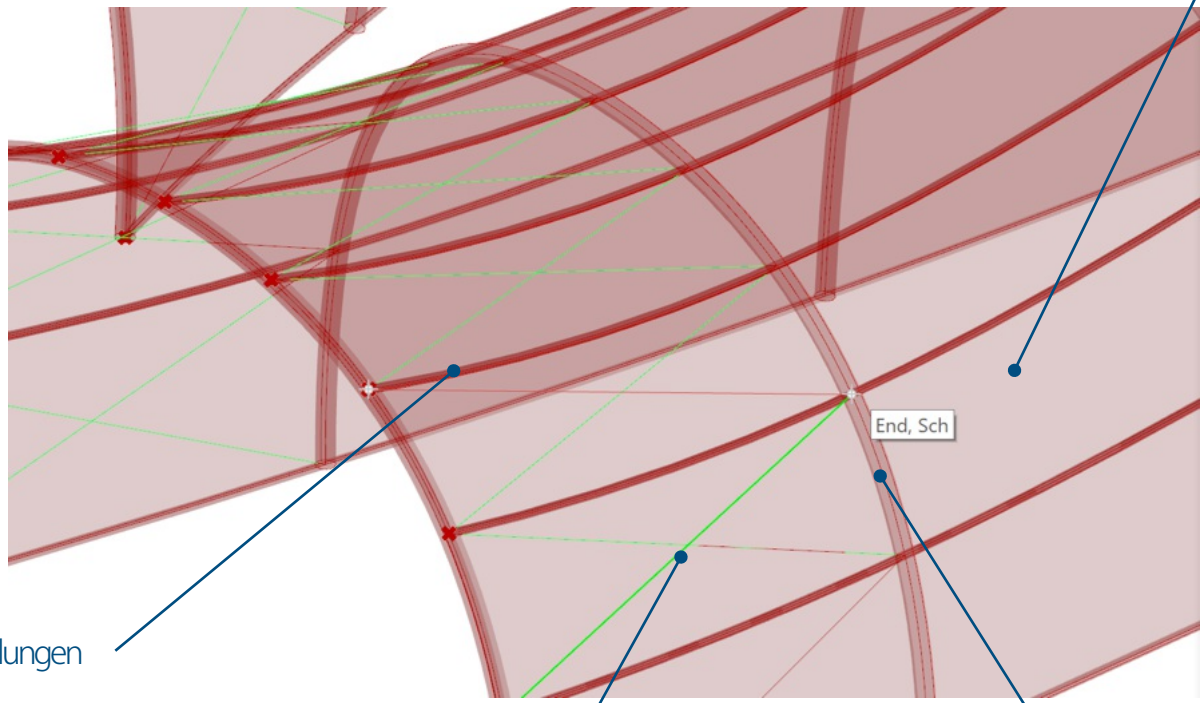


Abb. 144-147 (MM,2021) : Modellierungsschritte in Rhino-Grasshopper

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub



Aus „Loft“ Operation generiertes Surface Objekt

Pfetten aus Surface-Teilungen

Verbände (grün) aus intuitiv erstellten Linien an den **Schnittpunkten** zwischen Teilungslinien und Bogenlinien

Das zwischen bzw. anhand der Bögen erstellte Surface -Objekt dient zunächst lediglich als „Oberfläche“ für die aus einem Teilungs-Parameter, hervorgehenden Teilungslinien. Mit diesen Teilungslinien werden die Pfetten der Konstruktion erstellt.

Abb.148 (MM,2021) : Modellierungsschritte in Rhino-Grasshopper

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7.3. Form und Trageffizienz

Der „idealisierte" Bogen

Bogentragwerke stellen ein besonders effizientes Tragsystem dar, das seine Leistungsfähigkeit mit dem relativ geringen Materialverbrauch, gegenüber den erreichten Spannweiten beweist. Die Ableitung der Kräfte signalisiert unter dem Gesichtspunkt des Gleichgewichts zwischen Zug und Druckkräften auch eine gestalterische Ausgewogenheit.

Die signifikante Trageigenschaft des Bogens liegt in der momentfreien Ableitung von vertikalen Kräften. Das zugrundeliegende Prinzip, wird mit dem Tragverhalten einer Kettenlinie veranschaulicht, die schon mit den berühmten Hängemodellen von Simon Stevin (1548-1620, später auch Gaudi[1]), die parabelförmige Auslenkung, eines mit einer Gleichlast belasteten Seiles darlegt. Der „invertierte Bogen" also, welcher der um die 180° gedrehten Bogenform, dieser zugbelasteten Kettenlinie (Stützlinie) folgt, hebt zufolge seiner Idealform jegliche Biegemomente auf und erfährt daher nur Druckkräfte. Diese Form des Bogens wird als Stützlinie bezeichnet.
(Vgl. Adriaenssens, 2014, S.8 et al.)

Das Tragverhalten eines idealen Gewölbes, das sich definitorisch als ein zu einer bogenartigen[3] Form gesetzten Schichtung von Steinen versteht, beruht so ausschließlich auf die Übertragung von Druckkräften.[2] Mithilfe experimentieller oder auch grafischer Verfahren, wie etwa des Seilpolygonverfahrens, kann die **Aufhebung** der Momente, aufgrund des **zentrischen Angriffspunkts** der **Lastresulitierenden**, (also entlang der Stützlinie) in jedem Querschnitt dargelegt werden und so der Zusammenhang zwischen **Biegemoment** und **Wölbform** erläutert werden. [2] **(siehe auch Abb. 153 S. 157)**

[1] Die erste Hauptaufgabe der Stützenlinientheorie lieferte 1675 Robert Hooke (1635-1703)

Ein **Bogentragwerk**[2], hingegen, wie es im nachfolgenden Entwurf zur Anwendung kommt, **unterscheidet sich** im Wesentlichen dadurch, dass der Bogenquerschnitt die einwirkenden Kräfte über **innere Biegearbeit** widersteht[2] (Biegesteifigkeit). Durch die Angleichung an die heutzutage als Parabel angenäherte Stützlinienform, werden die **Biegemomente** quasi aufgehoben (asymptotische Annäherung) oder möglichst gering gehalten. Da es in der Realität zu heterogenen bzw. ungleichen Lastfällen durch Wind und Schneelasten usw. kommt, stellt der angestrebte , momentfreie Gleichgewichtszustand lediglich einen **Idealfall** dar.
Die hier untersuchte Entwurfstypologie, sieht lediglich als **Grundelement**, das von einem, nach **tragstrukturellen Eigenschaften** ausgebildeten Bogens vor, welcher zu einer tonnenartigen Gesamtstruktur aufgereiht wird.
Die Optimierungsstrategie bestrebt den **geringstmöglichen Materialeinsatz** zu erzielen. Die zu erwartenden Windlasten, werden zunächst die maßgebende Einflussgröße, bei der Vorbemessung der zum Einsatz kommenden Bauteile sein. **(siehe 6.2.)** Das **gewählte Material**, sowie das **resultierende Gewicht**, der den Windlasten entsprechend bemessenen Querschnitte, werden im Laufe der Evaluierungen zeigen, inwiefern der Faktor **„Eigengewicht"**[4] zu einer weiteren einflussnehmenden Größe anzusehen ist. Mit der **Verringerung des Materialeinsatzes** (kg) wird die Eindämmung der für die Gesamtkonstruktion, erforderliche **Herstellungsenergie** (MJ/kg nicht erneuerbarer und erneuerbarer Energie), **adressiert.**

Das vorrangige Ziel ist es, eine gestalterisch ansprechende Gesamtstruktur zu entwickeln, die zugleich aus einer tragtechnisch effizienten Grundform entspringt und sowohl die strukturtechnischen Eigenschaften des kraftschlüssigen Zusammenfügens, sowie die **recyclinggerechte** und **rückbaufähige** Konstruktionsweise berücksichtigt.

[2] Vgl. Gröschk T., 2004, S.20

[3] etymol. von „biegen" also gebogenes

[4] In der Domäne des Leichtbaus, sind grundsätzlich Wind- und Störlasten die bestimmenden Größen zur statischen Bemessung.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die Schnittkräfte innerhalb eines Bogens hängen einerseits von der Lagerung andererseits von der Bogenform, also der Stichhöhe im Verhältnis zu der horizontalen Ausbreitung im Schnitt ab. In der Regel nimmt der **Horizontalschub** eines Bogens mit Abnahme der Bauhöhe (Stichhöfe **f**) zu, also je flacher der Bogen ausgebildet ist. (Siehe **Abb. 149** und **Abb.150**)

Die **Stützlinie** erreicht durch ihren Formverlauf, jenen Gleichgewichts -zustand, der zur Aufhebung, der im Querschnitt auftretenden **Zug- und Druckspannungen** führt.(Abb.153n. Seite) Folgt ein Bogen genau diesem Stützlinienverlauf, treten als Normalkräfte ausschließlich Druckkräfte auf. Weicht der Bogen allerdings von der Stützlinie ab, resultieren aus dem Ungleichgewicht folglich **Druck- oder Zugspannungen.** (Siehe **Abb. 150** und **153 - S.158**)

Zugspannungen welche bei einem Gewölbe aus Steinen, zu einem „Klaffen" der Fugen führen, werden bei einem **biegesteifen Bogen**, durch die innere Biegearbeit widerstanden. (Siehe **S.158 Abb. 153**)

Abb.149 (J.L Moro, 229): Flacher Bogen und Schub

Abb.150 (J.L Moro, 2019, S.241) : Resultierende Kräfte aus Bogenform als Abweichung von der Stützlinie

Abb.151/152 (Vgl. J.L Moro, 2019, S.243 et al.) : Ein Balken unter Gleichlast, weist eine parabelförmige Momentlinie auf.

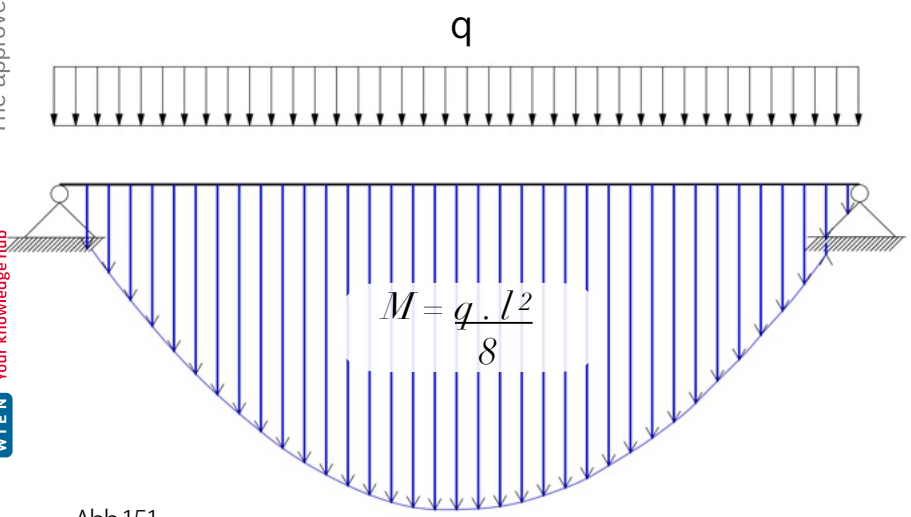


Abb.151

Die parabelförmige Bogenform, führt in der Theorie zur Aufhebung der Momente (Vgl. J.L Moro et al.)

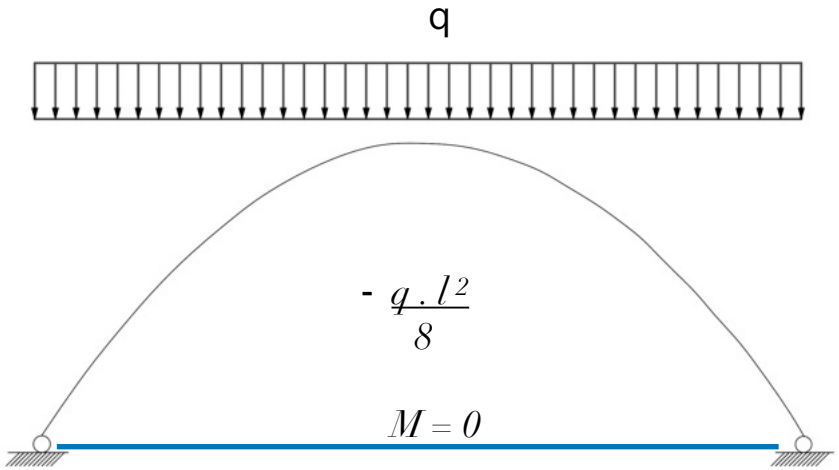


Abb.152

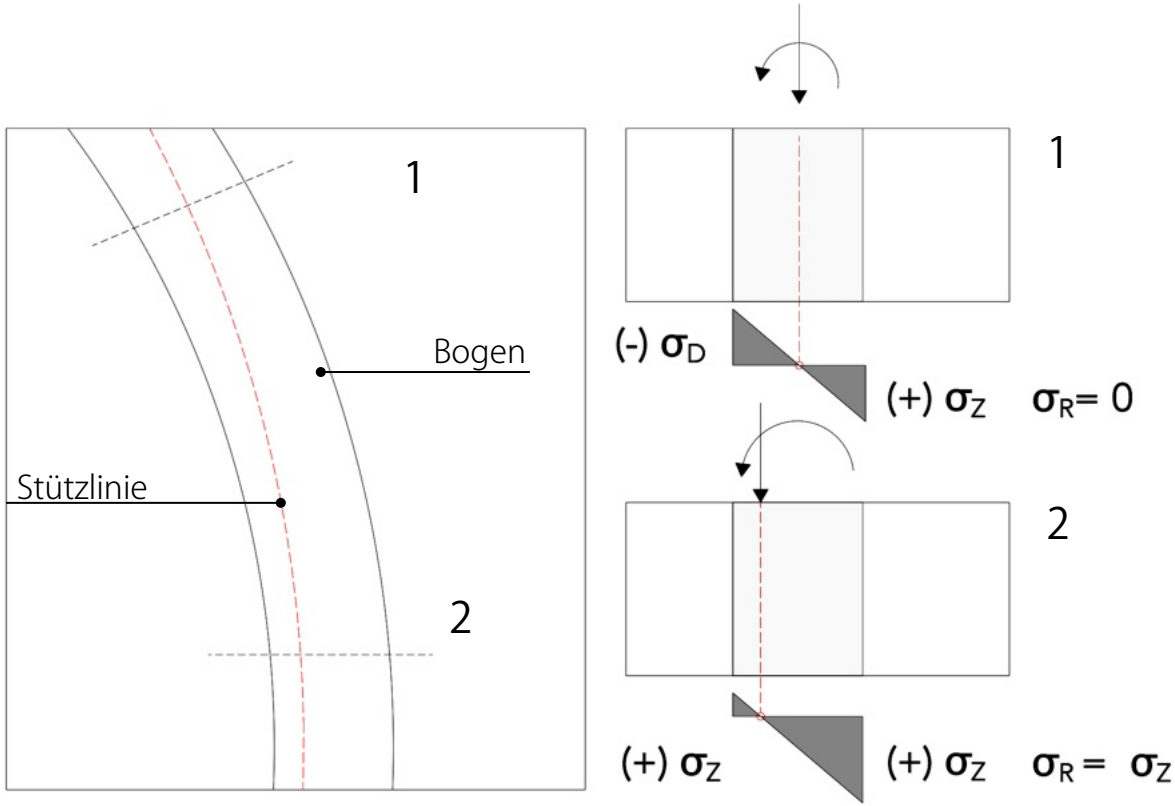


Abb.153(MM 2021 vgl. J.L.Moro 243):
Bogenverlauf im Schnitt, mit Verlauf der Stützlinie. An Stelle 1 heben sich die Biegespannungen, aufgrund des Verlaufes entlang der Stützlinie. An Stelle 2 resultieren aufgrund der Exzentrizität des Bogenverlaufs zur Stützlinie, (abgesehen von Druckkräften in Normalrichtung) **Zugspannungen**.

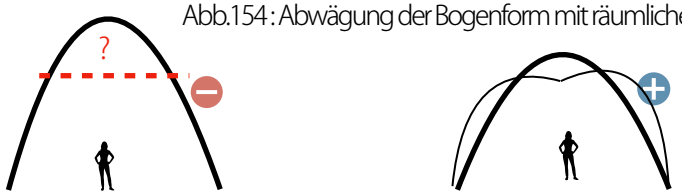
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Der einleitende **Optimierungsansatz** besteht in der **Adaptierbarkeit** der Bögen, anhand der intuitiven Bearbeitung bzw. „Bewegung" der Kontrollpunkte der Bögen, in der Rhino-Umgebung, was zu einer gleichlaufenden, der **tragstrukturellen Analyse** des Karamba Tools entspringenden, Beeinflussung der Ausgabewerten (Schnittgrößen, Ausnutzung, Verformungsverhalten usw.) führt. Während des gesamten Optimierungs-Workflows[1] ist eine simultane Anpassung der Bogengeometrie unter Berücksichtigung des FE-analysierten, Tragverhaltens möglich. Damit wird der, nach tragstrukturellen Kriterien idealisierte Bogenform angenäherter Formverlauf unter Berücksichtigung der raumfunktionalen Bedingungen angestrebt. **(Abb. 151)**

Der Bogen stellt als **Grundform** schon ein effizientes Tragelement dar. Bei der Gestaltung des Bogens, nach den Kriterien der Formeffizienz, üben die **Raumanforderungen,** des mit der Bauform des Bogens zusammen -hängenden **Raumprofils**, dennoch den erheblicheren Einfluss darauf, wie dieser letztlich ausgebildet wird. Denen mit der Abweichung von der „idealen Stützlinie" einhergehenden Biegespannungen, können mit schlanken Querschnitten immer noch effizient standgehalten werden. Sie bleiben im Entwurf, gegenüber den zu erfüllenden räumlichen Anforderungen, von untergeordneter Bedeutung. **(Siehe Abb. 154 Vergleich)**

Abb.154 : Abwägung der Bogenform mit räumlichen Aspekten



Tragstruktur : optimal (nur Druck)
räumlich : suboptimal

Tragstruktur : weist Biegespannungen auf.
räumlich : optimal

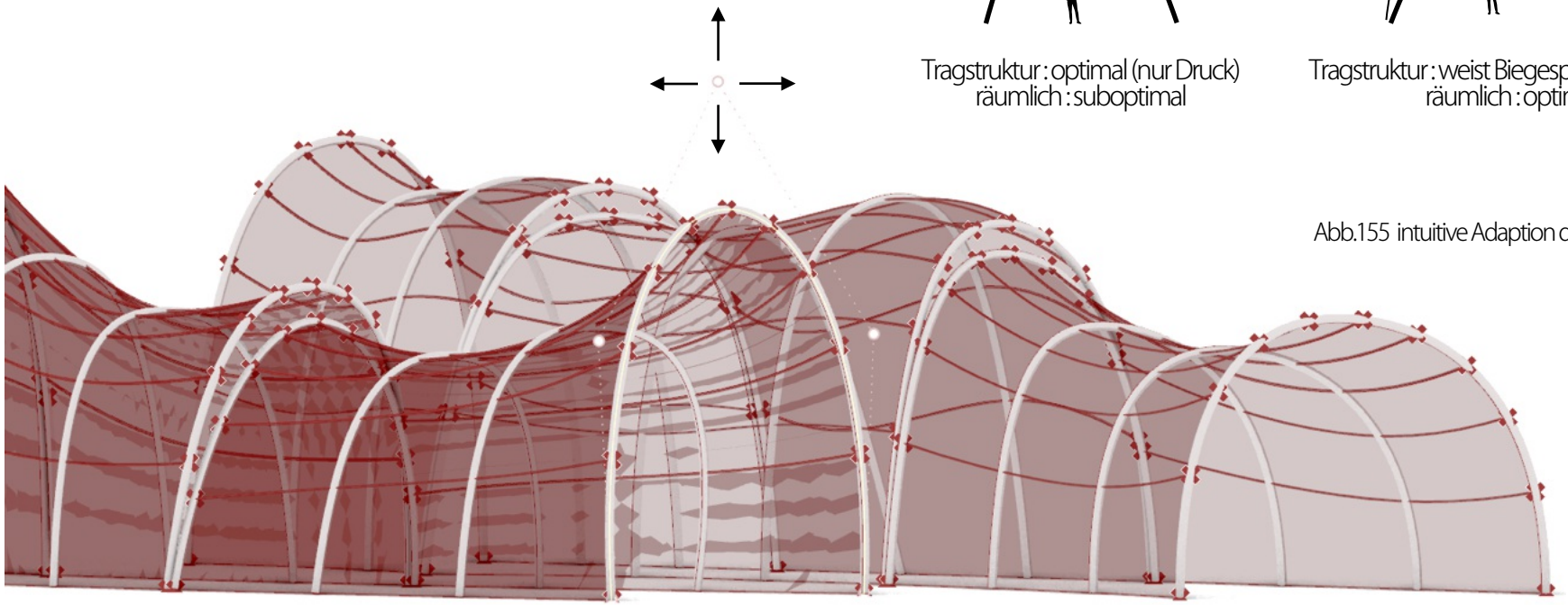


Abb.155 intuitive Adaption des analysierten Modells

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Gegenüberstellung : Materialisierung

Da die Konstruktion sich grundsätzlich in der Domäne des vorgefertigten Leichtbaus zu sehen ist, begrenzt sich die Materialwahl auf :

- Holz
- Stahl

Die **Konstruktion des Primärtragwerks besteht in beiden Materialien aus den Elementen:**

- Bögen
- Pfetten
- Verbände (Aussteifungen)

Zum Zwecke einem Vergleich der Effizienz der Tragwerke in Abhängigkeit der Materialisierung werden folgende Größen betrachtet :

- **konstruktive Effizienz**
  - Messgrößen: Eigengewicht kg, gegenüber Ausnutzung in %, sowie Schnittgrößen in kN
- **Ressourceneffizienz**
  - Messgrößen: Die aus dem Eigengewicht resultierende Herstellungs -energie in kJ (inkl. Energiemix)
  - Konstruktionsfläche der Primärstruktur (m^2)
- **Rückbaubarkeit** (Schraubverbindungen, etc.)
- **zu erwartende Lebensdauer**
- **ästhetische Aspekte, Filigranität**

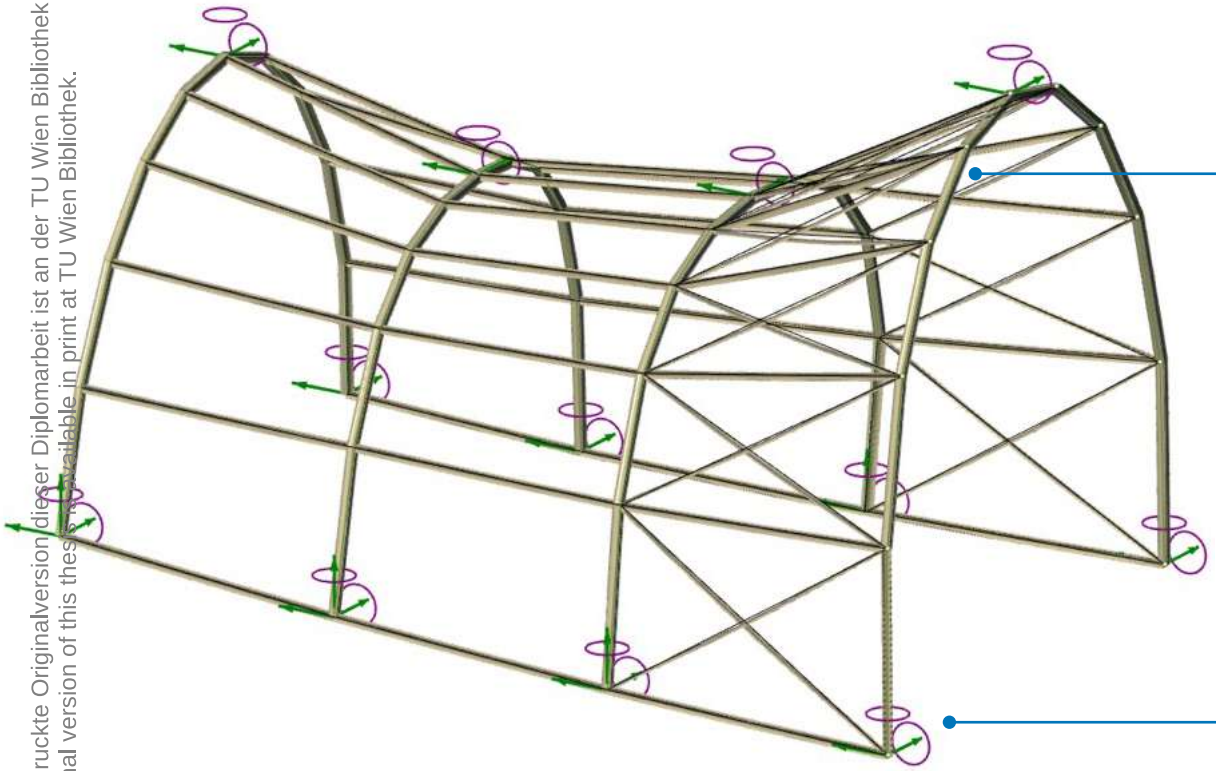
1. Zunächst werden der Primärkonstruktion im Modell, Querschnitte, mit denen aus Hersteller-Tabellen, stammenden Festigkeitswerten , sowie die Auflager-Eigenschaften eines **exemplarischen Segments** zugewiesen.

2. Auf Basis der Ergebniswerte, welche der FE-Analyse ausgelesen werden und aufgrund der benannten Kriterien, wird für eine Materialisierung entschieden.

3. Hiernach erfolgt die formmäßige Optimierung des digitalen Modells mit der simultanen Verfolgung der Biegespannungen, der Schnittkräfte, der Ausnutzung usw.

4. Die aus der Optimierung gewonnene Endgeometrie dient als Grundlage für die Gesamtkonstruktion, an denen sich die Bögen in der geometrischen Dimensionen orientieren.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Zum Zwecke der FE-Analyse, wird der Bogen durch einzelne Linien angenähert.

In den Fußpunkten werden gelenkige Auflager, durch die parametrische Definition der Wertigkeiten eingestellt.

Abb.156:(MM,2021, Rhino GH) Tragwerksmodell aus Rhino Grasshopper, mit Auflagerpositionen

Abb.157:(MM,2021): Prozessdiagramm der FE Analyse von Grasshopper zu Karamba 3D

Da es sich bei der Konstruktion um eine Dreigelenkbogen-Konstruktion handelt, wird zusätzlich zu den Fußpunkten, ein weiters Auflager an den Bogenstichen angebracht.

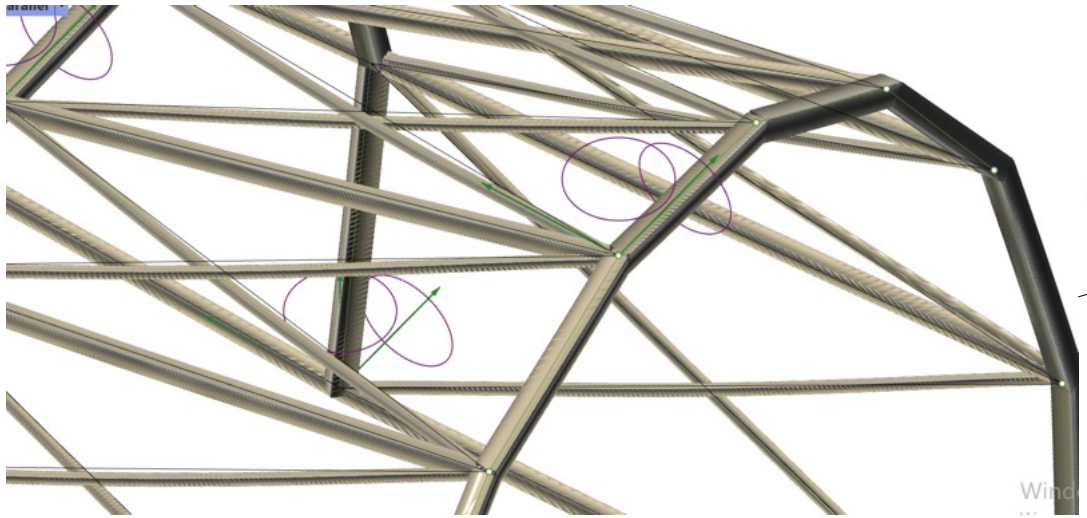


Abb.158 (MM,2021): Bogenstich mit Auflager

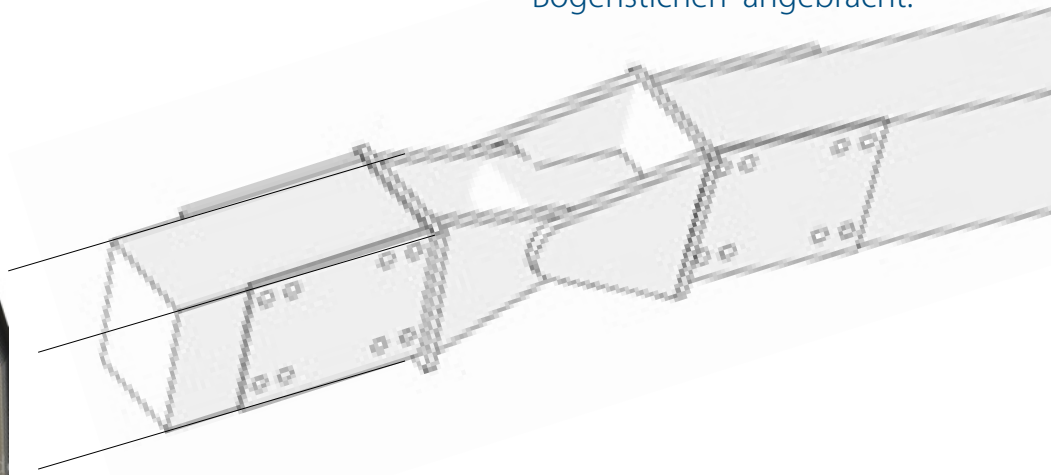


Abb.159 (MM,2021): Gelenklager Bogenstich, Axonometrie - Darstellung

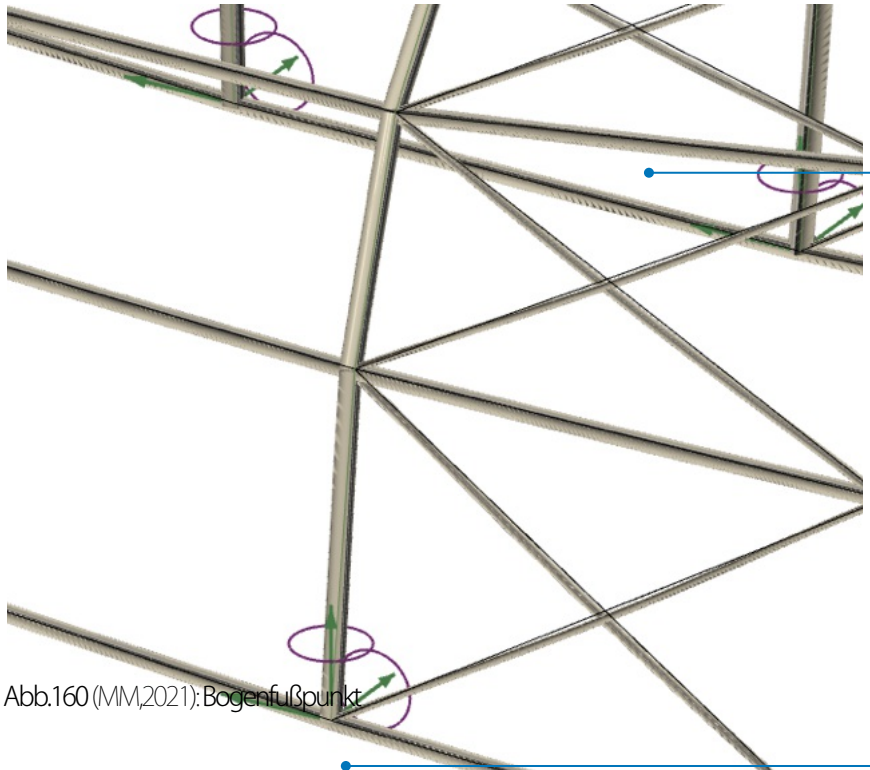
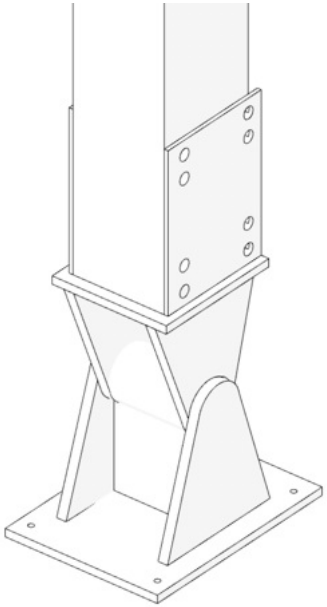


Abb.160 (MM,2021): Bogenfußpunkt

Abb.161 (MM,2021): Gelenklager Fußpunkt, Axonometrie - Darstellung



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Zur Materialgegenüberstellung wird die Konstruktion unter dem Lastfall„Eigengewicht“ betrachtet.

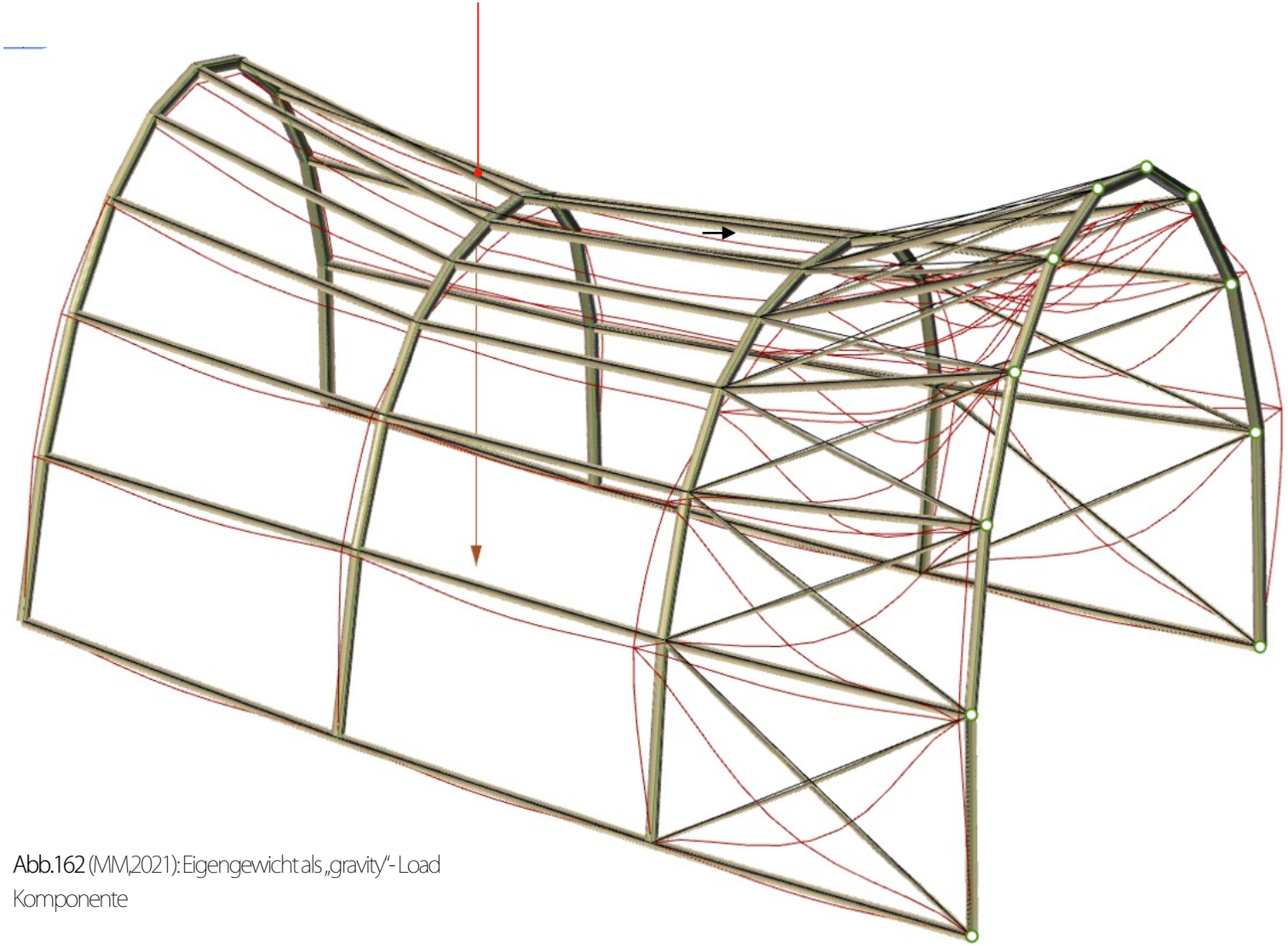


Abb.162 (MM,2021): Eigengewicht als „gravity“- Load Komponente

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bogensegment - „Zulu“ in Holz

Bestehend aus vier aufgereihten Bögen mit 11 aufgelagerten Pfettenreihen, sowie 10 Aussteifungsverbände, bestehend aus jeweils 2 Stäben.

Technische Angaben

Gesamtlänge **28, 107 m** : Achsabstände längs: **9,31m**

- Gesamtgewicht der Tragkonstruktion : **12 253, 97 kg** [1]

Höhe (Bögenstiche): **16.36 m - 10.04 m**

Spannweite : **max. 17. 28 m**

Materialeigenschaften kombiniertes Furnierschichtholz **GL 75**[2]

Biegung parallel:	28 N/mm²
Zug parallel:	**60 N/mm²** [3]
Zug senkrecht	0,6 N/mm²
Druck parallel:	59,4 N/mm²
Druck rechtwinklig:	14,8 N/mm²
E-Modul parallel:	**16 800 N/mm²**
E-Modul senkrecht	470 N/mm²
Schubmodul :	**850 N/mm²**
Rohdichte :	**800 kg/m³**

Primärenergienedarf nicht erneuerbare Energie (PEI n.e.) [4]

- 14,51 MJ/kg [2] 12 253,97 kg x 14, 51

➡ **179 241.59 MJ (PEI n.e.)** (In den Herstellungsphasen A1-A3)

-61, 8 % [2] (D- Recylclingpotenzial)

➡ **GWP : - 1 kg CO_2 Äquiv. /1kg (A1-A3) + 192 % (C3-Abfallbehandlung)**

[1] Eine überschlägige Annäherung des aus Karamba ermittelten Wertes macht das Gewicht plausibel: ~ ca. 50m Bogenlänge x 4 Bögen x 0,20 x 0,16 x 800kg/m³ = 5 120 kg + Pfetten, Verbände.. .. [2] Pollmeier, 2021 (Werte sind in der Material-Komponente des Karamba 3D Tool eingetragen) [4] Ökobaudat, 2021 (Furnierschichtholz 465,7 kg/m³)

Als Basis für die Vorbemessung der Querschnitte werden zunächst die **Ausnutzungswerte** der **Querschnitt-Beanspruchung** herangenommen.

- Auf Basis des **Eigengewichts** des Segments angesetzt, wird ein Ausnutzungswert von möglichst unter ≤ **20 % angestrebt, da** es im weiteren Verlauf Tragreserven für **Windlasten** zu berücksichtigen gilt.

- Ziel der Querschnittsausnutzung : ≤ 20 %

Mit der Variante der Holzkonstruktion wird eine Ausnutzung von :

- 13 % **(Zug)** und 14,2 % **(Druck)**

mit den angegeben Querschnitten erreicht:

Alle in **Furnierschichtholz Baubuche**[2]**:**

Bogenbinder : **20 x 16 cm**

Pfetten: **16 x 12.5 cm**

Verbände: **12 x 12 cm**

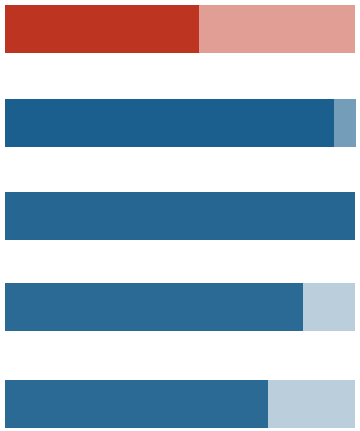
✓ Transport & Gewicht

✓ Vorfertigung

✓ Rückbaubarkeit

✓ zu erwartende Lebensdauer

✓ Rezyklierbarkeit und Wiederverwendung



[3] Streckgrenze (yield strength) wird in Karamba mit 5 kN/cm2 eingespielt(isotrop)
[4] Die negativen GWP-Werte stellen die Bindung von CO_2 im Wachstumsprozess dar und werden in der Ökobilanzierung den anderen Phasen gegengerechnet

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bogensegment - „Zulu“ in Stahl

Technische Angaben

Gesamtlänge 28, 107 m : Achsabstände längs: 9.31m
Gesamtgewicht der Tragkonstruktion : **11 632, 00 kg** [1]
Höhe (Bögenstiche): 16.36 m - 10.04 m
Spannweite : max. 17. 28 m

Materialeigenschaften Baustahl S 355

Elasitizitätsgrenze :	360 N/mm²
Zugfestigkeit	510-680 N/mm²
E-Modul::	21 000 N/mm²
Schubmodul :	80 760 N/mm²
Rohdichte :	7850 kg/m³

Primärenergienedarf nicht erneuerbare Energie (PEI n.e.) [2]

- 10,99 MJ/kg [2] 11 632,00 kg x 11,75

127 835,68 MJ (PEI n.e.) (A1 - A3)

- 87-90 % der Massen recyclebar [3] -> **(D)**

GWP : 0,99 kg CO_2-Äqv. / 1 kg - 22,4 % [2] **(D)**

[2] Ökobaudat, 2021 - Werte der Phasen C2 im Vergleich quantitativ irrelevant
[1] Eine überschlägige Annäherung des aus Karamba ermittelten Wertes macht das Gewicht plausibel: ~ ca. 50m Bogenlänge x 4 Bögen x 36kg/lfm (6.5mm Hohlquerschnitt)[3] = 6 600 kg + Pfetten, Verbände usw.

Ziel der Querschnittsausnutzung : ≤ 20 %

Mit der Variante der Stahlkonstruktion wird eine Ausnutzung von

11,4 % (Zug) und 10,9 % (Druck) erreicht.
mit den angegeben Querschnitten erreicht:

Alle Querschnitte in Baustahl S 355 Rund-Hohlprofile

Bogenbinder : 20 cm / 4mm (Wandstärke)
Pfetten: 16 cm / 4mm
Verbände: 12 cm / 4mm

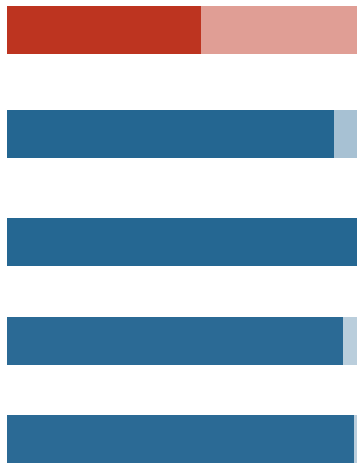
✓ Transport & Gewicht

✓ Vorfertigung

✓ Rückbaubarkeit

✓ zu erwartende Lebensdauer

✓ Rezyklierbarkeit und Wiederverwendung



[3] + 11% der Massen direkt wiederverwendbar

[3] Kamrath P. Hechler O., 2011 zn. Helmus M., 2021 et al.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Auswertung und Materialisierung

Da beide Bauweisen, eine annähernden gleichen **Vorfertigungsgrad**, sowie eine vergleichbare **Rückbaubarkeit** aufweisen, wird der Schwerpunkt einer plausiblen Materialentscheidung auf folgende, differenzierbare Kriterien gelegt:

- **Effizienz der Konstruktion**

Mit einer Querschnittsausnutzung von 10,5% bei einem Gewicht von 12 022, 35 kg, stellt das **Stahl -Tragwerk** die knapp effizientere Primärstruktur dar.

Lebensdauer

Die Lebensdauer hängt stark von der **Konstruktionsqualität,** sowie vom Standort und der Lage (innen, außen) einer Tragkonstruktion ab.
Grundsätzlich wird erfahrungsgemäß, bei der Annahme einer **gleichwertigen Konstruktionsqualität,** Konstruktionen aus Stahl eine **höhere Lebensdauer** zugemutet.

Reuse und Recycling

Die aktuelle Recyclingrate von **Baustahl** lag 2011 in Deutschland bei 99 %, in Nordamerika bei etwa 98 %.[1] In allen Materialkombinationen, zeigen Stahlbauteile als eine nahezu vollwertige Rückbaubarkeit auf. (siehe 3.2.2. [El Khouli, 2014, S.56 Tab.3.39 et al.]) Der Anteil der **direkten Wiederverwendung** liegt bei 11 % . Folglich werden **88 %** von Stahlprodukten werden für eine geschlossene Rückführung in den Materialkreislauf (cradle to cradle) **wiedergewonnen.**

[1] Kamrath P. Hechler O., 2011 z.n. Helmus M., 2021 et al.
[2] Holz bindet CO_2 im Wachstum - In den Bilanzierungen wird diese Eindämmung der Schadstoffemissionen gegengerechnet.

Umnutzung und Umfunktionierung

Reine **Stahltragwerke** erlauben zudem eine wirtschaftlich vertretbare Nachrüstung bzw. Verstärkung des Tragwerks.

Ökologische Indikatoren PEI und GWP

Mit einem PEI n.e. von 127 835,68 MJ , erreicht die **Stahlk**onstruktion (gegenüber der Konstruktion aus **Furnierschichtholz**) das um **40,21 %** ökologisch - **ressourceneffizientere Tragwerk.**
Auch im Hinblick auf **CO_2 Emissionen** stößt die Stahlherstellung zwar 0,99kg (/kg) aus, kompensiert aufgrund des Recyclings **-24 %** der Emissionen. Das hier eingesetzte Furnierschichtholz erreicht die Herstellung mit denen in Bilanzierungen, gegengerechneten **-1kg (/kg)**[2], emittiert allerdings bei der Abfallbehandlung +192 % verursacht diesen Daten zufolge daher insgesamt (Herstellung - Recycling) knapp mehr **CO_2** Ausstöße (-1 + 192 % = **+ 0,92 kg** ggü. Stahl +1 - 24 % = **+ 0,76kg**)

- **Filigranität**

In gestalterischer Hinsicht, tragen Holz und Stahltragwerke insbesondere im Leichtbau, einen strukturell anschaulichen und ästhetischen Ausdruck nach außen. Mit Stahltragwerken, lassen sich überdies, schlankere Querschnitte und Verbindungen realisieren.

Insbesondere aufgrund des für die **raum- und nutzungsflexible** Konzipierung des Projektentwurfes, ausgelegte **Primärstruktur**, soll mit der **Bauweise in Stahl,** eine längere **Lebensdauer,** erzielt werden.
Die nutzungsvariable Konzipierung der Struktur, soll zudem die mit wirtschaftlichen Nutzungen verbundene, Erhaltung der Gebäude -substanz fördern. Auch die Möglichkeiten einer Nachrüstung des Tragwerks in Stahl, kann dabei zu einer **vollwertigen Ausschöpfung** der technischen Lebensdauer verhelfen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

→Adaption der Querschnitte

Bevor eine formale Optimierung des Tragwerkmodells vorgenommen werden kann, wird eine Windlast mittels eines rechteckigen „Meshes" zugewiesen, welches mit der, mit dem Standort verbundene, im Jahresschnitt häufig zu erwartende, Windrichtung (aus West) und den errechnete Windintensität, auf den Tragkörper wirkt.

Wie erwartet sind die Windlasten, gegenüber dem Eigengewicht der relativ leichten Konstruktion, die **bestimmende Größe des Tragwerksbemessung.** (Siehe Abbildung 164/165) Sie führen zu einer Ausnutzung von bis zu **538,2 %,** was vor der formalen Adaptierung, erst nach einer erheblichen Verstärkung der eingesetzten Querschnitte verlangt. (**Abb.163**: Windlasten)

Windlasten nach ÖNORM B 1991-1-4[1]

$q_p = q_b \,.\, 1{,}20 \,.\, (z/10)^{0{,}38} = 0{,}55$ (Böenstaudruck)

$W_{e,1} = q_p(z_e) \,.\, c_{pe1} = -1{,}1\ kN/m^2$ (Winddruck außen)

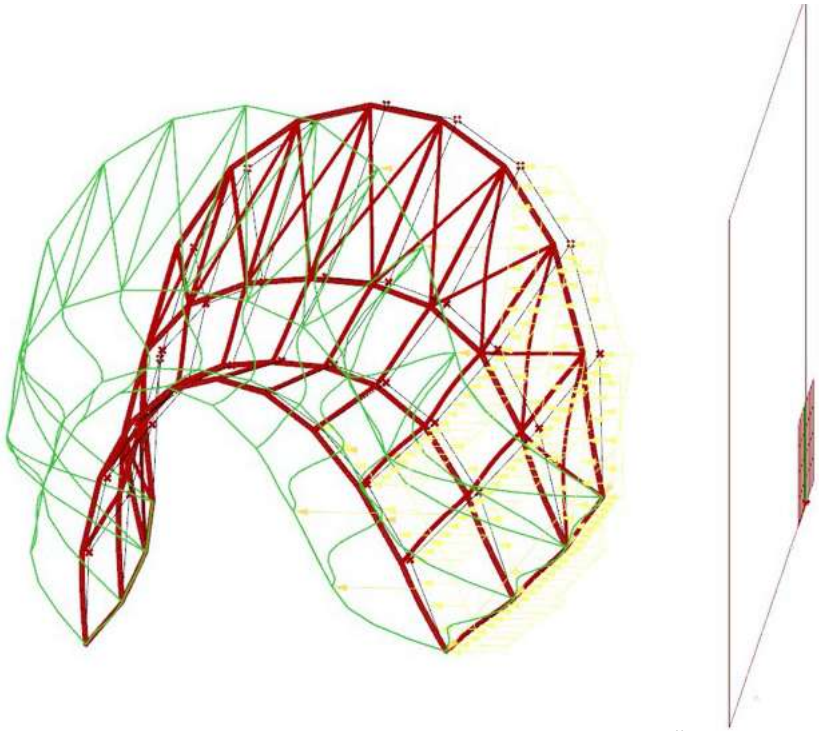


Abb.163 (MM,2021): Segment unter Windlast - Deformation

[1]ÖNORM B 1991-1-4, 2019

[1] für eine durchgehende 75° Gebäudekante ausgelegt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Beim Lastfall **Eigengewicht**, erreichen die Momente Spitzenwerte von bis zu 112 kN.m.
Die Querschnittsausnutzung beläuft sich auf zwischen **10-13 %**

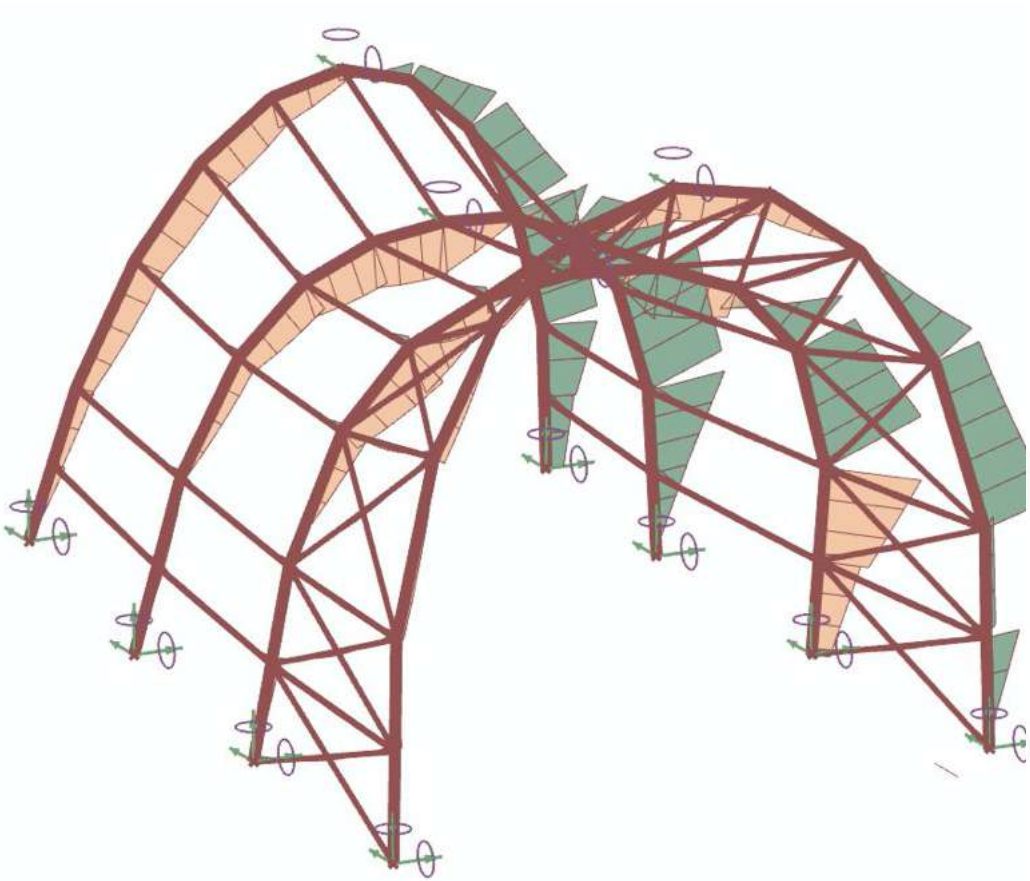


Abb.164 (MM,2021): Biegemomente im Querschnitt unter Eigengewicht

Beim Lastfall Eigengewicht und unter Aktivieren der **Windlasten** erreichen die Biegemomente bis zu **507, 15 kN.m** bei einer Ausnuzung von **-76,5% (Druck)**

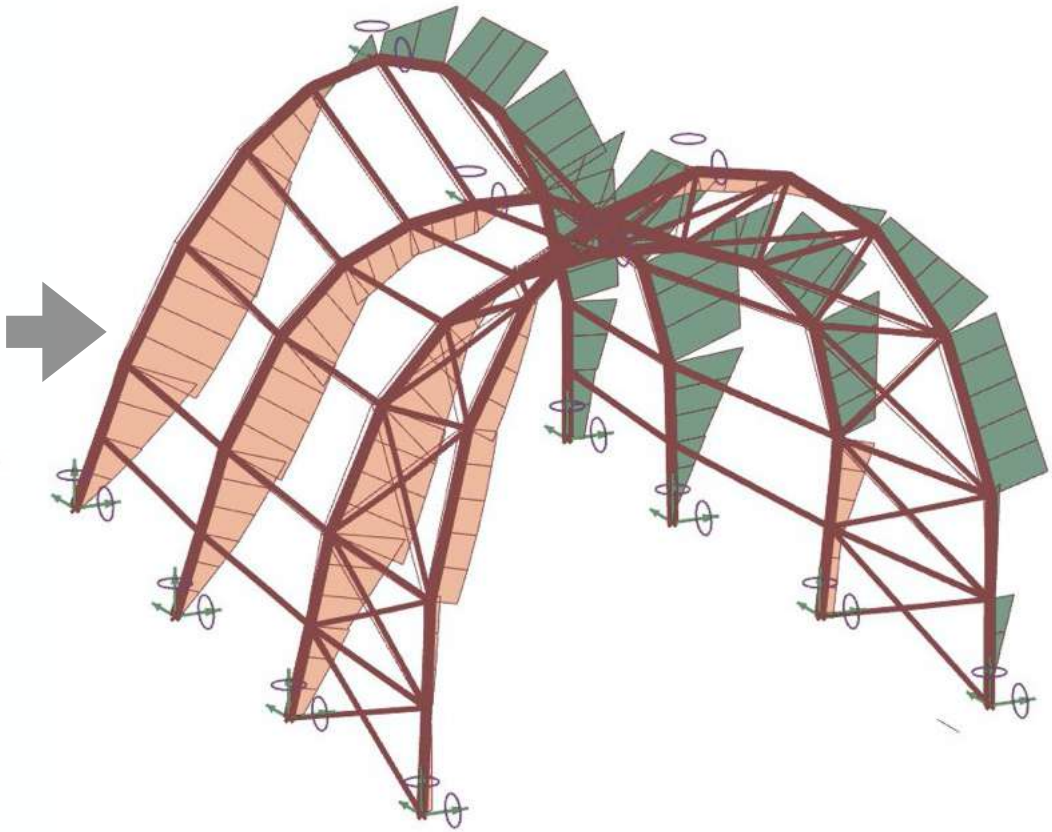


Abb.165 (MM,2021): Biegemomente im Querschnitt unter Eigengewicht und Windlast aus Westrichtung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bei einer synchronen Verfolgung der Querschnitts-Ausnutzung (dieser stellt als Indiz, die erste Größenordnung und Orientierung für den Anpassungsprozess dar) bei der mittels eines intuitiv verstellbaren Zahlenwertes die Querschnitts-Durchmesser, aller Elemente (Bögen, Pfetten, Verbände) verstellt und dem entsprechenden Ausnutzungs-Zieles (< 80 %) angenähert werden können.

Die Querschnitte, erreichen unter Annahme des stärksten Windlast-Falles (-1,1 kN/m²)[1]:

Bögen: 55 cm (Hohlprofil)
Pfetten: 42 cm (Hohlprofil)
Verbände: 12 cm (Rundstab)
eine Ausnutzung von :

-72,0 % (Druck) und **81,0 % (Zug)**

Die Schnittgrößen belaufen sich hierbei auf:

Normalkräfte: 102,62 bis -112,43 kN
Querkräfte: 95,32 bis 0,87 kN
- **Biegemomente: 0,91 bis 507 kN.m**

- Eine Evaluierung mittels der parameterbasierten FE-Schnittstelle, dient soweit lediglich als eine **erste Orientierung** für eine jedenfalls notwendige, fundiertere Bemessung der erforderlichen Tragwerks -elemente.

Die FE-Analyse zeigt, dass das **Biegemoment**, zufolge der im Falle einer einseitig, einwirkenden Windkraft, die bestimmende Bemessungsgröße wird.

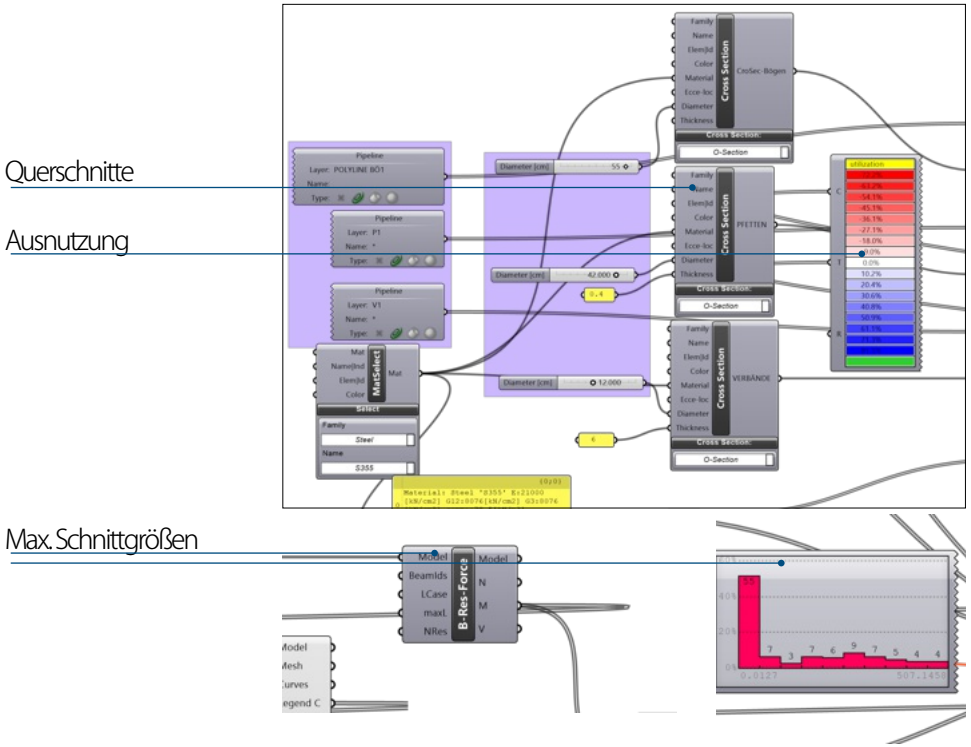


Abb.166 (MM,2021): Auszug Rhino GH mit Karamba 3D Addon, Elemente- Ausnutzung-Schnittgrößen

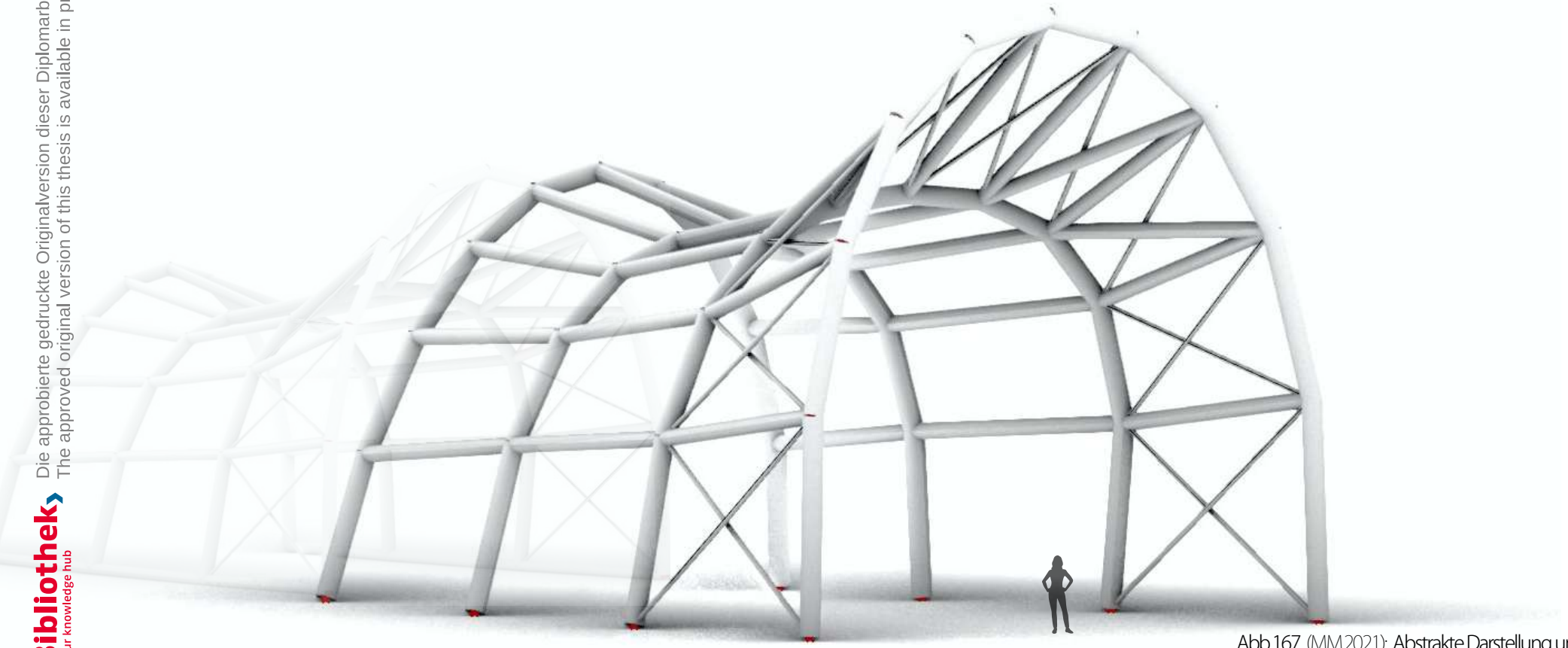


Abb.167 (MM,2021): Abstrakte Darstellung und Dimensionen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Ein weiterer Optimierungsschritt:

- Hinzufügen einer weiteren Pfettenreihe
- Querschnitts-Anpassung: Hohlquerschnitte, rund

→ Bögen: D 24 cm / 6 cm Wandstärke
Pfetten: D 14 cm / 2 cm
Verbände: D 12 cm / 3 cm

→ Gewicht: 67 580,22 kg

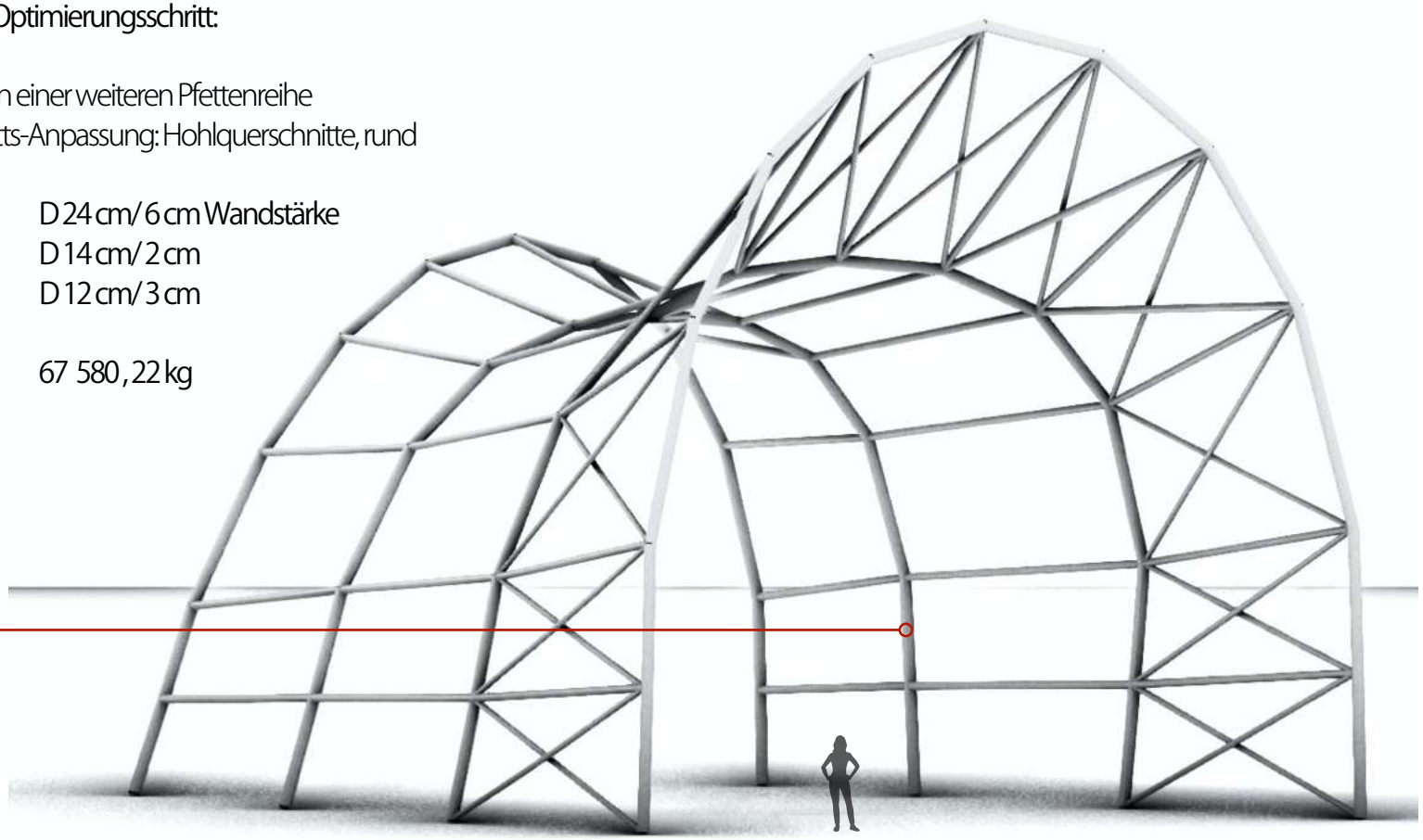


Abb.168 (MM,2021):
Biegemomente bei angepasstem Bogen

Abb.169 (MM,2021):
Schub im unteren Drittel eines „flachen" Bogens-

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Orientierende Formoptimierung

(der **Primärstruktur** hinsichtlich Trageffizienz - nach Parameter der Statik)

Betrachtet werden die Biegemomente um die **My-Achse**, welche einen Maximalwert von **526 ,27 kNm** aufweisen.

Die Querschnitte weisen eine Ausnutzung von
-75,5 % (Druck) und 75,6 % **(Zug) auf.**

Betrachtete Größen:
Schnittkräfte (Biegemoment), Ausnutzung, Biegespannung

An den Belastungsspitzen erfolgt sodann die Verschiebung der Bogenpunkte. (2.Bogenreihe)

Die Extremwerte der Biegemomente, befinden sich an den untersten Feldern, der mittleren Bogenreihen. Dies lässt sich, auf die mit einer „flacheren" Form ausgebildeten **Bogengeometrie** zurückführen, die zum Boden hin einen stärkeren **Horizontalschub** herbeiführt und daher ein stärkeres Biegemoment bedingt.

Zum Zwecke des korrekten Inputs, in die FE-Schnittstelle, ist der Bogen als Polylinie angenähert. Die Ausgabewerte, folgen allerdings der tatsächlichen Bogenform und kommen den tatsächlichen Biegespannungen nahe.

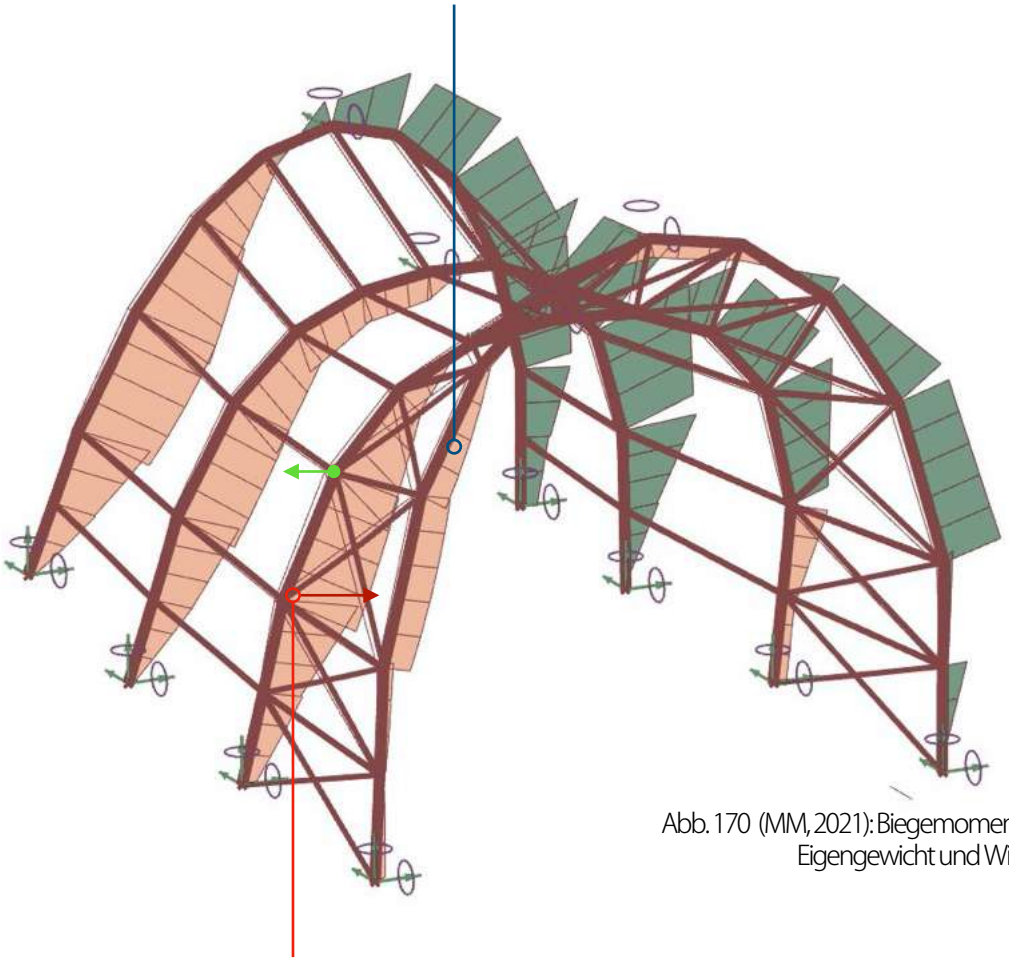


Abb. 170 (MM, 2021): Biegemomente bei Eigengewicht und Windlast

Die niedrigeren Bogen im Inneren zeigen aufgrund des stärkere Horizontalschubs höhere Druck und Zugspannungen auf, als der höhere Bogen in der vordersten Reihe.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Eine Verschiebung der Kontrollpunkte, an den Momentspitzen, der zweiten Bogenreihe, zeigt eine Verbesserung der Werte von

526 kNm auf —> **507 kNm** (in nur **einem Bogen**)
(-3,7 %)

Eine Adaption aller betroffenen Bogenpunkte, führt den Ausgabe-Werten der FE-Analyse nach, zu einer **geringfügigen Senkung** der Biegemoment - Spitzenwerten. Die Adaption aller Bögen, führ also insgesamt zu einer deutlichen Verringerung der maximalen Biegemomente .

➡ Eine solche Optimierung des Bogenverlaufes (nach Windlasten), ist aus Gründen der tatsächlichen Standortbedingungen nur in geringfügigem Ausmaß sinnvoll, da der Extremfall der Windlasten (-1,1 kN/m²) nicht die permanente Belastung darstellt.

➡ Die Werte der **Querschnittsausnutzung** zeigen keine Differenzen. Das führt zur Annahme, dass die angepasste Bogenform, lediglich zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Druckspannungen im Querschnitt geführt hat und so zB. die stärkere Ausbildung des Bogenquerschnitts im unteren Bereich - zum Anlauf in den Fußpunkt hin- (Siehe als Vgl. 4.2. Projekt in Cebu[1]) reduziert bzw. generell überdacht werden kann.

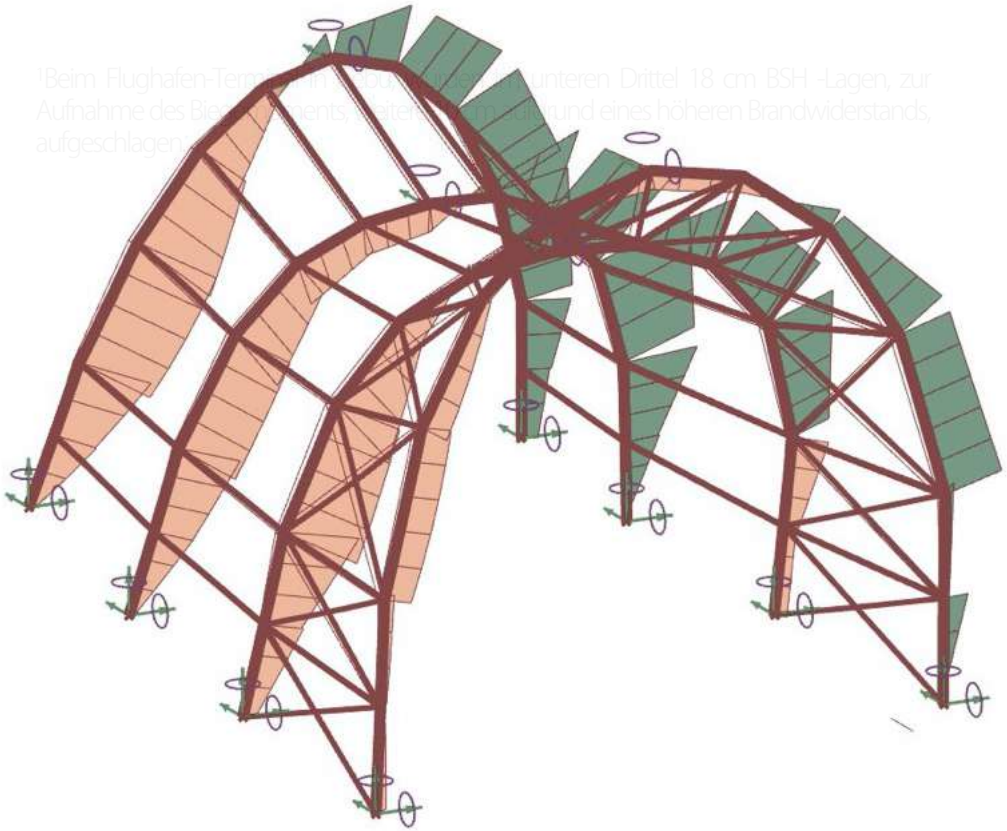


Abb. 171 (MM, 2021): Biegemomente bei Eigengewicht und Windlast

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Resümee

Materialgegenüberstellung

Die Materialgegenüberstellung hat gezeigt, dass die verglichene Primärstruktur in Stahl eine geringfügig leichtere (- 5,3 %) Konstruktion ergibt. Der mit dem Gewicht des untersuchten Segments, verbundene Transportaufwand, kommt, entgegen der in der Praxis häufig verbreiteten Annahme von „schwereren" Stahlbauteilen, in beiden Materialien einander sehr nahe.

Des Weiteren zeigt die Stahlkonstruktion, im spezifischen Entwurf und unter Belastung durch das Eigengewicht, einen um **40 %** geringeren Energieaufwand durch **nicht erneuerbare Energie** in der Herstellungs -phase (A1-A3). Allgemein beläuft sich zudem die Rezyklierbarkeit von Stahlbauteilen in Deutschland (Als Vergleichswert) auf **99%**, wodurch die aufgewandten Energiemengen sich über eine nachhaltige **Wieder -verwendung** der rückgebauten Konstruktion (11 %), sowie über eine **Rückführung in den Materialkreislauf (88 %)**[1] relativiert. Furnierschichtholz erreicht den Datensätzen[2] zufolge ein Recyclingpotenzial von **- 62,8%** der aufgewandten Energie (PEI n.e.)

Das verwendete Furnierschichtholz, welches wie Holzwerkstoffe grundsätzlich schon im Wachstumsprozess CO_2 bindet, erreicht die Herstellungsphase mit einem Treibhauspotenzial von -1 kg CO_2 - Äquiv.,(Bezug : 1kg) emittiert aber im Zuge der Abfallbehandlung **+192 %** dieses Wertes.
Stahlprofile stoßen im Zuge der Herstellung **0,99 kg** des CO_2 -Äquiv. (pro 1 kg) aus, die sich wiederum am Ende der Lebensdauer durch ein **Recycling** um **22,42 %** kompensieren.

[1] Kamrath P./ Hechler O.,2011 et al.
z.n. Helmus M. et al.

Insgesamt zeigt die **Stahlkonstruktion** das geringfügig leichtere, bzw. dem Holztragwerk nahekommende Gesamtgewicht des betrachteten Segments. Zudem dankt die Konstruktion in Stahl, aus ökologischer, sowie aus ökonomischer Sicht durch eine besonders hohe Lebensdauer, als auch durch ein nahezu vollständige Rückgewinnung der Materialien (**11 % Wiederverwendung - 88 % Sammelrate)** der Bauelemente.

Orientierende Optimierung der Tragstruktur

Die Bogenbinder stellen gegenüber anderen Hallenbausystemen, eine effiziente Tragstruktur dar. Eine Adaptierung des Bogenverlaufes, unter Einbezug statischer Parameter legt einen geringfügigen, allerdings deutlichen Ermessensspielraum dar, in dem die **Effizienz der Struktur,** nach spezifischen Größen, verbessert werden kann. Mithilfe des FE-Tools gelingt eine überschaubare, intuitive Formadaption bei einer simultan laufenden Analyse des digitalen Modells.

Die Anpassung der Primärstruktur, muss allerdings mit raumfunktionalen, sowie gestalterischen Paradigmen erwogen werden. Insgesamt, können in Anbetracht, der heutzutage einsetzbaren Leistungsfähigkeit von Stahlprofilen, Belastungsspitzen durch Biegemomente und dergl. speziell in diesem Entwurfsbeispiel, bei gleichzeitig relativ geringen Materialmassen, problemlos widerstanden werden.

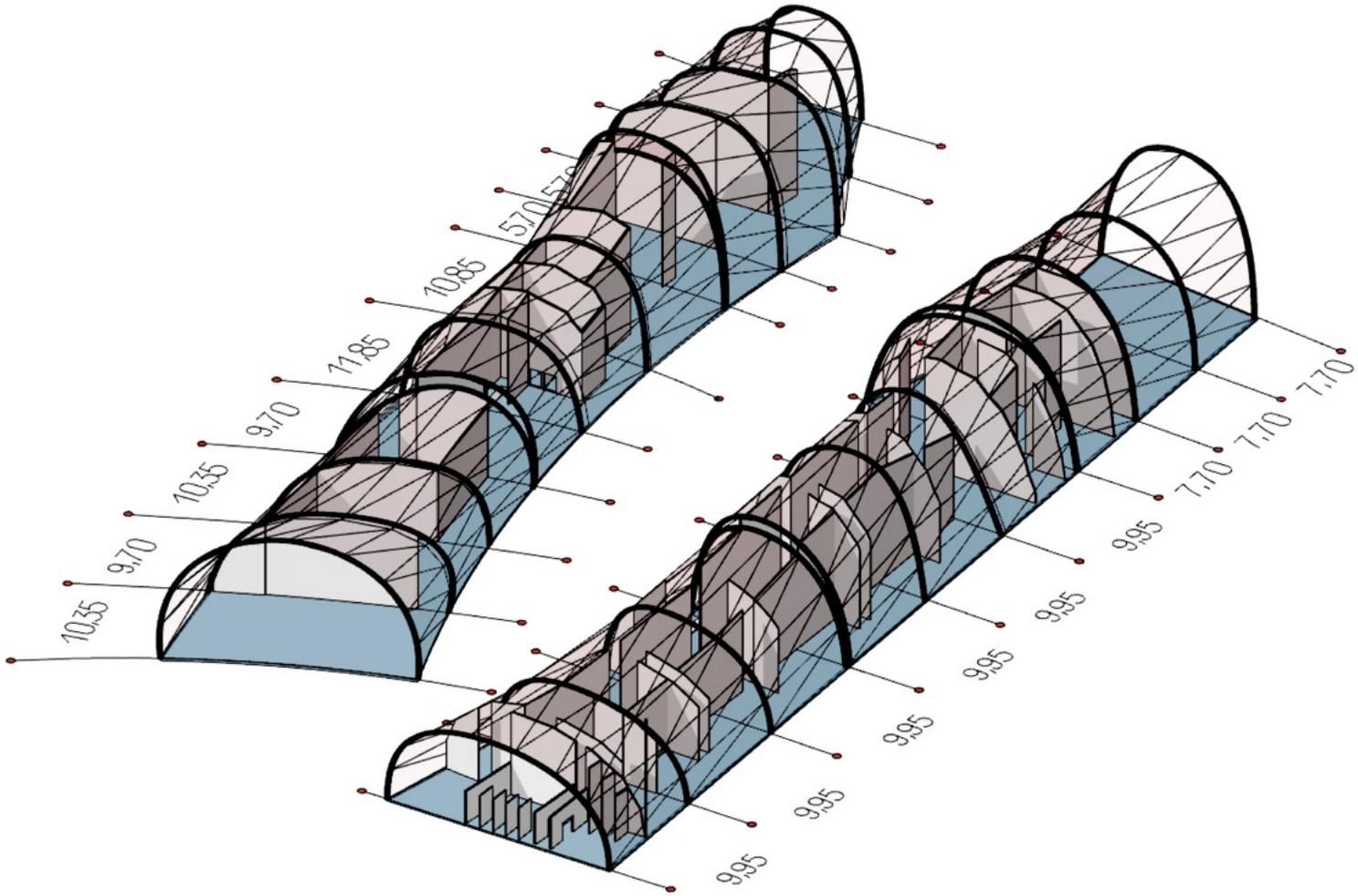
Aus diesen Gründen, beläuft sich die Form-Optimierung der Primärstruktur, einerseits auf eine statisch zweckmäßige Überprüfung, der mit der Tragstruktur resultierenden Reaktionskräfte, sowie auf geringfügige, punktuelle Adaptionen. (siehe S. 171/172)

[2] (ÖkoBaudat , 2021)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7.4. Technische Flexibilität

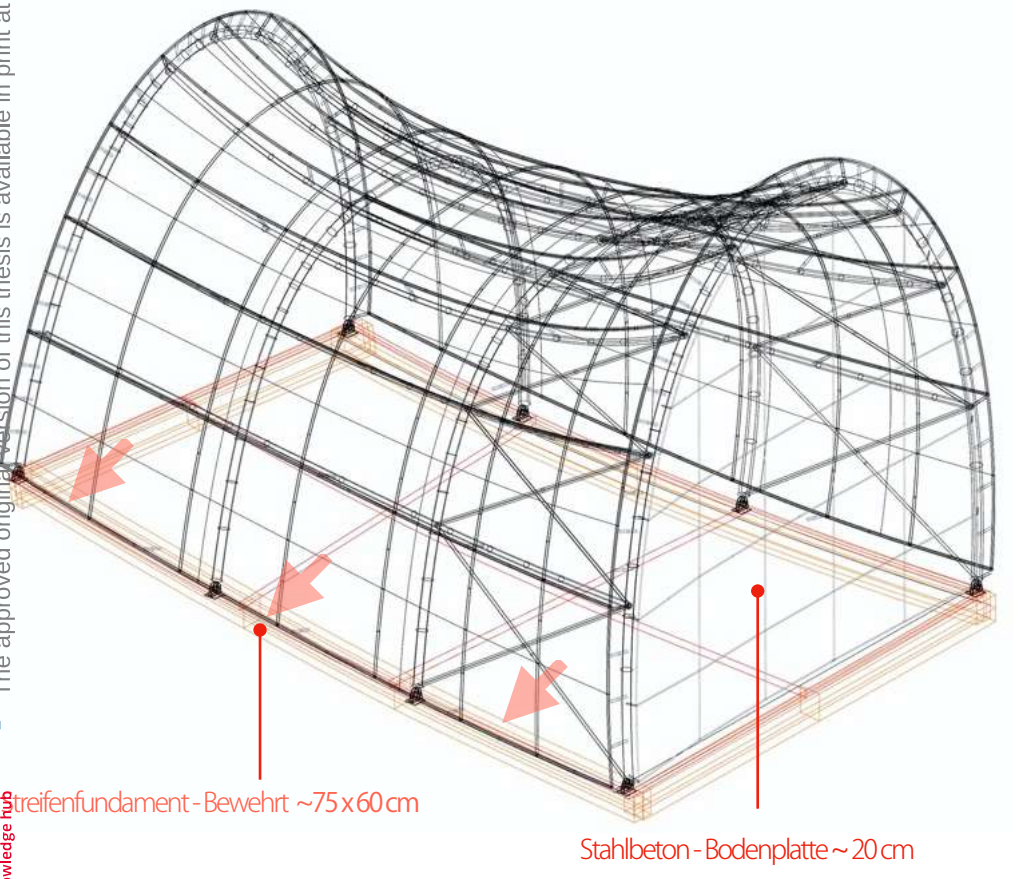
7.4.1. Bausystem und Bauweise



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

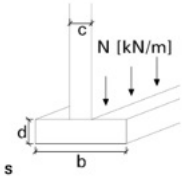
• Fundierung

Aufgrund der Lasteinleitung entlang den Rändern des Bauwerks, über die Auflager an den Fußpunkten, kommt ein bewehrtes Streifenfundament zum Einsatz. Dieses nimmt zusätzlich zu den Vertikallasten, den Horizontalschub der Konstruktion auf auf.



[1] Auszug Bemessungstab.: Institut für Architekturwissenschaften-Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau-TU Wien,2015
[2] Baustatik Wiki, 2021 et al. und Pech A. ,2005,S.78

4.5.2 Abmessungen für Streifenfundamente (C20/25)



$$b \geq \frac{1{,}2 \cdot N}{zul\sigma_B} \geq 0{,}5\ m$$

Ausführung mit Beton C20/25, unbewehrt: $d \approx 0{,}6\,.\,(b-c) \geq 0{,}5\ m$

Ausführung mit Beton C20/25, bewehrt: $d \approx \frac{b-c}{6} \geq 0{,}5\ m$

Abb. 172.1.[1] Bemessung Streifenfundament

Gesamtgewicht des Segments : 675,80 kN

675,80 / 2 = 337,9 kN (Last auf einem Fundamentstreifen)
337,9 / 28,11 = 12,02 kN/m (Umrechnung in Linienlast)

zul. σ_b = 120 -350 kN/m (Bodenpressung bindige Böden)

Auflageplatte des Gelenklagers (0,65 x 0,65m) -> b = 0,75 m (Breiter als Platte)
b ≥ 1,2 . 12,02/ 150 kN/m² = 0,096 m -> min. 0,5 m -> **b = 0,75 m**
d ~ b - c / 6 = 0,75 - 0,65/6 = 0,016 -> min. 0,5 m -> **d = 0,5m** (c = 0,65 m)

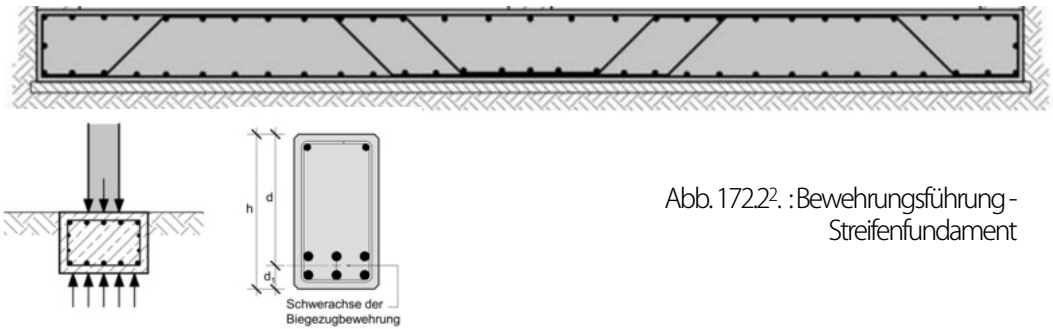


Abb. 172.2[2]. : Bewehrungsführung - Streifenfundament

Abb. 172 links (MM, 2021): Fundamente im 3D Modell

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- Aufstellen der Bögen

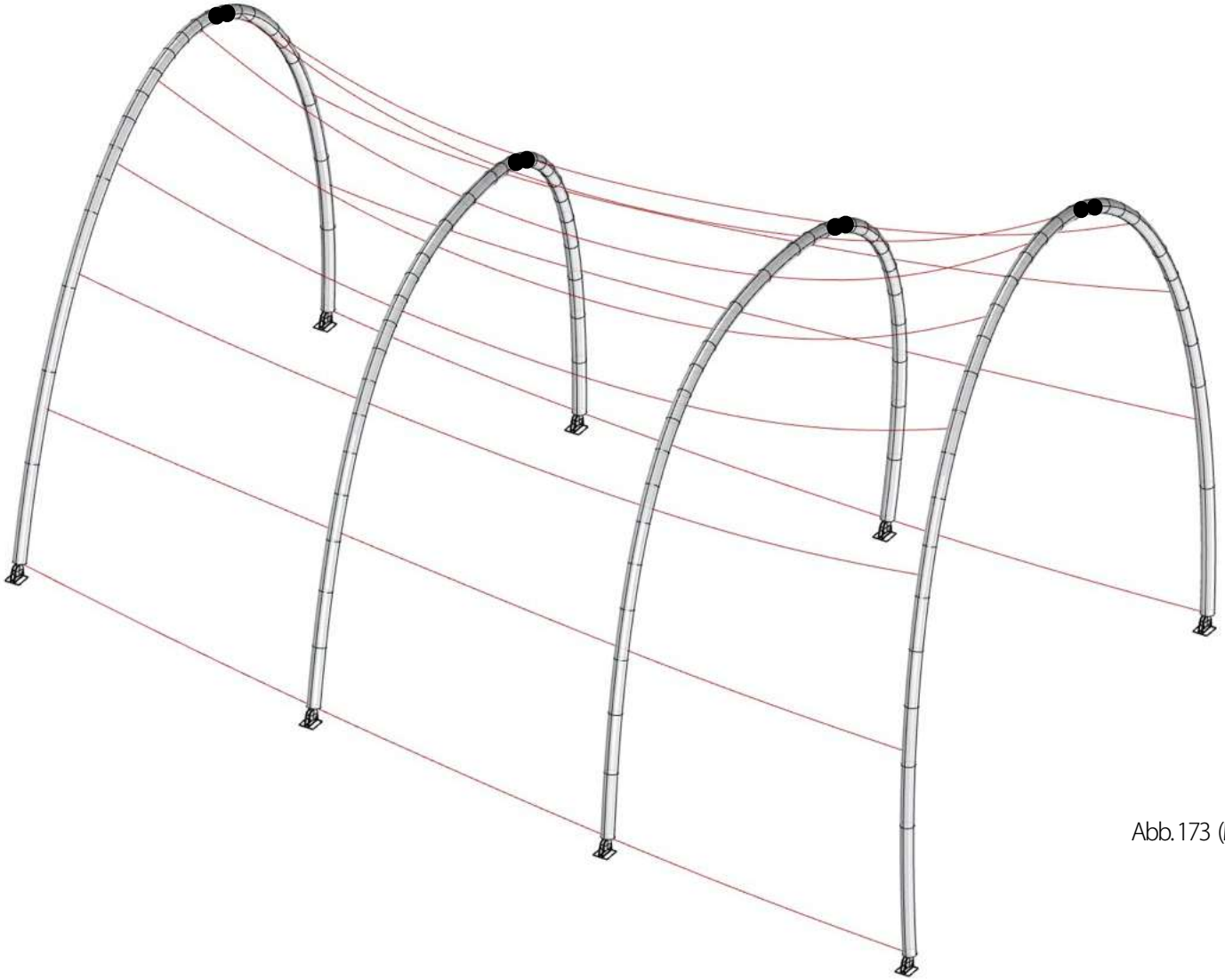


Abb. 173 (MM, 2021): Setzen der Fundamente

- Anbringen der Pfetten, auf den Bögen gelagert - Schraubverbindung

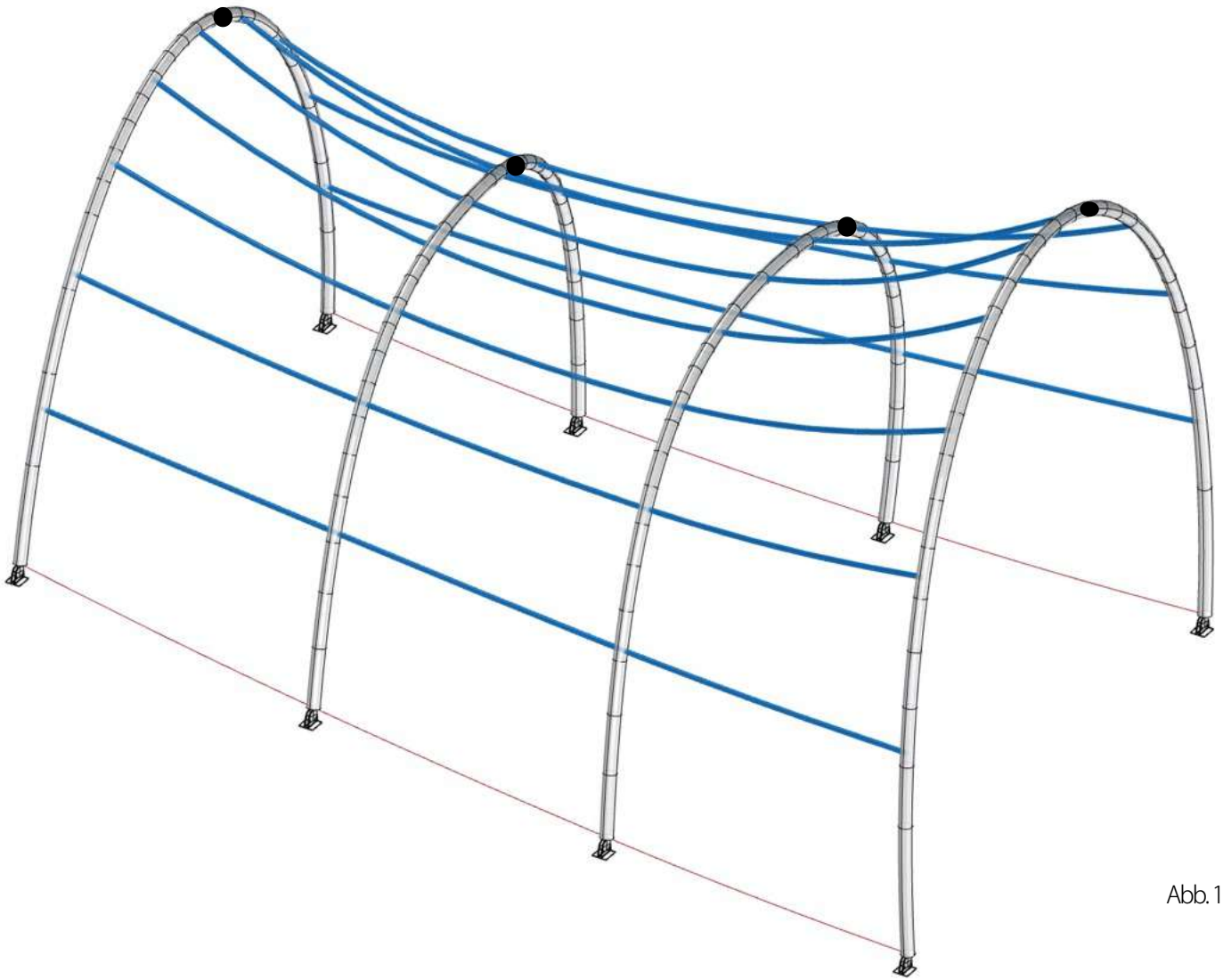


Abb. 174 (MM, 2021): Pfetten-Befestigung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

- Aussteifungs- Verbände

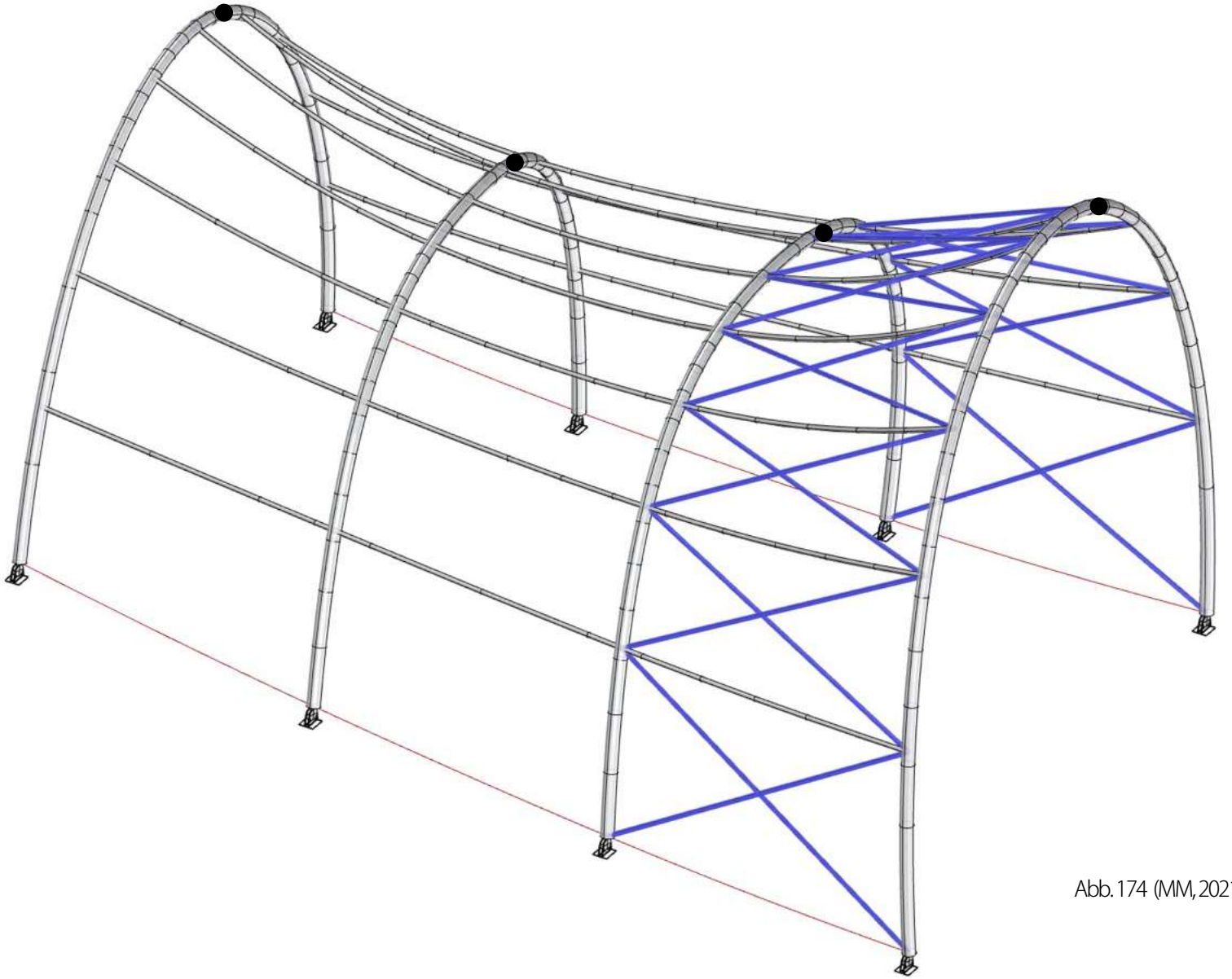


Abb. 174 (MM, 2021): Verbände - Aussteifung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- Querverbindungen zur Fassadenunterkonstruktion

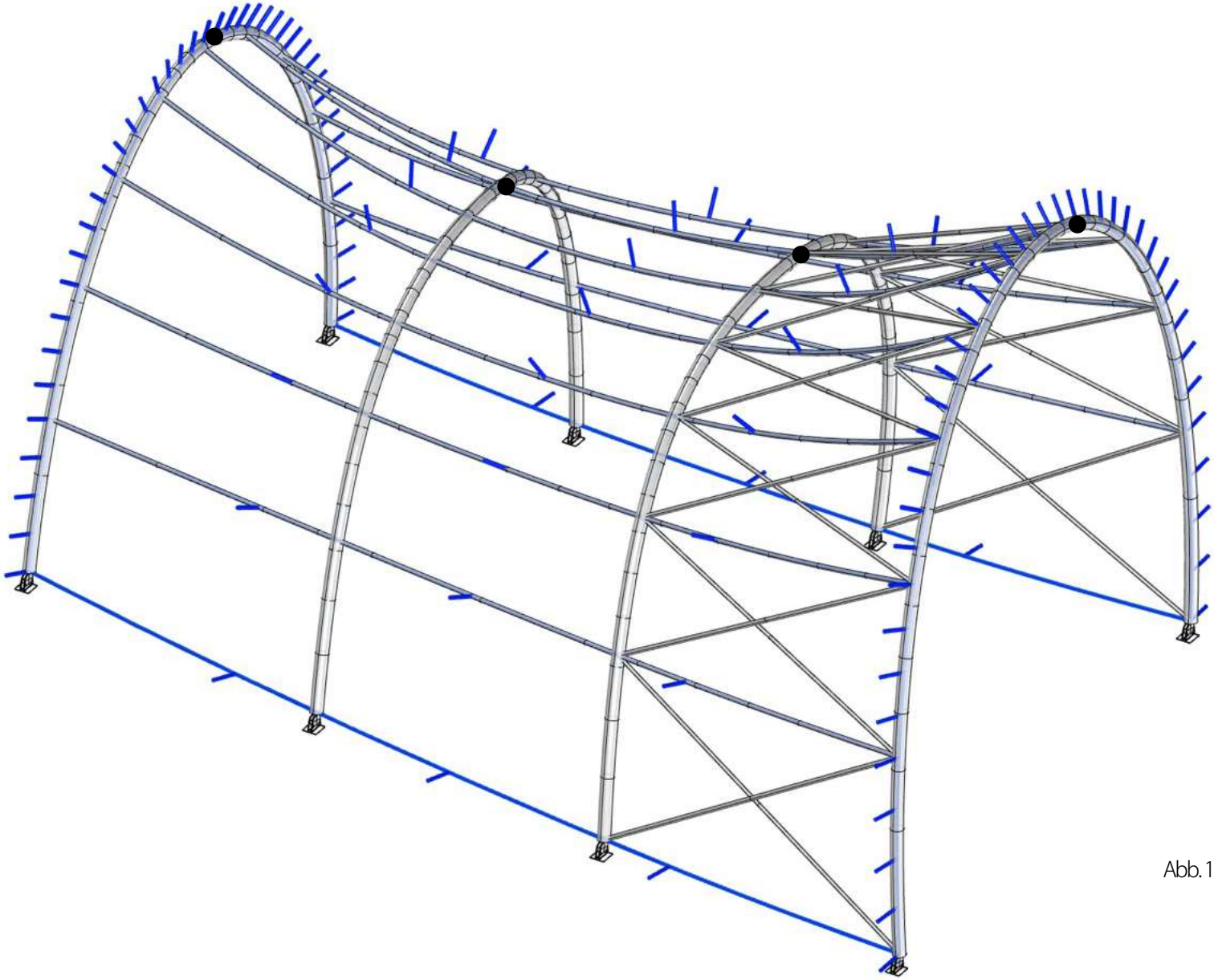


Abb. 175 (MM, 2021): Querprofil für Fassadenunterkonstruktion

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- Unterkonstruktion - Dämmung : Hartfaserplatte 10 mm mit gleichzeitiger Schalldämm - Funktion
- Dampfbremse innenseitig

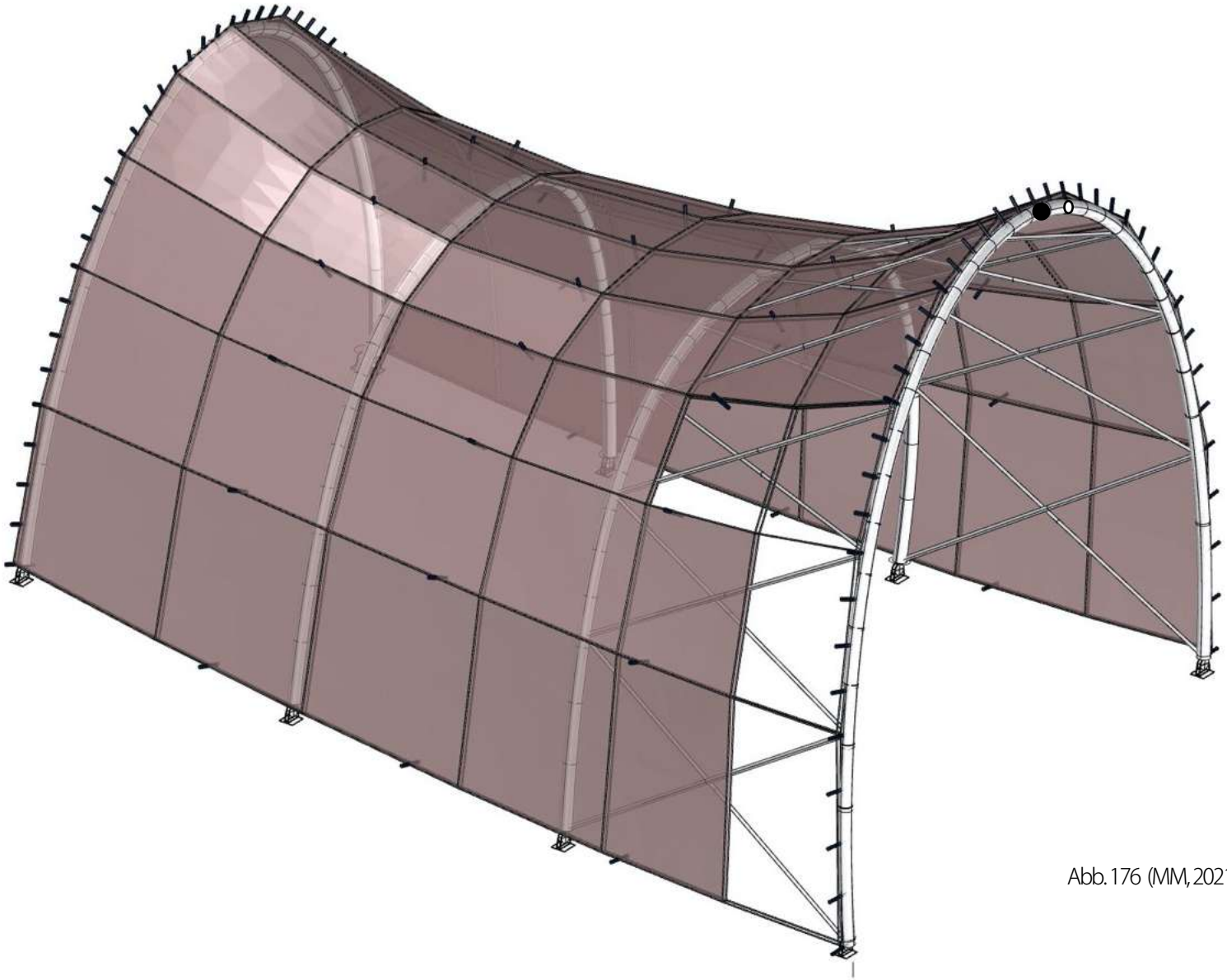


Abb. 176 (MM, 2021) : Unterkonstruktion Dämmung und Schalldämmung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- Dämmung - Einbringen der Dämmpaneele
- Winddichtungsbahn und Unterspannbahn (wasserabweisend)

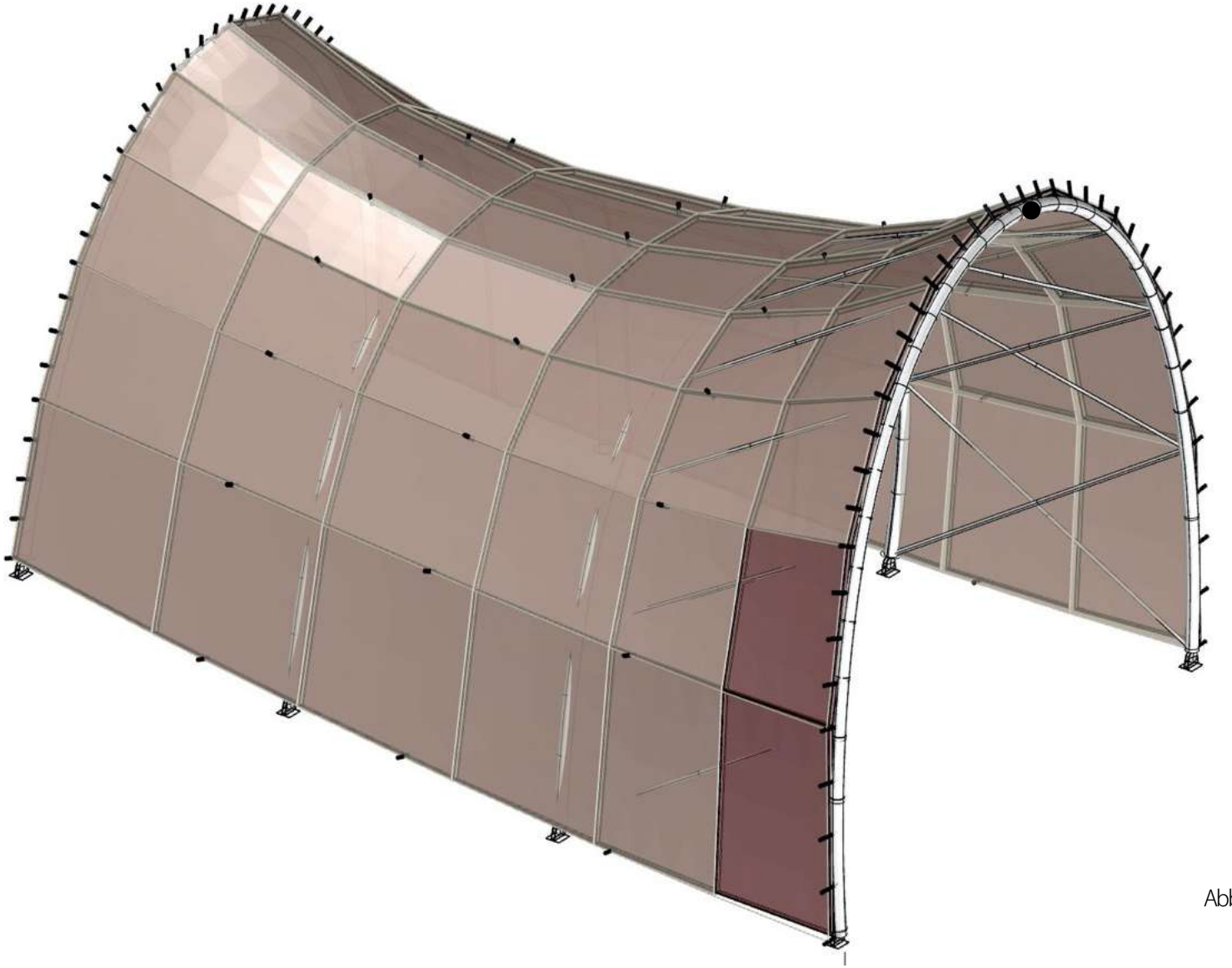


Abb. 177 (MM, 2021): Dämmebene

- Unterkonstruktion Fassade - verbunden mit Pfetten über Querprofil

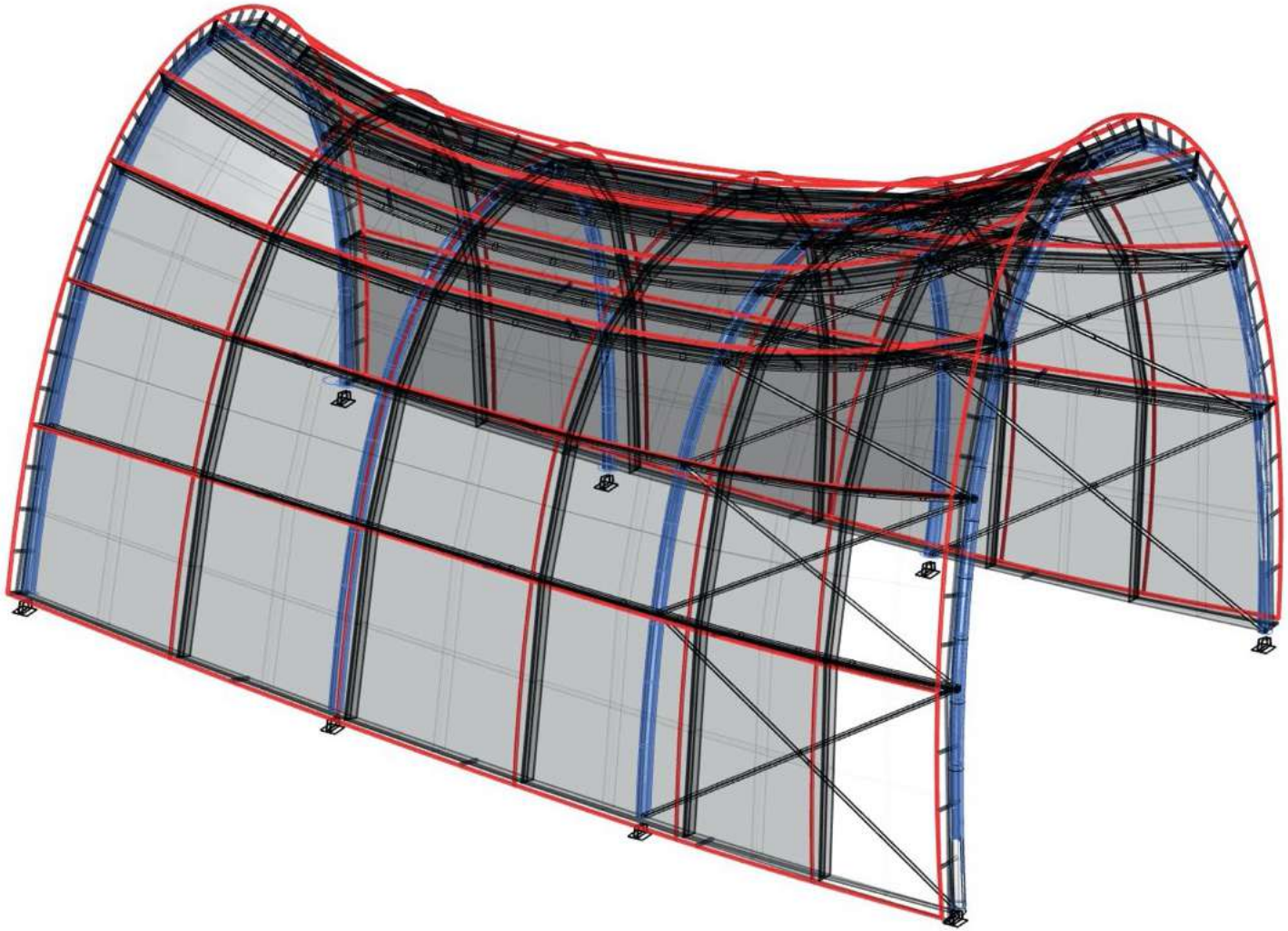


Abb. 178 (MM, 2021) : Fassade -UK

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- Einbringung Fassadenplatten - Faserzement

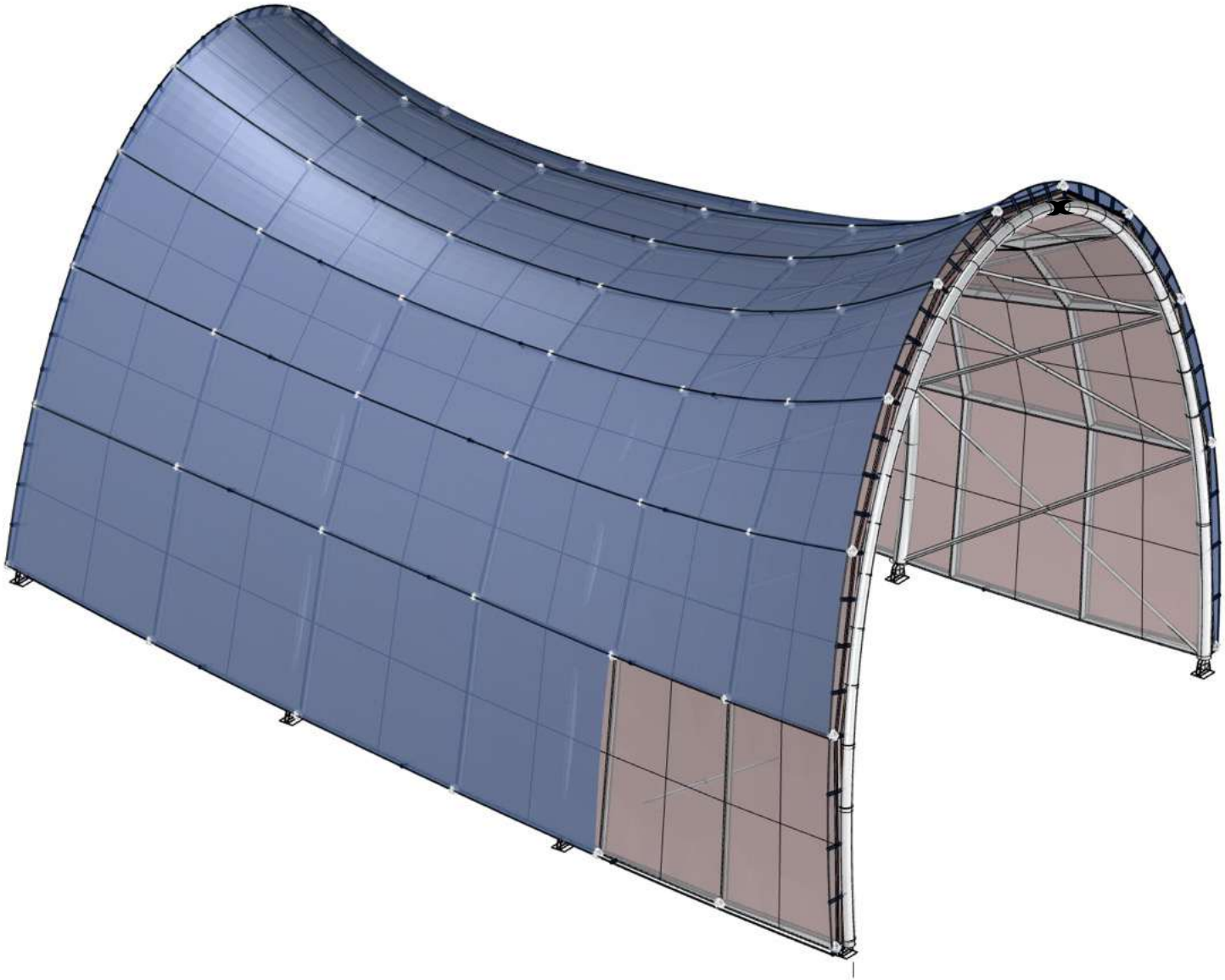


Abb. 178 (MM, 2021): Hülle

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 179 (MM, 2021) : Gesamtansicht offen

- Glasfassade Frontseite - Unterkonstruktion

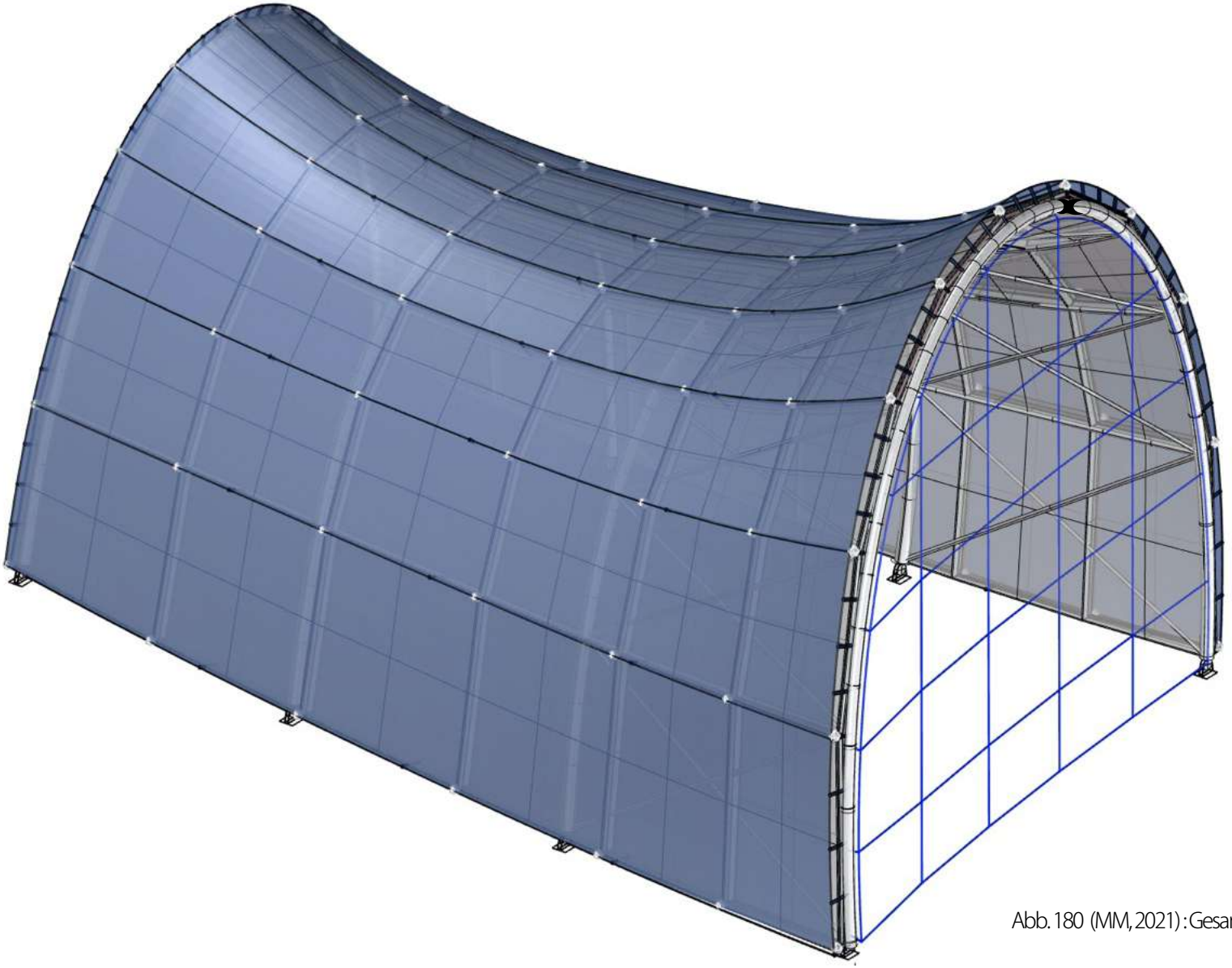


Abb. 180 (MM, 2021) : Gesamtansicht mit Frontseite -UK

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- Glasfassade Frontseite - Isolierverglasung

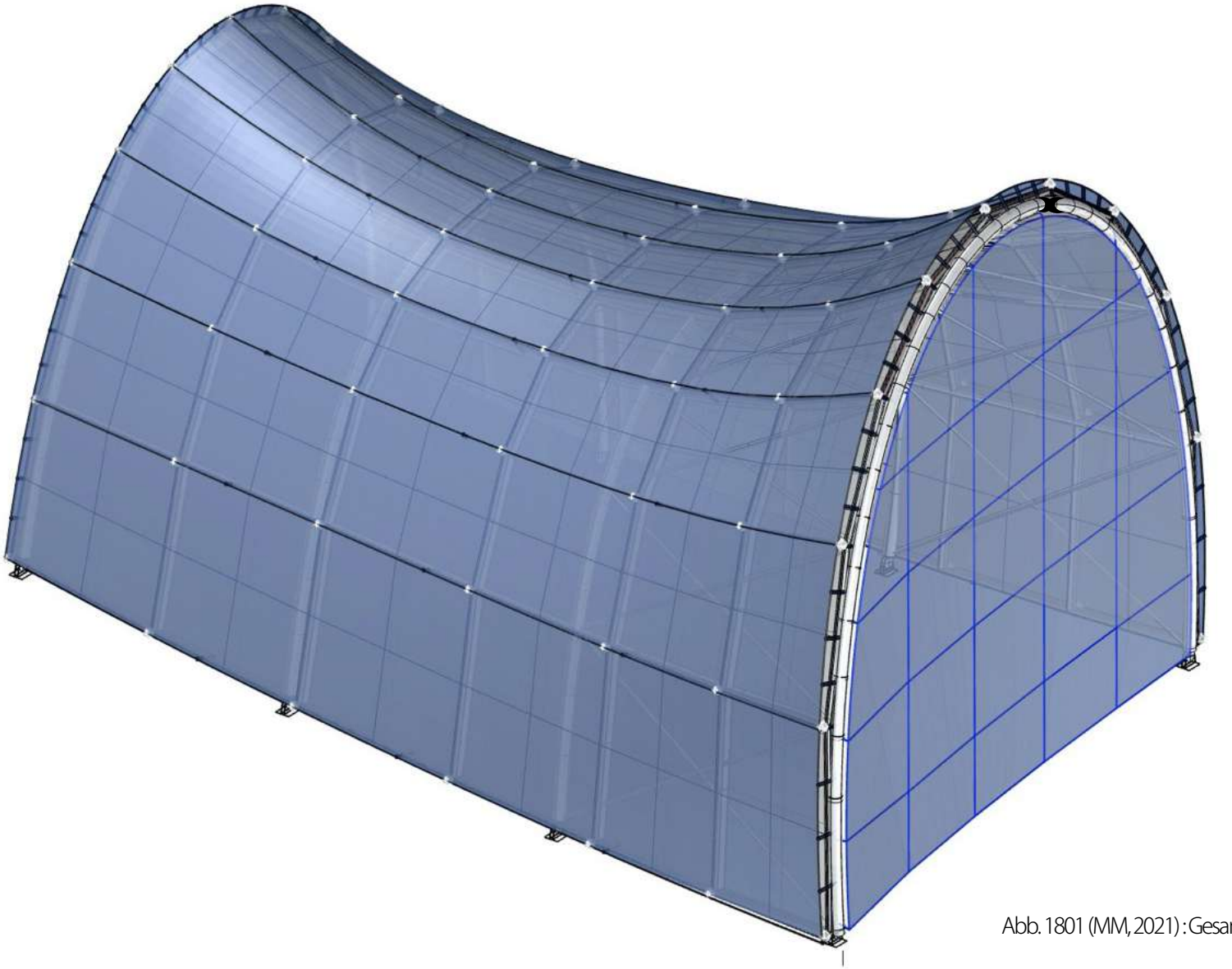


Abb. 1801 (MM, 2021) : Gesamtansicht mit Frontseite -UK und Hülle

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

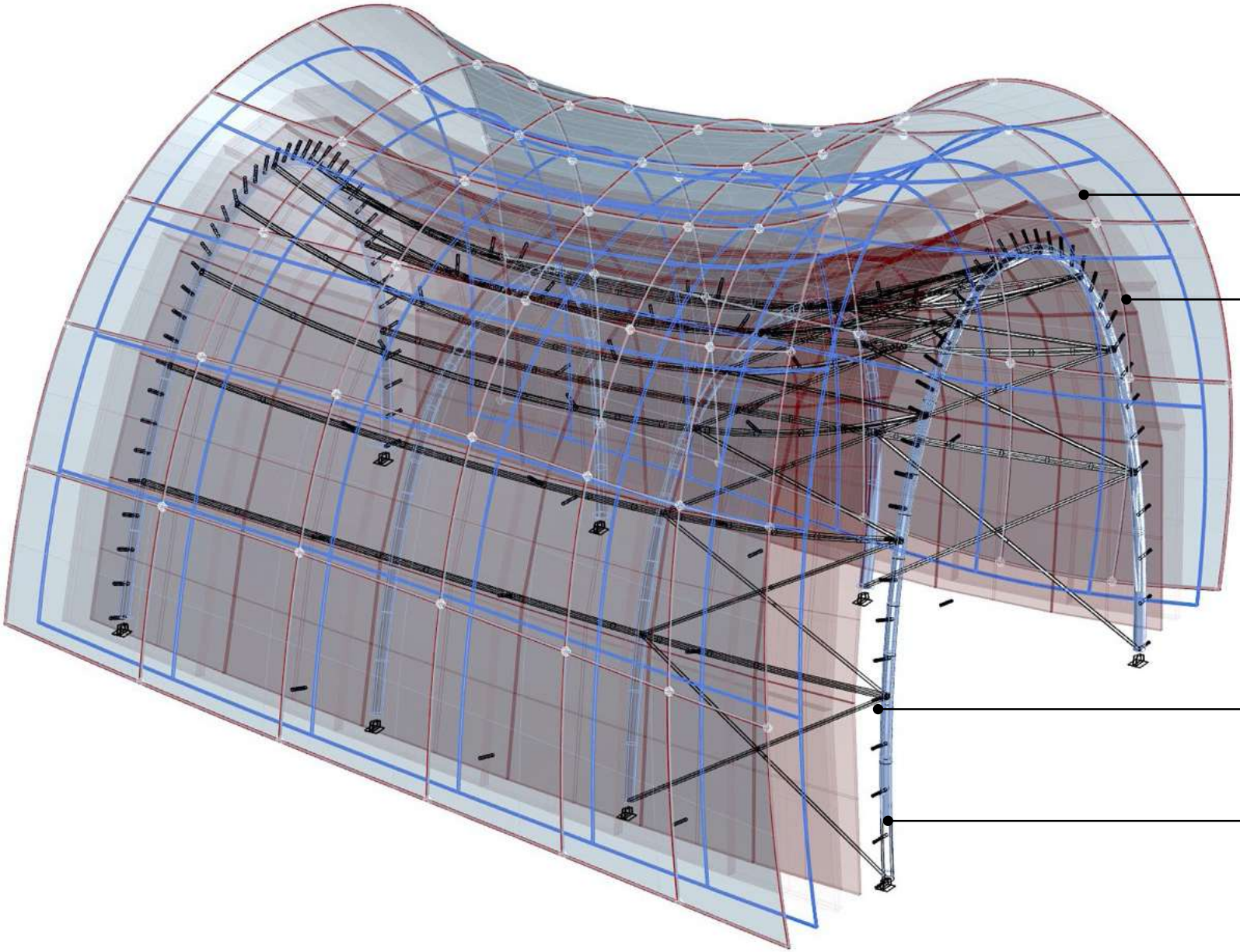


Abb. 181 (MM, 2021) :
Gesamtkonstruktion

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

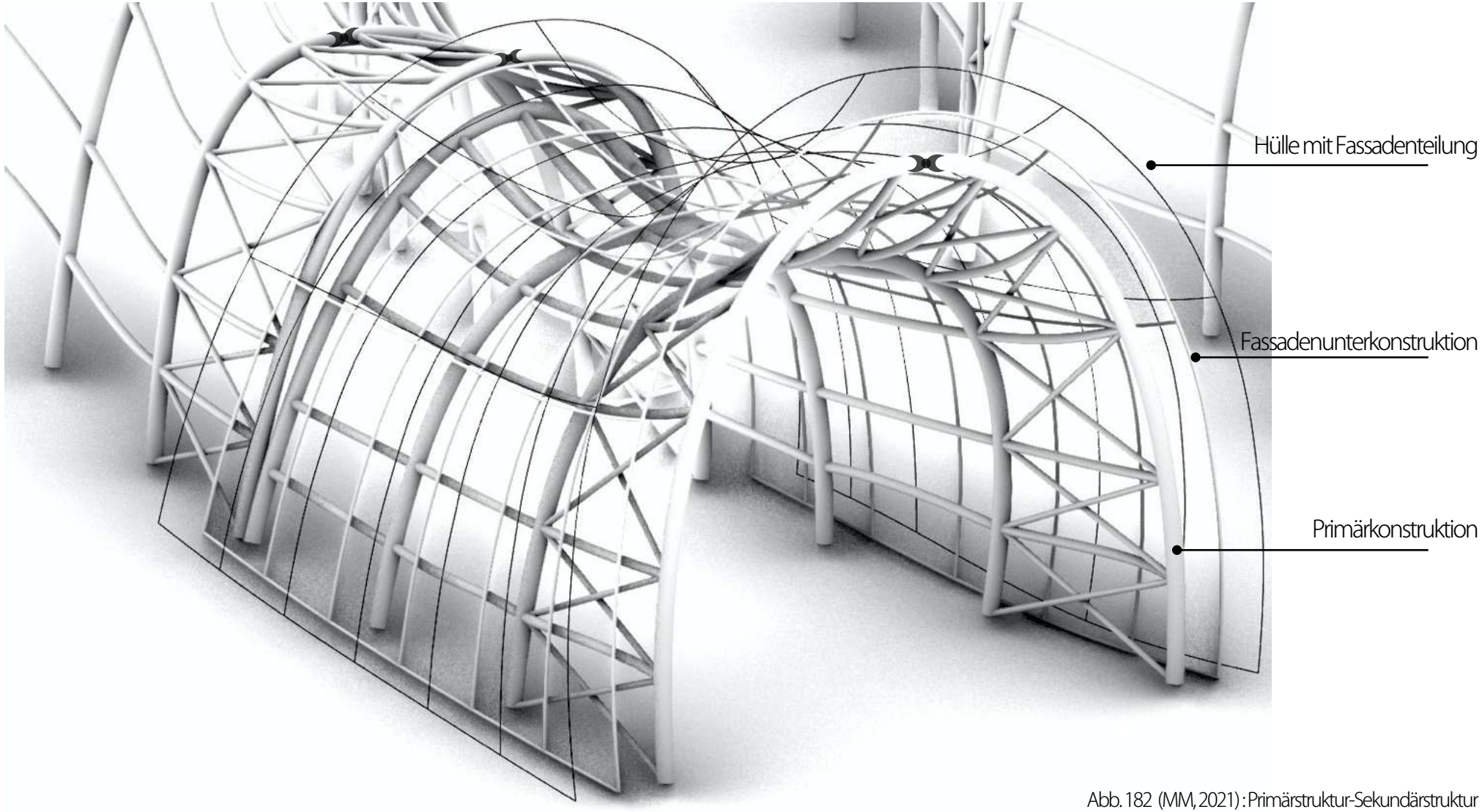


Abb. 182 (MM, 2021) : Primärstruktur-Sekundärstruktur

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7.4.2. Gesamtkonstruktion
Schnitte und Ansichten, Darstellungen und Pläne

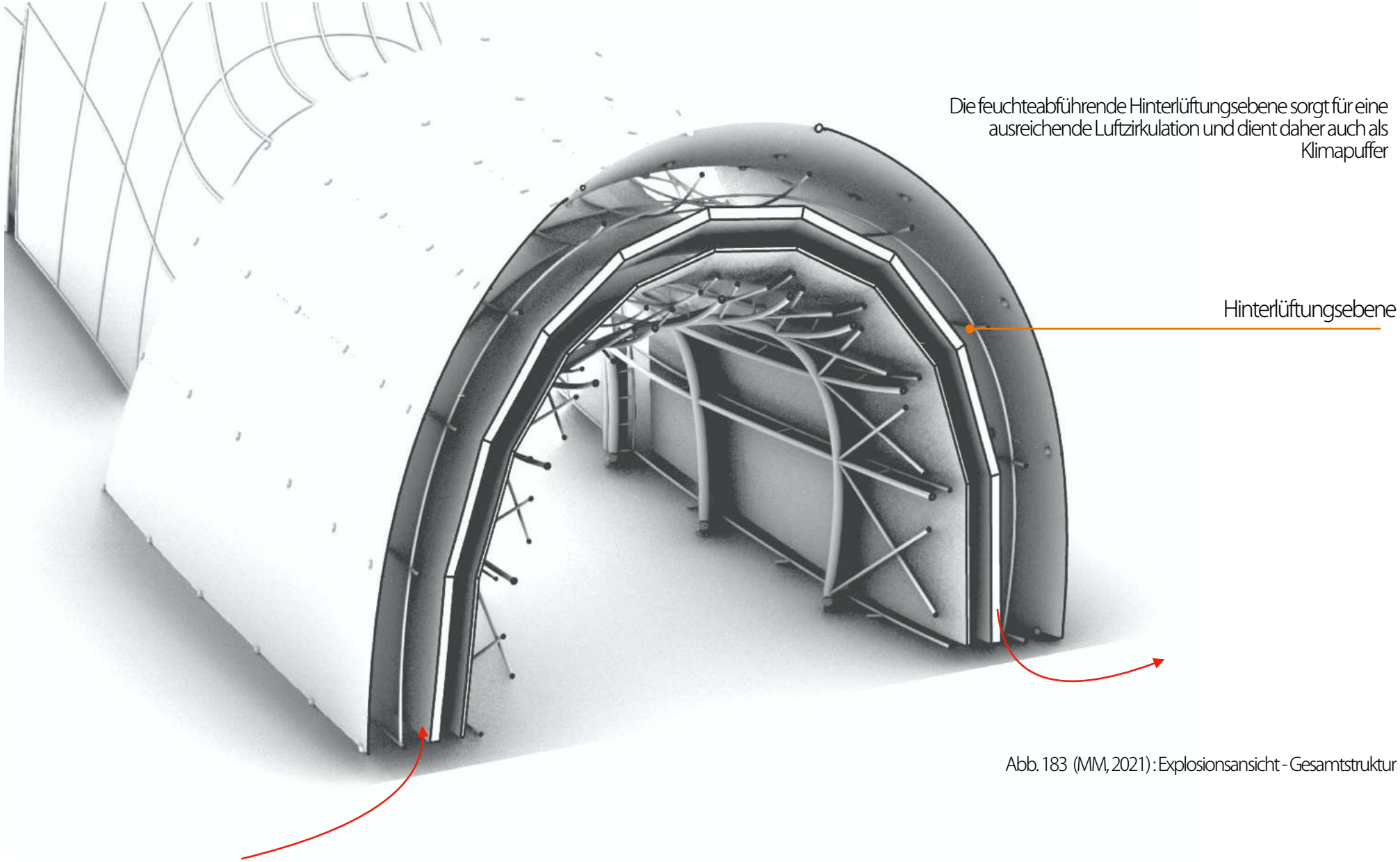


Abb. 183 (MM, 2021) : Explosionsansicht - Gesamtstruktur

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 184 (MM, 2021) : Süd-Ansicht

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1 Fassadenaufbau

Faserzementplatten 8 mm
Sekundärstruktur Winkelstahl 60 x 60 x 6mm
-mit Korrosions und Brandschutzbeschichtung R 180
Hinterlüftung 300 mm
Unterspannbahn - wasserabweisend
Winddichtungsbahn
Mineralwolle 100 mm
Mineralwolle 60 mm
Hartfaserplatte 12 mm
Dampfbremse
Primärstruktur - Hohlprofil Stahl
-Starkwandrohr Ø 240 mm x 60 mm
-mit Korrosions und Brandschutzbeschichtung R 180

2 Primärstruktur

Hohlprofil - Starkwandrohr Ø 140 mm / 20 mm
-korrosions- und brandbeschichtet R180

3 Transparente Fassade

Dreifach-Sonnenschutzverglasung - Blau
Eine Scheibe beschichtet
VSG 6 - 12 SZR - 6 - 12 - 6
Argonbefüllung

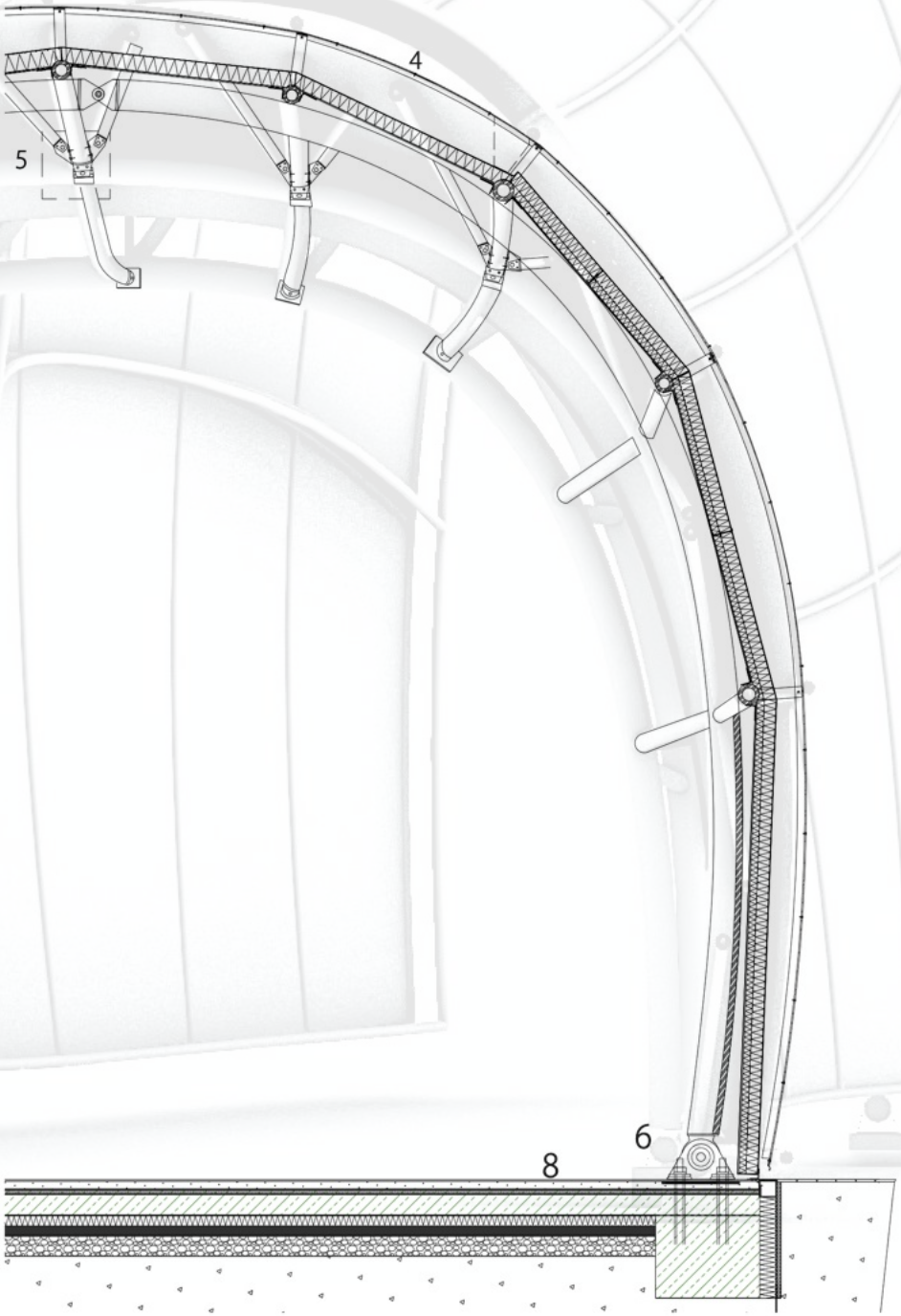
7 Entwässerungsrinne

9 Sprinkler

Leitungen im Luftraum geführt

Abb. 185 (MM, 2021) : Schnitt durch die Westhalle
Maßstab 1:50

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN



1 : 50

Abb. 186 (MM, 2021) : Schnitt durch die Westhalle
Maßstab 1:50

4 Dachaufbau

Faserzementplatten 8 mm
Hinterlüftung
Dachdichtungsbahn
Bitumenanstrich
Dämmung Foamglas 120 Kaschierung
selbstklebend
Hartfaserplatte 12 mm

5 Aussteifung - Primärstruktur

Stahl Hohlprofil - Starkwandrohr Ø 120 mm / 30 mm
Auflagerung auf Pfette - Schraubverbindung

6 Gelenkiges Auflager

Stift Ø 70 mm
Fußplatte 650 x 650 mm

8 Bodenaufbau

20 mm Fliesenbelag im Dünnbett
70 mm Estrich
- PE Trennschichtfolie
40 mm Trittschalldämmung
20 cm Stahlbeton Fundamentplatte
-PE Folie
Abdichtung
10 cm Perimeterdämmung XPS
8 cm Sauberkeitsschicht
- Filtervlies
15 cm Rollierung

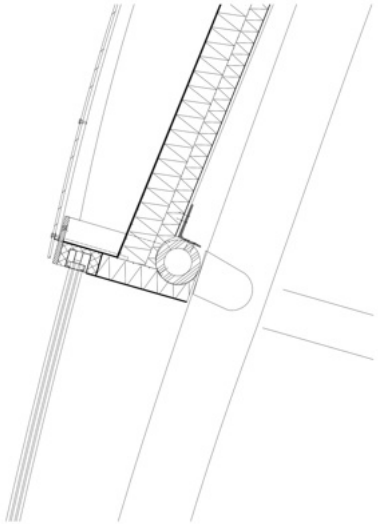


Abb. 187 (MM, 2021): Detail: Transparente Fassade

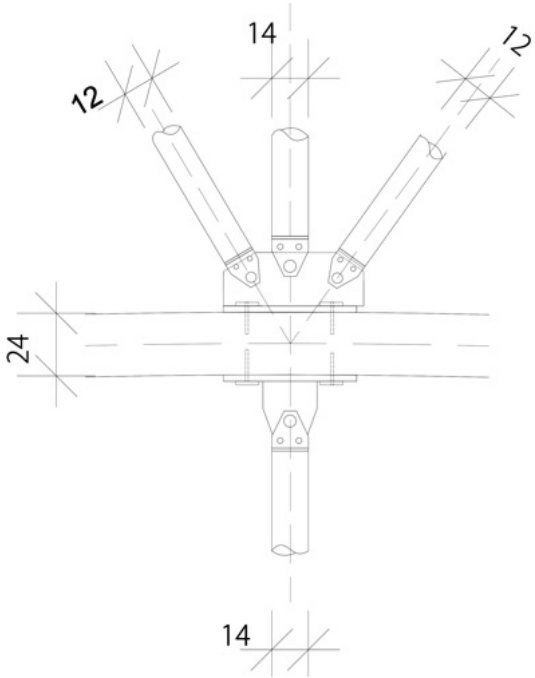


Abb. 188 (MM, 2021): Schraubverbindung, Pfette und Aussteifungsstäbe

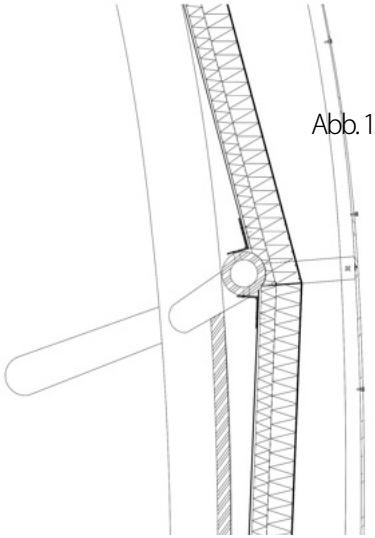


Abb. 189 (MM, 2021): Detail: Opake Fassaden

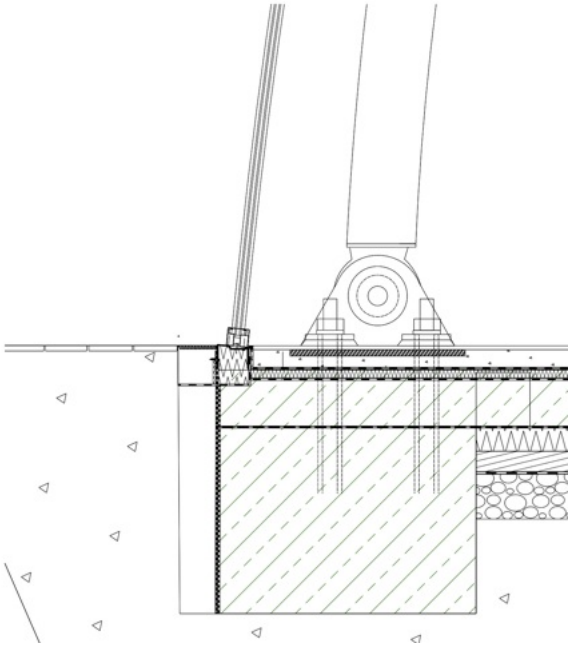


Abb. 190 (MM, 2021): Detail: Fußpunkt - Isolierverglasung

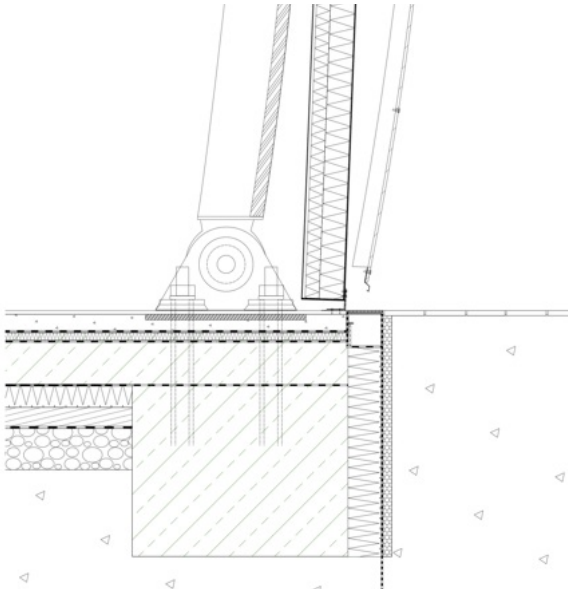


Abb. 191 (MM, 2021): Detail: Fußpunkt - Opake Fassade

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

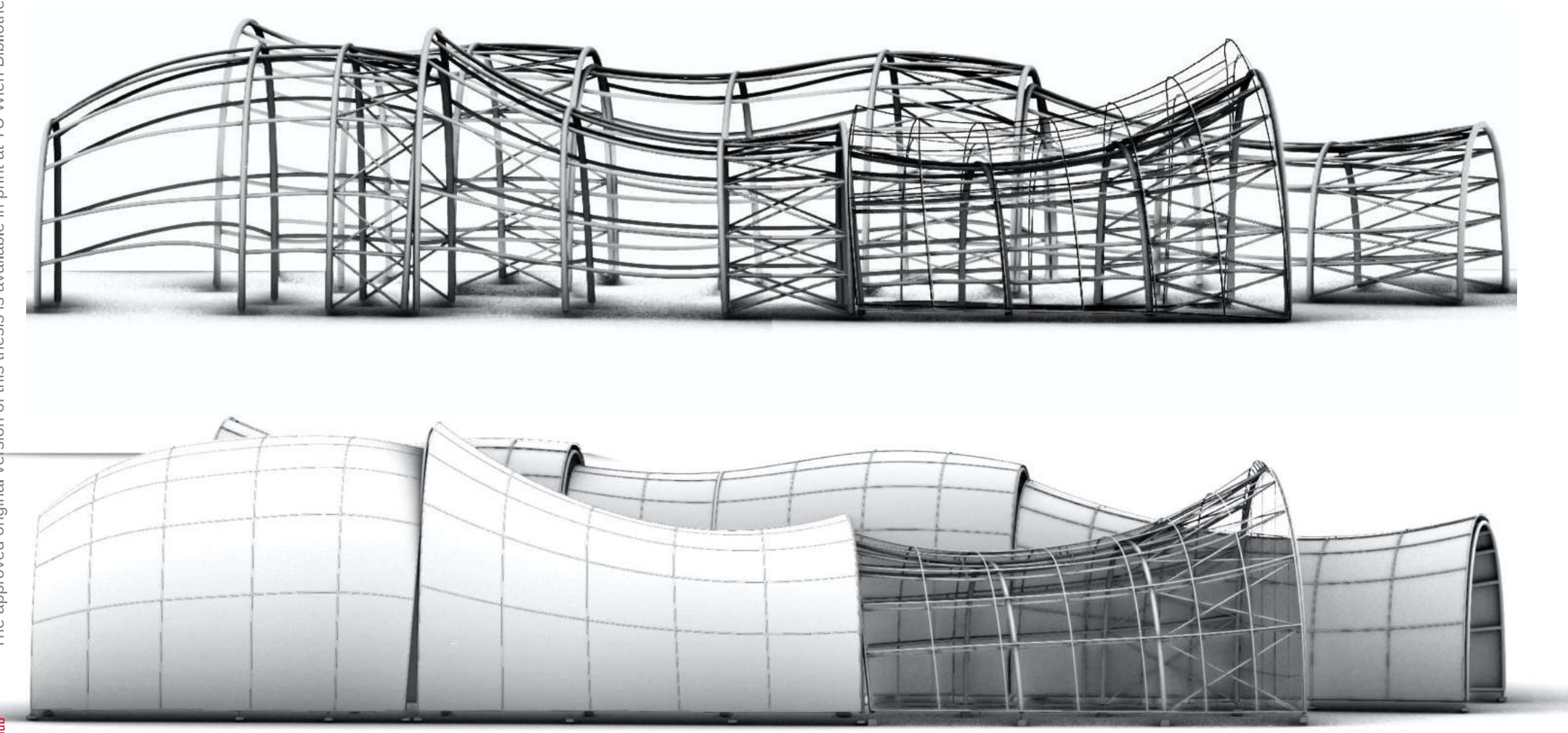


Abb. 192 (MM,2021)

West-Ansicht M 1: 400
Struktur und Verkleidung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

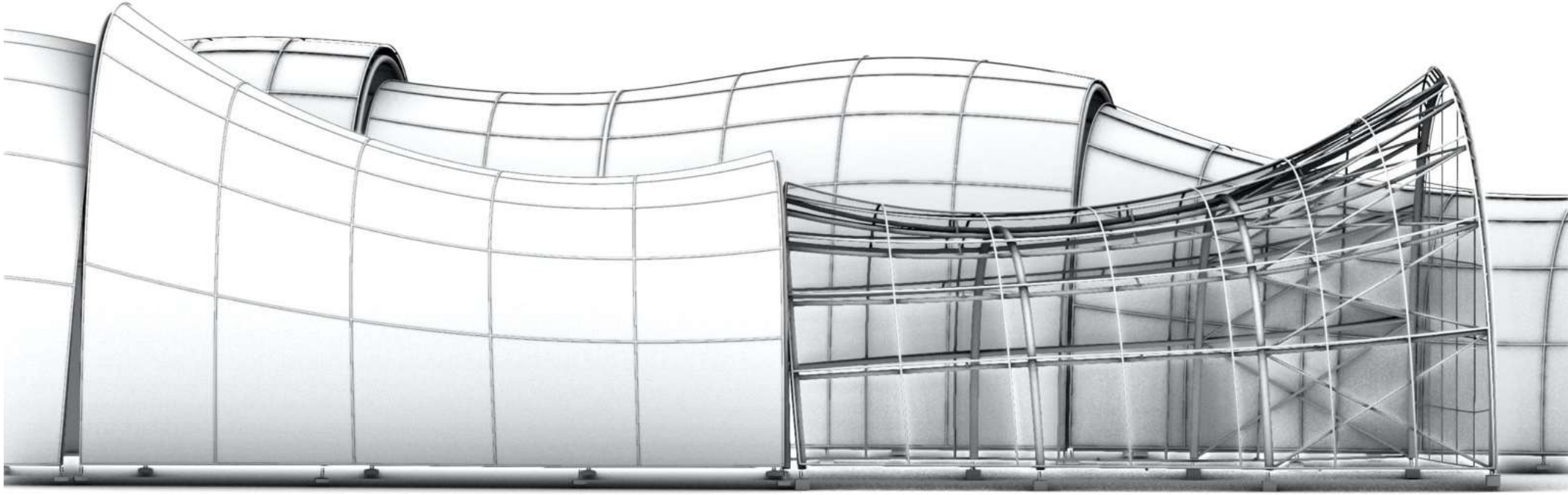


Abb. 193 (MM,2021)

West-Ansicht M 1: 200

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

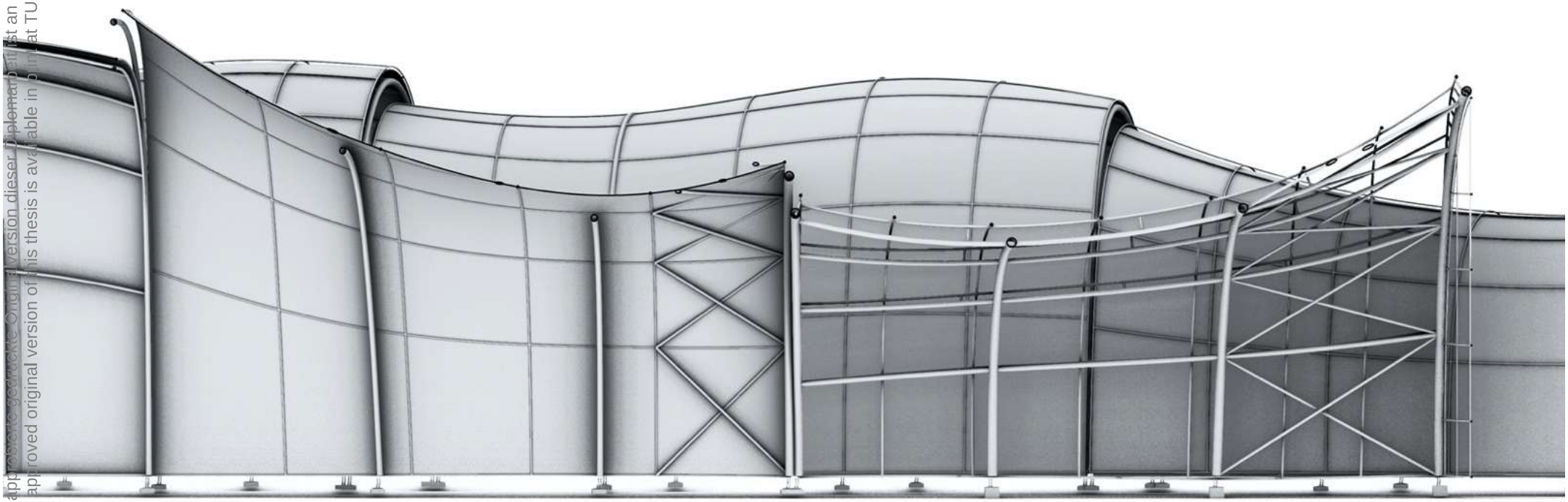
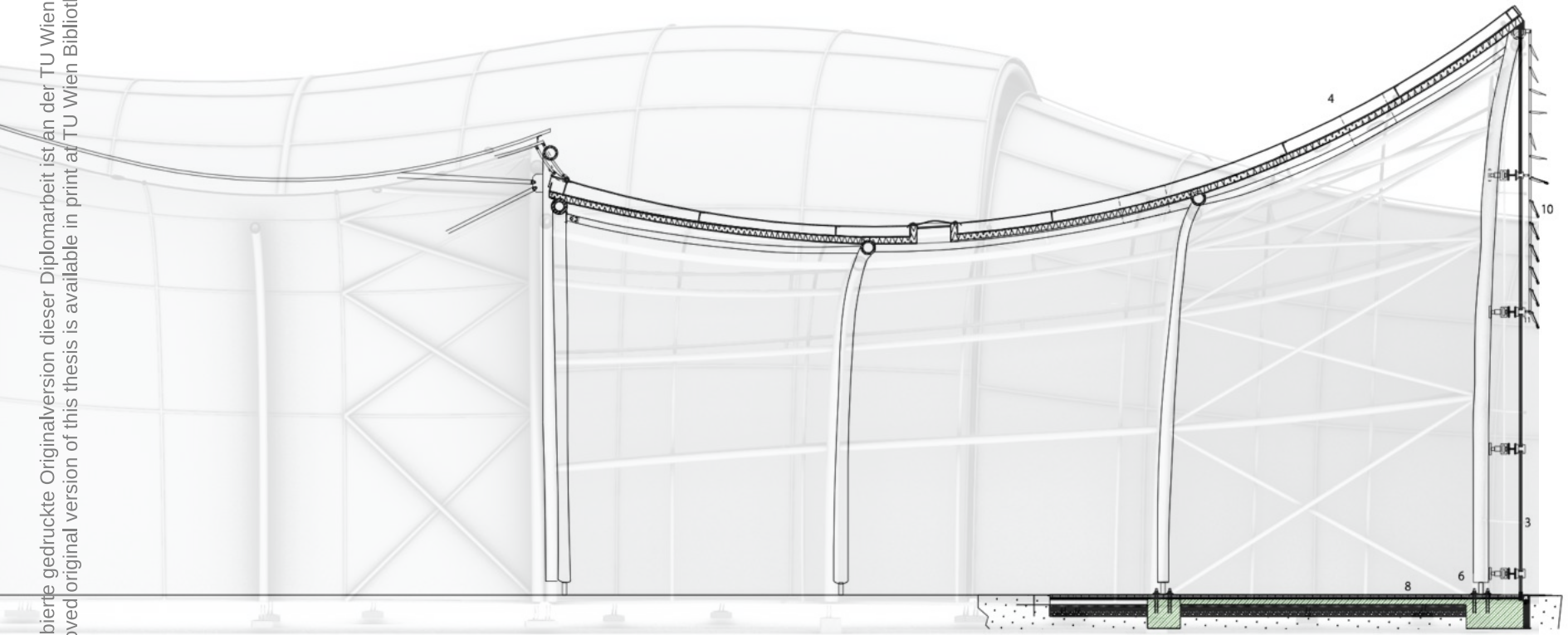


Abb. 193 (MM,2021)

Längsschnitt M 1: 200

Die approbierte gedruckte Original version dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



10 Verschattungselemente

Edelstahlblech mit Aluminium-Zink
Beschichtung 540 x 76 x 3 mm

11 Flachstahl - mech. Befestigung

zweilagig verzinkt 160 x 60 x 4 mm

12 Oberlicht

Lichtkuppel über
Isolierverglasung - zweifach auf
Aluminiumprofil
Lichtdurchlässigkeit 65 %

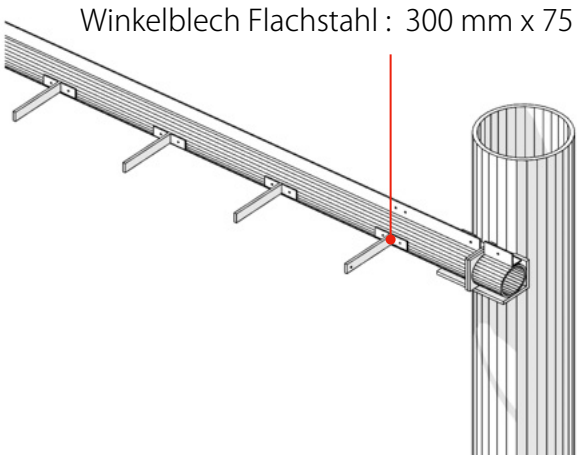
Abb. 194 (MM,2021)

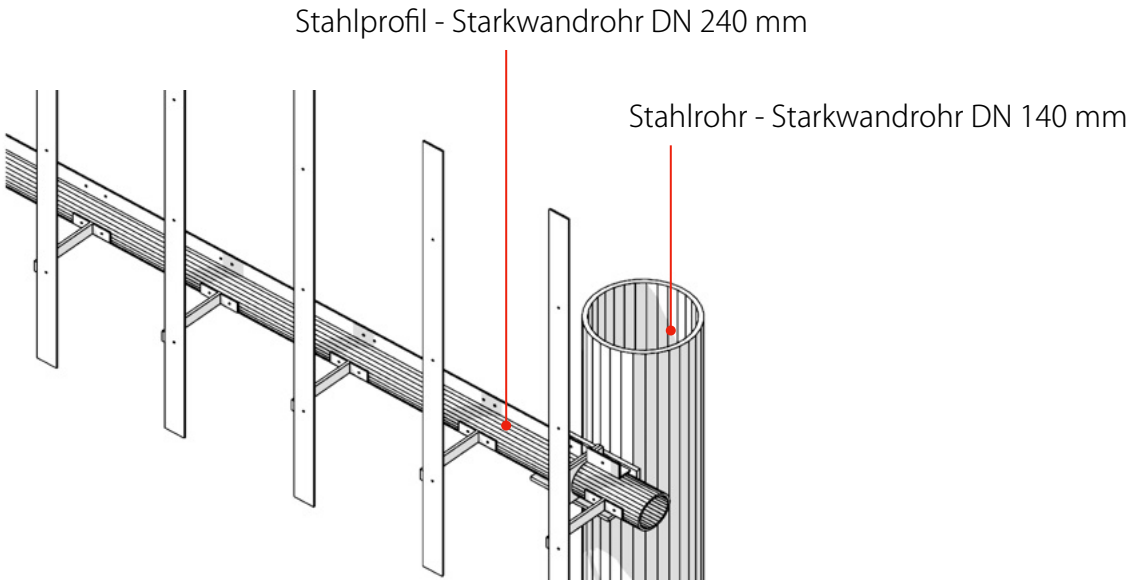
Längsschnitt M 1: 200

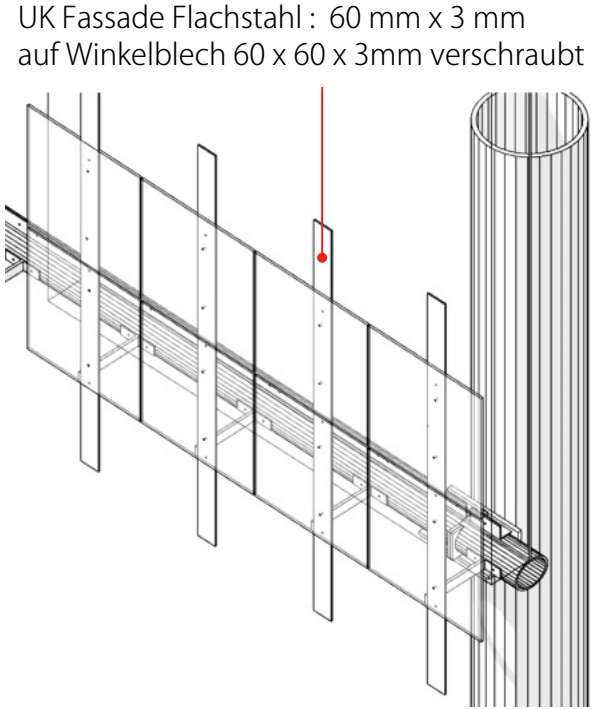
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7.4.2. Detaillierung







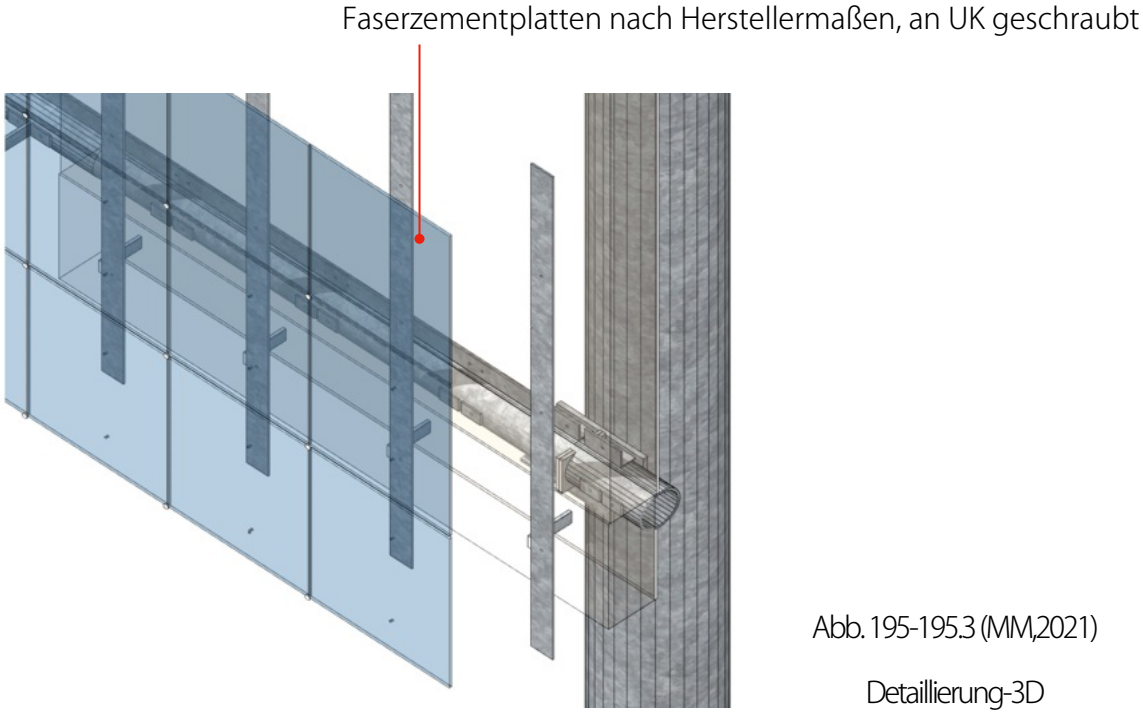


Abb. 195-195.3 (MM,2021)

Detaillierung-3D

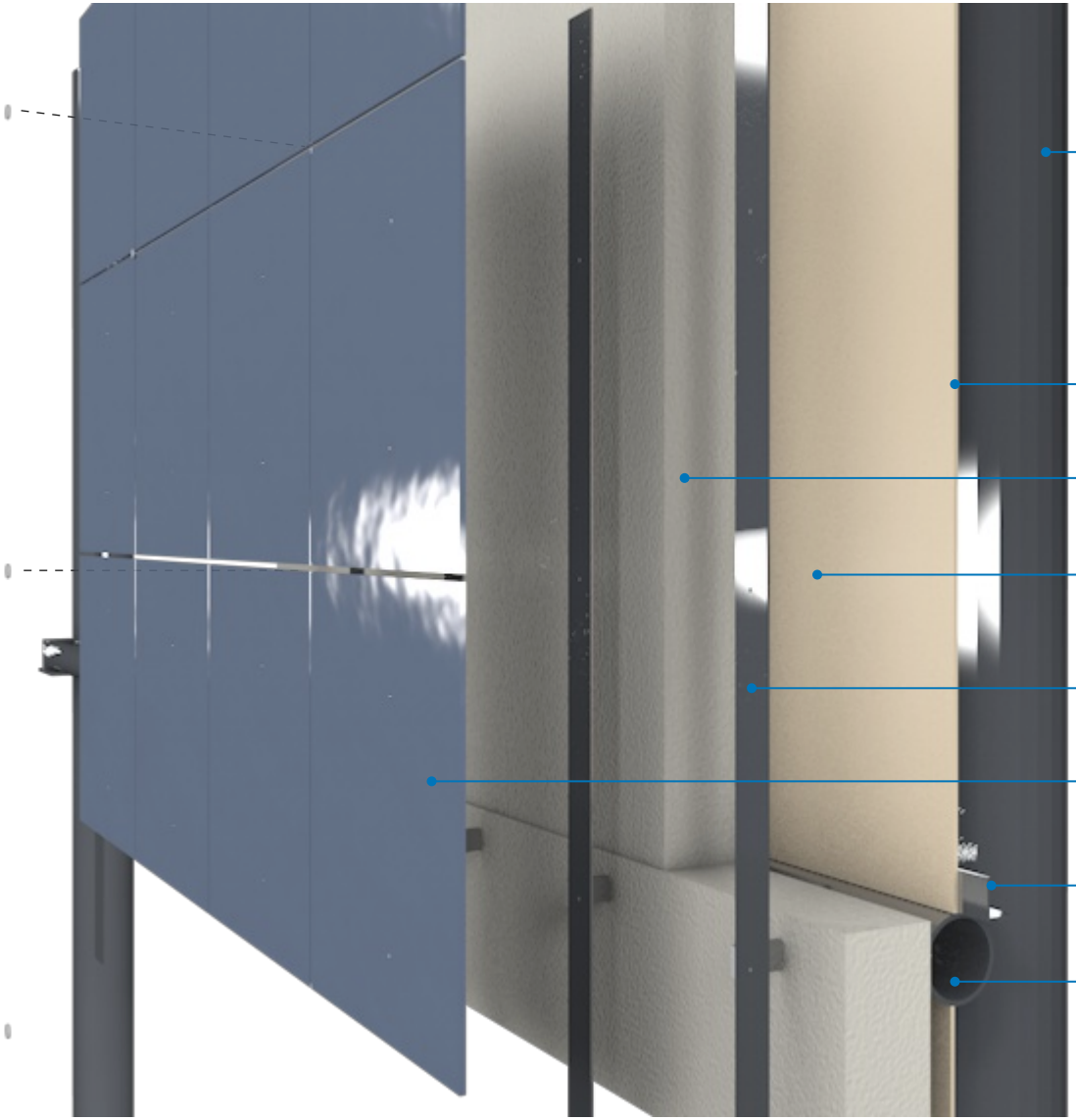


Abb. 196 (MM,2021)

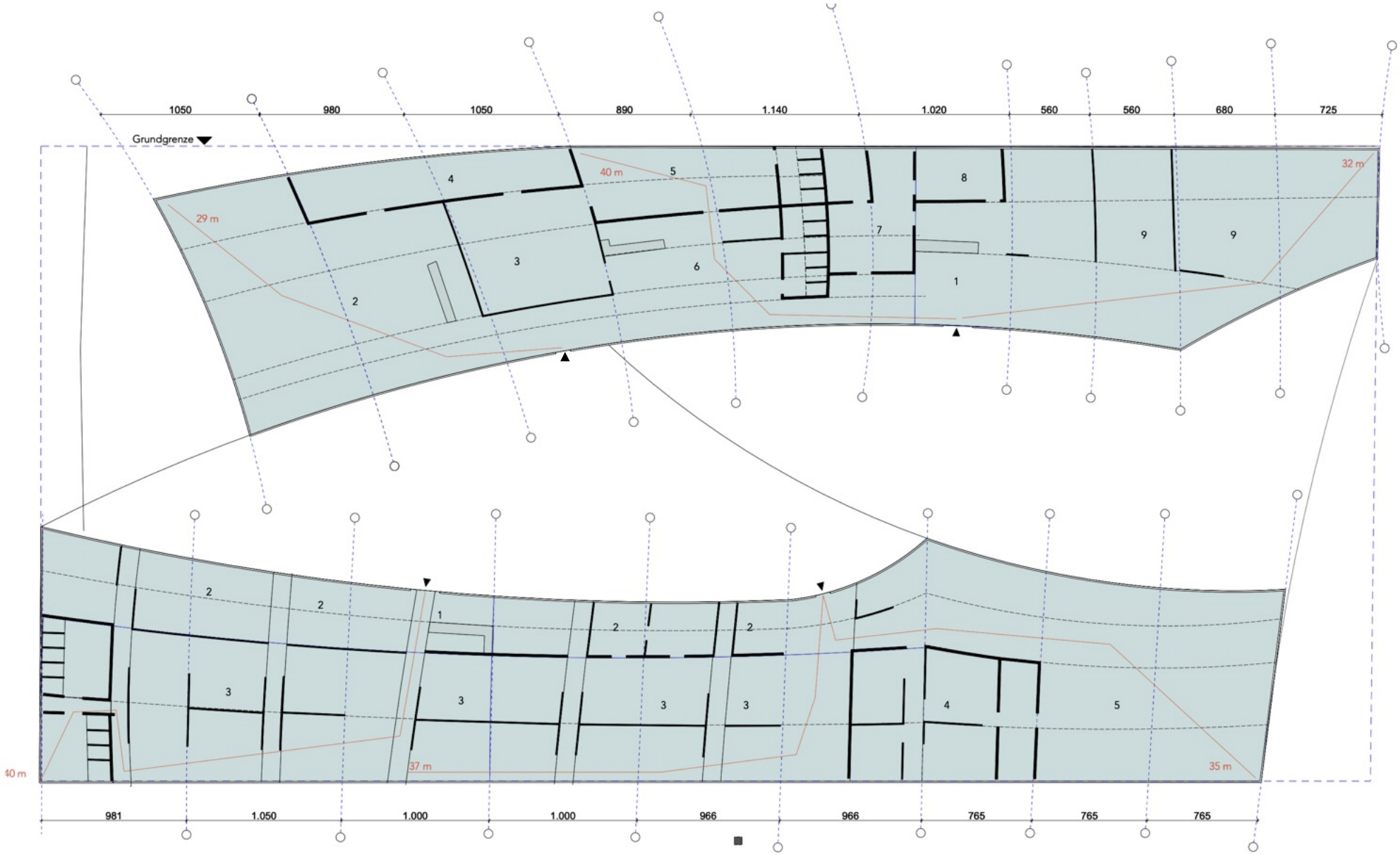
Fassadendetail - Visualisierung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

7.6. Visualisierung

Abb. 197 (MM,2021)

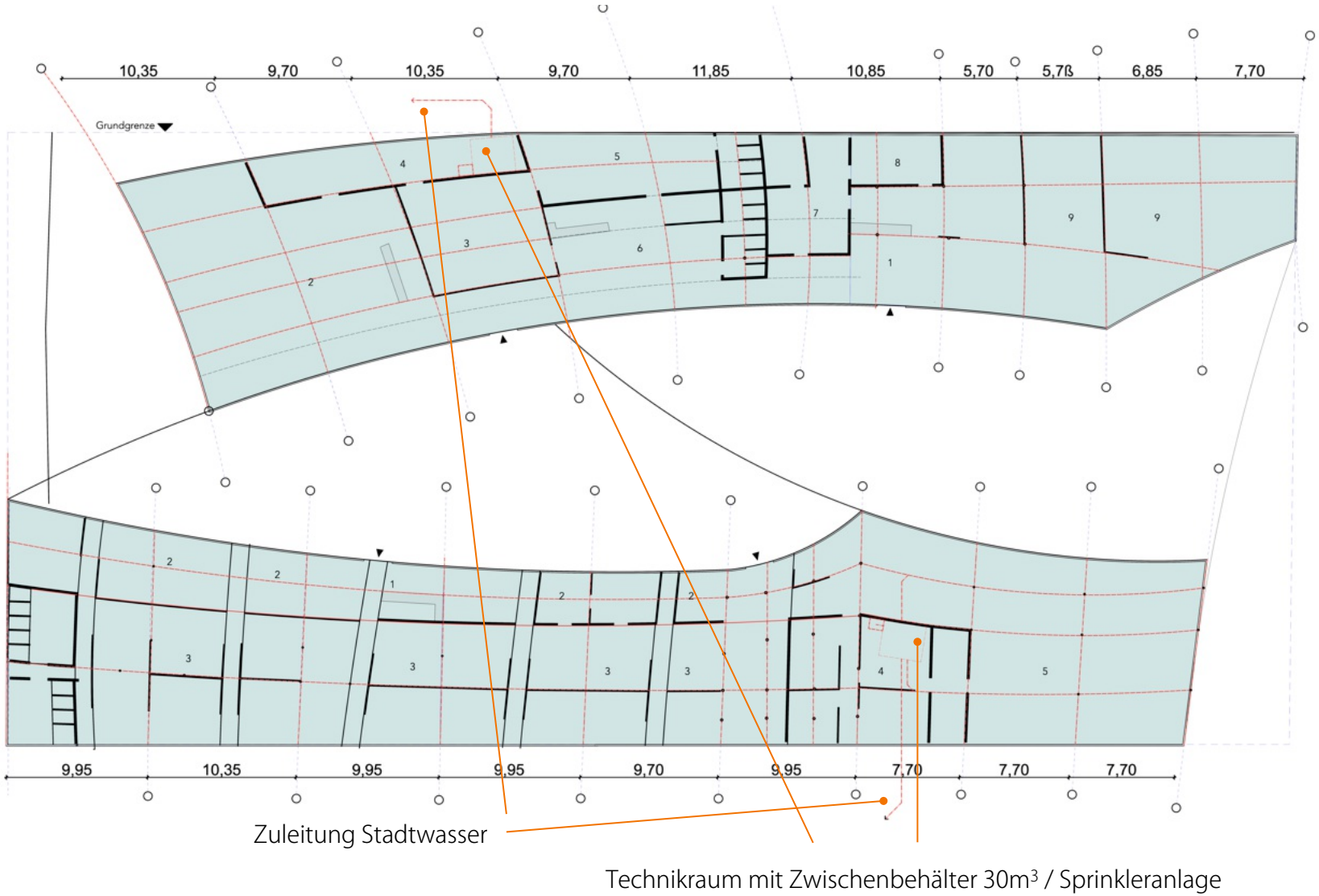
Grundriss mit Fluchtwegen



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb. 198 (MM,2021)

Leitungsstruktur Sprinkler - schematisch



1 Empfang/Lobby
2 Festsaal
3 Veranstaltung
4 Technik
5 Catering/Lager
6 Bar
7 Verwaltung
8 Personal
9 Flexibel / Gastro

1 Empfang/Lobby
2 Verkauf
3 Flexibles Marketing
4 Verwaltung
5 Veranstaltung/Flexibel
6 Technik

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb. 199 (MM,2021)

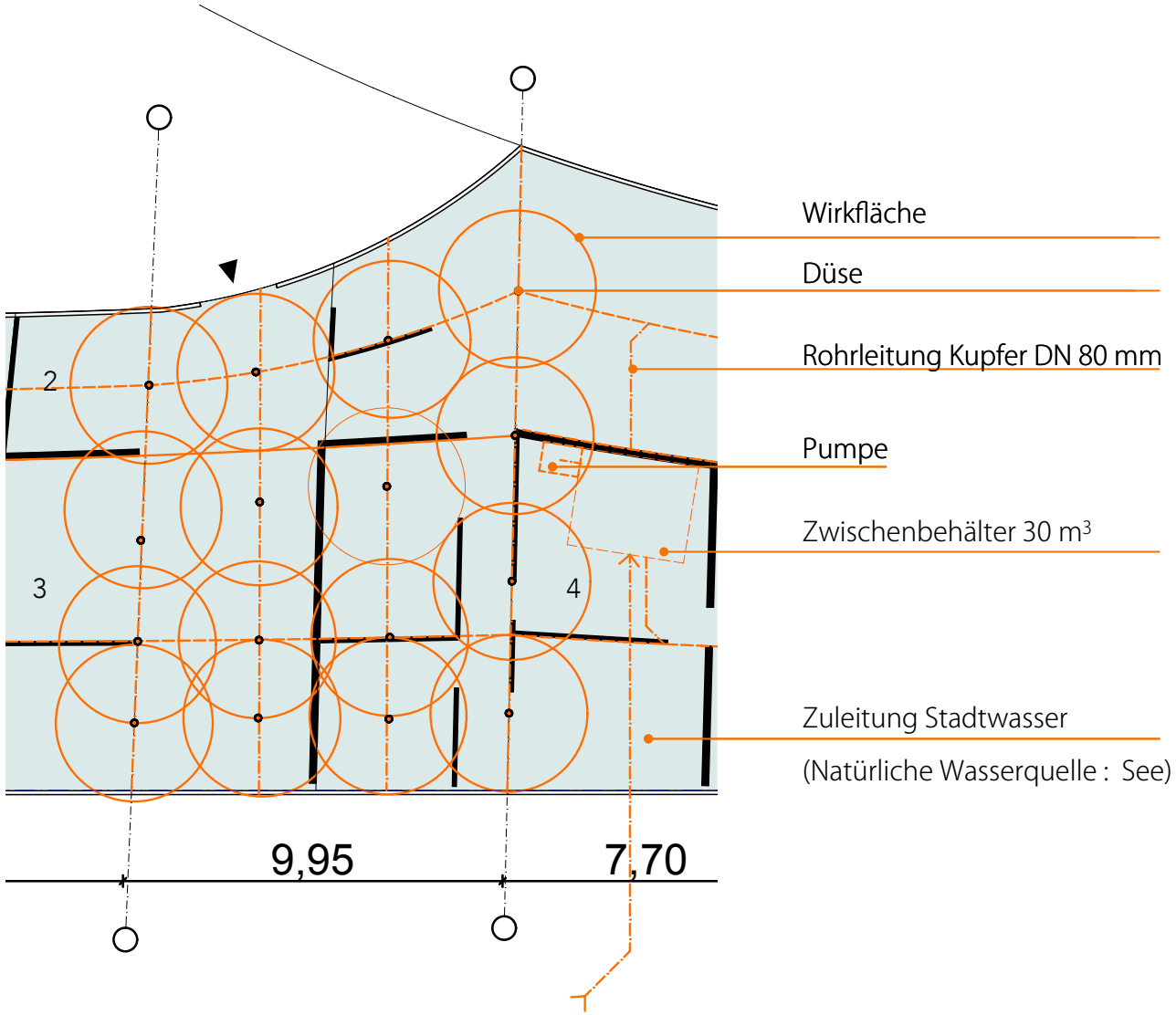
Sprinkleranlage und Leitungsstruktur, schematisch

Die Wassereinspeisung der Sprinkleranlage erfolgt über die Zuleitung natürlichen Wasserquelle. (See)

Im Technikraum wird das Wasser in einem Zwischen -behälter 30 m³ gelagert und mittels einer Pumpe, in das Leitungssystem befördert.

Die Sprinkleranlage wird als Nass-Trockenanlagen-System ausgelegt, welches mit einem Alarmventil ausgestattet ist.

Die Sprinkler, (Wasserbeaufschlagung: 5mm/min) werden in Raster-Abständen von 3-4 m angeordnet und von der Decke abgehängt.



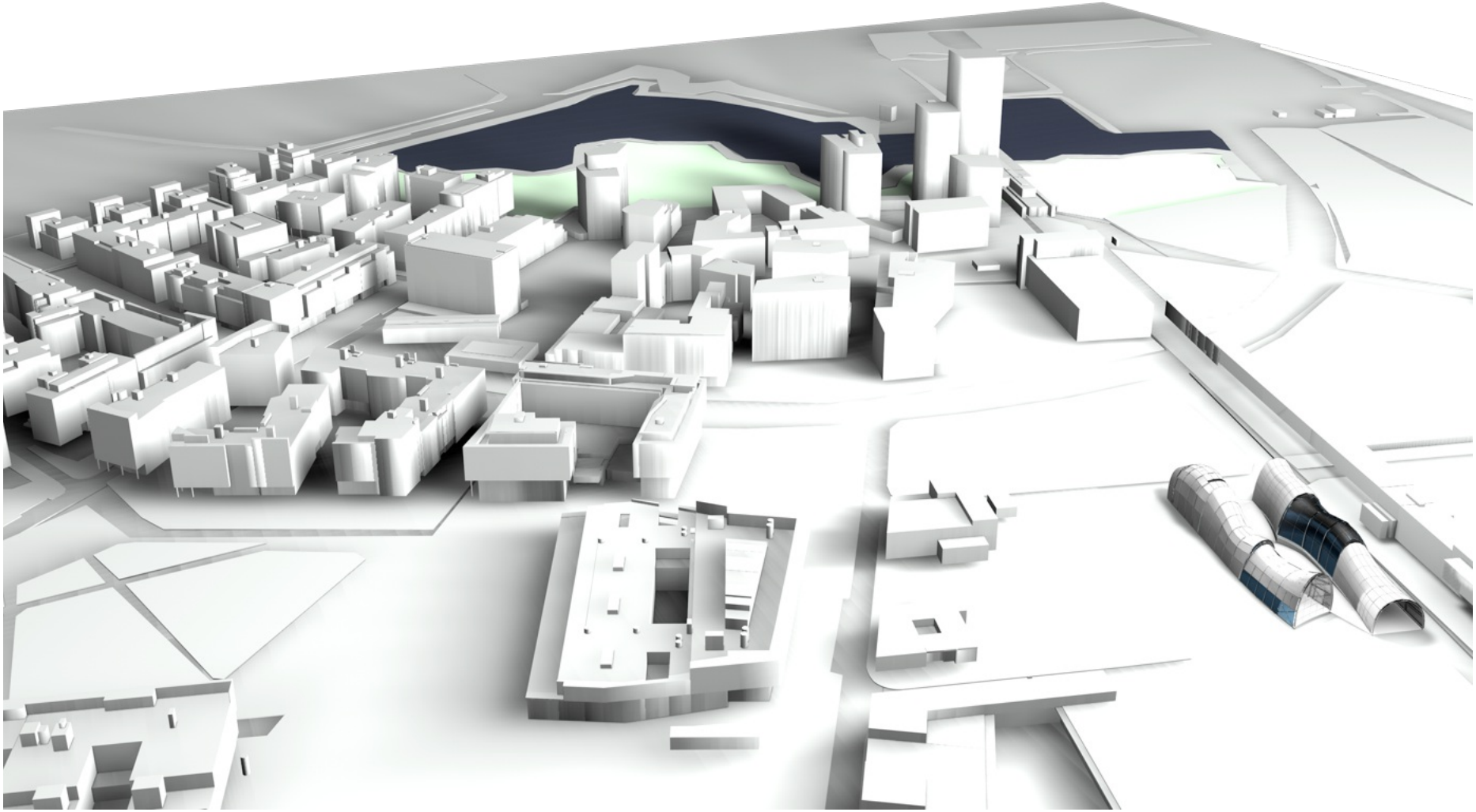
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

7.6. Visualisierung

Abb. 200 (MM,2021)

Rendering - Blick von Südwest



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 201 (MM,2021)

Rendering - Blick von Süden

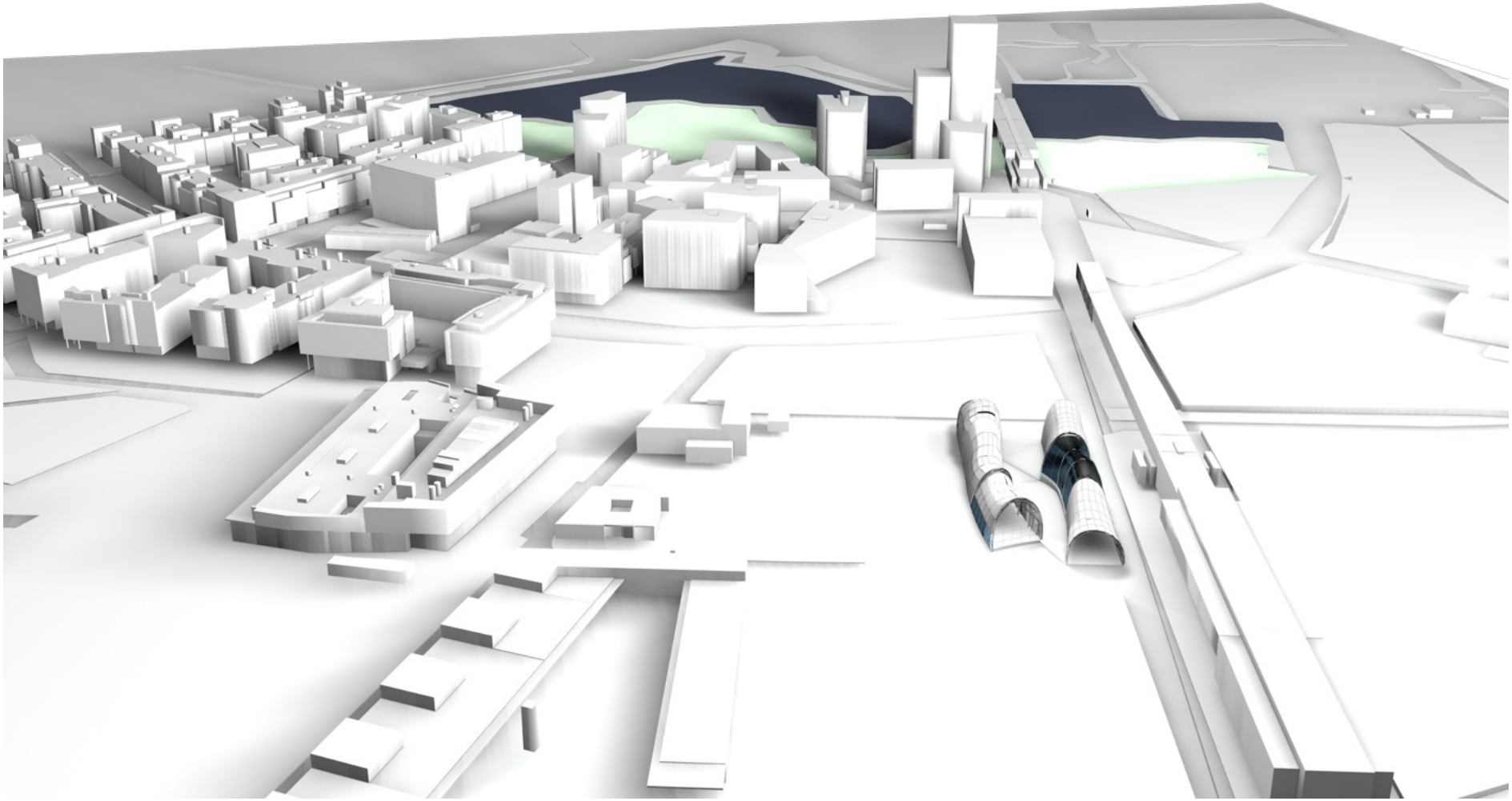
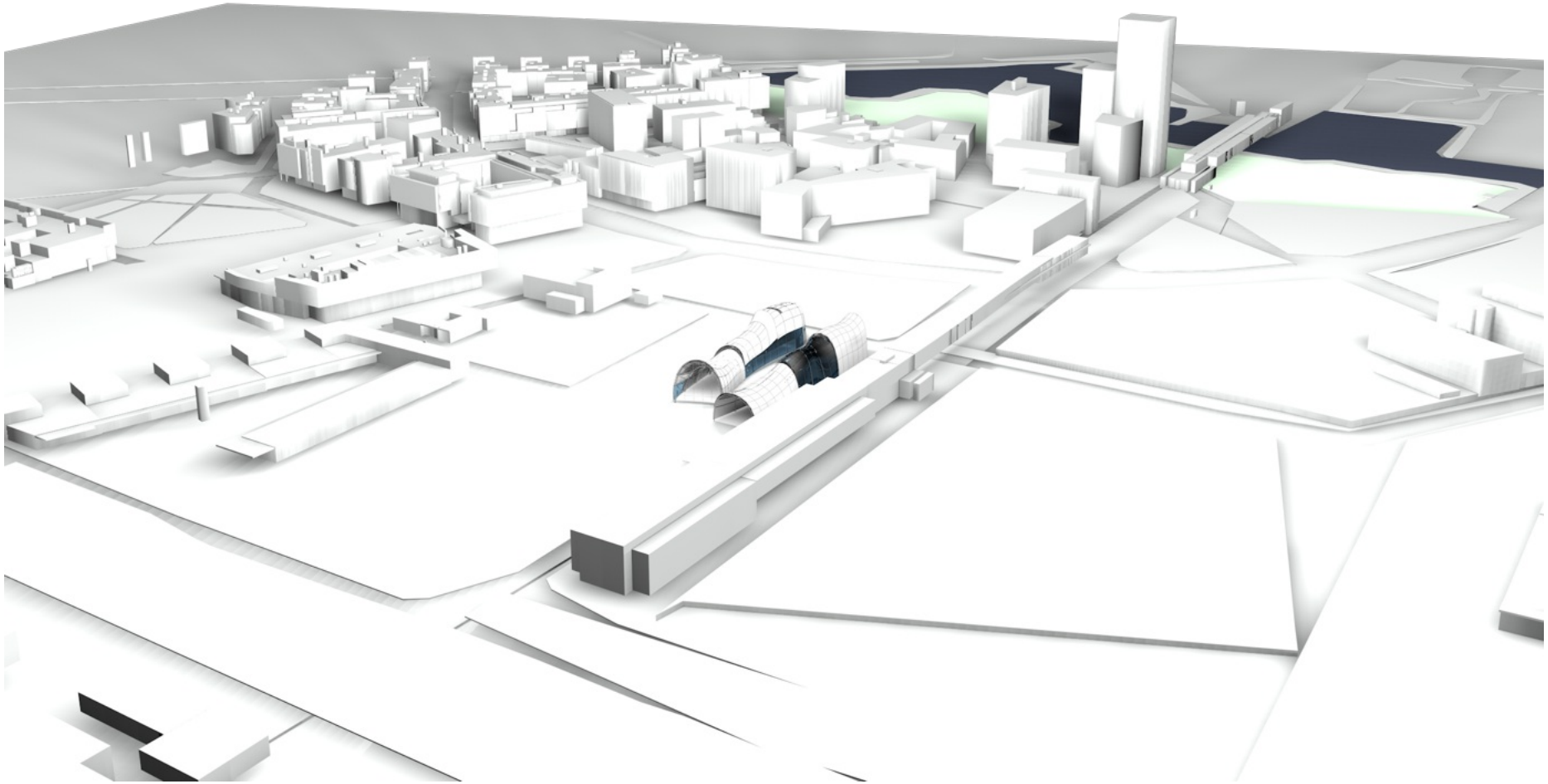


Abb. 202 (MM,2021)

Rendering - Blick von Südost



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 203 (MM,2021)

Rendering - Blick von West

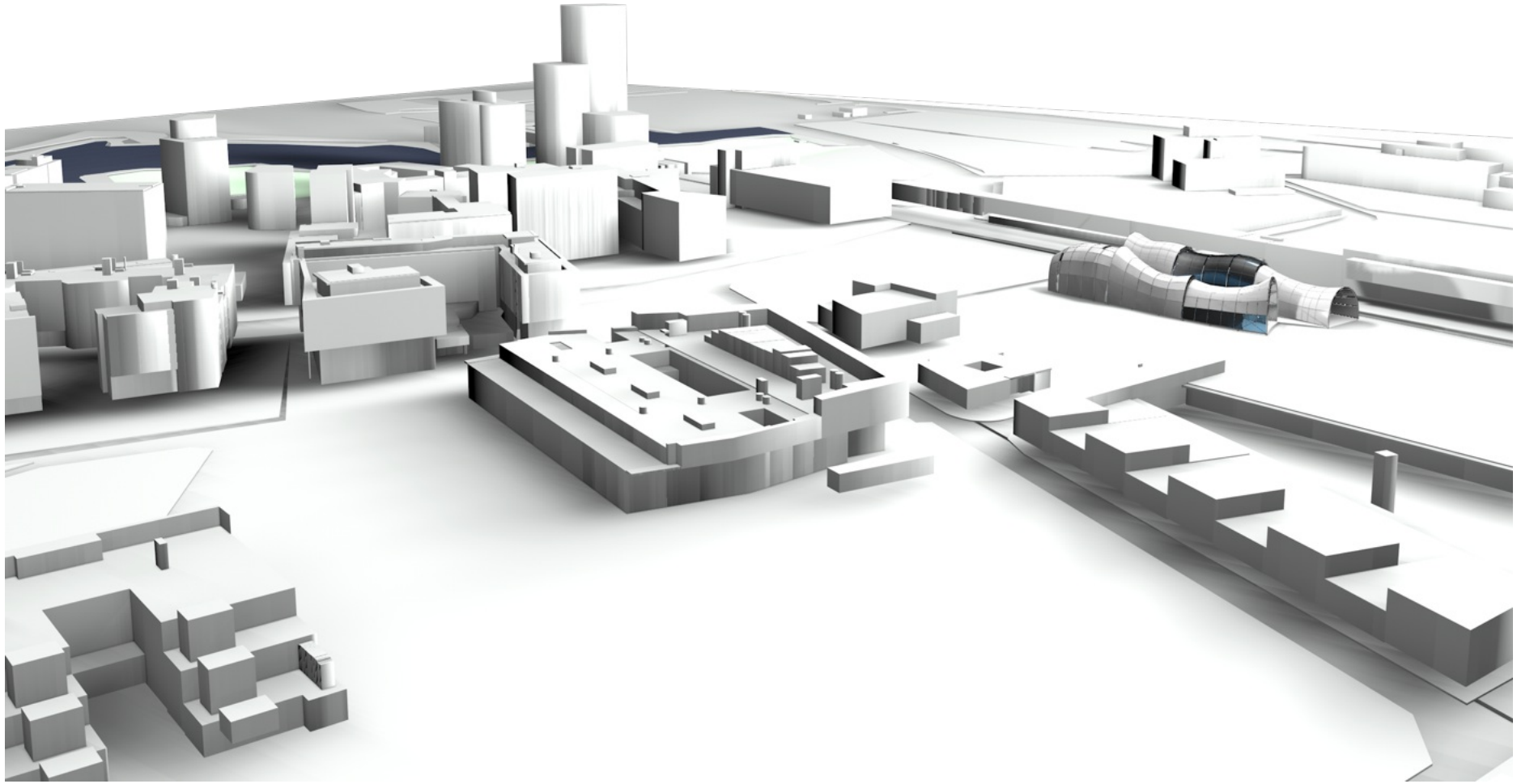
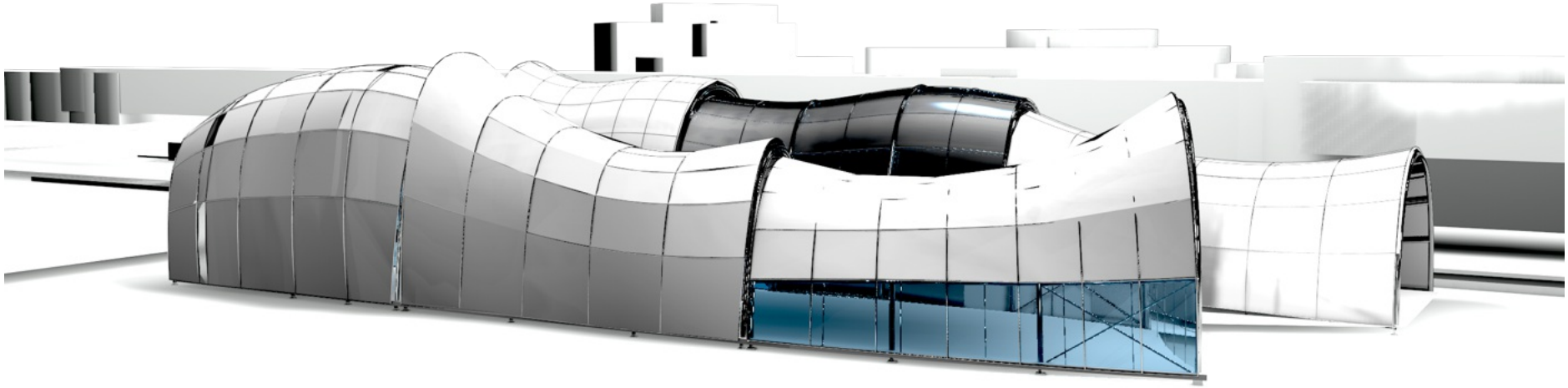


Abb. 204 (MM,2021)

Rendering - Blick von West

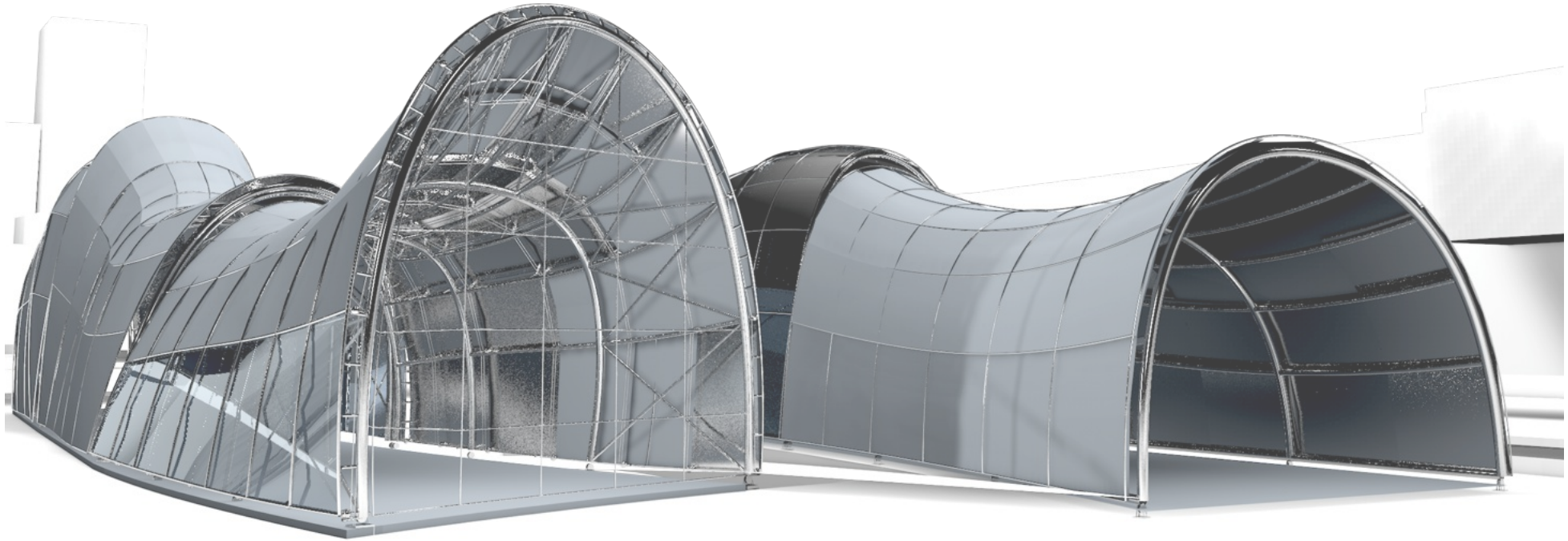


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 205 (MM,2021)

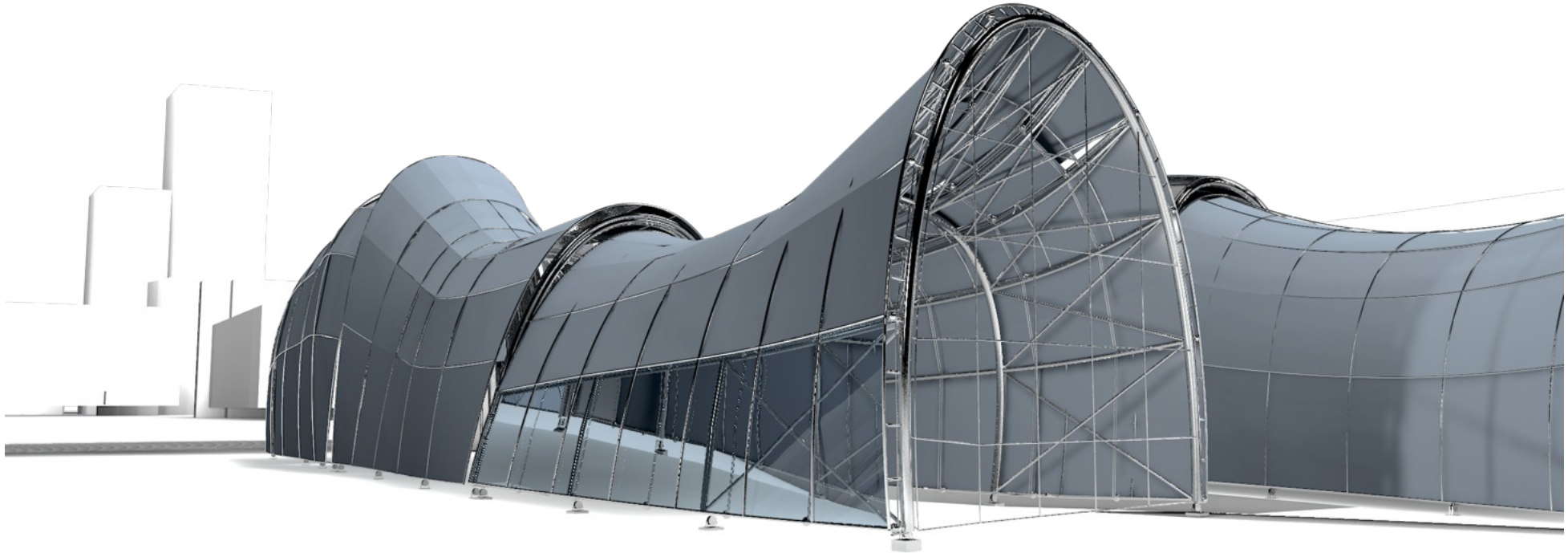
Rendering - Blick Aus der Nähe



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 206 (MM,2021)

Rendering - Blick Aus der Nähe



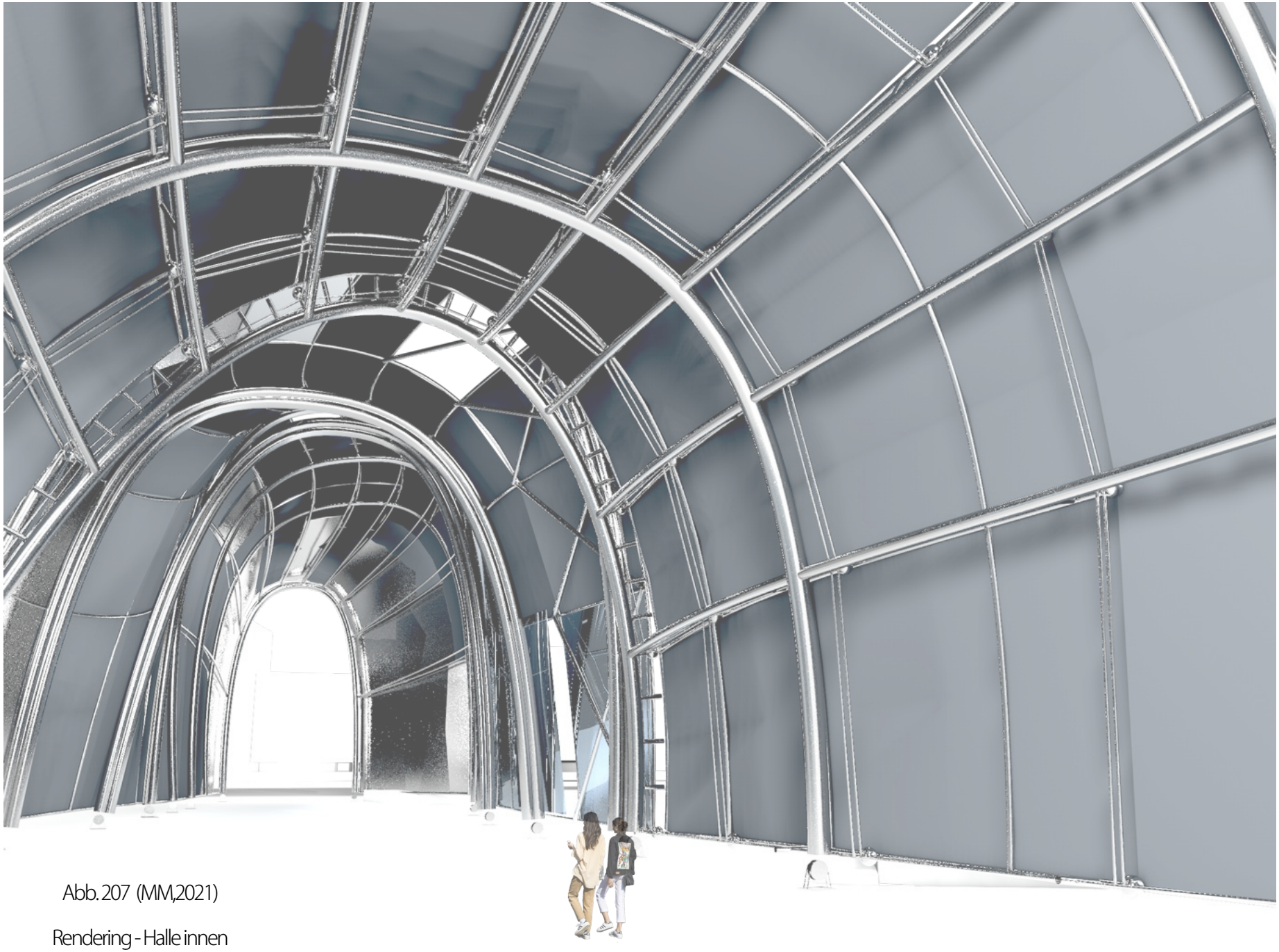


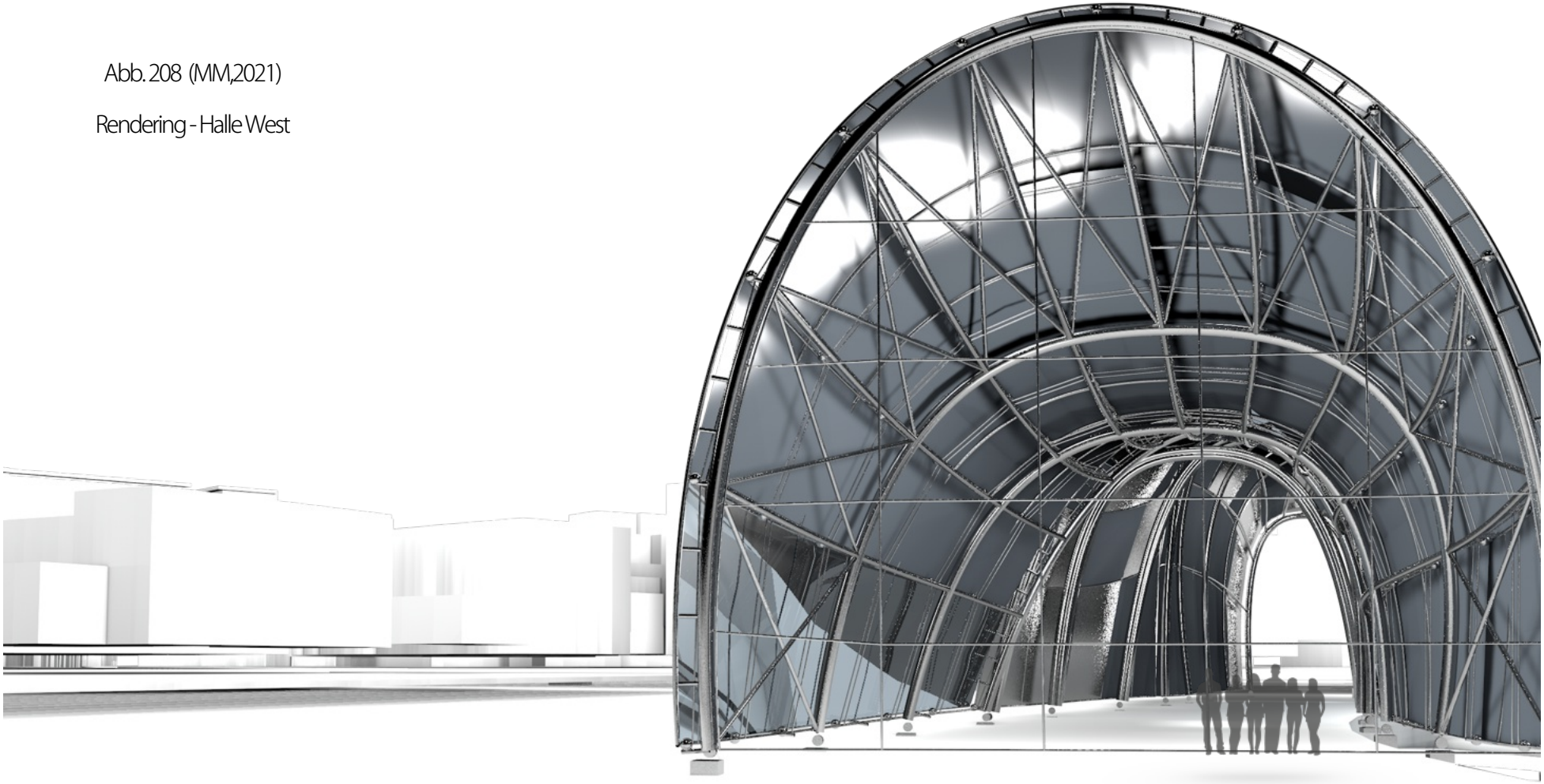
Abb. 207 (MM,2021)

Rendering - Halle innen

TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 208 (MM,2021)

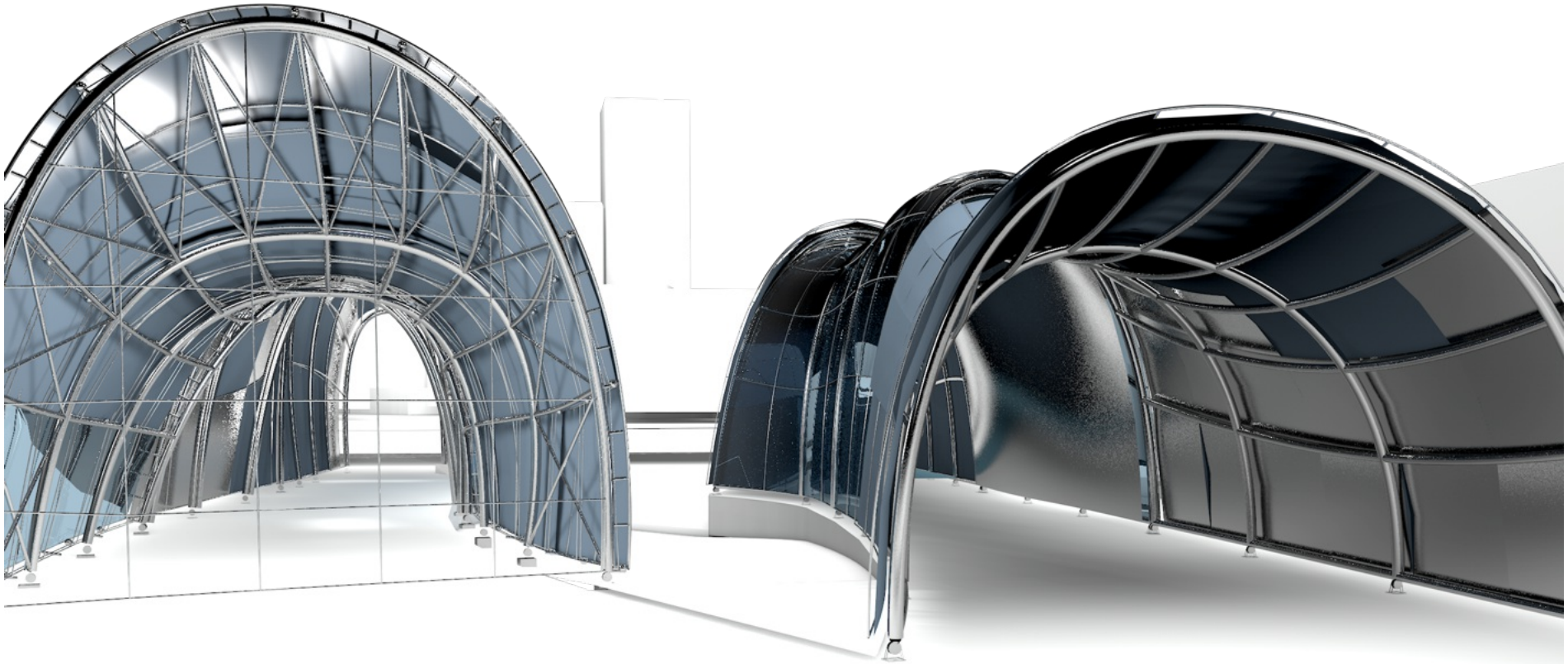
Rendering - Halle West



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 209 (MM,2021)

Beide Trakte, und mittlerer Durchgangsbereich



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

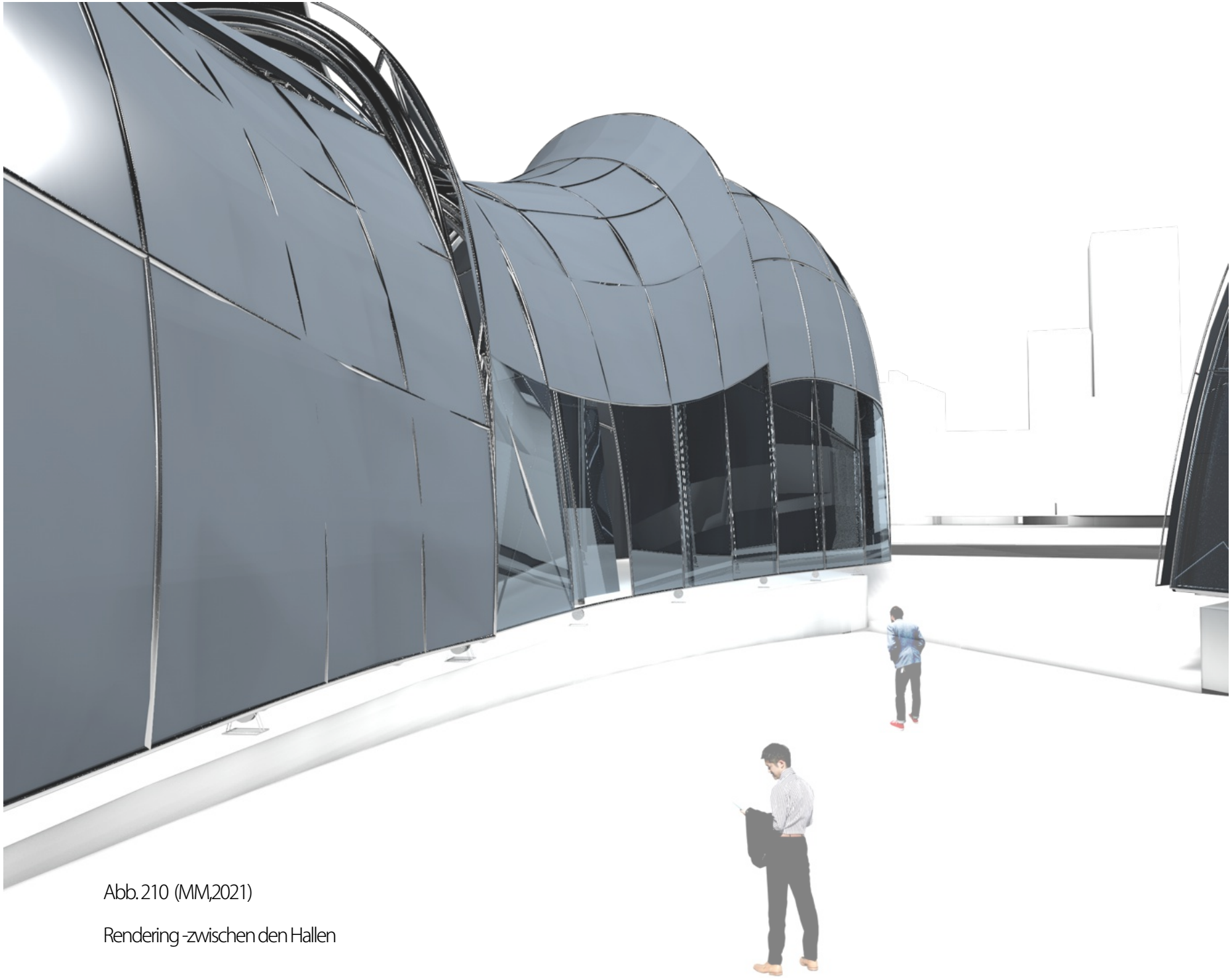


Abb. 210 (MM,2021)

Rendering -zwischen den Hallen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

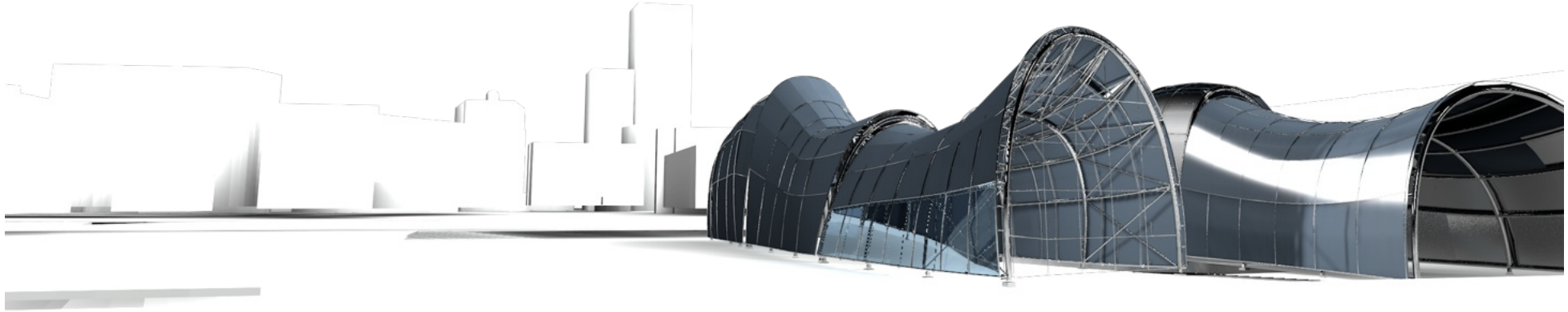


Abb. 211 (MM,2021)

Rendering - Blick von Südwest

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

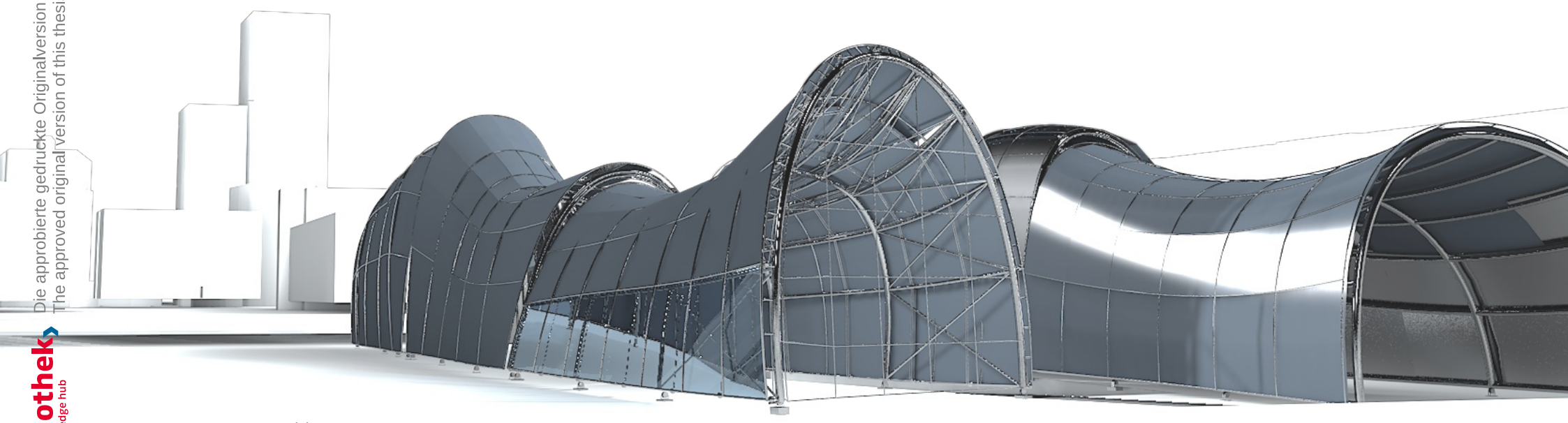


Abb. 212 (MM,2021)

Rendering - Blick von Südwest - nah

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Ergebnis und Auswertung

Die Materialgegenüberstellung des entworfenen Bogensegments, ergab unter Zuhilfenahme des berechneten Gewichts, sowie den damit verbundenen Primärenergiegehalten aus nicht erneuerbaren Energiequellen, die **effizientere** Konstruktion. Dies ist in erster Linie auf die hohe Tragfähigkeit des Baustoffes Stahl, gegenüber der erreichten Spannweiten bzw. des damit hergestellten Raumes zurückzuführen.

Die um **5,3%** leichtere Stahlkonstruktion erfordert einen um **40 %** geringeren Herstellungsenergiebedarf (PEI n.e.) aus nicht erneuerbaren Energiequellen.

Zudem weist die Stahlkonstruktion in der Betrachtung von der Herstellung bis zum Recycling (Cradle to Cradle) **geringere Emissionswerte** (GWP) auf. (+0,92 kg ggü. Stahl = +0,76kg / siehe 7.31. S.165)

Baustähle zeigen grundsätzlich gegenüber das im Entwurf eingesetzte, leistungsfähige Furnierschichtholz eine höhere Recyclingrate auf. Aktuellen Daten zufolge erreicht Stahl eine Sammelrate von **88-90 %** (Rückführung in den Materialkreislauf zB. Verschrottung zur Sekundärstahl-Herstellung,) wobei zusätzliche **11 %** der Bauteile direkt wiederverwendet werden.

Diese Ergebnisse sind zunächst für den einzelnen, überprüften und materialmäßig gegenübergestellten Entwurf ausschlaggebend.

Inwiefern Tragstrukturen aus Stahl, gegenüber Holz die effizienteren Konstruktionen darstellen, kann lediglich durch weitere qualitative Untersuchungen mit ähnlichen Vergleichsparametern und Ausgangs -bedingungen belegt werden.

Es zeigt sich, dass das häufig als durch das Gewicht und den aufwändigen Herstellungsprozess, gegenüber Holz häufig als ineffizientes, bzw. weniger umweltfreundlich dargestellte Baumaterial Stahl, durch den in der **Tragstruktur angelegten Entwurfsansatz,** sehr gute ökologische Werte erreicht.

Im Speziellen beweist die Bauweise in Stahl, durch das **hohe Recyclingpotenzial,** sowie durch die **hohe Lebensdauer,** welche durch empirische Werte belegt ist, eine durchaus nachhaltige Konstruktion.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Conclusio

Als primäres Ziel hatte die vorliegende Arbeit ein möglichst ressourceneffizientes und nachhaltiges Hallenbauwerk herzustellen, welches mit einer architekturbewussten Ausgestaltung einhergeht.
Dieses Ziel erforderte die Untersuchung von modernen Hallenbau -systemen und deren zugrundeliegende Gestaltungsparameter, sowie eine Aufklärung und Festsetzung der betrachteten Messgrößen, mit denen die angesteuerten Zielkriterien bemessen werden sollen.

Anhand der betrachteten Referenzprojekte wurden praktische Anwendungsfälle der festgelegten Kriterien, in baulichen Realisierungen reflektiert und näher ausgeführt. Diese bilden das zentrale Bindeglied zum eigentlichen, methodischen Ansatz.

Die zentrale Beweisführung der betrachteten Kriterien, erfolgte über einen schrittweise hergeleiteten Hallen-Entwurf, der mit den ökologischen Messgrößen, sowie nach Bemessungen der Effizienz und weiteren Dimensionen der Nachhaltigkeit untersucht und umgesetzt wurde.

Im Hinblick auf die Forschungsfrage, nämlich ob und inwiefern eine freie und identitätsstiftende bzw. gestalterisch ansprechendes Bauwerk, eine möglichst nachhaltige und ressourceneffiziente Qualität erreichen kann ergeben sich folgende Erkenntnisse :

- Die gestalterischen Freiheiten, werden durch ökologische Rahmenkriterien nicht eingeschränkt. Gerade der Ansatz, Materialmassen durch effizient konzipierte Strukturen einzusparen, führt zu einer klaren und prägnanten Erscheinung der Gebäudestruktur.
- Zugleich zeigt die holistische Untersuchung einer Nachhaltigkeits -bewertung und Begutachtung, vielfache Kriterien und Messgrößen, die lediglich im städtebaulichem Zusammenhang, eines spezifischen Entwurfes zu einer solchen Beurteilung führen können. Die Bewertung der Nachhaltigkeit, gelingt also nur im komplexen Zusammenhang des einzelnen Entwurfes.
- Die Effizienz der Konstruktion, welche die angesprochene Materialminimierung erzielen soll, stellt demnach lediglich einen Bestandteil, bei der Betrachtung der Ressourceneffizienz, sowie einer bemessenen Nachhaltigkeit dar. Sie muss auch funktionalen Aspekten der Raumnutzung und die damit verbundenen Nutzungsdauer etc. gegenübergestellt und mit diesen verknüpft werden.
- Alle betrachteten Messgrößen, zB. ökologische Indikatoren sind nur im Zusammenhang der Bauwerks-Lebensdauer und den nachfolgenden Rückbau- und Wiederverwendungsmöglichkeiten zu verstehen.
- In diesem Zusammenhang ist auch anzumerken. dass die Erhebung der Gesamtlebensdauer eines Bauwerks, zum Zwecke einer umfassenden Nachhaltigkeitsbewertung immer noch eine Herausforderung darstellt. Abgesehen von den ökologischen Größen der einzelnen Baumaterialien eines Bauwerks, ist die Genauigkeit bei der Ermittlung der für die Bewertung betrachtete Lebensdauern zu hinterfragen. Zudem sind auch die konstruktiven Bedingungen, sowie äußere Einwirkungen auf ein zu bemessenes Bauwerk im einzelnen zu untersuchen und auf Erfahrungswerte zu begründen.

Die Wahl des Bausystems, sowie die mittels der orientierenden Statik-Evaluierung vorgenommenen Adaptionen, führten wie erwartet zu einer **Verbesserung des Tragverhaltens,** durch einzelne Senkungen der **Biegemoment-Maximalwerte.**

Der Ansatz eines vorgefertigten Bausystems, welches sich trageffizienter Tragsysteme bedient, kann im Hinblick auf vielfache funktionale Anwendungsfelder des Gebäudegebrauches ausgeweitet und weiterentwickelt werden. Der Baustoff Stahl, bietet im speziellen, durch die wachsende Wiederverwendung, vielfältige Möglichkeiten des variierenden und mehrfachen Gebrauches von Bauteilen im Sinne von räumlichen und funktionalen Bedarfen auf.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Ausblick und Schlusswort

Der Entwurfshergang, stellt einen experimentiellen Ansatz bei der Formfindung und Materialisierung eines Funktionsbauwerks dar, welcher funktionale Aspekte des Designs, physikalischen Gegebenheiten der Formstruktur und inbesondere den statischen Wirkkräften gegen -überstellt. Dieser Dialog setzt eine ehrliche und genuine Auseinander -setzung mit dem einzelnen, individuellen Entwurf als solchen voraus, die entweder einen Rückgriff auf typologische Lösungen erfordert, oder aber eine Neuinterpretation des Gestaltungsgedanken herbeiführt.

Der Architekt als Gestalter, sucht eine bewusste Auseinandersetzung mit den formästhetischen Parametern eines Entwurfes, die räumlich-funktionale, sowie auch technische Rahmenbedingungen rational beantwortet und in eine konstruktive Umsetzung artikuliert.
Die „Architekturidee", sowie die Formensprachen der Architektur, sind in einer konzeptionellen und geschichtlichen Entwicklung eingebettet, die dem einzelnen Planer hier und da auffordern, sie neuartig zu bespielen. zu verwerfen oder auch weiterzudenken.

Der vorliegende Hallenentwurf entwickelt die „Gestaltungsfrage" aus einem ressourcenschonenden Leitgedanken heraus, dem ein organischer und gestaltbetonter Baukörper entfaltet wird. Die in Stahl konzipierte Primärstruktur, ergibt aufgrund des materialminimierenden Ansatzes, dabei kein „Kompromiss" sondern zeigt eine filigrane Formensprache, welche die uns umgebenden Kräfte sichtbar nach außen trägt.

Der Ausdruck von „schlanken Bögen", deren „Leichtigkeit" steht auch in einem geschichtlichen Kontext in etwa zu den Strebewerken der gotischen Bauwerke, oder viel jünger : zu den Entwicklungen der „Ingenieurarchitektur" des 19. und 20. Jahrhunderts.

Eine besondere Schwierigkeit lag in der technischen Durchbildung der Bauteile, sowie im akkuraten Einsatz ökologisch-nachhaltiger Baustoffe insbesondere in Anbetracht einer sinnvollen, funktionalen Gliederung.

Die entworfene Halle, ist nicht als vollendete Antwort auf ein einwandfrei - nachhaltiges Gebäude zu verstehen, sondern soll lediglich einen Entwicklungsschritt, eine Strategie im gestalterischen Umgang mit einer ressourceneffizienten Bauweise, darstellen.

„Eine derartige Konzeption gibt Außenstehenden die Möglichkeit, statische Konzepte und Kräfte verstehen zu lernen und dient mit dem Anliegen, die Umwelt mit technischen Bauwerken zusammenzuführen und ihr das oftmals sehr starke und mehr auf Unwissenheit beruhende Misstrauen zu nehmen."

(Lorenz,P.;1991)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Danksagung

Ich danke Hrn. Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Fadai Alireza für seine freundliche Betreuung und Beratung, sowie seiner tatkräftigen Unterstützung und den zahlreichen, kompetenten Inputs aus Vorlesungen und der Beistellung vielfacher, hilfreicher Literatur.

Ich danke Familie und Freunde für die Unterstützung und den geistigen Beistand.

Freitag der 24. September, 2021

Mohamed Mabrouk BSc

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Literatur

Ackermann Christoph, in DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 09/2003,
Wischerfabrik in Bietigheim Bissingen, Retrieved from :
https://inspiration.detail.de/wischerfabrik-in-bietigheim-bissingen-100604.html
Wischerfabrik
Zugriff April 2021

Addis , Bill; 2007; Building - 3000 years of design engineering and construction; London : Phaidon; London, S.308ff

Adriaenssens, S., Barnes, M., Harris, R. & Williams, C., 2014. „Dynamic relaxation-Design of a strained timber gridshell." In: S. Adriaenssens, P. Block, D. Veenendaal & C. Wiliams, Hrsg. Shell Structures for Architecture, Form Finding and Optimization. London and New York: Routledge Press

Bauer, Steffen: Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung. In Informationen zur politischen Bildung (Heft 287). Bundesdruckerei: Bonn 2008. Archivierte Kopie (Memento des Originals vom 25. Mai 2011 im Internet Archive)
Retrieved from
https://web.archive.org/web/20110525054538/http://www.bpb.de/die_bpb/UA5H5Q.html
Zugriff April 2021

Bucher, Helmut; in DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 09/2003,
Wischerfabrik in Bietigheim Bissingen, Retrieved from :
https://inspiration.detail.de/wischerfabrik-in-bietigheim-bissingen-100604.html
Wischerfabrik
Zugriff April 2021

DIN e.V. (Hrsg.) DIN EN ISO 14020:2002-02, Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Allgemeine Grundsätze; 2002, Deutsche Fassung EN ISO 14020:200

DIN e.V. (Hrsg) DIN EN 15804, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011, Beuth-Verlag Berlin, 2021

DIN e.V. DIN EN 15987, 2020-03
Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, 6. Produktkategorieregeln für die Ökobilanz, Beuth-Verlag Berlin, 2021

EN ISO 9000, Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe, 2005,
(2005 Nr. 3.2.15).Vgl. Hegger et al.

Eisele, Harzdorf, 2020, Multifunktionale Büro- und Geschäftshäuser, Planung – Konstruktion – Ökologie – Ökonomie, Wiesbaden: Springer Fachmedien, S.30 ff

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

El Khouli, Sebastian, 2014, Nachhaltig Konstruieren : Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl, München, Detail Business Information

Forschungsbereich für Hochbau und Entwerfen E253-4, 2021, „Ornamentierte Konstruktion Konstruierte Ornamentierung" Retrieved from http://www.h1arch.tuwien.ac.at/forschung/dissertationen/ornamentierte-konstruktion-konstruierte-ornamentierung/ Zugriff August 2021

Griffiths, Alyn, 2018
in Dezeen Zeitschrift-Webpage, Timber arches support wavy roof of Mactan Cebu International Airport in the Philippines, Retrieved from https://www.dezeen.com/2018/12/03/mactan-cebu-international-airport-philippines-integrated-design-associates/

Gröschk, Thomas, 5/2019
Maßgebende Einwirkungen auf Bogentragwerke für Brücken aus Quadermauerwerk für beliebige Geometrien infolge Normlasten, FH Dresden S.20

Guttenbrunner, Raimund; 2015, Ökologischer und ökonomischer Vergleich von Außenwandaufbauten im mehrgeschossigen Wohnbau in Österreich, TU Wien

Hafner, Annette; Ott, Stephan; Winter, Stefan, 2012, Holzbauten Nutzung und Lebenszyklus - Ökobilanzen für Bauwerke, Standard und praktische Anwendung - Holzbau -die neue Quadriga, S. 39

Hauke, Bernhard; 2016; Sustainable steel buildings : a practical guide for structures and envelopes; Wiley Blackwell; Chichester, [England] , S.93

Hauke, Bernhard, 2016, Warum ist Stahl regenerativ? Wiederverwendung + Recycling. Hrsg. vom bauforumstahl e.V., Düsseldorf 2021

Hegger, Manfred, 2005, Baustoff Atlas, München
S.19, 64, 80,138,

Herget, Werner ; 1993,Tragwerkslehre : Skelettbau und Wandbau, Stuttgart, 146-151

Hestermann U. , Rongen L., 2018, Nachhaltig Konstruieren, Wiesbaden, Springer Fachmedien, S. 41

Home Expo 2000, 2000, Die Weltausstellung 1889 in Paris
Die Galerie des Machines - Die größte Spannweite der Welt, Webpage Home Expo 2000, Retrieved https://site.exposeeum.de/expo2000/geschichte/detail.php?wa_id=6&lang=2&s_typ=3
Zugriff Mai 2021

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Holzleimbau, Studiengemeinschaft e.V. o.J., 2021, Webpage, Retrieved from, https://www.brettschichtholz.de/publish/0940a029_20ed_76a6_2c9a5dae9c0493e3.cfm Zugriff Mai 2021

International Energy Agency ,2020, World Energy Model, Webpage IEA, Retrieved from: https://www.iea.org/reports/world-energy-model Zugriff April 2021

KAMRATH P. / HECHLER, O. (2011): Eine Einführung in den Stand der Technik bei Abbruch- und Rückbauarbeiten: Konzepte, Möglichkeiten und Potential, in: Bauingenieur, Band 86, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, Juni 2011, S. 269 - 280 z.n. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus, Dipl.-Ing. (FH) Anne Randel Stahlbauforum (Hrsg.) 2020, Sachstandbericht zum Stahlrecycling im Bauwesen, Wuppertal, bauforumstahl Retrieved from: https://bauforumstahl.de/upload/documents/nachhaltigkeit/Sachstandsbericht.pdf Zugriff September 2021

Lipp Bernhard , Verein IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, 2016, Webpage IBO, Anwendungen OI3, Wien Retrieved from https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/oekoindex-oi3 Zugriff April 2021

Moro José Luis, 2019, Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail, Berlin

Obrien Mike, 2011, Palais des Machines, Internetauftritt Mike Obrien „mjobrien architect“ Retrieved from https://mjobrien.com/ARCH606S09/palais_des_machines.pdf Zugriff Mai 2021

Öchsner Andreas 2012, Theorie der Balkenbiegung, Wiesbaden, S.11

Ökobaudat, 2021, Datenplattform Webpage, Furnierschichtholz (generisch), Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Berlin retrieved from: https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=b50f7b36-d9aa-40c5-b839-4925a1500952&version=20.20.120&stock=OBD_2021_II&lang=de Zugriff September 2021

Ökobaudat 2021, Datenplattform Webpage, Offene Walzprofile und Grobbleche (als Referenzwerte), Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Berlin retrieved from https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=5cb2c568-76fe-4803-8b46-0084e79800c8&version=00.14.000&stock=OBD_2021_II&lang=de Zugriff September 2021

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

ÖNORM B 1991-1-4: 2019 07 15, Austrian Standards (Hrsg.)2019 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen

Pollmeier Massivholz GmbH & Co, 2021, Internetauftritt - Downloads Baubuche, Statische Kennwerte Retrieved from: https://www.pollmeier.com/de/dam/jcr:9ca159c1-b5aa-4fe0-bb63-3840dbbd8413/Pollmeier%20BauBuche%20-%2004%20-%20Statische-Kennwerte.pdf
Zugriff August 2021

Ritter F., Kalusche W., Kalusche J. , 2016 BKI Baukosten Neubau - Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH, Stuttgart, 2016

Rockström, Johan, 2017 : A roadmap for rapid decarbonization. In: Science. Band 355 (Hrsg.) Nr. 6331 S. 1269–1271, Webpage „Science" - Magazin, Retrieved from: doi:10.1126/science.aah3443 (englisch). et al.
Zugriff April 2021

Schrattenecker I., Trebut F., 2020, Programmleitung, Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik, Wien, Ögut
Retrieved from:
https://www.oegut.at/downloads/pdf/klimaaktiv_2020_Roundtable-kriterienkatalog_ueberblick_20201021.pdf)

SIA 2032 - 2020, 2020 Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden

Stadt Wien - Stadtentwicklung - Internetauftritt, 2021, „Gedanken über den neuen Stadtteil", Retrieved from: https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/aspern-seestadt/pdf/0301gedanken.pdf
Zugriff: Juli 2021

Statista, Webpage, 2019, Anzahl der bestehenden Unternehmen in Wien nach Branchen
Retrieved from:
https://de.statista.com/statistik/daten/studie/684796/umfrage/betriebe-in-wien-nach-branchen/
Zugriff September 2021

Stempkowski, Rainer, 2020, Vorlesung : Life Cycle Management Vorlesung, FH Campus Wien

Stephan, Daniel 2017, „Ökonomische und Ökologische Aspekte" - Vorlesungsreihe, TU Wien, S.68-70

UBM Development AG, UBM Webpage, 2021, Hanfbeton schlägt Wohn-Wellen,
Retrieved from:
https://www.ubm-development.com/magazin/hanfbeton-schlaegt-wohn-wellen/
Zugriff August 2021

UNFCCC Framework Convention on Climate Change, 12. Dezember 2015. Adoption of the paris agreement, Webpage der UNFCCC (Hrsg.) PDF Retrieved from:
http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf
Zugriff April 2021

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildungsverzeichnis

Abb.1 Primärenergiebedarfe weltweit in Terawattstunden
Our World in Data, 2021, Webpage Our World in Data - Energy Production & Consumption,
Retrieved from:
https://ourworldindata.org/energy-production-consumption
Zugriff März 2021

Abb. 2-4, 6 Energieverbräuche nach Sektoren, Energielieferanten nach Regionen, Entwicklung Energieverbräuche nach Branchen, Entwicklung Gesamtenergieverbräuche
International Energy Agency, 2021, Webpage IEA - Energy Consumption Charts,
Retrieved from
https://www.iea.org/search?q=energy%20consumption%20
Zugriff März 2021

Abb. 5,7 Entwicklung CO_2 Emissionen nach Branchen, Treibhausgasemissionen strukturelle und technische Effizienzsteigerungen
International Energy Agency, 2021, Webpage IEA - CO_2 Emissions-Charts,
Retrieved from:
https://www.iea.org/search/charts?q=CO2%20emissions
Zugriff März 2021

Abb.8
International Energy Agency, 2021, Webpage IEA - Fuels share of annual electricity growth and primary energy intensity improvement
Retrieved from:
https://www.iea.org/search/charts?q=fuels%20share
Zugriff März 2021

Abb.9 Grafische Darstellung Lebenszyklusanalyse
El Khouli, Sebastian, 2014, Nachhaltig Konstruieren : Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl, München S.17. et al.

Abb.10 und 10.1 Diagramm Lebenszyklen
El Khouli, Sebastian, 2014, Nachhaltig Konstruieren : Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl, München S.45. et al. und grafische Überschreibungen, Mohamed Mabrouk, 2021, Pages, Wien

Abb.11 Rahmen und Stufen einer Ökobilanz
Guttenbrunner Roland, 2015, Ökologischer und ökonomischer Vergleich von Außenwandaufbauten im mehrgeschossigen Wohnbau in Österreich, Wien, S.17 et al.

Abb. 12 Lebenszyklusmodell nach DIN 15978
Hafner, Annette; Ott, Stephan; Winter, Stefan, 2012, Holzbauten Nutzung und Lebenszyklus - Ökobilanzen für Bauwerke, Standard und praktische Anwendung - Holzbau -die neue Quadriga, S. 39

Abb.13 Technische Lebensdauer von Gebäudekomponenten im Vergleich
Eisele Johann, Harzdorf Anne, 2020, Multifunktionale Büro- und Geschäftshäuser, Planung – Konstruktion – Ökologie – Ökonomie, Wiesbaden: Springer Fachmedien, S.30 ff

Abb.14 Technische Umstrukturierung eines Bürobaus,
Eisele Johann, Harzdorf Anne, 2020, Multifunktionale Büro- und Geschäftshäuser, Planung – Konstruktion – Ökologie – Ökonomie, Wiesbaden: Springer Fachmedien, S.10

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 15 -17 Kosten und Ertragsentwicklungen im Gebäudebetrieb zufolge technischer Maßnahmen
Stempkowski, Rainer, 2020, Vorlesung : Life Cycle Management Vorlesung, FH Campus Wien

Abb.18 Offene Räume: Beispiel
DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 6/1998, Webpage (TU-VPN Autorisierung) Detail Inspiration, „Messehalle in Hannover", Retrieved from https://inspiration.detail.de/messehalle-in-hannover-107655.html
Zugriff Mai 2021

Abb.19 Offene Räume : Beispiel
DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 5/2018 , Webpage (TU-VPN Autorisierung) Detail Inspiration, „Campuserweiterung in Madrid", Retrieved from
https://inspiration.detail.de/campuserweiterung-in-madrid-114179.html
Zugriff Mai 2021

Abb.20,21 Blue Box in Bochum
DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 4/2018 Webpage (TU-VPN Autorisierung) Detail Inspiration, „Blue Box in Bochum", Retrieved from
https://inspiration.detail.de/bluebox-in-bochum-106260.html
Zugriff April 2021

Abb.22 Verwaltungsgebäude in Futtsu
DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 4/2017 Webpage (TU-VPN Autorisierung) Detail Inspiration, „ Verwaltungsgebäude in Futtsu " , Retrieved from
https://inspiration.detail.de/verwaltungsgebaeude-in-futtsu-113663.html
Zugriff April 2021

Abb.23 Messehalle in Paris
DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 5,2008 Webpage (TU-VPN Autorisierung) Detail Inspiration, „ Messehalle in Paris " , Retrieved from
https://inspiration.detail.de/messehalle-in-paris-100178.html
Zugriff April 2021

Abb.24 Crystal Palace
Konradin Medien GmbH - Deutsche Bauzeitung Webpage, 2005, Joseph Paxton, Erbauer des Londoner Kristallpalasts Retrieved from:
https://www.db-bauzeitung.de/db-themen/technik/ingenieurportraet-joseph-paxton/#slider-intro-8
Zugriff April 2021

Abb. 25 Palais de Machines, Paris
Louis Emile Durandelle, 1880s, Webpage tumblr. Inc (Hrsg.) retrieved from:
https://semioticapocalypse.tumblr.com/post/166437002510/louis-emile-durandelle-palais-des-maschines
Zugriff Mai 2021

Abb.26 Maschinen-Galerie Paris,1889
Yann, Webpage wikimedia commons, 2009, Retrieved from
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interior_of_exhibition_building,_Exposition_Universal,_Paris,_France.jpg
Zugriff

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Abb. 27 Pala Armani - Stadionüberdachung
Mero TSK, 2017, Pala Armani - Stadionüberdachung der Armani Baskets, Internetauftritt Mero TSK Retrieved from
https://www.mero.de/index.php/bausysteme/bausysteme-referenzen/45-fassadensysteme/947-pala-armani-stadionueberdachung-der-armani-baskets

Abb.28 Bestandteile Mero System
Jamkaneh, E.M.; Ebrahimi A.H.; Amiri S.M.; 2020, Numerical Investigation of the Behavior of MERO Joint System Under Combined Loading Regarding Helical Threads of Elements, Springer (Hrsg.) Retrieved from
https://link.springer.com/article/10.1007/s13296-020-00330-8

Abb.29 Mero Knoten 3D Rendering
Mero TSK, 2018, Geometry optimization of space frame structures for joint modularity, Retrieved from:
https://www.mero.de/index.php/bausysteme/knotensysteme

Abb.30 Schraubverbindungen in Knotenpunkten
Grimm F., Kocker R., Stahlbauforum (Hrsg.) 2021, in „Hallen aus Stahl - Planungsleitfaden", S.10f

Abb. 31 Querschnitt eines Stahlträgers, mit Spannungsverläufen
Öchsner Andreas 2012, Theorie der Balkenbiegung, Wiesbaden, S.11

Abb.32-35 Hallenbausysteme
Grimm F., Kocker R., Stahlbauforum (Hrsg.) 2021, in „Hallen aus Stahl - Planungsleitfaden", S.10f Retrieved from
https://bauforumstahl.de/wissen/planungsgrundlagen/hallenbau
Mai 2021

Abb. 36-37 Vergleich einhüftiger Rahmen, mit Rahmen
Herget, Werner ; 1993,Tragwerkslehre : Skelettbau und Wandbau, Stuttgart, 146-151

Abb.38 Vergleich Stahlträger mit Glasfaserverstärktem Kunststoff
El Khouli, Sebastian, 2014, Nachhaltig Konstruieren : Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl, München, S.51.

Abb.39 Aufgewandte Energie in Bezug zur Tragfähigkeit
MM,2021 angelehnt an El Khouli, Sebastian, 2014, Nachhaltig Konstruieren : Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl, München, S.50

Abb.40 Energiemix und GWP Baustoffe
Hegger, Manfred, 2005, Baustoff Atlas, München
S.80 et al.

Abb.41 Konstruktionsfläche zu Knicklast
Hauke, Bernhard, 2016, Warum ist Stahl regenerativ? Wiederverwendung + Recycling. Hrsg. vom bauforumstahl e.V., Düsseldorf 2021, S.93

Abb. 42-44.2 Kompatibilität im Rückbau von Materialkombinationen, Materialvergleiche nach Ökoindikatoren
El Khouli, Sebastian, 2014, Nachhaltig Konstruieren : Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl, München, S.39,46,50,51,56

Abb. 43-49.3 Bildtitel im Fließtext unterhalb der Bilder
DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 09/2003,
Wischerfabrik in Bietigheim Bissingen, Retrieved from :
https://inspiration.detail.de/wischerfabrik-in-bietigheim-bissingen-100604.html
Wischerfabrik Zugriff April 2021

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb.50-61: Bildtitel im Fließtext unterhalb der Bilder
in DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 01/ 2019, Terminal 2 des Flughafens Mactan, Retrieved from
https://inspiration.detail.de/Download/document-download/id/5e39206770ca7
Zugriff Mai 2021

Abb.64-64.2 Schwarzplan Wien mit eingezeichneten Beschriftungen
Nonne, Christopher -"schwarzplan.eu", Webpage, Schwarzplan Wien, 2021
Retrieved from
https://schwarzplan.eu/lageplan-wien/
Zugriff Juli 2021

Abb.65-65.2 Satellitenbild Wien Seestadt und Donaustadt mit eingetragenen Beschriftungen
Google Earth, 2021, Satellitenbild Wien Seestadt und Donaustadt mit eingezeichneten Beschriftungen, Retrieved from:
https://earth.google.com/web/
Zugriff Juli 2021

Abb.66-68 Bauplatz und städtebauliche Umgebung
Mabrouk, Mohamed, 2021, Bauplatz und Umgebung, Archicad auf Basis Daten des Geodatenviewer Stadt Wien, Wien

Abb. 69-77 Annäherung Entwurf - Entwurfsschritte, anhand Axonometrie und Bebauungsplan
Mabrouk, Mohamed, 2021, Genaue Bezeichnungen im Fließtext unterhalb der Bilder, Archicad 24, Pages, Wien

Abb.78 Flugfeld Aspern
Stadt Wien - Stadtentwicklung - Internetauftritt, 2021, Masterplan Seestadt - „Flugfeld Aspern", Wien
PDF Retrieved from:
https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/aspern-seestadt/planungsprozess/masterplan.html
Zugriff Juli 2021

Abb.79 Der Löwe von Aspern von Anton Dominik Fernkorn
Nikles Günter, Google Earth (Hrsg.),Aufnahme von 5/2008, 2021, Der Löwe von Aspern, Wien

Abb.80 Stadträume
Stadt Wien - Stadtentwicklung - Internetauftritt, 2021, Masterplan Seestadt - „Stadträume"
PDF Retrieved from:
https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/aspern-seestadt/planungsprozess/masterplan.html
Zugriff August 2021

Abb.81 Regionale Achse Wien-Bratislava
Stadt Wien - Stadtentwicklung - Internetauftritt, 2021, Masterplan Seestadt - „ Verkehrsstrategien.." PDF Retrieved from:
https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/aspern-seestadt/pdf/0402stadtraeume.pdf
Zugriff Juli 2021

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 82 Prägende Elemente
Wien 3420 aspern Development AG-Internetauftritt, 2018, „Prägende Elemente“,
Retrieved from:
https://www.aspern-seestadt.at/jart/prj3/aspern/data/downloads/180109_Praegende_Elemente__2018-02-01_1702117.pdf
Zugriff Juni 2021

Abb.83 Freiraumhierarchien
Wien 3420 aspern Development AG-Internetauftritt, 2018, „Freiraumhierarchien“,
Retrieved from:
https://www.aspern-seestadt.at/infocenter/planmaterial
Zugriff Juni 2021

Abb.84
Wien 3420 aspern Development AG-Internetauftritt, 2018, „Funktionen und Nutzungen“,
Retrieved from:
https://www.aspern-seestadt.at/infocenter/planmaterial
Zugriff Juni 2021

Abb.85 Ziele
Stadt Wien - Stadtentwicklung - Internetauftritt, 2021, Masterplan Seestadt - „Ziele“
PDF Retrieved from:
https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/aspern-seestadt/pdf/0401ziele.pdf
Zugriff 2021

Abb. 86 Ausschnitt, Palmenhaus Schönbrunn
Wolfgang H. Wögerer, Wien, 2008, Retrieved from
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palm_house_(Sch%C3%B6nbrunn)_outside_architectural_detail_20080210-jpg
Zugriff Juli 2021

Abb.87 Palmenhaus Wien
Planet Clio, 2012,Webpage, Sedlmayrs Wien (Teil I)
Retrieved from:
http://planet-clio.org/blog/category/schonbrunn/
Planet Clio
Zugriff Juli 2021

Abb.88 Projekt „Mobiust“
Architektur-online, Architektur-Online Webpage, 2019, Wohnen in der Endlosschleife,
Retrieved from:
https://www.architektur-online.com/magazin/wohnen-in-der-endlosschleife-mobiust
Zugriff August 2021

Abb. 92
Lorenz, Peter, 1991, Gewerbebau Industriebau : Architektur, Planen, Gestalten
Stuttgart: Koch 1991, S. 21

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 93
Lorenz, Peter, 1991, Gewerbebau Industriebau : Architektur, Planen, Gestalten
Stuttgart: Koch 1991, S. 174

Abb.94
DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 4/2018 Webpage (TU-VPN Autorisierung) Detail Inspiration, „Blue Box in Bochum“, Retrieved from
https://inspiration.detail.de/bluebox-in-bochum-106260.html
Zugriff August 2021

Abb.95 und 96
Luc Boegly - in DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 2/2018 Webpage (TU-VPN Autorisierung) Detail Inspiration, „Kunstakademie in Nantes“, Retrieved from
https://inspiration.detail.de/bluebox-in-bochum-106260.html
Zugriff August 2021

Abb.97
Lorenz, Peter, 1991, Gewerbebau Industriebau : Architektur, Planen, Gestalten
Stuttgart: Koch 1991, S. 133

Abb.98
Lorenz, Peter, 1991, Gewerbebau Industriebau : Architektur, Planen, Gestalten
Stuttgart: Koch 1991, S. 7

Abb.99 Brainstorming : Was tut die Halle für die Seestadt
Mabrouk, Mohamed, 2021, Brainstorming Halle in Seestadt, Archicad 24 Text, Wien

Abb.100 Teile einer Volkswirtschaft
Lorenz, Peter, 1991, Gewerbebau Industriebau : Architektur, Planen, Gestalten
Stuttgart: Koch 1991, S. 20

Abb.101 Anzahl Unternehmen nach Branchen
Statista GmbH, 2019, Webpage Statista, Köln
Retrieved from
https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1108477/umfrage/unternehmen-in-oesterreich-nach-branchen/
Zugriff August 2021

Abb.102-103 Nahebezug zwischen Nutzungen in der Umgebung und Gebäude
Mabrouk, Mohamed, 2021, Archicad 24, Wien

Abb.104 Raumprogramm
Mabrouk, Mohamed, 2021, Raumprogramm, Archicad 24, Mac - Pages, Wien

Abb.105/106 Rahmen, Bogen
Stahlbauforum, 2021, Internet Auftritt, Wissen-Planungsgrundlagen, Retrieved from:
https://bauforumstahl.de/upload/documents/HallenausStahl_Planungsleitfaden.pdf
Zugriff September 2021

Abb.107 Situierung des Baukörpers im Grundstück
Mabrouk, Mohamed, 2021, Situierung, Archicad 24 und Mac - Pages, Wien

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb.108-121 Situierung des Baukörpers im Grundstück und weitere Bearbeitung des Modells
Mabrouk, Mohamed, 2021, Einzelne Bezeichnungen unterhalb der Bilder im Fließtext, Rhino und Mac - Pages, Wien

Abb.122 Grasshopper Parameterstruktur des Baukörpermodells

Abb.123 - 131 Schnittansichten des Baukörpers
Mabrouk, Mohamed, 2021, Einzelne Bezeichnungen unterhalb der Bilder im Fließtext, Rhino und Mac - Pages, Wien

Abb. 134-136 Raumstruktur und Grundrisse der Halle, Raumprogramm
Mabrouk, Mohamed, 2021, Rhino und Archicad 24 , Wien

Abb. 137-141 Raumstruktur und Räume - Axonometrie Darstellungen
Mabrouk, Mohamed, 2021, Rhino und Archicad 24 , Wien

Abb.142-143 Raumschnitte und Funktionen - 3D Darstellung
Mabrouk, Mohamed, 2021, Rhino und Archicad 24 , Wien
Abb.144-148 Entwicklung der Primärkonstruktion: 3D Modellierungsschritte
Mabrouk, Mohamed, 2021 Entwicklung der Primärkonstruktion, Rhino, Wien

Abb. 149-150 Bogenformen und Schnittreaktionen
Moro José Luis, 2019, Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail, Berlin, S. 220,2.241

Abb. 151-152 Balken unter Gleichlast, Bogen unter Gleichlast und Biegemoment
Mabrouk, Mohamed in Anlehnung an Moro J.L. S. 229ff 2021, Archicad 24, Wien

Abb. 153 Biegespannungen im Bogen bei Abweichungen von der Stützlinie
Mabrouk, Mohamed nach. J.L.Moro, 2019, 243, Archicad 24, Wien

Abb. 154 Abwägungen der Bogenform im Entwurf
Mabrouk, Mohamed in Anlehnung an J.L.Moro, 2019, Mac-Pages, Wien

Abb. 155 Intuitive Adaption des analysierten Modells
Mabrouk, Mohamed, 2021,Primärkonstruktion Rhino, Wien

Abb. 156-162 Vorbereitung des Tragwerkmodells für FE-Analyse - Einzelbezeichnungen im Fließtext unterhalb der Abbildungen
Mabrouk, Mohamed, 2021, Tragwerksmodell-Darstellungen, Rhino-Grasshopper und Karamba 3D, Wien

Abb. 163-171 3D-Modell- Darstellungen der FE-Analyse - Einzelbezeichnungen im Fließtext unterhalb der Abbildungen
Mabrouk, Mohamed, 2021, Tragwerksmodell-Darstellungen, Rhino-Grasshopper und Karamba 3D, Wien

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abb. 172-184 3D-Modell- Darstellungen der Montage, Primärstruktur, Sekundärstruktur und Hülle - Einzelbezeichnungen im Fließtext unterhalb der Abbildungen
Mabrouk, Mohamed, 2021, Tragwerksmodell-Darstellungen, Rhino-Grasshopper und Karamba 3D, Wien

Abb.172.1 Bemessung Streifenfundament
[1] Auszug Bemessungstab.: Institut für Architekturwissenschaften-Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau-TU Wien, 2015

Abb.172.2 Bewehrungsführung
Baustatik Wiki, Webpage, 2021, Streifenfundament, Wien Retrieved from https://baustatik-wiki.fiw.hs-wismar.de/mediawiki/images/thumb/1/15/Betondeckung_%28Bsp.%29_3.png/491px-Betondeckung_%28Bsp.%29_3.png Zugriff September 2021 und Pech A., 2005, Baukonstruktionen-Gründungen, Wien, Springer-Verlag, S.78 et al.

Abb. 185- 194 Schnittpläne, Ansicht- und Schnittdarstellungen, Detailpläne Einzelbezeichnungen im Fließtext, bei der Abbildung
Mabrouk, Mohamed, 2021, Tragwerksmodell-Darstellungen, Rhino und Archicad 24, Wien

Abb. 195-195.3 Detaillierung 3D
Einzelbezeichnungen im Fließtext bei Abbildung
Mabrouk,Mohamed, 2021, Archicad 24, Wien

Abb. 196 Visualisierung 3D
Mabrouk, Mohamed, 2021, Archicad 24 und Cinema 4D, Wien

197-199 Brandschutzpläne
Grundrisse mit Raumprogramm und Sprinkleranlage
Mabrouk, Mohamed, 2021, Brandschutzpläne, Rhino und Archicad 24, Wien

Abb. 200-211 Renderings
Mabrouk, Mohamed, 2021, Renderings, Rhino und Cinema 4D, Wien

Fig.1 und **1.1.** Effizienz mit dem Primat der Verringerung eingesetzter Mittel, Effizienz : Das Verhältnis zwischen Aufwand zu Leistung ..
Mabrouk, Mohamed, März 2021, Diagramme zum Thema Effizienz, Mac-Pages, Wien

Fig.2 Komplexität einer Nachhaltigkeitsbewertung,
Mabrouk Mohamed, März 2021, Diagramm zum Thema Nachhaltigkeit angelehnt an Inputs der Vorlesungsreihe Ökologische Aspekte der TU Wien, Mac Pages, Wien

Fig. 3 Dimensionen Nachhaltigkeit
El Khouli Sebastian et al. , 2014, et al.

Fig.4 Konstruktive Effizienz
Mabrouk, Mohamed

Fig.5 Interkonnektivitäten Umwelt Architektur Stadt,
Mabrouk, Mohamed,, 2021, Diagramm Interkonnektivitäten, Mac-Pages, Wien

Fig.6 Sphären der Betrachtung nach Fachansätzen,
Mohamed Mabrouk, 2021, Diagramm Interkonnektivitäten, Mac-Pages, Wien

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Fig.7 Anforderungen und Qualitäten eines Gebäudes,
Mohamed Mabrouk, 2021, Diagramm Anforderungen und Qualitäten, Mac-Pages, Wien

Fig. 8 und **9** Architektur als Katalysator für den Entwurf nachhaltiger Architektur,
Mohamed Mabrouk, 2021, Diagramm Anforderungen und Qualitäten, Mac-Pages, Wien

Fig. 10 und **11** Wertperspektive, Der Grad der technischen Beeinflussbarkeit der Kosten
Mohamed Mabrouk, 2021, Diagramme angelehnt an Stempkowski 2020(Siehe Verzeichnis), Bollinger Klaus Grohmann Martin, 2013, Atlas moderner Stahlbau, S.141., et al., Mac-Pages, Wien

Fig.12 Ausschöpfung der technischen Lebensdauer von Gebäuden
Mohamed Mabrouk angelehnt an Stempkowski 2020, Diagramm Ausschöpfung Gebäude, Pages, Wien

Fig. 13 u. **14** Flexibilität und Ausrichtung eines Gebäudes, Strukturierung des Raumes
Mohamed Mabrouk, 2021, Darstellungen zum Thema Raum-Flexibilität, Mac-Pages, Wien

Fig.15/16 Trennbare Konzeption Tragstruktur, Ausbau, Hülle
Mohamed Mabrouk, 2021, Schematische Darstellung Konzeption Tragstruktur, Ausbau, Hülle, Archicad 24, Wien

Fig.17 Ressourceneffizienz-Spanne am Beispiel eines Tragwerks,
Mohamed Mabrouk, 2021, Schematische Darstellung Effizienz-Spanne der Tragstruktur, Archicad 24, Wien

Fig.18-20 3D Modell Darstellungen Schnittkräfte im Vergleich verschiedener Rahmenformen
Mabrouk, Mohamed ; 2021, 3D Tragwerks-Darstellungen mit Schnittkräften, Archicad 24 , Wien

Fig.18 Hierarchie für die kollisionsfreie und kongruente Planung von Hochbau & technische Gebäudeausrüstung
Mabrouk, Mohamed,2021, Diagramm - Planungshierarchien, Mac- Pages , Wien

Fig.19-24 Tragwerksanalyse mittels Karamba 3D in Rhino Grasshopper - 3D Modell
Mabrouk, Mohamed,2021, Genaue Bezeichnungen im Fließtext unterhalb der Bilder, Rhino-Grasshopper und Karamba 3D, Wien

Fig.25 Prozessdiagramm: Entwurf
Mabrouk, Mohamed, 2021, Prozessdiagramm Entwurf, Pages, Wien

Fig.26,27,28 Diagramme zum Thema Nutzergruppen und Beziehungen -für das Raumprogramm - Genaue Bezeichnungen unterhalb der Figuren im Fließtext,
Mabrouk, Mohamed, 2021, Nutzergruppen und Raumprogramm, Mac-Pages, Wien

Fig. 29 Bearbeitung der Baukörper für die Durchwegung
Mabrouk, Mohamed, 2021, Archicad 24, Wien

Fig. 31 Ideenskizze
Mabrouk, Mohamed, 2021, Mac-Pages, Wien

Fig. 32 Ideenskizze, Halle im Stadtgefüge
Mabrouk, Mohamed, 2021, Mac-Pages, Wien

Fig.33 Prozessdiagramm: Entwicklung der Primärkonstruktion
Mabrouk, Mohamed, Prozessdiagramm Primärkonstruktion, 2021, Mac-Pages, Wien

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub