Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

Diploma Thesis

Optimization of parametric structures

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Optimierung von parametrischen Tragstrukturen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

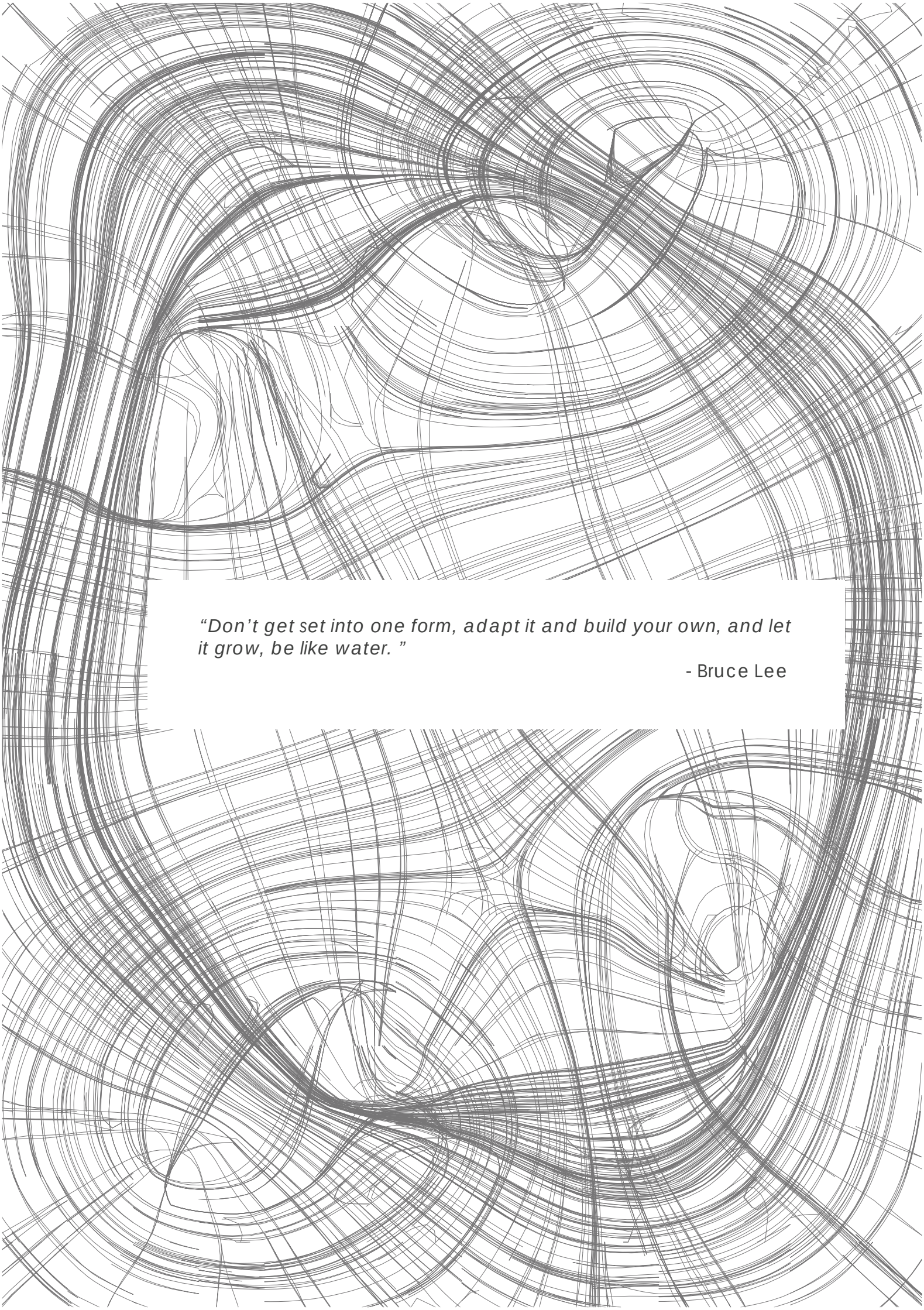
Edin Sabic
Matr.Nr.: 01428447

unter der Anleitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christian Bucher**

Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien

Wien, im März 2019



“Don’t get set into one form, adapt it and build your own, and let it grow, be like water. ”

- Bruce Lee

Kurzfassung

In Zusammenarbeit mit Hr. Suppin von Industriebau-Instituts der Technischen Universität Wien wurde in dieser Diplomarbeit mit dem Programm Rhino/Grasshopper auf Grundlage des vorgegebenen Entwurfs ein parametrisches Berechnungsmodell ausgearbeitet und aus statischer Sicht weiterentwickelt. Ziel des Entwurfes war gemeinsame Entwicklung einer parametrischen Struktur mit integrierten Optimierungsalgorithmen.

Bei dem Entwurf handelt sich um ein eingeschossiges Bauwerk, welches auf drei Stahlbetonkernen aufgeständert ist und damit eine Veranstaltungsfläche im Erdgeschoß überdacht. Die Konstruktion wurde rund um folgende Randparameter entwickelt: Bodenkontamination und Aussicht auf die Otto-Wagner-Brücke. Parametrische Definition der Konstruktion folgte mittels folgender Elemente: Anzahl der Kerne, Höhe der Konstruktion, Breite, Länge, Raumteilung, Dachform, Dachdichte, Dichte des räumlichen Fachwerks...

Der zweite Teil der Diplomarbeit beschäftigt sich mit alltäglichen Beispielen für die parametrische Optimierung von Tragwerken durch den Tragwerksplaner. Verschieden Stabwerkmodelle wurden parametrisch definiert und aus statischer Sicht optimiert. Ziel war es mit diesen Beispielen zu zeigen, dass mit relativ geringem Zeitaufwand für Eingabe und Berechnung statisch sinnvolle Lösungen möglich sind die iterativ nur sehr schwer oder gar nicht ermittelt werden können.
Nach Ansicht des Verfassers ist diese Art der Tragwerksplanung geeignet um einen zukünftigen Stand der Technik zu definieren.

Abstract

In cooperation with Mr. Suppin from the Industry Construction Institute a plan basis in Rhinoceros/Grasshopper was created, which in this work was further developed with focus on structural optimization. The goal was the integrated development of a parametric structure with integrated optimisation algorithms.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Project consists of one-story construction, that stands on three cores and thereby creates covered space which can be used for event purposes. Construction is developed on following boundary conditions: ground contamination and view on the Otto-Wagner-bridge. Parametric definition of the construction was determined with following elements: number of cores, height of construction, width, length, space division, roof form, roof density, space truss density...

The second part of Master thesis is focused on structural optimization examples, which are being solved on the daily basis by structural engineers. Several typical framework models were parametrically defined and structural optimised. By showing these examples the goal was to present that reasonable solutions were found within small amount of time, which were iteratively hard or not possible to find at all. Therefore, in the authors view, this type of structural engineering is able to define future state of the art.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Inhalt

1. Allgemeiner theoretischer Teil 6
1.1. State of the art 6
1.1.1. Parametrisches Design 6
1.1.2. Parametrische Architektur 8
1.1.3. Tragwerksplanung der Parametrische Architektur 12
1.1.4. Tragwerksoptimierung mittels parametrischer Algorithmen 14
1.2. Methoden und Werkzeuge 17
1.2.1. Design Optimierung 17
1.2.2. Optimierungsalgorithmen 19
1.2.3. Rhinoceros 3d 24
1.2.4. Grasshopper 25
1.2.5. Karamba 3d 26
1.2.6. Solvers 27
1.2.7. Revit und Dynamo 28
2. Integraler parametrischer Entwurf: Veranstaltungsobjekt Margaretengürtel 29
2.1. Ziel der Arbeit 30
2.2. Grundlagen 32
2.3. Analyse 38
2.3.1. Untergrundanalyse 39
2.3.2. Material 42
2.4. Einfluss von Kernposition an den inneren Spannungen/Verformungen des Tragwerks 43
2.5. Deckenöffnungen 47
2.6. Weiterer Entwurf – Waben am Dach 48
2.7. Entwurf der Untere Decke / Zusammenfassung in eine 3d Konstruktion 51
2.8. Analyse einer Decke - Orthotrope Platte vs. nicht orthotrope Lösung 55
2.8.1. Entwurf der Lösung nicht orthotrope Platte 57
2.9. Zusammenfassung 60
3. Tragwerksoptimierungsbeispiele 61
3.1. Baumstruktur 62
3.2. Holzfachwechwerk by ATP 69
3.3. Werbeturm 76
3.4. Verbindungsbrücke 79
3.5. Industrie Fachwerkbinder 81
3.6. Zusammenfassung 84
4. Verzeichnisse 85
4.1. Literaturverzeichnis 85
4.2. Abbildungsverzeichnis 87

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

1. Allgemeiner theoretischer Teil

1.1. State of the art

1.1.1. Parametrisches Design

Parametric design „...is a process based not on fixed metric quantities but on consistent relationships between objects, allowing changes in a single element to propagate corresponding changes throughout the system. "[1]
Dieses Gedankprozess formuliert man in der Form von Algorithmen, die programmierbar sind. Ein Algorithmus ist eine Reihe von Prozessen die mit Parameter (Input) startet und ein Ergebnis (output) als Ziel liefert. Es besteht aus klar definierten logischen Schritten und wird seitens Programms erledigt. In Mathematik ein Parameter ist eine beliebig gesetzte Konstante, von welche eine Funktion abhängig ist.

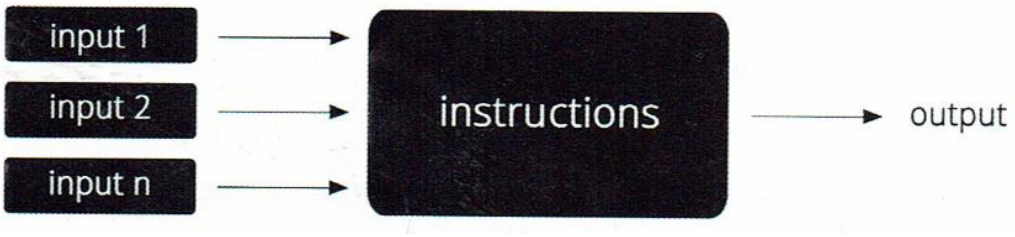


Abbildung 1.1 Schematische Darstellung des Algorithmus[2]

Um Parametrische Planung zu erklären, muss man zuerst den Unterschied zur geometrischen Planung machen. Bei der ersten Generation von CAD Programmen werden lediglich die alten Zeichnerischen Prozesse am Papier imitiert. Die Eigenschaften des darzustellenden Objektes sind definiert mit den Eckpunkten, Ebenen, Richtungen etc. Falls sich eine der Definitionseigenschaften ändert, muss man den ganzen Prozess wiederholen. Bei der Parametrische Planung, sind die Eigenschaftsträger abhängig von den Parametern, die vom Planer beeinflussbar sind. Als Beispiel betrachten wir ein Tisch. Die Position der Füße können wir statt fixen Koordinaten, mit parameterabhängingen Koordinaten definieren. Das gleiche kann

[1] MEREDITH, Michael (2008): From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture
[2] TEDESCHI, Arturo (2014): Algorithms-aided Design

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

man mit Stärke des Tisches und Höhe der Beine machen. Somit bekommen wir eine unendliche Anzahl von Designs.

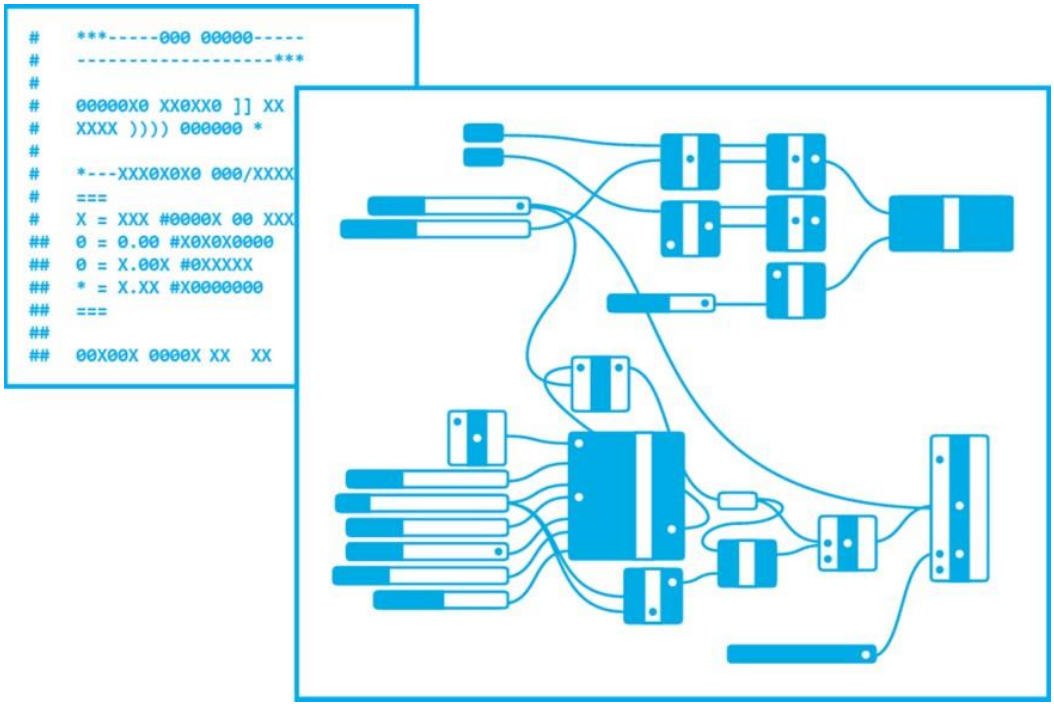


Abbildung 1.2 Computational design[3]

„Von einer Software zum parametrischen Modellieren können wir folglich sprechen, sobald diese es einem Benutzer ermöglicht geometrische Elemente direkt und indirekt zu erstellen und zu manipulieren.“[4]

Dieses ermöglicht nicht nur schnelle Variantenbildung, Planungsflexibilität und Vernetzung der Eigenschaften und der Projekterfordernisse, sondern auch Verbesserung in Gebäudequalität.

[3] http://www.architectmagazine.com/practice/the-21st-century-skill-set-for-architects_o
[4] http://entwurfsforschung.de/entwicklung-des-parametrischen-und-algorithmischen-entwerfens/

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

1.1.2. Parametrische Architektur

Der Begriff parametrisch kommt aus Mathematik und ist in Architektur als Gedanken seit Ende 19 Jahrhundert mitgebracht und durch Zeit von verschiedenen Architekten etabliert und entwickelt. Erste Architekt, der sich mit dem parametrischen Formen beschäftigt hat, war spanische Architekt Antonio Gaudi. Sein Wissen in Physik, fortgeschrittene Mathematik und Geometrie hat ihm geholfen, eine Architektur zu erstellen, die von parametrischen Gleichungen abhängig ist. Wegen seines Engagements für Modellbau ist heutzutage für Analoge parametrische Architektur bekannt.

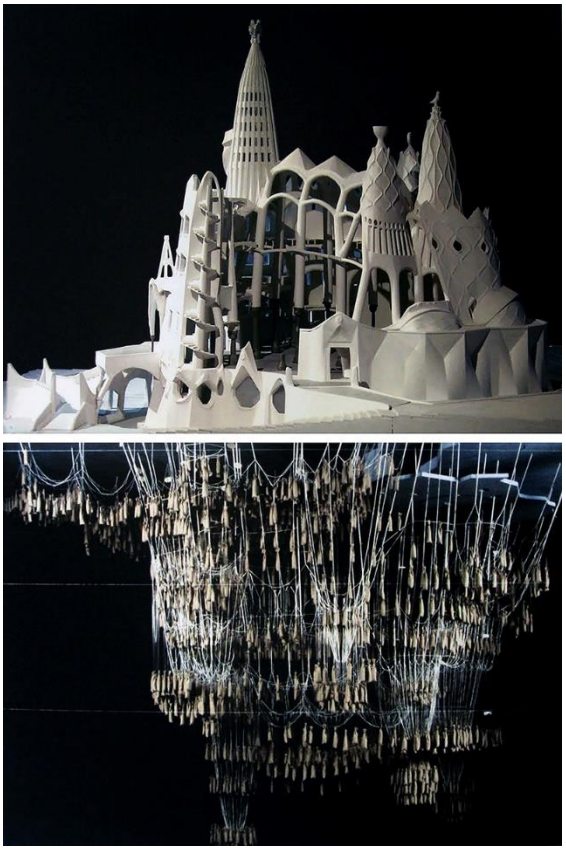


Abbildung 1.3 Gaudí's Hanging Chain Models[5]

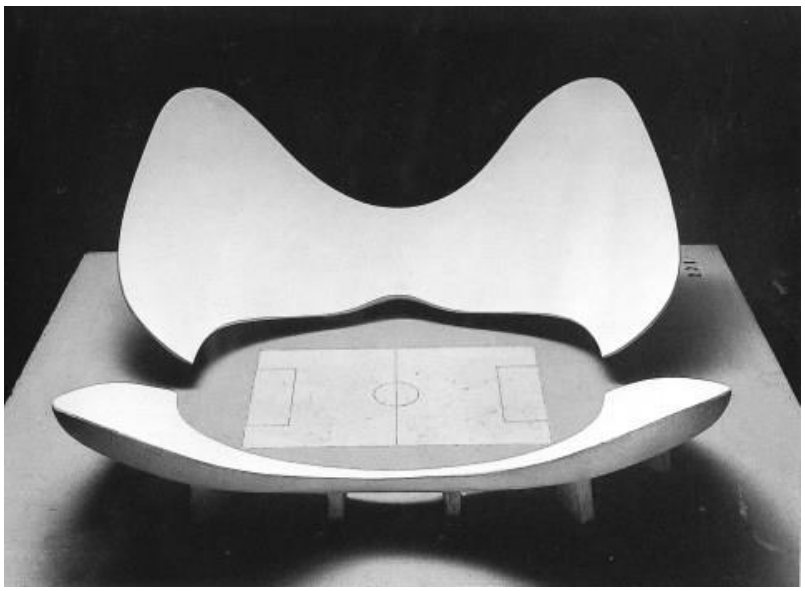
Gaudi umgekehrtes Modell basiert auf dem Prinzip des Kettenzuges und war ein Weg die ideale Bogenform. Gaudi hat das Modell jahrelang gebaut und für jede Änderung

[5] http://www.fabb.cc/publication/digitalread-analogwrite

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

ist eine physikalische Umrechnung des Modelles stattgefunden.

Die Begriffsbestimmung „Parametrische Architektur“ ist erst 1939 von Architekt Luigi Moretti erstellt und ist als „definieren der Beziehungen zwischen den Dimensionen in Abhängigkeit von den verschiedenen Parametern“[7] festgelegt. In seinem Beispiel erklärt er wie ein Stadium sich die Form, abhängig von verschiedenen Parametern, ändern kann.
In 1960 sind sein Forschungsarbeiten am Zwölften Milan Triennal präsentiert.



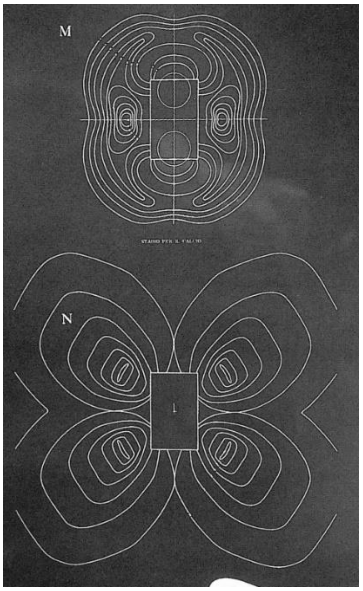


Abbildung 1.4 Moretti ‘s Modell am zwölften Milan Triennal[6]

„The parameters and their relationships became (...) the code of the new architectural language, the “structure” in the original sense of the word (…). The setting if parameters and their relation must be supported by the techniques and tools offered by the most current sciences, in particular by logics mathematics (…) and computers. Computers give the possibility to express parameters and their relations through a set of (self-correcting) routines “.[7]

Nach Morreti`s Entdeckungen ist die Wichtigkeit und Potenzial des Computers klar geworden. In den nächsten Jahren wurde Sketchpad – „A machine Graphical Communication System“ als erstes CAD (Computer Aided Design) Programm von

[6] http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/
[7] TEDESCHI, Arturo (2014): Algorithms-aided Design

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

amerikanischen Computerwissenschaftler Ivan Sutherland entwickelt. Im Jahr 1987 erscheint Pro/Engineer Software von Samuel Geisberg.
Das Programm ermöglichte dreidimensionale parametrische Geometrien, die von Benutzereingabe abhängig waren. Somit haben auch die Projektänderungskosten gesunken. Ab Ende der 80er Jahren passierte wesentliche Fortschritt. Die Programme sind in die Lage gekommen komplexe Geometrien außerhalb der menschlichen Fähigkeiten zu kreieren und manipulieren.

Heydar Aliyev Center, Baku, Aserbaidschan – Zaha Hadid Architects

Abbildung 1.5 Heydar Aliyev Center[8]

8 https://www.architecturalrecord.com/ext/resources/Issues/2016/May/1605-Architecture-Creativity-Zaha-Hadid-01.jpg?1461696438

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Metropol Parasol, Seville, Spain – Jürgen Mayer H.

Abbildung 1.6 1 Metropol Parasol9

Elbe Philharmonic Hall, Hamburg, Deutschland – Herzog & de Meuron

Abbildung 1.7 Elbe Philharmonic Hall10

9 https://www.enfrentearte.com/metropol-parasol-seville/
10 http://www.globalconstructionreview.com/trends/algorithms-design-hamburg-concert-hall-it-would-be/

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

1.1.3. Tragwerksplanung der Parametrische Architektur

Ein interessantes Treffen der Tragwerksplaner mit parametrischer Architektur stellt das Mediatheque Gebäude. Das Media- und Kulturzentrum in Sendai wurde von Toyo Ito mit dem Ziel: "to express the three elements - the flat slab, the columns that resemble seaweed, and the screen of the facade - in their purest form"[11] geplant.

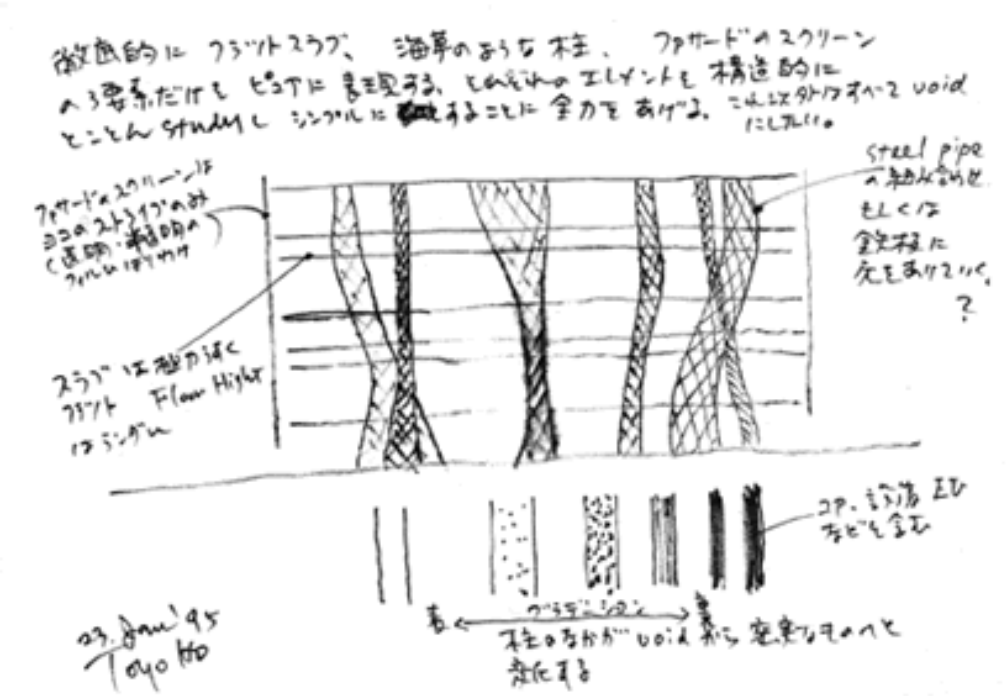


Abbildung 1.8 Originale Skizze für Mediatheque [12]

Die Erste Skizze hat eine amorphe Struktur dargestellt und eine Herausforderung für den Tragwerksplaner gebracht. Vor allem müssten die Kärne, die aus Stahlrohren gebildet sind, die Gebäude gegen Erdbebenlasten aussteifen. Die Aufgabe hat der Matsuro Sasaki, Professor am Hosei Universität und wesentliche Figur in Japanischer Architektur, angenommen.

Die neue dreidimensionale architektonische Formen zu verwirklichen „...tradional empirically-based structural design methods must be replaced with mathematically-based shape design methods that unify mechanics and aesthetics. "[13]

[11] MEREDITH, Michael (2008): From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture
[12] http://www.artspace.org.nz/exhibitions/2001/blurringarchitecture.asp
[13] MEREDITH, Michael (2008): From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

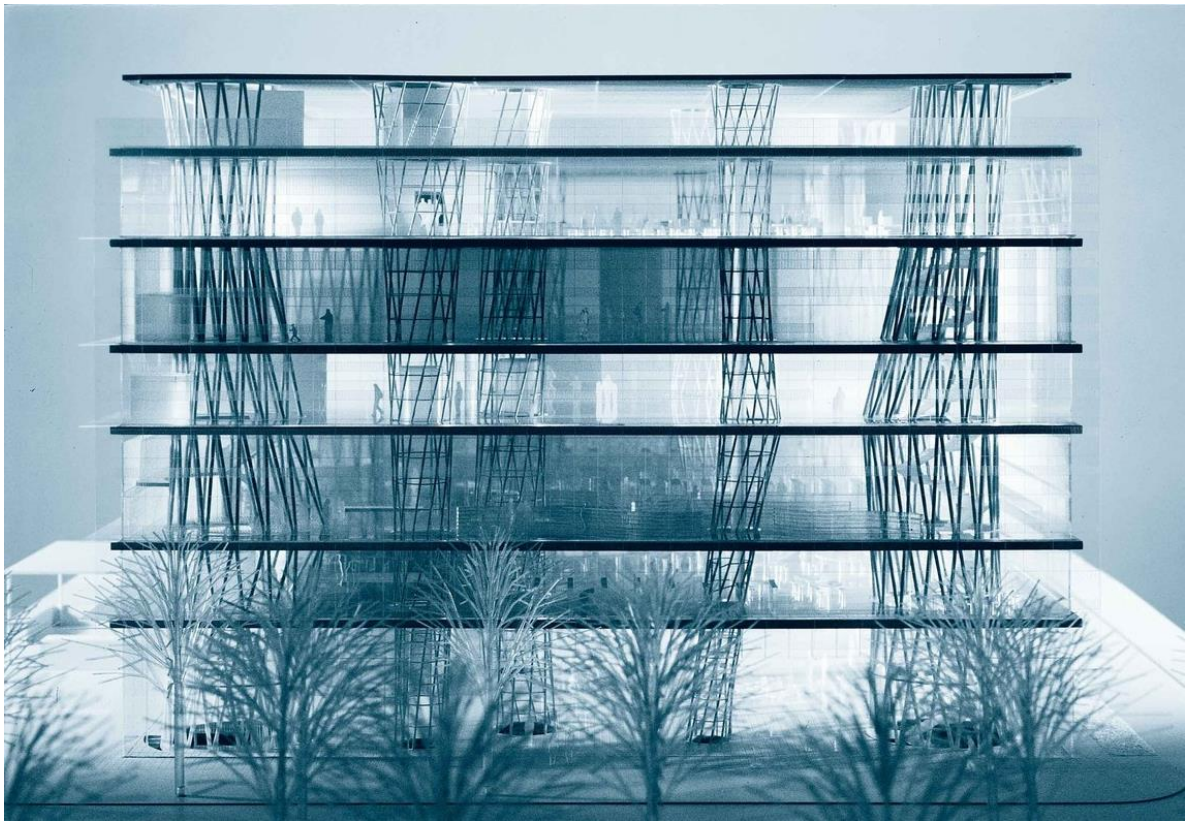


Abbildung 1.9 Mediatheque Modell [14]

„The Experience in the Sendai Mediatheque was a big turning point that transformed my architectural and structural thinking, and I started looking for a new structural design beyond an empirical method to produce freer structural shapes. "[15]

[14] http://www.harvarddesignmagazine.org/issues/3/what-goes-up-must-come-down
[15] MEREDITH, Michael (2008): From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

1.1.4. Tragwerksoptimierung mittels parametrischer Algorithmen

Nach der Entwicklung und Verbreitung des parametrischen CAD Software haben auch die Tragwerksplaner angefangen Ihre Probleme mit optimierungsmöglichkeiten solche Software zu lösen. In die parametrische Umgebung sind bald Plugins gekommen die in der Lage waren statische Berechnung sowie komplexe FE-Analysen zu bewältigen. Das hat den Weg geöffnet die Architektonische Geometrie nach statischen Zielen zu optimieren.

Ein der erste große Büros die sich damit beschäftigt haben war der ARUP mit seinem Advanced Geometry Unit Abteilung. Es bestand aus Architekten, Ingenieure, Programäre und Mathematiker die sich mit neuen Arbeitsmodi beschäftigten.

Das Team entwickelte spannende neue Tragstrukturen für Projekte wie Centre Pompidou-Metz and CCTV HQ.

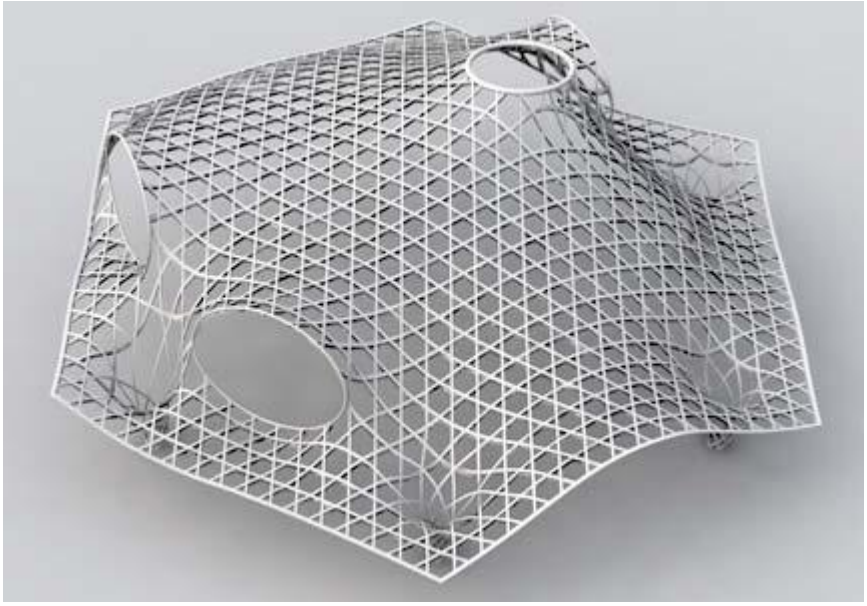


Abbildung 1.10 Holz Dachkonstruktion Centre Pompidou-Metz[16]

[16] https://www.centrepompidou-metz.fr/en/roofing

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Als Vorbild und persönliche Inspiration für diese Diplomarbeit dient Singapur Sports hub, ebenso entwickelt bei ARUP.

Gebaut von 2010-2014 ist das der neue Nationalstadium von Singapur.

Abbildung 1.11 Singapore Sports Hub[17]

Abbildung 1.12 Stadium Stahl Fachwerk[18]

Das Stadium stellt das größte Gewölbe der Welt dar, mit über 310 Meter Spannweite, und es ist nur "ein Drittel des Stahlgewichtes erforderlich wie mit konventioneller Planung, bei dieser Spannweite"[19]

[17] http://www.dpa.com.sg/projects/singapore-sports-hub/
[18] https://www.arup.com/projects/singapore-sports-hub
[19] https://www.arup.com/news-and-events/news/arup-takes-home-top-honour-at-the-istructe-structural-awards-2015

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

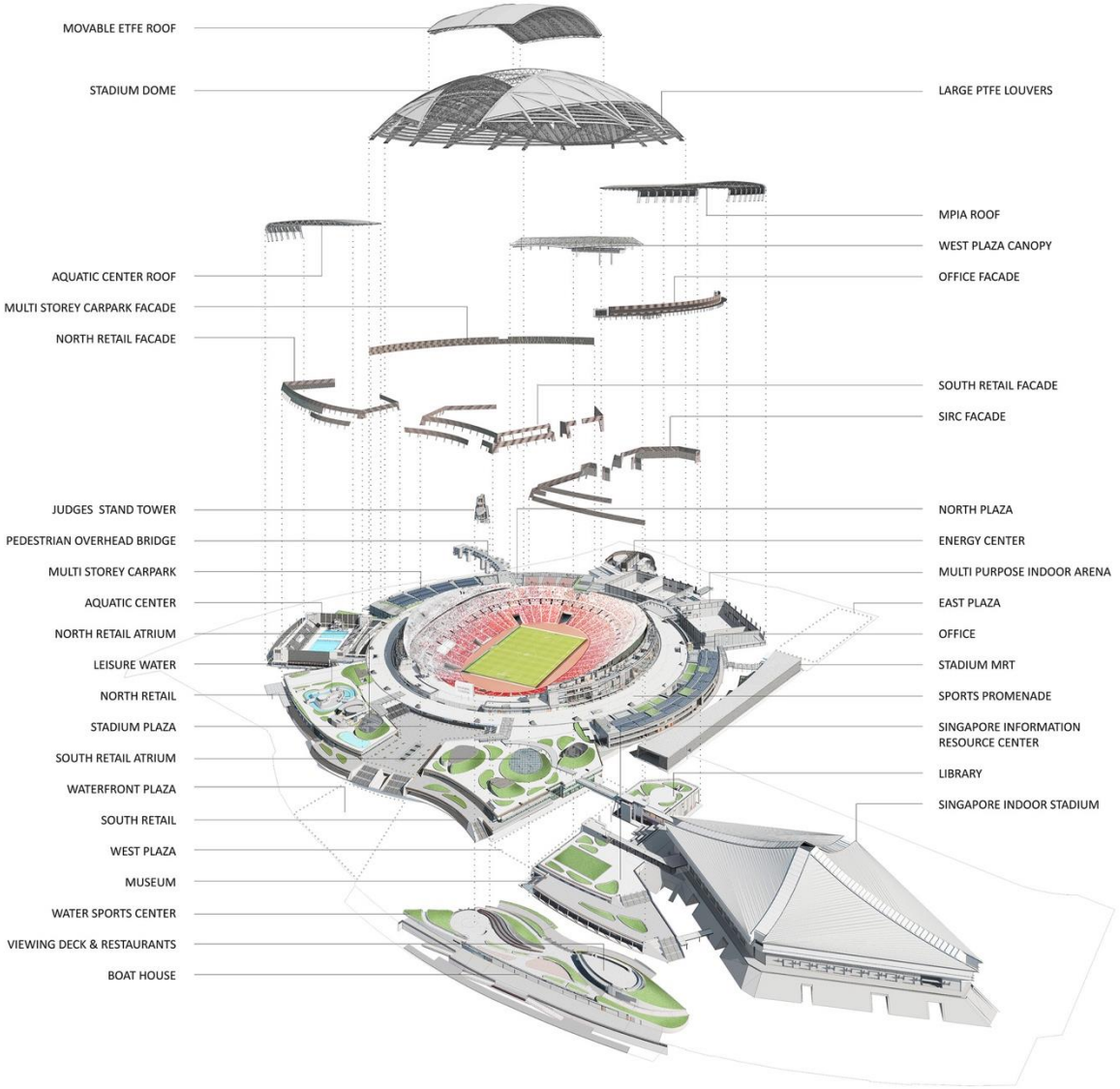


Abbildung 1.13 Axonometrie der Stadiumteile[20]

[20] https://www.archdaily.com/523365/singapore-sportshub-dparchitects/53b4ebb2c07a8005ce000090-singapore-sportshub-dparchitects-axonometric-6

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

1.2. Methoden und Werkzeuge

1.2.1. Design Optimierung

Design Optimierung besteht aus 3 Elementen:

- Input Parameter – die definieren alle möglichen Varianten
- Das Ziel – Wert der zu maximieren oder minieren ist
- Einschränkungsfunktionen – Randparameter die Durchführbarkeit der Lösung definieren

Das Ziel zu erreich wurden die Optimierungsalgorithmen entwickelt. Die suchen die Beste Kombinationen von Input Parameter die das Ziel erreichen.

Input Parameter:

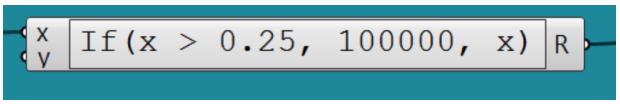
- Fixe Werte: Geometrie die unverändert bleibt
- Variablen: „Slider" die unterschiedliche Werte haben können und definieren z.B. die Wiederholung oder Teilung einer Geometrie

Das Ziel ist ein einziger Wert der mittels Optimierungsalgorithmen maximiert oder miniert wird. Da man oft mehrere Ziele hat (z.B. Gewicht des Tragwerks, Anzahl der Teilungen, Aussichtsfläche) werden diese Werte zusammengezählt und das Ergebnis als Einzelwert optimiert.

Zusammenstellung eines Ergebniswertes folgt nach Prioritäten des Projektes z.B. das Gewicht hat die Priorität über der Anzahl der Teilungen. Diese Zusammenstellung folgt in Form einer einfachen Summe, wobei die Einzelwerte sind mit Priorität Faktoren multipliziert. So bekommt das Gewicht in diesem Beispiel ein höherer Faktor (unter Voraussetzung, dass das Ziel zu minimieren ist).

Da einzelne Ergebnisse oft ganz unterschiedliche numerische Ergebniswerte haben (Gewicht in kg, Aussichtsfläche in m², Verformungen in mm) ist es notwendig die Priorität Faktoren zu kalibrieren. Somit wird der Einfluss einzelne Ergebnisse sinnvoll eingestuft.

Einschränkungsfunktionen grenzen die Varianten die zu einem unerwünschten Ergebnis führen aus.



Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Falls höher als Grenzwert wird das Einzelergebnis mit einem hohen Wert ersetzt so dass Gesamtergebnis (der in diesem Fall zu minimieren war) schlecht bewertet wird. Sonst geht das Einzelergebnis (nach Anpassung mit Priorität Faktoren) in die Gesamtsumme.

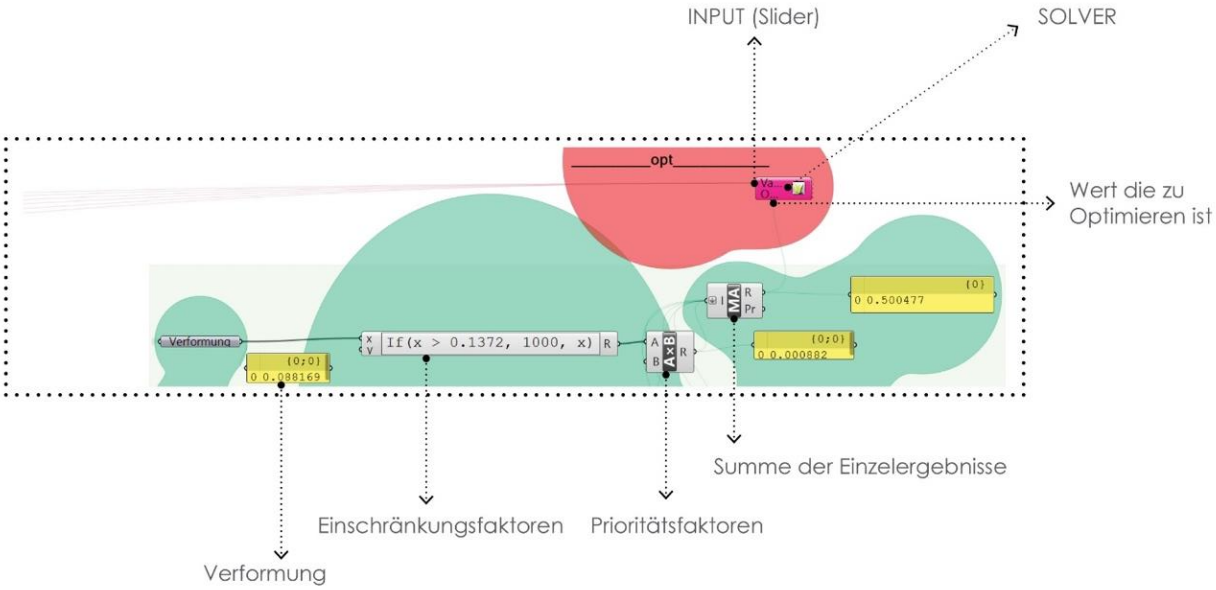


Abbildung 1.14 Optimierungsprozess

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

1.2.2. Optimierungsalgorithmen

Sammlung aller möglicher Varianten eines Systems nennt man Phasenraum. Optimierungsalgorithmen suchen definierten Maximum in dem Phasenraum.

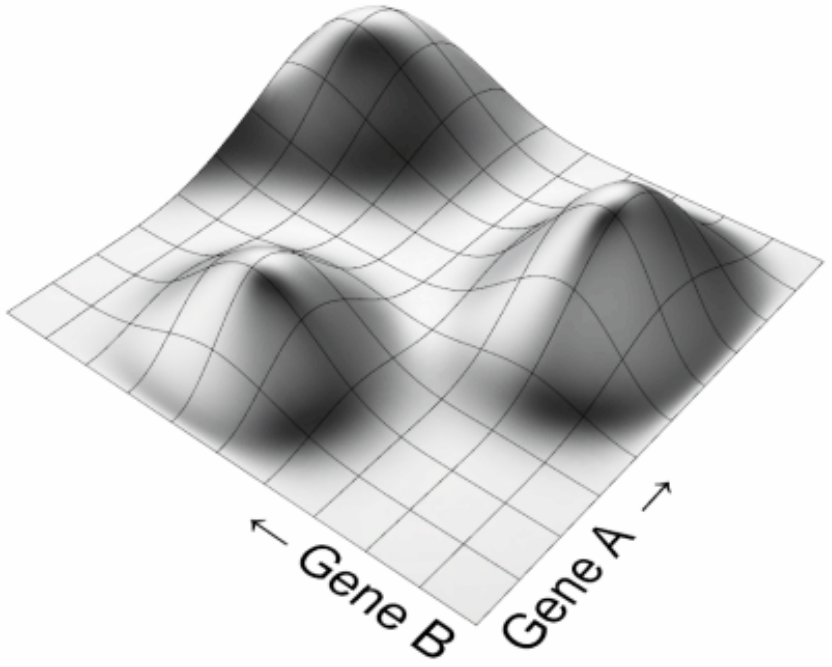


Abbildung 1.15 2D Phasenraum[21]

Optimierungsalgorithmen, abhängig von betrachteten Charakteristiken, kann man auf verschieden Arten Vergleichen:

1. Gradient-basiert oder Gradient-frei
2. Deterministisch (ohne Zufälligkeit in dem Algorithmus) oder stochastisch (mit Zufälligkeit)
3. Lokal (konvergiert zu einem lokalen Optimum) oder global
4. Population basiert oder Trajektorien-basiert[22]

[21] https://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/evolutionary-principles
[22] YANG, X. S.: Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, 2010

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Producer – Software	Visual programming/ parametric plug-in	% users [12]	Optimization plug-in / optimizer	Optimization algorithms	Category	Author and date of implementation
Gehry technologies: digital project	n/a	3%	n/a	n/a	n/a	n/a
Bentley systems: microstation	Generative Components	0%	Prototype design evolution	GA	EC	Bentley Applied Research, 2011
Autodesk: revit architecture	Dynamo (2011)	7%	Optimo (2014)	MOEAD	EC	Mohammad Rahmani Asl and Dr. Wei Yan, 2014
McNeel & associates : Rhinoceros3D	Grasshopper (2008)	90%	Galapagos	GA	EC	David Rutten, 2008
				SA	other[a]	David Rutten, 2011
			Goat	COBYLA, BOBYQA, Sbplx, DIRECT, CRS2	other[b]	Simon Flory, 2010–2015
			Opossum	Surrogate models	model-based	Thomas Wortmann, 2016
			Octopus	SPEA- 2 and HypE	EC	Robert Vierlinger, 2013
Nemetschek North America: vectorworks	Marionette (2015)	<1%	n/a	n/a	n/a	n/a

[a]Simulated Annealing belongs to the class of Physical Algorithms
[b]Goat interfaces NLopt, a collection of mathematical optimization libraries

Abbildung 1.16 Übersicht Marktgängige Programme mit Optimierungsalgorithmen[23]

Die in der Diplomarbeit verwendete Solver sind Galapagos mit Genetic Algorithmus und Goat mit DIRECT als global und Sbplx als lokale Algorithmus.

23 Çağdaş, Gülen ; Özkar, Mine ; Gül, Leman Figen ; Gürer, Ethem: Computer-Aided Architectural Design. Future Trajectories, 2017

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Genetische Algorithmen

Genetische Algorithmen sind auf evolutionären Prinzipien gegründet und sind nach Ihren Eigenschaften Population basiert, stochastisch und Gradient-frei. „Die Verwenden biologische Prinzipien von Mutation, Selektion und Vererbung“[24].

Als erster Schritt des Solvers ist den Phasenraum mit zufälligen Einheiten „genomes“ zu bevölkern. Die Einheiten sind im Abbildung 1.17 – 1 mit x und y (Gene A und Gene B) definiert. Dann folgt die Evaluierung der einzelnen Einheiten wobei die höchste Z Wert (Höhe) Optimum darstellt.

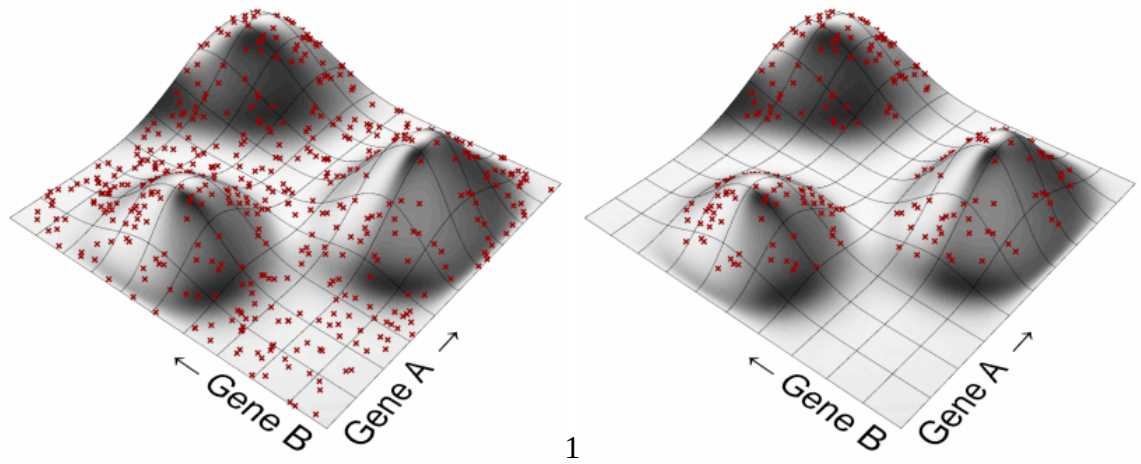


Abbildung 1.17 Genetisches Optimierungsprozess[25]

Nach der Auflistung der Ergebnisse werden die schlechtesten (im tiefen Bereich) entfernt - Abbildung 1.17 – 2.

Im nächsten Schritt werden die beste Einheiten aus der erste Genration interpoliert und neue Einheiten „in der Nähe“ gestellt - Abbildung 1.18 – 1.

[24] Rutten, D.: Galapagos: On the logic and limitations of generic solvers, 2013

[25] https://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/evolutionary-principles

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

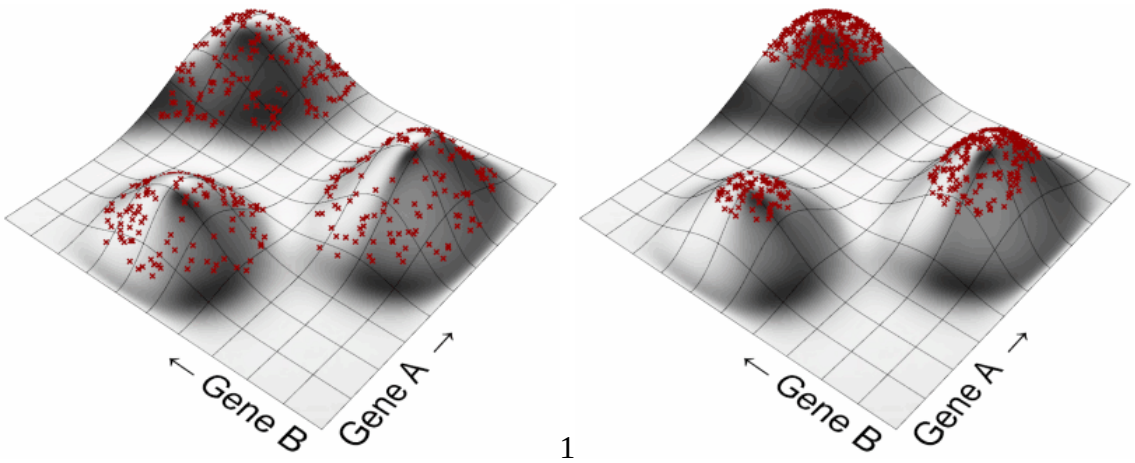


Abbildung 1.18 Genetisches Optimierungsprozess [26]

Beim iterieren nähert man sich an das Optimum. Das Ergebnis ist nicht der höchste Punkt, sondern eine „genug gute Lösung“ wo der Unterschied zwischen die Iterationen genug klein ist.

Nichtlineare Optimierungsalgorithmen

Der zweite Solver – GOAT (siehe Kapitel Solvers) basiert auf Nlopt – eine Bibliothek der mathematische nichtlineare Optimierungsalgorithmen. Es wurde entwickelt von Steven G. Johnson[27] und ist kompatibel mit herkömmlichen Programmiersprachen.
Nlopt beinhaltet verschiede Typen von Algorithmen, global und lokale, sowie Gradient basierte und Gradient-freie Algorithmen.
Untersuchte Beispiele sind zuerst optimiert mit einem globalem Agorithm – DIRECT und danach mit lokalen – Sbplx.

- DIRECT – globale Optimierungsalgorithmus

  Der Name kommt von „DIviding RECTangles algorithm“ und wurde in "Lipschitzian optimization without the lipschitz constant" von D. R. Jones, C. D. Perttunen, und B. E. Stuckmann beschrieben.

[26] https://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/evolutionary-principles
[27] Steven G. Johnson, The NLopt nonlinear-optimization package, http://ab-initio.mit.edu/nlopt

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

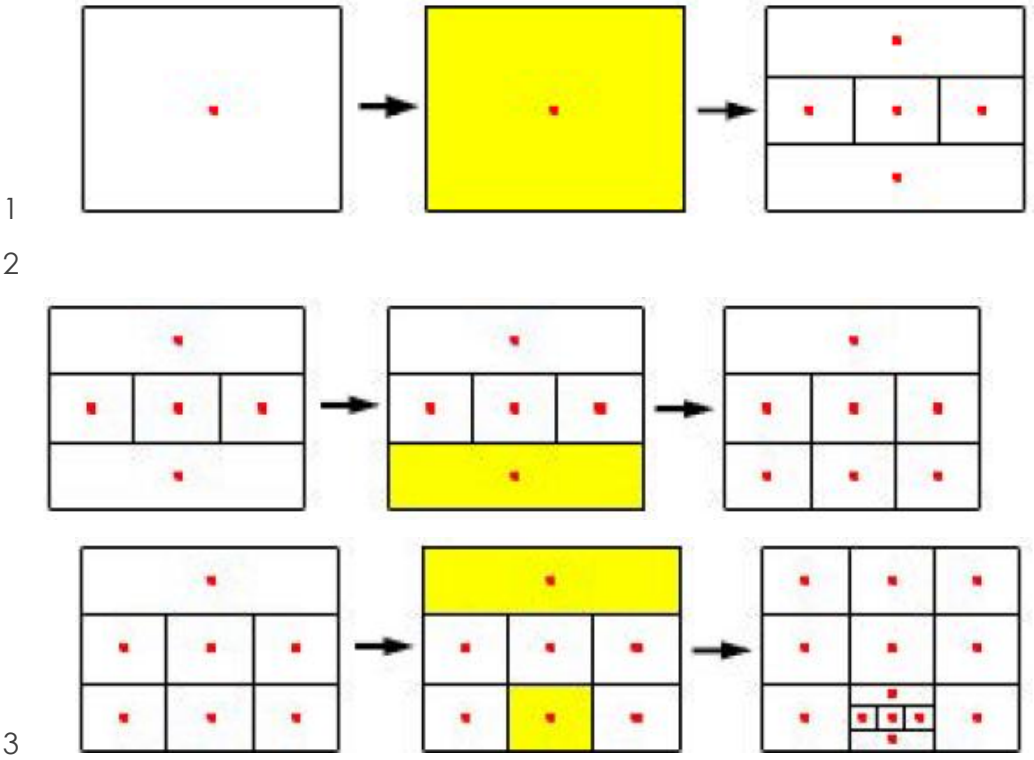


Abbildung 19, Erste drei Iterationen[28]

„Zwei wesentliche Teile des Direct Algorithmen sind die Teilungsstrategie des Phasenraumes und Identifizierung potenziell optimalen hyperrechtecken“[29]

Nach der ersten Phase mit globalem Optimierungsalgorithmen werden danach die Ergebnisse mit lokalen Algorithmen (Sbplx, Bobyqa oder Cobyla) verfeinert.

[28]ROCHA, A.M.A.C.; VILACA, R. (2013): A computational study on different penalty functions with DIRECT algorithm Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2013, Vol.7971(1), pp.318-332

[29] CHITER, Lakhdar; BENSEGHIR, Aissa (2009): Anther face of DIRECT

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

1.2.3. Rhinoceros 3d

Rhinoceros 3D ist eine 3d Modellierungssoftware entwickelt von Robert McNeel and Associates. Rhinoceros Geometrie ist NURBS basiert, wobei der Fokus auf mathematisch präzise Definition der Kurven und Freidefinierte Flächen liegt. NURBS bezeichnen NON-Uniform Rational B-Splines und stellen mathematische Kurven, welche beliebigen Formen annehmen können dar.

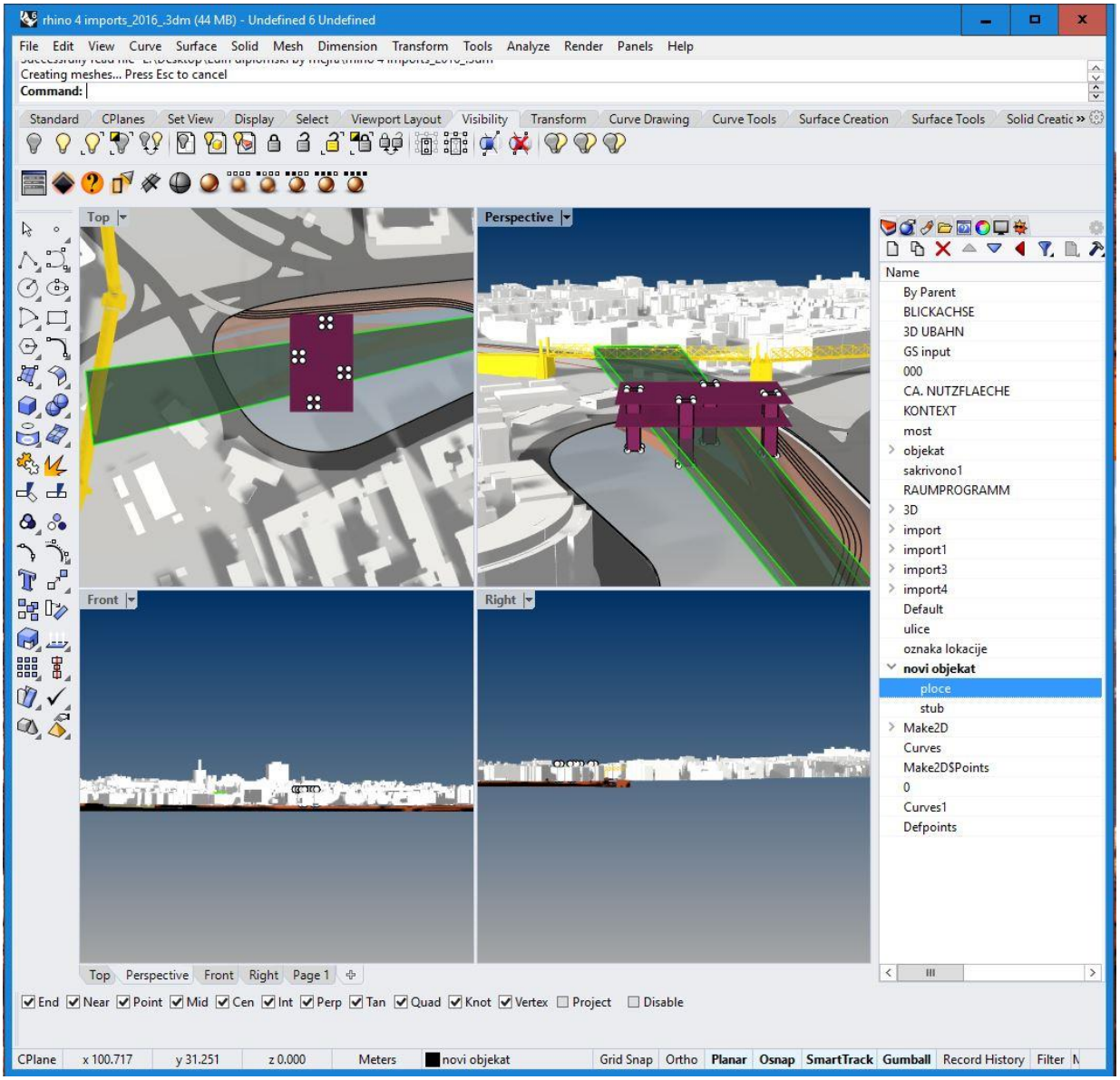


Abbildung 1.20 3D Umgebung in Rhinoceros 3d

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

1.2.4. Grasshopper

Das Programm Grasshopper wurde von der Firma McNeel als ein Plug-In zum Programm Rhinoceros 3d entwickelt. Es dient zum Aufbau der Algorithmen für das Generieren des Modelles in Rhinoceros 3d.
Arbeitsplatz ist der „Canvas“ auf dem man bildet Algorithmen durch Einstellung und Verknüpfung der Grasshopper Befehle und Funktionen. Diese Verknüpfungen bestehen aus Seilen die zum Datenfluss von einer Funktion zur anderen dienen.

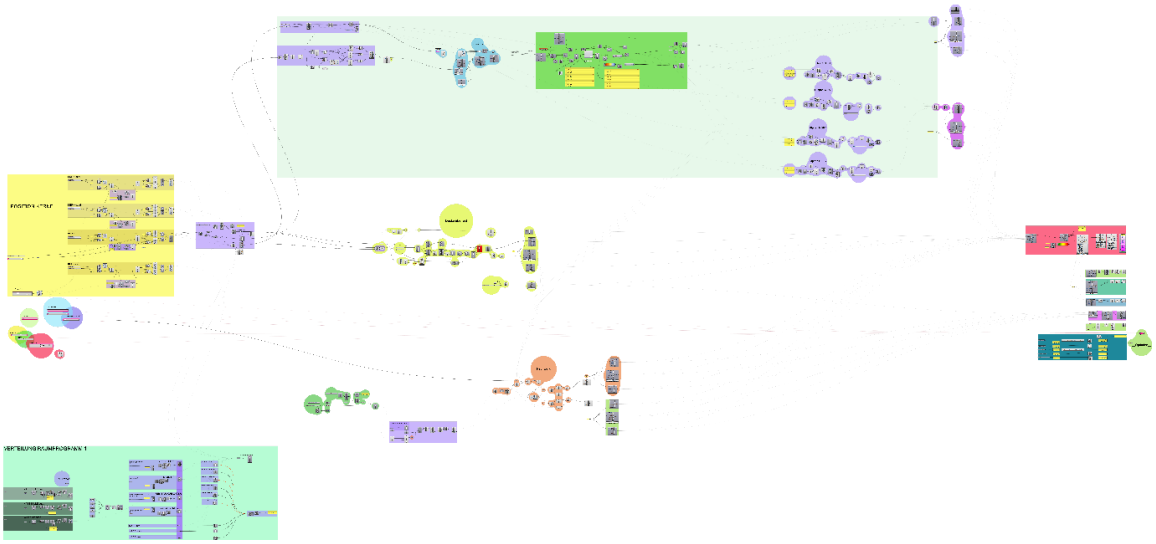


Abbildung 1.21 Grasshopper Definition

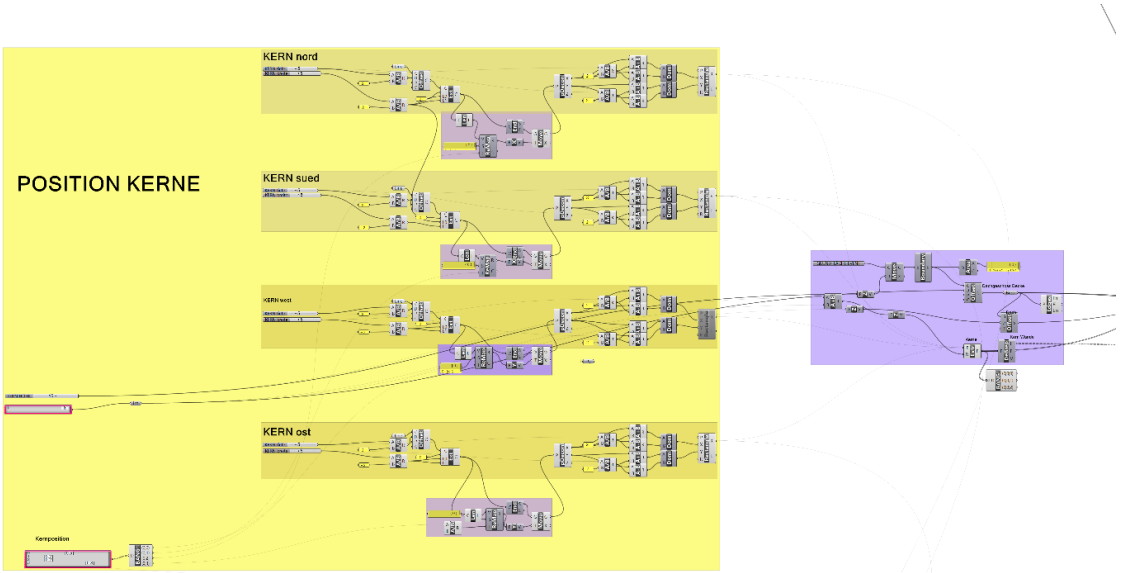


Abbildung 1.22 Definition der parametrischer Grundform bzw Randbedingungen[30]

[30] R. Suppin Unterlagen

1.2.5. Karamba 3d

"Karamba is a parametric structural engineering tool which provides accurate analysis of spatial trusses, frames and shells. "[31] Es wird kontinuierlich entwickelt von Hr. Clemens Preisinger in Zusammenarbeit mit Bollinger-Grohmann-Schneider ZT GmbH.
Das Programm wurde für die Umwandlung der Grasshopper Geometrie in Tragelemente genutzt, dessen Ergebnis der Berechnung, Optimierung und Generation der neuen optimalen Formen ist.
In Vergleich im Vergleich zu anderen Programmen bietet Karamba schnellere Tragwerkgeneration, einfachere Prozesse und es stellt ein optimales Werkzeug für die Strukturoptimierung die in dieser Arbeit untersucht wurde dar.

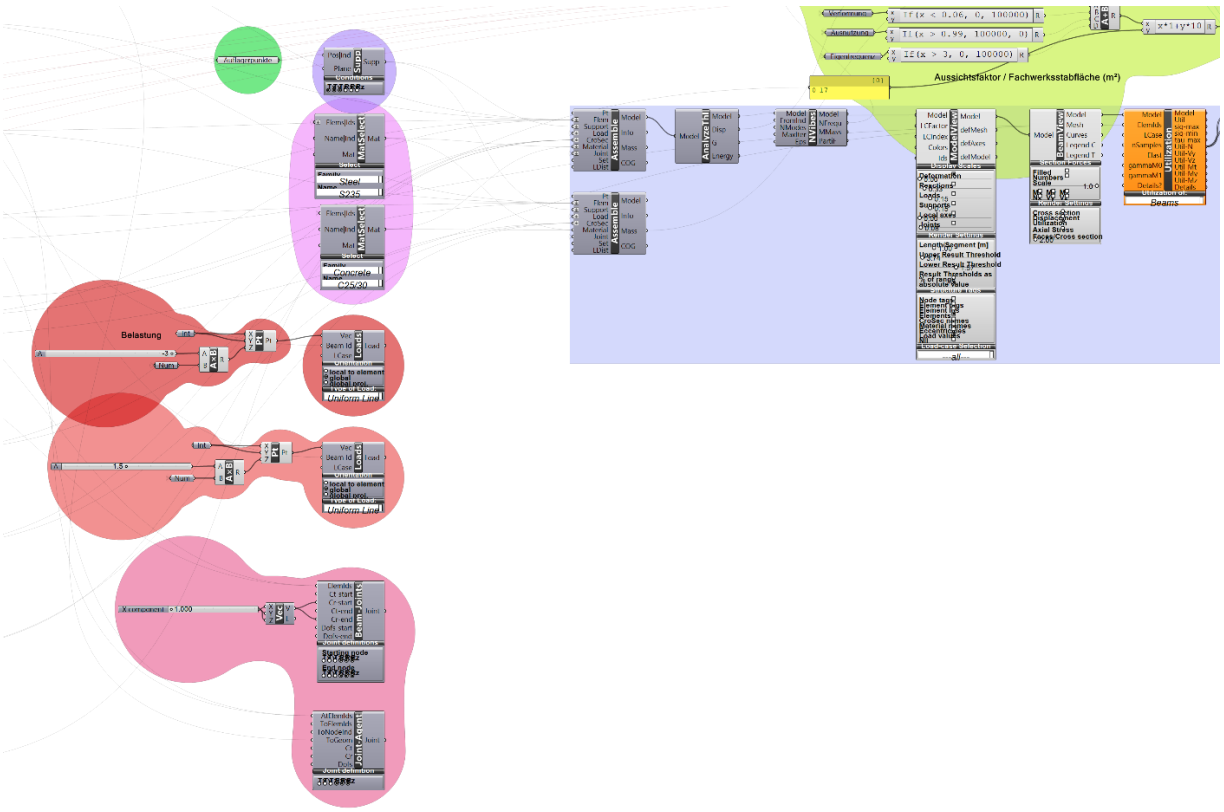


Abbildung 1.23 Karamba Plug-In Tools

[31] http://www.karamba3d.com

1.2.6. Solvers

Solvers, welche für diese Arbeit benutzt wurden sind Galapagos und GOAT. Galapagos wurde von David Rutten entwickelt. Es arbeitet auf typischer Input-Output Basis. Input is "fitness function" – Wert, der gesucht wird. Als Output dienen verschiedene parametrische Variablen. Diese Variablen sind als Genomes definiert. Fitness Function ist ein einziger Wert, wobei Genomes auch mehrere sein können. In Galapagos kann man entweder ein Maximum oder ein Minimum der Fitness Function suchen.

Abbildung 1.24 Galapagos Symbol[32]

GOAT basiert auf Galapagos und der mathematischen Optimierungsbibliothek Nlopt. Während der Untersuchung der praktischen Beispiele (siehe letztes Kapitel der Diplomarbeit) ist GOAT viel schneller auf die gleichen Ergebnisse gekommen.

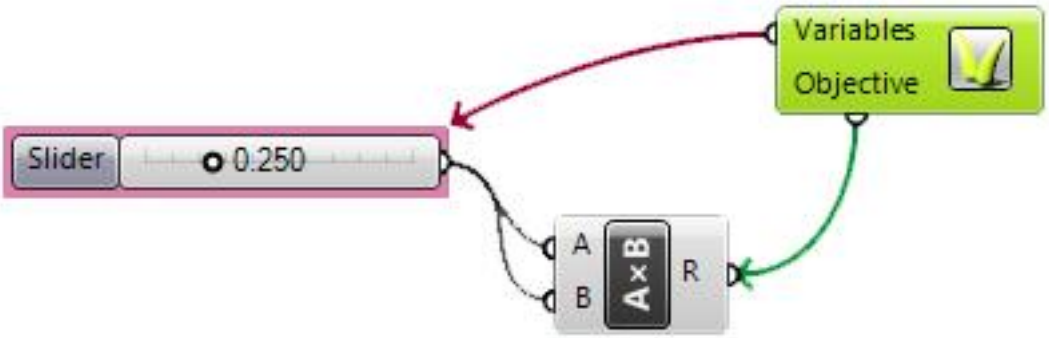


Abbildung 1.25 GOAT Element[33]

[32] Quelle: https://www.grasshopper3d.com/group/galapagos
[33] Quelle: https://www.rechenraum.com/en/goat.html

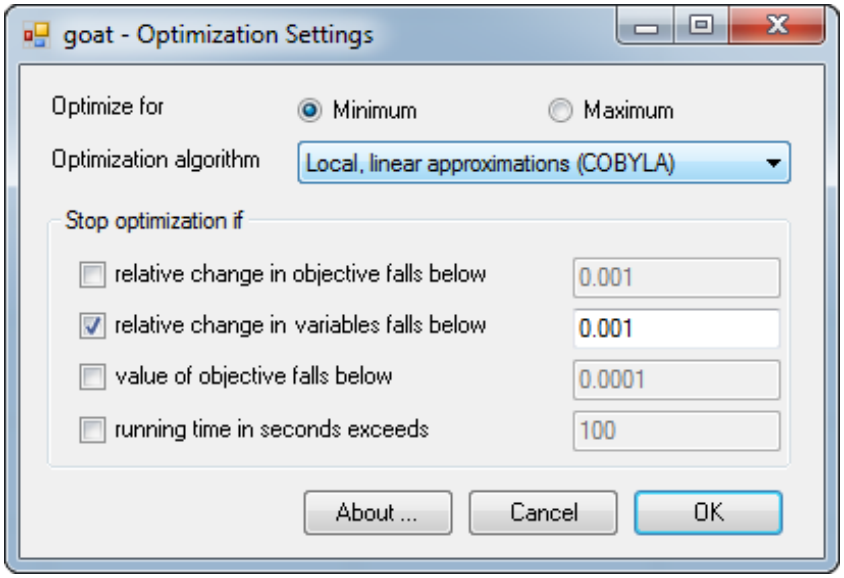


Abbildung 1.26 GOAT Einstellungen[34]

1.2.7. Revit und Dynamo

Als Alternative zum Rhino/Grasshopper Umgebung gibt es Revit mit Dynamo. Dynamo wurde entwickelt als Plug-In für eine Autodesk Umgebung.

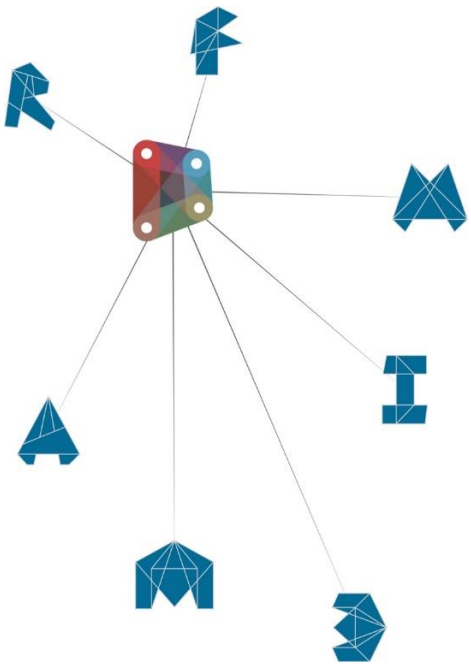


Abbildung 1.27 Dynamo Umgebung[35]

[34] Quelle: https://www.rechenraum.com/en/goat.html
[35] Quelle: http://primer.dynamobim.org/

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

2. Integraler parametrischer Entwurf: Veranstaltungsobjekt Margaretengürtel

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

2.1. Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit:

- Entwicklung einer parametrischen Tragstruktur.
- Wirtschaftlichkeit und Flexibilität während der Planung.

Für die Entwicklung der Parametrischer Struktur wurde die von Hr. Suppin als Grundlage übermittelte Geometrie übernommen. Der Hauptteil der Geometrie ist in Rhinoceros 3D modelliert und stellt das Modell mit wesentliche Randfaktoren dar.
Die Parametrische Gebäudegeometrie wurde in Grasshopper übernommen und mit verschiedenen Plug-Ins weiterentwickelt.
Die zwei Ziele der Arbeit parametrische, flexible Struktur und Wirtschaftlichkeit waren der Weg zur Formfindung und Formoptimierung.
Größte Herausforderung während dieser Arbeit war die Konstruktion flexibel zur halten und die optimale Form für unterschiedliche Faktoren und Grundbedingungen funktionierend zu halten.
Die Flexibilität sollte den anderen Projektmitgliedern helfen in jeden Punkt optimale Lösungen zu finden. Durch die Projektentwicklung sind immer mehrere Eingangsparameter als Flexibel erhalten.
Das Waren Stützenposition, Stützengröße, Raumteilung, Raumhöhe, Fläche usw.

Abbildung 2.1 Umgebung in Rhino Modelliert

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

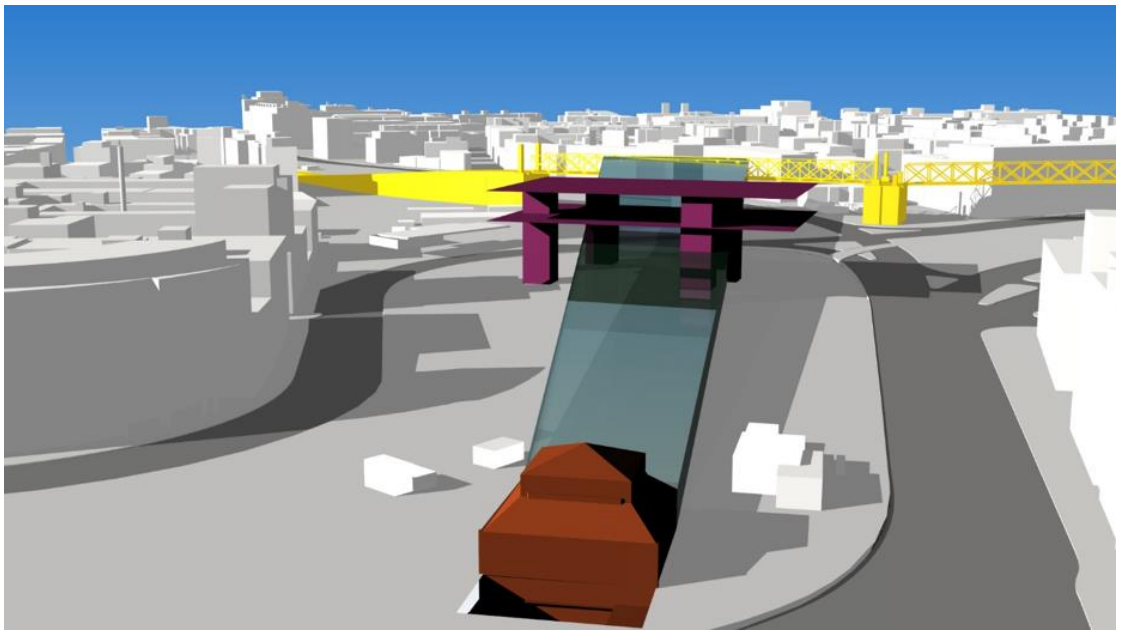


Abbildung 2.2 Umgebung in Rhino Modelliert

Der Standort ist die Grünfläche am Margaretengürtel, zwischen U4 U-Bahn-Station Margaretengürtel und Otto-Wagner-Brücke.
Die Begrenzungsfaktoren sind neue und alte U-Bahn Tunelle und der Blick/Aussicht von der U-Bahn-Station Ausgang Richtung historischer Otto-Wagner-Brücke.

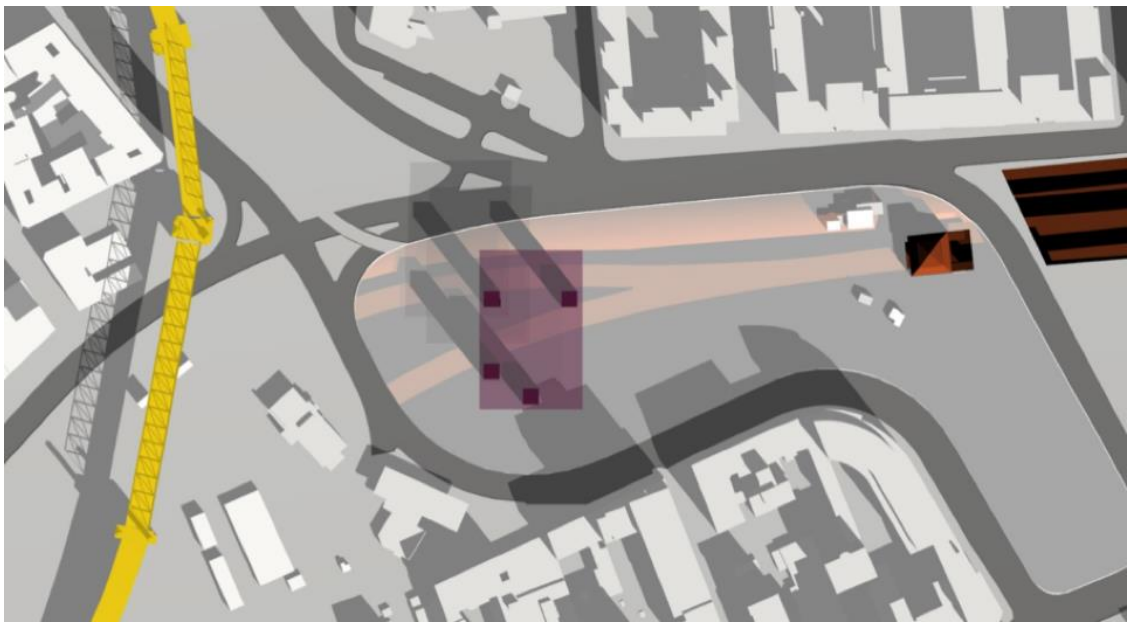


Abbildung 2.3 Umgebung in Rhino Modelliert

Als Zusätzliche Randbedingung war die Baugrundkontamination, als no-go Zone für die Tragwerkslagerung (siehe Grundlagen).

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

2.2 Grundlagen

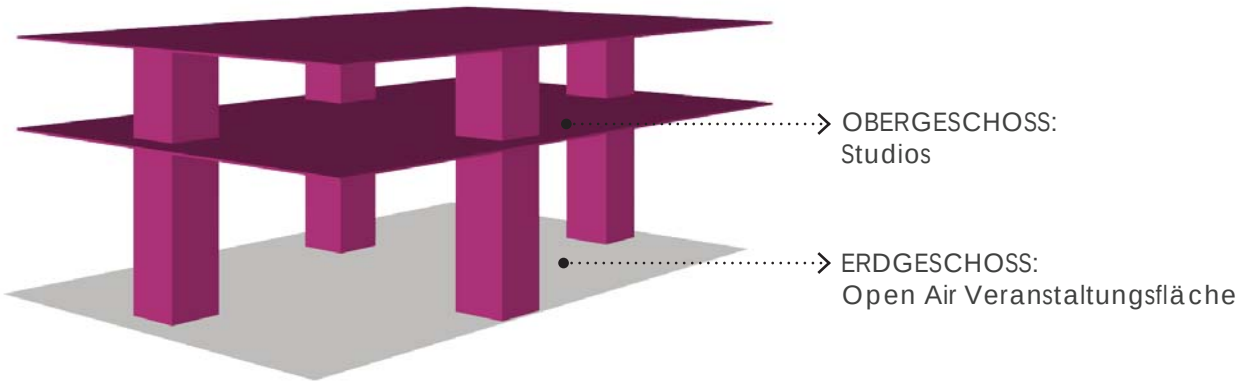
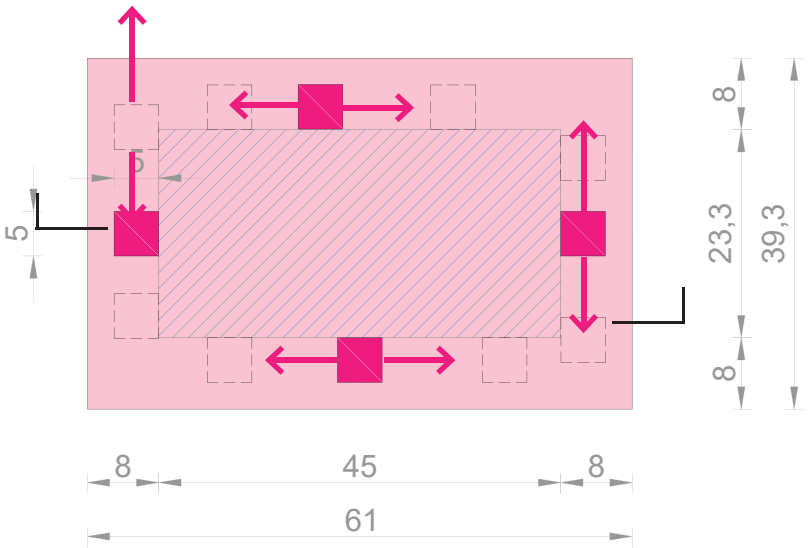


Abbildung 2.4 Grundform Isometrie



"Die Open-Air Veranstaltungsfläche (+2.5m) von 23 x 45 m muss stützen-frei ausgebildet sein.

Als Einflussvariable für die parametrische Struktur ist die Verschieblichkeit der Kerne entlang ihrer Längsachse anzunehmen."[36]

Abbildung 2.5 Grundform Grundriss: Flexibilität der Kerne

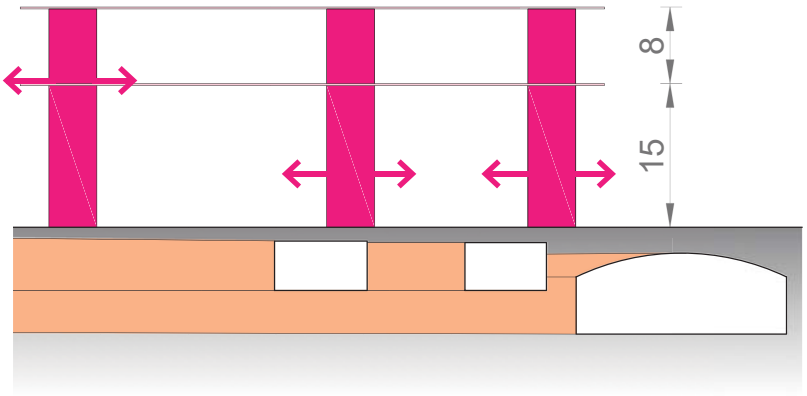


Abbildung 2.6 Grundform Schnitt

[36]Quelle: Aufgabenstellung, R. Suppin

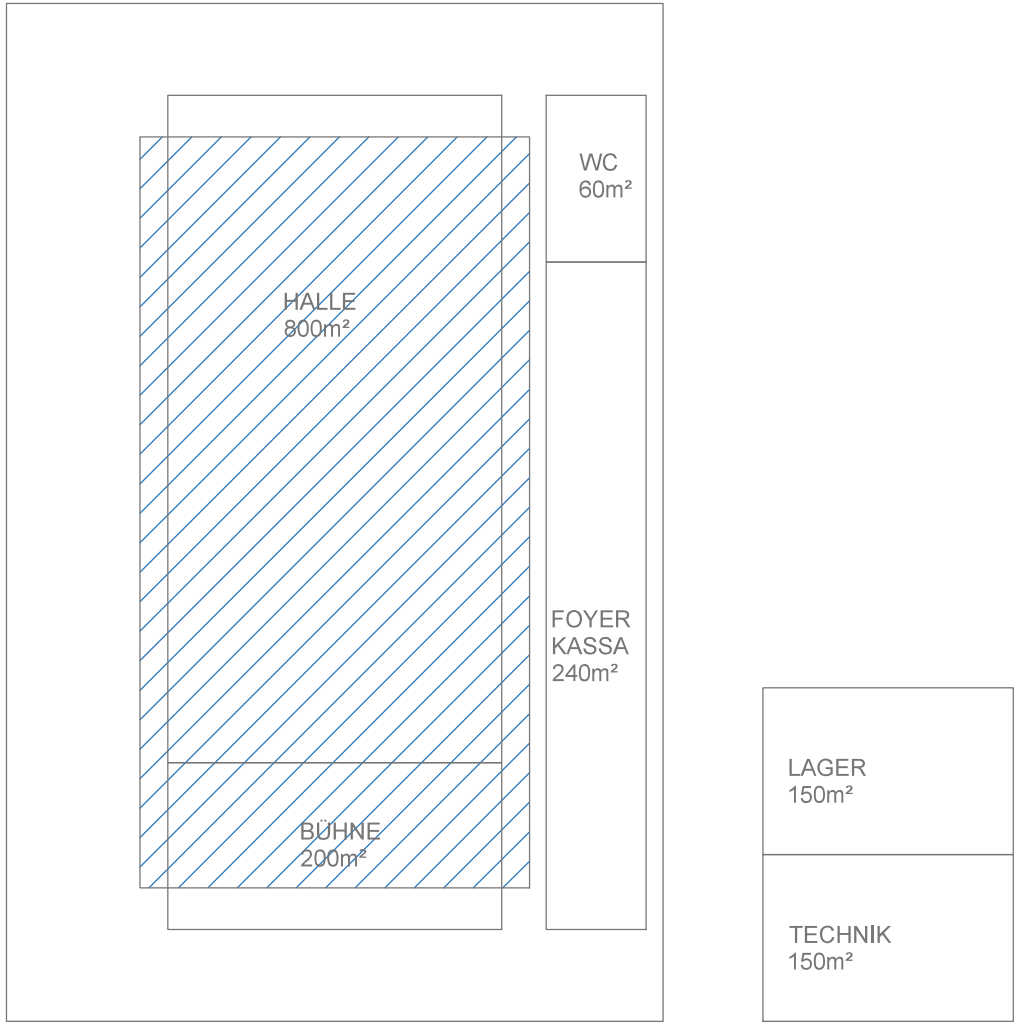


Abbildung 2.7 Nutzung Erdgeschoss[37]

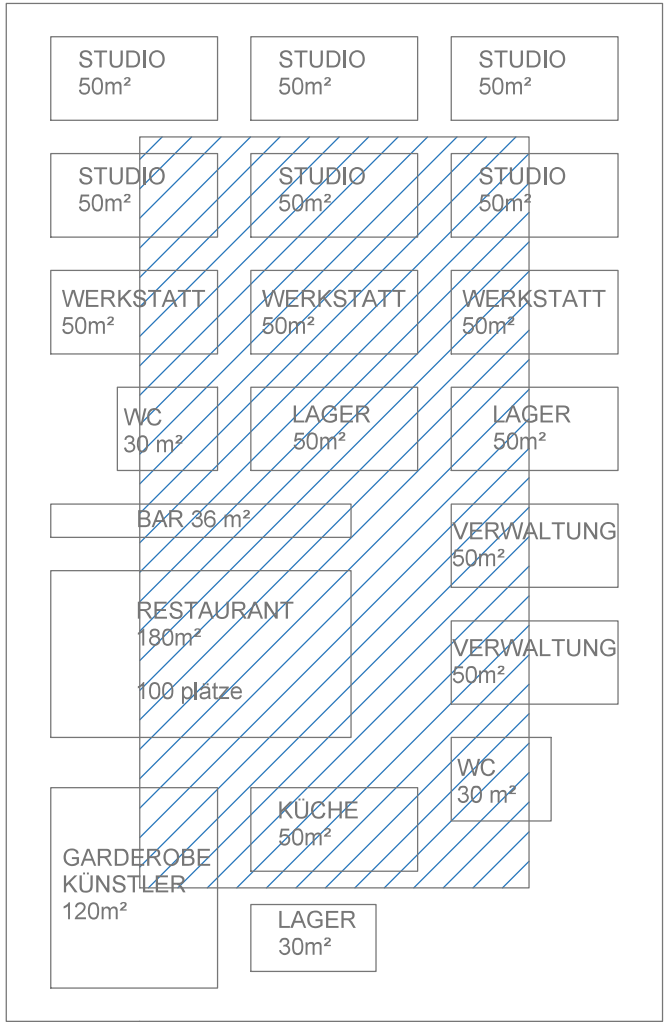


Abbildung 2.8 Nutzung Obergeschoss[38]

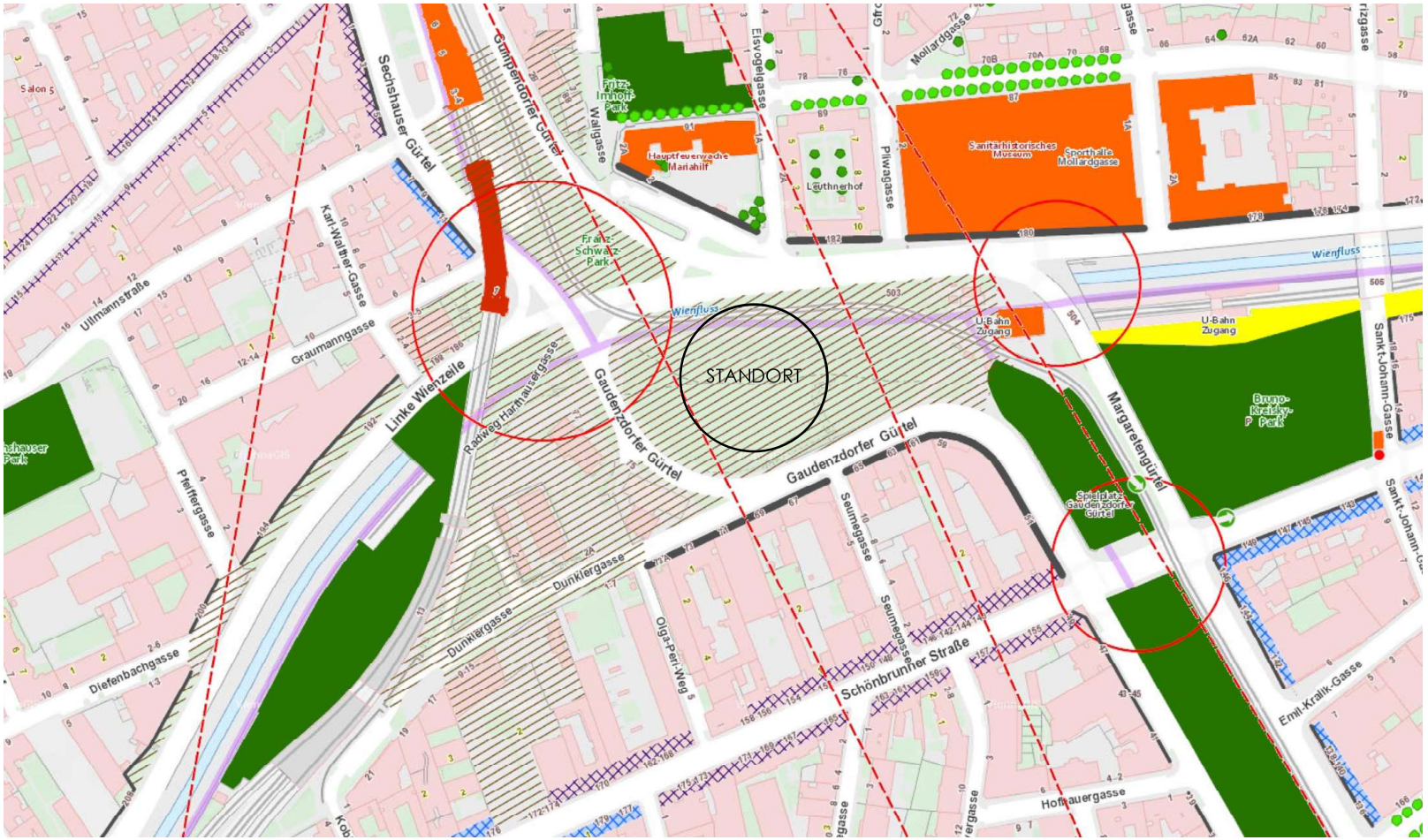
[37]Quelle: Unterlagen, R. Suppin

[38]Quelle: Unterlagen, R. Suppin

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Vienna University of Technology

bi.hbg

Lageplan-Shutzzone[39]



LEGENDE

- Stadtstrukturplan
  - Einzelner Alleebaum
  - Allee
  - Freiplastik und Brunnen
  - Markanter Blickpunkt
  - Markante Situation
  - Stadtraumkante 1. Ordnung
  - Stadtraumkante 2. Ordnung
  - Sensibler Gestaltungsbereich
  - Dominante 1. Ordnung
  - Dominante 2. Ordnung
  - Geschäftsstraße 1. Ordnung
  - Geschäftsstraße 2. Ordnung
  - Geschäftsstraße 3. Ordnung
  - Markanter Komplex
  - Platz
  - Öffenlt. zugänglicher Grünraum
  - Stadtbildrelevanter Grünraum
  - Markantes Bauwerk
  - Sichtachse

[39]Quelle: Stadtplan Wien

Lageplan

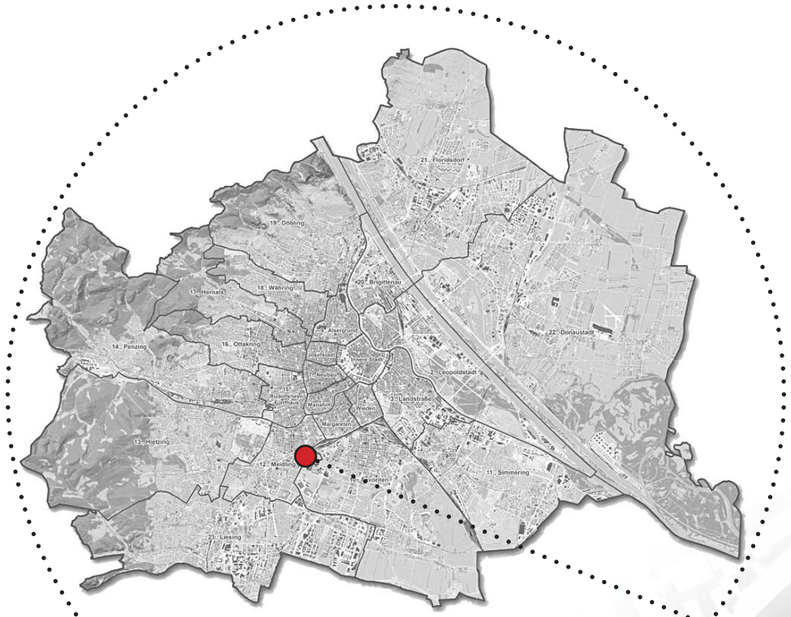


Abbildung 2.9 Karte von Wien[40]

Abbildung 2.10 Otto Wagner Brücke

Abbildung 2.11 Standort Foto

Abbildung 2.12 Standort Foto

[40]Quelle: https://www.wien.gv.at

Standortbeschränkungen und Anforderungen

Abbildung 2.13 Standort Foto

Anforderung: Blickachse U-Bahn Station Margaretengürtel Richtung Stadtbahnviadukt

Abbildung 2.14 Otto Wagner Brücke

Referenzobjekt: Stadtbahnviadukt
Architekt: Otto Wagner

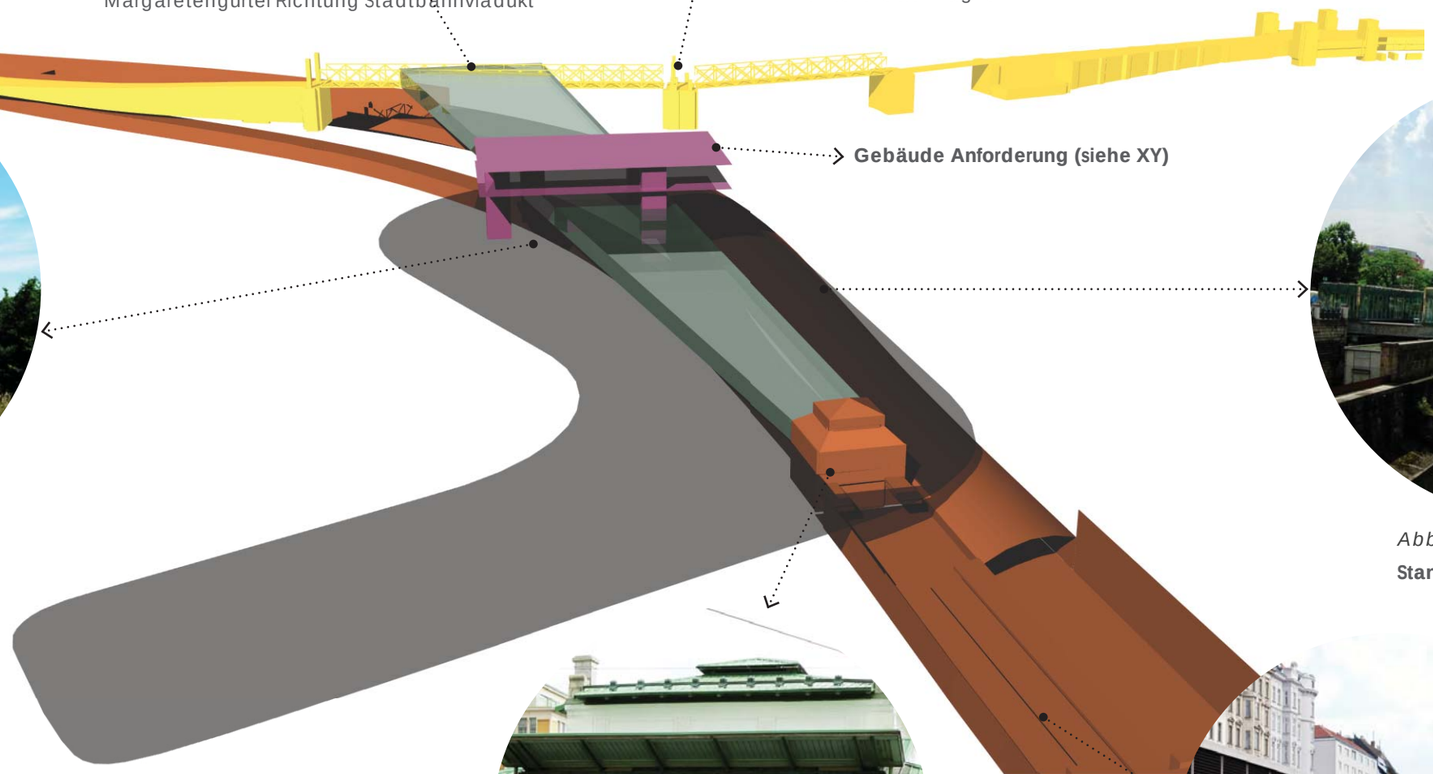


Abbildung 2.15 Standort Foto

Standortbeschränkungen:
Standort liegt auf Altlasten

Abbildung 2.16 Wienfluss

Standortbeschränkungen: Wienfluss verläuft unter dem Standort

Abbildung 2.17 U-Bahn Station

Referenzobjekt: Margaretengürtel U-Bahn Station

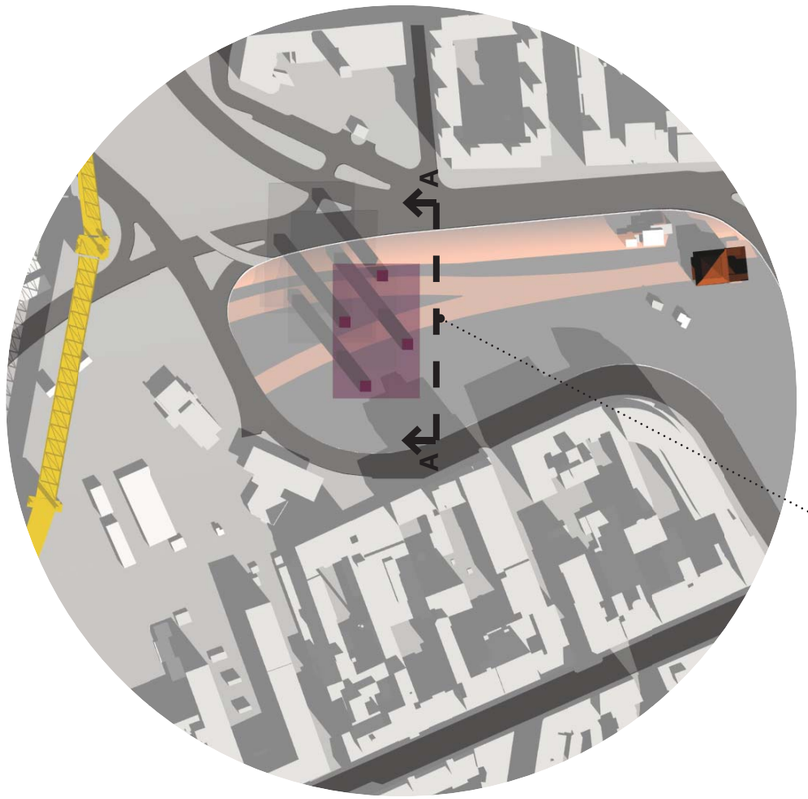
Abbildung 2.18 U-Bahn

Standortbeschränkungen: U-Bahn verläuft unter dem Standort

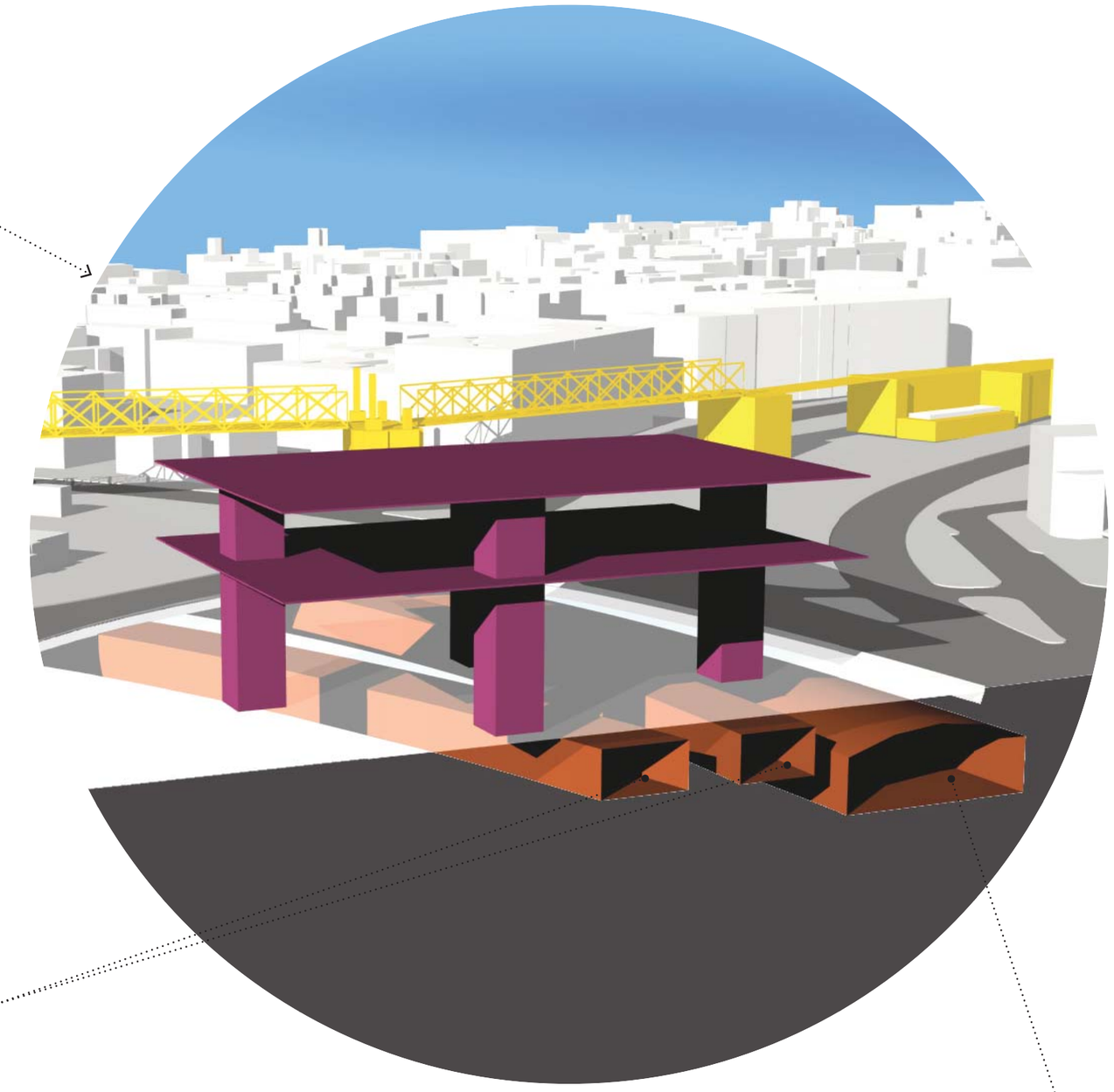
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology

bi.hbg

Standortbeschränkung - U-Bahn und Wienfluss



Grundriss



3D Schnitt A-A

2.3. Analyse

Aspekte:

- Historisch: Otto-Wagner-Brücke
- Grundbau: Sonderabfall
- Architekturmodel erstellt von Hr. Suppin (Industriebau Institut)

Die Basiskomponente entspricht einem parametrischen 3D Model, mit flexiblen Kernpositionen, Kerndimensionen, Volumenhöhen etc.
Es stellt auch eine Zusammenstellung von architektonischen Randbedingungen z.B. erforderliche Nutzfläche, erforderliche Volumen, Grenzlinien, etc. dar.

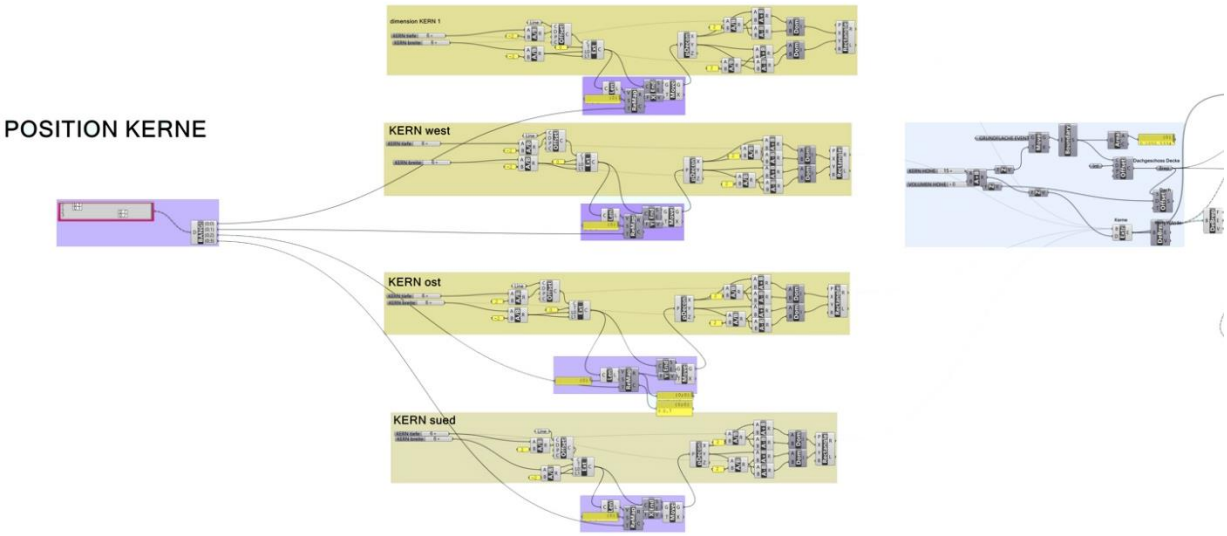


Abbildung 2.19 Definition der parametrischer Grundform

In der Grundkomponente sind Kerne auf jeder Seite des Tragwerkes.
Die Entscheidung über dem entfallenden Kern wurde während der Untergrundanalyse getroffen.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

2.3.1. Untergrundanalyse

Kontaminierter Boden

"Bei diversen früheren Tiefbauunternehmungen (U-Bahn, Bohrungen für das Projekt Gürtelunterquerung) sind verschiedene hoch belastete Kontaminationen im
Nahbereich der verfüllten Gasbehälter angetroffen worden (z.B.: Cyanide, Phenole, usw.)"

MA 29 - Baugrundbeschreibung für die Errichtung eines Rad- & Fußwegsteges zwischen Margaretengürtel und Gaudenzdorfer Gürtel in 1050/1120 Wien
Laut o.g. Dokument, Kapitel Örtliche Baugrundverhältnisse, Seite 7, sind klar scheinbare kontaminierte Felder.

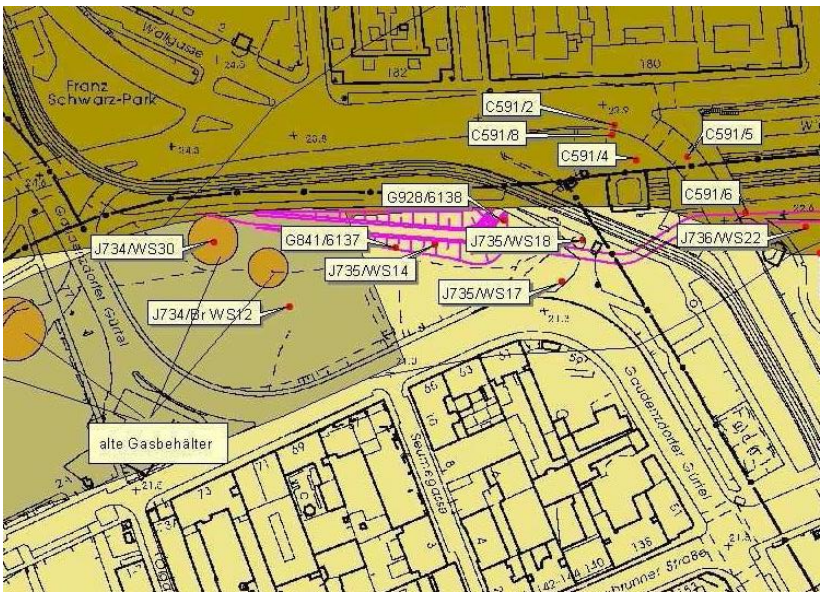
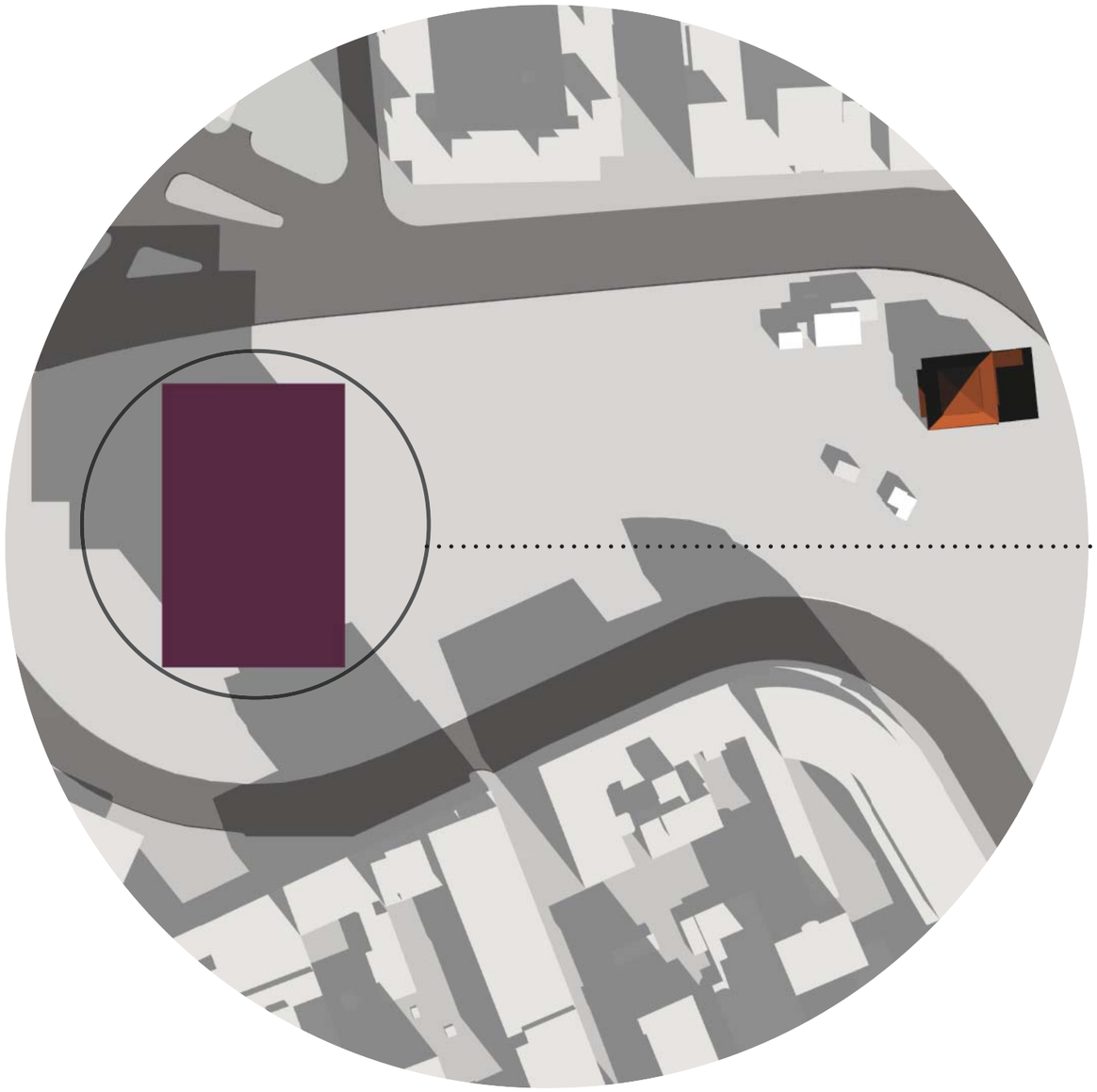


Abbildung 2.20 Bohrungen aus dem BGK der Stadt Wien (rot bzw. gelb), Lage der Altlast (oliv) mit den Standorten der Gasbehälter (braun), ursprüngliche Ausbreitung des Wienflusses (rosa), Wienflussbett (blau) sowie geplanter Rad- bzw. Fußweg (cyan)[41]

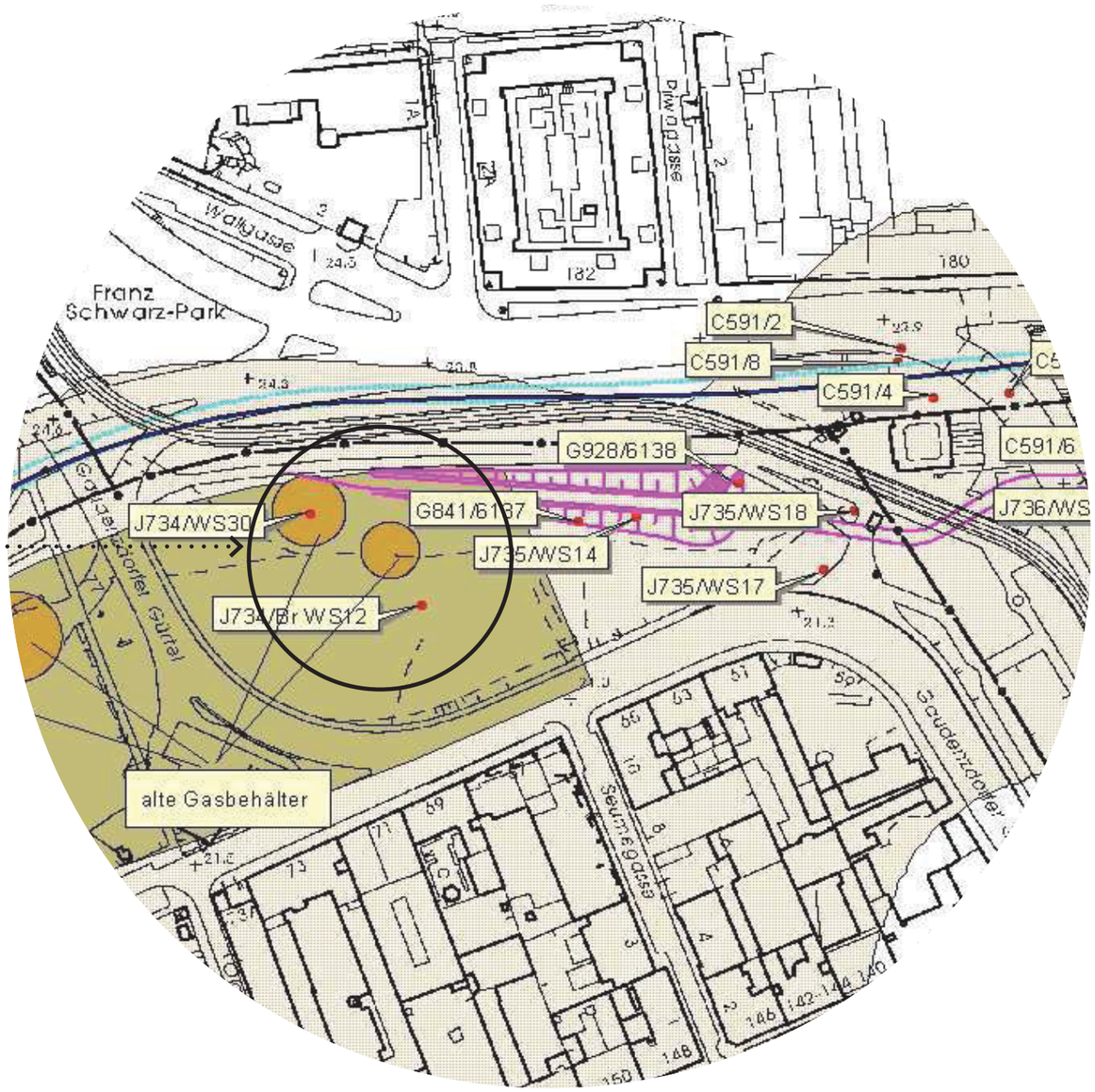
„Altlasten, die seit den 1980er Jahren gebräuchliche Bezeichnung für giftige, gesundheitsgefährdende oder in anderer Weise umweltbelastende Rückstände im Boden."[42]

Eine Analyse wurde gemacht um die möglichen Stellen für die Kerne zu finden.

[41] Quelle: Baugrundbeschreibung für die Errichtung eines Rad- & Fußwegsteges zwischen Margaretengürtel und Gaudenzdorfer Gürtel in 1050/1120 Wien
[42] Quelle: https://www.wien.gv.at/wiki/index.php?title=Altlasten



Lageplan des Standortes



Grundbau

LEGENDE

- Standort
- Bohrungen aus dem BGK der Stadt Wien
- Standorten der Gasbehälter
- Altlast
- Ursprüngliche Ausbreitung des Wienflusses
- Wienflussbett
- Fußweg

Wesentliche Randbedingungen waren die Positionen der U-Bahn-Tunnel, Blickachse auf die Otto-Wagner-Brücke, die Nutzfläche im EG und die Standorte der ehemaligen Gasbehälter.

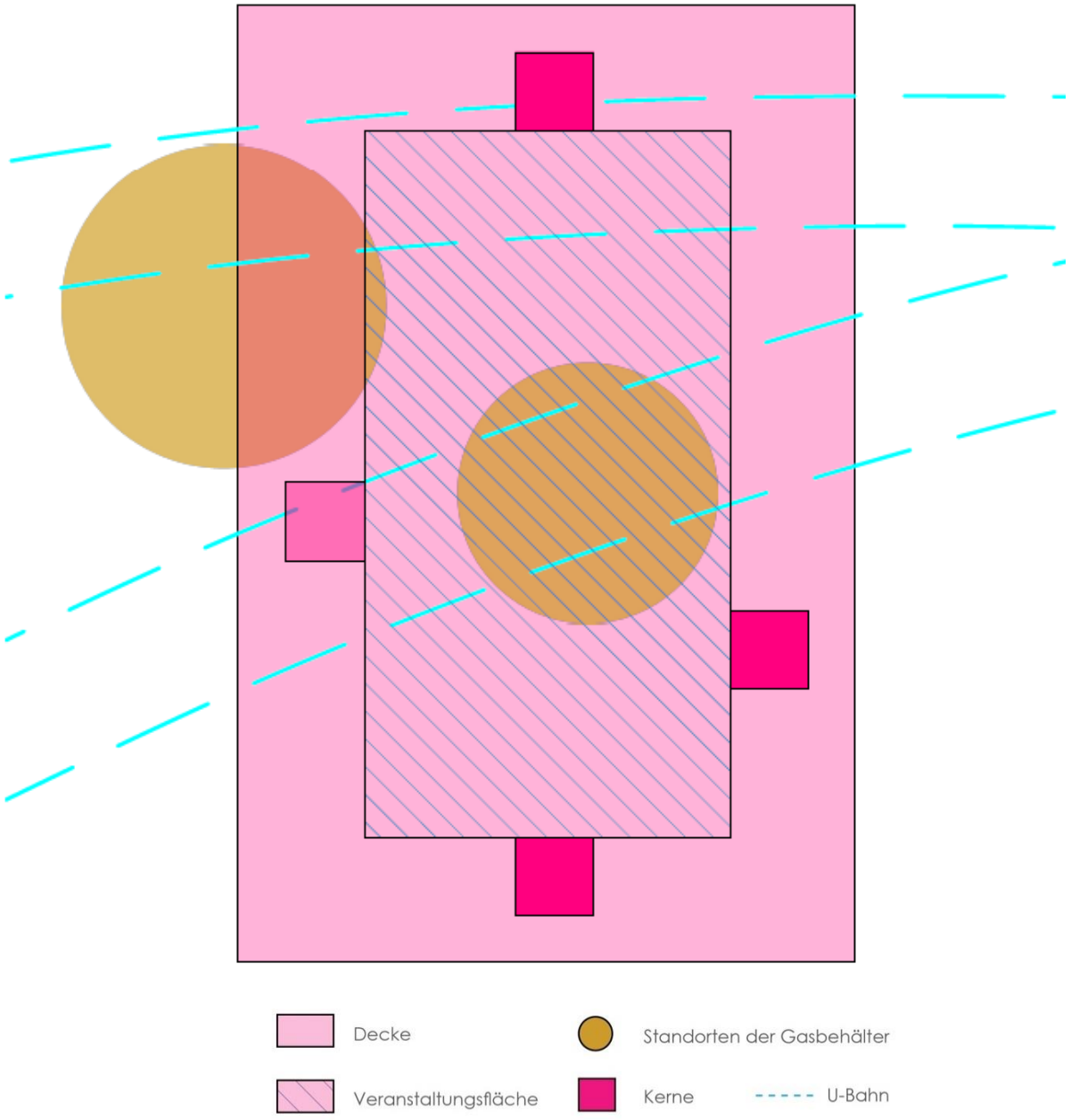


Abbildung 2.21 Mögliche Position der Kerne

Wie oben dargestellt sind die möglichen Kernpositionen deutlich beschränkt. Kern Süden – volle Freiheit, Kern Ost – nur in unterem (südlichen) Bereich, Kern Norden – nur als dünne Auflager, Kern West – entfällt.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

2.3.2. Material

Für den ersten Entwurf (Tisch auf drei Beinen + Dachöffnungen) wäre die beste Option Beton.

Gründe:

- Dachöffnungen leicht zur produzieren mittels Schalung
- Als Berechnungsmodel genügt ein 2D Element mit Angabe der Dicke und Materialgüte
- Eventuelle Schwerbeanspruchte Teile kann man mit dem Bewehrungsgehalt abdecken

Abbildung 2.22 Art Gallery of New South Wales, 1977, Architekt: Walter Liberty Vernon[43]

Holz:

- Anschlüsse definieren oft den erforderlichen Querschnitt
- Tragfähigkeit in zwei Richtungen ist schwer zu berücksichtigen
- Kraftfluss und Anschlussdetails würde viel Arbeit in Anspruch nehmen

Stahl:

- Geplantes System der Decke mit Dachöffnungen müsste man als Hohlkastenelement modellieren
- Die schräge Geometrie der Waben am Dachen würden die Hohlkastengeschichte noch komplizierter für Entwurf, Modellieren und ev. Ausführung machen

[43] Quelle: http://www.naa.gov.au/collection/snapshots/dupain/for-media/art-gallery.aspx, Foto von Max Dupain

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

2.4. Einfluss von Kernposition an den inneren Spannungen/Verformungen des Tragwerks

System: 2D Teil auf 3 Auflager
Die Auflager befinden sich auf 2 kürzeren (Südliche und Nördliche) und einer längeren (Östliche) Seite.
Diese sind in Richtung den vordefinierten Achsen verschiebbar.
Ziel: Analyse des Einflusses von Kernpostionen (Auflager) zu Spannung/Verformung des Tragwerks
Als Plug-In für diese Analyse wurde Karamba 3d (Student License) benutzt.

Belastung: Da die detaillierten Räume noch nicht bekannt waren, daher ist das genaue Belastungsschema nicht bekannt, ist das Tragwerk nur mit dem Eigengewicht belastet.

FE Netz: Um statische Berechnungen und Analyse mit Karamba zu machen, ist es nötig, das FE-Netz direkt einzugeben.
Um das repräsentative FE-Netz zu bekommen, wurde die Deckenfläche in ein orthogonales Netz (Mesh) mit steuerbare Netzdichte aufgeteilt.
Hauptargument für steuerbare FE-Netze war der Fakt, dass dieses Netz direkt für die weitere Modellierung und Analyse sowie auch in der Entwurfsphase genützt wird.

Mittels Gallapagos Solvers wurde die Einstellung die kleinsten Verformungen erzeugt gesucht. Als Eingangsparametern sind parametrische Positionen der Kerne angeschlossen.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

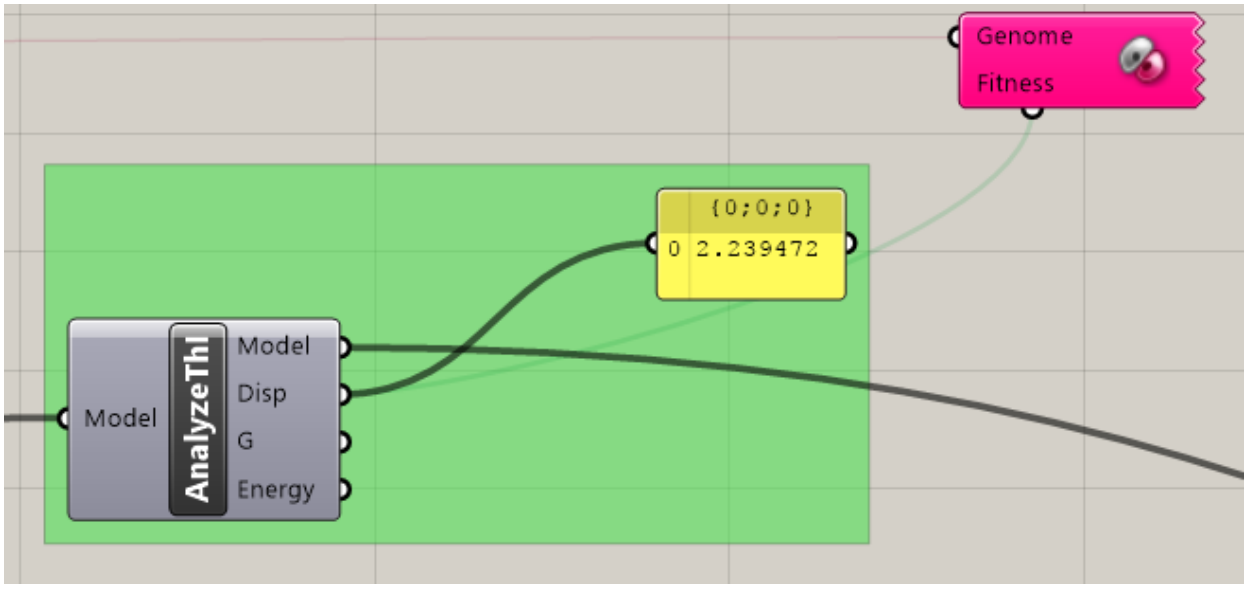


Abbildung 2.23Galapagos Tool für Optimierung, Angeschlossen sind die Verformungen als Fitness (Variable dessen Wert wird gesucht - max. oder min.) und Kernposition als Genome der wird geändert

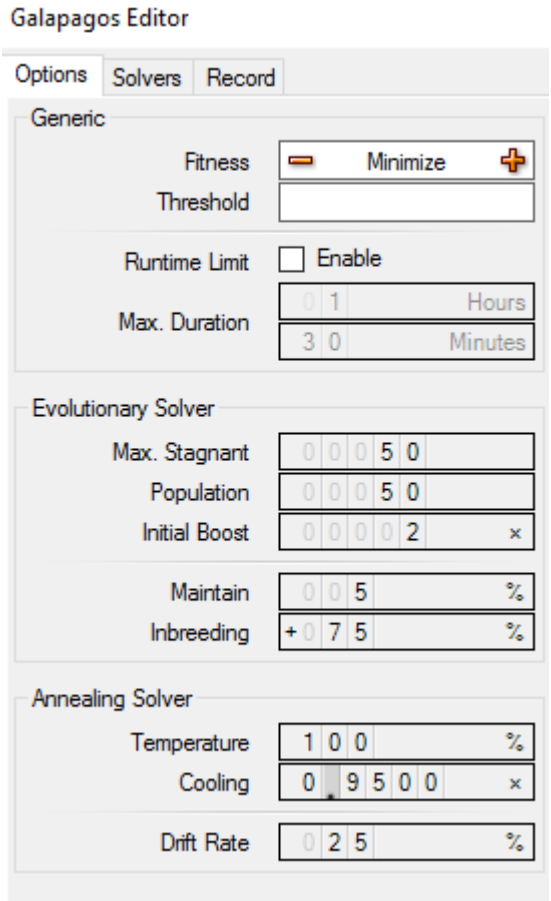


Abbildung 2.24 Galapagos Editor

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

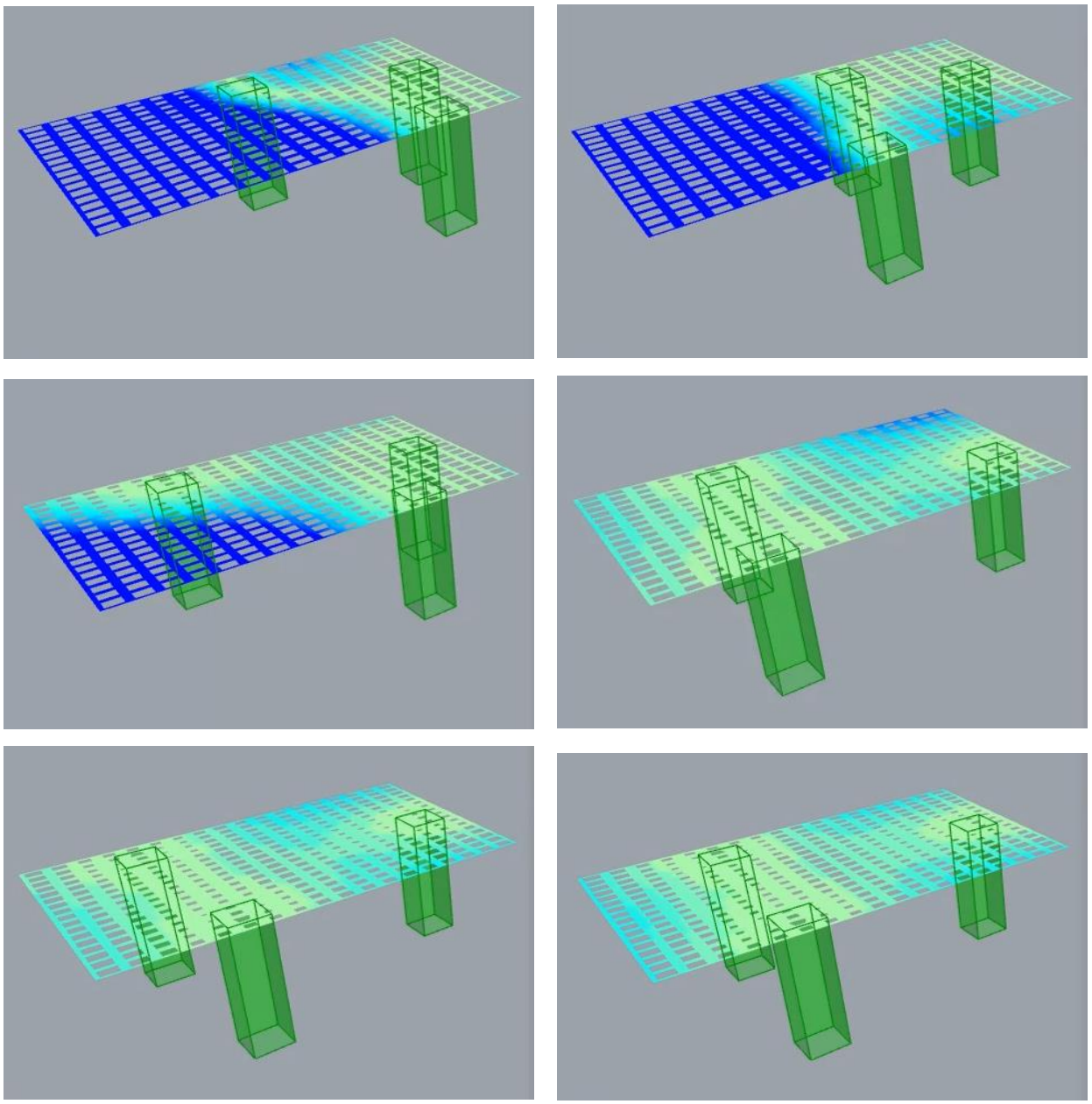


Abbildung 2.25 Optimierungsprozess

In vorherigen Bildern ist die Optimierungsprozess (Bei uns Formfindung) des Galapagos Solvers dargestellt. Am Anfang sind klar sichtbare blaue Felder mit großen Verformungen die auf dem letzten Bild klein und gleichmäßig sind.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

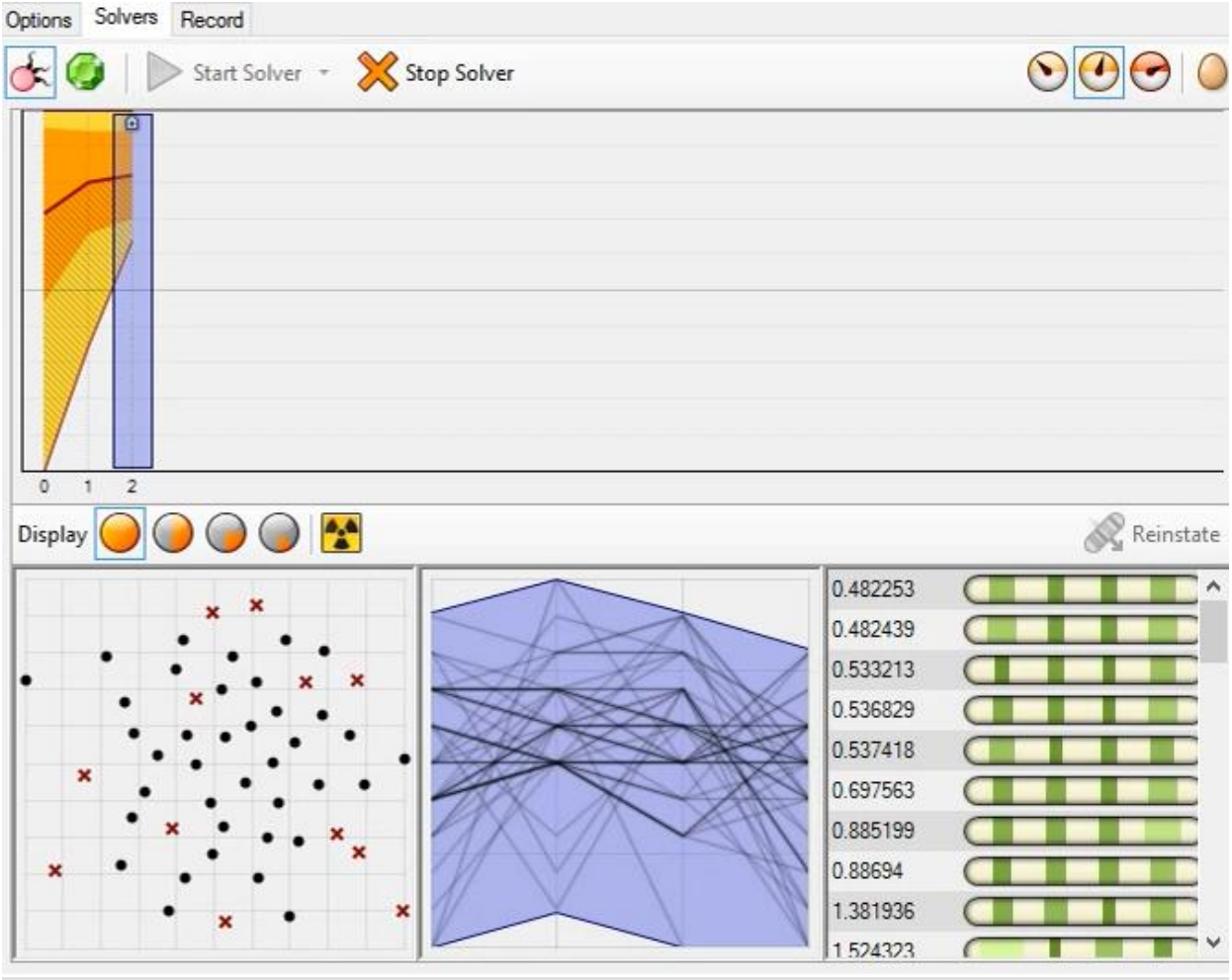


Abbildung 2.26 Verlauf der Optimierung in Galapagos Solver. Unten rechts kann man die Verformungen die kleiner werden sehen

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

2.5. Deckenöffnungen

Grundlage der Deckenöffnungsgeometrie sind die FE-Netze und Ergebnisse der inneren Kräfte im vorherigen Schritt.[44]
Für die Dachoberfläche als Ausgangspunkt war das „Knabensystem" – ermittelt von RS. Um die Deckenöffnungen als Grundelement an optimalen Stellen zu bekommen und mit den optimalen Dimensionen, werden die inneren Kräfte analysiert.
Ausgangspunkt für die Deckenöffnungen war der zentrale Punkt des vordefinierten FE-Elementes. Die Öffnungsgeometrie ist ein Rechteck mit Länge und Breite abhängig von den inneren Kräften in dem analysierten Element.
Innere Kräfte für die Öffnungsform können durch Moment oder Normalkraft bestimmt werden.
Ausgewählt wurde das Moment, da unser 2D Element vorwiegend vom Moment (Biegung) beansprucht wird.

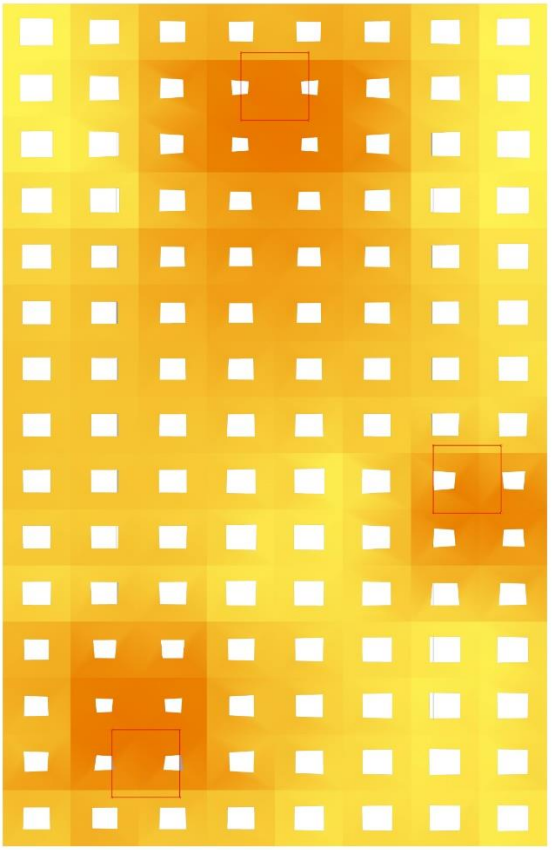


Abbildung 2.27 Deckenöffnungen mit Kernpositionen (rote Linien) und Verformungen (Farben)

[44] Teil das Deckenöffnungsskript wurden von karamba3d.com übernommen. Siehe Beispiel: Informed Geometry - Scale Openings by Inner Forces

2.6. Weiterer Entwurf – Waben am Dach

Um die Wabenelemente tragfähig zu machen müssen sie durchgehend an die obere Fläche des Daches gehen. Für die erste Phase wurde entschieden eine Rippe durchgehend an die Nördliche Seite der Waben zu führen.

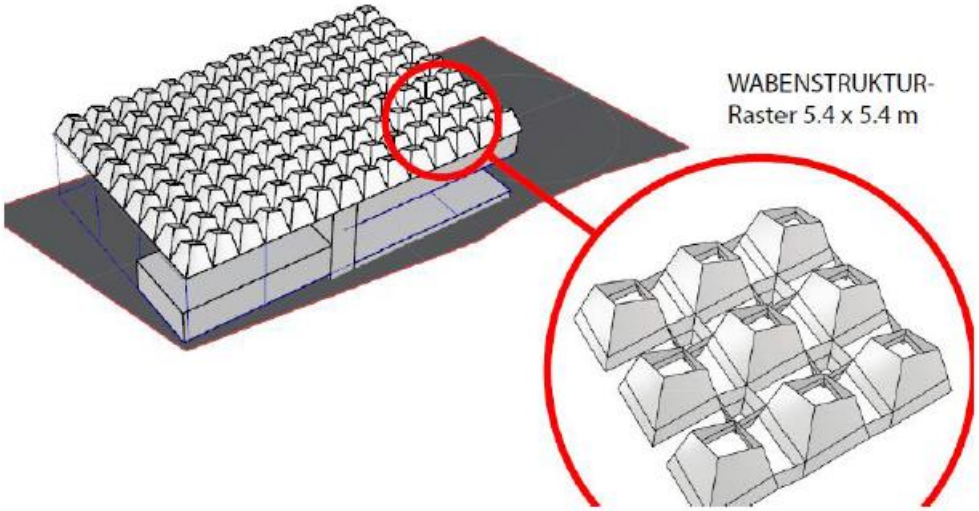


Abbildung 2.28 Wabensystem am Dach[45]

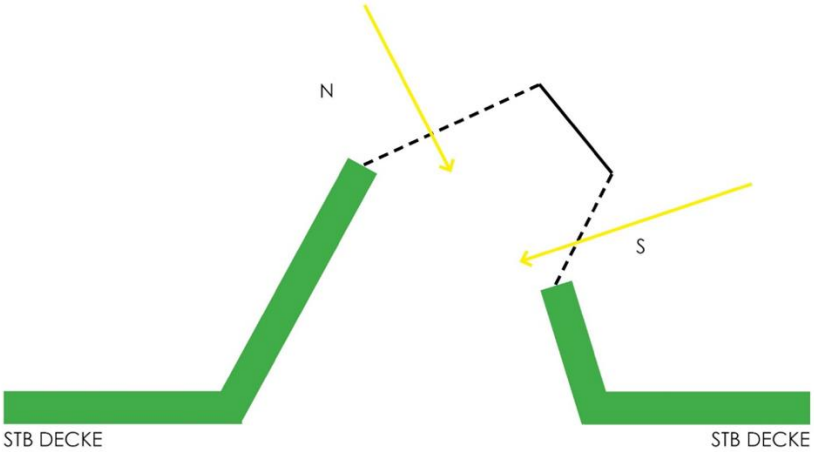


Abbildung 2.29 Wabenschnitt

Um die Tragfähigkeit des Systems zu vergrößern nutzen wir die Wabenflächen.

[45] Unterlagen: R. Suppin

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

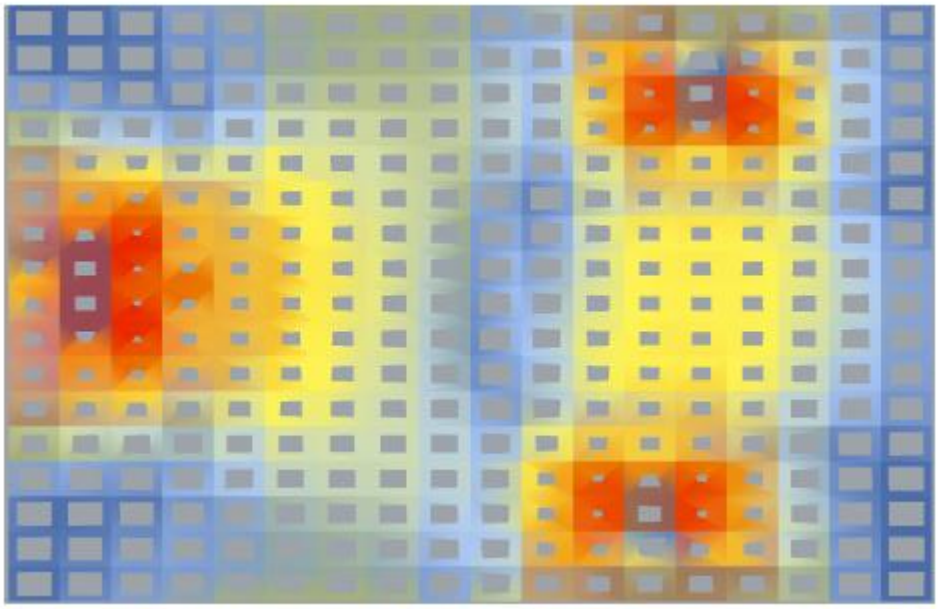


Abbildung 2.30 Wabenrippe Schritt 1 - Dachelement mit Öffnungen

Farben an dem 2D Element stellen die Schnittgrößen, nach welchen die Öffnungen bestimmt sind, dar.

Rot = Größe innere Kräfte = kleinere Öffnungen

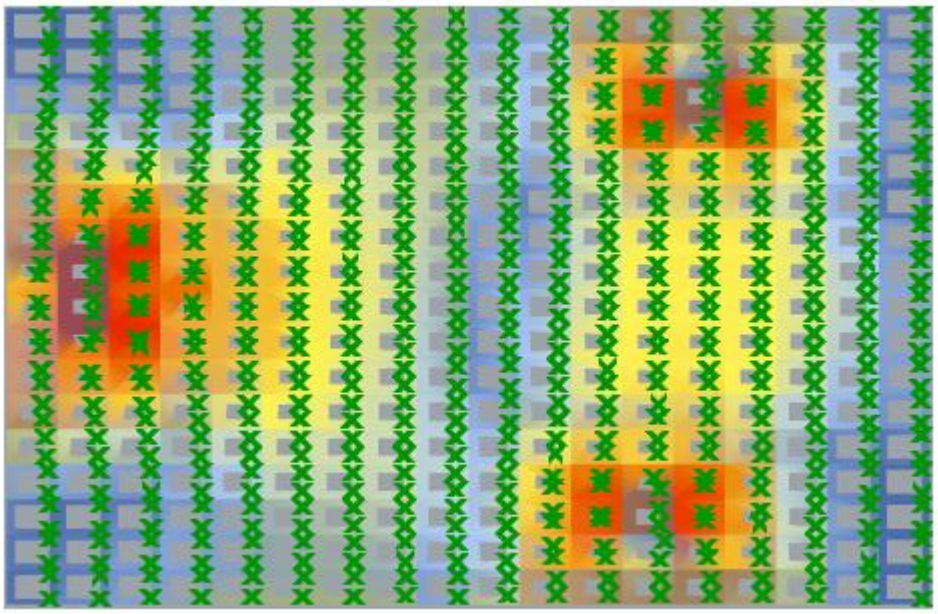


Abbildung 2.31 Wabenrippe Schritt 2 - Punkte an nördliche Seite der Öffnungen

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

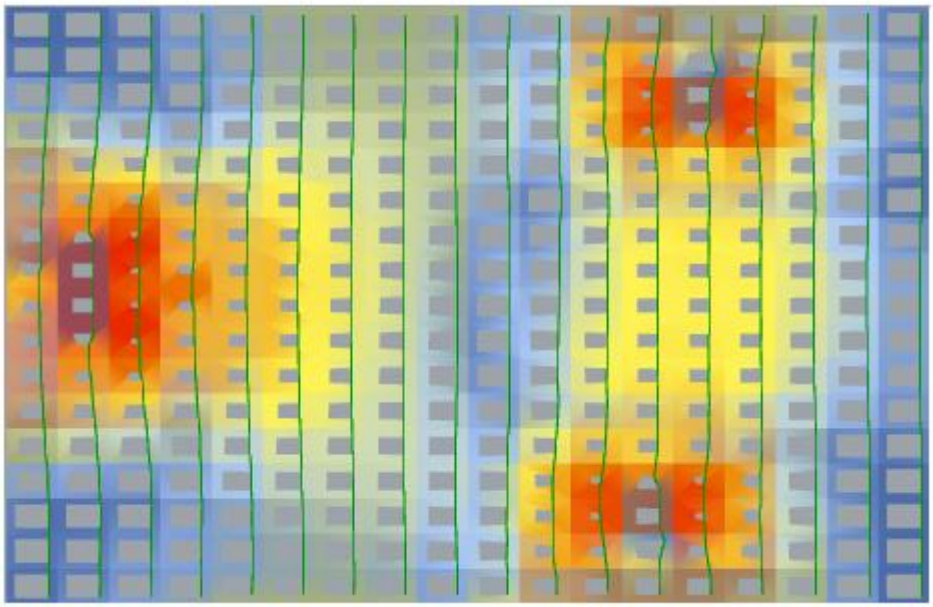


Abbildung 2.32 Wabenrippen - Linien von nördlichen Punkten

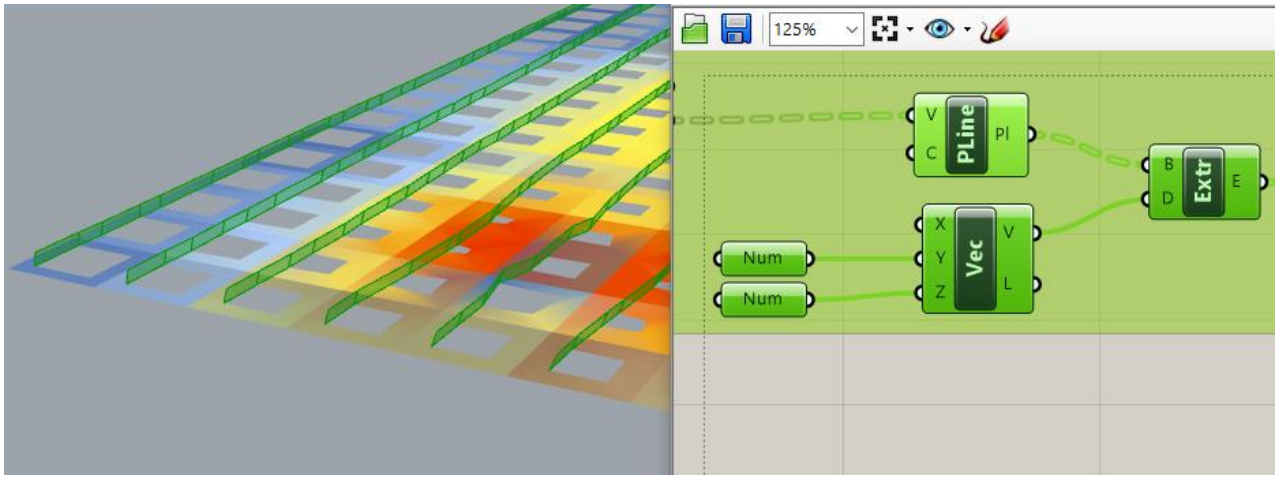


Abbildung 2.33 Wabenrippe Schritt 3 - Linien werden extrudiert nach vordefiniertem Vektor

Extrudieren von Waben in Zusammenarbeit mit Bauphysikern – Finden die optimale Neigung für Tragwerksplanung und Bauphysik.

Der Anschluss wird für den Bauphysiker offengelassen, um ihm frei zu steuern können. So kann der Bauphysiker den Einfluss von Wabenformen an Tragwerk und tragwerksplanerische Aspekte betrachten.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

2.7. Entwurf der Untere Decke / Zusammenfassung in eine 3d Konstruktion

Das Tragwerkskonzept für die Geschossdecke wurde aufgrund des Raumprogrammes entworfen. Es besteht aus Stahlträgern die dem parametrischen Raumprogramm folgen. Dazwischen befinden sich Leichtbaudecken.

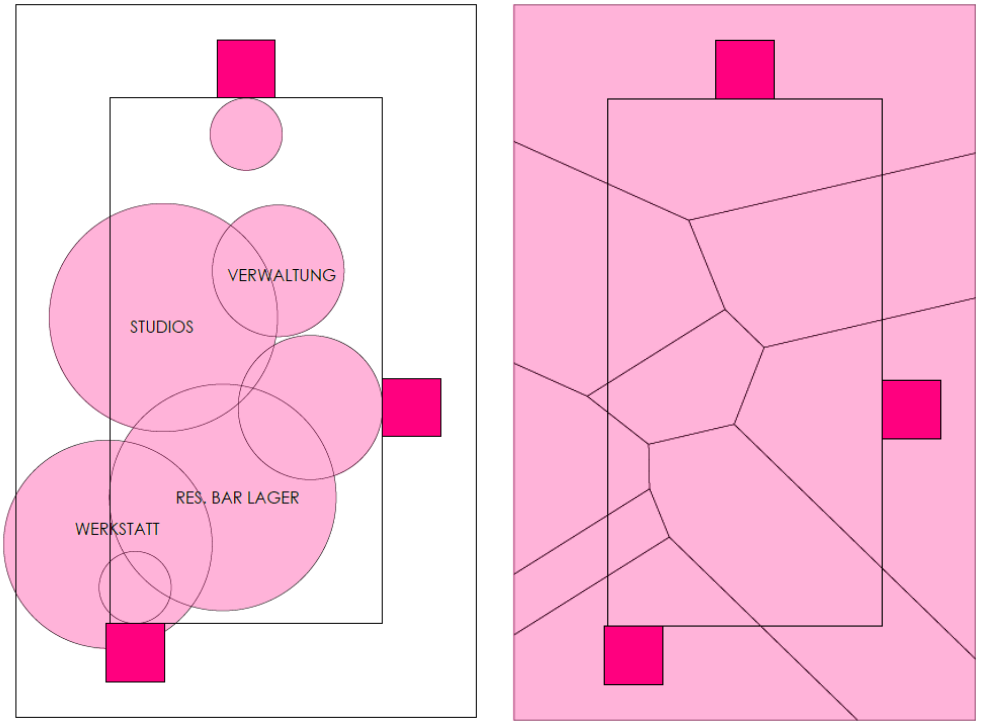


Abbildung 2.34 Raumprogramm

Die Raumtrennung wurde noch als eine zusätzlicssteifungsebene benutzt. Diese Aussteifung wird in Form eines räumlichen Fachwerkes ausgeführt, die das obere Dachsystem mit der unteren Stahlkonstruktion verbindet.
Somit wurde eine räumliche Struktur geschaffen, die von vielen Parametern gesteuert wird und hat Eingangsparameter die von allen Beteiligten beeinflusst werden können. Zusätzlich gibt es Optimierungsskripte die auf Basis statischer Ausnutzung basieren.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

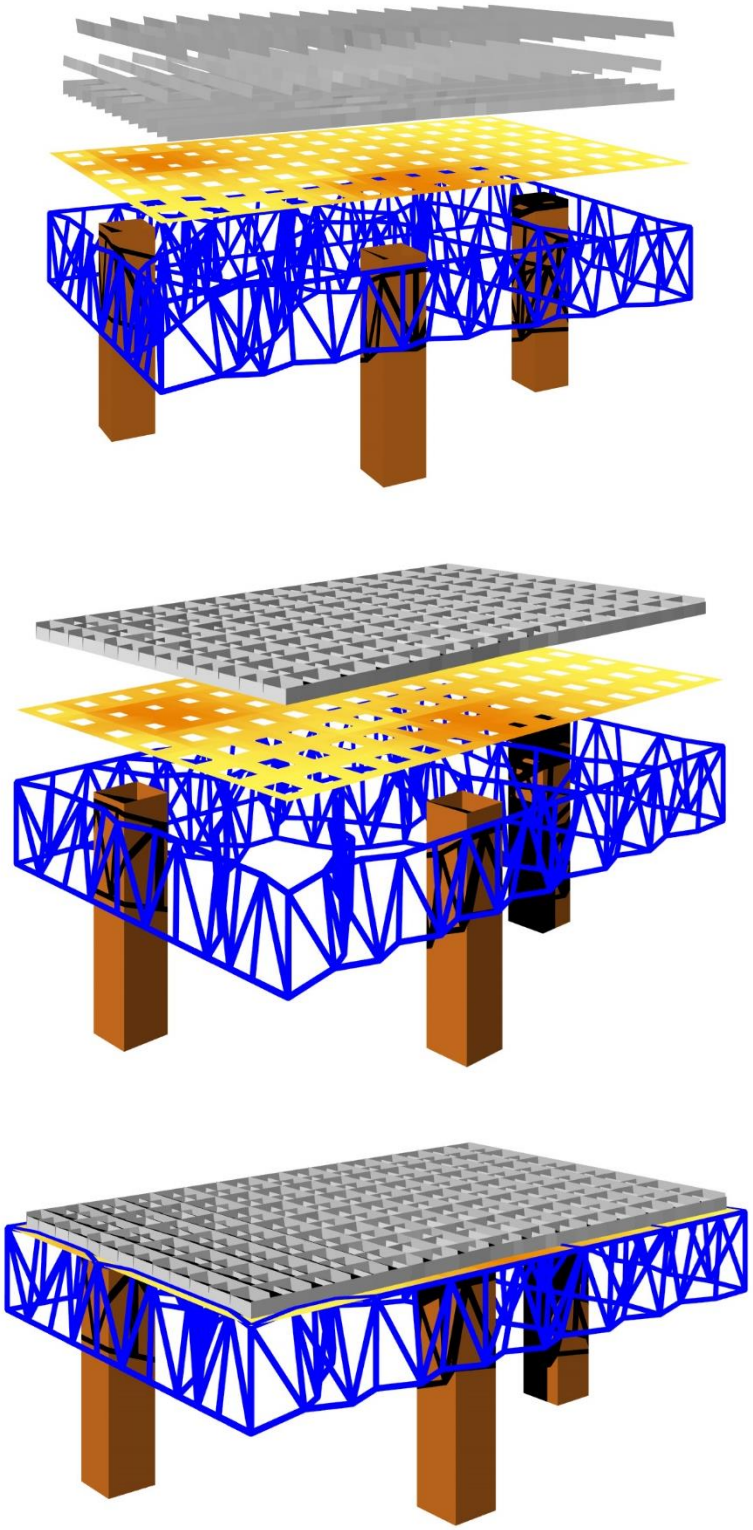
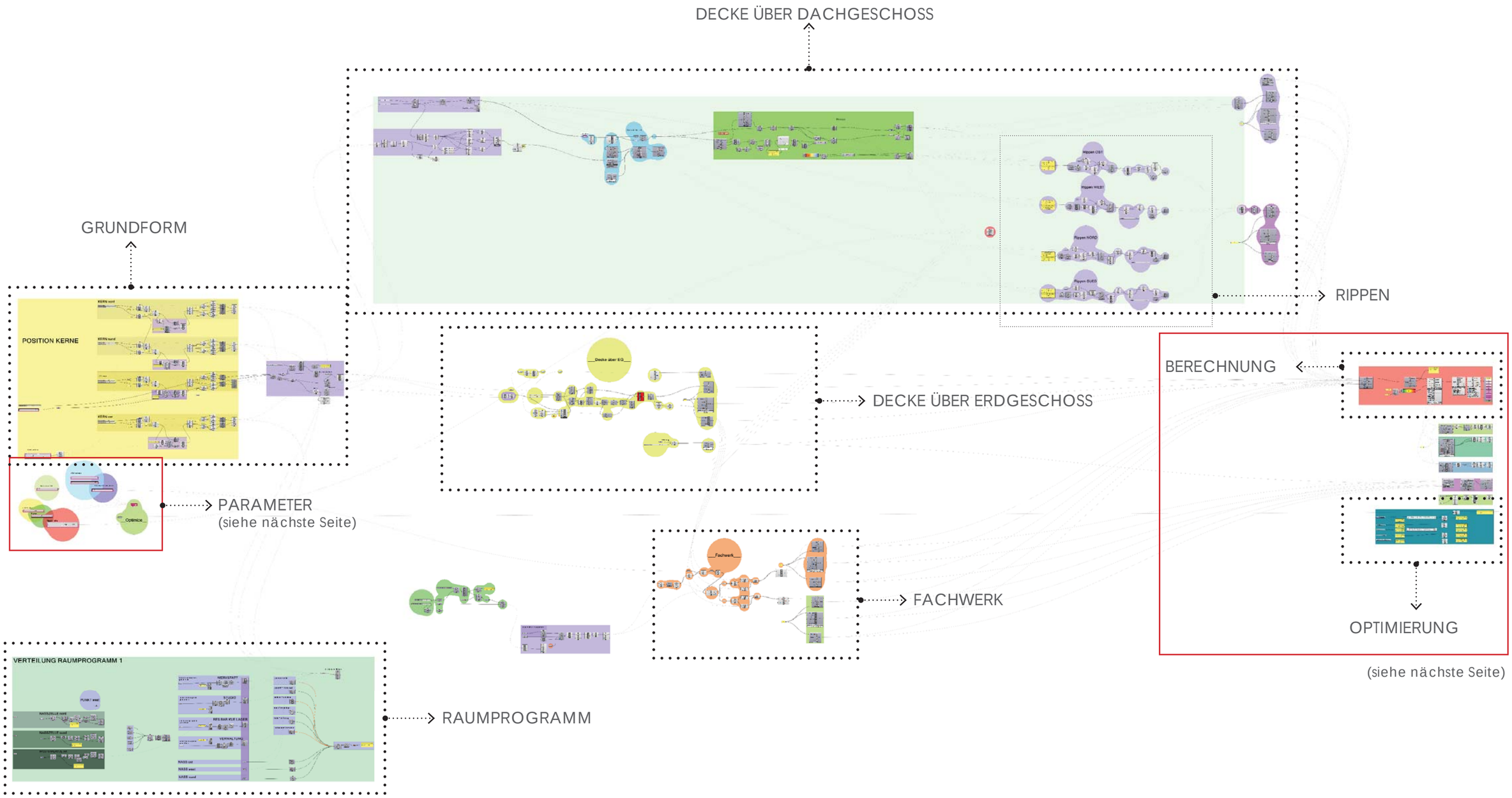


Abbildung 2.35 Zusammenfassung in eine 3d Konstruktion

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Optimierungsskript ENTWURF

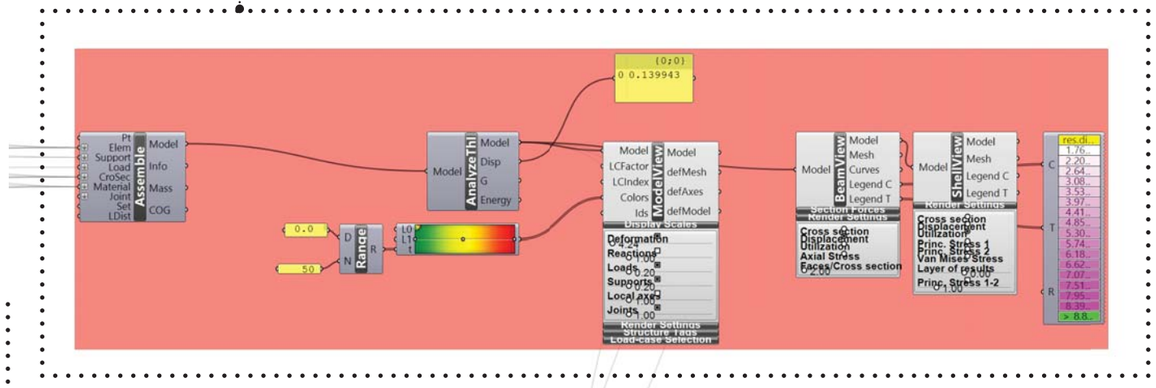


TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology

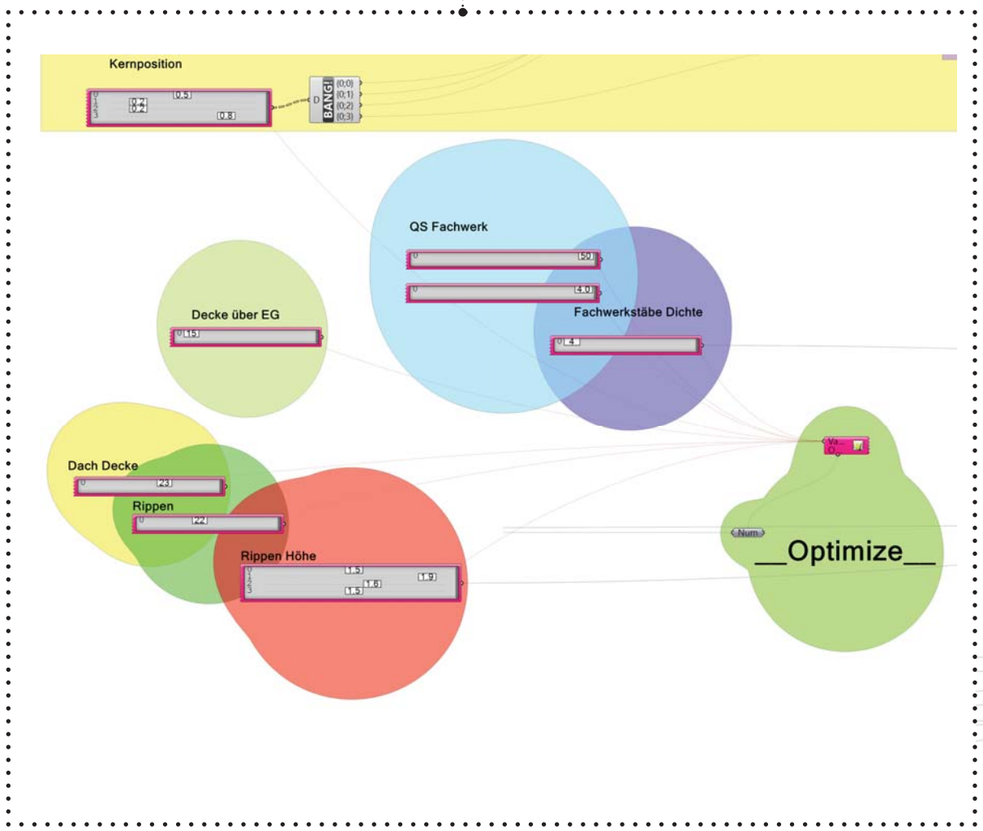
bi.hbg

Optimierungsskript ENTWURF

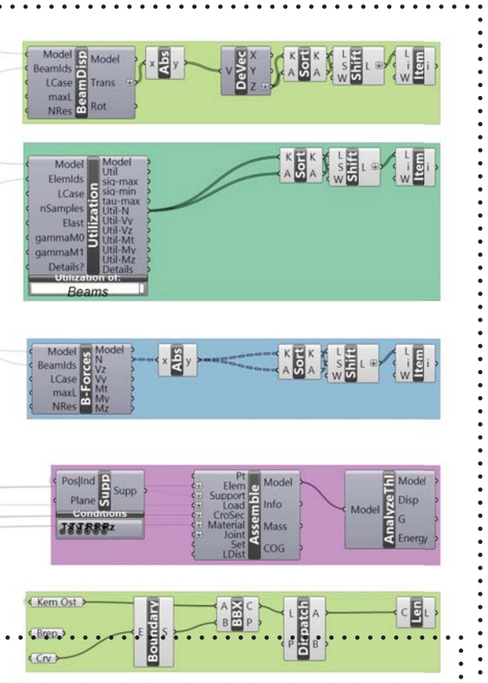
KARAMBA ANALYSE



PARAMETER

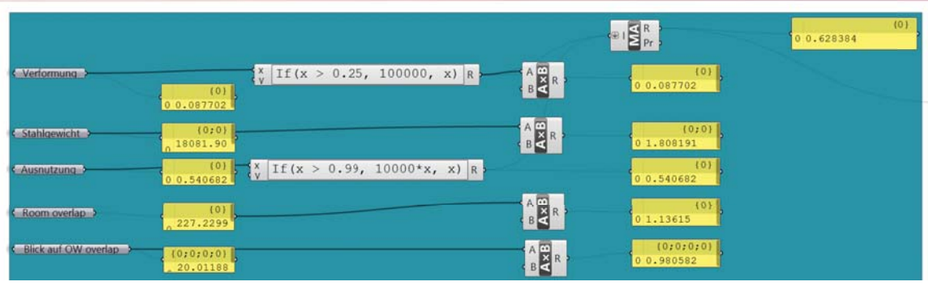


AUSWERTUNG DER WICHTUNGSFAKTOREN



GOAT SOLVER

OPTIMIERUNG



2.8. Analyse einer Decke - Orthotrope Platte vs. nicht orthotrope Lösung

Motiviert durch ein Arbeitsproblem – Große Verformungen bei einer komplexen Tragstruktur auf einem orthotropen Trägerrost gelagert, wollte ich diese Systeme optimieren.
Natürlich sind die Systeme einfach, leicht zu bauen und Anschlüsse leicht auszuführen. Aber bei komplexen Bauelementen, bei denen jeder kg Gewicht und jeder Millimeter Verformung zählt, müsste eine bessere Lösung zu finden sein.
Das Ziel war einen innovativen Trägerrost zu entwerfen der für die gleiche Fläche, und gleiche Belastung, gleiche Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, aber mit einem kleineren Materialverbrauch auskommt.
Die Lösung haben wir durch natürliche Kraftfluss in den Tragwerken gesucht.

Für die Analyse haben wir die Decke unseres Systems (Tisch auf 3 Beine) betrachtet.

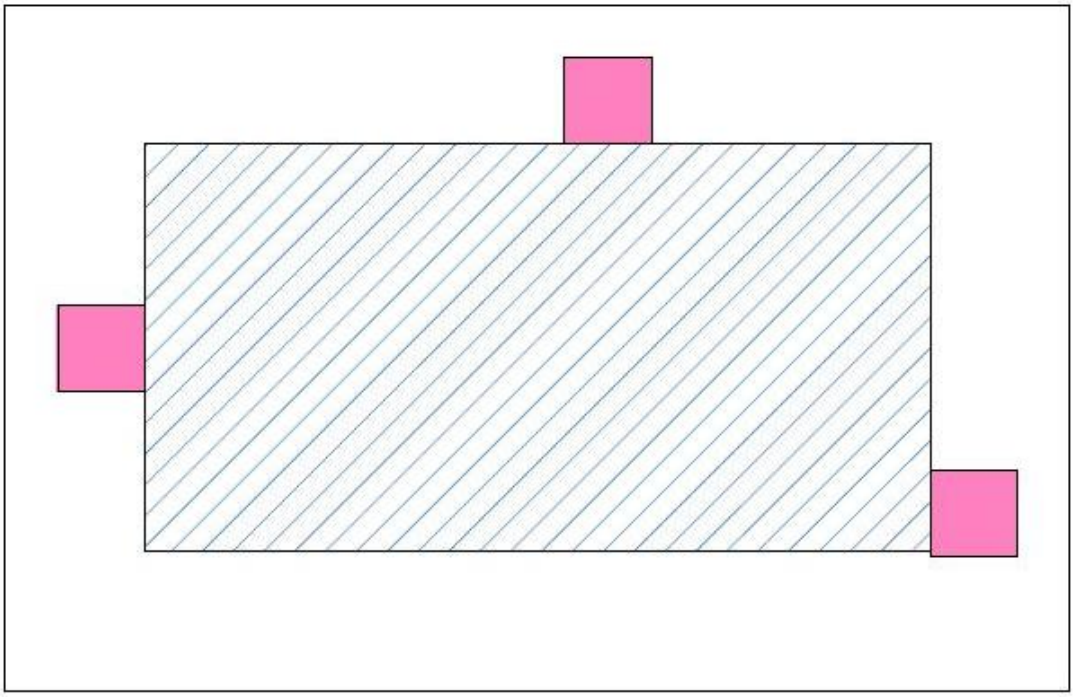


Abbildung 2.36 Modell Einstellung

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Ergebnis der Karamba Analyse und Darstellung der Hauptmomentlinien.

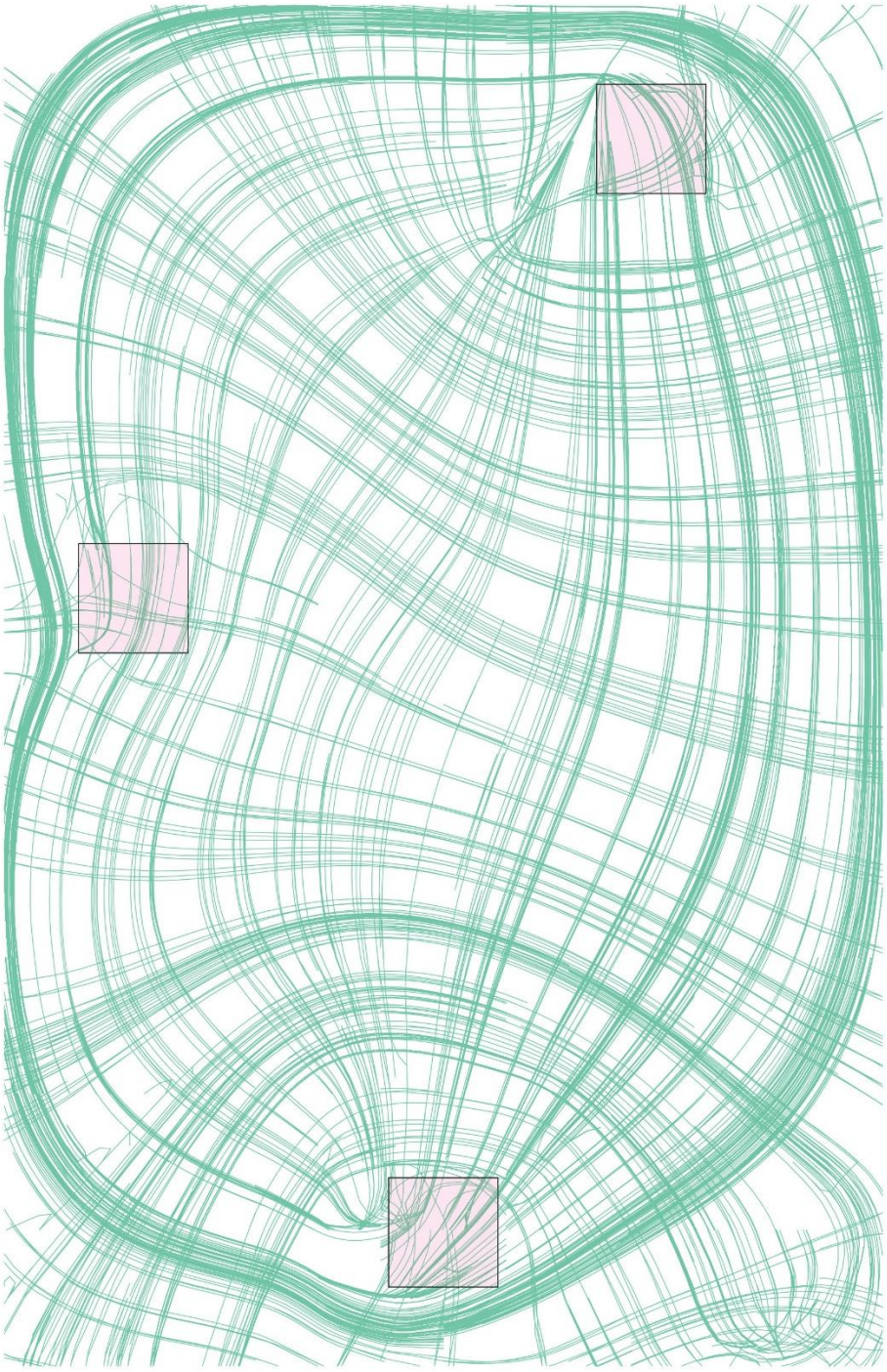


Abbildung 2.37 Richtungen der Hauptspannungen

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

2.8.1. Entwurf der Lösung nicht orthotrope Platte

Das Ergebnis der Karamba Analyse und Darstellung der Richtung der Spannungen kommt in Form von tausenden Linien die oft nicht verbunden sind und auch in Form der verformten Struktur.
Größte Herausforderung war diese Linie in nutzbare, konstante, Auflager zu Auflager durchgehende Linien umzuwandeln. Die Linien sollten sich auf dem Weg schneiden, optimale Höhe und Position schaffen.

Auch wenn diese automatische und immer flexible Lösung nicht erreicht wurde, haben wir das Prinzip und Ziel nachgewiesen. Die Hauptmomentlinien wurden manuell in AutoCAD in einem optimalen Ausmaß imitiert. Diese Linien wurden dann in RFEM importiert, im Modell dargestellt, und verglichen mit einem typischem orthotropem Balkenplatten System.

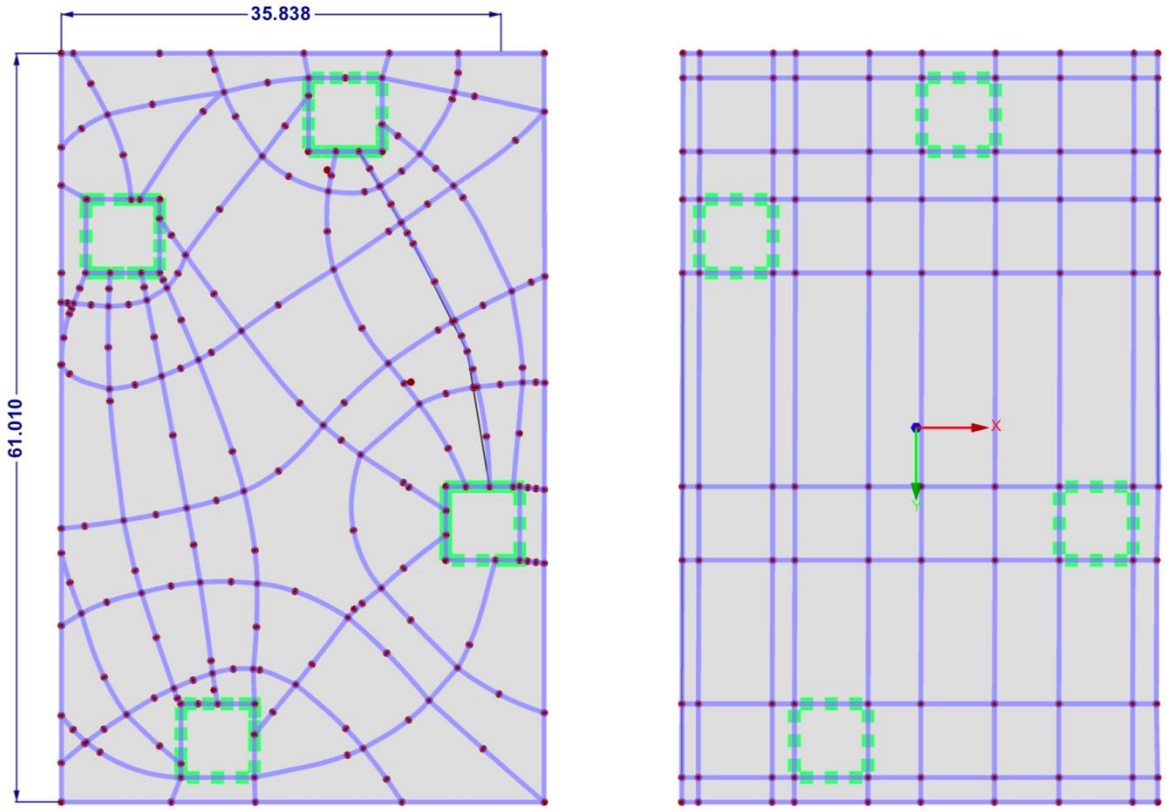


Abbildung 2.38 RFEM Model n.o. Platte vs orthotrope Platte

Im Modell befinden sich 2 Varianten zum Vergleich:

- Traditionelle orthotrope Platte
- nicht orthotrope Platte erzeugt im Grasshopper/Rhino/Autocad/RFEM

Beide Varianten haben eine Gesamtträgerlänge von 1000m (gleiche Profile) und daher gleiche Gewicht.

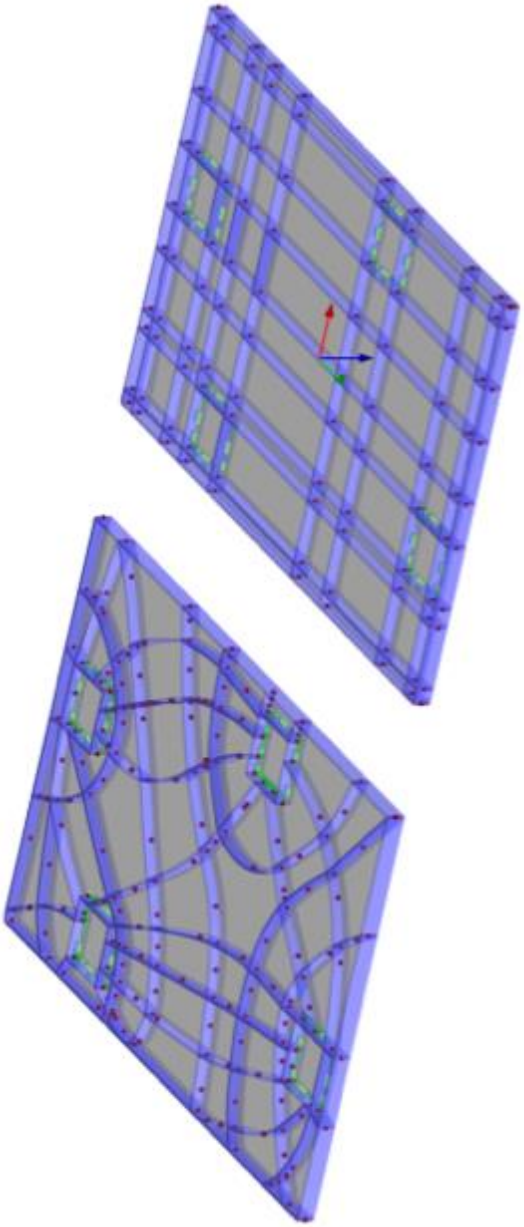


Abbildung 2.39 Isometric RFEM n.o. Platte vs orthotrope Platte

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Die nicht orthotrope Variante weist größere Steifigkeit bzw. kleinere Verformungen auf.

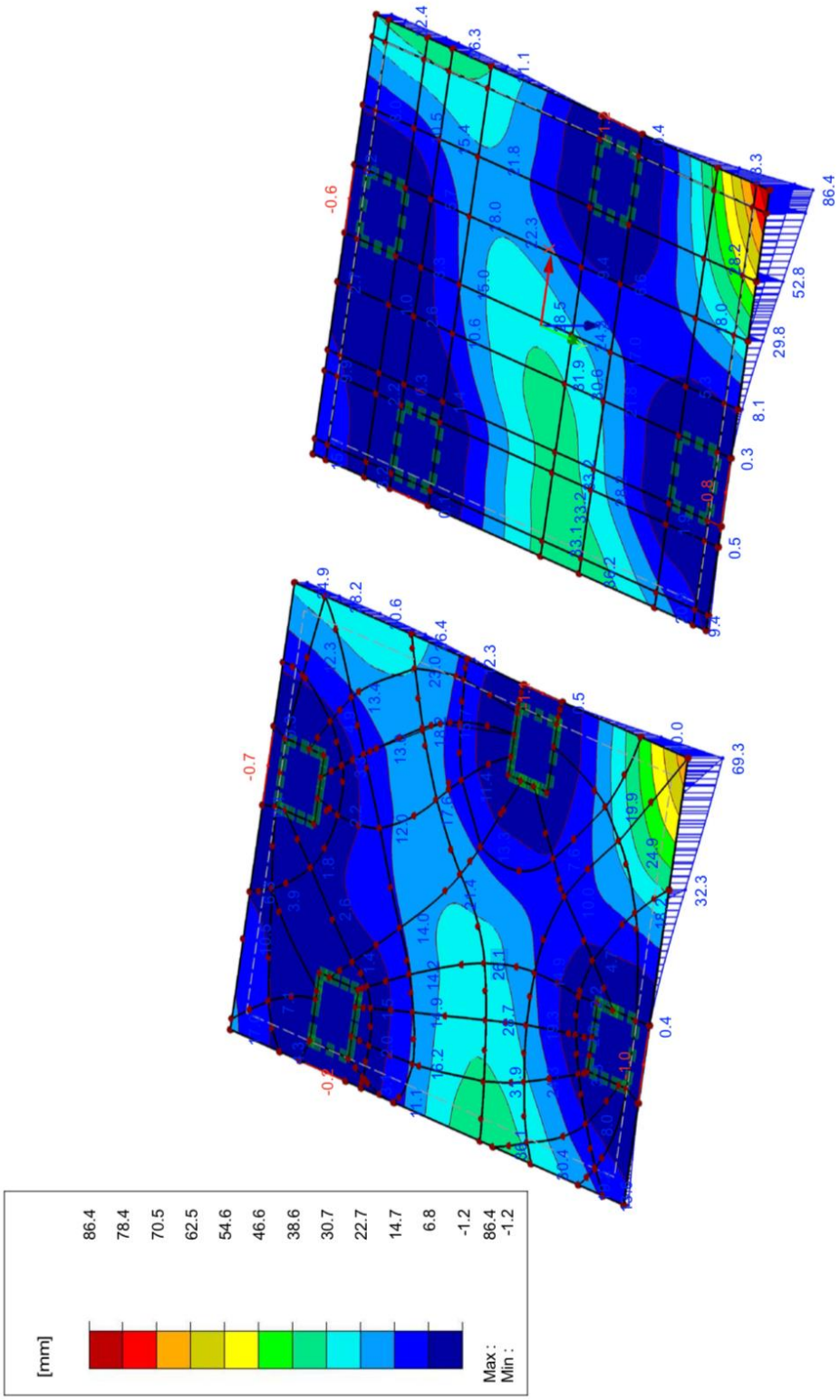


Abbildung 2.40 RFEM Verformungsvergleich

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

2.9. Zusammenfassung

Der erste Teil der Arbeit beschreibt die gemeinsame Entwicklung des Entwurfes auf Rhino + Grasshopper Plattform. Die Idee ein Virtuelles Modell zu bauen und für verschiedene Analysen zu benutzten hat sich als schwierig ausgestellt.
Die erste große Herausforderung für den Statiker war Nutzen des neuen Statik Programmes (Karamba). Dieser erfordert eine genaue Eingabe der Geometrie mit Aufsicht auf Knotenverbindungen. Aus dem Grund war es oft notwendig die Architektonisch gewünschte Konstruktion anders zu definieren.
Als Ergebnis des Entwurfes ist ein Algorithmus entstanden der die Tragkonstruktion definiert. Diese Tragkonstruktion ist von der Geometrie der Gebäude und die Raumteilung abhängig. Zusätzlich bleibt die Möglichkeit Formfindungsprioritäten / Optimierungszielen zu adaptieren oder ergänzen.
Wesentliche Nutzen der Übung waren die Kenntnisse und die Optimierungsfähigkeiten die in folgenden Kapiteln zu Optimierung der herkömmlichen Tragsysteme genutzt worden sind.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

3. Tragwerksoptimierungsbeispiele

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

3.1. Baumstruktur

Die Stützenkonstruktion der 2 Schiefgestellte Dächer wurde optimiert.
Beim originalen architektonischem Entwurf wurden die Baumstützen vertikal dargestellt – siehe Abbildung 3.1.

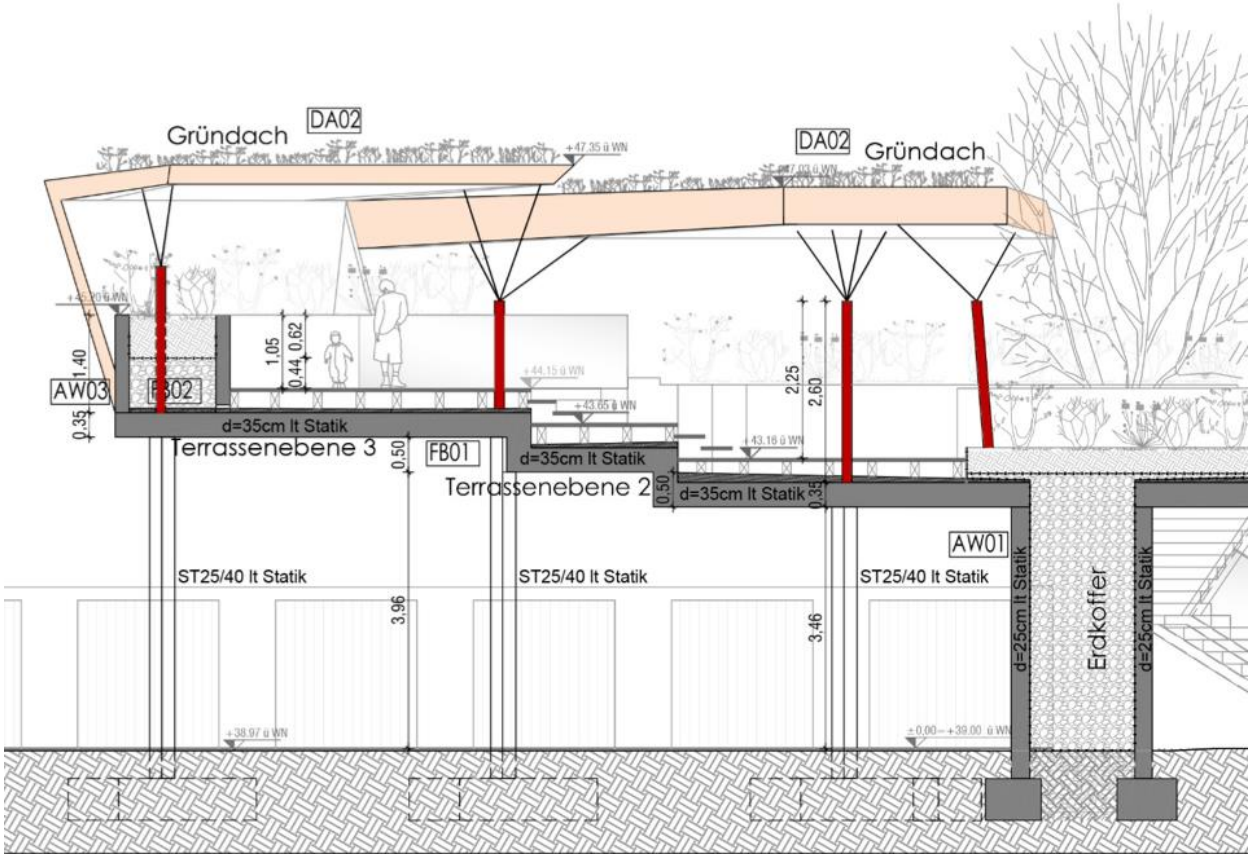


Abbildung 3.1 Schnitt C-C – Teil des Einreichplanes[46]

Nach der ersten statischen Analyse wurde bemerkt, dass solche Positionen der Baumstützen suboptimal sind und große Verformungen aufweisen – siehe Abbildung 3.2.

[46] Einreichplan - Anonym

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

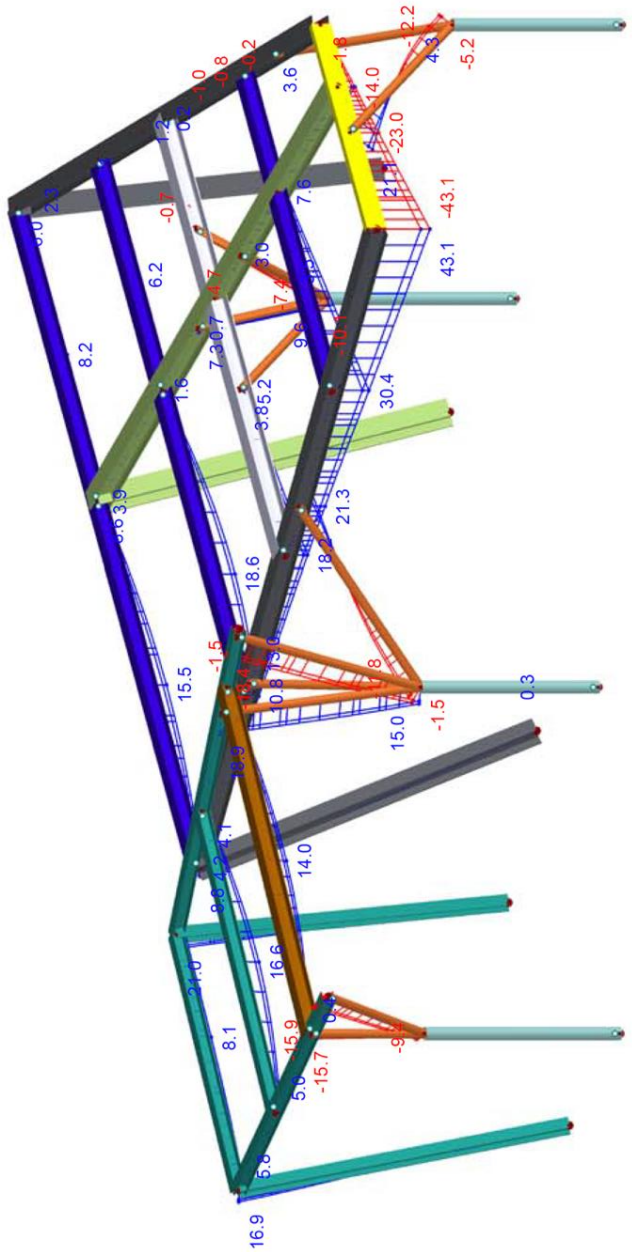
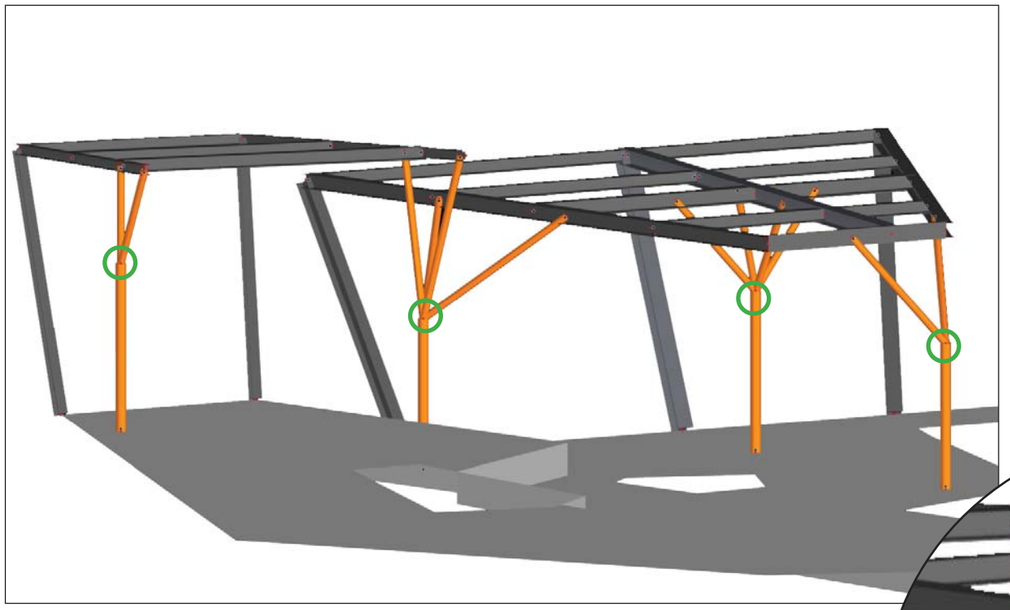


Abbildung 3.2 Berechnung im RFEM vor dem Optimierungsprozess

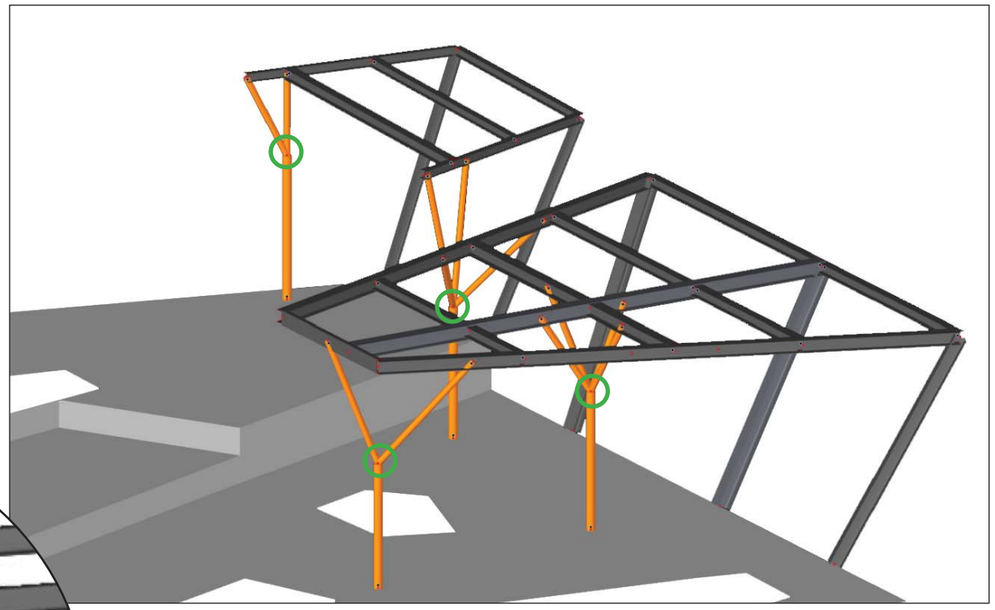
Aus den Ergebnissen wurde festgestellt, dass die exzentrische Belastung der Baumstützen Knicken verursacht. Um den architektonischen Wert und die Form zu erhalten, wurde eine Form gesucht die Stützenquerschnitte und Gesamtbild nicht zu viel ändert. Das Modell wurde aus Rfem in Rhino importiert, in Grasshopper referenziert, und die Zweigpunkte parametrisch eingestellt. Einziges Optimierungsziel war die Verformung und der einzige Parameter die räumliche Position der Zweigpunkte.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

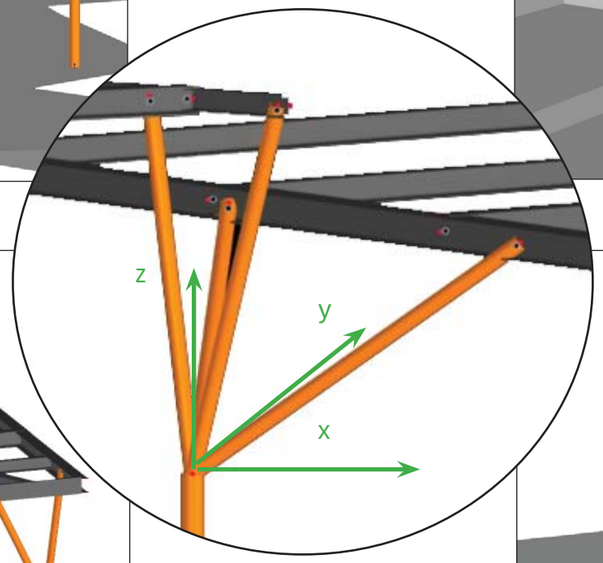
Zugelassene Knotenverschiebungen



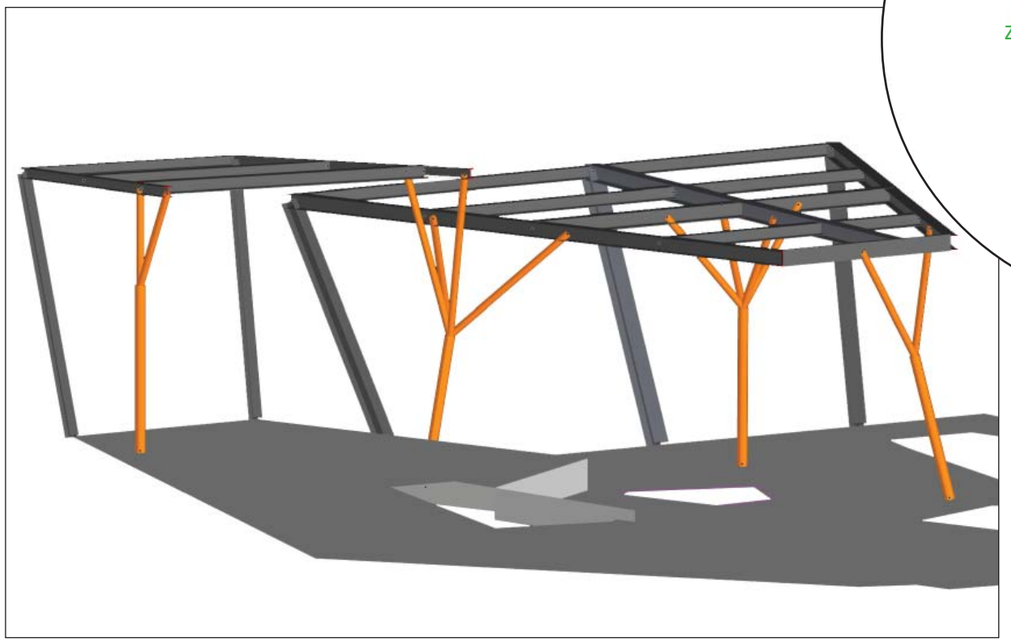
Vor



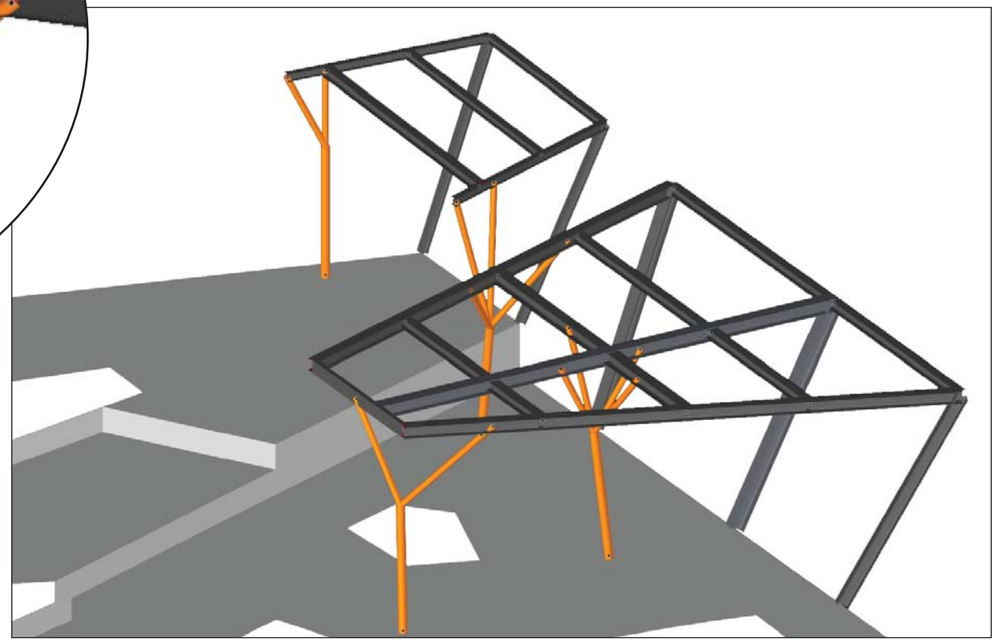
Vor



Zugelassene Knotenverschiebungen:
$y=y_0 \pm 0.6$m
$x=x_0 \pm 0.6$m
$z=z_0 \pm 0.4$m

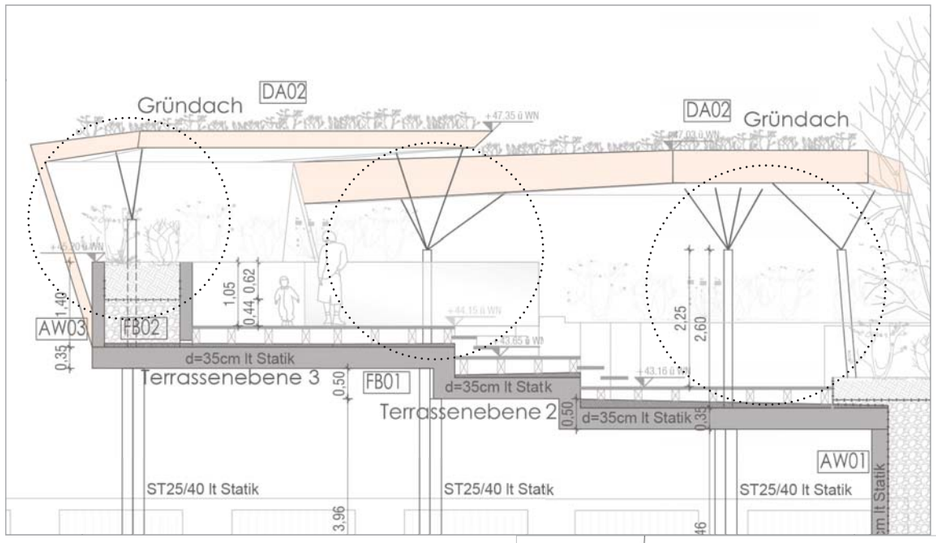


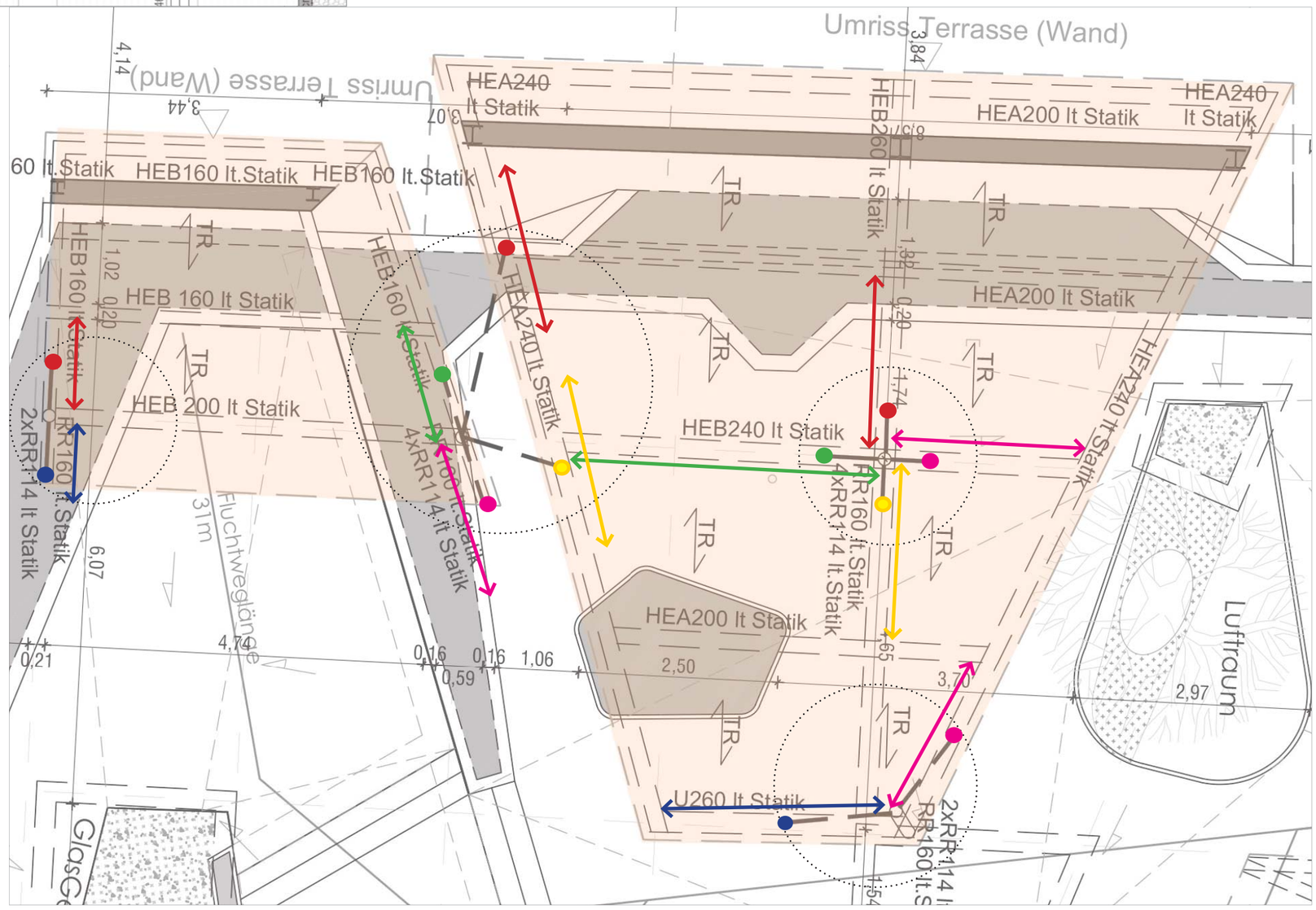
Nach



Nach

Zugelassene Knotenverschiebungen





TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Vienna University of Technology

bi.hbg

Optimierungsskript BAUMSTÜTZEN

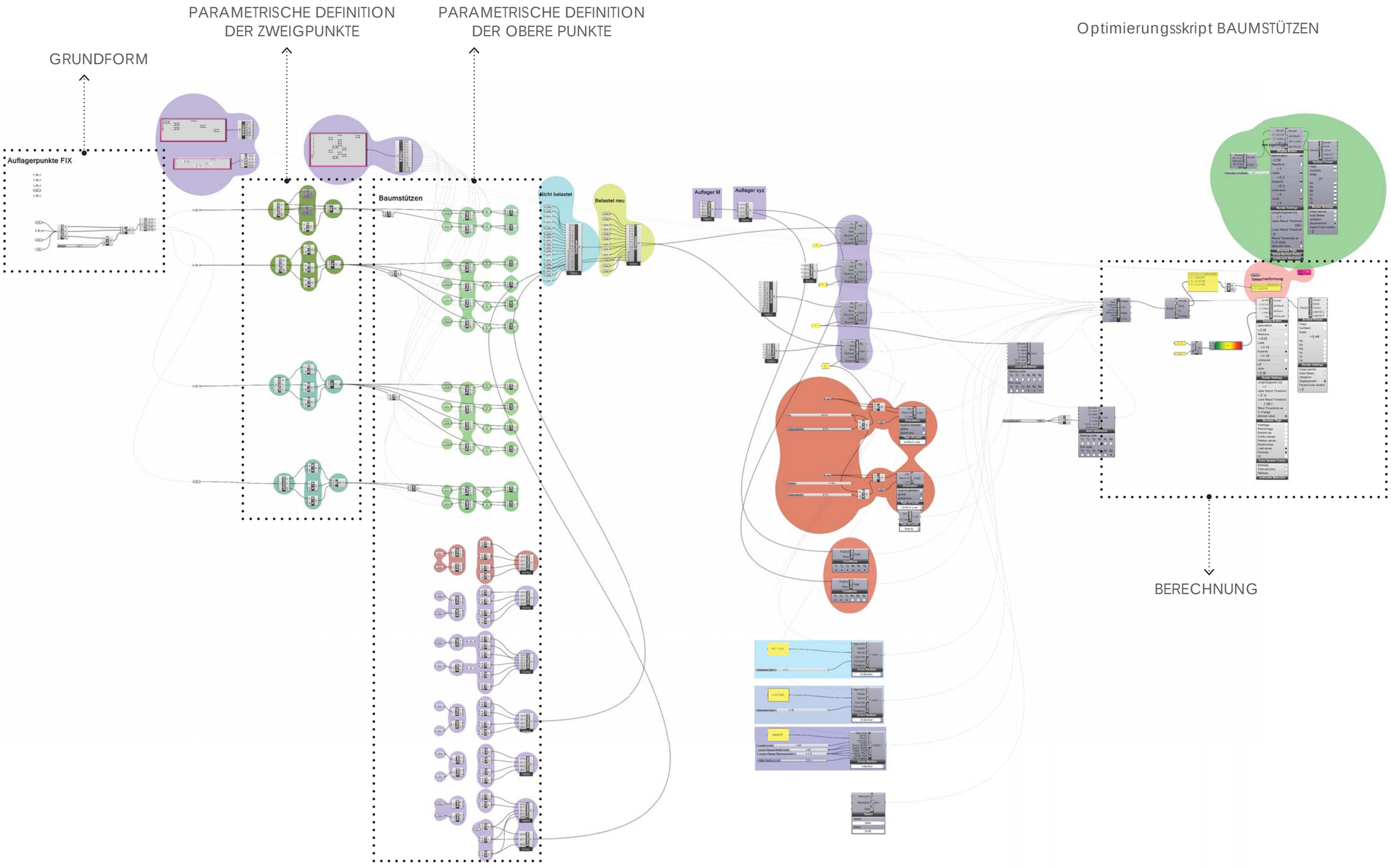


Abbildung 3.3 Dachkontruktion vor dem Optimierungsprozess

Abbildung 3.4 Dachkontruktion nach dem Optimierungsprozess

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

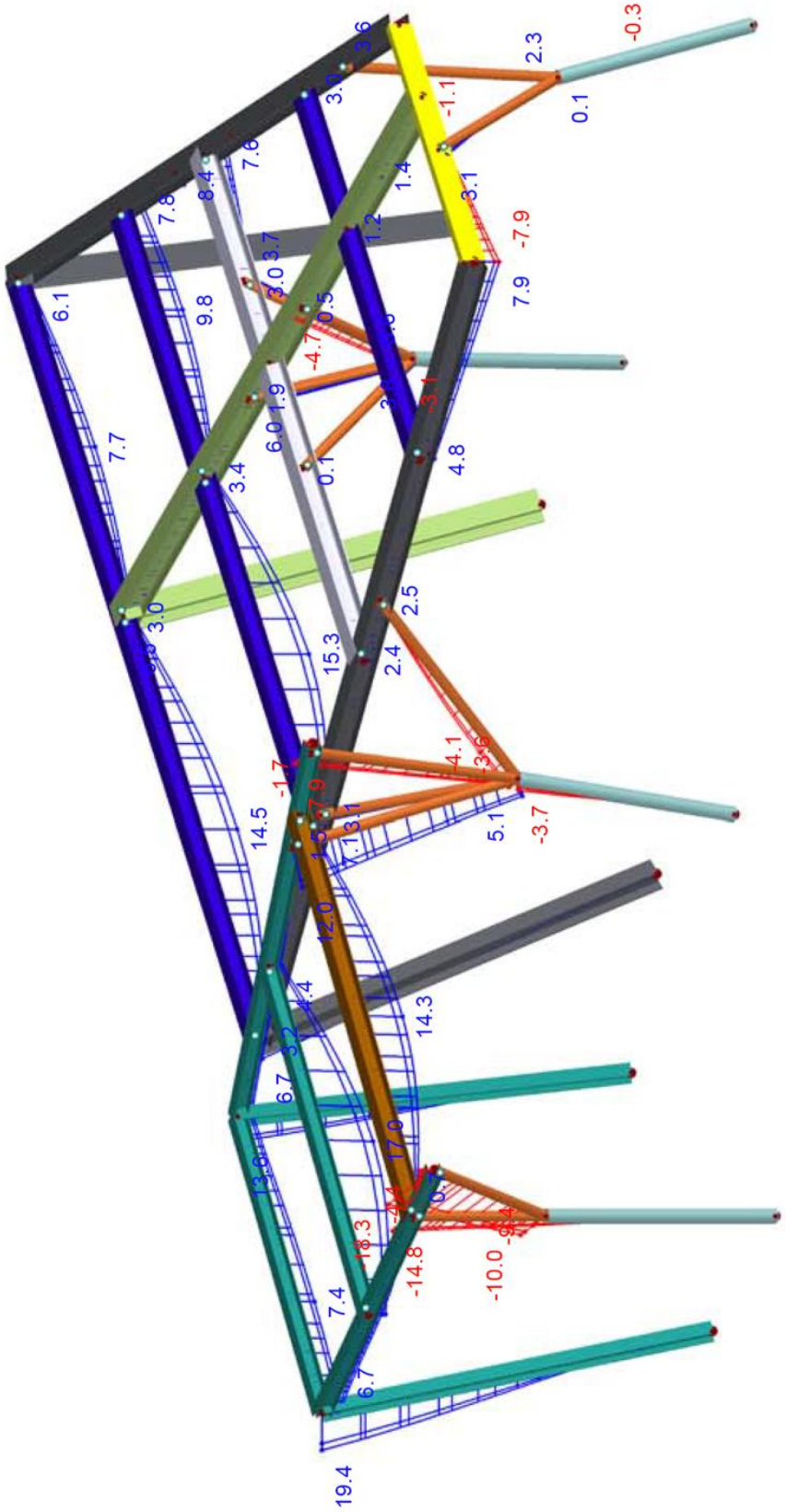


Abbildung 3.5 Vergleichsberechnung in Rfem nach dem Optimierungprozess

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

3.2. Holzfachwechwerk by ATP

Bei dem untersuchten Beispiel, zur Verfügung gestellt von ATP architects engineers, handelt sich um ein Holzfachwerk mit 60 m Spannweite. Der Begrenzungsfaktor war das Gewicht. Optimierungsziele waren Verformung und separat betrachtete Ausnutzung der Gruppen von Elementen.

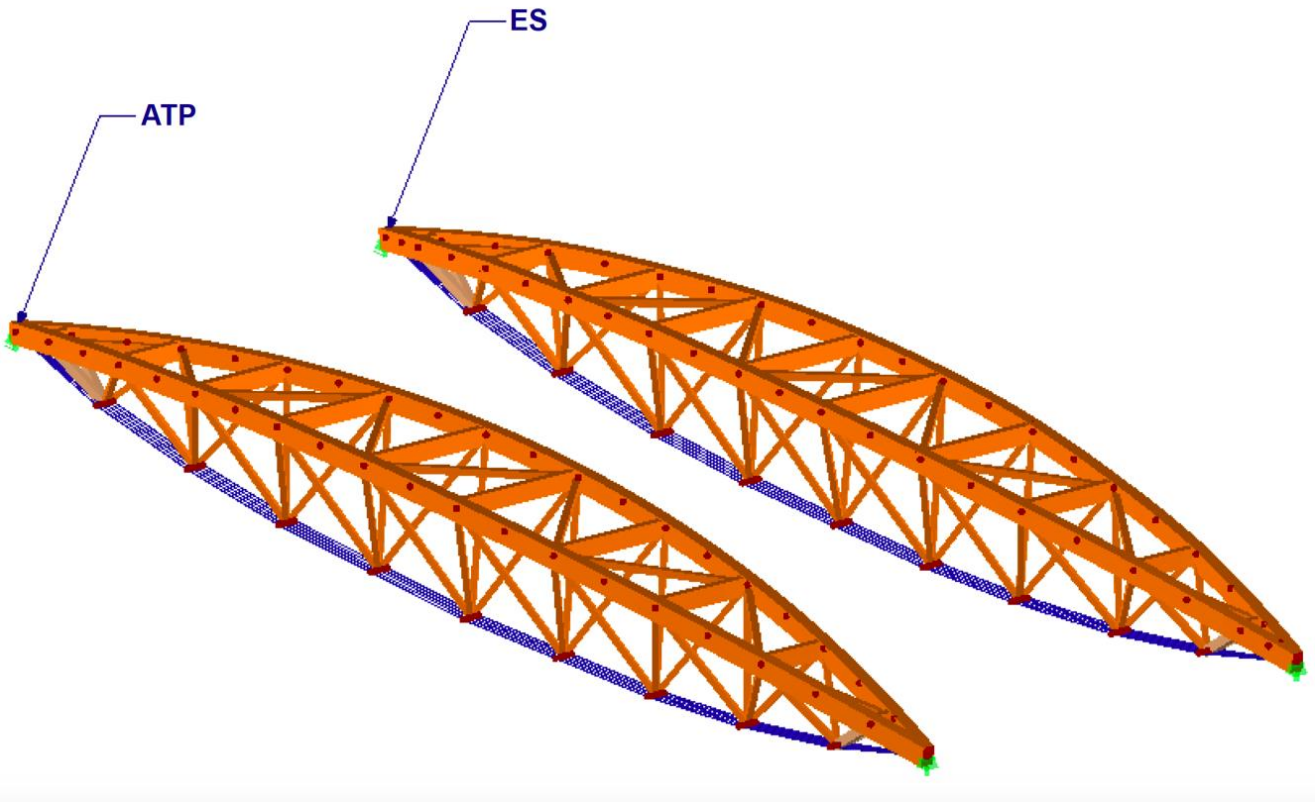
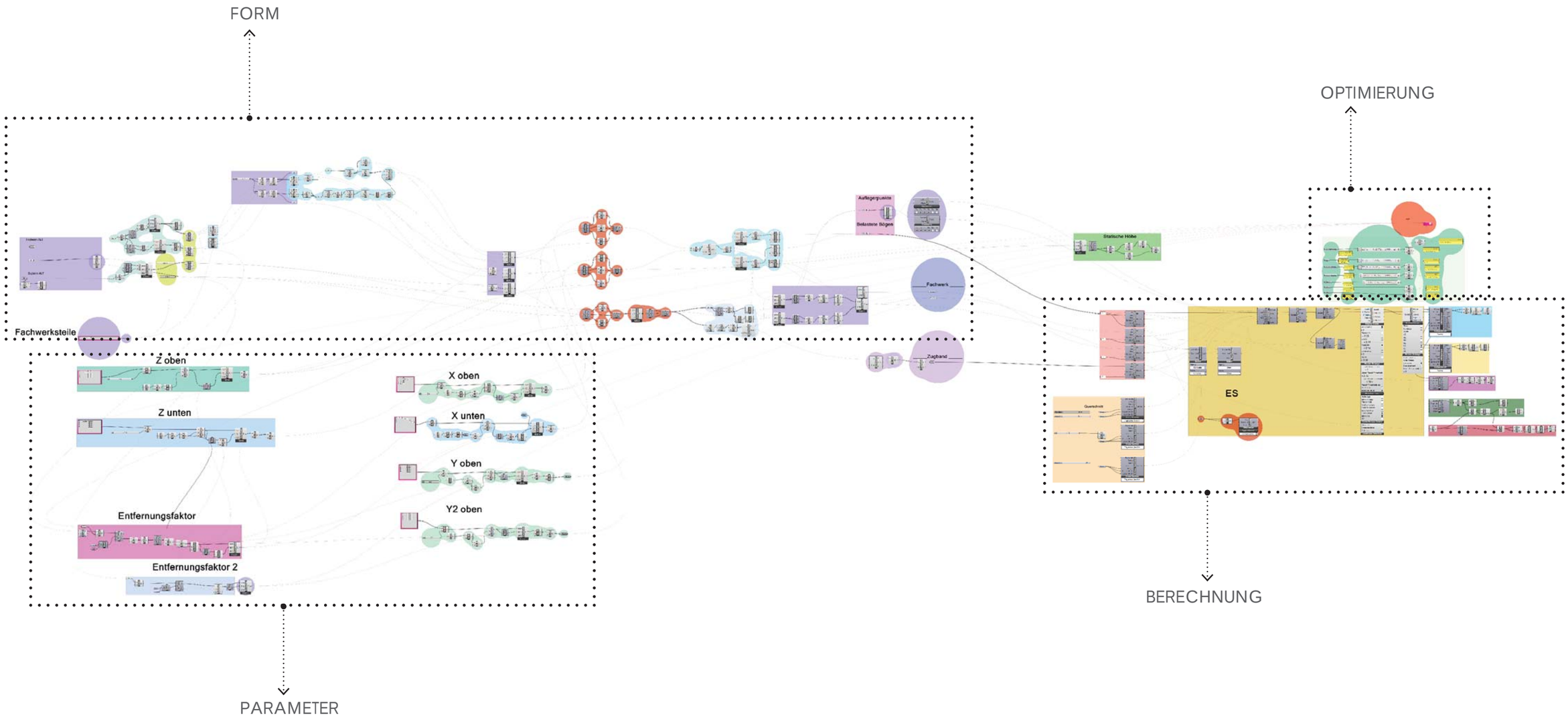


Abbildung 3.6 RFEM und Revit Modell zur Verfügung gestellt von ATP architects engineers[47]

Zuerst wurde die, von ATP übermittelte Variante modeliert und mit Karamba ausgerechnet.
Diese Berechnung hat die Vergleichswerte für die Optimierung geliefert.

[47] RFEM und Revit Modell zur Verfügung gestellt von ATP architects engineers


FORM
OPTIMIERUNG
Fachwerksteile
Z oben
Z unten
X oben
X unten
Y oben
Y2 oben
Entfernungsfaktor
Entfernungsfaktor 2
Statische Höhe
Fachwerk
Zugband
ES
BERECHNUNG
PARAMETER

Fachwerkselementen wurden in Gruppen geteilt. Für jede Gruppe von Elementen wurden Straffaktoren definiert, nach der Ausnutzung jeder Gruppe musste kleiner sein als die im Vergleichsberechnung – siehe Abbildung 3.7 Wichtungs- und Straffaktoren.

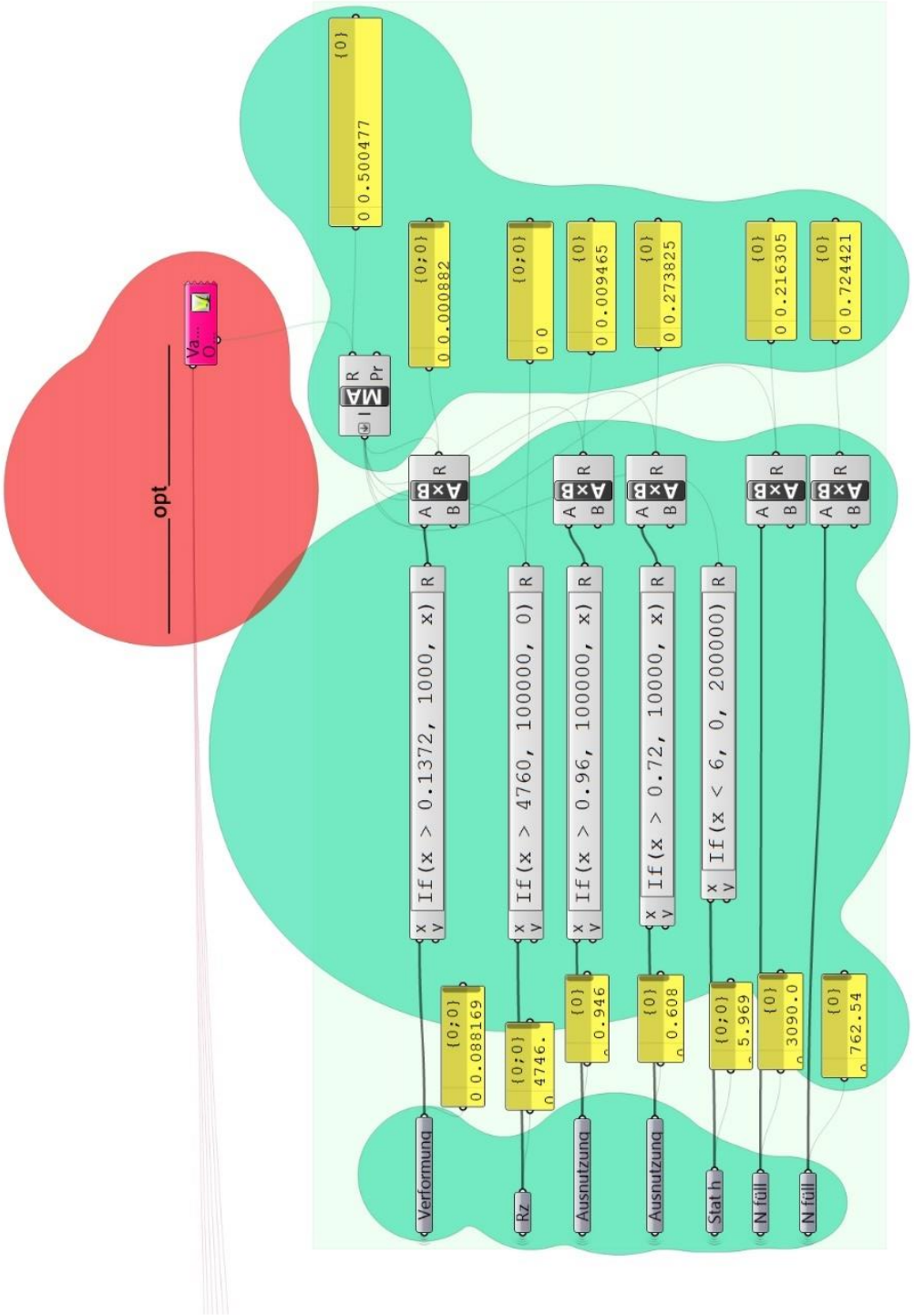


Abbildung 3.7 Wichtungs- und Straffaktoren

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

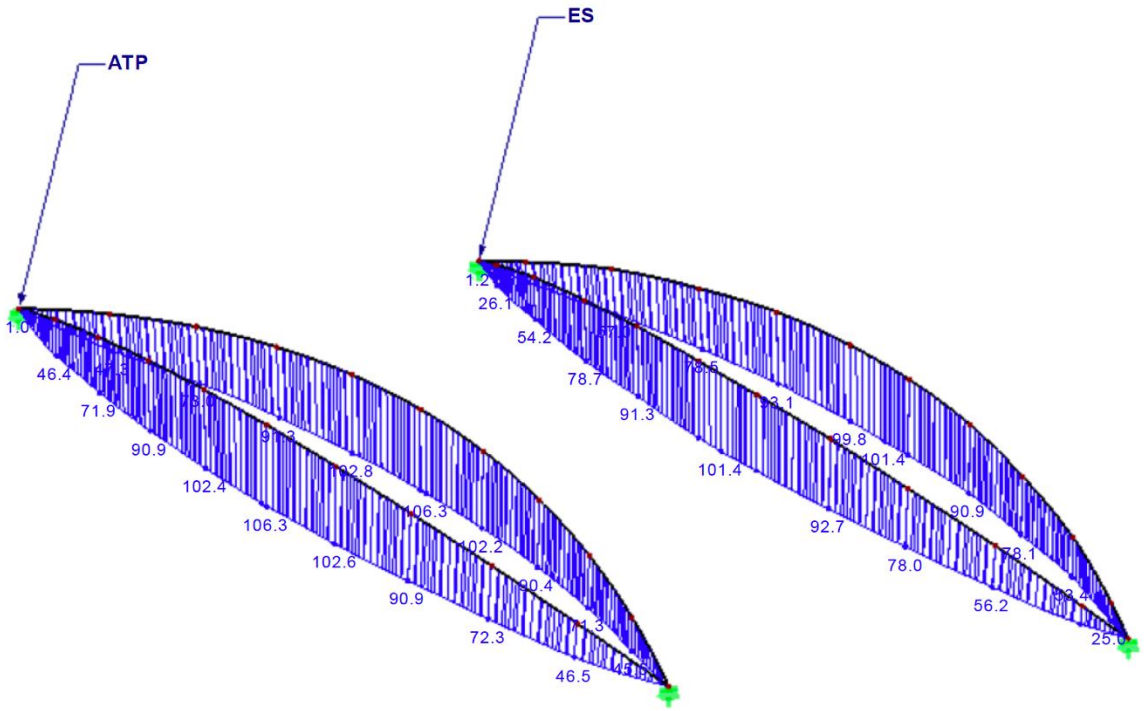


Abbildung 3.8 Verformungsvergleich

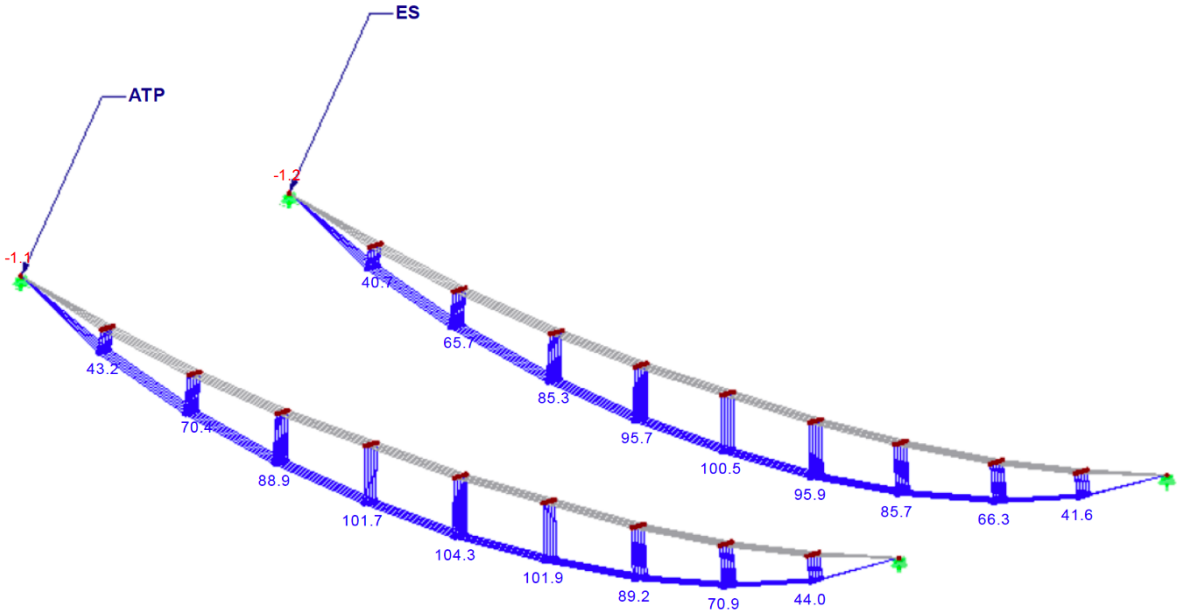


Abbildung 3.9 Verformungsvergleich

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

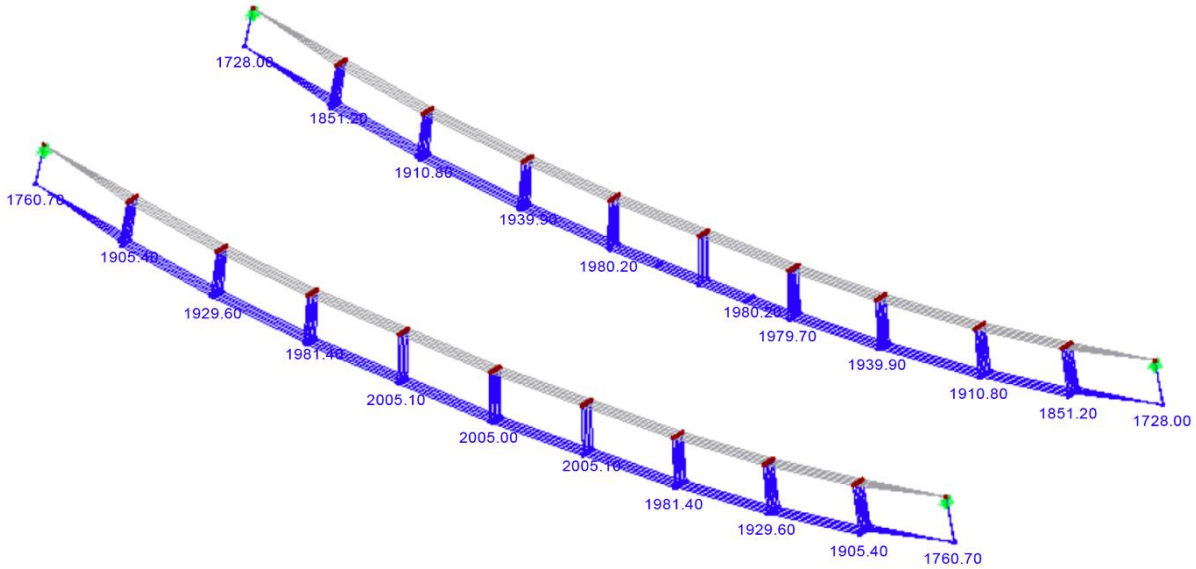


Abbildung 3.10 Zugkraft – Vergleich

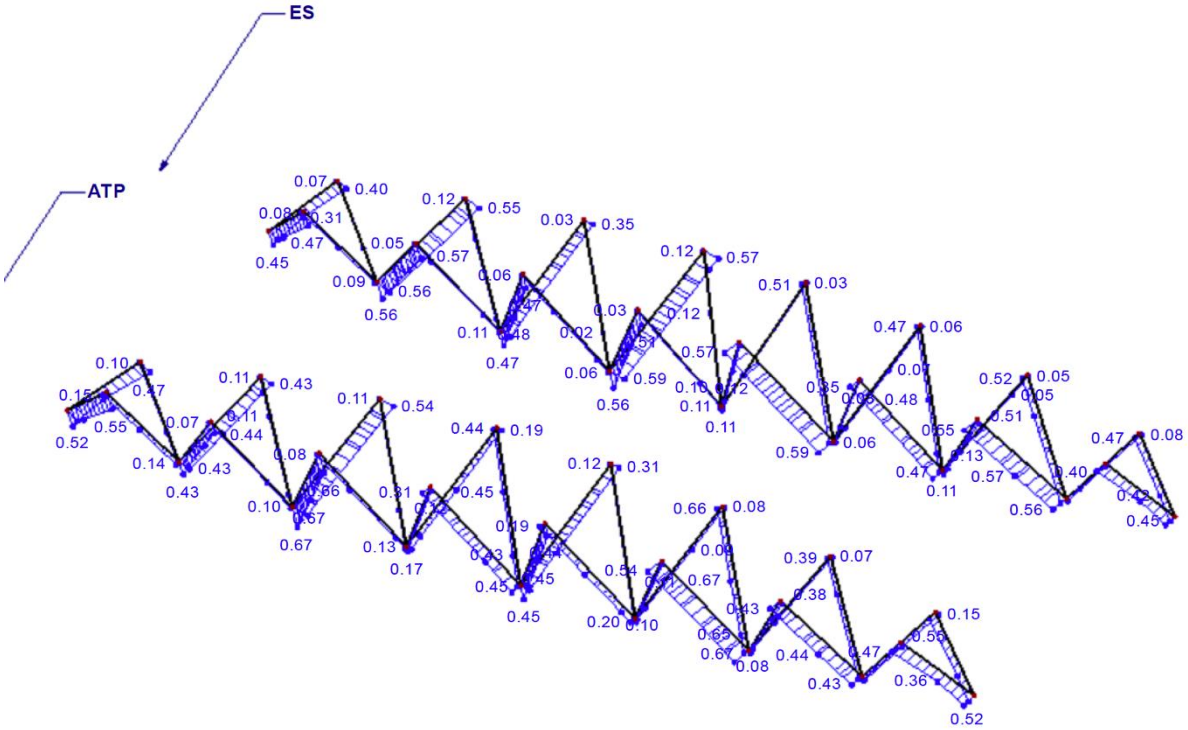


Abbildung 3.11 Ausnutzungsvergleich

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

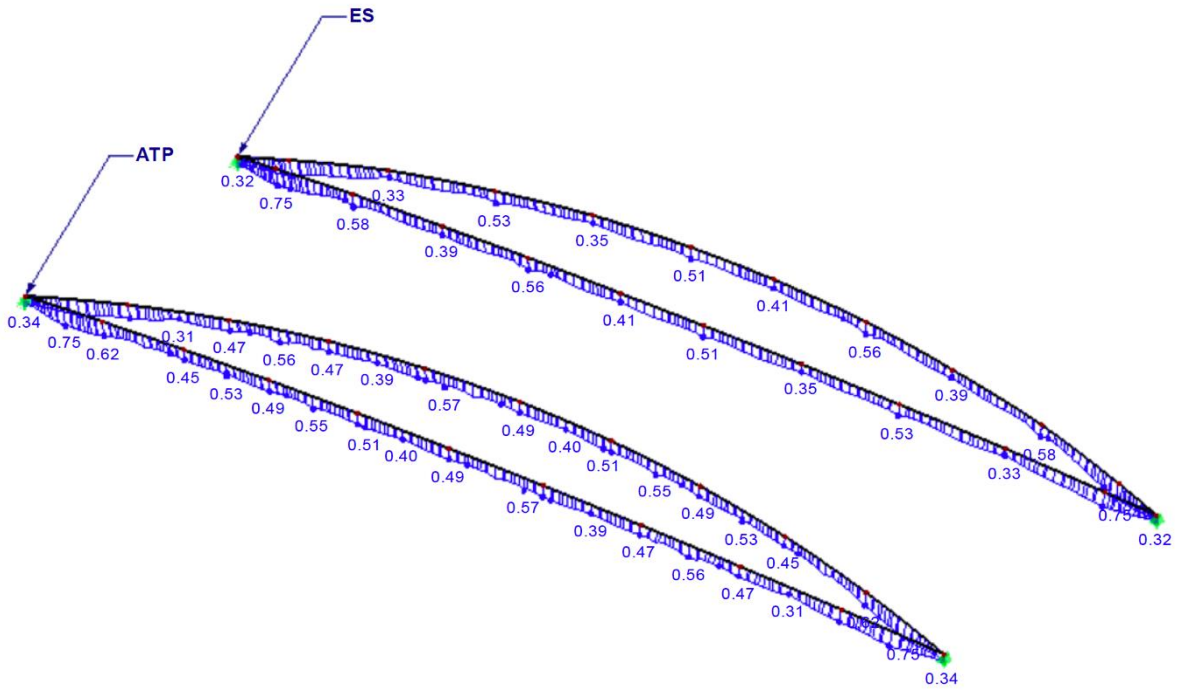


Abbildung 3.12 Ausnutzungsvergleich

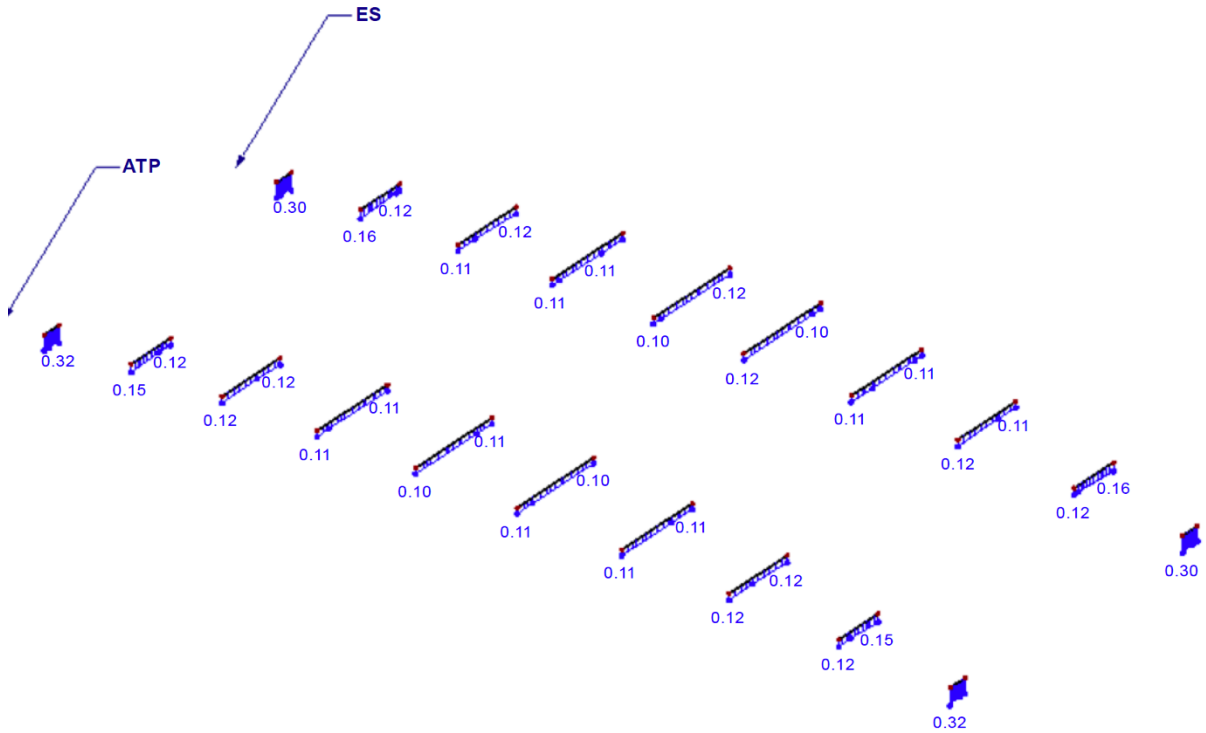


Abbildung 3.13 Ausnutzungsvergleich

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

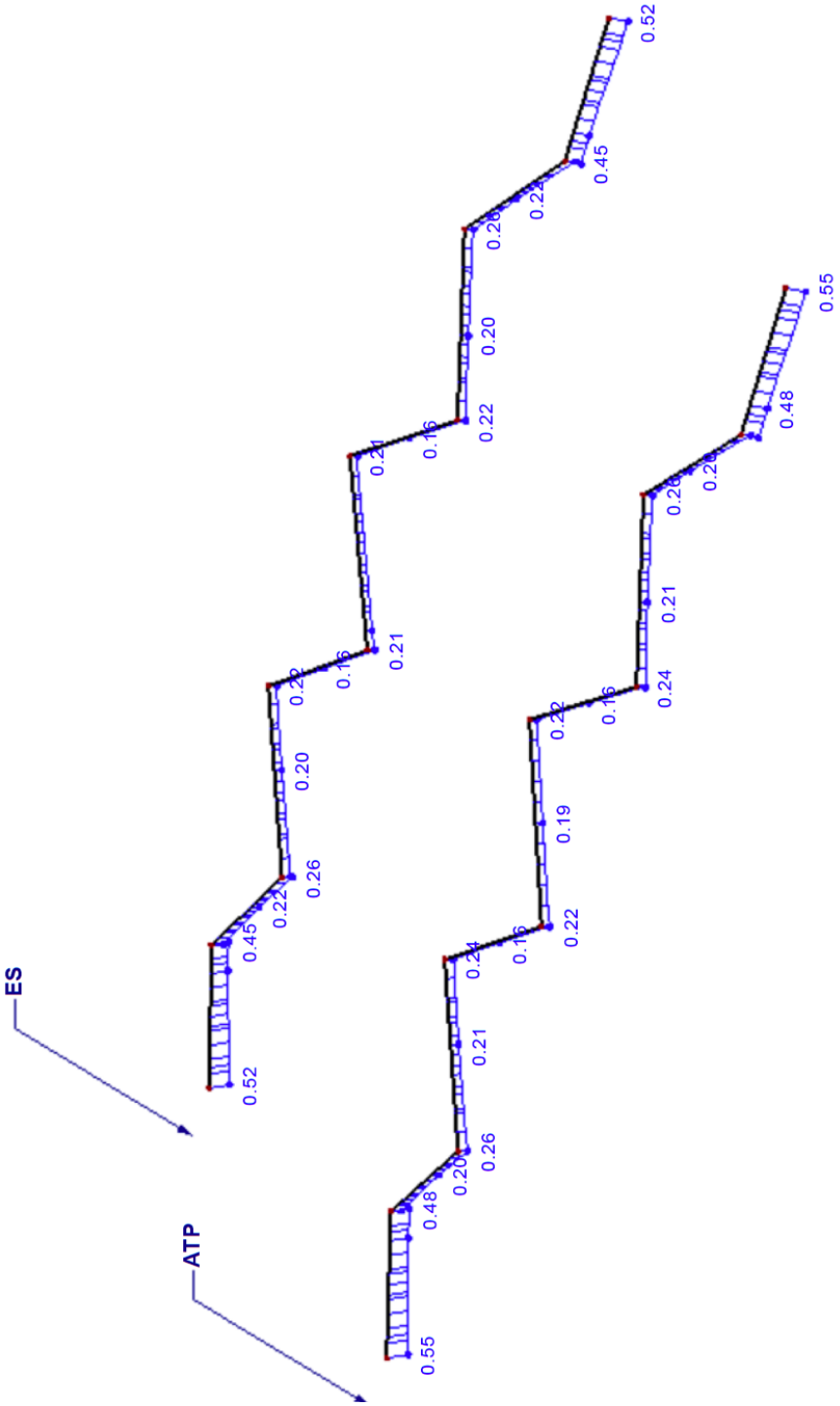


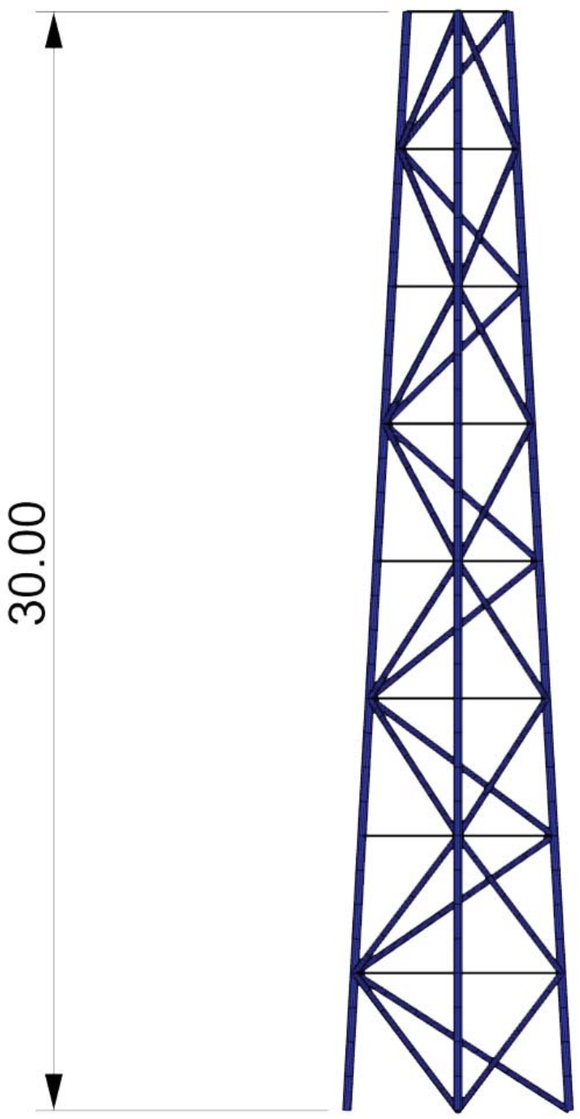
Abbildung 3.14 Ausnutzungsvergleich

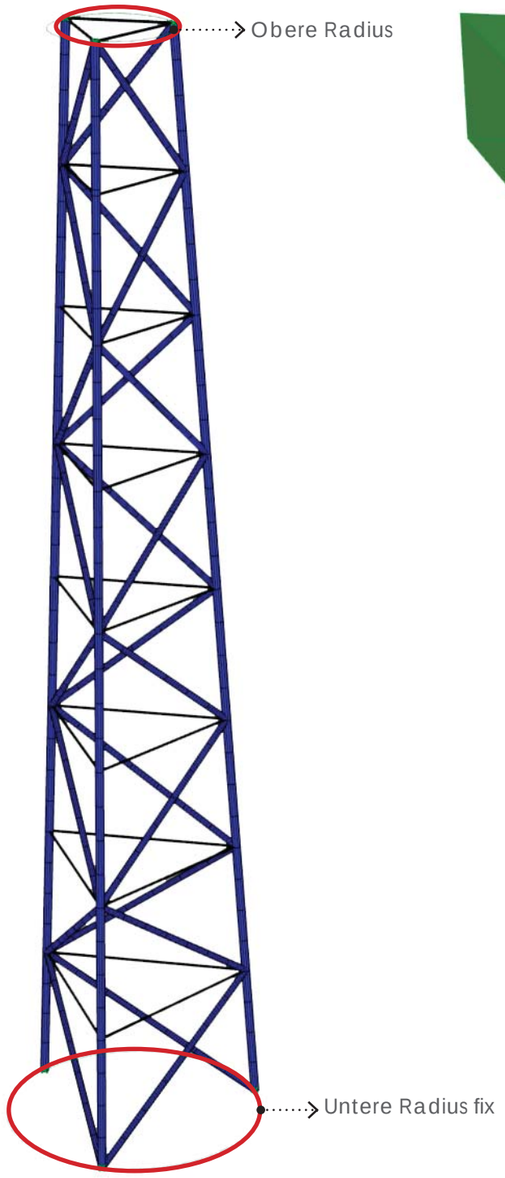
Dargestellten Ergebnissen zeigen, dass auch mit geringfügigen Knotenverschiebungen ist es möglich die Tragkonstruktion wesentlich zu verbessern.

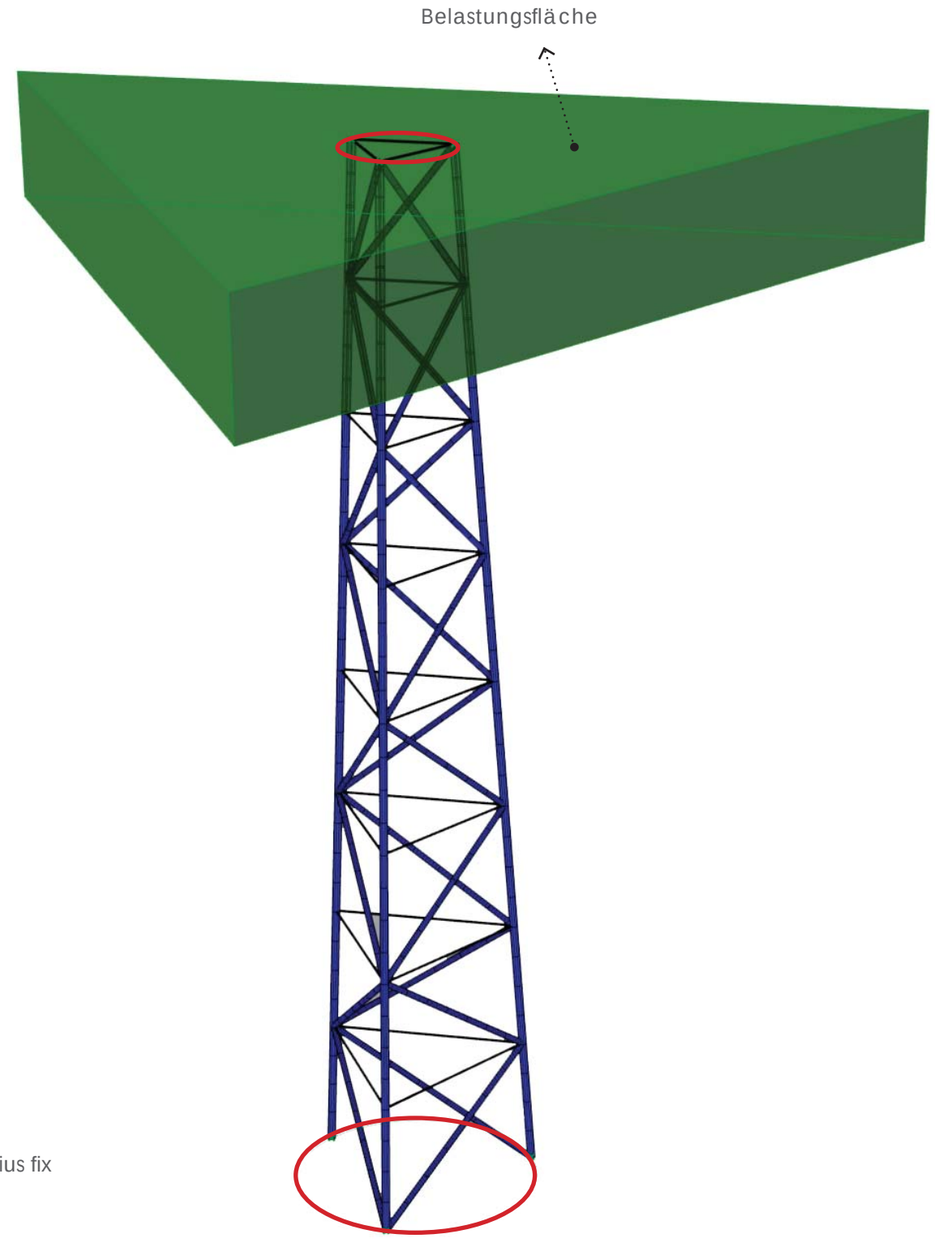
Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

3.3. Werbeturm

Beim Untersuchtem Beispiel handelt sich um einen Stahlwerbeturm mit 30 m Höhe.
Parameter: Anzahl der Mastschüsse, Querschnitte, Obere Radius des Turmes.
Optimierungsziel: Stahlgewicht







Optimierungsskript MAST

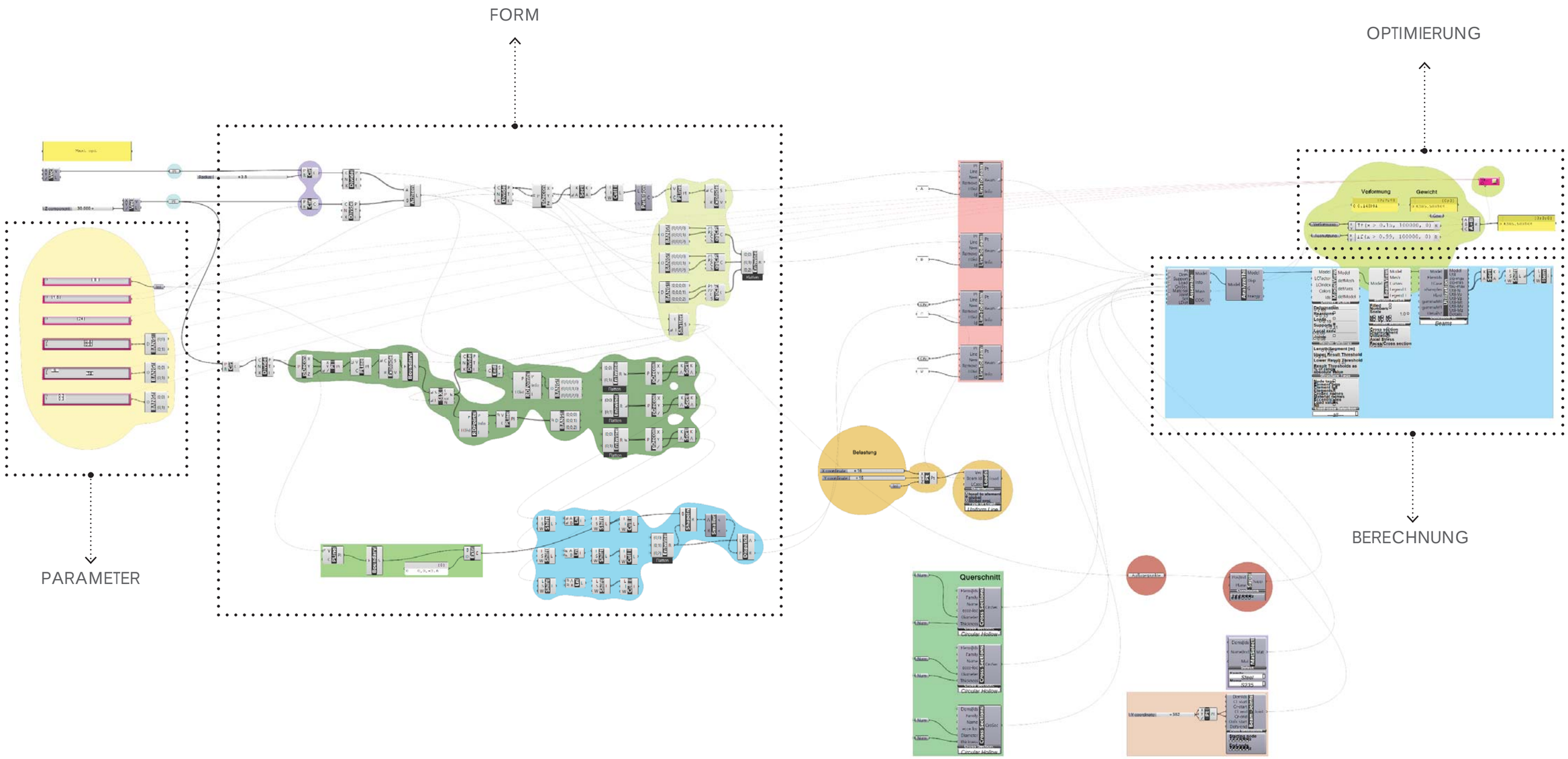


Abbildung 3.15 Vor dem Optimierungsprozess

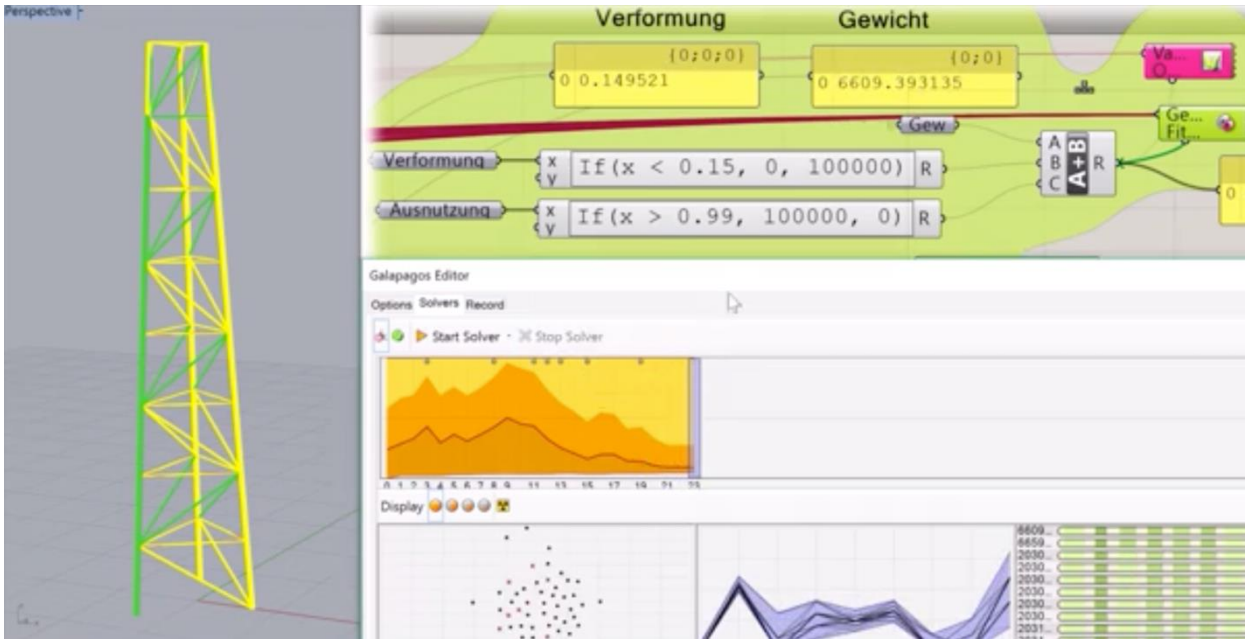


Abbildung 3.16 Nach dem Optimierungsprozess

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

3.4. Verbindungsbrücke

Das untersuchte Beispiel ist eine Verbindungsbrücke aus Stahl. Ähnlich zu dem Werbeturm waren die Parameter die Anzahl der Schüsse sowie Stabquerschnitte.

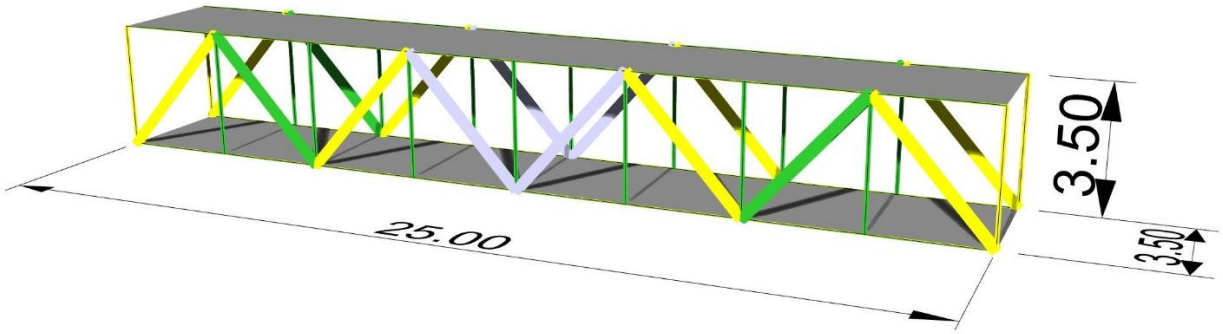
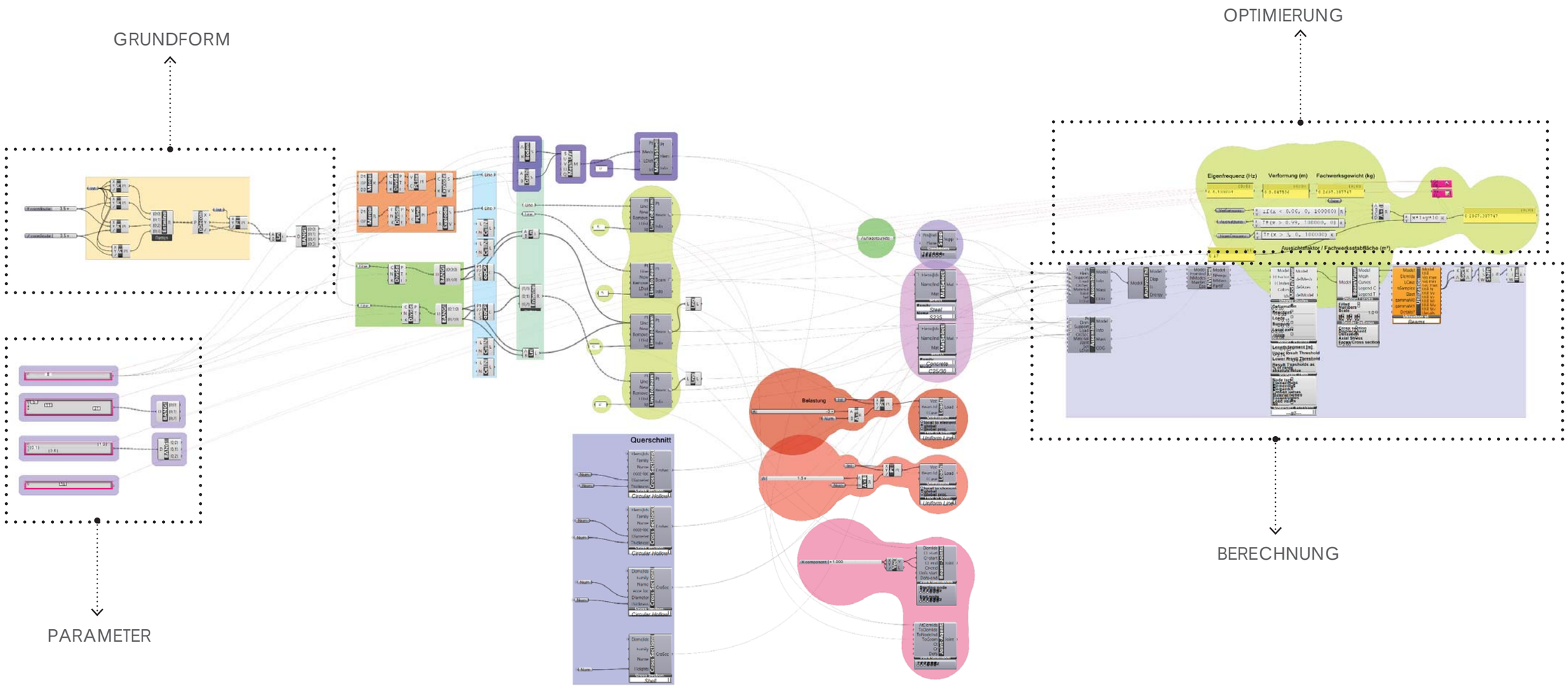


Abbildung 3.17 Verbindungsbrücke

Zusätzlich eingeführter Begrenzungsfaktor war die Eigenfrequenz. Die wurde in diesem Fall bestraft falls kleiner als 5 HZ.
Anmerkung: Laut EN / ÖNORM gibt es keine konkrete Begrenzung der Frequenz. In dem Fall, dass die kleiner als 5 HZ ist, ist es notwendig detaillierte Nachweise durchzuführen.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99


GRUNDFORM
OPTIMIERUNG
PARAMETER
BERECHNUNG
Querschnitt
Belastung
Eigenfrequenz (Hz)
Verformung (m)
Fachwerksgewicht (kg)

3.5. Industrie Fachwerkbinder

Das untersuchte Beispiel ist eine Industriebau Sekundärfachwerkbinder. Die Höhe und der Untere Abstand der Knotenpunkte hat sich aus dem Bauherrnstandard als Abhängepunkten für die Fördertechnikebene ergeben. Als einzigen Parametern für den Planer haben sich Position der oberen Knotenpunkte und Querschnitte der Fachwerkträger ergeben.

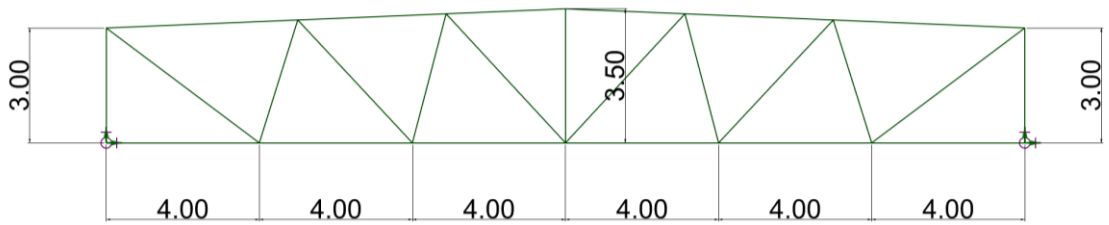


Abbildung 3.18 Fachwerk Dimensionen

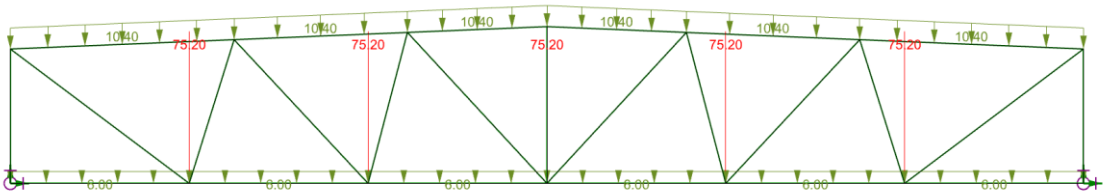


Abbildung 3.19 in Karamba definierte Belastung

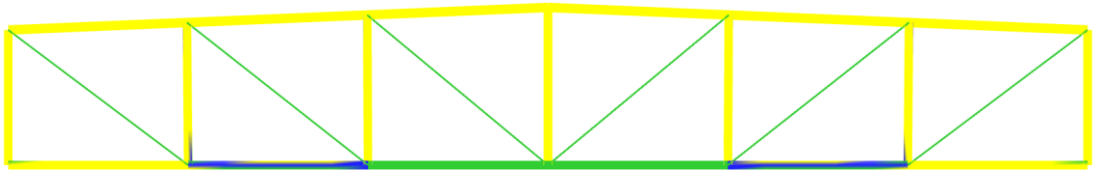


Abbildung 3.20 System im Karamba vor dem Optimierungsprozess

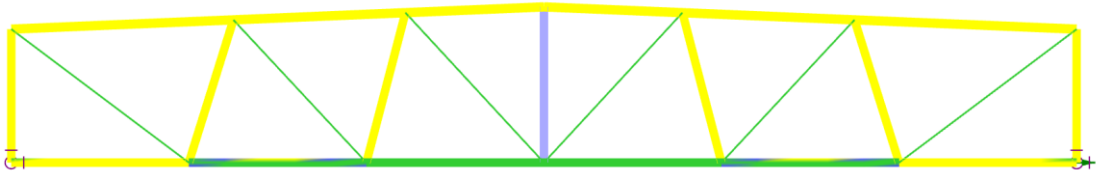


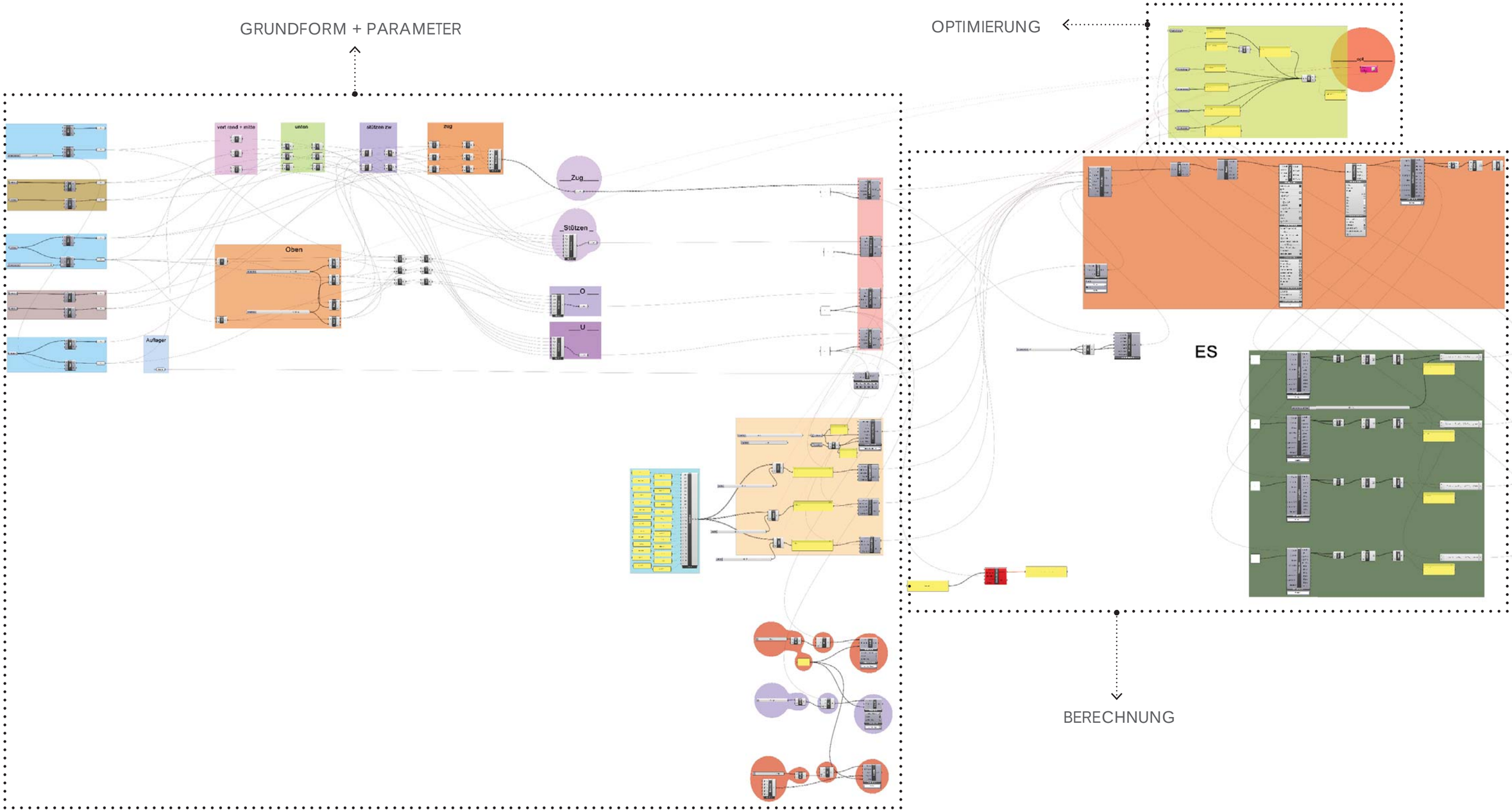
Abbildung 3.21 System im Karamba nach dem Optimierungsprozess

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Optimierungsskript
INDUSTRIE FACHWERKBINDER

GRUNDFORM + PARAMETER

OPTIMIERUNG



BERECHNUNG

Für das einsparpotenzial des neuen Systems (System 2) wurde im RFEM ein System mit der Geometrie vor dem Optimierungsprozess (System 1) aufgebaut.

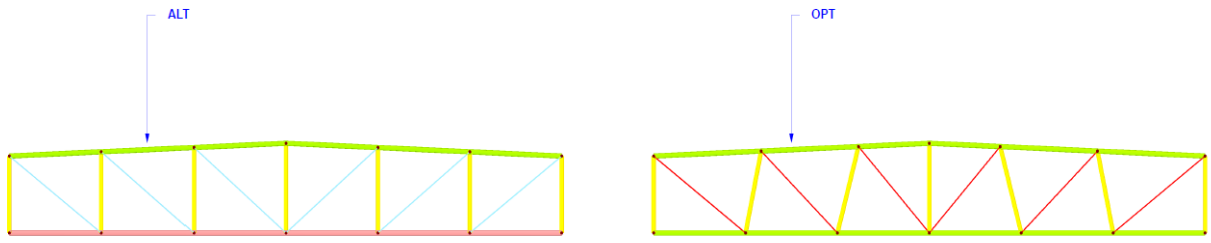


Abbildung 3.22 Systemvergleich in Dlubal RFEM

Zusätzlich sind die Querschnitte des Vergleichssystems so angepasst, dass die Beide Systeme gleiche Steifigkeit aufweisen bzw. die Verformungen gleich sind.

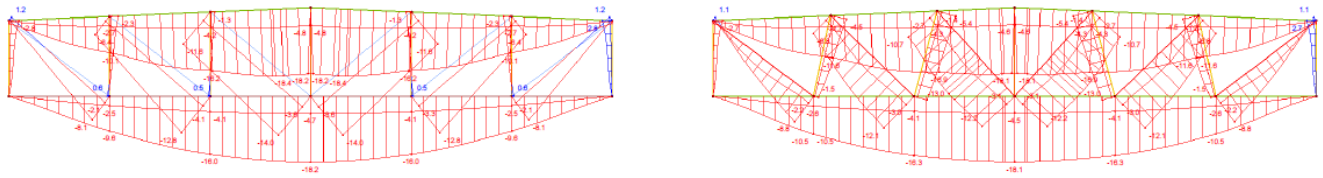


Abbildung 3.23 Verformungsvergleich in Dlubal RFEM

Nach dem das erreich worden sind, wurden die Gewichte der Systeme verglichen. Die Gewichte der Systeme betrugen 4332 kg für das System 1 und 3954 kg für das System 2. Das weist ein Einsparpotenzial von 378 kg. Umgerechnet auf die Fläche der Halle ist das 2,5 kg/m².

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

3.6. Zusammenfassung

Nach Untersuchung mehreren herkömmlichen Tragsystemen hat sich die Tragwerksoptimierung mittels parametrischer Definitionen als effektive Werkzeug herausgestellt. Besonders praktisch ist es bei Problemen mit viele Parametern die iterativ nur sehr schwer oder gar nicht ermittelt werden können.

Mit relativ kurzen Eingabezeiten und nachvollziehbaren Ergebnissen ist die Vorgehensweise in der täglichen Arbeit der Tragwerksplaner empfehlenswert.

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

4. Verzeichnisse

4.1. Literaturverzeichnis

ARCHDAILY (2014): Singapore Sports Hub. URL: https://www.archdaily.com/523365/singapore-sportshub-dparchitects/53b4ebb2c07a8005ce000090singapore-sportshub-dparchitects-axonometric-6

ARCHITECT MAGAZINE (2015): The 21st-Century Skill Set for Architects. URL: https://www.architectmagazine.com/practice/the-21st-century-skill-set-for-architects_o

Architectural record: https://www.architecturalrecord.com/ext/resources/Issues/2016/May/1605-Architecture-Creativity-Zaha-Hadid-01.jpg

ARUP : Singapore Sports Hub (2018) URL: https://www.arup.com/news-and-events/news/arup-takes-home-top-honour-at-the-istructestructural-awards-2015

Centre Pompidou: Dachkonstruktion https://www.centrepompidou-metz.fr/en/roofing

COMPUTATIONAL PLANNING SCIENCE: Entwicklung des parametrischen und algorithmischen Entwerfens. URL: https://www.wien.gv.at/stadtplan/

DAVIS, Daniel: A history of parametric http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/

CHITER, Lakhdar; BENSEGHIR, Aissa (2009): Anther face of DIRECT

DYNAMO: The Dynamo Primer (2018) URL: http://primer.dynamobim.org/en/

DP ARCHITECTS: Singapore Sports Hub (2018) URL: https://www.dpa.com.sg/projects/singaporesportshub/

Enfrenteatre https://www.enfrentearte.com/metropol-parasol-seville/

GRASSHOPPER. (2018) URL: http://grasshopper3d.com

KARAMBA: (2018) Examples URL: https://www.karamba3d.com/examples/hard/informed-geometry-openings/

MA29 (2008): Baugrundbeschreibung für die Errichtung eines Rad- & Fußwegsteges zwischen Margaretengürtel und Gaudenzdorfer Gürtel in 1050/1120 Wien

MEREDITH, Michael (2008): From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture

NLopt: https://nlopt.readthedocs.io/en/latest/

PREISINGER; Clemens (2013): User manual for Version 1.0.4. KARAMBA Parametric Structural Modeling

PREISINGER, Clemens; HEIMRATH, Moritz (2014): Karamba—A Toolkit for Parametric Structural Design, Structural Engineering International, 24:2, 217-221

RECHENRAUM: GOAT. URL: https://www.rechenraum.com/en/goat.html

RHINOCEROS: 2018 URL: https://www.rhino3d.com

ROCHA, A.M.A.C.; VILACA, R. (2013): Lecture Notes in Computer Science; A computational study on different penalty functions with DIRECT algorithm; Vol.7971(1), pp.318-332

RUTTEN, David: Galapagos, on the logic and limitations of generic solvers. AD – Architectural Design, Ausgabe 83, 2013.

WIEN GV: Stadtplan. URL: https://www.wien.gv.at/stadtplan/

WIEN GV: Altlasten. URL: https://www.wien.gv.at/wiki/index.php?title=Altlasten

YANG, Ding; REN, Shibo; TURRIN, Michela; SARIYILDIZ, Sevil; SUN, Yimin (2018): Automation in Construction 92. Multi-disciplinary and multi-objective optimization problem re-formulation in computational design exploration: A case of conceptual sports building design, 242–269.

YANG, X. S. (2010): Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

4.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Schematische Darstellung des Algorithmus 6
Abbildung 1.2 Computational design 7
Abbildung 1.3 Gaudí's Hanging Chain Models 8
Abbildung 1.4 Moretti 's Modell am zwölften Milan Triennal 9
Abbildung 1.5 Heydar Aliyev Center 10
Abbildung 1.6 1 Metropol Parasol 11
Abbildung 1.7 Elbe Philharmonic Hall 11
Abbildung 1.8 Originale Skizze für Mediatheque 12
Abbildung 1.9 Mediatheque Modell 13
Abbildung 1.10 Holz Dachkonstruktion Centre Pompidou-Metz 14
Abbildung 1.11 Singapore Sports Hub 15
Abbildung 1.12 Stadium Stahl Fachwerk 15
Abbildung 1.13 Axonometrie der Stadiumteile 16
Abbildung 1.14 Optimierungsprozess 18
Abbildung 1.15 2D Phasenraum 19
Abbildung 1.16 Übersicht Marktgängige Programme mit Optimierungsalgorithmen 20
Abbildung 1.17 Genetisches Optimierungsprozess 21
Abbildung 1.18 Genetisches Optimierungsprozess 22
Abbildung 19, Erste drei Iterationen 23
Abbildung 1.20 3D Umgebung in Rhinoceros 3d 24
Abbildung 1.21 Grasshopper Definition 25
Abbildung 1.22 Definition der parametrischer Grundform bzw Randbedingungen 25
Abbildung 1.23 Karamba Plug-In Tools 26
Abbildung 1.24 Galapagos Symbol 27
Abbildung 1.25 GOAT Element 27
Abbildung 1.26 GOAT Einstellungen 28
Abbildung 1.27 Dynamo Umgebung 28
Abbildung 2.1 Umgebung in Rhino Modelliert 30
Abbildung 2.2 Umgebung in Rhino Modelliert 31
Abbildung 2.3 Umgebung in Rhino Modelliert 31
Abbildung 2.4 Grundform Isometrie 32
Abbildung 2.5 Grundform Grundriss: Flexibilität der Kerne 32
Abbildung 2.6 Grundform Schnitt 32
Abbildung 2.7 Nutzung Erdgeschoss 33
Abbildung 2.8 Nutzung Obergeschoss 33
Abbildung 2.9 Karte von Wien 35
Abbildung 2.10 Otto-Wagner-Brücke 35
Abbildung 2.11 Standort Foto 35
Abbildung 2.12 Standort Foto 35
Abbildung 2.13 Standort Foto 36
Abbildung 2.14 Otto-Wagner-Brücke 36
Abbildung 2.15 Standort Foto 36
Abbildung 2.16 Wienfluss 36
Abbildung 2.17 U-Bahn-Station 36
Abbildung 2.18 U-Bahn 36
Abbildung 2.19 Definition der parametrischer Grundform 38

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Abbildung 2.20 Bohrungen aus dem BGK der Stadt Wien (rot bzw. gelb), Lage der Altlast (oliv) mit den Standorten der Gasbehälter (braun), ursprüngliche Ausbreitung des Wienflusses (rosa), Wienflussbett (blau) sowie geplanter Rad- bzw. Fußweg (cyan) 39
Abbildung 2.21 Mögliche Position der Kerne 41
Abbildung 2.22 Art Gallery of New South Wales, 1977, Architekt: Walter Liberty Vernon 42
Abbildung 2.23Galapagos Tool für Optimierung, Angeschlossen sind die Verformungen als Fitness (Variable dessen Wert wird gesucht - max. oder min.) und Kernposition als Genome der wird geändert 44
Abbildung 2.24 Galapagos Editor 44
Abbildung 2.25 Optimierungsprozess 45
Abbildung 2.26 Verlauf der Optimierung in Galapagos Solver. Unten rechts kann man die Verformungen die kleiner werden sehen 46
Abbildung 2.27 Deckenöffnungen mit Kernpositionen (rote Linien) und Verformungen (Farben) 47
Abbildung 2.28 Wabensystem am Dach 48
Abbildung 2.29 Wabenschnitt 48
Abbildung 2.30 Wabenrippe Schritt 1 - Dachelement mit Öffnungen 49
Abbildung 2.31 Wabenrippe Schritt 2 - Punkte an nördliche Seite der Öffnungen 49
Abbildung 2.32 Wabenrippen - Linien von nördlichen Punkten 50
Abbildung 2.33 Wabenrippe Schritt 3 - Linien werden extrudiert nach vordefiniertem Vektor 50
Abbildung 2.34 Raumprogramm 51
Abbildung 2.35 Zusammenfassung in eine 3d Konstruktion 52
Abbildung 2.36 Modell Einstellung 55
Abbildung 2.37 Richtungen der Hauptspannungen 56
Abbildung 2.38 RFEM Model n.o. Platte vs orthotrope Platte 57
Abbildung 2.39 Isometric RFEM n.o. Platte vs orthotrope Platte 58
Abbildung 2.40 RFEM Verformungsvergleich 59
Abbildung 3.1 Schnitt C-C – Teil des Einreichplanes 62
Abbildung 3.2 Berechnung im RFEM vor dem Optimierungsprozess 63
Abbildung 3.3 Dachkontruktion vor dem Optimierungsprozess 67
Abbildung 3.4 Dachkontruktion nach dem Optimierungsprozess 67
Abbildung 3.5 Vergleichsberechnung in Rfem nach dem Optimierungprozess 68
Abbildung 3.6 RFEM und Revit Modell zur Verfügung gestellt von ATP architects engineers 69
Abbildung 3.7 Wichtungs- und Straffaktoren 71
Abbildung 3.8 Verformungsvergleich 72
Abbildung 3.9 Verformungsvergleich 72
Abbildung 3.10 Zugkraft – Vergleich 73
Abbildung 3.11 Ausnutzungsvergleich 73
Abbildung 3.12 Ausnutzungsvergleich 74
Abbildung 3.13 Ausnutzungsvergleich 74
Abbildung 3.14 Ausnutzungsvergleich 75
Abbildung 3.15 Vor dem Optimierungsprozess 78
Abbildung 3.16 Nach dem Optimierungsprozess 78
Abbildung 3.17 Verbindungsbrücke 79
Abbildung 3.18 Fachwerk Dimensionen 81

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99

Abbildung 3.19 in Karamba definierte Belastung 81
Abbildung 3.20 System im Karamba vor dem Optimierungsprozess 81
Abbildung 3.21 System im Karamba nach dem Optimierungsprozess 81
Abbildung 3.22 Systemvergleich in Dlubal RFEM 83
Abbildung 3.23 Verformungsvergleich in Dlubal RFEM 83

Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik
Forschungsbereich Strukturdynamik und Risikobewertung von Tragwerken
Karlsplatz 13/208-01, A-1040 Wien, www.allmech.tuwien.ac.at, T +43 1 58 801/201 01, F +43 1 58 801/201 99